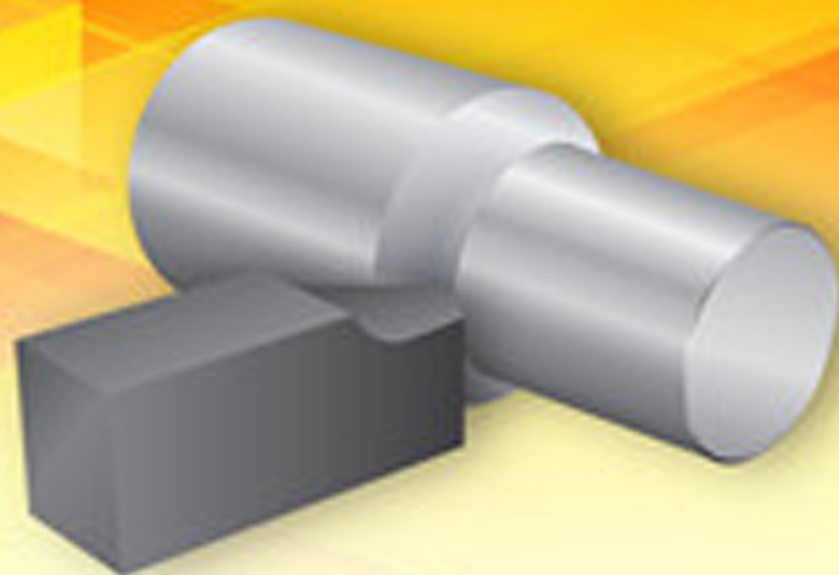


金属切削 操作技能手册

陈宏钧 主编



金属切削操作技能手册

陈宏钧 主编



机械工业出版社

本书根据作者多年在企业生产一线的工作经验,结合中、小型企业主要技术工种的实际需要,以典型零件加工技术要求、计算及实际操作过程为主体编写而成,配有典型零件加工工艺分析及工艺过程卡。并以少而精的原则,精选出在实际工作中常用的经过实践验证确实可靠的技术内容,系统地进行分析、介绍。全书共分9章,主要包括:常用技术资料,车削技术,铣削技术,磨削技术,铣削技术,刨削、插削技术,螺纹加工技术,齿轮加工技术和钳工技术等。

本手册可供中、小型企业各工种技术工人、技师、技术人员及工科院校相关专业的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削操作技能手册/陈宏钧主编. —北京:机械工业出版社, 2013.5

ISBN 978-7-111-41413-1

I. ①金… II. ①陈… III. ①金属切削—技术手册 IV. ①TG5-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第025294号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:孔劲 责任编辑:刘彩英

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:

印刷厂印刷

2013年5月第1版第1次印刷

169mm×239mm·36印张·2插页·804千字

0 001—册

标准书号:ISBN 978-7-111-41413-1

定价:元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑:(010) 88379772

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着机械工业的不断发展与科学技术的不断进步，新工艺、新技术不断出现，对生产第一线工人的技术水平提出了越来越高的要求。因此，企业急需具有较高技术素质又有实际操作技能的人才。

为适应生产技术的发展，帮助广大在岗职工在日常工作中自学提高操作技能水平，我们编写了这本《金属切削操作技能手册》。

本手册紧密结合中、小型企业的主要技术工种实际需要，以典型零件加工技术要求、计算及实际操作过程为主体编写而成，配有典型零件加工工艺分析及工艺过程卡。并以少而精的原则，精选出在实际工作中常用的经过实践证明确实可靠的技术内容，进行系统的分析、介绍。全书共分 9 章，主要包括：常用技术资料，车削技术，铣削技术，磨削技术，镗削技术，刨削、插削技术，螺纹加工技术，齿轮加工技术和钳工技术等。

本手册编写取材以基础、标准、规范、实用为原则，并结合作者多年在企业一线工作经验，进一步合理安排全书结构，做到层次清楚，语言简炼，工艺数据准确，融理论与技能于一体，便于读者使用。

本手册由陈宏钧任主编，参加编写的人员有：张建龙、王学汉、李凤友、李桂芬、洪二芹、单立红、陈环宇、洪寿兰等。

由于水平有限，在编写中难免有不妥和错误之处，真诚地希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 常用技术资料	1
1.1 常用字母、标准代号及化学元素符号	1
1.2 常用数学	3
1.2.1 代数中的常用公式和相互间的关系	3
1.2.2 三角形的解法和常用公式	6
1.3 常用数表及几何图形计算	13
1.3.1 π 的重要函数及 π 、25.4 的近似分数	13
1.3.2 常用几何图形计算	14
1.3.3 圆周等分系数表	19
1.3.4 角度与弧度换算	21
1.3.5 内圆弧与外圆弧计算	21
1.3.6 V 形槽宽度、角度计算	22
1.3.7 燕尾与燕尾槽宽度计算	22
1.3.8 内圆锥与外圆锥计算	23
1.3.9 英寸分数换算成小数和毫米表	24
1.4 法定计量单位及其换算	24
1.4.1 国际单位制 (SI)	24
1.4.2 常用法定计量单位与非法定计量单位的换算	27
1.4.3 常用单位换算	29
1.5 产品几何技术规范	31
1.5.1 极限与配合	31
1.5.2 工件几何公差的标注	55
1.5.3 表面结构	75
1.6 切削加工件通用技术条件	85
1.6.1 一般要求	85
1.6.2 线性尺寸的一般公差	86
1.6.3 角度尺寸的一般公差	87
1.6.4 形状和位置公差的一般公差	87
1.6.5 螺纹	89
1.6.6 中心孔	89
1.7 机械加工的一般标准规范	89
1.7.1 中心孔	89
1.7.2 各类槽	91

1.7.3 零件倒圆与倒角	94
1.7.4 球面半径	94
1.7.5 螺纹零件	95
第2章 车削技术	103
2.1 车刀	103
2.1.1 刀具切削部分几何参数及其选择	103
2.1.2 车刀的磨损和刃磨	107
2.2 麻花钻	111
2.2.1 标准麻花钻头的切削角度	111
2.2.2 标准麻花钻头的磨损和刃磨	112
2.3 中心孔的加工与修研	115
2.3.1 中心孔的加工及质量分析	115
2.3.2 中心孔的修研	117
2.4 车削圆锥面	118
2.4.1 锥体各部名称代号及尺寸计算	118
2.4.2 车削圆锥面的方法	118
2.4.3 车削标准锥度和常用锥度时小刀架和靠模板的转动角度	119
2.4.4 车削圆锥面时的尺寸控制方法	120
2.4.5 车削圆锥面时的质量分析	121
2.5 车削偏心工件及曲轴	121
2.5.1 车削偏心工件的装夹方法	121
2.5.2 用专用夹具车削偏心工件	123
2.5.3 测量偏心距的方法	124
2.5.4 车削曲轴的装夹方法	125
2.5.5 典型偏心零件的加工工艺分析举例	126
2.6 车削成形面	132
2.6.1 成形面车削方法	132
2.6.2 常用成形刀(样板刀)类型及应用	134
2.7 车削球面	135
2.7.1 用蜗杆副传动装置手动车削外球面	136
2.7.2 用蜗杆副传动装置手动车削内球面	136
2.8 车削薄壁工件	136
2.8.1 工件的装夹方法	136
2.8.2 刀具几何角度的选择	138
2.8.3 精车薄壁工件的切削用量	138
2.8.4 典型薄壁零件的加工工艺分析举例	139
2.9 车削表面的滚压加工	140
2.9.1 滚压加工常用工具及其应用	141
2.9.2 滚轮式滚压工具常用的滚轮外形形状及应用	143

2.9.3 滚轮滚压的加工方法	143
2.9.4 滚压质量分析	144
2.9.5 滚花	145
2.10 冷绕弹簧	147
2.10.1 卧式车床可绕制弹簧的种类	147
2.10.2 绕制圆柱形螺旋压缩弹簧	147
2.10.3 绕制圆柱形螺旋拉伸弹簧	148
2.10.4 绕制圆锥形螺旋压缩弹簧	148
2.10.5 绕制橄榄形弹簧	149
2.11 车削细长轴	149
2.11.1 细长轴的加工特点	149
2.11.2 细长轴的装夹	150
2.11.3 车削细长轴常用的切削用量	154
2.11.4 加工细长轴用车刀举例	154
2.11.5 车削细长轴的质量分析	156
2.11.6 典型细长轴零件的加工工艺分析举例	156
第3章 铣削技术	160
3.1 铣刀	160
3.1.1 铣刀切削部分的几何形状和角度的选择	160
3.1.2 铣刀磨钝标准及寿命	164
3.2 分度头及分度方法	165
3.2.1 分度头传动系统及分度头定数	165
3.2.2 分度方法及计算	166
3.3 铣削离合器	170
3.3.1 齿形离合器的种类及特点	170
3.3.2 矩形齿离合器的铣削	171
3.3.3 尖齿（正三角形）离合器的铣削	172
3.3.4 梯形收缩齿离合器的铣削	173
3.3.5 锯齿形离合器的铣削	174
3.3.6 梯形等高齿离合器的铣削	175
3.3.7 螺旋齿离合器的铣削	176
3.4 铣削凸轮	177
3.4.1 凸轮传动的三要素	177
3.4.2 等速圆盘凸轮的铣削	178
3.4.3 等速圆柱凸轮的铣削	179
3.5 铣削球面	180
3.6 铣削刀具齿槽	181
3.6.1 对前角 $\gamma_o = 0^\circ$ 的铣刀开齿	181
3.6.2 对前角 $\gamma_o > 0^\circ$ 的铣刀开齿	183

3.6.3 圆柱螺旋齿铣刀的铣削	184
3.6.4 麻花钻头的铣削	186
3.6.5 端面齿的铣削	186
3.6.6 锥面齿的铣削	187
3.6.7 铰刀的开齿	188
3.7 铣削花键轴	189
3.7.1 花键的定心方式及加工精度	189
3.7.2 在铣床上铣削矩形齿花键轴	190
3.7.3 铣削花键轴时产生误差的原因及解决方法	195
3.7.4 典型矩形齿花键轴零件的加工工艺分析举例	195
3.8 铣削链轮	197
3.8.1 铣削滚子链链轮	197
3.8.2 铣削齿形链链轮	201
第4章 磨削技术	204
4.1 磨削加工基础	204
4.1.1 砂轮安装与修整	204
4.1.2 砂轮修整工具及其选用	206
4.1.3 常用磨削液的名称及性能	208
4.2 外圆磨削	210
4.2.1 工件的装夹	210
4.2.2 砂轮的选择	212
4.2.3 外圆磨削砂轮速度的选择	212
4.2.4 外圆磨削余量的合理选择	213
4.2.5 外圆磨削的质量分析	213
4.3 内圆磨削	215
4.3.1 工件的装夹	215
4.3.2 内圆磨削砂轮的选择及安装	217
4.3.3 内圆磨削砂轮速度的选择	221
4.3.4 内圆磨削余量的合理选择	221
4.3.5 内圆磨削的质量分析	222
4.4 圆锥面磨削	222
4.4.1 圆锥面的磨削方法	222
4.4.2 圆锥面的精度检验	225
4.4.3 圆锥面磨削的质量分析	226
4.5 平面磨削	227
4.5.1 平面磨削形式及特点	227
4.5.2 平面磨削常用方法	228
4.5.3 工件的装夹方法	232
4.5.4 平面磨削砂轮的选择	236

4.5.5 平面磨削砂轮速度的选择	236
4.5.6 平面磨削余量的合理选择	237
4.5.7 平面磨削的质量分析	237
4.6 成形磨削	238
4.6.1 成形磨削的几种方法	238
4.6.2 成形砂轮的修整	239
4.7 薄片工件磨削	244
4.8 细长轴磨削	245
第5章 镗削技术	247
5.1 镗刀	247
5.1.1 单刃镗刀	247
5.1.2 双刃镗刀	248
5.1.3 复合镗刀	249
5.1.4 微调镗刀	251
5.1.5 镗床用攻螺纹夹头	252
5.2 卧式镗床镗削	253
5.2.1 卧式镗床基本工作范围	253
5.2.2 卧式镗床基本定位方法	255
5.2.3 导向装置布置的形式与特点	258
5.2.4 工件定位基准及定位方法	259
5.2.5 镗削基本类型及加工精度分析	260
5.2.6 镗削加工基本方法和计算	264
5.2.7 卧式铣镗床常用测量方法及精度	280
5.2.8 卧式铣镗床加工中常见的质量问题与解决方法	281
5.2.9 典型箱体零件加工工艺分析举例	283
第6章 刨削、插削加工技术	286
6.1 刨削	286
6.1.1 刨削加工方法	286
6.1.2 刨刀类型及切削角度的选择	288
6.1.3 刨削常用的装夹方法	290
6.1.4 刨削工具	292
6.1.5 槽类工件的刨削与切断	293
6.1.6 镶条的刨削	296
6.1.7 刨床的经济加工精度	297
6.1.8 常用刨削用量	297
6.1.9 精刨	298
6.2 插削	302
6.2.1 常用插削方式和加工方法	303
6.2.2 插刀	306

第7章 螺纹加工技术	307
7.1 车削螺纹	307
7.1.1 螺纹车刀	307
7.1.2 螺纹车刀的安裝	320
7.1.3 卧式车床车螺纹交换齿轮计算	322
7.1.4 螺纹车削方法	327
7.1.5 高速钢及硬质合金车刀车削不同材料螺纹的切削用量	328
7.1.6 高速钢车刀车削螺纹时常用切削液	328
7.1.7 典型螺纹零件加工工艺分析举例	329
7.1.8 车削螺纹质量分析	331
7.2 磨削螺纹	332
7.2.1 螺纹磨削方法	333
7.2.2 螺纹磨削砂轮的选择和修整	334
7.2.3 螺纹磨削的工艺要求	335
7.3 旋风铣削螺纹	336
7.3.1 旋风铣削螺纹的方式及适应范围	336
7.3.2 旋风铣削螺纹的刀具材料和几何角度	337
7.3.3 旋风铣削螺纹常用切削用量	338
7.4 用丝锥和板牙切削螺纹	338
7.4.1 用丝锥攻螺纹	338
7.4.2 用板牙套螺纹	349
7.5 螺纹的检测	355
7.5.1 螺纹单项测量方法及测量误差	355
7.5.2 三针测量方法	356
7.5.3 单针测量方法	360
7.5.4 量针规格尺寸	361
7.5.5 综合测量方法	362
第8章 齿轮加工技术	364
8.1 齿轮加工刀具	364
8.1.1 盘形齿轮铣刀的基本形式和尺寸	364
8.1.2 盘形锥齿轮铣刀的形式和基本尺寸	365
8.1.3 渐开线齿轮滚刀的形式和基本尺寸	366
8.2 齿坯加工精度要求	370
8.3 成形法铣削齿轮	371
8.3.1 用成形铣刀铣直齿圆柱齿轮	371
8.3.2 用成形铣刀铣削直齿条、斜齿条	372
8.3.3 用成形铣刀铣斜齿圆柱齿轮	375
8.3.4 用成形铣刀铣直齿锥齿轮	377
8.4 用飞刀展成铣蜗轮	379

8.4.1	铣削方法	379
8.4.2	交换齿轮计算	379
8.4.3	铣头扳角度方向、工件旋转方向及中间轮装置	380
8.4.4	飞刀部分尺寸计算公式	380
8.5	滚齿	383
8.5.1	常用滚齿机连接尺寸	383
8.5.2	常用滚齿夹具及齿轮的安装	385
8.5.3	滚刀心轴和滚刀的安装要求	386
8.5.4	滚刀精度的选用	386
8.5.5	滚齿工艺参数的选择	386
8.5.6	滚齿加工调整	387
8.5.7	滚切大质数齿轮	390
8.5.8	滚齿加工常见缺陷及解决方法	394
8.6	典型齿轮零件的加工工艺分析举例	397
8.6.1	锥齿轮	397
8.6.2	齿轮轴	399
8.7	交换齿轮表	401
8.8	齿轮检测	407
8.8.1	公法线长度的测量	407
8.8.2	分度圆弦齿厚的测量	416
8.8.3	固定弦齿厚的测量	417
8.8.4	齿厚上偏差及公差	418
第9章	钳工技术	421
9.1	划线	421
9.1.1	划线基准的选择	421
9.1.2	划线时的校正和借料	423
9.1.3	划线程序	425
9.1.4	立体划线	426
9.1.5	应用分度头划线	428
9.2	刮削	430
9.2.1	常见刮削的应用及刮削面种类	430
9.2.2	刮削工具	430
9.2.3	刮削用显示剂的种类及应用	437
9.2.4	刮削余量	438
9.2.5	刮削精度要求	439
9.2.6	刮削方法	439
9.2.7	刮削面缺陷的分析	444
9.3	研磨	444
9.3.1	研磨的分类及适用范围	445

9.3.2	研磨剂	445
9.3.3	研具	449
9.3.4	研磨方法	453
9.3.5	研磨的质量分析	458
9.4	钻削、扩削、铰削技术	459
9.4.1	钻削	459
9.4.2	扩孔钻及扩孔	482
9.4.3	铰钻及铰孔	486
9.4.4	铰削	489
9.5	矫正	499
9.5.1	手工矫正方法	499
9.5.2	常用机械矫正方法	503
9.6	弯形	504
9.6.1	弯形件展开长度计算方法	505
9.6.2	弯形方法	507
附录	三角函数表	519

第 1 章 常用技术资料

1.1 常用字母、标准代号及化学元素符号

(1) 拉丁字母（表 1-1）

表 1-1 拉丁字母

大写	小写	近似读音	大写	小写	近似读音	大写	小写	近似读音
A	a	爱	J	j	街	S	s	爱斯
B	b	比	K	k	克	T	t	提
C	c	西	L	l	爱耳	U	u	由
D	d	低	M	m	爱姆	V	v	维衣
E	e	衣	N	n	恩	W	w	打不留
F	f	爱福	O	o	喔	X	x	爱克斯
G	g	基	P	p	皮	Y	y	歪
H	h	爱曲	Q	q	克由	Z	z	挤
I	i	哀	R	r	啊耳			

(2) 希腊字母（表 1-2）

表 1-2 希腊字母

大写	小写	近似读音	大写	小写	近似读音
A	α	阿耳法	N	ν	纽
B	β	贝塔	Ξ	ξ	克西
Γ	γ	伽马	O	ο	奥密克戎
Δ	δ	德耳塔	Π	π	派
E	ε	艾普西隆	P	ρ	洛
Z	ζ	截塔	Σ	σ	西格马
H	η	衣塔	T	τ	滔
Θ	θ	西塔	Υ	υ	依普西隆
I	ι	约塔	Φ	φ	费衣
K	κ	卡帕	X	χ	喜
Λ	λ	兰姆达	Ψ	ψ	普西
M	μ	谬	Ω	ω	欧米嘎

(3) 国家标准代号及含义（表 1-3）

(4) 部分行业标准代号及含义（表 1-4）

表 1-3 国家标准代号及含义

标准代号	含 义	标准代号	含 义
GB	强制性国家标准	GBJ	国家工程建设标准
GB/T	推荐性国家标准	GBW	国家卫生标准
GBn	国家内部标准	GJB	国家军用标准
GB/Z	国家标准化指导性技术文件	GSB	国家实物标准

表 1-4 部分行业标准代号及含义

标准代号	含 义	标准代号	含 义
BB	包装行业标准	JC	建材行业标准
CB	船舶行业标准	JG	建筑工业行业标准
CH	测绘行业标准	JT	交通行业标准
CJ	城镇建设行业标准	LD	劳动和劳动安全行业标准
DL	电力行业标准	LY	林业行业标准
DZ	地质矿产行业标准	QJ	航天工业行业标准
EJ	核工业行业标准	SH	石油化工行业标准
FZ	纺织行业标准	SJ	电子行业标准
HB	航空行业标准	SL	水利行业标准
HG	化工行业标准	SY	石油天然气行业标准
MH	民用航空行业标准	TB	铁路运输行业标准
MT	煤炭行业标准	WB	物资管理行业标准
NY	农业行业标准	WJ	兵工民品行业标准
QB	轻工行业标准	XB	稀土行业标准
QC	汽车行业标准	YB	黑色冶金行业标准
HJ	环境保护行业标准	YD	通信行业标准
JB	机械行业标准	YS	有色冶金行业标准

(5) 主要元素的化学符号、相对原子质量和密度（表 1-5）

表 1-5 主要元素的化学符号、相对原子质量和密度

元素名称	化学符号	相对原子质量	密度 /(g/cm ³)	元素名称	化学符号	相对原子质量	密度 /(g/cm ³)
银	Ag	107.88	10.5	铋	Bi	209.00	9.8
铝	Al	26.97	2.7	溴	Br	79.916	3.12
砷	As	74.91	5.73	碳	C	12.01	1.9~2.3
金	Au	197.2	19.3	钙	Ca	40.08	1.55
硼	B	10.82	2.3	镉	Cd	112.41	8.65
钡	Ba	137.36	3.5	钴	Co	58.94	8.8
铍	Be	9.02	1.9	铬	Cr	52.01	7.19

(续)

元素名称	化学符号	相对原子质量	密度 /(g/cm ³)	元素名称	化学符号	相对原子质量	密度 /(g/cm ³)
铜	Cu	63.54	8.93	镭	Ra	226.05	5
氟	F	19.00	1.11	铷	Rb	85.48	1.53
铁	Fe	55.85	7.87	钌	Ru	101.07	12.2
锗	Ge	72.60	5.36	硫	S	32.06	2.07
汞	Hg	200.61	13.6	锑	Sb	121.76	6.67
碘	I	126.92	4.93	硒	Se	78.96	4.81
铱	Ir	193.1	22.4	硅	Si	28.06	2.35
钾	K	39.096	0.86	锡	Sn	118.70	7.3
镁	Mg	24.32	1.74	锶	Sr	87.63	2.6
锰	Mn	54.93	7.3	钽	Ta	180.88	16.6
钼	Mo	95.95	10.2	钍	Th	232.12	11.5
钠	Na	22.997	0.97	钛	Ti	47.90	4.54
铌	Nb	92.91	8.6	铀	U	238.07	18.7
镍	Ni	58.69	8.9	钒	V	50.95	5.6
磷	P	30.98	1.82	钨	W	183.92	19.15
铅	Pb	207.21	11.34	锌	Zn	65.38	7.17
铂	Pt	195.23	21.45				

1.2 常用数学

1.2.1 代数中的常用公式和相互间的关系

(1) 移项

1) $a + b = c - d$

$$a = (c - d) - b = c - d - b$$
$$b = c - d - a$$
$$c = a + b + d$$
$$d = c - a - b$$

2) $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$

$$bc = ad \quad \frac{a}{c} = \frac{b}{d}$$
$$\frac{d}{b} = \frac{c}{a} \quad \frac{d}{c} = \frac{b}{a}$$

(2) 加减乘除

1) $(+a) + (+b) = +(a+b) = a+b$

$$(+a) + (-b) = a - b$$

$$(+a) - (+b) = a - b$$

$$(+a) - (-b) = a + b$$

$$(-a) + (-b) = -(a + b)$$

$$(-a) + (+b) = -(a - b) = +(b - a)$$

$$(-a) - (-b) = b - a$$

$$(-a) - (+b) = -(a + b)$$

$$2) (+a)(+b) = ab$$

$$(-a)(+b) = -ab$$

$$(-a)(-b) = ab$$

$$(+a) \div (+b) = \frac{a}{b}$$

$$(-a) \div (+b) = -\frac{a}{b}$$

$$(-a) \div (-b) = \frac{a}{b}$$

$$(a + b)(c + d) = ac + bc + ad + bd$$

$$(a - b)(c + d) = ac - bc + ad - bd$$

$$(a + b)(c - d) = ac + bc - ad - bd$$

$$(a - b)(c - d) = ac - bc - ad + bd$$

$$3) a + 0 = a \quad a - 0 = a$$

$$a \times 0 = 0 \quad \frac{0}{a} = 0 (a \neq 0) \quad \frac{a}{0} = \infty$$

$$\frac{a}{b} = \frac{am}{bm} (m \neq 0)$$

$$\frac{a_1}{b} + \frac{a_2}{b} = \frac{a_1 + a_2}{b} \quad \frac{a_1}{b} - \frac{a_2}{b} = \frac{a_1 - a_2}{b}$$

$$\frac{a_1}{b_1 d} + \frac{a_2}{b_2 d} = \frac{a_1 b_2 + a_2 b_1}{b_1 b_2 d}$$

$$\frac{a_1}{b_1 d} - \frac{a_2}{b_2 d} = \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{b_1 b_2 d}$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)m = \frac{am}{b}$$

$$\frac{a}{b} \div c = \frac{a}{bc} = \frac{a}{c} \div b \quad (b \neq 0, c \neq 0)$$

$$a \div \frac{b}{c} = a \left(\frac{c}{b}\right) = \frac{ac}{b}$$

$$\left(\frac{a_1}{b_1}\right)\left(\frac{a_2}{b_2}\right) = \frac{a_1 a_2}{b_1 b_2}$$

$$\frac{a_1}{b_1} \div \frac{a_2}{b_2} = \left(\frac{a_1}{b_1} \right) \left(\frac{b_2}{a_2} \right) = \frac{a_1 b_2}{b_1 a_2}$$

(3) 分解因式

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2 = (a-b)^2 + 4ab$$

$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

$$a^2 + b^2 = (a-b)^2 + 2ab = (a+b)^2 - 2ab$$

$$a^2 - b^2 = (a+b)(a-b)$$

$$(a \pm b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 \pm 2ab + 2ac \pm 2bc$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$$

$$(a \pm b)^4 = a^4 \pm 4a^3b + 6a^2b^2 \pm 4ab^3 + b^4$$

(4) 一元二次方程式求根

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (b^2 - 4ac \geq 0)$$

(5) 幂和根式

$$1) \quad (+a)^{2n} = +a^{2n} = a^{2n} \quad (-a)^{2n} = +a^{2n}$$

$$(+a)^{2n+1} = a^{2n+1} \quad (-a)^{2n+1} = -a^{2n+1}$$

$$(-1)^{2n} = +1 \quad (-1)^{2n+1} = -1 \quad (n=1, 2, 3\cdots)$$

$$a^1 = a \quad 0^1 = 0 \quad 1^n = 1 \quad a^0 = 1 \quad a^{-n} = \frac{1}{a^n} \quad (a \neq 0)$$

$$a^n = \frac{1}{a^{-n}} = \left(\frac{1}{a} \right)^{-n} \quad (a \neq 0)$$

$$\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b} \right)^n = \left(\frac{b}{a} \right)^{-n}$$

$$a^m a^n = a^{m+n} \quad a^m \div a^n = \frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

$$(a^m)^n = (a^n)^m = a^{mn}$$

$$(abc)^n = a^n b^n c^n$$

$$2) \quad \sqrt[n]{0} = 0 \quad \sqrt[n]{1} = 1 \quad \sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{a}$$

$$(\sqrt[n]{a})^n = a$$

$$a^{\frac{1}{n}} \cdot a^{\frac{1}{m}} = a^{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}} = a^{\frac{n+m}{nm}} = \sqrt[nm]{a^{n+m}}$$

$$\sqrt[n]{abc \cdots l} = \sqrt[n]{a} \sqrt[n]{b} \sqrt[n]{c} \cdots \sqrt[n]{l} \quad (a > 0, b > 0, c > 0 \cdots l > 0)$$

$$\left(\frac{a}{b} \right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} \quad (a > 0, b > 0)$$

$$a^{-\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{\frac{1}{a}} = \frac{1}{\sqrt[n]{a}}$$

$$a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a} = \sqrt[mn]{a^m} \quad a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m$$

$$c \sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{ac^n} \quad (c > 0)$$

$$\sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a}$$

$$\sqrt{a} + \sqrt{b} = \sqrt{a+b+2\sqrt{ab}}$$

$$\sqrt{a} - \sqrt{b} = \sqrt{a+b-2\sqrt{ab}} \quad (a > b)$$

$$\frac{c}{\sqrt{a} - \sqrt{b}} = \frac{c(\sqrt{a} + \sqrt{b})}{a - b}$$

$$a^r b^r = (ab)^r$$

1.2.2 三角形的解法和常用公式

(1) 三角函数的定义

在直角三角形 ABC (图 1-1) 中, 如果知道了两条边, 就可以知道锐角 A 或 B 的大小。同样, 如果知道了一条边和一个锐角, 也可以求出另外两条边的大小。

把三角形的 BC 边长用 a 表示, AC 边长用 b 表示, AB 边长用 c 表示, 按下面定义就可得出常用的四个公式:

1) 锐角 A 所对的直角边 a 与斜边 c 的比, 称为锐角 A 的正弦, 即

$$\sin A = \frac{a}{c}$$

2) 锐角 A 相邻的直角边 b 与斜边 c 的比, 称为锐角 A 的余弦, 即

$$\cos A = \frac{b}{c}$$

3) 锐角 A 所对的直角边 a 与此角相邻的直角边 b 的比, 称为锐角 A 的正切, 即

$$\tan A = \frac{a}{b}$$

4) 锐角 A 相邻的直角边 b 与此角所对的直角边 a 的比, 称为锐角 A 的余切, 即

$$\cot A = \frac{b}{a}$$

同样, 锐角 B 有

$$\sin B = \frac{b}{c}$$

$$\cos B = \frac{a}{c}$$

$$\tan B = \frac{b}{a}$$

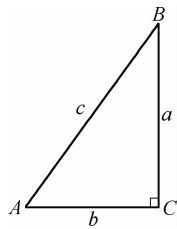


图 1-1 直角三角形

$$\cot B = \frac{a}{b}$$

由以上的关系可知

$$\sin A = \cos B$$

$$\cos A = \sin B$$

$$\tan A = \cot B$$

$$\cot A = \tan B$$

从四个定义中可得

$$a = c \sin A \quad c = \frac{a}{\sin A}$$

$$b = c \cos A \quad c = \frac{b}{\cos A}$$

$$a = b \tan A \quad b = \frac{a}{\tan A}$$

$$b = a \cot A \quad a = \frac{b}{\cot A}$$

(2) 勾股定理

在直角三角形中，斜边的平方等于两条直角边的平方和，即

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

同样，可以把上面公式变为

$$a^2 = c^2 - b^2$$

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b^2 = c^2 - a^2$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

在直角三角形中，如果知道了两条边的长度，就可以应用勾股定理求出第三条边的长度。

[例] $b = 12\text{mm}$, $a = 10\text{mm}$, 求 c 。

解: $c = \sqrt{12^2 + 10^2} \text{mm} = 15.6\text{mm}$

[例] $c = 20\text{mm}$, $b = 12\text{mm}$, 求 a 。

$$a = \sqrt{20^2 - 12^2} \text{mm} = 16\text{mm}$$

(3) 30° 、 45° 、 60° 的三角函数值

30° 、 45° 、 60° 的三角函数值，可以用数学方法求出，不需要查三角函数表。

1) 30° 的函数值。在直角三角形 ABC 中 (图 1-2), $A =$

30° , 根据几何定理, $a = \frac{1}{2}c$, 所以

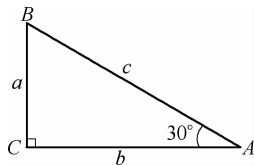


图 1-2 30° 直角三角形

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{c^2 - \left(\frac{1}{2}c\right)^2} = \frac{1}{2}\sqrt{3}c$$

因而

$$\sin 30^\circ = \frac{a}{c} = \frac{\frac{1}{2}c}{c} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$\cos 30^\circ = \frac{b}{c} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{3}c}{c} = \frac{1}{2}\sqrt{3} \approx 0.8660$$

$$\tan 30^\circ = \frac{a}{b} = \frac{\frac{1}{2}c}{\frac{1}{2}\sqrt{3}c} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.5774$$

$$\cot 30^\circ = \frac{b}{a} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{3}c}{\frac{1}{2}c} = \sqrt{3} \approx 1.7321$$

2) 45° 的三角函数值。在直角三角形 ABC (图 1-3) 中, $A = 45^\circ$, $b = a$, 所以

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{a^2 + a^2} = \sqrt{2a^2} = \sqrt{2}a$$

因而

$$\sin 45^\circ = \frac{a}{c} = \frac{a}{\sqrt{2}a} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.7071$$

$$\cos 45^\circ = \frac{b}{c} = \frac{a}{\sqrt{2}a} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.7071$$

$$\tan 45^\circ = \frac{a}{b} = \frac{a}{a} = 1$$

$$\cot 45^\circ = \frac{b}{a} = \frac{a}{a} = 1$$

3) 60° 的三角函数值。在直角三角形 ABC (图 1-4) 中, $A = 60^\circ$,

按几何定理, $b = \frac{1}{2}c$, 所以

$$a = \sqrt{c^2 - b^2} = \sqrt{c^2 - \left(\frac{1}{2}c\right)^2} = \frac{1}{2}\sqrt{3}c$$

因而

$$\sin 60^\circ = \frac{a}{c} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{3}c}{c} = \frac{1}{2}\sqrt{3} \approx 0.8660$$

$$\cos 60^\circ = \frac{b}{c} = \frac{\frac{1}{2}c}{c} = \frac{1}{2} = 0.5$$

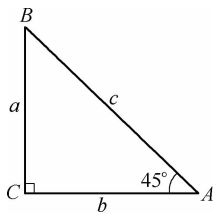


图 1-3 45° 直角三角形

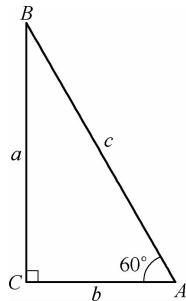


图 1-4 60° 直角三角形

$$\tan 60^\circ = \frac{a}{b} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{3}c}{\frac{1}{2}c} = \sqrt{3} \approx 1.7321$$

$$\cot 60^\circ = \frac{b}{a} = \frac{\frac{1}{2}c}{\frac{1}{2}\sqrt{3}c} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.5774$$

(4) 三角函数表的使用方法(三角函数表见附录)

在解直角三角形时,除了利用已有的几个公式外,还可以应用三角函数表求它的值。这就是由已知角求出其函数值,或者由已知函数值求它的角度。三角函数表是根据各个不同角度的变化计算出来的。这个表包含 $0^\circ \sim 90^\circ$ 间的四个函数值它的用法如下:

每页表格为 1° , 角度 $0^\circ \sim 45^\circ$ 在每页表最上面的中间标出; 角度 $45^\circ \sim 90^\circ$ 从后到前在每页表最下面的中间标出。每页最左一列从上到下为 $0^\circ \sim 45^\circ$ 间每度所对应的分; 最右一列从下到上为 $45^\circ \sim 90^\circ$ 间所对应的分。查表时先找到所对应的度数, 然后再找到对应的分。这个角度与所查的三角函数相交的数值即为该角度的三角函数值。

[例] 从三角函数表中查出 $25^\circ 20'$ 的正弦值。

解: 在三角函数表中先找出 25° 的一页, 在该页的最左列从上到下找出 $20'$, 从 $20'$ 这行向右移至与正弦(\sin)一列相交处, 得

$$\sin 25^\circ 20' = 0.42788$$

[例] 从三角函数表中查出 $40^\circ 34'$ 的余弦值, $73^\circ 50'$ 的正切值和 16° 的余切值。

解: $\cos 40^\circ 34' = 0.75965$

$$\tan 73^\circ 50' = 3.4495$$

$$\cot 16^\circ = 3.4874$$

[例] $\tan A = 0.25862$, 求 A 。

解: 先从正切(\tan)一列中找出 0.25862 , 由此值向左移, 查得 $A = 14^\circ 30'$ 。

[例] 查出下列几个函数的角度

$$1) \sin A = 0.35565$$

$$2) \cot B = 0.62892$$

$$3) \cos C = 0.15011$$

解: 1) $A = 20^\circ 50'$

$$2) B = 57^\circ 50'$$

$$3) C = 81^\circ 22'$$

有时会遇到这样的情况: 知道了某一函数值, 但从三角函数表中查不到与它相等的数, 则必须用计算的方法求其差值。

[例] 已知一函数值 $\sin A = 0.18424$, 求 A 。

解: 由表中 \sin 一栏查出, 当数值为 0.18395 时, 角度为 $10^\circ 36'$; 当数值为 0.18452 时, 角度为 $10^\circ 38'$, 此时函数值差为

$$0.18452 - 0.18395 = 0.00057$$

角度差为

$$10^{\circ}38' - 10^{\circ}36' = 2'$$

由此可知, 当函数值每增加 0.00057 时, 角度增加 $2'$ 。现在函数值只增加 $0.18424 - 0.18395 = 0.00029$, 于是用比例式求出角度的增加值为

$$0.00029 : 0.00057 = x : 2$$

$$x = 2 \times \frac{0.00029}{0.00057} = 1.02' \approx 1'$$

所以 $\sin A = 0.18424$, $A = 10^{\circ}36' + 1' = 10^{\circ}37'$ 。

(5) 直角三角形的解法

根据直角三角形的某些已知元素, 可以求出其余的未知元素。

[例] 已知 $a = 38\text{mm}$, $b = 21\text{mm}$, 求 A 和 c 。

$$\text{解: } \tan A = \frac{a}{b} = \frac{38}{21} = 1.809$$

查三角函数表得 $A = 61^{\circ}4'$ 。

求 c 边有两种方法

用勾股定理

$$c = \sqrt{38^2 + 21^2} \text{mm} = 43.42\text{mm}$$

用三角公式

$$\sin 61^{\circ}4' = \frac{38}{c}$$

$$c = \frac{38}{\sin 61^{\circ}4'} \text{mm} = \frac{38}{0.87518} \text{mm} = 43.42\text{mm}$$

[例] 已知 $c = 40\text{mm}$, $A = 30^{\circ}$, 求 a 和 b 。

$$\text{解: } a = c \sin A = 40 \times \sin 30^{\circ} \text{mm} = 40 \times 0.5 \text{mm} = 20\text{mm}$$

$$b = c \cos A = 40 \times \cos 30^{\circ} \text{mm} = 40 \times 0.866 \text{mm} = 34.64\text{mm}$$

[例] 已知 $b = 26\text{mm}$, $A = 20^{\circ}10'$, 求 a 和 B 。

$$\text{解: } a = b \tan A = 26 \times \tan 20^{\circ}10' \text{mm} = 26 \times 0.36727 \text{mm} = 9.549\text{mm}$$

$$B = 90^{\circ} - 20^{\circ}10' = 69^{\circ}50'$$

(6) 等腰三角形的解法

在三角形中, 如果两条边相等, 则这个三角形叫作等腰三角形(图 1-5)。在等腰三角形中 $AB = BC$, $\angle A = \angle C$, 它的高 BD 垂直并等分底边, 并将此三角形分为两个直角三角形。

[例] 已知 $AB = 50\text{mm}$, $A = 40^{\circ}30'$ 的等腰三角形, 求 $\angle ABD$ 、 C 和 BD 。

$$\text{解: } C = A = 40^{\circ}30'$$

$$\angle ABD = 90^{\circ} - A = 90^{\circ} - 40^{\circ}30' = 49^{\circ}30'$$

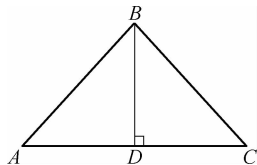


图 1-5 等腰三角形

$$BD = AB \sin A = 50 \times \sin 40^\circ 30' \text{ mm} = 50 \times 0.64945 \text{ mm} = 32.473 \text{ mm}$$

(7) 等边三角形的解法

在三角形中, 如果三条边都相等, 则这个三角形就叫作等边三角形(图 1-6)。等边三角形的三个内角都等于 60° , 其高平分顶角, 并垂直等分底边。

[例] 已知 $BD = 50 \text{ mm}$, 求 $\angle ABD$ 和 AB 。

解: $A = 60^\circ$, $\angle ABD = 90^\circ - A = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$

$$AB = \frac{BD}{\sin A} = \frac{50}{\sin 60^\circ} \text{ mm} = \frac{50}{0.866} \text{ mm} = 57.74 \text{ mm}$$

(8) 斜三角形(正弦定理和余弦定理)的解法

在三角形中, 如果三个内角没有一个为直角, 则这个三角形叫作斜三角形(图 1-7)。

1) 正弦定理。三角形的各边与其对角的正弦成比例, 即

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

[例] 已知 $a = 500 \text{ mm}$, $b = 300 \text{ mm}$, $A = 70^\circ$, 求 C 、 B 和 c 。

$$\text{解: } \frac{500}{\sin 70^\circ} = \frac{300}{\sin B}$$

$$\sin B = \frac{300 \times \sin 70^\circ}{500} = \frac{300 \times 0.93969}{500} = 0.56382$$

$$B \approx 34^\circ 19'$$

$$C = 180^\circ - A - B = 180^\circ - 70^\circ - 34^\circ 19' = 75^\circ 41'$$

$$c = \frac{500 \times \sin 75^\circ 41'}{\sin 70^\circ} \text{ mm} = \frac{500 \times 0.96895}{0.93967} \text{ mm} = 515.58 \text{ mm}$$

[例] 已知 $a = 100 \text{ mm}$, $A = 33^\circ 25'$, $B = 64^\circ 40'$, 求 C 、 b 、 c 。

解: $C = 180^\circ - A - B = 180^\circ - 33^\circ 25' - 64^\circ 40' = 81^\circ 55'$

$$b = \frac{100 \times \sin B}{\sin A} \text{ mm} = \frac{100 \times 0.90383}{0.55073} \text{ mm} = 164.1 \text{ mm}$$

$$c = \frac{100 \times \sin C}{\sin A} \text{ mm} = \frac{100 \times 0.99007}{0.55073} \text{ mm} = 179.8 \text{ mm}$$

2) 余弦定理。三角形一边的平方等于其他两边的平方和减去该两边与其夹角之余弦的乘积的两倍, 即

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bccosA$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2accosB$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2abcosC$$

[例] 已知 $a = 280 \text{ mm}$, $b = 310 \text{ mm}$, $C = 58^\circ$, 求 c 。

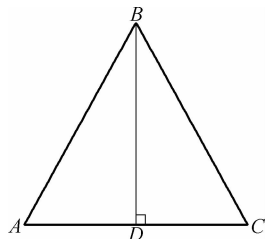


图 1-6 等边三角形

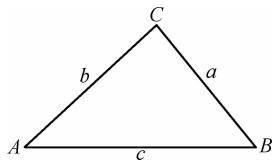


图 1-7 斜三角形

$$\text{解: } c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos C = 280^2 \text{mm}^2 + 310^2 \text{mm}^2 - 2 \times 280 \times 310 \times \cos 58^\circ \text{mm}^2 = 78400 \text{mm}^2 + 96100 \text{mm}^2 - 2 \times 280 \times 310 \times 0.52992 \text{mm}^2 = 82505.88 \text{mm}^2$$

$$c = 287.2 \text{mm}$$

[例] $a = 25 \text{mm}$, $b = 38 \text{mm}$, $c = 52 \text{mm}$, 求 A 。

$$\text{解: } a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos A$$

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} = \frac{38^2 + 52^2 - 25^2}{2 \times 38 \times 52} = 0.89145$$

$$A = 26^\circ 57'$$

(9) 常用公式

1) 同角度三角函数间的关系:

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \quad \tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

2) 诱导公式见表 1-6。

表 1-6 诱导公式

① $\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$	⑤ $\sin(-\alpha) = -\sin \alpha$
② $\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$	⑥ $\cos(-\alpha) = \cos \alpha$
③ $\tan(180^\circ - \alpha) = -\tan \alpha$	⑦ $\tan(-\alpha) = -\tan \alpha$
④ $\cot(180^\circ - \alpha) = -\cot \alpha$	⑧ $\cot(-\alpha) = -\cot \alpha$

3) 两角和、两角差、倍角和半角的三角函数:

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\tan(\alpha + \beta) = \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 - \tan \alpha \tan \beta}$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$\tan(\alpha - \beta) = \frac{\tan \alpha - \tan \beta}{1 + \tan \alpha \tan \beta}$$

$$\sin 2\alpha = 2\sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 2\cos^2 \alpha - 1 = 1 - 2\sin^2 \alpha$$

$$\begin{aligned}\tan 2\alpha &= \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha} \\ \sin \frac{\alpha}{2} &= \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}} \\ \cos \frac{\alpha}{2} &= \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}} \\ \tan \frac{\alpha}{2} &= \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha}\end{aligned}$$

1.3 常用数表及几何图形计算

1.3.1 π的重要函数及 π、25.4 的近似分数

(1) π 的重要函数(表 1-7)

表 1-7 π 的重要函数表

π	3. 141593	$\frac{1}{\pi}$	0. 318310
π ²	9. 869604	$\frac{1}{\pi^2}$	0. 101321
$\sqrt{\pi}$	1. 772454	$\sqrt{\frac{1}{\pi}}$	0. 564190
$\sqrt{2\pi}$	2. 506628	$\sqrt{\frac{1}{2\pi}}$	0. 398942
$\sqrt{\frac{\pi}{2}}$	1. 253314	$\sqrt{\frac{2}{\pi}}$	0. 797885
$\sqrt[3]{\pi}$	1. 464592	$\sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	0. 682784

(2) π 的近似分数(表 1-8)

表 1-8 π 的近似分数

近 似 分 数	误 差	近 似 分 数	误 差
$\pi \approx 3. 1400000 = \frac{157}{50}$	0. 0015927	$\pi \approx 3. 1417112 = \frac{25 \times 47}{22 \times 17}$	0. 0001185
$\pi \approx 3. 1428571 = \frac{22}{7}$	0. 0012644	$\pi \approx 3. 1417004 = \frac{8 \times 97}{13 \times 19}$	0. 0001077
$\pi \approx 3. 1418181 = \frac{32 \times 27}{25 \times 11}$	0. 0002254	$\pi \approx 3. 1416666 = \frac{13 \times 29}{4 \times 30}$	0. 0000739
$\pi \approx 3. 1417322 = \frac{19 \times 21}{127}$	0. 0001395	$\pi \approx 3. 1415929 = \frac{5 \times 71}{113}$	0. 0000002

(3) 25.4 的近似分数 (表 1-9)

表 1-9 25.4 的近似分数

近 似 分 数	误 差
$25.40000 = \frac{127}{5}$	0
$25.41176 = \frac{18 \times 24}{17}$	0.01176
$25.39683 = \frac{40 \times 40}{7 \times 9}$	0.00317
$25.38461 = \frac{11 \times 30}{13}$	0.01539

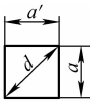
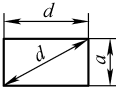
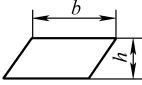
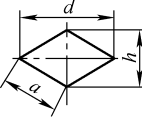
注:25.4 常用于英制与米制单位换算。

1.3.2 常用几何图形计算

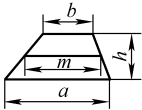
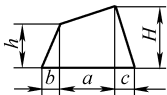
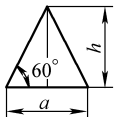
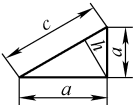
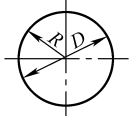
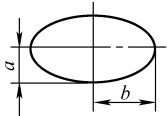
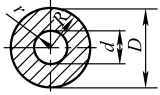
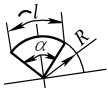
(1) 常用几何图形的面积计算公式(表 1-10)

(2) 常用几何体的表面积和体积的计算公式(表 1-11)

表 1-10 常用几何图形的面积计算公式

名称	图 形	计 算 公 式
正 方 形		面积 $A = a^2$ $a = 0.707d$ $d = 1.414a$
长 方 形		面积 $A = ab$ $d = \sqrt{a^2 + b^2}$ $a = \sqrt{d^2 - b^2}$ $b = \sqrt{d^2 - a^2}$
平 行 四 边 形		面积 $A = bh$ $h = \frac{A}{b}$ $b = \frac{A}{h}$
菱 形		面积 $A = \frac{dh}{2}$ $a = \frac{1}{2} \sqrt{d^2 + h^2}$ $h = \frac{2A}{d}; d = \frac{2A}{h}$

(续)

名称	图 形	计 算 公 式
梯 形		$\text{面积 } A = \frac{a+b}{2}h$ $m = \frac{a+b}{2}$ $h = \frac{2A}{a+b}$ $a = \frac{2A}{h} - b$ $b = \frac{2A}{h} - a$
斜 梯 形		面积 $A = \frac{(H+h)a + bh + cH}{2}$
等 边 三 角 形		$\text{面积 } A = \frac{ah}{2} = 0.433a^2$ $= 0.578h^2$ $a = 1.155h$ $h = 0.866a$
直 角 三 角 形		$\text{面积 } A = \frac{ab}{2}$ $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ $h = \frac{ab}{c}$
圆 形		$\text{面积 } A = \frac{1}{4}\pi D^2$ $= 0.7854D^2 = \pi R^2$ $\text{周长 } c = \pi D$ $D = 0.318c$
椭 圆 形		$\text{面积 } A = \pi ab$
圆 环 形		$\text{面积 } A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ $= 0.785(D^2 - d^2)$ $= \pi(R^2 - r^2)$
扇 形		$\text{面积 } A = \frac{\pi R^2 \alpha}{360^\circ}$ $= 0.008727\alpha R^2 = \frac{Rl}{2}$ $l = \frac{\pi R \alpha}{180^\circ} = 0.01745R\alpha$

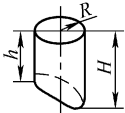
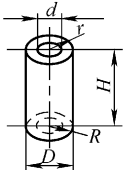
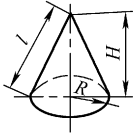
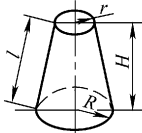
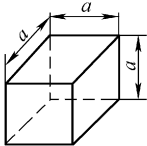
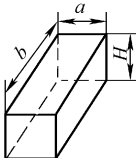
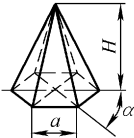
(续)

名称	图 形	计 算 公 式
弓 形		$\text{面积 } A = \frac{lR}{2} - \frac{L(R-h)}{2}$ $R = \frac{L^2 + 4h^2}{8h}$ $h = R - \frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - L^2}$
局 部 圆 环 形		$\text{面积 } A = \frac{\pi\alpha}{360^\circ} (R^2 - r^2)$ $= 0.00873\alpha (R^2 - r^2)$ $= \frac{\pi\alpha}{4 \times 360^\circ} (D^2 - d^2)$ $= 0.00218\alpha (D^2 - d^2)$
抛 物 线 弓 形		$\text{面积 } A = \frac{2}{3}bh$
角 椽		$\text{面积 } A = r^2 - \frac{\pi r^2}{4}$ $= 0.215r^2$ $= 0.1075c^2$
正 多 边 形		$\text{面积 } A = \frac{SK}{2} n = \frac{1}{2} nSR \cos \frac{\alpha}{2}$ $\text{圆心角 } \alpha = \frac{360^\circ}{n}$ $\text{内角 } \gamma = 180^\circ - \frac{360^\circ}{n}$ <p>式中 S——正多边形边长 n——正多边形边数</p>

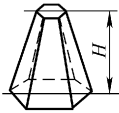
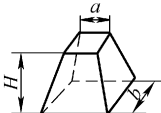
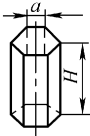
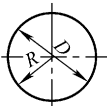
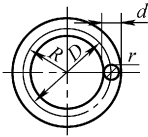
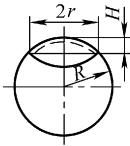
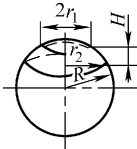
表 1-11 常用几何体的表面积和体积的计算公式

名称	图 形	计 算 公 式
圆 柱 体		$\text{体积 } V = \pi R^2 H = \frac{1}{4} \pi D^2 H$ $\text{侧表面积 } A_0 = 2\pi RH$

(续)

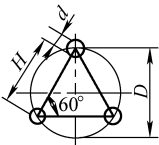
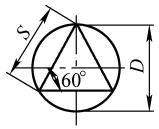
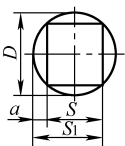
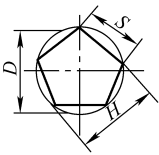
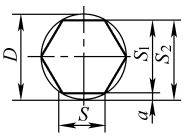
名称	图 形	计 算 公 式
斜底圆柱体		体积 $V = \pi R^2 \frac{H+h}{2}$ 侧表面积 $A_0 = \pi R(H+h)$
空心圆柱体		体积 $V = \pi H(R^2 - r^2)$ $= \frac{1}{4} \pi H(D^2 - d^2)$ 侧表面积 $A_0 = 2\pi H(R+r)$
圆锥体		体积 $V = \frac{1}{3} \pi H R^2$ 侧表面积 $A_0 = \pi R l = \pi R \sqrt{R^2 + H^2}$ 母线 $l = \sqrt{R^2 + H^2}$
截顶圆锥体		体积 $V = (R^2 + r^2 + Rr) \frac{\pi H}{3}$ 侧表面积 $A_0 = \pi l(R+r)$ 母线 $l = \sqrt{H^2 + (R-r)^2}$
正方体		体积 $V = a^3$
长方体		体积 $V = abH$
角锥体		体积 $V = \frac{1}{3} H \times \text{底面积}$ $= \frac{na^2 H}{12} \cot \frac{\alpha}{2}$ 式中 n ——正多边形边数 $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$

(续)

名称	图 形	计 算 公 式
截顶角锥体		$\text{体积 } V = \frac{1}{3}H(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1A_2})$ <p>式中 A_1——顶面积 A_2——底面积</p>
正方锥体		$\text{体积 } V = \frac{1}{3}H(a^2 + b^2 + ab)$
正六角体		$\text{体积 } V = 2.598a^2H$
球 体		$\text{体积 } V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{1}{6}\pi D^3$ $\text{表面积 } A_n = 12.57R^2 = 3.142D^2$
圆 球 环 体		$\begin{aligned} \text{体积 } V &= 2\pi^2 Rr^2 = 19.739Rr^2 \\ &= \frac{1}{4}\pi^2 Dd^2 \\ &= 2.4674Dd^2 \end{aligned}$ $\begin{aligned} \text{表面积 } A_n &= 4\pi^2 Rr \\ &= 39.48Rr \end{aligned}$
截 球 体		$\begin{aligned} \text{体积 } V &= \frac{1}{6}\pi H(3r^2 + H^2) \\ &= \pi H^2 \left(R - \frac{H}{3} \right) \end{aligned}$ $\text{侧表面积 } A_0 = 2\pi RH$
球 台 体		$\text{体积 } V = \frac{1}{6}\pi H[3(r_1^2 + r_2^2) + H^2]$ $\text{侧表面积 } A_0 = 2\pi RH$

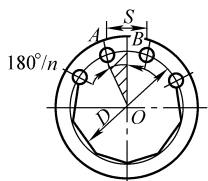
(3) 圆周等分尺寸计算(表 1-12)

表 1-12 圆周等分尺寸计算

名称	图 形	计 算 公 式
内 接 三 角 形		$D = 1.155(H + d)$ $H = \frac{D - 1.155d}{1.155}$
		$D = 1.154S$ $S = 0.866D$
内 接 四 边 形		$D = 1.414S$ $S = 0.707D$ $S_1 = 0.854D$ $a = 0.147D = \frac{D - S}{2}$
内 接 五 边 形		$D = 1.701S$ $S = 0.588D$ $H = 0.951D = 1.618S$
内 接 六 边 形		$D = 2S = 1.155S_1$ $S = \frac{1}{2}D$ $S_1 = 0.866D$ $S_2 = 0.933D$ $a = 0.067D = \frac{D - S_1}{2}$

1.3.3 圆周等分系数表 (表 1-13)

表 1-13 圆周等分系数表



$$S = D \sin \frac{180^\circ}{n} = DK$$

$$K = \sin \frac{180^\circ}{n}$$

式中 n ——等分数

K ——圆周等分系数(查表)

(续)

等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K
3	0.86603	36	0.087156	69	0.045514
4	0.70711	37	0.084805	70	0.044864
5	0.58779	38	0.082580	71	0.044233
6	0.50000	39	0.080466	72	0.043619
7	0.43388	40	0.078460	73	0.043022
8	0.38268	41	0.076549	74	0.042441
9	0.34202	42	0.074731	75	0.041875
10	0.30902	43	0.072995	76	0.041325
11	0.28173	44	0.071339	77	0.040788
12	0.25882	45	0.069756	78	0.040265
13	0.23932	46	0.068243	79	0.039757
14	0.22252	47	0.066792	80	0.039260
15	0.20791	48	0.065403	81	0.038775
16	0.19509	49	0.064073	82	0.038302
17	0.18375	50	0.062791	83	0.037841
18	0.17365	51	0.061560	84	0.037391
19	0.16459	52	0.060379	85	0.036951
20	0.15643	53	0.059240	86	0.036522
21	0.14904	54	0.058145	87	0.036102
22	0.14232	55	0.057090	88	0.035692
23	0.13617	56	0.056071	89	0.035291
24	0.13053	57	0.055087	90	0.034899
25	0.12533	58	0.054138	91	0.034516
26	0.12054	59	0.053222	92	0.034141
27	0.11609	60	0.052336	93	0.033774
28	0.11197	61	0.051478	94	0.033415
29	0.10812	62	0.050649	95	0.033064
30	0.10453	63	0.049845	96	0.032719
31	0.10117	64	0.049067	97	0.032331
32	0.098015	65	0.048313	98	0.032051
33	0.095056	66	0.047581	99	0.031728
34	0.092269	67	0.046872	100	0.031410
35	0.089640	68	0.046183		

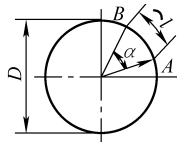
【例】在直径 $D = 80\text{mm}$ 的圆周上钻 31 个等距离的小孔，求两孔的中心距 S 。

解：查表 1-13，31 等分时系数 $K = 0.10117$ ，

$$S = DK = 80\text{mm} \times 0.10117 = 8.09\text{mm}$$

1.3.4 角度与弧度换算(表 1-14)

表 1-14 角度与弧度换算表



AB 弧长 $l = r \times \text{弧度数}$

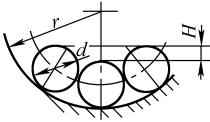
或 $l = 0.017453r\alpha(\text{弧度})$

$= 0.008727D\alpha(\text{弧度})$

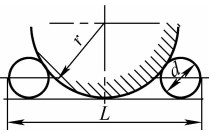
角度	弧 度	角度	弧 度	角度	弧 度
1"	0.000005	6'	0.001745	20°	0.349066
2"	0.000010	7'	0.002036	30°	0.523599
3"	0.000015	8'	0.002327	40°	0.698132
4"	0.000019	9'	0.002618	50°	0.872665
5"	0.000024	10'	0.002909	60°	1.047198
6"	0.000029	20'	0.005818	70°	1.221730
7"	0.000034	30'	0.008727	80°	1.396263
8"	0.000039	40'	0.011636	90°	1.570796
9"	0.000044	50'	0.014544	100°	1.745329
10"	0.000048	1°	0.017453	120°	2.094395
20"	0.000097	2°	0.034907	150°	2.617994
30"	0.000145	3°	0.052360	180°	3.141593
40"	0.000194	4°	0.069813	200°	3.490659
50"	0.000242	5°	0.087266	250°	4.363323
1'	0.000291	6°	0.104720	270°	4.712389
2'	0.000582	7°	0.122173	300°	5.235988
3'	0.000873	8°	0.139626	360°	6.283185
4'	0.001164	9°	0.157080	1rad(弧度) = 57°17'44.8"	
5	0.001454	10°	0.174533		

1.3.5 内圆弧与外圆弧计算(表 1-15)

表 1-15 内圆弧与外圆弧计算

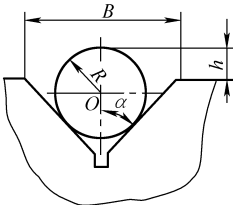
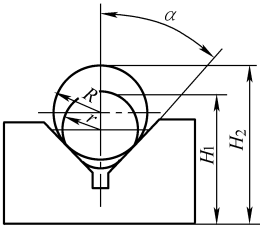
名称	图 形	计算公式	应用举例
内圆弧		$r = \frac{d(d+H)}{2H}$ $H = \frac{d^2}{2\left(r - \frac{d}{2}\right)}$	<p>[例] 已知钢柱直径 $d = 20\text{mm}$, 深度尺读数 $H = 2.3\text{mm}$, 求圆弧工件的半径 r</p> <p>[解] $r = \frac{20(20+2.3)}{2 \times 2.3}\text{mm}$ $\approx 96.96\text{mm}$</p>

(续)

名称	图 形	计算公式	应用举例
外 圆 弧		$r = \frac{(L - d)^2}{8d}$	<p>[例] 已知钢柱直径 $d = 25.4\text{mm}$, $L = 158.699\text{mm}$, 求外圆弧半径 r</p> <p>[解] $r = (L - d)^2 / 8d = (158.699 - 25.4)^2 / 8 \times 25.4\text{mm} = 87.444\text{mm}$</p>

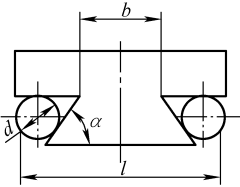
1.3.6 V形槽宽度、角度计算 (表 1-16)

表 1-16 V形槽宽度、角度计算

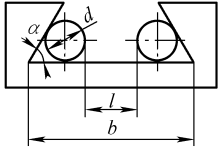
名称	图 形	计算公式	应用举例
V 形 槽 宽 度		$B = 2 \tan \alpha \times \left(\frac{R}{\sin \alpha} + R - h \right)$	<p>[例] 已知钢柱半径 $R = 12.5\text{mm}$, $\alpha = 30^\circ$ 量得 $H = 9.52\text{mm}$, 求槽宽度</p> <p>[解] $B = 2 \tan 30^\circ \times \left(\frac{12.5}{\sin 30^\circ} + 12.5 - 9.52 \right) \text{mm} \approx 32.309\text{mm}$</p>
V 形 槽 角 度		$\sin \alpha = \frac{R - r}{(H_2 - R) - (H_1 - r)}$	<p>[例] 已知大钢柱半径 $R = 15\text{mm}$, 小钢柱半径 $r = 10\text{mm}$, 高度尺读数 $H_2 = 55.6\text{mm}$, $H_1 = 43.53\text{mm}$</p> <p>求 V 形槽斜角 α</p> <p>[解] $\sin \alpha = \frac{15 - 10}{(55.6 - 15) - (43.53 - 10)} \approx 0.7072$</p> <p>$\alpha = 45^\circ 0' 27''$</p>

1.3.7 燕尾与燕尾槽宽度计算 (表 1-17)

表 1-17 燕尾与燕尾槽宽度计算

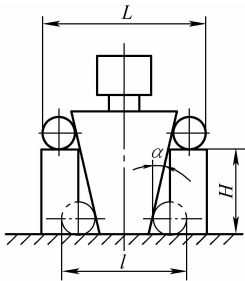
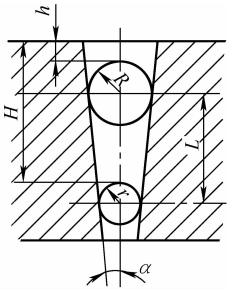
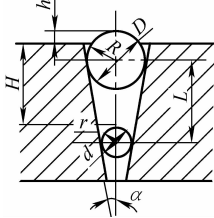
图 形	计算公式	应用举例
	$l = b + d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$ $b = l - d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$	<p>[例] 已知钢柱直径 $d = 10\text{mm}$, $b = 60\text{mm}$, $\alpha = 55^\circ$, 求 l 读数</p> <p>[解] $l = 60 + 10 \times (1 + 1.9210) \text{mm} \approx 89.21\text{mm}$</p>

(续)

图 形	计算公式	应用举例
	$l = b - d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$ $b = l + d \left(1 + \cot \frac{\alpha}{2} \right)$	<p>[例] 已知钢柱直径 $d = 10\text{mm}$, $b = 72\text{mm}$, $\alpha = 55^\circ$, 求 l 读数</p> <p>[解] $l = 72 - 10 \times (1 + 1.9210)\text{mm} = 42.79\text{mm}$</p>

1.3.8 内圆锥与外圆锥计算 (表 1-18)

表 1-18 内圆锥与外圆锥计算

名称	图 形	计算公式	应用举例
外圆锥		$\tan \alpha = \frac{L - l}{2H}$	<p>[例] 已知游标卡尺读数, $L = 32.7\text{mm}$, $l = 28.5\text{mm}$, $H = 15\text{mm}$, 求斜角 α</p> <p>[解] $\tan \alpha = \frac{32.7 - 28.5}{2 \times 15}$ $= 0.1400$ $\alpha = 7^\circ 58' 11''$</p>
内圆锥		$\sin \alpha = \frac{R - r}{L}$ $= \frac{R - r}{H + r - R - h}$	<p>[例] 已知大钢球半径 $R = 10\text{mm}$, 小钢球半径 $r = 6\text{mm}$, 深度尺读数 $H = 24.5\text{mm}$, $h = 2.2\text{mm}$, 求斜角 α</p> <p>[解] $\sin \alpha = \frac{10 - 6}{24.5 + 6 - 10 - 2.2}$ ≈ 0.2186 $\alpha = 12^\circ 37'$</p>
		$\sin \alpha = \frac{R - r}{L}$ $= \frac{R - r}{H + h - R + r}$	<p>[例] 已知大钢球半径 $R = 10\text{mm}$, 小钢球半径 $r = 6\text{mm}$, 深度尺读数 $H = 18\text{mm}$, $h = 1.8\text{mm}$, 求斜角 α</p> <p>[解] $\sin \alpha = \frac{10 - 6}{18 + 1.8 - 10 + 6}$ ≈ 0.2532 $\alpha = 14^\circ 40'$</p>

1.3.9 英寸分数换算成小数和毫米表(表 1-19)

表 1-19 英寸分数换算成小数和毫米表

英寸 (分数)	英寸 (小数)	毫米 (mm)	英寸 (分数)	英寸 (小数)	毫米 (mm)
1/64	0.015625	0.396875	33/64	0.515625	13.096875
1/32	0.03125	0.793750	17/32	0.53125	13.493750
3/64	0.046875	1.190625	35/64	0.546875	13.890625
1/16	0.0625	1.587500	9/16	0.5625	14.287500
5/64	0.078125	1.984375	37/64	0.578125	14.684375
3/32	0.09375	2.381250	19/32	0.59375	15.081250
7/64	0.109375	2.778125	39/64	0.609375	15.478125
1/8	0.125	3.175000	5/8	0.625	15.875000
9/64	0.140625	3.571875	41/64	0.640625	16.271875
5/32	0.15625	3.968750	21/32	0.65625	16.668750
11/64	0.171875	4.365625	43/64	0.671875	17.065625
3/16	0.1875	4.762500	11/16	0.6875	17.462500
13/64	0.203125	5.159375	45/64	0.703125	17.859375
7/32	0.21875	5.556250	23/32	0.71875	18.256250
15/64	0.234375	5.953125	47/64	0.734375	18.653125
1/4	0.25	6.350000	3/4	0.75	19.050000
17/64	0.265625	6.746875	49/64	0.765625	19.446875
9/32	0.28125	7.143750	25/32	0.78125	19.843750
19/64	0.296875	7.540625	51/64	0.796875	20.240625
5/16	0.3125	7.937500	13/16	0.8125	20.637500
21/64	0.328125	8.334375	53/64	0.828125	21.034375
11/32	0.34375	8.731250	27/32	0.84375	21.431250
23/64	0.359375	9.128125	55/64	0.859375	21.828125
3/8	0.375	9.525000	7/8	0.875	22.225000
25/64	0.390625	9.921875	57/64	0.890625	22.621875
13/32	0.40625	10.318750	29/32	0.90625	23.018750
27/64	0.421875	10.715625	59/64	0.921875	23.415625
7/16	0.4375	11.112500	15/16	0.9375	23.812500
29/64	0.453125	11.509375			
15/32	0.46875	11.906250			
31/64	0.484375	12.303125			
1/2	0.5	12.700000			

1.4 法定计量单位及其换算

1.4.1 国际单位制（SI）（GB 3100—1993）

1) 国际单位制的基本单位见表 1-20。

表 1-20 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m	热力学温度	开[尔文]	K
质量	千克(公斤)	kg	物质的量	摩[尔]	mol
时间	秒	s	发光强度	坎[德拉]	cd
电流	安[培]	A			

- 注：1. 圆括号中的名称是它前面的名称的同义词。下同。
2. 无方括号的量的名称与单位名称均为全称。方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略。去掉方括号中的字即为其名称的简称。下同。
3. 本表所称的符号，除特殊指明外，均指我国法定计量单位中所规定的符号以及国际符号。下同。
4. 人民生活和贸易中，质量习惯称为重量。

2) 国际单位制中具有专门名称和符号的导出单位见表 1-21。

表 1-21 国际单位制中具有专门名称和符号的导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[平面]角	弧度	rad	$1\text{ rad} = 1\text{ m/m} = 1$
立体角	球面度	sr	$1\text{ sr} = 1\text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$
频率	赫[兹]	Hz	$1\text{ Hz} = 1\text{ s}^{-1}$
力	牛[顿]	N	$1\text{ N} = 1\text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	$1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$
能[量],功,热量	焦[耳]	J	$1\text{ J} = 1\text{ N} \cdot \text{m}$
功率,辐[射能]通量	瓦[特]	W	$1\text{ W} = 1\text{ J/s}$
电荷[量]	库[仑]	C	$1\text{ C} = 1\text{ A} \cdot \text{s}$
电压,电动势,电位(电势)	伏[特]	V	$1\text{ V} = 1\text{ W/A}$
电容	法[拉]	F	$1\text{ F} = 1\text{ C/V}$
电阻	欧[姆]	Ω	$1\Omega = 1\text{ V/A}$
电导	西[门子]	S	$1\text{ S} = 1\Omega^{-1}$ 或 1 A/V
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$1\text{ Wb} = 1\text{ V} \cdot \text{s}$
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	$1\text{ T} = 1\text{ Wb/m}^2$
电感	亨[利]	H	$1\text{ H} = 1\text{ Wb/A}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$
光通量	流[明]	lm	$1\text{ lm} = 1\text{ cd} \cdot \text{sr}$
[光]照度	勒[克斯]	lx	$1\text{ lx} = 1\text{ lm/m}^2$

3) 国际单位制词头见表 1-22。

表 1-22 国际单位制词头

因 数	词头名称	符 号	因 数	词头名称	符 号
10^{24}	尧 [它]	Y	10^{-1}	分	d
10^{21}	泽 [它]	Z	10^{-2}	厘	c
10^{18}	艾 [可萨]	E	10^{-3}	毫	m
10^{15}	拍 [它]	P	10^{-6}	微	μ
10^{12}	太 [拉]	T	10^{-9}	纳 [诺]	n
10^9	吉 [咖]	G	10^{-12}	皮 [可]	p
10^6	兆	M	10^{-15}	飞 [母托]	f
10^3	千	k	10^{-18}	阿 [托]	a
10^2	百	h	10^{-21}	仄 [普托]	z
10^1	十	da	10^{-24}	幺 [科托]	y

4) 可与国际单位制单位并用的我国法定非国际单位制计量单位见表1-23。

表 1-23 我国选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
时 间	分	min	1 min = 60s
	[小]时	h	1 h = 60min = 3600s
	日(天)	d	1 d = 24h = 86400s
[平面]角	[角]秒	"	1" = ($\pi/648000$) rad (π 为圆周率)
	[角]分	'	1' = 60" = ($\pi/10800$) rad
	度	°	1° = 60' = ($\pi/180$) rad
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min = ($1/60$) s ⁻¹
长度	海里	n mile	1 n mile = 1852m (只用于航程)
速度	节	kn	1 kn = 1 n mile/h = (1852/3600) m/s (只用于航行)
质量	吨	t	1 t = 10 ³ kg
	原子质量单位	u	1 u \approx 1. 660540 \times 10 ⁻²⁷ kg
体积	升	L(1)	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
能	电子伏	eV	1 eV \approx 1. 602177 \times 10 ⁻¹⁹ J
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m = 1 g/km
面积	公顷	hm ²	1 hm ² = 10 ⁴ m ²

注:1. 公顷的国际通用符号为 ha。

2. 升的符号中,小写字母 l 为备用符号。

1.4.2 常用法定计量单位与非法定计量单位的换算 (表1-24)

表 1-24 常用法定计量单位与非法定计量单位的换算

物理量 名称	法定计量单位		非法定计量单位		单 位 换 算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
长度	米 海里	m n mile	公里		1 公里 = 10^3 m
			费密		1 费密 = $1\text{fm} = 10^{-15}$ m
			埃	Å	$1\text{Å} = 0.1\text{nm} = 10^{-10}$ m
			英尺	ft	1ft = 0.3048m
			英寸	in	1in = 0.0254m
			英里	mile	1mile = 1609.344m
			密耳	mil	1mil = 25.4×10^{-6} m
面积	平方米 公顷	m ² hm ²	公亩	a	1a = 10^2 m ²
			平方英尺	ft ²	1ft ² = 0.0929030m ²
			平方英寸	in ²	1in ² = 6.4516×10^{-4} m ²
			平方英里	mile ²	1mile ² = 2.58999×10^6 m ²
体积、容积	立方米 升	m ³ L(1)	立方英尺	ft ³	1ft ³ = 0.0283168m ³
			立方英寸	in ³	1in ³ = 1.63871×10^{-5} m ³
			英加仑	UKgal	1UKgal = 4.54609dm ³
			美加仑	USgal	1USgal = 3.78541dm ³
质量	千克(公斤) 吨 原子质量 单位	kg t u	磅	lb	1lb = 0.45359237kg
			英担(英)	cwt(UK)	1cwt = 50.8023kg
			英吨(长吨)	ton	1ton = 1016.05kg
			美吨(短吨)	sh ton	1sh ton = 907.185kg
			盎司	oz	1oz = 28.3495g
			格令	gr, gn	1gr = 0.06479891g
			夸特	qr, qtr	1qr = 12.7006kg
			[米制]克拉		1[米制]克拉 = 2×10^{-4} kg
热力学温度	开[尔文] 摄氏度	K ℃	华氏度	°F	表示温度差和温度间隔时: 1℃ = 1K
					$1^\circ\text{F} = 1^\circ\text{R} = \frac{5}{9}\text{K}$
					表示温度的数值时: $\frac{t}{^\circ\text{C}} = \frac{T}{\text{K}} - 273.15$
					$\frac{t_{\text{F}}}{^\circ\text{F}} = \frac{9}{5} \frac{t}{^\circ\text{C}} + 32 = \frac{9}{5} \frac{T}{\text{K}} - 459.67$
热力学温度	开[尔文] 摄氏度	K ℃	兰氏度	°R	$\frac{t_{\text{R}}}{^\circ\text{R}} = \frac{9}{5} \frac{T}{\text{K}} = \frac{9}{5} \frac{t}{^\circ\text{C}} + 491.67$

(续)

物理量 名称	法定计量单位		非法定计量单位		单 位 换 算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
力	牛[顿]	N	达因 千克力 磅力 吨力	dyn kgf lbf tf	$1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$ $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$ $1 \text{ lbf} = 4.44822 \text{ N}$ $1 \text{ tf} = 9.80665 \times 10^3 \text{ N}$
压力, 压强, 应力	帕[斯卡]	Pa	巴 千克力每 平方厘米 毫米水柱 毫米汞柱 托 工程大气压 标准大气压 磅力每平 方英尺 磅力每平 方英寸	bar kgf/cm^2 mmH_2O mmHg Torr at atm lbf/ft^2 lbf/in^2	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.0980665 \text{ MPa}$ $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.80665 \text{ Pa}$ $1 \text{ mmHg} = 133.322 \text{ Pa}$ $1 \text{ Torr} = 133.322 \text{ Pa}$ $1 \text{ at} = 98066.5 \text{ Pa} = 98.0665 \text{ kPa}$ $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa}$ $1 \text{ lbf/ft}^2 = 47.8803 \text{ Pa}$ $1 \text{ lbf/in}^2 = 6894.76 \text{ Pa}$ $= 6.89476 \text{ kPa}$
速度	米每秒 节 千米每小时 米每分	m/s kn km/h m/min	英尺每秒 英寸每秒 英里每 [小]时	ft/s in/s mile/h	$1 \text{ ft/s} = 0.3048 \text{ m/s}$ $1 \text{ in/s} = 0.0254 \text{ m/s}$ $1 \text{ mile/h} = 0.44704 \text{ m/s}$ $1 \text{ km/h} = 0.277778 \text{ m/s}$ $1 \text{ m/min} = 0.0166667 \text{ m/s}$
加速度	米每二 次方秒	m/s^2	标准重力 加速度 英尺每二 次方秒 伽	gn 1 ft/s^2 Gal	$1 \text{ gn} = 9.80665 \text{ m/s}^2$ $1 \text{ ft/s}^2 = 0.3048 \text{ m/s}^2$ $1 \text{ Gal} = 10^{-2} \text{ m/s}^2$
密度	千克每 立方米	kg/m^3	磅每立 方英尺 磅每立 方英寸	lb/ft^3 lb/in^3	$1 \text{ lb/ft}^3 = 16.0185 \text{ kg/m}^3$ $1 \text{ lb/in}^3 = 27679.9 \text{ kg/m}^3$
力矩	牛[顿]米	$\text{N} \cdot \text{m}$	千克力米 磅力英尺 磅力英寸	$\text{kgf} \cdot \text{m}$ $\text{lbf} \cdot \text{ft}$ $\text{lbf} \cdot \text{in}$	$1 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 9.80665 \text{ N} \cdot \text{m}$ $1 \text{ lbf} \cdot \text{ft} = 1.35582 \text{ N} \cdot \text{m}$ $1 \text{ lbf} \cdot \text{in} = 0.112985 \text{ N} \cdot \text{m}$

1.4.3 常用单位换算

(1) 长度单位换算 (表 1-25)

表 1-25 长度单位换算

米 (m)	厘米 (cm)	毫米 (mm)	英寸 (in)	英尺 (ft)	码 (yd)	市 尺
1	10 ²	10 ³	39.37	3.281	1.094	3
10 ⁻²	1	10	0.394	3.281 × 10 ⁻²	1.094 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²
10 ⁻³	0.1	1	3.937 × 10 ⁻³	3.281 × 10 ⁻³	1.094 × 10 ⁻³	3 × 10 ⁻³
2.54 × 10 ⁻²	2.54	25.4	1	8.333 × 10 ⁻²	2.778 × 10 ⁻²	7.62 × 10 ⁻²
0.305	30.48	3.048 × 10 ²	12	1	0.333	0.914
0.914	91.44	9.14 × 10 ²	36	3	1	2.743
0.333	33.333	3.333 × 10 ²	13.123	1.094	0.366	1

(2) 面积单位换算 (表 1-26)

表 1-26 面积单位换算

米 ² (m ²)	厘米 ² (cm ²)	毫米 ² (mm ²)	英寸 ² (in ²)	英尺 ² (ft ²)	码 ² (yd ²)	市尺 ²
1	10 ⁴	10 ⁶	1.550 × 10 ³	10.764	1.196	9
10 ⁻⁴	1	10 ²	0.155	1.076 × 10 ⁻³	1.196 × 10 ⁻⁴	9 × 10 ⁻⁴
10 ⁻⁶	10 ⁻²	1	1.55 × 10 ⁻³	1.076 × 10 ⁻⁵	1.196 × 10 ⁻⁶	9 × 10 ⁻⁶
6.452 × 10 ⁻⁴	6.452	6.452 × 10 ²	1	6.944 × 10 ⁻³	7.617 × 10 ⁻⁴	5.801 × 10 ⁻³
9.290 × 10 ⁻²	9.290 × 10 ²	9.290 × 10 ⁴	1.44 × 10 ²	1	0.111	0.836
0.836	8361.3	0.836 × 10 ⁶	1296	9	1	7.524
0.111	1.111 × 10 ³	1.111 × 10 ⁵	1.722 × 10 ²	1.196	0.133	1

(3) 体积单位换算 (表 1-27)

表 1-27 体积单位换算

米 ³ (m ³)	升 (L)	厘米 ³ (cm ³)	英寸 ³ (in ³)	英尺 ³ (ft ³)	美加仑 (USgal)	英加仑 (UKgal)
1	10 ³	10 ⁶	6.102 × 10 ⁴	35.315	2.642 × 10 ²	2.200 × 10 ²
10 ⁻³	1	10 ³	61.024	3.532 × 10 ⁻²	0.264	0.220
10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	6.102 × 10 ⁻²	3.532 × 10 ⁻⁵	2.642 × 10 ⁻⁴	2.200 × 10 ⁻⁴
1.639 × 10 ⁻⁵	1.639 × 10 ⁻²	16.387	1	5.787 × 10 ⁻⁴	4.329 × 10 ⁻³	3.605 × 10 ⁻⁵
2.832 × 10 ⁻²	28.317	2.832 × 10 ⁴	1.728 × 10 ³	1	7.481	6.229
3.785 × 10 ⁻³	3.785	3.785 × 10 ³	2.310 × 10 ²	0.134	1	0.833
4.546 × 10 ⁻³	4.546	4.546 × 10 ³	2.775 × 10 ²	0.161	1.201	1

(4) 质量单位换算 (表 1-28)

表 1-28 质量单位换算

千克 (kg)	克 (g)	毫克 (mg)	吨 (t)	英吨 (ton)	美吨 (shton)	磅 (lb)
1000	1000	1000	1	0.9842	1.1023	2204.6
1			0.001			2.2046
0.001						
1016.05	453.59		1.0161	1	1.12	2240
907.19			0.9072	0.8929	1	2000
0.4536						1

注：1 千克即 1 公斤，英吨又名长吨 (long ton)，美吨又名短吨 (short ton)。

(5) 力单位换算 (表 1-29)

表 1-29 力单位换算

牛顿 (N)	千克力 (kgf)	达因 (dyn)	磅力 (lbf)	磅达 (pdl)
1	0.102	10^5	0.2248	7.233
9.80665	1	9.80665×10^5	2.2046	70.93
10^{-5}	1.02×10^{-6}	1	2.248×10^6	7.233×10^3
4.448	0.4536	4.448×10^5	1	32.174
0.1383	1.41×10^{-2}	1.383×10^4	3.108×10^{-2}	1

(6) 压力单位换算 (表 1-30)

表 1-30 压力单位换算

工程大气压 (at)	标准大气压 (atm)	千克力/毫米 ² (kgf/mm ²)	毫米水柱 (mmH ₂ O)	毫米汞柱 (mmHg)	牛顿/米 ² (N/m ²)
1	0.9678	0.01	10^4	735.6	98067
1.033	1		10332	760	101325
100	96.78	1	10^6	73556	98.07×10^5
0.0001	0.9678×10^{-4}		1	0.0736	9.807
0.00136	0.00132		13.6	1	133.32
1.02×10^{-5}	0.99×10^{-5}	1.02×10^{-7}	0.102	0.0075	1

(7) 功率单位换算 (表 1-31)

表 1-31 功率单位换算

瓦 (W)	千瓦 (kW)	米制马力	英制马力 (hp)	千克力·米/秒 (kgf·m/s)	英尺·磅力/秒 (ft·lbf/s)	千卡/秒 (kcal/s)
1	10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.341×10^{-3}	0.102	0.7376	239×10^{-6}
1000	1	1.36	1.341	102	737.6	0.239
735.5	0.7355	1	0.9863	75	542.5	0.1757
745.7	0.7457	1.014	1	76.04	550	0.1781
9.807	9.807×10^{-3}	13.33×10^{-3}	13.15×10^{-3}	1	7.233	2.342×10^{-3}
1.356	1.356×10^{-3}	1.843×10^{-3}	1.82×10^{-3}	0.1383	1	0.324×10^{-3}
4186.8	4.187	5.692	5.614	426.935	3083	1

(8) 速度单位换算 (表 1-32)

表 1-32 速度单位换算

米/秒 (m/s)	千米/时 (km/h)	英尺/秒 (ft/s)
1	3.600	3.281
0.278	1	0.911
0.305	1.097	1

(9) 角速度单位换算 (表 1-33)

表 1-33 角速度单位换算

弧度/秒 (rad/s)	转/分 (r/min)	转/秒 (r/s)
1	9.554	0.159
0.105	1	0.017
6.283	60	1

1.5 产品几何技术规范

1.5.1 极限与配合 (GB/T 1800.1 ~ 2—2009)

1.5.1.1 术语和定义

(1) 轴

轴通常指工件的圆柱形外尺寸要素,也包括非圆柱形外尺寸要素(由二平行平面或切面形成的被包容面)。

基准轴 在基轴制配合中选作基准的轴。对本标准极限与配合制,即上极限偏差为零的轴。

(2) 孔

孔通常指工件的圆柱形内尺寸要素,也包括非圆柱形内尺寸要素(由二平行平面或切面形成的包容面)。

基准孔 在基孔制配合中选作基准的孔。对本标准极限与配合制,即下极限偏差为零的孔。

(3) 尺寸

尺寸是以特定单位表示线性尺寸值的数值。

1) 公称尺寸:由图样规范确定的理想形状要素的尺寸,见图 1-1 (公称尺寸可以是一个整数或一个小数值,例如 32、15、8.75、0.5……),通过它应用上、下极限偏差可以计算出极限尺寸。

2) 极限尺寸:尺寸要素允许尺寸的两个极端。

3) 上极限尺寸:尺寸要素允许的最大尺寸见图 1-8 (旧标准上极限尺寸被称为最大极限尺寸)。

4) 下极限尺寸:尺寸要素允许的最小尺寸见图 1-8 (旧标

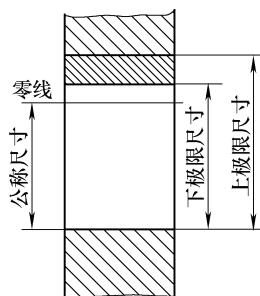


图 1-8 公称尺寸、上极限尺寸和下极限尺寸

准下极限尺寸被称为最小极限尺寸)。

(4) 极限制

极限制是经标准化的公差与偏差制度。

(5) 零线

在极限与配合图解中,表示公称尺寸的一条直线,称作零线。以其为基准确定偏差和公差见图 2-1。通常零线沿水平方向绘制、正偏差位于其上、负偏差位于其下见图 1-9。

(6) 偏差

偏差是某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差。

1) 极限偏差包括上极限偏差和下极限偏差。
轴的上、下极限偏差代号用小写字母 es 、 ei ; 孔的上、下极限偏差代号用大写字母 ES 、 EI 表示。

2) 上极限偏差: 上极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差。

3) 下极限偏差: 下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差。

4) 基本偏差: 在本标准极限与配合制中, 确定公差带相对零线位置的那个极限偏差(它可以是上极限偏差或下极限偏差, 一般为靠近零线的那个偏差为基本偏差)。

(7) 尺寸公差(简称公差)

尺寸公差是上极限尺寸减下极限尺寸之差, 或上极限偏差减下极限偏差之差。它是允许尺寸的变动量(尺寸公差是一个没有符号的绝对值)。

1) 标准公差(IT): 本标准极限与配合制中, 所规定的任一公差(字母 IT 为“国际公差”的符号)。

2) 标准公差等级: 本标准极限与配合制中, 同一公差等级(例如 IT7)对所有公称尺寸的一组公差被认为具有同等精确程度。

3) 公差带: 在极限与配合图解中, 由代表上极限偏差和下极限偏差或上极限尺寸和下极限尺寸的两条直线所限定的一个区域。它是由公差大小和其相对零线的位置如基本偏差来确定, 见图 1-9。

4) 标准公差因子(i, I): 在本标准极限与配合制中, 用以确定标准公差的基本单位, 该因子是公称尺寸的函数(标准公差因子 i 用于基本尺寸至 500mm; 标准公差因子 I 用于公称尺寸大于 500mm)。

(8) 间隙

孔的尺寸减去相配合轴的尺寸之差为正值, 称为间隙, 见图 1-10。

1) 最小间隙: 在间隙配合中, 孔的下极限尺寸减轴的上极限尺寸之差, 见图 1-11。

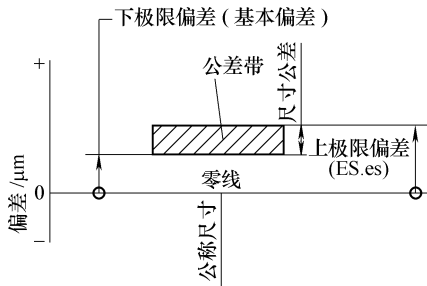


图 1-9 极限与配合图解

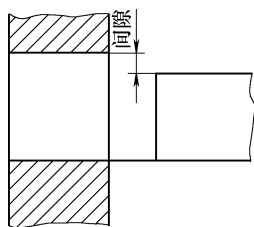


图 1-10 间隙

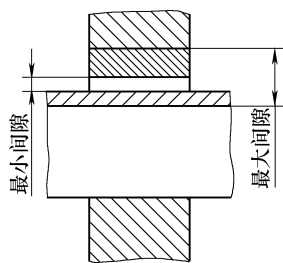


图 1-11 间隙配合

2) 最大间隙：在间隙配合或过渡配合中，孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸之差，见图 1-11 和图 1-12。

(9) 过盈

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸之差为负值，称为过盈见图 1-13。

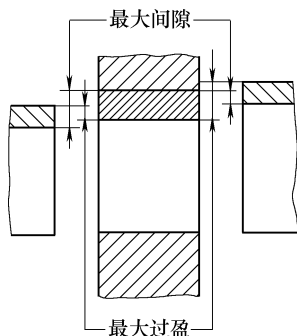


图 1-12 过渡配合

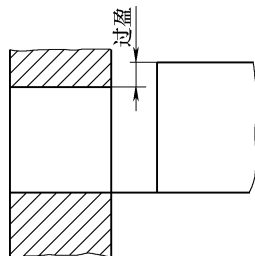


图 1-13 过盈

1) 最小过盈：在过盈配合中，孔的上极限尺寸减轴的下极限尺寸之差，见图 1-14。

2) 最大过盈：在过盈配合或过渡配合中，孔的下极限尺寸减轴的上极限尺寸之差，见图 1-14。

(10) 配合

配合是指公称尺寸相同的，相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

1) 间隙配合：具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带之上，见图 1-15。

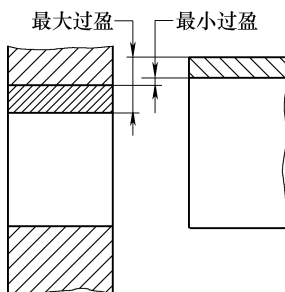


图 1-14 过盈配合

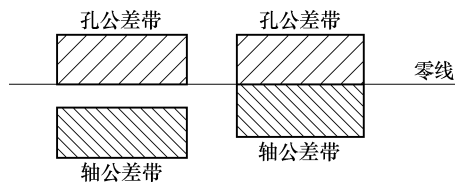


图 1-15 间隙配合的示意图

2) 过盈配合: 具有过盈 (包括最小过盈等于零) 的配合。此时, 孔的公差带在轴的公差带之下, 见图 1-16。

3) 过渡配合: 可能具有间隙或过盈时配合。此时, 孔的公差带与轴的公差带相互交叠, 见图 1-17。

4) 配合公差: 组成配合的孔、轴公差之和。它是允许间隙或过盈的变动量 (配合公差是一个没有符号的绝对值)。

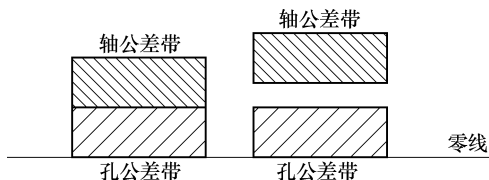


图 1-16 过盈配合的示意图

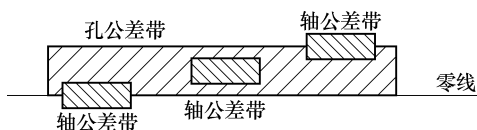


图 1-17 过渡配合的示意图

(11) 配合制

同一极限制的孔和轴组成配合的一种制度。

1) 基轴制配合: 基本偏差为一定的轴的公差带, 与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。对本标准极限与配合制, 是轴的上极限尺寸与公称尺寸相等、轴的上极限偏差为零的一种配合制, 见图 1-18。

2) 基孔制配合: 基本偏差为一定的孔的公差带, 与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。对本标准极限与配合制, 是孔的下极限尺寸与公称尺寸相等、孔的下极限偏差为零的一种配合制, 见图 1-19。

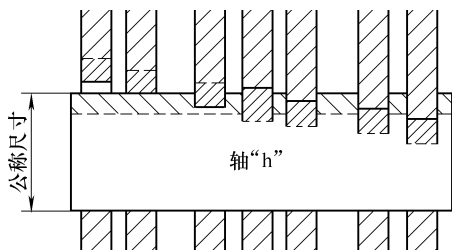


图 1-18 基轴制配合

注: 1. 水平实线代表孔或轴的基本偏差。

2. 虚线代表另一极限, 表示孔和轴之间可能的不同组合与它们的公差等级有关。

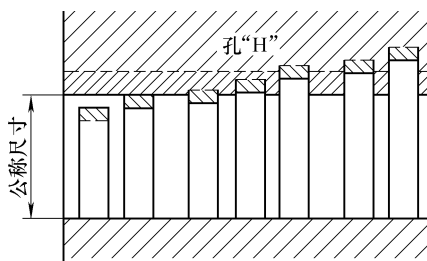


图 1-19 基孔制配合

注: 1. 水平实线代表孔或轴的基本偏差。

2. 虚线代表另一极限, 表示孔和轴之间可能的不同组合与它们的公差等级有关。

1.5.1.2 基本规定

(1) 公称尺寸分段 (表 1-34)

表 1-34 公称尺寸分段 (单位: mm)

主段落		中间段落		主段落		中间段落		主段落		中间段落		主段落		中间段落	
大于	至	大于	至	大于	至	大于	至	大于	至	大于	至	大于	至	大于	至
—	3	—	—	80	120	80	100	315	400	315	355	1000	1250	1000	1120
3	6	—	—			100	120			355	400			1120	1250
6	10	—	—	120	180	120	140	400	500	400	450	1250	1600	1250	1400
10	18	10	14			140	160			450	500			1400	1600
		14	18			160	180			500	560			1600	1800
18	30	18	24	180	250	180	200	500	630	560	630	1600	2000	1800	2000
		24	30			200	225			630	710			2000	2240
30	50	30	40			225	250	630	800	710	800	2000	2500	2240	2500
		40	50	250	315	250	280			800	900	2500	3150	2500	2800
50	80	50	65			280	315	800	1000	900	1000			2800	3150
		65	80												

(2) 标准公差的等级、代号及数值

标准公差分 20 级, 即: IT01、IT0、IT1 ~ IT18。IT 表示标准公差, 公差的等级代号用阿拉伯数字表示。从 IT01 ~ IT18 等级依次降低, 当其与代表基本偏差的字母一起组成公差带时, 省略“IT”字母, 如: h7, 各级标准公差的数值规定见表 1-35。

表 1-35 标准公差数值

公称尺寸 /mm		公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm														mm					
—	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6

(续)

公称尺寸 /mm		公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm												mm							
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7
500	630	4.5	6	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0.70	1.10	1.75	2.8	4.4	7.0	11.0
630	800	5	7	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0.80	1.25	2.00	3.2	5.0	8.0	12.5
800	1000	5.5	8	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0.90	1.40	2.30	3.6	5.6	9.0	14.0
1000	1250	6.5	9	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.60	4.2	6.6	10.5	16.5
1250	1600	8	11	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.10	5.0	7.8	12.5	19.5
1600	2000	9	13	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1.50	2.30	3.70	6.0	9.2	15.0	23.0
2000	2500	11	15	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.80	4.40	7.0	11.0	17.5	28.0
2500	3150	13	18	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2.10	3.30	5.40	8.6	13.5	21.0	33.0

注：1. 公称尺寸小于或等于 1mm 时，无 IT14 ~ IT18。

2. 公称尺寸大于 500mm 的 IT1 ~ IT15 的标准公差数值为试行的。

在 GB/T 1800.1—2009 前言中，虽然删去了标准公差等级 IT01 和 IT0。为满足使用者的需要，允许在有关资料中给出。本册中仍保留了这两个级别。

(3) 基本偏差的代号

基本偏差的代号用拉丁字母表示，大写的为孔，小写的为轴，各 28 个。

孔：A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, J, JS, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC。

轴：a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc。

其中，H 代表基准孔，h 代表基准轴（图 1-20）。

(4) 偏差代号

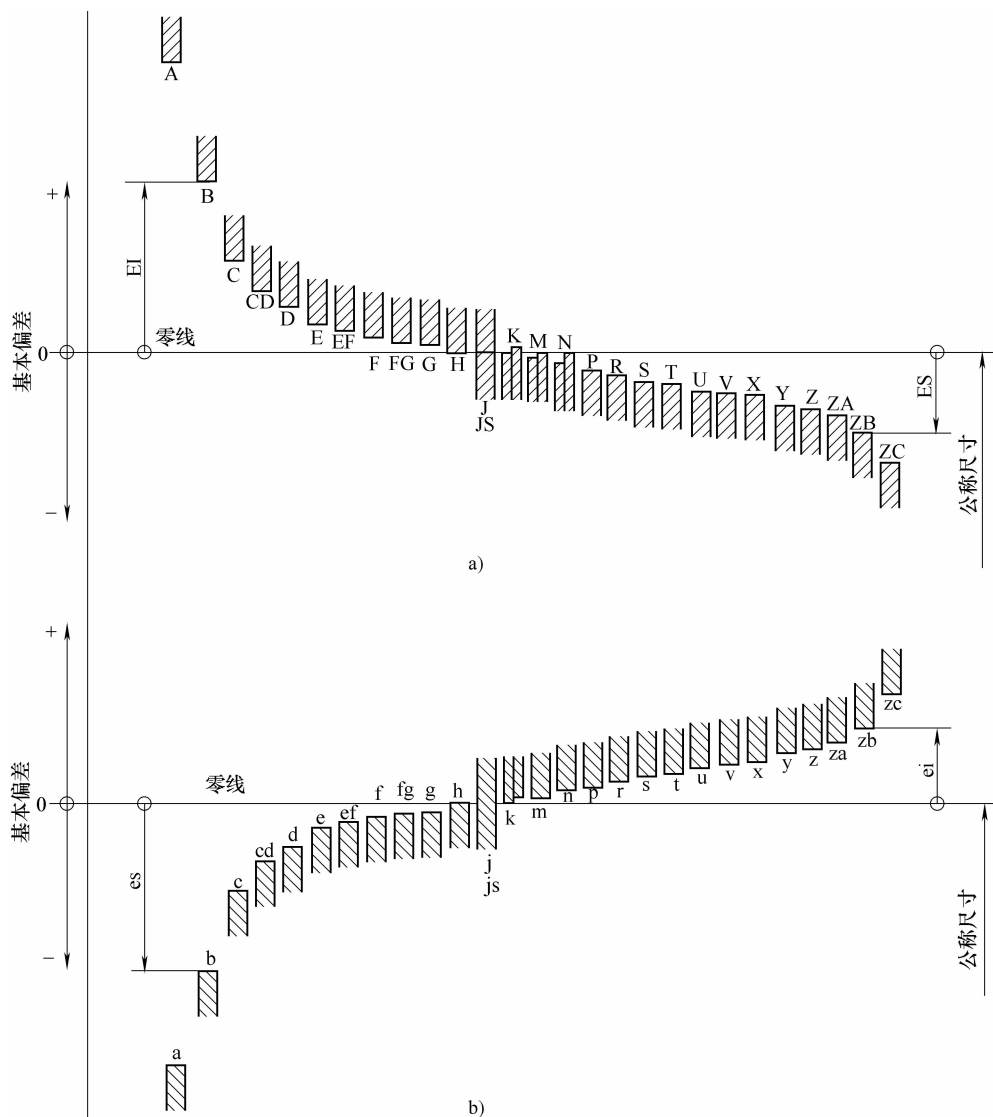


图 1-20 基本偏差系列示意图

a) 孔 b) 轴

偏差代号规定如下：孔的上极限偏差 ES，孔的下极限偏差 EI；轴的上极限偏差 es；轴的下极限偏差 ei。

(5) 轴的极限偏差

轴的基本偏差从 a 到 h 为上偏差；从 j 到 zc 为下偏差。

轴的基本偏差数值见表 1-36。

(单位: μm)

基本偏差		上 偏 差 (es)										js	
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g		h
公称尺寸/mm		公 差 等 级											
大于	至	所 有 等 级											
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	偏差 = ± IT/2
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	
10	14	-290	-150	-95	—	-50	-32	—	-16	—	-6	0	
14	18												
18	24	-300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7	0	
24	30												
30	40	-310	-170	-120	—	-80	-50	—	-25	—	-9	0	
40	50	-320	-180	-130									
50	60	-340	-190	-140	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0	
65	80	-360	-200	-150									
80	100	-380	-220	-170	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0	
100	120	-410	-240	-180									
120	140	-460	-260	-200	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0	
140	160	-520	-280	-210									
160	180	-580	-310	-230									
180	200	-660	-340	-240									
200	225	-740	-380	-260	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0	
225	250	-820	-420	-280									
250	280	-920	-480	-300	—	-190	-110	—	-56	—	-17	0	
280	315	-1050	-540	-330									
315	355	-1200	-600	-360	—	-210	-125	—	-62	—	-18	0	
355	400	-1350	-680	-400									
400	450	-1500	-760	-440	—	-230	-135	—	-68	—	-20	0	
450	500	-1650	-840	-480									

(续)

基本偏差		下 偏 差 (ei)									
		j		k		m	n	p	r	s	
公差尺寸/mm		公 差 等 级									
大于	至	5、6	7	8	4 至 7	≤3 ＞7	所有等级				
—	3	－2	－4	－6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14
3	6	－2	－4	—	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19
6	10	－2	－5	—	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23
10	14	－3	－6	—	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28
14	18										
18	24	－4	－8	—	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35
24	30										
30	40	－5	－10	—	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43
40	50										
50	65	－7	－12	—	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53
65	80									+43	+59
80	100	－9	－15	—	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71
100	120									+54	+79
120	140	－11	－18	—	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92
140	160									+65	+100
160	180									+68	+108
180	200	－13	－21	—	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122
200	225									+80	+130
225	250									+84	+140
250	280	－16	－26	—	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158
280	315									+98	+170
315	355	+18	－28	—	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190
355	400									+114	+208
400	450	－20	－32	—	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232
450	500									+132	+252

(续)

基本偏差		下 偏 差 (ei)								
		t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
公称尺寸/mm		公 差 等 级								
大于	至	所 有 等 级								
—	3	—	+18	—	+20	—	+26	+32	+40	+60
3	6	—	+23	—	+28	—	+35	+42	+50	+80
6	10	—	+28	—	+34	—	+42	+52	+67	+97
10	14	—	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130
14	18			+39	+45	—	+60	+77	+108	+150
18	24	—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30	+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30	40	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50	+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180	200	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225	250	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250	280	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355	400	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450	500	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

注：1. 基本尺寸小于 1mm 时，各级的 a 和 b 均不采用。

2. js 的数值：对 IT7 ~ IT11，若 IT 的数值 (μm) 为奇数，则取 $js = \pm \frac{IT - 1}{2}$ 。

轴的另一个偏差（下极限偏差或上极限偏差），根据轴的基本偏差和标准公差，按以下代数式计算：

$$ei = es - IT \text{ 或 } es = ei + IT$$

孔的基本偏差数值见表 1-37。

(单位: μm)

基本偏差		下 偏 差 (EI)											Js
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	
公称尺寸/mm		公 差 等 级											
大于	至	所 有 等 级											
—	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	偏差 = ±IT/2
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	
10	14	+290	+150	+95	—	+50	+32	—	+16	—	+6	0	
14	18												
18	24	+300	+160	+110	—	+65	+40	—	+20	—	+7	0	
24	30												
30	40	+310	+170	+120	—	+80	+50	—	+25	—	+9	0	
40	50	+320	+180	+130									
50	65	+340	+190	+140	—	+100	+60	—	+30	—	+10	0	
65	80	+360	+200	+150									
80	100	+380	+220	+170	—	+120	+72	—	+36	—	+12	0	
100	120	+410	+240	+180									
120	140	+460	+260	+200	—	+145	+85	—	+43	—	+14	0	
140	160	+520	+280	+210									
160	180	+580	+310	+230									
180	200	+660	+340	+240	—	+170	+100	—	+50	—	+15	0	
200	225	+740	+380	+260									
225	250	+820	+420	+280									
250	280	+920	+480	+300	—	+190	+110	—	+56	—	+17	0	
280	315	+1050	+540	+330									
315	355	+1200	+600	+360	—	+210	+125	—	+62	—	+18	0	
355	400	+1350	+680	+400									
400	450	+1500	+760	+440	—	+230	+135	—	+68	—	+20	0	
450	500	+1650	+840	+480									

(续)

[illegible]

(续)

基本偏差		上 偏 差 (ES)								
		P 至 ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y
公称尺寸/mm		公 差 等 级								
大于	至	≤7	>7							
—	3	在 >7 级 的相应 数值上 增加一个 Δ 值	-6	-10	-14	—	-18	—	-20	—
3	6		-12	-15	-19	—	-23	—	-28	—
6	10		-15	-19	-23	—	-28	—	-34	—
10	14		-18	-23	-28	—	-33	—	-40	—
14	18							-39	-45	—
18	24		-22	-28	-35	—	-41	-47	-54	-63
24	30					-41	-48	-55	-64	-75
30	40		-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94
40	50					-54	-70	-81	-97	-114
50	65		-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144
65	80			-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174
80	100		-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214
100	120			-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254
120	140		-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300
140	160			-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340
160	180			-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380
180	200		-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425
200	225			-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470
225	250			-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520
250	280		-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580
280	315			-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650
315	355		-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730
355	400			-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820
400	450		-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920
450	500			-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000

(续)

基本偏差		上偏差（ES）				Δ					
		Z	ZA	ZB	ZC						
公称尺寸/mm		公 差 等 级									
大于	至	> 7				3	4	5	6	7	8
—	3	− 26	− 32	− 40	− 60	0					
3	6	− 35	− 42	− 50	− 80	1	1. 5	1	3	4	6
6	10	− 42	− 52	− 67	− 97	1	1. 5	2	3	6	7
10	14	− 50	− 64	− 90	− 130	1	2	3	3	7	9
14	18	− 60	− 77	− 108	− 150						
18	24	− 73	− 98	− 136	− 188	1. 5	2	3	4	8	12
24	30	− 88	− 118	− 160	− 218						
30	40	− 112	− 148	− 200	− 274	1. 5	3	4	5	9	14
40	50	− 136	− 180	− 242	− 325						
50	65	− 172	− 226	− 300	− 405	2	3	5	6	11	16
65	80	− 210	− 274	− 360	− 480						
80	100	− 258	− 335	− 445	− 585	2	4	5	7	13	19
100	120	− 310	− 400	− 525	− 690						
120	140	− 365	− 470	− 620	− 800	3	4	6	7	15	23
140	160	− 415	− 535	− 700	− 900						
160	180	− 465	− 600	− 780	− 1000						
180	200	− 520	− 670	− 880	− 1150	3	4	6	9	17	26
200	225	− 575	− 740	− 960	− 1250						
225	250	− 640	− 820	− 1050	− 1350						
250	280	− 710	− 920	− 1200	− 1550	4	4	7	9	20	29
280	315	− 790	− 1000	− 1300	− 1700						
315	355	− 900	− 1150	− 1500	− 1900	4	5	7	11	21	32
355	400	− 1000	− 1300	− 1650	− 2100						
400	450	− 1100	− 1450	− 1850	− 2400	5	5	7	13	23	34
450	500	− 1250	− 1600	− 2100	− 2600						

- 注：1. 公称尺寸小于 1mm 时，各级的 A 和 B 及大于 8 级的 N 均不采用。
2. Js 的数值：对 IT7 ~ IT11，若 IT 的数值 (μm) 为奇数，则取 $J_s = \pm \frac{IT - 1}{2}$ 。
3. 特殊情况：当公称尺寸大于 250 至 315mm 时，M6 的 ES 等于 -9μm (不等于 -11μm)。
4. 对小于或等于 IT8 的 K、M、N 和小于或等于 IT7 的 P 至 ZC，所需 Δ 值从表内右侧栏选取。例如：大于 6 至 10mm 的 P6，Δ = 3μm，所以 ES = -15 + 3 = -12μm。

孔的另一个偏差（上极限偏差或下极限偏差），根据孔的基本偏差和标准公差，按以下代数式计算：

$$ES = EI + IT \text{ 或 } EI = ES - IT$$

(7) 公差带代号

孔、轴公差带代号用基本偏差代号与公差等级代号组成。例如：H8、F8、K7、P7等为孔的公差带代号；h7、f7、k6、p6等为轴的公差带代号。其表示方法可以用下列示例之一：

孔： $\phi 50H8$ ， $\phi 50 \begin{smallmatrix} +0.039 \\ 0 \end{smallmatrix}$ ， $\phi 50H8(\begin{smallmatrix} +0.039 \\ 0 \end{smallmatrix})$ ；

轴： $\phi 50f7$ ， $\phi 50 \begin{smallmatrix} -0.025 \\ -0.050 \end{smallmatrix}$ ， $\phi 50f7(\begin{smallmatrix} -0.025 \\ -0.050 \end{smallmatrix})$ 。

(8) 基准制

标准规定有基孔制和基轴制。在一般情况下，优先采用基孔制。如有特殊需要，允许将任一孔、轴公差带组成配合。

(9) 配合代号

配合代号用孔、轴公差带的组合表示，写成分数形式，分子为孔的公差带，分母为轴的公差带。例如： $H8/f7$ 或 $\frac{H8}{f7}$ 。其表示方法可用以下示例之一：

$\phi 50H8/f7$ 或 $\phi 50 \frac{H8}{f7}$ ； $10H7/n6$ 或 $10 \frac{H7}{n6}$ 。

(10) 配合分类

标准的配合有三类，即间隙配合、过渡配合和过盈配合。属于哪一类配合取决于孔、轴公差带的相互关系。

基孔制（基轴制）中，a到h（A到H）用于间隙配合；j到zc（J到ZC）用于过渡配合和过盈配合。

(11) 公差带及配合的选用原则

孔、轴公差带及配合，首先采用优先公差带及优先配合，其次采用常用公差带及常用配合，再次采用一般用途公差带。

必要时，可按标准所规定的标准公差与基本偏差组成孔、轴公差带及配合。

1.5.1.3 孔、轴的极限偏差与配合（GB/T 1801—2009）

(1) 孔的常用和优先公差带（尺寸 $\leq 500\text{mm}$ ）（图 1-21）

(2) 轴的常用和优先公差带（尺寸 $\leq 500\text{mm}$ ）（图 1-22）

(3) 轴、孔的极限偏差数值（表 1-38 ~ 表 1-39）

1.5.1.4 极限偏差及相关配合的计算

(1) 极限偏差的计算

根据孔、轴极限偏差表可直接查出上、下偏差。表 1-38、表 1-39 是 $\leq 500\text{mm}$ 优先用途轴和孔的极限偏差表。

[例] 求 $\phi 70f7$ 的极限偏差

表 1-38 尺寸 ≤500mm 优先用途轴的极限偏差 (单位: μm)

公称尺寸 /mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
—	3	-60	-20	-6	-2	0	0	0	0	+6	+10	+12	+20	+24
		-120	-45	-16	-8	-6	-10	-25	-60	0	+4	+6	+14	+18
3	6	-70	-30	-10	-4	0	0	0	0	+9	+16	+20	+27	+31
		-145	-60	-22	-12	-8	-12	-30	-75	+1	+8	+12	+19	+23
6	10	-80	-40	-13	-5	0	0	0	0	+10	+19	+24	+32	+37
		-170	-76	-28	-14	-9	-15	-36	-90	+1	+10	+15	+23	+28
10	14	-95	-50	-16	-6	0	0	0	0	+12	+23	+29	+39	+44
14	18	-205	-93	-34	-17	-11	-18	-43	-110	+1	+12	+18	+28	+33
18	24	-110	-65	-20	-7	0	0	0	0	+15	+28	+35	+48	+54
		-240	-117	-41	-20	-13	-21	-52	-130	+2	+15	+22	+35	+41
24	30	-120	-80	-25	-9	0	0	0	0	+18	+33	+42	+59	+76
		-280	-142	-50	-25	-16	-25	-62	-160	+2	+17	+26	+43	+60
30	40	-130	-142	-50	-25	-16	-25	-62	-160	+2	+17	+26	+43	+86
40	50	-290	-142	-50	-25	-16	-25	-62	-160	+2	+17	+26	+43	+70
50	65	-140	-100	-30	-10	0	0	0	0	+21	+39	+51	+72	106
		-330	-174	-60	-29	-19	-30	-74	-190	+2	+20	+32	+53	+87
65	80	-150	-174	-60	-29	-19	-30	-74	-190	+2	+20	+32	+78	+121
		-340	-174	-60	-29	-19	-30	-74	-190	+2	+20	+32	+59	+102
80	100	-170	-120	-36	-12	0	0	0	0	+25	+45	+59	+93	+146
		-390	-207	-71	-34	-22	-35	-87	-220	+3	+23	+37	+71	+124
100	120	-180	-207	-71	-34	-22	-35	-87	-220	+3	+23	+37	+101	+166
		-400	-207	-71	-34	-22	-35	-87	-220	+3	+23	+37	+79	+144
120	140	-200	-145	-43	-14	0	0	0	0	+28	+52	+68	+117	+195
		-450	-245	-83	-39	-25	-40	-100	-250	+3	+27	+43	+92	+170
140	160	-210	-145	-43	-14	0	0	0	0	+28	+52	+68	+125	+215
		-460	-245	-83	-39	-25	-40	-100	-250	+3	+27	+43	+100	+190
160	180	-230	-145	-43	-14	0	0	0	0	+28	+52	+68	+133	+235
		-480	-245	-83	-39	-25	-40	-100	-250	+3	+27	+43	+108	+210
180	200	-240	-170	-50	-15	0	0	0	0	+33	+60	+79	+151	+265
		-530	-285	-96	-44	-29	-46	-115	-290	+4	+31	+50	+122	+236
200	225	-260	-285	-96	-44	-29	-46	-115	-290	+4	+31	+50	+159	+287
		-550	-285	-96	-44	-29	-46	-115	-290	+4	+31	+50	+130	+258

(续)

公称尺寸 /mm		公差带												
		c	d	f	g	h				k	n	p	s	u
大于	至	11	9	7	6	6	7	9	11	6	6	6	6	6
225	250	-280	-170	-50	-15	0	0	0	0	+33	+60	+79	+169	+313
		-570	-285	-96	-44	-29	-46	-115	-290	+4	+31	+50	+140	+284
250	280	-030	-190	-56	-17	0	0	0	0	+36	+66	+88	+190	+347
		-620											+158	+315
280	315	-330	-320	-108	-49	-32	-52	-130	-320	+4	+34	-56	+202	+382
		-650											+170	+350
315	355	-360	-210	-62	-18	0	0	0	0	+40	+73	+98	+226	+426
		-720											+190	+390
355	400	-400	-350	-119	-54	-36	-57	-140	-360	+4	+37	+62	+244	+471
		-760											+208	+435
400	450	-440	-230	-68	-20	0	0	0	0	+45	+80	+108	+272	+530
		-840											+232	+490
450	500	-480	-385	-131	-60	-40	-63	-155	-400	+5	+40	+68	+292	+580
		-880											+252	+540

表 1-39 尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 优先用途孔的极限偏差 (单位: μm)

公称尺寸 /mm		公差带												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
—	3	+120 +60	+45 +20	+20 +6	+12 +2	+10 0	+14 0	+25 0	+60 0	0 -10	-4 -14	-6 -16	-14 -24	-18 -28
3	6	+145 +70	+60 +30	+28 +10	+16 +4	+12 0	+18 0	+30 0	+75 0	+3 -9	-4 -16	-8 -20	-15 -27	-19 -31
6	10	+170 +80	+76 +40	+35 +13	+20 +5	+15 0	+22 0	+36 0	+90 0	+5 -10	-4 -19	-9 -24	-17 -32	-22 -37
10	14	+205	+93	+43	+24	+18	+27	+43	+110	+6	-5	-11	-21	-26
14	18	+95	+50	+16	+6	0	0	0	0	-12	-23	-29	-39	-44
18	24	+240 +110	+117 +65	+53 +20	+28 +7	+21 0	+33 0	+52 0	+130 0	+6 -15	-7 -28	-14 -35	-27 -48	-33 -54
24	30													-40 -61

(续)

公称尺寸 /mm		公差带												
		C	D	F	G	H				K	N	P	S	U
大于	至	11	9	8	7	7	8	9	11	7	7	7	7	7
30	40	+280 +120	+142	+64	+34	+25	+39	+62	+160	+7	-8	-17	-34	-51 -76
40	50	+290 +130	+30	+25	+9	0	0	0	0	-18	-33	-42	-59	-61 -86
50	65	+330 +140	+174	+76	+40	+30	+46	+74	+190	+9	-9	-21	-42 -72	-76 -106
65	80	+340 +150	+100	+30	+10	0	0	0	0	-21	-39	-51	-45 -78	-91 -121
80	100	+390 +170	+207	+90	+47	+35	+54	+87	+220	+10	-10	-24	-58 -93	-111 -146
100	120	+490 +180	+120	+36	+12	0	0	0	0	-25	-45	-59	-66 -101	-131 -166
120	140	+450 +200											-77 -117	-55 -195
140	160	+460 +210	+245 +145	+106 +43	+54 +14	+40 0	+63 0	+100 0	+250 0	+12 -18	-12 -52	-28 -68	-85 -125	-175 -215
160	180	+480 +230											-93 -133	-195 -235
180	200	+530 +240											-105 -151	-219 -265
200	225	+550 +260	+285 +170	+122 +50	+61 +15	+46 0	+72 0	+115 0	+290 0	+13 -33	-14 -60	-33 -79	-113 -159	-241 -287
225	250	+570 +280											-123 -169	-267 -313
250	280	+620 +300	+320	+137	+69	+52	+81	+130	+320	+16	-14	-36	-138 -190	-295 -347
280	315	+650 +330	+190	+56	+17	0	0	0	0	-36	-66	-88	-150 -202	-330 -382
315	355	+720 +360	+350	+151	+75	+57	+89	+140	+360	+17	-16	-41	-169 -226	-369 -426
355	400	+760 +400	+210	+62	+18	0	0	0	0	-40	-73	-98	-187 -244	-414 -471
400	450	+840 +440	+385	+165	+83	+63	+97	+155	+400	+18	-17	-45	-209 -272	-467 -530
450	500	+880 +480	+230	+68	+20	0	0	0	0	-45	-80	-108	-229 -292	-517 -580

在 f 的下面找到公差等级 7 的代号, 然后沿 f7 列向下。已知公称尺寸为 $\phi 70\text{mm}$, 属表中 65 ~ 80 尺寸段, 沿这个公称尺寸段横向向右查, 直到与 f7 列相交处可查得 $^{-30}_{-60}$ 字样。其中 $-30\mu\text{m}$ 是上偏差, $-60\mu\text{m}$ 是下偏差。所求的答案是: $\phi 70\text{f7} \left(\begin{smallmatrix} -0.030 \\ -0.060 \end{smallmatrix} \right)$ 。

【例】求 $\phi 100\text{U7}$ 的极限偏差。

解: 由基本偏差代号 U 可知, 大写字母代表孔, 应在表 1-39 中查。当找到 U 后, 再在 U 的下面找到公差等级 7 的代号, 然后沿 U7 列向下。已知公称尺寸为 $\phi 100\text{mm}$, 属表中 80 ~ 100 尺寸段, 沿这个公称尺寸段横向向右查, 直到与 U7 列相交处可查得 $^{-111}_{-146}$ 的字样。其中 $-111\mu\text{m}$ 是上偏差, $-146\mu\text{m}$ 是下偏差。所求的答案是: $\phi 100\text{U7} \left(\begin{smallmatrix} -0.111 \\ -0.146 \end{smallmatrix} \right)$ 。

如果根据标准公差, 基本偏差来确定另一偏差, 可先在基本偏差表 (表 1-36 和表 1-37) 中查出基本偏差数值, 再在标准公差数值表 (表 1-35) 中查出标准公差值 (IT), 然后根据基本偏差和标准公差, 通过计算求出另一偏差值。在计算时, 可按以下代数式计算

$$ES = EI + IT \quad EI = ES - IT$$

$$es = ei + IT \quad ei = es - IT$$

【例】求 $\phi 35\text{J6}$ 的极限偏差。

解: 1) 公称尺寸是 35mm, 公差等级是 6 级, 基本偏差代号 J 是大写字母, 它代表孔的基本偏差。查表 1-37 查到 J 并对应公差等级 6, 然后沿 J6 列向下。公称尺寸 35 属 30 ~ 40 尺寸段, 沿这个公称尺寸段横向向右查, 直至与 J6 列相交, 查得数值为 $+10\mu\text{m}$, 即为 $+0.01\text{mm}$ 。在表格的上方标注有基本偏差为上偏差 (ES), 所以 $ES = 0.01\text{mm}$ 。

2) 查表 1-35, 用同样的方法对应 IT6 与公称尺寸 35mm 的尺寸段, 可查得 $IT6 = 16\mu\text{m}$, 即 0.016mm 。

3) 计算下偏差 (EI)

$$EI = ES - IT = 0.01\text{mm} - 0.016\text{mm} = -0.006\text{mm}$$

所求的答案是: $\phi 35\text{J6} \left(\begin{smallmatrix} +0.01 \\ -0.006 \end{smallmatrix} \right)$ 。

【例】求 $\phi 70\text{t8}$ 的极限偏差。

解: 公称尺寸是 70mm, 基本偏差代号为 t, 小写字母 t 代表轴, 公差等级为 8 级。

1) 查表 1-36, 可得下偏差 $ei = +0.075\text{mm}$ 。

2) 查表 1-35, 可得 $IT8 = 0.046\text{mm}$ 。

3) 计算上偏差 (es):

$$es = ei + IT = 0.075\text{mm} + 0.046\text{mm} = 0.121\text{mm}$$

所求答案是: $\phi 70\text{t8} \left(\begin{smallmatrix} +0.121 \\ +0.075 \end{smallmatrix} \right)$ 。

【例】求 $\phi 150\text{js12}$ 的极限偏差。

解: 公称尺寸是 150mm, 基本偏差代号为 js, 小写 js 代表轴, 公差等级为 12 级。

1) 查表 1-36, 可得偏差 $= \pm \frac{IT}{2}$, 即

$$es = \frac{IT}{2} \quad ei = -\frac{IT}{2}。$$

2) 查表 1-35, 可得 $IT_{12} = 0.40\text{mm}$ 。

3) 计算上、下偏差:

$$es = \frac{IT}{2} = \frac{0.40}{2}\text{mm} = 0.20\text{mm}$$

$$ei = -\frac{IT}{2} = -\frac{0.40}{2}\text{mm} = -0.20\text{mm}$$

所求的答案是: $\phi 150js_{12} \left(\begin{smallmatrix} +0.20 \\ -0.20 \end{smallmatrix} \right)。$

[例] 求 $\phi 24U6$ 的极限偏差。

解: 公称尺寸是 24mm, 基本偏差代号为 U, 大写字母 U 代表孔, 公差等级为 6 级。

1) 查表 1-37, 在查此表时必须注意, 基本偏差 K、M、N 中, 当公差等级 ≤ 8 级时, 以及基本偏差在 P 至 ZC 范围内, 当公差等级 ≤ 7 级时, 都要按表中给出的数值增加 Δ 值。

Δ 的数值, 可在表的左侧栏内选取, 基本偏差代号 U 属 P ~ ZC 范围内, 公差等级 6 级应查 ≤ 7 这一列。该列中注明, “在 > 7 级的相应数值上增加一个 Δ 值”。

基本尺寸为 24mm, U > 7 级的基本偏差: 从表 1-37 中查得为 -0.041mm , 然后查出 Δ 值为 0.004mm 。

孔的基本偏差为上偏差 (ES)

$$ES = -0.041 + \Delta = -0.041\text{mm} + 0.004\text{mm} = -0.037\text{mm}$$

2) 查表 1-35 可得 $IT_6 = 0.013\text{mm}$ 。

3) 计算下偏差 (EI):

$$EI = ES - IT = -0.037\text{mm} - 0.013\text{mm} = -0.05\text{mm}$$

所求的答案是: $\phi 24U6 \left(\begin{smallmatrix} -0.037 \\ -0.05 \end{smallmatrix} \right)。$

(2) 基准制及相关配合的计算

1) 基准制。

① 基孔制: 如图 1-23 所示, 孔的公差带位置 (基本偏差) 固定不变, 只改变轴的公差带位置, 就可得到不同性质的配合。这种基本偏差为一定的孔公差带, 与不同基本偏差的轴公差带形成各种配合的一种制度, 称为基孔制。

② 基轴制: 如图 1-24 所示, 轴的公差带位置 (基本偏差) 固定不变, 只改变孔的公差带位置, 也能得到各种不同性质的配合。这种基本偏差为一定的轴公差带, 与不同基本偏差的孔公差带形成各种配合的一种制度, 称为基轴制。

2) 配合种类的计算。

配合可分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三种。

① 间隙配合: 具有间隙 (包括最小间隙等于零) 的配合, 称为间隙配合。这类配合的特点是: 孔的实际尺寸减轴的实际尺寸总是得正值或零, 见图 1-25。

最大间隙 = 孔的最大极限尺寸 - 轴的最小极限尺寸。

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

最小间隙 = 孔的最小极限尺寸 - 轴的最大极限尺寸。

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

式中 X_{\max} ——最大间隙 (mm);

X_{\min} ——最小间隙 (mm)。

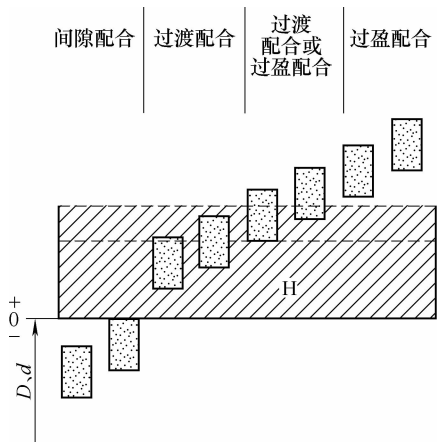


图 1-23 基孔制配合公差带图

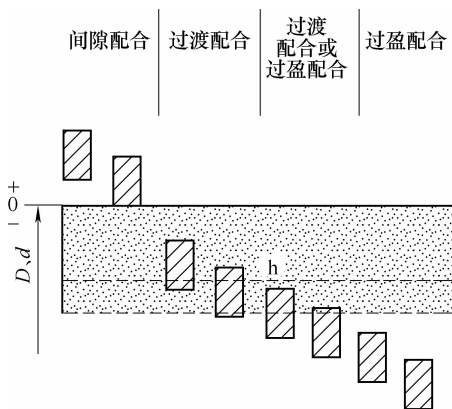


图 1-24 基轴制配合公差带图

[例] 求 $\phi 90 \frac{H7 (+0.035)}{0} / \frac{h6 (0)}{-0.022}$ 配合的最大间隙和最小间隙。

解: 已知 $\phi 90 H7 \left(\begin{smallmatrix} +0.035 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$, 则

$$D_{\max} = 90\text{mm} + 0.035\text{mm} = 90.035\text{mm}$$

$$D_{\min} = 90\text{mm} + 0 = 90\text{mm}$$

已知 $\phi 90 h6 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.022 \end{smallmatrix} \right)$, 则

$$d_{\max} = 90\text{mm} + 0 = 90\text{mm}$$

$$d_{\min} = 90\text{mm} + (-0.022)\text{mm} = 89.978\text{mm}$$

$$\text{代入上式得 } X_{\max} = 90.035\text{mm} - 89.978\text{mm} = 0.057\text{mm}$$

$$X_{\min} = 90\text{mm} - 90\text{mm} = 0$$

[例] 求图 1-26 所示轴、孔配合零件的最大间隙和最小间隙。

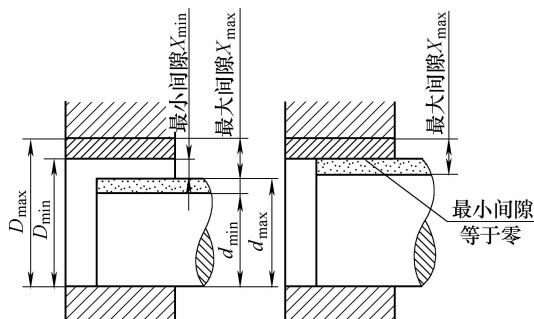


图 1-25 间隙配合

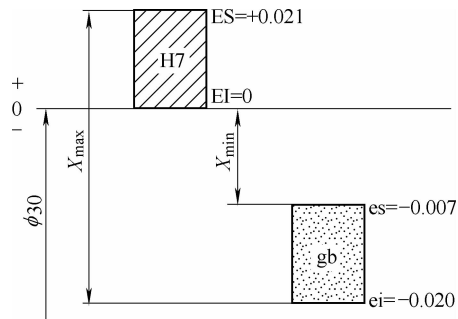


图 1-26 间隙配合公差带

解：按极限尺寸计算

$$D_{\max} = 30\text{mm} + 0.021\text{mm} = 30.021\text{mm}$$

$$D_{\min} = 30\text{mm} + 0 = 30\text{mm}$$

$$d_{\max} = 30\text{mm} + (-0.007)\text{mm} = 29.993\text{mm}$$

$$d_{\min} = 30\text{mm} + (-0.020)\text{mm} = 29.98\text{mm}$$

$$X_{\max} = 30.021\text{mm} - 29.98\text{mm} = 0.041\text{mm}$$

$$X_{\min} = 30\text{mm} - 29.993\text{mm} = 0.007\text{mm}$$

按偏差计算

$$X_{\max} = ES - ei = 0.021\text{mm} - (-0.02)\text{mm} = 0.041\text{mm}$$

$$X_{\min} = EI - es = 0 - (-0.007)\text{mm} = 0.007\text{mm}$$

② 过盈配合：具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合，称为过盈配合。这类配合的特点是：孔的实际尺寸减轴的实际尺寸总是负值或零，见图 1-27。

最大过盈 = 孔的最小极限尺寸 - 轴的最大极限尺寸

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max}$$

最小过盈 = 孔的最大极限尺寸 - 轴的最小极限尺寸

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min}$$

式中 Y_{\max} ——最大过盈 (mm)；

Y_{\min} ——最小过盈 (mm)。

[例] 计算 $\phi 35 \frac{\text{H7}}{\text{r6}} \left(\begin{smallmatrix} +0.025 \\ 0 \\ +0.05 \end{smallmatrix} \right) \left(\begin{smallmatrix} +0.034 \\ +0.034 \end{smallmatrix} \right)$ 配合的最大过盈和最小过盈。

解：已知 $\phi 35\text{H7} \left(\begin{smallmatrix} +0.025 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ ，则

$$D_{\max} = 35\text{mm} + 0.025\text{mm} = 35.025\text{mm}$$

$$D_{\min} = 35\text{mm} + 0 = 35\text{mm}$$

$\phi 35\text{r6} \left(\begin{smallmatrix} +0.05 \\ +0.034 \end{smallmatrix} \right)$ ，则

$$d_{\max} = 35\text{mm} + 0.05\text{mm} = 35.05\text{mm}$$

$$d_{\min} = 35\text{mm} + 0.034\text{mm} = 35.034\text{mm}$$

代入上式得 $Y_{\max} = 35\text{mm} - 35.05\text{mm} = -0.05\text{mm}$

$$Y_{\min} = 35.025\text{mm} - 35.034\text{mm} = -0.009\text{mm}$$

[例] 求图 1-28 所示轴、孔配合零件的最大过盈和最小过盈。

解：按极限尺寸计算

$$D_{\max} = 30\text{mm} + 0.013\text{mm} = 30.013\text{mm}$$

$$D_{\min} = 30\text{mm} + 0 = 30\text{mm}$$

$$d_{\max} = 30\text{mm} + 0.057\text{mm} = 30.057\text{mm}$$

$$d_{\min} = 30\text{mm} + 0.048\text{mm} = 30.048\text{mm}$$

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = 30\text{mm} - 30.057\text{mm} = -0.057\text{mm}$$

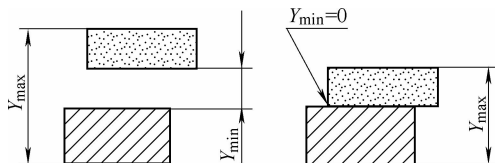


图 1-27 过盈配合

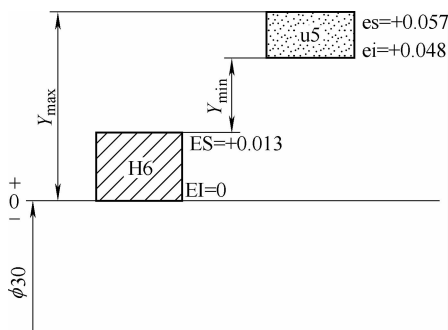


图 1-28 过盈配合公差带

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = 30.013\text{mm} - 30.048\text{mm} = -0.035\text{mm}$$

按偏差计算

$$Y_{\max} = EI - es = 0 - 0.057\text{mm} = -0.057\text{mm}$$

$$Y_{\min} = ES - ei = 0.013\text{mm} - 0.048\text{mm} = -0.035\text{mm}$$

③ 过渡配合：可能具有间隙或过盈的配合称为过渡配合。这类配合的特点是：孔的实际尺寸减轴的实际尺寸有可能出现正值，也可能出现负值，见图 1-29。

$$\text{最大间隙 } X_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

$$\text{最大过盈 } Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max}$$

式中 X_{\max} ——最大间隙 (mm)；

Y_{\max} ——最大过盈 (mm)。

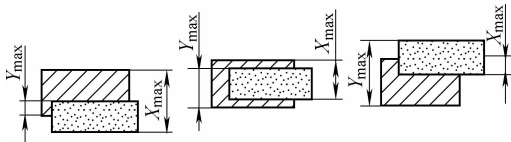


图 1-29 过渡配合

[例] 计算 $\phi 90 \frac{\text{H7} \left(\begin{smallmatrix} +0.035 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)}{\text{js6} \left(\begin{smallmatrix} +0.011 \\ -0.011 \end{smallmatrix} \right)}$ 配合

的最大间隙和最大过盈量。

解：已知 $\phi 90\text{H7} \left(\begin{smallmatrix} +0.035 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ ，则

$$D_{\max} = 90\text{mm} + 0.035\text{mm} = 90.035\text{mm}$$

$$D_{\min} = 90\text{mm} + 0 = 90\text{mm}$$

$\phi 90\text{js6} \left(\begin{smallmatrix} +0.011 \\ -0.011 \end{smallmatrix} \right)$ ，则

$$d_{\max} = 90\text{mm} + 0.011\text{mm} = 90.011\text{mm}$$

$$d_{\min} = 90\text{mm} - 0.011\text{mm} = 89.989\text{mm}$$

代入上式得

$$X_{\max} = 90.035\text{mm} - 89.989\text{mm} = 0.046\text{mm}$$

$$Y_{\max} = 90\text{mm} - 90.011\text{mm} = -0.011\text{mm}$$

如按偏差计算，则

$$X_{\max} = ES - ei = 0.035\text{mm} - (-0.011)\text{mm} = 0.046\text{mm}$$

$$Y_{\max} = EI - es = 0 - 0.011\text{mm} = -0.011\text{mm}$$

[例] 求图 1-30 所示轴、孔配合零件的最大间隙和最大过盈。

解：按极限尺寸计算

$$D_{\max} = 40\text{mm} + 0.025\text{mm} = 40.025\text{mm}$$
$$D_{\min} = 40\text{mm} + 0 = 40\text{mm}$$
$$d_{\max} = 40\text{mm} + 0.033\text{mm} = 40.033\text{mm}$$
$$d_{\min} = 40\text{mm} + 0.017\text{mm} = 40.017\text{mm}$$
$$X_{\max} = 40.025\text{mm} - 40.017\text{mm} = 0.008\text{mm}$$
$$Y_{\max} = 40\text{mm} - 40.033\text{mm} = -0.033\text{mm}$$

按偏差计算

$$X_{\max} = ES - ei = 0.025\text{mm} - 0.0177\text{mm}$$
$$= 0.008\text{mm}$$

$$Y_{\max} = EI - es = 0 - 0.033\text{mm} = -0.033\text{mm}$$

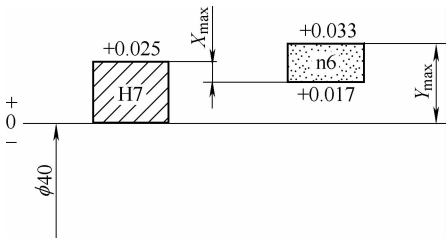


图 1-30 过渡配合公差带

1.5.2 工件几何公差的标注（GB/T 1182—2008）

本标准规定了工件几何公差（形状、方向、位置和跳动公差）标注的基本要求和
方法。适用于工件的几何公差标注。

1.5.2.1 符号

几何公差的几何特征、符号和附加符号见表 1-40、表 1-41。

表 1-40 几何特征符号

公差类型	几何特征	符 号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度		无
	圆度		无
	圆柱度		无
	线轮廓度		无
	面轮廓度		无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度		有
	倾斜度		有
	线轮廓度		有
	面轮廓度		有

(续)









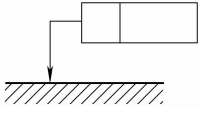
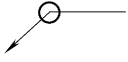

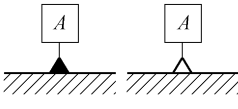







公差类型	几何特征	符 号	有无基准
位置公差	位置度		有或无
	同心度 (用于中心点)		有
	同轴度 (用于轴线)		有
	对称度		有
	线轮廓度		有
	面轮廓度		有
跳动公差	圆跳动		有
	全跳动		有

表 1-41 附加符号

说 明	符 号	说 明	符 号
被测要素		全周(轮廓)	
		包容要求	
基准要素		公共公差带	CZ
		小径	LD
基准目标		大径	MD
理论正确尺寸		中径、节径	PD
延伸公差带		线索	LE
最大实体要求		不凸起	NC
最小实体要求		任意横截面	ACS
自由状态条件 (非刚性零件)			

注:1. GB/T 1182—1996 中规定的基准符号为 。

2. 如需标注可逆要求,可采用符号 , 见 GB/T 16671。

1.5.2.2 用公差框格标注几何公差的基本要求（表 1-42）

表 1-42 用公差框格标注几何公差的基本要求

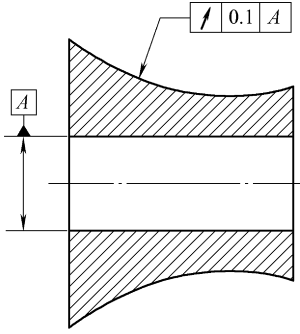
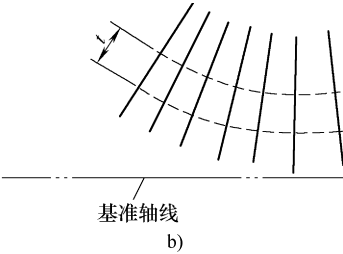
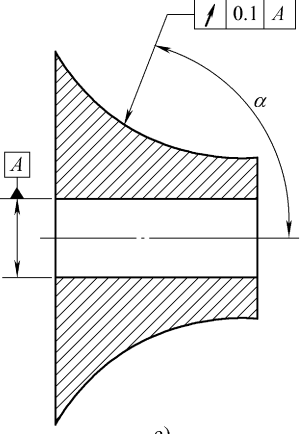
标注方法及要求	图 示
框格中的内容从左到右顺序填写 第一格填写公差符号 第二格填写公差值及有关符号，如公差带是圆形或圆柱形的则在公差值前加注 ϕ ，如是球形则加注 $S\phi$ 第三格及以后填写基准代号	
当某项公差应用于几个相同要素时，应在公差框格的上方被测要素的尺寸之前注明要素的个数，并在两者之间加上符号“×”	
如果需要限制被测要素在公差带内的形状，应在公差框格的下方注明	
如果需要就某个要素给出几种几何特征的公差，可将一个公差框格放在另一个的下面	

1.5.2.3 标注方法（表 1-43）

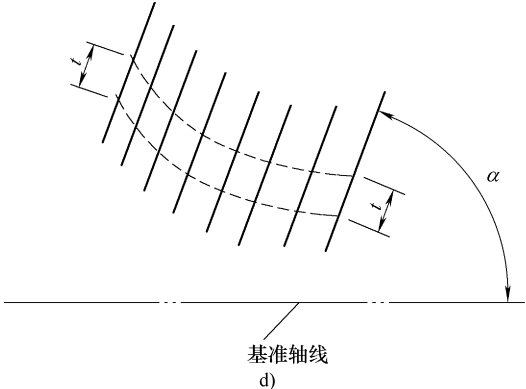
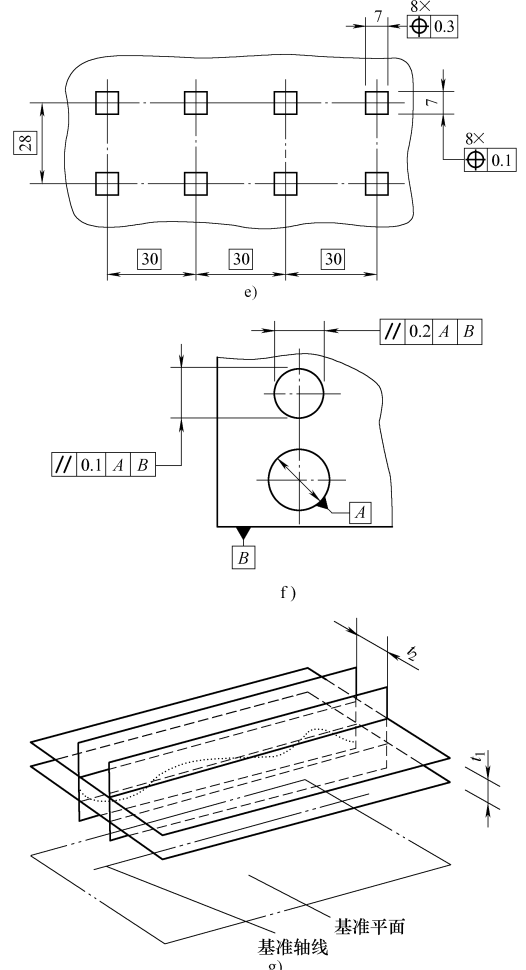
表 1-43 标注方法

名称	图 示	说 明
被测要素		<p>用带箭头的指引线将框格与被测要素相连，按以下方式标注：</p> <p>当公差涉及轮廓线或表面时（图 a 和图 b），将箭头置于要素的轮廓线或轮廓线的延长线上（但必须与尺寸线明显地分开）</p> <p>当指向实际表面时（图 c），箭头可置于带点的参考线上，该点指在实际表面上</p> <p>当公差涉及轴线、中心平面或由带尺寸要素确定的点时，则带箭头的指引线应与尺寸线的延长线重合（图 d、图 e 和图 f）</p>

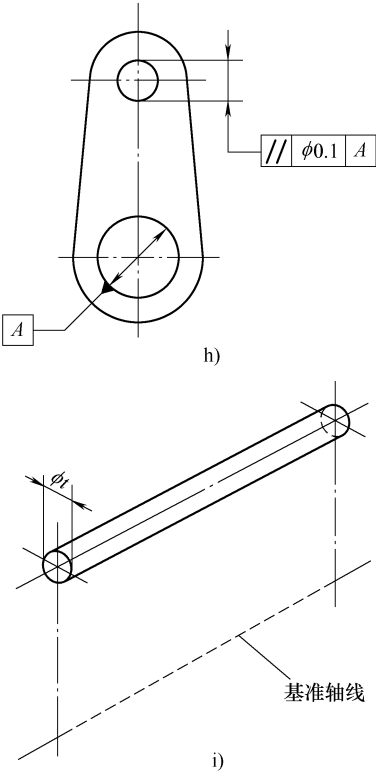
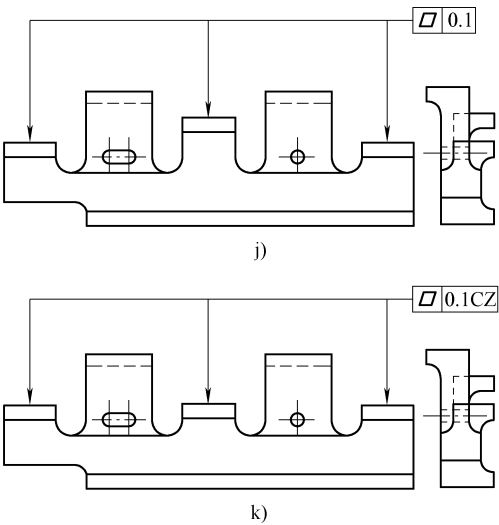
(续)

名称	图 示	说 明
公差带	<div><p>a)</p><p>b)</p><p>c)</p></div>	<p>公差带的宽度方向为被测要素的法向 (图 a 和图 b)。另有说明时除外 (图 c 和图 d)</p> <p>圆度公差带的宽度应在垂直于公称轴线的平面内确定</p> <p>注: 图 c 中的角度 α (即使它等于 90°) 必须注出</p>

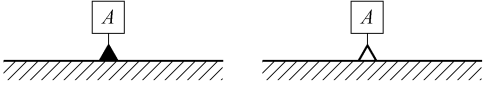

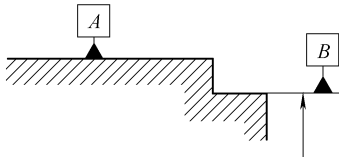
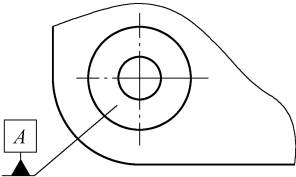
(续)

名称	图 示	说 明
	 <p style="text-align: center;">基准轴线 d)</p>	<p>公差带的宽度方向为被测要素的法向(图 a 和图 b)。另有说明时除外(图 c 和图 d)</p> <p>圆度公差带的宽度应在垂直于公称轴线的平面内确定</p> <p>注:图 c 中的角度 α (即使它等于 90°) 必须注出</p>
公差带	 <p style="text-align: center;">e)</p> <p style="text-align: center;">f)</p> <p style="text-align: center;">基准平面 基准轴线 g)</p>	<p>当中心点、中心线、中心面在一个方向上给定公差时:</p> <p>除非另有说明,位置公差公差带的宽度方向为理论正确尺寸图框的方向,并按指引线箭头所指互成 0° 或 90° (图 e)</p> <p>除非另有说明,方向公差公差带的宽度方向为指引线箭头方向,为基准成 0° 或 90° (图 f 和图 g)</p> <p>除非另有规定,当在同一基准体系中规定两个方向的公差时,它们的公差带是互相垂直的(图 f 和图 g)</p>

(续)

名称	图 示	说 明
公差带	 <p>h)</p> <p>i)</p> <p>基准轴线</p>	<p>如公差值前面标注符号“ϕ”，公差带为圆柱形或圆形；如加注“$S\phi$”，公差带为圆球形（图 h 和图 i）</p>
	 <p>j)</p> <p>k)</p>	<p>对几个表面有同一数值的公差带要求，其表示方法可按图 j 所示</p> <p>用同一公差带控制几个被测要素时，应在公差框格内公差值的后面加注公共公差带的符号（图 k）</p>



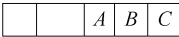
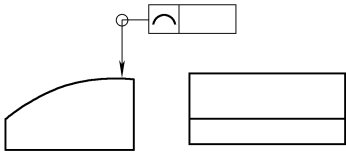
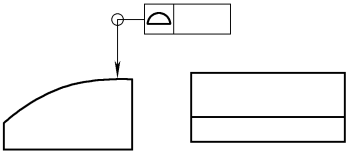
(续)

名称	图 示	说 明
基 准	 <p>a)</p>  <p>b)</p>	<p>相对于被测要素的基准，用一个大写字母表示。字母标注在基准方格内，与一个涂黑的或空白的三角形相连的表示基准（图 a），表示基准的字母也应注在公差框格内（图 b）</p> <p>注：涂黑的和空白的基准三角形含义相同</p>
	 <p>c)</p>  <p>d)</p>	<p>带基准字母的基准三角形应按规定放置；</p> <p>当基准要素是轮廓线或轮廓面时，基准三角形放置在要素的轮廓线或其延长线上（与尺寸线明显错开，如图 c；基准三角形也可放置在该轮廓面引出线的水平线上如图 d）</p>

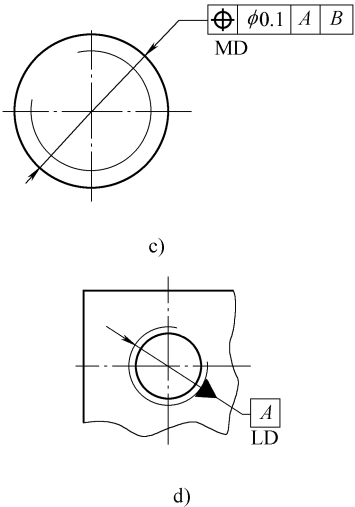
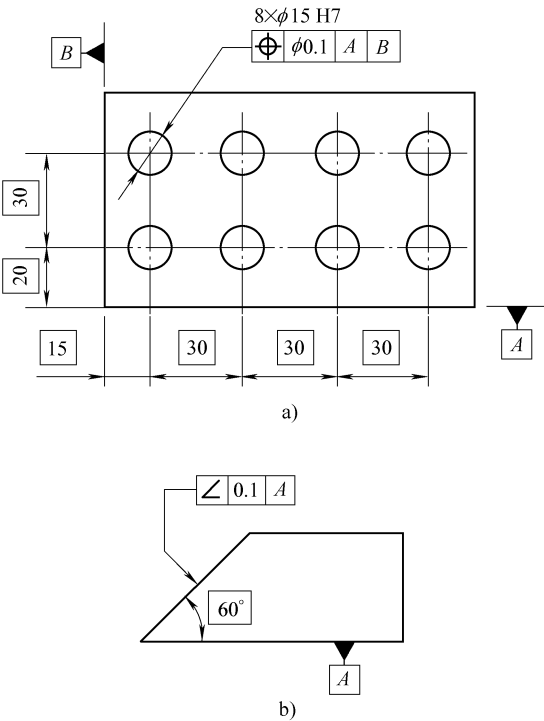
(续)

名称	图 示	说 明
基 准	<div data-bbox="422 444 698 587"> </div> <p data-bbox="538 623 556 648">e)</p> <div data-bbox="414 731 708 899"> </div> <p data-bbox="564 910 582 935">f)</p> <div data-bbox="453 1017 667 1150"> </div> <p data-bbox="556 1168 574 1193">g)</p> <div data-bbox="401 1275 723 1465"> </div> <p data-bbox="564 1473 582 1498">h)</p>	<p data-bbox="942 731 1148 1071">当基准要素是轴线、中心平面或中心点时，基准三角形放置在该尺寸线的延长线上（见图 e、图 f、图 g），如尺寸线处按排不下两个箭头，则其中一个箭头可用基准三角形代替（见图 f、图 g）</p> <p data-bbox="942 1078 1148 1214">如只以要素的某一局部作基准，则应用粗点画线表示出该部分并加注尺寸（图 h）</p>

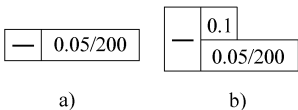
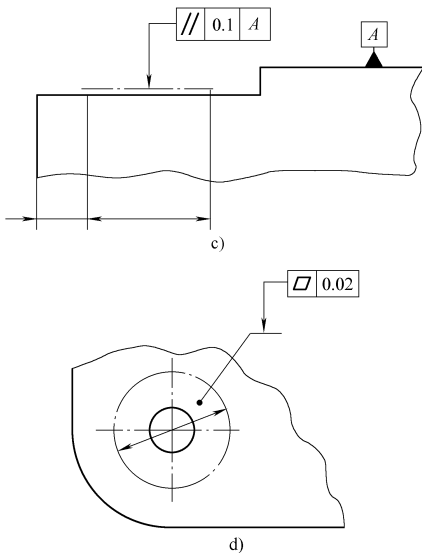
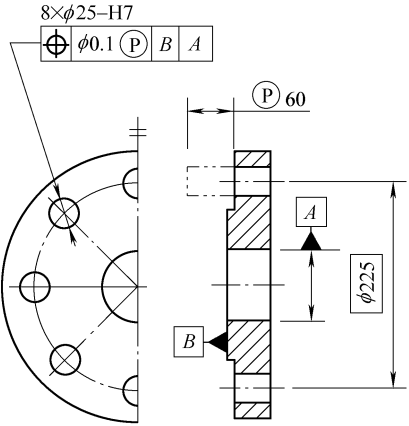
(续)

名称	图 示	说 明
基 准	<div style="text-align: center;">  <p>i)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>j)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>k)</p> </div>	<p>单一基准要素，用一个大写字母表示（图 i）</p> <p>由两个要素组成的公共基准，用由横线隔开的两个大写字母表示（图 j）</p> <p>由两个或三个要素组成的基准体系时（即采用多基准），表示基准的大写字母应按基准的优先顺序自左至右填写在框格内（图 k）</p>
附 加 标 记	<div style="text-align: center;">  <p>a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)</p> </div>	<p>如轮廓度公差适用于横截面内的整个外轮廓线或整个外轮廓面时，应采用“全周”符号表示（图 a、图 b）</p> <p>注：“全周”符号，只包括由轮廓和公差所表示的各个表面</p>









(续)

名称	图 示	说 明
附加标记	 <p>c)</p> <p>d)</p>	<p>在一般情况下，螺纹的轴线作为被测要素或基准要素均为中径轴线，如果用大径轴线则用“MD”表示，采用小径轴线用“LD”表示（图 c、图 d）</p> <p>齿轮和花键轴线作为被测要素或基准要素时，节径轴线用“PD”表示，大径轴线用“MD”表示，小径轴线用“LD”表示</p>
理论正确尺寸	 <p>a)</p> <p>b)</p>	<p>对于要素的位置度、轮廓度或倾斜度，其尺寸由不带公差的理论正确位置、轮廓或角度确定，这种尺寸称“理论正确尺寸”</p> <p>理论正确尺寸应围以框格，零件实际尺寸仅是由在公差框格中位置度、轮廓度或倾斜度公差来限定（图 a 和图 b）</p>

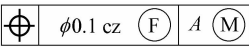
(续)

名称	图 示	说 明
限定性规定	 <p>a) b)</p>	<p>如在同一要素的公差值在全部被测要素内的任一部分有进一步的限制时, 该限制部分 (长度或面积) 的公差值要求应放在公差值的后面, 用斜线相隔 (图 a), 如标注的是两项或两项以上的公差, 可以直接放在表示全部被测要素公差要求的框格下面 (图 b)</p>
	 <p>c) d)</p>	<p>如仅要求要素某一部分的公差值、则用粗点画线表示其范围, 并加注尺寸 (图 c、图 d)</p> <p>如仅要求要素的某一部分作为基准, 则该部分应用粗点画线表示并加注尺寸, 参见本表“基准”一项的图 h</p>
延伸公差带		<p>延伸公差带用附加符号 (P) 表示</p> <p>详见 GB/T 17773</p>

(续)

名称	图 示	说 明
最大实体要求	<div><div><div><div></div><div>$\phi 0.04$</div><div><div><div>(M)</div></div></div><div><div>A</div></div></div></div><div>a)</div><div><div><div><div></div><div>$\phi 0.04$</div><div><div>A</div></div><div><div>(M)</div></div></div></div><div>b)</div><div><div><div><div></div><div>$\phi 0.04$</div><div><div>(M)</div></div><div><div>A</div></div><div><div>(M)</div></div></div></div><div>c)</div></div></div></div>	最大实体要求用附加符号Ⓜ表示。该符号可根据需要单独或同时标注在相应公差值或基准字母的后面,或同时置于两者后面(图 a、图 b、图 c)
最小实体要求	<div><div><div><div></div><div>$\phi 0.5$</div><div><div>(L)</div></div><div><div>A</div></div></div></div><div>a)</div><div><div><div><div></div><div>$\phi 0.5$</div><div><div>A</div></div><div><div>(L)</div></div></div></div><div>b)</div><div><div><div><div></div><div>$\phi 0.5$</div><div><div>(L)</div></div><div><div>A</div></div><div><div>(L)</div></div></div></div><div>c)</div></div></div></div>	最小实体要求用附加符号Ⓛ表示,该符号可根据需要单独或同时标注在相应公差值或基准字母的后面,或同时置于两者后面(图 a、图 b、图 c)
自由状态下的要求	<div><div><div><div></div><div>2.8</div><div><div>(F)</div></div></div></div><div>a)</div><div><div><div><div></div><div><div>0.025</div><div>0.3</div></div><div><div>(F)</div></div></div></div><div>b)</div></div></div>	对于非刚性零件的自由状态条件用符号ⓕ表示,该符号置于给出的公差值后面(图 a、图 b)

注:各附加符号Ⓟ、Ⓜ、Ⓛ、ⓕ和 CZ,可同时用于同一个公差框格中,例如:



1.5.2.4 图样上标注公差值的规定 (GB/T 1184—1996)

(1) 规定提出了下列项目的公差值或数系表

- 1) 直线度、平面度。
- 2) 圆度、圆柱度。
- 3) 平行度、垂直度、倾斜度。
- 4) 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动。
- 5) 位置度数系。

(2) 公差值的选用原则

1) 根据零件的功能要求,并考虑加工的经济性和零件的结构、刚性等情况,按表

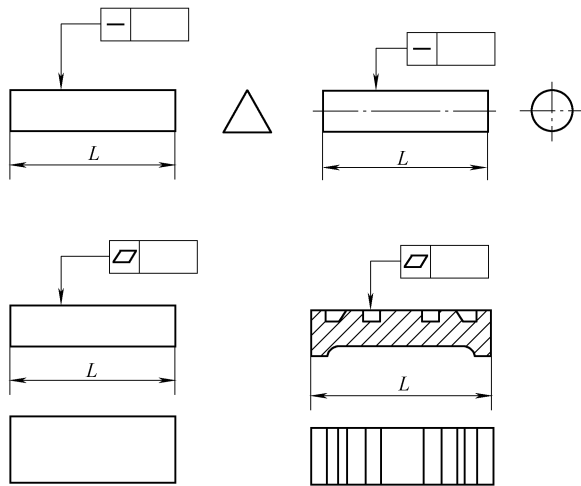
中数系确定要素的公差值，并考虑下列情况。

- ① 在同一要素上给出的形状公差值应小于位置公差值。如平行的两个表面，其平面度公差值应小于平行度公差值。
 - ② 圆柱形零件的形状公差值（轴线的直线度除外），一般情况下应小于其尺寸公差值。
 - ③ 平行度公差值应小于其相应的距离公差值。
- 2) 对于下列情况，考虑到加工的难易程度和除主参数外其他参数的影响，在满足零件功能的要求下，适当降低 1~2 级选用。
- ① 孔相对于轴。
 - ② 细长比较大的轴或孔。
 - ③ 距离较大的轴或孔。
 - ④ 宽度较大（一般大于 1/2 长度）的零件表面。
 - ⑤ 线对线和线对面相对于面对面的平行度。
 - ⑥ 线对线和线对面相对于面对面的垂直度。

1.5.2.5 公差值表

(1) 直线度、平面度公差值及应用范围（表 1-44、表 1-45）

表 1-44 直线度、平面度公差值



(续)

主参数 <i>L</i> /mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm											
≤ 10	0.2	0.4	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60
$> 10 \sim 16$	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80
$> 16 \sim 25$	0.3	0.6	1.2	2	3	5	8	12	20	30	50	100
$> 25 \sim 40$	0.4	0.8	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120
$> 40 \sim 63$	0.5	1	2	3	5	8	12	20	30	50	80	150
$> 63 \sim 100$	0.6	1.2	2.5	4	6	10	15	25	40	60	100	200
$> 100 \sim 160$	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120	250
$> 160 \sim 250$	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150	300
$> 250 \sim 400$	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200	400
$> 400 \sim 630$	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250	500
$> 630 \sim 1000$	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300	600
$> 1000 \sim 1600$	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400	800
$> 1600 \sim 2500$	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500	1000
$> 2500 \sim 4000$	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600	1200
$> 4000 \sim 6300$	5	10	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1500
$> 6300 \sim 10000$	6	12	25	40	60	100	150	250	400	600	1000	2000

表 1-45 直线度、平面度应用范围

公差等级	应用范围	公差等级	应用范围
1、2	用于精密量具、测量仪器和精度要求极高的精密机械零件,如高精度量规、样板平尺、工具显微镜等精密测量仪器的导轨面,喷油嘴针阀端面、液压泵柱塞套端面等高精度零件	6	用于普通机床导轨面,如卧式车床、龙门刨床、滚齿机、自动车床等的床身导轨、立柱导轨,滚齿机、卧式镗床、铣床的工作台及机床主轴箱导轨,柴油机机体结合面等
3	用于 0 级及 1 级宽平尺的工作面、1 级样板平尺的工作面、测量仪器圆弧导轨、测量仪器测杆等	7	用于 2 级平板,0.02mm 游标卡尺尺身,机床主轴箱体,摇臂钻床底座工作台,镗床工作台,液压泵盖等
4	用于量具、测量仪器和高精度机床的导轨,如 0 级平板、测量仪器的 V 形导轨、高精度平面磨床的 V 形和滚动导轨、轴承磨床床身导轨、液压阀芯等	8	用于机床传动箱体,交换齿轮箱体,车床溜板箱体,主轴箱体,柴油机气缸体,连杆分离面,缸盖结合面,汽车发动机缸盖,曲轴箱体,减速器壳体等
5	用于 1 级平板,2 级宽平尺,平面磨床的纵导轨、垂直导轨、立柱导轨及工作台,液压龙门刨床和转塔车床床身的导轨,柴油机进、排气门导杆等	9、10	用于 3 级平板,车床交换齿轮架,缸盖结合面,阀体表面等
		11、12	用于易变形的薄片、薄壳零件表面,支架等要求不高的结合面

(2) 圆度、圆柱度公差值及应用范围 (表 1-46、表 1-47)

表 1-46 圆度、圆柱度公差值

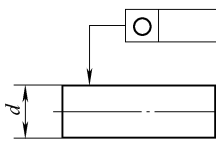
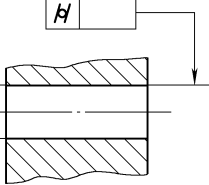
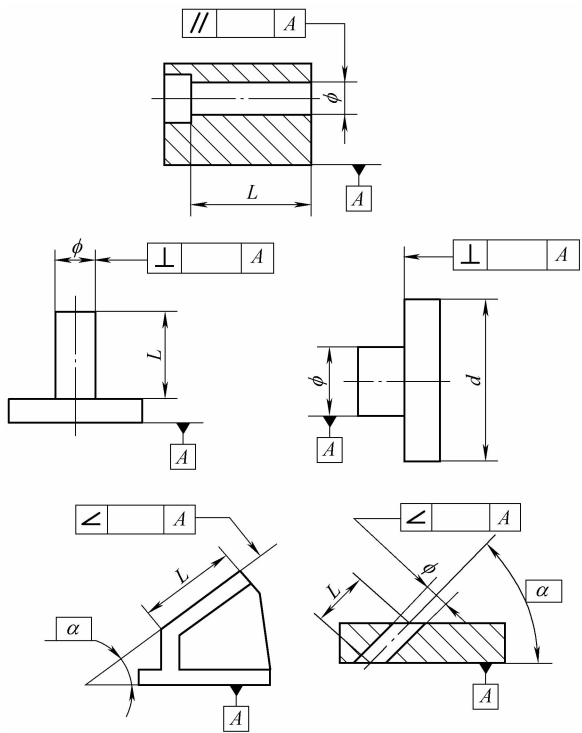
													
主参数 $d (D) / \text{mm}$	公差等级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm												
≤ 3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25
$> 3 \sim 6$	0.1	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30
$> 6 \sim 10$	0.12	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36
$> 10 \sim 18$	0.15	0.25	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43
$> 18 \sim 30$	0.2	0.3	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52
$> 30 \sim 50$	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62
$> 50 \sim 80$	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74
$> 80 \sim 120$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87
$> 120 \sim 180$	0.6	1	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100
$> 180 \sim 250$	0.8	1.2	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115
$> 250 \sim 315$	1.0	1.6	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130
$> 315 \sim 400$	1.2	2	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140
$> 400 \sim 500$	1.5	2.5	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155

表 1-47 圆度、圆柱度应用范围

公差等级	应 用 范 围	公差等级	应 用 范 围
1	高精度量仪主轴, 高精度机床主轴, 滚动轴承的滚珠、滚柱等	6	仪表端盖外圈, 一般机床主轴及箱孔, 汽车发动机凸轮轴, 纺机锭子, 通用减速器轴颈, 高速船用柴油机曲轴, 拖拉机曲轴轴颈等
2	精密量仪主轴、外套、阀套, 高压油泵柱塞及套, 高速柴油机汽门, 精密机床主轴轴颈, 高精度微型轴承内、外圈等		
3	小工具显微镜套管外圈, 高精度外圆磨床主轴, 喷嘴针阀体, 高精度微型轴承内、外圈等	7	大功率低速柴油机曲轴、活塞、活塞销、连杆、气缸, 高速柴油机箱体孔, 千斤顶压力油缸活塞, 液压传动系统分配机构, 机车传动轴, 水泵轴颈等
4	精密机床主轴轴孔, 较精密机床主轴, 高压阀门活塞、活塞销、阀体孔; 小工具显微镜顶尖, 高压油泵柱塞, 与较高精度滚动轴承配合的轴等	8	低速发动机、减速器, 大功率曲轴轴颈, 压汽机连杆, 拖拉机汽缸体、活塞、炼胶机、印刷机传动系统, 内燃机曲轴, 柴油机机体、凸轮轴等
5	一般量仪主轴、测杆外圆, 陀螺仪轴颈, 一般机床主轴, 较精密机床主轴箱孔, 柴油机、汽油机活塞及活塞销孔, 铣床动力头, 轴承箱座孔等	9	空气压缩机缸体, 液压传动系统, 通用机械杠杆与拉杆用套筒销子, 拖拉机活塞环、套筒孔等
		10	印染机布辊, 铰车、起重机、起重机滑动轴承轴颈等

(3) 平行度、垂直度、倾斜度公差值及应用范围 (表 1-48、表 1-49)

表 1-48 平行度、垂直度、倾斜度公差值



主参数 $L, d (D) / \text{mm}$	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm											
≤ 10	0.4	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120
$> 10 \sim 16$	0.5	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150
$> 16 \sim 25$	0.6	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200
$> 25 \sim 40$	0.8	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250
$> 40 \sim 63$	1	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300
$> 63 \sim 100$	1.2	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400

(续)

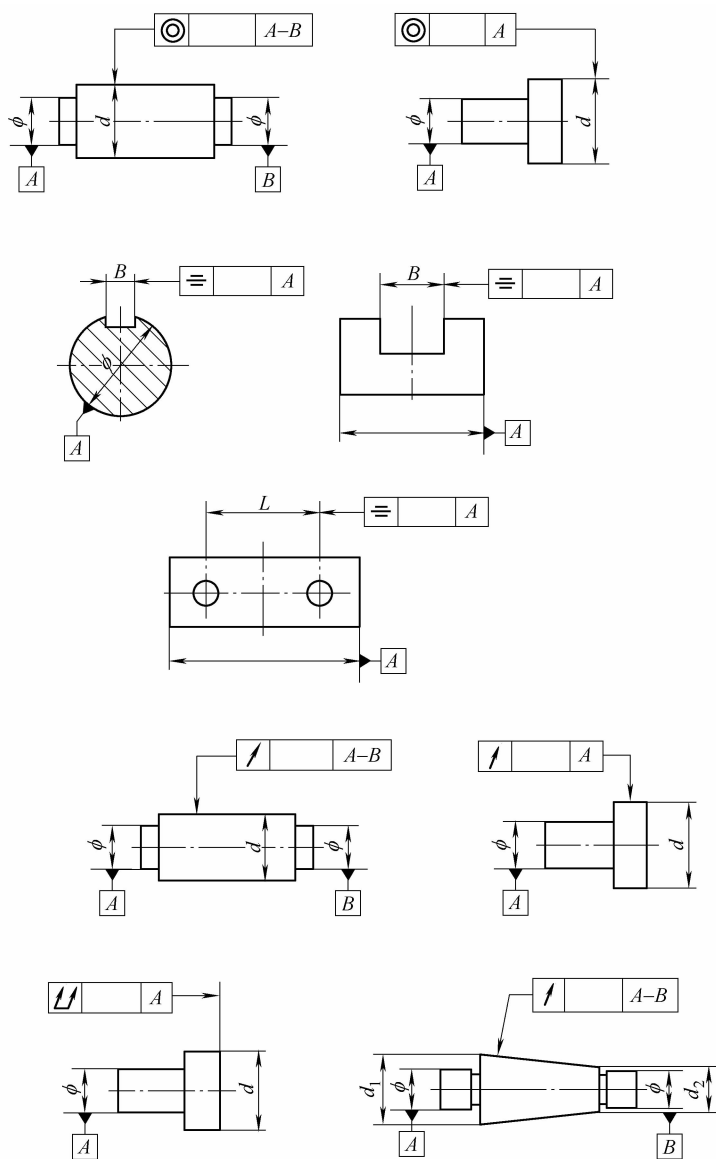
主参数 $L, d(D)/\text{mm}$	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm											
> 100 ~ 160	1.5	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500
> 160 ~ 250	2	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600
> 250 ~ 400	2.5	5	10	20	30	50	80	120	200	300	500	800
> 400 ~ 630	3	6	12	25	40	60	100	150	250	400	600	1000
> 630 ~ 1000	4	8	15	30	50	80	120	200	300	500	800	1200
> 1000 ~ 1600	5	10	20	40	60	100	150	250	400	600	1000	1500
> 1600 ~ 2500	6	12	25	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000
> 2500 ~ 4000	8	15	30	60	100	150	250	400	600	1000	1500	2500
> 4000 ~ 6300	10	20	40	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3000
> 6300 ~ 10000	12	25	50	100	150	250	400	600	1000	1500	2500	4000

表 1-49 平行度、垂直度、倾斜度应用范围

公差等级	应用范围	
	平行度	垂直度和倾斜度
1	高精度机床、测量仪器以及量具等主要基准面和工作面	
2	精密机床、测量仪器、量具、模具的基准面和工作面 精密机床重要箱体主轴孔对基准面的要求	精密机床导轨,普通机床主要导轨,机床主轴轴向定位面,精密机床主轴肩端面,滚动轴承座圈端面,齿轮测量仪的心轴,光学分度头的心轴,涡轮轴端面,精密刀具、量具的基准面和工作面
3		
4	普通机床、测量仪器、量具、模具的基准面和工作面,高精度轴承座圈、端盖、挡圈的端面 机床主轴孔对基准面的要求,重要轴承孔对基准面的要求,主轴箱体重要孔间要求,一般减速器壳体孔,齿轮泵的轴孔端面等	普通机床导轨,精密机床重要零件,机床重要支承面,发动机轴和离合器的凸缘,气缸的支承端面,装 C、D 级轴承的箱体的凸肩,液压传动轴瓦的端面量具量仪的重要端面
5		
6	一般机床零件的工作面或基准面,压力机和锻锤的工作面,中等精度钻模的工作面,一般刀、量、模具,机床一般轴承孔对基准面的要求,床头箱一般孔间要求,变速器箱孔,主轴花键对定心直径,重型机械轴承盖的端面,卷扬机、手动传动装置中的传动轴,气缸轴线等	低精度机床主要基准面和工作面,回转工作台端面,一般导轨,主轴箱体孔,刀架、砂轮架及工作台回转中心,机床轴肩,气缸配合面对其轴线,活塞销孔对活塞中心线,装轴承端面对轴承壳体孔的轴线等
7		
8		
9	低精度零件,重型机械滚动轴承端盖,柴油发动机和煤气发动机的曲轴孔、轴颈等	花键轴轴肩端面,传送带运输机法兰盘等端面对轴线,手动卷扬机及传动装置中轴承端面,减速器壳体平面等
10		
11	零件的非工作面,卷扬机、运输机上用以装减速器的平面等	农业机械齿轮端面等
12		

(4) 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差值及应用范围 (表 1-50、表 1-51)

表 1-50 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差值



当被测要素为圆锥面时,

$$\text{取 } d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

(续)

主参数 $d(D), B, L/\text{mm}$	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	公差值/ μm											
≤ 1	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60
$> 1 \sim 3$	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	20	40	60	120
$> 3 \sim 6$	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	12	25	50	80	150
$> 6 \sim 10$	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	30	60	100	200
$> 10 \sim 18$	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	40	80	120	250
$> 18 \sim 30$	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	50	100	150	300
$> 30 \sim 50$	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60	120	200	400
$> 50 \sim 120$	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80	150	250	500
$> 120 \sim 250$	2	3	5	8	12	20	30	50	100	200	300	600
$> 250 \sim 500$	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120	250	400	800
$> 500 \sim 800$	3	5	8	12	20	30	50	80	150	300	500	1000
$> 800 \sim 1250$	4	6	10	15	25	40	60	100	200	400	600	1200
$> 1250 \sim 2000$	5	8	12	20	30	50	80	120	250	500	800	1500
$> 2000 \sim 3150$	6	10	15	25	40	60	100	150	300	600	1000	2000
$> 3150 \sim 5000$	8	12	20	30	50	80	120	200	400	800	1200	2500
$> 5000 \sim 8000$	10	15	25	40	60	100	150	250	500	1000	1500	3000
$> 8000 \sim 10000$	12	20	30	50	80	120	200	300	600	1200	2000	4000

表 1-51 同轴度、对称度、圆跳动、全跳动应用范围

公差等级	应用范围	公差等级	应用范围
1	用于同轴度或旋转精度要求很高，一般需按尺寸公差 IT5 或高于 IT5 级制造的零件。如 1、2 级用于精密测量仪器的主轴和顶尖，柴油机喷油嘴针阀等；3、4 级用于机床主轴轴颈，砂轮轴轴颈，汽轮机主轴，测量仪器的小齿轮轴，高精度滚动轴承内、外圈等	8	用于一般精度要求，按尺寸公差 IT9 或 IT10 级制造的零件。如 8 级精度用于拖拉机发动机分配轴轴颈；9 级精度用于齿轮轴的配合面，水泵叶轮，离心泵，精梳机；10 级精度用于摩托车活塞，印染机吊布辊，内燃机活塞环底径对活塞中心等
2		9	
3		10	
4			
5	用于精度要求比较高，一般需按尺寸公差 IT6 或 IT7 级制造的零件。如 5 级精度常用在机床轴颈，测量仪器的测量杆，汽轮机主轴，柱塞泵转子，高精度滚动轴承外圈，一般精度滚动轴承内圈；7 级精度用于内燃机曲轴，凸轮轴轴颈，水泵轴，齿轮轴，汽车后桥输出轴，电机转子，滚动轴承内圈等	11	用于无特殊要求，一般按尺寸公差 IT12 级制造的零件
6			
7		12	

(5) 位置度数系 (表 1-52)

表 1-52 位置度数系

(单位: μm)

1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
1×10^n	1.2×10^n	1.5×10^n	2×10^n	2.5×10^n	3×10^n	4×10^n	5×10^n	6×10^n	8×10^n

注: n 为正整数。

1.5.2.6 形位公差未注公差值 (GB/T 1184—1996)

(1) 形状公差的未注公差值

1) 直线度和平面度的未注公差值见表 1-53。选择公差值时, 对于直线度应按其相应线的长度选择; 对于平面度应按其表面的较长一侧或圆表面的直径选择。

2) 圆度的未注公差值等于标准的直径公差值, 但不能大于表 1-56 中圆跳动的未注公差值。

3) 圆柱度的未注公差值不做规定。圆柱度误差由三个部分组成: 圆度、直线度和相对素线的平行度误差, 而其中每一项误差均由它们的注出公差或未注公差控制。如因功能要求, 圆柱度应小于圆度、直线度和平行度的未注公差的综合结果, 应在被测要素上按 GB/T 1184—1996 的规定注出圆柱度公差值, 或采用包容要求。

表 1-53 直线度和平面度的未注公差值

(单位: mm)

公差等级	基本长度范围					
	≤ 10	$> 10 \sim 30$	$> 30 \sim 100$	$> 100 \sim 300$	$> 300 \sim 1000$	$> 1000 \sim 3000$
H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6

(2) 位置公差的未注公差值

1) 平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值, 或直线度和平面度未注公差值中的相应公差值取较大者。应取两要素中的较长者作为基准; 若两要素的长度相等, 则可选任一要素为基准。

2) 垂直度的未注公差值, 见表 1-54。取形成直角的两边中较长的一边作为基准, 较短的一边作为被测要素; 若边的长度相等则可取其中的任意一边为基准。

表 1-54 垂直度的未注公差值

(单位: mm)

公差等级	基本长度范围			
	≤ 100	$> 100 \sim 300$	$> 300 \sim 1000$	$> 1000 \sim 3000$
H	0.2	0.3	0.4	0.5
K	0.4	0.6	0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

3) 对称度的未注公差值, 见表 1-55。应取两要素中较长者作为基准, 较短者作为被测要素; 若两要素长度相等则可选任一要素为基准。

表 1-55 对称度的未注公差值 (单位: mm)

公差等级	基本长度范围			
	≤100	> 100 ~ 300	> 300 ~ 1000	> 1000 ~ 3000
H	0.5			
K	0.6		0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

4) 同轴度的未注公差值未作规定。在极限状况下, 同轴度的未注公差值与圆跳动的未注公差值相等。

5) 圆跳动 (径向、端面和斜向) 的未注公差值见表 1-56。对于圆跳动未注公差值, 应以设计和工艺给出的支承面作为基准, 否则应取两要素中较长的一个作为基准; 若两要素的长度相等, 则可选任一要素为基准。

表 1-56 圆跳动的未注公差值 (单位: mm)

公差等级	H	K	L
圆跳动公差值	0.1	0.2	0.5

1.5.3 表面结构

1.5.3.1 基本术语新旧标准的对照 (表 1-57)

表 1-57 基本术语新旧标准的对照

本标准基本术语	GB/T 3050—1983	GB/T 3050—2009
取样长度	l	$l_p、l_w、l_r^{①}$
评定长度	l_n	l_n
纵坐标值	y	$Z(x)$
局部斜率	—	$\frac{dZ}{dX}$
轮廓峰高	y_p	Z_p
轮廓谷深	y_v	Z_v
轮廓单元高度	—	Z_t
轮廓单元宽度	—	X_s
在水平截面高度 c 位置上 轮廓的实体材料长度	η_p	$MI(c)$

① 给定的三种不同轮廓的取样长度。

1.5.3.2 表面结构的参数新旧标准的对照（表 1-58）

表 1-58 表面结构的参数新旧标准的对照

参数(GB/T 3050—2009)	GB/T 3050—1983	GB/T 3050—2009	在测量范围内	
			评定长度 l_n	取样长度
最大轮廓峰高	R_p	Rp		✓
最大轮廓谷深	R_m	Rv		✓
轮廓最大高度	R_y	Rz		✓
轮廓单元的平均高度	R_c	Rc		✓
轮廓总高度	—	Rt	✓	
评定轮廓的算术平均偏差	R_a	Ra		✓
评定轮廓的均方根偏差	R_q	Rq		✓
评定轮廓的偏斜度	S_k	Rsk		✓
评定轮廓的陡度	—	Rku		✓
轮廓单元的平均宽度	S_m	Rsm		✓
评定轮廓的均方根斜率	Δ_q	$R\Delta q$		
轮廓支承长度率	—	$Rmr(c)$	✓	
轮廓水平截面高度	—	$R\delta c$	✓	
相对支承长度率	t_p	Rmr	✓	
十点高度	R_z	—		

注：1. ✓符号表示在测量范围内，现采用的评定长度和取样长度。
2. 表中取样长度是 l_r 、 l_w 和 l_p ，分别对应于 R 、 W 和 P 参数。 $l_p = l_n$ 。
3. 在规定的三个轮廓参数中，表中只列出了粗糙度轮廓参数。例如：三个参数分别为： Pa （原始轮廓）、 Ra （粗糙度轮廓）、 Wa （波纹理轮廓）。

1.5.3.3 评定表面结构的参数及数值系列

标准 GB/T 1031—2009 采用中线制（轮廓法）评定表面粗糙度。
表面粗糙度的参数从轮廓的算术平均偏差 Ra ，轮廓的最大高度 Rz 两项中选择。在幅度参数（峰和谷）常用的参数值范围 Ra 为 $0.025 \sim 6.3 \mu\text{m}$ ， Rz 为 $0.1 \sim 25 \mu\text{m}$ ，推荐优先选用 Ra 。
(1) 轮廓的算术平均偏差 Ra 的系列值
轮廓的算术平均偏差，指在取样长度内纵坐标值的算术平均值，代号为 Ra ，其系列值见表 1-59。

表 1-59 轮廓的算术平均偏差 Ra 的系列值 (GB/T 1031—2009)

(单位: μm)

系列值	补充系列值	系列值	补充系列值	系列值	补充系列值	系列值	补充系列值
0.012	0.008					12.5	
	0.010						
			0.125		1.25		
	0.016	0.20	0.160	1.60			16.0
	0.020				2.0		20
0.025			0.25		2.5	25	
	0.032	0.40	0.32	3.2			32
	0.040				4.0		40
0.050			0.50		5.0	50	
	0.063	0.80	0.63	6.3			63
	0.080				8.0		80
0.100			1.00		10.0	100	

(2) 轮廓的最大高度 Rz 的系列值

轮廓的最大高度,是指在取样长度内,最大的轮廓峰高 R_p 与最大的轮廓谷深 R_v 之和的高度,代号为 Rz ,其系列值见表 1-60。

表 1-60 轮廓的最大高度 Rz 的系列值 (GB/T 1031—2009) (单位: μm)

系列值	补充系列值	系列值	补充系列值	系列值	补充系列值	系列值	补充系列值
		0.40	0.25	6.3	4.0	100	80
			0.32		5.0		
0.25					8.0		125
	0.032	0.80	0.50	12.5	10.0	200	160
	0.040		0.63				
0.050					16.0		250
	0.063	1.60	1.00	25	20	400	320
	0.080		1.25				
0.100					32		500
	0.125	3.2	2.0	50	40	800	630
	0.160		2.5		63		1000
0.20						1600	1250

(3) 取样长度 (l_r)

取样长度是指用于判别被评定轮廓不规则特征的 X 轴上的长度,代号为 l_r 。

为了在测量范围内较好地反映粗糙度的实际情况,标准规定取样长度按表面粗糙程度选取相应的数值,在取样长度范围内,一般至少包含 5 个的轮廓峰和轮廓谷。规定和选择取样长度目的是为限制和削弱其他几何形状误差,尤其是表面波度对测量结果的影响。

取样长度的数值见表 1-61。

表 1-61 取样长度的数值系列 (l_r)

(单位: mm)

l_r	0.08	0.25	0.8	2.5	8	25
-------	------	------	-----	-----	---	----

(4) 评定长度 (l_n)

评定长度是指用于判别被评定轮廓的 x 轴上方向的长度, 代号为 l_n 。它可以包含一个或几个取样长度。

为了较充分和客观地反映被测表面的粗糙度, 须连续取几个取样长度的平均值作为测量结果。国标规定, $l_n = 5l_r$ 为默认值。选取评定长度的目的是为了减小被测表面上表面粗糙度的不均匀性的影响。

取样长度与幅度参数之间有一定的联系, 一般情况下, 在测量 R_a 、 R_z 时推荐按表 1-62 选取对应的取样长度值。


表 1-62 取样长度 (l_r) 和评定长度 (l_n) 的数值 (单位: mm)

$R_a/\mu\text{m}$	$R_z/\mu\text{m}$	l_r	$l_n(l_n = 5l_r)$	$R_a/\mu\text{m}$	$R_z/\mu\text{m}$	l_r	$l_n(l_n = 5l_r)$
$>(0.008) \sim 0.02$	$>(0.025) \sim 0.1$	0.08	0.4	$>2 \sim 10$	$>10 \sim 50$	2.5	12.5
$>0.02 \sim 0.1$	$>0.1 \sim 0.5$	0.25	1.25	$>10 \sim 80$	$>50 \sim 200$	8	40
$>0.1 \sim 2$	$>0.5 \sim 10$	0.8	4				

1.5.3.4 表面粗糙度符号、代号及标注 (GB/T 131—2006)

(1) 表面粗糙度的符号 (表 1-63)

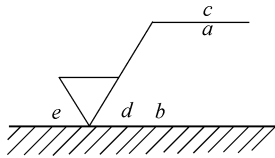
表 1-63 表面粗糙度的符号

符号类型		符 号	意 义
基本图形符号			仅用于简化代号标注, 没有补充说明时不能单独使用
扩展图形符号	要求去除材料的图形符号		在基本图形符号上加一短横, 表示指定表面是用去除材料的方法获得, 如通过机械加工获得的表面
	不去除材料的图形符号		在基本图形符号上加一个圆圈, 表示指定表面是用不去材料方法获得
完整图形符号	允许任何工艺		当要求标注表面粗糙度特征的补充信息时, 应在图形的长边上加一横线
	去除材料		
	不去除材料		
工件轮廓各表面的图形符号			当在图样某个视图上构成封闭轮廓的各表面有相同的表面粗糙度要求时, 应在完整图形符号上加一圆圈, 标注在图样中工件的封闭轮廓线上。如果标注会引起歧义时, 各表面应分别标注

(2) 表面粗糙度代号

在表面粗糙度符号的规定位置上,注出表面粗糙度数值及相关的规定项目后就形成了表面粗糙度代号。表面粗糙度数值及其相关的规定在符号中注写的规定见表 1-64。

表 1-64 表面粗糙度代号标注方法

图 示	标注方法说明
	<p>位置 <i>a</i> 注写表面粗糙度的单一要求:标注表面粗糙度参数代号、极限值和取样长度。为了避免误解,在参数代号和极限值间应插入空格。取样长度后应有一斜线 “/”, 之后是表面粗糙度参数符号, 最后是数值, 如: $-0.8/Rz\ 6.3$</p> <p>位置 <i>a</i> 和 <i>b</i> 注写两个或多个表面粗糙度要求: 在位置 <i>a</i> 注写一个表面粗糙度要求, 方法同 (<i>a</i>)。在位置 <i>b</i> 注写第二个表面粗糙度要求。如果要注写第三个或更多个表面粗糙度要求, 图形符号应在垂直方向扩大, 以空出足够的空间。扩大图形符号时, <i>a</i> 和 <i>b</i> 的位置随之上移</p> <p>位置 <i>c</i> 注写加工方法: 注写加工方法、表面处理、涂层或其他加工工艺要求等。如车、磨、镀等加工表面</p> <p>位置 <i>d</i> 注写表面纹理和方向: 注写所要求的表面纹理和纹理的方向, 如 “=”、“X”、“M”</p> <p>位置 <i>e</i> 注写加工余量: 注写所要求的加工余量, 以 mm 为单位给出数值</p>

(3) 表面粗糙度评定参数的标注

表面粗糙度评定参数必须注出参数代号和相应数值, 数值的单位均为 μm (微米), 数值的判断规则有两种:

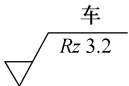
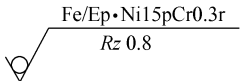
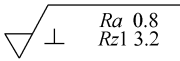
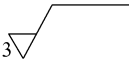
- 1) 16% 规则, 是所有表面粗糙度要求默认规则。
- 2) 最大规则, 应用于表面粗糙度要求时, 参数代号中应加上 “max”。

当图样上标注参数的最大值 (max) 或 (和) 最小值 (min) 时, 表示参数中所有的实测值均不得超过规定值。当图样上采用参数的上限值 (用 U 表示) (或、和) 下限值 (用 L 表示) 时 (表中未标注 max 或 min 的), 表示参数的实测值中允许少于总数的 16% 的实测值超过规定值。具体标注示例及意义见表 1-65。

表 1-65 表面粗糙度代号的标注示例及意义

符 号	含义/解释
	表示不允许去除材料,单向上限值, 粗糙度的最大高度为 $0.4\mu\text{m}$, 评定长度为 5 个取样长度 (默认), “16% 规则” (默认)
	表示去除材料,单向上限值, 粗糙度最大高度的最大值为 $0.2\mu\text{m}$, 评定长度为 5 个取样长度 (默认), “最大规则” (默认)
	表示去除材料,单向上限值, 取样长度 $0.8\mu\text{m}$, 算术平均偏差 $3.2\mu\text{m}$, 评定长度包含 3 个取样长度, “16% 规则” (默认)
	表示不允许去除材料,双向极限值, 上限值: 算术平均偏差 $3.2\mu\text{m}$, 评定长度为 5 个取样长度 (默认), “最大规则”, 下限值: 算术平均偏差 $0.8\mu\text{m}$, 评定长度为 5 个取样长度 (默认), “16% 规则” (默认)

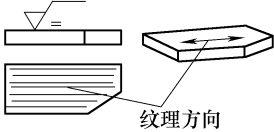
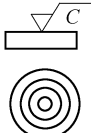
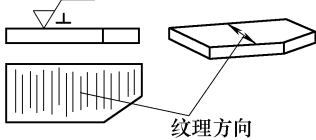
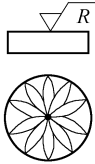
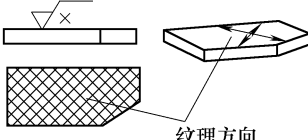
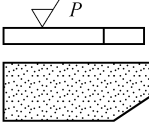
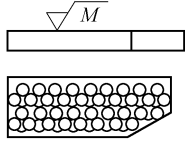
(续)

符 号	含义/解释
	零件的加工表面的粗糙度要求由指定的加工方法获得时,用文字标注在符号上边的横线上
	在符号的横线上可注写镀(涂)覆或其他表面处理要求。镀覆后达到的参数值这些要求也可在图样的技术要求中说明
	需要控制表面加工纹理方向时,可在完整符号的右下角加注加工纹理方向符号
	在同一图样中,有多道加工工序的表面可标注加工余量时,加工余量标注在完整符号的左下方,单位为 mm

注:评定长度的 (l_n) 的标注:
若所标注的参数代号没有“max”,表明采用的是有关标准中默认的评定长度。
若不存在默认的评定长度时,参数代号中应标注取样长度的个数,如 $Ra3$, $Rz3$, $RSm3$ ……(要求评定长度为 3 个取样长度)。

(4) 常见的加工纹理方向 (表 1-66)




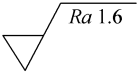


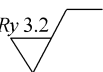
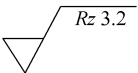

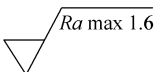
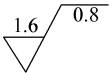
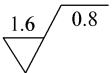
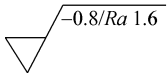
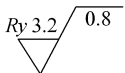
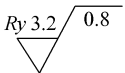
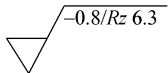


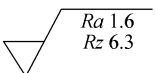

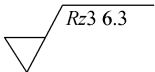
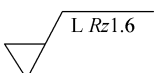


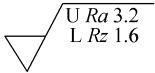
表 1-66 常见的加工纹理方向

符号	说 明	示 意 图	符号	说 明	示 意 图
=	纹理平行于视图所在的投影面		C	纹理呈近似同心圆且圆心与表面中心相关	
⊥	纹理垂直于视图所在的投影面		R	纹理呈近似的放射状与表面圆心相关	
×	纹理呈两斜向交叉且与视图所在的投影面相交		P	纹理呈微粒、凸起,无方向	
M	纹理呈多方向				

注:如果表面纹理不能清楚地用这些符号表示,必要时,可以在图样上加注说明。

(5) 表面粗糙度标注方法新旧标准对照 (表 1-67)

表 1-67 表面粗糙度标注方法新旧标准对照

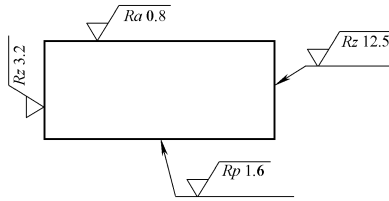
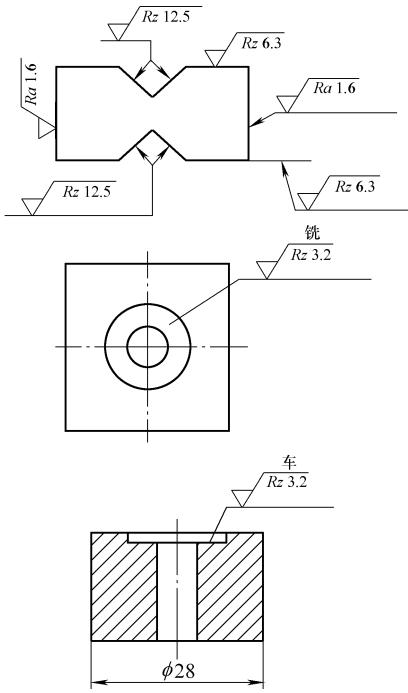
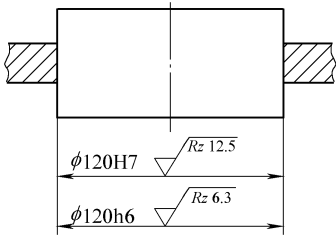
GB/T 131—1983	GB/T 131—1993	GB/T 131—2006	说明主要问题的示例
	 		Ra 只采用“16% 规则”
	 		除了 Ra “16% 规则”的参数
—			“最大规则”
			Ra 加取样长度
			除 Ra 外其他参数及取样长度
			Ra 及其他参数
—			评定长度中的取样长度个数如果不是 5, 则注明个数 (此例表示比例取样长度个数为 3)
—	—		下限值
			上、下限值

1.5.3.5 表面粗糙度代号在图样上的标注方法

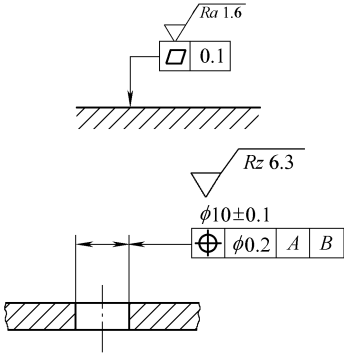
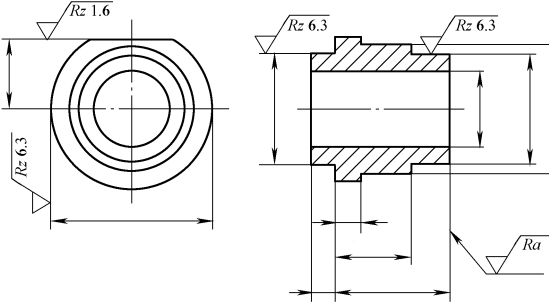
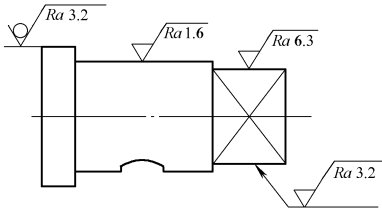
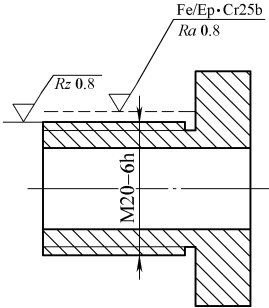
表面粗糙度要求对每一表面一般只标注一次, 并尽可能注在相应的尺寸及其公差的同时视图上。除非另有说明, 所标注的表面粗糙度要求是对完工零件表面的要求。

(1) 表面粗糙度在图样上标注方法示例 (表 1-68)

表 1-68 表面粗糙度在图样上标注方法示例

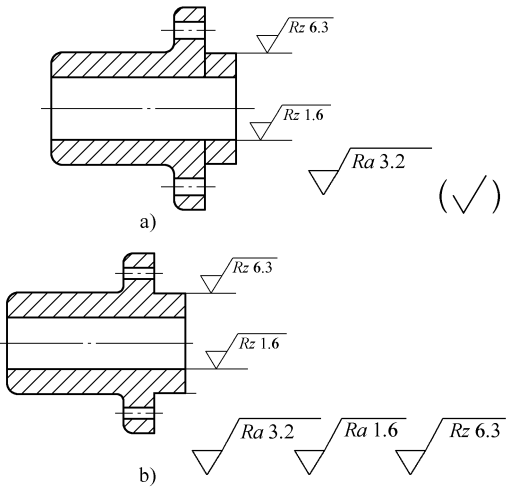
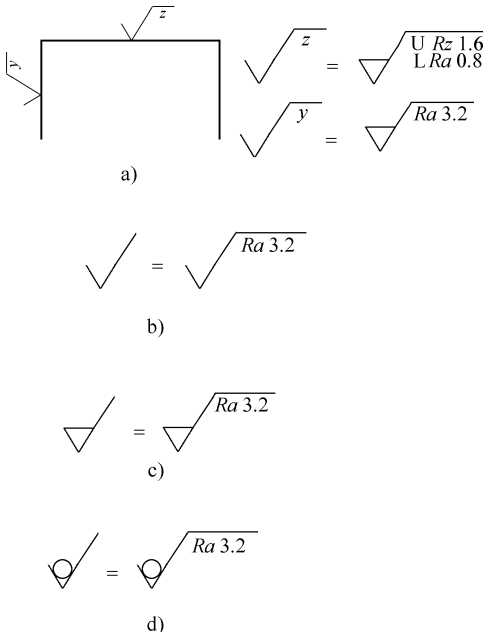
图 示	标注方法说明
	表面粗糙度的注写和读取方向与尺寸的注写和读取方向一致
	表面粗糙度要求可标注在轮廓线上,其符号应从材料外指向并接触表面。必要时,表面粗糙度符号也可用带箭头或黑点的指引线引出标注
	在不致引起误解时,表面粗糙度要求可以标注在给定的尺寸线上

(续)

图 示	标注方法说明
	<p>表面粗糙度要求可标注在形位公差框格的上方</p>
	<p>表面粗糙度要求可以直接标注在延长线上</p>
	<p>圆柱和棱柱表面的表面粗糙度要求只标注一次,如果每个棱柱表面有不同的表面粗糙度要求,则应分别单独标注</p>
	<p>由几种不同的工艺方法获得的同一表面,当需要明确每种工艺方法的表面粗糙度要求时的标注方法</p>

(2) 表面粗糙度简化标注方法示例 (表 1-69)

表 1-69 表面粗糙度简化标注方法示例

图 示	标注方法说明
 <p>a)</p> <p>b)</p>	<p>有相同表面粗糙度要求的简化注法</p> <p>如果在工件的多数 (包括全部) 表面有相同的表面粗糙度要求, 则其表面粗糙度要求可统一标注在图样的标题栏附近</p> <p>除全部表面有相同要求的情况外, 表面粗糙度要求在符号后面应有:</p> <p>(1) 在圆括号内给出无任何其他标注的基本符号 (图 a)</p> <p>(2) 在圆括号内给出不同的表面粗糙度要求 (图 b)</p> <p>不同表面粗糙度要求应直接标注在图形中</p>
 <p>a)</p> <p>b)</p> <p>c)</p> <p>d)</p>	<p>多个表面有共同要求的注法</p> <p>当多个表面具有相同的表面粗糙度要求或图样空间有限时的简化注法</p> <p>(1) 图样空间有限时, 可用带字母的完整符号, 以等式的形式, 在图形或标题栏附近, 对有相同表面结构要求的表面进行简化标注 (图 a)</p> <p>(2) 只用表面粗糙度符号的简化注法:</p> <p>可用基本和扩展的表面粗糙度符号, 以等式的形式给出对多个表面共同的表面粗糙度要求</p> <p>1) 未指定工艺方法的多个表面粗糙度要求的简化注法 (图 b)</p> <p>2) 要求去除材料的多个表面粗糙度要求的简化注法 (图 c)</p> <p>3) 不允许去除材料的多个表面粗糙度要求的简化注法 (图 d)</p>

1.5.3.6 各级表面粗糙度的表面特征及应用举例（表 1-70）

表 1-70 各级表面粗糙度的表面特征及应用举例

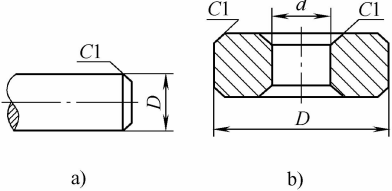
表面特征		$Ra/\mu\text{m}$	$Rz/\mu\text{m}$	应用举例
粗糙表面	可见刀痕	$>20 \sim 40$	$>80 \sim 160$	半成品粗加工过的表面，非配合的加工表面，如轴端面、倒角、钻孔、齿轮和带轮侧面、键槽底面、垫圈接触面等
	微见刀痕	$>10 \sim 20$	$>40 \sim 80$	
半光表面	微见加工痕迹	$>5 \sim 10$	$>20 \sim 40$	轴上不安装轴承或齿轮处的非配合表面、紧固件的自由装配表面、轴和孔的退刀槽等
	微辨加工痕迹	$>2.5 \sim 5$	$>10 \sim 20$	半精加工表面，箱体、支架、端盖、套筒等和其他零件结合而无配合要求的表面，需要发蓝的表面等
	看不清加工痕迹	$>1.25 \sim 2.5$	$>6.3 \sim 10$	接近于精加工表面、箱体上安装轴承的镗孔表面、齿轮的工作面
光表面	可辨加工痕迹方向	$>0.63 \sim 1.25$	$>3.2 \sim 6.3$	圆柱销、圆锥销，与滚动轴承配合的表面，普通车床导轨面，内、外花键定心表面等
	微辨加工痕迹方向	$>0.32 \sim 0.63$	$>1.6 \sim 3.2$	要求配合性质稳定的配合表面，工作时受交变应力的重要零件，较高精度车床的导轨面
	不可辨加工痕迹方向	$>0.16 \sim 0.32$	$>0.8 \sim 1.6$	精密机床主轴锥孔，顶尖圆锥面，发动机曲轴、凸轮轴工作表面，高精度齿轮齿面
极光表面	暗光泽面	$>0.08 \sim 0.16$	$>0.4 \sim 0.8$	精度机床主轴颈表面、一般量规工作表面、气缸套内表面、活塞销表面等
	亮光泽面	$>0.04 \sim 0.08$	$>0.2 \sim 0.4$	精度机床主轴颈表面、滚动轴承的滚动体、高压油泵中柱塞和柱塞套配合的表面
	镜状光泽面	$>0.01 \sim 0.04$	$>0.05 \sim 0.2$	
	镜面	≤ 0.01	≤ 0.05	高精度量仪、量块的工作表面，光学仪器中的金属镜面

1.6 切削加工件通用技术条件（JB/T 8828—2001）

1.6.1 一般要求

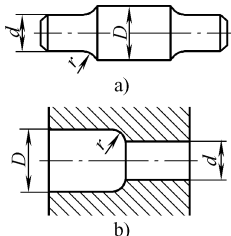
- 1) 所有经过切削加工的零件都应符合产品图样和本标准的要求。
 - 2) 零件的加工面不允许有锈蚀和影响性能、寿命或外观的磕、碰、划伤等缺陷。
 - 3) 除有特殊要求外，加工后的零件不允许有尖棱、尖角和飞边。
- ① 零件图样中未注明倒角高度时，应按表 1-71 的规定进行倒角。

表 1-71 零件未注明倒角高度时规定的倒角尺寸 (单位: mm)

	$D (d)$	c
	≤ 5	0.2
	5 ~ 30	0.5
	30 ~ 100	1
	100 ~ 250	2
	250 ~ 500	3
	500 ~ 1000	4
	> 1000	5

② 零件图样中未注明倒圆半径, 又无清根要求时, 按表 1-72 的规定倒圆。

表 1-72 零件未注明倒圆时规定的倒圆尺寸 (单位: mm)

	$D (d)$	D^*	r
	≤ 4	3 ~ 10	0.4
	4 ~ 12	10 ~ 30	1
	12 ~ 30	30 ~ 80	2
	30 ~ 80	80 ~ 260	4
	80 ~ 140	260 ~ 630	8
	140 ~ 200	630 ~ 1000	12
	> 200	> 1000	20

注: 1. D^* 值用于不通孔和外端面倒圆。

2. 非圆柱面的倒圆可参照此表。

4) 滚压精加工的表面, 滚压后不得有脱皮现象。

5) 经过热处理的工件, 精加工时不得产生烧伤、裂纹等缺陷。

6) 不允许在精加工后的配合面、摩擦面和定位面等工件表面上打印标记。

7) 采用一般公差的因素在图样上不单独注出其公差, 而是在图样上、技术要求或技术文件 (如企业标准) 中作出总的说明, 表示方法按 GB/T 1804—2000 和 GB/T 1184—1996 的规定。

1.6.2 线性尺寸的一般公差

1) 线性尺寸 (不包括倒圆半径和倒角高度) 的极限偏差按 GB/T 1804—2000 中的 f 级和 m 级选取, 其数值见表 1-73。

表 1-73 线性尺寸的极限偏差数值 (单位: mm)

等级	尺寸分段							
	0.5 ~ 3	> 3 ~ 6	> 6 ~ 30	> 30 ~ 120	> 120 ~ 400	> 400 ~ 1000	> 1000 ~ 2000	> 2000 ~ 4000
f (精密级)	± 0.05	± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	—
m (中等级)	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2

2) 倒角高度和倒圆半径按 GB/T 6403.4—2008 的规定选取, 其尺寸的极限偏差数值按 GB/T 1804—2000 中 f 级和 m 级选取, 见表 1-74。

表 1-74 倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值 (单位: mm)

等级	尺寸分段			
	0.5 ~ 3	> 3 ~ 6	> 6 ~ 30	> 30
f (精密级)	±0.2	±0.5	±1	±2
m (中等级)	±0.4	±1	±2	±4

1.6.3 角度尺寸的一般公差

角度尺寸的极限偏差按 GB/T 1804—2000 选取, 其数值见表 1-75。

表 1-75 角度尺寸的极限偏差数值

等级	长度/mm				
	≤10	> 10 ~ 50	> 50 ~ 120	> 120 ~ 400	> 400
m (中等级)	±1°	±30′	±20′	±10′	±5′
c (粗糙级)	±1°30′	±1°	±30′	±15′	±10′

注: 长度值按短边长度确定。若为圆锥角, 当锥度为 1:3 ~ 1:500 的圆锥, 按圆锥长度确定; 当锥度为大于 1:3 的圆锥, 按其素线长度确定。

1.6.4 形状和位置公差的一般公差

(1) 形状公差的一般公差

1) 直线度与平面度。图样上直线度和平面度的未注公差值按 GB/T 1184—1996 中 H 级或 K 级选用, 其数值见表 1-76。

表 1-76 直线度和平面度的未注公差值

被测要素表面粗糙度 Ra/μm	直线度与平面度的公差等级	被测要素尺寸 L/mm					
		≤10	> 10 ~ 30	> 30 ~ 100	> 100 ~ 300	> 300 ~ 1000	> 1000 ~ 3000
		公差值/mm					
0.01 ~ 1.60	H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
3.2 ~ 25	K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8

注: 被测要素尺寸 L, 对直线度公差值是指被测要素的长度尺寸; 对平面度公差值是指被测表面轮廓的较大尺寸。

2) 圆度。图样上圆度的未注公差值等于直径公差值, 但不应大于 GB/T 1184—1996 中的径向圆跳动值, 其值见表 1-77。

表 1-77 圆度的未注公差值

(单位: mm)

等 级	径向圆跳动值
H	0.1
K	0.2

(2) 位置公差的一般公差

1) 平行度。平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值,或是取直线度和平面度未注公差相应公差值的较大者。应取两要素中的较长者作为基准,若两要素的长度相等则可选任一要素为基准。

2) 对称度。

① 图样上对称度的未注公差值(键槽除外)按 GB/T 1184—1996 中 K 级选用,其数值见表 1-78。对称度应取两要素中较大者作为基准,较短者作为被测要素;若两要素长度相等,则可任选一要素作为基准。

表 1-78 对称度的未注公差值

(单位: mm)

等 级	基本长度范围			
	≤100	>100 ~ 300	>300 ~ 1000	>1000 ~ 3000
K	0.6		0.8	1.0

② 图样上键槽对称度的未注公差值按 GB/T 1184—1996 选用,其数值见表 1-79。

表 1-79 键槽对称度的未注公差值

(单位: mm)

键宽 B	对称度公差值	键宽 B	对称度公差值
2 ~ 3	0.020	>18 ~ 30	0.050
>3 ~ 6	0.025	>30 ~ 50	0.060
>6 ~ 10	0.030	>50 ~ 100	0.080
>10 ~ 18	0.040		

3) 垂直度。图样上垂直度的未注公差值按 GB/T 1184—1996 的规定选取,其数值见表 1-80。取形成直角的两边中较长的一边作为基准,较短的一边作为被测要素;若两边的长度相等,则可取其中的任意一边作为基准。

表 1-80 垂直度的未注公差值

(单位: mm)

等级	基本长度范围			
	≤100	>100 ~ 300	>300 ~ 1000	>1000 ~ 3000
H	0.2	0.3	0.4	0.5

4) 同轴度。在极限状况下,同轴度的未注公差值可以与表 1-76 中规定的径向圆跳动的未注公差值相等。应选两要素中的较长者为基准,若两要素长度相等则可选一要素为基准。

5) 圆跳动。圆跳动(径向、端面和斜向)的未注公差值见表 1-77。

对于圆跳动的未注公差值,应以设计或工艺给出的支承面作为基准,否则应取两要素中较长的一个作为基准;若两要素长度相等,则可任选一要素为基准。

6) 中心距的极限偏差。当图样上未注明中心距的极限偏差时,按表 1-81 的规定选用。螺栓和螺钉尺寸按 GB/T 5277—1985 选取。

表 1-81 任意两螺钉、螺栓孔中心距的极限偏差 (单位: mm)

螺钉或螺栓规格	M2 ~ M6	M8 ~ M10	M12 ~ M18	M20 ~ M24	M27 ~ M30	M36 ~ M42	M48	M56 ~ M72	≥ M80
任意两螺钉孔中心距极 限偏差	± 0. 12	± 0. 25	± 0. 30	± 0. 50	± 0. 60	± 0. 75	± 1. 00	± 1. 25	± 1. 50
任意两螺栓孔中心距极 限偏差	± 0. 25	± 0. 50	± 0. 75	± 1. 00	± 1. 25	± 1. 50	± 2. 00	± 2. 50	± 3. 00

1. 6. 5 螺纹

- 1) 加工的螺纹表面不允许有黑皮、乱扣和飞边等缺陷。
- 2) 普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸应按 GB/T 3—1997 的相应规定。

1. 6. 6 中心孔

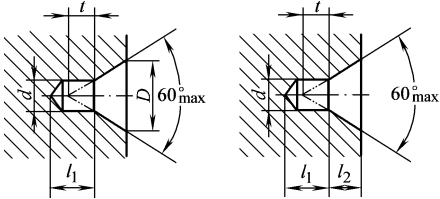
零件图样中未注明中心孔的零件, 加工中又需要中心孔时, 在不影响使用和外观的情况下, 加工后中心孔可以保留。中心孔的形式和尺寸根据需要按 GB/T 145—2001 的规定选取。

1. 7 机械加工的一般标准规范

1. 7. 1 中心孔 (GB/T 145—2001)

60°中心孔分 A 型、B 型、C 型、R 型 4 种形式 (表 1-82 ~ 表 1-85)。

表 1-82 A 型中心孔的形式和尺寸 (单位: mm)

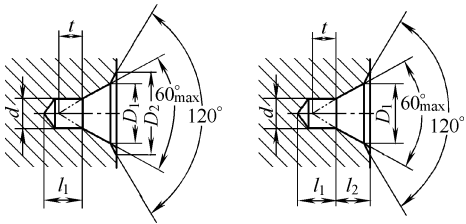


d	D	l_2	t	d	D	l_2	t
			参考尺寸				参考尺寸
(0. 50)	1. 06	0. 48	0. 5	2. 50	5. 30	2. 42	2. 2
(0. 63)	1. 32	0. 60	0. 6	3. 15	6. 70	3. 07	2. 8
(0. 80)	1. 70	0. 78	0. 7	4. 00	8. 50	3. 90	3. 5
1. 00	2. 12	0. 97	0. 9	(5. 00)	10. 60	4. 85	4. 4
(1. 25)	2. 65	1. 21	1. 1	6. 30	13. 20	5. 98	5. 5
1. 60	3. 35	1. 52	1. 4	(8. 00)	17. 00	7. 79	7. 0
2. 00	4. 25	1. 95	1. 8	10. 00	21. 20	9. 70	8. 7

- 注: 1. 尺寸 l_1 取决于中心钻的长度 l_1 , 即使中心钻重磨后再使用, 此值也不应小于 t 值。
2. 表中同时列出了 D 和 l_2 尺寸, 制造厂可任选其中一个尺寸。
3. 括号内的尺寸尽量不采用。

表 1-83 B 型中心孔的形式和尺寸

(单位: mm)

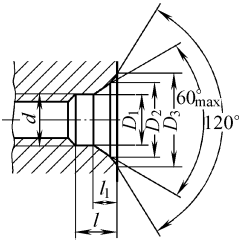


d	D ₁	D ₂	l ₂	t	d	D ₁	D ₂	l ₂	t
				参考尺寸					参考尺寸
1.00	2.12	3.15	1.27	0.9	4.00	8.50	12.50	5.05	3.5
(1.25)	2.65	4.00	1.60	1.1	(5.00)	10.60	16.00	6.41	4.4
1.60	3.35	5.00	1.99	1.4	6.30	13.20	18.00	7.36	5.5
2.00	4.25	6.30	2.54	1.8	(8.00)	17.00	22.40	9.36	7.0
2.50	6.30	8.00	3.20	2.2	10.00	21.20	28.00	11.66	8.7
3.15	6.70	10.00	4.03	2.8					

- 注: 1. 尺寸 l_1 取决于中心钻的长度 l_1 , 即使中心钻重磨后再使用, 此值也不应小于 t 值。
2. 表中同时列出了 D 和 l_2 尺寸, 制造厂可任选其中一个尺寸。
3. 括号内的尺寸尽量不采用。

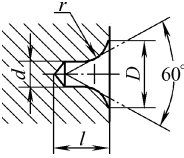
表 1-84 C 型中心孔的形式和尺寸

(单位: mm)



d	D ₁	D ₂	D ₃	l	l ₁	d	D ₁	D ₂	D ₃	l	l ₁
					参考尺寸						参考尺寸
M3	3.2	5.3	5.8	2.6	1.8	M10	10.5	14.9	16.3	7.5	3.8
M4	4.3	6.7	7.4	3.2	2.1	M12	13.0	18.1	19.8	9.5	4.4
M5	5.3	8.1	8.8	4.0	2.4	M16	17.0	23.0	25.3	12.0	5.2
M6	6.4	9.6	10.5	5.0	2.8	M20	21.0	28.4	31.3	15.0	6.4
M8	8.4	12.2	13.2	6.0	3.3	M24	26.0	34.2	38.0	18.0	8.0

表 1-85 R 型中心孔的形式和尺寸 (单位: mm)



d	D	l_{\min}	r		d	D	l_{\min}	r	
			max	min				max	min
1.00	2.12	2.3	3.15	2.50	4.00	8.50	8.9	12.50	10.00
(1.25)	2.65	2.8	4.00	3.15	(5.00)	10.60	11.2	16.00	12.50
1.60	3.35	3.5	5.00	4.00	6.30	13.20	14.0	20.00	16.00
2.00	4.25	4.4	6.30	5.00	(8.00)	17.00	17.9	25.00	20.00
2.50	5.30	5.5	8.00	6.30	10.00	21.20	22.5	31.50	25.00
3.15	6.70	7.0	10.00	8.00					

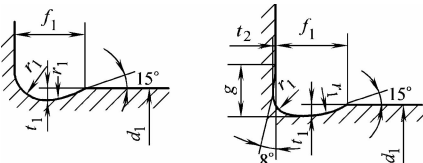
注: 括号内的尺寸尽量不采用。

1.7.2 各类槽

(1) 退刀槽

1) 外圆退刀槽的各部尺寸见表 1-86。

表 1-86 外圆退刀槽的各部尺寸 (单位: mm)



r_1	t_1 +0.1	f_1	g ≈	t_2 -0.05	推荐的配合直径 d_1	
					用于一般载荷	用于交变载荷
0.6	0.2	2	1.4	0.1	~18	—
	0.3	2.5	2.1	0.2	>18 ~ 80	
1	0.4	4	3.2	0.3	>80	
	0.2	2.5	1.8	0.1	—	>18 ~ 50
1.6	0.3	4	3.1	0.2		>50 ~ 80
2.5	0.4	5	4.8	0.3		>80 ~ 125
4	0.5	7	6.4	0.3		125

注: A 型轴的配合面需磨削, 轴肩不磨削。

B 型轴的配合面及轴肩皆需磨削。

2) 带槽孔的退刀槽见表 1-87。

表 1-87 带槽孔的退刀槽

图 示	说 明
	<p>退刀槽直径 d_2 可按选用的平键或楔键而定</p> <p>退刀槽的深度 t_2 一般为 20mm，如因结构上的原因 t_2 的最小值不得小于 10mm</p> <p>退刀槽的表面粗糙度一般选用 $Ra3.2\mu\text{m}$，根据需要也可选用 $Ra1.6\mu\text{m}$、$0.8\mu\text{m}$、$0.4\mu\text{m}$</p>

(2) 砂轮越程槽 (GB/T 6403.5—2008) (表 1-88 ~ 表 1-92)

表 1-88 磨回端面及端面砂轮越程槽 (单位: mm)

a) 磨外圆

b) 磨内圆

c) 磨外端面

d) 磨内端面

e) 磨外圆及端面

f) 磨内圆及端面

b_1	0.6	1.0	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10
b_2	2.0	3.0		4.0		5.0		8.0	10
h	0.1	0.2		0.3	0.4		0.6	0.8	1.2
r	0.2	0.5		0.8	1.0		1.6	2.0	3.0
d	~ 10			10 ~ 50		50 ~ 100		> 100	

注: 1. 越程槽内两直线相交处, 不允许产生尖角。

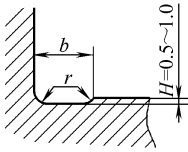
2. 越程槽深度 h 与圆弧半径 r , 要满足 $r < 3h$ 。

3. 磨削具有数个直径的工件时, 可使用同一规格的越程槽。

4. 直径 d 值大的零件, 允许选择小规格的砂轮越程槽。

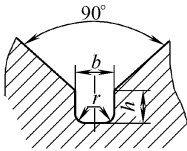
5. 砂轮越程槽的尺寸公差和表面粗糙度根据该零件的结构、性能确定。

表 1-89 磨平面砂轮越程槽 (单位: mm)



<i>b</i>	2	3	4	5
<i>r</i>	0.5	1.0	1.2	1.6

表 1-90 磨 V 形面砂轮越程槽 (单位: mm)



<i>b</i>	2	3	4	5
<i>h</i>	1.6	2.0	2.5	3.0
<i>r</i>	0.5	1.0	1.2	1.6

表 1-91 磨燕尾导轨面砂轮越程槽 (单位: mm)

<i>H</i>	≤5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80
<i>b</i>	1	2	3	4	5	6							
<i>h</i>	1	2	3	4	5	6							
<i>r</i>	0.5	0.5	1.0	1.6	1.6	2.0							

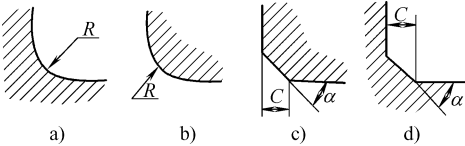
表 1-92 磨矩形导轨面砂轮越程槽 (单位: mm)

The diagram illustrates a rectangular grinding wheel over-travel groove. It shows a cross-section of a workpiece with a rectangular groove of width 'b' and radius 'r'. The depth of the groove is 'H'. The angle of the groove is 45°.

<i>H</i>	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
<i>b</i>	2				3				5		8	
<i>h</i>	1.6				2.0				3.0		5.0	
<i>r</i>	0.5				1.0				1.6		2.0	

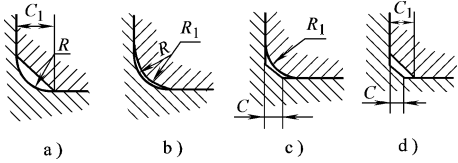
1.7.3 零件倒圆与倒角（GB/T 6403.4—2008）（表 1-93 ~ 表 1-95）

表 1-93 倒圆倒角尺寸 R 、 C 系列值（单位：mm）



R 、	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0
C	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25	32	40	50	

表 1-94 内角倒角、外角倒圆时 C 的最大值 C_{\max} 与 R_1 的关系（单位：mm）



R_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0
C_{\max}	—	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
R_1	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12	16	20	25
C_{\max}	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10	12

表 1-95 与直径 ϕ 相应的倒角 C 、倒圆 R 的推荐值（单位：mm）

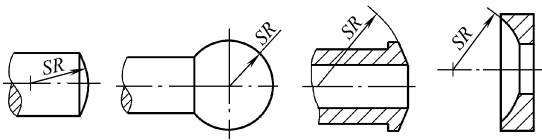
ϕ	~3	>3~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50
C 或 R	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.6

ϕ	>50~80	>80~120	>120~180	>180~250	>250~320	>320~400
C 或 R	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0

ϕ	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600
C 或 R	8.0	10	12	16	20	25

1.7.4 球面半径（表 1-96）

表 1-96 球面半径系列值（GB/T6403.1—2008）（单位：mm）



(续)

第1系列	0.2	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	20
第2系列	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5.0	8.0	12	18	22
第1系列	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
第2系列	28	36	45	56	71	90	110	140	180	220	280
第1系列	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200
第2系列	360	450	560	710	900	1100	1400	1800	2200	2800	

注：优先选用表中第1系列。

1.7.5 螺纹零件

(1) 紧固件外螺纹零件的末端 (GB/T2—2001)

1) 紧固件公称长度以内的末端形式见图 1-31。

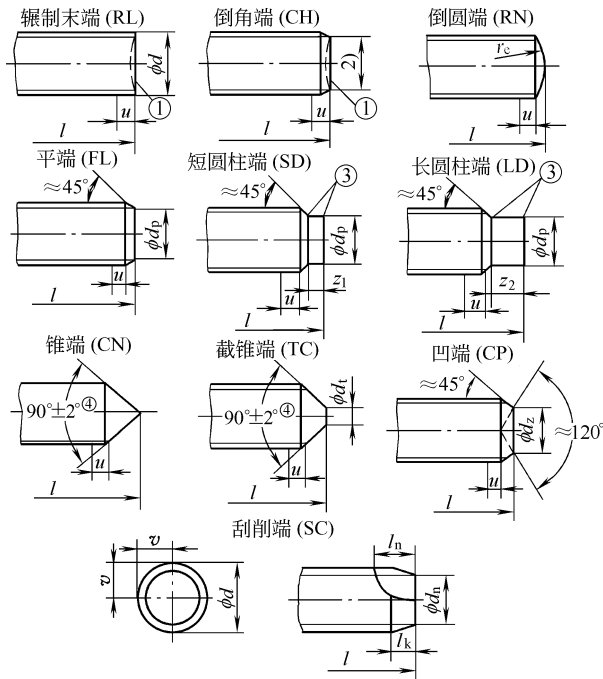


图 1-31 紧固件公称长度以内的末端形式

注：1. $r_c \approx 1.4d$ ； $u = 0.5d \pm 0.5$ ； $d_n = d - 1.6P$ ； $l_n \leq 5P$ ； $l_k \leq 3P$ ； $l_n - l_k \geq 2P$ ； P —螺距。

2. l 为紧固件的公称长度。

3. 不完整螺纹的长度 $u \leq 2P$ 。

4. 对 FL、SD、LD 和 CP 型末端， 45° 仅指螺纹小径以下的末端部分。

图中：①端面可以是凹面；② \leq 螺纹小径；③ 倒圆。④ 对图中：短螺钉为 $120^\circ \pm 2^\circ$ ，

并按产品标准的规定，如 GB/T78—2007。

2) 紧固件公称长度以外的末端形式见图 1-32。

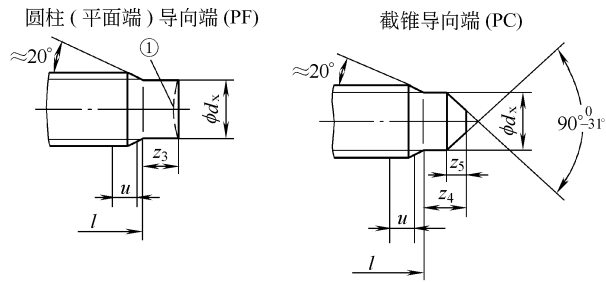


图 1-32 紧固件公称长度以外的末端形式

注：1. 不完整螺纹的长度 $u \leq 2P$ ； P —螺距。

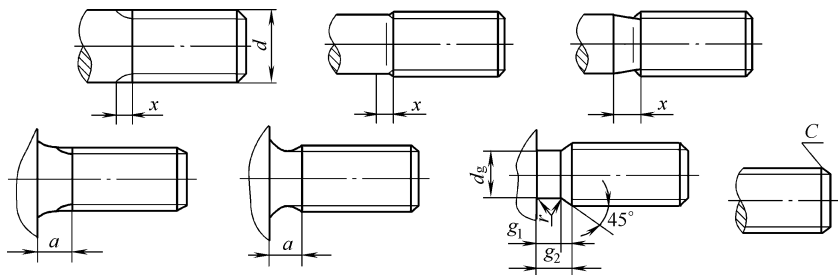
2. 20° 仅指螺纹小径以下的末端部分。

① 处的端面可以是凹面。

(2) 普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽及倒角尺寸（表 1-97）

表 1-97 普通螺纹的收尾、肩距、退刀槽及倒角尺寸（GB/T3—1997）

（单位：mm）



螺距 P	粗牙螺纹 外径 d	螺纹收尾 x		肩距 a			退刀槽				倒角 C
		max		max			g_2 max	g_1 min	r \approx	d_g	
		一般	短的	一般	长的	短的					
0.2	—	0.5	0.25	0.6	0.8	0.4	—	—	—	—	0.2
0.25	1; 1.2	0.6	0.3	0.75	1	0.5	0.75	0.4	0.12	$d - 0.4$	
0.3	1.4	0.75	0.4	0.9	1.2	0.6	0.9	0.6	0.16	$d - 0.5$	0.3
0.35	1.6; 1.8	0.9	0.45	1.05	1.4	0.7	1.05	0.6		$d - 0.6$	
0.4	2	1	0.5	1.2	1.6	0.8	1.2		0.2	$d - 0.7$	0.4
0.45	2.2; 2.5	1.1	0.6	1.35	1.8	0.9	1.35	0.7		$d - 0.7$	
0.5	3	1.25	0.7	1.5	2	1	1.5	0.8	0.4	$d - 0.8$	0.5
0.6	3.5	1.5	0.75	1.8	2.4	1.2	1.8	0.9		$d - 1$	
0.7	4	1.75	0.9	2.1	2.8	1.4	2.1	1.1		$d - 1.1$	0.6
0.75	4.5	1.9	1	2.25	3	1.5	2.25	1.2		$d - 1.2$	
0.8	5	2	1	2.4	3.2	1.6	2.4	1.3	0.6	$d - 1.3$	0.8
1	6; 7	2.5	1.25	3	4	2	3	1.6		$d - 1.6$	1
1.25	8	3.2	1.6	4	5	2.5	3.75	2		$d - 2$	1.2
1.5	10	3.8	1.9	4.5	6	3	4.5	2.5	0.8	$d - 2.3$	1.5

(续)

螺距 P	粗牙螺纹 外径 d	螺纹收尾 x		肩距 a			退刀槽				倒角 C
		max		max			g_2	g_1	r	d_g	
		一般	短的	一般	长的	短的	max	min	\approx		
1.75	12	4.3	2.2	5.3	7	3.5	5.25	3	1	$d - 2.6$	2
2	14; 16	5	2.5	6	8	4	6	3.4		$d - 3$	
2.5	18; 20; 22	6.3	3.2	7.5	10	5	7.5	4.4	1.2	$d - 3.6$	2.5
3	24; 27	7.5	3.8	9	12	6	9	5.2	1.6	$d - 4.4$	
3.5	30; 33	9	4.5	10.5	14	7	10.5	6.2		$d - 5$	3
4	36; 39	10	5	12	16	8	12	7	2	$d - 5.7$	
4.5	42; 45	11	5.5	13.5	18	9	13.5	8	2.5	$d - 6.4$	4
5	48; 52	12.5	6.3	15	20	10	15	9		$d - 7$	
5.5	56; 60	11	7	15.5	22	11	17.5	11	3.2	$d - 7.7$	5
6	64; 68	15	7.5	18	24	12	18			$d - 8.3$	

注：1. 外螺纹倒角和退刀槽过渡角一般按 45° ，也可按 60° 或 30° 。当螺纹按 60° 或 30° 倒角时，倒角深度应大于或等于牙型高度。

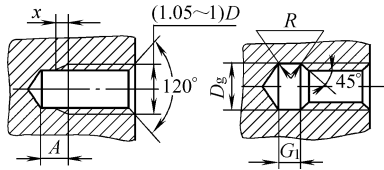
2. 肩距 a 是螺纹收尾 x 加螺纹空白的总长。设计时应优先考虑一般肩距尺寸。短的肩距只在结构需要时采用。产品等级为 B 或 C 级的螺纹紧固件可采用长肩距。

3. 细牙螺纹按本表螺距 P 选用。

(3) 普通内螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸（表 1-98）

表 1-98 普通内螺纹的收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸（GB/T3—1997）

（单位：mm）



螺距 P	粗牙螺纹 外径 d	螺纹收尾 X		肩距 A		退刀槽			D_g
		max				G_1		R	
		一般	短的	一般	长的	一般	短的	\approx	
0.2	—	0.8	0.4	1.2	1.6				$d + 0.3$
0.25	1, 1.2	1	0.5	1.5	2				
0.3	1.4	1.2	0.6	1.8	2.4				
0.35	1.6, 1.8	1.4	0.7	2.2	2.8				
0.4	2	1.6	0.8	2.5	3.2				
0.45	2.2, 2.5	1.8	0.9	2.8	3.6				
0.5	3	2	1	3	4	2	1	0.2	
0.6	3.5	2.4	1.2	3.2	4.8	2.4	1.2	0.3	
0.7	4	2.8	1.4	3.5	5.6	2.8	1.4	0.4	
0.75	4.5	3	1.5	3.8	6	3	1.5	0.4	
0.8	5	3.2	1.6	4	6.4	3.2	1.6	0.4	$d + 0.5$
1	6; 7	4	2	5	8	4	2	0.5	
1.25	8	5	2.5	6	10	5	2.5	0.6	

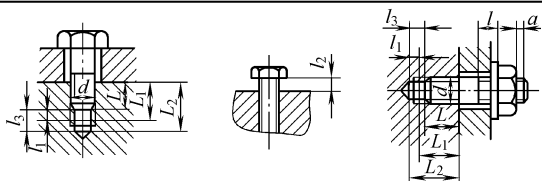
(续)

螺距 P	粗牙螺 纹外径 d	螺纹收尾 X_{\max}		肩距 A		退刀槽			
		一般	短的	一般	长的	G_1		$R \approx$	D_g
						一般	短的		
1.5	10	6	3	7	12	6	3	0.8	$d + 0.5$
1.75	12	7	3.5	9	14	7	3.5	0.9	
2	14,16	8	4	10	16	8	4	1	
2.5	18,20,22	10	5	12	18	10	5	1.2	
3	24,27	12	6	14	22	12	6	1.5	
3.5	30,33	14	7	16	24	14	7	1.8	
4	36,39	16	8	18	26	16	8	2	
4.5	42,45	18	9	21	29	18	9	2.2	
5	48,52	20	10	23	32	20	10	2.5	
5.5	56,60	22	11	25	35	22	11	2.8	
6	64,68	24	12	28	38	24	12	3	

- 注：1. 内螺纹倒角一般是 120° 倒角，也可以是 90° 倒角。端面倒角直径为 $(1.05 \sim 1) D$ 。
2. 肩距 A 是螺纹收尾 X 加螺纹空白的总长。
3. 应优先采用一般长度的收尾和肩距；短的退刀槽只在结构需要时采用；产品等级为 B 或 C 级的螺纹紧固件可采用长肩距。
4. 细牙螺纹按本表螺距 P 选用。

(4) 普通螺纹的内、外螺纹余留长度、钻孔余留深度，螺栓突出螺母的末端长度 (表 1-99)

表 1-99 普通螺纹的内、外螺纹余留长度、钻孔余留深度，螺栓突出螺母的末端长度
(单位：mm)



螺距 P	螺纹直径		余留长度			末端长度 a
	粗牙	细牙	内螺纹 l_1	外螺纹 $l = l_2$	钻孔 l_3	
0.5	3	5	1	2	3	0.5 ~ 1.5
0.7	4	6	1.5	2.5	4	1 ~ 2
0.75					5	
0.8	5					
1	6	8 10 14 16 18	2	3.5	6	1.5 ~ 2.5
1.25	8	12	2.5	4	8	1.5 ~ 2.5

(续)

螺距	螺 纹 直 径		余 留 长 度			末端长度
	粗牙	细牙	内 螺 纹	外 螺 纹	钻 孔	
P	d		l_1	$l = l_2$	l_3	a
1.5	10	—	3	4.5	9	2 ~ 3
	—	14				
		16				
		18				
		20				
		22				
		24				
		27				
		30				
		33				
—						
1.75	12	—	3.5	5.5	11	
2	14	—	4	6	12	2.5 ~ 4
	16					
	—	24				
		27				
		30				
		33				
		36				
		39				
		45				
		48				
		52				
	2.5	18				
20						
22						
3	24	6	8	18	3 ~ 5	
	27					36
						39
						—
	45					
	48					
	56					
	60					
	64					
	72					
	76					
3.5	30	—	7	9	21	
36	8		10	24	4 ~ 7	
—		56				
		60				
		64				
		68				
		72				
	76					

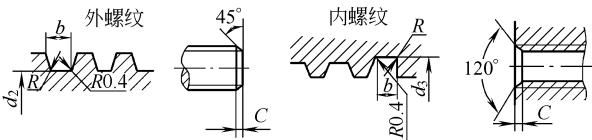
(续)

螺距	螺纹直径		余留长度			末端长度	
	粗牙	细牙	内螺纹	外螺纹	钻孔		
P	d		l_1	$l = l_2$	l_3	a	
4.5	42	—	9	11	27	4 ~ 7	
5	48		10	13	30	6 ~ 10	
5.5	56		11	16	33		
6	64		12	18	36		
	72						
	76						

- 注：1. 拧入深度 L 由设计者决定。
2. 钻孔深度 $L_2 = L + l_3$ 。
3. 螺孔深度 $L_1 = L + l_1$ （不包括螺尾）。

(5) 梯形螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸（表 1-100）

表 1-100 梯形螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸（单位：mm）

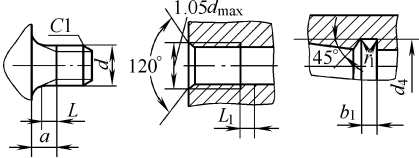


螺距(或导程) P	b	d_2	d_3	R	c
2	2.5	$d - 3$	$d + 1$	1	1.5
3	4	$d - 4$			2
4	5	$d - 5.1$	$d + 1.1$	1.5	2.5
5	6.5	$d - 6.6$	$d + 1.6$	1.5	3
6	7.5	$d - 7.8$	$d + 1.8$	2	3.5
8	10	$d - 9.8$		2.5	4.5
10	12.5	$d - 12$	$d + 2$	3	5.5
12	15	$d - 14$			6
16	20	$d - 19.2$	$d + 3.2$	4	9
20	24	$d - 23.5$	$d + 3.5$	5	11
24	30	$d - 27.5$			13
32	40	$d - 36$	$d + 4$	6	17
40	50	$d - 44$			21

注：表中 d 为螺纹公称直径。

(6) 米制锥螺纹的结构要素（表 1-101、表 1-102）

表 1-101 米制锥螺纹的螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角尺寸（单位：mm）

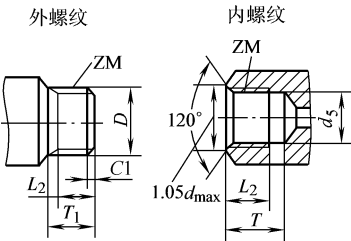


(续)

螺纹代号	螺距 P	外 螺 纹			内 螺 纹		
		螺纹收 尾 L	肩距 a	倒角 c	螺纹收 尾 L_1	退刀槽	
						b_1	d_4
ZM6	1	2	3	1	3	3	0.5
ZM8							
ZM10							
ZM14	1.5	3	4.5	1	4.5	4.5	1
ZM18							
ZM22							
ZM27	2	4	6	1.5	6	6	1
ZM33							
ZM42							
ZM48							
ZM60							
ZM76							
ZM90							
ZM90	3	6	8		9	9	1.5

- 注：1. 外螺纹倒角和螺纹退刀槽过渡角一般按 45°，也可按 60°或 30°。当按 60°或 30°倒角时，倒角深度约等于螺纹深度。
2. 内螺纹倒角一般是 120°锥角，也可以是 90°锥角。
3. d 为基面上螺纹大径（对内螺纹即螺孔端面的螺纹大径）。

表 1-102 米制锥螺纹接头尾端尺寸 (单位：mm)



螺纹代号	d	L_2	T_1	T	d_5		c
					I	II	
ZM6	6.18	7.5	10.5	12	4	4.5	1
ZM8	8.18				6	6.5	
ZM10	10.18				8	8.5	
ZM14	14.28	11.5	16	18	11	11.8	1.5
ZM18	18.28				15	15.7	
ZM22	22.28				19	19.7	
ZM27	27.37	15	21	23	23	24	
ZM33	33.37				29	30	
ZM42	42.37				38	39	
ZM48	48.37	16	22	24	44	45	
ZM60	60.37				56	57	

- 注：I—铰锥孔前的底孔直径，用于高压接头。II—钻孔后攻螺纹用的底孔直径。 d —基面上的螺纹大径。
- (7) 圆柱管螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸 (表 1-103)

表 1-103 圆柱管螺纹收尾、退刀槽和倒角尺寸 (单位: mm)

外 螺 纹				内 螺 纹				倒角							
收尾		退刀槽		收尾		退刀槽									
螺纹 代号	每英寸 牙数 n	外 螺 纹					内 螺 纹					c			
		$L \leq$ ($\alpha = 25^\circ$ 时)	b	d_2	R	r	L_1 \leq	b_1	d_3	R_1	r_1				
G1/8	28	1.5	2	8	0.5	—	2	2	10	0.5	—	0.6			
G1/4	19	2	3	11	1	0.5	3	3	13.5	1	0.5	1			
G3/8				14					17						
G1/2	14	2.5	4	18			4	4	21.5						
G5/8				20					23.5						
G3/4				23.5					27						
G1	11	3.5	5	29.5	1.5		5	6	34	1.5	1	1.5			
G1 ¹ / ₄				38					42.5						
G1 ¹ / ₂				44					48.5						
G1 ³ / ₄				50					54.5						
G2				56					60.5						
G2 ¹ / ₄				62			6	8	66.5	2					
G2 ¹ / ₂				71					76						
G2 ³ / ₄				78					82.5						
G3				84			8	10	88.5	3					
G3 ¹ / ₂				96					101						
G4				109					114						
G5				134.5					139.5						
G6				160					165						

注：1. 外螺纹的螺尾角 $\alpha = 25^\circ$ 的螺尾数值系列为基本的。内螺纹的螺尾角不予规定,以螺尾长度 L_1 与螺纹牙型高度来确定。

2. 对辗制和铣制的螺尾角不予规定,而螺尾长度 L 不超过表中对 $\alpha = 25^\circ$ 时所规定的数值。

3. 螺纹倒角的宽度是指在切制螺纹前的数值。

4. 在必要的情况下, b (或 b_1) 两种形式的退刀槽宽度可以采用本标准规定的其他退刀槽宽度,但不得小于 1.2 倍螺距和不大于 3 倍螺距。

5. 在结构有特殊要求时,允许不按本标准规定的退刀槽直径 d_2 与 d_3 。

第2章 车削技术

2.1 车刀

2.1.1 刀具切削部分几何参数及其选择

2.1.1.1 刀具的切削角度及其作用（表 2-1）

表 2-1 刀具的切削角度及其作用



The diagram illustrates the geometry of a turning operation. It shows a cylindrical workpiece being cut by a tool. Key angles and features are labeled:
 - **前角 γ_0** : Angle between the cutting plane and the tool face.
 - **副前角 γ'_0** : Angle between the cutting plane and the flank face.
 - **后角 α_0** : Angle between the tool flank and the cutting plane.
 - **副后角 α'_0** : Angle between the tool flank and the plane perpendicular to the cutting plane.
 - **主偏角 κ_r** : Angle between the cutting plane and the tool axis.
 - **副偏角 κ'_r** : Angle between the flank face and the plane perpendicular to the cutting plane.
 - **刀尖角 ϵ_r** : Angle between the two flank faces at the tool tip.
 - **刀倾角 λ_s** : Angle between the tool axis and the cutting plane.
 - **楔角 β_0** : Angle between the two flank faces.
 - **切削角 δ_0** : Angle between the cutting plane and the tangent to the workpiece surface.
 - **过渡偏角 κ_0** : Angle between the cutting plane and the tool axis at the transition point.
 - **待加工表面**: Surface to be machined.
 - **已加工表面**: Surface already machined.
 - **过渡表面**: Transition surface.
 - **刀尖圆弧半径 r** : Radius of the tool tip.
 - **切削力 N_1, N_2** : Forces acting on the tool.
 - **进给力 K** : Feed force.
 - **切削速度 N** : Cutting speed.

名称	代号	位置和作用
前 角	γ_0	前面（前刀面，后同）经过主切削刃与基面的夹角，在主截面内测出。它影响切屑变形和切屑与前面的摩擦及刀具强度
副前角	γ'_0	前面经过副切削刃与基面的夹角，在副截面内测出
后 角	α_0	主后面（主后刀面，后同）与切削平面的夹角，在主截面内测出。用来减少主后面与工件的摩擦
副后角	α'_0	副后面（副后刀面，后同）与通过副切削刃并垂直于基面的平面之间的夹角，在副截面内测出。用来减少副后面与已加工表面的摩擦
主偏角	κ_r	主切削刃与被加工表面（走刀方向）之间的夹角 当切削深度和进给量一定时，改变主偏角可以使切屑变薄或变厚，影响散热情况和切削力的变化
副偏角	κ'_r	副切削刃与已加工表面（走刀方向）之间的夹角。它可以避免副切削刃与已加工表面摩擦，影响已加工表面粗糙度
过渡偏角	κ_0	过渡刀刃与被加工表面（走刀方向）之间的夹角。用来增加刀尖强度
刀倾角	λ_s	主切削刃与基面之间的夹角。它可以控制切屑流出方向，增加刀刃强度并能使切削力均匀
楔 角	β_0	前面与主后面之间的夹角，在主截面内测出。它影响刀头截面的大小
切削角	δ_0	前面和切削平面间的夹角，在主截面内测出
刀尖角	ϵ_r	主切削刃与副切削刃在基面上投影的夹角。它影响刀头强度和导热能力
倒棱宽度	f	在切刀前面刀刃上的狭窄平面。用来增加刀刃强度

2.1.1.2 刀具切削部分几何参数的选择

(1) 硬质合金车刀前角参考值（表 2-2）

表 2-2 硬质合金车刀前角参考值

工 件 材 料	前角 $\gamma_o / (^{\circ})$	
	粗 车	精 车
低碳钢 Q235	18 ~ 20	20 ~ 25
45 钢（正火）	15 ~ 18	18 ~ 20
45 钢（调质）	10 ~ 15	13 ~ 18
45 钢、40Cr 铸钢件或锻件断续切削	10 ~ 15	5 ~ 10
灰铸铁 HT150、HT200，铸造锡青铜 ZCuSn10Pb1、铅黄铜 HPb59-1	10 ~ 15	5 ~ 10
铝合金 1050A 及 2A12	30 ~ 35	35 ~ 40
纯铜 T1 ~ T3	25 ~ 30	30 ~ 35
奥氏体不锈钢（185HBW 以下）	15 ~ 25	
马氏体不锈钢（250HBW 以下）	15 ~ 25	
马氏体不锈钢（250HBW 以上）	- 5	
40Cr 钢（正火）	13 ~ 18	15 ~ 20
40Cr 钢（调质）	10 ~ 15	13 ~ 18
40 钢、40Cr 钢锻件	10 ~ 15	
淬硬钢（40 ~ 50HRC）	- 15 ~ - 5	
灰铸铁断续切削	5 ~ 10	0 ~ 5
高强度钢（ $\sigma_b < 1800\text{MPa}$ ）	- 5	
高强度钢（ $\sigma_b > 1800\text{MPa}$ ）	- 10	
锻造高温合金	5 ~ 10	
铸造高温合金	0 ~ 5	
钛及钛合金	5 ~ 10	
铸造碳化钨	- 15 ~ - 10	

(2) 车刀主切削刃和刀尖形状的选择

1) 平面型（ $\gamma_o > 0^{\circ}$ ）见图 2-1。

① 切削特点：切削作用强，切屑变形小，切削刃强度较差，不易断屑。

② 应用范围：各种高速钢刀具，切削刃形状复杂的样板刀，加工铸铁、青铜、脆黄铜用的硬质合金车刀。

2) 曲面型（ $\gamma_o > 0^{\circ}$ ）见图 2-2。

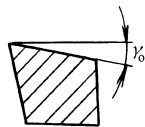


图 2-1 平面型

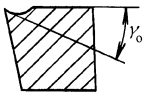


图 2-2 曲面型

- ① 切削特点：切削作用强，切屑变形小，切削刃强度较差，容易卷屑和断屑。
 - ② 应用范围：各种高速钢刀具，加工纯铜、铝合金及低碳钢用的硬质合金车刀。
- 3) 平面带倒棱型 ($\gamma_o > 0^\circ$, $\gamma_{ol} < 0^\circ$) 见图 2-3。
- ① 切削特点：切削刃强度好，切屑变形较小，不易断屑。
 - ② 应用范围：用于加工铸铁用的硬质合金车刀。
- 4) 阶台和曲面倒棱型 ($\gamma_o > 0^\circ$, $\gamma_{ol} < 0^\circ$) 见图 2-4。

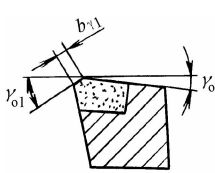


图 2-3 平面带倒棱型

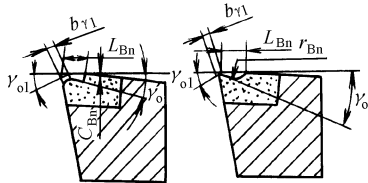


图 2-4 阶台和曲面倒棱型

- ① 切削特点：切削作用较强，切削刃强度好，切屑变形较小，容易断屑。
- ② 应用范围：用于加工各种钢材用的硬质合金车刀。

5) 平面型 ($\gamma_o < 0^\circ$) 见图 2-5。

- ① 切削特点：切削作用减弱，切削刃强度好，切屑变形大。
- ② 应用范围：用于加工淬硬钢和高锰钢的硬质合金车刀。

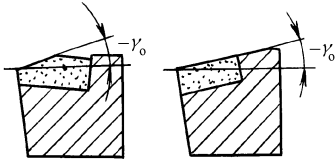


图 2-5 平面型 ($\gamma_o < 0^\circ$)

6) 直线型硬质合金车刀断屑槽尺寸见表 2-3。在车刀前面上磨出断屑槽（前面为平面型），并沿主切削刃进行倒棱，可以在强化切削刃的同时得到较大的前角，并使切屑容易卷曲折断。断屑槽的尺寸可根据加工条件试切削后确定。

7) 圆弧型硬质合金车刀断屑槽尺寸见表 2-4。

表 2-3 直线型硬质合金车刀断屑槽尺寸 (单位：mm)

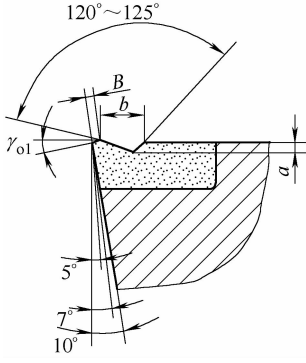
	进 给 量 f / (mm/r)			
	0.15 ~ 0.3	0.3 ~ 0.45	0.45 ~ 0.7	0.7 ~ 0.9
	$b \times a$			
≈ 1	1.5 × 0.3	2 × 0.4	3 × 0.5	3.25 × 0.5
1 ~ 4	2.5 × 0.5	3 × 0.5	4 × 0.6	4.5 × 0.6
4 ~ 9	3 × 0.5	4 × 0.6	4.5 × 0.6	5 × 0.6

表 2-4 圆弧型硬质合金车刀断屑槽尺寸 (单位: mm)

a 为 0.5 ~ 1.3mm (由所取前角值决定); R 在宽度 b 和深度 a 下成一自然圆弧

背吃刀量 a_p	进给量 $f/(\text{mm/r})$				
	0.3	0.4	0.5 ~ 0.6	0.7 ~ 0.8	0.9 ~ 1.2
	R				
2 ~ 4	3	3	4	5	6
5 ~ 7	4	5	6	8	9
7 ~ 12	5	8	10	12	14

(3) 硬质合金车刀后角参考值 (表 2-5)

表 2-5 硬质合金车刀后角参考值

工 件 材 料	后 角 $\alpha_o/(\circ)$		工 件 材 料	后 角 $\alpha_o/(\circ)$	
	粗 车	精 车		粗 车	精 车
低碳钢	8 ~ 10	10 ~ 12	灰铸铁	4 ~ 6	6 ~ 8
中碳钢及合金结构钢	5 ~ 7	6 ~ 8	铝及铝合金、纯铜	8 ~ 10	10 ~ 12
不锈钢	6 ~ 8	8 ~ 10	钛合金	10 ~ 15	
淬硬钢	12 ~ 15		高强度钢	10	

(4) 硬质合金车刀主偏角参考值 (表 2-6)

表 2-6 硬质合金车刀主偏角参考值

加 工 条 件	主偏角 $\kappa_r/(\circ)$
在工艺系统刚性很好的条件下, 以小背吃刀量车削冷硬铸铁及淬硬钢	10 ~ 30
在工艺系统刚性好的条件下车削	45
在工艺系统刚性不足的条件下车削钢件的内孔	60
在工艺系统刚性较差的条件下, 车削铸铁件的内孔	70 ~ 75
细长轴或薄壁工件的车削, 车削台阶轴及台阶孔	90 ~ 93

(5) 硬质合金车刀副偏角参考值 (表 2-7)

表 2-7 硬质合金车刀副偏角参考值

加 工 条 件	副偏角 $\kappa'_r/(\circ)$	加 工 条 件	副偏角 $\kappa'_r/(\circ)$
大进给强力切削	0	粗车	10 ~ 15
车槽及切断	1 ~ 2	粗车孔	15 ~ 20
精车	5 ~ 10	需作中间切入或双向进给的车削	30 ~ 45

(6) 硬质合金车刀刃倾角参考值 (表 2-8)

(7) 过渡刀的选择

过渡刀的主要作用是提高刀尖强度, 改善散热条件。可在刀尖处磨出过渡切削刃,

表 2-8 硬质合金车刀刃倾角参考值

加工条件及工件材料		刃倾角 $\lambda_s / (^\circ)$
精车孔	钢件	0 ~ 5
	铝及铝合金	5 ~ 10
	纯铜	5 ~ 10
粗车、余量均匀	钢件、灰铸铁	- 5 ~ 0
	铝及铝合金	5 ~ 10
	纯铜	5 ~ 10
车削淬硬钢	- 12 ~ - 5	
断续切削钢件、灰铸铁	- 15 ~ - 10	
断续切削余量不均匀的铸铁、锻件	- 45 ~ - 10	
微量精车，精车孔	45 ~ 75	

过渡刃有直线形和圆弧形两种（图 2-6）。采用直线形过渡刃时，过渡刃偏角 $\kappa_{re} = \frac{1}{2}\kappa'_r$ ，过渡刃长度 $b_e = 0.5 \sim 2\text{mm}$ 。采用圆弧形过渡刃，可减少切削时的残留面高度，但 r_e 不能太大，否则会引起振动。硬质合金车刀的刀尖圆弧半径参考值见表 2-9。

表 2-9 刀尖圆弧半径参考值

背吃刀量	刀尖圆弧半径 r_e	
	钢、铜	铸铁、非金属
3	0.6	0.8
4 ~ 9	0.8	1.6
10 ~ 19	1.6	2.4
20 ~ 30	2.4	3.2

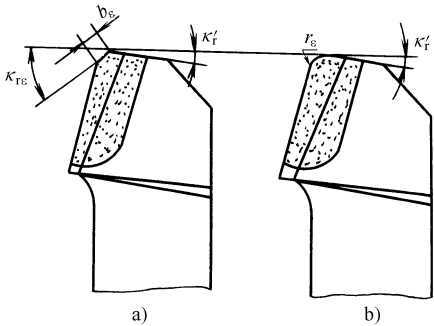


图 2-6 过渡刃

a) 直线形 b) 圆弧形

2.1.2 车刀的磨损和刃磨

2.1.2.1 刀具磨损的形式

由于加工材料不同，切削用量不同，刀具磨损的形式也不同。刀具磨损主要有以下三种形式：

(1) 后面磨损（图 2-7）

指磨损部位主要发生在后面上，磨损后形成 $\alpha_o = 0^\circ$ 的磨损带，用宽度 V_b 表示磨损量。这种磨损一般是在切削脆性材料，或用较低的切削速度和较小的背吃刀量（ $a_p < 0.1\text{mm}$ ）切削塑性材料时发生的。此时前面上的机械摩擦较小，温度较低，所以后面上的磨损大于前面上的磨损。

(2) 前面磨损（图 2-8）

指磨损部位主要发生在前面上，磨损后在前面靠近刃口处出现月牙洼。在磨损过程中，月牙洼逐渐加深加宽，并向刃口方向扩展，甚至导致崩刃。这种磨损一般是在用较高的切削速度和较大的背吃刀量（ $a_p > 0.5\text{mm}$ ）切削塑性材料时发生的。

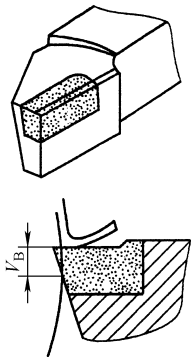


图 2-7 后面磨损

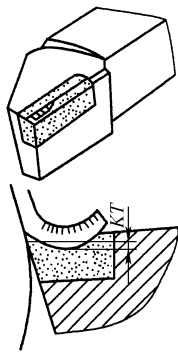


图 2-8 前面磨损

（3）前、后面同时磨损（图 2-9）

指前面的月牙洼和后刀面的棱面同时出现的磨损。这种磨损发生的条件介于以上两种磨损之间，即发生在背吃刀量 $a_p = 0.1 \sim 0.5\text{mm}$ 时切削塑性材料的情况下。

因为在大多数情况下，后刀面都有磨损， V_B 的大小对加工精度和表面粗糙度影响较大，而且对 V_B 的测量比较方便，所以车刀的磨钝标准以测出的 V_B 大小为准。

2.1.2.2 车刀磨钝标准及寿命（表 2-10）

2.1.2.3 车刀的手工刃磨

（1）砂轮的选择

刃磨车刀常用的砂轮有两种：一种是白刚玉（WA）砂轮，其砂粒韧性较好，比较锋利，硬度稍低，适用于刃磨高速钢车刀（一般选用 F46 ~ F60 粒度）；另一种是绿碳化硅（GC）砂轮，其砂粒硬度高，切削性能好，适用于刃磨硬质合金车刀（一般选用 F46 ~ F60 粒度）。

（2）刃磨步骤

- 1) 先把车刀前面、主后面和副后面等处的焊渣磨去，并磨平车刀的底平面。
- 2) 粗磨主后面和副后面的刀柄部分，其后角应比刀片的后角大 $2^\circ \sim 3^\circ$ ，以便刃磨刀片的后角。
- 3) 粗磨刀片上的主后面、副后面和前面，粗磨出来的主后角、副后角应比所要求的后角大 2° 左右（图 2-10）。

4) 精磨前面及断屑槽。断屑槽一般有两种形状，即直线形和圆弧形。刃磨圆弧形断屑槽，必须把砂轮的外圆与平面的交接处修整成相应的圆弧。刃磨直线形断屑槽，砂轮的外圆与平面的交接处应修整得尖锐。刃磨时，刀尖可向上或向下磨削（图 2-11），

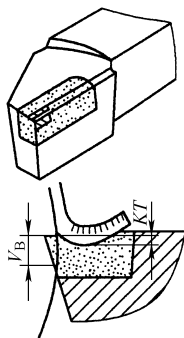


图 2-9 前、后面同时磨损

表 2-10 车刀的磨钝标准及寿命

磨钝标准	车刀类型	刀具材料	加工材料	加工性质	后面最大磨损量 V_B/mm
	外圆车刀、端面车刀、 镗刀	高速钢	碳钢、合金钢、 铸钢、有色金属	粗车	1.5 ~ 2.0
				精车	1.0
			灰铸铁、 可锻铸铁	粗车	2.0 ~ 3.0
				半精车	1.5 ~ 2.0
			耐热钢、不锈钢	粗、精车	1.0
		硬质合金	碳钢、合金钢	粗车	1.0 ~ 1.4
				精车	0.4 ~ 0.6
			铸铁	粗车	0.8 ~ 1.0
				精车	0.6 ~ 0.8
			耐热钢、不锈钢	粗、精车	0.8 ~ 1.0
			钛合金	精、半精车	0.4 ~ 0.5
			淬硬钢	精车	0.8 ~ 1.0
	切槽及切断刀	高速钢	钢、铸钢	—	0.8 ~ 1.0
			灰铸铁		1.5 ~ 2.0
		硬质合金	钢、铸钢		0.4 ~ 0.6
			灰铸铁		0.6 ~ 0.8
	成形车刀	高速钢	碳钢		0.4 ~ 0.5
车刀寿命	刀具材料		硬质合金	高 速 钢	
			普通车刀	普通车刀	成形车刀
	车刀寿命 T/min		60	60	120

注：以上为焊接车刀的寿命，机夹可转位车刀的寿命可适当降低，一般选为 30min。

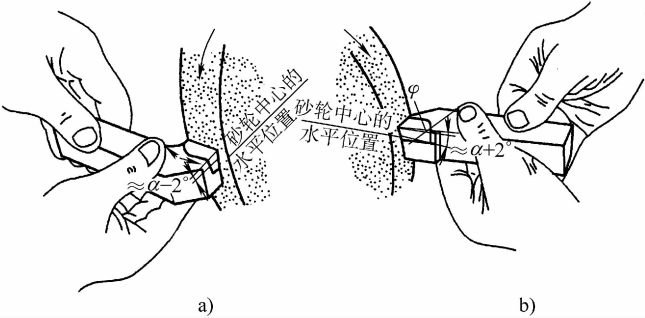


图 2-10 粗磨主后角、副后角
a) 粗磨主后角 b) 粗磨副后角

应注意断屑槽形状、位置及前角大小。

5) 精磨主后面和副后面。刃磨时，将车刀底平面靠在调整好角度的台板上，使切削刃轻靠住砂轮端面进行刃磨，刃磨后的刃口应平直。精磨时，应注意主后角和副后角

的角度(图2-12)。

6) 磨负倒棱。刃磨时,用力要轻,车刀要沿主切削刃的后端向刀尖方向摆动。磨削时可以用直磨法和横磨法(图2-13)。

7) 磨过渡刃。过渡刃有直线形和圆弧形两种,刃磨方法和精磨后面基本相同(图2-14)。

对于车削较硬材料的车刀,也可以在过渡刃上磨出负倒棱。对于大进给量车刀,可用相同方法在副切削刃上磨出修光刃(图2-15)。

刃磨后的切削刃一般不够平滑光洁,刃口呈锯齿形,切削时会影响工件的表面粗糙度,所以手工刃磨后的车刀,应用磨石进行研磨,以消除刃磨后的残留痕迹。

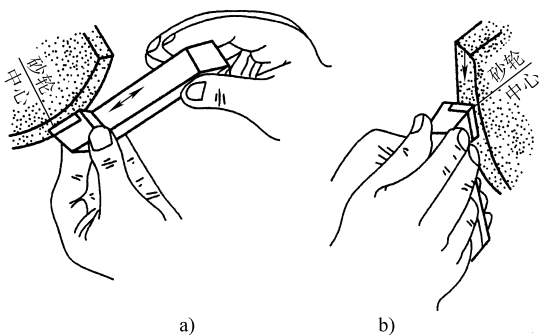


图 2-11 磨断屑槽

a) 在砂轮右上角上刃磨 b) 在砂轮左上角上刃磨

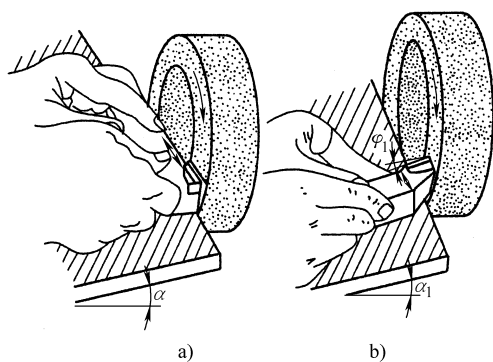


图 2-12 精磨主、副后刀面

a) 精磨主后刀面 b) 精磨副后刀面

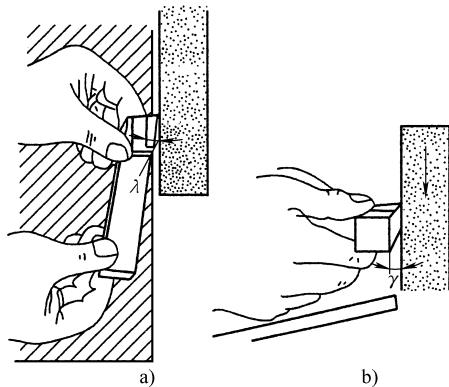


图 2-13 磨负倒棱

a) 直磨法 b) 横磨法

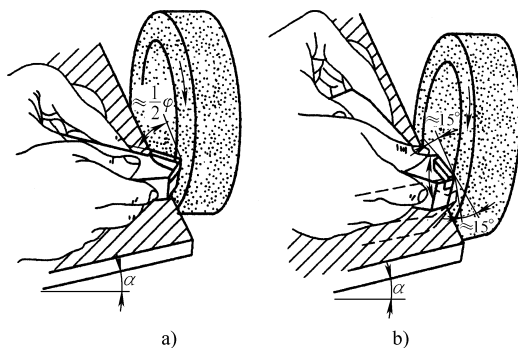


图 2-14 磨过渡刃

a) 磨直线形过渡刃 b) 磨圆弧形过渡刃

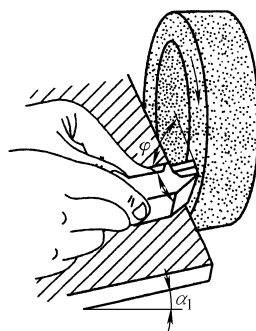


图 2-15 磨修光刃

2.2 麻花钻

2.2.1 标准麻花钻头的切削角度

- 1) 标准麻花钻头的结构要素见图 2-16。
- 2) 麻花钻的切削角度及横刃的切削角度见图 2-17。
- 3) 通用型麻花钻的主要几何参数见表 2-11。
- 4) 加工不同材料时麻花钻头的几何角度见表 2-12。

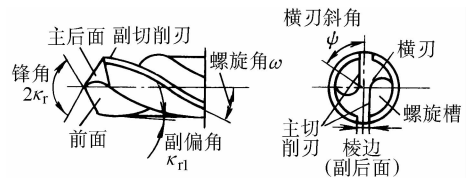


图 2-16 麻花钻切削部分结构要素

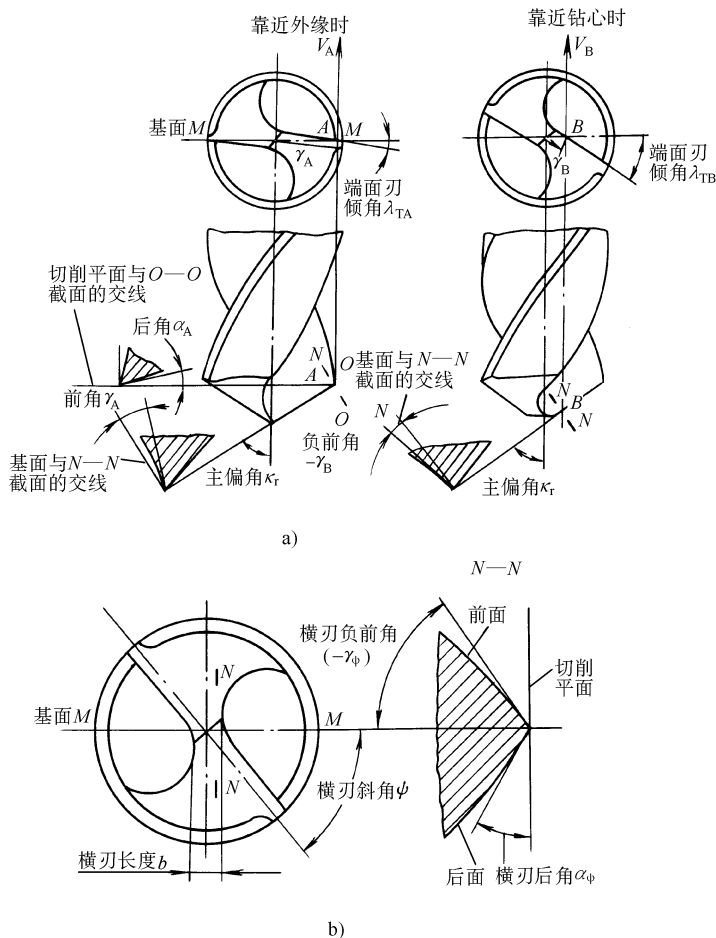


图 2-17 麻花钻头的切削角度及横刃的切削角度

a) 麻花钻的前角、后角、主偏角和刃倾角 b) 横刃的切削角度

表 2-11 通用型麻花钻的主要几何参数

钻头直径 d/mm	螺旋角 $\beta/(\text{^\circ})$	锋角 $2\kappa_r/(\text{^\circ})$	后角 $\alpha_o/(\text{^\circ})$	横刃斜角 $\psi/(\text{^\circ})$
0.1 ~ 0.28	19	118	28	40 ~ 60
0.29 ~ 0.35	20		26	
0.36 ~ 0.49			24	
0.50 ~ 0.70	22		22	
0.72 ~ 0.98	23		20	
1.00 ~ 1.95	24		18	
2.00 ~ 2.65	25		16	
2.70 ~ 3.30	26			
3.40 ~ 4.70	27		14	
4.80 ~ 6.70	28		12	
6.80 ~ 7.50	29		10	
7.60 ~ 8.50			8	
8.6 ~ 18.00	30			
18.25 ~ 23.00				
23.25 ~ 100				

表 2-12 加工不同材料时麻花钻的几何角度

加工材料	锋角/ (\circ)	后角/ (\circ)	横刃斜角/ (\circ)	螺旋角/ (\circ)
一般材料	116 ~ 118	12 ~ 15	35 ~ 45	20 ~ 32
一般硬材料	116 ~ 118	6 ~ 9	25 ~ 35	20 ~ 32
铝合金 (通孔)	90 ~ 120	12	35 ~ 45	17 ~ 20
铝合金 (深孔)	118 ~ 130	12	35 ~ 45	32 ~ 45
软黄铜和青铜	118	12 ~ 15	35 ~ 45	10 ~ 30
硬青铜	118	5 ~ 7	25 ~ 35	10 ~ 30
铜和铜合金	110 ~ 130	10 ~ 15	35 ~ 45	30 ~ 40
软铸铁	90 ~ 118	12 ~ 15	30 ~ 45	20 ~ 32
冷 (硬) 铸铁	118 ~ 135	5 ~ 7	25 ~ 35	20 ~ 32
淬火钢	118 ~ 125	12 ~ 15	35 ~ 45	20 ~ 32
铸钢	118	12 ~ 15	35 ~ 45	20 ~ 32
锰钢 (7% ~ 13% 锰)	150	10	25 ~ 35	20 ~ 32
高速钢	135	5 ~ 7	25 ~ 35	20 ~ 32
镍钢 (250 ~ 400HBW)	130 ~ 150	5 ~ 7	25 ~ 35	20 ~ 32
木料	70	12	35 ~ 45	30 ~ 40
硬橡胶	60 ~ 90	12 ~ 15	35 ~ 45	10 ~ 20

2.2.2 标准麻花钻头的磨损和刃磨

2.2.2.1 钻头磨钝标准及寿命（表 2-13）

2.2.2.2 标准麻花钻头的刃磨方法及修磨

（1）标准麻花钻头的刃磨

刃磨时（图 2-18），右手握住钻头的工作部分，食指尽可能靠近切削部分作钻头摆

表 2-13 钻头磨钝标准及寿命 (单位: mm)

钻头磨钝标准										
刀 具 材 料		加 工 材 料	钻头直径							
			≤20				>20			
			后刀面最大磨损限度							
高速钢		钢	0.4 ~ 0.8				0.8 ~ 1.0			
		不锈钢、耐热钢	0.3 ~ 0.8							
		钛合金	0.4 ~ 0.5							
		铸铁	0.5 ~ 0.8				0.8 ~ 1.2			
硬质合金		钢（扩钻）、铸铁	0.4 ~ 0.8				0.8 ~ 1.2			
		淬硬钢	—							

钻头的寿命										
刀具类型	加 工 材 料	刀 具 材 料	钻头直径 d_0 /mm							
			<6	6 ~ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 50	51 ~ 60	61 ~ 80
			刀具寿命 T /min							
钻头	结构钢及铸钢件	高速钢	15	25	45	50	70	90	110	—
	不锈钢及耐热钢	高速钢	6	8	15	25	—	—	—	—
	铸 铁、铜 合 金、 铝 合 金	高速钢	20	35	60	75	110	140	170	—
		硬质合金								

动的支点，并掌握好钻头绕轴线的转动和加在砂轮上的压力。将主切削刃与砂轮中心平面放置在一个水平面内，而且使钻头的轴线与砂轮圆柱面母线在水平面内的夹角为 κ_r 。左手握住钻柄作上下摆动。钻头转动的目的是使整个后面都能磨到，上下摆动磨出不同后角（钻头的后角在钻头的不同半径处是不相等的）。两手的动作必须稳定、协调一致，转动的同时上下摆动。磨好一个主切削刃后，翻转 180°磨另一个主切削刃。

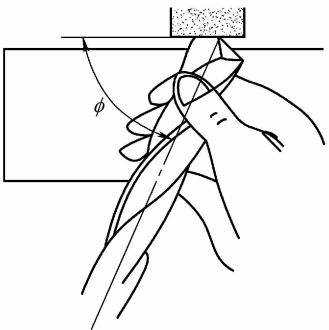


图 2-18 刃磨钻头主切削刃

粗磨时，一般后刀面的下部先接触砂轮，左上摆进行刃磨。精磨时，一般主切削刃先接触砂轮，左手下摆进行刃磨，而且磨削量要小，刃磨时间要短。在刃磨过程中，要随时检查角度的正确性和对称性，同时还要随时将钻头浸入水中冷却以免退火。

主切削刃刃磨后，应进行以下检查：

- 1) 检查锋角 $2\kappa_r$ 的大小是否正确，是否对称于钻头轴线。
- 2) 检查两主切削刃是否长短、高低一致。

进行以上两项检查时，把钻头切削部分向上竖立，两眼平视，观察两切削刃，并反

复多次旋转 180° 进行观察, 如结果一样, 就说明对称了。

3) 钻头外缘处的后角, 可直接用目测检查。近中心处的后角, 可以通过检查横刃斜角 ψ 是否正确来确定。

(2) 标准麻花钻头的修磨

1) 标准麻花钻头几何形状的分析。标准麻花钻头由于结构上的原因, 其切削部分的几何形状不尽合理。主要有以下几个方面:

① 钻头横刃较长, 横刃前角为负值。钻削时, 实际上不是切削, 而是刮削和挤压, 轴向抗力增大。同时横刃过长, 钻头的定心作用较差, 钻削时容易产生振动。

② 主切削刃上各点的前角大小不一样, 使切削性能不同。尤其靠近横刃处前角为负值时, 切削条件很差, 实际处于刮削状态。

③ 主切削刃外缘处的刀尖角较小, 前角很大, 刀齿强度很低。而钻削时, 此处的切削速度又最高, 故容易磨损。

④ 主切削刃长, 而且全部参加切削, 各处切屑排出的速度相差较大, 使切屑卷曲成螺旋卷, 容易在螺旋槽内堵塞, 影响排屑和切削液的注入。

⑤ 钻头导向部分棱边较宽, 而且副后角为 0° , 所以靠近切削部分的一段棱边与孔壁的摩擦比较严重, 故容易发热和磨损。

综合以上分析, 标准麻花钻头的几何形状不能适应加工各种不同材料和加工条件的需要, 所以通常要对标准麻花钻头的几何形状进行适当的修磨。

2) 标准麻花钻头的修磨方法。

① 修磨主切削刃 (修磨锋角 $2\kappa_r$)。标准麻花钻头的锋角 $2\kappa_r$ 为 118° , 修磨时应根据被加工材料的不同进行修磨。

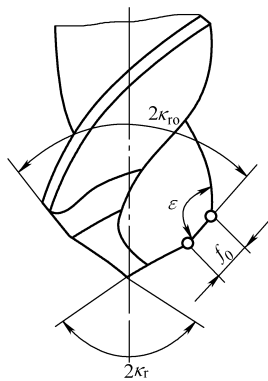


图 2-19 修磨主切削刃

修磨主切削刃时, 可磨出第二锋角 $2\kappa_{r0}$ (图 2-19), 即在外缘处磨出过渡刃。一般 $2\kappa_{r0} = 70^\circ \sim 75^\circ$, $f_0 = 0.2d$ 。其目的是增加切削刃的总长度和增大刀尖角 ε_r , 从而增加刀齿强度, 使切削刃与棱边交角处的抗磨性提高, 提高钻头的使用寿命, 同时也有利于减小孔壁的表面粗糙度。

② 修磨横刃 (图 2-20)。修磨横刃的目的是减短横刃长度, 并使靠近钻芯处的前角增大, 以减小切削时的进给力 and 挤刮现象, 并改善定心作用。修磨后, 横刃长度为原来的 $1/3 \sim 1/5$, 并形成内刃。内刃斜角 $\tau = 20^\circ \sim 30^\circ$, 内刃前角 $\gamma_{or} = 0^\circ \sim -15^\circ$ 。一般直径在 5mm 以上的钻头均须修磨横刃。

③ 修磨分屑槽。一般直径大于 15mm 的钻头, 在钻削钢件时, 都应在钻头的主后刀面修磨出几条相互错开的分屑槽 (图 2-21), 以使切屑变窄, 排屑顺利。

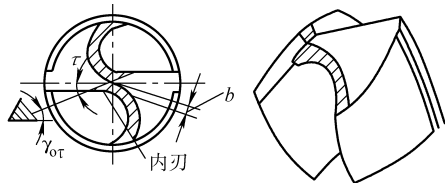


图 2-20 修磨横刃

④ 修磨前面。修磨时, 将钻头主切削

刃和副切削刃交角处的前面磨去一块（图 2-22），以减小此处的前角，提高刀齿的强度。

⑤ 修磨棱边。修磨棱边的目的是为减少棱边与孔壁的摩擦，提高钻头的使用寿命。修磨后的副后角 $\alpha'_0 = 6^\circ \sim 8^\circ$ ，但必须保留 0.2 ~ 0.4 mm 宽的未经修磨的棱边。副后角修磨长度 $L = (0.1 \sim 0.2) d$ （图 2-23）。

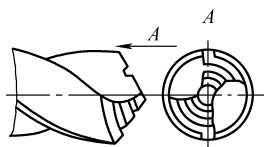


图 2-21 修磨分屑槽

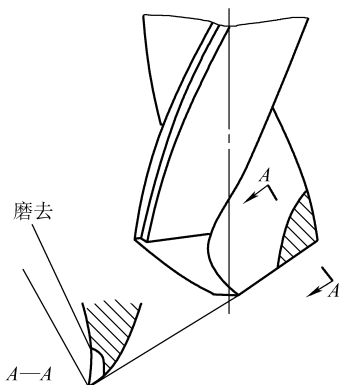


图 2-22 修磨前面

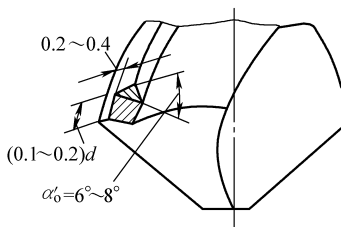


图 2-23 修磨棱边

2.3 中心孔的加工与修研

中心孔是轴类零件常用的定位基面，中心孔的质量直接影响轴的加工精度，所以对中心孔的加工有如下要求：

- 1) 两端中心孔应在同一轴线上，而且深度一致。
- 2) 保证中心孔的圆度。
- 3) 中心孔位置应保证工件加工余量均匀。
- 4) 中心孔的尺寸应与工件的直径尺寸相适应。

2.3.1 中心孔的加工及质量分析

在车床上钻中心孔前，必须将尾座严格地校正，使其对准主轴中心（图 2-24）。直径 6 mm 以下的中心孔通常用中心钻直接钻出。

1) 在直径较小的工件上钻中心孔。把工件夹紧在卡盘上，尽可能伸出短些。校正后车平端面，不允许留有凸头。把中心钻装在钻夹头中夹紧，并直接用锥形套柄过渡插入车床尾座套筒的锥孔中，然后缓慢均匀地摇动尾座手轮。当中心钻钻入工件端面时（图 2-25），速度要减慢并保持均匀，加切削液，还应勤退

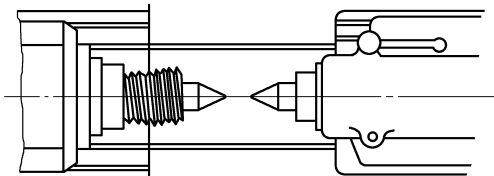


图 2-24 校正尾座使其对准主轴中心

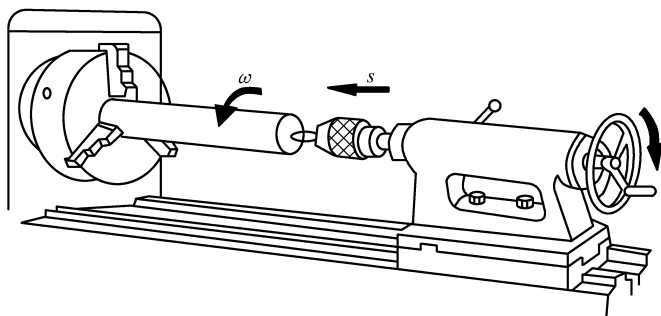


图 2-25 在车床上钻中心孔

刀, 及时清除切屑。当中心孔钻到要求的尺寸时, 先停止进给再停机, 利用主轴惯性使中心孔表面修圆整后再退出中心钻。

2) 在直径大而又长的工件上钻中心孔。如果工件直径较大而且又长, 不能通过车床主轴孔时, 采用卡盘夹持及中心架支承的方法钻中心孔 (图 2-26)。

3) 钻 C 型中心孔 (图 2-27)。用两个不同直径的钻头钻螺纹底孔和短圆柱孔 (图 2-27a、b), 内螺纹用丝锥攻出 (图 2-27c), 60° 及 120° 锥面可用 60° 及 120° 铤钻铤出 (图 2-27d、e), 或用改制的 B 型中心钻钻出 (图 2-27f)。

4) 中心孔质量分析 (图 2-28)。正确的中心孔形状如图 2-28a 所示。中心孔钻得过深 (图 2-28b), 使顶尖跟中心孔不能锥面配合, 接触不好; 工件直径很小 (图 2-28c), 但中心孔钻得很大, 使工件因没有端面而形成废品; 中心孔钻偏 (图 2-28d、e), 使工件毛坯车不到规定尺寸而造成废品; 两端

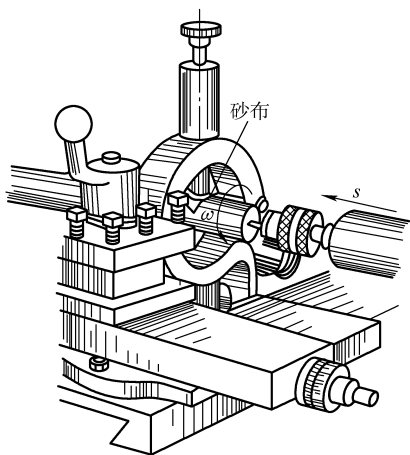


图 2-26 在中心架上钻中心孔

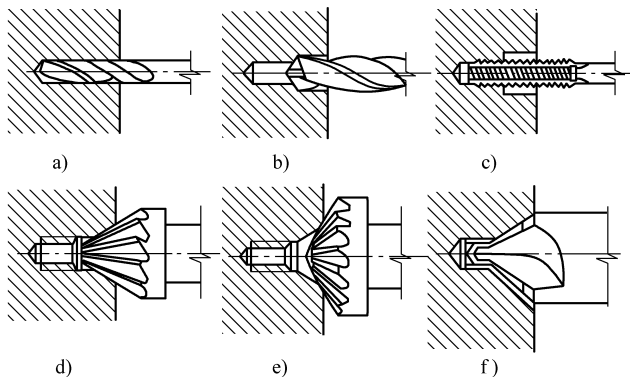


图 2-27 C 型中心孔的加工

中心孔连线与工件轴线不重合（图 2-28f），造成工件余量不够而成废品；中心钻磨损以后，圆柱部分修磨得太短（图 2-28g），造成顶尖与中心孔底相碰，使 60° 锥面不接触而影响加工精度。

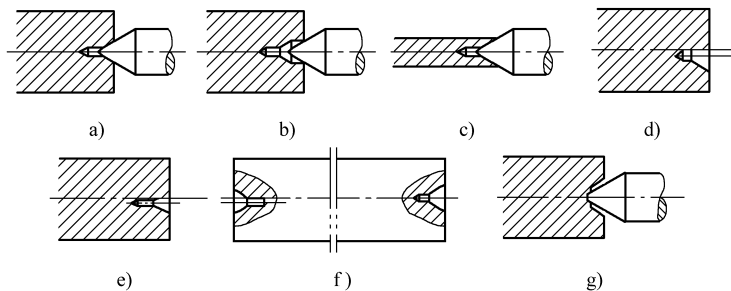
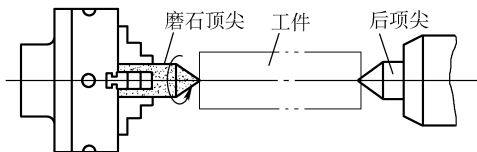


图 2-28 中心孔质量分析

2.3.2 中心孔的修研

零件在加工过程中，由于中心孔的磨损及热处理后的氧化变形，因此有必要对中心孔进行修研，以保证定位精度。中心孔修研方法见表 2-14。

表 2-14 中心孔修研方法

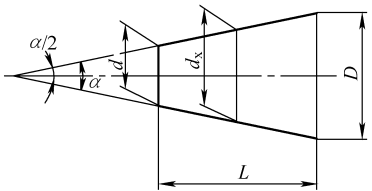


方 法	修 研 要 点
用铸铁顶尖修研	将铸铁顶尖夹在车床卡盘上，将工件顶在铸铁顶尖和尾座顶尖之间研磨。修研时加研磨剂
用磨石或橡胶砂轮修研	方法同上，磨石或橡胶砂轮代替铸铁顶尖。修研时加少量润滑剂（如用低运动粘度的全损耗系统用油）
用成形内圆砂轮修磨	主要用于修研淬火变形和尺寸较大的中心孔。将工件夹在内圆磨床卡盘上，校正外圆后，用成形内圆砂轮修磨
用硬质合金顶尖刮研	在立式中心孔研磨机上，用四棱硬质合金顶尖进行。刮研时，加入氧化铬研磨剂
用中心孔磨床修磨	修磨时，砂轮作行星运动，并沿 30° 方向进给。适用于修磨淬硬的精密零件中心孔，圆度可达 $0.8\mu\text{m}$

2.4 车削圆锥面

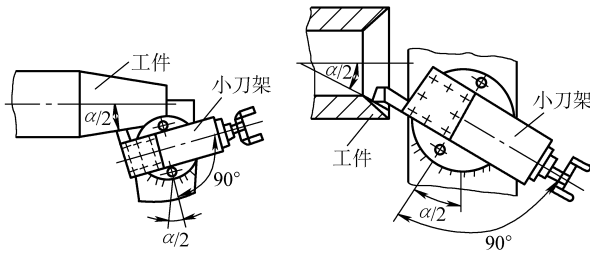
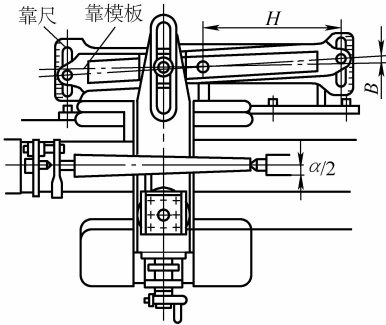
2.4.1 锥体各部名称代号及尺寸计算（表 2-15）

表 2-15 锥体各部名称代号及尺寸计算

 <p>D—最大圆锥直径 d—最小圆锥直径 d_x—给定截面圆锥直径 L—圆锥长度 α—圆锥角 α/2—圆锥半角</p>	尺寸名称和代号	计 算 公 式
	斜度 S	$S = \tan \frac{\alpha}{2}$ $S = \frac{D-d}{2L}$ $S = \frac{C}{2}$
	锥度 C	$C = 2S$ $C = 2 \tan \frac{\alpha}{2}$ $C = \frac{D-d}{L}$
	大头直径 D	$D = d + 2L \tan \frac{\alpha}{2}$ $D = d + CL$ $D = d + 2LS$
	小头直径 d	$d = D - 2L \tan \frac{\alpha}{2}$ $d = D - CL$ $d = D - 2LS$

2.4.2 车削圆锥面的方法（表 2-16）

表 2-16 车削圆锥面的方法

方法	简 图	应用及有关计算
转动小刀架车锥体方法	 <p>a) 车削外圆锥面 b) 车削内圆锥面</p>	<p>圆锥长度较短、斜角 α/2 较大时采用。车削时，把小刀架板按零件要求，转动一个圆锥半角 α/2</p> $\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{C}{2}$ $\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L}$
用靠模板车锥体方法		<p>圆锥精度高、角度小、尺寸相同和数量较多时采用</p> $B = H \times \frac{D-d}{2L} = H \tan \frac{\alpha}{2}$ $B = \frac{H}{2} \times C \text{（锥度）}$ <p>式中 H——靠模板转动中心到刻线处的距离，称为支距</p> <p>$\frac{\alpha}{2}$——靠模板旋转角度，它等于圆锥体的斜角，计算公式与小刀架转动角度相同</p> <p>B——靠模板的偏移量</p>

(续)

方法	简 图	应用及有关计算
用偏移尾座车削锥体方法		<p>圆锥精度要求不高, 锥体较长而锥度又较小时采用。当工件全长 l 不等于锥形部分长度 L 时</p> $S' = \frac{l}{2} \times \frac{D-d}{L}$ $S' = \frac{l}{2} C \text{ 或 } S' = l S$ <p>当工件全长 l 等于锥形部分长度 L 时</p> $S' = \frac{D-d}{2}$ <p>式中 S'——偏移量</p>
用宽刃刀车锥体方法		<p>用切削刃与主轴轴线的夹角等于工件圆锥半角 $\alpha/2$ 的车刀, 直接车出圆锥面</p>

2.4.3 车削标准锥度和常用锥度时小刀架和靠模板的转动角度 (表 2-17)

表 2-17 车削标准锥度和常用锥度时小刀架和靠模板的转动角度

锥体名称		锥度	小刀架和靠模板转动角度 (锥体斜角)	锥体名称	锥度	小刀架和靠模板转动角度 (锥体斜角)
莫氏	0	1:19.212	1°29'27"	常用 锥度	1:200	0°08'36"
	1	1:20.047	1°25'43"		1:100	0°17'11"
	2	1:20.020	1°25'50"		1:50	0°34'23"
	3	1:19.922	1°26'16"		1:30	0°57'17"
	4	1:19.254	1°29'15"		1:20	1°25'56"
	5	1:19.002	1°30'26"		1:15	1°54'33"
	6	1:19.180	1°29'36"		1:12	2°23'09"
30°		1:1.866	15°		1:10	2°51'45"
45°		1:1.207	22°30'		1:8	3°34'35"
60°		1:0.866	30°		1:7	4°05'08"
75°		1:0.652	37°30'		1:5	5°42'38"
90°		1:0.5	45°		1:3	9°27'44"
120°		1:0.289	60°		7:24	8°17'46"

2.4.4 车削圆锥面时的尺寸控制方法

在车削圆锥工件时，一般是用套规或塞尺检验工件的锥度和尺寸。当锥度已车准，而尺寸未达到要求时，必须再进给车削。当用量规测量出长度 a 后（图 2-29），可用以下方法确定横向进给量。

(1) 计算法

计算公式为

$$a_p = a \times \tan \frac{\alpha}{2} \quad \text{或} \quad a_p = a \times \frac{C}{2}$$

式中 a_p ——当界限量规刻线或台阶中心离开工件端面的距离为 a 时的背吃刀量（mm）；

$\frac{\alpha}{2}$ ——圆锥斜角（°）；

C ——锥度。

[例] 已知工件的圆锥斜角 $\frac{\alpha}{2} = 1^\circ 30'$ ，用套规测量时，工件小端离开套规台阶中心为 4mm，问背吃刀量多少才能使小端直径尺寸合格？

$$\begin{aligned} \text{解：} a_p &= a \times \tan \frac{\alpha}{2} = 4\text{mm} \times \tan 1^\circ 30' \\ &= 4\text{mm} \times 0.02619 = 0.105\text{mm} \end{aligned}$$

[例] 已知工件锥度为 1:20，用套规测量工件小端时，小端离开套规台阶中心为 2mm，问背吃刀量多少才能使小端直径尺寸合格？

$$\text{解：} a_p = a \times \frac{C}{2} = 2\text{mm} \times \frac{20}{2} = 2\text{mm} \times \frac{1}{40} = 0.05\text{mm}$$

(2) 移动床鞍法

当用界限量规量出长度 a 后（图 2-30），取下量规，使车刀轻轻接触工件小端面；接着移动小刀架，使车刀离开工件端面一段 a 的距离；然后移动床鞍，使车刀同工件端面接触后即可进行车削。

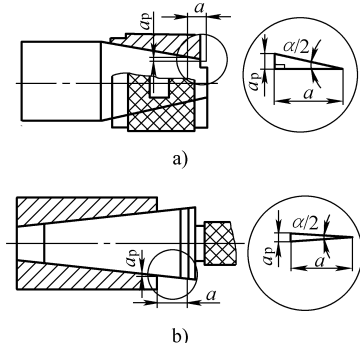


图 2-29 圆锥尺寸控制方法

a) 车圆锥体 b) 车圆锥孔

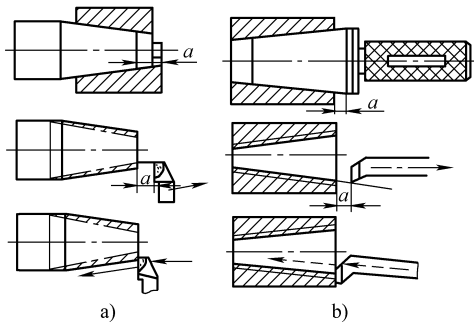


图 2-30 移动床鞍法

a) 车圆锥体 b) 车圆锥孔

2.4.5 车削圆锥面时的质量分析（表 2-18）

表 2-18 车削圆锥面时的质量分析

主要问题		产生原因	预防方法
锥度 (角度) 不正确	用转动小刀架车削时	1) 小刀架转动角度计算错误 2) 小刀架移动时松紧不匀	1) 仔细计算小刀架应转的角度和方向，并反复试车校正 2) 调整塞铁使小刀架移动均匀
	用偏移尾座法车削时	1) 尾座偏移位置不正确 2) 工件长度不一致	1) 重新计算和调整尾座偏移量 2) 如工件数量较多，各件的长度必须一致
	用靠模法车削时	1) 靠模板角度调整不正确 2) 滑块与靠模板配合不良	1) 重新调整靠模板角度 2) 调整滑块和靠模板之间的间隙
	用宽刃刀车削时	1) 装刀不正确 2) 切削刀不直	1) 调整切削刃的角度和对准中心 2) 修磨切削刃的平直度
	铰锥孔时	1) 铰刀锥度不正确 2) 铰刀的安装轴线与工件旋转轴线不同轴	1) 修磨铰刀 2) 用百分表和试棒调整尾座中心
大、小端尺寸不正确		没有经常测量大、小端直径	经常测量大、小端直径，并按计算尺寸控制背吃刀量
双曲线误差		车刀没有对准工件中心	车刀必须严格对准工件中心

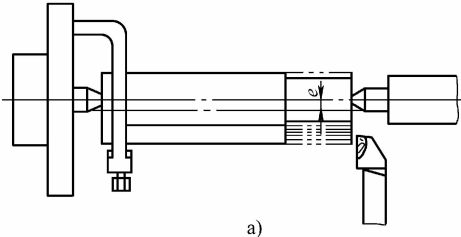
2.5 车削偏心工件及曲轴

在机械传动中，回转运动变为往复直线运动，或直线运动变为回转运动，一般都是用偏心轴或曲轴（曲轴是形状比较复杂的偏心轴）来完成。偏心轴即工件的外圆和外圆之间的轴线平行而不相重合。偏心套即工件的外圆和内孔的轴线平行而不相重合。这两条轴线之间的距离称为偏心距。

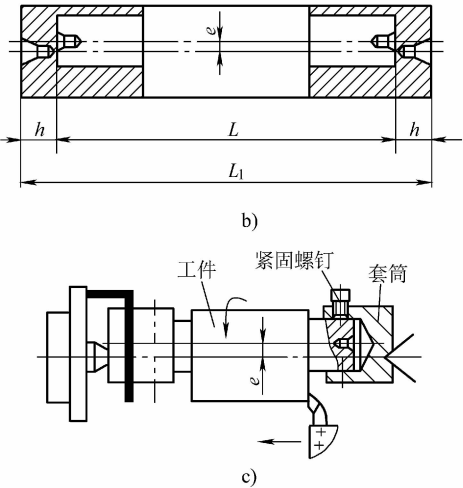
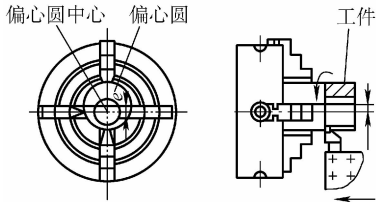
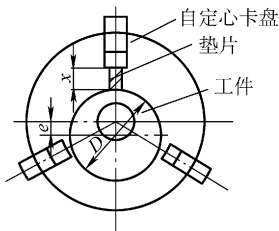
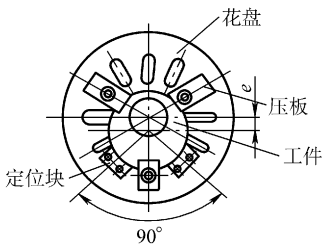
车削偏心工件时，应按工件的不同数量、形状和精度要求，相应地采取不同的装夹方法，但最终应保证所要加工的偏心部分轴线，与车床主轴旋转轴线重合。

2.5.1 车削偏心工件的装夹方法（表 2-19）

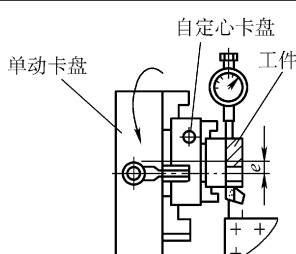
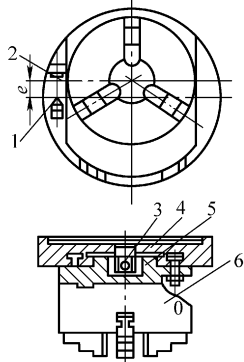
表 2-19 车削偏心工件的装夹方法

方法	简 图	应用说明
用顶尖拨顶	 <p>a)</p>	这种方法适用于加工较长的偏心工件。在加工前，应在工件两端划出并加工出中心点的中心孔和偏心点的中心孔；然后用前、后顶尖顶住便可进行加工（图 a）

(续)

方法	简 图	应用说明
用顶尖拨顶	 <p>b)</p> <p>c)</p>	<p>若偏心轴的偏心距较小, 在钻偏心中心孔时, 可能跟主轴中心孔相互干涉。这时可按图 b 增加工艺凸台, 即把工件的长度放长两个中心孔的深度。加工时, 可先把毛坯车成光轴, 然后车去两端中心孔至工件长度, 再划线, 钻偏心中心孔, 车偏心轴</p> <p>图 c 是采用套筒装夹工件后, 再用顶尖拨顶的方法</p>
单动卡盘装夹		<p>这种方法适用于加工偏心距较小, 精度要求不高、形状较短, 数量较少的偏心工件</p>
自定心卡盘装夹		<p>这种方法适用于加工数量较大, 长度较短、偏心距较小, 精度要求不高的偏心工件。其垫片厚度计算如下:</p> $x = 1.5e \pm K$ <p>式中 K——修正系数, $K = 1.5\Delta e$ Δe——实测偏心距误差 $+$——用于实测偏心距 $e' < e$ $-$——用于实测偏心距 $e' > e$</p>
花盘装夹		<p>这种方法适用于加工工件长度较短、直径大、精度要求不高的偏心孔工件</p>

(续)

方法	简图	应用说明
双卡盘装夹		这种方法适用于加工长度较短、偏心距较小、数量较大的偏心工件
偏心卡盘装夹	 <p>1—固定测头 2—活动测头 3—丝杆 4—滑座 5—滑块 6—自定心卡盘</p>	这种方法适用于加工短轴、盘、套类较精密的偏心工件。其优点是装夹方便，偏心距可以调整，能保证加工质量，并能获得较高的精度，通用性强

2.5.2 用专用夹具车削偏心工件

图 2-31 所示专用夹具适用于加工精度要求高而且批量较大的偏心工件。加工前应根据工件上的偏心距，加工出相应的偏心轴或偏心套，然后将工件装夹在偏心套或偏心轴上进行加工。

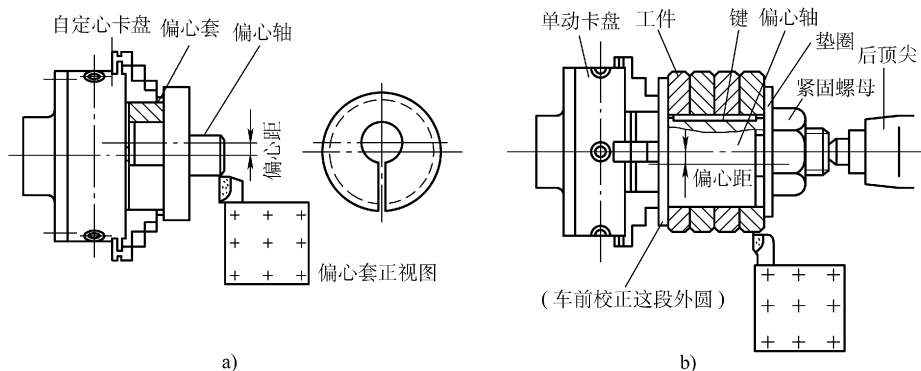


图 2-31 车削偏心工件用专用夹具

a) 用偏心套车偏心轴 b) 用偏心轴车偏心套

2.5.3 测量偏心距的方法

(1) 用心轴和百分表测量 (图 2-32)

这种测量方法适用于精度要求较高而偏心距较小的偏心工件。用百分表测量偏心工件，是以孔作为基准面，用一个夹在自定心卡盘上的心轴支承工件。百分表的测头指在偏心工件的外圆上，将偏心工件的一个端面靠在卡爪上，缓慢转动。百分表上的读数应该是两倍的偏心距，否则工件的偏心距就不合格。

(2) 用等高 V 形架和百分表测量 (图 2-33)

用百分表测量偏心轴时，可将偏心轴放在平板上的两个等高的 V 形架上支承。百分表的测头指在偏心轴的外圆上，缓慢转动偏心轴。百分表上的读数也应该等于两倍偏心距。

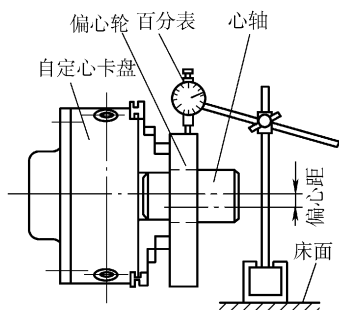


图 2-32 用心轴和百分表测量偏心轮

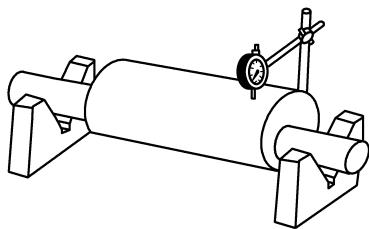


图 2-33 用等高 V 形架和百分表测量偏心轴

以上两种方法中，百分表也可装在高度游标卡尺上使用 (图 2-34)，以扩大测量范围。

(3) 用两顶尖和百分表测量 (图 2-35)

这种方法适用于两端有中心孔，偏心距较小的偏心轴测量。其测量方法是将工件装夹在两顶尖之间，百分表的测头指在偏心工件的外圆上。用手转动偏心轴，百分表上的读数应是偏心距的两倍。

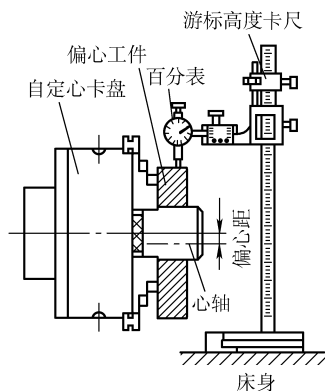


图 2-34 百分表与高度游标卡尺配合测量偏心工件

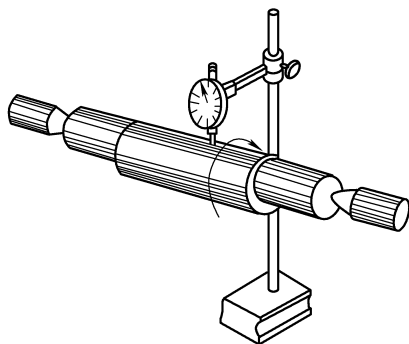


图 2-35 在两顶尖上测量偏心工件

偏心套的偏心距也可用上述的方法来测量，但是必须将偏心套装在心轴上才能测量。

(4) 用 V 形架间接测量 (图 2-36)

因受百分表测量范围的限制，偏心距较大的工件可用间接测量偏心距的方法。把工件放在平板上的 V 形架上，转动偏心轴，用百分表量出偏心轴的最高点。工件固定不动，水平移动百分表，测出偏心轴外圆到基准轴外圆之间的距离 a ，然后用下式计算出偏心距

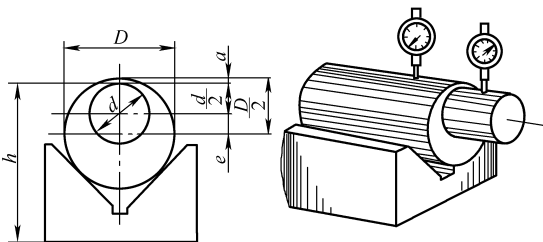


图 2-36 用 V 形架间接测量偏心距

$$e = D/2 - d/2 - a$$

式中 e ——偏心距 (mm);

D ——基准轴直径 (mm);

d ——偏心轴直径 (mm);

a ——基准轴外圆到偏心轴外圆之间的最小距离 (mm)。

用这种方法，必须把基准轴直径和偏心轴直径用千分尺测量出正确的实际尺寸，否则计算时会产生误差。

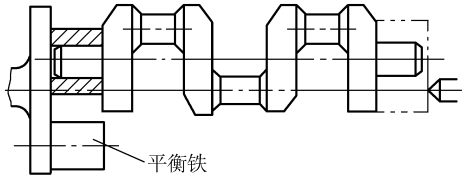
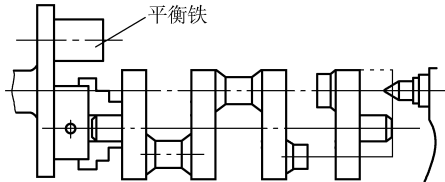
2.5.4 车削曲轴的装夹方法

曲轴实际就是多拐偏心轴，其加工原理跟加工偏心轴基本相同，常采用的装夹方法见表 2-20。

表 2-20 车削曲轴的装夹方法

曲轴形式	装夹方法简图	说明
单拐曲轴	<p>平衡铁</p>	<p>主轴一端用卡盘夹轴颈，尾座一端用顶尖顶夹法兰盘并配有配重加工轴颈</p>
双拐曲轴	<p>平衡铁</p>	<p>主轴一端花盘上安装卡盘，调整偏心距装夹轴颈，尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈</p>

(续)

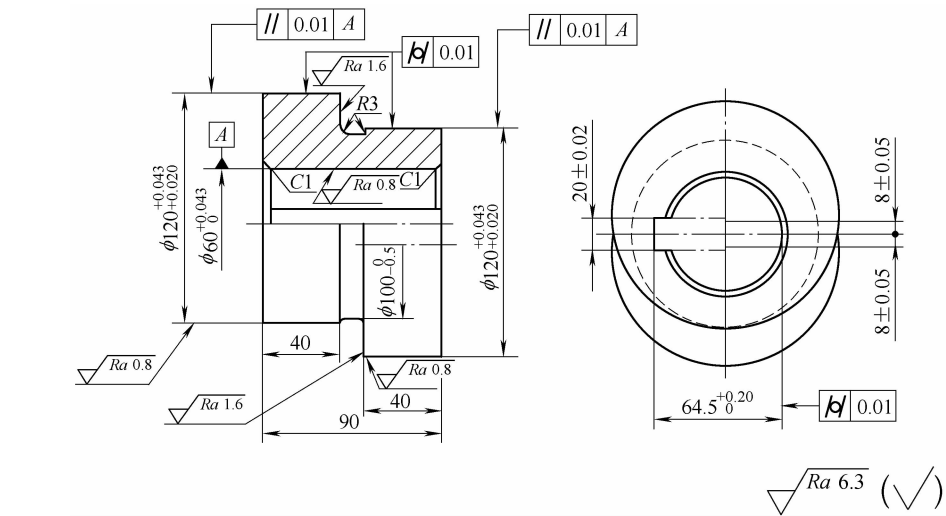
曲 轴 形 式	装夹方法简图	说 明
三拐曲轴		主轴一端按偏心距配做专用夹具装夹轴颈，尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈
多拐曲轴		主轴一端花盘上安装卡盘，调整偏心距装夹轴颈，尾座一端专用法兰盘上配有偏心的中心孔，用顶尖顶夹，加工拐颈

大型多拐曲轴一般为锻件（锻钢）或铸件（铸钢或球墨铸铁）。一般在带有偏心卡盘的专用曲拐车床上加工这类曲轴，用大型卧式车床加工时，应设计制造专用工装，其中包括对车床尾座的改装，以提高装夹刚性。

2.5.5 典型偏心零件的加工工艺分析举例

2.5.5.1 偏心套

偏心套见图 2-37。



技 术 要 求

1. 未注倒角为 C0.5。
2. 热处理硬度为 58 ~ 64HRC。
3. 材料为 GCr15。

图 2-37 偏心套

(1) 零件图样分析

- 1) 偏心套为在 180° 方向对称偏心, 偏心距为 $8\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。
- 2) $\phi 120_{+0.020}^{+0.043}\text{mm}$ 偏心圆中心线对中心孔的轴线的平行度公差为 0.01mm 。
- 3) $\phi 120_{+0.020}^{+0.043}\text{mm}$ 外圆圆柱度公差为 0.01mm 。
- 4) $\phi 60_0^{+0.043}\text{mm}$ 内圆圆柱度公差为 0.01mm 。
- 5) 未注倒角为 $C0.5$ 。
- 6) 材料为 GCr15。

(2) 工艺分析

1) 该零件硬度较高, 材料采用 GCr15 轴承钢, 在进行热处理时, 在淬火和回火之间, 增加一工序冰冷处理, 这样可以更好地保证工件尺寸的稳定性, 减少变形。

2) 为了保证工件偏心距的精度, 可采用以下加工方法:

① 当加工零件数量较多, 精度要求较高时, 一般应采用专用工装装夹工件进行加工。因该零件的两处偏心完全一样, 因此在加工时可用同一方法, 分别两次装夹即可。

② 当加工零件数量较少, 精度要求又不高时, 可采用单动卡盘或自定心卡盘装夹工件进行加工。加工前应先划线, 然后按线找正装夹, 在保证偏心距的基础上, 使偏心部分轴线与车床主轴旋转轴线相重合, 要保证零件侧母线与车床主轴轴线平行。否则加工出零件的偏心距前后不一致。

3) 在加工偏心工件时, 由于旋转离心作用会影响零件的圆度、圆柱度等公差, 会造成零件壁厚不均匀等, 因此在加工时, 除注意保证夹具体总体平衡外, 还应注意合理选择切削用量及有效的冷却润滑。

4) 当零件上键槽精度要求不高或零星加工时, 可采用插削方法加工键槽。若键槽精度要求较高, 零件数量又较多, 应采用拉削方法加工键槽。

5) 偏心距误差的检查方法 (图 2-38)。首先将偏心套装在 $1:3000$ ($\phi 60\text{mm}$) 小锥度心轴上 (采用 $1:3000$ 锥度心轴主要是为了消除偏心套与心轴之间的间隙, 以提高定位精度。心轴大、小端直径及心轴长度的选择, 应能包容孔径的最大与最小值, 并保证工件在心轴中心位置为宜)。心轴两端备有高精度的中心孔, 将心轴装夹在偏摆仪两顶尖之间, 将百分表触头顶在 $\phi 120_{+0.020}^{+0.043}\text{mm}$ 外圆上, 转动心轴, 百分表最大读数与最小读数之差, 即为偏心距。

6) $\phi 120_{+0.020}^{+0.043}\text{mm}$ 偏心圆中心线对中心孔的轴线的平行度误差检查方法。同样将偏心套装在 $1:3000$ 小锥度心轴上, 然后将小锥度心轴放在两块标准 V 形架上 (V 形架放在平板上), 先用百分表找出偏心套外圆最高点, 然后在相距 30mm 处, 测出两最高点值, 其两点之差为两轴线平行度误差值。

7) 圆柱度的误差检查方法。将偏心套装在 $1:3000$ 小锥度心轴上, 再将心轴装夹在偏摆仪两顶尖之间 (图 2-38), 将百分表测头顶在 $\phi 120_{+0.020}^{+0.043}$

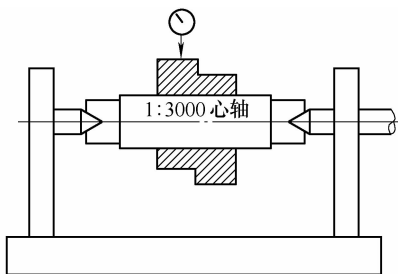


图 2-38 偏心距误差测量方法

mm 外圆上, 转动心轴, 测三个横截面, 其百分表最大读数与最小读数之差, 即为圆柱度误差。

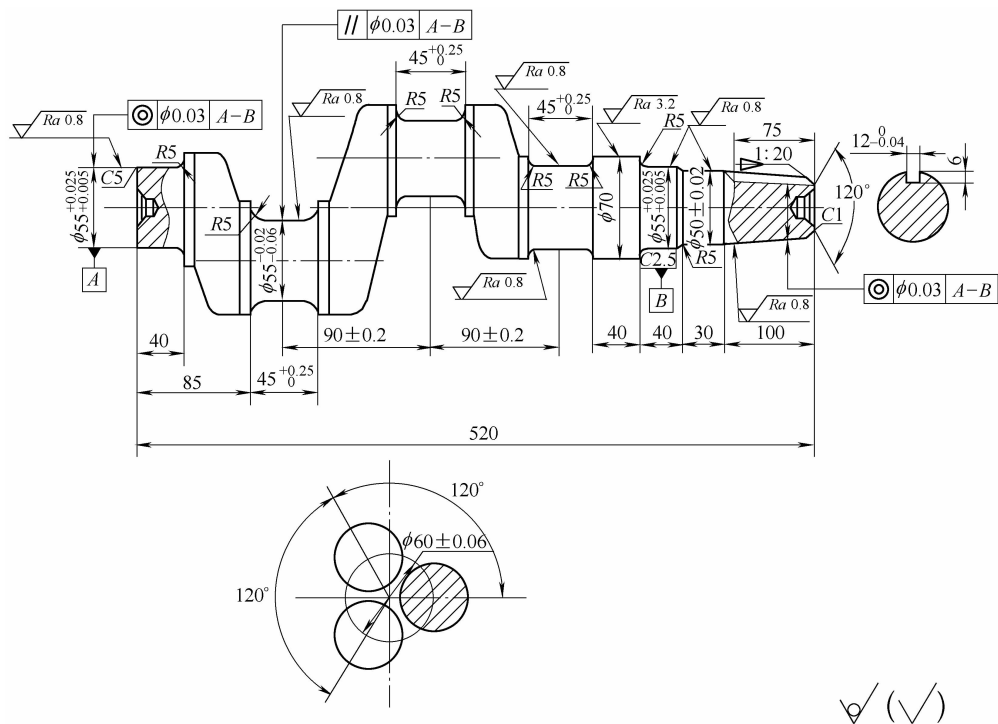
(3) 偏心套机械加工工艺过程卡 (表 2-21)

表 2-21 偏心套机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
1	下料	棒料 $\phi 120\text{mm} \times 165\text{mm}$	锯床
2	锻造	锻造尺寸 $\phi 155\text{mm}$ (外圆) $\times \phi 45\text{mm}$ (内孔) $\times 104\text{mm}$	
3	热处理	正火	
4	粗车	夹毛坯外圆, 粗车内孔至尺寸 $\phi 55\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$, 粗车端面, 见平即可。 车外圆至 $\phi 145\text{mm}$, 长 45mm	CA6140
5	粗车	调头装夹, 粗车外圆至 $\phi 145\text{mm}$, 与上工序接刀, 车端面, 保证总长 95mm 。在距端面 46mm 处车 $\phi 100_{-0.5}^0\text{mm}$ 外圆至 $\phi 102\text{mm}$, 槽宽 6mm , 使槽靠外的端面距离外端面为 43mm	CA6140
6	精车	调头, 自定心卡盘夹工件外圆, 找正, 车内孔至尺寸 $\phi 59_{-0.05}^0\text{mm}$, 精车另一端面, 保证总长 92mm , 并做标记 (此面为定位基准), 精车 $\phi 102\text{mm}$ 外圆至 $\phi 100_{+0.5}^0\text{mm}$ 及两内侧端面, 使槽宽为 8mm , 保证槽靠外的端面距离外端面为 42mm	CA6140
7	钳	划键槽线 (非标记端面)	
8	插	以有标记的端面及外圆定位, 按线找正, 插键槽, 保证尺寸 $20\text{mm} \pm 0.02\text{mm}$ 及 $64.5_{+0.20}^0\text{mm}$ 至尺寸 $64_{+0.15}^0\text{mm}$	B5020
9	钳	修锉键槽毛刺	
10	精车	以 $\phi 59_{-0.05}^0\text{mm}$ 内孔及键槽定位, 用专用偏心夹具装夹工件, 车偏心 $\phi 120_{+0.020}^{+0.043}\text{mm}$ 尺寸为 $\phi 121.5\text{mm}$, 长 $42_{-0.3}^{+0.3}\text{mm}$	CA6140 专用工装
11	精车	以 $\phi 59_{-0.05}^0\text{mm}$ 内孔及键槽定位, 用专用偏心夹具装夹工件, 车另一端 $\phi 120_{+0.020}^{+0.043}\text{mm}$ 尺寸至 $\phi 121.5\text{mm}$, 长 $42_{-0.3}^{+0.3}\text{mm}$	CA6140 专用工装
12	热处理	淬火 $58 \sim 64\text{HRC}$	
13	热处理	冰冷处理	
14	热处理	回火	
15	磨	用专用偏心工装 (或单动卡盘) 装夹工件 $\phi 121.5\text{mm}$ 外圆处, 按 $\phi 59_{-0.05}^0\text{mm}$ 内孔找正, 磨内孔至图样尺寸 $\phi 60_{+0}^{+0.043}\text{mm}$	M2110A 专用工装
16	钳	修锉键槽中氧化皮	
17	磨	以 $\phi 60_{+0}^{+0.043}\text{mm}$ 内孔、键槽和一端面定位装夹工件 (专用可胀心轴)。磨 $\phi 120_{+0.02}^{+0.043}\text{mm}$ 至图样尺寸, 并靠磨此端外端面, 保证偏心套的厚度 40mm 为 41mm , 并保证总长 91mm	M1432A 专用工装
18	磨	调头, 以 $\phi 60_{+0}^{+0.043}\text{mm}$ 内孔、键槽和一端面定位装夹工件 (专用可胀心轴)。磨另一端 $\phi 120_{+0.02}^{+0.043}\text{mm}$ 至图样尺寸, 并靠磨右端面, 保证总长 90mm	M1432A 专用工装
19	磨	以 $\phi 60_{+0}^{+0.043}\text{mm}$ 内孔、键槽和一端面定位装夹工件 (专用可胀心轴)。靠磨 $\phi 100_{-0.5}^0\text{mm}$ 至图样尺寸, 并靠磨两侧面, 保证尺寸 40mm	M1432A 专用工装
20	检验	按图样要求检查各部尺寸和精度	
21	入库	入库	

2.5.5.2 三拐曲轴

三拐曲轴见图 2-39。



技术要求

1. 时效处理 227 ~ 270HBW。
2. 材料 QT600-3。

图 2-39 三拐曲轴

(1) 零件图样分析

- 1) $\phi 55^{+0.025}_{+0.005}$ mm 两轴径同轴度公差为 $\phi 0.03$ mm。
- 2) 1:20 锥度部分对 A-B 轴线同轴度公差为 $\phi 0.03$ mm。
- 3) 三个拐径分别对 A-B 轴线平行度公差为 $\phi 0.03$ mm。
- 4) 人工时效处理 227 ~ 270HBW。
- 5) 曲轴材料为 QT600-3。

(2) 工艺分析

1) 该工件为三拐曲轴，其形状复杂，加工技术要求较高。为加工三拐径，应制做专用工装（通常工厂称为分度回转夹具），其要求为，能够均分三等份（曲轴三拐径偏心距为 60 ± 0.02 mm），并要保证回转平衡。

2) 工件加工时应将粗、精车分开，必要时也可以将粗、精磨分开，这样有利于工件加工精度。

3) 为了使用分度回转夹具加工曲轴的三个拐径，在铸造工序上有意加大曲轴左端

轴径尺寸，留出工艺键槽的加工余量。

4) 所有轴径及轴径线上的各部尺寸的加工均以两中心孔为定位基准，所以同轴度均由设备（工艺）来保证。如需要检查两轴径同轴度，可以用一对标准的 V 形块支撑两个 $\phi 55^{+0.025}_{+0.005}$ mm 轴径，用百分表测量。

5) 工件 1:20 锥度的检查采用专用环规检查。

6) 曲轴偏心距的检测可以参照单拐曲轴偏心距的检测方法进行检测。

7) 三个拐径 120° 均布的检查，可参看图 2-40，用一对标准 V 形块（V 形块安放在标准平台上），支撑工件两端轴径 $\phi 55^{+0.025}_{+0.005}$ mm，然后调整两端使支撑处轴径的轴线与平台平行。

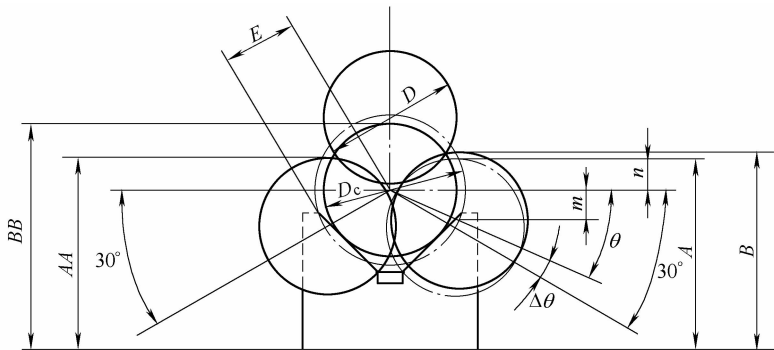


图 2-40 三拐曲线 120° 等分检测示意图

用高度尺测量尺寸 AA，使拐径中心和轴径中心连接在水平面的夹角为 30° ，通过计算算出拐径角度误差。

AA 尺寸的计算方法：

$$AA = BB - \frac{D_c}{2} + \left(\frac{D}{2} - E \cdot \sin 30^\circ \right) = BB - \frac{D_c}{2} + \frac{D}{2} - \frac{1}{2}E$$

式中 AA——标准 30° 位置拐径计算的理论值（各轴径、拐径尺寸均为实测值）（mm）；

BB——支承轴径外圆实际高度（mm）；

D_c ——曲轴轴径实际尺寸（mm）；

D——曲轴拐径实际尺寸（mm）；

E——偏心距（mm）。

按计算出 AA 尺寸调整好一侧拐径位置之后，测量与之相对应的拐径高度值 B，若 B 值与 AA 值相等，即等分合格；若 B 值与 AA 值不相等，这时应计算出拐径中心和轴径中心连线与水平面的夹角 θ ：

$$\sin \theta = \frac{m}{E}$$

$$m = \frac{D}{2} - n$$

$$n = B - \left(BB - \frac{D_c}{2} \right) = B - BB + \frac{D_c}{2}$$

$$m = \frac{D}{2} - \left(B - BB + \frac{D_c}{2} \right) = \frac{D}{2} - B + BB - \frac{D_c}{2}$$

$$\sin \theta = \left(\frac{D}{2} - B + BB - \frac{D_c}{2} \right) / E$$

式中 θ ——拐径中心和支承轴中心连线与水平面的夹角；

B ——实际测量尺寸；

m 、 n ——为计算 θ 值而给出的中间变量。

$$\Delta\theta = 30^\circ - \theta$$

如果 $\Delta\theta$ 为负值，则此拐径与标准 30° 位置拐径夹角小于 120° ，反之夹角大于 120° 。

8) 拐径轴线对轴径的轴线平行度误差，可在图 2-40 的基础上测出拐径外圆最高点处最长距离的两点差值，即为两轴线的平行度误差，三个拐径分别测量即可。

(3) 三拐曲轴机械加工工艺过程卡（表 2-22）

表 2-22 三拐曲轴机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
1	铸	铸造（左端 $\phi 55\text{mm}$ 处铸造尺寸为 $\phi 75\text{mm}$ ）	
2	清砂	清砂	
3	热处理	人工时效处理	
4	清砂	细清砂	
5	涂漆	非加工表面涂红色防锈漆	
6	划线	按毛坯外形找正，照顾各加工面，划外形尺寸线	
7	铣	以两轴径部分定位压紧，分别铣两个端面，保证总长尺寸 520mm ，钻左端中心孔 B4	X6132 (端铣)
8	粗车	夹右端外圆，找正两轴径外圆，顶左端中心孔，车两轴径处，其中 1:20 一端（右端）尺寸为 $\phi 62\text{mm}$ ，另一端（左端）尺寸为 $\phi 70\text{mm}$ （工艺尺寸）	CW6163
9	粗车	调头装夹工件左端 $\phi 70\text{mm}$ 处，中心架夹带锥一端 $\phi 62\text{mm}$ 轴径上，钻右端中心孔 B4，粗车锥度一端各部尺寸，留加工余量 5mm （其中 $\phi 70\text{mm}$ 车至图样尺寸）	CW6163
10	划线	在左端 $\phi 70\text{mm}$ 轴径上划键槽线，深 5mm 、宽 10mm 、长 35mm （工艺用键槽），注意与靠 $\phi 70\text{mm}$ 最近的拐在同一平面内	
11	铣	以两 $\phi 70\text{mm}$ 定位装夹工件，铣键槽 $5\text{mm} \times 10\text{mm} \times 35\text{mm}$	X5030A
12	粗车	采用专用工装装夹工件粗车曲轴三个拐径及拐径两个侧面，（专用工装为回转夹具，可进行三等分分度）留加工余量 5mm	专用工装 CW6163
13	精车	采用专用工装装夹工件，精车曲轴三个拐径及拐径的两个侧面，留磨量 $0.8\text{mm} \sim 1\text{mm}$	CW6163
14	精车	夹工件左端，顶右端中心孔，车工件右端各部尺寸，留加工余量 $0.8 \sim 1\text{mm}$ ，车 1:20 锥度留加工余量 1mm	CW6163
15	精车	调头，采用两顶尖装夹工件，车左端尺寸 $\phi 55^{+0.025}_{+0.005}\text{mm}$ 至 $\phi 55^{+1}_{+0.8}\text{mm}$ ，倒角 R5	CW6163

(续)

工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
16	检验	检查曲轴偏心距	
17	磨	以两中心孔定位装夹工件（专用工装），磨拐径三处至图样尺寸 $\phi 55^{+0.025}_{+0.005}$ mm，靠磨拐径两侧及圆角 R5	M8240
18	磨	以两中心孔定位装夹工件，磨轴径两处 $\phi 55^{+0.025}_{+0.005}$ mm 至图样尺寸，磨 $\phi 50 \pm 0.02$ mm 至图样尺寸	M1432A
19	磨	夹工件左端，中心架夹右端 $\phi 55^{+0.025}_{+0.005}$ mm 处，找正，磨 1:20 锥度至图样尺寸	M1432A 锥度环规，铜皮
20	划线	划 $12^{0}_{-0.04}$ mm $\times 6$ mm $\times 75$ mm 键槽线	
21	铣	以两轴径定位装夹工件铣 $12^{0}_{-0.04}$ mm $\times 6$ mm $\times 75$ mm 键槽	X5030A
22	钳	修锉飞刺	
23	检测	磁粉探伤	
24	检验	按图样检验工件各部尺寸精度	
25	入库	涂油入库	

2.6 车削成形面

有些机器零件的表面不是平面，而是由若干个曲面组成，如手轮、手柄、圆球、凸轮等，这类表面称为成形面（也称特形面）。对于这类零件的加工，应根据零件的特点、精度要求及批量大小等不同情况，分别采用不同方法进行加工。

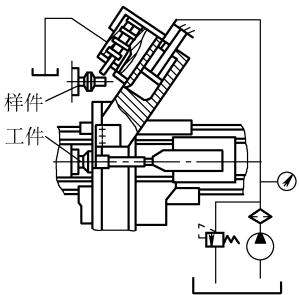
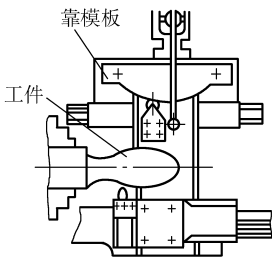
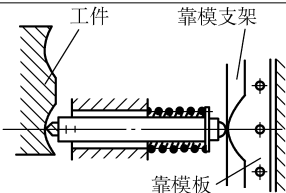
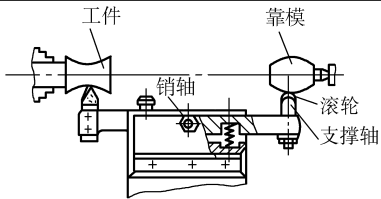
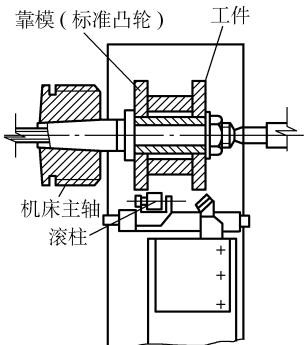
对数量较少或单个零件，可采用双手赶刀方法进行车削。就是用右手握小滑板手柄，左手握中滑板手柄，通过双手合成运动，车出成形面；或者采用床鞍和中滑板合成运动来进行车削。车削的要点是双手摇动手柄的速度配合要恰当。这种方法优点是，不需要其他特殊工具就能车出一般精度成形面零件。

2.6.1 成形面车削方法（表 2-23）

表 2-23 成形面车削方法

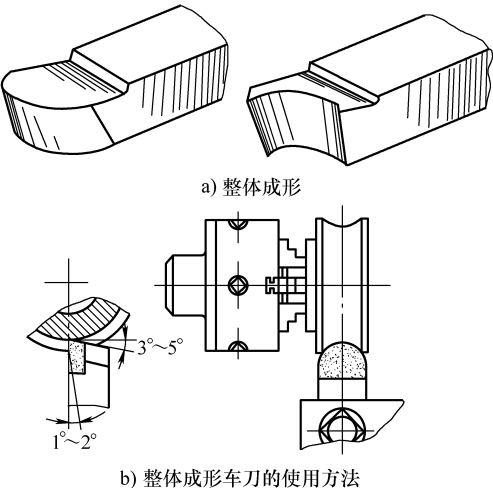
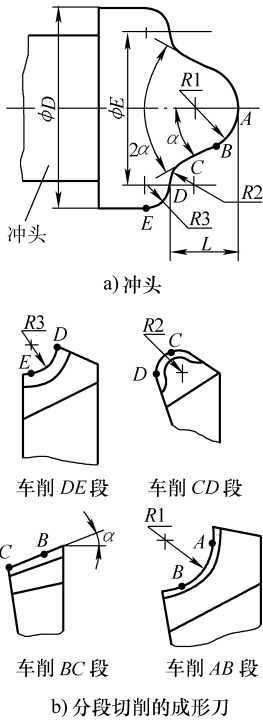
车削方法	示 意 图	特 点
成形刀（样板刀）车削		工件的精度主要靠刀具保证 适用于加工具有大圆角、圆弧槽以及变化范围小但又比较复杂的成形面

(续)

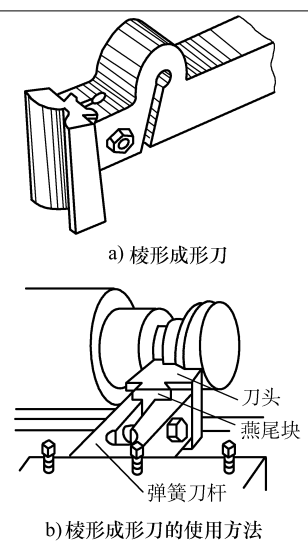
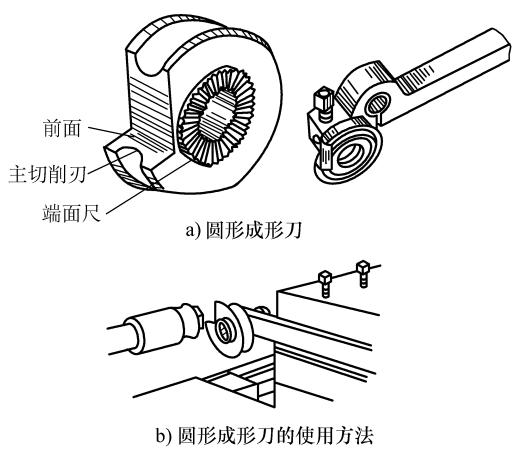
车削方法	示意图	特点
液 压 仿 形 车 削		加工时运动平稳, 惯性小, 能达到较高的加工精度 适用于车削多台阶的长轴类工件
纵 向 靠 模 板 车 削		适用于加工切削力不大的短轴成形面
横 向 靠 模 板 车 削		靠模板由靠模支架固定在车床尾座上。拆除小刀架, 将装有刀杆的板架装于中滑板上。车削时, 中滑板横向进给 适用于加工成形端面
同 轴 摆 动 车 削		靠模与工件形状相反。车削时, 床鞍纵向进给, 车刀绕销轴摆动。制造和安装工具时, 应使车刀刀尖至销轴的距离, 与支撑轴至销轴的距离一致, 并使车刀伸出长度与滚轮伸出长度一致 适用于加工成形短轴
同 轴 推 动 车 削		制造工具时, 滚柱宜适当加长, 以防纵向进给时滚柱和靠模脱开 适用于加工凸轮等盘类成形工件

2.6.2 常用成形刀（样板刀）类型及应用（表 2-24）

表 2-24 常用成形刀（样板刀）类型及应用

类型	简 图	特点及应用
整体成形刀	 <p>a) 整体成形</p> <p>b) 整体成形车刀的使用方法</p>	<p>整体成形刀的切削刃廓形根据工件的成形表面刃磨，刀体结构和装夹与普通车刀相同。刀具制造方便，可用手工刃磨，但精度较低。若精度要求较高时，可在工具磨床上刃磨</p> <p>常用于加工简单的成形面</p>
分段成形刀	 <p>a) 冲头</p> <p>b) 分段切削的成形刀</p>	<p>分段成形刀是按加工零件的特殊形面分段制成的，然后分段加工型面</p> <p>图 a 是一种冲模的冲头</p> <p>由于特殊型面母线较长，若用一把成形车刀车削加工，进给力太大，所以将特殊形面分成 AB、BC、CD、DE 四段分别对应零件各段形状，制成分段的成形刀（图 b）进行切削</p> <p>加工时必须先粗车，然后再用成形刀精车连接。精车时一般采用手动进给，机床转速取低速，进给速度也不宜太快</p>

(续)

类型	简 图	特点及应用
棱 形 成 形 刀	 <p>a) 棱形成形刀</p> <p>b) 棱形成形刀的使用方法</p>	<p>这种成形刀由刀头和刀杆两部分组成。刀头的切削刃按工件的形状，在工具磨床上用成形砂轮磨削成形。刀头后部有燕尾块，用来安装在弹性刀杆的燕尾槽中，用螺钉紧固。刀杆上的燕尾槽作成倾斜，这样成形刀就产生了后角，切削刃磨损后，只需刃磨刀头的前面。切削刃磨低后，可把刀头向上移动，直至刀头无法夹住为止。</p> <p>这种成形刀精度高，刀具寿命长，但制造比较复杂。</p>
圆 形 成 形 刀	 <p>a) 圆形成形刀</p> <p>b) 圆形成形刀的使用方法</p>	<p>这种成形刀做成圆轮形，在圆轮上开有缺口，使它形成前面和主切削刃使用时，将它装夹在弹性刀杆上，为了防止圆轮转动，在侧面做出端面齿，使之与刀杆侧面上的端面齿相啮合。圆形成形刀的主切削刃必须比圆轮中心低一些，否则后角为零度。主切削刃低于圆轮中心的距离 H 可用下式计算</p> $H = \frac{D}{2} \sin \alpha$ <p>式中 H——刀口低于圆轮中心的距离 (mm)； D——圆形成形刀直径 (mm)； α——成形刀的后角，一般为 $6^\circ \sim 10^\circ$</p>

2.7 车削球面

采用车削方法加工球面的原理是：一个旋转的刀具沿着一个旋转的物体运动，两轴线相交但不重合，这样刀尖在物体上形成的轨迹为一球面。车削时，工件中心线与刀具中心线要在同一平面上。

球面的加工方法是將卧式车床的小滑板卸去，在滑板上安装能进行回转运动的专用工具，来车削内、外圆弧和球面。这种方法称旋风铣[⊖]，也可采用专用工具手动方法铣削。

⊖ 用旋风铣方法车削球面，可参见第3章铣削球面。

2.7.1 用蜗杆副传动装置手动车削外球面（图2-41）

用手转动蜗杆轴上的手柄车出外球面的方法，适用于 $\phi 30 \sim \phi 80\text{mm}$ 的外球面车削，形状精度可达 0.02mm ，表面粗糙度 Ra 小于 $1.6\mu\text{m}$ 。

2.7.2 用蜗杆副传动装置手动车削内球面（图2-42）

用手转动蜗杆轴上的手柄车出内球面，适用于 $\phi 30 \sim \phi 80\text{mm}$ 的内球面车削，形状精度可达 0.02mm ，表面粗糙度 Ra 小于 $1.6\mu\text{m}$ 。

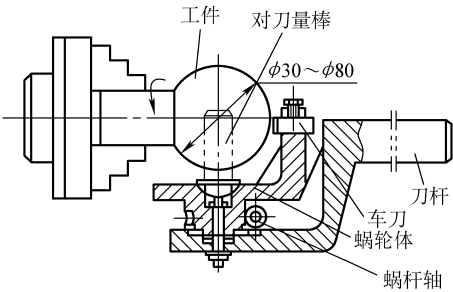


图 2-41 车削外球面

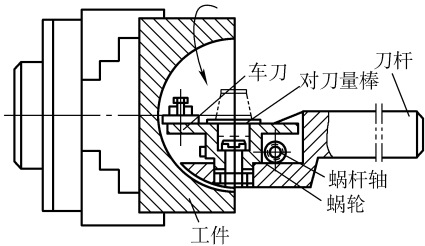


图 2-42 车削内球面

2.8 车削薄壁工件

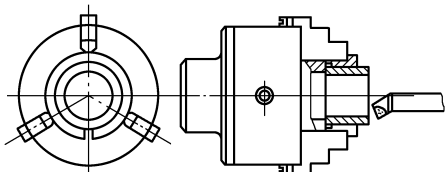
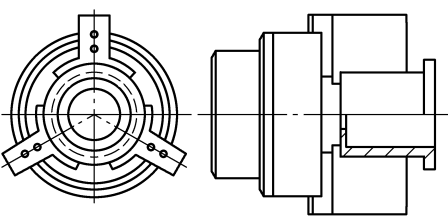
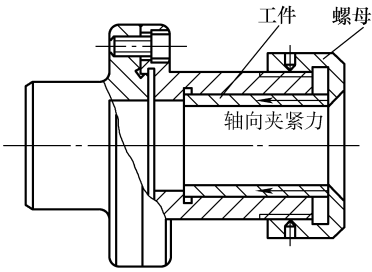
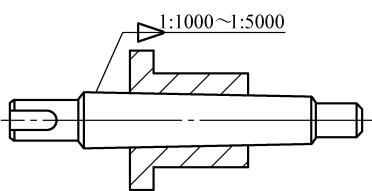
车削薄壁工件时，由于工件的刚性差，工件在车削过程中受切削力和夹紧力的作用极易产生变形，影响工件的尺寸和形状精度。因此，合理选择装夹方法、刀具几何角度、切削用量及充分地进行冷却润滑，都是保证加工薄壁工件精度的关键。

2.8.1 工件的装夹方法（表 2-25）

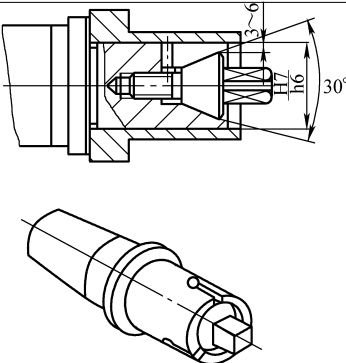
表 2-25 工件的装夹方法

装 夹 方 法	简 图	应 用 说 明
增加工艺凸台		对薄壁套类工件，可在坯料上留有一定的夹持长度（工艺凸台）。在工件一次装夹中完成内、外圆和一端端面的加工后，切下工件，最后装夹在心轴上，车另一端面和倒角

(续)

装夹方法	简图	应用说明
开口套筒装夹		开口套筒接触面大, 夹紧力均匀分布在工件外圆上, 不易产生变形。这种方法还必须提高工件在自定心卡盘上的安装精度, 以保证较高的同轴度
软卡爪装夹		采用改装成扇形软卡爪的自定心卡盘, 可按与加工工件的装夹基面间隙配合的要求, 加工卡爪的工作面, 使接触面增大, 夹紧力均匀分布在工件上, 不易产生变形
轴向夹紧夹具装夹		夹具用螺母的端面来夹紧工件。夹紧力是轴向的, 可避免工件变形
小锥度心轴装夹		锥度一般在 $1:1000 \sim 1:5000$, 制造方便, 加工精度高。缺点是在长度上无法定位, 承受切削力小, 装卸不太方便 适用于内孔定位加工外圆

(续)

装夹方法	简 图	应用说明
胀力心轴装夹		<p>这种心轴依靠材料弹性变形所产生的胀力来固定工件,装卸方便,加工精度高,使用比较广泛</p> <p>胀力心轴一般直接安装在机床主轴孔中。胀力心轴的旋塞锥角最好为 30° 左右,最薄部分壁厚为 3 ~ 6mm,胀体上开有三等分槽,使胀力保持均匀</p> <p>适用于内孔定位加工外圆</p>

2.8.2 刀具几何角度的选择

车削薄壁工件时,刀具刃口要锋利,一般采用较大的前角和主偏角,刀具的修光刃不宜过长(一般取 0.2 ~ 0.3mm),要求刀柄的刚度高。

- 1) 外圆精车刀主要角度及参数见图 2-43。
- 2) 内孔精车刀主要角度及参数见图 2-44。

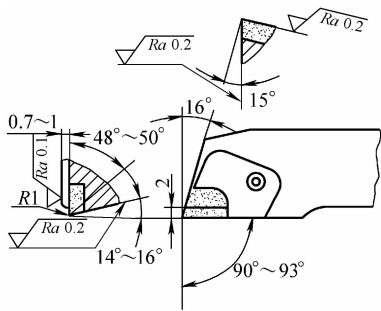


图 2-43 外圆精车刀

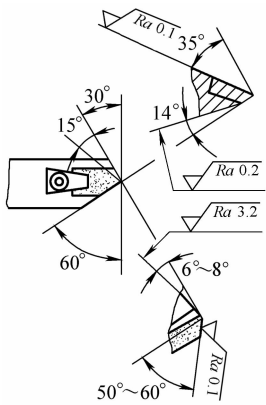


图 2-44 内孔精车刀

2.8.3 精车薄壁工件的切削用量 (表 2-26)

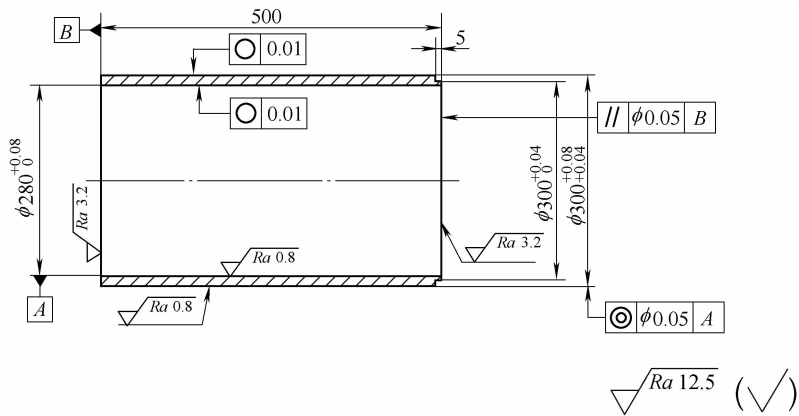
表 2-26 精车薄壁工件的切削用量

工 件 材 料	刀 片 材 料	切 削 用 量		
		$v/$ (m/min)	$f/$ (mm/r)	$a_p/$ mm
45、Q235 铝合金	YT15	100 ~ 130	0.08 ~ 0.16	0.05 ~ 0.5
	YG6A	400 ~ 700 ^①	0.02 ~ 0.03	0.05 ~ 0.1
	YG6X			

① 当机床精度低或刚度差时,应适当降低切削速度。

2.8.4 典型薄壁零件的加工工艺分析举例

图 2-45 所示为缸套零件。



技术要求

1. 正火 190 ~ 207HBW 2. 未注倒角 C1。3. 材料 QT600-3。

图 2-45 缸套

(1) 零件图样分析

- 1) 外圆对基准 A 的同轴度公差为 $\phi 0.05\text{mm}$ 。
- 2) 右端面对基准面 B 的平行度公差为 0.05mm 。
- 3) 外圆表面圆度公差为 0.01mm 。
- 4) 内圆表面圆度公差为 0.01mm 。
- 5) 正火 190 ~ 207HBW。
- 6) 材料 QT600-3。

(2) 工艺分析

1) 缸套属于薄壁零件。由于薄壁工件的刚性差，在车削过程中受切削力和夹紧力的作用极易产生变形，影响工件尺寸精度和形状精度。因此，合理地选择装夹方法、刀具几何角度、切削用量及充分地进行冷却润滑，都是保证加工薄壁工件精度的关键。

2) 零件内圆和外圆精度要求较高，加工时应粗、精分开。

3) 缸套在最终使用时，是将缸套压入缸体后，再一次对内径尺寸进行重新加工。缸套端部 $\phi 300^{+0.04}_0\text{mm} \times 5\text{mm}$ 是在压入缸体时起定位及导入作用的。

(3) 缸套机械加工工艺过程卡（表 2-27）

表 2-27 缸套机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工序内容	工艺装备
1	铸	铸造尺寸 $\phi 315\text{mm} \times \phi 265\text{mm} \times 515\text{mm}$	
2	热处理	人工时效处理	

(续)

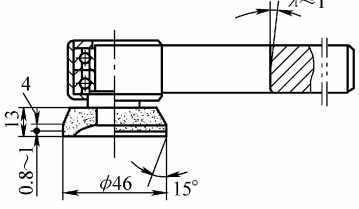
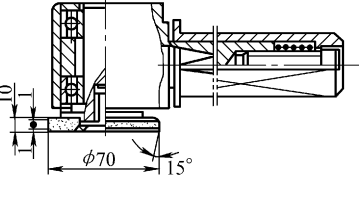
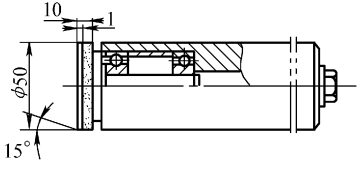
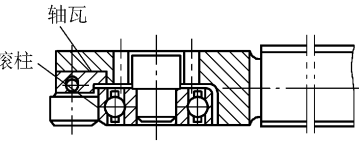
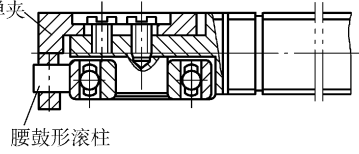
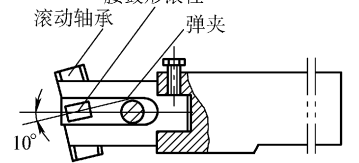
工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
3	粗车	夹工件一端外圆, 车内径至尺寸 $\phi 270^{+1}_{-1}$ mm, 车外圆至尺寸 $\phi 310^{+1}_{-1}$ mm, 车端面见平即可	CA6140
4	粗车	倒头装夹工件外圆, 车另一端内径尺寸至 $\phi 270^{+1}_{-1}$ mm 接刀, 车外圆至尺寸 $\phi 310^{+1}_{-1}$ mm 接刀, 车端面保证尺寸总长 508 mm	CA6140
5	热处理	正火 190 ~ 207 HBW	
6	粗车	夹工件一端外圆, 车内径至尺寸 $\phi 275^{+0.5}_{-0.5}$ mm, 车外圆至 $\phi 305^{+0.5}_{-0.5}$ mm, 车端面保证总长 506 mm (注: 车内径和外圆时, 长度应超过点长的一半)	CA6140
7	粗车	倒头装夹工件外圆, 车另一端内径尺寸至 $\phi 275^{+0.5}_{-0.5}$ mm 平滑接刀, 车外圆至尺寸 $\phi 305^{+0.5}_{-0.5}$ mm 平滑接刀, 车端面, 保证工件总长 504 mm	CA6140
8	精车	夹工件一端外圆。(注意合理的夹紧力, 防止工件变形。)车内径至 $\phi 279.2^{+0.05}_{-0.05}$ mm; 车外圆至 $\phi 300.8^{+0.05}_{-0.05}$ mm, (注意长度尺寸要超过 250 mm), 车端面, 保证总长尺寸 502 mm	CA6140
9	精车	倒头装夹工件外圆, 车另一端内径尺寸至 $\phi 279.2^{+0.05}_{-0.05}$ mm 平滑接刀, 车外圆至尺寸 $\phi 300.8^{+0.05}_{-0.05}$ mm 平滑接刀, 保证总长尺寸 500.8 mm	CA6140
10	磨	以外圆定位装夹工件, 另一端采用中心架支承, 磨内径至图样尺寸 $\phi 280^{+0.08}_{-0}$ mm, 磨端面保证工件总长 500.4 mm	中心架
11	磨	倒头, 以内孔定位装夹工件, 尾座采用专用工装辅助支承, 磨外圆至图样尺寸 $\phi 300^{+0.08}_{+0.04}$, 松开尾座磨端面, 保证图样尺寸 500 mm, 磨外圆 $\phi 300^{+0.04}_{-0}$ mm, 长度为 5 mm	专用工装
12	检验	按图样检查各部尺寸精度	
13	入库	涂油入库	

2.9 车削表面的滚压加工

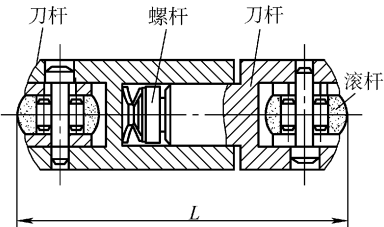
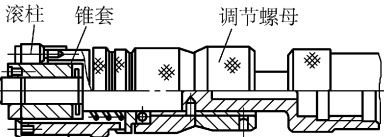
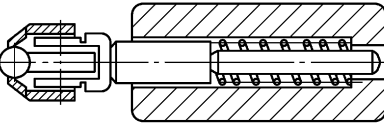
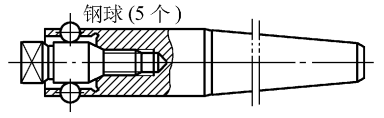
滚压加工是一种对机械零件表面进行光整和强化加工的工艺。在车床上应用滚压工具在工件表面上作相对滚动, 施加一定的压力来强行滚压, 可使金属表层产生塑性变形, 修正工件表面的微观几何形状, 降低表面粗糙度值, 同时提高工件的表面硬度、耐磨性和抗疲劳强度。这种方法主要用于大型轴类、套筒类零件的内、外旋转表面的加工, 滚压螺钉、螺栓等零件的螺纹, 以及滚压小模数齿轮和滚花加工等。

2.9.1 滚压加工常用工具及其应用（表 2-28）

表 2-28 滚压加工常用工具及应用

形式	结构示意图	特 点	注 意 事 项
硬质合金滚轮式内、外圆滚压工具		<p>1) 具有滚辗和滚研压两种效应，滚压效果较好</p> <p>2) 滚轮外径较大，减小了滚轮的转速，使滚轮寿命增加，且可采用较高的滚压速度</p>	<p>1) 工具的滚轮轴线相对工件轴线应在垂直平面内，顺时针方向倾斜 ($\lambda = 1^\circ$ 左右)，使其具有楔入及滚研压效应</p> <p>2) 安装工具时，应使滚轮轴线相对工件轴线在水平面内，顺时针方向倾斜 1° 左右（目测时，滚轮型面与工件的实际接触宽度约 $3 \sim 4\text{mm}$），以使工件表面的弹性变形区逐渐复原、挤光</p>
		<p>3) 滚压时，无需加润滑油和冷却</p>	<p>3) 滚轮的滚辗压角 $\gamma \approx 10^\circ \sim 14^\circ$，以保证顺利楔入工件进行滚辗</p>
		<p>4) 能滚压带有台阶的轴、短孔、不通孔等的塑性材料的工件</p>	<p>4) 滚压前，工件表面和滚轮型面应保持清洁无油污。工件表面不应有局部缩孔或硬化现象</p>
滚柱式内、外圆滚压工具		<p>1) 具有较大的滚研压效应</p>	<p>1) 安装工具时，滚柱对准工件中心，并使滚柱轴线相对工件轴线在垂直平面上，顺时针方向倾斜一个 λ 角度</p> <p>外圆滚压 $\lambda = 15^\circ \sim 30^\circ$</p> <p>内孔滚压 $\lambda = 5^\circ \sim 25^\circ$</p> <p>中小孔滚压 $\lambda = 10^\circ$</p>
		<p>2) 滚柱与工件的接触面小，滚压时，无需施加很大的压力</p> <p>3) 不宜滚压经调质处理的硬度高的工件，对不通孔和有台阶的内孔，不能滚压到底</p>	<p>2) 滚柱与弹夹的配合间隙不宜过大，一般在 0.1mm 左右，否则工件表面会产生振动痕迹</p>
			

(续)

形式	结构示意图		特 点	注 意 事 项
硬质合金 YZ 型深孔滚压工具	滚压深孔		<p>1) 为加工不同尺寸范围的孔径, 滚压工具可调节, 或改组成不同长度的规格 ($L = 80 \sim 95\text{mm}$, $95 \sim 110\text{mm}$, $110 \sim 230\text{mm}$)</p> <p>2) 采用弹性方式滚压, 压力均匀, 调整方便</p> <p>3) 在滚轮进给方向前面装有滚压导向部分, 能保持滚压后的表面粗糙度</p>	<p>1) 成组碟形弹簧应采取面对面“《》”或背对背“》《”的装法</p> <p>2) 滚轮材料为 YG6X, 其型面可在工具磨床上用碗形砂轮磨出, 然后用海绵蘸研磨膏研磨</p>
圆锥滚柱深孔滚压工具	滚压深孔		<p>1) 采用圆锥形滚柱型面。滚压时, 滚柱与工件具有 $30' \sim 1^\circ$ 的斜角, 使工件的弹性变形区逐渐复原, 以降低孔壁的表面粗糙度值</p> <p>2) 与钢珠型面相比, 它同工件的接触面增大, 从而可加大进给量</p>	<p>1) 滚压时, 应采用切削液。它可由 50% 硫化切削液加 50% 柴油, 或全损耗系统用油、煤油配制而成</p> <p>2) 滚柱的压入深度可由调节螺母调整, 调节螺母旋转一圈, 滚压头直径方向的增减量 x 为</p> $x = 2 \times 1.5 \times \tan 30'$ $= 0.0262\text{mm}$ <p>式中, 1.5mm 为调节螺母的螺距, $30'$ 为心轴锥套圆锥体斜角</p>
滚珠式滚压工具	滚压外圆		<p>1) 采用滚动轴承的滚珠, 具有高精度、高硬度, 低表面粗糙度值等优点</p>	<p>1) 为使滚珠和工件之间的摩擦力大于滚珠和支承之间的摩擦力, 滚珠应支承在一个或两个滚动轴承的外环上</p>
	滚压内孔		<p>2) 滚珠与工件的轴向摩擦力小, 因而滚压工具的轴向载荷小</p> <p>3) 滚压内孔的滚压工具, 其直径大小可以调节</p>	<p>2) 弹性滚压工具用于滚压精度不太高的场合</p>

2.9.2 滚轮式滚压工具常用的滚轮外圆形状及应用

1) 带圆柱形部分(宽度为 b)和斜角的滚轮(图2-46)。这种滚轮适用于滚压长度不受限制的圆柱面或平面。滚压小零件时, $b=2\sim 5\text{mm}$;滚压大零件时, $b=12\sim 15\text{mm}$ 。

2) 具有半径 R 的球形面滚轮(图2-47)。这种滚轮适用于滚压刚度较差的零件,圆柱面或平面的长度不受限制。

3) 凸出部分具有半径 R 的球形面滚轮(图2-48)。这种滚轮适用于滚压零件上的凹槽或凹圆角。

4) 具有综合形状的滚轮(图2-49)。这种滚轮适用于滚压零件上的端面(a 部分)、凹形面(R 部分)和圆柱面(b 部分)。

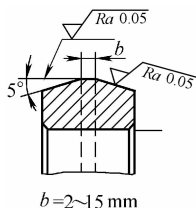


图 2-46 带圆柱形部分
(宽度为 b)和斜角的滚轮

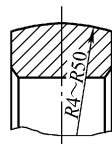


图 2-47 具有半径 R
的球形面滚轮

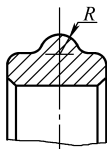


图 2-48 凸出部分具有半径
 R 的球形面滚轮

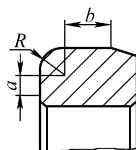


图 2-49 具有综合形
状的滚轮

5) 滚压特殊形状表面的滚轮(图2-50)。这种滚轮适用于滚压特殊形状的零件。

滚轮可用 T12A、CrWMn、Cr12、5CrNiMn 等材料制造,热处理硬度为 58~65HRC,也可采用硬质合金制造。

滚轮一般支承在滚动轴承上。滚轮的表面粗糙度 Ra 一般在 $0.2\mu\text{m}$ 以下。滚轮与相配合的心轴的同轴度误差,应小于 0.01mm 。

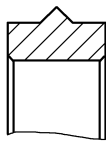


图 2-50 滚压特殊形
状表面的滚轮

2.9.3 滚轮滚压的加工方法

滚轮滚压可加工圆柱形或锥形的外表面和内表面,曲线旋转体的外表面、平面、端面、凹槽,台阶轴的过渡圆角等(图2-51)。

滚压用的滚轮数量有一个、两个或三个。单一滚轮滚压只能用于具有足够刚度的工

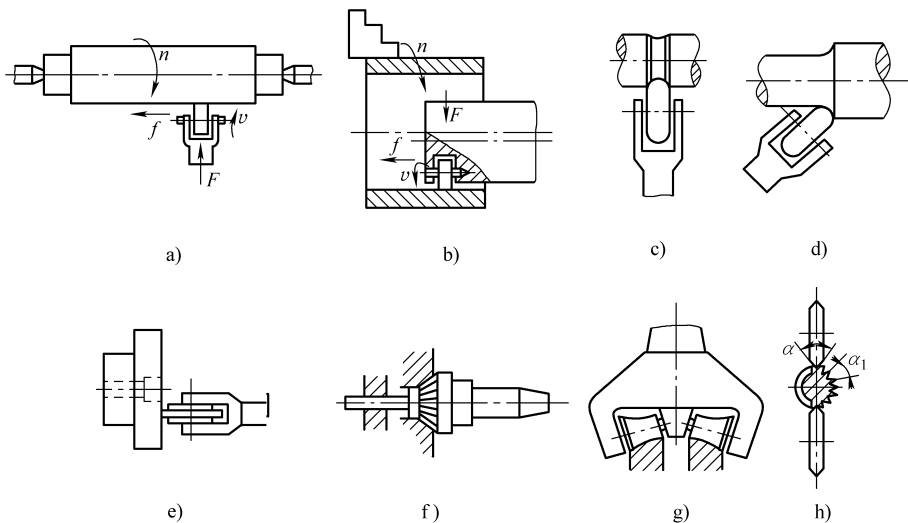


图 2-51 滚轮滚压示例

- a) 滚压圆柱形外表面 b) 滚压圆柱形内表面
c) 滚压圆柱凹槽 d) 滚压过渡圆角 e) 滚压端面
f) 滚压锥形孔 g) 滚压型面 h) 滚压直槽

件。若工件刚度较小，则须用两个或三个滚轮，在相对的方向上同时进行滚压，以免工件弯曲变形（图 2-52）。

2.9.4 滚压质量分析

滚轮滚压加工的表面质量主要取决于下列因素。

1) 滚轮或滚柱制造精度愈高，滚压后工件的质量愈好。滚轮或滚柱的表面粗糙度一般要求在 $Ra0.4\mu\text{m}$ 以下。此外，还应使它们与其他零件达到较高的配合精度，如滚轮与心轴的轴线间位置度应小于 0.01mm 。

2) 工件的原始表面粗糙度值愈低，滚压后的表面质量愈好。一般滚压前，工件表面的预加工建议采用精车、精镗或精铣。预加工后工件，若用滚柱式滚压工具进行滚压，工件表面粗糙度 Ra 应为 $0.63\mu\text{m}$ 以下；若用滚轮式滚压工具进行滚压，工件表面粗糙度 Ra 应为 $12.5\mu\text{m}$ 以下。

3) 选择滚压参数。

① 压入深度 a （即压入前后工件半径的变化值）。压入深度 a 过小，滚压后工件的表面粗糙度值大；压入深度 a 过大，容易使工件表面产生粘附、脱皮现象。压入深度由滚轮进给时的压力 F 控制。压力愈大，压入深度也愈大，两者大小均取决于工件直径尺寸、工件材料和滚压前工件的表面粗糙度等因素。较合理的数值，可根据具体情

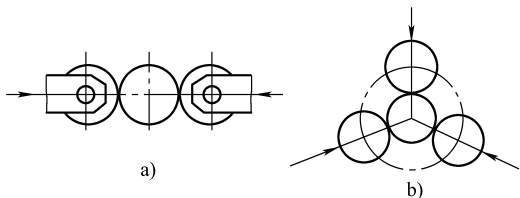


图 2-52 多滚轮滚压圆柱形外表面示意

- a) 双滚轮 b) 三滚轮

况，由试验比较确定。一般 $a = 0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 时， $F = 500 \sim 3000\text{N}$ 。

② 进给量 f 。进给量 f 过大，工件的表面粗糙度值大；进给量 f 过小，工件表面因重复滚压而容易产生疲劳裂纹，也会降低滚压质量。一般 $f = 0.1 \sim 0.25\text{mm/r}$ 。滚压次数应以一次为宜，如用滚柱式滚压工具也可滚压两次。

③ 滚压速度 v 。在保证机床、滚压工具正常使用情况下，宜采用较高的滚压速度，以提高滚压质量和生产率。不同形式滚压工具的滚压速度见表 2-29。

表 2-29 不同形式滚压工具的滚压速度

结构形式	滚压速度 $v/(\text{m/min})$	
	外圆滚压	内孔滚压
硬质合金滚轮式滚压工具	80 ~ 150	
滚柱式滚压工具	< 40	30 ~ 40
硬质合金 YZ 型深孔滚压工具	—	30 ~ 40
圆锥滚柱深孔滚压工具	—	60 ~ 80

4) 冷却和润滑。切削液可用全损耗系统用油、煤油、乳化油等，但必须过滤，保证清洁。

5) 清除杂物。滚压前要清除零件上的油脂、杂物和腐蚀痕迹等，以免影响滚压后质量。

2.9.5 滚花

(1) 花纹的种类及其尺寸 (GB/T 6403.3—2008)

按标准规定，花纹有直纹和网纹两种。花纹的粗细由节距 p 来决定，滚花的标注方法及其尺寸见图 2-53 和表 2-30。

表 2-30 滚花尺寸表

(单位: mm)

模数 m	h	r	节距 p
0.2	0.132	0.06	0.628
0.3	0.198	0.09	0.942
0.4	0.264	0.12	1.257
0.5	0.326	0.16	1.571

注：表中 $h = 0.785m - 0.414r$ 。

(2) 滚花刀的种类

滚花刀一般有单轮、双轮及六轮三种 (图 2-54)。单轮滚花刀通常用于滚压直纹，双轮滚花刀和六轮滚花刀用于滚压网纹。双轮滚花刀是由节距相同的一个左旋和一个右旋滚花刀组成一组。六轮滚花刀是把网纹模数 m 不等的三组双轮滚花刀，装在同一特制的刀杆上。

(3) 滚花加工时的注意事项

1) 滚花时产生的背向力较大，使工件表面产生塑性变形。所以在车削外径时，应根据工件材料的性质和滚花的节距 p 的大小，将滚花部位的外径车小约 $(0.2 \sim 0.5)p$ 。

2) 滚花前，工件表面粗糙度 Ra 应为 $12.5\mu\text{m}$ 。

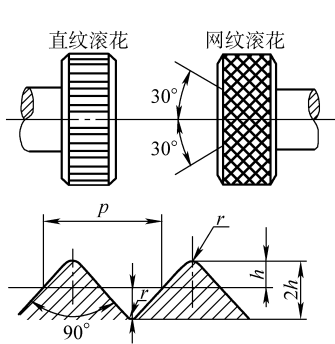


图 2-53 花纹种类及标注方法

标记示例:

- 1) 模数 $m = 0.3\text{mm}$ 直纹滚花: 直纹 $m0.3$ 。
- 2) 模数 $m = 0.4\text{mm}$ 网纹滚花: 网纹 $m0.4$ 。

3) 滚花刀的装夹应与工件表面平行。在滚花刀开始接触工件时, 必须用较大的压力进给, 使工件圆周上一开始就形成较深的花纹, 不易产生乱纹。这样来回滚压 1~2 次, 直到花纹凸出为止。

为了减少开始时的背向力, 可用滚花刀宽度的 1/2 或 1/3 进行滚压, 或把滚花刀尾部装得略向左偏一些, 使滚花刀与工件表面有一很小的夹角 (类似车刀的副偏角), 这样滚花刀就容易切入工件表面 (图 2-55)。

4) 滚花时应选择较低的切削速度。在滚花过程中, 必须经常加切削液并清除切屑, 以免损坏滚花刀, 防止滚花刀被切屑堵塞而影响花纹的质量。

5) 滚花后工件直径大于滚花前直径, 其值 $\Delta \approx (0.8 \sim 1.6) m$ 。

6) 滚花一般在精车之前进行。

(4) 滚花时产生乱纹的原因及预防方法 (表 2-31)

表 2-31 滚花时产生乱纹的原因及预防方法

产生原因	预防方法
工件外径周长不能被滚花刀节距 p 除尽	可把外圆略车小一些
滚花开始时, 背向力太小, 或滚花刀与工件表面接触面过大	开始滚花时就要使用较大的压力, 把滚花刀偏转一个很小的角度
滚花刀转动不灵, 或滚花刀与刀杆小轴配合间隙太大	检查原因或调换小轴
工件转速太高, 滚花刀与工件表面产生滑动	降低转速
滚花前没有清除滚花刀中的细屑, 或滚花刀齿部磨损	清除细屑或更换滚轮

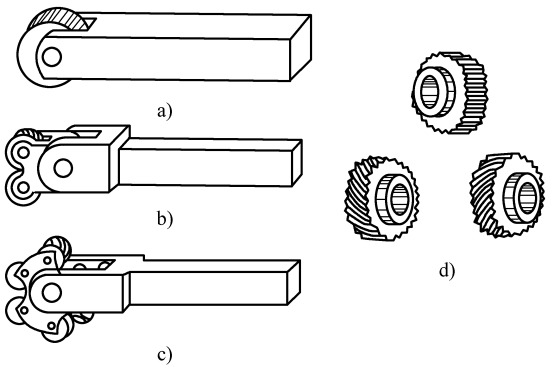


图 2-54 滚花刀的种类

a) 单轮 b) 双轮 c) 六轮 d) 滚轮

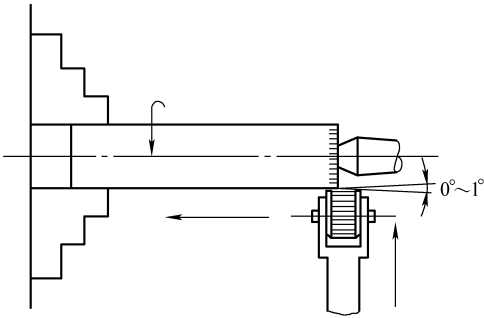


图 2-55 滚花刀的安装

2.10 冷绕弹簧

2.10.1 卧式车床可绕制弹簧的种类 (图 2-56)

2.10.2 绕制圆柱形螺旋压缩弹簧 (图 2-56a)

1) 计算心轴的直径。

① 计算冷绕弹簧用心轴直径的经验公式：

$$D_0 = \left[\left(1 - 0.0167 \times \frac{d + D_1}{d} \right) \pm 0.02 \right] \times D_1$$

式中 D_0 ——心轴直径 (mm)；

D_1 ——弹簧内径 (mm)；

d ——钢丝直径 (mm)。

用中级弹簧钢丝，钢丝直径 $d < 1\text{mm}$ 时，心轴系数取 -0.02mm ； $d > 2.5\text{mm}$ 时，取 $+0.02\text{mm}$ 。

用高级弹簧钢丝，钢丝直径 $d < 2\text{mm}$ 时，心轴系数取 -0.02mm ； $d > 3.5\text{mm}$ 时，取 $+0.02\text{mm}$ 。钢丝直径在 $2 \sim 3.5\text{mm}$ 时，此项系数可不考虑。

② 计算冷绕弹簧用心轴直径的近似公式：

$$D_0 = (0.75 \sim 0.8) D_1$$

如果弹簧以内径与其他零件相配，近似计算公式中的系数应选用较大值；如果弹簧以外径与其他零件相配，近似计算公式中的系数应选用较小值。弹簧心轴直径也可由表 2-32 查得。

计算和查得的心轴直径是近似的。正式绕制弹簧前，最好先进行试验，即先绕 2 ~ 3 圈，让其扩大，然后测量内径是否符合要求，再根据测量结果修正心轴直径。如果心轴直径偏差不大，也可以调整钢丝牵引力，使弹簧的直径稍微增大或减小。

2) 根据弹簧节距，调整交换齿轮及进给箱各手柄位置。

3) 用刀架夹住两块硬木块，并将钢丝夹在两硬木块之间。把钢丝插入心轴外端的小孔中 (图 2-57)，使钢丝头部露出心轴外端小孔 15 ~ 20mm 后，锁紧刀架螺钉。将小刀架调整好一定距离后，即可开动车床，盘绕弹簧。

表 2-32 弹簧心轴直径

(单位：mm)

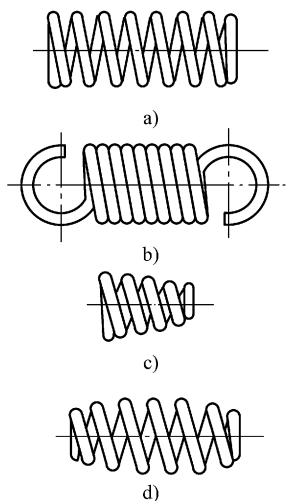
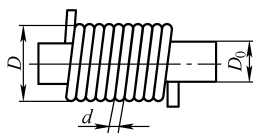


图 2-56 卧式车床可绕制的弹簧种类

a) 压缩弹簧 b) 拉伸弹簧
c) 圆锥弹簧 d) 橄榄形弹簧



(续)

<i>d</i>	0.3	0.5	0.8	1.0	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	心轴 公差
<i>D</i>	心轴直径 <i>D</i> ₀										
3	2.1										±0.1
4	3.1	2.5									
5	4.0	3.5	2.7	2.0							
6	5.0	4.5	3.6	2.9							
8		6.4	5.5	4.8							
10		8.4	7.4	6.7							
12			9.3	8.5	6.1	4.8					
14			11.1	10.4	8.0	6.6	5.2				
18				14.3	11.9	10.4	9.0				±0.2
20				16.2	13.8	12.2	10.8				
22					16.6	14.1	12.7	10.5			
32					25.5	24.0	22.5	20.2	17.2	16.1	
40							30.3	28.1	26.1	24.0	
50								37.9	35.8	33.5	
60								47.2	45.0	42.5	

- 注：1. 在车床上热绕弹簧，心轴直径应等于弹簧内径。
2. 冷绕弹簧用的心轴直径，按小于弹簧内径选定，其差值由经验决定。2 级和 3 级精度钢弹簧，可按本表的数据选用。
3. 表中，*D*—弹簧外径；*d*—钢丝直径。

2.10.3 绕制圆柱形螺旋拉伸弹簧（图 2-56b）

- 1) 心轴直径的计算与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。
- 2) 拉伸弹簧的节距等于钢丝直径，所以应按所给定的钢丝直径，调整交换齿轮和进给箱各手柄位置。
- 3) 绕制方法与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。

2.10.4 绕制圆锥形螺旋压缩弹簧（图 2-58）

- 1) 心轴直径的计算与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。但应按弹簧大、小端内径，分别计算出心轴的直径。根据计算确定的心轴大、小端直径和弹簧长度，制作锥度心轴。为保证弹簧节距的均匀，可将心轴制成带有圆弧槽。心轴的大、小端直径，应是圆弧槽大、小端底径尺寸。
- 2) 根据弹簧节距，调整交换齿轮及进给箱各手柄位置。
- 3) 绕制方法与绕制圆柱形螺旋压缩弹簧相同。其锥度心轴的大、小端直径，也应

先进行试绕后再确定。

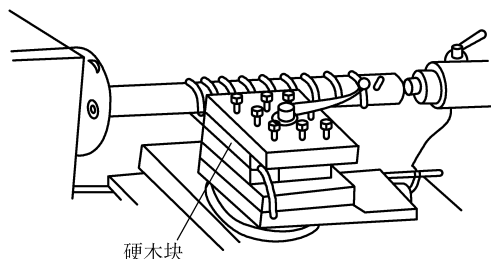


图 2-57 绕制圆柱形螺旋压缩弹簧

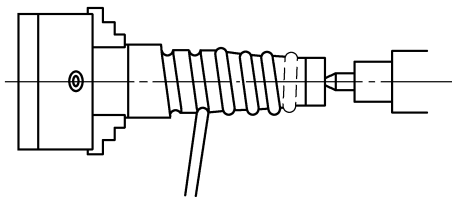


图 2-58 绕制圆锥形螺旋压缩弹簧

2.10.5 绕制橄榄形弹簧 (图 2-59)

1) 心轴应制成可拆卸的, 这样绕制后的橄榄形弹簧才能正常取下。心轴由轴 1、垫圈 2 和挡圈 3 组成。轴 1 外圆与垫圈 2 的内孔, 通过相应的键槽和键相配。依据弹簧节距确定垫圈厚度; 依据弹簧圈数确定垫圈数目; 依据弹簧的最大和最小内径, 计算出垫圈最大和最小外径。

2) 根据弹簧节距, 调整交换齿轮和进给箱各手柄位置。

3) 按图 2-59 所示装好心轴、垫圈和挡圈, 即可绕制弹簧。

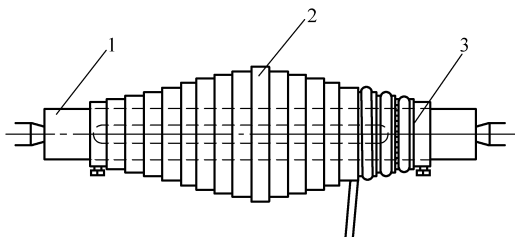


图 2-59 绕制橄榄形弹簧

1—轴 2—垫圈 3—挡圈

2.11 车削细长轴

工件的长度与直径之比大于 25 ($L/d > 25$) 的轴类零件, 称为细长轴。

2.11.1 细长轴的加工特点

1) 工件刚性差、拉弯力弱, 并有因材料自身质量下垂的弯曲现象。

2) 在切削过程中, 工件受热伸长会产生弯曲变形, 甚至会使工件卡死在顶尖间而无法加工。

3) 工件受切削力作用易产生弯曲, 从而引起振动, 影响工件的精度和表面粗糙度。

4) 采用跟刀架、中心架辅助工、夹具, 操作技能要求高, 与之配合的机床、工、夹、

刀具等多方面的协调困难,也是产生振动的原因,会影响加工精度。

5) 由于工件长,每次进给的切削时间长,刀具磨损和工件尺寸变化大,难以保证加工精度。

因此,在车削细长轴时,对工件的装夹、刀具、机床、辅助工夹具及切削用量等要合理选择,精心调整。

2.11.2 细长轴的装夹

(1) 钻中心孔

将棒料一端钻好中心孔,当毛坯直径小于机床主轴通孔时,按一般方法加工中心孔,但是棒料所伸出床头后面的部分,应加强安全措施;当棒料直径大于机床主轴通孔或弯曲较大时,则用卡盘夹持一端,另一端用中心架支承其外圆毛坯面,先钻好可供活顶尖顶住的不规则中心孔,然后车出一段完整的外圆柱面,再用中心架支承该圆柱面,修正原来的中心孔,达到圆度的要求。应注意,在开始架中心架时,应使工件旋转中心与中心钻中心重合,否则将出现中心钻在工件端面上划圈,导致中心钻被折断。

中心孔是细长轴的主要定位基准。精加工时,中心孔要求更高。一般精加工前要修正中心孔,使两端中心孔同轴,角度、圆度、表面粗糙度符合要求。因此,在必要时还应将两端中心孔进行研磨。

(2) 装夹方式

1) 用中心架装夹。

① 中心架直接支承在工件中间(图 2-60)。这种方法适用于允许调头接刀车削,这样支承可改善细长轴的刚性。在工件装上中心架之前,必须在毛坯中间车一段安装中心架卡爪的沟槽。

车削时,卡爪与工件接触处应经常加润滑油。为了使卡爪与工件保持良好的接触,也可以在卡爪与工件之间加一层砂布或研磨剂,使接触更好。

② 用过渡套筒支承工件(图 2-61)。要在细长轴中间车削一条沟槽是比较困难的,为了解决这个问题,可采用过渡套筒装夹细长轴,使卡爪不直接与毛坯接触,而使卡爪与过渡套筒的外表面接触。过渡套筒的两端各装有四个螺钉,用这些螺钉夹住毛坯工件,但过渡套筒的外圆必须校正。

③ 一端夹住、一端搭中心架(图 2-62)。除钻中孔外,车削长轴的端面、较长套筒的内孔、内螺纹时,都可用一端夹住、一端搭中心架的方法。这种方法使用范围广泛。

④ 对中心架支承卡爪的调整。在调整中心架卡爪前,应在卡盘和顶尖之间将工件两端支承好。中心架卡爪的调整,重点是注意两侧下方的卡爪,它决定工件中心位置是

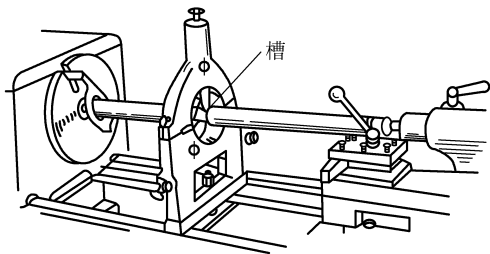


图 2-60 中心架直接支承在工件中间

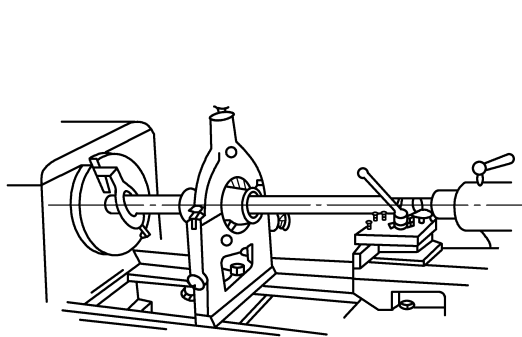


图 2-61 用过渡套筒支承工件

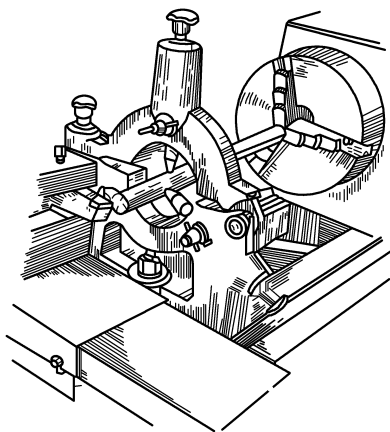


图 2-62 一端夹住、一端搭中心架

否能保持在主轴轴线的延长线上。因此，支承力应均等而且适度，否则将因操作失误顶弯工件。位于工件上方的卡爪，起抗衡主切削力 F_x 的作用。按顺序，它应在下方两侧卡爪支承调整稳妥之后，再进行支承调整，并注意不能顶压过紧。调整最后，应使中心架每个卡爪都能如精密配合的滑动轴承的内壁一样，保持相同的微小间隙，作自由滑动。应随时注意中心架各个卡爪的磨损情况，及时地调整和补偿。

中心架的三个卡爪在长期使用磨损后，可用青铜、球墨铸铁或尼龙 1010 等材料的卡爪更换。

2) 用跟刀架装夹 (图 2-63)。车细长轴时最好采用三个卡爪的跟刀架 (图 2-64)。它有平衡主切削力 F_x ，径向分力 F_y 和阻止工件自重下垂力 G 的作用。各支承卡爪的触头由可以更换的耐磨铸铁制成。支承爪圆弧可预先经镗削加工而成，也可以在车削时，利用工件粗车后的粗糙表面进行磨合。在调整跟刀架各支承压力时，力度要适中，并要供给充分的切削液，才能保证跟刀架支承的稳定和工件的尺寸精度。

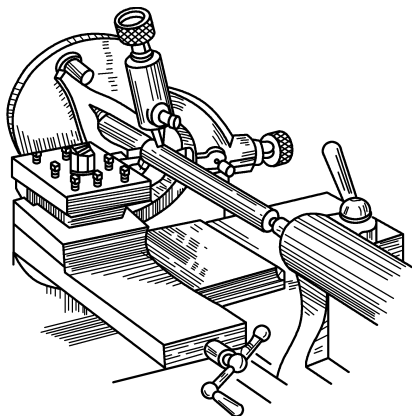


图 2-63 跟刀架装夹工件

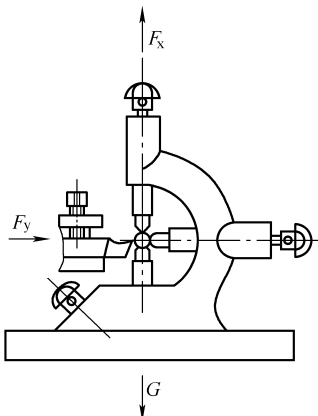


图 2-64 三爪跟刀架

(3) 装夹时的注意事项

1) 当材料毛坯弯曲较大时, 使用单动卡盘装夹为宜。因为单动卡盘具有可调整被夹工件圆心位置的特点。当工件毛坯加工余量充足时, 利用它将弯曲过大的毛坯部分“借”正, 保证外径能全部车圆, 并应留有足够的半精加工余量。

2) 卡爪夹持毛坯不宜过长, 一般为 15 ~ 20mm, 并且应加垫铜皮, 或用直径 4 ~ 6mm 的钢丝在夹头上绕一圈, 充当垫块 (图 2-65)。这样可以克服因材料尾端外圆不平, 产生受力不均而迫使工件弯曲的情况产生。

3) 尾座端顶尖采用弹性回转顶尖 (图 2-66)。在加工过程中, 由于切削热而使工件变形伸长时, 工件推动顶尖 1 使碟形弹簧 3 压缩变形, 可有效地补偿工件的热变形伸长, 工件不易弯曲, 使车削顺利。

调整顶尖对工件的压力大小时, 一般在车床开动后, 用手指能将顶尖头部捏住, 使其不转动为合适。

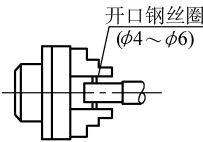


图 2-65 卡盘装夹工件

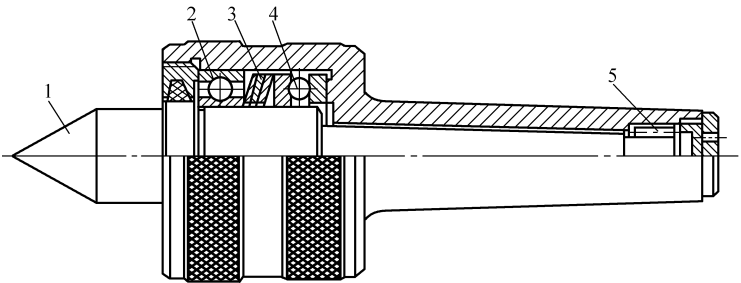


图 2-66 弹性回转顶尖

1—顶尖 2—圆柱滚子轴承 3—碟形弹簧 4—推力球轴承 5—滚针轴承

(4) 装夹方法举例 (表 2-33)

表 2-33 车削细长轴的装夹方法举例

装 夹 方 法	简 图	应 用 范 围
一夹一顶, 上中心架 (用过渡套), 正装车刀车削		适用于允许调头接刀车削 (过渡套外表面粗糙度值要低, 精度要高, 内孔要比工件直径大 20 ~ 30mm)
用两顶尖拨顶, 上中心架		适用于允许调头接刀车削 (工件凹槽尺寸: 槽底径等于工件最后直径, 槽宽比中心架支承宽度宽 10mm)

(续)

装夹方法	简 图	应用范围
一夹一顶 (用弹性活顶尖), 上跟刀架, 正装车刀车削		适用于不允许调头接刀车削的工作
一夹一顶 (用弹性活顶尖), 夹持面用开口钢丝圈, 上跟刀架, 反向进给		因反向进给, 故变形小, 加工精度高。精车时, 使用可调宽刃弹性车刀
一夹一拉, 上跟刀架, 反向进给		同上, 适用于精车 (尾座拉紧, 增加了预拉应力, 加工效果更为理想)
改装中滑板, 设前、后刀架, 用两把 45° 车刀同时切削, 加工精度高		适用于批量生产

2.11.3 车削细长轴常用的切削用量（表 2-34）

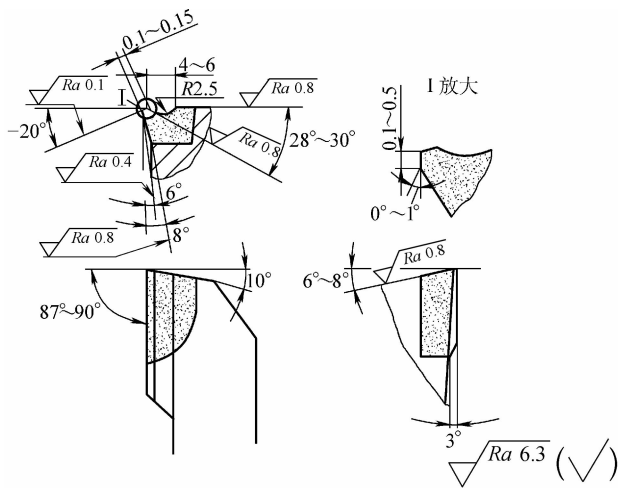
表 2-34 车削细长轴常用的切削用量

切 削 用 量	粗 车	精 车
$v/(\text{m}/\text{min})$	32	1.5
$f/(\text{mm}/\text{r})$	0.3 ~ 0.35	12 ~ 14
a_{p}/mm	2 ~ 4	0.02 ~ 0.05

2.11.4 加工细长轴用车刀举例

- (1) 对车刀几何角度的综合要求
- 1) 车刀的主偏角，取 $\kappa_{\text{r}} = 75^{\circ} \sim 95^{\circ}$ ，以减小切削径向分力，减少细长轴的弯曲。
 - 2) 选择较大的前角，取 $\gamma_{\text{o}} = 15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，以减小切削力。
 - 3) 车刀前刀面应磨有 $R1.5 \sim 3\text{mm}$ 的断屑槽，使切屑卷曲折断。
 - 4) 选择正值刃倾角，取 $\lambda_{\text{s}} = 3^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ，使切屑流向待加工表面。
 - 5) 减小切削刃表面粗糙度值，切削刃保持锋利。
 - 6) 不磨刀尖圆弧过渡刃和倒棱或磨得很小，保持切削刃的锋利，减小径向切削力。
 - 7) 粗车时，刀尖要高于中心 0.1mm 左右；精车时，刀尖应等于或略低于中心，不要超过 0.1mm 。
- (2) 车削细长轴车刀举例（表 2-35）

表 2-35 车削细长轴车刀举例

刀具名称	刀具几何参数	主 要 特 点
90° 细长轴车刀		这种车刀车削时，背向力小，可一次完成多台阶轴加工，不用换刀 适用于正、反粗车，半精车、精车细长轴

(续)

刀具名称	刀具几何参数	主要特点
75°反偏刀		<p>这种车刀的刃口强度高、耐磨,有利于消振抗弯。在反向进给时,轴向力指向尾座,使弯曲变形减小。装刀时,刀尖应高于工件轴线 0.1~0.15mm</p> <p>适用于反向粗车细长轴</p>
宽刃低速大进给车刀		<p>这种车刀的切削刃宽度比进给量大 1/3 以上,可进行大进给精车。刃口无倒棱,容易切入工件,并使切屑成薄片状,可修光工件表面</p> <p>适用于反向精车细长轴</p> <p>装刀时,刀尖应低于工件轴线 0.1~0.15mm。其切削用量可选: $v = 1 \sim 3 \text{ m/min}$; $f = 12 \sim 14 \text{ mm/r}$; $a_p = 0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$</p>
机械夹固式 95°反偏精车刀		<p>这种车刀前角和副偏角较大,摩擦小,消振散热好</p> <p>适用于反向精车细长轴</p>

2.11.5 车削细长轴的质量分析（表 2-36）

表 2-36 车削细长轴的质量分析

工件缺陷	产生原因及消除方法
弯曲	1) 坯料自重和本身弯曲。应经校直和热处理 2) 工件装夹不良，尾座顶尖与工件中心孔顶得过紧 3) 刀具几何参数和切削用量选择不当，造成切削力过大。可减小背吃刀量，增加进给次数 4) 切削时产生热变形。应采用切削液 5) 刀尖与支承块间距离过大。以不超过 2mm 为宜
竹节形	1) 在调整和修磨跟刀架支承块后，接刀不良，使第二次和第一次进给的径向尺寸不一致，引起工件全长上出现与支承块宽度一致的周期性直径变化。当车削中出现轻度竹节形时，可调节上侧支承块的压紧力，也可调节中滑板手柄，改变背吃刀量或减少车床床鞍和中滑板间的间隙 2) 跟刀架外侧支承块调整过紧，易在工件中段出现周期性直径变化。应调整压紧，使支承块与工件保持良好接触
多边形	1) 跟刀架支承块与工件表面接触不良，留有间隙，使工件轴线偏离旋转轴线。应合理选用跟刀架结构，正确修磨支承块弧面，使其与工件良好接触 2) 因装夹、发热等各种因素，造成的工件偏摆，导致背吃刀量变化。可利用托架并改善托架与工件的接触状态
锥度	1) 尾座顶尖与主轴轴线对床身导轨不平行 2) 刀具磨损。可采用 0°后角，磨出刀尖圆弧半径
表面粗糙	1) 车削时振动 2) 跟刀架支承块材料选用不当，与工件接触和摩擦不良 3) 刀具几何参数选择不当。可磨出刀尖圆弧半径，当工件长度与直径比较大时，亦可采用宽刃低速光车

2.11.6 典型细长轴零件的加工工艺分析举例

图 2-67 所示为钻床主轴零件。

(1) 零件图样分析

- 1) 尺寸 $\phi 70\text{mm}$ 对公共轴线 $A-B$ 的圆跳动公差为 0.01mm。
- 2) 尺寸 $\phi 40^{+0.013}_{+0.002}\text{mm}$ 对公共轴线 $A-B$ 的同轴度公差为 $\phi 0.008\text{mm}$ 。
- 3) 尺寸 $\phi 40^{+0.006}_{-0.005}\text{mm}$ 对公共轴线 $A-B$ 的同轴度公差为 $\phi 0.008\text{mm}$ 。
- 4) 花键轴部分外圆 $\phi 32^{+0.009}_{-0.025}\text{mm}$ 对公共轴线 $A-B$ 的圆跳动公差为 0.03mm。
- 5) 花键轴花键的齿侧面对基准轴线 C 的平行度公差为 0.05mm，对称度公差为 0.012mm。
- 6) 莫氏 4 号内圆锥孔对公共轴线 $A-B$ 的圆跳动公差为 0.015mm。



- 图 2-67 钻床主轴

8) 锥孔接触面涂色检查接触面 $\geq 75\%$ 。

9) 热处理先整体调质处理 28 ~ 32HRC, 尺寸 $\phi 70\text{mm} \times 138\text{mm}$ 部分淬火 42 ~ 48HRC。

(2) 工艺分析

1) 钻床主轴结构比较复杂, 又属细长轴类零件, 其刚性较差。因此所有表面加工分为粗加工、半精加工和精加工三次, 而且工序分得很细, 这样经过多次加工以后, 逐次减小了零件的变形误差。

2) 安排足够的热处理工序,也是保证消除零件内应力,减少零件变形的手段。

3) 为了保证支撑轴和锥孔的同轴度, 加工过程中, 配用锥堵使外圆和锥孔的加工能达到圆跳动公差为 0.015mm 要求。

4) 在磨削莫氏 4 号锥孔时, 利用基准轴径 A 作为支撑部位, 用基准轴径 B 找正工件, 保证了锥孔与基准轴的同轴度。

5) 无论是车削还是磨削, 工件夹紧力要适度, 在保证工件无轴向窜动的条件下, 应尽量减小夹紧力, 避免工件产生弯曲变形, 特别是在最后精车、精磨时, 更应重视这一点。

(3) 钻床主轴机械加工工艺过程卡 (表 2-37)

表 2-37 钻床主轴机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
1	锻造	自由锻	
2	热处理	正火	
3	划线	划端面及外形线,做为粗加工的参考尺寸线	
4	粗车	1) 小端插入主轴孔,夹小端,粗车大端面,钻中心孔 A6.3 2) 夹小端端部,顶大端中心孔,车大端外圆 $\phi 70\text{mm}$ 留加工余量 5mm 3) 倒头车 $\phi 32_{-0.025}^{+0.009}\text{mm}$ 处至尺寸 $\phi 40_{-0.3}^0\text{mm}$ 长 400mm	C6163
5	粗车	夹大端,上中心架,托 $\phi 40_{-0.3}^0\text{mm}$ 处,车小端面,钻中心孔 A6.3,总长留加工余量 17mm(中心孔工艺凸台),粗车小端外圆各部留加工余量 5mm,照顾大端长 138mm,留加工余量 2mm。(钻小端中心孔后,改夹大端顶小端中心孔)	C6163
6	热处理	调质处理 28~32HRC	
7	车	夹大端,顶小端,半精车小端外圆 $\phi 32_{-0.025}^{+0.009}\text{mm}$ 至 $\phi 35_{-0.2}^0\text{mm}$,长 400mm	C6163
8	车	夹大端,中心架托 $\phi 35_{-0.20}^0\text{mm}$ 处,半精车小端面,修研中心孔。夹大端顶小端,去掉中心架,加工小端外圆各部尺寸,留加工余量 3mm	C6163
9	车	夹小端,托 $\phi 40_{+0.002}^{+0.013}\text{mm}$ 处,半精车 $\phi 70\text{mm}$ 端面和外圆,总长 1045mm(其中有工艺凸台 15mm)。外圆留加工余量 1.5mm,钻孔及精车莫氏 4 号圆锥孔,留余量 1.5~2.5mm	C6163
10	车	夹大端,顶小端,半精车小端各部外圆,留加工余量 1.5mm	C6163
11	划线	划 35mm×12mm 及 32mm×12.2mm 长孔线	
12	铣	用分度头夹大端顶小端,铣两长孔,至图样要求	X5032、分度头
13	热处理	对 $\phi 70\text{mm} \times 138\text{mm}$ 处,进行局部淬火,硬度 42~48HRC	
14	精车	夹大端顶小端,精车小端各段外圆,倒角,留磨削加工余量 0.8mm	C6163
15	精车	夹小端,中心架托 $\phi 40_{+0.002}^{+0.013}\text{mm}$,精车 $\phi 70\text{mm}$,倒角,留磨削加工余量 0.8mm 中心架改托 $\phi 70\text{mm}$ 处,精车莫氏 4 号锥孔,倒角,留磨削加工余量 0.3~0.5mm	C6163
16	铣	分度头夹大端、顶小端,粗铣、半精铣花键,留磨削余量 0.3mm	XA6132
17	磨	夹小端,顶大端(活顶尖),粗磨各段外圆,留精磨余量 0.4mm	M1432A
18	磨	夹小端,中心架托大端 $\phi 70\text{mm}$ 处,粗磨锥孔,留磨削余量 0.3mm,装锥堵	M1432A
19	车	夹大端,顶小端,车螺纹 M36×1.5~6h 至图样要求	C6163
20	热处理	时效处理(消除机械加工内应力)	

(续)

工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
21	磨	修研两端中心孔,采用两中心孔定位夹紧工件,半精磨各段外圆尺寸,留精磨余量 0.3mm	
22	磨	精磨花键至图样要求	花键轴磨床
23	磨	采用两中心孔定位装夹工件,精磨轴外圆各部尺寸至图样要求	M1432A
24	钳	取出左端(大头)锥堵	
25	磨	夹小端用中心架托 A 基准轴径 $\phi 40_{+0.002}^{+0.013}$ mm,以 B 基准轴径 $\phi 40_{-0.005}^{+0.006}$ mm 找正,精磨莫氏 4 号圆锥孔及端面至图样要求	
26	车	夹大端,托小端 $\phi 30_{-0.4}^{-0.2}$ mm 轴径,车掉小端工艺凸台,保证图样尺寸 1030mm	C6163
27	检验	检查各部尺寸及精度	
28	入库	涂油入库	

第3章 铣削技术

3.1 铣刀

3.1.1 铣刀切削部分的几何形状和角度的选择

(1) 铣刀切削部分几何角度及代号 (图3-1)

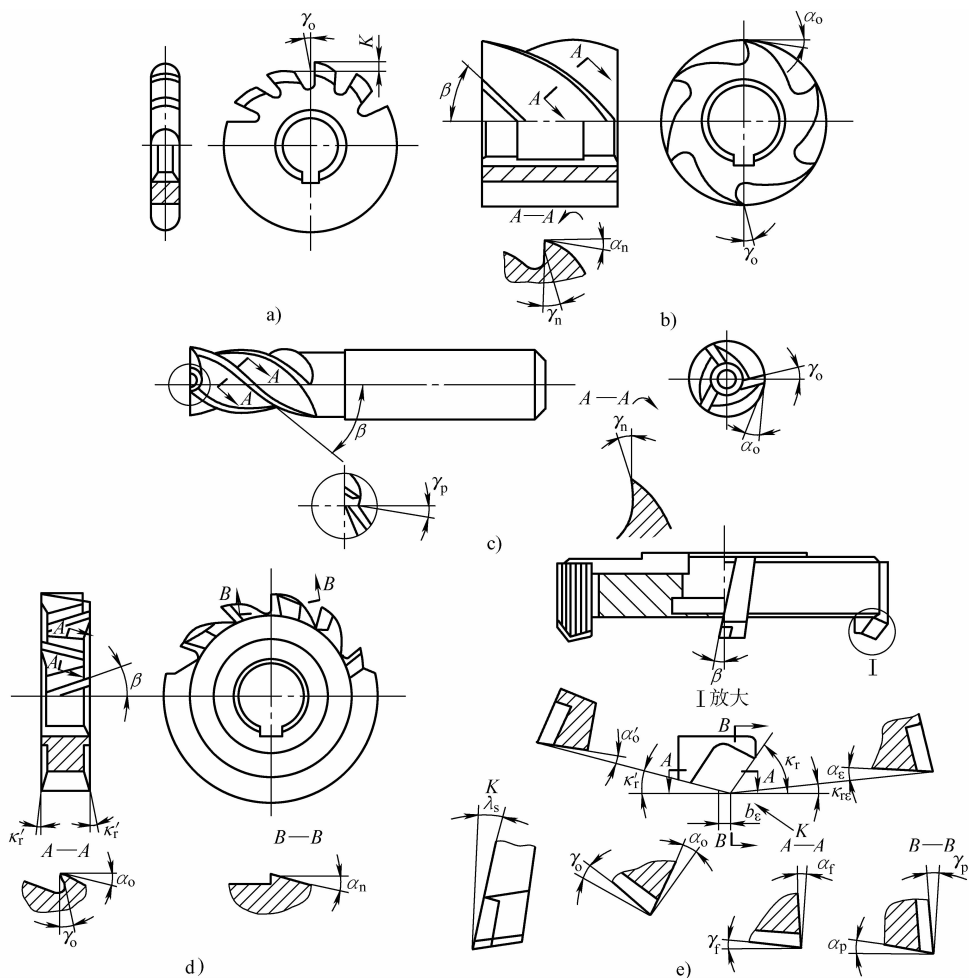


图 3-1 各类铣刀几何角度及代号

a) 凸半圆铣刀 b) 圆柱形铣刀 c) 立铣刀 d) 错齿三面刃铣刀 e) 端面铣刀

γ_o —前角 γ_p —切深前角 γ_f —进给前角 γ_n —法向前角 γ'_p —副切深前角 α_o —后角 α'_o —副后角
 α_p —切深后角 α_f —进给后角 α_n —法向后角 α_e —过渡刃后角 κ_r —主偏角 κ'_r —副偏角
 κ_{re} —过渡刃偏角 λ_s —刃倾角 β —刀体上刀齿槽斜角 b_e —过渡刃宽度 K —铲背量

表 3-1 铣刀角度及选用

1) 前角 $\gamma_0 / (^\circ)$

加工材料		端铣刀、圆柱形铣刀、盘铣刀、立铣刀	切槽铣刀、切断铣刀		成形铣刀、角度铣刀		说 明
			≤3mm	>3mm	粗铣	精铣	
碳钢及合金钢 σ_b /MPa	≤600	20	5	10	15	10	1) 用圆柱形铣刀铣削 $\sigma_b < 600\text{MPa}$ 钢料, 当刀齿螺旋角 $\beta > 30^\circ$ 时, 取 $\gamma_o = 15^\circ$ 2) 当 $\gamma_o > 0^\circ$ 的成形铣刀铣削精密轮廓时, 铣刀外形需要修正 3) 用端铣刀铣削耐热钢时, 前角取表中较大值; 用圆柱形铣刀铣削时, 则取较小值
	600 ~ 1000	15			5		
	> 1000	10					
耐热钢		10 ~ 15	—	10 ~ 15	5	—	
铸铁 HBW	≤150	15	5	10	15	5	
	150 ~ 220	10			10		
	> 220	5					
铜合金		10	5	10	10	5	
铝合金		25	25	25	—	—	
塑料		6 ~ 10	8	10	—	—	

2) 后角、偏角及过渡刃长度

铣刀类型		α_o /(°)	α'_o /(°)	κ_r /(°)	κ'_r /(°)	κ_{re} /(°)	b_e /mm	说 明
端铣刀	细齿	16	8	90	1 ~ 2	45	1 ~ 2	1) 端铣刀 κ_r 主要按工艺系统刚性选取。系统刚性较好, 铣削余量较小时, 取 $\kappa_r = 30^\circ \sim 45^\circ$; 中等刚性而余量较大时, 取 $\kappa_r = 60^\circ \sim 75^\circ$; 铣削相互垂直表面的端铣刀, 取 $\kappa_r = 90^\circ$ 2) 用端铣刀铣削耐热钢时, 取 $\kappa_r = 30^\circ \sim 60^\circ$ 3) 刃磨铣刀时, 在后刀面上可沿切削刃留一刃带, 其宽度不得超过 0.1mm, 但槽铣刀和切断铣刀(圆锯)不留刃带
	粗齿	12		30 ~ 90		15 ~ 45		
圆柱形铣刀	整体细齿	16	8	—	—	—	—	
	粗齿及镶齿	12		—	—	—	—	
两面刃及三面刃铣刀	整体	20	6	—	1 ~ 2	45	1 ~ 2	
	镶齿	16		—				
切槽铣刀		20	—	—	1 ~ 2	—	—	
切断铣刀 ($L > 3\text{mm}$)		20	—	—	0.25 ~ 1	45	0.5	
立铣刀		14	18	—	3	45	0.5 ~ 1.0	
成形铣刀及角度铣刀	尖齿	16	8	—	—	—	—	
	铲齿	12						
键槽铣刀	$d_0 \leq 16\text{mm}$	20	8	—	1.5 ~ 2	—	—	
	$d > 16\text{mm}$	16						

(续)

3) 螺旋角						
铣刀类型		$\beta/(^{\circ})$	铣刀类型			$\beta/(^{\circ})$
端铣刀	整体	25 ~ 40	盘铣刀	两面刃		15
	镶齿	10		三面刃		8 ~ 15
圆柱形铣刀	细齿	30 ~ 45		错齿三面刃		10 ~ 15
	粗齿	40		镶齿 三面刃	$L > 15\text{mm}$	12 ~ 15
	镶齿	20 ~ 45			$L < 15\text{mm}$	8 ~ 10
立铣刀		30 ~ 45		组合齿三面刃		15
键槽铣刀		15 ~ 25				

(2) 硬质合金铣刀角度及选用

铣刀类型	加工材料		γ_0	$a_0/(\circ)$		$\alpha_0'/(\circ)$	$\alpha_e/(\circ)$	β (λ_β) $/(\circ)$	$\kappa_r/(\circ)$	$\kappa_r'/(\circ)$	$\kappa_{re}/(\circ)$	b_e /mm	说 明
				$a_f < 0.25$ mm/z	$a_f > 0.25$ mm/z								
端铣刀	钢 σ_b /MPa	< 650	+ 5	12 ~ 16	6 ~ 8	8 ~ 10	$= \alpha_0$	$\lambda_s = -12 \sim -15$	20 ~ 75	5	$\kappa_r/2$	1 ~ 1.5	1) 半精铣和精铣钢 ($\sigma_b = 600 \sim 800\text{MPa}$) 时, $\gamma_0 = -5^\circ$, $\alpha_0 = 5^\circ \sim 10^\circ$ 2) 在高的工艺系统刚性下, 铣削余量 < 3mm 时, 取 $\kappa_r = 20^\circ \sim 30^\circ$; 在中等刚性下, 余量为 3 ~ 6mm 时, 取 $\kappa_r = 45^\circ \sim 75^\circ$ 3) 端面铣刀对称铣削, 初始铣削深度 $a_e = 0.05\text{mm}$ 时, $\lambda_s = -15^\circ$; 非对称铣削 ($a_e < 0.45\text{mm}$) 时, 取 $\lambda_s = -5^\circ$ 。当以 $\kappa_r = 45^\circ$ 的端面铣刀铣削铸铁时, 取 $\lambda_s = -20^\circ$; 当 $\kappa_r = 60^\circ \sim 75^\circ$ 时, 取 $\lambda_s = -10^\circ$
		650 ~ 950	- 5										
		1000 ~ 1200	- 10										
	耐热钢		+ 8	10	10	8 ~ 10	10	$\lambda_s = 0$	20 ~ 75	10	$\lambda_s = 1\text{mm}$	—	
	灰铸铁 HBW	< 200	+ 5	12 ~ 15	6 ~ 8	8 ~ 10	$= \alpha_0$	$\lambda_s = -12 \sim -15$	20 ~ 75	5	$\kappa_r/2$	1 ~ 1.5	
		200 ~ 250	0										
	可锻铸铁		+ 7	6 ~ 8	6 ~ 8	8 ~ 10	6 ~ 8	$\lambda_s = -12 \sim -15$	60	2	$\kappa_r/2$	1 ~ 1.5	

(续)

铣刀类型	加工材料		γ_o	$\alpha_o / (^{\circ})$		$\alpha_o' / (^{\circ})$	$\alpha_e / (^{\circ})$	β (λ_{β}) $/ (^{\circ})$	$\kappa_r / (^{\circ})$	$\kappa_r' / (^{\circ})$	$\kappa_{re} / (^{\circ})$	b_e / mm	说 明
				$a_f < 0.25$ mm/z	$a_f > 0.25$ mm/z								
圆柱形铣刀	碳钢和合金钢 $\sigma_b < 750\text{MPa}$		+5	17		—	—	24 ~ 30	—	—	—	—	后刀面上可 允许沿刀刃有 宽度不大于 0.1mm 的刃带
	铸铁 < 200HBW												
	青铜 < 140HBW												
	碳钢和合金钢 $\sigma_b = 750 \sim 1100\text{MPa}$		0	17									
	铸铁 > 200HBW												
	青铜 > 140HBW												
	碳钢和合金钢 $\sigma_b > 1100\text{MPa}$		-5	15									
耐热钢、 钛合金		6 ~ 15	15										
圆盘铣刀	钢 σ_b /MPa	≤ 800	-5	20		4	20 20 ~ 25	8 ~ 15	—	2 ~ 5	45	1	1) 当工艺系 统刚性差及铣 削截面大时 ($a_p \geq d_0$, $a_w \geq 0.5d_0$) ^① , 以及 $v < 100\text{m/min}$ 时, $\gamma_o = 5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 2) 立铣刀端 齿前角取 $3^{\circ} \sim -3^{\circ}$, 铣削硬 度低的钢时用 大值, 铣削硬 度高的钢时用 小值
		> 800	-10	20 ~ 25									
	灰铸铁		+5	10 ~ 15		4	10 ~ 15	8 ~ 15	—	2 ~ 5	45	1	
	耐热钢、钛合金		10 ~ 15	15		—	—	—	—	—	—	—	
立铣刀	碳钢和合金钢 $\sigma_b < 750\text{MPa}$		+5	17		6	17	22 ~ 40	—	3 ~ 4	45	0.8 ~ 1.3	
	铸铁 < 200HBW												
	青铜 < 140HBW												
	碳钢和合金钢 $\sigma_b = 750 \sim 1100\text{MPa}$		0	17		6	17	22 ~ 40	—	3 ~ 4	45	0.8 ~ 1.3	
	铸铁 > 200HBW												
	青铜 > 140HBW												
	碳钢和合金钢 $\sigma_b > 1100\text{MPa}$		-6	15		6	17	22 ~ 40	—	3 ~ 4	45	0.8 ~ 1.3	
耐热钢、钛合金		10 ~ 15	15		—	—	—	—	—	—	—		

① a_p —背吃刀量; a_w —铣削宽度; d_0 —铣刀直径。

3.1.2 铣刀磨钝标准及寿命（表 3-2、表 3-3）

表 3-2 铣刀磨钝标准

(1) 高速钢铣刀							
铣 刀 类 型		后面最大磨损限度/mm					
		钢和铸钢		耐 热 钢		铸 铁	
		粗铣	精铣	粗铣	精铣	粗铣	精铣
圆柱形铣刀和圆盘铣刀		0.4 ~ 0.6	0.15 ~ 0.25	0.5	0.20	0.50 ~ 0.80	0.20 ~ 0.30
端 铣 刀		1.2 ~ 1.8	0.3 ~ 0.5	0.70	0.50	1.5 ~ 2.0	0.30 ~ 0.50
立铣刀	$d_0 \leq 15\text{mm}$	0.15 ~ 0.20	0.1 ~ 0.15	0.50	0.40	0.15 ~ 0.20	0.10 ~ 0.15
	$d_0 > 15\text{mm}$	0.30 ~ 0.50	0.20 ~ 0.25			0.30 ~ 0.50	0.20 ~ 0.25
切槽铣刀和切断铣刀		0.15 ~ 0.20	—	—	—	0.15 ~ 0.20	—
成形铣刀	尖 齿	0.60 ~ 0.70	0.20 ~ 0.30	—	—	0.6 ~ 0.7	0.2 ~ 0.3
	铲 齿	0.30 ~ 0.4	0.20	—	—	0.3 ~ 0.4	0.2
锯片铣刀		0.5 ~ 0.7		—		0.6 ~ 0.8	

(2) 硬质合金铣刀						
铣 刀 类 型		后面最大磨损限度/mm				
		钢和铸钢		铸 铁		
		粗铣	精铣	粗铣		精铣
圆柱形铣刀		0.5 ~ 0.6			0.7 ~ 0.8	
圆盘铣刀		1.0 ~ 1.2			1.0 ~ 1.5	
端铣刀		1.0 ~ 1.2			1.5 ~ 2.0	
立铣刀	带整体刀头	0.2 ~ 0.3			0.2 ~ 0.4	
	镶螺旋形刀片	0.3 ~ 0.5			0.3 ~ 0.5	

注：1. 上表适于铣削钢的 YT5、YT14、YT15 和铣削铸铁的 YG8、YG6 与 YG3 硬质合金铣刀。
2. 铣削奥氏体不锈钢时，许用的后面最大磨损量为 0.2 ~ 0.4mm。

表 3-3 铣刀寿命 T (单位:min)

铣刀直径 d_0 /mm ≤		25	40	63	80	100	125	160	200	250	315	400
高 速 钢 铣 刀	细齿圆柱形铣刀	—		120	180		—					
	镶齿圆柱形铣刀	—			180				—			
	圆盘铣刀	—			120		150		180	240	—	
	端铣刀	—	120	180				240		—		
	立铣刀	60	90	120	—							
	切槽铣刀、切断铣刀	—			60	75	120	150	180	—		
	成形铣刀、角铣刀	—	120			180		—				

(续)

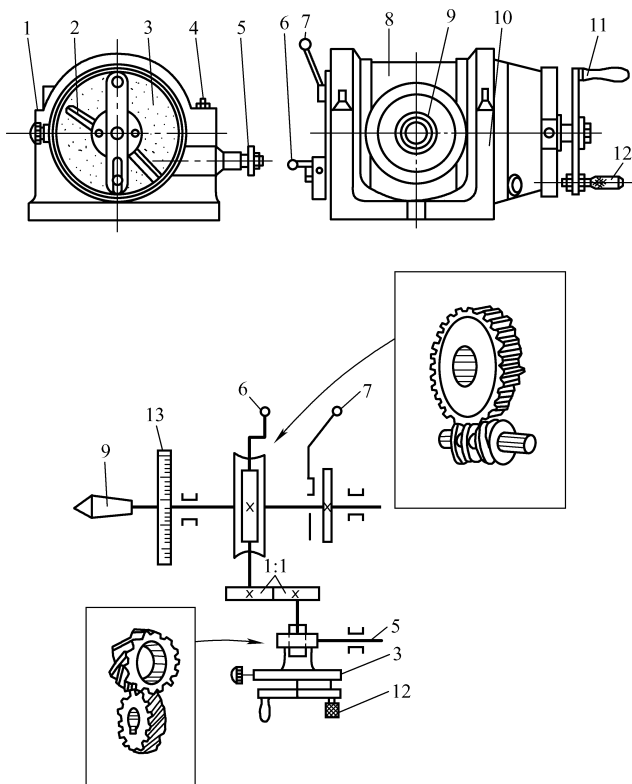
铣刀直径 $d_0/\text{mm} \leq$		25	40	63	80	100	125	160	200	250	315	400
硬 质 合 金 铣 刀	端铣刀	—			180				240		300	420
	圆柱形齿刀	—			180				—			
	立铣刀	90	120	180	—							
	圆盘铣刀	—			120		150	180	240	—		

3.2 分度头及分度方法

3.2.1 分度头传动系统及分度头定数

- (1) 分度头传动系统及主要规格见表3-4。
 (2) 分度头定数、分度盘孔数和交换齿轮齿数见表3-5。

表3-4 分度头传动系统及主要规格



- 1—分度盘紧固螺钉 2—分度叉 3—分度盘 4—螺母 5—交换齿轮轴 6—蜗杆脱落手柄
 7—主轴锁紧手柄 8—回转体 9—主轴 10—基座 11—分度手柄
 12—分度定位销 13—刻度盘

(续)

型号	F1180	F11100	F11125	F11160
规格名称	(FW80)	(FW100)	(FW125)	(FW160)
中心高/mm	80	100	125	160
主轴锥孔号(莫氏)	3	3	4	4
主轴倾斜角(水平方向)/(°)	-6 ~ +90	-6 ~ +90	-6 ~ +90	-6 ~ +90
蜗杆副速比	1:40	1:40	1:40	1:40
定位键宽度/mm	12	14	18	18
主轴法兰盘定位短锥直径/mm	36.512	41.275	53.975	53.975

注：表中括号内型号为旧标准。

表 3-5 分度头定数、分度盘孔数和交换齿轮齿数

分度头形式	定数	分度盘的孔数	交换齿轮齿数	分度头形式	定数	分度盘的孔数	交换齿轮齿数
带一块分度盘	40	正面：24、25、28、30、34、37、38、39、41、42、43 反面：46、47、49、51、53、54、57、58、59、62、66	25、25、30、35、40、50、55、60、70、80、90、100	带两块分度盘	40	第一块 正面：24、25、28、30、34、37 反面：38、39、41、42、43 第二块 正面：46、47、49、51、53、54 反面：57、58、59、62、66	25、25、30、35、40、50、55、60、70、80、90、100

3.2.2 分度方法及计算

3.2.2.1 单式分度法计算及分度表（表 3-6）

表 3-6 单式分度法计算及分度表

$$n(\text{手柄的转数}) = \frac{40(\text{分度头定数})}{z(\text{工件等分数})}$$

单式分度表(分度头定数 40)

工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数
2	任意	20	—	12	24	3	8	22	66	1	54
3	24	13	8	13	39	3	3	23	46	1	34
4	任意	10	—	14	28	2	24	24	24	1	16
5	任意	8	—	15	24	2	16	25	25	1	15
6	24	6	16	16	24	2	12	26	39	1	21
7	28	5	20	17	34	2	12	27	54	1	26
8	任意	5	—	18	54	2	12	28	42	1	18
9	54	4	24	19	38	2	4	29	58	1	22
10	任意	4	—	20	任意	2	—	30	24	1	8
11	66	3	42	21	42	1	38	31	62	1	18

(续)

工件等 分 数	分度盘 孔 数	手柄回 转 数	转过 的孔 距数	工件等 分 数	分度盘 孔 数	手柄回 转 数	转过 的孔 距数	工件等 分 数	分度盘 孔 数	手柄回 转 数	转过 的孔 距数
32	28	1	7	68	34	—	20	125	25	—	8
33	66	1	14	70	28	—	16	130	39	—	12
34	34	1	6	72	54	—	30	132	66	—	20
35	28	1	4	74	37	—	20	135	54	—	16
36	54	1	6	75	30	—	16	136	34	—	10
37	37	1	3	76	38	—	20	140	28	—	8
38	38	1	2	78	39	—	20	144	54	—	15
39	39	1	1	80	34	—	17	145	58	—	16
40	任意	1	—	82	41	—	20	148	37	—	10
41	41	—	40	84	42	—	20	150	30	—	8
42	42	—	40	85	34	—	16	152	38	—	10
43	43	—	40	86	43	—	20	155	62	—	16
44	66	—	60	88	66	—	30	156	39	—	10
45	54	—	48	90	54	—	24	160	28	—	7
46	46	—	40	92	46	—	20	164	41	—	10
47	47	—	40	94	47	—	20	165	66	—	16
48	24	—	20	95	38	—	16	168	42	—	10
49	49	—	40	96	24	—	10	170	34	—	8
50	25	—	20	98	49	—	20	172	43	—	10
51	51	—	40	100	25	—	10	176	66	—	15
52	39	—	30	102	51	—	20	180	54	—	12
53	53	—	40	104	39	—	15	184	46	—	10
54	54	—	40	105	42	—	16	185	37	—	8
55	66	—	48	106	53	—	20	188	47	—	10
56	28	—	20	108	54	—	20	190	38	—	8
57	57	—	40	110	66	—	24	192	24	—	5
58	58	—	40	112	28	—	10	195	39	—	8
59	59	—	40	114	57	—	20	196	49	—	10
60	42	—	28	115	46	—	16	200	30	—	6
62	62	—	40	116	58	—	20	204	51	—	10
64	24	—	15	118	59	—	20	205	41	—	8
65	39	—	24	120	66	—	22	210	42	—	8
66	66	—	40	124	62	—	20				

3.2.2.2 角度分度法计算及分度表（表 3-7）

表 3-7 角度分度法计算及分度表

工件角度以“度”为单位时：

$$n = \frac{\theta^{\circ}}{9^{\circ}}$$

工件角度以“分”为单位时：

$$n = \frac{\theta'}{9 \times 60'} = \frac{\theta'}{540'}$$

工件角度以“秒”为单位时：

$$n = \frac{\theta''}{9 \times 60 \times 60''} = \frac{\theta''}{32400''}$$

式中

n ——分度头手柄转数

θ ——工件等分的角度

分度头主轴转角			分度盘 孔数	转过的 孔距数	折合手 柄转数	分度头主轴转角			分度盘 孔数	转过的 孔距数	折合手 柄转数
(°)	(')	(")				(°)	(')	(")			
0	10	0	54	1	0.0185	4	40	0	54	28	0.5200
0	20	0	54	2	0.0370	4	50	0	54	29	0.5370
0	30	0	54	3	0.0556	5	0	0	54	30	0.5556
0	40	0	54	4	0.0741	5	10	0	54	31	0.5741
0	50	0	54	5	0.0926	5	20	0	54	32	0.5926
1	0	0	54	6	0.1111	5	30	0	54	33	0.6111
1	10	0	54	7	0.1296	5	40	0	54	34	0.6296
1	20	0	54	8	0.1481	5	50	0	54	35	0.6481
1	30	0	30	5	0.1667	6	0	0	30	20	0.6667
1	40	0	54	10	0.1852	6	10	0	54	37	0.6852
1	50	0	54	11	0.2037	6	20	0	54	38	0.7037
2	0	0	54	12	0.2222	6	30	0	54	39	0.7222
2	10	0	54	13	0.2407	6	40	0	54	40	0.7407
2	20	0	54	14	0.2593	6	50	0	54	41	0.7593
2	30	0	54	15	0.2778	7	0	0	54	42	0.7778
2	40	0	54	16	0.2963	7	10	0	54	43	0.7963
2	50	0	54	17	0.3148	7	20	0	54	44	0.8148
3	0	0	30	10	0.3333	7	30	0	30	25	0.8333
3	10	0	54	19	0.3519	7	40	0	54	46	0.8519
3	20	0	54	20	0.3704	7	50	0	54	47	0.8704
3	30	0	54	21	0.3889	8	0	0	54	48	0.8889
3	40	0	54	22	0.4074	8	10	0	54	49	0.9074
3	50	0	54	23	0.4259	8	20	0	54	50	0.9259
4	0	0	54	24	0.4444	8	30	0	54	51	0.9444
4	10	0	54	25	0.4630	8	40	0	54	52	0.9630
4	20	0	54	26	0.4814	8	50	0	54	53	0.9815
4	30	0	66	33	0.5000	9	0	0			1.0000

3.2.2.3 直线移距分度法

这种分度方法就是把分度头主轴或侧轴与纵向工作台丝杠用交换齿轮连接起来，移距时只要转动分度手柄，通过齿轮传动，使工作台作精确的移距。这种方法适用于加工精度较高的齿条和直尺刻线等的等分移距分度。

常用的直线移距法有两种：

(1) 主轴交换齿轮法

这种方法是先在分度头主轴后锥孔插入安装交换齿轮的心轴，然后在主轴与纵向丝杠之间装上交换齿轮(图 3-2)，当转动分度手柄时，运动便会通过交换齿轮传至纵向丝杠，使工作台产生移距。

交换齿轮计算公式为：

$$\frac{40S}{nP} = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$$

式中 40——分度头定数；

S ——工件每格距离；

n ——每次移距分度头手柄转数；

P ——铣床纵向工作台丝杠螺距。

由于传动经过 1:40 的蜗杆、蜗轮减速，所以适于刻线间隔较小的移距分度。

式中的 n 虽然可以任意选取，但为了保证计算交换齿轮的传动比合理， n 尽可能不要选得太大， n 应取在 1~10 之间。

(2) 侧轴交换齿轮法

这种方法是在分度头侧轴和工作台纵向传动丝杠之间装上交换齿轮(图 3-3)。由于传动不经过 1:40 的蜗杆、蜗轮传动，所以适用于间隔较大的移距。

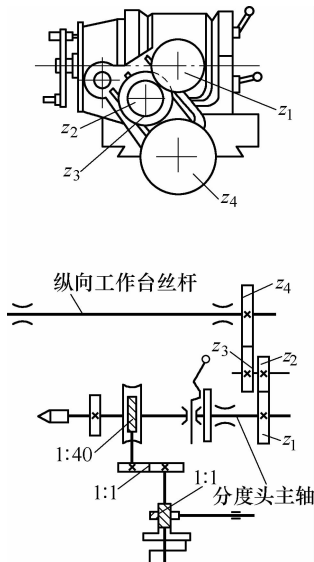


图 3-2 主轴交换齿轮法

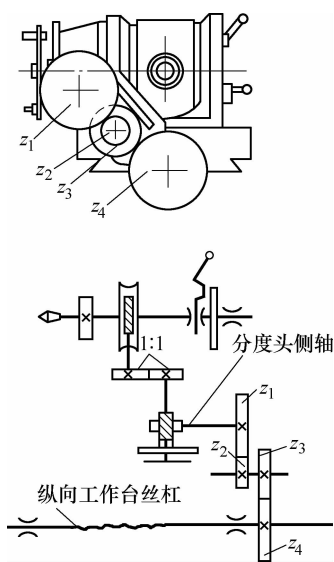


图 3-3 侧轴交换齿轮法

交换轮的计算公式为：

$$\frac{S}{nP} = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$$

由于分度头传动结构的原因,采用侧轴交换齿轮法,在分度时不能将分度手柄的定位销拔出,应该松开分度盘的紧固螺钉连同分度盘一起转动。为了正确的控制分度手柄的转数,可将分度盘的紧固螺钉,改装为侧面定位销(图 3-4),并在分度盘外圆上钻一个定位孔,在分度时,左手拔出侧面定位销,右手将分度手柄连同分度盘一起转动。当摇到预定转数时,靠弹簧的作用,侧面定位销就自动弹入定位孔内。

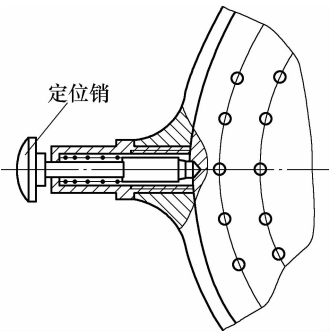


图 3-4 紧固螺孔改装上定位销

3.3 铣削离合器

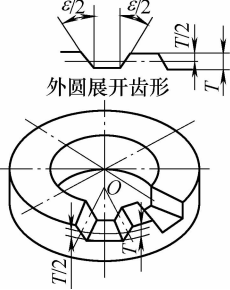
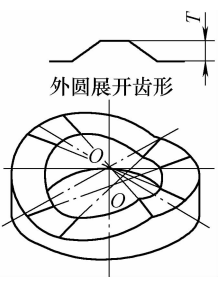
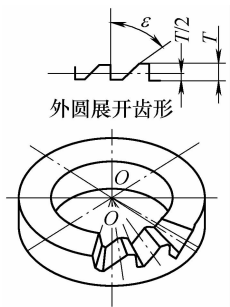
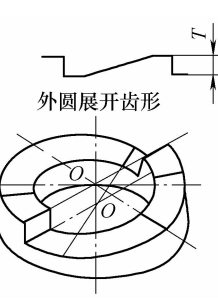
离合器的种类有齿形离合器(或称牙嵌离合器)和摩擦离合器等,前者靠端面齿相互嵌入对方的齿槽传动,后者靠摩擦传动。

3.3.1 齿形离合器的种类及特点(表 3-8)

表 3-8 齿式离合器的种类及特点

名称	基本齿形	特点	名称	基本齿形	特点
矩形齿离合器		齿侧平面通过工件轴线	锯齿形离合器		直齿面通过工件轴线,斜齿面向轴线上一点收缩
尖齿离合器		整个齿形向轴线上一点收缩	梯形收缩齿离合器		齿顶及槽底在齿长方向都等宽,而且中心线通过离合器轴线

(续)

名称	基本齿形	特点	名称	基本齿形	特点
梯形等高齿离合器		齿顶面与槽底面平行, 并且垂直于离合器轴线。齿侧高度不变, 齿侧中线汇交于离合器轴线	双向螺旋齿离合器		离合器结合面为螺旋面, 其他特点与梯形等高齿离合器相同
单向梯形齿离合器		齿顶面与槽底面平行, 并且垂直于离合器轴线, 故齿高不变。直齿面为通过轴线的径向平面, 斜齿面的中线交于离合器轴线	单向螺旋齿离合器		离合器结合面为螺旋面, 其他特点与单向梯形齿离合器相同

3.3.2 矩形齿离合器的铣削

(1) 奇数齿离合器铣削 (图 3-5)

1) 计算铣刀最大宽度:

$$B = \frac{d}{2} \sin \frac{180^\circ}{z}$$

式中 d ——离合器孔径(mm);

z ——离合器齿数

2) 将铣刀一侧对准工件中心(图 3-5a), 铣削时, 铣刀应铣过槽 1 和 3 的一侧, 分度后再铣槽 2 和 4 的一侧(每次进给同时铣出两个齿的不同侧面), 这样依次铣削即可。

3) 加工离合器齿侧间隙的方法:

① 将离合器的各齿侧面都铣得偏过中心一个距离(图 3-5b)。这可在对刀时调整铣刀侧刃, 使其超过中心 $e = 0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 来达到。这种方法不增加铣削次数, 但由于齿侧面不通过中心, 离合器结合时, 齿侧面只有外圆处接触, 影响承载能力, 所以这种方法只适用于要求不高的离合器。

② 将齿槽角铣得略大于齿面角(图 3-5c)这种方法是在离合器铣削之后, 再使离合器转过一个角度 $\Delta\theta = 1^\circ \sim 2^\circ$, 再铣一次。把所有齿的同名侧铣切去一些来达到。此

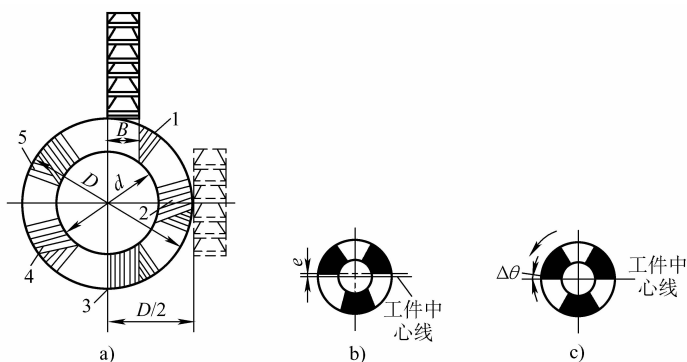


图 3-5 奇数齿离合器的铣削

法也适用于齿槽角大于齿面角的宽齿槽离合器，此时 $\Delta\theta = (\text{齿槽角} - \text{齿面角}) / 2$ 。用这种方法铣削离合器，其齿侧面仍是通过轴心的径向平面，齿侧面贴合较好，所以一般用于要求较高的离合器加工。

(2) 偶数齿离合器铣削 (图 3-6)

1) 矩形偶数齿离合器的对刀方法和铣刀宽度的选择与奇数齿相同。

2) 偶数齿离合器铣削时，每次只能铣削一个槽的一侧，而不能通过整个端面，并且还要防止切伤对面的齿。因此用盘形铣刀铣削偶数齿离合器时，要注意盘形铣刀直径的选择。

3) 当各齿的同一侧铣完后，将工件转过一个齿槽角（即分度头手柄转过 $\frac{20}{z}$ ），使齿的另一侧与铣刀侧刃平行，再将工作台横向移动一个铣刀宽度距离。使齿的另一侧对准铣刀的另一侧，这样依次进行铣削即可。

4) 为确保偶数齿离合器的齿侧留有一定间隙，一般齿槽角比齿面角铣大 $2^\circ \sim 4^\circ$ 。

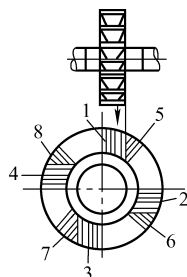


图 3-6 偶数齿离合器的铣削

3.3.3 尖齿（正三角形）离合器的铣削 (图 3-7)

1) 选用对称双角铣刀，其廓形角 θ 与离合器齿形角 ε 相等。

2) 对刀时，应使双角铣刀刀尖通过工件轴心。

3) 计算分度头扳角 φ ：

$$\cos\varphi = \tan \frac{90^\circ}{z} \cot \frac{\theta}{2}$$

式中 θ ——双角铣刀廓形角；

z ——离合器齿数。

4) 铣削尖齿离合器时，不论其齿数是奇数还是偶数，每分度一次只能铣出一条齿槽。为保证离合器结合良好，一对离合器应使用同一把铣刀加工。调整背吃刀

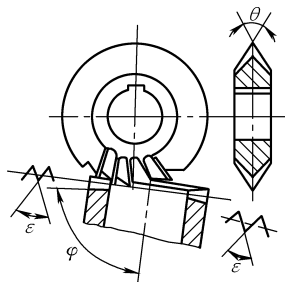


图 3-7 尖齿离合器的铣削

量，应按大端齿深在外径处进行。为防止齿形太尖，往往采用试切法调整背吃刀量，使齿顶宽度留有 0.2 ~ 0.3mm 的平面，以保证齿形工作面接触。

5) 常用齿数分度头主轴扳角 φ 可查表 3-9。

3.3.4 梯形收缩齿离合器的铣削（图 3-8）

1) 选用专用铣刀。铣刀的廓形角 θ 等于离合器的齿形角 ε ，齿顶宽 B 应等于离合器的槽底宽度，铣刀廓形的有效工作高度必须大于离合器外圆处的齿深。

2) 对刀方法与尖齿离合器铣削相同。

3) 分度头扳角 φ 计算与尖齿离合器铣削相同。

4) 常用齿数分度头主轴扳角 φ 可查表 3-9。

表 3-9 铣尖齿与梯形收缩齿离合器时分度头的扳角 φ

齿数 z	双角铣刀角度 θ （即离合器齿形角）				齿数 z	双角铣刀角度 θ （即离合器齿形角）			
	40°	45°	60°	90°		40°	45°	60°	90°
	分度头主轴的扳角 φ					分度头主轴的扳角 φ			
8	26°22′	61°18′	69°50′	78°31′	35	82°55′	83°47′	85°32′	87°25′
9	61°01′	64°48′	72°13′	79°50′	36	83°07′	83°57′	85°40′	87°29′
10	64°12′	67°31′	74°04′	80°53′	37	83°18′	84°07′	85°47′	87°33′
11	66°44′	69°41′	75°35′	81°44′	38	83°29′	84°16′	85°53′	87°37′
12	68°48′	71°28′	76°49′	82°26′	39	83°39′	84°25′	85°59′	87°41′
13	70°31′	72°57′	77°51′	83°01′	40	83°48′	84°33′	86°05′	87°44′
14	71°58′	74°13′	78°44′	83°31′	41	83°57′	84°41′	86°11′	87°48′
15	73°13′	75°18′	79°30′	83°58′	42	84°06′	84°49′	86°17′	87°51′
16	74°18′	76°15′	80°10′	84°21′	43	84°14′	84°56′	86°22′	87°54′
17	75°15′	77°04′	80°46′	84°41′	44	84°22′	85°03′	86°27′	87°57′
18	76°05′	77°48′	81°17′	84°59′	45	84°30′	85°10′	86°32′	87°59′
19	76°50′	78°28′	81°44′	85°15′	46	84°37′	85°16′	86°36′	88°02′
20	77°31′	79°03′	82°10′	85°29′	47	84°44′	85°22′	86°41′	88°05′
21	78°07′	79°33′	82°32′	85°42′	48	84°50′	85°28′	86°44′	88°07′
22	78°40′	80°03′	82°53′	85°53′	49	84°57′	85°34′	86°49′	88°09′
23	79°10′	80°30′	83°11′	86°04′	50	85°03′	85°38′	86°52′	88°11′
24	79°38′	80°54′	83°29′	86°14′	51	85°09′	85°44′	86°56′	88°14′
25	80°03′	81°16′	83°45′	86°23′	52	85°14′	85°48′	86°59′	88°16′
26	80°26′	81°36′	83°59′	86°31′	53	85°20′	85°53′	87°03′	88°18′
27	80°48′	81°55′	84°12′	86°39′	54	85°25′	85°58′	87°06′	88°19′
28	81°07′	82°12′	84°25′	86°47′	55	85°30′	86°02′	87°09′	88°21′
29	81°26′	82°29′	84°36′	86°53′	56	85°35′	86°07′	87°13′	88°23′
30	81°43′	82°44′	84°47′	86°59′	57	85°40′	86°11′	87°15′	88°25′
31	81°59′	82°58′	84°57′	87°06′	58	85°44′	86°15′	87°18′	88°26′
32	82°15′	83°11′	85°07′	87°11′	59	85°48′	86°19′	87°21′	88°28′
33	82°29′	83°24′	85°16′	87°16′	60	85°53′	86°22′	87°24′	88°30′
34	82°42′	83°36′	85°24′	87°21′					

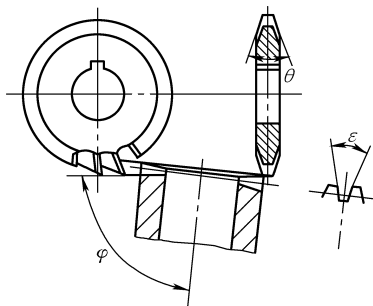


图 3-8 梯形收缩齿离合器的铣削

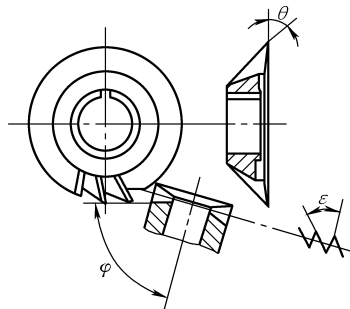


图 3-9 锯齿形离合器的铣削

3.3.5 锯齿形离合器的铣削 (图 3-9)

- 1) 选用单角度铣刀，其廓形角 θ 与离合器齿形角 ε 相等。
- 2) 对刀时，应使单角度铣刀的端面侧刃通过工件轴线。
- 3) 计算分度头扳角 φ ：

$$\cos \varphi = \tan \frac{180^\circ}{z} \cot \theta$$

式中 θ ——单角铣刀廓形角；

z ——离合器齿数。

- 4) 铣削方法与铣尖齿离合器基本相同。
- 5) 常用齿数分度头主轴扳角 φ 可查表 3-10。

表 3-10 铣锯齿形离合器时分度头的扳角 φ

齿数 z	单角铣刀角度 θ (即离合器齿形角)						齿数 z	单角铣刀角度 θ (即离合器齿形角)					
	45°	50°	60°	70°	75°	80°		45°	50°	60°	70°	75°	80°
	分度头主轴的扳角 φ							分度头主轴的扳角 φ					
10	71°02′	74°10′	79°11′	83°12′	85°40′	86°42′	24	82°26′	83°39′	85°38′	87°15′	87°58′	88°40′
11	72°55′	75°44′	80°14′	83°51′	85°29′	87°01′	25	82°44′	83°54′	85°49′	87°21′	88°03′	88°43′
12	74°27′	77°00′	81°06′	84°24′	85°53′	87°17′	26	83°01′	84°09′	85°58′	87°28′	88°08′	88°46′
13	75°43′	78°03′	81°49′	84°51′	86°12′	87°30′	27	83°17′	84°22′	86°07′	87°33′	88°12′	88°49′
14	76°48′	78°57′	82°25′	85°14′	86°20′	87°41′	28	83°31′	84°34′	86°16′	87°38′	88°16′	88°51′
15	77°43′	79°43′	82°57′	85°33′	86°44′	87°51′	29	83°45′	84°45′	86°24′	87°43′	88°19′	88°54′
16	78°31′	80°23′	83°24′	85°50′	86°56′	87°59′	30	83°58′	84°56′	86°31′	87°48′	88°23′	88°56′
17	79°13′	80°58′	83°48′	86°05′	87°07′	88°05′	31	84°09′	85°06′	86°38′	87°52′	88°26′	88°58′
18	79°50′	81°29′	84°09′	86°19′	87°17′	88°13′	32	84°20′	85°15′	86°44′	87°56′	88°29′	89°00′
19	80°23′	81°57′	84°28′	86°31′	87°26′	88°18′	33	84°31′	85°24′	86°50′	88°00′	88°32′	89°02′
20	80°53′	82°21′	84°45′	86°41′	87°34′	88°23′	34	84°40′	85°32′	86°55′	88°04′	88°34′	89°03′
21	81°19′	82°44′	85°00′	86°51′	87°41′	88°28′	35	84°50′	85°40′	87°01′	88°07′	88°37′	89°05′
22	81°44′	83°04′	85°14′	87°00′	87°47′	88°32′	36	84°58′	85°47′	87°06′	88°10′	88°39′	89°06′
23	82°05′	83°22′	85°26′	87°07′	87°53′	88°36′	37	85°07′	85°54′	87°11′	88°13′	88°41′	89°08′

(续)

齿数 z	单角铣刀角度 θ （即离合器齿形角）						齿数 z	单角铣刀角度 θ （即离合器齿形角）					
	45°	50°	60°	70°	75°	80°		45°	50°	60°	70°	75°	80°
	分度头主轴的扳角 φ							分度头主轴的扳角 φ					
38	85°14′	86°00′	87°15′	88°16′	88°43′	89°09′	50	86°23′	86°58′	87°55′	88°41′	89°02′	89°21′
39	85°22′	86°06′	87°19′	88°18′	88°45′	89°11′	51	86°27′	87°02′	87°57′	88°42′	89°03′	89°22′
40	85°29′	86°12′	87°23′	88°21′	88°47′	89°12′	52	86°31′	87°05′	87°59′	88°44′	89°04′	89°23′
41	85°35′	86°18′	87°27′	88°23′	88°49′	89°13′	53	86°35′	87°08′	88°02′	88°45′	89°05′	89°24′
42	85°42′	86°23′	87°31′	88°26′	88°50′	89°14′	54	86°39′	87°11′	88°04′	88°47′	89°06′	89°24′
43	85°48′	86°28′	87°34′	88°28′	88°52′	89°15′	55	86°43′	87°14′	88°06′	88°48′	89°07′	89°25′
44	85°53′	86°33′	87°38′	88°30′	88°54′	89°16′	56	86°46′	87°17′	88°08′	88°49′	89°08′	89°25′
45	85°59′	86°38′	87°41′	88°32′	88°55′	89°17′	57	86°50′	87°20′	88°10′	88°50′	89°09′	89°26′
46	86°04′	86°42′	87°44′	88°34′	88°56′	89°18′	58	86°53′	87°23′	88°12′	88°52′	89°10′	89°27′
47	86°09′	86°46′	87°47′	88°36′	88°58′	89°18′	59	86°56′	87°26′	88°14′	88°53′	89°11′	89°27′
48	86°14′	86°50′	87°49′	88°37′	88°59′	89°20′	60	86°59′	87°28′	88°15′	88°54′	89°11′	89°28′
49	86°19′	86°54′	87°52′	88°39′	89°00′	89°21′							

3.3.6 梯形等高齿离合器的铣削

1) 选择专用铣刀 (也可用三面刃铣刀改制), 如图 3-10 所示。其铣刀的廓形角 θ 应等于离合器的齿形角 ε , 铣刀廓形的有效工作高度 H 大于离合器齿高 T , 铣刀的齿顶宽度应小于齿槽最小宽度, 以免在铣削时碰伤齿槽的另一侧。

2) 一般在卧式铣床上加工。分度头主轴与工作台处于垂直位置, 铣削步骤和方法与铣削矩形齿离合器 (奇数齿) 基本相同, 铣刀可通过整个齿面。

3) 对刀时, 应使铣刀侧刃上距顶刃 $T/2$ 处的 K 点 (图3-11)通过工件的中心。调整时应先用试切方法使铣刀处于工件的中心位置, 然后将工作台横向偏移一个距离 e ($e = B_K/2$), B_K 为铣刀在 K 点处的厚度, 可用齿厚游标卡尺测量 (图3-11)。

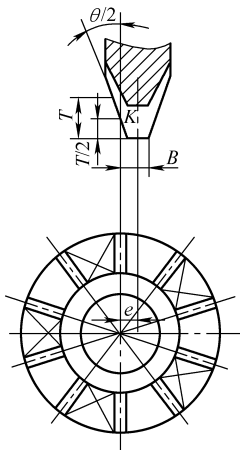
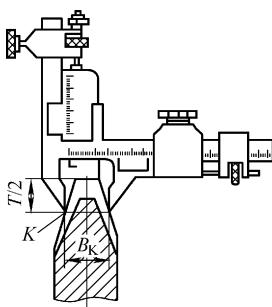


图 3-10 铣刀的选择及对刀

图 3-11 测量 B_K 值的示意图

3.3.7 螺旋齿离合器的铣削 (图 3-12)

螺旋齿离合器有双向作用和单向作用两种 (表 3-8), 其齿形特点与梯形等高齿或单向梯形齿离合器基本相同, 只是由螺旋面代替斜面而已。螺旋齿离合器一般在立式铣床上加工。

(1) 划线

在工件端面上按图样要求划线。图 3-12 中线 2—3 和 5—6 为齿顶平面范围线; 线 3—4 和 6—1 为直齿槽范围线; 线 1—2 和 4—5 为螺旋面齿槽范围线。

(2) 铣直齿槽

(参照线 3—4 和 6—1) 在立铣床上可采用三面刃铣刀铣直齿槽, 分度头主轴与工作台应处于水平位置 (图 3-13), 具体加工方法与铣削矩形齿离合器 (偶数齿) 相似, 只是在选择刀具宽度和工件偏转一个齿槽角时, 需由图 3-13 中所注的齿槽角 30° 来代替:

$$B = \frac{d}{2} \sin 30^\circ$$

式中 B ——铣刀宽度 (mm);

d ——离合器孔径 (mm)。

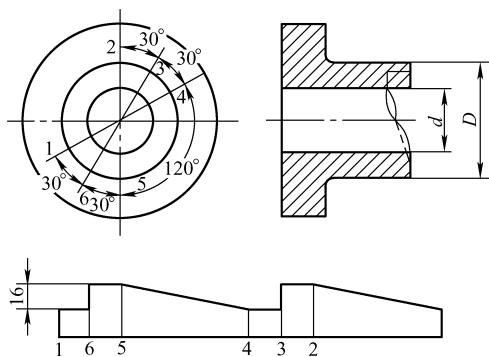


图 3-12 螺旋齿离合器

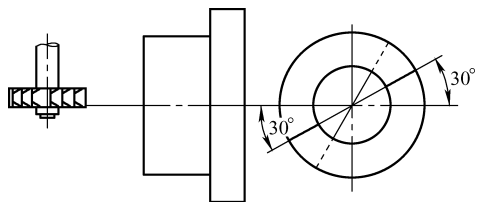


图 3-13 铣底槽

(3) 铣螺旋面

按工件导程计算交换齿轮, 轮挂好后, 松开固定分度盘的装置, 摇动分度手柄, 带动分度盘一起转动, 检查螺旋方向是否正确 (螺旋方向可用中间轮进行调整)。换上直径等于或小于三面刃铣刀宽度的立铣刀。

加工时将工件要铣的槽的槽侧面调整至垂直位置 (图 3-14), 立铣刀应进入已铣出的齿槽处。调整好切削位置后, 将分度手柄插入附近的孔圈中, 这时摇动分度手柄就可以铣削螺旋面。

第一个螺旋面铣削完以后, 降低立铣床升降工作

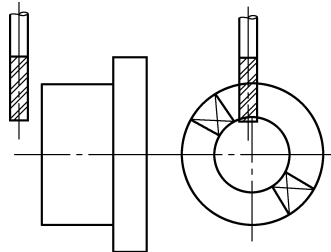


图 3-14 铣螺旋面

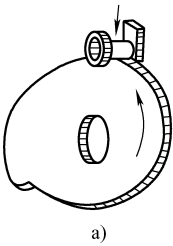
台，分度手柄作反方向转动回到螺旋面的起铣点，拔出定位销。分度后，将立铣床升降台升至原来位置，再以相同的方法铣削第二个螺旋面。

螺旋齿离合器的两个螺旋面要求等高，因此铣削时要分粗、精铣。精铣时，要求立铣刀的相对位置不再变动，即铣削位置与深度相同，这样可保持两个螺旋面对称。

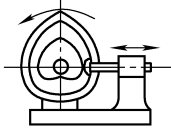
3.4 铣削凸轮

凸轮的种类比较多，常用的有圆盘凸轮(图 3-15)、圆柱凸轮(图 3-16)。

通常在铣床上铣削加工的是等速凸轮。等速凸轮就是当凸轮周边上某一点转过相等的角度时，便在半径方向上(或轴线方向上)移动相等的距离。等速凸轮的工作型面一般都采用阿基米德螺旋面。

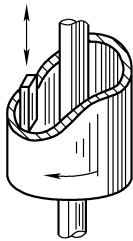


a)

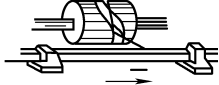


b)

图 3-15 圆盘凸轮



a)

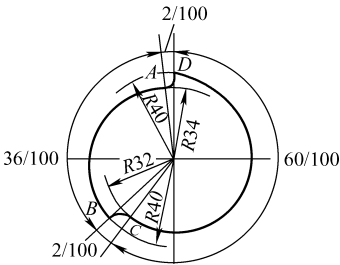


b)

图 3-16 圆柱凸轮

3.4.1 凸轮传动的三要素(表 3-11)

表 3-11 凸轮传动的三要素



名 称	定 义	计算公式
升高量 H	凸轮工作曲线最高点半径和最低点半径之差	工作曲线 AB 的升高量: $H = (40 - 34) \text{ mm} = 6 \text{ mm}$ 工作曲线 CD 的升高量: $H = (40 - 32) \text{ mm} = 8 \text{ mm}$

(续)

名 称	定 义	计算公式
升高率 h	凸轮工作曲线旋转一个单位角度或者转过等分圆周的一等分时, 被动件上升或下降的距离	凸轮圆周按 360° 角等分时, 升高率 h 应为: $h = \frac{H}{\theta}$ 式中 θ ——工作曲线在圆周上所占的度数。 凸轮圆周按 100 格等分时, 升高率 h 应为: $h = \frac{H}{A}$ 式中 A ——工作曲线在圆周上所占的百分格数
导程 P_h	工作曲线按一定的升高率, 旋转一周时的升高量	凸轮圆周按 360° 角等分时, 导程 P_h 应为: $P_h = 360^\circ h = 360^\circ \times \frac{H}{\theta} = \frac{360^\circ H}{\theta}$ 凸轮圆周按 100 格等分时, 导程 P_h 应为: $P_h = 100h = 100 \times \frac{H}{A} = \frac{100H}{A}$

3.4.2 等速圆盘凸轮的铣削

(1) 垂直铣削法 (图 3-17)

1) 这种方法用于仅有一条工作曲线, 或者虽然有几条工作曲线, 但它们的导程都相等, 并且所铣凸轮外径较大, 铣刀能靠近轮坯而顺利切削 (图 3-17a)。

2) 立铣刀直径应与凸轮推杆上的小滚轮直径相同。

3) 分度头交换齿轮轴与工作台丝杠的交换齿轮计算:

$$i = \frac{40P_{\text{丝}}}{P_h}$$

式中 40——分度头定数;

$P_{\text{丝}}$ ——工作台丝杠螺距 (mm);

P_h ——凸轮导程 (mm)。

4) 圆盘凸轮铣削时的对刀位置必须根据从动件的位置来确定。

若从动件是对心直动式的圆盘凸轮 (图 3-17b), 对刀时应将铣刀和工件的中心连线调整到与纵向进给方向一致。

若从动件是偏置直动式的圆盘凸轮 (图 3-17c), 则应调整工作台, 使铣刀对中后再偏移一

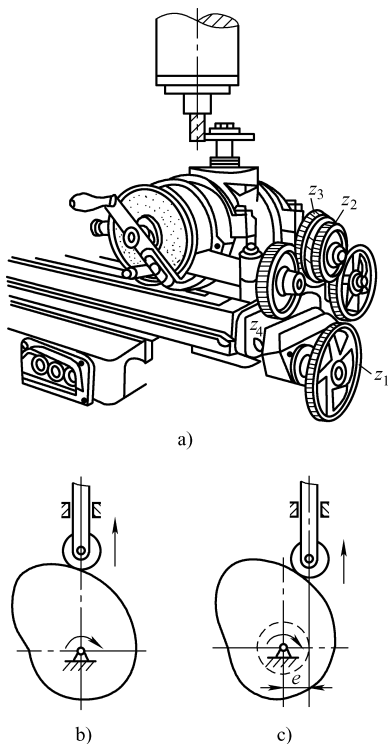


图 3-17 垂直铣削等速圆盘凸轮

个距离。这个距离必须等于从动件的偏距 e ，并且偏移的方向也必须和从动件的偏置方向一致。

(2) 扳角度铣削法 (图 3-18)

1) 这种方法用于有几条工作曲线，各条曲线的导程不相等，或者凸轮导程是大质数、零星小数，选配齿轮困难等。

2) 计算分度头主轴扳转角度。

① 计算凸轮的导程 P_h 选择 P'_h (P'_h 可以由自己决定,但 P'_h 应大于 P_h 并能分解因子)。

② 计算分度头主轴转动角度 α :

$$\sin \alpha = \frac{P_h}{P'_h}$$

3) 计算传动比 (按选择的 P'_h 计算):

$$i = \frac{40 P'_h}{P'_h}$$

4) 计算立铣头的转动角度 β :

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

5) 计算铣刀长度:

$$l = a + H \cot \alpha + 10 \text{ mm}$$

式中 a ——凸轮厚度 (mm);

10——多留出的切削刃长度 (mm)。

6) 铣削加工工艺程序与垂直铣削法相似。

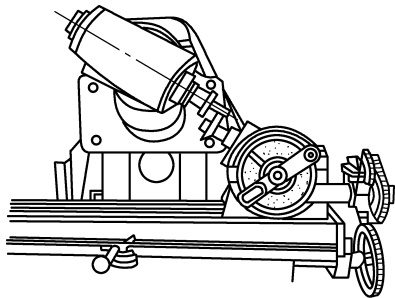


图 3-18 扳角度铣削等速圆盘凸轮

3.4.3 等速圆柱凸轮的铣削

等速圆柱凸轮分螺旋槽凸轮和端面凸轮 (图 3-16)，其中螺旋槽凸轮铣削方法和铣削螺旋槽基本相同。所不同的是，圆柱螺旋槽凸轮工作型面往往是由多个不同导程的螺旋面 (螺旋槽) 所组成，它们各自所占的中心角是不同的，而且不同的螺旋面 (螺旋槽) 之间还常用圆弧进行连接，因此导程的计算就比较麻烦。在实际生产中应根据图样给定的不同条件，采用不同的方法来计算凸轮曲线的导程。

计算的等速圆柱螺旋槽凸轮导程，若加工图样上给定螺旋角 β 时，导程计算公式为：

$$P_h = \pi d \cot \beta$$

式中 d ——工件外径 (mm);

β ——工件螺旋角 ($^\circ$)。

等速圆柱 (端面) 凸轮的铣削见图 (3-19)。

1) 铣削等速圆柱凸轮的原理与铣削等速圆盘凸轮相同，只是分度头主轴应平行于工作台 (图 3-19a)。

2) 铣削时的调整计算方法与用垂直铣削法铣削等速圆盘凸轮相同。

3) 圆柱凸轮曲线的上升和下降部分需分两次铣削 (图 3-19b)。图 3-19b 中, AD 段是右旋, BC 段是左旋。铣削中以增减中间轮来改变分度头主轴的旋转方向, 即可完成左、右工作曲线的加工。在增减中间轮时, 应仔细操作, 不能变动原来位置, 否则会造成凸轮转角误差。

铣等速圆柱 (端面) 凸轮时, 螺旋面为右旋方向时, 应使用左旋立铣刀, 螺旋面为左旋方向时, 应使用右旋铣刀。

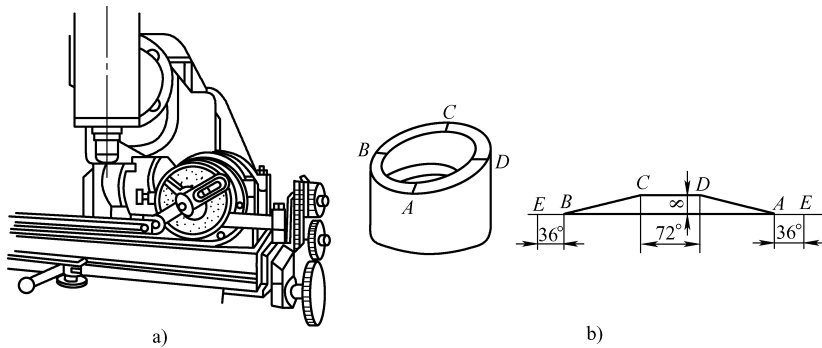


图 3-19 等速圆柱 (端面) 凸轮的铣削

3.5 铣削球面

采用铣削法加工圆球, 可以在铣床上进行也可以在车床上进行, 其原理是一样的, 即: 一个旋转的刀具沿着一个旋转的物体运动, 两轴线相交但又不重合, 那么刀尖在物体上形成的轨迹则为一球面。

铣削时, 工件中心线与刀盘中心线要在同一平面上。工件装夹在分度头三爪上 (图 3-20), 由电动机减速后带动或用机床纵向丝杠 (拿掉丝杠螺母) 通过交换齿轮带动旋转。

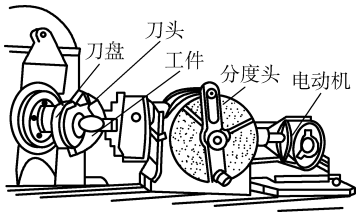


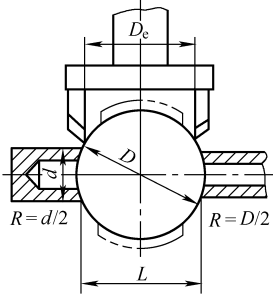
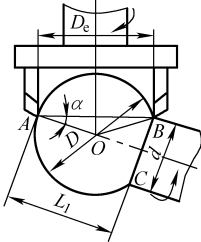
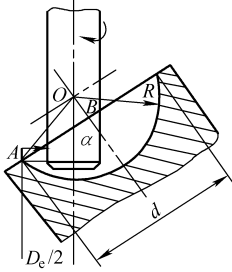
图 3-20 球面铣削装夹及传动机构

球面铣削的调整与计算见表 3-12。

表 3-12 球面铣削的调整与计算

加工形式	图 示	调整与计算
加工整球	<p>a) 第一次铣削</p>	<p>整圆球铣削一般要分两次加工 (见图)</p> <p>对刀直径 D_e 应控制在 $L > D_e > \sqrt{2}R$ 的范围内:</p> $L = \sqrt{D^2 - d^2} = 2 \sqrt{R^2 - r^2}$ <p>式中 L——两支承套间距离 (mm);</p> <p>D、R——工件的直径和半径 (mm);</p> <p>d、r——支承套的直径和半径 (mm)</p>

(续)

加工形式	图 示	调整与计算
加工整球	 <p>b) 第二次铣削</p>	<p>整圆球铣削一般要分两次加工（见图）</p> <p>对刀直径 D_e 应控制在 $L > D_e > \sqrt{2}R$ 的范围内：</p> $L = \sqrt{D^2 - d^2} = 2 \sqrt{R^2 - r^2}$ <p>式中 L——两支承套间距离(mm)； D、R——工件的直径和半径(mm)； d、r——支承套的直径和半径(mm)</p>
加工带柄圆球		<p>带柄圆球的铣削，应将分度头扳一角度 α</p> <p>1) 求分度头应扳角度 α：</p> $\tan \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{\frac{d}{2}}{L_1} = \frac{d}{2L_1}$ $L_1 = \frac{D + \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$ <p>2) 求对刀直径 D_e：</p> $D_e = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + L_1^2}$ <p>或 $\frac{D_e}{2} = OA \cos \alpha = R \cos \alpha$</p> <p>所以 $D_e = 2R \cos \alpha = D \cos \alpha$</p>
加工内球面		<p>内球面铣削时应将分度头扳一角度 α</p> <p>1) 求分度头应扳角度 α：</p> $\angle AOB = 2\alpha$ $\sin 2\alpha = \frac{AB}{AO} = \frac{\frac{d}{2}}{R} = \frac{d}{2R} = \frac{d}{D}$ <p>2) 求对刀半径 $\frac{D_e}{2}$：</p> $\frac{D_e}{2} = R \sin \alpha$

3.6 铣削刀具齿槽

3.6.1 对前角 $\gamma_0 = 0^\circ$ 的铣刀开齿

(1) 用单角铣刀开齿方法

- 1) 选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。
- 2) 齿槽加工 (图 3-21)。将铣刀的端面切削刃对准工件中心, 然后切至所要求齿槽深度, 依次将全部齿槽铣出即可。
- 3) 齿背加工。齿槽加工后, 可直接用单角铣刀加工齿背, 但必须将工件转过一个角度 ω (图 3-21):

$$\omega = 90^\circ - \theta - \alpha_1$$

式中 ω ——分度头主轴的回转角($^\circ$);

θ ——工件的齿槽角($^\circ$);

α_1 ——工件的齿背角($^\circ$)。

然后可按下式计算出分度头手柄转数 n :

$$n = \frac{\omega}{9^\circ} = \frac{90^\circ - \theta - \alpha_1}{9^\circ}$$

式中 α_1 ——工件的齿背角 ($^\circ$)。

(2) 用双角铣刀开齿方法

- 1) 选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。
- 2) 齿槽加工。可以用双角铣刀加工, 但必须使工作铣刀相对工件中心偏移一个距离 S (图 3-22):

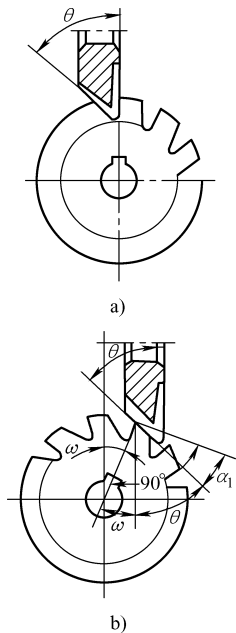


图 3-21 用单角铣刀开齿方法

a) 齿槽加工 b) 齿背加工

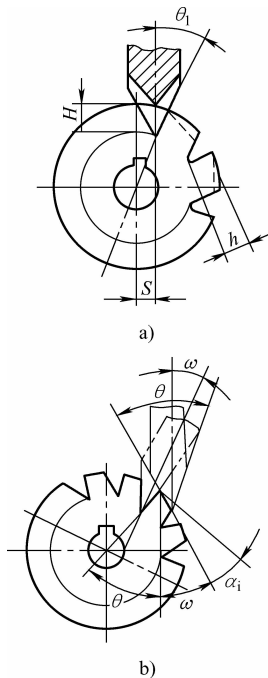


图 3-22 用双角铣刀开齿方法

a) 齿槽加工 b) 齿背加工

$$S = (R - h) \sin \theta_1$$

偏移后还应计算出升高量 H ：

$$H = R - (R - h) \cos \theta_1$$

式中 R ——工件半径(mm)；

h ——工件齿槽深度(mm)；

θ_1 ——双角铣刀的小角度($^\circ$)。

3) 齿背加工(图3-22)。分度头主轴回转角 ω 的计算和分度方法与用单角铣刀加工 $\gamma_o = 0^\circ$ 的齿背时相同, 但公式中的 θ 是代表双角铣刀的角度(包括小角度 θ_1 在内)。

(3) 简易对刀方法

用双角铣刀铣前角等于零度的齿槽时, 也可采用下面的简易对刀方法。

加工时, 刀尖与工件中心线对正后, 先铣出浅印 A (图3-23a), 然后将工件转过一个工作铣刀小角度 θ_1 , 并且使刀尖仍然对正浅印 A (图3-23b), 再降低工作台, 使工件按图中箭头 B 的方向离开刀尖一个距离 S (图3-23c), 移动距离 S 用下式计算:

$$S = h \sin \theta_1$$

式中 θ_1 ——工件转过角度(即工作铣刀小角度)($^\circ$);

h ——工件齿槽深度(mm)。

工作台横向移动后, 接着升高工作台进行铣削。当铣刀牙齿铣到浅印 A 后(图3-23d), 背吃刀量就达到尺寸要求了。

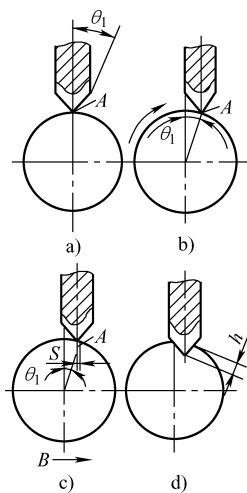


图3-23 简易对刀方法

3.6.2 对前角 $\gamma_o > 0^\circ$ 的铣刀开齿

(1) 用单角铣刀开齿方法

1) 选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。

2) 齿槽加工(图3-24)。为保证前角 γ_o 的大小, 工作铣刀在进给时应与工件中心偏移一个距离 S :

$$S = R \sin \gamma_o$$

计算升高量 H :

$$H = R(1 - \cos \gamma_o) + h$$

式中 R ——工件半径(mm)；

γ_o ——工件前角($^\circ$)；

h ——工件齿槽深度(mm)。

3) 齿背加工(图3-24)。齿槽加工后, 可直接用单角铣刀加工齿背, 但必须将工件转过一个角度 ω :

$$\omega = 90^\circ - \theta - \alpha_1 - \gamma_o$$

式中 ω ——分度头主轴的回转角($^\circ$)；

θ ——工件的齿槽角 ($^{\circ}$);

α_1 ——工件的齿背角 ($^{\circ}$);

γ_o ——工件前角 ($^{\circ}$)。

然后再换算成分度头手柄转数 n 。

4) 简易对刀方法。用单角铣刀铣削前角大于零度齿槽的简易对刀方法见图 3-25。先使单角铣刀端面切削刃对准工件中心, 并铣出浅印 A , 然后, 将工件按图中所示箭头方向转动一个 γ_o 角 (刀坯前角), 再重新使铣刀刀尖和浅印 A 对准, 工作台升高一个齿槽深度 h 后, 就可正式铣削。

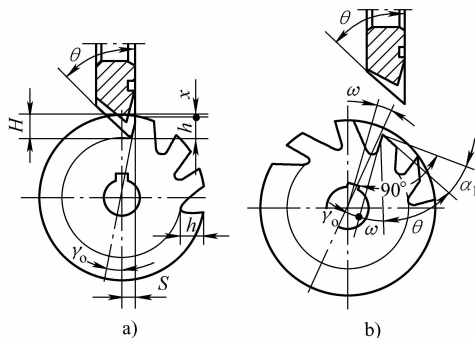


图 3-24 用单角铣刀开齿方法

a) 齿槽加工 b) 齿背加工

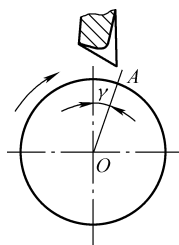


图 3-25 简易对刀方法

(2) 用双角铣刀开齿方法

1) 选择工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。

2) 齿槽加工。计算铣刀偏移距离 S (图 3-26):

$$S = R \sin(\theta_1 + \gamma_o) - h \sin \theta_1$$

计算升高量 H :

$$H = R[1 - \cos(\theta_1 + \gamma_o)] + h \cos \theta_1$$

式中 R ——工件半径 (mm);

γ_o ——工件前角 ($^{\circ}$);

θ_1 ——双角铣刀的小角度 ($^{\circ}$);

h ——工件齿槽深 (mm)。

3) 齿背加工 (图 3-26)。 ω 的计算和分度方法与用单角铣刀加工 $\gamma_o > 0^{\circ}$ 的齿背时相同。

3.6.3 圆柱螺旋齿铣刀的铣削

(1) 刀具的选择

加工螺旋齿应该用双角铣刀。双角铣刀的角度和旋向应根据工件的齿槽角决定 (图 3-27)。如果工

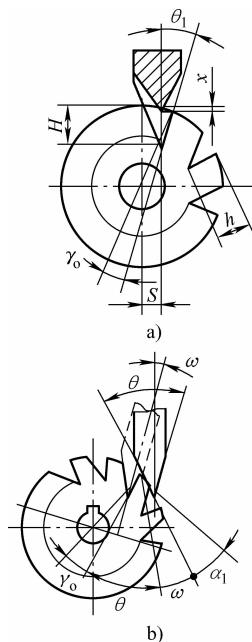


图 3-26 用双角铣刀开齿方法

a) 齿槽加工 b) 齿背加工

件的旋向为“右旋”时,应选用“左切”双角铣刀;如果工件的旋向为“左旋”时,应选用“右切”双角铣刀。

如果没有合适的刀具,用“左切”双角铣刀加工“左旋”齿槽或用“右切”双角铣刀加工“右旋”齿槽时,一般工作台角度应多扳 3° 左右,来弥补可能发生的“内切”现象。

(2) 工作台转角度的确定

铣“右旋”齿槽,工作台逆时针转动一个螺旋角。铣“左旋”齿槽,工作台顺时针转动一个螺旋角(图3-28)。

当工件螺旋角 $\beta < 20^\circ$ 时,工作台扳转角度等于工件的螺旋角 β 。当工件螺旋角 $\beta > 20^\circ$ 时为了避免工作铣刀发生“内切”,工作台实际转动角度 β_1 应小于工件螺旋角 β :

$$\tan\beta_1 = \tan\beta \cos(\theta_1 + \gamma_{on})$$

式中 β ——工件螺旋角($^\circ$);

β_1 ——工作台实际转角($^\circ$);

θ_1 ——工作铣刀的小角度($^\circ$);

γ_{on} ——工件的法向前角($^\circ$)。

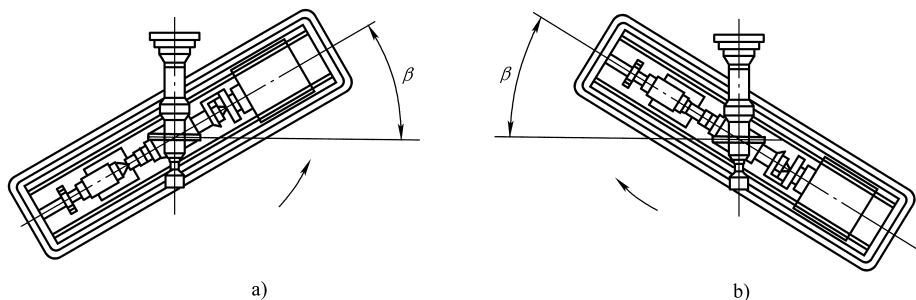


图 3-28 工作台转角度的确定

a) 右旋铣刀开齿 b) 左旋铣刀开齿

(3) 传动比的计算

$$\text{传动比 } i = \frac{40P}{P_h} = \frac{40P}{\pi D \cot\beta}$$

式中 40——分度头定数;

P ——铣床纵向工作台丝杠螺距(mm);

P_h ——工件导程(mm);

D ——工件外径(mm)。

(4) 偏移量 S 和升高量 H 的计算

计算公式:

$$S = R \sin(\theta_1 + \gamma_{on}) - h \sin \theta_1$$

$$H = R[1 - \cos(\theta_1 + \gamma_{on})] + h \cos \theta_1$$

式中 R ——工件半径 (mm);

γ_{on} ——工件法向前角 ($^\circ$);

θ_1 ——工作铣刀的小角度 ($^\circ$);

h ——工件的齿槽深 (mm)。

3.6.4 麻花钻头的铣削

常用的麻花钻头有两条螺旋形沟槽, 其螺旋角为 β (图 3-29)。

(1) 刀具的选择

铣削钻头螺旋槽及齿背所用的铣刀是一组特形铣刀, 其刀齿的几何形状根据钻头的直径来决定 (图 3-30)。如果选择得不正确, 就不能保证加工出来的钻头钻槽截形。

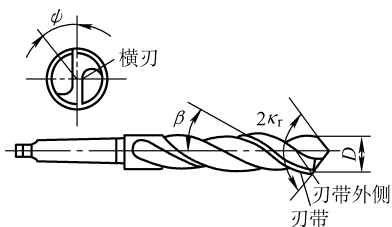


图 3-29 麻花钻头

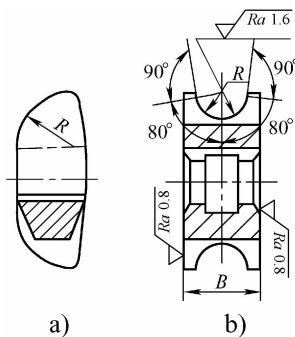


图 3-30 铣钻头用铣刀

a) 铣槽刀 b) 铣齿背刀

(2) 工件装夹

由于钻头工作部分的钻心直径是带锥度的, 即从头部向柄部方向逐渐增大, 所以在铣削时, 还应将分度头主轴向上扳转一个角度 α 。 α 大小应根据钻心直径的增大量确定, 一般每 100mm 的长度, 钻头工作部分钻心直径的增大量为 1.4 ~ 1.8mm。分度头校正后还应调整顶尖, 然后夹好。

(3) 参数计算

工作台转角大小、转动方向、传动比计算与铣圆柱螺旋齿铣刀相同。

(4) 对刀

对刀时一般采用试铣的方法。

3.6.5 端面齿的铣削

(1) 刀具的选择

采用单角铣刀, 其工作铣刀的角度必须与所要加工铣刀的齿槽角 θ 相等。

(2) 分度头倾斜角 φ 的计算公式

三面刃铣刀、单角铣刀等,都具有端面齿。为保证刀齿全长上刃口棱边的宽度相等,在开齿时应把分度头主轴倾斜一个角度 φ (图 3-31):

$$\cos\varphi = \tan \frac{360^\circ}{z} \cot\theta$$

式中 z ——刀坯齿数;

θ ——工作铣刀截形角 ($^\circ$)。

(3) 偏移量 S 的计算

当被加工工件前角等于零度时,单角工作铣刀的端面切削刃对准工件中心就可以进行铣削。

当被加工工件前角大于零度时,单角工作铣刀端面切削刃对正工件中心后还需将工作台横向移动一个距离 S :

$$S = R \sin\gamma_{os}$$

式中 R ——工件半径 (mm);

γ_{os} ——工件刀齿端面前角 ($^\circ$)。

实际生产中,虽然计算出偏移量 S 值,但为了保证端面刀刃和圆周切削刃互相对齐,平滑连接,往往采用试铣方法来对刀。

3.6.6 锥面齿的铣削

1) 工作铣刀的选用及横向偏移量 S 的计算与铣削端面齿相同。

2) 分度头倾斜角 φ 的计算。锥面刀齿也要求刀齿在全长上棱边宽度一致,所以齿槽应是大端深、小端浅,因此铣削时分度头也要扳起一个角度 φ (图 3-32):

$$\varphi = \beta - \lambda$$

$$\tan\beta = \cos \frac{360^\circ}{z} \cot\delta$$

$$\sin\lambda = \tan \frac{360^\circ}{z} \cot\theta \sin\beta$$

式中 β ——工件刀齿齿高中线与工件中心线间夹角 ($^\circ$);

λ ——工件刀齿中线与齿槽底线间夹角 ($^\circ$);

z ——工件刀齿数;

δ ——工件锥面与大端端面的夹角 ($^\circ$);

θ ——工作铣刀角度 ($^\circ$)。

3) 实际生产中,铣削背吃刀量

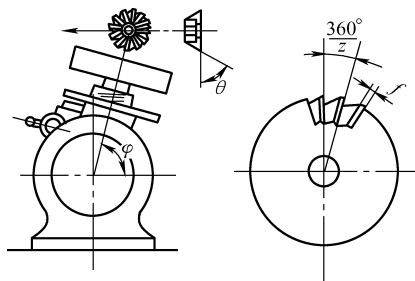


图 3-31 端面齿的铣削

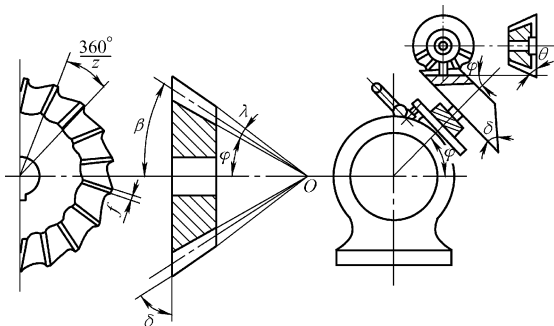


图 3-32 锥面齿的铣削

a_p 也采用试切方法来确定, 主要应保证锥面上刀刃棱边宽度所规定的数值。

3.6.7 铰刀的开齿

一般铰刀有圆柱铰刀和圆锥铰刀两种 (图 3-33), 圆柱铰刀的开齿方法与在圆盘形刀坯上开直齿时相同。

圆锥铰刀有等分齿和不等分齿之分, 不等分齿较常见, 故需分度。为了保证全部刀齿的切削刃宽度一致, 在加工中各齿的背吃刀量不应完全一致。中心角大的刀齿铣得深些, 中心角小的刀齿铣得浅些。

另外铣削圆锥铰刀时, 还要将分度头扳转一个角度, 其计算公式与角铣刀开锥面齿时的公式相同。因一般锥铰刀的工作图中, 未给出刀齿角 δ , 而是给出大、小端直径及工作部分长度, 这时可按式求出 δ 角:

$$\tan \delta = \frac{D_1 - D_2}{2L}$$

式中 D_1 ——铰刀大端直径 (mm);
 D_2 ——铰刀小端直径 (mm);
 L ——铰刀圆锥部分长度 (mm)。

求出 δ 角后, 可代入铣锥面齿的有关公式中, 求出分度头的扳转角 φ 即可加工。铰刀刀齿的不等分分度可查表 3-13。

表 3-13 铰刀刀齿的不等分分度表

(分度头定数 40, 铣 6~16 齿铰刀时, 取用 49 孔分度盘)

铰刀 齿数	第一个 角度	转数	孔数	第二个 角度	转数	孔数	第三个 角度	转数	孔数	第四个 角度	转数	孔数
6	58°2′	6	22	59°53′	6	32	62°5′	6	44			
8	42°	4	32	44°	4	44	46°	5	6	48°	5	16
10	33°	3	34	34°30′	3	41	36°	4	—	37°30′	4	8
12	27°30′	3	3	28°30′	3	8	29°30′	3	14	30°30′	3	19
14	23°30′	2	30	24°15′	2	34	25°	2	38	25°45′	2	43
16	20°30′	2	14	21°	2	17	21°30′	2	20	22°15′	2	23

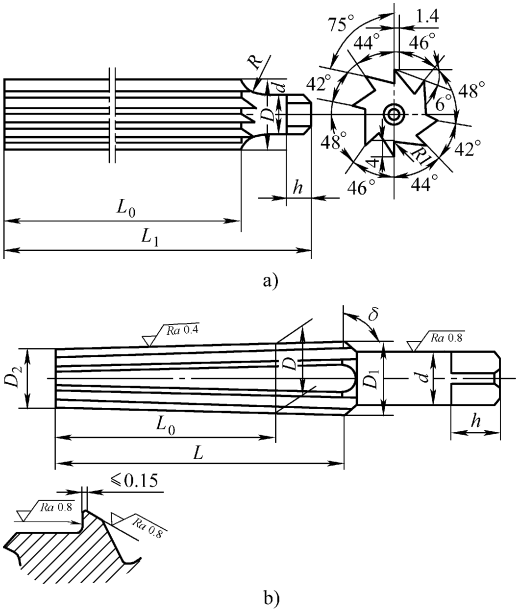


图 3-33 铰刀
a) 圆柱铰刀 b) 圆锥铰刀

(续)

铰刀 齿数	第五个 角度	转数	孔数	第六个 角度	转数	孔数	第七个 角度	转数	孔数	第八个 角度	转数	孔数
6												
8												
10	39°	4	15									
12	31°30′	3	24	32°30′	3	30						
14	26°30′	2	46	27°	3	—	28°	3	5			
16	22°45′	2	26	23°15′	2	29	24°	2	32	24°45′	2	35

3.7 铣削花键轴

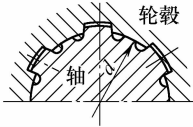
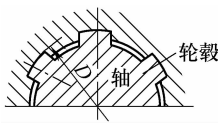
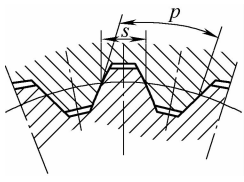
3.7.1 花键的定心方式及加工精度

(1) 花键的定心方式

花键轴的种类较多，按齿廓的形状可分为矩形齿、梯形齿、渐开线齿和三角形齿等。

花键的定心方法有三种(表 3-14)，但一般情况下，均按大径定心。矩形齿花键轴由于加工方便，强度较高，而且易于对正，所以应用较广。

表 3-14 花键的定心方式

定心方式	图 示	特点及用途
小径定心		小径定心是矩形花键联接最精密的方法，定心精度高。多用于机床行业
大径定心		大径定心的矩形花键联接加工方便，定心精度较高，可用于汽车、拖拉机和机床等行业
齿形定心		齿形定心方式用于渐开线花键。在受载情况下能自动定心，可使多数齿同时接触。有平齿根和圆齿根两种，圆齿根有利于降低齿根的应力集中。适用于载荷较大的汽车、拖拉机变速器轴等

(2) 花键加工的精度(表 3-15)

表 3-15 花键加工的精度

(1) 花键轴					
花键轴外径 /mm	键数	加 工 方 法			
		花键滚刀滚花键		成 形 磨 削	
		精度/mm			
		花键宽	小圆直径	花键宽	小圆直径
18 ~ 30	} 6 和 4	0.025	0.05	0.013	0.027
> 30 ~ 50		0.040	0.075	0.015	0.032
> 50 ~ 80		0.050	0.10	0.017	0.042
> 80 ~ 120		0.075	0.125	0.019	0.045

(2) 花键孔					
花键的最大 直径 /mm	键数	加 工 方 法			
		拉 削		推 削	
		热处理前的精度/mm			
		花键宽	小圆直径	花键宽	小圆直径
18 ~ 30	10、6 和 4	0.013	0.018	0.008	0.012
> 30 ~ 50		0.016	0.026	0.009	0.015
> 50 ~ 80		0.016	0.030	0.012	0.019
> 80 ~ 120		0.019	0.035	0.012	0.023

3.7.2 在铣床上铣削矩形齿花键轴

花键轴可以在专用的花键铣床上采用滚切法进行加工，这种方法有较高的生产率和加工精度。但在没有专用花键铣床或修配较少数量零件时，也可以在普通卧式铣床上进行铣削。

3.7.2.1 用单刀铣削矩形齿花键轴

(1) 工件的装夹与校正

先把工件的一端装夹在分度头的自定心卡盘内,另一端由尾座顶尖顶紧,然后用百分表按下列三个方面进行校正(图 3-34)

- 1) 工件两端的径向圆跳动量。
- 2) 工件的上母线相对于工作台台面的平行度。
- 3) 工件的侧母线相对于纵向工作台移动方向的平行度。

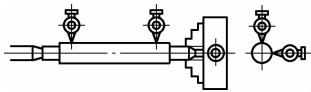


图 3-34 花键轴铣削前的校正

(2) 铣刀的选择和安装

1) 铣削键侧用刀具。选用直齿三面刃铣刀，外径尽可能小些，以减少铣刀的端面圆跳动，使铣削平稳，保证键侧有较好的表面粗糙度。铣刀宽度也应尽量小些，以免在铣削中伤及邻齿齿侧。

2) 铣削小径用刀具。选用厚度为 2~3mm 的细齿锯片铣刀铣削。或者自制凹圆弧成形单刀头(用高速钢磨制)铣削(图 3-35)。

铣刀安装时,可将三面刃铣刀与锯片铣刀,以间隔适当的距离安装在同一根刀杆上。这样在加工时,只要移动横向工作台,就可以将花键的键侧及槽底先后铣出,避免了装拆刀具的麻烦。

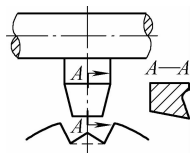


图 3-35 铣削小径
用成形刀头

(3) 对刀

对刀时,必须使三面刃铣刀的侧面切削刃和花键键侧重合,这样才能保证花键的宽度和键侧的对称性。常用对刀方法有以下几种:

1) 侧面接触对刀方法。先使三面刃铣刀侧面切削刃微微接触工件外圆表面,然后垂直向下退出工件,再使横向工作台朝铣刀方向移动一个距离 S :

$$S = \frac{D - b}{2}$$

式中 D ——工件外径(mm);

b ——花键键宽(mm)。

这种对刀方法简单,对刀时 D 应按实测的尺寸计算。但这种方法有一定的局限性,即当工件外径较大时,由于受铣刀直径的限制,刀杆可能会和工件相碰,此时就不能采用这种方法对刀。

2) 用切痕法对刀。如图 3-36 所示,先由操作者目测使工件中心尽量对准三面刃铣刀中心,然后开动机床,并逐渐升高工作台,使铣刀圆周切削刃少量切着工件,再将横向工作台前后移动,就可以在工件上切出一个椭圆形痕迹,只要将工作台逐渐升高,痕迹的宽度也会加宽,当痕迹宽度等于花键键宽后,可移动横向工作台,使铣刀的侧面与痕迹边缘相切,即完成对刀目的。为了去掉这个痕迹,必须在对刀之后将工件转过半个齿距,才能开始铣削。

3) 用划线法对刀。如图 3-37 所示,采用这种方法对刀时,先要在工件上划线,划线顺序是:用高度尺先在工件外圆柱面的两侧各划一条中心线。然后通过分度头将工件转过 180° ,再用高度尺试划一次,如两次所划的中心线是重合即可,如不重合,应调整高度尺的高度重划,直到划出正确的中心线后为止,然后,分别升高和降低半个花键键宽划出两条键侧线。

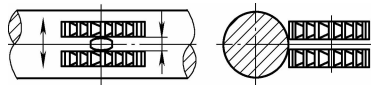


图 3-36 用切痕法对刀

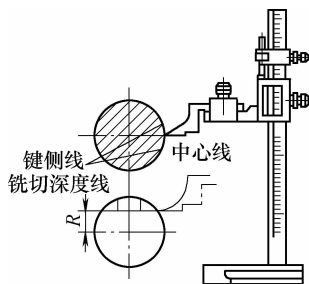


图 3-37 用划线法对刀

中心线和键侧线划好后,再通过分度头将工件转过 90° ,使划线部分外圆朝上,并用高度尺在工件端面划出花键的铣切深度线。

在铣削时,只要使三面刃铣刀的侧面切削刃对准所划的键侧线即可。

(4) 铣削过程

1) 铣键侧。对刀之后,可以先依次铣完花键的一侧(图 3-38a)然后再移动横向工作台,再依次铣完花键的另一侧(图 3-38b)工作台应向铣刀方向移动,移动的距离 S 可按下式计算:

$$S = B + b$$

式中 B ——三面刃铣刀宽度(mm);

b ——花键键宽(mm)。

在铣削花键一侧时,应在铣第一条花键一段长度后,测量其键宽尺寸是否合格,然后进行调整。

2) 铣削小径圆弧面。键侧铣好以后,槽底的凸起余量就可用装在同一根刀杆上的锯片铣刀铣削掉。铣削前应使锯片对准工件的中心线,如图 3-39a 所示,摇动铣床升降工作台,使切削刃轻轻擦到或贴在齿顶表面的薄纸为止。摇动分度头,使工件转过一定角度,从靠近键的一侧开始铣削(图 3-39b)然后将工作台升高到铣切深度,再摇动纵向进给进行铣削,铣完一刀后,摇动分度头手柄,转过几个孔距使工件稍转一些再铣第二刀,这样铣出的小径是呈多边形的,因此,每铣一刀后工件转过的角度愈小,铣削次数愈多,小径就愈接近一个圆弧(图 3-39c)。

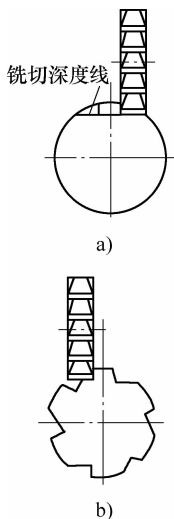


图 3-38 铣键侧

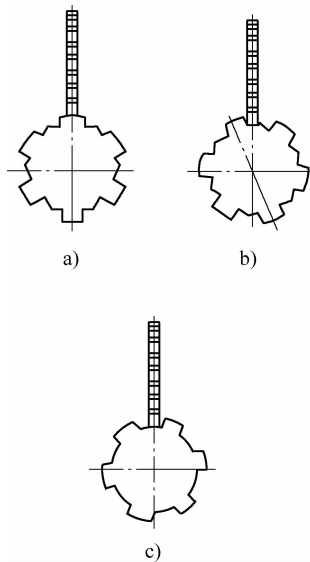


图 3-39 铣槽底圆弧面

3) 用凹圆弧成形单刀头铣削小径圆弧面(图 3-35)。用这种方法铣削小径圆弧可一次完成,但必须注意,使用这种方法对刀比较麻烦,若对刀不准会使铣出的小径圆弧中心和工件不同心。对刀的方法是先将单刀头装夹在专用的刀杆上,而在分度头自定心卡盘和尾座顶尖之间,装上一个与工件完全相同的试件,并要进行校正,然后开动机床,逐渐升高工作台及移动横向工作台,使凹圆弧形刀头两尖角同时擦着试件的表面即可,对刀完毕后,锁紧横向工作台,拆下试件,换上已铣好键侧的花键轴。重新校正后,摇动分度头手柄使花键槽对准刀头凹圆弧后即可铣削加工。

3.7.2.2 用组合铣刀铣削矩形齿花键轴

用组合铣刀铣削花键时,工件的装夹、调整与用单刀铣削花键时相同,但在选择和安装铣刀时应注意以下几点:

- 1) 两把铣刀直径必须相同。
- 2) 两把铣刀的间距应等于花键宽度,可用铣刀之间的垫圈或垫片的厚度来保证,并要经过试切确定齿宽在公差范围内。

3) 对刀方法见图 3-40,与用单刀铣削花键时“用侧面接触对刀方法”基本相同。但工作台横向移动距离 S 计算有所不同:

$$S = \frac{D}{2} + B + \frac{b}{2}$$

式中 D ——工件外径(mm);

B ——一把铣刀的宽度(mm);

b ——花键键宽(mm)。

对刀结束后,紧固横向工作台,调整好背吃刀量,即可开始铣削,采用组合铣刀铣削花键键侧和槽底时,可将工件经过两次装夹分别铣削,这样可以避免铣削一根花键轴都要移动横向工作台和调整背吃刀量的麻烦。

3.7.2.3 用硬质合金组合刀盘精铣花键轴

采用高速钢三面刃铣刀铣削花键,其键侧粗糙度 Ra 一般只能达到 $6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$,而且效率也较低。目前也有在加工批量较大的花键轴时,先用高速钢成形铣刀将花键轴小径加工好,而键侧留有精铣余量,然后用硬质合金组合刀盘精铣键侧(图 3-41)。刀盘上共有两组刀,其中一组刀(共两把)为铣花键两侧用,另一组刀(也是两把)为加工花键两侧倒角用,每组刀的左右刀齿间的距离均可根据键宽或花键倒角的尺寸需要进行调整,使用这种刀盘精铣花键,不但效率高,而且表面粗糙度 Ra 可达 $1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

3.7.2.4 用成形铣刀铣削花键轴

- (1) 花键成形铣刀的种类(表 3-16)
- (2) 用成形铣刀铣削花键轴对刀方法(表 3-17)

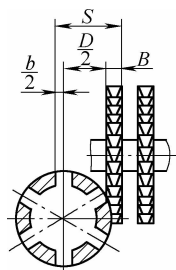


图 3-40 用组合铣刀对刀方法

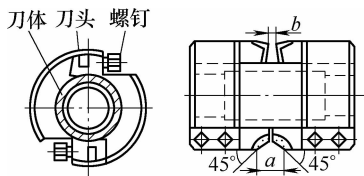


图 3-41 硬质合金刀盘

表 3-16 花键成形铣刀的种类

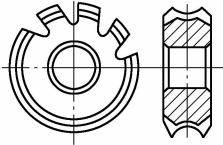
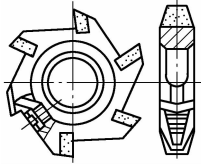
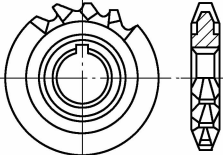
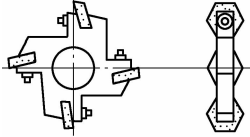
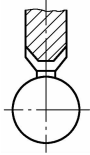
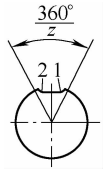
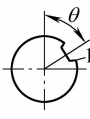
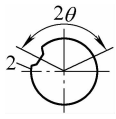
名 称	图 示	名 称	图 示
铲齿成形铣刀		焊接硬质合金成形铣刀	
尖齿成形铣刀		机夹式硬质合金成形铣刀	

表 3-17 用成形铣刀铣削花键轴对刀方法

	<p>先用目测法使铣刀对准工件中心，开动机床，升高工作台，使成形铣刀的两尖角同时接触工件外圆表面</p>
	<p>按花键深度的 3/4 铣削一刀，退出工件，检查花键的对称性</p>
	<p>工件沿顺时针方向转动 θ 角，θ 角按下式计算：</p> $\theta = 90^\circ - \frac{180^\circ}{z}$ <p>式中 z——花键轴键数 用杠杆百分表测量键侧 1 的高度</p>
	<p>沿逆时针方向将工件转过 2θ 角，用杠杆百分表测量键侧 2 的高度。若键侧 1、2 的高度相等，则说明花键的对称性很好；如高度不等时，应做微量调整。当键侧 1 比键侧 2 高 Δx 时，应将横向工作台移动距离 S，键侧 1 靠向铣刀，S 可用下式计算：</p> $S = \frac{\Delta x}{2 \cos \frac{180^\circ}{z}}$ <p>按花键深度调整好机床，即可铣削花键</p>

3.7.3 铣削花键轴时产生误差的原因及解决方法(表 3-18)

表 3-18 铣削花键轴时产生误差的原因及解决方法

加工误差		产生原因	解决方法
用成形铣刀加工时, 键侧产生波纹		刀杆与挂架配合间隙过大, 并缺少润滑油, 铣削时有不正常声音发生	调整间隙, 加注润滑油或改装滚动轴承挂轮架
用成形铣刀加工时键侧及槽底均有深啃现象		铣削过程中, 中途停刀	铣削中途不能停止进给运动
用成形铣刀或三面刃铣刀加工时	花键轴中段产生波纹	花键轴太细太长, 刚性差, 铣至轴的中段时, 工件发生振动	花键轴中段用千斤顶托住
	键侧表面粗糙度值高	刀杆弯曲或刀杆垫圈不平, 引起铣刀轴向跳动, 切削不平稳	校直刀杆, 修整垫圈
	花键的两端内径不一致	工件上母线与工作台不平行	重新校工件上母线相对于工作台面的平行度
	花键对称性超差	对刀不准	重新对刀
	花键两端对称性不一致	工件侧母线与纵向工作台移动方向不平行	重新校正工件侧母线相对于纵向工作台的移动方向的平行度

3.7.4 典型矩形齿花键轴零件的加工工艺分析举例

矩形齿花键轴见图 3-42。

(1) 零件图样分析

1) 该零件既是花键轴又是阶梯轴, 其加工精度要求又较高, 所以零件两中心孔是设计和工艺基准。

2) 矩形花键轴花键两端面对公共轴线的圆跳动公差为 0.03mm。

3) 花键外圆对公共轴线圆跳动公差为 0.04mm。

4) $\phi 25^{+0.03}_0$ mm 外圆 (两处) 对公共轴线圆跳动公差为 0.04mm。

5) $\phi 20^{+0.03}_0$ mm 外圆对公共轴线圆跳动公差为 0.04mm。

6) 材料 45 钢。

7) 热处理 28 ~ 32HRC。

(2) 工艺分析

1) 花键轴的种类较多, 按齿廓的形状可分为矩形齿、梯形齿、渐开线齿和三角形齿等。花键的定心方法有小径定心、大径定心和键侧定心三种。但一般情况下, 均按大径定心。

矩形齿花键由于加工方便、强度较高而且易于对正, 所以应用较广泛。

2) 本例矩形花键为大径定心, 所以安排工序 7——粗、精磨各部外圆, 来保证花键轴大径尺寸 $\phi 36^{+0.05}_{-0.08}$ mm。

3) 为确保花键轴各部外圆的位置及形状精度要求, 在各工序中均以两中心孔为定位基准, 装夹工件。

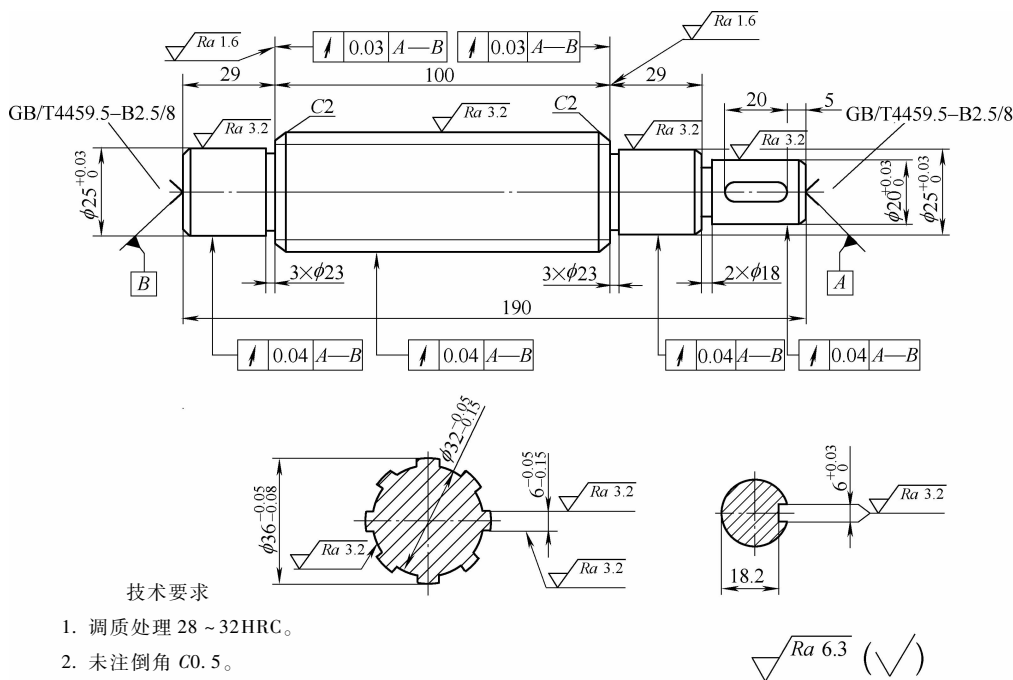


图 3-42 矩形齿花键轴

4) 花键轴可以在专用的花键铣床上,采用滚切法进行加工。这种方法有较高的生产率和加工精度,但在没有专用的花键铣床时,也可以用普通卧式铣床进行铣削加工。

5) 矩形齿花键轴花键两端面圆跳动公差、花键外圆、两处 $\phi 25^{+0.03}_0$ mm 外圆和 $\phi 20^{+0.03}_0$ mm 外圆对公共轴线的圆跳动公差的检查,可以两中心孔定位,将工件装夹在偏摆仪上,用百分表进行检查。

6) 外花键在单件小批生产时,其等分精度由分度头精度保证,键宽、大径和小径尺寸可用游标卡尺或千分尺测定,必要时可用百分表检查花键键侧的对称度。在成批或大批量生产中,可采用综合量规进行检查。

(3) 矩形齿花键轴机械加工工艺过程卡 (表 3-19)

表 3-19 矩形齿花键轴机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
1	下料	棒料 $\phi 40\text{mm} \times 200\text{mm}$	锯床
2	热处理	调质处理 28~32HRC	
3	粗车	夹一端,车端面,见平即可。钻中心孔 B2.5/8	CA6140
4	粗车	调头装夹工件,车端面,保证总长 190mm,钻中心孔 B2.5/8	CA6140
5	粗车	以两中心孔定位装夹工件,粗车外圆各部,留加工余量 2mm,长度方向各留加工余量 2mm	CA6140
6	精车	以两中心孔定位装夹工件,精车各部尺寸,留磨削余量 0.4mm。车槽 3mm $\times \phi 23\text{mm}$ (两处),车槽 2mm $\times \phi 18\text{mm}$,倒角 C2.2 及 C0.7	CA6140

(续)

工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
7	磨	以两中心孔定位装夹工件,粗、精磨外圆各部至图样尺寸,磨花键部分两端面保证尺寸 100mm	M1432A
8	铣	一夹一顶装夹工件,粗、精铣花键 $6 \times 6 \begin{smallmatrix} -0.05 \\ -0.15 \end{smallmatrix}$ mm, 保证小径 $\phi 32 \begin{smallmatrix} -0.15 \\ -0.05 \end{smallmatrix}$ mm	X6132
9	划线	划 $6 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$ mm 键槽线	
10	铣	一夹一顶装夹工件,铣键槽 $6 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$ mm, 保证尺寸 18.2mm	X5030A
11	检验	按图样要求检查各部尺寸及精度	
12	入库	入库	

3.8 铣削链轮

3.8.1 铣削滚子链链轮

精度要求较高或生产数量较多的标准链轮,一般用链轮滚刀在滚齿机上滚切加工。对于数量不多的链轮,常用专用的链轮铣刀加工,铣削同一个节距和滚子直径的链轮铣刀,根据工件齿数不同分为五个刀号数(表 3-20)。其铣削方法和铣直齿圆柱齿轮基本相同。

表 3-20 滚子链链轮铣刀号数

铣刀号数	1	2	3	4	5
铣齿范围	7 ~ 8	9 ~ 11	12 ~ 17	18 ~ 35	35 以上

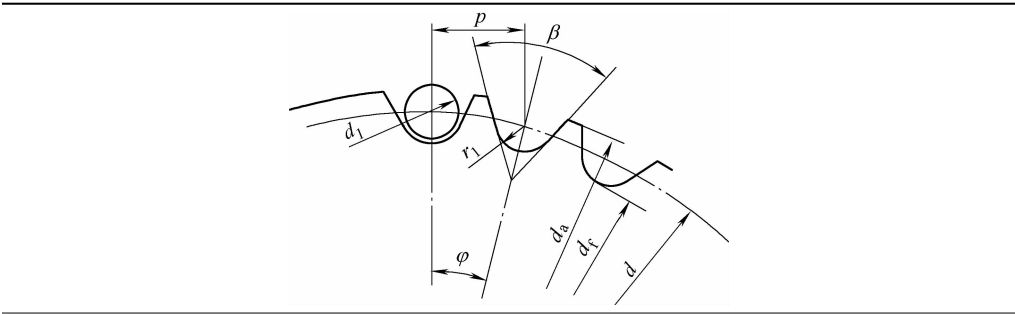
铣削滚子链链轮时,一般应保证下列几点工艺要求:

- 1) 齿根圆直径尺寸准确。
- 2) 链轮端面圆跳动量和齿根圆径向圆跳动量在允许范围内。
- 3) 分度圆齿距准确。
- 4) 齿形准确。
- 5) 齿沟圆弧半径应符合图样要求。
- 6) 表面粗糙度 Ra 一般应达到 $3.2\mu\text{m}$ 。

在传动要求不高,单件生产、修配或无标准链轮刀具时,当齿数大于 20 齿时,常采用直线端面齿形。在铣床上加工的滚子链链轮,常见的就是这种齿形。

3.8.1.1 直线端面齿形滚子链链轮主要尺寸及计算公式(表 3-21)

表 3-21 直线端面齿形滚子链链轮主要尺寸及计算公式 (单位: mm)



(续)

名 称	代 号	计 算 公 式
节距	p	链条节距
滚子直径	d_1	设计参数
链轮齿数	z	设计参数
分度圆直径	d	$d = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z}}$
齿顶圆直径	d_a	$d_a = d + 0.8d_1$
齿根圆直径	d_f	$d_f = d - 2r_1$
齿槽半径	r_1	$r_1 = 0.505d_1$
链轮转角	φ	$\varphi = \frac{360^\circ}{z}$
齿槽角	β	$p/d_1 < 1.6$ $\beta = 58^\circ$
		$p/d_1 = 1.6 \sim 1.7$ $\beta = 60^\circ$
		$p/d_1 > 1.7$ $\beta = 62^\circ$

3.8.1.2 直线端面齿形滚子链链轮铣削方法

(1) 工件装夹与校正

当链轮直径和滚子直径较小时，可用分度头装夹。如链轮直径和滚子直径较大时，则采用回转工作台装夹工件。装夹时，应校正链轮外径和端面圆的跳动量，使其在允许范围内。

(2) 铣链轮齿沟圆弧

- 1) 在立式铣床上用立铣刀，铣链轮齿沟圆弧(图 3-43)。
- 2) 在卧式铣床上用凸半圆铣刀，铣链轮齿沟圆弧(图 3-44)。

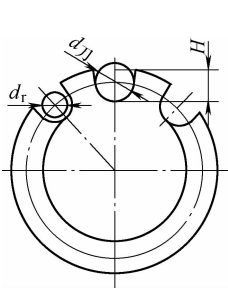


图 3-43 用立铣刀铣齿沟圆弧

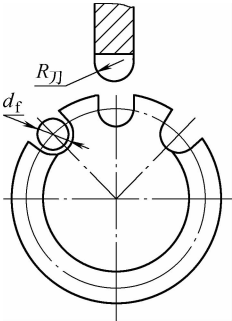


图 3-44 用凸半圆铣刀铣齿沟圆弧

铣刀直径和背吃刀量：

$$d_{江} = 1.005d_1 + 0.10$$
$$H = \frac{d_a - d_f}{2}$$

式中 $d_{\text{刀}}$ ——立铣刀直径或 R 盘铣刀宽度 (mm);

H ——背吃刀量 (mm);

d_1 ——滚子直径 (mm);

d_a ——齿顶圆直径 (mm);

d_f ——齿根圆直径 (mm);

(3) 在卧式铣床上用三面刃铣刀铣齿槽两侧

1) 选择安装铣刀, 使三面刃铣刀宽度 B 小于滚子直径 d_1 。

2) 校准已铣好齿沟圆弧的工件的一条槽, 使其处于居中位置, 并把三面刃铣刀的一侧对准工件中心 (图 3-45)。然后按齿槽角 β 的要求把工件偏转一个 φ 角 ($\beta/2$), 工作台横向移动 S 距离, 工作台上升距离 H 随齿数不同而变化, 一般目测铣至与齿沟圆弧相切。 S 值按下式计算:

当 $\beta = 58^\circ$ 时, $S = 0.242d - 0.5d_1$

当 $\beta = 60^\circ$ 时, $S = 0.25d - 0.5d_1$

当 $\beta = 62^\circ$ 时, $S = 0.258d - 0.5d_1$

式中 d ——链轮分度圆直径 (mm);

d_1 ——滚子直径 (mm)。

3) 铣齿槽另一侧时, 工作台高度不变, 分度头反向回转 $2\varphi(\beta)$ 角, 横向工作台反向移动 $2S + B$ 距离即可。

(4) 用立铣刀铣齿槽两侧

用铣齿沟圆弧的立铣刀, 在铣完齿沟圆弧后, 把齿坯转过 $\beta/2$ 角, 并将工作台偏移一个距离 S (图 3-46) 将链轮的一侧余量铣去。

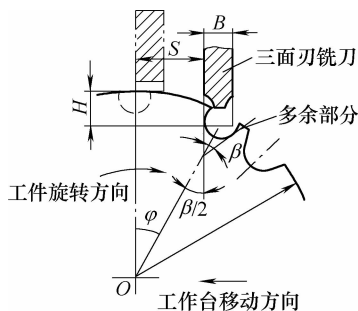


图 3-45 用三面刃铣刀
铣链轮齿侧示意图

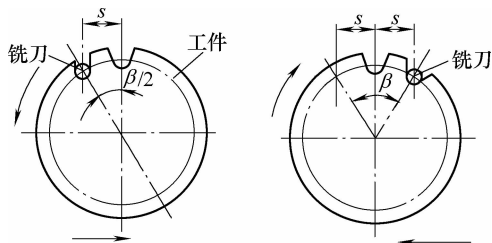


图 3-46 用立铣刀铣链轮齿
侧示意图

偏移量 S 按下式计算:

$$S = \frac{d}{2} \sin \frac{\beta}{2}$$

式中 d ——链轮分度圆直径 (mm);

β ——链轮齿槽角 ($^\circ$)。

铣齿槽另一侧时, 使齿坯反向旋转 β 角, 工作台反向移动 $2S$ 距离即可。

(5) 同时铣两侧的方法

用立铣刀分两次进刀，将链轮沟槽圆弧和齿槽两侧同时铣出的方法。

1) 使立铣刀中心对准轮坯中心，然后工作台横向移动一个距离 S ，纵向移动一个距离 H 。此坐标即是链轮齿沟底部圆弧。此时，必须记住纵向刻度盘刻度并做好记号。然后纵向移动工作台，使轮坯退离铣刀。这时齿槽的一个侧面与工作台纵向进给方向平行(图 3-47a)。

2) 横向移动距离 S 和纵向移动距离 H 按下式计算：

$$S = \frac{d}{2} \sin \frac{\beta}{2}$$
$$H = \frac{d}{2} \cos \frac{\beta}{2}$$

式中 d ——链轮分度圆直径(mm)；
 β ——链轮齿槽角(°)。

3) 升高工作台后作纵向进给，铣至链轮槽底，然后分度依次铣完同一侧面。

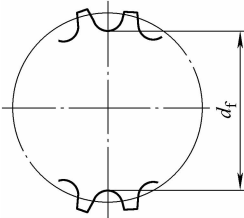
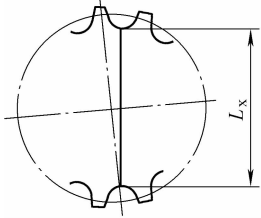
4) 铣另一侧齿槽侧面时，工件转过 β 角，工作台横向移动 $2S$ 距离，使另一侧面与纵向进给方向平行，然后依次铣完另一侧(图 3-47b)。

3.8.1.3 滚子链链轮的测量

为使链条能在链轮上实现盘啮，链轮齿根圆直径的极限偏差均规定为负值。它可以

用标准量具直接测量(表 3-22)或用量柱间接测量(表 3-23)。

表 3-22 直接测量最大齿根距离 L_x (单位：mm)

链轮齿数	偶数齿	奇数齿
简图		
计算公式	$L_x = d_f = d - d_1$	$L_x = d \cos \frac{90^\circ}{z} - d_1$

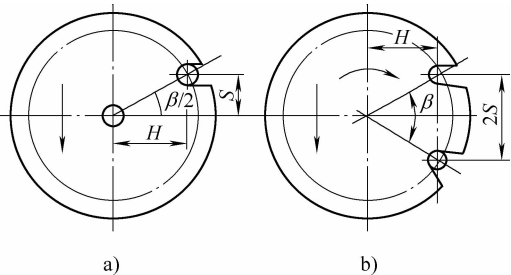
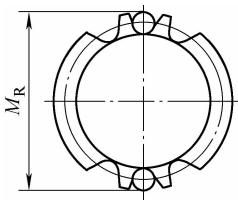
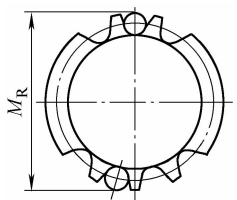


图 3-47 用立铣刀两次进刀
铣削链轮齿槽示意图
a) 铣齿槽的一侧
b) 铣齿槽的另一侧

表 3-23 用量柱测量最大齿根距离 M_R (单位: mm)

链轮齿数	偶数齿	奇数齿
简图		
计算公式	$M_R = d + d_R$	$M_R = d \cos \frac{90^\circ}{z} + d_R$

注:量柱直径 $d_R = d_1$ 。量柱技术要求为:极限偏差为 $\begin{smallmatrix} +0.01 \\ 0 \end{smallmatrix}$ mm;圆度、圆柱度等公差不得超过直径公差之半;表面粗糙度 Ra 为 $1.6\mu\text{m}$;表面硬度 $55 \sim 60\text{HRC}$ 。

3.8.1.4 链轮工作图标注要求

链轮零件工作图上应列表注明基本参数和齿形等(表 3-24)。

表 3-24 链轮工作图标注示例 (单位: mm)

节距	p	15.875
滚子外径	d_1	10.16
齿数	z	25
量柱测量距	M_R	$136.57 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.25 \end{smallmatrix}$
量柱直径	d_R	$10.16 \begin{smallmatrix} +0.01 \\ 0 \end{smallmatrix}$
齿形	按 GB/T1243—2006	

3.8.2 铣削齿形链链轮

齿形链链轮铣削时,一般应保证下列工艺要求:

- 1) 节距误差在允许范围内(节距误差是指轮齿上部的任意圆上,同侧齿面间弦线距离的差)。
- 2) 齿圈跳动在允许范围内。
- 3) 齿楔角偏差为 $-30'$ 。

齿形链链轮在没有专用链轮滚刀和专用成形铣刀时可采用下面的方法加工。

3.8.2.1 用单角度铣刀铣削

用两把单角度铣刀组合铣削齿形链链轮(图 3-48),两把单角度铣刀间的垫圈厚度 S 为:

$$S = 1.273p - 1.155$$

式中 p ——链轮节距(mm)。

这种方法铣削加工后,齿槽底部留有较多的剩余部分要用锉刀进行修锉(或铣去)。

3.8.2.2 用三面刃铣刀铣削

用三面刃铣刀(所选用的三面刃铣刀宽度应小于链轮槽底宽度)铣削齿形链链轮见图3-49。铣削时,铣刀先对正中心,然后工作台偏移一个距离 S ,同时工作台上上升一个 H 距离即可对链轮一侧进行铣削。

工作台偏移量 $S(\text{mm})$ 和升高量 $H(\text{mm})$ 按下式计算:

$$S = \frac{d_f}{2} \sin \beta + \frac{B}{2}$$

$$H = \frac{d_a}{2} - \frac{d_f}{2} \cos \beta$$

式中 d_f ——链轮齿根圆直径(mm);

β ——链轮齿槽角($^\circ$);

d_a ——链轮顶圆直径(mm);

B ——三面刃铣刀宽度(mm)。

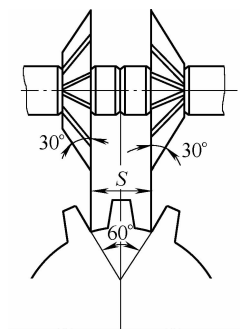


图 3-48 用组合单角度
铣刀铣削齿形链链轮

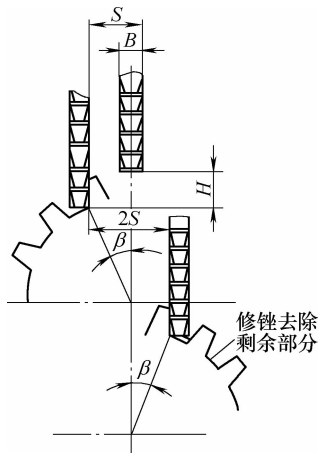


图 3-49 用三面刃铣刀铣
削齿形链链轮

铣另一侧时,工作台高度不变,只须将工件回转 2β 角,工作台反向移动 $2S$ 距离即可。

用三面刃铣刀铣削后,槽底部分也有少量的剩余部分必须用锉刀进行修锉(或铣去)。

3.8.2.3 齿形链链轮的测量

- 1) 齿形链链轮用量柱测量时 M_R 的计算见表3-25。
- 2) 量柱直径 d_R 和技术要求见表3-26。
- 3) 节距 $p=1\text{mm}$ 时的齿形链链轮量柱测量距 M_R 见表3-27。

表 3-25 齿形链链轮用量柱测量时 M_R 的计算 (单位: mm)

链轮齿数	偶 数 齿	奇 数 齿
简 图		
计算公式	$M_R = d - 0.125p \csc\left(30^\circ - \frac{180^\circ}{z}\right) + d_R$	$M_R = \cos \frac{90^\circ}{z} \left[d - 0.125p \csc\left(30^\circ - \frac{180^\circ}{z}\right) \right] + d_R$

注: d —分度圆直径; p —节距; z —齿数; d_R —量柱直径。

表 3-26 量柱直径 d_R 和技术要求 (单位: mm)

$d_R = 0.625p$							
节距 p	9.525	12.7	15.875	19.05	25.4	31.75	38.1
量柱直径 d_R	5.953	7.938	9.922	11.906	15.875	19.844	23.813

注: 量柱的技术要求为: 直径的极限偏差为 $^{+0.01}_0$ mm; 表面粗糙度 Ra 为 $0.8\mu\text{m}$; 表面硬度 $55 \sim 60\text{HRC}$ 。

表 3-27 节距 $p = 1\text{mm}$ 时的齿形链链轮量柱测量距 M_R (单位: mm)

齿数 z	测量距 M_R	齿数 z	测量距 M_R	齿数 z	测量距 M_R	齿数 z	测量距 M_R	齿数 z	测量距 M_R	齿数 z	测量距 M_R
15	5.006	30	9.884	45	14.667	60	19.457	75	24.230	90	29.012
16	5.362	31	10.192	46	14.994	61	19.769	76	24.554	91	29.327
17	5.669	32	10.524	47	15.305	62	20.094	77	24.867	92	29.649
18	6.018	33	10.833	48	15.632	63	20.407	78	25.191	93	29.964
19	6.325	34	11.164	49	15.943	64	20.731	79	25.504	94	30.286
20	6.669	35	11.473	50	16.270	65	21.044	80	25.828	95	30.601
21	6.975	36	11.803	51	16.581	66	21.369	81	26.142	96	30.923
22	7.315	37	12.112	52	16.907	67	21.681	82	26.465	97	31.237
23	7.621	38	12.442	53	17.219	68	22.006	83	26.779	98	31.560
24	7.960	39	12.751	54	17.545	69	22.319	84	27.102	99	31.874
25	8.266	40	13.080	55	17.857	70	22.643	85	27.416	100	32.197
26	8.602	41	13.390	56	18.182	71	22.956	86	27.739	101	32.511
27	8.909	42	13.718	57	18.494	72	23.280	87	28.053	102	32.834
28	9.244	43	14.029	58	18.820	73	23.593	88	28.376	103	33.148
29	9.551	44	14.356	59	19.132	74	23.917	89	28.690	104	33.470

注: 其他节距时的测量距可按表中数值乘其节距 p 即得。

第4章 磨削技术

4.1 磨削加工基础

4.1.1 砂轮安装与修整

(1) 砂轮的安装

一般砂轮安装采用法兰盘安装（图 4-1）。安装时应注意以下几点：

1) 装夹前应进行音响检查。用绳子将砂轮吊起，轻击砂轮，声音应清脆，没有颤音或杂音。

2) 两个法兰盘的直径必须相等，以便砂轮不受弯曲应力而导致破裂。法兰盘的最小直径应不小于砂轮直径的 $1/3$ ，在没有防护罩的情况下应不小于 $2/3$ 。

3) 砂轮和法兰之间必须放橡胶、毛毡等弹性材料，以增加接触面，使受力均匀。装夹后，经静平衡，砂轮应在最高转速下试转 5min 后才能正式使用。

(2) 砂轮静平衡调整方法

采用手工操作调整砂轮静平衡时，须使用平衡架（图 4-2）、平衡心轴（图 4-3）及平衡块、水平仪等工具。

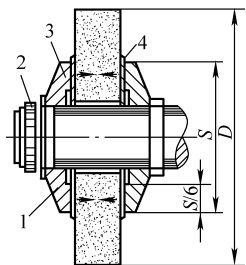


图 4-1 用法兰盘安装砂轮

1—铅衬垫 2—螺母
3—法兰盘 4—弹性衬垫

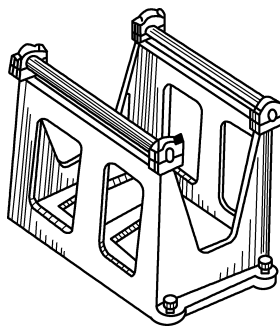


图 4-2 平衡架

1) 调整方法见图 4-4。

① 找出通过砂轮重心的最下位置点 A 。

② 与 A 点在同一直径上的对应点做一记号 B 。

③ 加入平衡块 C ，使 A 和 B 两点位置不变。

④ 再加入平衡块 D 、 E ，并仍使 A 和 B 两点位置不变。如有变动，可上下调整 D 、 E 使 A 、 B 两点恢复原位。此时砂轮左右已平衡。

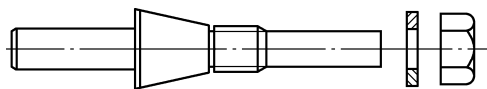


图 4-3 平衡心轴

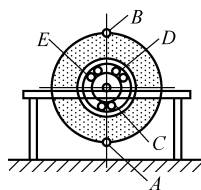


图 4-4 砂轮静平衡调整

⑤ 将砂轮转动 90° 。如不平衡，将 D 、 E 同时向 A 或 B 点移动，直到 A 、 B 两点平衡为止。

⑥ 如此调整，直至砂轮能在任何方位上稳定下来，砂轮就平衡好了。根据砂轮直径的大小，检查 6 个或 8 个方位即可。

2) 应注意以下几点：

- ① 平衡架要放水平，特别是纵向。
- ② 将砂轮中的冷却液甩净。
- ③ 砂轮要紧固，法兰盘、平衡块要洗净。
- ④ 砂轮法兰盘内锥孔与平衡心轴配合要紧密，心轴不应弯曲。
- ⑤ 砂轮平衡后，平衡块应紧固。
- ⑥ 平衡架最好采用刀口式，因与心轴接触面小，反映较灵敏。

(3) 修整砂轮

1) 修整砂轮的基本原则。应根据工件表面精度要求、砂轮性质、工件材料和加工形式等决定砂轮表面修整的粗细及采用的方法。

- ① 表面精度要求高，砂轮修整得要平细。
- ② 工件材料硬、接触面大，砂轮修整得要粗糙。
- ③ 粗磨比精磨的砂轮修整得要粗糙。
- ④ 横向、纵向进给量大时，砂轮表面要粗糙。
- ⑤ 横向、纵向进给量小时，砂轮表面要平细。
- ⑥ 采用细粗糙度、高精度磨削时，砂轮应当适当留有空进给。

2) 砂轮修整的方法见表 4-1。

表 4-1 砂轮修整的方法

修整方法	图 示	修整工具及适用范围
车削法		<p>1) 车削法是最常用的一种砂轮修整方法。多采用单颗粒金刚石工具，其颗粒大小应根据砂轮直径来确定。修整时，金刚石将磨粒打碎，形成切刃，并使磨粒脱落。适用于粗磨和精磨，能获得较好的修整效果，但天然金刚石价格高，修整工具的消耗大。金刚石顶角应保持 $70^\circ \sim 80^\circ$。安装角度为 $10^\circ \sim 15^\circ$。</p>

(续)

修整方法	图 示	修整工具及适用范围
车削法		2) 车削法修整还可采用天然金刚石片状修整器、金刚石笔等修整工具。片状修整器有较好的切削性能和较高的寿命, 适用于无修磨大金刚石设施的企业。价格较低, 货源较多
磨削法	<p>1—头架 2—心轴 3—碳化硅磨轮 4—砂轮 5—砂轮架 6—尾架</p>	1) 修整工具和砂轮之间的运动相似于外圆磨削。特点是简单而不需增加专用传动装置, 并使砂轮与工件接触均匀 2) 用磨削法修整的砂轮表面不锋利, 其切削性能较车削法及滚压法差, 但用它来磨削的工件表面质量较好, 通常用于成形修整或节省天然金刚石。修整轮往往采用碳化硅砂轮、硬质合金圆盘、金刚石滚轮等
滚压法		1) 滚压法修整时, 砂轮以低速带动滚压轮 (金属、硬质合金或磨料) 旋转, 因此必须配置一套砂轮旋转的减速装置。一般情况下滚压轮是从动的。但在成形磨削中, 滚压轮可以由专用的手动或机动修整夹具以慢速带动砂轮旋转 2) 滚压时滚压轮利用挤压将砂轮的磨粒挤碎或使磨粒脱落, 砂轮工作表面粗糙, 切削性能好。适用于单件、小批生产的成形磨削

4.1.2 砂轮修整工具及其选用

修整砂轮多采用金刚石工具, 运用车削法进行。

(1) 单颗粒金刚石

金刚石的顶角一般取 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 为合理, 并应经常保持金刚石的锋利性。

金刚石安装的角度一般取为 10° (图 4-5), 其安装高度应低于砂轮中心 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

修整时应浇注充分的冷却液, 并浇注在整个砂轮宽度上。

干磨修整砂轮时, 修几刀后应停一会, 使金刚石得以冷却。

所采用的金刚石颗粒的大小, 是根据砂轮直径确定的, 见表 4-2。

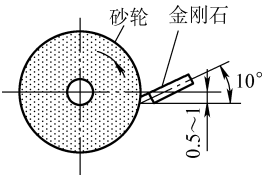


图 4-5 砂轮修整

表 4-2 金刚石颗粒大小的选择

砂轮直径/mm	金刚石颗粒大小/et ^①
200 以下	0.15 ~ 0.25
200 ~ 300	0.25 ~ 0.35
300 ~ 500	0.5 ~ 0.75
500 ~ 600	1.0 ~ 1.25
600 ~ 900	1.25 ~ 1.75

① et 是克拉，1et = 0.203g。

(2) 金刚石片状修整器

金刚石片状修整器由小的金刚石颗粒烧结而成。其规格的选用要根据砂轮直径大小来确定（表 4-3）。

表 4-3 金刚石片状修整器及其选用

磨削方法	砂轮直径/mm	砂轮粒度	金刚石片状修整器型号
外圆磨、平面磨、成形磨、外圆磨靠端面磨等，用于修整阶梯形、曲线	< 750	F36 ~ F60	YP ₁ -30
	< 600	F46 ~ F80	YP ₁ -50
	< 500	细于 F60	YP ₁ -80
外圆磨、平面磨、外圆磨靠端面等	400 ~ 900	F36 ~ F60	YP ₂ -30
		F46 ~ F80	YP ₂ -50
		细于 F60	YP ₂ -80
内圆磨、平面磨等	< 350	F36 ~ F60	YT-30
		F46 ~ F80	YT-50
		细于 F60	YT-80
平面磨及工具磨等修整圆弧	250 ~ 600	F36 ~ F60	FP ₁ -30
		F46 ~ F80	FP ₁ -50
		F60 以细	FP ₁ -80
外圆磨、无心磨等多砂轮磨削及筒形砂轮修整	400 ~ 1400	F36 ~ F60	FP ₂ -30
		F46 ~ F80	FP ₂ -50
		F60 以细	FP ₂ -80

(3) 金刚石笔

根据形状和结构不同金刚石笔又分为 L 型（链状）、C 型（层状）、F 型（粉状）。金刚石笔的选用见表 4-4。

表 4-4 金刚石笔及其选用

磨削方法	砂轮直径/mm	金刚石笔型号
外圆磨	900 ~ 1 100	L ₁ 、C ₁
	600 ~ 750	L ₂ 、C ₂ 、F-10
	300 ~ 500	L ₃ 、C ₃ 、F-8
	≤250	L ₄ 、C ₄

(续)

磨削方法		砂轮直径/mm	金刚石笔型号
平面磨		300 ~ 500	L ₁ 、L ₂ 、C ₂ 、F-8
		≤250	L ₃ 、C ₃ 、F-8
无心磨	磨削轮	300B ≤ 100	L ₃ 、C ₂ 、C ₃ 、F-8
		400 ~ 600B < 200	L ₂ 、F-10
		600B ≥ 400	L ₁
	导 轮	≤300B < 200 300 ~ 500B ≥ 250	L ₄ 、C ₄ L ₂ 、L ₃ 、F-8
内圆磨		12 ~ 60	L ₄ 、F-4
		70 ~ 150	L ₄ 、C ₄
		> 200	L ₃ 、L ₄ 、C ₄ 、F-8
磨沟槽		200	L ₄ 、C ₃
磨槽侧		200	F-8
齿轮磨		250	L ₃ 、C ₄ 、F-8
螺纹磨螺距 /mm	0.5	400	F100-4
	0.5 ~ 0.8	400	F100-4
	0.8 ~ 1.25	400	F80-4
	1.25 ~ 2.0	400	F60-4
	2.0 ~ 3.0	400	F46-4
	3 以上	400	F36-4

注：B—砂轮厚度。

4.1.3 常用磨削液的名称及性能（表 4-5）

表 4-5 常用磨削液的名称及性能

名称	原液组成（质量分数）（%）		使用性能
69-1 乳 化液	石油磺酸钡	10	用于磨削钢与铸铁件 原液配比 2% ~ 5%
	磺化蓖麻油	10	
	油酸	2.4	
	三乙醇胺	10	
	氢氧化钾	0.6	
	L-AN7 ~ 10 全损耗系统用油	余量	
NL 乳 化液	石油磺酸钠	36	乳化剂含量高，低浓度， 为浅色透明液
	蓖麻油酸钠皂	19	
	三乙醇胺	6	用于磨削钢铁及非铁金 属 原液配比 2% ~ 3%
	苯骈三氨唑	0.2	
	L-AN7 高速全损耗系统用油	余量	

(续)

名称	原液组成 (质量分数) (%)	使用性能
防锈乳 化液	石油磺酸钠 11 ~ 12 石油磺酸钡 8 ~ 9 环烷酸钠 12 三乙醇胺 1 L-AN15 全损耗系统用油 余量	用于磨削钢铁及光学玻 璃, 加入 0.3% 亚硝酸钠及 0.5% 碳酸钠于已配好的乳 化液中, 可进一步提高防 锈性能 原液配比 2% ~ 5%
半透明 乳化液	石油磺酸钠 39.4 三乙醇胺 8.7 油酸 16.7 乙酸 4.9 L-AN15 全损耗系统用油 余量	用于精磨, 配制时可加 0.2 苯乙醇胺 原液配比 2% ~ 3%
极压乳 化液	防锈甘油络合物(硼酸 62 份、甘油 92 份、45% 的氢氧化钠 65 份) 22.4 硫代硫酸钠 9.4 亚硝酸钠 11.7 三乙醇胺 7 聚乙二醇(相对分子质量 400) 2.5 碳酸钠 5 水 余量	有良好的润滑和防锈性 能, 多用于钢铁磨削原液 配比 5% ~ 10%
420 号 磨削液	甘油 0.5 三乙醇胺 0.4 苯甲酸钠 0.5 亚硝酸钠 0.8 ~ 1 水 余量	用于高速磨削与缓进给 磨削, 有时要加消泡剂, 如将甘油换为硫化油酸聚 氧乙烯醚可提高磨削效果, 如换为氯化硬脂酸聚氧乙 烯醚适于磨 I _h -738 叶片
3 号高 负荷磨削 液	硫化油酸 30 三乙醇胺 23.3 非离子型表面活性剂 16.7 硼酸盐 5 水 25 消泡剂(有机硅)另加 2.5/1000	具有良好的清洗、冷却 等性能有较高的极压性 (PK 值 > 2500N) 适用于缓进给强力磨削 原液配比 1.5% ~ 3%
H-1 精 磨液	蓖麻油顺丁烯二酸酐 二乙醇胺 三乙醇胺 癸二酸 硼酸	用于高精度磨床, 精密 磨削, 也适用于普通磨削, 可代替乳化液和苏打水 (不含亚硝酸钠) 原液配比 3% ~ 4%
磨削液	三乙醇胺 17.5 癸二酸 10 聚乙二醇(相对分子质量 400) 10 苯骈三氮唑 2 水 余量	用于磨削钢铁与非铁金 属不磨铜件, 可不加苯骈 三氮唑 原液配比 1% ~ 2%

4.2 外圆磨削

外圆磨削是对工件圆柱形和圆锥形外表面、多台阶轴外表面及旋转体外曲面进行的磨削。外圆磨削的粗糙度值 Ra 一般能达到 $0.32 \sim 1.25 \mu\text{m}$ 、加工公差等级为 IT6 ~ IT7 级。

4.2.1 工件的装夹

工件的装夹是否正确、稳固、迅速和方便，将直接影响工件的加工精度、表面粗糙度和生产效率。

工件的形状、尺寸、加工要求以及生产条件等具体情况不同，其装夹方法也不同。在外圆磨床上磨削外圆时，工件的装夹方法有以下几种。

(1) 前、后顶尖装夹^①

这种方法的特点是安装方便、定位精度高。装夹时，利用工件两端的中心孔，把工件支承在前顶尖和后顶尖之间，工件由头架的拨盘和拨杆带动夹头旋转（图 4-6），其旋转方向与砂轮旋转方向相同。磨削加工均采用固定顶尖（俗称死顶尖），它们固定在头架和尾架中，磨削时顶尖不旋转。这样头架主轴的径向圆跳动误差和顶尖本身同轴度误差就不再对工件的旋转运动产生影响。只要中心孔和顶尖的形状正确，安装得当，就可以使工件磨削的旋转轴线始终固定不变，获得较高的加工精度。

(2) 用自定心卡盘或单动卡盘装夹

1) 用自定心卡盘装夹。自定心卡盘能自动定心，工件装夹后一般不需找正，但在加工同轴度要求较高的工件时，也需逐件校正。它适用于装夹外形规则的零件如圆柱形、正三边形、正六边形等工件。

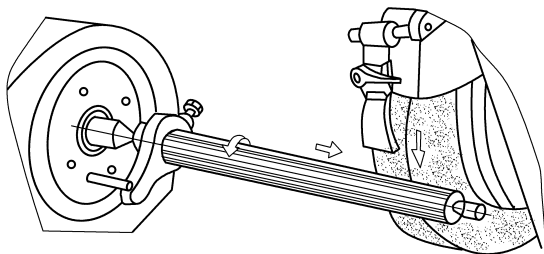


图 4-6 前、后顶尖装夹工件

自定心卡盘是通过法兰盘装到磨床主轴上的，法兰盘与卡盘通过“定心台阶”配合，然后用螺钉紧固。法兰盘的结构，根据磨床主轴结构不同而不同。带有锥柄的法兰盘（图 4-7），它的锥柄与主轴前端内锥孔配合，用通过主轴贯穿孔的拉杆拉紧法兰盘。带有内锥孔的法兰盘（图 4-8）它的内锥孔与主轴的外圆锥面配合，法兰盘用螺钉紧固在主轴前端的法兰上。安装时，需要用百分表检查它的端面圆跳动量，并校正跳动量不大于 0.015mm ，然后把卡盘安装在法兰盘上。

2) 用单动卡盘装夹。由于单动卡盘四个爪各自独立运动，因此工件装夹时必须将加工部分的旋转轴线找正到与磨床主轴旋转轴线重合后才能磨削。

单动卡盘的优点是夹紧力大，因此适用于装夹大型或形状不规则的工件。卡爪可装

① 中心孔的加工与修研见第 2 章。

成正爪或反爪使用。

单动卡盘与磨床主轴的连接方法和自定心卡盘连接方法相同。

(3) 用一夹一顶装夹

图4-9是一端用卡盘夹住,另一端用后顶尖顶住的方法。这种方法装夹牢固、安全、刚性好。但应保证磨床主轴的旋转轴线与后顶尖在同一直线上。

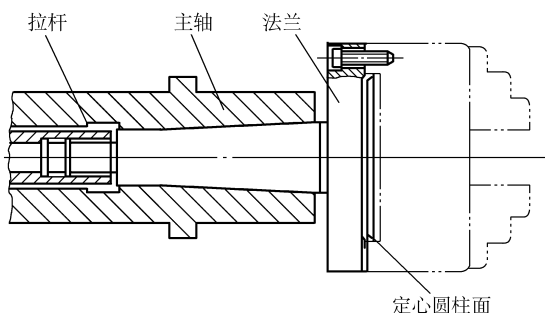


图 4-7 带锥柄的法兰盘

(4) 用心轴和堵头装夹

磨削中有时会碰到一些套类零件,而且多数要求要保证内外圆同轴度。这时一般都是先将工件内孔磨好,然后再以工件内表面为定位基准磨外圆。这时就需要使用心轴装夹工件。

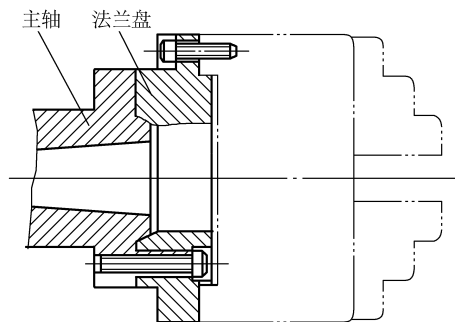


图 4-8 带锥孔的法兰盘

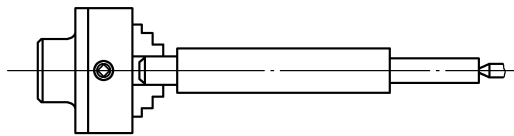


图 4-9 一夹一顶安装工件

心轴两端做有中心孔,将心轴装夹在机床前后顶尖中间,工件则夹在心轴外圆上,这样就可以进行外圆磨削。心轴一端也可是与磨床头架主轴莫氏锥度相配合的锥柄,可装夹在磨床头架主轴锥孔中。

应用心轴和堵头装夹磨削,一定要将工件所需加工外圆表面及端面全部磨削完成,才能拆卸,绝对不可在中途松动心轴和两堵头,这样将无法保证加工精度要求。

1) 用台阶式心轴装夹工件(图4-10)。这种心轴的圆柱部分与零件孔之间保持较小间隙配合,工件靠螺母压紧,定位精度较低。

2) 用小锥度心轴装夹工件(表2-25小锥度心轴装夹图)。心轴锥度为1:1000~1:5000。这种心轴制造简单,定位精度高。靠工件装在心轴上所产生的弹性变形来定位并胀紧工件。缺点是承受切削力小,装夹不太方便。

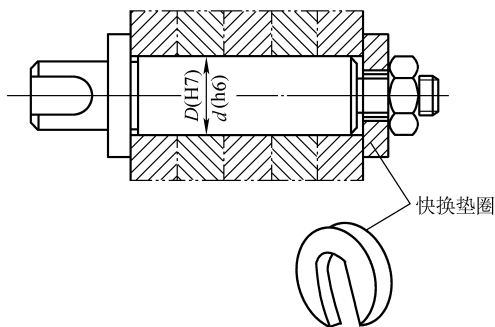


图 4-10 用台阶式心轴装夹工件

3) 用胀力心轴装夹工件（表 2-25 胀力心轴装夹图）。胀力心轴依靠材料弹性变形所产生的胀力来固定工件，由于装夹方便，定位精度高，目前使用较广泛。零星工件加工用胀力心轴可采用铸铁作成。

4) 用堵头装夹工件。磨削较长的空心工件，不便使用心轴装夹，这时可在工件两端装上堵头，堵头上有中心孔，可代替心轴装夹工件。如图 4-11 左端的堵头 1 压紧在工件孔中，右端堵头 2 以圆锥面紧贴在工件锥孔中，堵头上的螺纹供拆卸时用。

如图 4-12 是法兰盘式堵头，适用于两端孔径较大的工件。

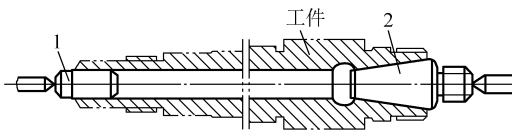


图 4-11 圆柱、圆锥堵头

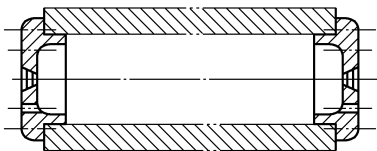


图 4-12 法兰盘式堵头

4.2.2 砂轮的选择

外圆磨削应根据所加工工件的材料及技术要求、选择适当磨料、粒度、硬度、结合剂的砂轮。一般加工可参考表 4-6 选用。

表 4-6 磨外圆砂轮的选择

加工材料	磨削 要求	砂轮的特性				加工材料	磨削 要求	砂轮的特性			
		磨料	粒度号	硬度	结合剂			磨料	粒度号	硬度	结合剂
未淬火的 碳钢及 合金钢	粗 磨	A	36 ~ 46	M ~ N	V	调质的 合金钢	粗 磨	WA	40 ~ 60	L ~ M	V
	精 磨	A	46 ~ 60	M ~ Q	V		精 磨	PA	60 ~ 80	M ~ P	V
软青铜	粗 磨	C	24 ~ 36	K	V	淬火的 碳钢及 合金钢	粗 磨	WA	46 ~ 60	K ~ M	V
	精 磨	C	46 ~ 60	K ~ M	V		精 磨	PA	60 ~ 100	L ~ N	V
不锈钢	粗 磨	SA	36	M	V	渗氮钢 (38CrMoAlA)	粗 磨	PA	46 ~ 60	K ~ N	V
	精 磨	SA	60	L	V		精 磨	SA	60 ~ 80	L ~ M	V
铸 铁	粗 磨	C	24 ~ 36	K ~ L	V	高速钢	粗 磨	WA	36 ~ 46	K ~ L	V
	精 磨	C	60	K	V		精 磨	PA	60	K ~ L	V
纯 铜	粗 磨	C	36 ~ 46	K ~ L	B	硬质合金	粗 磨	GC	46	K	V
	精 磨	MA	60	K	V		精 磨	SD	100	K	B
硬青铜	粗 磨	WA	24 ~ 36	L ~ M	V						
	精 磨	PA	46 ~ 60	L ~ P	V						

4.2.3 外圆磨削砂轮速度的选择（表 4-7）

表 4-7 外圆磨削砂轮速度的选择

砂轮速度/（m/s）	陶瓷结合剂砂轮	≤35
	树脂结合剂砂轮	<50

4.2.4 外圆磨削余量的合理选择（表 4-8）

表 4-8 外圆磨削余量(直径余量) (单位: mm)

工件直径	余量 限度	磨 削 前								粗磨后 精磨前	精磨后 研磨前
		未经热处理的轴				经热处理的轴					
		轴 的 长 度									
		100 以下	101 ~ 200	201 ~ 400	401 ~ 700	100 以下	101 ~ 300	301 ~ 600	601 ~ 1000		
≤10	max min	0.20 0.10	— —	— —	— —	0.25 0.15	— —	— —	— —	0.020 0.015	0.008 0.005
11 ~ 18	max min	0.25 0.15	0.30 0.20	— —	— —	0.30 0.20	0.35 0.25	— —	— —	0.025 0.020	0.008 0.006
19 ~ 30	max min	0.30 0.20	0.35 0.25	0.40 0.30	— —	0.35 0.25	0.40 0.30	0.45 0.35	— —	0.030 0.025	0.010 0.007
31 ~ 50	max min	0.30 0.20	0.35 0.25	0.40 0.30	0.45 0.35	0.40 0.25	0.50 0.30	0.55 0.40	0.70 0.50	0.035 0.028	0.010 0.008
51 ~ 80	max min	0.35 0.20	0.40 0.25	0.45 0.30	0.55 0.35	0.45 0.30	0.55 0.35	0.65 0.45	0.75 0.50	0.035 0.028	0.013 0.008
81 ~ 120	max min	0.45 0.25	0.50 0.35	0.55 0.35	0.60 0.40	0.55 0.35	0.60 0.40	0.70 0.45	0.80 0.45	0.040 0.032	0.014 0.010
121 ~ 180	max min	0.50 0.30	0.55 0.35	0.60 0.40	— —	0.60 0.40	0.70 0.50	0.80 0.55	— —	0.045 0.038	0.016 0.012
181 ~ 260	max min	0.60 0.40	0.60 0.40	0.65 0.45	— —	0.70 0.50	0.75 0.55	0.85 0.60	— —	0.050 0.040	0.020 0.015

4.2.5 外圆磨削的质量分析（表 4-9）

表 4-9 外圆磨削的质量分析

工件缺陷	产生原因及解决方法
表 面 直 波 纹	1) 砂轮不平衡转动时产生振动。注意保持砂轮平衡：新砂轮需经二次静平衡；砂轮在使用过程出现不平衡，需要作静平衡；砂轮停车前先关掉切削液，让砂轮空转几分钟后再停车
	2) 砂轮硬度过高或砂轮本身硬度不均匀
	3) 砂轮用钝后没有及时修整
	4) 砂轮修得过细或金刚石顶角已磨钝，修出砂轮不锋利
	5) 工件转速过高或中心孔有毛刺
	6) 工件直径质量过大，不符合机床规格。这时可降低切削用量，增加支承架
	7) 砂轮主轴承磨损，配合间隙过大
	8) 头架主轴承松动
	9) 电动机不平衡
	10) 进给导轨磨损
	11) 机床结合面有松动。检查拨杆、顶尖、套筒等
	12) 油泵振动
	13) 传动带长短不均匀
	14) 砂轮卡盘与主轴锥度接触不好

(续)

工件缺陷		产生原因及解决方法
表面螺旋纹		1) 砂轮硬度过高或砂轮两边硬度高,修得过细,而背吃刀量过大 2) 纵向进给量过大 3) 砂轮磨损,母线不直 4) 修整砂轮和磨削时切削液供应不足 5) 工作台导轨润滑油过多,使台面运行产生摆动 6) 工作台运行有爬行现象。可打开放气阀排除液压系统中的空气或检修机床 7) 砂轮主轴轴向窜动超差 8) 砂轮主轴与头尾架轴线不平行 9) 修整时金刚石运动轴线与砂轮轴线不平行
表面烧伤		1) 砂轮太硬或粒度太细 2) 砂轮修得过细,不锋利或砂轮太钝 3) 切削用量过大或工件速度过低 4) 磨削液不充分
圆柱度超差	锥度	1) 工件旋转轴线与工作台运动方向不平行 2) 工件和机床的弹性变形发生变化。校正锥度时,砂轮一定要锋利,工作过程也要保持砂轮锋利状态 3) 工作台导轨润滑油过多
	鼓形	1) 工件刚度差,磨削时产生让刀现象。减少工件的弹性变形;减少背吃刀量,增加光磨次数;砂轮经常保持良好的切削性能;应使用中心架 2) 中心架调整不适当。正确调整支承块的压力 3) 机床导轨水平面内直线度超差
	鞍形	1) 磨细长轴时,顶尖顶得太紧工件弯曲变形。调整尾架顶尖预紧力 2) 中心架水平支承块压力过大 3) 机床导轨水平面内直线度超差
两端尺寸较小(或较大)		1) 砂轮越出工件端面太多(或太少)。正确调整换向撞块,砂轮越出工件端面约为 $1/3 \sim 1/2$ 砂轮宽度 2) 工作台换向停留时间太长(或太短)
轴肩旁外圆尺寸较大		1) 换向时工作台停留时间太短 2) 砂轮边角磨损或母线不直
台肩端面跳动超差		1) 吃刀过大,退刀过快。进刀时要均匀,光磨时间要充分 2) 切削液不充分 3) 砂轮主轴轴向窜动超差 4) 头架主轴止推轴承间隙过大
端面与轴线的垂直度超差		1) 砂轮轴线与工件轴线平行度超差 2) 砂轮接触面较大。修整砂轮成内凹形,使砂轮接触工件宽度小于 2mm

(续)

工件缺陷	产生原因及解决方法
圆度超差	1) 中心孔形状不正确或中心孔内有污垢毛刺 2) 中心孔或顶尖因润滑不良而磨损 3) 工件顶得过紧或过松 4) 顶尖锥孔接触不好, 有松动 5) 工件刚度差而毛坯形状误差又大, 在磨削时因余量不均匀而引起背吃刀量变化, 使工件弹性变形发生相应变化, 磨削后未能消除原来全部误差。正确控制磨削用量, 进给量应从大到小, 并增加光磨行程 6) 工件不平衡量过大, 在运转时产生跳动, 磨削后产生椭圆 7) 砂轮主轴与轴承配合间隙过大 8) 尾架套筒间隙过大 9) 消除横进给机构螺母间隙的压力太小或没有 10) 用卡盘装夹磨削外圆时, 头架主轴径向圆跳动过大 11) 砂轮过钝
阶梯轴同轴度超差	1) 与圆度超差原因 1) ~4) 相同 2) 磨削步骤安排不当。各段同轴度要求高的工件, 应分粗磨和精磨, 同时尽可能在一次装夹中精磨完毕
拉毛划伤	1) 切削液不清洁 2) 砂轮硬度太软 3) 工件对砂轮磨料不适应

4.3 内圆磨削

内圆磨削是对工件圆柱孔、圆锥孔、孔端面 and 特殊形状内孔表面进行的磨削。内圆磨削的粗糙度值 Ra 一般能达到 $0.02 \sim 0.01 \mu\text{m}$, 加工公差等级为 IT6 ~ IT7 级。

4.3.1 工件的装夹

(1) 用自定心卡盘或单动卡盘装夹

内圆磨削用自定心卡盘或单动卡盘装夹工件的方法与外圆磨削基本相同。与其磨床主轴联接所用法兰盘形式也相同。

(2) 用花盘装夹

花盘主要用于装夹各种外形比较复杂的工件。通过花盘上的 T 形槽、通孔 (或螺孔)。将校正后的工件用螺栓、压板紧固在花盘上。在装夹不对称工件时应在花盘上加一配重块, 并适当调整它的位置 (图 4-13), 使花盘保持平衡。根据加工的需要也可采用花盘与角铁结合的方法装夹工件 (图 4-14)。

(3) 用卡盘和中心架装夹 (图 4-15)

磨削较长的轴套类工件内孔时, 可采用卡盘和中心架装夹工件, 以提高工件安装定

位的稳定性。中心架则采用闭式中心架。

1) 闭式中心架的结构(图4-16)。闭式中心架由架体1、上盖9和爪8等组成。架体1用L形螺钉2紧固在工作台面上,上盖9与架体1用柱销铰链11连接。磨削时,上盖盖住,并用螺母7和螺钉6加以固定;装卸工件时,拧松螺母7并将螺钉6向外翻转,上盖便可打开。利用捏手3转动螺杆4可调节爪8的位置,爪的支承圆需调整至与卡盘中心一致。

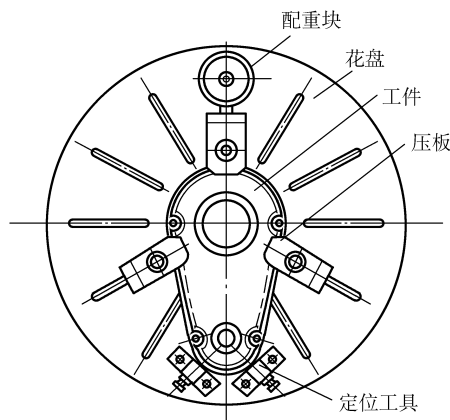


图 4-13 用花盘装夹工件

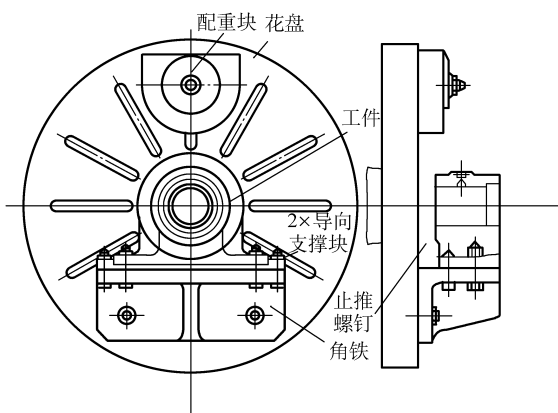


图 4-14 用花盘和角铁装夹工件

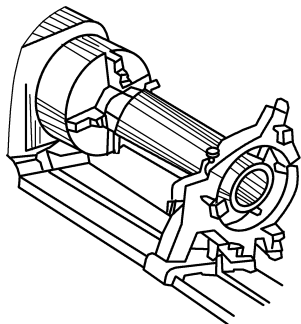


图 4-15 用卡盘和中心架装夹工件

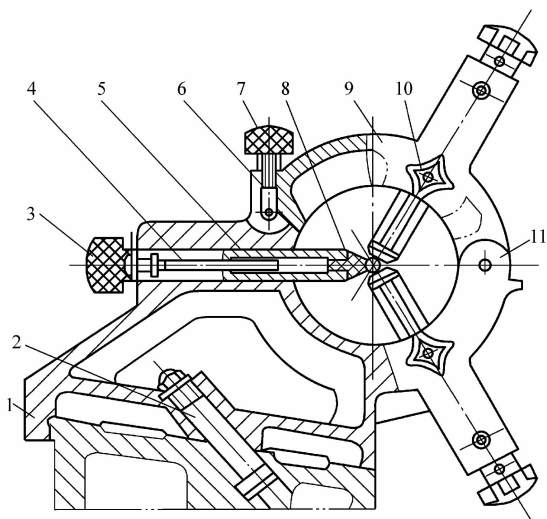


图 4-16 闭式中心架

- 1—架体 2—螺钉 3—捏手 4—螺杆 5—支承
6—螺钉 7—螺母 8—爪 9—上盖
10—夹紧捏手 11—铰链

2) 闭式中心架的调整方法:

① 工件较短而且工件外圆的两端已粗磨或精磨好。可先将工件夹紧在单动卡盘上,校正工件左右两端的径向圆跳动量在 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ 内。这时工件的中心线与头架主轴的中心线已重合,然后调整中心架的三个支承爪,使它们与工件轻轻接触。为了防止中心走动,在调整时,需要用百分表进行测量(图4-17)。调整下面一个支承爪时,百分表要顶在工件外圆的上侧,调整侧面一个支承爪时,百分表顶在支承爪同侧的工件的外圆上。将两个支承爪调整到要求的位置后,把上盖盖好,用上支承爪轻轻支牢工件。三个支承爪都支承工件后,用锁紧螺钉锁紧,调整即结束。

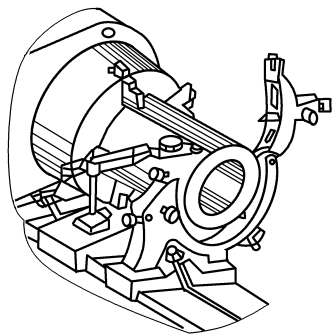


图 4-17 调整中心架

② 工件较长而且工件外圆的两端已粗磨或精磨好。可采用简便方法调整中心架,即利用万能磨床的尾座进行校正。将工件一端用卡盘夹紧,另一端用后顶尖顶住,然后调整中心架的三个支承爪,使它们轻轻地与工件外圆接触,中心架调好后,从工作台上取下尾座,就可以进行磨削了。

(4) 薄壁工件的装夹

1) 用开口套装夹工件(图4-18)。由于开口套与工件的接触面积大,夹紧力均匀分布在工件上,所以工件不易产生变形,能达到较高的同轴度。

2) 用花盘装夹工件(图4-19)。对于直径较大,尺寸精度和形状位置精度要求较高的薄壁圆盘类工件,可装夹在花盘上磨削,采用端面压紧方法,工件不易产生变形。

3) 用专用夹具装夹工件(表2-25)。依据加工零件的特点设计制作专用夹具,工件装入夹具体孔中(用外圆和端面定位),用锁紧螺母将工件轴向夹紧,可防止工件变形。

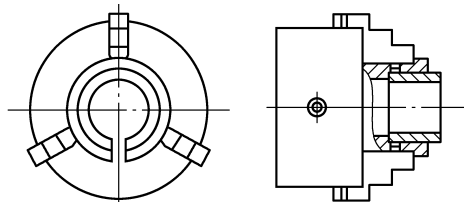


图 4-18 用开口套
装夹工件

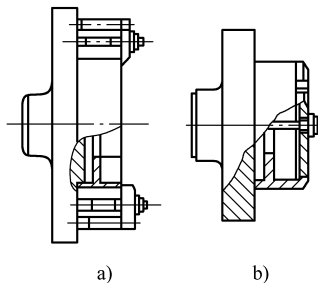


图 4-19 用花盘装夹工件
a) 磨内孔 b) 磨外圆

4.3.2 内圆磨削砂轮的选择及安装

(1) 砂轮的选择

内圆磨削时，由于磨径的限制，所用砂轮直径与外圆磨削相比较小，砂轮转速又受到内圆磨具转速的限制（目前一般内圆磨具的转速在 10000 ~ 20000r/min 之间），因此磨削速度一般在 20 ~ 30m/s 之间。由于磨削速度较低、磨削表面粗糙度值不易减小。

内圆磨削时，由于砂轮与工件成内切圆接触，砂轮与工件的接触弧比外圆磨削大，因此磨削热和磨削力均较大，磨粒容易磨钝，工件容易发热或烧伤。

内圆磨削时，切削液不易进入磨削区域，磨屑也不易排出，影响砂轮磨削性能。

内圆磨削时，砂轮接长轴的刚性比较差，容易产生弯曲变形和振动，对加工精度和表面粗糙度都有很大影响，同时也限制了磨削用量的提高。

综上内圆磨削的基本特点，因此，内圆磨削对砂轮选择，即要保证有理想的磨削速度，又要保证在磨削中有合理的切削力、切削热及排屑、冷却润滑等。

内圆砂轮的选择可参考表 4-10 选取。

表 4-10 磨内圆砂轮的选择 (单位：mm)

(1) 内圆砂轮直径的选择					
被磨孔的直径	砂轮直径		被磨孔的直径	砂轮直径	
12 ~ 17	10		45 ~ 55	40	
17 ~ 22	15		55 ~ 70	50	
22 ~ 27	20		70 ~ 80	65	
27 ~ 32	25		80 ~ 100	75	
32 ~ 45	30		100 ~ 125	85	
(2) 内圆砂轮宽度的选择					
磨削长度	14	30	45	> 50	
砂轮宽度	10	25	32	40	
(3) 内圆砂轮的选择					
加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨料	粒度号	硬度	结合剂
未淬火的碳素钢	粗磨	A	24 ~ 46	K ~ M	V
	精磨	A	46 ~ 60	K ~ N	V
铝	粗磨	C	36	K ~ L	V
	精磨	C	60	L	V
铸铁	粗磨	C	24 ~ 36	K ~ L	V
	精磨	C	46 ~ 60	K ~ L	V

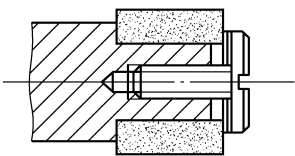
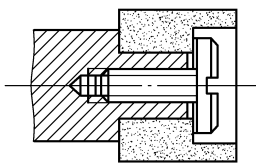
(续)

(3) 内圆砂轮的选择					
加工材料	磨削要求	砂轮的特性			
		磨料	粒度号	硬度	结合剂
纯铜	粗磨	A	16 ~ 24	K ~ L	V
	精磨	A	24	K ~ M	B
硬青铜	粗磨	A	16 ~ 24	J ~ K	V
	精磨	A	24	K ~ M	V
调质合金钢	粗磨	A	46	K ~ L	V
	精磨	WA	60 ~ 80	K ~ L	V
淬火的碳钢及合金钢	粗磨	WA	46	K ~ L	V
	精磨	PA	60 ~ 80	K ~ L	V
渗氮钢	粗磨	WA	46	K ~ L	V
	精磨	SA	60 ~ 80	K ~ L	V
高速钢	粗磨	WA	36	K ~ L	V
	精磨	PA	24 ~ 36	M ~ N	B

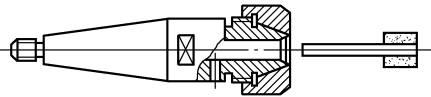
(2) 砂轮的安装

内圆砂轮一般都安装在砂轮接长轴的一端，而接长轴的另一端与磨头主轴联接。也有些磨床内圆砂轮是直接安装在内圆磨具的主轴上。砂轮紧固方法有螺纹紧固和粘结剂紧固两种方法见表 4-11。

表 4-11 磨内孔砂轮的安装

安装方法	图 示	应注意的问题
用螺纹紧固	 平行砂轮	1) 因螺纹有较大的夹紧力，故可以使砂轮安装得比较牢固 2) 砂轮内孔与接长轴的配合间隙要适当，一般不超过 0.2mm 3) 砂轮的两个端面必须垫上厚度为 0.2 ~ 0.3mm 纸片或软性衬垫，这样可以使砂轮受力均匀，紧固可靠
	 单面凹砂轮	4) 接长轴端面要平整，与砂轮接触面不能太小 5) 紧固螺钉的承压端面与螺纹要垂直。螺钉的螺旋方向应与砂轮旋转方向相反

(续)

安装方法	图 示	应注意的问题
用粘结剂紧固		1) 直径 $\phi 15\text{mm}$ 以下的小砂轮, 常用粘结剂紧固 2) 砂轮内孔与接长轴的配合间隙要适当, 一般应为 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。接长轴外圆表面应粗糙或压成网纹状 3) 常用的粘结剂是用磷酸溶液 (H_3PO_4) 和氧化铜 (CuO) 粉末调配而成的一种糊状混合物。粘接时, 粘结剂应涂满砂轮与接长轴外圆之间的间隙, 待自然干燥或烘干, 冷却 5min 左右即可

(3) 砂轮接长轴

在内圆磨床或万能外圆磨床上都使用接长轴安装砂轮。常用的接长轴形式见图 4-20, 各类接长轴可以按经常被磨孔的孔径和长度配制成不同规格, 以备应用。

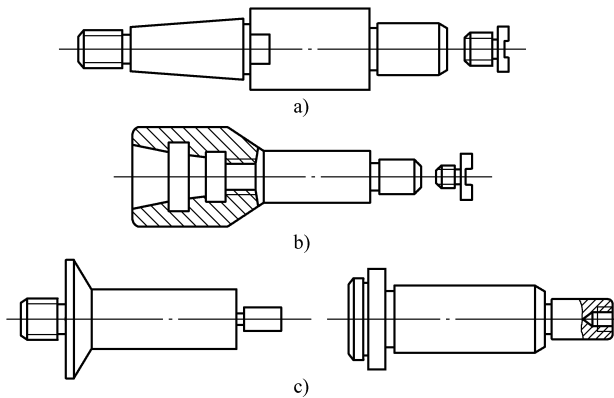


图 4-20 内圆砂轮接长轴

a) 锥柄接长轴 b) 锥孔接长轴 c) 圆柱柄接长轴

接长轴在自行制作时, 应注意以下几点:

- 1) 接长轴材料常用 40Cr 钢, 为提高刚性可采用 W18Cr4V 高速钢。
- 2) 保证接长轴上各段外圆与锥面的同轴度。接长轴锥面与磨床主轴锥面配合精度要高, 一般接长轴外锥为莫氏或 $1:20$ 锥体, 其配合面积不小于 85% 。
- 3) 接长轴上螺纹旋向应与砂轮旋向相反。
- 4) 在保证加工需要的情况下, 为提高刚性, 接长轴伸出磨头主轴外的杆身长度, 应尽可能短, 其直径大小则取决于采用砂轮的尺寸。

接长轴上应加工出削扁部位, 便于装拆时使用。

(4) 内圆砂轮的修整

在内圆磨削过程中，要及时修整砂轮，使砂轮经常保持锋利状态。

内圆砂轮通常用金刚石笔进行修整，修整用的金刚石笔尖必须锋利，笔尖的位置要顺着砂轮旋转方向向下偏移1~1.5mm，且金刚石笔轴线要与砂轮水平中心线成12°~15°夹角（图4-21）。

修整直径较小的砂轮，应将主轴缩短，以增强接长轴的刚性，确保修出正确形状的砂轮。

当修整新安装的内圆砂轮时，可先用碳化硅砂轮的碎块对砂轮作粗略的修整，这样可以避免砂轮与接长轴因同轴度误差而引起的砂轮跳动，保证砂轮用金刚石笔修整时的平稳性。用砂轮碎块修整时应注意安全操作，砂轮旋转时用点动法。

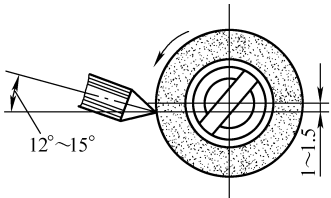


图 4-21 内圆砂轮的修整

4.3.3 内圆磨削砂轮速度的选择（表4-12）

表 4-12 内圆磨削砂轮速度的选择

砂 轮 直 径 /mm	<8	9~12	13~18	19~22	23~25	26~30	31~33	34~41	42~49	>50
磨钢、铸铁时的速度 /(m/s)	10	14	18	20	21	23	24	26	27	30

4.3.4 内圆磨削余量的合理选择（表4-13）

表 4-13 内圆磨削余量的合理选择（直径余量）（单位：mm）

孔径范围 /mm	余量 限度	磨 削 前								粗磨后 精磨前
		未经淬火的孔				经淬火的孔				
		孔 长/mm								
		< 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	< 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	
≤10	max	—	—	—	—	—	—	—	—	0.020
	min	—	—	—	—	—	—	—	—	0.015
11 ~ 18	max	0.22	0.25	—	—	0.25	0.28	—	—	0.030
	min	0.12	0.13	—	—	0.15	0.18	—	—	0.020
19 ~ 30	max	0.28	0.28	—	—	0.30	0.30	0.35	—	0.040
	min	0.15	0.15	—	—	0.18	0.22	0.25	—	0.030
31 ~ 50	max	0.30	0.30	0.35	—	0.35	0.35	0.40	—	0.050
	min	0.15	0.15	0.20	—	0.20	0.25	0.28	—	0.040
51 ~ 80	max	0.30	0.32	0.35	0.40	0.40	0.40	0.45	0.50	0.060
	min	0.15	0.18	0.20	0.25	0.25	0.28	0.30	0.35	0.040
81 ~ 120	max	0.37	0.40	0.45	0.50	0.50	0.50	0.55	0.60	0.070
	min	0.20	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	0.35	0.40	0.050

(续)

孔径范围 /mm	余量 限度	磨 削 前								粗磨后 精磨前
		未经淬火的孔				经淬火的孔				
		孔 长/mm								
		< 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	< 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	
121 ~ 180	max	0.40	0.42	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.080
	min	0.25	0.25	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.060
181 ~ 260	max	0.45	0.48	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.090
	min	0.25	0.28	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.065

注：表中推荐的数据，适合成批生产，要求有完整的工艺装备和合理的工艺规程，可根据具体情况选用。

4.3.5 内圆磨削的质量分析（表 4-14）

表 4-14 内圆磨削的质量分析

工件缺陷		产生原因和解决方法		工件缺陷		产生原因及解决方法	
圆 度 超 差		1) 床头的主轴轴承回转精度超差 2) 工件毛坯精度太差，吃刀又过大 3) 工件装夹有变形 4) 工件热变形 5) 砂轮切削性能差或不锋利		圆 柱 度 超 差	鼓 形 或 鞍 形	1) 工作台在水平方向运动精度不好 2) 砂轮往复行程和换向停留时间选择不当。向孔两端加大往复行程能纠正腰鼓形缺陷，向孔两端缩小往复行程能纠正鞍形缺陷	
圆 柱 度 超 差	锥 度	1) 工件旋转轴与工作台运动方向不平行 2) 工件和砂轮间的弹性变形发生变化。保持砂轮锋利状态 3) 砂轮往复行程和换向停留时间选择不当，往复行程应向锥孔小端方向延伸		表面烧伤		1) 工件和砂轮接触面积太大，冷却不充分 2) 其他见表 4-9	
				表面其他缺陷		与外圆磨削相同，见表 4-9	

4.4 圆锥面磨削

4.4.1 圆锥面的磨削方法

磨削圆锥面时，一般要使工件旋转轴线相对于工作台运动方向偏斜一个圆锥半角。即圆锥母线与圆锥轴线之间的夹角（ $\alpha/2$ ）。这是外圆锥磨削和内圆锥磨削共同的特点。

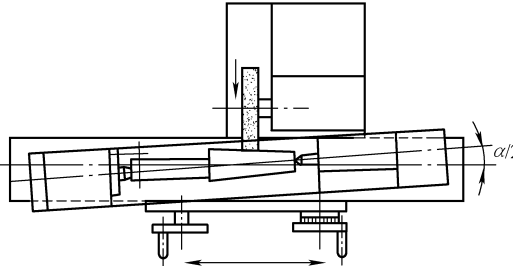
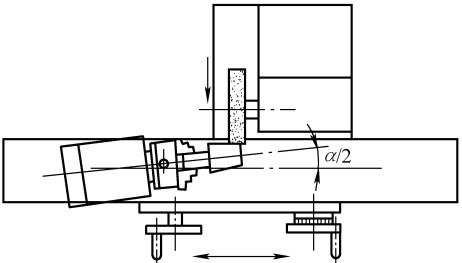
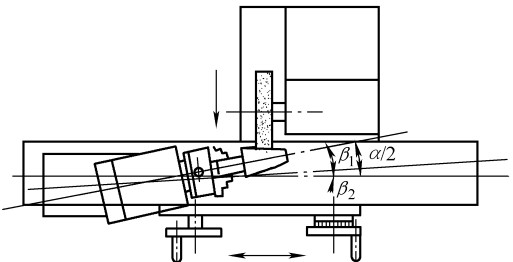
(1) 外圆锥面的磨削

外圆锥面一般在外圆磨床或万能外圆磨床上磨削，根据工件形状和锥（角）度的大小不同，采用不同的方法，见表 4-15。

(2) 内圆锥面的磨削

内圆锥面一般在内圆磨床或万能外圆磨床上磨削。磨内圆锥的原理与磨外圆锥的原理相同，常用的方法见表 4-16。

表 4-15 外圆锥面磨削的几种方法

磨削方法	图 示	说 明
转动工作 台磨外圆锥 面		<p>这种方法适用于锥度不大的外圆锥面。磨削时，把工件装夹在两顶尖之间，将上工作台相对下工作台逆时针转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角）即可</p> <p>磨削时，一般采用纵磨法。工作台转动角度时，应按工作台右端标尺上的刻度（标尺右边的刻度为锥度，左边为相应的角度），但按刻度转动角度，并不十分精确，必须经试磨后再进行调整</p> <p>在顶尖距为 1m 的外圆磨床上，工作台回转角度逆时针一般为 $6^\circ \sim 9^\circ$，顺时针为 3°。因此，用这种方法只能磨削圆锥角小于 $12^\circ \sim 18^\circ$ 的外圆锥</p> <p>这种方法工件装夹简单，机床调整方便，精度容易保证</p>
转动头架 磨外圆锥面		<p>当工件的圆锥半角超过上工作台所能回转的角度时，可采用转动头架的方法来磨削外圆锥面。此法是把工件装夹在头架卡盘中，将头架逆时针转过 $\alpha/2$（工件圆锥半角）即可。角度值可从头架下面底座刻度盘上确定。但是，头架刻度并不十分精确，必须经试磨后再进行调整</p>
同时转动 工作台和头 架磨外圆锥 面		<p>当采用转动头架磨外圆锥面时，有时遇到工件伸出较长，或外圆锥较大，砂轮架已退到极限位置，工件与砂轮相碰不能磨削，如果距离相差又不多时，可采用这种方法，即把上工作台逆时针偏移一个角度 β_2 这样使头架转动角度比原来小些。这样工件相对就退出了一些。这时头架转动的角度 β_1 跟工作台转过的角度 β_2 之和应等于 $\alpha/2$（工件圆锥半角）</p>

(续)

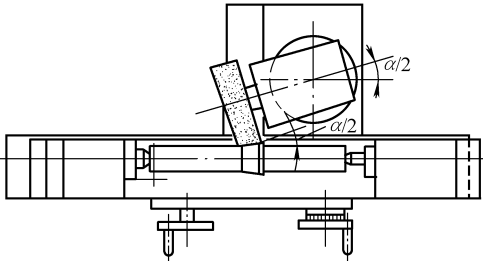
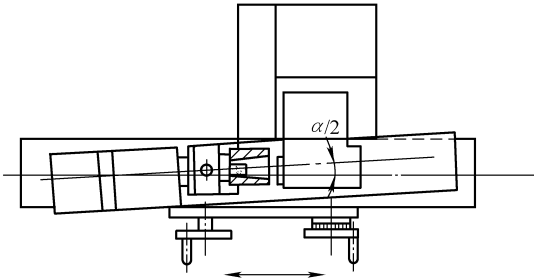
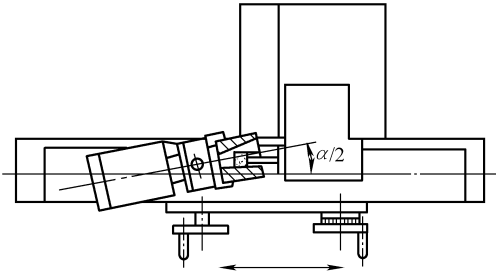
磨削方法	图 示	说 明
转动砂轮架磨外圆锥面		<p>这种方法适用于磨削锥度较大而又较长的工件。这种方法砂轮架应转过 $\alpha/2$ (工件圆锥半角), 磨削时必须注意工作台不能作纵向进给, 只能用砂轮的横向进给来进行磨削。当工件圆锥母线长度大于砂轮的宽度时, 只能用分段接刀的方法进行磨削</p> <p>修整砂轮时必须将砂轮架转回到“零位”, 这样来回调整比较麻烦。而且磨削时工作台不能纵向运动, 这样会影响加工精度和表面粗糙度值, 所以一般情况下很少采用</p>

表 4-16 内圆锥面磨削的几种方法

磨削方法	图 示	说 明
转动工作台磨内圆锥面		<p>将工作台转过 $\alpha/2$ (工件圆锥半角)。工作台作纵向往复运动, 砂轮作横向进给</p> <p>这种方法仅限于磨削圆锥角小于 18° (因受工作台转角限制), 较长的内圆锥</p>
转动头架磨内圆锥面		<p>将头架转过 $\alpha/2$ (工件圆锥半角)。工作台作纵向往复运动, 砂轮作微量横向进给</p> <p>这种方法适用于锥度较大、长度较短的内圆锥</p>

(续)

磨削方法	图 示	说 明
转动头架 磨内圆锥面		若工件两端有左右对称的内圆锥时，先把外端内圆锥面磨削正确，不变动头架的角度，将内圆砂轮摇向对面，再磨削里面一个内圆锥。这样可以保证两内圆锥的同轴度

4.4.2 圆锥面的精度检验

工件在磨削时和加工完成后都要进行精度检验，圆锥面的精度检验包括锥度（或角度）的检验和圆锥尺寸的检验。

锥度或角度的精度通常可用游标万能角尺、角度样板、正弦规和圆锥量规等量具量仪来测量检验。

其中圆锥量规见图 4-22，它除了有一个精确的圆锥形表面外，在塞规和套规上分别具有一个台阶 a （或刻线 m ）。这台阶（或刻线）距离就是检验工件圆锥大端和小端直径的公差范围。

当锥度已磨准确，检验工件时，工件端面在锥度量规台阶（或刻线）之间才算合格。见图 4-23（这种检验方法在工厂俗称综合测量方法）。

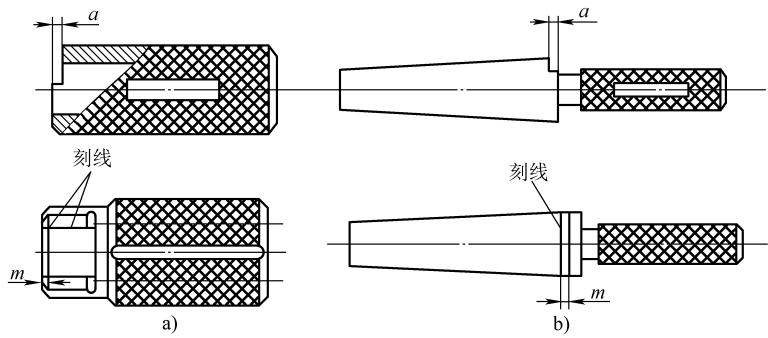


图 4-22 圆锥量规

a) 圆锥套规 b) 圆锥塞规

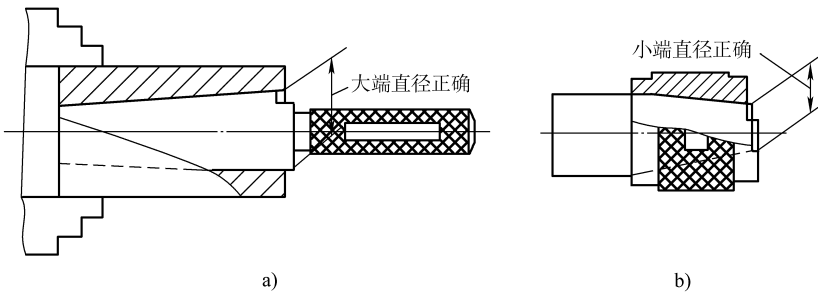
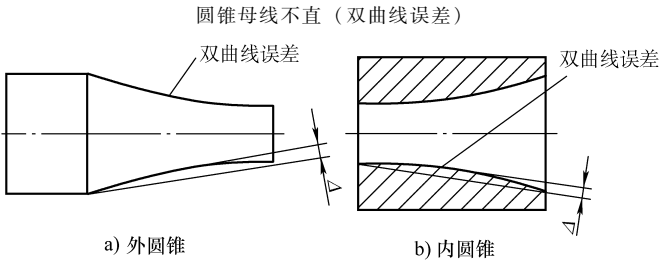


图 4-23 用锥度量规测量
a) 测量锥孔 b) 测量外锥体

4.4.3 圆锥面磨削的质量分析（表 4-17）

表 4-17 圆锥面磨削质量分析

废品名称	产生原因	预防方法
锥度不正确	磨削时，因显示剂涂得太厚或用圆锥量规测量时摇晃造成测量误差。没有将工作台、头架或砂轮架角度调整正确	显示剂应涂得极薄和均匀，圆锥量规测量时不能摇晃，转动角度要在 $\pm 30^\circ$ 以内。应确实测量准确后，固定工作台、头架或砂轮架的位置再进行磨削
	用磨钝的砂轮磨削时，因弹性变形的影响，使锥度发生变动	经常修整砂轮。精磨时需光磨到火花基本消失为止
	磨削直径小而长的内锥体时，由于砂轮接长轴细长，刚性差，再加上砂轮圆周速度低，切削能力差而引起	砂轮接长轴尽量选得短而粗些；减小砂轮宽度；精磨余量留少些
圆锥母线不直（双曲线误差）	砂轮架（或内圆砂轮轴）的旋转轴线与工件旋转轴线不等高而引起	修理或调整机床，使砂轮架（或内圆砂轮轴）的旋转轴线与工件的旋转轴线等高

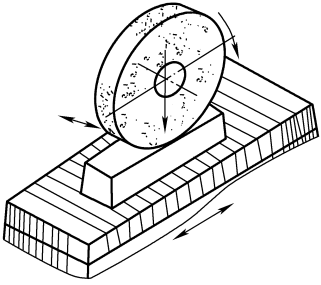
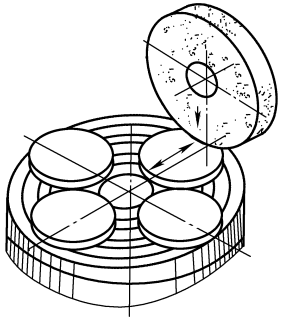
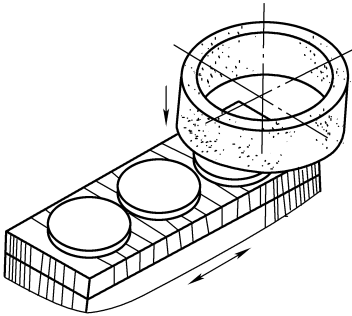


4.5 平面磨削

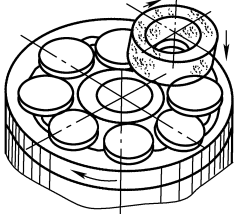
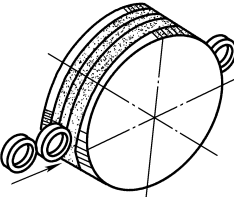
在平面磨床上磨削平面，精度一般可达公差等级 IT7 ~ IT6 级，表面粗糙度 Ra 为 $0.63 \sim 0.16 \mu\text{m}$ 。精密平面磨床，磨削表面粗糙度 Ra 可达 $0.1 \mu\text{m}$ ，平行度误差在 1000mm 长度内为 0.01mm。

4.5.1 平面磨削形式及特点（表 4-18）

表 4-18 平面磨削形式及特点

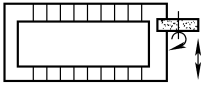
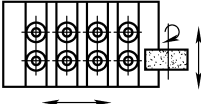
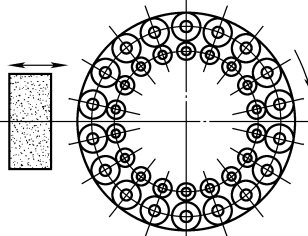
磨削形式	图 示	特 点	磨床类型
圆周磨削		用砂轮圆周面磨削平面时，砂轮与工件的接触面较小，磨削时的冷却和排屑条件较好，产生的磨削力和磨削热也较小，因此，有利于提高工件的磨削精度这种磨削方式适用于精磨各种平面零件，一般能达到 $0.01/100 \sim 0.02/100\text{mm}$ 的平面度公差，表面粗糙度 Ra 值可达到 $1.25 \sim 0.20 \mu\text{m}$ 。但因磨削时要用间断的横向进给来完成整个工作表面的磨削，所以生产效率较低	矩台卧轴平面磨床
			圆台卧轴平面磨床
端面磨削		用筒形砂轮端面磨削时，砂轮主轴主要承受轴向力，因此主轴的弯曲变形小，刚性好，磨削时可选用较大的磨削用量。此外，用筒形砂轮端面磨削时，砂轮与工件的接触面积大，同时参加磨削的磨粒多，所以生产效率高。但磨削过程中发热量较大，切削液不易直接浇注到磨削区，排屑也较困难。因而工件容易产生热变形和烧伤	矩台立轴平面磨床

(续)

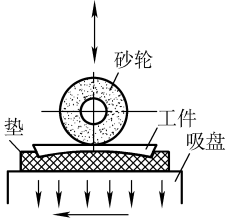
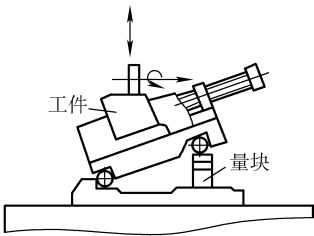
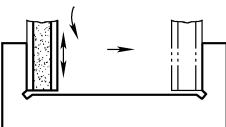
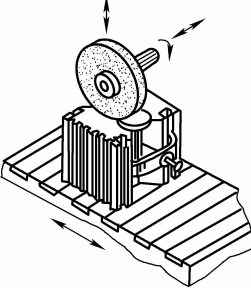
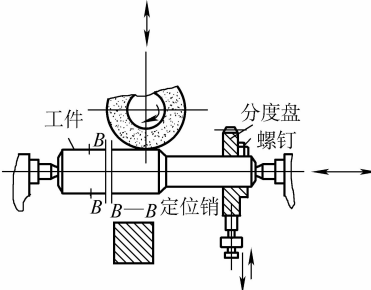
磨削形式	图 示	特 点	磨床类型
端面磨削		用筒形砂轮端面磨削时，砂轮主轴主要承受轴向力，因此主轴的弯曲变形小，刚性好，磨削时可选用较大的磨削用量。此外，用筒形砂轮端面磨削时，砂轮与工件的接触面积大，同时参加磨削的磨粒多，所以生产效率高。但磨削过程中发热量较大，切削液不易直接浇注到磨削区，排屑也较困难。因而工件容易产生热变形和烧伤	圆台立轴平面磨床
			双端面磨床

4.5.2 平面磨削常用方法（表 4-19）

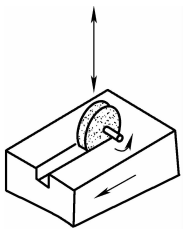
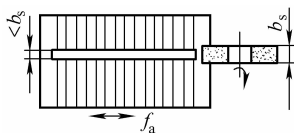
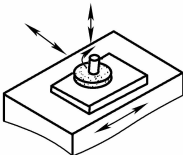
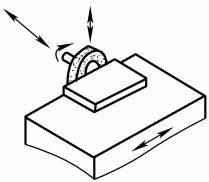
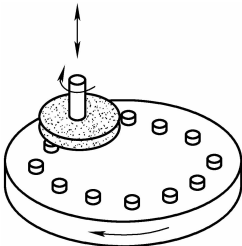
表 4-19 平面磨削常用方法

磨削方法	磨削表面特征	图 示	磨 削 要 点	夹 具
周边纵向磨削	较宽的长形平面		1) 清除工件和吸盘上的铁屑、毛刺 2) 工件反复翻转磨削，左右不平，向左右翻转；前后不平，向前后翻转 3) 粗、精、光磨要修整砂轮	电磁吸盘
	方形平面		1) 选准基准面 2) 工件摆放在吸盘绝磁层的对称位置上 3) 反复翻转 4) 小尺寸工件磨削用量要小	电磁吸盘挡板或挡板夹具
	环形平面		1) 选准基准面 2) 工件摆放在吸盘绝磁层的对称位置上 3) 反复翻转 4) 小尺寸工件磨削用量要小	圆吸盘

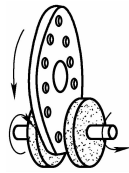
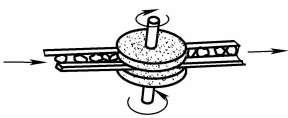
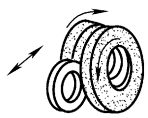

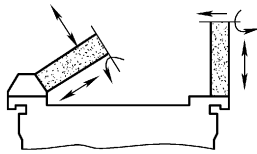
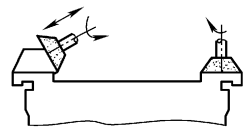
(续)

磨削方法	磨削表面特征	图 示	磨 削 要 点	夹 具
周边纵向磨削	薄片平面		1) 垫纸、橡胶、涂蜡、低熔点合金等, 改善工件装夹 2) 选用较软砂轮, 常修整以保持锋利 3) 采用小背吃刀量、快送进, 磨削液要充分	电磁吸盘
	斜面		1) 先将基准面磨好 2) 将工件装在夹具上, 调整夹具到要求角度 3) 按磨削一般平面磨削	正弦精密平口钳, 正弦电磁吸盘, 精密角铁等
	直角槽		1) 找正槽外侧基准面与工作台进给方向平行 2) 将砂轮两端修成凹形	电磁吸盘
	圆柱端面		1) 将圆柱面紧靠 V 形铁装夹好 2) 工件在 V 形铁上悬伸不宜过高	电磁吸盘、精密 V 形铁
	多边形平面		用分度夹具逐一进行磨削	分度装置

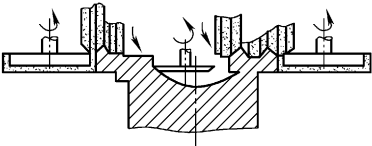
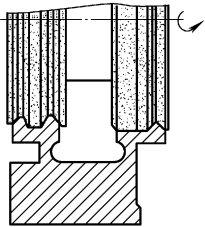
(续)

磨削方法	磨削表面特征	图 示	磨 削 要 点	夹 具
周边切入磨削	窄槽		1) 找正工件 2) 调整好砂轮和工件的相对位置 3) 一次磨出直槽	电磁吸盘
	窄长平面		1) 找正工件, 调整好工件和砂轮的相对位置 2) 反复翻转磨削	电磁吸盘
端面纵向磨削	长形平面		1) 粗磨时, 磨头倾斜一小角度; 精磨时, 磨头必须与工件垂直 2) 工件反复翻转 3) 粗、精磨要修整砂轮	电磁吸盘
	垂直平面		1) 找正工件 2) 正确安装基准面	电磁吸盘
端面切入磨削	环形平面		1) 圆台中央部分不安装工件 2) 工件小、砂轮宜软, 背吃刀量宜小	圆吸盘

(续)

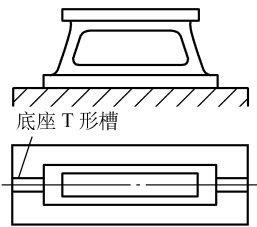
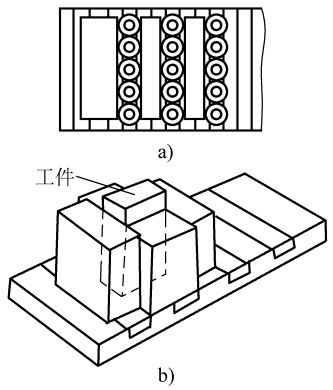
磨削方法	磨削表面特征	图 示	磨 削 要 点	夹 具
端面切入磨削	短圆柱形零件的双端平行平面		1) 工件手动或自动放在送料盘上, 送料盘带动工件在两砂轮间回转 2) 两砂轮调整在水平及垂直方向都成倾斜角度, 形成复合磨削区	圆送料盘
	扁的圆形零件双端平行平面		两砂轮水平方向调整成倾斜角, 进口为工件尺寸加 $2/3$ 磨削余量, 出口为成品尺寸	导板送料机构
	大尺寸平行平面		1) 工件可在夹具中自转 2) 两砂轮调整一个倾斜角	专用夹具
	复杂形状工件平行平面		1) 适于形状复杂、不宜连续送进的工件 2) 砂轮倾斜角使摇臂在砂轮内的死点处。开口为成品尺寸	摇臂式夹具
导轨磨削	导轨面		1) 导轨面的周边磨削 2) 导轨要正确支承和固定 3) 调整好导轨面和砂轮的位置和方向	垫铁支承, 磨头运动时导轨不固定, 工件运动时要固定
			1) 导轨面的端面磨削 2) 导轨要正确支承和固定 3) 调整好导轨面和砂轮的位置和方向	垫铁支承, 磨头运动时导轨不固定, 工件运动时要固定

(续)

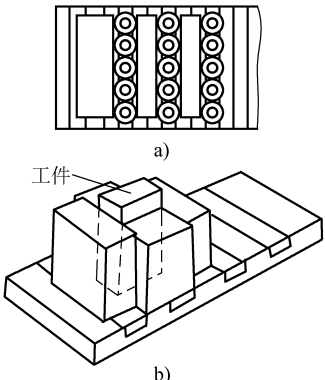
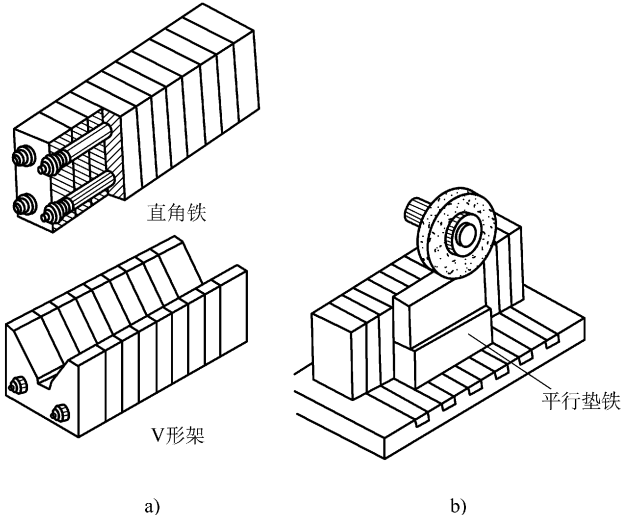
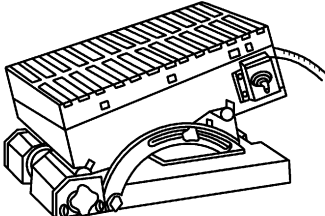
磨削方法	磨削表面特征	图 示	磨 削 要 点	夹 具
导轨磨削	导轨面		1) 用成形砂轮分别磨削导轨面, 用辅助磨头磨削侧面等 2) 正确支承和装夹导轨	支承垫铁、压板、螺钉
			1) 用组合成形砂轮一次磨出导轨面 2) 正确支承和装夹导轨	支承垫铁、压板、螺钉

4.5.3 工件的装夹方法 (表 4-20)

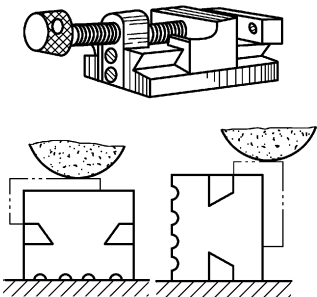
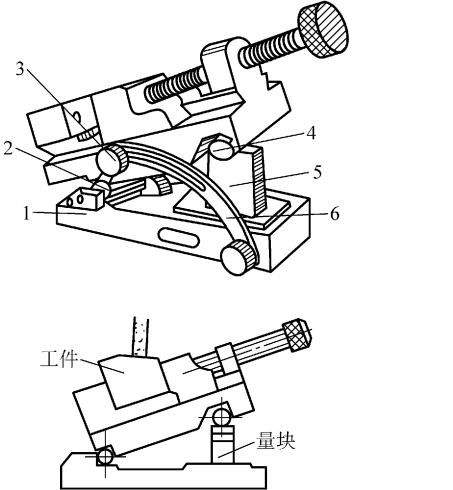
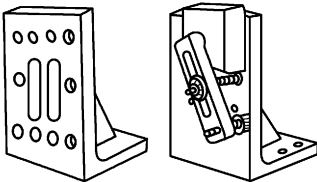
表 4-20 工件的装夹方法

装夹方法	图 示	说 明
在磨床台面上装夹		卸去台面上的磁盘, 用螺钉把工件固定在台面上进行磨削, 这种方法适用于工件较高而被磨平面宽度不大时使用
用电磁 (或永磁) 吸盘装夹		电磁 (永磁) 吸盘的外形有矩形和圆形两种, 分别用于矩形工作台平面磨床和圆形工作台平面磨床 装夹时, 工件定位表面应尽可能多盖住绝缘磁层条, 以便充分利用磁性吸力。小而薄的工作件 (图 a) 应放在绝缘磁层中间并在

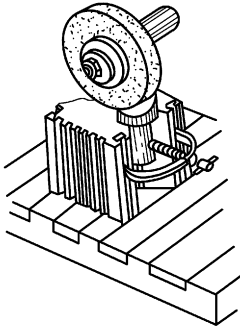
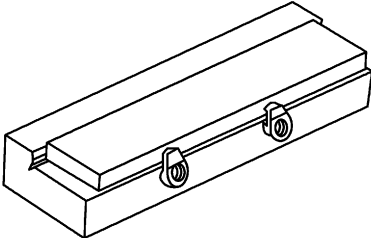
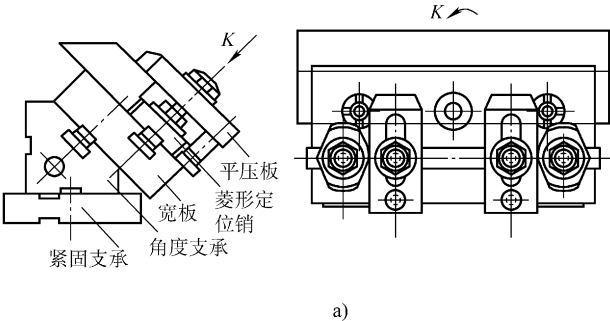
(续)

装夹方法	图 示	说 明
用电磁(或永磁)吸盘装夹	 <p>a)</p> <p>b)</p>	<p>其左右放置低于工件厚度而面积较大的挡板,以防止在磨削时工件松动</p> <p>装夹高度较高而定位面积较小的工件时(图 b),应在工件四周放上低于工件厚度而面积较大的挡板,以防止在磨削时工件松动</p>
用导磁铁装夹	 <p>直角铁</p> <p>V形架</p> <p>a)</p> <p>b)</p> <p>平行垫铁</p>	<p>导磁铁有直角铁和 V 形块两种(图 a)。这些导磁铁经过精密加工,各面之间垂直度和平行度的精度都很高</p> <p>使用时使导磁直角铁的黄铜片与电磁吸盘的绝磁层对齐(图 b)。电磁吸盘上的磁力线会延伸到导磁直角铁上,因而当电磁吸盘通电时,导磁直角铁上同样带磁吸片工件。导磁 V 形块的结构和使用原理与导磁直角铁相同,它的两个工作表面间的夹角为 90°</p>
用正弦电磁吸盘装夹		<p>正弦电磁吸盘由带电电磁吸盘的正弦规与底座组成。夹具最大的倾斜角度为 45°,适用于磨削扁平零件</p>

(续)

装夹方法	图 示	说 明
用精密平口钳装夹		<p>精密平口钳上各面之间均具有精度很高的垂直度或平行度。各面之间的角度为 $90^\circ \pm 30''$。因此, 工件一次装夹后, 通过翻转精密平口钳, 可以磨出互相垂直的基准面。这种方法适用于小型精密工件的磨削</p>
用正弦精密平口钳装夹	 <p>1—底座 2、4—正弦圆柱 3—螺钉 5—量块组 6—撑条</p>	<p>正弦精密平口钳由带精密平口钳的正弦规与底座组成</p> <p>将工件夹紧在精密平口钳中, 在正弦圆柱 4 和底座 1 的定位面之间垫入量块组 5, 使正弦规与工件一起倾斜成需要的角度。磨削时, 正弦圆柱 2 需要用锁紧装置紧固在底座的定位面上, 同时旋紧螺钉 3, 以便通过撑条 6 把正弦规紧固。这种夹具最大的倾斜角度为 45°</p>
用精密角铁装夹		<p>精密角铁由铸铁制成, 角铁上两相互垂直的工作平面经过刮研加工, 它们之间的垂直度误差很小, 工作平面上有 T 形槽或通孔, 用来装螺钉夹紧工件</p> <p>工件装夹在精密角铁上通过校正可以磨削各种斜面和垂直平面</p>

(续)

装夹方法	图 示	说 明
用精密 V 形块装夹		<p>精密 V 形块由 V 形块、弓架、夹紧螺钉组成。V 形块的侧面、端面与底面相互垂直。V 形槽用标准圆柱心轴检验时,其轴线也垂直于 V 形块的端面,所以能保证圆柱体端面与外圆垂直</p> <p>磨削圆柱形工件上的端面及相互垂直的平面,可采用这种方法装夹工件</p>
用专用夹具		<p>此例是采用侧面压紧磨削长条薄形工件。由于工件侧面宽度方向刚度大,工件不会产生夹紧变形</p>
用组合夹具装夹	 <p>a)</p>	<p>图 a 是由组合夹具角度支承组成的磨斜平面夹具</p>

(续)

装夹方法	图 示	说 明
用组合夹具装夹		图 b 是由角度支承和三菱支座组成的磨三等分平面的夹具

4.5.4 平面磨削砂轮的选择（表 4-21）

表 4-21 平面磨削砂轮的选择

工件材料		非淬火碳素钢	调质合金钢	淬火碳素钢、合金钢	铸 铁
砂轮的特性	磨料	A	A	WA	C
	粒度	F36 ~ F46	F36 ~ F46	F36 ~ F46	F36 ~ F46
	硬度	L ~ N	K ~ M	J ~ K	K ~ M
	组织	5 ~ 6	5 ~ 6	5 ~ 6	5 ~ 6
	结合剂	V	V	V	V

4.5.5 平面磨削砂轮速度的选择（表 4-22）

表 4-22 平面磨削砂轮速度选择

（单位：m/s）

磨削形式	工件材料	粗 磨	精 磨	磨削形式	工件材料	粗 磨	精 磨
圆周磨削	灰铸铁	20 ~ 22	22 ~ 25	端面磨削	灰铸铁	15 ~ 18	18 ~ 20
	钢	22 ~ 25	25 ~ 30		钢	18 ~ 20	20 ~ 25

4.5.6 平面磨削余量的合理选择（表 4-23）


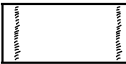
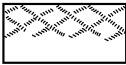

表 4-23 平面磨削余量的合理选择（单位：mm）

加工性质	加工面长度	加工面宽度					
		≤100		>100 ~ 300		>300 ~ 1000	
		余 量	公 差	余 量	公 差	余 量	公 差
零件在装置 时未经校准	≤300	0.3	0.1	0.4	0.12	—	—
	>300 ~ 1000	0.4	0.12	0.5	0.15	0.6	0.15
	>1000 ~ 2000	0.5	0.15	0.6	0.15	0.7	0.15
零件装置在 夹具中或用 千分表校准	≤300	0.2	0.1	0.25	0.12	—	—
	>300 ~ 1000	0.25	0.12	0.3	0.15	0.4	0.15
	>1000 ~ 2000	0.3	0.15	0.4	0.15	0.4	0.15

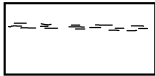
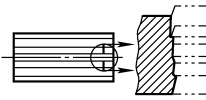
注：1. 表中数值系每一加工面的加工余量。
2. 如几个零件同时加工时，长度及宽度为装置在一起的各零件尺寸（长度或宽度）及各零件间的间隙之总和。
3. 热处理的零件磨前的加工余量系将表中数值乘以 1.2。
4. 磨削的加工余量和公差用于有公差的表面的加工，其他尺寸按照自由尺寸的公差进行加工。

4.5.7 平面磨削的质量分析（表 4-24）

表 4-24 平面磨削的质量分析

工件缺陷	产生原因和解决方法	工件缺陷	产生原因和解决方法
<p>表面波纹</p>  <p>a) 直波纹</p>  <p>b) 两边直波纹</p>	<p>1) 磨头系统刚性不足 2) 塞铁间隙过大 3) 主轴轴承间隙过大 4) 主轴部件动平衡不好 5) 砂轮不平衡 6) 砂轮过硬、组织不均、磨钝 7) 电动机定子间隙不均匀 8) 砂轮卡盘锥孔配合不好</p>	 <p>c) 菱形波纹</p>  <p>d) 花波纹</p>	<p>9) 工作台换向冲击，易出现两边或一边的波纹；工作台换向一定时间与砂轮每转一定时间之比不为整倍数时，易出现菱形波纹</p> <p>10) 液压系统振动</p> <p>11) 垂直进给量过大及外源振动</p> <p>消除措施： 根据波距和工作台速度算出它的频率，然后对照机床上可能产生该频率的部件，采取相应措施消除</p>

(续)

工件缺陷	产生原因和解决方法	工件缺陷	产生原因和解决方法
线性划伤 	工件表面留有磨屑或细砂,当砂轮进入磨削区后,带着磨屑和细砂一起滑移而引起。调整好切削液喷嘴,加大切削液流量,使工件表面保持清洁	敞角或侧面呈喇叭口	1) 轴承结构不合理,或间隙过大 2) 砂轮选择不当或不锋利 3) 进给量过大 4) 可以在两端加辅助工件一起磨削
表面接刀痕 	砂轮母线不直,垂直和横向进给量过大 机床应在热平衡状态下修整砂轮,金刚石位置放在工作台面上	表面烧伤和拉毛	与外圆磨削相同

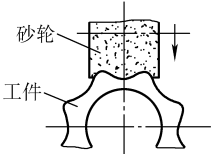
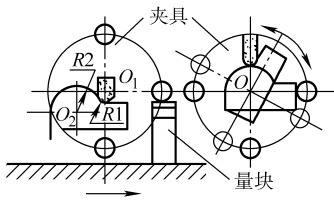
4.6 成形磨削

成形面一般分为三类:旋转体成形面如手柄、阀杆等;直母线成形面如样板、圆柱凸轮、凸模、凹模等;立体(三维)成形面如齿轮、成形模等。

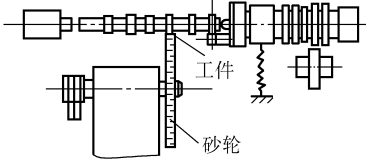
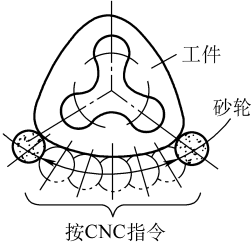
磨削中比较多碰到的成形面是直母线成形面,直母线成形面是由多个圆柱面与平面相切、相交组成。成形磨削的基本原理是把形状复杂的几何线形分解成若干直线、圆弧等简单的几何线形,然后分段磨削,使其连接圆滑、光整、符合图样要求。

4.6.1 成形磨削的几种方法 (表 4-25)

表 4-25 成形磨削的几种方法

磨削方式	简 图	说 明
成形砂轮磨削 		将砂轮用修整装置修整成与工件型面对应的型面,用切入法磨削。可在外圆、内圆、平面、无心和工具磨床上进行磨削
成形夹具磨削 		使用通用或专用夹具,在通用或专用磨床上,对工件的型面进行磨削

(续)

磨削方式	简 图	说 明
仿形磨削		在专用磨床上,按放大样板(或靠模)或放大图样进行磨削
坐标磨削		使用坐标磨床的回转工作台和坐标工作台,使工件按坐标运动及回转,利用磨头的上下、往复和行星运动,磨削工件的型面 使用数控坐标磨床磨削型面,磨头速度可达 200000r/min,轮廓精度在全行程面积内可达 7.5μm

4.6.2 成形砂轮的修整

在模具制造中采用成形砂轮磨削较为普遍,尤其是磨削多件相同型面的工件时,可保证几何形状的一致性,同时工件的装夹、调整都较简单。对于半径较小的凹圆弧及成形沟槽,在磨削时往往都必须采用成形砂轮磨削,以成形砂轮配合专用夹具的使用效果更好。

(1) 采用成形砂轮磨削时砂轮修整要点

1) 采用金刚石刀修整成形砂轮时,金刚石刀尖应与夹具回转中心在同一平面内,修整时应通过砂轮主轴中心。

2) 为了减少金刚石消耗,粗修成形砂轮时,可先用碳化硅砂轮条。

3) 要求砂轮修整的型面,如果是两个凸圆弧相连接,应先修整大的凸弧;如果是一凸一凹圆弧相连接,应先修整凹弧;如果是两个凹圆弧连接,应先修整小凹圆弧;如果是凸圆弧与平面连接,应先修整平面;如果是凹圆弧与平面连接,应先修整凹圆弧。

4) 修整凸圆弧时,砂轮半径应比所需磨削半径 R 小 0.01mm;修整凹圆弧时,砂轮半径应比所需磨削半径 R 大 0.01mm。

(2) 砂轮角度面的修整

1) 卧式修整砂轮角度面工具(图4-24)。滑块1以正弦规上的导轨导向,当转动手轮3时,通过齿轮齿条的传动,使滑块1移动。当滑块角度调整好以后,用紧固螺母2将其紧固。

修整砂轮角度时,应根据修整的角度 α ,计算出应垫块规的高度 H (图4-25)。

① 当修整砂轮的角度为 $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ 时,以修整工具底面 B 为安装基准(图4-25a),应垫块规的高度 H 为:

$$H = L \sin \alpha$$

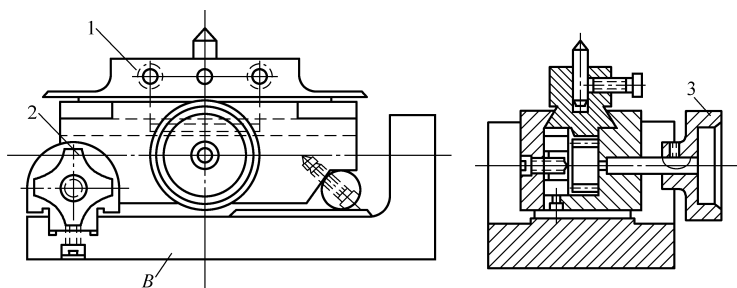
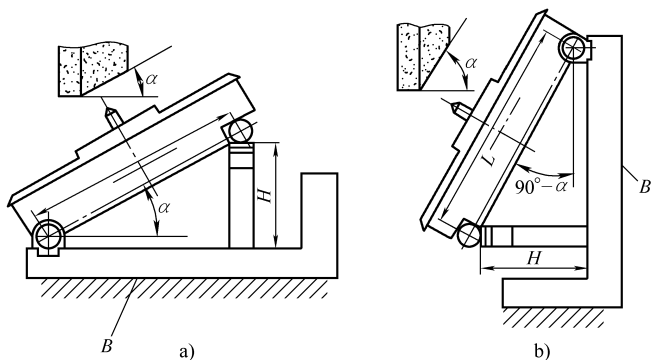


图 4-24 卧式修整砂轮角度面工具

1—滑块 2—紧固螺母 3—手轮

图 4-25 垫块规高度 H 计算示意图a) $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ b) $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

② 当修整砂轮的角度为 $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 时，以修整工具垂直面为安装基准（图 4-25b），应垫块规的高度 H 为：

$$H = L \sin (90^\circ - \alpha) = L \cos \alpha$$

2) 立式修整砂轮角度面工具（图 4-26）。滑块 1 以正弦规上的导轨导向，当转动手轮 3 时，通过齿轮齿条传动，使滑块 1 移动，当夹具用块规调整好角度后，用紧固螺母 2 将其紧固。4 为侧面正弦垫板，不用时可缩进底座内，以免影响底面正弦垫板安放块规。

修整砂轮角度时，应根据修整的角度 α ，计算出应垫块规的高度 H （图 4-27）。

① 当修整砂轮的角度为 $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ 时，用底面的正弦垫板垫块规时（图 4-27a），应垫块规高度 H 为：

$$H = P - L \sin \alpha - \frac{d}{2}$$

② 当修整砂轮的角度为 $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 时，用侧面的正弦垫板垫块规时（图 4-27b），应垫块规高度 H 为：

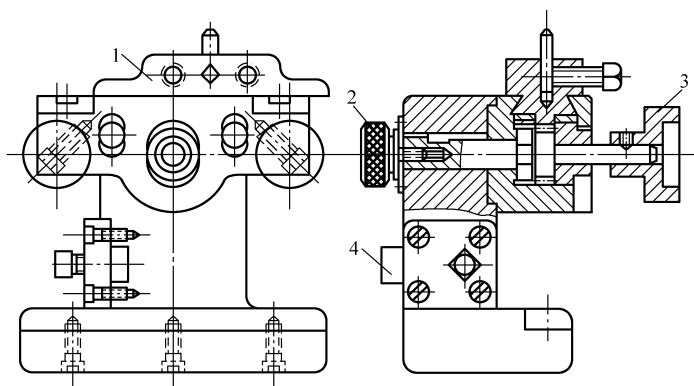


图 4-26 立式修整砂轮角度面工具

1—滑块 2—紧固螺母 3—手轮 4—侧面正弦垫板

$$H = P' + L \sin (90^\circ - \alpha) - \frac{d}{2} = P' + L \cos \alpha - \frac{d}{2}$$

③ 当修整砂轮的角度为 $90^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$ 时, 用侧面的正弦垫板垫块规时 (图 4-27c), 应垫块规高度 H 为:

$$H = P' - L \sin (\alpha - 90^\circ) - \frac{d}{2} = P' - L \cos \alpha - \frac{d}{2}$$

式中 H ——块规高度值 (mm);

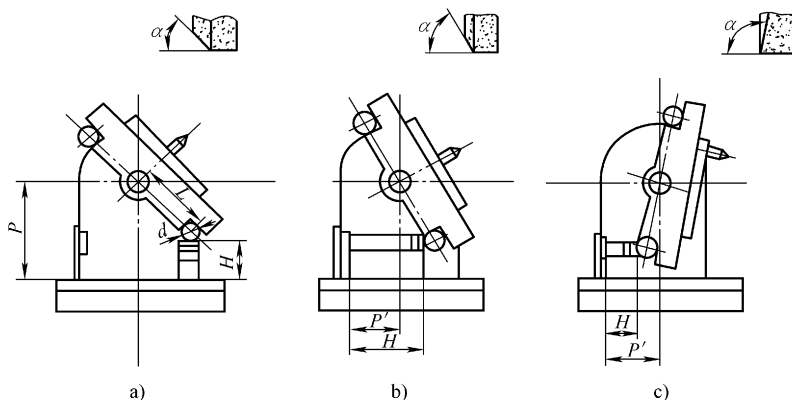
P ——工具的回转中心至底面正弦垫板的距离 (mm);

P' ——工具的回转中心至侧面正弦垫板的距离 (mm);

L ——正弦圆柱至工具回转中心的距离 (mm);

d ——正弦圆柱的直径 (mm);

α ——修整砂轮的角度 ($^\circ$)。

图 4-27 垫块规高度 H 计算示意图

(3) 砂轮圆弧面的修整

1) 卧式修整砂轮圆弧工具 (图 4-28)。金刚石刀 1 固定在摆杆 2 上, 通过转动螺杆 3 使摆杆 2 在滑座 4 上移动, 调整金刚石刀尖与回转中心的距离。转动手轮 8, 使主轴 7 及固定在其上的滑座等均绕主轴中心回转, 其回转的角度用固定在夹具体上的刻度盘 5、挡块 9 和角度标 6 来控制。

修整凸圆弧时, 金刚石刀尖应高于工具中心:

$$H = P + R$$

修整凹圆弧时, 金刚石刀尖应低于工具中心:

$$H = P - R$$

式中 H ——金刚石刀尖高度 (mm);

P ——工具的中心高 (mm);

R ——待修整砂轮圆弧半径 (mm)。

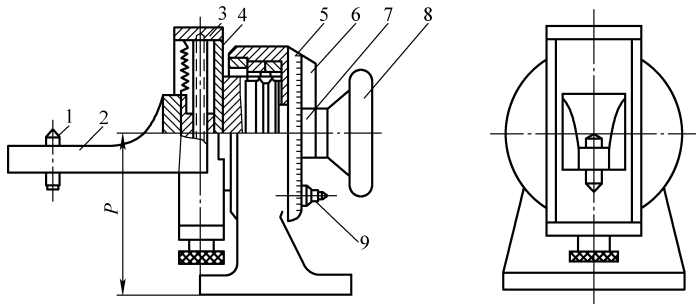


图 4-28 卧式修整砂轮圆弧工具

1—金刚石刀 2—摆杆 3—螺杆 4—滑座 5—刻度盘

6—角度标 7—主轴 8—手轮 9—挡块

2) 立式修整砂轮圆弧工具 (图 4-29)。支架 4 用螺钉 16、定位销 2 固定在转盘 1 上。定位销在图示位置定位时, 支架上的定位面至回转中心的距离为 25mm。金刚石 5 装在支架 4 上, 转动螺钉 6, 使金刚石轴向移动, 移动距离可用定位板 3 和量块 11 测量。当量块数小于 25mm, 即修整凸圆弧砂轮。

修整砂轮时, 用螺钉 12、13 紧固金刚石, 同时拿掉定位板 3 和量块 11, 回转的角度由两个装在转盘 1 的圆周槽中的可调节撞块 7 与固定块 8 相碰来控制, 并通过固定块 8 读出转盘上的数值。转动手柄 10 使金刚石刀通过支架 4、转盘 1, 绕轴承座 14 轴线转动。转动部分放置在滑座 15 上, 滑座通过丝杆、螺母的传动, 使其在底座的导轨上移动, 其移动距离由手轮 9 上的刻度盘读出。

修整凸圆弧砂轮见图 4-30a, 定位销插入位于工具回转中心的孔中:

$$H = P - R$$

修整凹圆弧砂轮见图 4-30b, 定位销插入另一孔中:

$$H = P - a + R$$

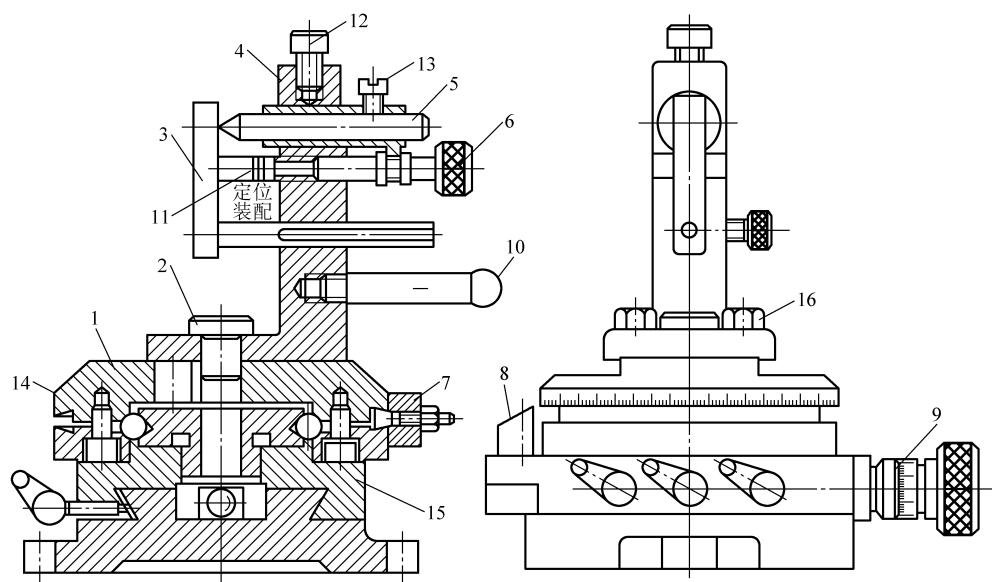
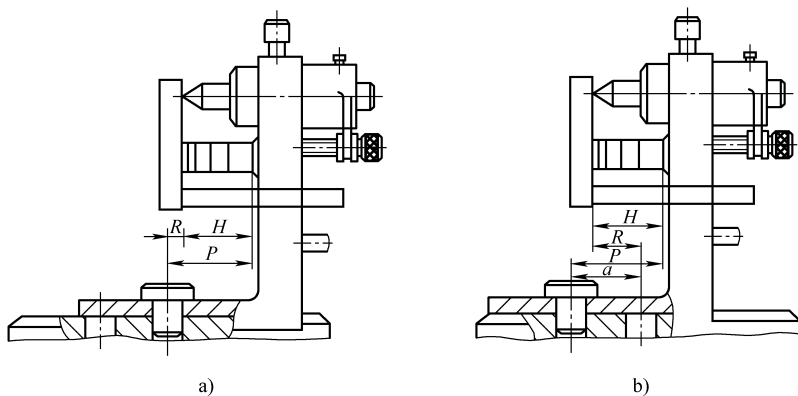


图 4-29 立式修整砂轮圆弧工具

- 1—转盘 2—定位销 3—定位板 4—支架 5—金刚石 6、16—螺钉
7—可调节撞块 8—固定块 9—手轮 10—手柄 11—量块
12、13—紧固螺钉 14—轴承座 15—滑座

图 4-30 垫块规高度 H 计算示意图

a) 修整凸圆弧砂轮 b) 修整凹圆弧砂轮

式中 H ——金刚石刀尖高度 (即量块高度) (mm);

P ——当定位销位于工具回转中心时, 支架上的基面至工具回转中心的距离 (mm);

a ——转盘上二个定位孔的中心距 (mm);

R ——待修整砂轮圆弧半径 (mm)。

(4) 用靠模工具修整砂轮

图 4-31 所示为一种外圆成形砂轮修整装置，修整时转动手柄 1，经丝杠 2 传动使滑座 3 纵向移动。滑座 5 由弹簧 6 作用紧靠着靠模 7，并按靠模曲线作径向移动，金刚石刀 4 即可修出砂轮的成形面来。

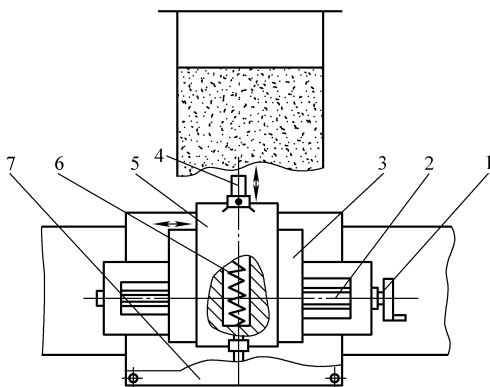


图 4-31 外圆成形砂轮修整装置

1—手柄 2—丝杠 3—滑座 4—金刚石刀
5—滑座 6—弹簧 7—靠模

4.7 薄片工件磨削

如垫圈、摩擦片、样板等厚度较薄或比较狭长的工件均称为薄片、薄板工件。这类工件刚度差、磨削时很容易产生受热变形和受力变形。尤其工件在磨削前有翘曲变形（图 4-32a），这时如果用电磁吸盘进行装夹，在吸力作用下产生很大的弹性变形，翘曲暂时消失（图 4-32b），但去除吸紧力，放松工件后，弹性变形消失，工件又恢复成原来的翘曲形状（图 4-32c）。

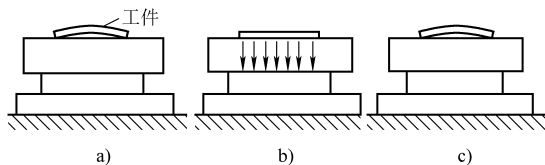


图 4-32 薄片工件装夹的变形情况

针对薄片工件磨削的特点，可采用以下一些措施来减小工件因受热或受力变形：

- 1) 磨削加工前的上道工序（如车、刨、铣），要严格保证平面的各项精度要求。
- 2) 应选择硬度较低、粒度较粗、组织疏松的白刚玉砂轮进行磨削。并应及时对砂轮进行修整，保持砂轮的锋利。
- 3) 磨削时应采用较小的背吃刀量和较高的工作台纵向行程速度。
- 4) 应供应充分的冷却润滑液，改善磨削条件。

5) 改进装夹方法,减小工件的受力变形:

① 垫弹性垫片。在工件与电磁吸盘之间垫一层很薄的橡胶垫(0.5~3mm)或是有密集孔的海绵垫,利用弹性垫片的可压缩性,使工件的弹性变形减小。磨出的工件比较平直。将工件反复翻面磨削几次,在工件平面度得到改善后,可直接将工件吸在电磁吸盘上磨削。

② 垫纸。先将工件放在平板上,检查确定出凹凸两面,将凹面用纸垫平作定位基准面,放在电磁吸盘上磨削,这样磨出的第一个平面比较平,再将磨好的平面直接放在电磁吸盘上磨另一面。这样再反复翻面磨削即可。

③ 涂白蜡。在工件翘曲的部位表面涂上一层白蜡,然后在旧砂轮端面上摩擦,使工件凸部上的白蜡磨去,凹部的白蜡磨平,以此平面定位装夹在电磁吸盘上磨出第一平面,再以磨出的第一平面为基准磨第二面,这样反复翻面磨削即可。

④ 垫布。如果两平面要求精度高,可在电磁吸盘和工件之间垫一薄油毛毡或呢布料,这样可以减少对工件的磁力,避免引起变形。

4.8 细长轴磨削

细长轴通常是指长度与直径的比值(简称长径比)大于10的工件。

细长轴的刚性较差,磨削时在磨削力的作用下,工件会产生弯曲变形,使工件产生形状误差(如腰鼓形、竹节形、椭圆形和锥形等),多角形振痕和径向圆跳动误差等。

因此,磨削细长轴的关键是减小磨削力和提高工件支承的刚度。具体应注意以下几点:

1) 工件在磨削前,应增加校直和消除应力的热处理工序,避免磨削时由于应力变形而使工件弯曲。

2) 应选用粒度较粗、硬度较低的砂轮,以提高砂轮的自锐性。为了减少磨削阻力,还应选用宽度较窄的砂轮,或将宽砂轮前端修窄。

3) 要保两顶尖的同轴度。顶尖孔应经过修研,保证与顶尖有良好的接触面。

尾座顶尖的压力应适当,以减小顶尖力所引起的弯曲变形及因加工中产生的热膨胀伸长所引起的弯曲变形。并保证顶尖孔有良好的润滑。

4) 采用双拨杆拨盘,使工件受力均衡,以减小振动和圆度误差。

5) 磨削细长轴时,背吃刀量要小,工作台速度要慢,工件的转速要低,必要时在精磨时可采用空磨几次。

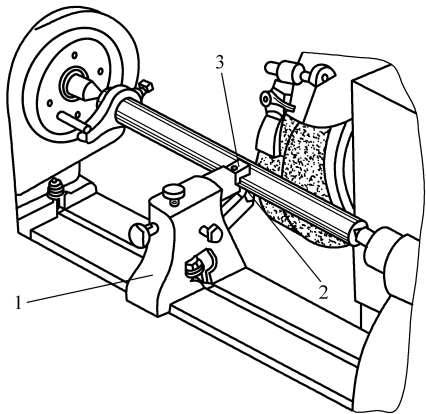


图 4-33 用中心架支承工件

1—中心架 2—垂直支承块 3—水平撑块

磨削细长轴时的磨削用量可参见表 4-26。

6) 磨削过程中,要经常使砂轮保持锋利状态。并注意充分冷却润滑,以减小磨削热的影响。

7) 当工件长径比较大,而加工精度又要求较高时,可采用中心架支承(开式中心架),如图 4-33 所示。为了保证中心架上垂直支承块和水平撑块与工件成一个理想外圆接触,可在工件支承部位先用切入法磨出一小段外圆,然后以此段外圆作为中心架的支承圆。此外圆要磨得圆、并留有适当的精磨余量。磨好支承圆后,就可以调整中心架,使垂直支承块和水平撑块轻轻接触工件表面(防止工件受力太大)。当支承圆和工件全长接刀磨平后,随着工件直径的继续磨小,这时就需要周期调整中心架。

按工件的长径比不同,可采用两个或两个以上的中心架支承。中心架的选择可参见表 4-27。

表 4-26 磨削细长轴时的磨削用量

磨削方式 磨削用量	粗 磨	精 磨
背吃刀量 a_p /mm	0.005 ~ 0.015	0.0025 ~ 0.005
纵向进给量 f /(mm/r)	0.5B	(0.2 ~ 0.3)B
工件圆周速度 v_w /(m/min)	3 ~ 6	2 ~ 5
砂轮圆周速度 v_0 /(m/s)	25 ~ 30	30 ~ 40

注: B 为砂轮宽度 (mm)。

表 4-27 中心架数目的选择

工件直径 /mm	工件长度/mm					
	300	450	700	750	900	1050
	中心架数目					
26 ~ 30	1	2	2	4	4	4
31 ~ 50	—	1	2	3	3	3
51 ~ 60	—	1	1	2	2	2
61 ~ 75	—	1	1	1	2	2
76 ~ 100	—	—	1	1	1	2

第5章 镗削技术

5.1 镗刀

5.1.1 单刃镗刀

- 1) 普通单刃镗刀见表 5-1。
- 2) 机夹单刃镗刀见表 5-2。

表 5-1 普通单刃镗刀 (单位: mm)

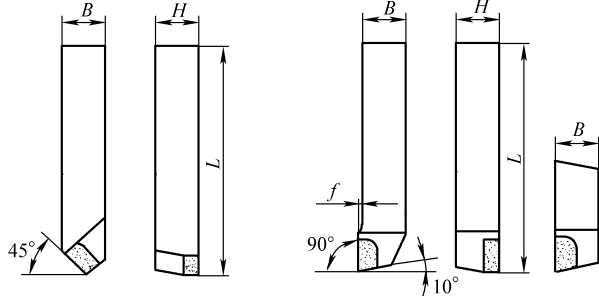
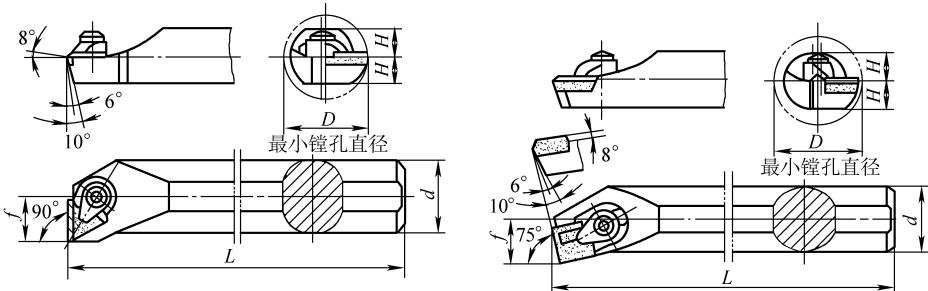
	$B \times H$	L	f
	8 × 8	25 ~ 40	2
	10 × 10	30 ~ 50	
	12 × 12	50 ~ 70	
	16 × 16	70 ~ 90	4
	20 × 20	80 ~ 100	

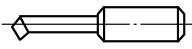
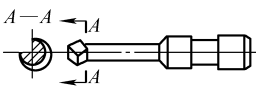
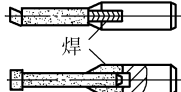
表 5-2 机夹单刃镗刀 (单位: mm)

						
d	L	f	H	D 最小镗孔直径	刀片内切圆	
					三 角 形	四 方 形
16	200	11	7	20	6.35	9.525
20	250	13	9	25		
25	300	17	11	32	9.525	12.70
32	350	22	14	40		

注：根据条件和用途，刀片形状和长度 L 可自定。

- 3) 小孔镗刀见表 5-3。
- 4) 弯头镗刀见表 5-4。

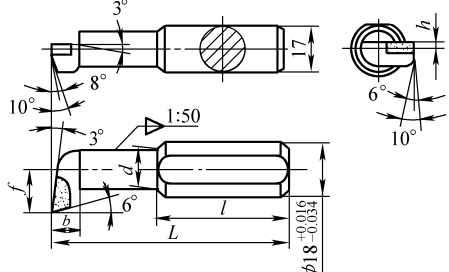
表 5-3 小孔镗刀

类型	弯头镗刀	铲背镗刀	整体硬质合金镗刀
简图			
特点	制造简单，刃磨方便	刀头后面为阿基米德螺旋面，刃磨时只需磨前面	刀头、刀体采用整体硬质合金与钢制刀杆焊在一起，刚性好

注：小孔镗刀适用于加工直径不大于 10mm 的小孔。

表 5-4 弯头镗刀

(单位:mm)

		L	l	d	f	b	h
		70	45	8	7	7	2
		80		11	10		
		90	50	14	12	9	1.5
				16	15	10	
		100		17	18	14	1
		125			20		

注：如用高速钢制作，杆部 l 可用 45 钢，与 d 交接处采取对焊。

5.1.2 双刃镗刀

双刃镗刀块分整体和可调两大类，装夹方式有定装和浮动装两种形式。

(1) 整体式双刃镗刀块

图 5-1 所示为常用整体式双刃镗刀块，尺寸不可调节，在镗杆上安装固定时，两切削刃与镗刀杆中心的对称度主要取决于镗刀块的制造和刃磨精度。适用于粗加工和半精加工。

整体式双刃镗刀块尺寸见表 5-5。

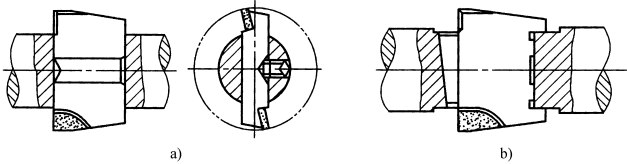
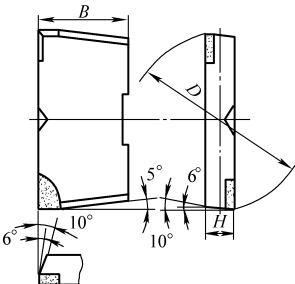


图 5-1 整体式双刃镗刀块

表 5-5 整体式双刃镗刀块尺寸

(单位:mm)



(续)

公称直径 D	B	H	公称直径 D	B	H	公称直径 D	B	H	公称直径 D	B	H				
25 ~ 30	20	8	65 ~ 70	35	12	100 ~ 105	35	14	140 ~ 145	35	14				
30 ~ 35			70 ~ 75			105 ~ 110			145 ~ 150						
35 ~ 40			75 ~ 80			110 ~ 115			150 ~ 155						
40 ~ 45	30	10	80 ~ 85			115 ~ 120			155 ~ 160						
45 ~ 50			85 ~ 90			120 ~ 125			160 ~ 165						
50 ~ 55	35	12	90 ~ 95			125 ~ 130			165 ~ 170						
55 ~ 60			95 ~ 100			130 ~ 135			170 ~ 175						
60 ~ 65						135 ~ 140									

(2) 可调双刃镗刀块

图 5-2 所示为可调双刃镗刀块的调节和装夹方法, 镗刀 7 用螺钉 8 调节, 拧紧螺母 3 与螺钉 5, 圆锥体即推动滑块 4 使其夹紧。整个镗刀块 6 则以螺钉 1 顶紧楔销 2 而固定。为了较快地取出镗刀块, 只要将螺钉稍加松动, 卸去垫块 9 即可取出。这种镗刀块适用于半精加工和精加工, 为保证镗刀杆、镗刀块有较好的强度, 其镗刀杆直径应大于 35mm, 镗孔直径范围为 50 ~ 260mm。

(3) 硬质合金可调节浮动铰刀 (表 9-60)

它是由两端各焊有一片硬质合金刀片的刀体组成, 两刀片间的距离 (直径) 通过调节螺钉加以调节, 再通过紧固螺钉固定后形成铰刀的整体, 它自由地安装在刀杆的矩形孔槽内, 并可在直径方向滑动。切削时, 能自动定位及对中, 用以抵偿由于铰刀安装误差和刀杆偏摆所引起的不良影响, 从而保证孔的加工质量。

浮动铰刀一般用于孔的终加工, 铰孔后孔的精度可达到 IT6 ~ IT7, 表面粗糙度 Ra 可达

1.6 ~ 0.8 μm 。其铰刀的规格范围共 35 档 (调节范围) (30 ~ 33) ~ (210 ~ 230) mm。

5.1.3 复合镗刀

按加工需要复合镗刀通常在一个镗刀块或一根镗刀杆上安装两个或两个以上的刀头, 每个刀头都可单独调整, 可提高镗孔的精度和效率。

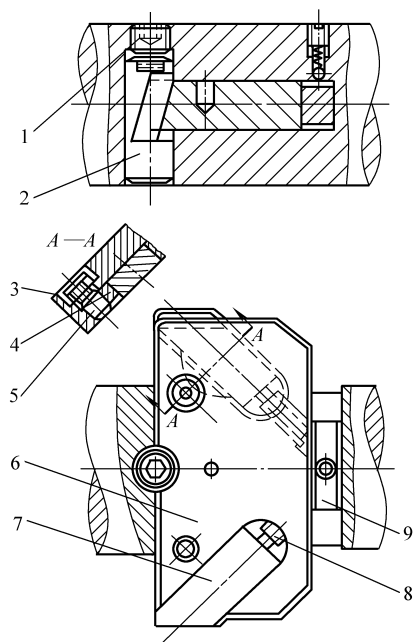
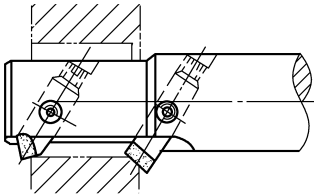
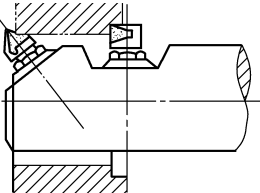
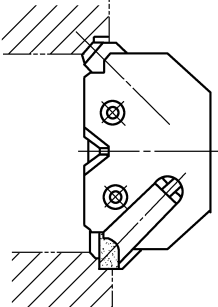
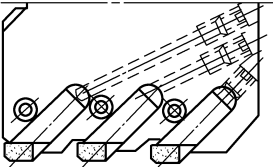
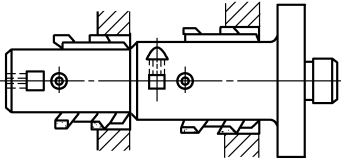


图 5-2 可调双刃镗刀块

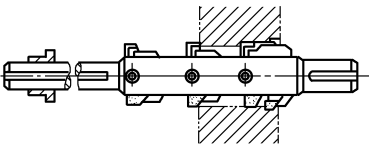
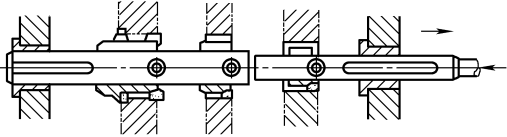
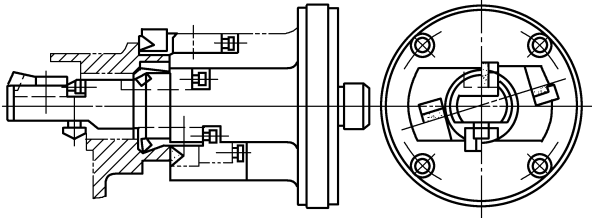
1、5、8—螺钉 2—楔销 3—螺母
4—滑块 6—镗刀块 7—镗刀 9—垫块

复合镗刀的形式及应用举例见表 5-6。

表 5-6 复合镗刀的形式及应用

名 称	图 示	应用范围
镗 通 孔、 倒角复合镗 刀		在镗刀杆上安装 两把单刃镗刀，用 以加工通孔和倒角
镗 通 孔、 铰 止 口 复 合 镗 刀		在镗刀杆上安装 两套微调镗刀，用 以加工阶梯孔或通 孔，铰止口
铰 止 口、 倒角镗刀块		双刃镗刀块用以 铰止口和倒角
粗精镗六 刃镗刀块		可加工阶梯孔和 通孔，在加工通孔 时，能切除较大的 余量
双 孔 粗、 精 镗 复 合 镗 刀		在专用镗刀杆上 安装两把单刃镗刀 和两个四刃镗刀 块，可以一次加工 完成两个不同直径 的通孔

(续)

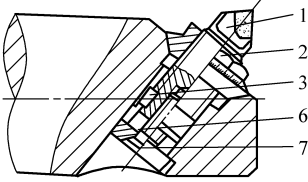
名 称	图 示	应用范围
单孔粗、精镗复合镗刀		在专用镗刀杆上安装两个双刃镗刀块和一个四刃镗刀块，镗刀杆一端用导套支承，可以一次加工完成通孔或阶梯孔
三孔精镗复合镗刀		在专用镗刀杆上安装两个双刃镗刀块和一个四刃镗刀块，镗刀杆两端用导套支承，可以一次加工完成三个通孔，并在一个孔上镗止口和倒角
多部位终加工复合镗刀		在专用镗刀杆上安装五套组合镗刀头和一套微调镗刀，可以一次加工完成通孔、倒角、阶梯孔、外圆和端面等

5.1.4 微调镗刀

微调镗刀多用于坐标镗床和数控镗床上。它具有结构简单、调节方便和调节精度高等优点。适用于孔的半精镗和精镗加工。

微调镗刀的结构形式和安装见表 5-7。

表 5-7 微调镗刀的结构形式与安装

结构与安装	图 示	说 明
结构形式		结构是用螺钉、垫圈将刻度盘拉紧。当调节尺寸时，先将螺钉松开，然后转动分度盘，使刀头调节到所需尺寸，再拧紧螺钉。此结构简单，刚性较好，但调节不便

(续)

结构与安装	图 示	说 明
结 构 形 式		其结构增加了三个碟形弹簧,其作用可使螺纹的一边相互紧贴(消除间隙),同时可在它允许弹性变形的范围内调节刀头,而不需要每次调节都去松紧螺钉,故调节方便
		结构是以四个均布的弹簧的预紧力使螺纹的一边相互紧贴(消除间隙),调节范围较大,但弹簧的预紧力是随调节量而变化的,即尺寸调得越大,预紧力越大;反之则小
安 装 形 式		直角型
		倾斜型。交角通常为 $53^{\circ}8'$; 因为 $53^{\circ}8'$ 的正弦值为 0.8, 在分度盘上标注刻线方便,读数直观

注: 1—刀头 2—分度盘 3—键 4—弹簧 5—碟形弹簧 6—垫圈 7—螺钉

5.1.5 镗床用攻螺纹夹头(表 5-8)

表 5-8 镗床用攻螺纹夹头 (单位:mm)

	锥 柄	攻螺纹范围	浮动量
	莫氏 2、3 号	M3 ~ M12	前浮 15 后浮 5
	莫氏 4 号	M12 ~ M24	前浮 20 后浮 8
	7: 24, $\phi 44.45$	M3 ~ M12	前浮 15 后浮 5
	7: 24, $\phi 69.85$	M12 ~ M24	前浮 20 后浮 8

5.2 卧式镗床镗削

镗削加工是用镗刀在镗床上加工孔和孔系的一种加工方法。镗削时，工件装夹在工作台上，镗刀安装在镗刀杆上并作旋转的主运动，进给运动由镗轴的轴向移动或工作台的移动来实现。

镗削可以加工机座、箱体、支架等外形复杂的大型零件上的直径较大的孔，以及有位置精度要求的孔和孔系。除此之外，还可以进行钻孔、扩孔和铰孔及铣平面，还可以在卧式铣镗床的平旋盘上安装车刀车削端面、短圆柱面及内外螺纹等。

镗削加工能获得较高的精度和较小的表面粗糙度。

卧式镗床的加工精度见表 5-9。

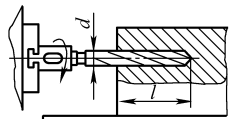
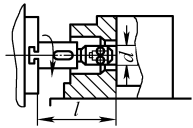
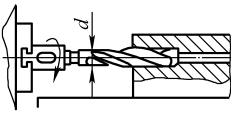
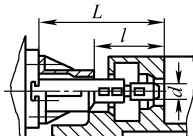
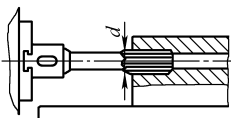
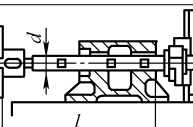
表 5-9 卧式镗床的加工精度

加工方式	加工精度/mm		表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$		
	孔径公差	孔距偏差	铸 铁	钢(铸钢)	铜铝及其合金
粗 镗	H12 ~ H10	$\pm (0.5 \sim 1.0)$	25 ~ 12.5	25	25 ~ 12.5
半精镗	H9 ~ H8	$\pm (0.1 \sim 0.3)$	12.5 ~ 6.3	25 ~ 12.5	12.5 ~ 6.3
精 镗	H8 ~ H6 ^①	$\pm (0.02 \sim 0.05)$	3.2 ~ 1.6	6.3 ~ 1.6	3.2 ~ 0.8
铰 孔	H9 ~ H7	$\pm (0.02 \sim 0.05)$	3.2 ~ 1.6	3.2 ~ 1.6	3.2 ~ 0.8

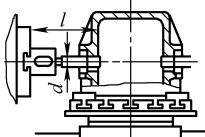
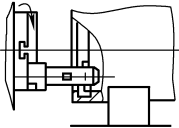
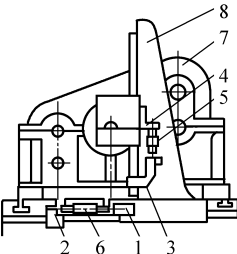
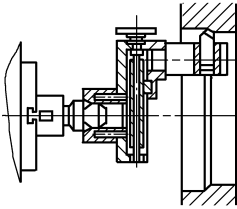
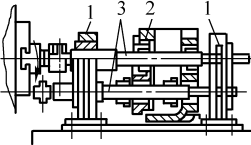
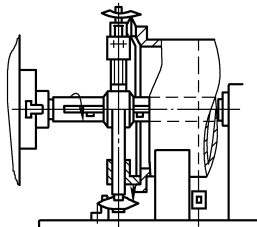
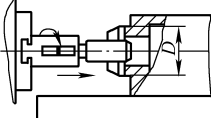
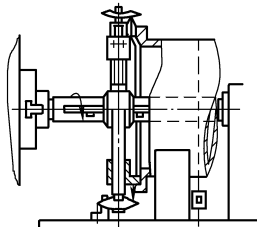
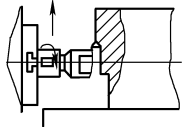
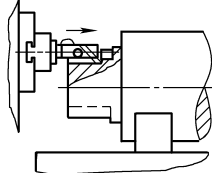
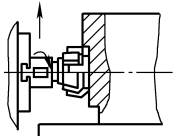
① 当加工精度为 H6 及表面粗糙度 Ra 为 $0.8\mu\text{m}$ 以上的孔时，需采取相应措施。

5.2.1 卧式镗床基本工作范围（表 5-10）

表 5-10 卧式镗床基本工作范围

麻花钻钻孔		单面镗孔 (不用导向 支承)	 用于 $l < 5d$
整体或套 式扩孔钻扩 孔		单面镗孔 (在花盘安 装支承)	 用于 $l < 5d \sim 6d$ 及 $L > 5d \sim 6d$
整体或套 式铰刀铰孔		利用后支 承架支承镗 刀杆进行镗 孔	 用于 $l > 5d \sim 6d$

(续)

调头镗孔	 用于 $l < 5d \sim 6d$ 并配有回转工作台	用径向刀架车槽	
用坐标法镗孔	 1、4—活动定位块 2、3—固定定位块 5、6—内径规 7—工件 8—镗床立柱	用飞刀架车内圆	
用镗模镗孔	 1—镗模 2—工件 3—镗刀杆	用飞刀架车端面	
镗端面	 用于加工余量和直径 D 不大的工件	用于加工两端要求平行的端面	
车端面	 用于加工余量较大的工件	车半圆槽	
铣端面	 用于加工端面余量很大的工件		

5.2.2 卧式镗床基本定位方法

(1) 主轴轴线与镗孔轴线重合方法 (表 5-11)

(2) 主轴轴线与后立柱刀杆支架轴线重合方法

在镗削较深孔时, 镗刀杆和主轴需要伸出较大的长度才能进行加工。为保证加工工艺系统刚度, 需要将镗刀杆支承在后立柱刀杆支架上, 即把悬伸镗削变为支承镗削。

这种支承镗削, 只有在主轴轴线与所镗孔轴线重合 (即完成镗刀杆定坐标) 之后, 才可找准后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线的重合位置。

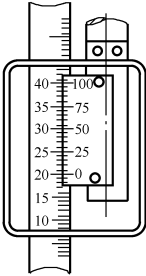
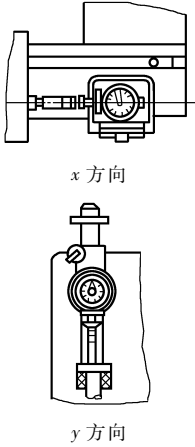
在加工轴线分布较复杂的孔系时, 可用两种方法找准刀杆支架轴线与主轴轴线的重合度。

第一, 在加工第一条轴线上的孔后, 用直接找准法。

第二, 加工其余各条轴线的孔, 则用间接找准法。间接找准法又分为, 垂直轴剖面内间接找准法与水平轴剖面内间接找准法两种。

主轴轴线与后立柱刀杆支架轴线重合方法举例见表 5-12。

表 5-11 主轴轴线与镗孔轴线重合方法

类别	定位方式	简 图	定位精度 /mm	特点和适用范围
机 床 坐 标 定 位	游 标 尺 定 位		± 0.08	机床上的游标尺, 主尺标尺间距为 1mm, 副尺为 1/20mm, 分度值为 0.05mm, 装有放大镜。适用于一般定位精度
	百分表、 量块定位		± 0.03	用百分表、量块进行测量定位。万能性强, 操作难度大, 辅助时间长, 是卧式镗床采用的基本定位方式

(续)

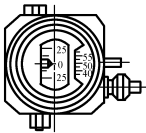
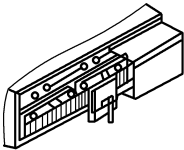
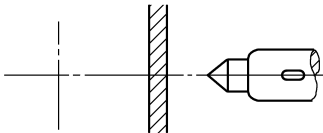
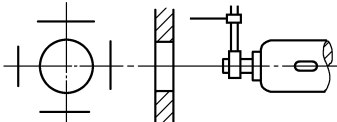
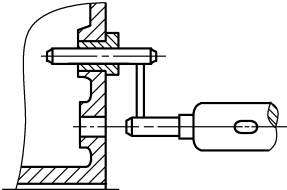
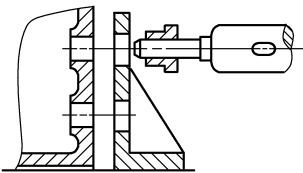
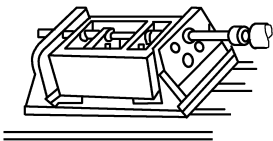
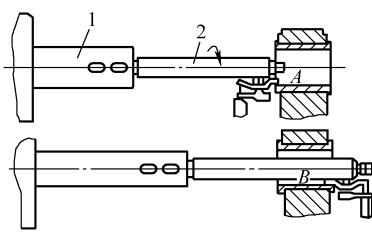
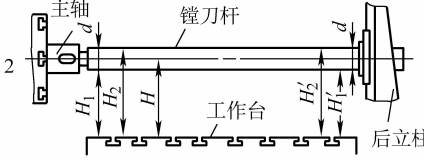
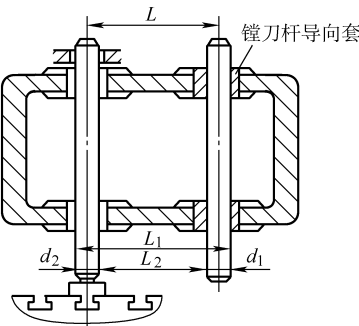
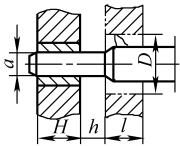
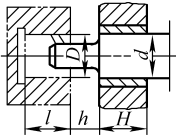
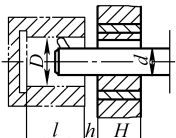
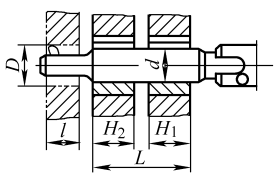
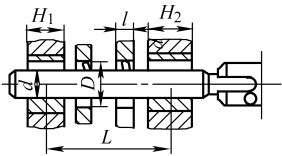
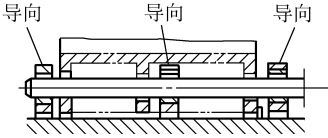
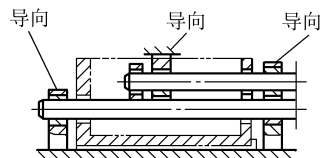
类别	定位方式	简 图	定位精度 /mm	特点和适用范围
机床坐标定位	金属线纹尺和光学读数头定位		± 0.02	金属线纹尺精度稳定可靠, 分度值为 0.01mm。适用于单件和中小批生产
	感应同步器数显定位		± 0.02	感应同步器接长方便, 配有数显装置, 定位可靠, 读数明显, 分度值为 0.01mm, 适用于大距离的测量定位, 多用于镗铣床、落地镗床
工艺定位	顶尖找正定位		± 0.3	先找好工件的水平 and 垂直位置, 然后用安装在主轴孔中的顶尖找孔中心。适用于单件生产
	划针找正定位		± 0.5	在主轴上装一划针, 转动主轴, 使划针对准工件上两对平行线与中心线的四个交点即可。适用于单件生产
	孔距测量定位		± 0.03	用心轴、量具测量定位, 镗好一孔后, 利用该孔直接测量另一孔的距离, 此方法直观、准确。适用于单件小批生产
	按模板找正定位		± 0.02	利用心轴使主轴轴线与模板上的导套孔轴线对准, 也可用百分表找正, 定位可靠, 但要求有一定的操作经验。适用于批量生产
	夹具定位		± 0.02	工件孔位置精度靠夹具保证, 主轴与镗杆一般采用浮动连接, 加工前只要将夹具位置安装准确即可。适用于大中批生产

表 5-12 主轴轴线与后立柱刀杆支架轴线重合方法举例

类别	方式	简 图	说 明
直接找准法	用镗床主轴和刀杆直接找准的方法	 <p>1—主轴 2—刀杆(或心轴)</p>	<p>用这种方法,能使镗床后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线在水平轴剖面内,具有较高的同轴度。但是随着主轴和刀杆单臂悬伸长度增加,其挠度(弯曲变形)增大,因而,降低了后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线在垂直轴剖面内的同轴度。为减少这种挠度造成的误差,一般应采用最短的刀杆(或心轴),以全部利用主轴的伸出长度。采用特制的空心心轴,并保证心轴锥柄与主轴锥孔配合的精度</p>
间接找准法	在垂直剖面内间接找准法		<p>这种方法是内径百分尺或游标高度卡尺,在垂直轴剖面内来找准后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线重合度的</p> <p>先在镗刀杆的一端(靠近主轴)测量出 H_1 或 H_2 尺寸(H 为镗刀杆轴线到工作台面(或底板)的距离),然后在镗刀杆的另一端(靠近刀杆支架)测量 H'_1 或 H'_2 的尺寸。根据所测得的两端尺寸用下列公式计算:</p> $H = H_1 + \frac{d}{2}, H = H'_1 + \frac{d}{2}$ <p>或</p> $H = H_2 - \frac{d}{2}, H = H'_2 - \frac{d}{2}$ <p>最终要使两端所测尺寸一致</p>
	在水平剖面内间接找准法		<p>这种方法主要用于同平面的平行孔系第二个孔和其余各孔轴线的定坐标。由于第一个孔已加工完,因此后立柱刀杆支架轴线已与主轴轴线同轴。在加工第二个孔和其余各孔时,不须再定垂直轴剖面内的坐标(高度坐标)。只要用检验棒确定镗刀杆轴线在水平轴剖面(侧向位置)内的坐标即可</p> <p>测量调整两端 L (两孔中心距离) 值相等:</p> $L = L_1 - \frac{d_1}{2} - \frac{d_2}{2} \text{ 或 } L = L_2 + \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2}$

5.2.3 导向装置布置的形式与特点 (表 5-13)

表 5-13 导向装置布置的形式与特点

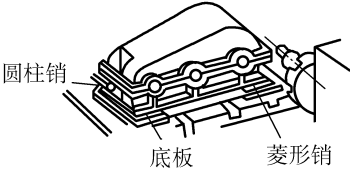
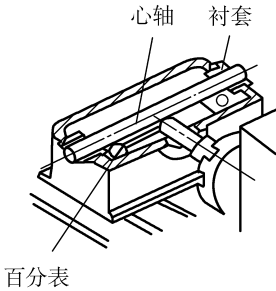
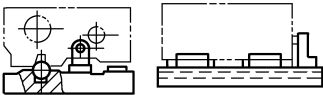
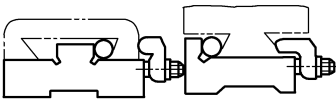
形 式	简 图	特 点
单面前导向		适用于 $D > 60\text{mm}$ 、 $l < D$ 的通孔, 因为 $d < D$, 换刀方便, 加工不同直径的孔时, 不用更换镗刀套。 $h = (0.5 \sim 1)D$, 以便排屑
单面后导向		适用于加工 $l < D$, 且孔距精度要求高的孔, 镗刀杆刚性好, 换刀时不用更换镗刀套 (卧镗 $h = 60 \sim 100\text{mm}$, 立镗 $h = 20 \sim 40\text{mm}$)
		因为 $d < D$, 所以在加工 $l > D$ 的长孔时, 镗刀杆能进入被加工孔中, 镗刀杆的悬伸量短, 有利于缩短镗刀杆长度 (卧镗 $h = 60 \sim 100\text{mm}$, 立镗 $h = 20 \sim 40\text{mm}$)
单面双导向		镗刀杆与机床主轴浮动连接, 可减少机床主轴精度对工件精度的影响。更换镗刀杆和装卸刀具方便 $L \geq (1.5 \sim 5)l$, $H_1 = H_2 = (1 \sim 1.2)D$
双面单导向		适用于镗制 $l > 1.5D$, 且在同一轴线上有两个以上的孔, 能精确地保证各孔之间的同轴度, 但两导向支架间距 L 应控制在 $10d$ 左右
中间导向		工件在同一轴线上有两个以上的孔, 且镗刀杆支承距离 $L > 10d$ 时, 应考虑增加一个中间导向装置。图示装置为立置, 适用于安装面敞开的工件
		条件基本同上。图示装置为悬置, 适用于安装面封闭的工件

5.2.4 工件定位基准及定位方法(表 5-14)

表 5-14 工件定位基准及定位方法

定位基准	简 图	方法说明
工件未经加工		工件未经加工, 工件安装在镗床上配置的垫铁和角铁上, 可用楔铁调整按划线 1、2、3 进行校正
工件用一个已加工面作为定位基准		工件将已加工的底平面安装在镗床上配置的长条垫铁上, 按划线 A 进行校正
工件用直径相同的两个轴颈作为定位基准		工件装在固定的 V 形块上, 首件加工时需找正 V 形块, 以后各件加工不需找正
工件用直径不相同的两个轴颈作为定位基准		工件用前、后两个不同的轴颈作定位基准, 将该轴颈安装在可调整的 V 形块上, 按划线进行校正。如定位精度要求较高, 也可用百分表测上素线和侧素线进行校正
工件用两个已加工面作为定位基准		将配置在镗床上的垫铁和角铁预先校正好, 然后将工件两个已加工面作为基准, 安装在垫铁上, 并紧靠角铁即可

(续)

定位基准	简 图	方 法 说 明
工件用一个已加工面及两个定位孔作为定位基准		将镗床上配置的带有两个定位销的底板(即夹具), 预先校正好, 然后将工件的一个已加工面和两个相应的定位孔作为基准, 装到夹具上即可
工件用一个已加工面及已镗好的通孔作为定位基准		在没有配置精密回转工作台的镗床上加工垂直孔, 可按已镗好的两个孔作为定位基准, 穿入心轴, 用百分表校正工件位置, 以保证两孔轴线垂直
工件用 V 形导轨面和平导轨面为定位基准		这种方法多用于箱体工件, 选用装配基准面作定位基准, 这样可以减少或避免因定位基准的转换而引起的误差, 因此定位可靠, 精度高
工件用平面与燕尾导轨面作为定位基准		这种方法多用于箱体工件, 选用装配基准面作定位基准, 这种方法定位可消除燕尾导轨的角度误差引起的定位误差

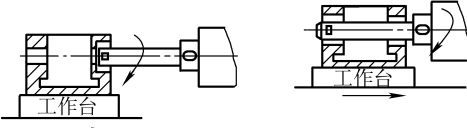
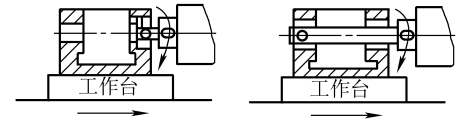
5.2.5 镗削基本类型及加工精度分析

在卧式镗床上镗削加工, 有两种基本类型。一种用端镗刀杆的悬伸镗削; 另一种是用后立柱刀杆支架或中间支架支承镗刀杆的镗削。这两种镗削按进给方式又分为: 主轴送进的镗削与工作台送进的镗削。

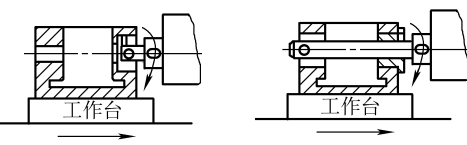
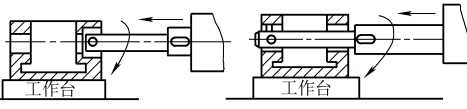
(1) 悬伸镗削基本方式及加工精度分析 (表 5-15)

(2) 支承镗削基本方式及加工精度分析 (表 5-16)

表 5-15 悬伸镗削基本方式及加工精度分析

镗削方式	简 图	精 度 分 析
<p>工作台送进；加工同轴孔系时，主轴和镗刀杆的悬伸长度不变；镗刀杆不用导向套</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1) 孔系轴线的直线度，取决于工作台纵向送进方向的直线度大小 2) 主轴和镗刀杆在本身重力和切削力作用下，产生的挠度改变了镗刀的坐标位置（镗刀下垂），从而改变了孔轴线的坐标位置。但是，由于工作台做送进运动，因此不论工作台移动到任何位置，这种改变都不会使孔轴线弯曲，因而，这种改变是一定的 3) 孔的圆柱度与床身导轨和主轴轴线的相对位置精度无关，故镗出的孔径是一定的 4) 由于镗刀杆只固定了一端，刀具系统刚度较低，因此这种加工方式特别适用于镗浅孔
<p>工作台送进；主轴悬伸量一定，但镗同一轴线上的各孔时，所用镗刀杆长度不同（第一孔加工后，将短刀杆换成长刀杆），镗刀杆不用导向套</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1) 若工作台导轨是直的，那么镗出各孔的轴线也是直的 2) 主轴悬伸长度一定，因此其挠度一定，即主轴对孔系轴线直线度的影响是一定的 3) 镗第二孔时，由于换了长刀杆，因此其挠度比镗第一孔时所用的短刀杆挠度大，这样，使同一轴线各孔的同轴度误差增大 4) 虽然长、短刀杆的挠度不同，但这两个镗刀杆上的镗刀相对于工作台的进给运动的坐标位置（下垂量）是一致的，即各自挠度是一定的，也就是说，各自的刚度不变，因此，不会影响每个孔轴线的直线度，同时也不影响每个孔的圆柱度 5) 这种加工方式镗第一孔时，采用了刚度较大的短刀杆，因此，可用较大的切削用量，其生产率较高；镗第二孔时由于使用了长刀杆，因此，其生产率（比镗第一孔时）降低 6) 适用于加工轴线同轴度要求不太高、且较浅的同轴孔系

(续)

镗削方式	简 图	精 度 分 析
<p>工 作 台 送进；主轴 的悬伸长度 一定，但镗 同一轴线上的各孔时， 所用的镗刀 杆长度不同 (第一孔加工后，将短 刀杆换为长刀杆)， 从加工第二孔开始， 在先前加工过的孔内， 安 装 镗 刀 杆 的 导向套</p>		<p>1) 如果工作台导轨是直的，那么，第一孔轴线也是直的</p> <p>2) 第二孔轴线的直线度，不但取决于工作台导轨的直线度，而且还取决于长刀杆的直线度。因为，镗刀杆在导向套内作轴向移动时，镗刀运动轨迹重复了镗刀杆的曲线形状，从而使孔轴线随之产生了直线度误差。另外，孔轴线的直线度，还取决于镗刀杆从导向套端面算起的悬伸长度、镗刀杆与导向套的间隙大小、镗刀杆在主轴上的夹持刚度等。按这种方式加工，为保证加工精度，则需要很精密的镗刀杆</p> <p>3) 镗第二孔时，镗刀随着镗刀杆悬伸长度的增加，其刚度随之变坏，镗刀在不同加工位置上的切削变形也不同。镗刀在开始镗孔的位置上，孔的变形误差最小，但镗到孔末端时，孔的变形误差为最大。这种变形误差往往使孔口前端小、后端大</p> <p>4) 采用导向套，除增加刀具系统刚度外，还起消振作用，从而能提高生产率</p> <p>5) 这种加工方式适用于轴线同轴度要求较高的孔系</p>
<p>主 轴 送 进；镗 同 轴孔系时， 镗 刀 杆 的 长度一定， 镗 刀 杆 不 用导向套</p>		<p>1) 在切削力作用下，孔的直径尺寸精度、形状精度，随主轴悬伸长度的增加，主轴刚度下降而降低</p> <p>2) 主轴因本身质量产生的挠度，随主轴悬伸长度增加而增大。因此，增大了孔系轴线的直线度误差</p> <p>3) 被加工孔直径比主轴直径小时，只好采用细长镗刀杆。因而，工件不得不装在离主轴端面远些的位置（至少要等于镗刀杆长度的位置）上。镗削时，随着主轴送进、主轴和镗刀杆悬伸长度的不断增加，刀具系统刚度变得越来越坏，降低了镗削精度。这种加工方式的不利因素较多，因此在一般情况下，采用较少。它只用于工作台不能作纵向移动、或没有工作台的情况下镗床上镗孔</p>

(续)

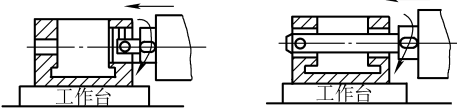
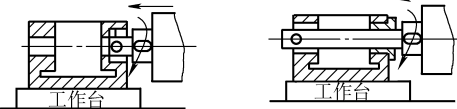
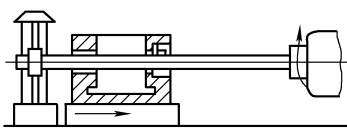
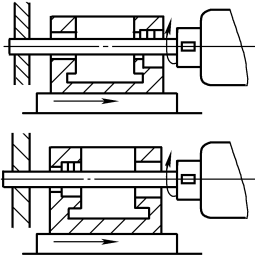
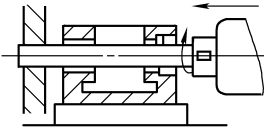
镗削方式	简 图	精度 分析
<p>主 轴 送 进；镗同一 轴线上的各 孔时，所用 的镗刀杆长 度 不 同 (第一孔加 工后，将短 刀杆换成 长刀杆再 加工第二 孔)，镗 刀杆不用 导向套</p>		<p>这种方式主要用于工作台不能作纵向移动的镗床，或没有工作台 的镗床上镗孔。这种镗孔方式对加工精度的影响，虽然与上一种方式基本相同，但由于其刀具系统刚度较高，因此它的加工精度和生产率都比上一种方式高</p>
<p>主 轴 送 进；镗 同 一 轴 线 上 各 孔 时， 所用 的 镗 刀 杆 长 度 不 同（第 一 孔 加 工 后，将 短 刀 杆 换 成 长 刀 杆）， 从 第 二 孔 开 始，在 已 加 工 过 的 孔 内 装 上 导 向 套</p>		<p>这种加工方式由于增加了镗刀杆导向套，与上一种加工方式相比，其刀具系统刚度较大、抗振性较好，因此，这种方式镗孔精度较高</p>

表 5-16 支承镗削基本方式及加工精度分析

镗 削 方 式	简 图	精度 分析
<p>工 作 台 送 进，加 工 同 轴 孔 系 时，镗 刀 杆 长 度 一 定</p>		<p>1) 这种镗孔方式使用的镗刀杆长度一般是工件长度的 2 倍，但镗刀杆刚度比悬伸镗削方式刚度大，这种方式镗刀杆挠度是悬伸镗削方式镗刀杆的 1/2</p> <p>2) 由于工作台送进，镗刀杆在轴向内固定不动。这样镗刀杆的形状误差、后立柱刀杆支架轴线与主轴轴线的重合度误差对镗孔精度的影响是不大的。虽然，镗刀杆的弯曲影响镗刀的径向位置，但这种影响在孔的全长上是一样的</p> <p>3) 这种镗孔方式比悬伸镗削方式更适合于加工精度较高、较深的孔系</p>

(续)

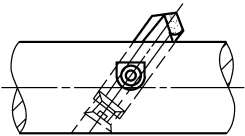
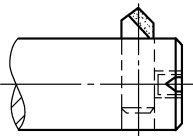
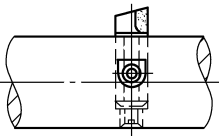
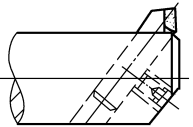
镗削方式	简图	精度分析
工作台送进；加工同轴孔系时，只用一根镗刀杆，并且在镗刀杆的不同部位上安装镗刀		<p>这种加工方式所使用的镗刀杆在不同的部位上安装镗刀，因此，镗刀杆长度大大缩短（比工件长度大一些就可以了）。这种镗孔方式的镗刀杆刚度比上一种镗孔方式的镗刀杆刚度还大。所以，更适合加工较深的孔系。这种方法生产率较高，应用较广泛</p> <p>缺点是由于镗刀杆在各点上的挠度不同，镗刀杆上不同部位的镗刀径向圆跳动也不同，因此，加工出的孔系轴线有一些弯曲</p>
主轴送进，随着主轴伸出长度的增加，使镗刀杆的工作长度相对缩短（一部分工作长度悬伸出后立柱支架）		<p>1) 这种镗孔方式的刀具系统刚度比前面几种镗孔方式的刀具系统刚度大得多，而且引起振动的可能性很小。因此，可用宽切削刃镗孔，并可同时用几把刀镗削，适用于细长同轴孔系的加工，其生产率较高</p> <p>2) 镗刀杆因本身质量引起的挠度，使镗刀产生径向圆跳动，其跳动的大小和镗刀所在的位置有关。镗刀在两支承中间时，跳动最大，当逐渐移向支承架时，跳动随之减少，移至支承处，跳动为零，这样使孔系轴线产生弯曲</p> <p>3) 在切削力的作用下，镗刀杆各处产生的挠度是不同的。因此，不同位置上的镗刀其径向圆跳动也不同，结果使同一次调整好的镗刀镗出的孔径不一样。一般，镗刀杆支承处的孔径要大一些</p> <p>4) 加工出的孔径虽有变化，但孔是圆的。直径误差的大小，取决于切削力的大小</p> <p>5) 如果镗刀杆精度高，中间支架及后立柱刀杆支架轴线调整准确，轴承间隙相当，就可以提高孔系轴线的直线度精度</p>

5.2.6 镗削加工基本方法和计算

5.2.6.1 镗刀安装与对刀

(1) 单刃镗刀的装夹方式及用途（表 5-17）

表 5-17 单刃镗刀的装夹方式及用途

装夹方式	用 途
	用于镗通孔
	用于镗通孔
	用于镗阶梯孔
	用于镗不通孔

(2) 镗刀块的安装

镗刀块与镗刀杆的安装应成垂直状态。镗刀块与镗刀杆矩形孔的配合精度一般为 $H7/h6$ 或 $H7/g6$ ，镗刀杆矩形孔对轴线的垂直度和对称度应小于 0.01mm ，表面粗糙度 Ra 为 $0.4 \sim 0.2\mu\text{m}$ 。镗刀块各面平行度一般控制在 0.005mm 。镗杆矩形孔精度要求（图 5-3），镗刀块在镗刀杆上安装位置（图 5-4）。

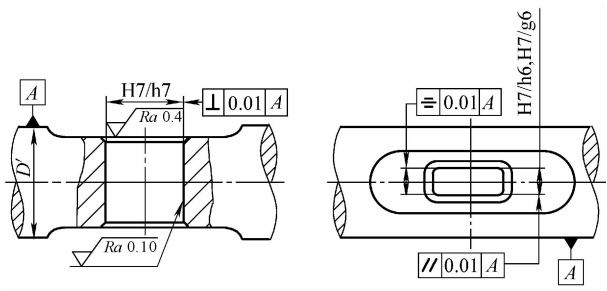


图 5-3 镗刀杆矩形孔精度要求

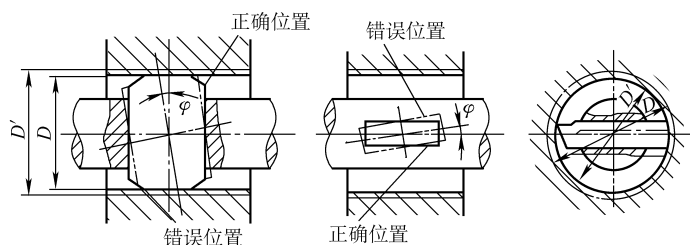


图 5-4 镗刀块安装位置

(3) 对刀

对刀（即校正刀尖伸出量），可用对刀表座（图 5-5）。表座是一 V 形体，以 V 形面放置在镗轴上，用百分表的测量头顶在刀夹上，调整百分表零位，通过敲刀头来测量调整刀尖尺寸位置。对刀时应注意 V 形基准面要紧贴镗刀杆，不能倾斜测量，百分表测量头不可与刀尖剧烈摩擦。

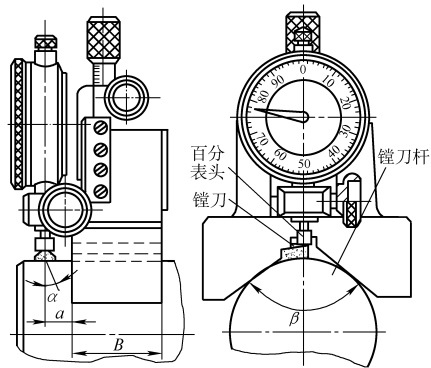


图 5-5 对刀表座

5.2.6.2 粗镗、精镗

粗镗主要是对工件的毛坯孔（铸造孔）或对钻、扩后的孔进行初加工。即采用较大的镗削用量（主要是背吃刀量 a_p 和进给量 f ）切除工件表面不规则的硬层部分，为下一步半精镗、精镗加工达到要求奠定基础。

粗镗后一般单边留 2~3mm 作为半精镗和精镗孔的余量。对于精密的箱体类工件，一般粗镗后均安排回火或时效处理，消除内应力达到自然状态，最后再进行精镗。这时的精加工余量应根据毛坯精度和工件精度来确定。

采用单刃镗刀进行粗镗时，镗刀的几何角度，推荐选用前角 $\gamma_o = 5^\circ \sim 10^\circ$ ；后角 $\alpha_o = 3^\circ \sim 8^\circ$ ；主偏角 $\kappa_r = 60^\circ$ ；副偏角 $\kappa'_r = 10^\circ \sim 15^\circ$ ；刃倾角 $\lambda = 0^\circ \sim 4^\circ$ 。

半精镗是精镗的预备工序，主要是解决粗镗留下的余量不均匀部分。半精镗后一般留精镗余量为 0.3~0.4mm（单边），对精度要求不高的孔可直接精镗，不必增加半精镗工序。

精镗的目的是保证镗削孔的尺寸精度，孔的形状精度及较好的表面粗糙度。精镗是以较高的切削速度，较小的进给量切去前工序较少余量，通常精镗 $a_p \geq 0.10\text{mm}$ ， $f \geq 0.05\text{mm/r}$ 。

采用单刃镗刀进行精镗时，镗刀的几何角度，推荐选用前角 $\gamma_o = 8^\circ \sim 15^\circ$ ；后角 $\alpha_o = 5^\circ \sim 12^\circ$ ；主偏角 $\kappa_r = 90^\circ$ ；副偏角 $\kappa'_r = 0^\circ \sim 10^\circ$ ；刃倾角 $\lambda_s = -4^\circ \sim 0^\circ$ 。

铸铁件不同精度孔的典型镗削工艺方案见表 5-18。

表 5-18 铸铁件不同精度孔的典型镗削工艺方案

加工精度	在实体上加工	在铸孔或锻孔上加工	备 注
IT6		粗镗（双刀）、半精镗、精镗 粗镗（双刀）、精镗（双刀）	用粗、精四把镗刀的方案不很稳定
IT7	1) 加工直径到 $\phi 16\text{mm}$ 钻、铰、钻、扩、铰 2) 加工直径大于 $\phi 16\text{mm}$ 钻、扩、铰、钻、扩、粗铰、精铰	镗（双刀）、粗铰、精铰 扩（粗镗）、半精镗、精镗 粗镗、半精镗、精铰	
IT8	1) 加工直径到 $\phi 20\text{mm}$ 钻、扩、铰、钻、铰—复合 钻—镗复合 2) 加工直径大于 $\phi 20\text{mm}$ 钻、扩、铰	粗镗、精镗 粗镗、精镗（双刀） 镗（三把刀） 扩、铰	在加工壁厚不大的情况下 表面粗糙度 R_a 要求为 $3.2\mu\text{m}$ 时 表面粗糙度 R_a 要求为 $1.6\mu\text{m}$ 时 当壁厚较薄 表面粗糙度 R_a 要求为 $0.8\mu\text{m}$ 时
IT9、IT10	1) 加工直径到 $\phi 25\text{mm}$ 钻、扩、铰 2) 加工直径大于 $\phi 25\text{mm}$ 钻、镗、钻镗（双刀）	扩、铰 粗镗、精镗	按加工余量及表面粗糙度的要求合理选择
IT11	1) 加工直径到 $\phi 30\text{mm}$ 钻 2) 加工直径大于 $\phi 30\text{mm}$ 钻、扩、钻、铰	粗镗 粗镗、精镗	当表面粗糙度要求较高时

5.2.6.3 基本镗削方法

(1) 同轴孔系的镗削方法

通常把工件上一系列有相互位置精度要求的孔称为“孔系”。如同轴孔系、平行孔系和垂直孔系等。保证孔系的加工精度是工件加工的关键。

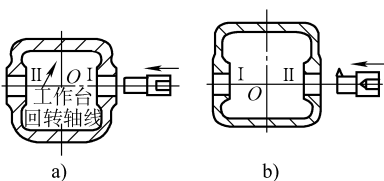
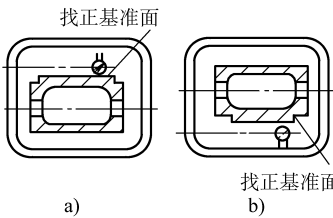
孔系加工的质量将直接影响传动部件的装配精度和机械工作性能。因此对孔系加工有一定的技术要求（以箱体工件为例）：

- 1) 轴孔的尺寸精度和几何精度。
- 2) 轴孔之间的孔距尺寸精度和相互位置精度（包括工件上同轴孔系的同轴度要求）。
- 3) 主要平面的形状精度和轴孔主要平面的相互位置精度。
- 4) 表面粗糙度。同轴孔系就是在工件的同一轴线上有一组相同孔径或不同孔径的孔。同轴孔系镗削加工除应保证孔本身的尺寸精度和表面粗糙度要求外，最主要的技术要求还应保证各孔之间的同轴度误差。

同轴孔系的加工方法有悬伸镗削（表 5-15）、支承镗削（表 5-16）和调头镗削等。

调头镗削是先将工件一端孔镗好后，然后将工件旋转 180° ，再镗另一端的孔，用这种方法镗削同心孔叫调头镗削。调头镗削中，工件旋转有两种方式（表 5-19）。

表 5-19 调头镗削方法

镗削方法	简 图	说 明
转动工作 台方法	 <p>a) b)</p>	这种方法适用于中小型工件在回转工作台装置精度高的卧式镗床上使用
工件调头 重新装夹 方法	 <p>a) b)</p>	<p>这种方法是利用工件基准面或工艺基准面找正，使平面与镗刀杆轴线平行，镗削一孔后，工件回转 180° 后重新校准平面与镗刀杆轴线平行，这样可保证同轴孔系中心平行度</p>

调头镗削方法的优点是，可采用短粗的镗刀杆加工，而且孔端面的环槽、外圆和端面均可一并加工出来，测量方便，能采用较高的切削速度，提高生产效率等。其缺点是工件的加工精度主要取决镗床工作台的回转精度和工件调头后找正误差，所以当孔中心线较短、精度要求较高时，不宜采用调头镗削方法。

（2）平行孔系的镗削加工

由若干个中心线相互平行的孔或同轴孔系所组成的一组孔称为平行孔系。平行孔系镗削加工中的主要问题是如何保证孔系的相互位置精度，孔与基准面的坐标位置精度，以及孔本身的尺寸、形状和位置精度。在大批量生产中，常采用镗模加工，在单件和小批量生产条件下，普遍采用坐标法加工。采用镗模加工零件的精度完全依赖于镗模的质量，采用坐标法加工时，各孔间的中心距是依靠尺寸坐标来保证的。尺寸坐标的累积误差必然会影响到孔距精度，所以必须正确地选择起始孔（基准孔）和镗孔顺序，以消除或减少累积误差的产生，保证加工质量。

起始孔的选择原则是该孔既与相关基准面有位置公差要求，又与相邻孔有位置公差要求，其本身的形状公差和尺寸精度及表面粗糙度要求都比较高。这样在加工中一旦有必要时，可以它作根据重新校验机床主轴中心所在的坐标位置，防止出差错。镗孔顺序的选择主要考虑有位置公差要求的两孔要顺序连续加工。

（3）垂直孔系的镗削加工

两孔轴线处在同一平面内，并且相交成 90° 夹角的孔系称为垂直孔系。垂直孔系中有垂直相交和垂直交叉两种状态，如交角为 90° 的直齿锥齿轮箱体上的两孔中心线为垂直相交，蜗轮减速器箱体上安装蜗杆和蜗轮的两孔中心线为交叉。

垂直孔系加工中的主要问题是保证各孔自身的尺寸精度、形状精度和表面粗糙度要求外,还应保证两轴线的垂直度要求和正确确定孔轴线相对于基准平面的尺寸要求和位置要求。

垂直孔系镗削方法见表 5-20。

(4) 孔端面的刮削

孔端面的刮削,主要适用于直径不大的孔端面的加工。可在孔加工前后进行,不用移动主轴中心位置,操作简单。但加工质量一般,尤其是端面的平面度和孔中心线的垂直度不如车削和铣削加工的质量好。特别是当刀杆较细且刮削面宽时质量更难保证。

孔端面刮削时,多采用单刃刀刮削,单刃刀刮削缺点是,易产生凹心及波纹,主要原因是刀杆刚性差、切削面长、刀方尺寸小和刀具后角大等。所以在选用刀杆时,应尽量选短而粗、且刚性好的刀杆。对于那些因孔小限制了刀杆直径的孔端面的加工,可将孔预先加工到与刀杆滑配的尺寸,利用该孔支承刮削,然后再将孔加工至图样尺寸,也可在已加工好的孔中装入支承套支承刀杆刮削。

精刮端面时,一般使用高速钢刀具,最好采用双刃刀具刮削,如果采用单刃刀具,在加工之前,须检查一下刀具装夹在刀杆中的位置是否正确,主要是刀口对刀杆中心线的垂直度,可用 90° 角尺紧贴在孔的表面上检查所装刀具的切削刃是否与孔面贴合。

端面刮削刀杆支承方式见表 5-21,端面刮削方法见表 5-22。

表 5-20 垂直孔系镗削方法

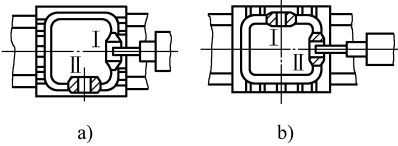
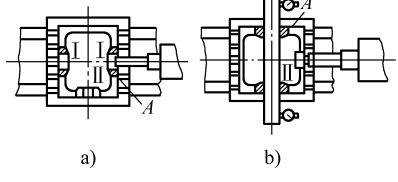
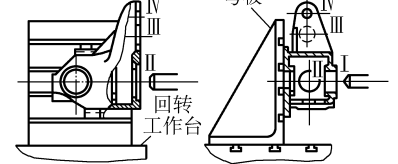
镗削方法	简 图	说 明
回转法 镗削垂直 孔系		利用回转工作台定位精度镗削垂直孔系,首先将工件安装在工作台上,按侧面或基面找正,待加工孔中心线与镗刀杆轴线同轴,镗好 I 孔后,将工作台逆时针回转 90° ,再镗削 II 孔。这种方法是依靠镗床工作台回转精度来保证孔系的垂直度
心轴校正法镗削 垂直孔系		利用已加工好的 I 孔,按 I 孔选配检验心轴插入 I 孔,镗刀杆上装百分表校对心轴两端,待两端等值后,加工 II 孔 另一种方法,镗出 I 孔后,在一次装刀下镗出基准面 A,然后转动工作台按 A 面找正,使之与镗刀杆轴线平行,再镗出 II 孔。这种方法,比光依靠镗床工作台回转精度保证孔系的垂直度更加可靠
弯板与 回转台结合 镗削垂直 孔系		这种方法适用于较小工件,在回转工作台上装夹一块弯板,将工件的基准面夹压在弯板上,同样利用回转工作台保证垂直度。工件不仅有垂直孔,而且有平行孔,可先加工 IV、III、II 孔,转 90° 后再加工 I 孔,也可以先加工 I 孔转 90° 后再加工 IV、III、II 孔

表 5-21 端面刮削刀杆的支承方式

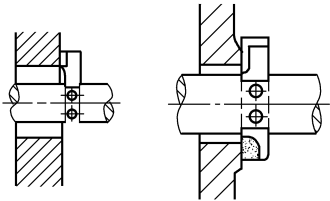
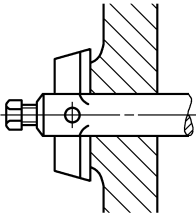
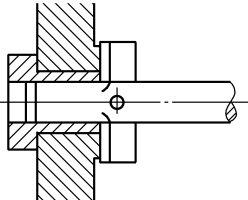
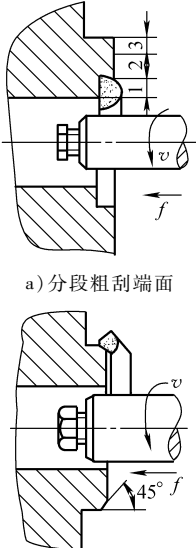
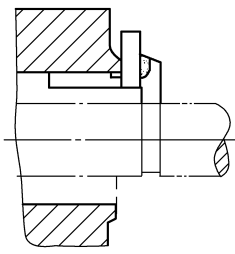
支承方式	简 图	说 明
刀杆不加支承，直接刮削		用于内孔较小且刮削端面也不大的孔端面刮削
利用内孔作支承刮削		刀杆与孔（工艺孔）为滑配尺寸，端面刮削后，将孔加工至图样尺寸
利用衬套作支承刮削		若镗孔精度要求高，表面质量也要求高时，最好不采用这种方法

表 5-22 圆柱孔端面刮削方法

刮削方法	简 图	说 明
粗刮	 <p>a) 分段粗刮端面</p> <p>b) 端面外圆倒角</p>	粗刮一般使用硬质合金刀具。若孔的端面较大，可用 90° 偏刀分段切除余量；若孔的端面是凸起面，且端面外缘处较硬，可先用 45° 偏刀副切削刃将凸台外缘倒角，这样可以保护精刮时使用的高速钢刀具

(续)

刮削方法	简 图	说 明
精刮	 <p>刀具与刀杆垂直程度检查</p>	精刮端面由于刮刀切削刃较长，切削转矩较大，所以切削速度要低。刀具后角尽可能小些，可取 $4^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。刀杆应尽量粗些，以提高刚度。若工件的孔端面过宽，可分段刮削，但接刀处必须平整光滑

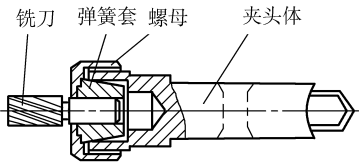
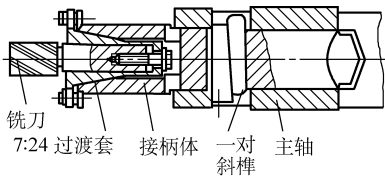
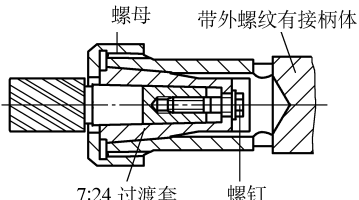
(5) 铣削平面

在刨床、铣床等设备上不便加工的平面或与孔有位置精度要求的平面，可采用镗床来加工。在镗床上铣削平面关键在于铣刀的装夹方法和刚性的好坏。

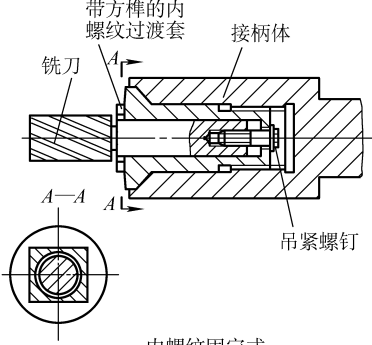
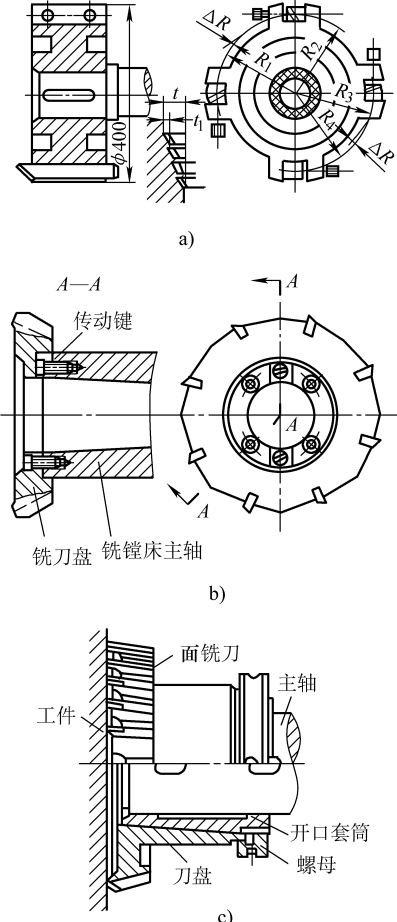
在镗床上铣削平面的方法见表 5-23。

(6) 内、外沟槽的镗削方法（表 5-24）

表 5-23 圆柱孔端面铣削方法

铣削方法	简 图	说 明
立铣刀铣削	 <p>铣刀 弹簧套 螺母 夹头体 胀簧夹头</p>	对直径小于 6mm 的直柄立铣刀一般用钻夹头来装夹 直径为 6~25mm 的直柄立铣刀可采用胀簧夹头夹紧的方法
	 <p>铣刀 7:24 过渡套 接柄体 一对斜楔 主轴 法兰固定式</p>	立铣刀在镗床主轴上的连接方式： 法兰固定式：把装好铣刀的锥套插进刀杆的锥孔，用螺栓把锥套法兰与刀杆法兰紧固起来
	 <p>螺母 带外螺纹有接柄体 7:24 过渡套 螺钉 外螺纹固定式</p>	外螺纹固定式：随着刀杆上外螺纹与螺母的旋紧，螺母平面将锥套紧紧固定在刀杆上

(续)

铣削方法	简 图	说 明
立铣刀铣削	 <p style="text-align: center;">内螺纹固定式</p>	<p>内螺纹固定式：刀杆的内螺纹与锥套的尾部外螺纹相联接，用锥套端部四方头旋紧</p>
端铣刀铣削	 <p style="text-align: center;">a)</p> <p style="text-align: center;">b)</p> <p style="text-align: center;">c)</p>	<p>端面铣刀在镗床主轴上的连接方式：</p> <p>刀盘直径小于 250mm 时，其刀盘直接装在刀杆上并用螺钉锁紧（图 a）</p> <p>刀盘直径大于 250mm 时，可装在端面上具有螺孔和键的主轴上（图 b）或铣刀体通过锥形开口套筒用螺母直接紧固在主轴的外圆上（图 c）</p>

(续)

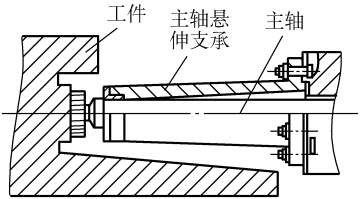
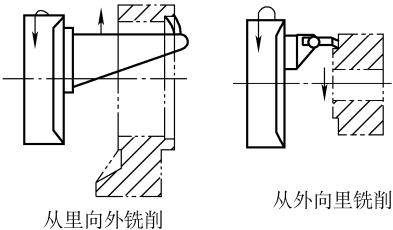
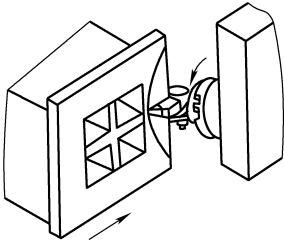
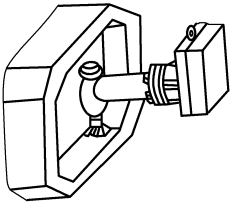
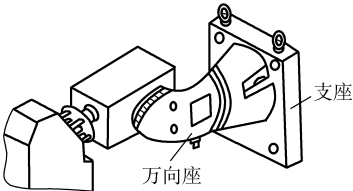
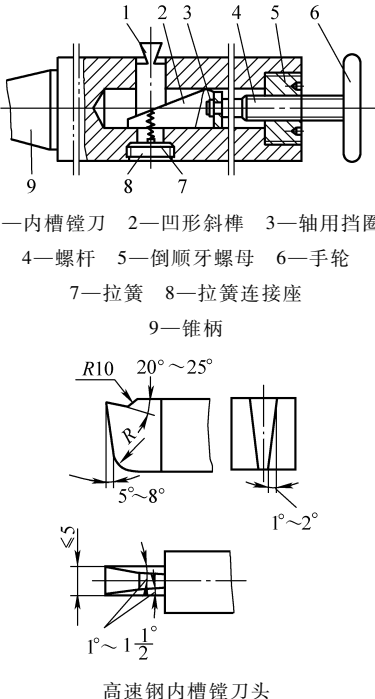
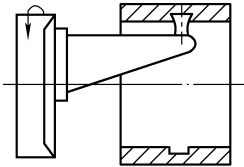
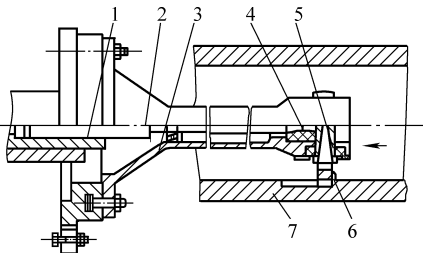
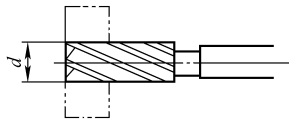
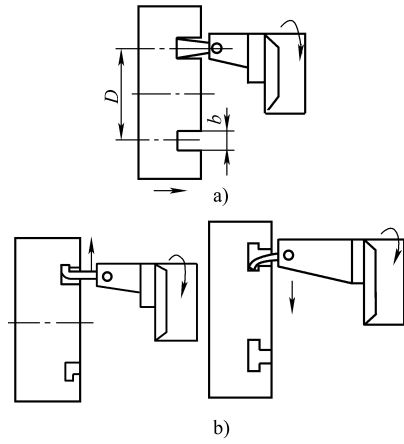
镗削方法	简 图	说 明
主轴悬伸镗削		这种方法用于镗削内深平面, 采用主轴悬伸支承进行加工。主轴悬伸支承一端与镗床的平旋盘连接, 另一端托住悬伸过长的主轴一端, 增加镗削部位刚性
利用平旋盘进行镗削		径向刀架进给方式: 是由平旋盘转动, 盘上的径向刀架作径向进给。镗削前, 必须调整好移动刀架的齿条间隙, 以保证镗削的质量。当刀架从外向里镗削, 镗削的直径较大, 刀具的线速度大, 容易磨损, 加工面易产生中间凸。反之, 从里向外镗削的易产生中间凹的端面
		径向刀架固定的方式: 是由平旋盘旋转, 盘上的径向刀架固定, 由工作台或主轴箱作进给。镗削大平面时应考虑工作台横向行程是否够长。粗铣时, 进给量不宜太大, 避免产生振动。精铣时, 采用较宽的修光刃, 刃口线贴平加工面, 加大进给量, 使表面粗糙度值降低
用镗床附件镗削		直角铣头镗削方法: 直角铣头支座的一端与镗床联接, 刀柄与支座用螺栓固定。铣头可在 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 内调整工作位置, 镗削不同平面
		万能铣头镗削方法: 可根据工件平面位置与形状, 在垂直两个方向调整 360° 角度, 镗削不同平面

表 5-24 内、外沟槽的镗削方法

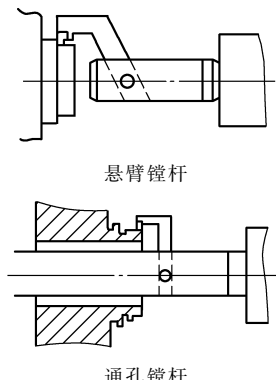
镗削方法	简 图	说 明
(1) 内沟槽		
斜楔式径向内 沟槽镗刀杆及镗 刀头	 <p>1—内槽镗刀 2—凹形斜楔 3—轴用挡圈 4—螺杆 5—倒顺牙螺母 6—手轮 7—拉簧 8—拉簧连接座 9—锥柄</p> <p>高速钢内槽镗刀头</p>	<p>利用这种专用工具,完成刀具径向切入切出内槽,专用工具锥柄与镗床主轴锥孔连接,转动手轮和螺杆,在螺母中旋转并移动,凹形斜楔向前或向后平移,内槽镗刀在斜楔作用下从刀体方孔中伸出或在拉簧作用下内缩,完成切槽和回刀动作。镗刀切削刃宽一般为$\leq 5\text{mm}$,当槽宽要求$>5\text{mm}$时,可通过镗床工作台移动完成切削槽宽</p>
平旋盘径内沟 槽		<p>这种方法适用于内孔孔径较大的内槽加工。镗内槽时镗刀固定在平旋盘径向刀架刀杆上,刀架带动刀杆径向进给镗削出内槽。这种方法刚性较好</p>
用铣头镗内沟 槽	 <p>1—主轴 2—传动轴 3—本体 4—90°锥齿轮副 5—铣刀主轴 6—立铣刀 7—工件</p>	<p>这种方法适用于大型工件上较大孔径上加工不通孔的内槽,镗床主轴通过传动轴使一对圆锥回传齿轮上的键,带动铣头上主轴转动,完成镗内槽工作,槽深由主轴箱升降来控制</p>

(续)

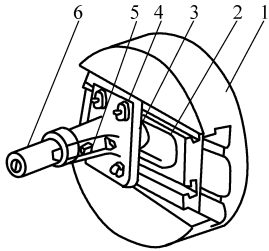
镗削方法	简 图	说 明
(2) 外沟槽		
镗床主轴铣直槽		首先选用与所用铣刀直径相同的钻头，钻削出落刀孔，然后用立铣刀铣直槽。这种方法也可完成 T 形槽直槽等的加工。
平旋盘镗削平面上环形槽		镗削平面上环形槽时，可直接用平头刀镗削环形槽至要求深度（图 a）。当切削刃宽度小于槽宽时，移动平旋盘的径向刀架重新切槽直至达到尺寸要求，并应保证槽深一致。这种方法也可完成 T 形环槽等的加工（图 b）。

(7) 外圆柱面的镗削方法（表 5-25）

表 5-25 外圆柱面的镗削方法

镗 削 方 法	简 图	说 明
专用镗杆镗削方法		用专用镗杆及镗刀镗削外圆柱面时，刀杆一般为悬伸状态镗刀刚性也较差，切削中容易产生振动

(续)

镗 削 方 法	简 图	说 明
平旋盘装 刀镗削方法	 1—平旋盘 2—径向滑块 3—刀杆座 4—紧定螺钉 5—刀杆固定螺钉 6—刀杆	用平旋盘刀杆镗削外圆柱面时，刀杆悬伸长度越短越好，以增加加工刚性，这种方法加工直径范围较大，背吃刀量用微进给手轮作调整

5.2.6.4 用镗模加工方法

在成批生产中，利用镗模来保证孔系的位置精度，则要求镗模和镗杆均应有较高的刚度。镗杆与机床主轴为浮动连接，镗杆用镗套支承，孔系的精度由镗模保证。所以镗模的孔坐标位置公差一般在给定公差的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 之间，如工件上两孔中心距公差要求为 $\pm 0.06\text{mm}$ ，则镗模上相应两孔距离公差为 $\pm 0.02 \sim 0.03\text{mm}$ 。

镗模上导向支承的形式多为前、后导向支承，这样便于使用插入主轴锥孔中的浮动接杆带动直柄刀杆进行切削加工。

当孔轴线短或同轴孔系的中间有小孔或被无孔隔墙所堵时，镗模上只有一端支承孔，加工前须用百分表对该支承孔找圆后，方能加工。

5.2.6.5 镗孔坐标尺寸的计算

镗孔坐标尺寸计算，是镗削加工工艺中的重要环节之一。因为零件图样上所标注的尺寸多为孔中心距和一个坐标尺寸，不能满足加工中所需的所有坐标尺寸，因此须把孔距尺寸换算成为两个坐标尺寸，以便移动机床的主轴箱和工作台。

在直角坐标系中用 x 轴和 y 轴分别表示水平方向和垂直方向的坐标，而这两个坐标轴须与工件上基准平面平行或重合(图 5-6)。

1) 两个孔组成的简单孔系的坐标尺寸计算。以基准孔中心为直角坐标原点，用勾股定理求出另一孔中心的坐标(图 5-7)或用三角函数计算方法计算。

已知： R 及 a 、 b 中的一个尺寸

则 $a = \sqrt{R^2 - b^2}$

$$b = \sqrt{R^2 - a^2}$$

或已知： R 及 a

则 $a = R\sin\alpha$

$$b = R\cos\alpha$$

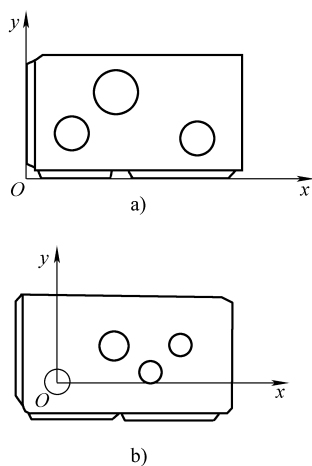


图 5-6 孔系坐标的确定

a) x 、 y 轴与工件基准面重合b) x 、 y 轴原点与基准孔
(或工艺孔) 中心重合

2) 三个孔组成的三角形孔系的坐标尺寸计算。将三孔中心连接起来组成一个三角形, 从已知的三角形的两顶点坐标和三条边长(孔中心距), 求出另一顶点(孔中心)坐标。图 5-8 所示为三孔中心(即三角形三顶点)都不在坐标轴原点上的一种情况。

已知: R_1 、 R_2 、 R_3 以及 $A(x_A, y_A)$ 点、 $B(x_B, y_B)$ 点坐标, 求 $C(x_C, y_C)$ 点坐标。

由图得:

因为 $y_A - y_B = R_1 \sin \alpha$

所以

$$\sin \alpha = \frac{y_A - y_B}{R_1}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{y_A - y_B}{R_1}$$

由三角形余弦定理得:

$$R_3^2 = R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos \beta$$

$$\cos \beta = \frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1 R_2}$$

$$\beta = \arccos \frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1 R_2}$$

由图得:

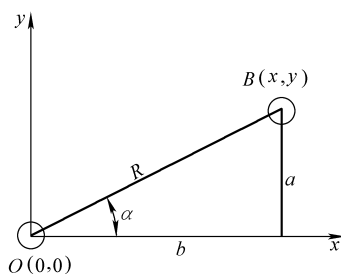
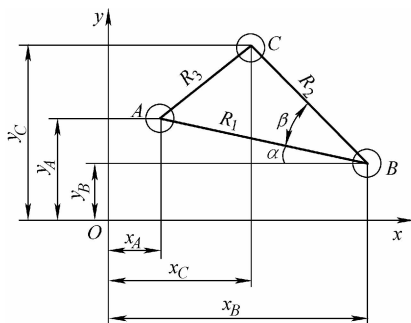
图 5-7 两个孔坐标尺寸
的计算

图 5-8 三孔坐标尺寸计算

$$x_B - x_C = R_2 \cos (\alpha + \beta)$$

$$y_C - y_B = R_2 \sin (\alpha + \beta)$$

$$x_C = x_B - R_2 \cos (\alpha + \beta)$$

$$y_C = y_B + R_2 \sin (\alpha + \beta)$$

3) 四个以上孔组成的多边形孔系的坐标尺寸换算。这种坐标尺寸的计算,是用线段将各孔中心不交叉地连接起来,成为多边形(图 5-9),这种多边形坐标的计算,是将多边形划为若干个不重叠的三角形,用三角函数法计算。

已知: R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 以及 $A(x_A, y_A)$ 点、 $B(x_B, y_B)$ 点坐标。求: $C(x_C, y_C)$ 点、 $D(x_D, y_D)$ 点坐标。

由图得:

因为

$$\sin \alpha = \frac{y_A - y_B}{R_1}$$

$$\cos \beta = \frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1 R_2}$$

$$\cos \gamma = \frac{R_2^2 + R_4^2 - R_5^2}{2R_2 R_4}$$

所以

$$\alpha = \arcsin \frac{y_A - y_B}{R_1}$$

$$\beta = \arccos \frac{R_1^2 + R_2^2 - R_3^2}{2R_1 R_2}$$

$$\gamma = \arccos \frac{R_2^2 + R_4^2 - R_5^2}{2R_2 R_4}$$

由图得:

因为

$$x_D = x_B - R_4 \cos (\alpha + \beta + \gamma)$$

$$y_D = y_B + R_4 \sin (\alpha + \beta + \gamma)$$

所以

$$x_C = x_B - R_2 \cos (\alpha + \beta)$$

$$y_C = y_B + R_2 \sin (\alpha + \beta)$$

4) 孔坐标尺寸公差计算。孔的坐标尺寸通过计算确定之后,为保证孔中心距的公差,还必须计算出坐标尺寸的公差,这样才能保证加工的精度。

孔中心距的公差应等于或大于两项坐标公差的几何和。

即

$$(\Delta L)^2 \geq (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2$$

式中 ΔL ——两孔中心距的公差 (mm);

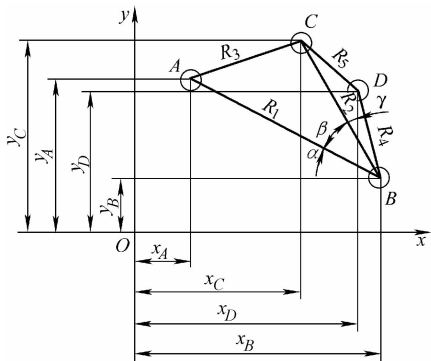


图 5-9 四孔坐标尺寸计算

Δx —— x 轴的尺寸公差 (mm);

Δy —— y 轴的尺寸公差 (mm)。

由图 5-10 可知, Δx 平行于 x , Δy 平行于 y , 两孔的坐标尺寸公差所组成的两个直角三角形相似。

所以

$$\frac{\Delta L}{\Delta x} = \frac{L}{x}$$

$$\frac{\Delta L}{\Delta y} = \frac{L}{y}$$

如果给定 ΔL

则

$$\Delta x = \frac{\Delta L x}{L}$$

$$\Delta y = \frac{\Delta L y}{L}$$

如果孔中心距的公差是单向的, 那么坐标公差也应同向。若是双向的, 那么坐标公差也应是双向的, 而且坐标公差的上偏差和下偏差应分别计算。

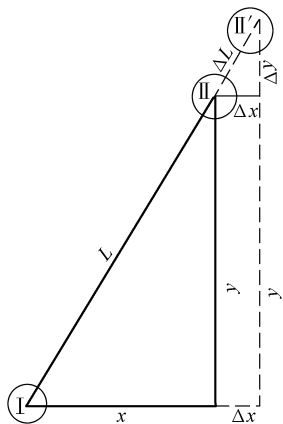


图 5-10 孔坐标尺寸公差计算

[例] 由图 5-11 可知, $L = (90 \pm 0.1)$ mm, $x = 75$ mm, 求 y 、 Δx 和 Δy 。

用勾股定理求出 y

$$y = \sqrt{L^2 - x^2} = \sqrt{90^2 \text{ mm} - 75^2 \text{ mm}} = 49.749 \text{ mm}$$

$$\Delta x_{\text{es}} = \frac{\Delta L_{\text{es}} x}{L} = \frac{0.1 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} = +0.08 \text{ mm}$$

$$\Delta x_{\text{ei}} = \frac{\Delta L_{\text{ei}} x}{L} = \frac{-0.1 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} = -0.08 \text{ mm}$$

$$\Delta y_{\text{es}} = \frac{\Delta L_{\text{es}} y}{L} = \frac{0.1 \text{ mm} \times 49.749 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} = +0.055 \text{ mm}$$

$$\Delta y_{\text{ei}} = \frac{\Delta L_{\text{ei}} y}{L} = \frac{-0.1 \text{ mm} \times 49.749 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} = -0.055 \text{ mm}$$

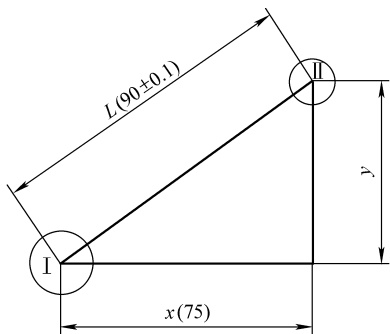


图 5-11 孔坐标尺寸公差计算举例

5.2.6.6 卧式镗床的镗削用量 (表 5-26)

表 5-26 卧式镗床的镗削用量

加工 方式	刀 具 材 料	刀具 类型	铸 铁		钢 (包括铸钢)		铜、铝及其合金		a_p /mm (直径上)
			v /(m/min)	f /(mm/r)	v /(m/min)	f /(mm/r)	v /(m/min)	f /(mm/r)	
粗 镗	高速钢	刀头	20 ~ 35	0.3 ~ 1.0	20 ~ 40	0.3 ~ 1.0	100 ~ 150	0.4 ~ 1.5	5 ~ 8
		镗刀块	25 ~ 40	0.3 ~ 0.8			120 ~ 150	0.4 ~ 1.5	
	硬质合金	刀头	40 ~ 80	0.3 ~ 1.0	40 ~ 60	0.3 ~ 1.0	200 ~ 250	0.4 ~ 1.5	
		镗刀块	35 ~ 60	0.3 ~ 0.8			200 ~ 250	0.4 ~ 1.0	

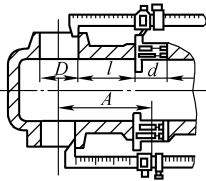
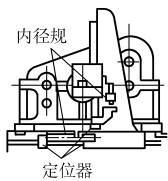
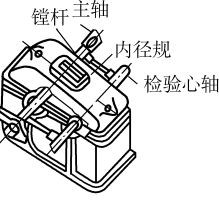
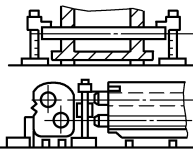
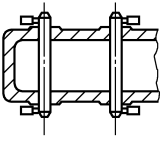
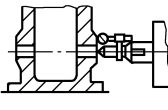
(续)

加工方式	刀具材料	刀具类型	铸 铁		钢 (包括铸钢)		铜、铝及其合金		a_p /mm (直径上)
			v /(m/min)	f /(mm/r)	v /(m/min)	f /(mm/r)	v /(m/min)	f /(mm/r)	
半精镗	高速钢	刀头	25 ~ 40	0.2 ~ 0.8	30 ~ 50	0.2 ~ 0.8	150 ~ 200	0.2 ~ 1.0	1.5 ~ 3
		镗刀块	30 ~ 40	0.2 ~ 0.6			150 ~ 200	0.2 ~ 1.0	
		粗铰刀	15 ~ 25	2.0 ~ 5.0	10 ~ 20	0.5 ~ 3.0	30 ~ 50	2.0 ~ 5.0	0.3 ~ 0.8
	硬质合金	刀头	60 ~ 100	0.2 ~ 0.8	80 ~ 120	0.2 ~ 0.8	250 ~ 300	0.2 ~ 0.8	1.5 ~ 3
		镗刀块	50 ~ 80	0.2 ~ 0.6			250 ~ 300	0.2 ~ 0.6	
		粗铰刀	30 ~ 50	3.0 ~ 5.0			80 ~ 120	3.0 ~ 5.0	0.3 ~ 0.8
精 镗	高速钢	刀头	15 ~ 30	0.15 ~ 0.5	20 ~ 35	0.1 ~ 0.6	150 ~ 200	0.2 ~ 1.0	0.6 ~ 1.2
		镗刀块	8 ~ 15	1.0 ~ 4.0	6.0 ~ 12	1.0 ~ 4.0	20 ~ 30	1.0 ~ 4.0	
		精铰刀	10 ~ 20	2.0 ~ 5.0	10 ~ 20	0.5 ~ 3.0	30 ~ 50	2.0 ~ 5.0	0.1 ~ 0.4
	硬质合金	刀头	50 ~ 80	0.15 ~ 0.5	60 ~ 100	0.15 ~ 0.5	200 ~ 250	0.15 ~ 0.5	0.6 ~ 1.2
		镗刀块	20 ~ 40	1.0 ~ 4.0	8.0 ~ 20	1.0 ~ 4.0	30 ~ 50	1.0 ~ 4.0	
		精铰刀	30 ~ 50	2.5 ~ 5.0			50 ~ 100	2.0 ~ 5.0	0.1 ~ 0.4

- 注：1. 镗杆以镗套支承时， v 取中间值；镗杆悬伸时， v 取小值。
2. 当加工孔径较大时， a_p 取大值；加工孔径较小，且加工精度要求较高时， a_p 取小值。

5.2.7 卧式铣镗床常用测量方法及精度（表 5-27）

表 5-27 卧式铣镗床常用测量方法及精度（单位：mm）

测量方法	图 示	精度	测量方法	图 示	精度
用游标卡尺测量孔间距离与平行度		0.08	用定位器及内径规测量孔间距离与平行度		0.04
用游标卡尺或内径规测量孔间距离与平行度		0.06	用游标高度尺或千分表测量基准面与孔的平行度		0.06
用千分尺测量孔间距离与平行度		0.04	用装在镗杆上的千分表测量孔与端面的垂直度		0.04

(续)

测量方法	图 示	精度	测量方法	图 示	精度
用游标高度尺测量三个孔轴线的同一平面度		0.06	用装在镗杆上的千分表与检验心轴测量两孔的垂直度		0.06
用检验心轴与塞尺测量孔轴线的同一平面度		0.04	用内径规、检验直尺及检验心轴测量一个孔至另一个端面的距离		0.06

5.2.8 卧式铣镗床加工中常见的质量问题与解决方法（表 5-28）

表 5-28 卧式铣镗床加工中常见的质量问题与解决方法

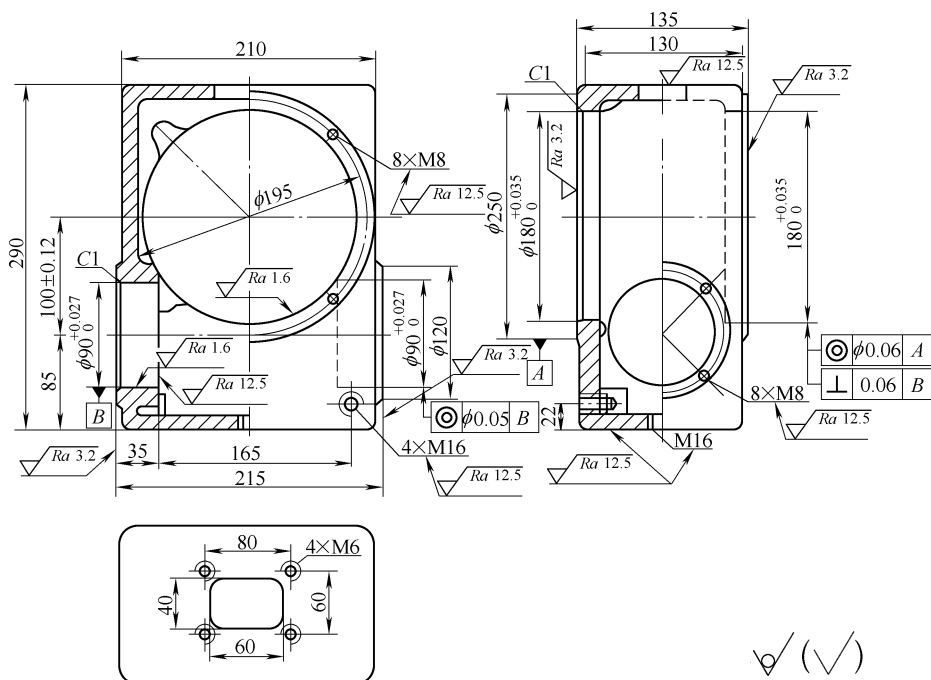
质量问题	影 响 因 素	解 决 方 法	质量问题	影 响 因 素	解 决 方 法
尺寸精度超差	精镗的背吃刀量没掌握好	调整背吃刀量	表面粗糙度参数值超差	镗刀刀刃磨损	重新刃磨镗刀刃口
	镗刀块切削刃磨损尺寸起变化	调换合格的镗刀块		镗刀几何角度不当	合理改变镗刀几何角度
	镗刀块定位面间有脏物	清除脏物重新安装		切削用量选择不当	合理调整切削用量
	用对刀规对刀时产生测量误差	利用样块对照仔细测量		刀具用钝或有损坏	调换刀具
	铰刀直径选择不对	试铰后选择直径合适的铰刀		没有用切削液或选用不当	使用合适的切削液
	切削液选择不对	调换切削液		镗杆刚性差有振动	改用刚性好的镗杆或镗杆支承形式
	镗杆刚性不足有让刀	改用刚性好的镗杆或减小切削用量			
	机床主轴径向圆跳动过大	调整机床			

(续)

质量问题	影 响 因 素	解 决 方 法	质量问题	影 响 因 素	解 决 方 法
圆 柱 度超差	用镗杆送进时， 镗杆挠曲变形	采用工作台送 进，增强镗杆刚 性，减少切削用量	同 轴 度超差	镗杆的挠曲变形	减少镗杆的悬伸 长度，采用工作台 送进、调头镗；增 加镗杆刚性，采用 镗套或后立柱支承
	用工作台送进时， 床身导轨不平直	维修机床			
	刀具的磨损	提高刀具的寿 命；合理地选择 切削用量			
	刀具的热变形	使用切削液；降 低切削用量；合理 地选择刀具角度			
圆 度 超差	主轴的回转精度 差	维 修、调整机 床		床身导轨的不平 直	维修机床，修复 导轨精度
	工作台送进方向 与主轴轴线不平行	维 修、调整机 床		床身导轨与工作 台的配合间隙不当	恰当地调整导轨 与工作台间的配合 间隙；镗同一轴线 孔时采用同一送进 方向
	镗杆与导向套的 几何精度与配合间 隙不当	使镗杆和导向 套的几何形状符 合技术要求并控 制合适的配合间 隙			
	加工余量不均匀 材质不均匀	适当增加走刀 次数 合理地安排热 处理工序 精加工采用浮 动镗削			
	切削深度很小时， 多次重复走刀形成 “溜刀”	控制精加工走 刀次数与背吃刀 量采用浮动镗削		加工余量不均匀， 不一致 切削用量不平衡	尽量使各孔的余 量均匀一致；切削 用量相近；增强镗 杆刚性；适当降低 切削用量，增加走 刀次数
	夹紧变形	正确选择夹紧 力、夹紧方向和 着力点			
	铸造内应力	进行人工时效， 粗加工后停放一 段时间			
	热变形	粗、精加工分 开，注意充分冷却			
			平 行 度超差	镗杆挠曲变形	增强镗杆刚性； 采用工作台送进
				工作台与床身导 轨不平行	维修机床

5.2.9 典型箱体零件加工工艺分析举例

图 5-12 为小型蜗轮减速器箱体，加工工艺分析如下。



技术要求

1. 铸件不得有砂眼、疏松等缺陷。
2. 非加工表面涂防锈漆。
3. 铸件人工时效处理。
4. 箱体做煤油渗漏试验。
5. 材料 HT200。

图 5-12 小型蜗轮减速器箱体

(1) 零件图样分析

- 1) $\phi 180^{+0.035}_0$ mm 孔轴线对基准轴线 B 的垂直度公差为 0.06 mm。
- 2) $\phi 180^{+0.035}_0$ mm 两孔同轴度公差为 $\phi 0.06$ mm。
- 3) $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 两孔同轴度公差为 $\phi 0.05$ mm。
4. 箱体内部做煤油渗漏检验。
5. 铸件人工时效处理。
6. 非加工表面涂防锈漆。
7. 铸件不能有砂眼、疏松等缺陷。
8. 材料 HT200。

(2) 工艺分析

1) 在加工前,安排划线工艺是为了保证工件壁厚均匀,并及时发现铸件的缺陷,减少废品。

2) 该工件体积小、壁薄,加工时应注意夹紧力的大小,防止变形。

工序 12 精镗前要求对工件压紧力进行适当的调整,也是确保加工精度的一种方法。

3) $\phi 180^{+0.035}_0$ mm 与 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 两孔的垂直度 0.06mm 要求,由机床分度来保证。

4) $\phi 180^{+0.035}_0$ mm 与 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 两孔孔距尺寸 (100 ± 0.12) mm,可采用装心轴的方法检测。

(3) 小型蜗轮减速器箱体机械加工工艺过程卡 (表 5-29)

表 5-29 小型蜗轮减速器箱体机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工序内容	工艺装备
1	铸	铸造	
2	清砂	清砂	
3	热处理	人工时效处理	
4	涂装	涂红色防锈底漆	
5	划线	划 $\phi 180^{+0.035}_0$ mm、 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 孔加工线,划上、下平面加工线	
6	铣	以顶面毛坯定位,按线找正,粗、精铣底面	X5030A
7	铣	以底面定位装夹工件,粗、精铣顶面,保证尺寸为 290mm	X5030A
8	铣	以底面定位,压紧顶面按线铣 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 两孔侧面凸台,保证尺寸为 217mm	X6132
9	铣	以底面定位,压紧顶面按线找正,铣 $\phi 180^{+0.035}_0$ mm 两孔侧面,保证尺寸 137mm	X6132
10	镗	以底面定位,按 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 孔端面找正,压紧顶面,粗镗 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 孔至尺寸 $\phi 88^{+0.027}_0$ mm,粗刮平面保证总长尺寸 215mm 为 216mm,刮 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 内端面,保证尺寸 35.5mm	T617A
11	镗	将机床上工作台旋转 90° ,加工 $\phi 180^{+0.035}_0$ mm 孔尺寸到 $\phi 178^{+0.027}_0$ mm,粗刮平面,保证总厚 136mm,保证与 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 孔距尺寸 100 ± 0.12 mm	T617A
12	精镗	将机床上工作台旋转回零位,调整工件压紧力(工件不动),精镗 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 至图样尺寸,精刮两端面至尺寸 215mm	T617A
13	精镗	将机床上工作台旋转 90° ,精镗 $\phi 180^{+0.035}_0$ mm 孔至图样尺寸,精刮两侧面保证总厚 135mm,保证与 $\phi 90^{+0.027}_0$ mm 孔距尺寸 100 ± 0.12 mm	T617A

(续)

工序号	工序名称	工序内容	工艺装备
14	划线	划两处 $8 \times M8$ 、 $4 \times M16$ 、 $M16$ 、 $4 \times M6$ 各螺纹孔加工线	
15	钻	钻、攻各螺纹	Z3032
16	钳	修毛刺	
17	钳	煤油渗漏试验	
18	检验	按图样检查工作件各部尺寸及精度	
19	入库	入库	

第 6 章 刨削、插削加工技术

6.1 刨削

刨削适用于在多品种、小批量生产中用于加工各种平面、导轨面、直沟槽、燕尾槽、T 形槽等。如果增加辅助装置，还可以加工曲面、齿条和齿轮等工件。

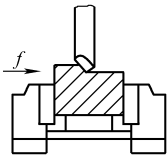
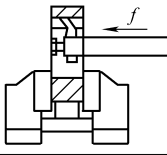
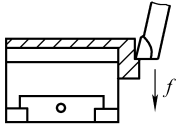
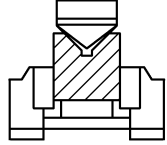
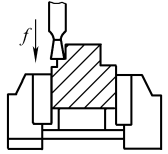
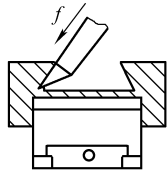
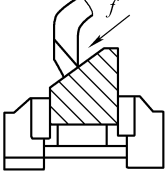
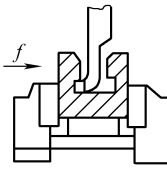
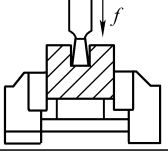
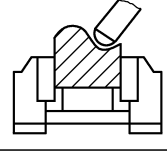
刨削加工精度一般可达 IT9 ~ IT7 级，工件表面粗糙度 Ra 可达 $6.3 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。

6.1.1 刨削加工方法

(1) 牛头刨床常见加工方法（表 6-1）

(2) 龙门刨床常见加工方法（表 6-2）

表 6-1 牛头刨床常见加工方法

刨平面		刨孔内槽	
刨侧面		刨 V 形槽	
刨台阶		刨燕尾槽	
刨斜面		刨 T 形槽	
刨槽		刨曲面	

(续)

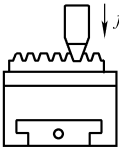
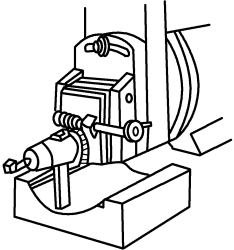
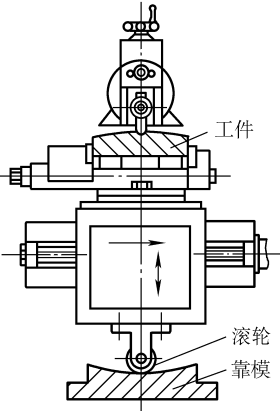
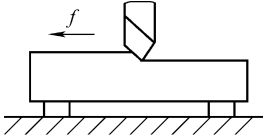
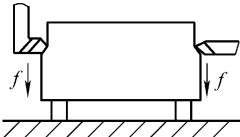
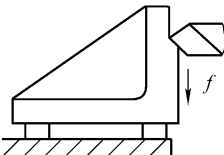
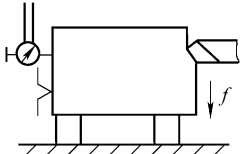
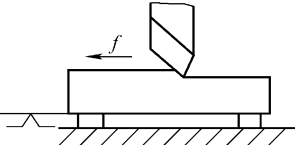
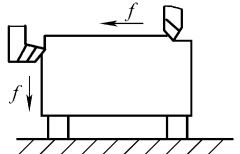
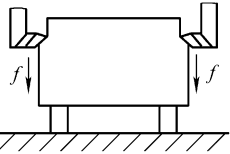
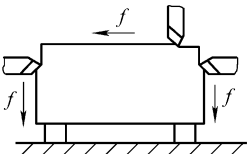
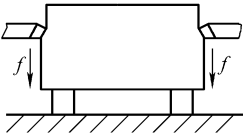
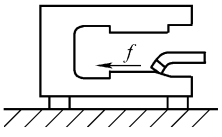
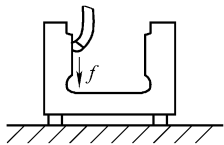
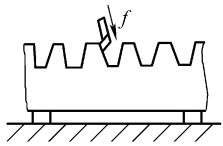
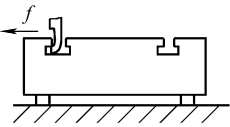
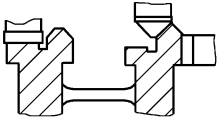
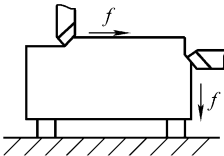
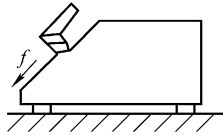
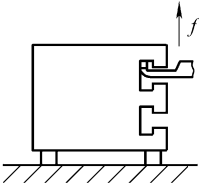
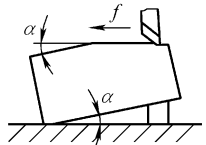
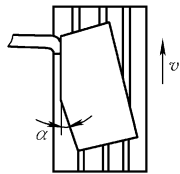
刨齿条			
可转刀杆刨凹圆柱面		仿形法刨圆弧面	

表 6-2 龙门刨床常见加工方法

用垂直刀架加工一个平面		用垂直刀架与水平刀架同时加工两侧面	
用水平刀架加工一个平面		用水平刀架加工一个与基准面平行的平面 (基准面用百分表校准)	
用垂直刀架加工一个与基准面平行的平面 (用垫铁调整方法)		用两个垂直刀架同时加工上平面与侧面	
用两个垂直刀架同时加工两侧面		用两个水平刀架及一个垂直刀架同时加工上平面与侧面	
用两个水平刀架同时加工两侧面		用水平刀架加工内表面	

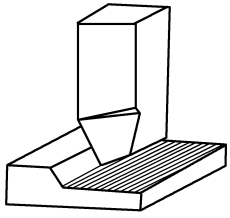
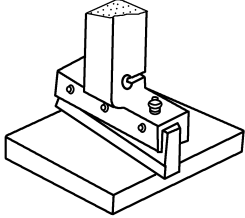
(续)

用垂直刀架加工内表面		用垂直刀架加工齿条	
用垂直刀架加工上面的 T 形槽		用两个垂直刀架和一个水平刀架同时加工导轨面	
用垂直刀架与水平刀架同时加工上平面与侧面		用垂直刀架按角度加工斜面	
用水平刀架加工侧面的 T 形槽		把工件装成斜度加工斜面	
			

6.1.2 刨刀类型及切削角度的选择

- (1) 刨刀的结构形式 (表 6-3)
- (2) 常用刨刀的种类及用途 (表 6-4)
- (3) 刨刀切削角度的选择 (表 6-5)

表 6-3 刨刀的结构形式

种类	图 示	特点及用途	种类	图 示	特点及用途
粗刨刀		粗加工表面用刨刀。多为强力刨刀, 以提高切削效率	精刨刀		精细加工用刨刀。多为宽刃形式, 以获得较低的表面粗糙度

(续)

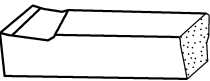

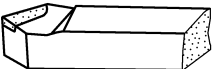
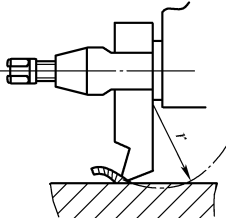
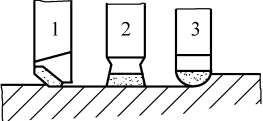
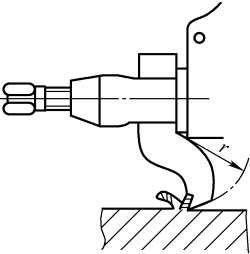
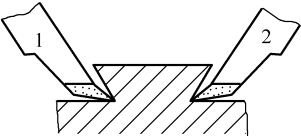
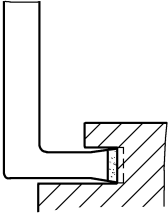
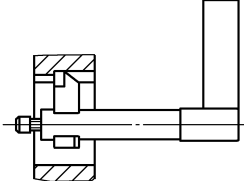
种类	图 示	特点及用途	种类	图 示	特点及用途
整体刨刀		刀头与刀杆为同种材料制成。一般高速钢刀具多是此种形式	机械夹固式刨刀		刀头与刀杆为不同材料, 用压板、螺栓等把刀头紧固在刀杆上
焊接刨刀		刀头与刀杆由两种材料焊接而成。刀头一般为硬质合金刀片			

表 6-4 常用刨刀的种类及用途

种类	图 示	特点及用途	种类	图 示	特点及用途
直杆刨刀		刀杆为直杆。粗加工用	平面刨刀		粗、精刨平面用 1—尖头平面刨刀 2—平头平面刨刀 3—圆头平面刨刀
弯颈刨刀		刀杆的刀头部分向后弯曲。在刨削力作用下, 弯曲弹性变形, 不扎刀。切断、切槽、精加工用	偏刀		用于加工互成角度的平面、斜面、垂直面等 1—左偏刀 2—右偏刀
弯头刨刀		刀头部分向左或右弯曲。用于切槽	内孔刀		加工内孔表面与内孔槽

(续)

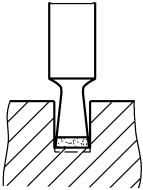
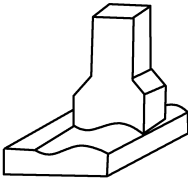
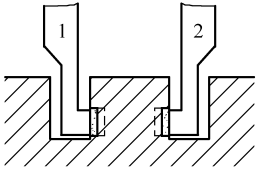
种类	图 示	特点及用途	种类	图 示	特点及用途
切 刀		用于切槽、切断、刨台阶	成形刀		加工特殊形状表面。刨刀刀刃形状与工件表面一致，一次成形
弯切刀	 1—左弯切刀 2—右弯切刀	加工 T 形槽、侧面槽等			

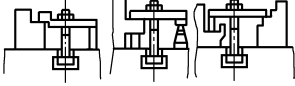
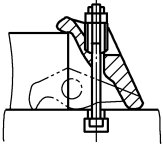
表 6-5 刨刀切削角度的选择

加工性质	工件材料	刀具材料	前角 $\gamma_o / (^\circ)$	后角 $\alpha_o^{①} / (^\circ)$	刃倾角 $\lambda_s / (^\circ)$	主偏角 $\kappa_r^{②} / (^\circ)$
粗加工	铸铁或黄铜	W18Cr4V	10 ~ 15	7 ~ 9	-10 ~ -15	45 ~ 75
		YG8, YG6	10 ~ 13	6 ~ 8	-10 ~ -20	
	钢 $\sigma_b < 750\text{MPa}$	W18Cr4V	15 ~ 20	5 ~ 7	-10 ~ -20	
		YW2, YT15	15 ~ 18	4 ~ 6	-10 ~ -20	
	淬硬钢	YG8, YG6X	-15 ~ -10	10 ~ 15	-15 ~ -20	10 ~ 30
	铝	W18Cr4V	40 ~ 45	5 ~ 8	-3 ~ -8	
精加工	铸铁或黄铜	W18Cr4V	-10 ~ 0	6 ~ 8	5 ~ 15	0 ~ 45
		YG8, YG6X	-15 ~ -10 10 ~ 20	3 ~ 5	0 ~ 10	
	钢 $\sigma_b < 750\text{MPa}$	W18Cr4V	25 ~ 30	5 ~ 7	3 ~ 15	45 ~ 75
		YW2, YG6X	22 ~ 28	5 ~ 7	5 ~ 10	
	淬硬钢	YG8, YG8A	-15 ~ -10	10 ~ 20	15 ~ 20	10 ~ 30
	铝	W18Cr4V	45 ~ 50	5 ~ 8	-5 ~ 0	

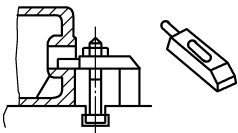
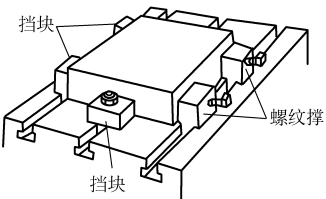
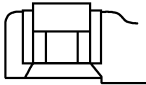
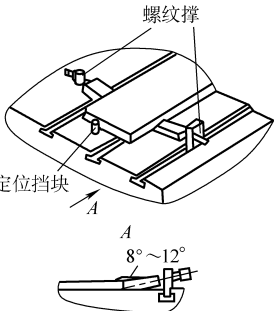
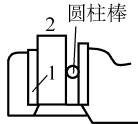
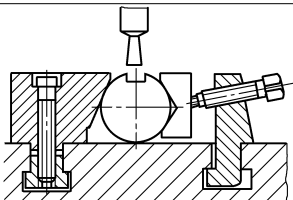
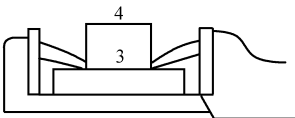
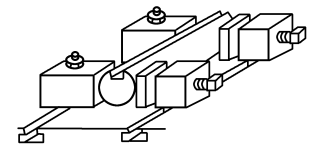
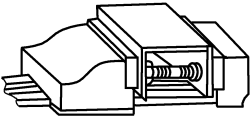
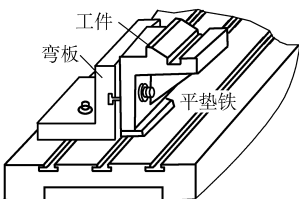
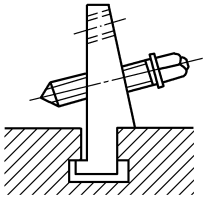
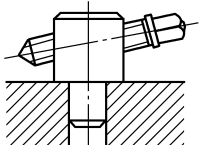
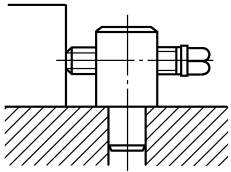
① 精刨时，可根据情况在后面上磨出消振棱。一般倒棱后角 $\alpha_{a1} = -1.5^\circ \sim 0^\circ$ ，倒棱宽度 $b_{a1} = 0.1 \sim 0.5\text{mm}$ 。
② 机床功率较小、刚性较差时，主偏角选大值；反之，选小值。主切削刃和副切削刃之间宜采用圆弧过渡。

6.1.3 刨削常用的装夹方法（表 6-6）

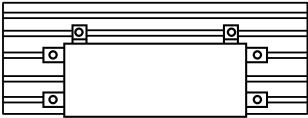
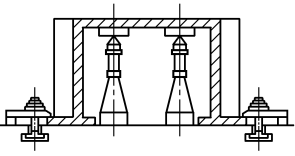
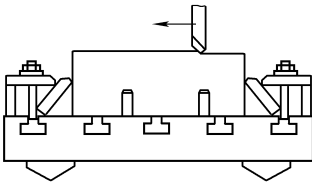
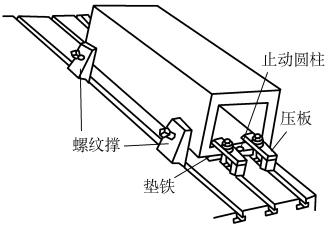
表 6-6 刨削常用的装夹方法

方法	分类与用途	图 示	方法	分类与用途	图 示
压板装夹	平压板和弯头压板		压板装夹	可调压板	

(续)

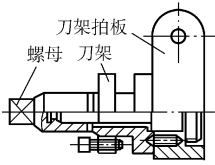
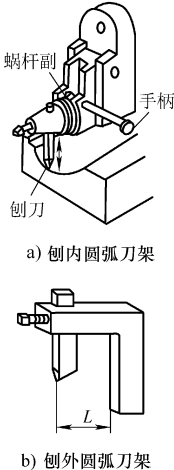
方法	分类与用途	图 示	方法	分类与用途	图 示
压板装夹	孔内压板		螺纹撑、螺纹挡装夹	用螺纹撑和挡块在工作台上装夹工件	
台虎钳装夹	刨一般平面			用螺纹撑和挡块在工作台上装夹薄板工件	
	平面1、2有垂直度要求时			用角度挡块和螺纹撑在工作台上装夹圆柱形工件	
	平面3、4有平行度要求时			用螺纹撑在工作台上装夹圆弧工件	
	台虎钳与螺栓配合装夹薄壁工件		弯板装夹工件	刨垂直面及槽	
螺纹撑、螺纹挡装夹	螺纹撑	 			
	螺纹挡				

(续)

方法	分类与用途	图 示	方法	分类与用途	图 示
楔铁装夹工件	楔铁装夹薄板工件	 <p>楔铁斜度采用 1:100, 适于加工薄而大的工件。粗加工时, 考虑热变形的影响, 必须将纵向的楔铁适当放松些, 且工件两面应轮流翻转, 多次重新装夹加工, 使两加工面的内应力接近平衡</p>	其他装夹方法	压板与千斤顶配合装夹工件	
	挤压方法装夹工件			箱体工件的装夹方法	

6.1.4 刨削工具 (表 6-7)

表 6-7 刨削工具

名称	简 图	说 明
刨内槽工具		齿轮或带轮等内孔工件的键槽, 一般采用插床加工, 但也可采用牛头刨床来加工。加工时, 只要拆除原来刀架拍板的刀杆, 并加装图示的刀杆, 即可刨削内孔键槽。刨削时宜将刀架拍板固定, 以防由于往复运动引起刀架来回跳动, 产生扎刀现象
刨削内、外圆弧工具	 <p>a) 刨内圆弧刀架</p> <p>b) 刨外圆弧刀架</p>	在牛头刨床上加工内、外圆弧曲面, 需把原刀架拍板改成图中所示刀架。加工时, 每次回程进刀, 匀速地旋转手柄, 使刀头依蜗轮中心轴线转动进给, 即可获得内圆弧曲面。刀尖与蜗轮轴线的距离, 应等于圆弧曲面的半径 R 。当拆除刨刀、改用刀杆时, 同理可获得外圆弧曲面。但被加工工件长度, 受刀杆装刀孔前面与刀杆内侧长度 L 的限制

(续)

名称	简图	说明
四方刀架		<p>采用图示的四方刀架,可以同时安装几种用途的刀具。如为了提高生产率,可以同时安装两把刀具,作为粗、精加工平面等用途</p>

6.1.5 槽类工件的刨削与切断 (表 6-8)

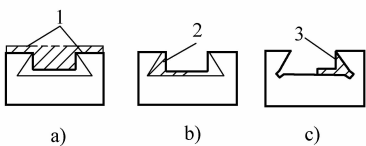
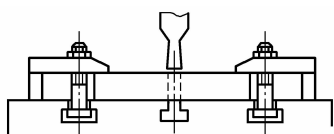
表 6-8 槽类工件的刨削与切断

类别	图 示	加工方法
直角沟槽		<p>当槽的精度要求不高且又较窄时,可按图 a 一次将槽刨完</p> <p>当精度要求较高且宽度又较大,可按图 b 先用较窄的切槽刀开槽,然后用等宽的切槽刀精刨</p>
		<p>宽度很宽的槽,按下列两种方法加工:</p> <p>图 a 是按 1、2、3 顺序用切刀垂直进给,三面各留余量 0.1 ~ 0.3mm,粗切后再进行精刨</p> <p>图 b 是先用切槽刀刨出 1、2 槽,再用尖头刨刀粗刨中间,三面各留余量 0.1 ~ 0.3mm,最后换切槽刀精刨</p>
轴上直通槽		<p>短的工件可按图 a,用台虎钳装夹;长的工件可按图 b,直接装夹在工作台台面上</p> <p>为了保证槽侧与轴线的平行度,装夹时应用百分表找正侧母线</p> <p>粗刨直通槽方法与刨直角沟槽相同</p> <p>精刨时,先用切槽刀垂直进给精刨一个侧面,此时要特别注意:保证键槽对轴线的对称度</p> <p>测量方法可参照图 c,其中 $L = \frac{D-b}{2} + l$ (D 为轴的实际尺寸, b 为键槽按中间公差宽度)。 L 值可用卡尺或公法线千分尺测量。精刨完一侧后,再精刨另一侧,达到槽宽要求</p>

(续)

类别	图 示	加 工 方 法
V 形 槽		<p>(1) 加工方法</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 按尺寸划线, 用水平进给粗刨大部分余量, 见图 a 2) 按图 b 切空刀槽 3) 倾斜刀架, 用偏刀刨两斜面, 见图 c 4) 尺寸小的 V 形槽, 可用样板刀精刨, 见图 d 5) 可按图 e 用夹具刨 V 形槽 <p>(2) 测量方法 (V 形槽尺寸要素见图 f)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 以 1、2 顶面为基准, 按图 g 检查两 β 角, $\beta = 90^\circ + \frac{\alpha}{2}$。如 β 正确, 则 α 角正确, 且 α 的角平分线与 1、2 面垂直 2) 按图 h 测量 l_1 $l_1 = l - \frac{d}{2}$ 3) 按图 h 测量 h_1 $h_1 = \frac{d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + h + \frac{d}{2} - \frac{b}{2} \cot \frac{\alpha}{2}$ <p>如 h_1 准确, 则尺寸 b 准确</p> 4) 成批生产时, 可用样板检查, 见图 i
T 形 槽		<ol style="list-style-type: none"> 1) 用直槽刀按图 a 切直槽 2) 按图 b, 用左弯头刀加工一侧面凹槽 3) 按图 c, 用右弯头刀加工另一侧面凹槽 4) 用 45° 倒角刀按图 d 倒角 <p>注意: 刨 T 形槽时, 切削用量要小; 刨刀回程时, 必须将刀具抬出 T 形槽外</p>

(续)

类别	图 示					加工方法
燕尾槽	 a) b) c)					1) 按要求找正装夹后, 精刨 1 面到尺寸 2) 按图 a, 用切槽刀刨直角槽。直角槽宽略小于燕尾槽小头宽度, 直角槽深略小于燕尾槽深度 3) 扳转刀架和拍板座, 用偏刀刨斜面的方法, 先粗刨后精刨一斜面 2(图 b), 并刨槽底相应部分到要求尺寸 4) 反方向扳转刀架和拍板座, 换反方向偏刀。如果是直燕尾槽, 可直接加工另一斜面 3(图 c) 及相应槽底到要求尺寸, 如果是斜燕尾槽, 工件需偏转一角度 θ_a 后, 要求再刨斜面和槽底到要求尺寸。注意: θ_a 的方向和斜面在各边均有规定要求, 从加工第一个燕尾斜面时就不能搞错。当燕尾槽所用的斜镶条的斜角为斜镶条纵剖面之值时(无特殊说明的斜镶条均如此), θ_a 的值可由左表查出 5) 切空刀槽、倒角(可分别穿插在 3、4 项中进行)
	斜燕尾在水平面内的斜度 (1: K_a) 和应偏转的斜角 θ_a					
	斜镶条的斜度 1: K_b	斜镶条的斜角 θ_b	燕尾的倾斜角 $\alpha/ (^{\circ})$	斜燕尾在水平面内的斜度 1: K_a	斜燕尾在水平面内应偏转的斜角 θ_a	
	1: 50	1°9'	55	1: 40. 95	1°24'	
			60	1: 43. 3	1°19'	
1: 60	0°57'	55	1: 40. 15	1°10'		
		60	1: 51. 96	1°6'		
1: 100	0°34'	55	1: 81. 9	0°42'		
		60	1: 83. 3	0°40'		
切断						1) 根据图样要求, 按划线或用钢板尺进行对刀切断 2) 工件接近切断时, 进给量要减小 3) 如工件较厚, 可把工件翻身装夹, 两面各刨一半 4) 注意切断过程中切口尺寸, 不能因夹紧力而变小

6.1.6 镶条的刨削 (表 6-9)

表 6-9 镶条的刨削

类别	图 示	加 工 方 法
直 镶 条		<p>1) 粗刨成矩形, 每面留 1 ~ 1.5mm 余量, 分粗、精刨的目的是减少变形, 便于装夹</p> <p>2) 精刨两宽面, 控制厚度 $b = a \sin \alpha$, 表面粗糙度为 $Ra3.2 \mu m$, 并留 0.1 ~ 0.2mm 刮削余量, 或 0.3 ~ 0.4mm 磨削余量, 注意两面的平行度</p> <p>3) 用百分表校正平口钳钳口与滑枕行程方向平行。按 α 角大小扳转刀架刨一窄面, 并在锐角的一边刨 0.15 ~ 0.25mm 宽的倒角</p> <p>4) 翻转工件, 刨另一窄面并倒角。注意方向不要搞错, 以免刨成梯形截面</p>
斜 镶 条	<p>a) 斜镶条</p> <p>b) 工件装夹示意</p>	<p>1) 粗刨成矩形, 每面留 1 ~ 1.5mm 余量</p> <p>2) 精刨基准宽面 1</p> <p>3) 以 1 面为基准, 用与工件斜度相同的斜垫铁 (其斜度 $S = \frac{b_1 - b_2}{L} = \frac{(a_1 - a_2) \sin \alpha}{L}$, 在修配工作中, 可借用与其相同的旧镶条) 垫在工件底下, 用撑板夹持工件, 刨宽面 2, 并注意留适当的刮削余量</p> <p>4) 按图 b 装夹刨小窄面 3, 并倒角</p> <p>注意: 固定钳口与滑枕方向要平行; 扳转角度为 α, 方向不要搞错</p> <p>5) 按图 b 中间图装夹, 刨小窄面 4 并倒角</p> <p>按图 b 下面图装夹, 刨小窄面 4, 但要注意刀架扳转方向</p>

6.1.7 刨床的经济加工精度（表 6-10）

6.1.8 常用刨削用量（表 6-11）

表 6-10 刨床的经济加工精度

刨床类型	主参数		刨床的经济加工精度					适用范围		
	最大刨削宽度 /mm	最大刨削长度 /mm	加工面的平面度 /mm	加工面对工作台的平行度	上、侧两加工面的垂直度	加工尺寸的精度等级	加工表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$			
龙门刨床	1000	3000	0.02/1000	0.02/1000	0.02/300	IT7 ~ IT9	1.6	加工床身、机座、支架、箱体等尺寸较大的工件		
	1250	4000	0.03/1000	0.03/1000	0.02/300					
	1600	6000								
	2000	8000								
	2500	12000								
	3000	15000								
悬臂刨床	1000	3000	0.02/1000	0.02/1000	0.02/300					
	1250	4000	0.03/1000	0.03/1000						
	1500	6000								
普通牛头刨床	190	160	0.02(全长)	0.02/全长	0.01/全长				加工中小型工件的平面和沟槽等	
	350	350								
	500	500	0.025(全长)	0.03/全长	0.02/全长					
	600	650								
液压牛头刨床	750	900	0.03(全长)	0.04/全长	0.03/全长					
移动式牛头刨床	1400	3000	0.03/300	0.06/300	0.03/300	IT8 ~ IT10	3.2			加工的工件尺寸较大,而加工面积较小,且较分散时

表 6-11 常用刨削用量

工序名称	机床类型	刀具材料	工件材料 ^①	背吃刀量 a_p /mm	进给量 f /(mm/dst)	切削速度 v /(m/min)
粗加工	牛头刨床	W18Cr4V	铸铁 钢	4 ~ 6 3 ~ 5	0.66 ~ 1.33 0.33 ~ 0.66	15 ~ 25 15 ~ 25
		YG8 YT5	铸铁 钢	10 ~ 15 8 ~ 12	0.66 ~ 1.0 0.33 ~ 0.66	30 ~ 40 25 ~ 35
	龙门刨床	W18Cr4V	铸铁 钢	10 ~ 20 5 ~ 15	1.2 ~ 4.0 1.0 ~ 2.5	15 ~ 25 15 ~ 25
		YG8 YT5	铸铁 钢	25 ~ 50 20 ~ 40	1.5 ~ 3.0 1.0 ~ 2.0	30 ~ 60 40 ~ 50

(续)

工序名称	机床类型	刀具材料	工件材料 ^①	背吃刀量 a_p /mm	进给量 f / (mm/dst)	切削速度 v / (m/min)
精加工	牛头刨床	W18Cr4V	铸铁	0.03 ~ 0.05	0.33 ~ 2.33 ^②	5 ~ 10
			钢	0.03 ~ 0.05	0.33 ~ 2.33	5 ~ 8
		YG8 YT5	铸铁	0.03 ~ 0.05	0.33 ~ 2.33	5 ~ 8
			钢	0.03 ~ 0.05	0.33 ~ 2.33	5 ~ 8
	龙门刨床	W18Cr4V	铸铁	0.005 ~ 0.01	1 ~ 15 ^②	3 ~ 5
			钢	0.005 ~ 0.01	1 ~ 15	3 ~ 5
		YG8 YT5	铸铁	0.03 ~ 0.05	1 ~ 20	4 ~ 6
			钢	0.03 ~ 0.05	1 ~ 20	4 ~ 6

① 铸铁 170 ~ 240HBW；钢 $\sigma_b = 700 \sim 1000\text{MPa}$ 。
② 根据修光刃宽度来确定 f ，一般取 f 为修光刃宽度的 0.6 ~ 0.8 倍。

6.1.9 精刨

精刨是采用宽的平直切削刃，用很低的切削速度和极小的背吃刀量，在大进给量的前提下切去工件表面一层极薄的金属，使工件表面粗糙度 Ra 减小至 $1.6 \sim 0.8\mu\text{m}$ ，加工表面直线度在 1m 长度上不大于 0.02mm。

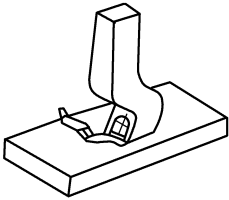
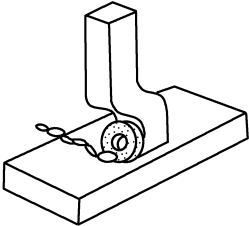
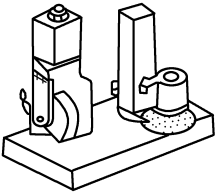
精刨广泛应用于加工机床工作台台面、机床导轨面、机座和箱体的重要结合面等。

6.1.9.1 精刨的类型及特点（表 6-12）

表 6-12 精刨的类型及特点

类 型	简 图	特 点 与 应 用
直线刃精刨		1) 一般刃宽 10 ~ 60mm 2) 自动横向进给 3) 适用于在牛头刨床上加工铸铁和钢件。 加工铸铁时，取 $\lambda_s = 3^\circ \sim 8^\circ$ ；加工钢件时，取 $\lambda_s = 10^\circ \sim 15^\circ$ 4) 表面粗糙度 Ra 可达 $1.6 \sim 0.8\mu\text{m}$
		1) 一般刃宽 $L = 100 \sim 240\text{mm}$ 2) $L > B$ 时，没有横向进给，只有垂直进给； $L \leq B$ 时，一般采用排刀法，常取进给量 $f = (0.2 \sim 0.6)L$ ，用千分表控制垂直进给量 3) 适于在龙门刨床上加工铸铁和钢件 4) 表面粗糙度 Ra 可达 $1.6 \sim 0.8\mu\text{m}$

(续)

类 型	简 图	特 点 与 应 用
曲 线 刃 精 刨		<p>1) 采用圆弧刃,在同样的切削用量下,单位刃长的负荷轻,刀尖强度高,耐冲击,因而寿命长</p> <p>2) 切削刃上每点的刃倾角都是变化的,可增大前角,减小切屑变形,因此在同样切削用量下,可减小切削力和使切屑流畅排出,并能微量进给(0.01~0.1mm)</p> <p>3) 适用于加工碳素工具钢和合金工具钢,比直线刃可提高效率2~3倍</p> <p>4) 表面粗糙度 Ra 可达 $1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$</p>
		<p>1) 除具有圆弧刃的特点外,刃磨一次可分段使用,这样相对寿命长</p> <p>2) 节省辅助时间</p> <p>3) 适用于加工中碳钢</p> <p>4) 表面粗糙度 Ra 可达 $3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$</p>
		<p>1) 显著提高切削效率和刀具寿命</p> <p>2) 在后刀面上有一个压光棱带; $\alpha_{o1} = 0^\circ$, $b_{a1} = 0.2 \sim 1\text{mm}$ 因而可提高表面加工质量</p> <p>3) 适用于加工铸铁、钢件、石材等多种材料</p> <p>4) 表面粗糙度 Ra 可达 $1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$</p>

6.1.9.2 精刨加工对工艺系统的要求

(1) 对机床的要求

- 1) 机床应有较高的精度和足够的刚度。用于精刨的机床上不要进行粗刨加工。
- 2) 机床工作台运行要平稳,低速无爬行,换向无冲击。刀架、滑板、拍板的配合间隙应调整到最小值。

- 3) 床身导轨要润滑充足,以减小摩擦力和工作台热变形,提高加工精度。

(2) 对工件及工件装夹的要求

- 1) 工件刨削前必须进行失效处理,消除工件的内应力,减少加工变形。
- 2) 工件本身组织要均匀,无砂眼、气孔等,加工面硬度要一致。
- 3) 精刨工序工件的总余量一般在 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ 。每次精刨背吃刀量约 $0.05 \sim 0.08\text{mm}$,终刨背吃刀量约 $0.1 \sim 0.05\text{mm}$ 。
- 4) 精刨前工件精刨面的表面粗糙度值 Ra 不大于 $3.2 \mu\text{m}$ 。锐边倒钝。
- 5) 工件的定位基准面和工作台面要擦干净,保证定位基准平稳。

(续)

刀具名称	主要技术参数和简图						
大前角 宽刃硬质 合金精刨 刀	工件材料	刀片材料	刀杆材料	$v/(\text{m}/\text{min})$	$f/(\text{mm}/\text{dst})$	a_p/mm	适用机床
	钢、铸铁	YT2、YG8	45 钢	5 ~ 8	8 ~ 20	0.03 ~ 0.06	龙门刨床

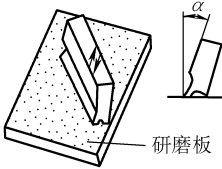
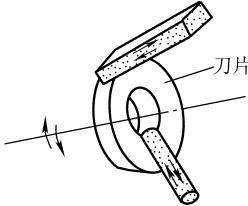
(4) 对切削液的要求

加工铸铁时使用煤油，若在煤油中加 0.03% 重铬酸钾，则表面粗糙度更好。精刨钢件时，使用机油和煤油混合液（2:1）或矿物油和松节油混合液（3:1）。在精刨前，先将加工面润湿或在加工过程中用润滑液连续喷射在刨刀切削部分附近。并要注意工件表面油层的均匀性，否则在缺油之处产生刀痕，影响加工质量。

表 6-14 精刨刀常用的研磨方法

种 类	研 磨 简 图	说 明
平直前面 的研磨		研磨前，先将油石研平，按图示角度和方向研磨。为了防止把油石研出沟痕，油石在垂直于切削刃方向上有微小窜动 长方油石：粗研用 F240 ~ F200，精研用 F400 ~ F800
带断屑槽 前面的研磨		一般取圆柱油石半径 $R_y = (1.2 \sim 1.3) R_n$ (mm)，研磨后 $r_o = \arcsin \frac{B}{2R_y}$ (R_n —刀具断屑槽半径) 研磨时，应使油石不断地转动，以防把刀口研钝。圆柱油石粒度同第一栏。在精研时，也可用铸铁或纯铜作成研棒，加上金刚砂研磨

(续)

种 类	研 磨 简 图	说 明
后面的研磨		研磨时，不要沿切削刃方向运动，否则会将刃口研钝 研磨板用铸铁做成，刀片平面度应比工件高1~2级，表面粗糙度参数值 Ra 不大于 $0.4\mu\text{m}$ 。金刚砂粒度 F400 ~ F800
滚切刀具的研磨		一定要在刀片旋转下进行研磨 研磨外锥面用长方油石；研磨内锥面用圆柱油石。圆柱油石的直径一般取10~20mm 油石的粒度同第一栏

6.1.9.3 精刨表面常见问题产生原因及解决方法（表 6-15）

表 6-15 精刨表面常见问题产生原因及解决方法

表面波纹的形状	产 生 原 因	消 除 措 施
有规律的直纹	外界振动引起	消除外界振源
	刨削速度偏高	选择合适的刨削速度
	刨削钢件时前角过小，刃口不锋利	选择合适的刀具前角，按要求研磨刃口
	刀具没有弹簧槽，抗振性差	增设开口弹性槽或垫硬质橡胶
	刀具后角过大	应加消振倒棱，常取 $\alpha_{o1} = 0^\circ$ ， $b_{a1} = 0.2 \sim 0.5\text{mm}$
鱼鳞纹	刀杆与拍板、拍板与刀架体及拍板与销轴等接触不良	按精刨要求调整配合关系
	工作台传动蜗杆与齿条啮合间隙过大	必要时调整啮合间隙
	刀具后角过小	采用双后角： $\alpha_{o1} = 3^\circ \sim 4^\circ$ ， $\alpha_o = 6^\circ \sim 8^\circ$
	工件定位基面不平	调平垫实基面，提高工件刚性
交叉纹	导轨在水平面内直线度超差	按精刨要求调整机床导轨
	两导轨平行度误差引起工作台移动倾斜	

6.2 插削

插削加工主要用于插削工件的内表面，也可插削外表面。可加工方孔、多边孔、孔内键槽、花键孔、平面和曲面等。

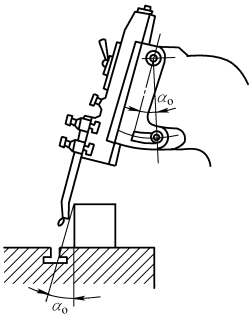
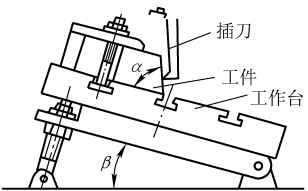
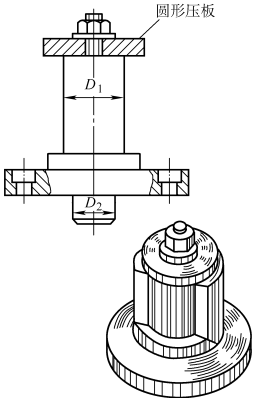
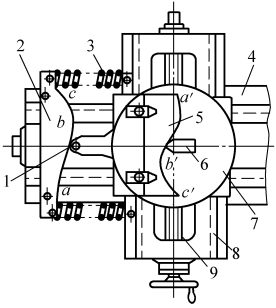
插削加工精度一般可达 IT9 ~ IT7 级，工件表面粗糙度 Ra 可达 $3.2\mu\text{m}$ 。

6.2.1 常用插削方式和加工方法（表 6-16）

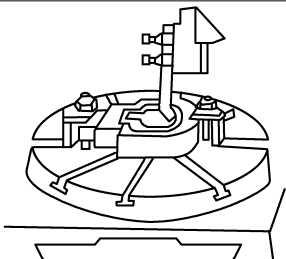
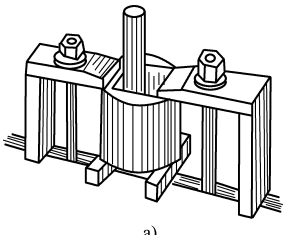
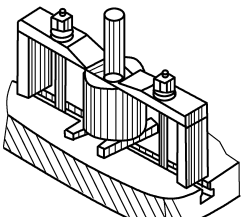
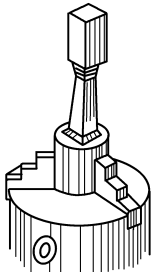
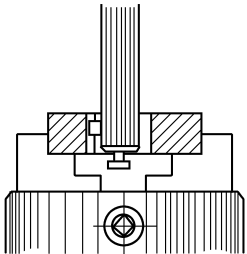
表 6-16 常用插削方式和加工方法

插削方式	图 示	加 工 方 法
插削垂直面		将工件安装在工作台中间位置的两块等高垫铁上，并将划针安装在滑枕上，使滑枕上下移动，找正工件侧面上已划好的垂直线；然后横向移动工作台，用划针检查插削面与横向进给方向的平行度；最后进行插削
插削斜面		将工件放在工作台上，按划线找正工件，使加工面与横向进给方向平行；然后采用插削垂直面的方法进行插削
		用斜垫铁将工件垫起，使待加工表面处于垂直状态；然后用插削垂直面的方法进行插削。垫铁角度为 $90^\circ - \alpha$ 。这种方法适用于 $\beta \leq 11^\circ 25'$ 的工件
	<p>滑枕在横向垂直面内倾斜</p>	工件平放在工作台上，将滑枕按工件的斜度倾斜一个角度进行插削

(续)

插削方式	图 示	加 工 方 法
插削斜面	 <p>滑枕在纵向垂直面内倾斜</p>	工件平放在工作台上，将滑枕按工件的斜度倾斜一个角度进行插削
	 <p>插刀 工件 工作台</p>	将工作台倾斜 $\beta (\beta = 90^\circ - \alpha)$ 角，然后按插削垂直面的方法插削斜面。此方法只适用于工作台可倾斜成一定角度的插床，或在工作台上加一个可倾斜的工作台
插削曲面	 <p>圆形压板</p>	将夹具的定位圆置于工作台中心定位孔内，将夹具压紧在工作台上，然后把工件安装并夹紧在夹具上。按照插削垂直面的方法进行插削，工作台圆周进给。若工件批量较小时，可用自定心卡盘，或用压板、螺栓直接在工作台上装夹工件
	 <p>1—滚轮 2—靠模板 3—拉力弹簧 4—纵溜板座 5—工件 6—插刀 7—工作台 8—横溜板座 9—横向进给丝杆</p>	在插床纵向导轨上固定一块靠模板，将纵向进给丝杆拆去，并用弹簧拉紧，使滚轮紧靠靠模板。这样利用工作台的横向进给，就可以插出与靠模板曲线形状相反的曲面

(续)

插削方式	图 示	加 工 方 法
插削曲面		<p>插削复杂的成形面时, 先用划针按划线找正, 利用工作台圆周进给加工圆弧表面, 利用纵向或横向进给加工直线部分</p> <p>插削简单的圆弧面, 可采用赶弧法; 插削批量较大的小尺寸成形内孔面, 可采用成形刀插削</p>
插削方孔	 <p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>c)</p>	<p>按划线找正粗插各边 (图 a), 每边留余量 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$; 将工作台转 45°, 用角度刀头插去四个内角上未插去的部分 (图 b); 精插第一边, 测量该边至基面的尺寸。符合要求后, 将工作台精确转 180°, 精插其相对的一边, 并测量方孔宽度尺寸。符合要求后, 再将工作台精确转 90°, 用上述方法插削第二边至第四边</p> <p>尺寸较小的方孔, 在进行粗插加工后可按图 c 所示的方法, 用整体方头插刀插削</p>
插削键槽		<p>按工件端面上的划线找正对刀后, 插削键槽。先用手动进给至 0.5mm 深时, 停机检查键槽宽度尺寸及键槽的对称度, 调整正确后继续插削至要求</p> <p>插刀找正时, 将百分表固定在工作台上, 使百分表测头触及插刀侧面。纵向移动工作台, 测得插刀侧面的最高点, 将工作台准确地转 180°, 按上述方法测得插刀另一侧面的最高点。前、后两次读数差的一半, 即为主切削刃中心与工作台轴线的重合度数值。此时可移动横向工作台, 使插刀处于正确位置</p>

6.2.2 插刀

(1) 常用插刀类型及用途 (表 6-17)

(2) 插刀几何角度的选择 (表 6-18)

表 6-17 常用插刀类型及用途

类型	图 示	用 途	类型	图 示	用 途
尖刀		多用于粗插或插削多边形孔	小刀头		可按加工要求刃磨成各种形状, 装夹在刀杆中。适用于粗、精和成形加工。因受刀杆限制不适宜加工小孔、窄槽或不通孔
切刀		常用于插削直角形沟槽和各种多边形孔	成形刀		根据工件表面形状需要刃磨刀具。按形状分为角度、圆弧和齿形等成形刀

表 6-18 插刀主要几何角度

图 示	前 角 $\gamma_o / (^{\circ})$			后角	副偏角	副后角
	普通钢	铸铁	硬韧钢	$\alpha_o / (^{\circ})$	$\kappa'_r / (^{\circ})$	$\alpha'_o / (^{\circ})$
	5 ~ 12	0 ~ 5	1 ~ 3	4 ~ 8	1 ~ 2	1 ~ 2

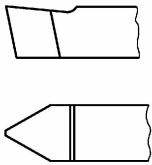
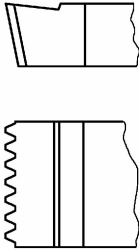
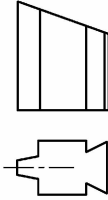
第 7 章 螺纹加工技术

7.1 车削螺纹

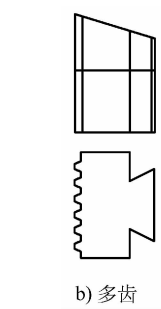
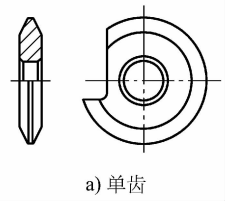
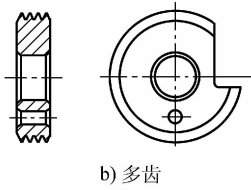
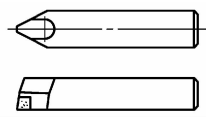
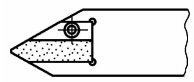
7.1.1 螺纹车刀

7.1.1.1 螺纹车刀的类型及应用（表 7-1）

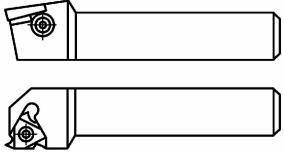
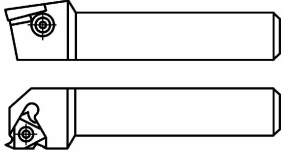
表 7-1 螺纹车刀的类型及应用

刀具类型	图 示	特点及应用
高速钢 平体螺纹 车刀	 <p>a) 单齿</p>	结构简单，制造容易，刃磨方便，用于单件小批生 产中车削 4 ~ 6 级的内、外螺纹
	 <p>b) 多齿</p>	用于大批生产中车削 6 级精度的单线、多线外螺纹
高速钢 棱体螺纹 车刀	 <p>a) 单齿</p>	重磨简单，重磨次数较多，用于成批生产中车削 4 ~ 6 级精度的外螺纹

(续)

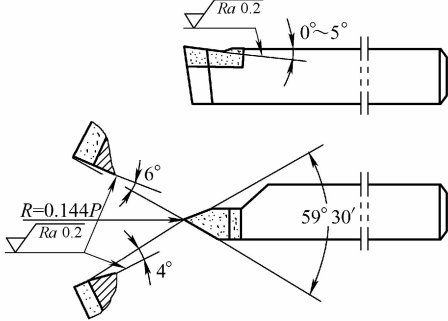
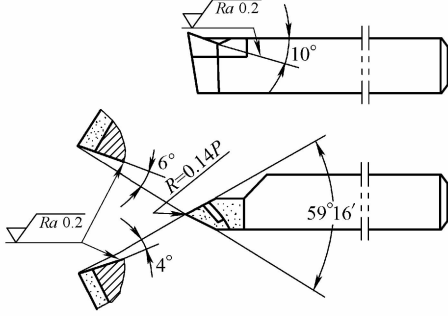
刀具类型	图 示	特点及应用
高速钢 棱体螺纹 车刀	 <p>b) 多齿</p>	重磨简单，重磨次数较多，用于成批生产中车削 6 级精度的外螺纹
高速钢 圆体螺纹 车刀	 <p>a) 单齿</p>	刃磨简单，重磨次数比棱体车刀还要多，用于大批生产中车削 6 级精度的内、外螺纹
	 <p>b) 多齿</p>	刃磨简单，重磨次数比棱体车刀还要多，用于大批生产中车削 6 级精度的内、外螺纹
硬质合 金焊接螺 纹车刀	 <p>a) 单齿</p>	刀具特点与外螺纹车刀相同，制造简单，重磨方便，用于高速切削和强力车削普通螺纹、梯形螺纹
硬质合 金机械夹 固式螺纹 车刀	 <p>a) 单齿</p>	刀片未经加热焊接，寿命长，刀杆可多次使用，可重磨，但不能转位，用于高速车削螺纹

(续)

刀具类型	图 示	特点及应用
硬质合金机械夹固式螺纹车刀	 a) 平装刀片	刀具制造复杂，但刀具寿命长、换刃方便，不需对刀，生产率高。大批生产中用于高速车削普通螺纹
硬质合金可转位螺纹车刀	 b) 平装刀片	

7.1.1.2 常用螺纹车刀的特点与应用(表 7-2)

表 7-2 常用螺纹车刀的特点与应用

名 称	图 示	特点与应用
车削铸铁螺纹用车刀		刀尖强度高，几何角度刃磨方便，切削阻力小，适用于，粗精车螺纹(精车时应修正刀尖角)
车削钢件螺纹用车刀		刀具前角大、切削阻力小，几何角度刃磨方便。适用于粗精车螺纹(精车时应修正刀尖角)

(续)

名称	图 示	特点与应用
高速钢 螺纹车刀 (I)		刀具两侧刃面磨有 1 ~ 1.5mm 宽的刃带, 作为精车螺纹的修光刀, 因刀具前角大, 应修正刀尖角。适用于精车螺纹
高速钢 螺纹车刀 (II)		车刀有 4° ~ 6° 的正前角, 前面有圆弧形的排屑槽 (半径 $R = 4 \sim 6\text{mm}$)。适用于精车大螺距的螺纹
硬质合 金内螺纹 车刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。其刀杆直径及刀杆长度根据工件孔径及长度而定

(续)

名称	图 示	特点与应用
高速钢 内螺纹车 刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。其刀杆直径及刀杆长度根据工件孔径及长度而定
高速钢 梯形螺纹 粗车刀		刀具具有较大前角, 便于排屑, 刀具后角较小增强刀具刚性。适用于粗车螺纹
高速钢 梯形螺纹 精车刀		车刀前角等于 0°, 两侧刃后角具有 0.3 ~ 0.5mm 宽的切削刃带。适用于精车螺纹
带分屑 槽的梯形 螺纹精车 刀		车刀前面沿两侧磨有 $R=2\sim3\text{mm}$ 的分屑槽, 两侧刃后角磨有 0.2 ~ 0.3mm 的切削刃带。适用于精车螺纹

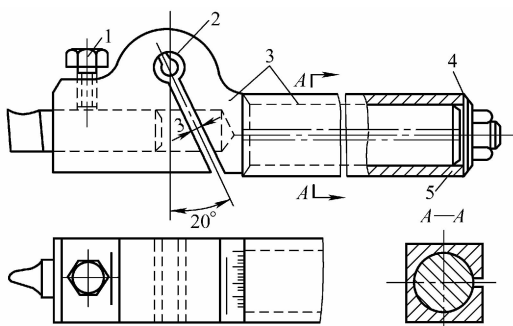
(续)

名称	图 示	特点与应用
硬质合金梯形螺纹车刀		车刀前角等于 0° ，两侧刃后角磨有 $0.4 \sim 0.5\text{mm}$ 的切削刃带，适用于精车螺纹
高速钢梯形内螺纹车刀		刀具特点与外螺纹车刀相同。刀杆的直径与长度，根据工件的孔径与长度而定
高速钢蜗杆螺纹粗车刀		车刀有较大的前角，切削阻力小，切屑变形小。两侧刃后角磨有 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 的切削刃带，增强刀具强度，适用于粗车螺纹
高速钢蜗杆螺纹精车刀		车刀前面为圆弧形(半径 $R = 40 \sim 60\text{mm}$)，有较大的侧刃前角，便于排屑，两侧刃后角磨有 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 切削刃带，可提高刀具强度。前角大于 0° 时应修正刀尖角

(续)

名称	图 示	特点与应用
带分屑槽蜗杆精车刀		车刀前面沿两侧有 $R = 2 \sim 3\text{mm}$ 的分屑槽，两侧刃后角磨有 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 的切削刃带，刀具刃磨后进行研磨两侧后角及前角，保证刃口平直光滑
高速钢锯齿形螺纹车刀		刀具两侧刃后角磨有 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 的切削刃带，用以增强刀具刚性，适用于粗、精车螺纹（若前角大于 0° 精车时应修正刀尖角）
硬质合金锯齿形螺纹车刀		车刀前角等于 0° ，强度高，刃磨方便，适用于精车螺纹
高速钢带有刃带的方牙螺纹精车刀		车刀前角大，两侧刃后角具有 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 的切削刃带。因前角大，切削阻力小，排屑方便，适用于精车螺纹

(续)

名称	图 示	特点与应用
可旋转 调节刀杆	 <p>1—紧固螺钉 2—开口弹簧钢套 3—刀杆体 4—垫圈 5—紧固刀杆螺母</p>	<p>可旋转调节刀杆在使用中车刀头刀杆可相对刀杆体3转动一螺旋升角,然后用紧固螺钉1锁紧。这种刀杆调节方便,而且刀杆有弹性,能消除振动,提高工件加工精度和降低表面粗糙度,还可延长刀具寿命</p> <p>适用于加工螺旋升角很大的蜗杆工件</p>

7.1.1.3 机夹螺纹车刀

(1) 代号表示规则

机夹螺纹车刀的代号由按规定顺序排列的一组字母和数字代号组成,共有六位代号分别表示车刀的各项特征。其中每五、六两位代号之间,用短划线(—)将其分开。

- ① 第一位代号用字母 L 表示螺纹车刀。
- ② 第二位代号用字母 W 表示外螺纹车刀。用字母 N 表示内螺纹车刀。
- ③ 第三位代号用两位数字表示车刀的刀尖高度。
- ④ 第四位代号用两位数字表示车刀的刀杆宽度或内螺纹圆形刀杆直径。
- ⑤ 第五位代号用字母 R 表示右切刀,用字母 L 表示左切刀。
- ⑥ 第六位代号用两位数字表示车刀刀片宽度。

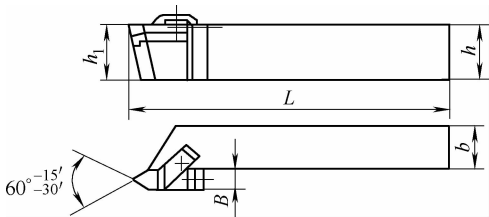
(2) 机夹外螺纹车刀的形式和尺寸(表 7-3)

(3) 机夹内螺纹车刀(矩形刀杆)的形式和尺寸(表 7-4)

(4) 机夹内螺纹车刀(圆形刀杆)的形式和尺寸(表 7-5)

(5) 机夹螺纹车刀刀片形式和尺寸(表 7-6)

表 7-3 机夹外螺纹车刀的形式和尺寸(GB/T 10954—2006)(单位: mm)

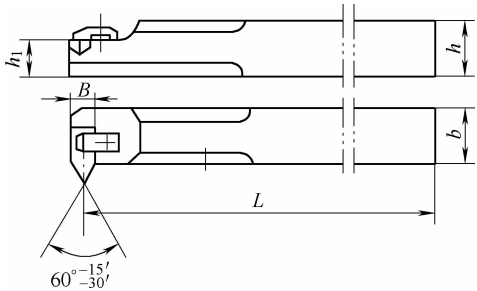


(续)

车刀代号		h_1	h	b	L		B
右切刀	左切刀	js14	h13	h13	基本尺寸	极限偏差	
LW1616R-03	LW1616L-03	16	16	16	110	0 -2.5	3
LW2016R-04	LW2016L-04	20	20	16	125		4
LW2520R-06	LW2520L-06	25	25	20	150		6
LW3225R-08	LW3225L-08	32	32	25	170	0 -2.9	8
LW4032R-10	LW4032L-10	40	40	32	200		10
LW5040R-12	LW5040L-12	50	50	40	250		12

表 7-4 机夹内螺纹车刀（矩形刀杆）的形式和尺寸（GB/T 10955—2006）

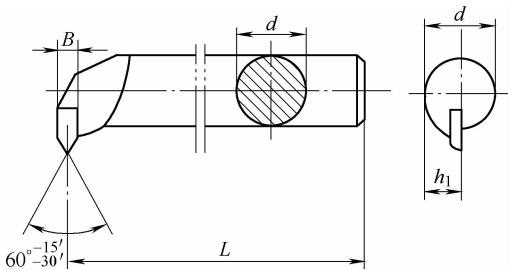
（单位：mm）



车刀代号		h_1	h	b	L		B
右切刀	左切刀	js14	h13	h13	基本尺寸	极限偏差	
LN1216R-03	LN1216L-03	12	16	16	150	0 -2.5	3
LN1620R-04	LN1620L-04	16	20	20	180		4
LN2025R-06	LN2025L-06	20	25	25	200		6
LN2532R-08	LN2532L-08	25	32	32	250	0 -2.9	8
LN3240R-10	LN3240L-10	32	40	40	300		10

表 7-5 机夹内螺纹车刀（圆形刀杆）的形式和尺寸（GB/T 10955—2006）

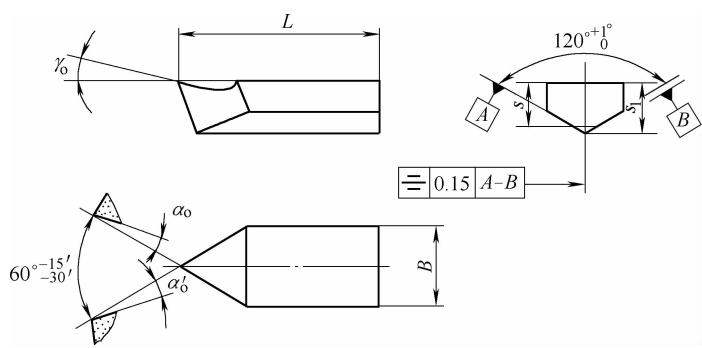
（单位：mm）



(续)

车刀代号		h_1	d		L		B
右切刀	左切刀		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	
LN1020R-03	LN1020L-03	10	20	0	180	0 -2.5	3
LN1225R-03	LN1225L-03	12.5	25	-0.052	200		3
LN1632R-04	LN1632L-04	16	32	0	250		4
LN2040R-08	LN2040L-08	20	40	-0.062	300	0 -2.9	6
LN2550R-08	LN2550L-08	25	50	0	350		8
LN3060R-10	LN3060L-10	30	60	-0.074	400		10

表 7-6 机夹螺纹车刀刀片形式和尺寸 (单位: mm)



刀片代号	B ± 0.25	s ± 0.25	L ± 0.30	s_1 ± 0.25	参考值	
					α_o	γ_o
L03	3	3	14	4.23	4°	0° ~ 1°
L04	4	4	17	4.29		
L06	6	5	20	6.40	5°	
L08	8	6	24	8.52		
L10	10	8	28	10.58	6°	
L12	12	10	32	13		

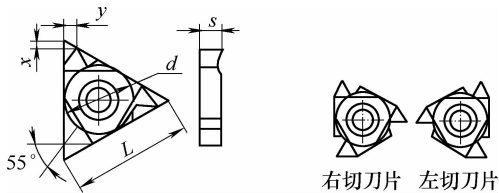
7.1.1.4 可转位螺纹车刀

可转位螺纹车刀和刀片的种类较多,各生产厂家为满足用户的需要,都自行编号提供各种标准牙型和非标准牙型的可转位螺纹刀片。所以用户应按自己的技术要求,参考生产厂家定货样本进行选择。这里只介绍我国成都工具研究所生产的几种产品。

(1) 用于 55°螺纹的可转位刀片 (表 7-7、表 7-8)

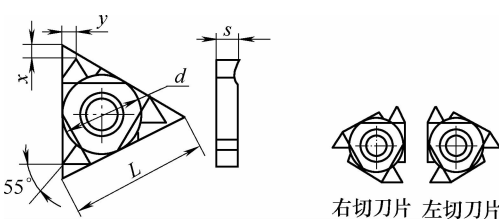
(2) 用于 60°螺纹的可转位刀片 (表 7-9、表 7-10)

表 7-7 用于 55°外螺纹的可转位刀片（通用型）（单位：mm）



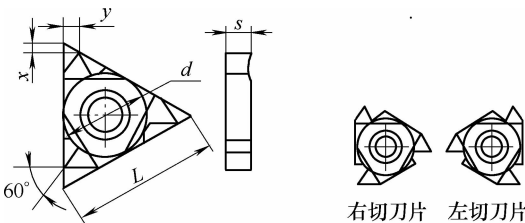
螺距	型号		d（内切圆） /in	L	x	y	s
	右切刀片	左切刀片					
0.5 ~ 1.5	16NRA55	16NLA55	3/8	16	0.6	0.8	3.5
0.5 ~ 3.0	16NRAG55	16NLAG55	3/8	16	1.1	1.5	3.5
1.75 ~ 3.0	16NRG55	16NLG55	3/8	16	1.1	1.5	3.5
3.5 ~ 5.0	22NRN55	22NLN55	1/2	22	1.8	2.5	4.6

表 7-8 用于 55°内螺纹的可转位刀片（通用型）（单位：mm）



螺距	型号		d（内切圆） /in	L	x	y	s
	右切刀片	左切刀片					
0.5 ~ 1.5	16ERA55	16ELA55	3/8	16	0.6	0.8	3.5
0.5 ~ 3.0	16ERAG55	16ELAG55	3/8	16	1.1	1.5	3.5
1.75 ~ 3.0	16ERG55	16ELG55	3/8	16	1.1	1.5	3.5
3.5 ~ 5.0	22ERN55	22ELN55	1/2	22	1.8	2.5	4.6

表 7-9 用于 60°外螺纹刀片（单位：mm）

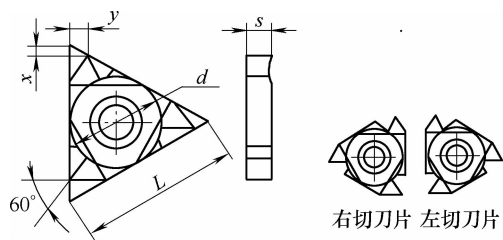


螺距	型号		d（内切圆） /in	L	x	y	s
	右切刀片	左切刀片					
0.5 ~ 1.5	16ERA55	16ELA55	3/8	16	0.6	0.8	3.5
0.5 ~ 3.0	16ERAG55	16ELAG55	3/8	16	1.1	1.5	3.5
1.75 ~ 3.0	16ERG55	16ELG55	3/8	16	1.1	1.5	3.5
3.5 ~ 5.0	22ERN55	22ELN55	1/2	22	1.8	2.5	4.6

(续)

螺距	型号		d (内切圆) /in	L	x	y	s	r
	右切刀片	左切刀片						
0.75	16ER0.75ISO	16EL0.75ISO	3/8	16	0.8	0.8	3.5	0.11
1.00	16ER1.00ISO	16EL1.00ISO	3/8	16	0.8	0.8	3.5	0.14
1.25	16ER1.25ISO	16EL1.25ISO	3/8	16	0.8	0.8	3.5	0.18
1.50	16ER1.50ISO	16EL1.50ISO	3/8	16	0.8	0.8	3.5	0.22
1.75	16ER1.75ISO	16EL1.75ISO	3/8	16	1.2	1.5	3.5	0.25
2.00	16ER2.00ISO	16EL2.00ISO	3/8	16	1.2	1.5	3.5	0.29
2.50	16ER2.50ISO	16EL2.50ISO	3/8	16	1.2	1.5	3.5	0.36
3.00	16ER3.00ISO	16EL3.00ISO	3/8	16	1.2	1.5	3.5	0.43
3.50	22ER3.50ISO	22EL3.50ISO	1/2	22	1.8	2.5	4.6	0.5
4.00	55ER4.00ISO	55EL4.00ISO	1/2	22	1.8	2.5	4.6	0.58
4.50	22ER4.50ISO	22EL4.50ISO	1/2	22	1.8	2.5	4.6	0.58
5.00	22ER5.00ISO	22EL5.00ISO	1/2	22	1.8	2.5	4.6	0.76

表 7-10 用于 60°内螺纹刀片 (单位: mm)

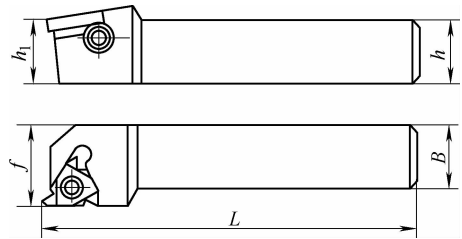


螺距	型号		d (内切圆) /in	L	x	y	s	r
	右切刀片	左切刀片						
0.75	16NR0.75ISO	16NL0.75ISO	3/8	16	0.8	0.8	3.5	0.05
1.00	16NR1.00ISO	16NL1.00ISO	3/8	16	0.8	0.8	3.5	0.05
1.25	16NR1.25ISO	16NL1.25ISO	3/8	16	0.8	0.8	3.5	0.09
1.50	16NR1.50ISO	16NL1.50ISO	3/8	16	0.8	0.8	3.5	0.11
1.75	16NR1.75ISO	16NL1.75ISO	3/8	16	1.2	1.5	3.5	0.13
2.00	16NR2.00ISO	16NL2.00ISO	3/8	16	1.2	1.5	3.5	0.14
2.50	16NR2.50ISO	16NL2.50ISO	3/8	16	1.2	1.5	3.5	0.18
3.00	16NR3.00ISO	16NL3.00ISO	3/8	16	1.2	1.5	3.5	0.22
3.50	22NR3.50ISO	22NL3.50ISO	1/2	22	1.8	2.5	4.6	0.25
4.00	22NR4.00ISO	22NL4.00ISO	1/2	22	2.0	2.5	4.6	0.29
4.50	22NR4.50ISO	22NL4.50ISO	1/2	22	2.1	2.5	4.6	0.32
5.00	22NR5.00ISO	22NL5.00ISO	1/2	22	2.8	2.5	4.6	0.36

(3) 可转位车刀刀杆 (表 7-11、表 7-12)

表 7-11 可转位外螺纹车刀刀杆

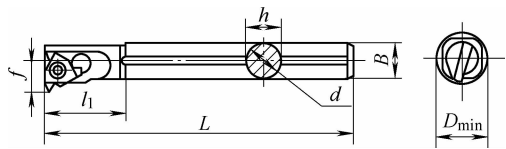
(单位: mm)



型号		h	h ₁	B	L	f	刀片
右切刀	左切刀						
SER1616H16	SEL1616H16	16	16	16	100	20	16ER/L
SER2020K16	SEL2020K16	20	20	20	125	25	16ER/L
SER2525M16	SEL2525M16	25	25	25	150	32	16ER/L
SER3225P16	SEL3225P16	32	32	25	170	32	16ER/L
SER3232P16	SEL3232P16	32	32	32	170	40	16ER/L
SER2525M22	SEL2525M22	25	25	25	150	32	22ER/L
SER3225P22	SEL3225P22	32	32	25	170	32	22ER/L
SER3232P22	SEL3232P22	32	32	32	170	40	22ER/L

表 7-12 可转位内螺纹车刀刀杆 (圆柄)

(单位: mm)



型号		h	B	L	f	d	l ₁	加工半径 D _{min}	刀片
右切刀	左切刀								
SNR0010H11	SNL0010H11	9	9	100	72	10	25	12	11NR/L
SNR0012K11	SNL0012K11	11	11.5	125	9	12	32	16	11NR/L
SNR0016M16	SNL0016M16	15	15.5	150	12	16	32	20	16NR/L
SNR0020Q16	SNL0020Q16	18	19	180	14	20	50	30	16NR/L
SNR0025M16	SNL0025M16	23	30	150		25	55	37	22NR/L
SNR0050U16	SNL0050U16	47	47	300		50		60	22NR/L
SNR0032S22	SNL0032S22	30	30	250		32	55	37	22NR/L
SNR0050U22	SNL0050U22	47	47	300		50		60	22NR/L

7.1.2 螺纹车刀的安装

7.1.2.1 对三角形螺纹车刀几何形状的要求

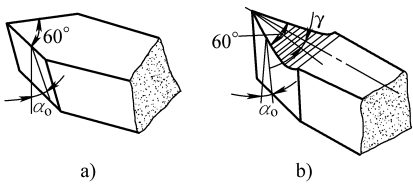
1) 当车刀的径向前角 $\gamma = 0^\circ$ 时, 车刀的刀尖角 ε 应等于牙型角 α , 如 $\gamma \neq 0^\circ$ 应进行修正(图 7-1)。

$$\tan \frac{\varepsilon'}{2} = \tan \frac{\alpha}{2} \cos \gamma$$

式中 ε' ——有径向前角的刀尖角;

α ——牙型角;

γ ——螺纹车刀的径向前角。



2) 车刀进刀后角因螺旋角的影响应该磨得较大。

3) 车刀的左右切削切削刃必须是直线。

4) 刀尖角对于刀具轴线必须对称。

图 7-1 螺纹车刀前角与车刀几何形状关系

7.1.2.2 车螺纹车刀的刀尖宽度尺寸

a) 径向前角等于 0° b) 径向前角大于 0°

(1) 车梯形螺纹车刀的刀尖宽度尺寸(牙型角 $= 30^\circ$)(表 7-13)

表 7-13 车梯形螺纹车刀的刀尖宽度尺寸 (牙型角 $= 30^\circ$)

(单位: mm)

计算公式: 刀尖宽度 $= 0.366 \times \text{螺距} - 0.536 \times \text{间隙}$					
螺距	刀尖宽度	螺距	刀尖宽度	螺距	刀尖宽度
2	0.598	8	2.660	24	8.248
3	0.964	10	3.292	32	11.176
4	1.330	12	4.124	40	14.104
5	1.562	16	5.320	48	17.032
6	1.928	20	6.784		

注: 间隙的数值可查梯形螺纹基本尺寸表。

(2) 车模数蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸(牙型角 $= 40^\circ$)(表 7-14)

表 7-14 车模数蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸 (牙型角 $= 40^\circ$)

(单位: mm)

计算公式: 刀尖宽度 $= 0.843 \times \text{模数} - 0.728 \times \text{间隙}$ (若取间隙 $= 0.2 \times \text{模数}$, 则刀尖宽度 $= 0.697 \times \text{模数}$)					
模数	刀尖宽度	模数	刀尖宽度	模数	刀尖宽度
1	0.697	(4.5)	3.137	12	8.364
1.5	1.046	5	3.485	14	9.758
2	1.394	6	4.182	16	11.152
2.5	1.743	(7)	4.879	18	12.546
3	2.091	8	5.576	20	13.940
(3.5)	2.440	(9)	6.273	25	17.425
4	2.788	10	6.970	(30)	20.910

注: 括号内的尺寸尽量不采用。

(3) 车径节蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸(牙型角 = 29°)(表 7-15)

表 7-15 车径节蜗杆车刀的刀尖宽度尺寸(牙型角 = 29°) (单位:mm)

计算公式: 刀尖宽 = $\frac{25.4 \times 0.9723}{\text{径节}(P)} = \frac{24.6964}{P}$					
径节 P	刀尖宽度	径节 P	刀尖宽度	径节 P	刀尖宽度
1	24.696	8	3.087	18	1.372
2	12.348	9	2.744	20	1.235
3	8.232	10	2.470	22	1.123
4	6.174	11	2.245	24	1.029
5	4.939	12	2.058	26	0.950
6	4.116	14	1.764	28	0.882
7	3.528	16	1.544	30	0.823

注: 刀尖宽度 = 螺纹槽底宽度, 通常采用这个尺寸做磨刀样板(精车)。

7.1.2.3 对螺纹车刀安装的要求

在装刀时, 车刀刀尖的位置一般应对准工件轴线。为防止硬质合金车刀高速切削时振动, 刀尖允许高于工件轴线百分之一螺纹大径; 在用高速钢车刀低速车削螺纹时, 则允许刀尖位置略低于工件轴线。

车刀的牙型角的分角线应垂直于螺纹轴线。

车刀伸出刀座的长度不应超过刀杆截面高度的 1.5 倍。

螺纹车刀的对刀方式、安装方法及应用范围如下:

- 1) 用中心规(螺纹角度卡板)安装外螺纹车刀。对刀精度低, 适用于一般螺纹车削(图 7-2)。
- 2) 用中心规(螺纹角度卡板)安装内螺纹车刀。对刀精度低, 适用于一般螺纹车削(图 7-3)。

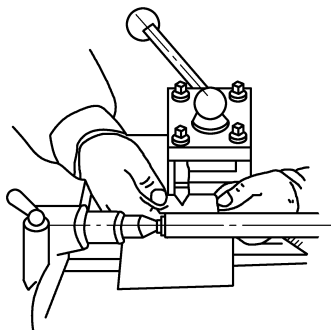


图 7-2 车外螺纹时对刀方法

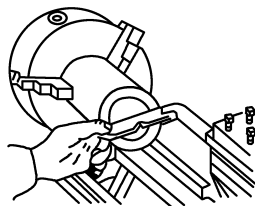


图 7-3 车内螺纹时
对刀方法

3) 用带有 V 形块的特制螺纹角度卡板对刀(图 7-4), 卡板后面做一 V 形角尺面, 装刀时放在螺纹外圆上作为基准, 以保证螺纹车刀的刀尖角对分线, 与螺纹工件的轴线垂直。这种方法对刀精度较高, 适用于车削精度较高的螺纹工件。

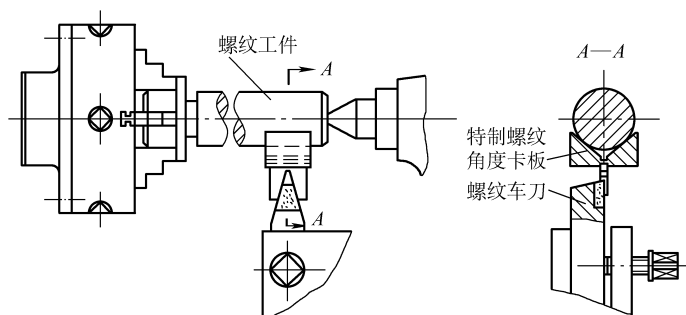
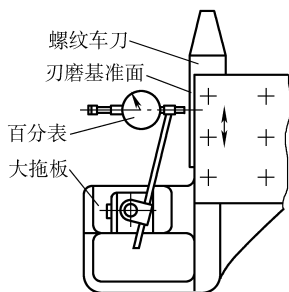
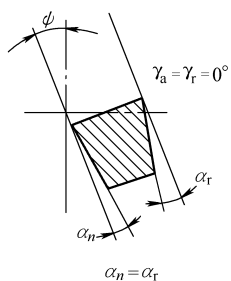
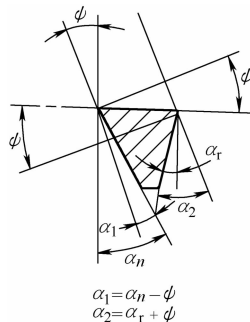


图 7-4 用带有 V 形块的螺纹角度卡板对刀方法

4) 选用刀杆上一个侧面作为刃磨和装刀的同一基准。在工具磨床上刃磨车刀刀尖和装刀时, 同用百分表校正这个基准面的直线度 (图 7-5), 这样可以保证装刀的偏差。这种方法对刀精度最高, 适用于车削精密螺纹。

5) 图 7-6 所示为法向安装螺纹车刀, 可使车刀两侧刃的工作前、后角相等, 切削条件一致, 切削顺利, 但会使牙型产生误差。法向安装车刀主要适用于粗车螺纹升角大于 3° 的螺纹, 以及车削法向直廓蜗杆。

6) 图 7-7 所示为轴向安装螺纹车刀。车刀两侧刃的工作前、后角不等, 一侧刃的工作前角变小, 后角增大, 而另一侧刃则相反。轴向安装车刀主要适用于各种螺纹的精车, 以及车削轴向直廓蜗杆。

图 7-5 用同一基准
面对刀方法图 7-6 法向安装螺
纹车刀图 7-7 轴向安装螺
纹车刀

7.1.3 卧式车床车螺纹交换齿轮计算

在卧式车床上车削标准螺距的螺纹时, 一般不需要进行交换齿轮的计算, 只有车削特殊螺距时, 才进行交换齿轮的计算。

7.1.3.1 车特殊螺距时的计算方法

特殊螺距是指螺距 (或每英寸牙数、模数等) 在铭牌上找不到, 可以用下列公式 (英制车床、米制车床都适用) 计算:

车米制螺纹或模数蜗杆:

$$\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{a}{a_1} \times i_{\text{原}}$$

车英制螺纹或径节蜗杆:

$$\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{b_1}{b} \times i_{\text{原}}$$

式中 a ——工件螺纹的螺距或模数;

a_1 ——在铭牌上任意选取的螺距或模数, 如果 a 是螺距, 则 a_1 应该在铭牌螺距一栏中任意选取; 如果 a 是模数, 则 a_1 应该在铭牌模数一栏中任意选取;

b ——工件螺纹的每英寸牙数或径节;

b_1 ——在铭牌上任意选取的每英寸牙数或径节, 如果 b 是每英寸牙数, 则 b_1 应在铭牌上每英寸牙数一行中任意选取; 如果 b 是径节, 则 b_1 应在铭牌上径节一栏中任意选取;

$i_{\text{原}}$ ——所选出来的 a_1 或 b_1 原来位置上的交换齿轮比, 这个比值在铭牌上是注明的。

[例] 在 C620-1 型车床上, 要车螺距 $P = 0.9\text{mm}$ 的螺纹, 怎样计算交换齿轮齿数和变换手柄位置?

解: 0.9mm 的螺距在铭牌上没有, 可以在米制螺纹螺距一行中选 $a_1 = 0.8\text{mm}$, 由铭牌查出 $i_{\text{原}} = \frac{22}{33} \times \frac{20}{25}$, 手柄在 1 的位置, 现在要车螺距 0.9mm 的螺纹, 则

$$\text{传动比 } i = \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{a}{a_1} i_{\text{原}} = \frac{0.9}{0.8} \times \frac{22}{33} \times \frac{20}{25} = \frac{40}{48} \times \frac{36}{50}$$

手柄仍放在 1 的位置。

[例] 在 C615 型车床上车每英寸 $10\frac{1}{2}$ 牙的英制螺纹, 怎样计算交换齿轮和变换手柄位置?

解: 每英寸 $10\frac{1}{2}$ 牙的螺距在铭牌上没有, 可在英制螺纹每英寸牙数一栏中选取 $b_1 = 5.5$, 查出

$$i_{\text{原}} = \frac{25}{31} \times \frac{21}{22}, \text{手柄在 3 的位置}$$

现在要车每英寸牙数为 $10\frac{1}{2}$ 的螺纹, 则

$$\text{传动比 } i = \frac{b_1}{b} i_{\text{原}} = \frac{5.5}{10.5} \times \frac{25}{31} \times \frac{21}{22} = \frac{21}{42} \times \frac{25}{31}$$

手柄放在 3 的位置上。

7.1.3.2 车模数或径节蜗杆时的计算方法

车模数蜗杆: $\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{\text{工件模数}}{\text{铭牌所选螺距}} \times \frac{22}{7} \times i_{\text{原}}$

$$\text{车径节蜗杆: } \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{\text{铭牌所选每英寸牙数}}{\text{工件径节}} \times \frac{22}{7} \times i_{\text{原}}$$

应用以上公式时应注意：如果要车模数蜗杆，应在铭牌米制螺距一行中选取；如果要车径节蜗杆，应在铭牌上英制螺纹（每英寸牙数）一行中选取，应尽可能使选出的数字与要车工件数字相同。

〔例〕 在一台带有进给箱的英制车床上，车一个模数 $m = 2.5 \text{ mm}$ 的蜗杆，怎样计算交换齿轮齿数和变换手柄位置。

解：在铭牌米制螺距一行中选取 2.5，查出 $i_{\text{原}} = \frac{50}{127}$ ，手柄 A 在 8 的位置上，手柄 B 应放在 3 的位置上。

现在要车模数 2.5 的蜗杆，则：

$$\begin{aligned} \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} &= \frac{\text{工件模数}}{\text{铭牌所选螺距}} \times \frac{22}{7} \times i_{\text{原}} = \frac{2.5}{2.5} \times \frac{22}{7} \times \frac{50}{127} \\ &= \frac{100}{35} \times \frac{55}{127} \end{aligned}$$

手柄 A 在 8 的位置上，手柄 B 放在 3 的位置上。

〔例〕 在一台有进给箱的米制车床上，车一径节为 12 的蜗杆螺纹，求交换齿轮齿数和手柄位置。

解：在铭牌英制螺纹一行中选取 12，查出：

$$i_{\text{原}} = \frac{50}{60} \times \frac{70}{80}$$

现在要车径节为 12 的蜗杆，则：

$$\begin{aligned} \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} &= \frac{\text{铭牌所选每英寸牙数}}{\text{工件径节}} \times \frac{22}{7} \times i_{\text{原}} \\ &= \frac{12}{12} \times \frac{22}{7} \times \frac{50}{60} \times \frac{70}{80} = \frac{50}{30} \times \frac{55}{40} \end{aligned}$$

手柄应放在车每英寸 12 牙时所规定的位置。

7.1.3.3 车多线螺纹交换齿轮计算及分线方法

圆柱体上只有一条螺旋槽的螺纹，叫作单线螺纹。凡有两条或两条以上螺旋槽的螺纹，就叫多线螺纹，如图 7-8 所示。

(1) 导程计算公式

$$P_h = Pn$$

式中 P_h ——螺纹导程 (mm)；

P ——螺纹螺距 (mm)；

n ——螺纹线数。

(2) 交换齿轮计算

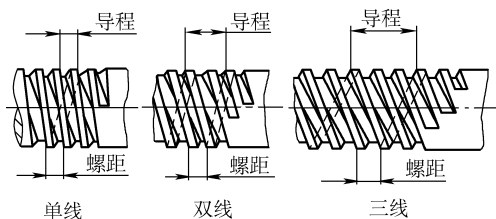


图 7-8 螺纹形式

车多线螺纹时的传动比，是按螺纹导程来计算的。为了减少计算导程（或者多线螺纹的每英寸牙数）的麻烦，只要在单线螺纹的公式后面乘上螺纹线数就行了。

例如米制车床米制多线螺纹, 计算公式为

$$\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{\text{工件螺距}}{\text{丝杆螺距}} \times \text{线数}$$

【例】 车床丝杆螺距 $P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$, 车削一工件螺距为 2.5mm 的双线螺纹, 求交换齿轮。

$$\text{解: } \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{2.5}{6} \times 2 = \frac{5}{6} = \frac{50}{60}$$

【例】 车床丝杆每英寸 4 牙, 需车削工件是每英寸 10 牙的双线螺纹, 计算交换齿轮。

$$\text{解: } \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4} = \frac{4}{10} \times 2 = \frac{4}{5} = \frac{40}{50}$$

(3) 车多线螺纹的分线方法

① 用小刀架的丝杆分线 (图 7-9)。这种方法属于轴向分线法, 即当车好一条螺旋线后, 把车刀轴向移动一个螺距, 就可车削第二条螺旋线。前移的距离可用千分表测出, 也可以按小刀架摇过的格数来计算:

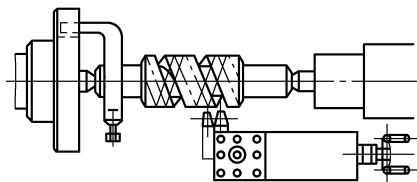


图 7-9 用小刀架的丝杆分线

$$\begin{aligned} \frac{\text{小刀架摇把}}{\text{摇过的格数}} &= \frac{\text{工件的螺距}}{\frac{\text{小刀架丝杆螺距}}{\text{刻度盘一圈的格数}}} \\ &= \frac{\text{工件的螺距} \times \text{刻度盘一圈的格数}}{\text{小刀架丝杆螺距}} \end{aligned}$$

【例】 车床小刀架丝杆螺距为 5mm , 小刀架刻度盘一圈 100 格, 所车工件 $\text{Tr}20 \times 6$ (P2), 问如何用小刀架丝杆分线?

$$\text{解: 摇把应转的格数} = \frac{2 \times 100}{5} = 40$$

即车完每一线后, 将小刀架摇把摇过 40 格, 使小刀架往前移一个螺距 (2mm), 就可车另一个头的螺纹。

② 用百分表分线方法 (图 7-10)。对精度要求高的多线螺纹, 可利用百分表控制小滑板的移动距离, 即每车好一条螺旋槽后, 使车刀沿轴向移动一个螺距。

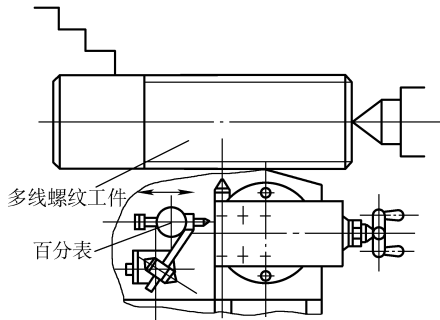


图 7-10 用百分表分线

③ 用交换齿轮齿数分线方法（图 7-11）。这种方法属于圆周分线法，即当车好第一条螺旋线以后，使工件从车刀的传动链中脱开，并把工件转过一定的齿数（双线螺纹转 $z_1/2$ ，三线螺纹转 $z_1/3$ ）后，再合上传动链，就可以车另一个螺旋线。这样依次分线，就可把螺旋线车好。

当交换齿轮中的主动轮齿数是螺纹线数的倍数时，就可以按下列步骤进行分线：

- a) 当车好第一条螺旋线后，停车。
- b) 在主轴交换齿轮 z_1 （主动轮 A）上，用粉笔做好三等分（或两等分），然后将中间轮 B 与主轴齿轮 A 脱开。
- c) 用手转动卡盘，使记号 2 的一个齿转到原来 1 的位置上，这时再将中间轮 B 与主轴齿轮 A 啮合，即可车第二条螺旋线。
- d) 第三条螺旋线的分线方法与第二条螺旋线的分线方法相同。

④ 用分度盘分线方法（图 7-12）。将特制的分度盘装在主轴箱主轴上，利用盘上定位孔进行分线（一般定位孔为 12 等分）。分度盘可与三爪自定心卡盘相联，也可以装上拨块 7 拨动夹头，用两顶尖装夹车削。其分线精度取决于分度盘定位孔的加工精度。这种方法适用于批量生产使用。

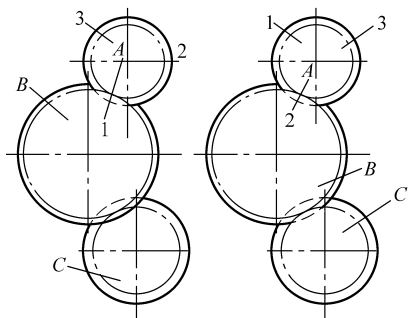


图 7-11 用交换齿轮
齿数分线

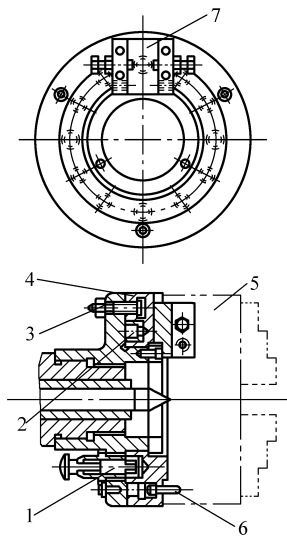
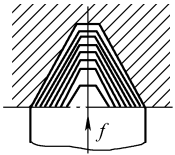
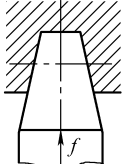
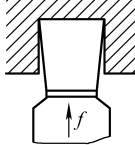
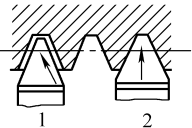
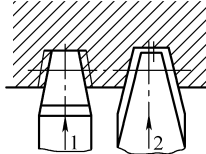
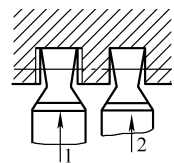
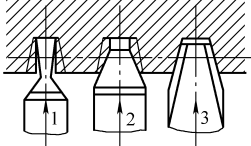
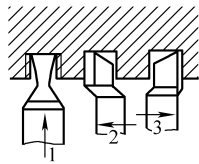
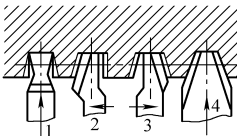


图 7-12 用分度盘分线
1—定位插销 2—定位孔 3—螺母 4—分度盘
5—卡盘 6—螺钉 7—拨块

7.1.4 螺纹车削方法 (表 7-16)

表 7-16 螺纹车削进刀方式

三角形螺纹		梯形螺纹		方牙螺纹	
P /mm	车削方法	P /mm	车削方法	P /mm	车削方法
$P < 3$	<p>用一把硬质合金车刀, 径向进刀车出螺纹</p> 	$P \leq 3$	<p>用一把车刀, 径向进刀粗、精车成</p> 	$P \leq 4$	<p>用一把车刀, 径向进刀车成。精密螺纹用两把刀, 径向进刀, 粗、精车成</p> 
$P > 3$	<p>首先用粗车刀斜向进刀粗车, 后用精车刀径向进刀精车。若为精密螺纹, 精车时应用轴向进刀分别精车牙形两侧</p> 	$P \leq 8$	<p>首先用比牙型角小 2° 的粗车刀径向进刀车至底径, 而后用精车刀径向进刀精车</p> 	$P \leq 12$	<p>分别用粗、精车刀径向进刀粗、精车</p> 
		$P < 10$	<p>首先用切槽车刀径向进刀车至底径, 再用刃形角比牙型角小 2° 的粗车刀径向进刀粗车, 最后用开有卷屑槽的精车刀径向进刀精车</p> 	$P > 12$	<p>先用切刀径向进刀车至底径, 后用左、右精车偏刀分别精车牙形两侧(轴向进刀)</p> 
		$P \geq 16$	<p>先用切刀径向进刀粗车至底径, 再用左、右偏刀轴向进刀粗车两侧, 最后用精车刀径向进刀精车</p> 		

7.1.5 高速钢及硬质合金车刀车削不同材料螺纹的切削用量(表 7-17)

表 7-17 高速钢及硬质合金车刀车削不同材料螺纹的切削用量

加工材料	硬 度 HBW	螺纹直径 /mm	每一走刀的横向进给量 /mm		切削速度 /(m/min)	
			第一次走刀	最后一次走刀	高速钢车刀	硬质合金车刀
易切削钢 碳素钢、碳素钢铸件 合金钢、合金钢铸件 高强度钢 马氏体时效钢 工具钢、工具钢铸件	100 ~ 225	≤25	0.50	0.013	12 ~ 15	18 ~ 60
		>25	0.50	0.013	12 ~ 15	60 ~ 90
	225 ~ 375	≤25	0.40	0.025	9 ~ 12	15 ~ 46
		>25	0.40	0.025	12 ~ 15	30 ~ 60
	375 ~ 535	≤25	0.25	0.05	1.5 ~ 4.5	12 ~ 30
		>25	0.25	0.05	4.5 ~ 7.5	24 ~ 40
易切不锈钢 不锈钢, 不锈钢铸件	135 ~ 440	≤25	0.40	0.025	2 ~ 6	20 ~ 30
		>25	0.40	0.025	3 ~ 8	24 ~ 37
灰铸铁	100 ~ 320	≤25	0.40	0.013	8 ~ 15	26 ~ 43
		>25	0.40	0.013	10 ~ 18	49 ~ 73
可锻铸铁	100 ~ 400	≤25	0.40	0.013	8 ~ 15	26 ~ 43
		>25	0.40	0.013	10 ~ 18	49 ~ 73
铝合金及其铸件 镁合金及其铸件	30 ~ 150	≤25	0.50	0.025	25 ~ 45	30 ~ 60
		>25	0.50	0.025	45 ~ 60	60 ~ 90
钛合金及其铸件	110 ~ 440	≤25	0.50	0.013	1.8 ~ 3	12 ~ 20
		>25	0.50	0.013	2 ~ 3.5	17 ~ 26
铜合金及其铸件	40 ~ 200	≤25	0.25	0.025	9 ~ 30	30 ~ 60
		>25	0.25	0.025	15 ~ 45	60 ~ 90
镍合金及其铸件	80 ~ 360	≤25	0.40	0.025	6 ~ 8	12 ~ 30
		>25	0.40	0.025	7 ~ 9	14 ~ 52
高温合金及其铸件	140 ~ 230	≤25	0.25	0.025	1 ~ 4	20 ~ 26
		>25	0.25	0.025	1 ~ 6	24 ~ 29
	230 ~ 400	≤25	0.25	0.025	0.5 ~ 2	14 ~ 21
		>25	0.25	0.025	1 ~ 3.5	15 ~ 23

注：高速钢车刀使用含钴高速钢：W12Cr4V5Co5 及 W2Mo9Cr4VCo8 等。

7.1.6 高速钢车刀车削螺纹时常用切削液(表 7-18)

表 7-18 高速钢车刀车削螺纹时常用切削液

工件材料 加工性质	碳素结 构钢	合金结 构钢	不锈钢、耐热钢	铸铁、黄铜	纯铜、铝及其 合 金
粗 车	3% ~ 5% 乳化液	1) 3% ~ 5% 乳化液 2) 5% ~ 10% 极压乳化液	1) 3% ~ 5% 乳化液 2) 5% ~ 10% 极压乳化液 3) 含 硫、磷、 氯的切削油	一般不加	1) 3% ~ 5% 乳化液 2) 煤油 3) 煤油和矿 物油的混合油

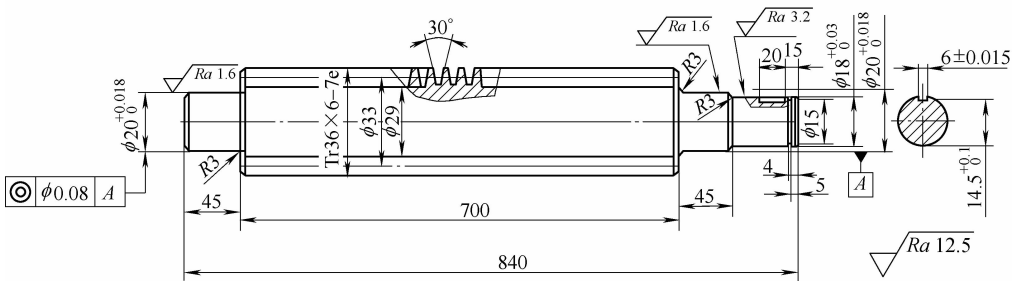
(续)

工件材料 加工性质	碳素结 构钢	合金结 构钢	不锈钢、耐热钢	铸铁、黄铜	纯铜、铝及其 合金
精车	1) 10% ~20% 乳化液 2) 10% ~15% 极压乳化液 3) 硫化切削油 4) 75% ~90% 2 号或 3 号锭 子油加 25% ~10% 菜籽油 5) 70% ~80% 变压器油中 氯化石蜡 30% ~20%		1) 10% ~ 25% 乳化液 2) 15% ~ 20% 极压乳化液 3) 煤油 4) 食醋 5) 60% 煤油 加 20% 松节油加 20% 油酸	铸铁通常不加切削 液, 需要时可加煤油 黄铜常不加切削 液, 必要时加菜籽油	铝及其合金一 般不加切削液, 必要时加煤油, 但不可加乳化液

注：表中百分数为质量百分数。

7.1.7 典型螺纹零件加工工艺分析举例

图 7-13 为丝杆零件。



技术要求

1. 热处理：调质处理 28 ~32HRC。2. 未注倒角 C1。3. 材料 45 钢。

图 7-13 丝杆

(1) 零件图样分析

- 1) 丝杆为梯形螺纹 Tr36 × 6-7e。
- 2) 两端 $\phi 20^{+0.018}_0$ mm 轴心线同轴度公差为 $\phi 0.08$ mm。
- 3) 热处理：调质处理 28 ~32HRC。
- 4) 未注倒角 C1。
- 5) 材料 45 钢。

(2) 工艺分析

1) 该丝杆属于中等精度长丝杆，尺寸精度，形状位置精度和表面粗糙度均要求不高，因此丝杆各部尺寸及梯形螺纹均可在普通设备上加工完成，当批量较小时，可用精车代替磨削工序完成，但应保证车削外径及螺纹的同轴度。

2) 调质处理安排在粗加工之后, 半精加工之前进行, 这样可以更好的保证加工质量。

3) 两端 $\phi 20_{+0.018}^{+0.018}$ mm 轴心线的同轴度公差可以两中心孔定位, 将工件装夹在偏摆仪上, 用百分表进行检查。

4) 精车外径和螺纹时要采用跟刀架, 防止工件变形。

5) 梯形螺纹的检查可用梯形螺环规进行检查。

(3) 丝杆机械加工工艺过程卡 (表 7-19)。

表 7-19 丝杆机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工 序 内 容	工艺装备
1	下料	棒料 $\phi 45\text{mm} \times 850\text{mm}$	锯床
2	粗车	用三爪自定心卡盘装夹工件一端, 车另一端面见平即可, 钻中心孔 B2.5	CA6140
3	粗车	倒头, 夹工件另一端, 车端面, 保证总长 840mm, 钻中心孔 B2.5	CA6140
4	粗车	夹工件左端顶尖顶右端车外圆至尺寸 $\phi 42 \pm 0.5\text{mm}$, 车右端至尺寸 $\phi 30_{\pm 0.5} \text{mm} \times 85\text{mm}$	CA6140
5	粗车	倒头, 夹工件右端顶尖顶左端, 车左端外圆至尺寸 $\phi 30 \pm 0.5\text{mm} \times 40\text{mm}$	CA6140
6	热处理	调质处理 28 ~ 32HRC	
7	车	夹工件左端, 修研右端中心孔	CA6140
8	车	倒头, 夹工件右端, 修研左端中心孔	CA6140
9	半精车	一夹一顶装夹工件, 辅以跟刀架, 半精车外圆至尺寸 $\phi 36.8\text{mm}$, 车右端外圆 $\phi 18_{+0.03}^{+0.03}\text{mm}$ 至图样尺寸长 50mm, 车 $\phi 20_{+0.018}^{+0.018}\text{mm}$ 至尺寸 $\phi 20.8\text{mm}$, 长 45mm, 车距右端面 5mm 处的 $4\text{mm} \times \phi 15\text{mm}$ 槽	CA6140
10	半精车	倒头, 一夹一顶装夹工件, 车左端 $\phi 20_{+0.018}^{+0.018}\text{mm}$ 至尺寸 $\phi 20.8\text{mm}$, 长 45mm	CA6140
11	划线	划 $6 \pm 0.015\text{mm} \times 20\text{mm}$ 键槽线	
12	铣	以两 $\phi 20.8\text{mm}$ (工艺尺寸) 定位装夹工件铣 $6 \pm 0.015\text{mm} \times 20\text{mm}$ 键槽	X5030A 组合夹具
13	磨	以两中心孔定位装夹工件, 磨外圆至图样尺寸 $\phi 36 \pm 0.05\text{mm}$, 磨两端 $\phi 20_{+0.018}^{+0.018}\text{mm}$ 至图样尺寸	M1432A
14	精车	以两中心孔定位装夹工件, 辅以跟刀架, 粗, 精车 Tr36 $\times 6-7\text{e}$ 梯形螺纹	CA6140
15	钳	修毛刺	
16	检验	按图样要求检查工件各部尺寸及精度	
17	入库	涂油入库	

7.1.8 车削螺纹质量分析 (表 7-20)

表 7-20 车削螺纹质量分析

常见问题	产生原因	解决方法
螺纹牙形角超差	1) 刀具刀形角刃磨不准确 2) 车刀安装不正确 3) 车刀磨损严重	1) 重新刃磨车刀 2) 车刀刀尖对准工件轴线, 校正车刀刃形平分角线使其与工件轴线垂直, 正确选用法向或轴向安装车刀 3) 及时换刀, 用耐磨材料制造车刀, 提高刃磨质量, 降低切削用量
螺距超差	1) 机床调整手柄扳错 2) 交换齿轮挂错、或计算错误	逐项检查, 改正错误
螺距周期性误差超差	1) 机床主轴或机床丝杠轴向窜动太大 2) 交换齿轮间隙不当 3) 交换齿轮磨损, 齿形有毛刺 4) 主轴、丝杠或挂轮轴轴颈径向圆跳动太大 5) 中心孔圆度超差、孔深太浅或与顶尖接触不良 6) 工件弯曲变形	1) 调整机床主轴和丝杠, 消除轴向窜动 2) 调整交换齿轮啮合间隙, 其值在 0.1 ~ 0.15mm 范围内 3) 妥善保管交换齿轮, 用前检查、清洗、去毛刺 4) 按技术要求调主轴、丝杠和交换齿轮轴轴颈跳动 5) 中心孔锥面和标准顶尖接触面不少于 85%, 且大头硬, 机床顶尖不要太尖, 以免和中心孔底部相碰; 两端中心孔要研磨, 使其同轴 6) 合理安排工艺路线, 降低切削用量, 充分冷却
螺距积累误差超差	1) 机床导轨对工件轴线的平行度超差、或导轨的直线度超差 2) 工件轴线对机床丝杠轴线的平行度超差 3) 丝杠副磨损超差 4) 环境温度变化太大 5) 切削热、摩擦热使工件伸长, 测量时缩短 6) 刀具磨损太严重 7) 顶尖顶力太大, 使工件变形	1) 调整尾座使工件轴线和导轨平行、或刮研机床导轨, 使直线度合格 2) 调整丝杠或机床尾座使工件和丝杠平行 3) 更换新的丝杠副 4) 工作地要保持温度在规定范围内变化 5) 合理选择切削用量和切削液, 切削时加大切削液流量和压力 6) 选用耐磨性强的刀具材料, 提高刃磨质量 7) 车削过程中经常调整尾顶尖压力
螺纹中径几何形状超差	1) 中心孔质量低 2) 机床主轴圆柱度超差 3) 工件外圆圆柱度超差, 和跟刀架孔配合太松 4) 刀具磨损大	1) 提高中心孔质量, 研或磨削中心孔, 保证圆度和接触精度, 两端中心孔要同轴 2) 修理主轴, 使其符合要求 3) 提高工件外圆精度、减少配合间隙 4) 提高刀具耐磨性, 降低切削用量, 充分冷却

(续)

常见问题	产生原因	解决方法
螺纹牙形表面粗糙度参数值超差	1) 刀具刃口质量差 2) 精车时进给太小产生刮挤现象 3) 切削速度选择不当 4) 切削液的润滑性不佳 5) 机床振动大 6) 刀具前、后角太小 7) 工件切削性能差 8) 切屑刮伤已加工面	1) 降低各刃磨面的粗糙度参数值, 减小切削刃钝圆半径, 刃口不得有毛刺、缺口 2) 使切屑厚度大于切削刀的圆角半径 3) 合理选择切削速度, 避免积屑瘤的产生 4) 选用有极性添加剂的切削液, 或采用动(植)物油极化处理, 以提高油膜的抗压强度 5) 调整机床各部位间隙, 采用弹性刀杆, 硬质合金车刀刀尖适当装高, 机床安在单独基础上, 有防振沟 6) 适当增加前、后角 7) 车螺纹前增加调质工序 8) 改为径向进刀
扎刀和打刀	1) 刀杆刚性差 2) 车刀安装高度不当 3) 进给量太大 4) 进刀方式不当 5) 机床各部间隙太大 6) 车刀前角太大, 径向切削分力将车刀推向切削面 7) 工件刚性差	1) 刀头伸出刀架的长度应不大于 1.5 倍的刀杆高度, 采用弹性刀杆, 内螺纹车刀刀杆选较硬的材料, 并淬火至 35 ~ 45HRC 2) 车刀刀尖应对准工件轴线, 硬质合金车刀高速车螺纹时, 刀尖应略高于轴线, 高速钢车刀低速车螺纹时, 刀尖应略低于工件轴线 3) 降低进给量 4) 改径向进刀为斜向或轴向进刀 5) 调整车床各部间隙、特别是减少车床主轴和溜板间隙 6) 减小车刀前角 7) 采用跟刀架支持工件, 采用轴向进刀切削, 降低进给量
螺纹乱扣	机床丝杠螺距值不是工件螺距值的整数倍时, 返回行程提起了开合螺母	当机床丝杠螺距不是工件螺距整数倍时, 返回行程打反车, 不得提起开合螺母
多线螺纹有大小牙	1) 分线不准 2) 中途改变了车刀径向或轴向位置	1) 提高分线精度 2) 每当车刀的径(轴)向位置改变, 必须将多线螺纹都车削一遍

7.2 磨削螺纹

螺纹磨削是用螺纹磨床对淬硬工件的螺纹进行精加工的主要方法。通过螺纹磨削可提高螺纹精度和表面粗糙度。并能提高螺纹的疲劳强度和工作寿命。螺纹磨削主要用于加工精密丝杠、各类螺纹工具、量具、螺纹量规等。

7.2.1 螺纹磨削方法 (图 7-14)

(1) 单线砂轮纵向磨削方法 (图 7-14a) 这种磨削螺纹的方法, 是利用形状相当于一个螺纹齿槽的单线砂轮作为工具, 并相对于工件倾斜一个螺旋升角 λ , 磨削时, 砂轮对工件作横向进给运动, 工件绕自身的轴线旋转, 同时作纵向移动 (每转一周, 纵向移动一个螺距), 这样就形成按纵向进给的方式来磨削螺纹。

这种磨削螺纹的方法机床调整与砂轮修整均较方便, 但磨削效率低, 常用于单件、小批加工。

同在水床上车削螺纹一样, 在螺纹磨床上可以通过变更交换齿轮 (可在机床说明书中查得) 来磨削各种螺距的螺纹。

(2) 多线砂轮纵向磨削法 (图 7-14b)

这种磨削螺纹的方法与单线砂轮磨削螺纹方法相似, 但砂轮相对工件不需要倾斜角度。螺纹不是由一个砂轮齿切削, 而是将砂轮的齿修整成切削齿和精磨齿, 这样在一次行程中可以将螺纹粗精磨全部完成。

(3) 多线砂轮切入磨削法 (图 7-14c)

这种磨削螺纹的方法, 要求砂轮齿距应等于工件的螺距, 砂轮宽度要大于螺纹长度 (2~3 个螺距即可)。磨削时工件旋转和轴向移动应同步, 工件旋转与砂轮切入有一定的联系, 故工件转速不能过高, 砂轮切深至要求后, 工件再旋转一周半左右, 即将工件磨好。

这种磨削螺纹的方法, 适用于加工小螺距, 小螺旋角, 低精度和短粗螺纹工件。使用这种方法对螺纹磨床砂轮主轴和工件安装定位系统的刚性要求较高。

多线砂轮纵向进给时, 可根据需要修整成三种不同的截面形状 (表 7-21)。

表 7-21 采用多线砂轮纵向磨削法时砂轮的截面形状

砂轮形式	简 图	特点分析
带主偏角砂轮		<p>1) 砂轮切入侧外圆修成 $7^\circ 30'$ 主偏角, 宽度不大于砂轮宽度的 $1/2$。当螺距 $P \geq 1.75\text{mm}$ 或磨削烧伤时, 主偏角可修成 $5^\circ 15'$</p> <p>2) 磨削时逐步切入、分层切削、修正齿多, 精度易于保证</p>

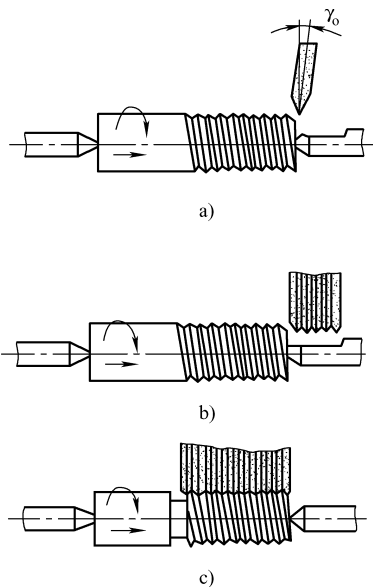
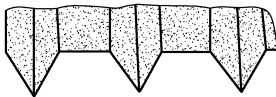
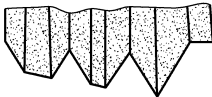


图 7-14 螺纹磨削方法

(续)

砂轮形式	简 图	特点分析
间隔去齿砂轮		磨削效率高，切削液容易进入磨削区，散热快，可及时排出切屑
三线砂轮		磨削量主要分布在第一粗切齿上，最后一齿为修正齿。砂轮可倾斜一个螺旋升角，以避免干涉

7.2.2 螺纹磨削砂轮的选择和修整

(1) 砂轮的选择

- 1) 磨料。常用砂轮选用白刚玉（WA）和铬刚玉（PA）。
- 2) 粒度。为了保证砂轮有准确的截形，砂轮的粒度一般均在 F80 ~ F180。
- 3) 硬度。为了保证砂轮在比较长的时间内保证截形的准确性，并希望砂轮的自锐性较差，所以砂轮硬度一般均在 J、K、L、M 之间。
- 4) 结合剂。多选用陶瓷结合剂，因其化学性能稳定、耐热、抗酸碱、强度高、气孔率大，能较好地保证牙形。

螺纹磨削单线砂轮的选用可参照表（7-22）。

表 7-22 螺纹磨削单线砂轮的选用

工件名称	材料及热处理硬度	螺距 P/mm 或粗、精磨	齿形表面粗糙度 $Ra/\mu m$	砂 轮
机床梯形 螺纹丝杠	9Mn2V、CrWMn 56HRC	粗磨	0.8	WA100 ~ 80J ~ K(V)
		精磨	0.4	WA120 ~ 100K ~ L(V)
精密滚珠 丝杠	GCr15、GCr15SiMn 中频淬火 58 ~ 62HRC	半精磨圆弧螺纹	0.8	VA80J(V) 大气孔
		精磨圆弧螺纹	0.4	WA100 ~ 80J ~ K(V) 大气孔
60°小螺距 长丝杠	9Mn2V、T10A 56HRC	粗磨	0.8	WA220K(V)
		精磨	0.8	WA500 ~ 150K ~ L(V)
丝锥	W18Cr4V 62 ~ 66HRC	$P \leq 0.8$	0.4	WA320 ~ 360M ~ N(V)
		$0.8 < P \leq 1.5$	0.4	WA50 ~ 120L ~ M(V)
		$P > 1.5$	0.4	WA180 ~ 120K ~ L(V)
螺纹塞规	CrMn、CrWMn 58 ~ 65HRC	$P \leq 0.8$	0.4 ~ 0.8	WA320 ~ 360M ~ P(V)
		$0.8 > P \leq 1.5$	0.4 ~ 0.8	WA240 ~ 320K ~ M(V)
		$P > 1.5$	0.4 ~ 0.8	WA120 ~ 320J ~ K(V)

(2) 砂轮的修整

1) 手动修整砂轮夹具。手动修整砂轮装置见图 7-15, 螺纹半角由定位块 2 调整, 由修整器 1 实现微进给。

2) 滚轮修整砂轮。滚轮可用高速钢、硬质合金或金刚石制成, 修整时滚轮和砂轮对滚见图 7-16。

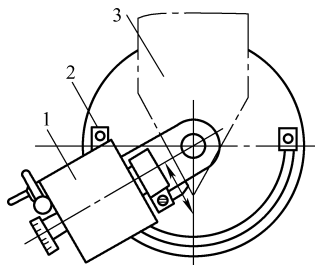


图 7-15 手动修整砂轮夹具

1—修整器 2—定位块 3—砂轮

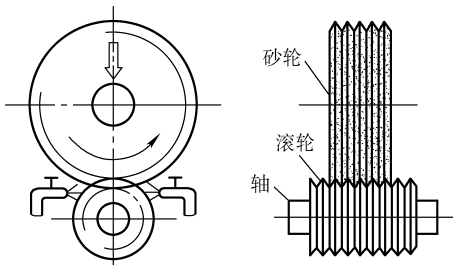


图 7-16 滚轮修整砂轮示意图

7.2.3 螺纹磨削的工艺要求

1) 控制螺纹磨床的环境温度。标准恒温精度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 也可以将恒温基准温度 20°C 上下调整 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$, 但在一天内的温度波动不能超过 1°C 。为便于精磨调试, 工件计量的温度应与加工时的环境温度一致。

2) 螺纹磨床应安装在有防振沟的独立地基上, 并远离铁路、公路和一切产生振动的机械。螺纹磨床使用的动力电源应有稳压装置和突然断电的保护装置。

3) 在精磨螺纹前, 机床需空运转一段时间, 使砂轮主轴、机床螺母丝杠副, 以及工件均处于热平衡状态, 避免热变形对磨削精度的影响。

4) 单线砂轮磨削所使用的片状砂轮直径在 $400 \sim 500\text{mm}$ 范围内, 厚度为 10mm 。要十分小心地安装和平衡砂轮, 砂轮孔与法兰盘的配合间隙要适当并分布均匀, 经过多次平衡后应逐步对称拧紧螺钉, 压紧砂轮的端面, 应采用耐油橡胶或硬纸板作衬垫, 经过平衡后的砂轮不要再拆下, 应一直使用到砂轮磨损极限。

5) 主轴顶尖安装后的径向圆跳动 $\leq 2\mu\text{m}$, 60° 锥面应取正公差, 工件中心孔与顶尖应为大端接触, 接触面积为 $70\% \sim 80\%$ 。尾座顶尖与工件的压力要适当, 并在磨削过程中随时调整, 以消除工件热变形对尾座顶尖所产生的附加压力。

6) 螺纹磨削中工件外圆是辅助基面, 借助于中心架将径向切削力和工件应力消除, 以减少磨削时的弯曲。中心架宜采用三点受力的封闭式结构, 中心架的数量 $n = l/(10d)$ (l 为工件长度, d 为工件直径)。

7) 螺纹磨削时要求砂轮与工件的相对运动形成精确的螺旋面。传统的纯机械螺纹磨床是通过选择计算螺距交换齿轮或更换螺母丝杠来实现所要求的螺距。要十分注意交换齿轮的精度和啮合间隙, 精度低、啮合间隙过大或过小均会引起传动链误差增大。

8) 按照工件螺旋升角的大小和方向, 精确调整砂轮主轴部件的倾角和方向, 砂轮修整器的倾角和方向也必须与砂轮主轴部件一致。当倾角大于 5° 时, 驱动砂轮电动机

底座也必须作相应的调整。以上调整的精确度均影响砂轮与工件螺旋面的干涉程度，对于螺旋升角大的螺纹尤为重要。

9) 精密螺纹的横向吃刀量一般为 $0.005 \sim 0.015\text{mm}$ 。为减小由于热变形所引起的螺距误差，宜采用由尾座至头架方向进行磨削。为了使磨削余量均匀，应在螺纹的中间部位进行动态对刀。

7.3 旋风铣削螺纹

旋风铣削螺纹的实质，是用硬质合金刀具高速铣削螺纹。加工时，工件由主轴带动慢速转动，旋风铣刀安装在车床横刀架上，由电动机经传动带驱动，作高速切削运动，同时床鞍纵向进给。工件转一周，旋风铣刀纵向进给量等于工件的一个导程（图7-17）。加工内螺纹时，旋风铣刀换成刀杆。

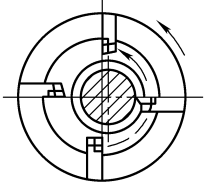
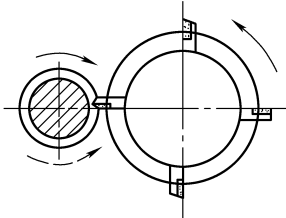
旋风铣削螺纹时，要求尽量采用顺铣，并应设法消除传动间隙。旋风头旋转轴线对工件轴线倾斜角等于螺纹升角 λ 。加工右旋螺纹时，旋风头逆时针方向转动，加工左旋螺纹时，旋风头顺时针方向转动。

用对刀规安装刀头，要求刀盘或刀杆上各刀头切削刃部的径向圆跳动 $\leq 0.02\text{mm}$ ，轴向圆跳动 $\leq 0.005\text{mm}$ ，各刀头的刃形角要严格一致，否则螺纹齿面会产生波纹度。

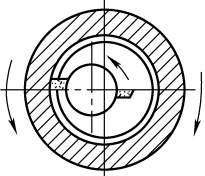
旋风铣削丝杠的精度可达 7~8 级，表面粗糙度 $Ra2.5 \sim 5\mu\text{m}$ 。

7.3.1 旋风铣削螺纹的方式及适用范围(表 7-23)

表 7-23 旋风铣削螺纹方式及适用范围

切削方式	加工简图	特点	适用范围
内切法加工外螺纹		1) 切削平稳 2) 螺纹表面粗糙度参数值较小 3) 刀具寿命较长 4) 排屑较困难 5) 工件直径受机床和切头结构限制	1) 适于铣削螺纹导程角 $\leq 5^\circ$ 的螺纹 2) 螺纹直径小于 100mm
外切法加工外螺纹		1) 切削振动较内切法大 2) 螺纹表面粗糙度参数值较内切法大 3) 刀具寿命低	1) 螺纹直径大于 100mm 2) 螺纹导程角 $> 5^\circ$ 的螺纹

(续)

切削方式	加工简图	特 点	适用范围
内切法加工内螺纹		1) 切削平稳 2) 刀具回转直径与工件螺纹中径的比值一般为 0.6 ~ 0.7	直径 $\geq 32\text{mm}$ 的内螺纹

注：图中实线所示的工件旋转方向为顺切削，虚线所示方向为逆切削。

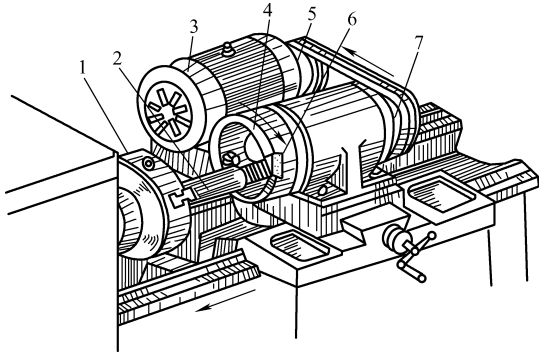


图 7-17 旋风切削螺纹装置

1—卡盘 2—工件 3—电动机 4—刀盘 5、7—带轮 6—刀头

7.3.2 旋风铣削螺纹的刀具材料和几何角度(表 7-24)

表 7-24 旋风铣削螺纹的刀具材料和几何角度

螺纹种类	工件材料	螺纹牙形	螺距/mm	刀片材料	刀杆规格尺寸/mm		刀具主要角度		
					L	$B \times H$	后角 α_o	前角 γ_o	刀尖角 ε
外 螺 纹	碳素钢	三角形	<3	YT15	60	12 × 12	6°	0° ~ 4°	59°30′
		三角形	3 ~ 6	YT15	60	12 × 14	6°	0° ~ 4°	59°30′
		梯 形	4 ~ 12	YT15	60	12 × 16	6° ~ 8°	0°	30°
	合金钢	三角形	<3	YT15	60	12 × 12	8°	0° ~ 6°	59°30′
		三角形	3 ~ 6	或	60	12 × 14	8°	0° ~ 4°	59°30′
		梯 形	4 ~ 12	YN10	60	12 × 16	8°	0°	30°
	不锈钢	三角形	<3	YG8	60	12 × 12	8°	3° ~ 6°	59°30′
		三角形	3 ~ 6	YT15 或	60	12 × 14	8°	6°	59°30′
		梯 形	4 ~ 12	YN10	60	12 × 16	8°	6° ~ 8°	29°30′
	非铁金属	三角形	<4	YG8	60	12 × 14	8°	10°	59°
		三角形	4 ~ 12	YG8	60	12 × 16	8°	10°	59°

(续)

螺纹种类	工件材料	螺纹牙形	螺距/mm	刀片材料	刀杆规格尺寸/mm		刀具主要角度		
					<i>L</i>	<i>B</i> × <i>H</i>	后角 α_o	前角 γ_o	刀尖角 ε
内螺纹	碳钢与合金钢	三角形	<3	YT15	按内螺纹内径选择 刀头和刀杆		8°	0° ~ 5°	59°30′
		三角形	3 ~ 6	YT15			6°	0° ~ 5°	59°30′
	不锈钢	三角形	<6	YG8 或 YT15			8°	6°	50°30′
	非铁金属	三角形	<6	YG8			8°	10°	59°

7.3.3 旋风铣削螺纹常用切削用量(表 7-25)

表 7-25 旋风铣削螺纹常用切削用量

工件材料	刀具材料	螺纹牙形	工件直径/mm	螺距/mm	装刀把数	转速/(r/min)		进给次数
						刀盘转速	主轴转速	
碳素钢或合金钢	YT15	三角形	<30	<3	1 ~ 2	1400 ~ 1600	12 ~ 25	1
			<30		4	1000 ~ 1200	12 ~ 20	1
			30 ~ 50		1 ~ 2	1200 ~ 1400	12	1
			30 ~ 50		4	1000 ~ 1200	12	1
			50 ~ 68	3 ~ 6	1 ~ 2	1000 ~ 1200	4 ~ 12	1 ~ 2
			50 ~ 68	3 ~ 6	4	1000 ~ 1200	8 ~ 12	1 ~ 2
		梯形	24 ~ 40	4 ~ 8	1 ~ 2	1200 ~ 1400	4 ~ 8	2 ~ 3
			40 ~ 60	4 ~ 12	2 ~ 4	1000 ~ 1200	2 ~ 4	2 ~ 3
非铁金属	YG8	三角形或梯形	<30	<3	1 ~ 2	1400 ~ 1600	12 ~ 16	1
			30 ~ 70	3 ~ 6	1 ~ 2	1200 ~ 1400	8 ~ 12	1 ~ 3
			<30	<3	4	1200 ~ 1400	12 ~ 16	1 ~ 2
			30 ~ 70	3 ~ 6	4	1000 ~ 1200	4 ~ 8	2 ~ 3
钢件或铜件	YT15	三角形或梯形内螺纹	20 ~ 30	<3	1	1600 ~ 2400	8 ~ 12	1
	YG8		30 ~ 60	3 ~ 6	1		4 ~ 8	1 ~ 3

注：切削不锈钢时，转速比表中加工相应钢件数值略低。

7.4 用丝锥和板牙切削螺纹

7.4.1 用丝锥攻螺纹

7.4.1.1 丝锥的结构和规格标准

机用手用丝锥是切削普通螺纹的常用标准丝锥。在国家工具标准中，将高速钢磨牙丝锥定名为机用丝锥，将碳素工具钢或合金工具钢（少量高速钢）滚牙（或切牙）丝锥定名为手用丝锥。实质上它们的工作原理和结构特点完全相同。

(1) 丝锥的结构（图 7-18）。

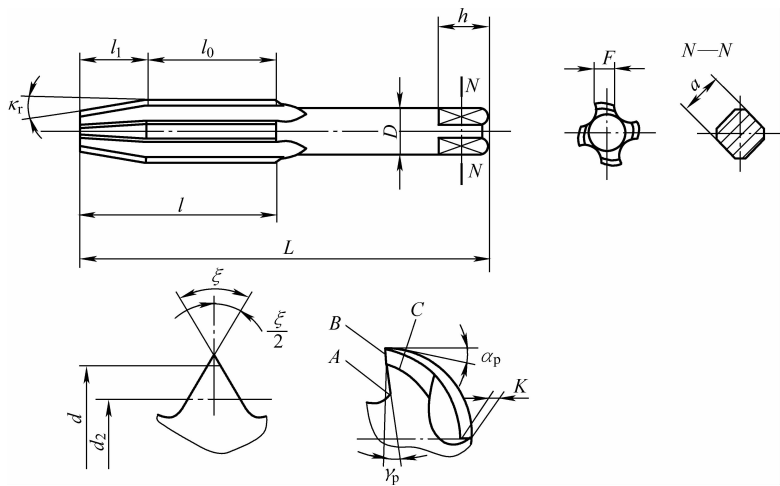


图 7-18 丝锥各部分名称代号

L —丝锥总长 l —螺纹部分长度 l_1 —切削锥长度 l_0 —校准部分长度 d —大径
 d_2 —中径 D —柄部直径 h —方头长度 a —方头厚度 F —刀背宽度 κ_r —主偏角
 γ_p —前角 α_p —后角 K —后面铲背量 ξ —牙形角 A —沟槽
 B —前面 C —后面

(2) 不同公差带丝锥加工内螺纹的相应公差带等级（表 7-26）

表 7-26 不同公差带丝锥加工内螺纹的相应公差带等级

GB/T 968—2007 丝锥公差带代号	适用于内螺纹的公差带
H1	4H、5H
H2	5G、6H
H3	6G、7H、7G
H4	6H、7H

注：由于影响攻螺纹尺寸的因素很多，如材料性质、机床刚性、丝锥装夹方法、切削速度以及冷却润滑条件等，因此此表只能作为选择丝锥时的参考。

(3) 常用丝锥规格范围及标准代号（表 7-27）

表 7-27 常用丝锥规格范围及标准代号

类型	简图	规格范围	标准代号
粗柄机 用和手用 丝锥		粗牙为 M1 ~ M2.5 细牙为 M1 × 0.2 ~ M2.5 × 0.35	GB/T 3464.1 —2007

(续)

类型	简图	规格范围	标准代号
粗柄带 颈机用和 手用丝锥		粗牙为 M3 ~ M10 细牙为 M3 × 0.35 ~ M10 × 1.25	GB/T 3464.1 —2007
细柄机 用和手用 丝锥		粗牙为 M3 ~ M68 细牙为 M3 × 0.35 ~ M100 × 6	GB/T 3464.1 —2007
长柄机 用丝锥		粗牙为 M3 ~ M24 细牙为 M3 × 0.35 ~ M24 × 2	GB/T 3464.2 —2007
粗短柄 机用和手 用丝锥		粗牙为 M1 ~ M2.5 细牙为 M1 × 0.2 ~ M2.5 × 0.35	GB/T 3464.3 —2007
粗短柄 带颈机用 和手用丝 锥		粗牙为 M3 ~ M10 细牙为 M3 × 0.35 ~ M10 × 1.25	GB/T 3464.3 —2007

(续)

类型	简图	规格范围	标准代号
细短柄 机用和手 用丝锥		粗牙为 M3 ~ M52 细牙为 M3 × 0.35 ~ M52 × 4	GB/T 3464.3 —2007
螺母丝 锥 (d ≤ 5mm)		粗牙为 M2 ~ M5 细牙为 M3 × 0.35 ~ M5 × 0.5	GB/T 967— 2008
圆柄螺 母丝锥 (d > 5 ~ 30mm)		粗牙为 M6 ~ M30 细牙为 M6 × 0.75 ~ M30 × 1	GB/T 967— 2008
螺母丝 锥 (d > 5mm)		粗牙为 M6 ~ M52 细牙为 M6 × 0.75 ~ M52 × 1.5	GB/T 967— 2008
长柄螺 母丝锥		粗牙为 M3 ~ M33 细牙为 M3 × 0.35 ~ M52 × 1.5	JB/T 8786— 1998

(续)

类型	简图	规格范围	标准代号
55°圆锥管螺纹丝锥		Re1/16 ~ Re4	

- 注：1. 米制锥螺纹丝锥，适用于加工用螺纹密封的米制锥螺纹（GB/T 1415—2008）。
2. 55°圆柱管螺纹丝锥有 G、GD、Rp 三个系列。G 和 GD 系列适用于加工非螺纹密封的管螺纹丝锥，Rp 系列适用于加工用螺纹密封的管螺纹丝锥。
3. 55°圆锥管螺纹丝锥，适用于加工用螺纹密封的锥管内螺纹。

7.4.1.2 攻螺纹工具

(1) 绞杠

绞杠是手工攻螺纹时用的一种辅助工具。绞杠分为普通绞杠和丁字绞杠两类。

1) 普通绞杠。普通绞杠有固定绞杠和活绞杠两种（图 7-19）。一般攻制 M5 以下的螺纹采用固定绞杠。活绞杠的方孔尺寸可以调节，因此应用的范围比较广。常用活绞杠的柄长有 150 ~ 600mm 六种规格，以适应各种不同尺寸的丝锥，见表 7-28。

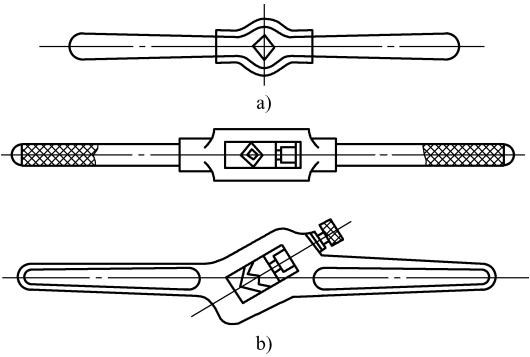


图 7-19 普通绞杠
a) 固定绞杠 b) 活绞杠

表 7-28 活绞杠的规格和适用范围 (单位：mm)

活绞杠规格	150	230	280	380	580	600
适用丝锥范围	M5 ~ M8	M8 ~ M12	M12 ~ M14	M14 ~ M16	M16 ~ M22	M24 以上

2) 丁字绞杠。丁字形绞杠适用于攻制工件台阶旁边或攻制机体内部的螺孔。丁字绞杠有固定式和可调式两种（图 7-20）。丁字形可调式的绞杠是通过一个四爪的弹簧夹头来夹持不同尺寸的丝锥，一般用于 M6 以下的丝锥。大尺寸的丝锥一般用固定式，通常是按实际需要制作专用绞杠。

(2) 丝锥夹头

在钻床上攻螺纹时，要用丝锥夹头来装夹丝锥和传递攻螺纹转矩。常用丝锥夹头有以下两种：

1) 快换夹头（JB/T 3489—2007）。快换夹头分两种规格，第一种规格钻孔范围为

$\phi 1 \sim \phi 31.5\text{mm}$ ，攻螺纹范围为 M3 ~ M24；第二种规格钻孔范围为 $\phi 14.5 \sim \phi 50\text{mm}$ ，攻螺纹范围为 M24 ~ M42。

2) 丝锥夹头 (JB/T 9939.1—1999)。丝锥夹头攻螺纹范围为 M2 ~ M8、M3 ~ M12、M5 ~ M16、M12 ~ M24、M14 ~ M33、M24 ~ M42、M42 ~ M64、M64 ~ M80 共八种规格。

(3) 车床攻螺纹用工具

图 7-21 所示是车床攻螺纹用工具。攻螺纹工具与车床套螺纹工具相似，只要将中间工具体改换成能装夹丝锥的工具体，即以方孔与丝锥柄配合。

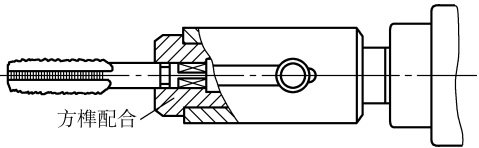


图 7-21 车床攻螺纹用工具

7.4.1.3 攻螺纹切削液选择 (表 7-29)

表 7-29 攻螺纹切削液选择

工件材料	切 削 液
结构钢、合金钢	硫化油；乳化液
耐热钢	60% 硫化油 + 25% 煤油 + 15% 脂肪酸 30% 硫化油 + 13% 煤油 + 8% 脂肪酸 + 1% 氯化钡 + 45% 水 硫化油 + 15% ~ 20% 四氯化碳
灰铸铁	75% 煤油 + 25% 植物油；乳化液；煤油
铜合金	煤油 + 矿物油；全系统消耗用油；硫化油
铝及合金	85% 煤油 + 15% 亚麻油 50% 煤油 + 50% 全系统消耗用油 煤油；松节油；极压乳化液

注：表内含量百分数均为质量分数。

7.4.1.4 攻螺纹时应注意的事项

(1) 手工攻螺纹

1) 攻螺纹前工件的装夹位置要正确，应尽量使螺孔中心线置于水平或垂直位置，其目的是攻螺纹时便于判断丝锥是否垂直于工件平面。

2) 攻螺纹前螺纹底孔的孔口要倒角，通孔螺纹两端孔口都要倒角。这样可以使丝锥容易切入，并防止攻螺纹后螺纹出孔口处崩裂。

3) 在开始攻螺纹时，要尽量把丝锥放正，然后用手压住丝锥使其切入底孔，当切入 1 ~ 2 圈时，再仔细观察和校正丝锥位置，一般在切入 3 ~ 4 圈螺纹时，丝锥的位置应

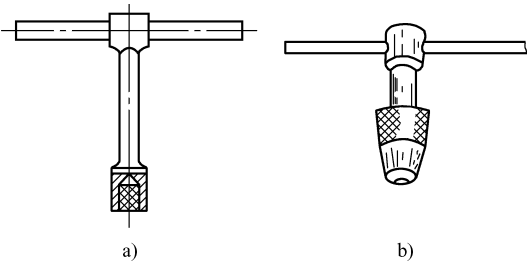


图 7-20 丁字绞杠

a) 固定式 b) 可调式

正确，这时应停止对丝锥施加压力，只须平稳地转动绞杠攻螺纹即可。

4) 扳转绞杠要两手用力平衡，切忌用力过猛和左右晃动，防止牙型撕裂和螺孔扩大。

5) 攻螺纹时，每扳转绞杠 1/2 ~ 1 圈，就应倒转 1/2 圈，使切屑碎断后容易排除。对塑性材料，攻螺纹时应经常保持足够的切削液。攻不通孔螺纹时，要经常退出丝锥，清除孔中的切屑，尤其当将要攻到孔底时，更应及时清除切屑，以免丝锥被轧住。攻通孔螺纹时，丝锥校准部分不应全部攻出头，否则会扩大或损坏孔口螺纹。

6) 在攻螺纹过程中，换用另一支丝锥时，应先用手旋入已攻出的螺孔中，直到用手旋不动时，再用绞杠攻螺纹。

7) 丝锥退出时，应先用绞杠平稳的反向转动，当能用手直接旋动丝锥时，应停止使用绞杠，以防绞杠带动丝锥退出时产生摇摆和振动，损坏螺纹的表面粗糙度。

(2) 机动攻螺纹

机动攻螺纹要保持丝锥与螺孔的同轴度要求。当丝锥即将进入螺纹底孔时，进刀要慢，以防丝锥与螺孔发出撞击。在丝锥切削部分开始攻螺纹时，应在钻床进刀手柄上施加均匀的压力，帮助丝锥切入工件，当切削部分全部切入工件时，应立即停止对进刀手柄施加压力，而靠丝锥螺纹自然进给攻螺纹。机攻通孔螺纹时，丝锥的校准部分不能全部攻出头，否则在反转退出丝锥时，会使螺纹产生烂牙。

攻螺纹时丝锥的切削速度见表 7-30。

表 7-30 攻螺纹切削速度 (单位：m/min)

螺孔材料	切削速度
一般钢材	6 ~ 15
调质钢或硬钢	5 ~ 10
不锈钢	2 ~ 7
铸铁	8 ~ 10

7.1.4.5 攻螺纹前钻孔用麻花钻直径

(1) 普通螺纹攻螺纹前钻孔用麻花钻直径 (表 7-31)

表 7-31 普通螺纹攻螺纹前钻孔用麻花钻直径 (单位：mm)

式中 d ——麻花钻直径				D ——螺纹公称直径			
计算公式： $d = D - P$				P ——螺距			
公称直径 D	螺 距 P		钻头直径 d	公称直径 D	螺 距 P		钻头直径 d
1	粗	0.25	0.75	4	粗	0.7	3.3
	细	0.2	0.8		细	0.5	3.5
2	粗	0.4	1.6	5	粗	0.8	4.2
	细	0.25	1.75		细	0.5	4.5
3	粗	0.5	2.5	6	粗	1	5
	细	0.35	2.65		细	0.75	5.2

(续)

公称直径 <i>D</i>	螺 距 <i>P</i>		钻头直径 <i>d</i>	公称直径 <i>D</i>	螺 距 <i>P</i>		钻头直径 <i>d</i>		
8	粗	1. 25	6. 7	30	粗	3. 5	26. 5		
	细	1 0. 75	7 7. 2		细	3 2 1. 5 1	26. 9 27. 9 28. 5 29		
10	粗	1. 5	8. 5			33	粗	3. 5	29. 5
	细	1. 25 1 0. 75	8. 7 9 9. 2				细	3 2 1. 5	29. 9 30. 9 31. 5
12	粗	1. 75	10. 2					36	粗
	细	1. 5 1. 25 1	10. 5 10. 7 11	细	3 2 1. 5		32. 9 33. 9 34. 5		
14	粗	2	11. 9		39	粗	4		35
	细	1. 5 1. 25 1	12. 5 12. 7 13	细		3 2 1. 5	35. 9 36. 9 37. 5		
16	粗	2	14			42	粗	4. 5	37. 3
	细	1. 5 1	14. 5 15	细			4 3 2 1. 5	37. 8 38. 9 39. 9 40. 5	
18	粗	2. 5	15. 4		45		粗	4. 5	40. 5
	细	2 1. 5 1	15. 9 16. 5 17				细	4 3 2 1. 5	40. 8 41. 9 42. 9 43. 5
20	粗	2. 5	17. 4			48		粗	5
	细	2 1. 5 1	17. 9 18. 5 19	细				4 3 2 1. 5	43. 8 44. 9 45. 9 46. 5
22	粗	2. 5	19. 5					52	粗
	细	2 1. 5 1	19. 9 20. 5 21		细		4 3 2 1. 5		47. 8 48. 9 49. 9 50. 5
24	粗	3	20. 9			52	粗		5
	细	2 1. 5 1	21. 9 22. 5 23	细			4 3 2 1. 5		47. 8 48. 9 49. 9 50. 5
27	粗	3	24				52		粗
	细	2 1. 5 1	24. 9 25. 5 26		细			4 3 2 1. 5	47. 8 48. 9 49. 9 50. 5

- (2) 英寸制螺纹钻底孔用钻头直径尺寸 (表 7-32)
- (3) 圆柱管螺纹钻底孔用钻头直径尺寸 (表 7-33)
- (4) 圆锥管螺纹钻底孔用钻头直径尺寸 (表 7-34)

表 7-32 英寸制螺纹钻底孔用钻头直径尺寸

计算公式:

螺纹公称直径

铸铁与青铜

钢与黄铜

$$3/16 \sim 5/8 \text{ in} \qquad D_0 = 25 \left(d - \frac{1}{n} \right) \qquad D_0 = 25 \left(d - \frac{1}{n} \right) + 0.1$$
$$3/4 / \sim 1 \frac{1}{2} \text{ in} \qquad D_0 = 25 \left(d - \frac{1}{n} \right) \qquad D_0 = 25 \left(d - \frac{1}{n} \right) + 0.2$$

式中 D_0 ——攻螺纹前钻头直径 (mm)

d ——螺纹公称直径 (in)

n ——每英寸牙数

公称直径 /in	每英寸 牙数	钻头直径/mm		公称直径 /in	每英寸 牙数	钻头直径/mm	
		铸铁、青铜	钢、黄铜			铸铁、青铜	钢、黄铜
3/16	24	3.7	3.7	7/8	9	19.1	19.3
1/4	20	5.0	5.1	1	8	21.9	22
5/16	18	6.4	6.5	1 1/8	7	24.6	24.7
3/8	16	7.8	7.9	1 1/4	7	27.8	27.9
7/16	14	9.1	9.3	1 1/2	6	33.4	33.5
1/2	12	10.4	10.5	1 5/8	5	35.7	35.8
9/16	12	12	12.1	1 3/4	5	38.9	39
5/8	11	13.3	13.5	1 7/8	4 1/2	41.4	41.5
3/4	10	16.3	16.4	2	4 1/2	44.6	44.7

注: 1 in = 0.0254 m。

表 7-33 圆柱管螺纹钻底孔用钻头直径尺寸

螺纹尺寸代号	每英寸牙数	钻头直径/mm	螺纹尺寸代号	每英寸牙数	钻头直径/mm
1/8	28	8.8	1	11	30.5
1/4	19	11.7	1 1/8	11	35.2
3/8	19	15.2	1 1/4	11	39.2
1/2	14	18.9	1 3/8	11	41.6
5/8	14	20.8	1 1/2	11	45.1
3/4	14	24.3	1 3/4	11	51
7/8	14	28.1	2	11	57

表 7-34 圆锥管螺纹钻底孔用钻头直径尺寸

55°圆锥管螺纹			60°圆锥管螺纹		
螺纹尺寸 代号	每英寸 牙数	钻头直径 /mm	螺纹尺寸 代号	每英寸 牙数	钻头直径 /mm
1/8	28	8.4	1/8	27	8.6
1/4	19	11.2	1/4	18	11.1
3/8	19	14.7	3/8	18	14.5
1/2	14	18.3	1/2	14	17.9
3/4	14	23.6	3/4	14	23.2
1	11	29.7	1	11½	29.2
1¼	11	38.3	1¼	11½	37.9
1½	11	44.1	1½	11½	43.9
2	11	55.8	2	11½	56

7.1.4.6 攻螺纹中常见问题

- (1) 攻螺纹常见问题及防止方法（表 7-35）
- (2) 丝锥损坏原因及防止方法（表 7-36）

表 7-35 攻螺纹常见问题及防止方法

问题内容	产 生 原 因	防 止 方 法
烂牙 (乱扣)	1) 螺纹底孔直径太小，丝锥攻不进，孔口烂牙	1) 检查底孔直径，把底孔扩大后再攻螺纹
	2) 手攻时，绞杠掌握不正，丝锥左右摇摆，造成孔口烂牙	2) 两手握住绞杠用力要均匀，不得左右摇摆
	3) 机攻时，丝锥校准部分全部攻出头，退出时造成烂牙	3) 机攻时，丝锥校准部分不能全部攻头
	4) 一锥攻螺纹位置不正，中锥、底锥强行纠正	4) 当初锥攻入 1~2 圈后，如有歪斜，应及时纠正
	5) 二锥、三锥与初锥不重合而强行攻削	5) 换用二锥、三锥时，应先用手将其旋入，再用绞杠攻制
	6) 丝锥没有经常倒转，切屑堵塞把螺纹啃伤	6) 丝锥每旋进 1~2 圈要倒转 0.5 圈，使切屑折断后排出
	7) 攻不通孔螺纹时，丝锥到底后仍继续扳旋丝锥	7) 攻制不通孔螺纹时，要在丝锥上做出深度标记
	8) 用绞杠带着退出丝锥	8) 能用手直接旋动丝锥时应停止使用绞杠
	9) 丝锥刀齿上粘有积屑瘤	9) 用油石进行修磨
	10) 没有选用合适的切削液	10) 重新选用合适的切削液
	11) 丝锥切削部分全部切入后仍施加轴向压力	11) 丝锥切削部分全部切入后应停止施加压力

(续)

问题内容	产生原因	防止方法
螺纹歪斜	1) 手攻时, 丝锥位置不正 2) 机攻时, 丝锥与螺纹底孔不同轴	1) 目测或用角尺等工具检查 2) 钻底孔后不改变工件位置, 直接攻制螺纹
螺纹牙深不够	1) 攻螺纹前底孔直径过大 2) 丝锥磨损	1) 正确计算底孔直径并正确钻孔 2) 修磨丝锥
螺纹表面粗糙度过粗	1) 丝锥前、后面粗糙度粗 2) 丝锥前、后角太小 3) 丝锥磨钝 4) 丝锥刀齿上粘有积屑瘤 5) 没有选用合适的切削液 6) 切屑拉伤螺纹表面	1) 重新修磨丝锥 2) 重新刃磨丝锥 3) 修磨丝锥 4) 用油石进行修磨 5) 重新选用合适的切削液 6) 经常倒转丝锥, 折断切屑; 采用左旋容屑槽

表 7-36 丝锥损坏原因及防止方法

损坏形式	产生原因	防止方法
丝锥崩牙	1) 工件材料硬度过高, 或有夹杂物 2) 切屑堵塞, 使丝锥在孔中挤死 3) 丝锥在孔出口处单边受力过大	1) 攻螺纹前, 检查底孔表面质量和清理砂眼、夹渣、铁豆等杂物; 攻螺纹速度要慢 2) 攻螺纹时丝锥要经常倒转, 保证断屑和退出清理切屑 3) 先应清理出口处, 使其完整, 攻到出口处前, 机攻要改为手攻, 速度要慢, 用力较小
丝锥断在孔中	1) 绞杠选择不当, 手柄太长或用力不匀, 用力过大 2) 丝锥位置不正, 单边受力过大或强行纠正 3) 材料过硬, 丝锥又钝 4) 切屑堵塞, 断屑和排屑刃不良, 使丝锥在孔中挤死 5) 底孔直径太小 6) 攻不通孔时, 丝锥已攻到底了, 仍用力攻削 7) 工件材料过硬而又粘	1) 正确选择绞杠, 用力均匀而平稳, 发现异常要检查原因, 不能蛮干 2) 一定让丝锥和孔端面垂直; 不宜强行攻螺纹 3) 修磨丝锥, 适应工件材料 4) 经常倒转, 保证断屑; 修磨刃倾角, 以利排屑; 孔尽量深些 5) 正确选择底孔直径 6) 应根据深度在丝锥上作标记, 或机攻时采用安全卡头 7) 对材料作适当处理, 以改善其切削性能; 采用锋利的丝锥

7.4.2 用板牙套螺纹

7.4.2.1 板牙的结构和规格标准

(1) 圆板牙的结构

圆板牙的结构和几何参数见图 7-22。其螺纹部分由切削锥部分和校准部分组成。圆板牙两端面处都有切削锥部分。板牙螺纹中间一段是校准部分，具有完整的齿形，用来校准已切出的螺纹，也是套螺纹时的导向的部分。

常用的切削锥角 $2\kappa_r$ 和切削锥长度 l_1 如下：

- 1) M1 ~ M6 的板牙 $2\kappa_r = 50^\circ$ ， $l_1 = (1.3 \sim 1.5)P$ (P 为螺距)。
- 2) M6 以上的板牙 $2\kappa_r = 40^\circ$ ， $l_1 = (1.7 \sim 1.9)P$ (P 为螺距)。
- 3) 加工非金属的板牙 $2\kappa_r = 75^\circ$ 。

板牙切削锥部分经铲磨磨形成后角，在端截面上后角 $\alpha_p = 5^\circ \sim 7^\circ$ 。

圆板牙的前面是容屑孔的一部分，为简化容屑孔加工和刃磨，板牙的前面一般均制成圆弧形(曲面)，因此前角的大小沿着切削刃变化见图 7-23。在螺纹小径处前角 γ_{p1} 最大，大径处前角 γ_p 最小。一般选取 $\gamma_p = 8^\circ \sim 12^\circ$ ；粗牙板牙 $\gamma_{p1} = 30^\circ \sim 50^\circ$ ；细牙板牙 $\gamma_{p1} = 25^\circ \sim 30^\circ$ 。

M3.5 以上的圆板牙，其外圆上有四个紧定螺钉坑和一条 V 形槽。其中两个螺钉坑的轴线通过板牙中心，板牙绞杠上的两个紧定螺钉旋入后传递扭矩。新的圆板牙 V 形槽与容屑孔是不通的，校准部分磨损后，套出的螺纹直径变大，以致超出公差范围时，可用锯片砂轮沿 V 形槽中心割出一条通槽，此时 V 形槽就成了调整槽。调节板牙绞杠上另两个紧定螺钉，顶入圆板牙上两个偏心锥坑内，使圆板牙的螺纹孔径缩小。调节时，可使用试切来确定调整是否合格(但这种方法很少采用，即使采用也只适用于没有精度要求的螺纹)。

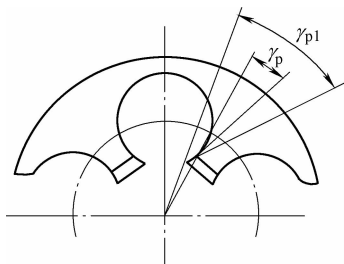


图 7-23 圆板牙前角的变化

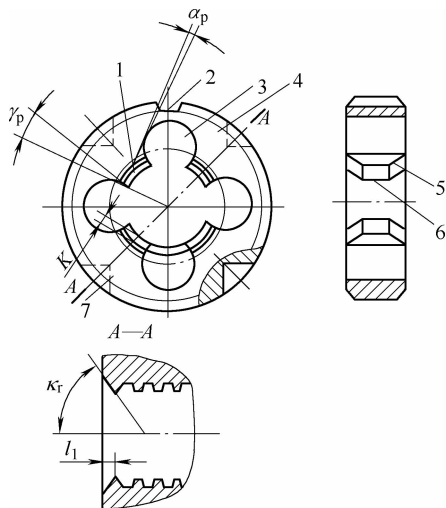


图 7-22 圆板牙结构和几何参数

1—刃瓣 2—调节槽 3—排屑槽 4—调节孔
5—切削锥 6—校准部 7—紧固孔

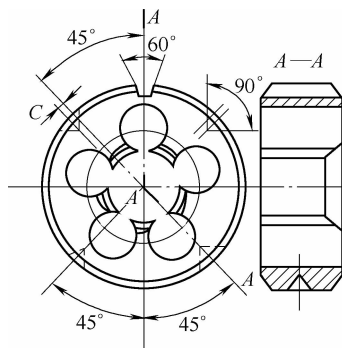


图 7-24 圆锥管螺纹板牙

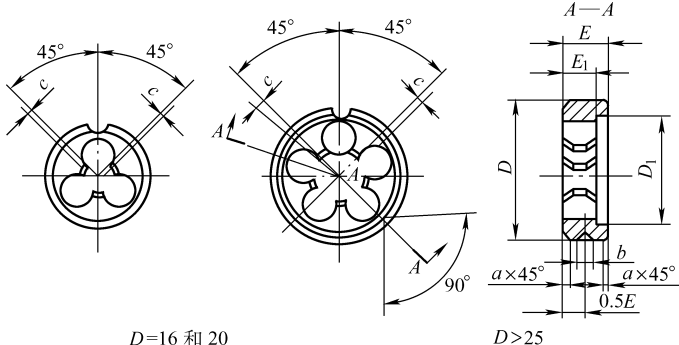
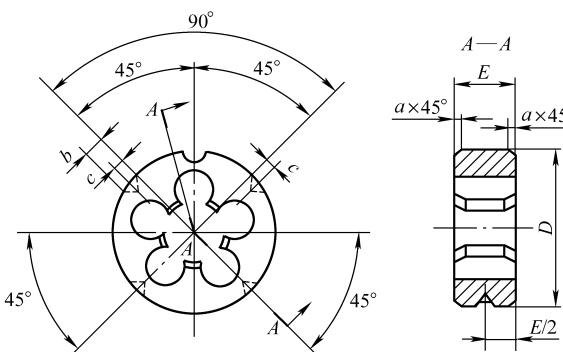
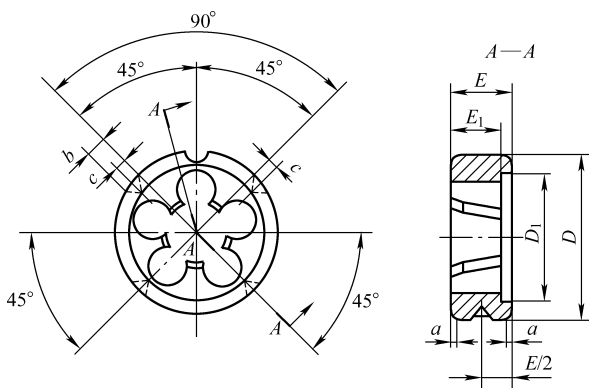
(2) 管螺纹板牙的结构

管螺纹板牙分圆柱管螺纹板牙和圆锥管螺纹板牙两种(图 7-24)。

圆柱管螺纹板牙的结构与圆板牙相似。圆锥螺纹板牙只在单面制成切削部分, 因此只能单面套螺纹。而且所有的切削刃都参加切削。所以切削力较大。

(3) 常用板牙的规格范围 (表 7-37)

表 7-37 常用板牙规格范围

类型	简图	规格范围
圆板牙	 <p>$D=16$ 和 20 $D>25$</p>	粗牙为 M1 ~ M68 细牙为 M1 × 0.2 ~ M56 × 4
55°圆柱管螺纹板牙		G1/16 ~ G2 $\frac{1}{4}$
55°圆锥管螺纹圆板牙		R1/16 ~ R2

(续)

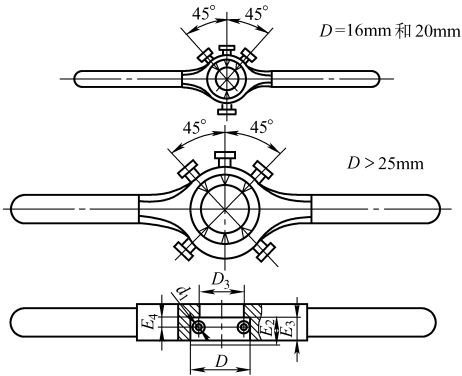
类型	简图	规格范围
60°圆锥管螺纹板牙		NPT1/16 ~ NPT2
惠氏螺纹圆板牙		粗牙为 1/8-40BSW ~ 2 3/4- 3 1/2-BSW 细牙为 3/16- 32BSF ~ 2 3/4-6BSF

7.4.2.2 套螺纹工具

(1) 圆板牙架形式和尺寸(表 7-38)

表 7-38 圆板牙架形式和尺寸

(单位: mm)



(续)

D	E_2	E_3	E_4 $\left(\begin{array}{c} 0 \\ -0.2 \end{array}\right)$	D_3	d_1
16	5	4.8	2.4	11	M3
20	7	6.5	3.4	15	M4
25	9	8.5	4.4	20	M5
30	11	10	5.3	25	
38	10	9	4.8	32	M6
	14	13	6.8		
45	18	17	8.8	38	
55	16	15	7.8	48	M8
	22	20	10.7		
65	18	17	8.8	58	M8
	25	23	12.2		
75	20	18	9.7	68	
	30	28	14.7		
90	22	20	10.7	82	
	36	34	17.7		
105	22	20	10.7	95	M10
	36	34	17.7		
120	22	20	10.7	107	
	36	34	17.7		

(2) 车床套螺纹用工具

图 7-25 所示是车床套螺纹用工具。先将套螺纹工具安装在尾座套筒内，工具体 2 左端孔内装上板牙，并用螺钉 1 固定。套筒 4 上有一条长槽，长槽内由销钉 3 插入工具体 2 中，防止套螺纹时转动。

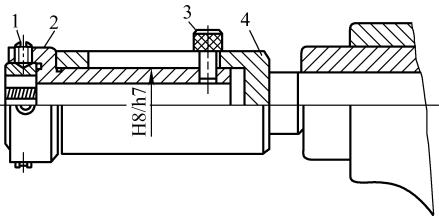


图 7-25 车床套螺纹用工具

1—螺钉 2—工具体 3—销钉 4—套筒

7.4.2.3 工件圆杆直径的确定

工件圆杆直径可按下式计算：

$$D = d - 0.13P$$

式中 D ——工件圆杆直径 (mm)；

d ——螺纹公称直径 (mm)；

P ——螺距 (mm)。

工件圆杆直径也可由表 7-39 查出。

表 7-39 套螺纹前圆杆直径尺寸 (单位:mm)

粗 牙 普 通 螺 纹				英 制 螺 纹			圆 柱 管 螺 纹		
螺纹直径 <i>d</i>	螺距 <i>P</i>	圆杆直径 <i>D</i>		螺纹 直径 /in	圆杆直径 <i>D</i>		螺纹 尺寸 代号	管子外径 <i>D</i>	
		最小直径	最大直径		最小直径	最大直径		最小直径	最大直径
M6	1	5.8	5.9	1/4	5.9	6	1/8	9.4	9.5
M8	1.25	7.8	7.9	5/16	7.4	7.6	1/4	12.7	13
M10	1.50	9.75	9.85	3/8	9	9.2	3/8	16.2	16.5
M12	1.75	11.75	11.9	1/2	12	12.2	1/2	20.5	20.8
M14	2	13.7	13.85	—	—	—	5/8	22.5	22.8
M16	2	15.7	15.85	5/8	15.2	15.4	3/4	26	26.3
M18	2.5	17.7	17.85	—	—	—	7/8	29.8	30.1
M20	2.5	19.7	19.85	3/4	18.3	18.5	1	32.8	33.1
M22	2.5	21.7	21.85	7/8	21.4	21.6	1 1/8	37.4	37.7
M24	3	23.65	23.8	1	24.5	24.8	1 1/4	41.4	41.7
M27	3	26.65	26.8	1 1/4	30.7	31	1 3/8	43.8	44.1
M30	3.5	29.6	29.8	—	—	—	1 1/2	47.3	47.6
M36	4	35.6	35.8	1 1/2	37	37.3	—	—	—
M42	4.5	41.55	41.75	—	—	—	—	—	—
M48	5	47.5	47.7	—	—	—	—	—	—
M52	5	51.5	51.7	—	—	—	—	—	—
M60	5.5	59.45	59.7	—	—	—	—	—	—
M64	6	63.4	63.7	—	—	—	—	—	—
M68	6	67.4	67.7	—	—	—	—	—	—

7.4.2.4 套螺纹时应注意的事项

- 1) 为了便于板牙切削部分切入工件并作正确的引导，在工件圆杆端部应有 15° ~ 20°的倒角。
- 2) 板牙端面与圆杆轴线应保持垂直。为了防止圆杆夹持偏斜和夹出痕迹，圆杆应装夹在用硬木制成的 V 形钳口或软金属制成的衬垫中。
- 3) 在开始起套螺纹时，用一只手掌按住圆板牙中心，沿圆杆轴线施加压力，并转动板牙绞杠，另一支手配合顺向切进，转动要慢，压力要大。
- 4) 当圆板牙切入圆杆 1 ~ 2 圈时，应目测检查和校正圆板牙的位置。当圆板牙切入圆杆 3 ~ 4 圈时，应停止施加压力，让板牙依靠螺纹自然引进，以免损坏螺纹和板牙。
- 5) 在套螺纹过程中也应经常倒转 1/4 ~ 1/2 圈，以防切屑过长。
- 6) 套螺纹应适当加注切削液，以降低切削阻力，提高螺纹质量和延长板牙寿命。切削液的选择可参照表 7-29。

7.4.2.5 套螺纹常见问题及防止方法 (表 7-40)

表 7-40 套螺纹常见问题及防止方法

问题内容	产生原因	防止方法
烂牙 (乱扣)	1) 对低碳钢等塑性好的材料套螺纹时, 未加切削液, 板牙把工件上螺纹粘去一块 2) 套螺纹时, 板牙一直不倒转, 切屑堵塞而啃坏螺纹 3) 圆杆直径太大 4) 板牙歪斜太多, 在借正时造成烂牙	1) 对塑性材料套螺纹时, 一定要加合适的切削液 2) 板牙一定要倒转, 以断裂切屑 3) 圆杆直径要确定合适 4) 板牙端面要与圆杆轴线垂直, 并经常检查, 及时纠正
螺纹一边深一边浅	1) 圆杆端部倒角不好, 使板牙不能保持与圆杆轴线垂直 2) 绞杠用力不均匀, 左右晃动, 不能保持板牙端面与圆杆轴线垂直	1) 圆杆端部要按要求倒角, 不能歪斜 2) 套螺纹时, 两手用力要均匀和平稳, 并经常检查垂直情况, 及时纠正
螺纹中径太小	1) 绞杠经常摆动, 多次借正而造成螺纹中径变小 2) 板牙切入圆杆后, 还用力加压 3) 调节不宜, 尺寸变小	1) 绞杠要握稳, 不能晃动 2) 板牙切入后, 只要均匀使板牙旋转即可, 不能再加力下压 3) 应用标准螺杆调整尺寸, 不要盲目调节
牙深不够	1) 圆杆直径太小 2) 板牙调节不宜, 直径过大	1) 圆杆直径应按要求确定控制尺寸公差 2) 应用标准螺杆调整尺寸, 不要盲目调节
螺纹表面粗糙	1) 切削液未加注或选用不当 2) 切削刃上粘有积屑瘤	1) 应选用适当切削液, 并经常加注 2) 去除积屑瘤, 使切削刃锋利

7.5 螺纹的检测

7.5.1 螺纹单项测量方法及测量误差 (表 7-41)

表 7-41 螺纹单项测量方法及测量误差 (单位: μm)

测量参数	测量方法及工具	测量误差		
		中 径 d_2/mm		
		1 ~ 18	> 18 ~ 50	> 50 ~ 100
中径 d_2	螺纹千分尺	测量误差较大, 一般为 0.1mm, 因此不推荐使用螺纹千分尺测量		
	量 针 测 量	用各种测微仪和光学计测量中径 1 ~ 100mm, 用 0 级量针、1 级量块, 测量误差为 1.4 ~ 2.0 μm ; 用 1 级量针、2 级量块, 测量误差为 2.6 ~ 3.8 μm		

(续)

测量参数	测量方法及工具			测 量 误 差		
				中 径 d_2 /mm		
				1 ~ 18	> 18 ~ 50	> 50 ~ 100
中径 d_2	万能工具显微镜	影像法	$\alpha = 60^\circ$	8.5	9.5	10
			$\alpha = 30^\circ$	12	13	14
		轴切法		2.5	3.5	4.5
	大型工具显微镜	轴 切 法		4.0	5.0	6.0
螺距 P	万能工具显微镜	影 像 法		3.0	4.0	5.0
		轴 切 法		1.5	2.5	3.0
		干 涉 法		1.5	2.0	3.0
		光学灵敏杠杆		2.0	2.5	3.0
	大型工具显微镜	影 像 法		4.0	5.0	6.0
		轴 切 法		2.5	3.5	4.0
牙型半角 $\alpha/2$	大型与万能工具显微镜	影像法	$l \leq 0.5\text{mm}$	$\pm \left(3 + \frac{5}{l} \right)$		
			$l > 0.5\text{mm}$	$\pm \left(3 + \frac{3}{l} \right)$		

注：l——被测牙廓长度。

7.5.2 三针测量方法

三针测量是测量外螺纹中径的一种比较精密的方法，适用于精度较高的普通螺纹、梯形螺纹及蜗杆等中径的测量。测量时把三根直径相等的量针放置在螺纹相对应的螺旋槽中，用千分尺量出两边量针顶点之间的距离 M ，见图 7-26。

(1) 计算公式

$$M = d_2 + d_{\text{D}} \left[1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right] - \frac{P}{2} \cot \frac{\alpha}{2}$$

式中 M ——千分尺测得的尺寸（mm）；

d_2 ——螺纹中径（mm）；

d_{D} ——量针直径（mm）；

α ——工件牙型角（°）；

P ——工件螺距（mm）。

如果已知螺纹牙型角，也可用表 7-42 所列简化公式计算。

(2) 量针直径 d_{D} 的计算公式

$$d_{\text{D}} = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}$$

如果已知螺纹牙型角，也可用表 7-43 所列简化公式计算。

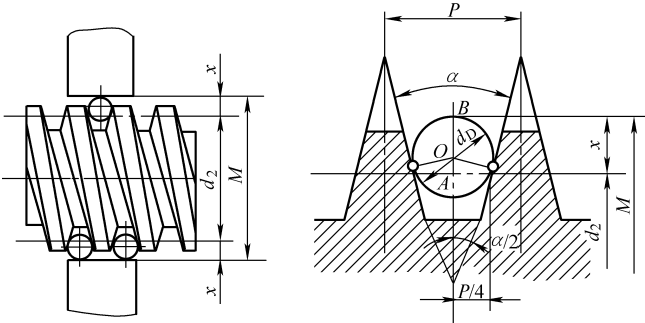


图 7-26 三针测量

表 7-42 三针测量 M 值计算的简化公式

螺纹牙型角 $\alpha/ (^{\circ})$	简 化 公 式
60	$M = d_2 + 3d_D - 0.866P$
55	$M = d_2 + 3.166d_D - 0.960P$
30	$M = d_2 + 4.864d_D - 1.866P$
40	$M = d_2 + 3.924d_D - 1.374P$
29	$M = d_2 + 4.994d_D - 1.933P$

表 7-43 三针测量量针直径计算的简化公式

螺纹牙型角 $\alpha/ (^{\circ})$	简 化 公 式
60	$d_D = 0.577P$
55	$d_D = 0.564P$
30	$d_D = 0.518P$
40	$d_D = 0.533P$
29	$d_D = 0.516P$

(3) 测量普通螺纹时的 M 值 (表 7-44)

表 7-44 测量普通螺纹时的 M 值 (单位: mm)

螺纹直径 d	螺 距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M	螺纹直径 d	螺 距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
1	0.2	0.118	1.051	1.7	0.35	0.201	1.773
1	0.25	0.142	1.047	2	0.25	0.142	2.047
1.2	0.2	0.118	1.251	2	0.4	0.232	2.090
1.2	0.25	0.142	1.247	2.3	0.25	0.142	2.347
1.4	0.2	0.118	1.451	2.3	0.4	0.232	2.390
1.4	0.3	0.170	1.455	2.6	0.35	0.201	2.673
1.7	0.2	0.118	1.751	2.6	0.45	0.260	2.698

(续)

螺纹直径 d	螺距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M	螺纹直径 d	螺距 P	量针直径 d_D	三针测量值 M
3	0.35	0.201	3.073	20	0.5	0.291	20.115
3	0.5	0.291	3.115	20	0.75	0.433	20.162
3.5	0.35	0.201	3.573	20	1.5	0.866	20.325
4	0.5	0.291	4.115	20	2.5	1.441	20.534
4	0.7	0.402	4.145	22	0.5	0.291	22.115
5	0.5	0.291	5.115	22	0.75	0.433	22.162
5	0.8	0.461	5.171	22	1.5	0.866	22.325
6	0.75	0.433	6.162	22	2.5	1.441	22.534
6	1	0.572	6.200	24	0.75	0.433	24.162
8	0.5	0.291	8.115	24	1	0.572	24.200
8	1	0.572	8.200	24	1.5	0.866	24.325
8	1.25	0.724	8.278	24	2	1.157	24.440
9	0.35	0.201	9.073	24	3	1.732	24.649
9	0.5	0.291	9.116	27	0.75	0.433	27.162
10	0.35	0.204	10.073	27	1	0.572	27.200
10	0.5	0.291	10.115	27	1.5	0.866	27.325
10	1	0.572	10.200	27	2	1.157	27.440
10	1.5	0.866	10.325	27	3	1.732	27.649
11	0.35	0.201	11.073	30	0.75	0.433	30.162
11	0.5	0.291	11.115	30	1	0.572	30.200
12	0.5	0.291	12.115	30	1.5	0.866	30.325
12	0.75	0.433	12.162	30	2	1.157	30.440
12	1.25	0.724	12.278	30	3.5	2.020	30.756
12	1.75	1.008	12.372	33	0.75	0.433	33.162
14	0.5	0.291	14.115	33	1	0.572	33.200
14	0.75	0.443	14.162	33	1.5	0.866	33.325
14	1.5	0.866	14.325	33	2	1.157	33.440
14	2	1.157	14.440	36	1	0.572	36.200
16	0.5	0.291	16.115	36	1.5	0.866	36.325
16	0.75	0.433	16.162	36	2	1.157	36.440
16	1.5	0.866	16.325	36	3	1.732	36.649
16	2	1.157	16.440	36	4	2.311	36.871
18	0.5	0.291	18.115	39	1	0.572	39.200
18	0.75	0.433	18.162	39	1.5	0.866	39.325
18	1.5	0.866	18.325	39	2	1.157	39.440
18	2.5	1.441	18.534	39	3	1.732	39.649
				42	0.75	0.433	42.162
				42	1	0.572	42.200

(续)

螺纹直径 <i>d</i>	螺距 <i>P</i>	量针直径 <i>d_D</i>	三针测量值 <i>M</i>	螺纹直径 <i>d</i>	螺距 <i>P</i>	量针直径 <i>d_D</i>	三针测量值 <i>M</i>
42	1.5	0.866	42.325	52	1	0.572	52.200
42	2	1.157	42.440	52	1.5	0.866	52.325
42	3	1.732	42.649	52	2	1.157	52.440
42	4.5	2.595	42.966	52	3	1.732	52.649
45	0.75	0.433	45.162	56	1	0.572	56.200
45	1	0.572	45.200	56	1.5	0.866	56.325
45	1.5	0.866	45.325	56	2	1.157	56.440
45	2	1.157	45.440	56	3	1.732	56.649
45	3	1.732	45.649	56	4	2.311	56.871
48	0.75	0.433	48.162	56	5.5	3.177	57.196
48	1	0.572	48.200	60	1	0.572	60.200
48	1.5	0.866	48.325	60	1.5	0.866	60.325
48	2	1.157	48.440	60	2	1.157	60.440
48	3	1.732	48.649	60	3	1.732	60.649
48	5	2.866	49.080	60	4	2.311	60.871
52	0.75	0.433	52.162				

注：当螺距 $P = 1\text{mm}$ 时，计算得到的量针直径 $d_D = 0.577\text{mm}$ ，但实际使用的量针直径为 0.572mm ，下同。

(4) 测量梯形螺纹时的 M 值 (表 7-45)

表 7-45 测量梯形螺纹时的 M 值 (单位: mm)

螺纹直径 <i>d</i>	螺距 <i>P</i>	量针直径 <i>d_D</i>	三针测量值 <i>M</i>	螺纹直径 <i>d</i>	螺距 <i>P</i>	量针直径 <i>d_D</i>	三针测量值 <i>M</i>
10	1.5	0.796	10.230	24	8	4.400	26.472
10	2	1.008	10.171	26	3	1.732	27.325
12	2	1.008	12.171	26	5	2.595	26.791
12	3	1.732	13.326	26	8	4.400	28.472
14	2	1.008	14.171	28	3	1.732	29.376
14	3	1.732	15.326	28	5	2.595	28.791
16	2	1.008	16.171	28	8	4.400	30.472
16	4	2.020	16.361	30	3	1.732	31.326
18	2	1.008	18.171	30	6	3.177	31.256
18	4	2.020	18.361	30	10	5.180	31.535
20	2	1.008	20.171	32	3	1.732	33.326
20	4	2.020	20.361	32	6	3.177	33.256
22	3	1.732	23.325	32	10	5.180	33.535
22	5	2.595	22.791	36	3	1.732	37.326
22	8	4.400	24.472	36	6	3.177	37.256
24	3	1.732	25.326	36	10	5.180	37.535
24	5	2.595	24.791	40	3	1.732	41.326

(续)

螺纹直径 <i>d</i>	螺 距 <i>P</i>	量针直径 <i>d_D</i>	三针测量值 <i>M</i>	螺纹直径 <i>d</i>	螺 距 <i>P</i>	量针直径 <i>d_D</i>	三针测量值 <i>M</i>
40	7	3.550	40.705	50	12	6.216	51.842
40	10	5.180	41.535	52	3	1.732	53.326
44	3	1.732	45.326	52	8	4.400	54.473
44	7	3.550	44.705	52	12	6.216	53.842
44	12	6.216	45.842	55	3	1.732	56.326
48	3	1.732	49.326	55	9	4.773	56.920
48	8	4.400	50.472	55	14	7.252	57.149
48	12	6.216	49.843	60	3	1.732	61.326
50	3	1.732	51.326	60	9	4.773	60.273
50	8	4.400	52.473	60	14	7.252	62.149

注：当 $P \geq 10\text{mm}$ 时，表中所列的量针直径是指最佳直径。

(5) 测量英寸螺纹时的 M 值 (表 7-46)

表 7-46 测量英寸螺纹时的 M 值

螺纹直径 <i>d</i> /in	每英寸 的牙数	量针直径 <i>d_D</i> /mm	三针测量值 <i>M</i> /mm	螺纹直径 <i>d</i> /in	每英寸 的牙数	量针直径 <i>d_D</i> /mm	三针测量值 <i>M</i> /mm
3/16	24	0.572	4.880	1 ¹ /2	6	2.311	38.640
1/4	20	0.724	6.609	1 ³ /4	5	2.886	45.455
5/16	18	0.796	8.194	2	4 ¹ /2	3.177	51.822
3/8	16	0.866	9.730	2 ¹ /4	4	3.580	58.318
1/2	12	1.157	12.974	2 ¹ /2	4	3.468	64.668
5/8	11	1.302	16.301	2 ³ /4	3 ¹ /2	4.400	71.185
3/4	10	1.441	19.546	3	3 ¹ /2	4.091	77.535
7/8	9	1.591	22.741	3 ¹ /4	3 ¹ /4	4.400	83.969
1	8	1.732	25.800	3 ¹ /2	3 ¹ /4	4.400	90.319
1 ¹ /8	7	2.020	29.161	3 ³ /4	3	4.773	96.806
1 ¹ /4	7	2.020	32.336	4	3	4.773	103.153

7.5.3 单针测量方法

螺纹中径的测量，除三针测量方法外还有单针测量方法，如图 7-27 所示。其特点是用一根量针，测量比较简便，计算公式如下：

$$A = \frac{M + d_0}{2}$$

式中 A ——单针测量时千分尺上测得的尺寸 (mm)；

d_0 ——螺纹外径的实际尺寸 (mm)；

M ——三针测量值 (mm)。

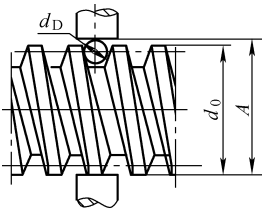


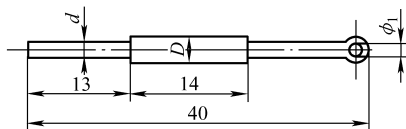
图 7-27 单针测量

7.5.4 量针规格尺寸(表 7-47)

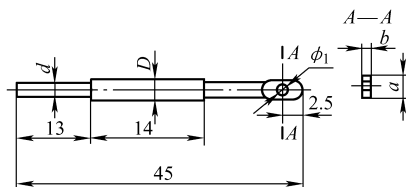
表 7-47 量针

(单位:mm)

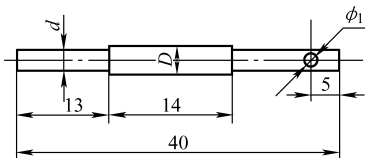
I 型量针
公称直径 D 为
0.118 ~ 0.572mm



II 型量针
公称直径 D 为
0.724 ~ 1.553mm



III 型量针
公称直径 D 为
1.732 ~ 6.212mm



量针形式	公称直径 <i>D</i>	基 本 尺 寸			量针形式	公称直径 <i>D</i>	基 本 尺 寸		
		<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>			<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Ⅰ 型	0. 118	0. 10	—	—	Ⅲ 型	1. 732	1. 66	—	—
	0. 142	0. 12				1. 833	1. 76		
	0. 185	0. 165				2. 050	1. 98		
	0. 250	0. 23				2. 311	2. 24		
	0. 291	0. 26				2. 595	2. 52		
	0. 343	0. 31				2. 886	2. 81		
	0. 433	0. 38				3. 106	3. 03		
	0. 511	0. 46				3. 177	3. 10		
	0. 572	0. 51				3. 550	3. 47		
Ⅱ 型	0. 724	0. 65	2. 0	0. 20		4. 120	4. 04		
	0. 796	0. 72				4. 400	4. 32		
	0. 866	0. 79		2. 5		4. 773	4. 69		
	1. 008	0. 93	5. 150			5. 07			
	1. 157	1. 08	6. 212			5. 12			
	1. 302	1. 22							
	1. 441	1. 36							
	1. 553	1. 47							

7.5.5 综合测量方法

综合测量螺纹的方法是采用螺纹量规。普通螺纹量规（GB/T 10920—2008）适用于检验 GB/T 196—2003《普通螺纹 基本尺寸》和 GB/T 197—2003《普通螺纹公差与配合》所规定的螺纹。根据使用性能分为工作螺纹量规、验收螺纹量规和校对螺纹量规。

（1）普通螺纹量规名称及适用公称直径的范围（表 7-48）

表 7-48 普通螺纹量规名称及适用公称直径的范围（GB/T 10920—2008）

（单位：mm）

普通螺纹量规名称		适用公称直径范围
内螺纹用螺纹量规	锥度锁紧式螺纹塞规	1 ~ 100
	双头三牙锁紧式螺纹塞规	40 ~ 62
	单头三牙锁紧式螺纹塞规	40 ~ 120
	套式螺纹塞规	40 ~ 120
	双柄式螺纹塞规	> 120 ~ 180
外螺纹用螺纹量规	整体式螺纹环规	1 ~ 120
	双柄式螺纹环规	> 120 ~ 180

（2）梯形螺纹量规名称及适用公称直径的范围（表 7-49）

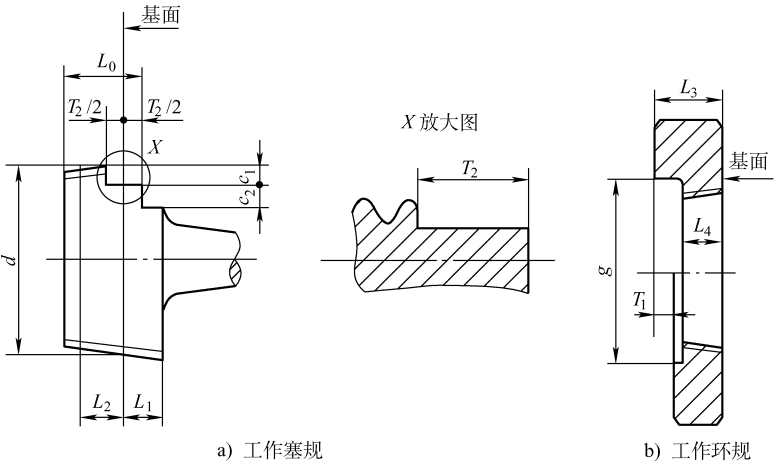
表 7-49 梯形螺纹量规名称及适用公称直径的范围（GB/T 8125—2004）

（单位：mm）

梯形螺纹量规名称	适用公称直径范围	梯形螺纹量规名称	适用公称直径范围
双头锥度锁紧式螺纹塞规	8 ~ 50	双柄式螺纹塞规	100 ~ 140
单头锥度锁紧式螺纹塞规	50 ~ 100	整体式螺纹环规	8 ~ 100
双头三牙锁紧式螺纹塞规	50 ~ 60	双柄式螺纹环规	100 ~ 140
单头三牙锁紧式螺纹塞规	60 ~ 100		

（3）用螺纹密封的管螺纹（55°）量规（表 7-50）

表 7-50 圆锥螺纹工作塞规和工作环规的形式和尺寸（JB/T 10031—1999）



(续)

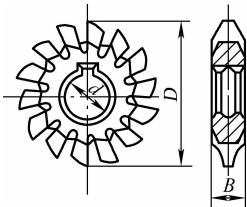
螺纹量规名称	适用范围（尺寸代号）
工作塞规 工作环规	1/16 ~ 6

(续)

模数系列		D	d	B																齿数 z	背吃 刀量
1	2			铣刀号																	
				1	1 2	2	2 2	3	3 2	4	4 2	5	5 2	6	6 2	7	7 2	8			
6.00		100	32	19.9		19.4		18.8		18.1		17.6		17.1		16.4		15.7	11	13.20	
	6.50	105		21.4		20.8		20.2		19.4		19.0		18.4		17.8		17.0		14.30	
	7.00			22.9		22.3		21.6		20.9		20.3		19.7		19.0		18.2		15.40	
8.00		110		26.1		25.3		24.4		23.7		23.0		22.3		21.5		20.7		17.60	
	9.00	115	40	29.2	28.7	28.3	28.1	27.6	27.0	26.6	26.1	25.9	25.4	25.1	24.7	24.3	23.9	23.3	10	19.80	
10		120		32.2	31.7	31.2	31.0	30.4	29.8	29.3	28.7	28.5	28.0	27.6	27.2	26.7	26.3	25.7		22.00	
	11	135		35.3	34.8	34.3	34.0	33.3	32.7	32.1	31.5	31.3	30.7	30.3	29.9	29.3	28.9	28.2		24.20	
12		145		38.3	37.7	37.2	36.9	36.1	35.5	35.0	34.3	34.0	33.4	33.0	32.4	31.7	31.3	30.6		26.40	
	14	160	40	44.7	44.0	43.4	43.0	42.1	41.3	40.6	39.8	39.5	38.8	38.4	37.7	37.0	36.3	35.5	10	30.80	
16		170		50.7	49.9	49.3	48.7	47.8	46.8	46.1	45.1	44.8	44.0	43.5	42.8	41.9	41.3	40.3		35.20	

8.1.2 盘形锥齿轮铣刀的形式和基本尺寸(表 8-2)

表 8-2 盘形锥齿铣轮刀的形式和基本尺寸 (单位:mm)

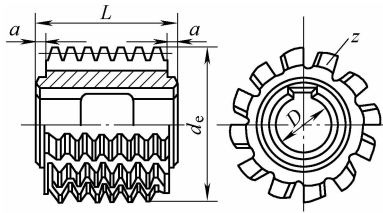


模数 m	基本尺寸			模数 m	基本尺寸		
	D	B	d		D	B	d
0.3	40	4	16	3.25	75	11.5	27
0.35	40	4	16	3.5	75	12.4	27
0.4	40	4	16	3.75	80	13.3	27
0.5	40	4	16	4	80	14.1	27
0.6	40	4	16	4.5	80	15.3	27
0.7	40	4	16	5	90	16.8	32
0.8	40	4	16	5.5	95	18.4	32
0.9	40	4	16	6	100	19.9	32
1	40	4	16	6.5	105	21.4	32
1.25	50	4.8	22	7	105	22.9	32
1.5	55	5.6	22	8	110	26.1	32
1.75	60	6.5	22	9	115	29.2	32
2	60	7.3	22	10	120	31.7	32
2.25	60	8.2	22	11	135	35.3	40
2.5	65	9.0	22	12	145	38.3	40
2.75	70	9.9	27	14	160	44.7	40
3	70	10.7	27	16	170	50.7	40

8.1.3 渐开线齿轮滚刀的形式和基本尺寸

(1) 齿轮滚刀(表 8-3)

表 8-3 齿轮滚刀 (GB/T 6083—2001) (单位:mm)



模数系列		I 型					II 型								
1	2	d_e	L	D	a_{min}	z	d_e	L	D	a_{min}	z				
1		63	63	27	5	16	50	32	22	4	14				
1.25							63	40							
1.5	1.75	71	71	32		14	71	50	27						
2	2.25	80	80				63								
2.5	2.75	90	90	40			80	71	32	12	10				
3	3.5	100	100				90	90							
4	4.5	112	112	50		12	100	100	40						
5	5.5	125	125				112	112							
6	7	140	140	60			118								
8		160	160				125	140							
	9	180	180				140	5							
10		200	200				150	170	50						

注:本齿滚刀的模数为 1~10mm,用于渐开线圆柱齿轮的齿形加工。其基本形式有两种:

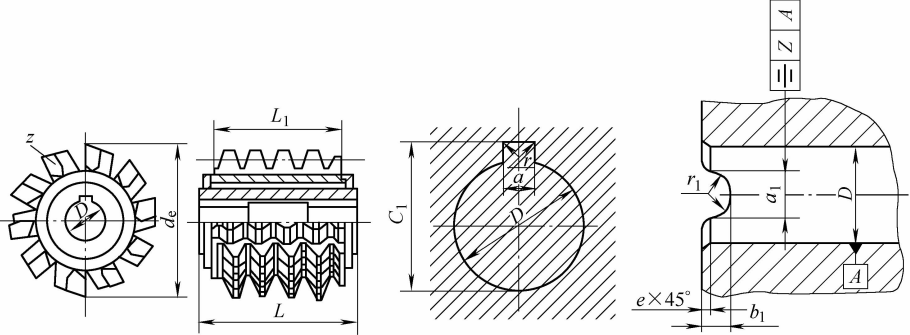
I 型适用于 JB/T 3227—1999《高精度齿轮滚刀通用技术条件》所规定的 AAA 级滚刀及 GB/T 6084—2001《齿轮滚刀通过技术条件》所规定的 AA 级滚刀。

II 型适用于 GB/T 6084—2001 所规定的 AA、A、B、C 四种精度的滚刀。

滚刀作成单头、右旋,容屑槽为平行于轴线的直槽。

(2) 镶片齿轮滚刀(表 8-4)

表 8-4 镶片齿轮滚刀 (GB/T 9205—2005) (单位:mm)



轴向键槽尺寸

端面键槽尺寸

(续)

模数		带轴向键槽型					带端面键槽型				
第 1 系列	第 2 系列	d_e	L	D	L_1	z	d_e	L	D	L_1	z
	9	185	195	50	160	10	185	215	50	160	10
10		190	200		165		190	220		165	
	11	195	215		175		195	235		175	
12		200	220		180		200	240		180	
	14	215	240		195		215	260		195	
16		235	250	60	205		235	275	60	205	
	18	255	275		230		255	300		230	
20		265	285		240		265	310		240	
	22	300	320	80	270		300	350	80	270	
25		320	340		290		320	370		290	
	28	340	360		310		340	390		310	
	30	350	380		330		350	410		330	
32		380	405		355		380	435		355	
	36	—	—	—	—	9	400	455	100	370	9
40		—	—		—		420	475		390	

轴向键槽尺寸

D	a		C_1		r	
基本尺寸	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
50	12	+0. 205 +0. 095	53. 5	+0. 2 0	1. 6	0 -0. 5
60	14		64. 2			
80	18		85. 5		2. 0	
100	25	+0. 240 +0. 110	107. 0		2. 5	

端面键槽尺寸

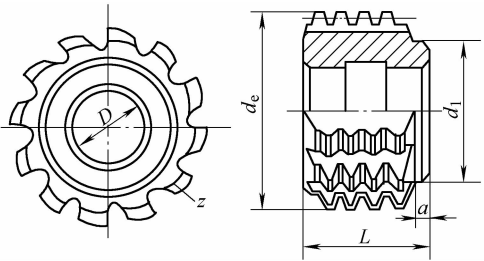
D	a_1		b_1		$r_{1\max}$	e		z
基本尺寸	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差	
50	18.4	+0.130 0	10.0	+0.220 0	2.0	1.0	+0.3 0	0.20
60	20.5		11.2	+0.270 0			0.25	
80	25.5		14.0		2.5	1.2		
100			16.0		3.0	1.6		+0.5 0

注:镶片齿轮滚刀的模数为 9~40mm,用于渐开线圆柱齿轮的齿形加工。

滚刀做成单头、右旋、零度前角,容屑槽为平行于轴线的直槽。

(3) 小模数齿轮滚刀(表 8-5)

表 8-5 小模数齿轮滚刀(JB/T 2494—2006) (单位:mm)

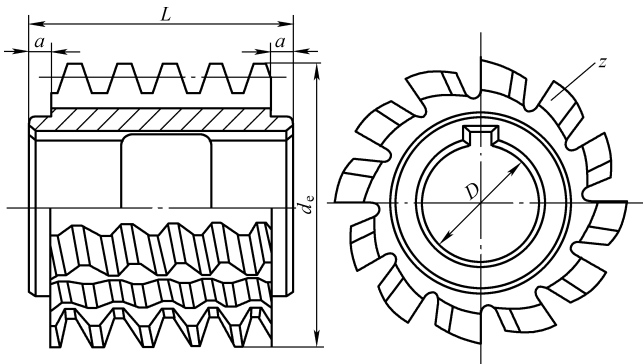


模数系列		φ25						φ32						φ40					
I	II	d_e	L	D	d_1	a_{min}	z	d_e	L	D	d_1	a_{min}	z	d_e	L	D	d_1	a_{min}	z
0.10		25	10			2.5	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.12																			
0.15																			
0.20																			
0.25																			
0.30		25	15	8	15	2.5	12	32	15	13	22	2.5	12	40	25	16	25	4	15
0.35																			
0.40																			
0.50																			
0.60																			
0.70		25	20			2.5	10	20					10	40	30	16	25	4	15
0.80																			
0.90		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：小模数齿轮滚刀的模数为 0.1~0.9，压力角为 20°，滚刀直径分为 25.4mm、32mm、40mm 三种。其精度等级分为 AAA、AA、A 和 B 级四种。滚刀做成单头、右旋，容屑槽为平行于轴线的直槽。

(4) 磨前齿轮滚刀(表 8-6)

表 8-6 磨前齿轮滚刀(JB/T 7968.1—1999) (单位:mm)



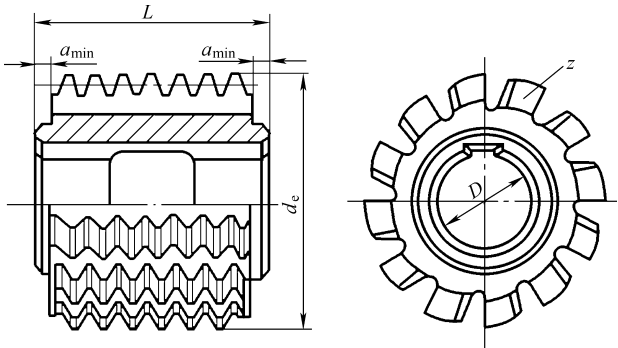
(续)

模数系列		d_e	L	D	a_{\min}	z
I	II					
1		50	32	22	5	12
1.25			40			
1.5	1.75	63	50	27		
2						
	2.25	71	56			
2.5			63			
	2.75	80	71	32		
3						
	3.25					
	3.5	90	80			
	3.75		90			
4			100			
	4.5	100	100			
5						
	5.5	112	112	40		
6		118	118			
	6.5		125			
	7		132			
8		125	150			
	9	140	170	50		
10		150				

(5) 剃前齿轮滚刀(表 8-7)

表 8-7 剃前齿轮滚刀

(单位:mm)



(续)

模数系列		d_e	L	D	a_{\min}	z
I	II					
1	—	50	32	22	5	12
1. 25	—		40			
1. 5	—	63	50	27		
—	1. 75					
2	—					
—	2. 25	71	56			
2. 5	—		63			
—	2. 75					
3	—	80	71	32		
—	3. 25					
—	3. 5					
—	3. 75	90	80			10
4	—		90			
—	4. 5					
5	—	100	100			
—	5. 5	112	112	40		
6	—					
—	6. 5	118	118			
—	7		125			
8	—	125	132			

8.2 齿坯加工精度要求

齿坯精度直接影响齿轮齿部的加工精度,齿坯精加工后基面的尺寸、形位公差,可按(表 8-8、表 8-9)的数值选取。

表 8-8 齿坯公差

齿轮精度等级 ^①		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
孔	尺寸公差	IT4	IT4	IT4	IT4	IT5	IT6	IT7		IT8		IT8	
	形状公差	IT1	IT2	IT3									
轴	尺寸公差	IT4	IT4	IT4	IT4	IT5		IT6		IT7		IT8	
	形状公差	IT1	IT2	IT3									
顶圆直径 ^②		IT6		IT7			IT8			IT9		IT11	
基准面的径向跳动 ^③		见 表 8-9											
基准面的端面跳动													

① 当三个公差组的精度等级不同时,按最高的精度等级确定公差值。
② 当顶圆不作测量齿厚的基准时,尺寸公差按 IT11 给定,但不得大于 0.1mm。
③ 当以顶圆作基准面时,本栏就指顶圆的径向跳动。

表 8-9 齿坯基准面径向和端面圆跳动公差 (单位: μm)

分度圆直径/mm		精度等级				
大于	到	1 和 2	3 和 4	5 和 6	7 和 8	9 到 12
—	125	2.8	7	11	18	28
125	400	3.6	9	14	22	36
400	800	5.0	12	20	32	50
800	1600	7.0	18	28	45	71
1600	2500	10.0	25	40	63	100
2500	4000	16.0	40	63	100	160

8.3 成形法铣削齿轮

8.3.1 用成形铣刀铣直齿圆柱齿轮

(1) 铣刀号数的选择

齿轮铣刀将同一模数的齿轮按齿数划分为一组 8 把或一组 15 把两种。通常模数 $m = 1 \sim 8\text{mm}$ 时为一组 8 把, 模数 $m = 9 \sim 16\text{mm}$ 时为一组 15 把。

1) 表 8-10 所示为一组 8 把模数铣刀和径节铣刀所铣的齿轮齿数表。

表 8-10 一组 8 把模数铣刀和径节铣刀所铣的齿轮齿数表

所铣齿轮齿数		12 ~ 13	14 ~ 16	17 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 34	35 ~ 54	55 ~ 134	135 ~ 齿条
铣刀 号数	模数铣刀	1	2	3	4	5	6	7	8
	径节铣刀	8	7	6	5	4	3	2	1

2) 表 8-11 为一组 15 把模数铣刀所铣的齿轮齿数表。

(2) 铣削过程

以 $m = 3\text{mm}$, $z = 24$ 直齿圆柱齿轮为例, 其铣削过程如下:

1) 铣刀的选定。已知 $m = 3\text{mm}$, $z = 24$, 按表 8-10 对应的所铣齿轮齿数 21 ~ 25, 应选用 4 号铣刀。

表 8-11 一组 15 把模数铣刀所铣的齿轮齿数表

铣刀号数	所铣齿数	铣刀号数	所铣齿数
1	12	5	26 ~ 29
1½	13	5½	30 ~ 34
2	14	6	35 ~ 41
2½	15 ~ 16	6½	42 ~ 54
3	17 ~ 18	7	55 ~ 79
3½	19 ~ 20	7½	80 ~ 134
4	21 ~ 22	8	135 ~ 齿条
4½	23 ~ 25		

2) 分度头计算。按单式分度法计算公式计算分度头手柄的转数 n ：

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{24} = 1 \frac{16}{24}$$

即铣完一齿后，分度头手柄摇 1 转，再在 24 的孔圈上转过 16 个孔距。

3) 工件装夹与校正。若所加工的是直齿圆柱齿轮轴，一般用分度头夹一端，尾座顶尖顶一端（图 8-1）。若加工的是直齿圆柱齿轮，则应配制相应的心轴，将工件锁紧在心轴上后，同样用分度头夹心轴一端，尾座顶尖顶一端，但应保证加工时进、退出刀的余量。

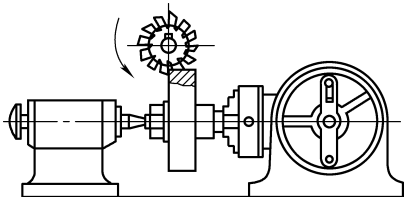


图 8-1 铣直齿圆柱齿轮

装夹后应对工件进行下列校正：

- ① 校正工件的径向与端面的圆跳动。
- ② 校正分度头与尾座顶尖间的等高（即工件的等高）。
- ③ 校正工件对铣床升降导轨的平行。

4) 对刀及背吃刀量的控制。加工齿轮时，刀具对正工件中心一般采用切痕法（图 8-2）。将工作台上上升，使齿坯接近铣刀，然后凭目测使铣刀廓形对称线大致对准齿坯中心，再开动机床使铣刀旋转并逐渐升高工作台，使铣刀的圆周切削刃和齿坯微微接触，同时来回移动横向工作台。这时齿坯上出现了一个椭圆形刀痕，接着调整铣刀廓形对称线对准椭圆中心即可。刀具对准后，应锁紧横向工作台。

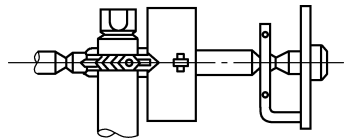


图 8-2 用切痕法对中

背吃刀量应按 $2.25m$ 计算，即 $2.25 \times 3 = 6.75m$ 。

一般齿轮加工，为保证齿面的表面粗糙度，均分粗铣、精铣两次进行。一般粗铣后要留量 $1.5 \sim 2\text{mm}$ 再精铣，所以该例中铣第一刀应切深 $4.75 \sim 5\text{mm}$ 为好，在加工第二刀时，应对好齿轮所要求的尺寸后，再铣削完成。

8.3.2 用成形铣刀铣削直齿条、斜齿条

齿条分直齿条和斜齿条两种，斜齿条按齿的偏斜方向又分右斜（旋）和左斜（旋）两种。

(1) 铣削直齿条

齿条是基圆直径无限大的齿轮，因此，加工齿条的铣刀刀号应选择 8 号铣刀。

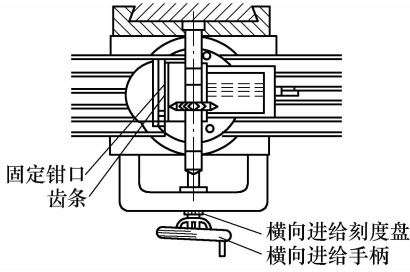
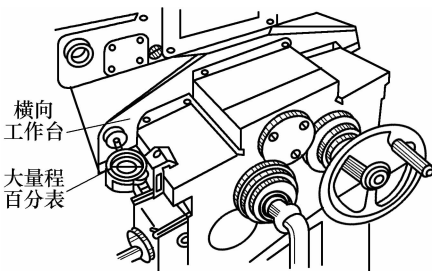
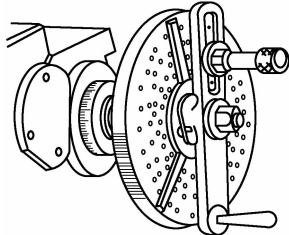
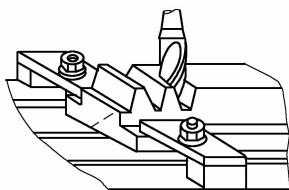
铣削直齿条时，铣刀应在齿条起始位置上对刀后加工第一条齿槽，齿槽深度基本上按 $2.25m$ 模数计算调整。

铣削直齿条方法见表 8-12。

(2) 铣削斜齿条

斜齿条的铣削方法，斜齿条的各部几何尺寸计算与斜齿圆柱齿轮相同。其对刀、齿槽深度计算调整均与直齿条铣削相同。其装夹方式有两种，见表 8-13。

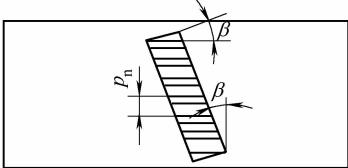
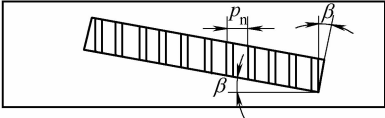
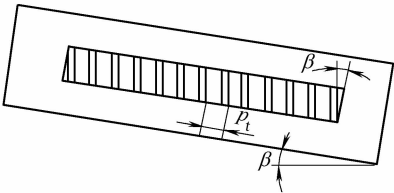
表 8-12 铣削直齿条方法

形 式	图 示	采用方法的说明
短 齿 条		<p>横向移距方法。即用铣床横向刻度盘控制齿距。其刻度盘转动格数计算如下：</p> $n = \pi m / F (\text{格})$ <p>式中 m——齿条模数 F——刻度盘每格的移值量</p>
		<p>用大量程百分表移距方法。将百分表夹固在工作台横向导轨上，使百分表侧头和横向工作台相接触，然后可按计算出的齿距进行分齿，这种方法分齿准确、简便、实用</p>
		<p>分度盘移距方法。此方法是将分度板套在铣床工作台传动丝杠上，并将分度板固定，再把分度手柄装在传动丝杠端部，移距时只要转动分度手柄即可。其计算公式如下：</p> $n = \frac{\pi m}{P}$ <p>式中 n——分度手柄应转过的转数 m——齿条模数 (mm) P——铣床工作台传动丝杠螺距 (mm)</p>
长 齿 条		<p>在立铣上用指状铣刀加工长齿条。装夹工件时，应保证齿条侧面与铣床工作台纵向进给方向的平行度及齿顶面与工作台面的平行度</p>

(续)

形 式	图 示	采用方法的说明
长 齿 条		用横向刀架方法，即是用一个横向托架通过一对螺旋齿轮使刀轴转过90°，使铣刀的旋转平面和齿条的齿槽一致
		用万能铣头改装成横切专用铣刀装置的方法
		<p>分度头侧轴挂轮方法。当铣床工作台纵向丝杠螺距 $P_{丝} = 6\text{mm}$，被加工齿条模数为 m，小齿轮 $z_1 = 22$，大齿轮 $z_2 = 42$。手柄的回转数为 n，则：</p> $\pi m = n \frac{z_1}{z_2} P_{丝} = n \times \frac{22}{42} \times 6 = n \times \frac{22}{7}$ <p>取 $\pi \approx \frac{22}{7}$，则 $m = n$</p> <p>所以分度头手柄的回转数等于被加工齿条的模数。因此在分齿时，只要按被加工齿条的模数 m 转动分度头手柄即可</p> <p>若铣床工作台纵向丝杠 $P_{丝} = 4\text{mm}$，则需把大齿轮齿数改为 $z_2 = 28$</p>

表 8-13 铣斜齿条方法

形 式	图 示	采用方法的说明
短 齿 条		工件偏斜横向移距方法。校正时,把工件的侧面调整到与横向进给方向成 β 角(右旋齿条应逆时针转过 β 角,左旋齿条应顺时针转过 β 角)。移距尺寸为斜齿条的法向齿距即: $p_n = \pi m_n$
长 齿 条		工件偏斜纵向移距方法。当 β 角较小的长度又不太长的斜齿条,可将工件偏斜装夹。校正时,可把工件的侧面调整到与纵向进给方向成一 β 角。用纵向移距方法进行加工,移距尺寸仍为斜齿条法向齿距即: $p_n = \pi m_n$
		工作台扳转角度纵向移距方法。装夹时,先校正工件侧面与纵向进给方向平行,在按图样要求将工作台扳转一个 β 角。由于这种方法移距方向与齿条的端面齿距方向一致,所以移距尺寸为斜齿条的端面齿距,即: $p_t = \frac{\pi m_n}{\cos \beta}$

8.3.3 用成形铣刀铣斜齿圆柱齿轮

(1) 选择铣刀号数用当量齿数的计算

$$z' = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$

式中 z' ——斜齿轮当量齿数;

z ——斜齿轮齿数;

β ——斜齿轮螺旋角。

[例] 已知斜齿圆柱齿轮 $z=24$, $m_n=4$, $\beta=45^\circ$, 求加工时应采用的铣刀号数。

解:

$$z' = \frac{z}{\cos^3 \beta} = \frac{24}{\cos^3 45^\circ} = \frac{24}{0.707^3} \approx 68$$

查表 8-10 便知用 7 号铣刀。

(2) 铣斜齿圆柱齿轮交换齿轮计算

$$\begin{aligned}
 \text{传动比 } i &= \frac{40P_{\text{丝}}}{P_h} = \frac{40P_{\text{丝}}}{d' \pi \cot \beta} \\
 &= \frac{40P_{\text{丝}}}{m_t z \pi \cot \beta} = \frac{40P_{\text{丝}} \sin \beta}{\pi m_n z} \\
 &= \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}
 \end{aligned}$$

式中 40——分度头定数；

$P_{\text{丝}}$ ——工作台丝杠螺距 (mm)；

P_h ——工件导程 (mm)；

d' ——齿轮节圆直径 (mm)；

β ——齿轮螺旋角 ($^\circ$)；

m_t ——端面模数 (mm)；

m_n ——法向模数 (mm)；

z ——齿数。

[例] 加工一齿轮, $z = 30$, $m_n = 4$, $\beta = 18^\circ$, 所用分度头定数为 40, 工作台丝杠螺距 $P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$, 求传动比 i 。

$$\text{解: 传动比 } i = \frac{40P_{\text{丝}} \sin \beta}{\pi m_n z} = \frac{40 \times 6 \times \sin 18^\circ}{3.1416 \times 4 \times 30} \approx 0.19673$$

查表 8-34。

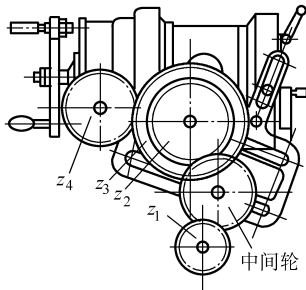
$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{55 \times 25}{70 \times 100}$$

(3) 工作台扳转角度

用盘形铣刀在万能铣床上铣削螺旋槽时, 为了使螺旋槽方向和刀具旋转平面相一致, 必须将万能铣床纵向工作台在水平面内旋转一个角度。工作台旋转角度的大小和方向与工件的螺旋角有关, 即铣右旋斜齿圆柱齿轮时, 工作台逆时针转动一个螺旋角 β ; 铣左旋斜齿圆柱齿轮时, 工作台顺时针转动一个螺旋角 β 。

(4) 工件旋转方向和工作台转动方向及中间轮装置 (表 8-14)

表 8-14 工件旋转方向和工作台转动方向及中间轮装置表



(续)

被加工齿轮 螺旋方向	工作台转动方向和 工件的旋转方向 ^①	交换齿轮及中间轮	
		两对交换齿轮	三对交换齿轮
右旋	逆时针转动	不加中间轮	加一个中间轮
左旋	顺时针转动	加一个中间轮	不加中间轮

① 对着分度头主轴方向看。

(5) 铣削时应注意的几点

1) 铣削斜齿圆柱齿轮时, 分度头手柄定位销要插入孔盘中, 使工件随着纵向工作台的进给而连续转动, 这时应松开分度头主轴紧固手柄和孔盘紧固螺钉。

2) 当铣完一个齿槽后, 停机将工作台下降一点后才能退刀, 否则铣刀会擦伤已加工好的表面。铣下一个齿槽时再将工作台升到原来位置。切记退刀要用手动。

3) 当铣完一个齿槽后, 按上述方法退刀后, 将分度头手柄定位销从分度盘孔中拨出进行分度, 然后再将定位销插好, 重新上升工作台至原背吃刀量后, 加工下一个齿槽。切记由于分度头手柄定位销从分度盘孔中拨出后, 切断了工件旋转和工作台的进给运动的联系, 所以这时绝对禁止移动工作台。

8.3.4 用成形铣刀铣直齿锥齿轮

在普通铣床上铣锥齿轮, 要用专门加工锥齿轮的盘形铣刀, 刀上印有“ \triangle ”标记 (图 8-3)。锥齿轮铣刀与圆柱齿轮盘形齿轮铣刀一样每组 8 把, 其铣刀刀号及加工范围也相同。

锥齿轮铣刀的齿形曲线按大端齿形设计制造, 大端齿形与当量圆柱齿轮的齿形相同 (图 8-4), 而铣刀的厚度按小端设计制造, 并且比小端的齿槽略小一些。因此, 选择直齿锥齿轮铣刀时必须用当量齿数。

(1) 选择铣刀号数用当量齿数的计算公式

$$z' = \frac{z}{\cos \delta}$$

式中 z' ——当量齿数;

z ——直齿锥齿轮齿数;

δ ——直齿锥齿轮分锥角 ($^{\circ}$)。

[例] 要加工一锥齿轮, $z = 39$, $\delta = 45^{\circ}$, 求应选用的铣刀号数。

$$\text{解: } z' = \frac{z}{\cos \delta} = \frac{39}{\cos 45^{\circ}} = \frac{39}{0.707} \approx 55$$

查表 8-10 便知用 7 号铣刀。

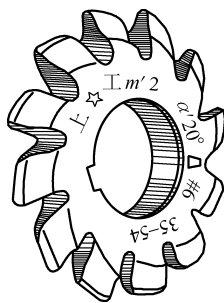


图 8-3 直齿锥齿轮盘形铣刀

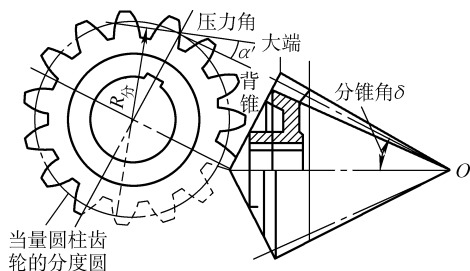


图 8-4 选择锥齿轮铣刀的当量圆柱齿轮

(2) 铣削方法

1) 分度头扳起角度计算。分度头扳起角度等于根锥母线与圆锥齿轮轴线的夹角 δ_f (根圆锥角), 即切削角 (图 8-5)。

分度头扳起角度的计算:

$$\delta_f = \delta - \theta_f$$

式中 δ ——分锥角 ($^\circ$);

θ_f ——齿根角 ($^\circ$)。

2) 横向偏移量 s 的计算:

$$s = \frac{mb}{2R}$$

式中 m ——模数 (mm);

b ——齿面宽 (mm);

R ——外锥距 (mm)。

【例】要加工一个直齿锥齿轮 $m=3$, $z=25$, 分锥角 $\delta=45^\circ$, 齿宽 $b=18\text{mm}$, 外锥距 $R=53\text{mm}$, 求横向移位置 s 。

解:

$$\begin{aligned} s &= \frac{mb}{2R} = \frac{3 \times 18}{2 \times 53} \text{mm} \\ &= 0.53 \text{mm} \end{aligned}$$

3) 铣削过程 (图 8-6)。将铣刀对准工件中心, 按大端模数, 铣至全齿深 $h=2.2m$, 铣出全部直齿槽, 并测出大端齿厚。然后铣大端两侧余量。图 8-6 所示是铣大端左侧余量。先按图 8-6a 箭头方向将工作台移动一个距离 s (横向移位量), 再按图 8-6b 箭头方向转动分度头 (工作台移动方向与分度头转动方向相反), 使铣刀

左侧刃刚刚接触小端齿槽左侧后铣一刀 (图 8-6c)。立即用齿厚游标卡尺测量大端的齿厚, 这时的尺寸 $= \frac{1}{2} \times (\text{开出直槽后的大端齿厚} - \text{图样要求的齿厚}) + \text{图样要求齿厚}$ 。如果还有余量就应把分度头再转 1~2 个孔。铣大端右侧时, 按上面移动的 s 值和分度头转数值反方向加倍摇好。

这样加工出的齿轮, 小端齿顶、齿根稍厚一些, 若啮合要求较高, 应对齿顶进行修锉。

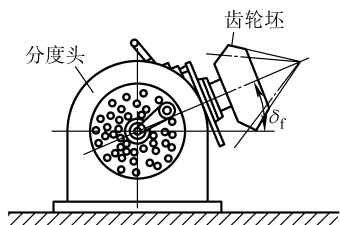


图 8-5 分度头扳角度示意图

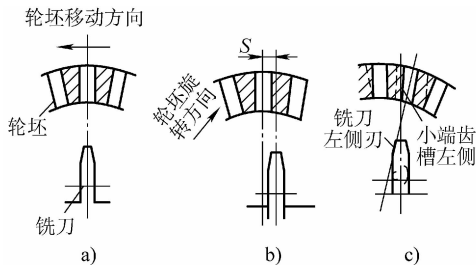


图 8-6 铣削过程

8.4 用飞刀展成铣蜗轮

蜗轮、蜗杆啮合时,沿中心平面切面内的啮合相当于齿轮、齿条的啮合。蜗杆转动一圈,相当于齿条沿轴向移动一个齿距(单头蜗杆)或几个齿距(多头蜗杆),蜗轮相应地转过一个齿或几个齿。蜗杆继续转动,蜗轮也继续转过相应的齿数,即蜗轮作旋转运动时,蜗杆相似地作齿条的推进运动。而飞刀就相当于蜗杆上齿的一部分,利用飞刀作旋转运动就能进行切削。根据这一原理,可以利用飞刀展成铣蜗轮。

8.4.1 铣削方法

如图8-7所示,首先将立铣头扳一个角度,使刀杆轴线与水平面的夹角等于蜗轮的螺旋角,即等于蜗杆的螺旋升角。为了得到连续展成运动,必须将纵向工作台丝杠与分度头配轮轴之间用交换齿轮连接起来。在纵向工作台对应飞刀完成切向进给运动的同时,通过交换齿轮使蜗轮完成相应的转动。

由于飞刀转动与工件转动之间没有固定联系,因而不能连续分齿,要在展成切出一个齿后,将刀头转向上方,工作台退回原位,用手摇动分度头手柄,分过一齿后再铣下一个齿。

加工前可采用如图8-8所示对刀方法,边调整工作台上、下位置,边用手转动刀杆,使刀尖能够均匀接触蜗轮凹圆弧两尖角A、B两点。

径向背吃刀量等于蜗轮齿全高 h_2 ,是通过横向工作台进给来完成,蜗轮加工根据模数大小,一般分为2~3次进给完成。

用这种方法(连续展成、断续分齿法)加工出的蜗轮,是斜直槽而不是螺旋槽,因而当螺旋角较大时,啮合性能较差。

8.4.2 交换齿轮计算

1) 展成交换齿轮计算。根据展成原理,工件转过一个齿($1/z$ 转),工作台要相应地在纵向移动一个蜗轮齿距(蜗轮周节 $=\pi m_x$)的距离,从而可以导出交换齿轮计算公式:

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40P_{\text{丝}}}{z\pi m_x} = \frac{40P_{\text{丝}}}{\pi d_2}$$

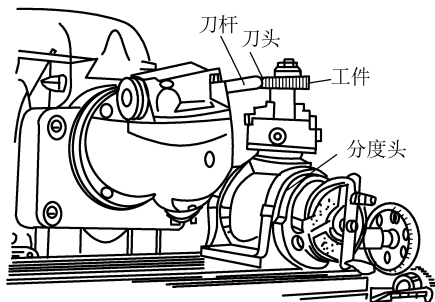


图 8-7 飞刀展成铣削蜗轮

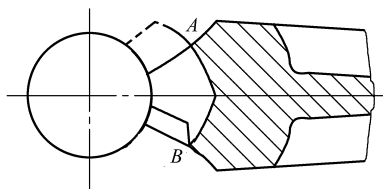


图 8-8 飞刀对刀示意图

式中 40——分度头定数；

$P_{\text{丝}}$ ——机床丝杠螺距（mm）；

m_x ——端面模数（mm）；

d_2 ——蜗轮节圆直径（mm）。

2) 分齿计算。根据蜗轮的齿数 z_2 ，利用公式 $n = \frac{40}{z}$ 算出分度头手柄转数 n 。

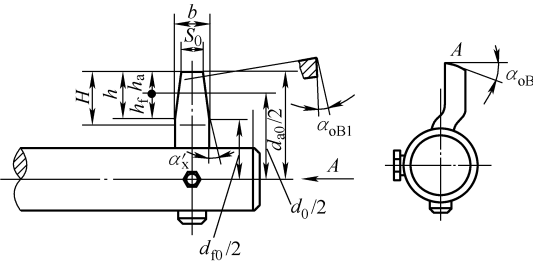
8.4.3 铣头扳角度方向、工件旋转方向及中间轮装置（表 8-15）

表 8-15 铣头扳角度方向、工件旋转方向及中间轮装置

刀具 位置	铣头扳角 度方向		工作台运 动方向	工件旋 转方向	两对交 换齿轮	三对交 换齿轮
	右旋蜗轮	左旋蜗轮	右旋蜗轮和左旋蜗轮一致			
在工件外边	顺时针	逆时针	←	逆时针	不加中间轮	加一中间轮
在工件里边	逆时针	顺时针	←	顺时针	加一中间轮	不加中间轮

8.4.4 飞刀部分尺寸计算公式（表 8-16）

表 8-16 飞刀部分尺寸计算公式表



各部名称	计算公式	备 注
飞刀节圆直径	$d_0 = \frac{d_1}{\cos\beta} + am_x$	d_1 是蜗杆节圆直径， β 是螺旋角，当 $\beta = 3^\circ \sim 20^\circ$ 时，取 $a = 0.1 \sim 0.3$
齿顶高	$h_a = fm_x + cm_x + 0.1m_x$	f 是蜗轮齿顶高系数， cm_x 是标准径向间隙， $0.1m_x$ 为刃磨量， m_x 是蜗杆轴向模数
齿根高	$h_f = fm_x + cm_x$	
全齿高	$h = h_a + h_f$	
飞刀节圆齿厚	$s_0 = \frac{\pi m_x}{2} \cos\beta$	
飞刀外径	$d_{a0} = d_0 + 2h_a$	

(续)

各部名称	计算公式	备 注
飞刀根径	$d_{f0} = d_0 - 2h_f$	
飞刀顶刃后角	α_{oB} 一般取 $10^\circ \sim 12^\circ$	
侧刃法向后角	$\tan \alpha_{oB1} = \tan \alpha_{oB} \sin \alpha_n$	$\alpha_n^{①}$ 是蜗杆法向齿形角。必须使 $\alpha_{oB1} \geq 3^\circ$ ，若计算结果 $\alpha_{oB1} < 3^\circ$ ，则应增大顶刃后角
刀齿顶刃圆角半径	$r = 0.2m_x$	
飞刀宽度	$b = S_0 + 2h_f \tan \alpha_n + 2y$	$2y = 0.5 \sim 2\text{mm}$ (此值为加宽量)
刀齿深度	$H = \frac{d_{a0} - d_{f0}}{2} + K$	$K = \frac{\pi d_{a0}}{z} \tan \alpha_{oB}$
齿形角	$\alpha'_x = \alpha_n$ $-\frac{\sin^3 \beta \times 90^\circ}{z_1 \text{ (蜗杆头数)}}$	当 $\beta \leq 20^\circ$ 时，可取 $\alpha'_x = \alpha_n$

① $\tan \alpha_n = \tan \alpha_x \cos \beta$ ， α_x 是蜗杆轴向齿形角， α_n 是蜗杆法向齿形角。

[例] 已知一对蜗轮蜗杆， $m_x = 3\text{mm}$ ，螺旋角 $\beta = 12^\circ 30'$ ，蜗轮 $z_2 = 30$ ，节圆直径 $d_2 = 90\text{mm}$ ，蜗杆节圆直径 $d_1 = 54\text{mm}$ ，右旋，机床丝杠螺距 $P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$ 。求展成传动比、飞刀各部分尺寸及分度头手柄转数。

$$\text{解：} i = \frac{40P_{\text{丝}}}{\pi d_2} = \frac{40 \times 6}{3.1416 \times 90} \approx 0.84883$$

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} \approx \frac{80 \times 35}{55 \times 60}$$

飞刀头各部分尺寸计算：

1) 飞刀节圆直径

$\beta = 12^\circ 30'$ (在 $3^\circ \sim 20^\circ$ 范围内)，可取 $a = 0.2$ 。

$$\begin{aligned} d_0 &= \frac{d_1}{\cos \beta} + a m_x = \frac{54\text{mm}}{\cos 12^\circ 30'} + 0.2 \times 3\text{mm} \\ &= \frac{54\text{mm}}{0.9763} + 0.6\text{mm} \\ &= 55.91\text{mm} \end{aligned}$$

2) 齿顶高

$$\begin{aligned} h_a &= f m_x + c m_x + 0.1 m_x \\ &= 1 \times 3\text{mm} + 0.2 \times 3\text{mm} + 0.1 \times 3\text{mm} \\ &= 3.9\text{mm} \end{aligned}$$

3) 齿根高

$$\begin{aligned} h_f &= f m_x + c m_x = 1 \times 3\text{mm} + 0.2 \times 3\text{mm} \\ &= 3.6\text{mm} \end{aligned}$$

4) 全齿高

$$h = h_a + h_f = 3.9\text{mm} + 3.6\text{mm} = 7.5\text{mm}$$

5) 飞刀节圆齿厚

$$S_0 = \frac{\pi m_x}{2} \cos \beta = \frac{3.14 \times 3\text{mm}}{2} \cos 12^\circ 30'$$

$$= 4.71\text{mm} \times 0.9763 = 4.598\text{mm}$$

6) 飞刀回转外径

$$d_{a0} = d_0 + 2h_a = 55.91\text{mm} + 2 \times 3.9\text{mm} = 63.71\text{mm}$$

7) 飞刀根径

$$d_{f0} = d_0 - 2h_f = 55.91 - 2 \times 3.6\text{mm} = 48.71\text{mm}$$

8) 飞刀顶刃后角

取 $\alpha_{oB} = 10^\circ$

9) 侧刃法向后角

取 $\alpha_{oB1} = 5^\circ$

10) 刀齿顶刃圆角半径 r

$$r = 0.2m_x = 0.2 \times 3\text{mm} = 0.6\text{mm}$$

11) 飞刀宽度

$$b = S_0 + 2h_f \tan \alpha_n + 2r$$

其中 $\tan \alpha_n = \tan \alpha_x \cos \beta = \tan 20^\circ \times \cos 12^\circ 30' = 0.35534$

取 $2r = 1\text{mm}$

所以 $b = 4.598\text{mm} + 2 \times 3.6\text{mm} + 0.35534 + 1\text{mm}$

$$= 4.598\text{mm} + 7.2\text{mm} \times 0.35534 + 1\text{mm} = 8.158\text{mm}$$

12) 刀齿深度

$$H = \frac{d_{a0} - d_{f0}}{2} + K$$

因为 $K = \frac{\pi d_{a0}}{z} \tan \alpha_{oB}$

所以 $H = \frac{63.71\text{mm} - 48.71\text{mm}}{2} + \frac{3.14 \times 63.71\text{mm}}{30} \times 0.176$

$$= 7.5\text{mm} + 1.174\text{mm} = 8.674\text{mm}$$

13) 齿形角

$$\alpha'_x = \alpha_n - \frac{\sin^3 \beta \times 90^\circ}{z_1}$$

因为

$$\beta = 12^\circ 30' < 20^\circ$$

可取

$$\alpha'_x = \alpha_n$$

$$\tan \alpha_n = 0.35534$$

所以

$$\alpha'_x = \alpha_n = 19^\circ 34'$$

分齿计算:

$$n = \frac{40}{z_2} = \frac{40}{30} = 1 \frac{8}{24}$$

即展成切削一齿后，手柄回转一圈，再在分度盘的 24 孔圈上，转过 8 个孔距数。

刀具安装在工件里边（见表 8-15 第二种情况）时，已知蜗轮是右旋，所以飞刀刀杆应逆时针扳起 $12^{\circ}30'$ ，算出的两对展成交换齿轮应加一中间轮，这样工件的转动方向为顺时针。

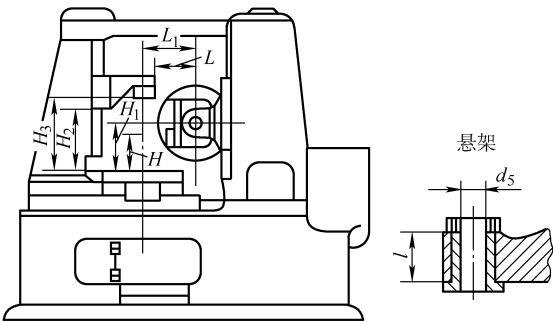
8.5 滚齿

滚齿是齿轮加工中应用最广的切齿方法，滚齿机的加工精度可以达到 5~7 级。滚齿机可分为立式和卧式两种，常用的是立式滚齿机。

8.5.1 常用滚齿机连接尺寸

（1）滚齿机主要相关尺寸（表 8-17）

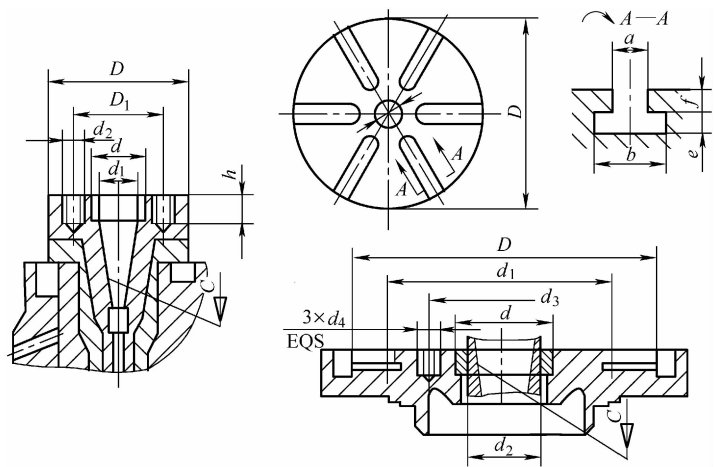
表 8-17 滚齿机主要相关尺寸 （单位：mm）



机床型号	最大加工范围			滚刀轴中心线至工作台面距离		滚刀轴中心线至工作台中心线距离		工作台面至悬架下面尺寸		悬架尺寸		可安装最大滚刀直径
	直径	模数	宽度	H	H ₁	L	L ₁	H ₂	H ₃	d ₅	l	
Y31	125	1.5	80	50	150	15	85	60	210	12	40	55
Y32B	200	4	180	110	300	30	160	150	365	35	65	80
Y3150	500	6	240	170 110	350	25	320	280	500	25	71	120
Y38	800	8	240	205	275	80	470	420	780	25	80	120
Y38-1 (Y3180A)	800	8	220	195	465	60	500	495	660	22.7	76	125
Y310	1000	12	300	210	590	90	605	310	650	35	105	200

(2) 工作台尺寸 (表 8-18)

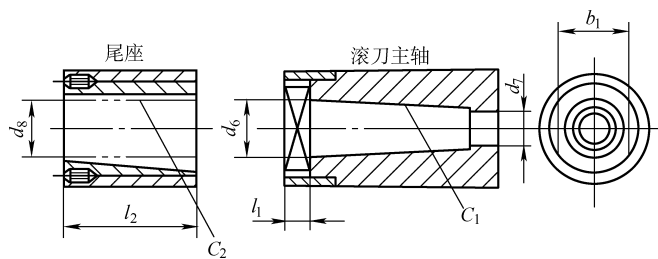
表 8-18 工作台尺寸 (单位: mm)



机床 型号	工作台尺寸						工件心轴 座孔锥度 <i>C</i>	工作台尺寸									
	<i>D</i>	<i>D</i> ₁	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>h</i>		<i>D</i>	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>d</i> ₄	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Y31	90	72	50	23. 825	M8	15	莫氏 3 号										
Y32B	150	72	65	31. 267	M8	20	莫氏 4 号										
Y3150							65 (直孔)	330	85	156	65	100	M8	14	24	11	15
Y38							莫氏 5 号	475	100	195	80	145	M12	18	30	14	20
Y38-1							莫氏 5 号	570	100	272	80	145	M12	18			
Y310							莫氏 5 号	670	170	282	140	205	M8	22			

(3) 刀架及尾架尺寸 (表 8-19)

表 8-19 刀架及尾架尺寸 (单位: mm)



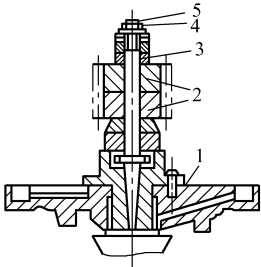
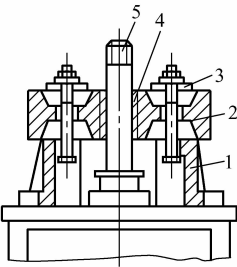
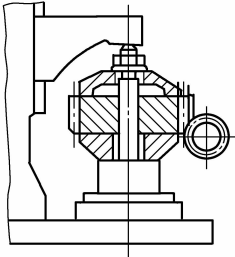
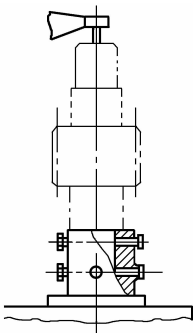
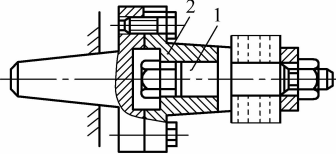
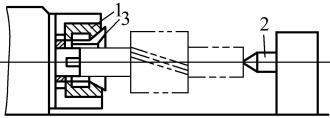
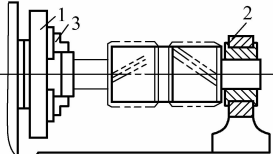
(续)

机床型号	刀架最大垂直行程	刀架最大回转角度	主轴孔锥度 C_1	主 轴 尺 寸				尾 架 尺 寸		尾架孔锥度 C_2
				d_6	d_7	l_1	b_1	d_8	l_2	
Y31	100	360°	莫氏 2 号	17.780	12	7	32	13	30	1:5
Y32B	200	±60°	莫氏 4 号	31.267	16	15	32	22、27	50	1:5
Y3150	260	±90°	莫氏 4 号	31.267	16	—	32	22、27、32	65	1:5
Y38	270	360°	莫氏 5 号	44.399	20	16	45	22、27、32	65	1:5
Y38-1	270	360°	莫氏 4 号	31.267	16	12	32	22、27、32	60	1:5
Y310	280	240°	莫氏 5 号	44.399	20	16	48	27、32、40	95	1:5

注：表中有两个数据者系不同厂生产的同一型号产品的有关参数。

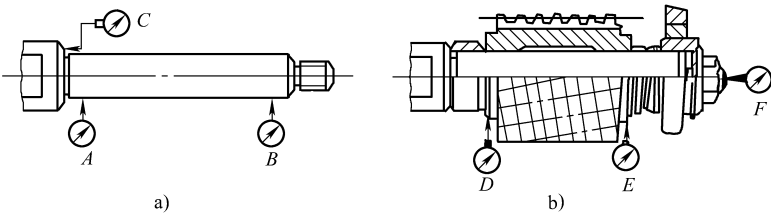
8.5.2 常用滚齿夹具及齿轮的安装（表 8-20）

表 8-20 常用滚齿夹具及齿轮的安装

立式滚齿机用夹具及齿轮安装			
小型带孔齿轮	中型带孔齿轮	带孔齿轮（用后立柱支撑）	轴齿轮
 <p>1—工作台 2—齿轮 3—垫圈 4—螺母 5—心轴</p>	 <p>1—支座 2—齿轮 3—压板 4—可换套筒 5—心轴</p>		
卧式滚齿机用夹具			
带孔齿轮	轴齿轮	人字齿轮	
 <p>1—心轴 2—法兰盘</p>	 <p>1—主轴 2—后顶尖 3—卡盘</p>	 <p>1—主轴 2—支架 3—卡盘</p>	

8.5.3 滚刀心轴和滚刀的安装要求（表 8-21）

表 8-21 滚刀心轴和滚刀的安装要求



齿轮精度等级	模数 /mm	径向和轴向圆跳动允差/mm					
		滚刀心轴			滚刀台肩		轴向圆跳动
		A	B	C	D	E	F
5 ~ 6	≤2.5	0.003	0.006	0.003	0.005	0.007	0.005
	>2.5 ~ 10	0.005	0.008	0.005	0.010	0.012	
7	≤1	0.005	0.008	0.005	0.010	0.012	0.010
	>1 ~ 6	0.010	0.015	0.010	0.015	0.018	
	>6	0.020	0.025	0.020	0.020	0.025	
8	≤1	0.01	0.015	0.01	0.015	0.020	0.015
	>1 ~ 6	0.02	0.025	0.02	0.025	0.030	
	>6	0.03	0.035	0.025	0.030	0.040	
9	≤1	0.015	0.020	0.015	0.020	0.030	0.020
	>1 ~ 6	0.035	0.040	0.030	0.040	0.050	
	>6	0.045	0.050	0.040	0.050	0.060	

8.5.4 滚刀精度的选用（表 8-22）

表 8-22 滚刀精度的选用

齿轮精度	6 ~ 7	7 ~ 8	8 ~ 9	10 ~ 12
滚刀精度	AA	A	B	C

注：滚切 6 级精度以上的齿轮，需设计制造更高精度的滚刀。

8.5.5 滚齿工艺参数的选择

- (1) 高速钢滚刀滚切 45 钢齿轮常用切削用量（表 8-23）
- (2) 走刀次数与滚齿余量的分配（表 8-24）

表 8-23 高速钢滚刀滚切 45 钢齿轮常用切削用量

模 数 /mm	粗 切		精 切	
	$v/$ (m/min)	$f_a/$ (mm/r)	$v/$ (m/min)	$f_a/$ (mm/r)
≤10	25 ~ 30	1.5 ~ 3	30 ~ 40	1.0 ~ 2.0
>10	12 ~ 20	1.2 ~ 2.5	15 ~ 25	1.0 ~ 1.5

注：1. 加工铸铁齿轮， f_a 可增加 20% ~ 30%。
2. 加工合金钢齿轮， f_a 、 v 需减少 20% 左右。
3. 用氮化钛涂层滚刀， f_a 、 v 可增加 50% 左右。

表 8-24 走刀次数与滚齿余量的分配

模数/mm	走刀次数	余 量 分 配
≤3	1	—
>3 ~ 8	2	留精切齿余量 1.5 ~ 2mm
>8	3	第 1 次留余量 8 ~ 10mm，第 2 次留余量 1.5 ~ 2mm

(3) 滚齿留剃余量 (表 8-25)

表 8-25 滚齿留剃余量 (单位：mm)

模数	工 件 直 径			
	~ 100	100 ~ 200	200 ~ 500	500 ~ 1000
≤2	0.04 ~ 0.08	0.06 ~ 0.10	0.08 ~ 0.12	0.10 ~ 0.14
>2 ~ 4	0.06 ~ 0.10	0.08 ~ 0.12	0.10 ~ 0.14	0.12 ~ 0.18
>4 ~ 6	0.08 ~ 0.12	0.10 ~ 0.14	0.12 ~ 0.17	0.14 ~ 0.20
>6 ~ 8	0.10 ~ 0.14	0.12 ~ 0.16	0.14 ~ 0.19	0.18 ~ 0.22

注：1. 表中所列为双侧剃齿余量。
2. 采用本表余量必须用剃前滚刀加工齿轮。

(4) 滚齿切削液选用 高速钢滚刀加工碳素合金钢齿轮需用由矿物油和植物油合成的切削液，或用由 L-AN 油、硫化切削油、油酸、氯化蜡等合成的极压切削液，可提高滚刀耐用度和降低齿面粗糙度。

8.5.6 滚齿加工调整

8.5.6.1 交换齿轮计算及滚齿机定数

(1) 分齿、进给、差动交换齿轮计算公式

1) 分齿交换齿轮计算公式：

$$\frac{\text{分齿定数} \times K}{z} = \frac{ac}{bd}$$

式中 K ——滚刀头数；

z ——齿数。

2) 进给交换齿轮计算公式：

$$\text{垂直进给定数} \times f_{\text{立}} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

$$\text{水平进给定数} \times f_{\text{平}} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

式中 $f_{\text{立}}$ ——垂直进给量 (mm)；
 $f_{\text{平}}$ ——水平进给量 (mm)。

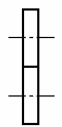
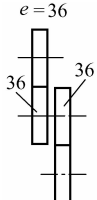
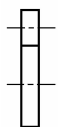
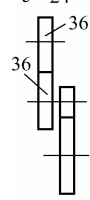
3) 差动交换齿轮计算公式：

$$\frac{\text{差动定数} \times \sin \beta}{m_n K} = \frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$$

式中 β ——工件螺旋角 (°)；
 m_n ——法向模数 (mm)。

(2) Y38 滚齿机定数 (表 8-26)

表 8-26 Y38 滚齿机定数

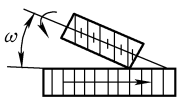
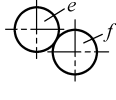
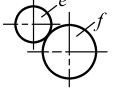
分 齿 定 数				进 给 定 数		差 动 定 数
$z \leq 161$		$z > 161$		垂 直	水 平	
直齿圆柱齿轮	斜齿轮	直齿圆柱齿轮	斜齿轮			
 $e = 36$ $f = 36$ 定数 24	 $e = 36$ $f = 36$ 定数 24	 $e = 24$ $f = 48$ 定数 48	 $e = 24$ $f = 48$ 定数 48	$\frac{3}{4}$ ①	$\frac{5}{4}$	7.95775

① 若机床上与进给交换齿轮相连的蜗杆副是 2/24 时，垂直进给定数应是 3/10。

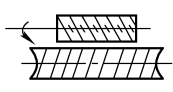
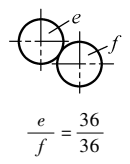
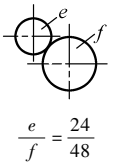
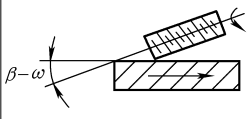
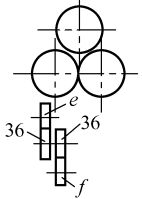
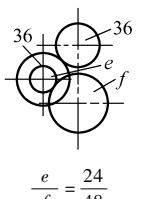
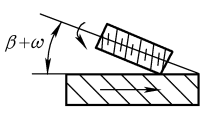
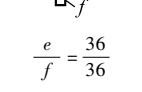
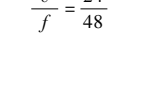
8.5.6.2 滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置

- 1) 在 Y38 上用右旋滚刀时，滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置见表 8-27。
- 2) 在 Y38 上用左旋滚刀时，滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置见表 8-28。

表 8-27 在 Y38 上用右旋滚刀时，滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置

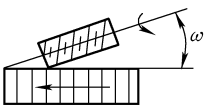
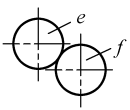
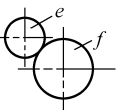
齿 轮 种 类	滚刀安装角度和 工作台回转方向	齿 轮 e 和 f		分齿交换齿 轮及中间轮		进给交换齿 轮及中间轮		差动交换齿 轮及中间轮	
		当 $z \leq 161$ 时	当 $z > 161$ 时	一对 齿轮	两对 齿轮	一对 齿轮	两对 齿轮	一对 齿轮	两对 齿轮
直齿圆柱齿轮		 $\frac{e}{f} = \frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$	加一个中 间轮	不加中 间轮	加一个中 间轮	不加中 间轮	—	—

(续)

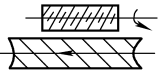
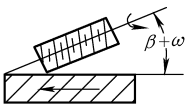
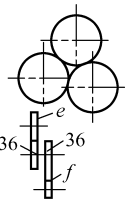
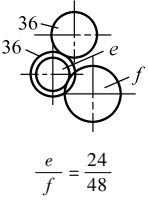
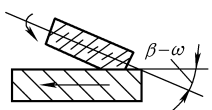
齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮		进给交换齿轮及中间轮		差动交换齿轮及中间轮	
		当 $z \leq 161$ 时	当 $z > 161$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
蜗轮		 $\frac{e}{f} = \frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	—	—
右旋齿轮		 $\frac{e}{f} = \frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮
左旋齿轮		 $\frac{e}{f} = \frac{36}{36}$	 $\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$	加一个中间轮	不加中间轮	加一个中间轮	不加中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮

注： ω —滚刀螺旋角； β —工件螺旋角。

表 8-28 在 Y38 上用左旋滚刀时，滚刀安装角度、工作台回转方向及中间轮装置

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮		进给交换齿轮及中间轮		差动交换齿轮及中间轮	
		当 $z \leq 161$ 时	当 $z > 161$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
直齿圆柱齿轮				加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	—	—

(续)

齿轮种类	滚刀安装角度和工作台回转方向	齿轮 e 和 f		分齿交换齿轮及中间轮 $\frac{a}{b} \times \frac{c}{d}$		进给交换齿轮及中间轮 $\frac{a_1}{b_1} \times \frac{c_1}{d_1}$		差动交换齿轮及中间轮 $\frac{a_2}{b_2} \times \frac{c_2}{d_2}$	
		当 $z \leq 161$ 时	当 $z > 161$ 时	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮	一对齿轮	两对齿轮
蜗轮		$\frac{e}{f} = \frac{36}{36}$	$\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	—	—
右旋齿轮				加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮
左旋齿轮		$\frac{e}{f} = \frac{36}{36}$	$\frac{e}{f} = \frac{24}{48}$	加两个中间轮	加一个中间轮	加两个中间轮	加一个中间轮	加一个中间轮	不加中间轮

8.5.7 滚切大质数齿轮

(1) 滚切大质数直齿圆柱齿轮时各组交换齿轮计算

1) 分齿交换齿轮计算:

$$\frac{24K}{z \pm p} = \frac{ac}{bd}$$

式中 K ——滚刀头数;

$\pm p$ ——加减任意一个分数, 但要保证使分子分母能互相约简。

当 $z \leq 161$ 时, 定数用 24;

当 $z > 161$ 时, 定数用 48。

2) 进给交换齿轮计算:

$$\frac{3}{4} f_{\text{立}} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

式中 $f_{\text{立}}$ ——垂直进给量。

3) 差动交换齿轮计算:

$$\pm \frac{25^{\ominus} p}{f_{\text{立}} K} = \frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$$

\ominus 即 $\pi \times$ 差动定数 $= \pi \times 7.95775 \approx 25$ 。

若分齿交换齿轮公式中用“ $z+p$ ”，则差动交换齿轮公式前取“-”号，表示差动补给运动与工作台转动方向一致，使工作台多转一点，用两对齿轮时不加中间轮；反之，若分齿交换齿轮公式中用“ $z-p$ ”，则差动交换齿轮公式前取“+”号，表示差动补给运动使工作台少转一点，用两对齿轮时，加一个中间轮。

【例】在 Y38 型滚齿机上要加工一个 101 齿的直齿圆柱齿轮，如果使用的是单头滚刀，进给量 $f_{\text{立}} = 1\text{mm}$ ，试求各组交换齿轮。

解：设 $p = \frac{1}{20}$ ，前边取“+”号， $\frac{e}{f} = \frac{36}{36} = 1$

则 分齿交换齿轮：

$$\frac{24K}{z+p} = \frac{24 \times 1}{101 + \frac{1}{20}} = \frac{24 \times 20}{2021} = \frac{20 \times 24}{43 \times 47}$$

进给交换齿轮：

$$\frac{3}{4}f_{\text{立}} = \frac{3}{4} \times 1 = \frac{30}{40}$$

差动交换齿轮：因分度交换齿轮公式中用“ $z+p$ ”，则差动交换齿轮公式前取“-”号，即：

$$\begin{aligned} -\frac{25p}{f_{\text{立}}K} &= -\frac{25 \times \frac{1}{20}}{1 \times 1} = -\frac{25}{20} \\ &= -\frac{5 \times 5}{5 \times 4} = -\frac{50 \times 25}{25 \times 40} \end{aligned}$$

表示差动补给运动与工作台转动方向一致，即多转，不加中间轮。

(2) 滚切大质数斜齿圆柱齿轮时各组交换齿轮计算

1) 分齿交换齿轮计算：

$$\frac{24K}{z \pm p} = \frac{ac}{bd}$$

当 $z \leq 161$ 时，定数用 24；当 $z > 161$ 时，定数用 48。

2) 进给交换齿轮计算：

$$\frac{3}{4}f_{\text{立}} = \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$$

3) 差动交换齿轮计算：

$$\pm \frac{7.95775 \sin \beta}{m_n K} \pm \frac{25^{\ominus} p}{f_{\text{立}} K} = \frac{a_2 c_2}{b_2 d_2}$$

⊖ 即 $\pi \times$ 差动定数 $= \pi \times 7.95775 \approx 25$ ，如果用其他机床，也可用这个公式计算各组交换齿轮，但需将分齿、进给、差动三个定数改为相应机床的定数。

式中符号意义：

当工件与滚刀螺旋方向相同时，第一项前用“-”号；方向相反时，用“+”号。

当分齿交换齿轮公式中用 $z+p$ 时，第二项前用“-”号；当分度交换齿轮中用 $z-p$ 时，第二项前用“+”号。

第一项和第二项若符号相同则相加；若符号相反则相减。其结果得“-”号，表示差动补给运动与工作台转动方向一致，使工作台多转一点，用两对齿轮时，不加中间轮；反之，结果得“+”号，表示差动补给运动与工作台转动方向相反，使工作台少转一点，用两对齿轮时，加一个中间轮。

〔例〕在 Y38 型滚齿机上，加工一右旋斜齿圆柱齿轮， $m_n = 2$ ， $\beta = 30^\circ$ ， $z = 103$ ， $f_{\text{立}} = 1\text{mm}$ ，用右旋单头滚刀，试求各组挂轮。

解：设 $p = \frac{1}{25}$ ，前边取“+”号。

则 分齿交换齿轮：

$$\begin{aligned}\frac{24K}{z+p} &= \frac{24 \times 1}{103 + \frac{1}{25}} = \frac{24 \times 25}{2576} \\ &= \frac{24 \times 25}{16 \times 7 \times 23} \\ &= \frac{25 \times 60}{70 \times 92}\end{aligned}$$

进给交换齿轮：

$$\frac{3}{4}f_{\text{立}} = \frac{3}{4} \times 1 = \frac{30}{40}$$

差动交换齿轮：

由于工件与滚刀螺旋方向相同，差动交换齿轮公式第一项前用“-”号。又因分度交换齿轮公式中用 $z+p$ ，所以第二项前也用“-”号：

$$\begin{aligned}-\frac{7.95775 \sin \beta}{m_n K} - \frac{25p}{f_{\text{立}} K} &= -\frac{7.95775 \times \sin 30^\circ}{2 \times 1} - \frac{25 \times \frac{1}{25}}{1 \times 1} \\ &= -\frac{7.95775 \times 0.5}{2 \times 1} - 1 \\ &= -1.98944 - 1 \\ &= -2.98944 \approx -\frac{45 \times 95}{22 \times 65}\end{aligned}$$

结果得“-”号，表示用两对齿轮时，不加中间轮。

注意：因为是质数齿轮，在加工中，差动运动（附加转动）是分度运动不可分割的一部分，即在加工过程中分度运动和差动运动不能分开，否则分齿就乱了。所以在加工中，如果切削第二刀时，只能先利用反车自动回，然后再进行切削。

(3) Y38 滚齿机加工大质数直齿圆柱齿轮时，分度、差动交换齿轮表（表 8-29）

表 8-29 Y38 滚齿机加工大质数直齿圆柱齿轮（滚刀头数 $K=1$ ）
时，分齿、差动交换齿轮表

齿数 z	p	分度交换齿轮	差动交换齿轮	
			$f_{\underline{z}} = 0.75\text{mm}$	$f_{\underline{z}} = 1\text{mm}$
101	1/20	24/43 × 20 × 47	55/33	50/40
137	1/20	25/43 × 25/83	55/33	50/40
241	1/20	23/33 × 20/70	40/24	50/40
362	1/20	59/89 × 20/100	55/33	50/40
386	1/20	33/65 × 24/98	95/57	50/40
389	- 1/20	34/58 × 20/95	40/24	50/40
401	1/20	37/79 × 23/90	40/24	50/40
428	1/20	43/90 × 23/98	40/24	50/40
446	1/20	23/57 × 20/75	40/24	50/40
451	1/20	34/71 × 20/90	40/24	50/40
461	1/20	34/71 × 20/92	40/24	50/40
478	1/20	20/48 × 20/83	40/24	50/40
479	1/20	30/71 × 23/97	40/24	50/40
481	1/20	37/89 × 24/100	55/33	50/40
482	- 1/15	24/61 × 20/79	50/20 × 40/45	55/33
483	1/20	40/83 × 20/97	55/33	30/24
489	1/15	24/67 × 20/73	50/20 × 40/45	55/33

注：表中 p 为 “-” 值时，则差动交换齿轮需加一个中间轮。

(4) p 的推荐值（表 8-30）

表 8-30 p 的推荐值




z	p	z	p	z	p
101	$\pm \frac{1}{4}, -\frac{1}{17}, \frac{1}{20}, \frac{1}{24}, -\frac{1}{35}$	127	$\frac{1}{5}, \pm \frac{1}{10}, \pm \frac{1}{17}$	149	$-\frac{1}{5}, -\frac{1}{25}, -\frac{1}{35}$
103	$\pm \frac{1}{17}, -\frac{1}{20}, \frac{1}{23}, \frac{1}{25}$	131	$\frac{1}{5}, -\frac{1}{20}, -\frac{1}{34}$	151	$-\frac{1}{5}, \frac{1}{20}, \frac{1}{34}$
107	$\pm \frac{1}{5}, \frac{1}{17}, -\frac{1}{45}, -\frac{1}{48}$	137	$-\frac{1}{17}, -\frac{1}{20}, -\frac{1}{45}$	157	$-\frac{1}{5}, \pm \frac{1}{17}, -\frac{1}{20}$
109	$\pm \frac{1}{5}, -\frac{1}{15}, \frac{1}{25}$	139	$\frac{1}{30}, -\frac{1}{35}, \frac{1}{40}$	163	$\pm \frac{1}{5}, \frac{1}{30}, -\frac{1}{35}$
113	$-\frac{1}{5}, \frac{1}{15}, \frac{1}{34}$	143	$-\frac{1}{5}$	167	$\frac{1}{5}, \pm \frac{1}{17}, \frac{1}{25}, \pm \frac{1}{33}$

(续)

z	p	z	p	z	p
169	$\frac{1}{5}$	181	$\pm \frac{1}{15}, \frac{1}{20}, \pm \frac{1}{25},$ $-\frac{1}{30}$	193	$\frac{1}{5}, -\frac{1}{17}, -\frac{1}{25}$
173	$-\frac{1}{5}, -\frac{1}{17}, -\frac{1}{25}$			197	$\pm \frac{1}{5}, \pm \frac{1}{17}$
179	$\pm \frac{1}{15}, -\frac{1}{35}, \frac{1}{45}$	191	$-\frac{1}{5}, \frac{1}{17}, -\frac{1}{20}$	199	$\pm \frac{1}{5}, \pm \frac{1}{17}, \frac{1}{21}$

8.5.8 滚齿加工常见缺陷及解决方法（表 8-31）


表 8-31 滚齿加工常见缺陷及解决方法

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿数不正确	1) 跨轮或分度交换齿轮调整不正确 2) 滚刀选用错误 3) 工件毛坯尺寸不正确 4) 滚切斜齿轮时，附加运动方向不对	1) 重新调整跨轮、分度交换齿轮，并检查中间轮装置是否正确 2) 合理选用滚刀 3) 更换工件毛坯 4) 增加或减少差动交换齿轮中的中间轮
齿面出棱 	滚刀齿形误差太大或分度运动瞬时速比变化大，工件缺陷状况有四种： 1) 滚刀刃磨后，刀齿等分性差 2) 滚刀轴向窜动大 3) 滚刀径向圆跳动大 4) 滚刀用钝	主要方法：着眼于滚刀刃磨质量，滚刀安装精度以及机床主轴的几何精度： 1) 控制滚刀刃磨质量 2) 保证滚刀的安装精度：同时，安装滚刀时不能敲击；垫圈端面平整；螺母端面要垂直；锥孔内部应清洁；后托架装上后，不能留间隙 3) 复查机床主轴的旋转精度，并修复调整机床前后轴承，尤其是止推垫片 4) 更换新刀
齿形不对称 	1) 滚刀安装不对中 2) 滚刀刃磨后，前刀面的径向误差大 3) 滚刀刃磨后，螺旋角或导程误差大 4) 滚刀安装角的误差太大	1) 用“啃刀花”法或对刀规对刀 2) 控制滚刀刃磨质量 3) 重新调整滚刀的安装角
齿形角不对 	1) 滚刀本身的齿形角误差太大 2) 滚刀刃磨后，前刀面的径向性误差大 3) 滚刀安装角的误差大	1) 合理选用滚刀的精度 2) 控制滚刀的刃磨质量 3) 重新调整滚刀的安装角


(续)

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿形周期性误差 	1) 滚刀安装后, 径向圆跳动或轴向窜动大 2) 机床工作台回转不均匀 3) 跨轮或分度交换齿轮安装偏心或齿面磕碰 4) 刀架滑松有松动 5) 工件装夹不合理产生振摆	1) 控制滚刀的安装精度 2) 检查机床工作台分度蜗杆的轴向窜动, 并调整修复之 3) 检查跨轮及分度交换齿轮的安装及运转状况 4) 调整刀架滑板的塞铁 5) 合理选用工件装夹的正确方案
齿圈径向圆跳动超差	工件内孔中心与机床工作台回转中心不重合 (1) 有关机床、夹具方面: 1) 工作台径向圆跳动大 2) 心轴磨损或径向圆跳动大 3) 上下顶针有摆差或松动 4) 夹具定位端面与工作台回转中心线不垂直 5) 工件装夹元件, 例如垫圈和螺帽精度不够 (2) 有关工件方面: 1) 工件定位孔直径超差 2) 用找正工件外圆安装时, 外圆与内孔的同轴度超差 3) 工件夹紧刚性差	着眼于控制机床工作台的回转精度与工件的正确安装 (1) 有关机床和夹具方面: 1) 检查并修复工作台回转导轨 2) 合理使用和保养工件心轴 3) 修复后立柱及上顶针的精度 4) 切削前, 应校正夹具定位端面的端面圆跳动。定位端面只准内凹 5) 装夹元件, 垫圈两平面应平行; 夹紧螺母端面对螺纹中心线应垂直 (2) 有关工件方面: 1) 控制工件定位孔的尺寸精度 2) 控制工件外圆与内孔的同轴度误差 3) 夹紧力应施加于工件刚性足够的部位
齿向误差超差	滚刀垂直进给方向与齿坯内孔轴线方向偏斜太大。加工斜齿轮时, 还有附加运动的不正确 (1) 有关机床和夹具方面: 1) 立柱三角导轨与工作台轴线不平行 2) 工作台端面圆跳动大 3) 上、下顶尖不同轴 4) 分度蜗轮副的啮合间隙大 5) 分度蜗轮副的传动存在有周期性误差 6) 垂直进给丝杆螺距误差大 7) 分度、差动交换齿轮误差大 (2) 有关工件方面: 1) 齿坯两端面不平行 2) 工件定位孔与端面不垂直	着眼于控制机床几何精度和工件的正确安装。下列第4)、5)、6)、7)条, 主要适用加工斜齿轮时 (1) 有关机床和夹具方面: 1) 修复立柱精度, 控制机床热变形 2) 修复工作台的回转精度 3) 修复后立柱或上、下顶尖的精度 4) 合理调整分度蜗轮副的啮合间隙 5) 修复分度蜗轮副的零件精度, 并合理调整安装之 6) 垂直进给丝杠因使用磨损而精度达不到时, 应及时更换 7) 应控制差动交换齿轮的计算误差 (2) 有关工件方面: 1) 控制齿坯两端面的平行度误差 2) 控制齿坯定位孔与端面的垂直度

(续)

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿距累积误差超差	滚齿机工作台每一转中回转不均匀的最大误差太大： 1) 分度蜗轮副传动精度误差 2) 工作台的径向圆跳动与端面圆跳动大 3) 分度交换齿轮啮合太松或存在磕碰现象	着眼于分度运动链的精度，尤其是分度蜗轮副与滚刀两方面： 1) 修复分度蜗轮副的传动精度 2) 修复工作台的回转精度 3) 检查分度交换齿轮的啮合松紧和运转状况
齿面撕裂 	1) 齿坯材质不均匀 2) 齿坯热处理方法不当 3) 切削用量选用不合理而产生积屑瘤 4) 切削液效能不高 5) 滚刀用钝，不锋利	1) 控制齿坯材料质量 2) 正确选用热处理方法，尤其是调质处理后的硬度，建议采用正火处理 3) 正确选用切削用量，避免产生积屑瘤 4) 正确选用切削液，尤其要注意它的润滑性能 5) 更换新刀
齿面啃齿 	由于滚刀与齿坯的相互位置发生突然变化所造成： 1) 立柱三角导轨太松，造成滚刀进给突然变化立柱三角导轨太紧，造成爬行现象 2) 刀架斜齿轮啮合间隙大 3) 油压不稳定	寻找和消除一些突然因素： 1) 调整立柱三角导轨：要求紧松适当 2) 刀架斜齿轮若因使用时间久而磨损：应更换 3) 合理保养机床，尤其是清洁，使油路保持畅通：油压保持稳定
齿面振纹 	由于振动所造成： 1) 机床内部某传动环节的间隙大 2) 工件与滚刀的装夹刚性不够 3) 切削用量选用太大 4) 后托架安装后，间隙大	寻找与消除振动源： 1) 对于使用时间久而磨损严重的机床及时大修 2) 提高滚刀的装夹刚性，例如缩小支承间距离；带柄滚刀应尽量加大轴径等 提高工件的装夹刚性：例如，尽量加大支承端面，支承端面（包括工件）只准内凹；缩短上下顶针间距离 3) 正确选用切削用量 4) 正确安装后托架

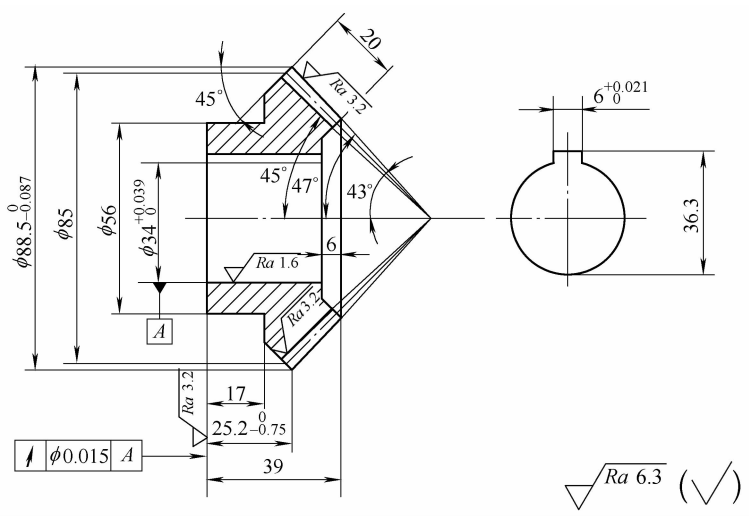
(续)

缺陷名称	主要原因	解决方法
齿面鱼鳞 	齿坯热处理方法不当，其中在加工调质处理后的钢件时比较多见	1) 酌情控制调质处理的硬度 2) 建议采用正火处理作为齿坯的预先热处理

8.6 典型齿轮零件的加工工艺分析举例

8.6.1 锥齿轮

锥齿轮见图 8-9。



技术要求

- 1. 热处理 28 ~ 32HRC。
- 2. 未注明倒角 C1。
- 3. 材料 45 钢。

齿轮基本参数

- $m = 2.5$
- $\alpha = 20^\circ$
- $z = 34$
- 精度等级 10a

图 8-9 锥齿轮

(1) 零件图样分析

- 1) 齿轮端面对 $\phi 34^{+0.039}_0$ mm 内孔轴心线的圆跳动公差为 $\phi 0.015$ mm。
- 2) 热处理，调质处理 28 ~ 32HRC。
- 3) 齿轮精度等级 10a。

4) 材料 45 钢。

(2) 工艺分析

1) 该工件的加工主要为齿坯和齿部两部分，为保证齿轮的加工精度，必须首先保证齿坯的加工精度。

2) 锻造毛坯经过正火处理，可消除锻造后材料的内应力，以改善加工性能。

3) 粗加工后进行调质处理后，再进行精加工和铣齿加工，可保证加工质量的稳定。

4) 工序 10 插键槽，对组合夹具或专用工装，应要求备有键槽对称度检查基准，可供加工时对刀及加工后检查使用。

5) 齿轮端面对 $\phi 34^{+0.039}_0$ mm 内孔轴心线的圆跳动公差，可将锥齿轮装在 $\phi 34^{+0.039}_0$ mm 专用心轴上，采用偏摆仪进行检查。

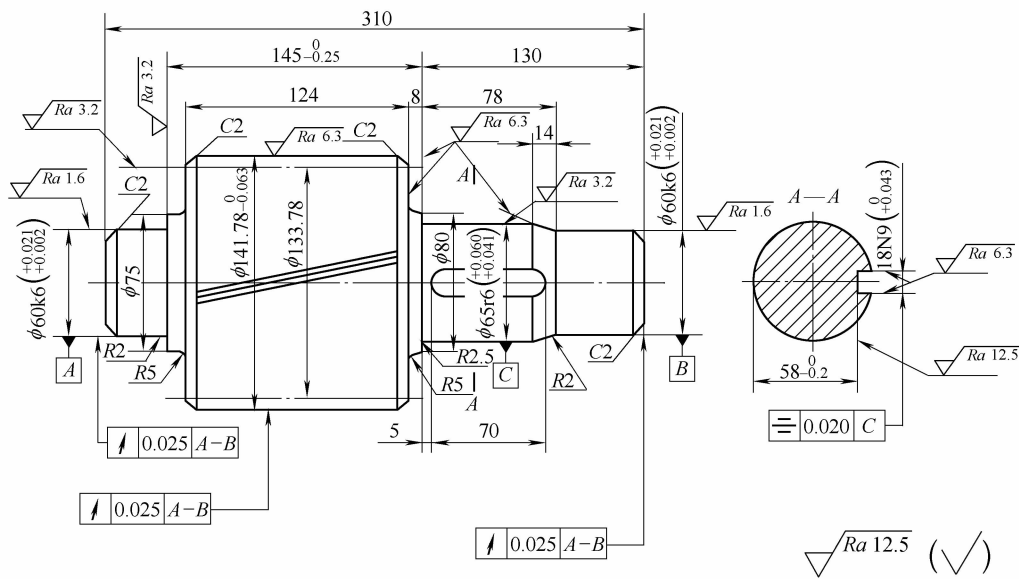
(3) 锥齿轮机械加工工艺过程卡（表 8-32）

表 8-32 锥齿轮机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工序内容	工艺装备
1	下料	棒料 $\phi 80\text{mm} \times 65\text{mm}$	锯床
2	锻造	自由锻，锻造尺寸为 $\phi 95\text{mm} \times 46\text{mm}$	
3	热处理	正火	
4	粗车	夹一端，车另一端（先加工齿轮左端），车端面，车 $\phi 56\text{mm}$ ，长 17mm 均留余量 5mm，钻 $\phi 28\text{mm}$ 通孔	CA6140
5	粗车	倒头夹 $\phi 56\text{mm}$ （工艺尺寸 $\phi 61\text{mm}$ ）粗车右端，各部均留余量	CA6140
6	热处理	调质处理 28 ~ 32HRC	
7	精车	夹左端 $\phi 56\text{mm}$ （工艺尺寸 $\phi 61\text{mm}$ ）精车右端各部尺寸至图样要求，精车内孔至 $\phi 34^{+0.039}_0$ mm	CA6140
8	精车	专用工装（可胀心轴）装夹工件，精车左端各部尺寸至图样要求	CA6140 专用工装
9	划线	划 $6^{+0.021}_0$ mm 键槽尺寸线	
10	插键槽	以 $\phi 56\text{mm}$ 及左端面定位装夹，按线找正，插键槽至图样尺寸 $6^{+0.021}_0$ mm	B5020 组合夹具或专用工装
11	铣齿	以 $\phi 34^{+0.039}_0$ mm 内孔及左端面定位装夹，铣齿	X6132 专用心轴
12	检验	按图样要求检查齿轮各部尺寸及精度	
13	入库	入库	

8.6.2 齿轮轴

齿轮轴见图 8-10。



技术要求

1. 材料 40Cr。
2. 热处理 28 ~ 32HRC。

齿轮基本参数

$$m_n = 4 \quad \beta = 9^\circ 22' \text{ (左旋)}$$

$$z = 33 \quad \text{精度等级 887FH}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

图 8-10 齿轮轴

(1) 零件图样分析

1) $\phi 60K6^{+0.021}_{+0.002}$ mm、 $\phi 141.78^{0}_{-0.063}$ mm、 $\phi 60K6^{+0.021}_{+0.002}$ mm 三处轴径外圆对公共轴线 A—B 圆跳动公差为 0.025 mm。

2) $18N9^{0}_{-0.043}$ mm 键槽对 $\phi 65r6^{+0.060}_{+0.041}$ mm 轴心线的对称度公差为 0.02 mm。

3) 齿轮轴材料 40Cr。

4) 热处理：调质处理 28 ~ 32HRC。

(2) 工艺分析

1) 工序安排热处理调质处理后，再进行精车、磨削加工，以保证加工质量稳定。

2) 精车、粗磨、精磨工序均以两中心孔定位装夹工件，其定位基准统一，可以更好保证零件的加工质量。

3) 以工件两中心孔为定位基准，在偏摆仪上检查， $\phi 60^{+0.021}_{+0.002}$ mm， $\phi 141.78^{0}_{-0.063}$ mm， $\phi 60^{+0.021}_{+0.002}$ mm 三处轴径外圆对公共轴线 A—B 的圆跳动 0.025 mm。

4) 工序 14 对组合夹具应要求备有键槽对称度检查基准，可供加工对刀及加工后检

查使用。

(3) 齿轮轴机械加工工艺过程卡（表 8-33）

表 8-33 齿轮轴机械加工工艺过程卡

工序号	工序名称	工序内容	工艺装备
1	下料	棒料尺寸 $\phi 120\text{mm} \times 300\text{mm}$	锯床
2	锻	锻造尺寸分别为 $\phi 85\text{mm} \times 55\text{mm}$ ， $\phi 150\text{mm} \times 135\text{mm}$ ， $\phi 87\text{mm} \times 135\text{mm}$	
3	热处理	正火处理	
4	粗车	夹一端车，另一端及端面（见平即可），车外圆，直径与长度均留加工余量 5mm	CA6140
5	粗车	倒头装夹，车另一端端面及余下外径各部，直径与长度均留加工余量 5mm，保证总长尺寸为 315mm	CA6140
6	热处理	调质处理 28 ~ 32HRC	
7	精车	夹一端，车端面，保证总长尺寸 312.5mm，钻中心孔 B6.3	CA6140
8	精车	倒头装夹，车端面，保证总长尺寸 310mm，钻中心孔 B6.3	CA6140
9	精车	以两中心孔定位装夹工件，精车右端各部尺寸，其直径方向留磨量 0.6mm，倒角 C2.3	CA6140
10	精车	倒头，以两中心孔定位装夹工件，精车余下各部尺寸，其直径方向留磨量 0.6mm，倒角 C2.3	
11	磨	以两中心孔定位装夹工件。粗、精磨各部及圆角 R2 至图样要求尺寸	M1432A
12	磨	倒头，以两中心孔定位孔装夹工件。粗、精磨余下外圆及圆角 R5，至图样要求尺寸	M1432A
13	划线	划键槽线	
14	铣	以两 $\phi 60\text{K}6^{+0.021}_{+0.002}\text{mm}$ 轴颈定位装夹工件。铣 18N9 $^{0}_{-0.043}\text{mm}$ 键槽至图样尺寸及精度要求	X5D30A 组合夹具
15	滚齿	以 $\phi 65\text{r}6^{+0.060}_{+0.041}\text{mm}$ 轴颈定位装夹工件。滚齿、其基本参数见图 8-10	Y3180
16	钳	去毛刺	
17	检验	检查零件各部尺寸及精度	
18	入库	入库	

8.7 交换齿轮表 (表 8-34)

表 8-34 交换齿轮表

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
14. 40000	100	25	90	25	6. 30000	90	25	70	40	4. 58333	100	30	55	40
12. 80000	100	25	80	25	6. 28571	100	25	55	35	4. 58182	90	25	70	55
12. 00000	100	25	90	30	6. 17143	90	25	60	35	4. 57143	100	25	80	70
11. 52000	90	25	80	25	6. 16000	70	25	55	25	4. 50000	100	25	90	80
11. 20000	100	25	70	25	6. 00000	100	25	90	60	4. 48000	80	25	70	50
10. 66667	100	25	80	30	5. 86667	80	25	55	30	4. 44444	100	30	80	60
10. 28571	100	25	90	35	5. 83333	100	30	70	40	4. 40000	100	25	55	50
10. 08000	90	25	70	25	5. 81818	100	25	80	55	4. 36364	100	25	60	55
9. 60000	100	25	60	25	5. 76000	90	25	80	50	4. 32000	90	25	60	50
9. 33333	100	25	70	30	5. 71429	100	35	80	40	4. 28571	100	30	90	70
9. 14286	100	25	80	35	5. 65714	90	25	55	35	4. 26667	80	25	40	30
9. 00000	100	25	90	40	5. 60000	100	25	70	50	4. 24242	100	30	70	55
8. 96000	80	25	70	25	5. 50000	100	25	55	40	4. 20000	90	25	70	60
8. 80000	100	25	55	25	5. 48571	80	25	60	35	4. 19048	80	30	55	35
8. 64000	90	25	60	25	5. 45455	100	30	90	55	4. 16667	100	30	50	40
8. 57143	100	30	90	35	5. 40000	90	25	60	40	4. 15584	100	35	80	55
8. 40000	90	25	70	30	5. 33333	100	25	80	60	4. 12500	90	30	55	40
8. 22857	90	25	80	35	5. 28000	60	25	55	25	4. 11429	90	25	80	70
8. 00000	100	25	80	40	5. 25000	90	30	70	40	4. 09091	100	40	90	55
7. 92000	90	25	55	25	5. 23810	100	30	55	35	4. 07273	80	25	70	55
7. 68000	80	25	60	25	5. 23636	90	25	80	55	4. 00000	100	25	90	90
7. 61905	100	30	80	35	5. 14286	100	25	90	70	3. 96000	90	25	55	50
7. 50000	100	30	90	40	5. 13333	70	25	55	30	3. 92857	100	35	55	40
7. 46667	80	25	70	30	5. 12000	80	25	40	25	3. 92727	90	25	60	55
7. 33333	100	25	55	30	5. 09091	100	25	70	55	3. 92000	70	25	35	25
7. 20000	100	25	90	50	5. 04000	90	25	70	50	3. 88889	100	30	70	60
7. 04000	80	25	55	25	5. 02857	80	25	55	35	3. 85714	90	35	60	40
7. 00000	100	25	70	40	5. 00000	100	30	90	60	3. 85000	70	25	55	40
6. 85714	100	25	60	35	4. 95000	90	25	55	40	3. 84000	80	25	60	50
6. 72000	70	25	60	25	4. 84848	100	30	80	55	3. 81818	90	30	70	55
6. 66667	100	30	80	40	4. 80000	100	25	60	50	3. 80952	100	30	80	70
6. 60000	90	25	55	30	4. 76190	100	30	50	35	3. 77143	60	25	55	35
6. 54545	100	25	90	55	4. 71429	90	30	55	35	3. 75000	100	30	90	80
6. 42857	100	35	90	40	4. 67532	100	35	90	55	3. 74026	90	35	80	55
6. 40000	100	25	80	50	4. 66667	100	25	70	60	3. 73333	80	25	70	60

(续)

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
3. 67347	100	35	90	70	2. 86364	90	40	70	55	2. 29167	100	30	55	80
3. 66667	100	25	55	60	2. 85714	100	35	90	90	2. 29091	90	50	70	55
3. 65714	80	25	40	35	2. 82857	90	25	55	70	2. 28571	100	35	80	100
3. 63636	100	40	80	55	2. 81250	100	40	90	80	2. 27273	100	40	50	55
3. 60000	100	25	90	100	2. 80519	90	35	60	55	2. 25000	100	40	90	100
3. 57143	100	35	50	40	2. 80000	100	25	79	100	2. 24490	100	35	55	70
3. 55556	100	25	80	90	2. 77778	100	30	50	60	2. 22000	80	25	70	100
3. 53571	90	35	55	40	2. 75000	100	25	55	80	2. 22222	100	40	80	90
3. 52000	80	25	55	50	2. 74286	80	25	60	70	2. 20408	90	35	60	70
3. 50000	100	25	70	80	2. 72727	100	55	90	60	2. 20000	100	25	55	100
3. 49091	80	25	60	55	2. 70000	90	25	60	80	2. 18750	100	40	70	80
3. 42857	100	25	60	70	2. 66667	100	30	80	100	2. 18182	100	50	60	55
3. 39394	80	30	70	55	2. 64000	60	25	55	50	2. 16000	90	25	60	100
3. 36000	70	25	60	50	2. 62500	90	30	70	80	2. 14286	100	60	90	70
3. 33333	100	30	90	90	2. 61905	100	30	55	70	2. 13889	70	30	55	60
3. 30000	90	25	55	60	2. 61818	90	50	80	55	2. 13333	80	25	60	90
3. 27273	100	50	90	55	2. 59740	100	35	50	55	2. 12121	100	55	70	60
3. 26667	70	25	35	30	2. 59259	100	30	70	90	2. 10000	90	30	70	100
3. 26531	100	35	80	70	2. 57143	100	35	90	100	2. 09524	80	30	55	70
3. 21429	100	35	90	80	2. 56667	70	25	55	60	2. 08333	100	30	50	80
3. 20833	70	30	55	40	2. 56000	80	25	40	50	2. 07792	100	55	80	70
3. 20000	100	25	80	100	2. 54545	100	50	70	55	2. 07407	80	30	70	90
3. 18182	100	40	70	55	2. 53968	100	35	80	90	2. 06250	90	30	55	80
3. 15000	90	25	70	80	2. 52000	90	25	70	100	2. 05714	90	35	80	100
3. 14286	100	25	55	70	2. 51429	80	25	55	70	2. 04545	100	55	90	80
3. 11688	100	35	60	55	2. 50000	100	40	90	90	2. 04167	70	30	35	40
3. 11111	100	25	70	90	2. 49351	80	35	60	55	2. 04082	100	35	50	70
3. 08571	90	25	60	70	2. 48889	80	25	70	90	2. 03704	100	30	55	90
3. 08000	70	25	55	50	2. 47500	90	25	55	80	2. 03636	80	50	70	55
3. 05556	100	30	55	60	2. 45455	90	40	60	55	2. 02041	90	35	55	70
3. 05455	70	25	60	55	2. 45000	70	25	35	40	2. 00000	100	50	90	90
3. 04762	80	30	40	35	2. 44898	100	35	60	70	1. 98000	90	25	55	100
3. 03030	100	30	50	55	2. 44444	100	25	55	90	1. 96875	90	40	70	80
3. 00000	100	30	90	100	2. 42424	100	55	80	60	1. 96429	100	35	55	80
2. 96296	100	30	80	90	2. 40000	100	25	60	100	1. 96364	90	50	60	55
2. 93878	90	35	80	70	2. 38095	100	30	50	70	1. 96000	70	25	35	50
2. 93333	80	25	55	60	2. 35714	90	30	55	70	1. 95918	80	35	60	70
2. 91667	100	30	70	80	2. 33766	100	55	90	70	1. 95556	80	25	55	90
2. 90909	100	50	80	55	2. 33333	100	30	70	100	1. 94444	100	40	70	90
2. 88000	90	25	80	100	2. 32727	80	25	40	55	1. 93939	80	30	40	55

(续)

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1. 92857	90	35	60	80	1. 60000	100	50	80	100	1. 33333	100	60	80	100
1. 92500	70	25	55	80	1. 59091	100	55	70	80	1. 32000	60	25	55	100
1. 92000	80	25	60	100	1. 58730	100	35	50	90	1. 31250	90	60	70	80
1. 90909	90	55	70	60	1. 57500	90	40	70	100	1. 30952	100	60	55	70
1. 90476	100	60	80	70	1. 57143	100	35	55	100	1. 30909	90	55	80	100
1. 88571	60	25	55	70	1. 56250	100	40	50	80	1. 30612	80	35	40	70
1. 87500	100	60	90	80	1. 55844	100	55	60	70	1. 29870	100	55	50	70
1. 87013	90	55	80	70	1. 55556	100	50	70	90	1. 29630	100	60	70	90
1. 86667	80	30	70	100	1. 54688	90	40	55	80	1. 28571	100	70	90	100
1. 85185	100	30	50	90	1. 54286	90	35	60	100	1. 28333	70	30	55	100
1. 83673	90	35	50	70	1. 54000	70	25	55	100	1. 28000	80	25	40	100
1. 83333	100	30	55	100	1. 52778	100	40	55	90	1. 27273	100	55	70	100
1. 82857	80	25	40	70	1. 52727	70	50	60	55	1. 26984	100	70	80	90
1. 81818	100	55	90	90	1. 52381	80	35	60	90	1. 26000	90	50	70	100
1. 80000	100	50	90	100	1. 51515	100	55	50	60	1. 25714	80	35	55	100
1. 79592	80	35	55	70	1. 50000	100	60	90	100	1. 25000	100	80	90	90
1. 78571	100	35	50	80	1. 48485	70	30	35	55	1. 24675	80	55	60	70
1. 78182	70	25	35	55	1. 48148	100	60	80	90	1. 24444	80	50	70	90
1. 77778	100	50	80	90	1. 46939	90	35	40	70	1. 23750	90	40	55	100
1. 76786	90	35	55	80	1. 46667	80	30	55	100	1. 22727	90	55	60	80
1. 76000	80	25	55	100	1. 45833	100	60	70	80	1. 22500	70	25	35	80
1. 75000	100	40	70	100	1. 45455	100	55	80	100	1. 22449	100	35	30	70
1. 74603	100	35	55	90	1. 44000	90	50	80	100	1. 22222	100	50	55	90
1. 74545	80	50	60	55	1. 43182	90	55	70	80	1. 21212	100	55	60	90
1. 71875	100	40	55	80	1. 42857	100	70	90	90	1. 20313	70	40	55	80
1. 71429	100	35	60	100	1. 42593	70	30	55	90	1. 20000	100	50	60	100
1. 71111	70	25	55	90	1. 42222	80	25	40	90	1. 19048	100	60	50	70
1. 69697	80	55	70	60	1. 41429	90	35	55	100	1. 18519	80	30	40	90
1. 68750	90	40	60	80	1. 41414	100	55	70	90	1. 17857	90	60	55	70
1. 68000	70	25	60	100	1. 40625	90	40	50	80	1. 16883	90	55	50	70
1. 66667	100	60	90	90	1. 40260	90	55	60	70	1. 16667	100	60	70	100
1. 66234	80	35	40	55	1. 40000	100	50	70	100	1. 16364	80	50	40	55
1. 65000	90	30	55	100	1. 39683	80	35	55	90	1. 14583	100	60	55	80
1. 63636	100	55	90	100	1. 38889	100	40	50	90	1. 14545	90	55	70	100
1. 63333	70	25	35	60	1. 37565	100	40	55	100	1. 14286	100	70	80	100
1. 63265	100	35	40	70	1. 37143	80	35	60	100	1. 13636	100	55	50	80
1. 62963	80	30	55	90	1. 36364	100	55	60	80	1. 13131	80	55	70	90
1. 61616	100	55	80	90	1. 36111	70	30	35	60	1. 12500	100	80	90	100
1. 60714	100	70	90	80	1. 35000	90	40	60	100	1. 12245	55	35	50	70
1. 60417	70	30	55	80	1. 34694	60	35	55	70	1. 12000	80	50	70	100

(续)

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1. 11364	70	40	35	55	0. 95238	100	70	60	90	0. 78750	90	80	70	100
1. 11111	100	80	80	90	0. 94286	60	35	55	100	0. 78571	100	70	55	100
1. 10204	90	35	30	70	0. 93750	100	40	30	80	0. 78125	100	40	25	80
1. 10000	100	50	55	100	0. 93506	90	55	40	70	0. 77922	100	55	30	70
1. 09375	100	40	35	80	0. 93333	80	60	70	100	0. 77778	100	90	70	100
1. 09091	100	55	60	100	0. 92593	100	60	50	90	0. 77143	90	70	60	100
1. 08889	70	25	35	90	0. 91837	90	35	25	70	0. 77000	70	50	55	100
1. 08000	90	50	60	100	0. 91667	100	60	55	100	0. 76563	70	40	35	80
1. 07143	100	70	60	80	0. 91429	80	35	40	100	0. 76389	100	80	55	90
1. 06944	70	40	55	90	0. 90909	100	55	50	100	0. 76364	70	55	60	100
1. 06667	80	50	60	90	0. 90741	70	30	35	90	0. 76190	80	70	60	90
1. 06061	100	55	35	60	0. 90000	90	80	80	100	0. 75758	100	55	25	60
1. 05000	90	60	70	100	0. 89796	55	35	40	70	0. 75000	100	80	60	100
1. 4762	80	60	55	70	0. 89286	100	70	50	80	0. 74242	70	55	35	60
1. 04167	100	60	50	80	0. 89091	70	50	35	55	0. 74074	100	60	40	90
1. 03896	100	55	40	70	0. 88889	100	90	80	100	0. 73469	60	35	30	70
1. 03704	80	60	70	90	0. 88393	90	70	55	80	0. 73333	80	60	55	100
1. 03125	90	60	55	80	0. 88000	80	50	55	100	0. 72917	100	60	35	80
1. 02857	90	70	80	100	0. 87500	100	80	70	100	0. 72727	100	55	40	100
1. 02273	90	55	50	80	0. 87302	100	70	55	90	0. 72000	90	50	40	100
1. 02083	70	30	35	80	0. 87273	80	55	60	100	0. 71591	90	55	35	80
1. 02041	100	35	25	70	0. 85938	55	40	50	80	0. 71429	100	70	50	100
1. 01852	100	60	55	90	0. 85714	100	70	60	100	0. 72196	70	60	55	90
1. 01818	80	55	70	100	0. 85556	70	50	55	90	0. 71111	80	50	40	90
1. 01587	80	35	40	90	0. 84848	80	55	35	60	0. 70707	100	55	35	90
1. 01010	100	55	50	90	0. 84375	90	40	30	80	0. 70313	90	40	25	80
1. 00000	100	90	90	100	0. 84000	70	50	60	100	0. 70130	90	55	30	70
0. 99000	90	50	55	100	0. 83333	100	80	60	90	0. 70000	100	50	35	100
0. 98438	90	40	35	80	0. 83117	80	55	40	70	0. 69841	80	70	55	90
0. 98214	100	70	55	80	0. 82500	90	60	55	100	0. 69444	100	80	50	90
0. 98182	90	55	60	100	0. 81818	90	55	50	100	0. 68750	100	80	55	100
0. 98000	70	25	35	100	0. 81667	70	30	35	100	0. 68571	80	70	60	100
0. 97959	80	35	30	70	0. 81633	80	35	25	70	0. 68182	100	55	30	80
0. 97778	80	50	55	90	0. 81481	80	60	55	90	0. 68056	70	40	35	90
0. 97222	100	80	70	90	0. 80808	100	55	40	90	0. 67500	90	80	60	100
0. 96970	80	55	60	90	0. 80357	90	70	50	80	0. 67347	55	35	30	70
0. 96429	90	70	60	80	0. 80208	70	60	55	80	0. 66667	100	90	60	100
0. 96250	70	40	55	100	0. 80000	100	50	40	100	0. 66000	60	50	55	100
0. 96000	80	50	60	100	0. 89545	100	55	35	80	0. 65625	90	60	35	80
0. 95455	90	55	35	60	0. 79365	100	70	50	90	0. 65476	55	60	50	70

(续)

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0.65455	90	55	40	100	0.54545	100	55	30	100	0.45833	60	80	55	90
0.64935	100	55	25	70	0.54444	70	50	35	90	0.45714	80	70	40	100
0.64815	100	60	35	90	0.54000	90	50	30	100	0.45455	100	55	25	100
0.64646	80	55	40	90	0.53571	100	70	30	80	0.45370	70	60	35	90
0.64286	90	70	50	100	0.53472	70	80	55	90	0.45000	90	80	40	100
0.64167	70	60	55	100	0.53333	80	90	60	100	0.44643	100	70	25	80
0.64000	80	50	40	100	0.53030	70	55	25	80	0.44545	70	55	35	100
0.63636	100	55	35	100	0.52500	90	60	35	100	0.44444	100	90	40	100
0.63492	100	70	40	90	0.52381	60	70	55	90	0.44000	55	50	40	100
0.63000	90	50	35	100	0.52083	100	60	25	80	0.43750	100	80	35	100
0.62857	80	70	55	100	0.51948	80	55	25	70	0.43651	55	70	50	90
0.62500	100	80	50	100	0.51852	80	60	35	90	0.43636	80	55	30	100
0.62338	80	55	30	70	0.51563	55	40	30	80	0.42969	55	40	25	80
0.62222	80	90	70	100	0.51429	90	70	40	100	0.42857	100	70	30	100
0.61875	90	80	55	100	0.51136	90	55	25	80	0.42778	70	90	55	100
0.61364	90	55	30	80	0.51042	70	60	35	80	0.42424	70	55	30	90
0.61250	70	40	35	100	0.51020	50	35	25	70	0.42000	70	50	30	100
0.61224	60	35	25	70	0.50926	55	60	50	90	0.41667	100	80	30	90
0.61111	100	90	55	100	0.50909	80	55	35	100	0.41250	60	80	55	100
0.60606	100	55	30	90	0.50794	80	70	40	90	0.40909	90	55	25	100
0.60156	55	40	35	80	0.50505	100	55	25	90	0.40833	70	60	35	100
0.60000	100	50	30	100	0.50000	100	80	40	100	0.40816	40	35	25	70
0.59524	100	60	25	70	0.49495	70	55	35	90	0.40741	55	60	40	90
0.59259	80	60	40	90	0.49107	55	70	50	80	0.40404	80	55	25	90
0.58929	60	70	55	80	0.49091	90	55	35	100	0.40179	90	70	25	80
0.58442	90	55	25	70	0.49000	70	50	35	100	0.40104	55	60	35	80
0.58333	100	60	35	100	0.48980	40	35	30	70	0.40000	90	90	40	100
0.58182	80	55	40	100	0.48889	80	90	55	100	0.39773	70	55	25	80
0.57292	55	60	50	80	0.48611	100	80	35	90	0.39683	100	70	25	90
0.57273	90	55	35	100	0.48485	80	55	30	90	0.39375	90	80	35	100
0.57143	100	70	40	100	0.48214	90	70	30	80	0.39286	55	70	50	100
0.56818	100	55	25	80	0.48125	70	80	55	100	0.39063	50	40	25	80
0.56566	80	55	35	90	0.48000	80	50	30	100	0.38961	60	55	25	70
0.56250	90	80	50	100	0.47727	70	55	30	80	0.38889	100	90	35	100
0.56122	55	35	25	70	0.47619	100	70	30	90	0.38571	90	70	30	100
0.56000	80	50	35	100	0.47143	60	70	55	100	0.38500	55	50	35	100
0.55682	70	55	35	80	0.46875	90	60	25	80	0.38194	55	80	50	90
0.55556	100	90	50	100	0.46753	60	55	30	70	0.38182	70	55	30	100
0.55000	90	90	55	100	0.46667	80	60	35	100	0.38095	80	70	30	90
0.54688	70	40	25	80	0.46296	100	60	25	90	0.37879	50	55	25	60

(续)

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
0.37500	100	80	30	100	0.29167	70	80	30	90	0.22727	50	55	25	100
0.37037	80	60	25	90	0.28646	55	60	25	80	0.22500	60	80	30	100
0.36667	60	90	55	100	0.28571	80	70	25	100	0.22321	50	70	25	80
0.36458	70	60	25	80	0.28409	50	55	25	80	0.22222	80	90	25	100
0.36364	80	55	25	100	0.28283	40	55	35	90	0.21875	70	80	25	100
0.36000	60	50	30	100	0.28125	90	80	25	100	0.21825	55	70	25	90
0.35714	100	70	25	100	0.28000	40	50	35	100	0.21818	40	55	30	100
0.35648	55	60	35	90	0.27778	100	90	25	100	0.21429	60	70	25	100
0.35556	80	90	40	100	0.27500	55	80	40	100	0.21389	55	90	35	100
0.35354	70	55	25	90	0.27344	35	40	25	80	0.21212	35	55	30	90
0.35000	90	90	35	100	0.27273	60	55	25	100	0.21000	35	50	30	100
0.34921	55	70	40	90	0.27222	70	90	35	100	0.20833	60	80	25	90
0.34722	100	80	25	90	0.26786	60	70	25	80	0.20625	55	80	30	100
0.34375	55	80	50	100	0.26736	55	80	35	90	0.20202	40	55	25	90
0.34286	80	70	30	100	0.26667	80	90	30	100	0.20000	60	90	30	100
0.34091	60	55	25	80	0.26515	35	55	25	60	0.19886	35	55	25	80
0.34028	70	80	35	90	0.26250	70	80	30	100	0.19841	50	70	25	90
0.33750	90	80	30	100	0.26190	55	70	30	90	0.19643	55	70	25	100
0.33333	100	90	30	100	0.26042	50	60	25	80	0.19531	25	40	25	80
0.33000	55	50	30	100	0.25974	40	55	25	70	0.19481	30	55	25	70
0.32813	35	40	30	80	0.25926	40	60	35	90	0.19444	70	90	25	100
0.32738	55	60	25	70	0.25714	60	70	30	100	0.19097	55	80	25	90
0.32727	60	55	30	100	0.25510	25	35	25	70	0.19091	35	55	30	100
0.32468	50	55	25	70	0.25463	55	60	25	90	0.19048	40	70	30	90
0.32407	70	60	25	90	0.25455	40	55	35	100	0.18939	25	55	25	60
0.32143	90	70	25	100	0.25253	50	55	25	90	0.18750	60	80	25	100
0.32083	55	60	35	100	0.25000	90	90	25	100	0.18519	40	60	25	90
0.31818	70	55	25	100	0.24554	55	70	25	80	0.18333	55	90	30	100
0.31746	80	70	25	90	0.24444	55	90	40	100	0.18229	35	60	25	80
0.31429	55	70	40	100	0.24306	70	80	25	90	0.18182	40	55	25	100
0.31250	100	80	25	100	0.24242	40	55	30	90	0.17857	50	70	25	100
0.31169	40	55	30	70	0.24063	55	80	35	100	0.17677	35	55	25	90
0.31111	80	90	35	100	0.24000	40	50	30	100	0.17500	40	80	35	100
0.30625	70	80	35	100	0.23864	35	55	30	80	0.17361	50	80	25	90
0.30612	30	35	25	70	0.23810	60	70	25	90	0.17188	55	80	25	100
0.30556	55	90	50	100	0.23571	55	70	30	100	0.17143	40	70	30	100
0.30303	60	55	25	90	0.23438	30	40	25	80	0.17045	30	55	25	80
0.30000	90	90	30	100	0.23333	70	90	30	100	0.16667	60	90	25	100
0.29762	50	60	25	70	0.23148	50	60	25	90	0.16234	25	55	25	70
0.29464	55	70	30	80	0.22917	55	80	30	90	0.16204	35	60	25	90

(续)

传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮				传动比	交换齿轮				
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4	
0. 15909	35	55	25	100	0. 13125	35	80	30	100	0. 10938	35	80	25	100	
0. 15873	40	70	25	90						0. 10714	30	70	25	100	
0. 15625	50	80	25	100						0. 10417	30	80	25	90	
0. 15556	40	90	35	100						0. 09921	25	70	25	90	
0. 15278	55	90	25	100						0. 09722	35	90	25	100	
0. 15152	30	55	25	90	0. 12500	40	80	25	100	0. 09375	30	80	25	100	
					0. 12153	35	80	25	90						
					0. 11905	30	70	25	90						
					0. 15000	40	80	30	100		0. 08929	25	70	25	100
					0. 14881	25	60	25	70		0. 08681	25	80	25	90
0. 14583	35	80	30	90	0. 08333	30	90	25	100						
0. 14286	40	70	25	100	0. 07813	25	80	25	100						
0. 14205	25	55	25	80	0. 11667	35	90	30	100	0. 06944	25	90	25	100	
					0. 11574	25	60	25	90						
					0. 11364	25	55	25	100						
					0. 13889	50	90	25	100		0. 11161	25	70	25	80
					0. 13636	30	55	25	100		0. 11111	40	90	25	100
0. 13393	30	70	25	80											
0. 13333	40	90	30	100											

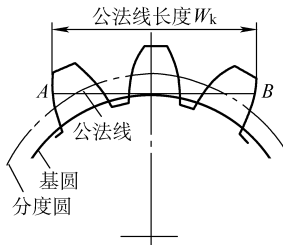
8.8 齿轮检测

8.8.1 公法线长度的测量

(1) 标准直齿圆柱齿轮公法线长度测量

1) 公法线长度计算公式见表 8-35。

表 8-35 公法线长度计算公式 (简化后)



压力角 $\alpha/ (^{\circ})$	公法线长度 W_k/mm	跨越齿数 k
20	$W_k = m \cos 20^{\circ} [\pi (k - 0.5) + 0.0149z]$ $= m \times [2.952 (k - 0.5) + 0.014z]$	$k = \frac{\alpha}{180^{\circ}} z + 0.5 = 0.111z + 0.5$
$14 \frac{1}{2}$	$W_k = m \cos 14 \frac{1^{\circ}}{2} [\pi (k - 0.5) + 0.00555z]$ $= m \times [3.0415 (k - 0.5) + 0.00537z]$	$k = \frac{\alpha}{180^{\circ}} z + 0.5 = 0.08z + 0.5$

2) 标准直齿圆柱齿轮公法线长度数值见表 8-36。

表 8-36 标准直齿圆柱齿轮公法线长度数值

($m = 1\text{mm}$, $\alpha = 20^\circ$)

被测 齿轮 总齿数 z	跨越 齿数 k	公法线 长度值 W_k /mm	被测 齿轮 总齿数 z	跨越 齿数 k	公法线 长度值 W_k /mm	被测 齿轮总 齿数 z	跨越 齿数 k	公法线 长度值 W_k /mm	被测齿 轮总齿数 z	跨越 齿数 k	公法线 长度值 W_k /mm
10	2	4.5683	46	6	16.8810	82	10	29.1937	118	14	41.5064
11	2	4.5823	47	6	16.8950	83	10	29.2077	119	14	41.5205
12	2	4.5963	48	6	16.9090	84	10	29.2217	120	14	41.5344
13	2	4.6103	49	6	16.9230	85	10	29.2357	121	14	41.5484
14	2	4.6243	50	6	16.9370	86	10	29.2497	122	14	41.5625
15	2	4.6383	51	6	16.9510	87	10	29.2637	123	14	41.5765
16	2	4.6523	52	6	16.9650	88	10	29.2777	124	14	41.5905
17	2	4.6663	53	6	16.9790	89	10	29.2917	125	14	41.6045
18	2	4.6803	54	6	16.9930	90	10	29.3057	126	14	41.6185
19	3	7.6464	55	7	19.9591	91	11	32.2719	127	15	44.5846
20	3	7.6604	56	7	19.9732	92	11	32.2859	128	15	44.5986
21	3	7.6744	57	7	19.9872	93	11	32.2999	129	15	44.6126
22	3	7.6884	58	7	20.0012	94	11	32.3139	130	15	44.6266
23	3	7.7025	59	7	20.0152	95	11	32.3279	131	15	44.6406
24	3	7.7165	60	7	20.0292	96	11	32.3419	132	15	44.6546
25	3	7.7305	61	7	20.0432	97	11	32.3559	133	15	44.6686
26	3	7.7445	62	7	20.0572	98	11	32.3699	134	15	44.6826
27	3	7.7585	63	7	20.0712	99	11	32.3839	135	15	44.6966
28	4	10.7246	64	8	23.0373	100	12	35.3500	136	16	47.6628
29	4	10.7386	65	8	23.0513	101	12	35.3641	137	16	47.6768
30	4	10.7526	66	8	23.0653	102	12	35.3781	138	16	47.6908
31	4	10.7666	67	8	23.0793	103	12	35.3921	139	16	47.7048
32	4	10.7806	68	8	23.0933	104	12	35.4061	140	16	47.7188
33	4	10.7946	69	8	23.1074	105	12	35.4201	141	16	47.7328
34	4	10.8086	70	8	23.1214	106	12	35.4341	142	16	47.7468
35	4	10.8226	71	8	23.1354	107	12	35.4481	143	16	47.7608
36	4	10.8367	72	8	23.1494	108	12	35.5572	144	16	47.7748
37	5	13.8028	73	9	26.1155	109	13	38.4282	145	17	50.7410
38	5	13.8168	74	9	26.1295	110	13	38.4422	146	17	50.7550
39	5	13.8308	75	9	26.1435	111	13	38.4563	147	17	50.7690
40	5	13.8448	76	9	26.1575	112	13	38.4703	148	17	50.7830
41	5	13.8588	77	9	26.1715	113	13	38.4843	149	17	50.7970
42	5	13.8728	78	9	26.1855	114	13	38.4983	150	17	50.8110
43	5	13.8868	79	9	26.1995	115	13	38.5123	151	17	50.8250
44	5	13.9008	80	9	26.2135	116	13	38.5263	152	17	50.8390
45	5	13.9148	81	9	26.2275	117	13	38.5403	153	17	50.8530

(续)

被测 齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm	被测 齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm	被测 齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm	被测 齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm
154	18	53.8192	166	19	56.9394	178	20	60.0596	190	22	66.1319
155	18	53.8332	167	19	56.9534	179	20	60.0736	191	22	66.1459
156	18	53.8472	168	19	56.9674	180	20	60.0876	192	22	66.1599
157	18	53.8612	169	19	56.9814	181	21	63.0537	193	22	66.1739
158	18	53.8752	170	19	56.9954	182	21	63.0677	194	22	66.1879
159	18	53.8892	171	19	57.0094	183	21	63.0817	195	22	66.2019
160	18	53.9032	172	20	59.9755	184	21	63.0957	196	22	66.2159
161	18	53.9172	173	20	59.9895	185	21	63.1097	197	22	66.2299
162	18	53.9312	174	20	60.0035	186	21	63.1237	198	22	66.2439
163	19	56.8972	175	20	60.0175	187	21	63.1377	199	23	69.2101
164	19	56.9113	176	20	60.0315	188	21	63.1517	200	23	69.2241
165	19	56.9254	177	20	60.0456	189	21	63.1657			

注：若模数 *m* 不等于 1mm，其 *W_k* 值等于表中的 *W_k* 值乘 *m*。

内齿轮公法线长度，可以按上表查得，测量方法如图 8-11 所示。

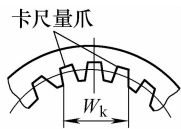


图 8-11 内齿轮测量

3) 径节齿轮公法线长度数值见表 8-37。

表 8-37 径节齿轮公法线长度数值

$$\left(P = 1, \alpha = 14 \frac{1^\circ}{2}\right)$$

被测齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm	被测齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm	被测齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm
12	2	117.518	22	2	118.882	32	3	197.500
13		117.654	23		119.018	33		197.636
14		117.791	24		119.155	34		197.773
15		117.927	25	3	196.545	35		197.909
16		118.064	26		196.682	36		198.046
17		118.200	27		196.818	37		198.182
18		118.336	28		196.954	38	4	275.572
19		118.473	29		197.091	39		275.709
20		118.609	30		197.227	40		275.845
21		118.746	31		197.364	41		275.982

(续)

被测齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm	被测齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm	被测齿轮 总齿数 <i>z</i>	跨越 齿数 <i>k</i>	公法线 长度值 <i>W_k</i> /mm
42	4	276.118	62	5	356.100	82	7	513.336
43		276.254	63	6	433.491	83		513.473
44		276.391	64		433.627	84		513.609
45		276.527	65		433.763	85		513.745
46		276.664	66		433.900	86		513.882
47		276.800	67		434.036	87		514.018
48		276.936	68		434.173	88	8	591.409
49		277.073	69		434.309	89		591.545
50	5	354.463	70	7	434.445	90		591.682
51		354.600	71		434.582	91		591.818
52		354.736	72		434.718	92		591.954
53		354.873	73		434.855	93		592.091
54		355.009	74		434.991	94		592.227
55		355.145	75		512.382	95		592.364
56		355.282	76		512.518	96		592.500
57		355.418	77		512.654	97		592.636
58		355.555	78		512.791	98		592.773
59		355.691	79	8	512.927	99		592.909
60		355.827	80		513.063	100		593.046
61		355.904	81		513.200			

注：若径节 *P* 不等于 1，其 *W_k* 值等于表中的 *W_k* 值被 *P* 除。

(2) 斜齿圆柱齿轮公法线长度测量

1) 公法线长度及跨测齿数计算公式：

公法线长度

$$W_{kn} = m_n \cos \alpha_n [\pi (k - 0.5) + z \operatorname{inv} \alpha_s]$$

式中 *W_{kn}*——法向公法线长度 (mm)；

m_n——法向模数 (mm)；

α_n——法向压力角 (°)；

α_s——端面压力角 (°)；

inv——渐开线函数；

k——跨测齿数。

一般加工时图样上给出 *α_n*，因此可用下面公式计算出 *α_s*。

$$\tan \alpha_s = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$$

式中 *β*——螺旋角 (°)。

跨测齿数

$$k = \frac{\alpha_s z}{180^\circ \cos^3 \beta} + 0.5$$

注意：齿宽 $b \geq W_{kn} \sin \beta$ 才能测量。测量时要在法线上进行（图 8-12）

【例】已知一斜齿轮 $z = 26$, $m_n = 3.25$, $\alpha_n = 20^\circ$, 螺旋角 $\beta = 21^\circ 47' 12''$ 。求该齿轮的公法线长度 W_{kn} 以及跨测齿数 k 。

解：先求出 α_s ：

$$\tan \alpha_s = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 21^\circ 47' 12''} = 0.39196$$

则

$$\alpha_s = 21^\circ 24' 11''$$

再求跨测齿数 k ：

$$\begin{aligned} k &= \frac{\alpha_s z}{180^\circ \cos^3 \beta} + 0.5 \\ &= \frac{21^\circ 24' 11''}{180^\circ} \times \frac{26}{\cos^3 21^\circ 47' 12''} + 0.5 \\ &= 4.17 \approx 4 \end{aligned}$$

由渐开线函数表中查得：

$$\operatorname{inv} \alpha_s = \operatorname{inv} 21^\circ 24' 11'' = 0.0184$$

将上面所得数值代入公法线计算公式：

$$\begin{aligned} W_{kn} &= m_n \cos \alpha_n [\pi(k - 0.5) + z \operatorname{inv} \alpha_s] \\ &= 3.25 \text{mm} \times \cos 20^\circ \times \\ &\quad [3.1416 \times (4 - 0.5) + 26 \times 0.0184] \\ &= 35.042 \text{mm} \end{aligned}$$

2) 渐开线函数表见表 8-38。

表 8-38 渐开线函数表

$\alpha /$ ($^\circ$)	各行前 几位相 同的数字	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
1	0.000	00177	00225	00281	00346	00420	00504	00598	00704	00821	00950	01992	01248
2	0.000	01418	01603	01804	02020	02253	02503	02771	03058	03364	03689	04035	04402
3	0.000	04790	05201	05634	06091	06573	07079	07610	08167	08751	09362	10000	10668
4	0.000	11364	12090	12847	13634	14453	15305	16189	17107	18059	19045	20067	21125
5	0.000	22220	23352	24522	25731	26978	28266	29594	30963	32374	33827	35324	36864
6	0.00	03845	04008	04175	04347	04524	04706	04897	05093	05280	05481	05687	05898
7	0.00	06115	06337	06564	06797	07035	07279	07528	07783	08044	08310	08582	08861
8	0.00	09145	09435	09732	10034	10343	10559	10980	11308	11643	11984	12332	12687
9	0.00	13048	13416	13792	14174	14563	14960	15363	15774	16193	16618	17051	17492

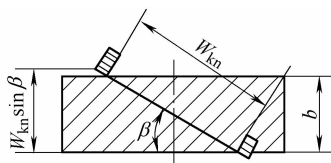


图 8-12 $b < W_{kn} \sin \beta$ 时斜齿轮不能测量公法线长度示意图

(续)

α / (°)	各行前 几位相 同的数字	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
10	0.00	17941	18397	18860	19332	19812	20299	20795	21299	21810	22330	22859	23396
11	0.00	23941	24495	25057	25628	26208	26797	27394	28001	28616	29241	29875	30518
12	0.00	31171	31832	32504	33185	33875	34575	35285	36005	36735	37474	38224	38984
13	0.00	39754	40534	41325	42126	42938	43760	44593	45437	46291	47157	48033	48921
14	0.00	49819	50729	51650	52582	53526	54482	55448	56427	57417	58420	59434	60460
15	0.00	61498	62548	63611	64686	65773	66873	67985	69110	70248	71398	72561	73738
16	0.0	07493	07613	07735	07857	07982	08107	08234	08362	08492	08623	08756	08889
17	0.0	09025	09161	09299	09439	09580	09722	09866	10012	10158	10307	10456	10608
18	0.0	10760	10915	11071	11228	11387	11547	11709	11873	12038	12205	12373	12543
19	0.0	12715	12888	13063	13240	13418	13598	13779	13963	14148	14334	14523	14713
20	0.0	14904	15098	15293	15490	15689	15890	16092	16296	16502	16710	16920	17132
21	0.0	17345	17560	17777	17996	18217	18440	18665	18891	19120	19350	19583	19817
22	0.0	20054	20292	20533	20775	21019	21266	21514	21765	22018	22272	22529	22788
23	0.0	23049	23312	23577	23845	24114	24386	24660	24936	25214	25495	25778	26062
24	0.0	26350	26639	26931	27225	27521	27820	28121	28424	28729	29037	29348	29660
25	0.0	29975	30293	30613	30935	31260	31587	31917	32249	32583	32920	33260	33602
26	0.0	33947	34294	34644	34997	35352	35709	36069	36432	36798	37166	37537	37910
27	0.0	38287	38666	39047	39432	39819	40209	40602	40997	41395	41797	42201	42607
28	0.0	43017	43430	43845	44264	44685	45110	45537	45967	46400	46837	47276	47718
29	0.0	48164	48612	49064	49518	49976	50437	50901	51368	51838	52312	52788	53268
30	0.0	53751	54238	54728	55221	55717	56217	56720	57226	57736	58249	58765	59285
31	0.0	59809	60336	60866	61400	61937	62478	63022	63570	64122	64677	65236	65799
32	0.0	66364	66934	67507	68084	68665	69250	69838	70430	71026	71626	72230	72838
33	0.0	73449	74064	74684	75307	75934	76565	77200	77839	78483	79130	79781	80437
34	0.0	81097	81760	82428	83100	83777	84457	85142	85832	86525	87223	87925	88631
35	0.0	89342	90058	90777	91502	92230	92963	93701	94443	95190	95924	96698	97459
36	0.	09822	09899	09977	10055	10133	10212	10292	10371	10452	10533	10614	10696
37	0.	10778	10861	10944	11028	11113	11197	11283	11369	11455	11542	11630	11718
38	0.	11806	11895	11985	12075	12165	12257	12348	12441	12534	12627	12721	12815
39	0.	12911	13006	13102	13199	13297	13395	13493	13592	13692	13792	13893	13995
40	0.	14097	14200	14303	14407	14511	14616	14722	14829	14936	15043	15152	15261
41	0.	15370	15480	15591	15703	15815	15928	16041	16156	16270	16386	16502	16619
42	0.	16737	16855	16974	17093	17214	17336	17457	17579	17702	17826	17951	18076
43	0.	18202	18329	18457	18585	18714	18844	18975	19106	19238	19371	19505	19639
44	0.	19774	19910	20047	20185	20323	20463	20603	20743	20885	21028	21171	21315

(续)

$\alpha/$ (°)	各行前 几位相 同的数字	0′	5′	10′	15′	20′	25′	30′	35′	40′	45′	50′	55′
45	0.	21460	21606	21753	21900	22049	22108	22348	22490	22651	22804	22958	23112
46	0.	23268	23424	23582	23740	23899	24059	24220	24382	24545	24709	24874	25040
47	0.	25206	25374	25513	25713	25883	26055	26228	26401	26576	26752	26929	27107
48	0.	27285	27465	27646	27828	28012	28196	28381	28567	28755	28943	29133	29324
49	0.	29516	29709	29903	30098	30295	30492	30691	30891	31092	31295	31493	31703
50	0.	31909	32116	32324	32534	32745	32957	33171	33385	33601	33818	34037	34257
51	0.	34478	34700	34924	35149	35376	35604	35833	36063	36295	36529	36763	36990
52	0.	37237	37476	37716	37958	38202	38446	38693	38941	39190	39441	39693	39947
53	0.	40202	40459	40717	40977	41239	41502	41767	42034	42302	42571	42843	43116
54	0.	43390	43667	43945	44225	44506	44789	45074	45361	45650	45904	46232	46526
55	0.	46822	47119	47419	47720	48023	48328	48635	48944	49255	49568	49882	50199
56	0.	50518	50838	51161	51486	51813	52141	52472	52805	53141	53478	53817	54159
57	0.	54503	54849	55197	55547	55900	56255	56612	56972	57333	57698	58064	58433
58	0.	58804	59178	59554	59933	60314	60697	61083	61472	61863	62257	62653	63052
59	0.	63454	63858	64265	64674	65086	65501	65919	66340	66763	67189	67618	68050

注：用法说明

1. 找出角 $\alpha = 14^{\circ}30'$ 的 inv 。 $\text{inv}\alpha = 0.0055448$ 。
2. 找出角 $\alpha = 22^{\circ}18'25''$ 的 inv 。在表中找出 $\text{inv}22^{\circ}15' = 0.020775$ 。表中 $5'$ ($300''$) 的差为 0.000244 ，
附加的 $3'25''$ ($205''$) 的 inv 数值应为 $\frac{0.000244 \times 205}{300} = 0.000167$ ，因此 $\text{inv}22^{\circ}18'25'' = 0.020775 + 0.000167 = 0.020942$ 。

(3) 公法线平均长度偏差及公差

1) 外齿轮公法线平均长度上偏差 E_{wms} (为负值) 内齿轮公法线平均长度下偏差 E_{wmi} (为正值) 见表 8-39。

表 8-39 外齿轮公法线平均长度上偏差 E_{wms} (为负值)

内齿轮公法线平均长度下偏差 E_{wmi} (为正值) (单位: μm)

侧 隙 种 类	齿 轮 第Ⅱ 公差 组公 差等 级	法 向 模 数 /mm	分 度 圆 直 径/mm													
			≤ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 125	> 125 ~ 180	> 180 ~ 250	> 250 ~ 315	> 315 ~ 400	> 400 ~ 500	> 500 ~ 630	> 630 ~ 800	> 800 ~ 1000	> 1000 ~ 1250	> 1250 ~ 1600	> 1600 ~ 2000
b	3	$\geq 1 \sim 10$	63	71	80	100	112	125	125	140	160	180	200	250	280	355
		$> 10 \sim 25$	—	—	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355
	4	$\geq 1 \sim 10$	63	71	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355
		$> 10 \sim 25$	—	—	90	100	112	125	140	160	160	180	224	250	280	355

(续)

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分 度 圆 直 径/mm															
			≤50	>50 ~80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800	>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500	
b	5	≥1~10 >10~25	71 —	80 —	90 100	100 112	112 125	125 140	140 140	160 160	180 180	200 200	224 224	250 250	315 315	355 355	400 400	
	6	≥1~10 >10~25	80 —	90 —	100 112	112 125	125 140	140 160	140 160	160 160	180 180	200 200	224 224	250 280	315 315	355 355	400 450	
	7	≥1~10 >10~25	90 —	100 —	112 125	125 140	140 160	140 180	160 180	160 200	180 224	200 224	250 250	280 280	315 315	400 450	450 450	
	8	≥1~10 >10~25	100 —	112 —	125 140	140 160	160 180	180 180	200 200	200 224	224 224	250 250	280 280	315 315	400 355	450 400	500 450	
	9	≥1~10 >10~25	112 —	125 —	140 200	160 200	180 200	200 224	200 224	224 250	250 280	280 315	280 355	315 400	355 400	450 450	500 500	
	10	≥1~10 >10~25	140 —	160 —	180 224	180 250	200 250	224 250	224 280	250 280	280 315	315 355	355 355	355 400	400 450	450 560	500 560	
c	3	≥1~10 >10~25	40 —	50 —	56 56	63 63	71 71	80 80	90 90	100 100	100 112	125 125	140 140	160 160	180 180	224 224	250 250	
	4	≥1~10 >10~25	45 —	50 —	56 63	63 71	71 80	80 90	90 90	100 100	112 112	125 125	140 140	160 160	180 200	224 224	250 280	
	5	≥1~10 >10~25	50 —	63 —	63 80	71 90	80 90	90 100	100 112	100 112	112 125	125 140	140 160	160 180	200 200	224 250	280 280	
	6	≥1~10 >10~25	56 —	63 —	71 80	80 90	90 100	100 112	112 125	112 125	125 140	140 160	160 180	180 200	200 200	250 250	280 280	
	7	≥1~10 >10~25	71 —	71 —	80 100	90 112	100 125	112 125	125 140	140 140	140 160	160 180	180 200	200 224	224 250	250 280	315 315	
	8	≥1~10 >10~25	80 —	90 —	100 125	100 140	112 140	125 160	140 160	140 160	160 180	180 200	200 224	224 250	250 280	280 315	315 355	
	9	≥1~10 >10~25	100 —	112 —	125 160	125 180	140 180	160 200	160 200	180 224	180 224	200 224	224 250	250 280	280 315	315 355	355 450	
	10	≥1~10 >10~25	125 —	140 —	140 200	160 200	160 224	180 224	180 250	200 250	200 280	224 280	250 280	280 315	315 355	355 400	400 450	

(续)

侧 隙 种 类	齿 第Ⅱ 公差 组公 差等 级	法向 模数 /mm	分 度 圆 直 径/mm														
			≤50	>50 ~80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800	>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
d	3	≥1~10	28	32	40	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140	180
		>10~25	—	—	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
	4	≥1~10	36	40	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
		>10~25	—	—	50	56	63	63	63	71	80	90	100	112	125	160	180
	5	≥1~10	40	45	50	56	63	63	71	71	80	90	100	112	140	160	200
		>10~25	—	—	56	63	71	80	80	90	100	112	112	125	140	160	200
	6	≥1~10	50	56	56	63	71	71	80	90	90	100	125	125	140	160	200
		>10~25	—	—	71	80	90	90	90	90	100	112	125	140	160	200	200
e	7	≥1~10	56	63	71	80	80	90	90	100	112	125	140	160	180	200	224
		>10~25	—	—	80	90	100	112	112	125	140	140	140	160	180	224	250
	8	≥1~10	71	71	80	90	100	112	112	112	125	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	112	112	112	125	125	140	160	160	160	180	200	224	280
	9	≥1~10	90	100	112	112	125	140	140	140	140	160	180	200	224	280	315
		>10~25	—	—	140	140	160	160	180	180	200	200	224	224	250	280	315
	10	≥1~10	112	125	125	140	160	160	160	160	180	180	200	224	250	280	355
		>10~25	—	—	180	180	200	200	200	224	224	250	280	280	280	315	355
e	3	≥1~10	22	25	28	32	36	40	40	45	50	56	63	71	90	100	125
		>10~25	—	—	36	40	40	40	45	50	56	56	63	80	90	100	125
	4	≥1~10	25	28	32	36	40	40	45	45	50	56	63	80	90	100	125
		>10~25	—	—	36	40	45	50	50	56	63	71	71	80	90	112	125
	5	≥1~10	32	36	40	45	50	50	56	63	71	71	80	90	100	112	140
		>10~25	—	—	50	56	56	56	63	63	71	80	90	100	112	125	140
	6	≥1~10	40	45	50	56	56	56	63	63	71	80	90	100	112	140	140
		>10~25	—	—	63	63	71	71	80	80	90	100	100	112	125	140	160
e	7	≥1~10	50	56	56	63	71	80	80	80	90	90	100	125	140	160	180
		>10~25	—	—	80	90	90	90	90	100	112	112	125	140	140	180	200
	8	≥1~10	63	63	71	80	80	90	90	100	112	112	125	125	140	180	200
		>10~25	—	—	100	100	112	112	125	125	125	140	140	160	180	200	224
	9	≥1~10	80	90	90	100	112	112	125	125	140	140	160	160	180	224	250
		>10~25	—	—	140	140	140	140	160	160	160	180	200	200	224	250	280
	10	≥1~10	100	112	112	125	140	140	160	160	160	180	200	200	224	250	280
		>10~25	—	—	160	160	180	180	180	200	200	224	224	250	280	315	315

2) 公法线平均长度公差 T_{wm} 见表 8-40。

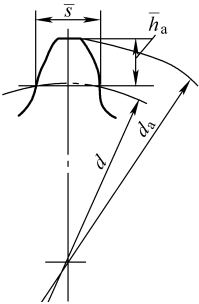
表 8-40 公法线平均长度公差 T_{wm} (单位: μm)

齿厚 公差 等级	法向 模数 /mm	分度圆直径/mm														
		≤ 50	> 50 ~ 80	> 80 ~ 125	> 125 ~ 180	> 180 ~ 250	> 250 ~ 315	> 315 ~ 400	> 400 ~ 500	> 500 ~ 630	> 630 ~ 800	> 800 ~ 1000	> 1000 ~ 1250	> 1250 ~ 1600	> 1600 ~ 2000	> 2000 ~ 2500
3	$\geq 1 \sim 25$	14	16	20	25	28	32	32	36	40	45	50	71	80	100	112
4		14	22	25	28	32	36	45	45	50	56	63	80	90	125	140
5		20	25	28	32	36	45	50	50	56	71	90	100	112	140	160
6		25	32	36	45	50	50	63	71	80	90	100	125	140	180	200
7		28	36	45	50	63	71	71	80	90	112	125	140	160	224	250
8		36	45	56	63	71	90	90	100	125	140	160	180	200	280	315
9		45	56	63	80	100	112	112	125	160	180	200	224	280	355	400
10		56	71	90	100	125	140	140	160	180	224	250	280	355	450	500

8.8.2 分度圆弦齿厚的测量

(1) 计算公式 (表 8-41)

表 8-41 计算公式



分度圆弦齿厚 \bar{s}	分度圆弦齿高 \bar{h}_a
$\bar{s} = mz \sin \frac{90^\circ}{z}$	$\bar{h}_a = \frac{m}{2} \left[2 + z \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right]$

注: 1. 测量斜齿轮时, 应以法向模数 m_n 和当量齿数 z_v 来代替公式中的 m 和 z 。
2. 测量锥齿轮时, 测量位置应取在大头, 所以应以大端模数和当量齿数 z_v 来代替公式中的 m 和 z 。

(2) 分度圆弦齿厚的测量尺寸 (表 8-42)

表 8-42 分度圆弦齿厚的测量尺寸 ($m = 1\text{mm}$) (单位: mm)

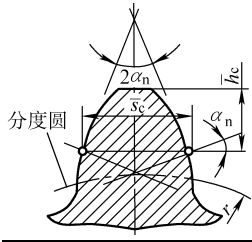
齿数	弦齿厚	弦齿高	齿数	弦齿厚	弦齿高	齿数	弦齿厚	弦齿高	齿数	弦齿厚	弦齿高
z	\bar{s}	\bar{h}_a	z	\bar{s}	\bar{h}_a	z	\bar{s}	\bar{h}_a	z	\bar{s}	\bar{h}_a
10	1.5643	1.0615	35	1.5703	1.0176	60	1.5706	1.0103	85	1.5707	1.0073
11	1.5655	1.0560	36	1.5703	1.0171	61	1.5706	1.0101	86	1.5707	1.0072
12	1.5663	1.0513	37	1.5703	1.0167	62	1.5706	1.0100	87	1.5707	1.0071
13	1.5669	1.0474	38	1.5703	1.0162	63	1.5706	1.0098	88	1.5707	1.0070
14	1.5675	1.0440	39	1.5704	1.0158	64	1.5706	1.0096	89	1.5707	1.0069
15	1.5679	1.0411	40	1.5704	1.0154	65	1.5706	1.0095	90	1.5707	1.0069
16	1.5683	1.0385	41	1.5704	1.0150	66	1.5706	1.0093	91	1.5707	1.0068
17	1.5686	1.0363	42	1.5704	1.0146	67	1.5706	1.0092	92	1.5707	1.0067
18	1.5688	1.0342	43	1.5704	1.0143	68	1.5706	1.0091	93	1.5707	1.0066
19	1.5690	1.0324	44	1.5705	1.0140	69	1.5706	1.0089	94	1.5707	1.0065
20	1.5692	1.0308	45	1.5705	1.0137	70	1.5706	1.0088	95	1.5707	1.0065
21	1.5693	1.0294	46	1.5705	1.0134	71	1.5707	1.0087	96	1.5707	1.0064
22	1.5694	1.0280	47	1.5705	1.0131	72	1.5707	1.0086	97	1.5707	1.0064
23	1.5695	1.0268	48	1.5705	1.0128	73	1.5707	1.0084	98	1.5707	1.0063
24	1.5696	1.0257	49	1.5705	1.0126	74	1.5707	1.0083	99	1.5707	1.0062
25	1.5697	1.0247	50	1.5705	1.0124	75	1.5707	1.0082	100	1.5707	1.0062
26	1.5698	1.0237	51	1.5705	1.0121	76	1.5707	1.0080	105	1.5708	1.0059
27	1.5698	1.0228	52	1.5706	1.0119	77	1.5707	1.0080	110	1.5708	1.0056
28	1.5699	1.0220	53	1.5706	1.0116	78	1.5707	1.0079	115	1.5708	1.0054
29	1.5700	1.0212	54	1.5706	1.0114	79	1.5707	1.0078	120	1.5708	1.0051
30	1.5701	1.0205	55	1.5706	1.0112	80	1.5707	1.0077	125	1.5708	1.0049
31	1.5701	1.0199	56	1.5706	1.0110	81	1.5707	1.0076	127	1.5708	1.0048
32	1.5702	1.0193	57	1.5706	1.0108	82	1.5707	1.0075	130	1.5708	1.0047
33	1.5702	1.0187	58	1.5706	1.0106	83	1.5707	1.0074	135	1.5708	1.0046
34	1.5702	1.0181	59	1.5706	1.0104	84	1.5707	1.0073	140	1.5708	1.0044
									145	1.5708	1.0042
									150	1.5708	1.0041
									齿条	1.5708	1.0000

注: 测量斜齿轮和锥齿轮时, 应按当量齿数 z_v 来查表。若 $m \neq 1\text{mm}$ 时, 表中数值乘以 m 。

8.8.3 固定弦齿厚的测量

(1) 计算公式 (表 8-43)

表 8-43 计算公式

计 算 简 图	计 算 公 式	简化计算公式		
	固定弦齿厚 $\bar{s}_c = \frac{\pi}{2} m_n \cos^2 \alpha_n$	α_n	\bar{s}_c	\bar{h}_c
	固定弦齿高 $\bar{h}_c = h_a - \frac{\pi}{8} m_n \sin 2\alpha_n$	20°	$1.387 m_n$	$0.748 m_n$
	式中 m_n —法向模数 (mm); α_n —法向压力角 (°); h_a —齿顶高 (mm)	$14 \frac{1}{2}^\circ$	$1.472 m_n$	$0.810 m_n$

(2) 固定弦齿厚测量尺寸 (表 8-44)

表 8-44 固定弦齿厚测量尺寸 (单位: mm)

m	$\alpha_n = 20^\circ$		m	$\alpha_n = 20^\circ$		m	$\alpha_n = 20^\circ$	
	\bar{s}_c	\bar{h}_c		\bar{s}_c	\bar{h}_c		\bar{s}_c	\bar{h}_c
1	1.3871	0.7476	4	5.5482	2.9903	10	13.8705	7.4757
1.25	1.7338	0.9344	4.25	5.8950	3.1772	11	15.2575	8.2233
1.5	2.0806	1.1214	4.5	6.2417	3.3641	12	16.6446	8.9709
1.75	2.4273	1.3082	4.75	6.5885	3.5510	13	18.0316	9.7185
2	2.7741	1.4951	5	6.9353	3.7379	14	19.4187	10.4661
2.25	3.1209	1.6820	5.5	7.6288	4.1117	15	20.8057	11.2137
2.5	3.4677	1.8689	6	8.3223	4.4854	16	22.1928	11.9612
2.75	3.8144	2.0558	6.5	9.0158	4.8592	18	24.9669	13.4564
3	4.1612	2.2427	7	9.7093	5.2330	20	27.7410	14.9515
3.25	4.5079	2.4296	7.5	10.4029	5.6068	22	30.5151	16.4467
3.5	4.8547	2.6165	8	11.0964	5.9806	24	33.2892	17.9419
3.75	5.2017	2.8034	9	12.4834	6.7282	25	34.6762	18.6895

注: 测量斜齿轮时, 应按法向模数 m_n 来查表。测量锥齿轮时, 应按大端模数来查表。

8.8.4 齿厚上偏差及公差

(1) 齿厚上偏差 E_{ss} (表 8-45)

表 8-45 齿厚上偏差 E_{ss} (为负值) (单位: μm)

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分 度 圆 直 径/mm														
			≤ 50	$> 50 \sim 80$	$> 80 \sim 125$	$> 125 \sim 180$	$> 180 \sim 250$	$> 250 \sim 315$	$> 315 \sim 400$	$> 400 \sim 500$	$> 500 \sim 630$	$> 630 \sim 800$	$> 800 \sim 1000$	$> 1000 \sim 1250$	$> 1250 \sim 1600$	$> 1600 \sim 2000$	> 2000
b	3	$\geq 1 \sim 10$	63	71	80	100	112	125	125	140	160	180	200	250	280	355	400
		$> 10 \sim 25$	—	—	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
	4	$\geq 1 \sim 10$	63	71	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
		$> 10 \sim 25$	—	—	90	100	112	125	140	160	160	180	224	250	280	355	400
	5	$\geq 1 \sim 10$	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		$> 10 \sim 25$	—	—	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
	6	$\geq 1 \sim 10$	71	80	90	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		$> 10 \sim 25$	—	—	100	112	125	140	160	160	180	200	224	280	315	355	450
	7	$\geq 1 \sim 10$	80	90	100	112	125	140	160	160	180	200	250	280	315	400	450
		$> 10 \sim 25$	—	—	112	125	140	160	160	180	200	224	250	280	315	400	450
	8	$\geq 1 \sim 10$	90	100	112	125	140	160	160	180	200	224	250	280	315	400	450
		$> 10 \sim 25$	—	—	125	140	160	160	180	200	200	224	250	315	355	400	450

(续)

侧隙种类	齿第Ⅱ公差组公差等级	法向模数/mm	分 度 圆 直 径/mm														
			≤50	>50 ~80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800	>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
b	9	≥1~10	100	112	125	140	160	180	180	200	224	250	280	315	355	450	500
		>10~25	—	—	160	160	160	200	200	224	250	280	315	355	400	450	500
	10	≥1~10	125	140	160	160	180	200	200	224	250	280	315	355	400	450	500
		>10~25	—	—	180	200	200	224	250	250	280	315	315	355	400	500	560
c	3	≥1~10	40	50	56	63	71	80	90	100	100	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
	4	≥1~10	45	50	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	63	71	80	90	90	100	112	125	140	160	200	224	280
	5	≥1~10	45	56	63	71	80	90	100	100	112	125	140	160	200	224	280
		>10~25	—	—	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	200	250	280
	6	≥1~10	50	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	250	280
		>10~25	—	—	71	80	90	100	112	112	125	140	160	180	200	250	280
	7	≥1~10	56	63	71	80	90	100	112	125	125	140	160	200	224	250	315
		>10~25	—	—	80	90	100	112	125	125	140	160	180	200	224	280	315
	8	≥1~10	63	71	80	90	100	112	125	125	140	160	180	200	224	280	315
		>10~25	—	—	100	112	112	125	140	140	160	180	200	224	250	280	315
	9	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160	160	180	200	224	280	315	355
		>10~25	—	—	125	140	140	160	160	180	180	200	224	250	280	315	400
	10	≥1~10	100	112	125	140	140	160	180	180	180	200	224	250	280	315	400
		>10~25	—	—	160	160	180	180	200	200	224	224	250	280	315	355	400
d	3	≥1~10	28	32	40	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140	180
		>10~25	—	—	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
	4	≥1~10	32	36	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
		>10~25	—	—	45	50	56	63	63	71	80	90	100	112	125	160	180
	5	≥1~10	36	40	45	50	56	63	71	71	80	90	100	112	140	160	200
		>10~25	—	—	50	56	63	71	71	80	90	100	112	125	140	160	200
	6	≥1~10	40	45	50	56	63	63	71	80	80	90	112	125	140	160	200
		>10~25	—	—	56	63	71	71	80	80	90	100	112	125	140	180	200
	7	≥1~10	45	50	56	63	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	224
		>10~25	—	—	63	71	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200	224
	8	≥1~10	56	56	63	71	80	90	90	100	112	125	140	160	200	200	224
		>10~25	—	—	80	90	90	100	100	112	125	125	140	160	180	200	250
	9	≥1~10	71	80	90	90	100	112	112	125	125	140	160	180	200	250	280
		>10~25	—	—	100	112	125	125	140	140	160	160	180	200	224	250	280
	10	≥1~10	90	100	100	112	125	125	140	140	160	160	180	200	224	250	315
		>10~25	—	—	140	140	160	160	160	180	180	200	224	224	250	280	315

(续)

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
			≤50	>50 ~80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800	>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
e	3	≥1~10	22	25	28	32	36	40	40	45	50	56	63	71	90	100	125
		>10~25	—	—	32	36	36	40	45	50	56	56	63	80	90	100	125
	4	≥1~10	22	25	28	32	36	40	45	45	50	56	63	80	90	100	125
		>10~25	—	—	32	36	40	45	45	50	56	63	71	80	90	112	125
	5	≥1~10	28	32	36	40	45	45	50	56	63	63	71	90	100	112	140
		>10~25	—	—	40	45	50	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140
	6	≥1~10	32	36	40	45	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140
		>10~25	—	—	45	50	56	56	63	63	71	80	90	100	112	125	140
	7	≥1~10	36	40	45	50	56	63	63	71	80	80	90	112	125	140	160
		>10~25	—	—	56	63	63	71	71	80	90	90	100	112	125	160	180
	8	≥1~10	45	50	56	63	63	71	71	80	90	90	100	112	125	160	180
		>10~25	—	—	71	71	80	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200
	9	≥1~10	63	71	71	80	90	90	100	100	112	125	140	140	160	200	224
		>10~25	—	—	100	100	112	112	125	125	125	140	160	160	180	224	250
	10	≥1~10	80	90	90	100	112	112	125	125	140	140	160	180	200	224	250
		>10~25	—	—	125	125	140	140	140	160	160	180	180	200	224	250	280

(2) 齿厚公差 T_s 。(表 8-46)

表 8-46 齿厚公差 T_s (单位: μm)

齿厚公差等级	法向模数/mm	分度圆直径/mm														
		≤50	>50 ~80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630	>630 ~800	>800 ~1000	>1000 ~1250	>1250 ~1600	>1600 ~2000	>2000 ~2500
3	≥1~10	20	22	28	32	36	40	40	45	50	56	63	80	90	112	125
	>10~25	—	—	28	32	36	40	45	50	50	56	71	80	90	112	125
4	≥1~10	25	32	36	40	45	50	56	56	63	71	80	100	112	140	160
	>10~25	—	—	40	45	50	50	56	63	71	80	90	100	112	140	160
5	≥1~10	36	40	45	50	56	63	71	71	80	90	112	125	140	180	200
	>10~25	—	—	50	56	63	71	71	80	90	100	112	125	140	180	200
6	≥1~10	50	56	63	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
	>10~25	—	—	71	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200	224	280
7	≥1~10	63	71	80	90	100	112	112	125	140	160	180	200	224	280	315
	>10~25	—	—	100	112	112	125	125	140	160	160	180	200	250	280	355
8	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	280	355	400
	>10~25	—	—	125	140	140	160	160	180	180	200	224	250	315	355	400
9	≥1~10	100	112	125	146	160	180	180	200	224	250	280	315	355	450	500
	>10~25	—	—	160	160	180	200	200	224	250	280	315	355	400	450	560
10	≥1~10	125	140	160	180	200	224	224	250	280	315	355	400	450	560	630
	>10~25	—	—	200	224	224	250	250	280	315	315	355	400	500	560	710

第9章 钳工技术

9.1 划线

划线分平面划线和立体划线两种。平面划线是指在工件的一个表面（即工件的二坐标体系内）上划线就能表示出加工界线的划线（图 9-1），例如在板料上划线，在盘状工件端面上划线等。而立体划线是指在工件的几个不同表面（即工件的三坐标体系内）上划线才能明确表示出加工界线的划线（图 9-2），例如在支架、箱体、曲轴等工件上划线。

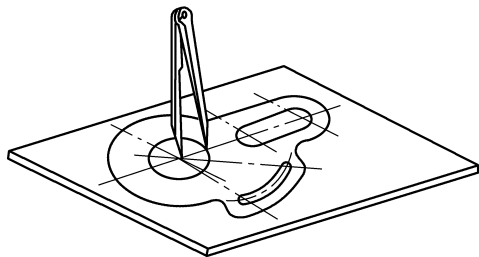


图 9-1 平面划线

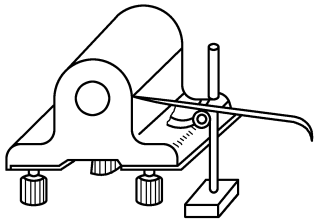


图 9-2 立体划线

9.1.1 划线基准的选择

- (1) 划线基准选择原则
- 1) 划线基准应尽量与设计基准重合。
 - 2) 对称形状的工件，应以对称中心线为基准。
 - 3) 有孔或搭子的工件，应以主要的孔或搭子的中心线为基准。
 - 4) 在未加工的毛坯上划线，应以主要不加工面作基准。
 - 5) 在加工过的工件上划线，应以加工过的表面作基准。

- (2) 常用划线基准类型
- 1) 以两个互相垂直的平面（或线）为基准。如图 9-3 零件在两个相互垂直的平面（在图样上是一条线）的方向上都有尺寸要求。因此，应以两个相互垂直的平面为尺寸基准。

- 2) 以一个平面（或直线）和一条中心线为基准。如图 9-4 所示，零件高度方向的尺寸是以底面为依据，宽度方向的尺寸对称于中心线。因此，在

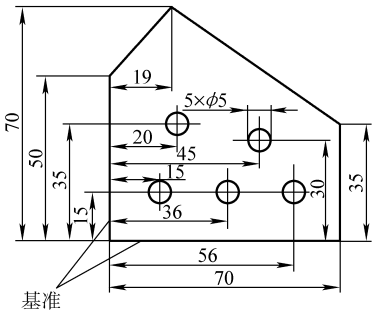


图 9-3 以两个互相垂直的平面为尺寸基准

划高度尺寸线时应以底面为尺寸基准，划宽度尺寸线时应以中心线为尺寸基准。

3) 以两条相互垂直的中心线为基准。如图 9-5 所示零件两个方向的尺寸与其中心线具有对称性，并且其他尺寸也是从中心线开始标注。因此在划线时应选择中心十字线为尺寸基准。

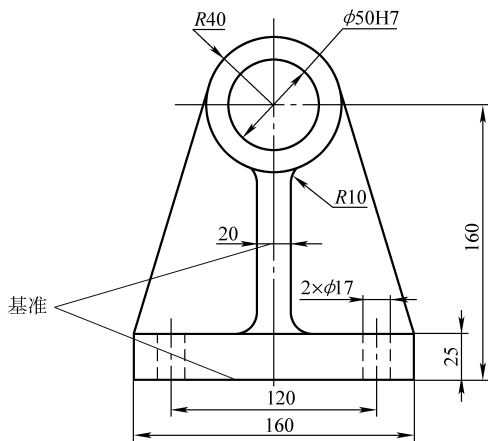


图 9-4 以一个平面和一条中心线为基准

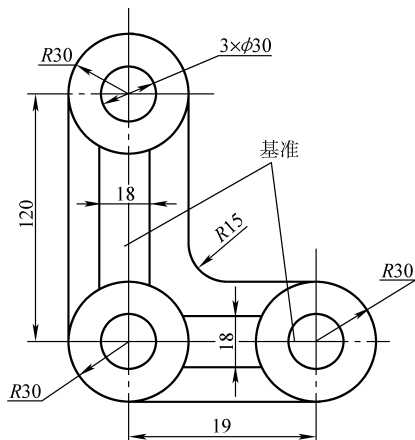


图 9-5 以两条相互垂直的中心线为基准

以上三种情况均以设计基准作为划线基准，是用于平面划线的。

对于工艺要求复杂的工件，为了保证加工质量，需要分几次划线才能完成整个划线工作。对同一个零件，在毛坯件上划线称之为第一次划线，待车或铣等加工后，再进行

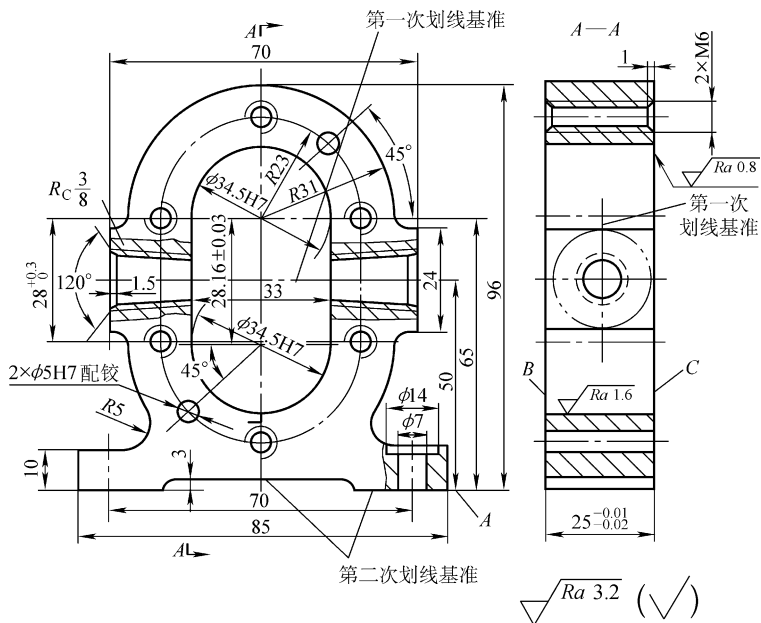


图 9-6 齿轮泵体

划线时,则称之为第二次划线……。在选择划线基准时,需要根据不同划线次数,选择不同的划线基准,这种方法称“按划线次数选择划线基准”。如图9-6所示为齿轮泵体零件,第一次划线时,应选择 $\phi 24\text{mm}$ 凸台的水平中心线为基准,距50mm划出底面A的加工线,并以底面A的厚度方向垂直中心线为基准,划出侧面B、C的加工线(选择 $\phi 24\text{mm}$ 凸台为基准,保证了Rc3/8螺孔与凸台壁厚的均匀)。第二次划线是在A、B、C三个面加工后进行,这时应选择底面A为基准(划线基准与设计基准一致),划出距底面A为50mm的Rc3/8螺孔的中心线,这样保证了划线质量。

此外,对圆形零件进行划线时,应以圆形零件的轴线为基准。对对称形零件进行划线时,应以零件的对称轴线为划线基准。

9.1.2 划线时的校正和借料

(1) 校正的目的和原则

1) 若毛坯工件上有不加工表面时,应按不加工面校正后再划线,这样可使待加工表面与不加工表面之间的尺寸均匀。

2) 若工件上有两个以上的不加工表面时,应选择其中面积较大的、较重要的或外观质量要求较高的面作为校正基准,并兼顾其他较次要的不加工表面。这样可使划线后各不加工面之间厚度均匀,并使其形状误差反映到次要部位或不显著的部位上。

3) 当毛坯工件上没有不加工表面时,通过对各待加工表面自身位置的校正后再划线。这样能使各加工表面的加工余量得到合理均匀的分布。

4) 对于有装配关系的非加工部位,应优先作为校正基准,以保证工件经划线和加工后能顺利地进行装配。

(2) 借料

对有些铸件或锻件毛坯,按划线基准进行划线时,会出现零件毛坯某些部位的加工余量不够。通过调整和试划,将各部位的加工余量重新分配,以保证各部位的加工表面均有足够的加工余量,使有误差的毛坯得以补救,这种用划线来补救的方法称为借料。

对毛坯零件借料划线的步骤如下:

1) 测量毛坯件的各部尺寸,找出偏移部位及偏移量。

2) 根据毛坯偏移量对照各表面加工余量,分析此毛坯划线是否划得出,如确定划得出,则应确定借料的方向及尺寸,划出基准线。

3) 按图样要求,以基准线为依据,划出其余所有的线。

4) 复查各表面的加工余量是否合理,如发现还有的表面加工余量不够,则应继续借料重新划线,直至各表面都有合适的加工余量为止。

借料划线举例:图9-7a所示为某箱体铸件毛坯的实际尺寸,图9-7b所示为箱体图样标注的尺寸(已略去其他视图及借料无关的尺寸)。

1) 如果不采用借料,分析各加工平面的余量。首先应选择两相互垂直的平面A、B为划线基准(考虑各面余量均为3mm)。

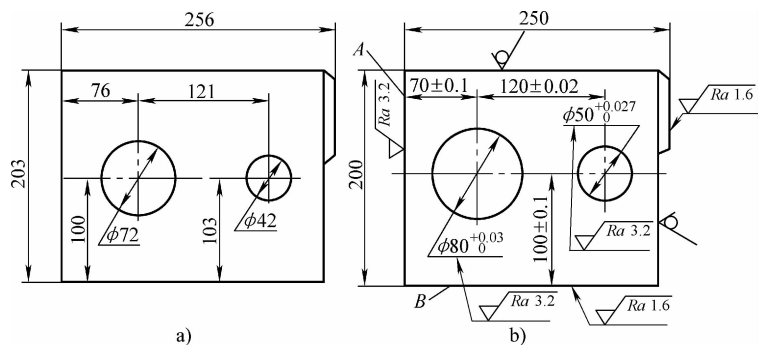


图 9-7 箱体示意图

a) 毛坯的实际尺寸 b) 图样标注的尺寸

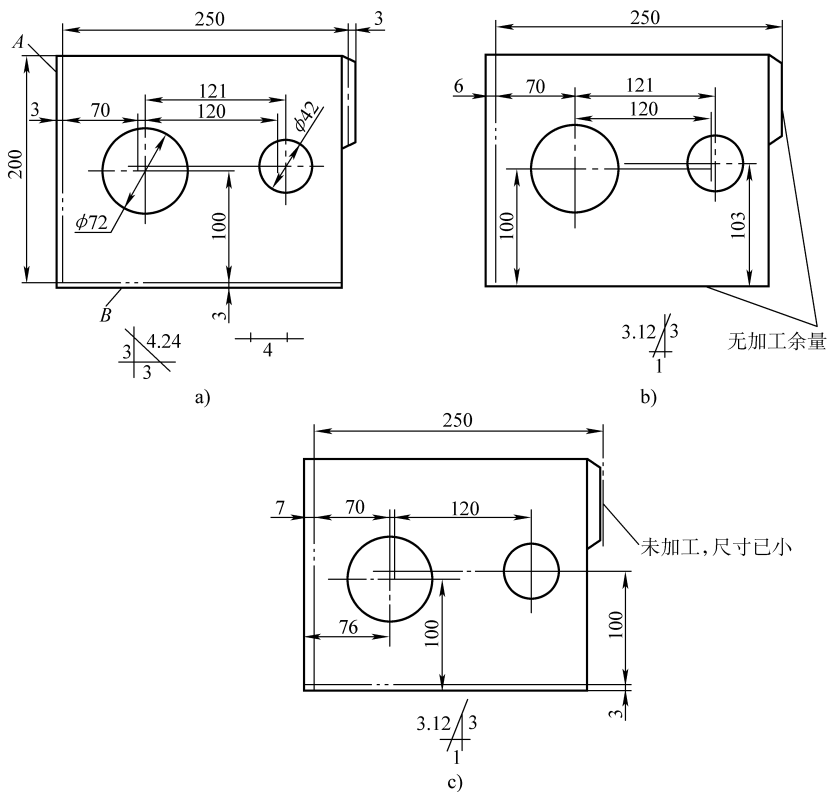


图 9-8 不借料时划线出现的情况

- ① 大孔的划线中心与毛坯孔中心相差 4.24mm (图 9-8a)。
- ② 小孔的划线中心与毛坯孔中心相差 4mm (图 9-8a)。
- ③ 如果不借料, 以大孔毛坯中心为基准来划线 (图 9-8b), 则底面与右侧面均无加工余量, 此时小孔的单边余量最小处不到 0.9mm, 很可能镗不圆。

④ 如果不借料, 以小孔毛坯中心为基准来划线 (图 9-8c), 则右侧面不但没有加工余量, 还比图样尺寸小了 1mm, 这时大孔的单边余量最小处不到 0.9mm, 很可能镗不圆。

2) 若采用借料划线, 其尺寸分析 (图 9-9) 如下:

① 经借料后各平面加工余量分别为 4.5mm、2mm、1.5mm。

② 将大孔中心往上借 2mm, 往左借 1.5mm (孔的中心实际借偏约 2.5mm)。大孔获得单边最小加工余量为 1.5mm。

③ 将小孔中心往下借 1mm, 往左借 2.5mm (孔的中心实际借偏约 2.7mm)。小孔获得单边最小加工余量为 1.3mm。

应当指出, 通过借料, 高度尺寸比图样要求尺寸超出 1mm 一般是允许的, 否则应考虑其他方法借正。

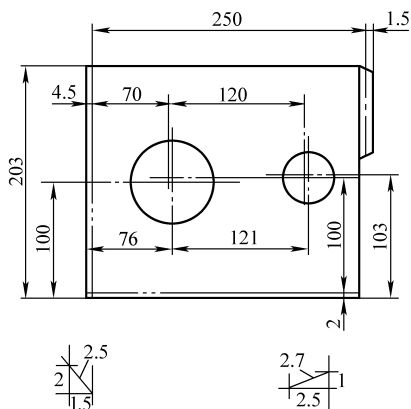


图 9-9 采用借料划线的情况

如图 9-10 所示是一件有锻造缺陷的轴 (毛坯)。若按常规方法加工, 则轴的大端、小端均有部分没有加工余量; 若采用借料划线 (轴类工件借料方法, 应借调中心孔或外圆夹紧定位部位, 使轴的两端外圆均有一定加工余量) 进行校正后加工, 即可补救锻造缺陷。

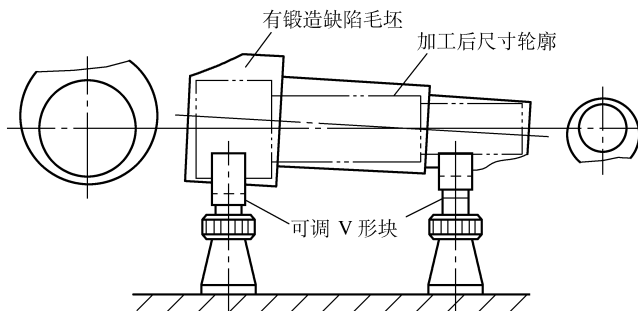


图 9-10 轴类零件借料

9.1.3 划线程序

(1) 划线前的准备工作

1) 若是铸件毛坯, 应先将残余型砂、毛刺、浇注系统及冒口进行清理、鑿平, 并且锉平划线部位的表面。对锻件毛坯, 应将氧化皮除去。对于“半成品”的已加工表面, 若有锈蚀, 应用钢丝刷将浮锈刷去, 修钝锐边、擦净油污。

2) 按图样和技术要求仔细分析工件特点和划线要求, 确定划线基准及放置支承位置, 并检查工件的误差和缺陷, 确定借料的方案。

3) 为了划出孔的中心，在孔中要装入中心塞块。一般小孔多用木塞块（图 9-11a），或铅塞块（图 9-11b），大孔用可调式中心架（图 9-11c）。

4) 划线部位清理后应涂色。涂料要涂得均匀而且要薄。常用涂料及应用见表 9-1。

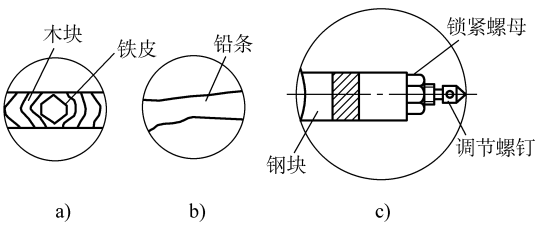


图 9-11 中心塞块

a) 木塞块 b) 铅塞块 c) 可调式中心架

(2) 划线

- 1) 把工件夹持稳当，调整支承、找正，结合借料方案进行划线。
- 2) 先划基准线和位置线，再划加工线，即先划水平线，再划垂直线、斜线，最后划圆、圆弧和曲线。
- 3) 立体工件按上述方法，进行翻转放置依次划线。

表 9-1 划线涂料及应用

待涂表面	涂 料
未加工表面 (氧化皮表面)	白灰水（白灰、乳胶和水） 白垩溶液（白垩粉、水，并加入少量亚麻油和干燥剂） 粉笔
已加工表面	硫酸铜溶液（硫酸铜加水或酒精） 蓝油（龙胆紫加虫胶和酒精） 绿油（孔雀绿加虫胶和酒精） 红油（品红加虫胶和酒精）

(3) 检查、打样冲眼

- 1) 对照图样和工艺要求，对工件依划线顺序从基准开始逐项检查，对错划或漏划应及时改正，保证划线的准确。
- 2) 检查无误后，在加工界线上打样冲眼。样冲眼必须打正，毛坯面要适当深些，已加工面或薄板件要浅些、稀些。精加工表面和软材料上可不打样冲眼。

9.1.4 立体划线

立体划线时，通常要利用方箱、角铁、千斤顶、角度垫铁等工具，把工件放置在划线平台上。一般比较复杂工件的划线都要经过三次放置（即 x 、 y 、 z 空间三轴线位置），才能完全划出所要求的线条。若有角度尺寸要求的工件，甚至要放置四次或五次才能全部完成立体划线工作。其中第一次划线位置的选择特别重要，而且在每次放置中都要在上下和左右两个方向上把工件找正，使其所找正的基准与平台平行或垂直。

(1) 立体划线位置及校正基准的选择

1) 第一划线位置。划线位置选择原则为:

① 应使工件上主要孔、搭子中心线或重要的加工基准线,在第一划线位置中划出。

② 应使相互关系最复杂及所划线条最多的一组尺寸线,在第一划线位置中划出。

③ 应尽量选择工件所占面积最大的一个位置作第一划线位置。

校正基准选择原则为:

① 以主要的孔或搭子的两端中心作校正基准。

② 以不加工的最大毛坯面作校正基准。

③ 在加工过的工件上划线,应以最大加工面为校正基准。

2) 第二划线位置。划线位置选择原则为:

应使主要的孔或搭子的另一条中心线在第二划线位置中划出。

校正基准选择原则为:

① 一个方向应以第一划线位置中划出的最长线条作校正基准。

② 另一方向仍选择主要孔、搭子中心或不加工的最大毛坯面,若加工过的工件应以加工过的最大面为校正基准。

3) 第三划线位置。划线位置选择原则为:

① 通常用与第一和第二划线位置相垂直的一个位置作第三划线位置。

② 该位置一般是次要的或工件所占面积最小的一个位置,所划的是相互关系较简单、线条较少的一组尺寸线。

校正基准选择原则为:

① 一个方向以第一划线位置中所划的最长线条作校正基准。

② 另一方向以第二划线位置中所划的最长线条作校正基准。

(2) 实例

如图 9-12 所示的车床尾座,图中标注的是该工件上三组互相垂直的尺寸:

a 组: a_1 、 a_2 、 a_3 ; b 组: b_1 ; c 组: c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 。

工件要以三次不同的位置安放,才能全部划完所有的线。划线基准选择 I—I、II—II、III—III。

1) 第一划线位置(划出 a 组尺寸)。按图 9-13 所示放置后,先确定 D_0 、 D_1 的中心。由于 D_0 是最大、最重要的毛坯外表面,外廓不加工,而且加工 D_1 孔后,要保证与 D_0 同心(即保证 D_1 孔的壁厚均匀),所以要以 D_0 外圆找正分别在两端求出 D_1 中心。确定中心后,用划线盘对准两端中心校正到同一高度,划出 I—I 基准线。

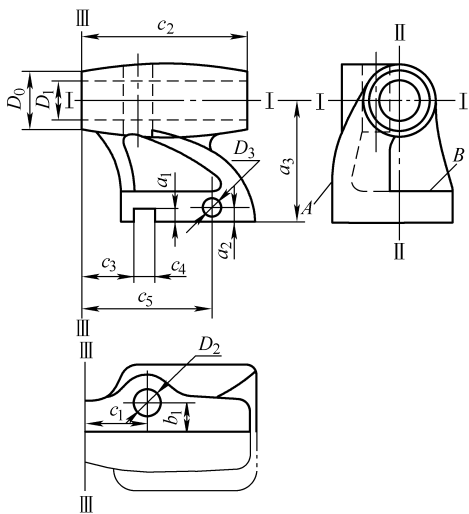


图 9-12 车床尾座

A、B 两面（图 9-12）是不加工表面，调整千斤顶时，不但在纵的方向要使两端中心校正到同一高度，而且在横向要用 90° 角尺校正 A 面，使 A 面垂直，同时兼顾 B 面，用带弯头划针的划线盘校正 B 面，使其水平。若毛坯 A、B 两面不垂直，校正时应兼

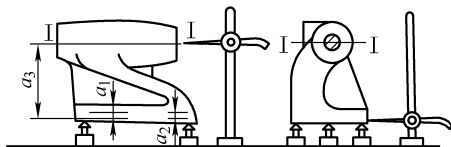


图 9-13 第一划线位置

顾两个面进行校正。接着试划底面的加线，若各处加工余量比较均匀，可确定。否则要重新调整（借料）重新确定中心，最后划出底面加工线，然后划 a 组尺寸线。

2) 第二划线位置（划出 b 组尺寸）。按图 9-14 所示将尾座向前翻转 90° 后放置，用划线盘对准孔两端中心，调整到同一高度，同时用直角尺校正已划出的底面线（ a_3 ），调整千斤顶，使 a_3 线垂直，这样，第二安装位置校正就完成了，划出 II—II 基准线后，就可划 b 组尺寸线。

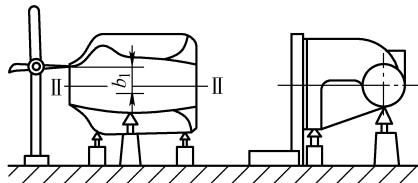


图 9-14 第二划线位置

3) 第三划线位置（划出 c 组尺寸）。按图 9-15 所示将尾座再翻转 90° 后放置，用 90° 角尺分别校正 I—I、II—II 中心线，调整千斤顶，使 I—I、II—II 线均垂直，这样第三安装位置校正就完成了。先根据筒形部分的尺寸 c_2 。适当分配两端面加工余量，试划 c_1 尺寸线。若 D_2 孔在凸面中心，则可在工件左侧划出 III—III 基准线，若 D_2 孔偏离凸面中心，则要进行借料。最后确定 III—III 基准线后，然后划 c 组尺寸线。

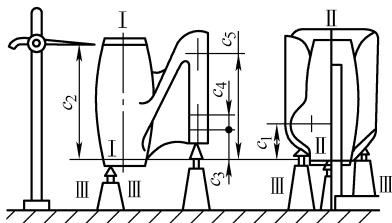


图 9-15 第三划线位置

最后划出 D_1 、 D_2 、 D_3 孔的中心线，待检查无误后，在所划线条上打上样冲眼。

9.1.5 应用分度头划线

分度头是铣床附件，是用来对工件进行分度的工具。钳工划线时，可以使用分度头对较小的、规则的圆形工件进行等分圆周和不等分圆周划线或划倾斜角度线等。其使用方便，精确度较好。

分度头的结构、传动系统及分度方法见第 3 章铣削技术。

应用分度头划等速凸轮曲线举例：

图 9-16a 所示的凸轮工作曲线 \widehat{AB} 为从 $0^\circ \rightarrow 270^\circ$ 的等速上升曲线，其升高量为 $H = 40\text{mm} - 31\text{mm} = 9\text{mm}$ ；工作曲线 \widehat{BA} 为从 $270^\circ \rightarrow 360^\circ$ 下降曲线，其 H 仍等于 9mm 。划线前凸轮坯件除了外缘，其余部分均已加工至图样要求尺寸。其划线步骤如下：

1) 以 $\phi 25.5\text{mm}$ 的锥孔为基准，配作 1:10 锥度心轴，先将心轴装夹在分度头的自

定心卡盘上, 校正, 然后将凸轮坯件装夹在心轴上, 以键槽定向, 划出中心十字线 (即定出 0 位)。

2) 凸轮工作曲线 \widehat{AB} 在 270° 范围内升高量 $H = 9\text{mm}$ 。为计算方便, 可将曲线分成 9 等份 (或 18 等份), 每等份为 30° (或 15°)。每等份升高量 $H = 1\text{mm}$ (或 0.5mm)。从 0 位起若按分度头每转过 30° 作射线时, 其分度头手柄应摇过 $3\frac{22}{66}$ (即摇过 3 转后, 再在 66 板孔上转过 22 孔), 如图 9-16b 中的 1、2、3、...10 (在 $0^\circ \sim 270^\circ$ 范围内), 共 10 条射线。此外, 下降工作曲线 BA 按每等份 45° 将曲线分成 2 等份 (即分度头手柄再转过 5 转), 再划一条射线。

3) 凸轮工作曲线 \widehat{AB} 按 30° 等分后, 每等份升高量 $H = 1\text{mm}$, 定距离时, 先将工件的 “0” 位转至最高点, 用游标高度卡尺在射线 1 上截取 $R_1 = 31\text{mm}$ 得到第 1 点, 然后将分度头转过 30° , 在射线 2 上截取 $R_2 = 32\text{mm}$ 得到第 2 点, 依此类推, 直至到射线 10 上截取 $R_{10} = 40\text{mm}$, 得到第 10 点; 再转过 45° , 在射线 11 上截取 $R_{11} = 35.5\text{mm}$, 得到第 11 点 (图 9-16b)。

4) 取下工件, 用曲线板逐点连接工作曲线。注意连线时应保证曲线的圆滑准确。在凸轮的加工线上冲出样冲孔, 并在凸轮工作曲线的起始点作出标记。

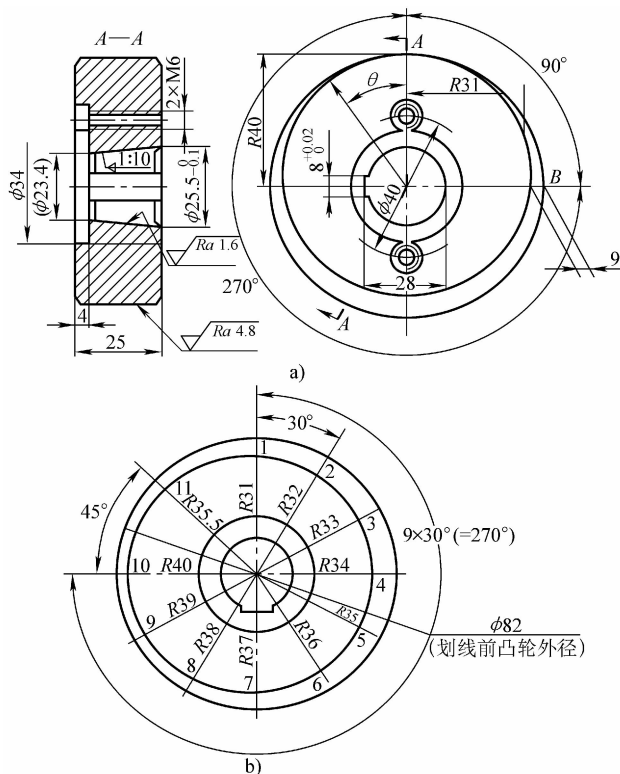


图 9-16 凸轮

9.2 刮削

在工件已加工表面上，用刮刀刮除工件表面薄层而达到精度要求的方法称为刮削。

刮削是在标准工具的工作面上涂以显示剂，与被刮工件两者合研显点（凸点），然后利用刮刀将高点金属刮除。这种方法具有切削量小、切削力小、产生热量小、加工方便和装夹变形小等特点。通过刮削后的工件表面，能获得很高的形位精度、尺寸精度、接触精度、传动精度及降低表面粗糙度值等。另外刮削后留下的一层薄花纹，既可增加工件表面的美观又可增大表面的储油面积，以达到润滑工件接触表面，减少摩擦，提高工件的使用寿命的目的。

由于刮削使用的工具简单，不受工件形状和位置的限制而能获得很高的精度，所以较广泛地应用于机械制造中，如机床导轨面、转动轴颈和滑动轴承之间的接触面、工具和量具的接触面以及密封表面等。

9.2.1 常见刮削的应用及刮削面种类

（1）常见刮削应用举例（表 9-2）

表 9-2 常见刮削应用举例

应用举例	刮削后的效果
相互运动的导轨副	有良好的接触率，承受压力大，耐磨性好，运动精度稳定
相互连接的结合面	增加连接刚性，传动件几何精度稳定，不易变形
密封性结合面	提高密封性能，防止泄漏气体和液体
具有配合公差的面（孔）	有良好的接触率，理想的配合精度，运动件精度稳定
机床装配几何精度	使各部件相互精度要求一致，保证机床工作精度

（2）刮削面种类（表 9-3）

表 9-3 刮削面种类

种 类		示 例
平面	单个平面	平板、平尺、工作台面等
	组合平面	平 V 形导轨面、燕尾槽导轨面、矩形导轨面等
曲面	圆柱面、圆锥面	圆孔、锥孔滑动轴承，圆柱导轨，锥形圆环导轨等
	球面	自位球面轴承、配合球面等
	成形面	齿条、蜗轮的齿面等

9.2.2 刮削工具

9.2.2.1 通用刮研工具

（1）铸铁平尺（摘自 GB/T 24760—2009）

1）铸铁平尺的精度分 00 级、0 级、1 级、2 级等四级。铸铁平尺形状及基本尺寸见表 9-4。

2) 铸铁平尺工作面的直线度公差及任意 200mm 的直线度公差见表 9-5。

表 9-4 铸铁平尺形状及基本尺寸 (单位: mm)

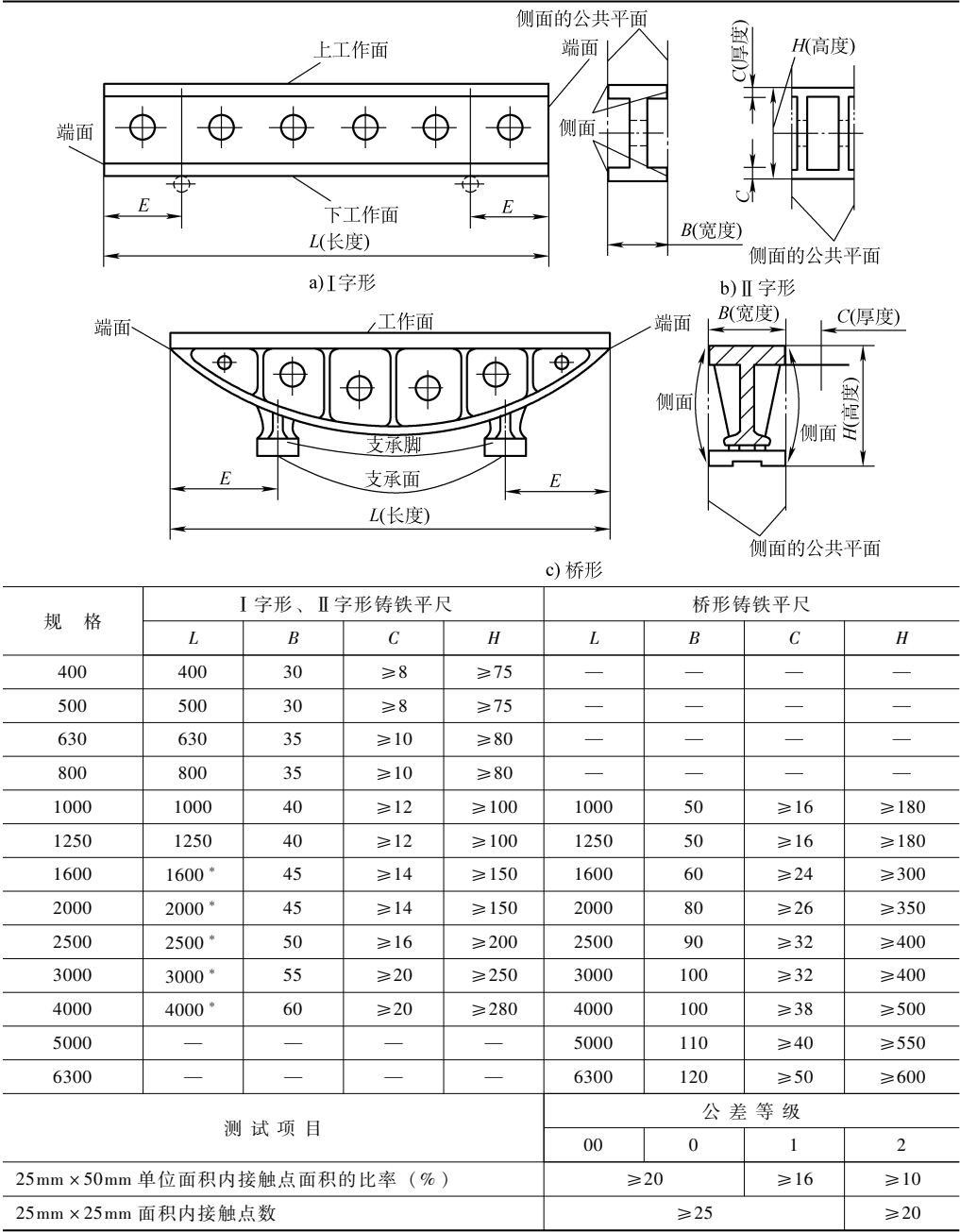


表 9-5 铸铁平尺工作面的直线度公差

规 格 /mm	公 差 等 级			
	00	0	1	2
	直线度公差/ μm			
400	1.6	2.6	5	—
500	1.8	3.0	6	—
630	2.1	3.5	7	—
800	2.5	4.2	8	—
1000	3.0	5.0	10	20
1250	3.6	6.0	12	24
1600	4.4	7.4	15	30
2000	5.4	9.0	18	36
2500	6.6	11.0	22	44
3000	7.8	13.0	26	52
4000	—	17.0	34	68
5000	—	21.0	42	84
6300	—	—	52	105
任意 200	1.1	1.8	4	7

注：1. 表中数值均按标准温度 20℃ 给定。

2. 距工作面边缘 0.01L（最大为 10mm）范围内直线度公差不计，且任意一点都不得高于工作面。

3）Ⅰ、Ⅱ 字形平尺上工作面与下工作面的平行度公差、桥形平尺工作面与支承脚支承面的平行度公差、平尺侧面对工作面的垂直度公差见表 9-6。

表 9-6 铸铁平尺工作面平行度、垂直度公差

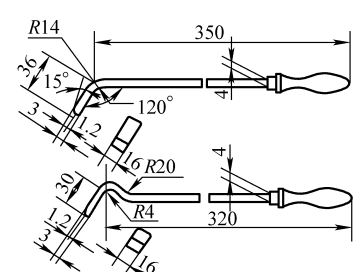
规格 /mm	公 差 等 级							
	00	0	1	2	00	0	1	2
	上工作面与下工作面（或支承面）的平行度公差				侧面对工作面的垂直度公差			
	μm							
400	2.4	3.9	8	—	8.0	13.0	25	—
500	2.7	4.5	9	—	9.0	15.0	30	—
630	3.2	5.3	11	—	10.5	18.0	35	—
800	3.8	6.3	12	—	12.5	21.0	40	—
1000	4.5	7.5	15	30	15.0	25.0	50	100
1250	5.4	9.0	18	36	18.0	30.0	60	120
1600	6.6	11.1	23	45	22.0	37.0	75	150
2000	8.1	13.5	27	54	27.0	45.0	90	180
2500	9.9	16.5	33	66	33.0	55.0	110	220
3000	11.7	19.5	39	78	39.0	65.0	130	260
4000	—	25.5	51	102	—	85.0	170	340
5000	—	31.5	63	126	—	105.0	210	420
6300	—	—	78	158	—	—	260	525

注：平行度公差值为表 9-5 中直线度公差的 1.5 倍；垂直度公差值为表 9-5 中直线度公差的 5 倍。

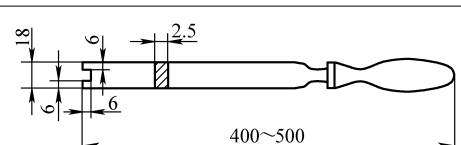
(续)

尺寸 种类	L	l	B	t	用 途
大型	600 ~ 700	150	25 ~ 30	4 ~ 5	粗刮大平面
小型	450 ~ 600	150	20 ~ 25	3.5 ~ 4	细刮大平面

(3) 拉刮刀

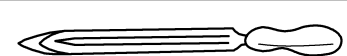
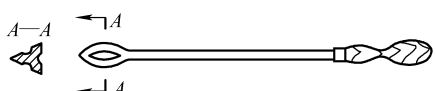
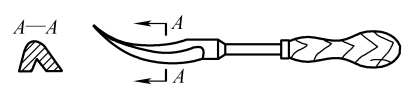
形状和尺寸	用 途
	刀体呈曲形，弹性较强，刮削出的工件表面光洁，常用于精刮和刮花，也可拉刮带有台阶的平面

(4) 双刃刮花刀

形状和尺寸	用 途
	专用于刮削交叉花纹

2) 曲面刮刀。主要用来刮削内曲面，如滑动轴承内孔等。常用曲面刮刀形状特点及用途见表 9-9。

表 9-9 曲面刮刀的种类及用途

名称	图 示	用 途
三角刮刀		常用三角锉刀改制，用于刮削各种曲面
蛇头刮刀		刀头部具有三个带圆弧形的切削刃，刀平面磨有凹槽，切削刃圆弧大小视工件的粗、精刮而定（粗刮刀圆弧的曲率半径大，精刮刀圆弧曲率半径小），刮削时不易产生振痕，适用于精刮各种曲面
柳叶刮刀		有两个切削刃，刀尖为精刮部分，后部为强力刮削部分，适用于精刮余量不多的各种曲面

(2) 刮刀材料和热处理方法

刮刀的材料一般采用碳素工具钢（如 T8、T10、T12、T12A 等）或轴承钢（如 GCr15）锻制而成。当刮削硬质材料时，也可用硬质合金刀片焊在刀杆上使用。

若刮刀采用碳素工具钢或轴承钢时，将刮刀粗磨好后进行热处理，其过程由淬火加上回火两个过程组成。方法是用氧乙炔火焰或炉火中加热至 $780 \sim 800^{\circ}\text{C}$ （呈暗橘红色）后，迅速从炉中取出，并垂直地把刮刀放入冷却液中冷却。浸入深度，平面刮刀为 $5 \sim 8\text{mm}$ ，三角刮刀为整个切削刃，蛇头刮刀为圆弧部分。并将刮刀沿着水面缓慢地移动（图 9-17），由此造成水面波动，又使淬硬与不淬硬部分不致有明显的界限，避免了刮刀在淬硬与不淬硬的界限处断裂，待冷却到刮刀露出水面部分呈黑色时，由冷却液中取出，这时利用刮刀上部的余热进行回火，当刮刀浸入冷却液部分的颜色呈白色后，再迅速将刮刀全部浸入冷却液中，至完全冷却后再取出。

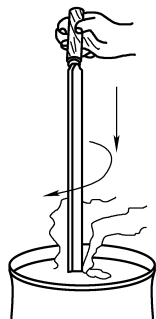


图 9-17 刮刀淬火

冷却液有三种：其一是水，一般用于对平面粗刮刀及刮削铸铁或钢的曲面刮刀的淬火，淬火硬度一般低于 60HRC；其二是含有体积分数为 15% 的盐溶液，用于对刮削较硬金属的平面刮刀的淬火，淬火硬度一般大于 60HRC；其三是油，一般用于对曲面刮刀及平面精刮刀的淬火，淬火硬度在 60HRC 左右。

（3）刮刀刃磨方法

1) 平面刮刀的刃磨。平面刮刀的刃磨，分三个阶段进行，即粗磨、细磨和精磨。

① 粗磨。粗磨是在砂轮上进行，使刀头基本成形，然后进行热处理。

② 细磨。刮刀淬火后进行细磨，先磨刮刀两个平面（图 9-18a）。将两个平面分别在砂轮的侧面磨平，要求达到平整，厚薄均匀，再将头部长度约 $30 \sim 60\text{mm}$ 左右的平面磨到厚度为 $1.5 \sim 4\text{mm}$ （一般刮刀切削部分的厚度）的平面。

然后磨出刮刀两侧窄面。最后将刮刀的顶端面在砂轮的外圆弧面上（图 9-18b）平稳地左右移动，刃磨到顶端面与刀身中心线垂直即可。

③ 精磨。经细磨后的刮刀，切削刃还不能符合平整和锋利的要求，必须在油石上进行精磨。精磨时，应在油石表面上滴上适量润滑油，先磨两个平面，再磨端面。

在磨两个平面时（图 9-19a），使刀头的平面平贴在油石上来回移动。一面磨好后再磨另一面。刮刀两平面经过多次反复刃磨，直到平面光洁平整为止。如图 9-19b 所示的磨法是错误的，这种磨法，会使平面磨成弧面，刃口不锋利。

刃磨刮刀顶端面（图 9-20）时，右手握住靠近刀头部分，左手扶住刀柄，使刮刀直立在油石上，略带前倾作来回移动。当右手向前推时，刮刀稍微向前倾斜，使刀端前半面在油石上磨动，向后拉回时，应略提起刀身，以免磨

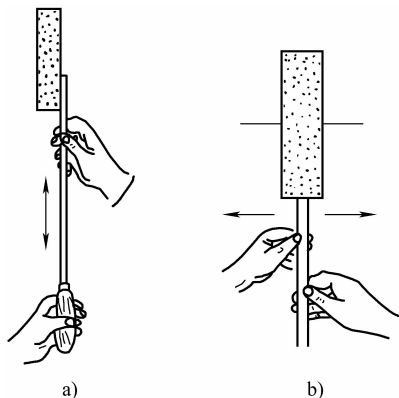


图 9-18 平面刮刀的刃磨

刮刀稍微向前倾斜，使刀端前半面在油石上磨动，向后拉回时，应略提起刀身，以免磨

损刃口。当前半面磨好后，把刮刀翻转 180° ，再用同样方法磨刮刀的另半面，这样反复刃磨，直到符合精度要求为止。

如图 9-21 所示是刃磨刮刀顶端面的又一种方法，是用两手握住刀身，并将刮刀上部靠在操作者的肩前部，呈一定楔角；然后两手施

加压力，将刮刀向后拉动，刃磨刀端的一个半面，当刮刀向前移动时，应将刮刀提起，以免损伤刃口，此半面磨好后，将刮刀翻转 180° ，再用同样的方法刃磨另一半面，直至符合精度要求为止。这种方法容易掌握，但刃磨速度较慢。

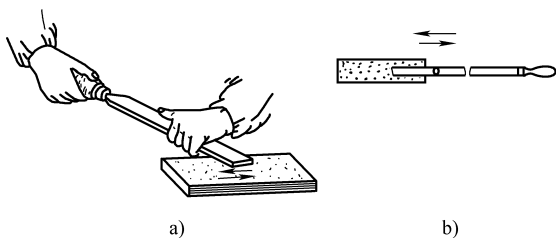


图 9-19 刮刀平面的精磨

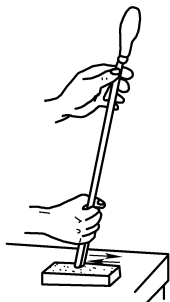


图 9-20 刃磨刮刀顶端方法（一）



图 9-21 刃磨刮刀顶端方法（二）

刃磨刮刀顶端面时，应按粗刮刀、细刮刀、精刮刀的不同，磨出不同的楔角，见图 9-22。

粗刮刀。 β 为 $90^\circ \sim 92.5^\circ$ ，切削刃必须平直。

细刮刀。 β 为 95° 左右，切削刃稍带圆弧。

精刮刀。 β 为 97.5° 左右，切削刃呈圆弧形，而圆弧半径要小于细刮刀。

2) 曲面刮刀的刃磨

① 三角刮刀的刃磨。一般先将锻好的毛坯在砂轮上粗磨（图 9-23），右手握住三角刮刀刀柄，左手将刮刀的刃口以水平位置轻压在砂轮的外圆弧面上，按切削刃弧形来回摆动。一面刃磨完毕后再以同样方法刃磨其他两面，使三个面的交线形成弧形的切削刃。接着如图 9-24 所示，将三角刮刀

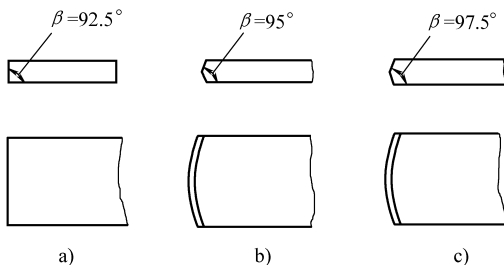


图 9-22 刮刀头部形状和角度

a) 粗刮刀 b) 细刮刀 c) 精刮刀

削时刮刀应上下左右移动，刀槽要开在两刃中间，切削刃边上只留 2~3mm 的棱边。

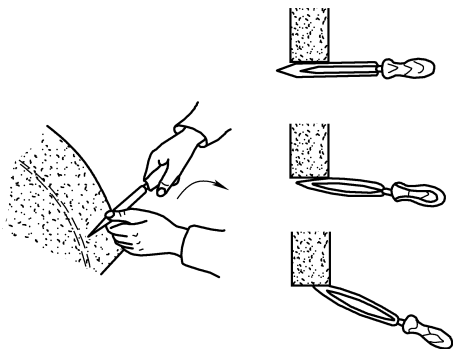


图 9-23 粗磨三角刮刀三个弧面

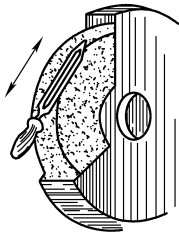


图 9-24 三角刮刀的开槽

三角刮刀淬火后，必须在油石上进行精磨。如图 9-25 所示，刃磨时右手握住刮刀的刀柄，左手压在切削刃上，将刮刀的两个切削刃同时放在油石上，由于中间有槽，因此两切削刃边上只有窄的棱边被磨着。使切削刃沿着油石长度方向来回移动，在切削刃来回移动的同时，还要按切削刃的弧形作上下摆动，直到切削刃锋利为止。

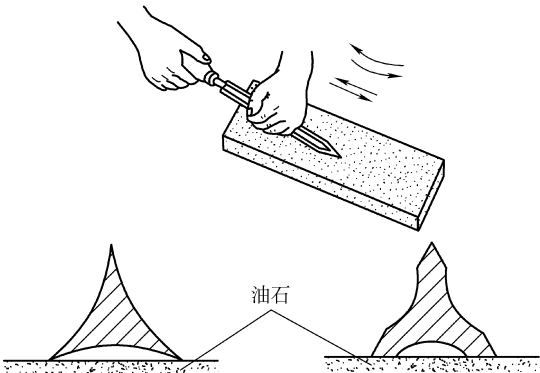


图 9-25 三角刮刀的精磨

② 蛇头刮刀两平面的粗磨和精磨方法均与平面刮刀相似。刀头的刃磨及开槽方法与三角刮刀相似。

9.2.3 刮削用显示剂的种类及应用（表 9-10）

表 9-10 刮削用显示剂的种类及应用

种 类	成 分	特 点	应 用 范 围
红丹	一氧化铅再度氧化制成，俗称铅丹。配方为： 红丹: N32G 液压油: 煤油 ≈ 100: 7: 3	呈橘黄色，粒度细腻，研点真实，无腐蚀作用，但研点后颜色较淡，对眼睛有反光刺激，虽有铅毒现象产生，但对人体伤害轻微	应用于铸钢件及部分有色金属的刮削，是金属切削机床机械加工结合面接触检验及评定，和锥孔接触精度评定的显示剂
	氧化铁红 配方同上	呈红褐色，粒度较粗，研点清楚，对眼睛无反光刺激作用	可用于铸钢件及部分非铁金属的刮削，但不能作为接触精度评定的显示剂

(续)

种 类	成 分	特 点	应 用 范 围
普鲁士蓝油	普鲁士蓝粉混和适量 L-AN 牌号的润滑油与蓖麻油	呈深蓝色，研点小而清楚，刮点显示真实，当室内温度较低时不易涂刷	用于精密零件，特别适用于有色金属刮削和检验
印红油	碱性品红溶解在乙醇中，加入甘油配制而成	呈鲜红色，对眼睛略有反光刺激，取材方便	用于锥孔接触及刮削面的接触判别，但不作为评定用显示剂
烟墨油	烟墨与 L-AN 牌号润滑油混合	点子成黑色，研点小而清楚	用于表面呈银白色的金属刮削和检验，较少采用
松节油或酒精	松节油或酒精	研点发光亮，特别精细真实，对零件有腐蚀作用，对眼睛有反光刺激	用于精密零件的刮削与检验，较少采用

在使用显示剂时，关键是显示剂的调和及涂布。显示剂的调和稀稠要适当，粗刮时，显示剂应当调稀些，这样不仅便于涂布，而且显示出的研点也大些。同时，一般应将显示剂涂在标准平板表面上，这样在刮削过程中，切屑不易粘附在刃口上，刮削比较方便。精刮时，显示剂可调和得干些，涂布时应薄而均匀，一般应将显示剂涂布在工件表面上。这样工件表面显示出的研点呈红底黑点，不反光，容易看清，便于提高刮削精度。

9.2.4 刮削余量

(1) 平面刮削余量（表 9-11）

表 9-11 平面刮削余量 (单位：mm)

零件宽度	零件长度				
	100 ~ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 2000	2000 ~ 4000	4000 ~ 6000
≤100	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
>100 ~ 500	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40
>500 ~ 1000	0.25	0.25	0.35	0.45	0.50

(2) 内孔刮削余量（表 9-12）

表 9-12 内孔刮削余量 (单位：mm)

内孔直径	内 孔 长 度		
	≤100	>100 ~ 200	>200 ~ 300
≤80	0.04 ~ 0.06	0.06 ~ 0.09	0.09 ~ 0.12
>80 ~ 120	0.07 ~ 0.10	0.10 ~ 0.13	0.13 ~ 0.16
>120 ~ 180	0.10 ~ 0.13	0.13 ~ 0.16	0.16 ~ 0.19
>180 ~ 260	0.13 ~ 0.16	0.16 ~ 0.19	0.19 ~ 0.22
>260 ~ 360	0.16 ~ 0.19	0.19 ~ 0.22	0.22 ~ 0.25

9.2.5 刮削精度要求

刮削面的精度常用 $(25 \times 25) \text{ mm}^2$ 内的研点数目表示。

(1) 平面刮点要求 (表 9-13)

表 9-13 平面刮点要求

表面类型	每 $(25 \times 25) \text{ mm}^2$ 内的点数	刮削前工件表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	应用举例
超精密面	> 25	3.2	0 级平板, 精密量仪
精密面	20 ~ 25	3.2	1 级平板, 精密量具
	16 ~ 20	6.3	精密机床导轨、精密滑动轴承
一般	12 ~ 16	6.3	机床导轨及导向面, 工具基准面
	8 ~ 12	6.3	一般基准面, 机床导向面, 密封结合面
	5 ~ 8	6.3	一般结合面
	2 ~ 5	6.3	较粗糙机件的固定结合面

(2) 滑动轴承刮点要求 (表 9-14)

表 9-14 滑动轴承刮点要求

轴承 直径 /mm	金属切削机床			锻压设备、通用机械		动力机械、冶金设备	
	机床精度等级			重要	一般	重要	一般
	Ⅲ级和Ⅲ级以上	Ⅳ级	Ⅴ级				
	每（25×25）mm ² 的刮点数						
≤120	20	16	12	12	8	8	5
>120	16	12	10	8	6	6	2

(3) 金属切削机床刮点要求 (表 9-15)

表 9-15 金属切削机床刮点要求

机床精度等级	静压、滑、滚导轨		移置导轨		镶条压板 滑动面	特别重要 结合面
	每条导轨宽度/mm					
	≤250	>250	≤100	>100		
	接触点数 [每 (25×25) mm ²]					
Ⅲ级和Ⅲ级以上	20	16	16	12	12	12
Ⅳ级	16	12	12	10	10	8
Ⅴ级	10	8	8	6	6	6

9.2.6 刮削方法

9.2.6.1 平面的刮削方法

(1) 显点方法

显点方法应根据工件的形状和刮削面积的大小而定。

工件显点前,被刮削表面一般都存在很小的毛刺,应用研磨平整的大油石,轻轻地在被刮削表面上清除毛刺后,才能涂上显示剂显点。

中小型工件显点,一般是标准平板固定,工件被刮削面在平板上推研(图 9-26)。研点时,施加压力要均匀,运动轨迹一般呈 8 字形或螺旋形,也可直线推拉。工件被刮面小于平板时,研点范围不应超出平板,被刮面等于或大于平板时,允许工件超出平板,超出部分应小于工件长度的 $1/3$ 。

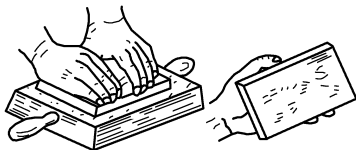


图 9-26 平面的显点方法

大型工件显点,工件要固定,标准工具在工件被刮削表面上研点。标准工具超出工件被刮削表面的长度,应小于标准工具的 $1/5$ 。

质量不对称工件的显点,推研时应在工件适当部位托或压(图 9-27)。托或压的力的大小要适当、均匀、平稳。

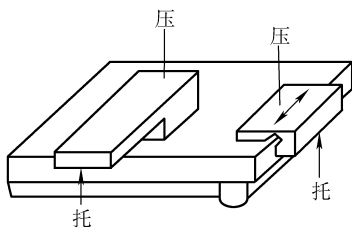


图 9-27 质量不对称工件显点方法

(2) 平面刮削方式

1) 手推式。如图 9-28 所示,右手握刀柄,左手握刀杆,距刀刃约 $50 \sim 70\text{mm}$ 处,刮刀与被刮削表面成 $25^\circ \sim 30^\circ$ 。同时,左脚前跨一步,上身向前倾,刮削时,右臂利用上身摆动向前推,左手向下压,并引导刮刀运动方向,在下压推挤的瞬间迅速抬起刮刀,这样就完成了一次刮削动作。

2) 挺刮式。如图 9-29 所示,将刮刀柄(圆柄处)顶在小腹下侧,双手握刀杆离刀口约 $70 \sim 80\text{mm}$ 处,左手在前,右手在后,刮削时,左手下压,落刀要轻,利用腿和臂部力量使刮刀向前推挤,双手引导刮刀前进。在推挤后的瞬间,用双手将刮刀提起,这样就完成了一次刮削动作。

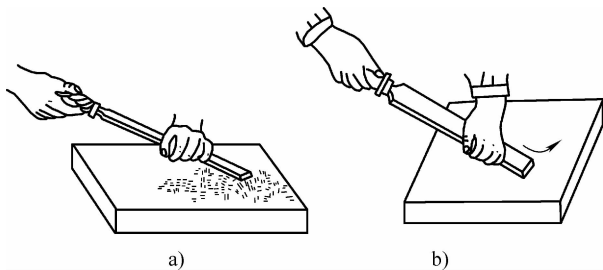


图 9-28 手推式刮削

(3) 平面刮削步骤

平面刮削分粗刮、细刮、精刮和刮花等四个步骤。

1) 粗刮。经机械加工的工件,可先用粗刮刀普遍刮一遍。在整个刮削面上采用连续推铲的方法,使刮出的刀迹连成长片。粗刮时有时会出现平面四周高、中间低的现象,故四周必须多刮几次,而且每刮一遍应转过 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的角度交叉刮削,直至每 $(25 \times 25) \text{mm}^2$ 内含 $4 \sim 6$ 个研点为止。

2) 细刮。细刮的目的是刮去工件表面的大块显点, 进一步提高表面质量。细刮刀采用宽为 15mm 为宜。刮削时, 刀迹长度不超过刀刃的宽度, 每刮一遍要变换一个方向, 以形成 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 网纹。整个细刮过程中随着研点的增多, 刀迹应逐渐缩短, 直至每 $(25 \times 25) \text{ mm}^2$ 内含 12 ~ 25 个研点为止。

3) 精刮。精刮是在细刮的基础上进行。精刮时, 应充分利用精刮刀刀头较窄、圆弧较小的特点。刀迹长度一般为 5mm 左右, 落刀要轻, 起刀后迅速挑起, 每个研点上只能刮一刀, 不能重复, 并始终交叉进行, 当研点数增至每 $(25 \times 25) \text{ mm}^2$ 内有 20 个研点时, 应按以下三个步骤刮削, 直至达到规定的研点数。

- ① 最大最亮的研点全部刮去。
- ② 中等稍浅的研点只将其中较高处刮去。
- ③ 小而浅的研点不刮。

4) 刮花。刮花的目的是增加工件刮削面的美观以及在滑动件之间造成良好的润滑条件。常见的花纹有斜纹花、月牙花(鱼鳞花)和半月花等三种。

① 斜纹花(图 9-30)。刮削斜花纹时精刮刀与工件边成 45° 角方向刮削, 花纹大小视刮剖面大小而定。刮削时应一个方向刮定再刮削另一个方向。

② 月牙花(图 9-31)。刮削月牙花时先用刮刀的右边(或左边)与工件接触, 再用左手把刮刀压平并向前进, 即左手在向下压的同时, 还要把刮刀有规律的扭动一下, 然后起刀, 这样连续地推扭刮削。

③ 半月花(图 9-32)。此法是刮刀与工件呈 45° , 同刮“月牙花”一样, 先用刮刀的一边与工件接触再用左手把刮刀压平并向前推进。这时刮刀始终不离开工件, 按一个方向连推带扭不断向前推进, 连续刮出一串月牙花。然后再按相反方向刮出另一串月牙花。



图 9-29 挺刮式刮削

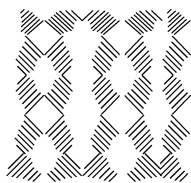


图 9-30 斜纹花



图 9-31 月牙花



图 9-32 半月花

除上述常见的三种花纹外, 其他还有波纹花、燕子花、地毯花、钻石花等。

(4) 基准平板刮削方法

刮削基准平板(原始平板)采用三块对研方法(表 9-16)。

表 9-16 原始平板刮研方法

方 法	简 图
<p>正研：</p> <p>先将三块平板单独进行粗刮，去除机械加工的刀痕和锈斑等。然后将三块平板分别标号进行刮研，其过程要经三次循环</p> <p>一次循环：先设 1 号为基准，与 2 号互研互刮，与 3 号互研，单刮 3 号，使 1 与 2 号、2 与 3 号相贴合</p>	
<p>二次循环：在上一次的基础上以 2 号平板为基准，1 号与 2 号平板互研，单刮 1 号；3 号与 1 号平板互研互刮</p>	
<p>三次循环：在第二次基础上，以 3 号为基准，2 号与 3 号平板互研，单刮 2 号；1 号与 2 号平板互研互刮（然后重复循环，直至规定要求）</p>	
<p>对角研：</p> <p>在正研过程中，三块平板还应转换方向（45°）互研，以免在平板对角部位产生扭曲现象</p> <p>经互研发现有扭曲，应根据研点修刮，直至研点分布均匀和消除扭曲，使三块平板相互之间，无论是直研、调头研，对角研，研点情况完全相同为止</p>	

9.2.6.2 平行面的刮削方法

刮削前，应确定被刮削的平面中，其中一个平面为基准面，首先进行粗、细、精刮削，当按规定达到每（25 × 25）mm² 研点数的要求之后，就以此面为基准面，再刮削对应的平行面。刮削前用百分表测量该面对基准面的平行度误差（图 9-33），确定粗刮时各刮削部位的刮削量，并以标准平板为测量基准，结合显点刮削，以保证平面度要求。在保证平面度和初步达到平行度的情况下，进入细刮。细刮时除了用显点方法来确定刮削部位外，还应结合百分

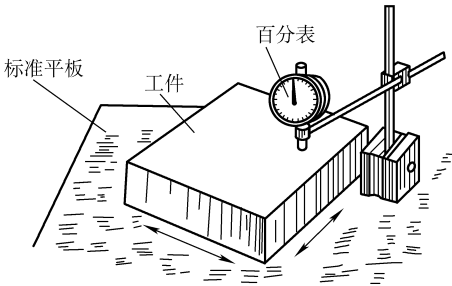


图 9-33 用百分表测量平行度

表进行平行度测量,这样再作刮削的修正。达到细刮要求后,进行精刮,直到每 $(25 \times 25) \text{ mm}^2$ 的研点数和平行度都符合要求为止。

9.2.6.3 垂直面的刮削方法

垂直面的刮削方法与平行面刮削相似,刮削前、先确定一个平面为基准面,进行粗、细、精刮削后作为基准面,然后对垂直面进行测量(图9-34),以确定粗刮的刮削部位和刮削量,并结合显点刮削,以保证达到平面度要求。细刮和精刮时,除按研点进行刮削外,还要不断地进行垂直度测量,直到被刮面每 $(25 \times 25) \text{ mm}^2$ 的研点数和垂直度都符合要求为止。

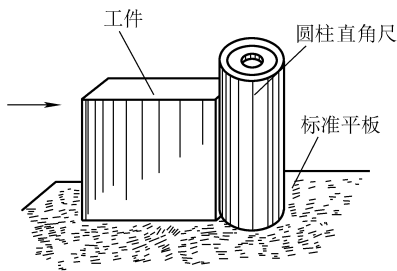


图 9-34 垂直度的测量方法

9.2.6.4 曲面的刮削方法

曲面刮削一般是指内曲面刮削。其刮削的原理与平面刮削一样,但刮削方法及所用的工具不同。内曲面刮削常用三角刮刀或蛇头刮刀。刮削时,刮刀应在曲面内作后拉或前推的螺旋运动。

内圆面刮削一般以校准轴(又称工艺轴)或相配合的工作轴作为内圆面研点的校准工具。校准时将显示剂涂布在轴的圆周面上,使轴在内曲面上来回旋转显示出研点(图9-35),然后根据研点进行刮削。刮削时应注意以下几点:

- 1) 刮削时用力不可太大,否则容易发生抖动,表面产生振痕。
- 2) 研点时配合轴应沿内曲面作来回旋转,精刮时转动弧长应小于 25mm 。切忌沿轴线方向作直线研点。
- 3) 每刮一遍之后,下一遍刮削应交叉进行,因为交叉刮削可避免刮削面产生波纹,研点也不会成条状。
- 4) 在一般情况下由于孔的前、后端磨损快,因此刮削内孔时,前后端的研点要多些,中间段的研点可以少些。
- 5) 曲面刮削的切削角度和用力方向见表9-17。

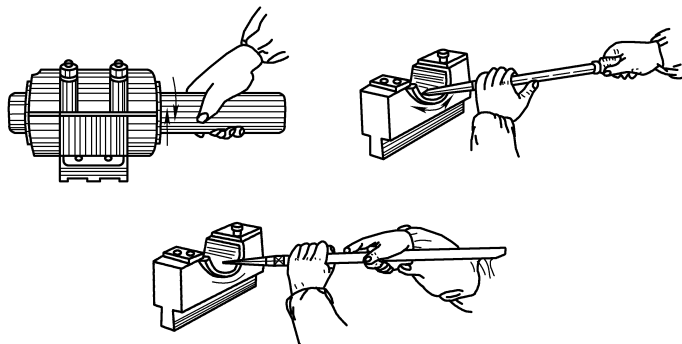
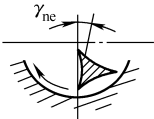
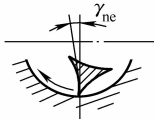
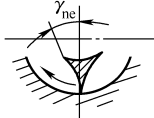


图 9-35 内曲面的显点和刮削

表 9-17 曲面刮刀的前角及用力方向

刮削类别	应 用 说 明	
粗刮		刮刀呈正前角，刮出的切屑较厚，故能获得较高的刮削效率
细刮		刮刀具有较小的负前角，刮出的切屑较薄，能很好地刮去研点，并能较快地把各处集中的研点改变成均匀分布的研点
精刮		刮刀具有较大的负前角，刮出的切屑极薄，不会产生凹痕，故能获得较低的表面粗糙度值

9.2.7 刮削面缺陷的分析（表 9-18）

表 9-18 刮削面缺陷的分析

缺陷形式	特 征	产 生 原 因
深凹痕	刮削面研点局部稀少或刀迹与显示研点高低相差太多	1) 粗刮时用力不均、局部落刀太重或多次刀迹重叠 2) 切削刃弧度磨得过大
撕痕	刮削面上有粗糙的条状刮痕，较正常刀迹深	1) 切削刃不光滑和不锋利 2) 切削刃有缺口或裂纹
振痕	刮削面上出现有规则的波纹	多次同向刮削，刀迹没有交叉
划道	刮削面上划出深浅不一的直线	研点时夹有砂粒、铁屑等杂质，或显示剂不清洁
刮削面精密 度不准确	显点情况无规律的改变且捉摸不定	1) 推磨研点时压力不均，研具伸出工件太多，按出现的假点刮削造成 2) 研具本身不准确

9.3 研磨

用研磨工具和研磨剂，在一定压力下通过研具与工件作相对滑动，从工件表面上磨掉一层极薄的金属，以提高工件尺寸、形状精度和降低表面粗糙度的精整加工方法称研磨。

研磨精度可达 0.025 μm ，球体圆度可达 0.025 μm ，圆柱度可达 0.1 μm ，表面粗糙度

Ra 可达 0.01μm，并能使两个平面达到精密配合。研磨主要用于精密的零件，如量规、精密配合件、光学零件等。

研磨特点及作用有以下几点：

- 1) 研磨可以获得用其他方法难以达到的高尺寸精度和形状精度。
- 2) 磨粒在工件表面不重复先前运动轨迹，易于切削掉加工表面凸峰，容易获得极小的表面粗糙度值。
- 3) 经研磨后的零件能提高加工表面的耐磨性、耐腐蚀能力及疲劳强度，从而延长了零件的使用寿命。
- 4) 加工方法简单，不需复杂设备，但加工效率较低。

9.3.1 研磨的分类及适用范围（表 9-19）

表 9-19 研磨的分类及适用范围

分 类	适 用 范 围
湿研磨	又称敷砂研磨。将稀糊状或液状研磨剂涂敷或连续注入研具表面，磨粒在工件与研具之间不停地滑动或滚动，形成对工件的切削运动，加工表面呈无光泽的麻点状。一般用于粗研磨
干研磨	又称嵌砂研磨或压砂研磨。在一定的压力下，将磨料均匀地压嵌在研具的表层中，研磨时只需在研具表面涂以少量的润滑剂即可。干研磨可获得很高的加工精度和低表面粗糙度值，但研磨效率较低，一般用于精研磨
半干研磨	采用糊状的研磨膏作研磨剂，其研磨性能介于湿研磨与干研磨之间，用于粗研磨和精研磨均可

9.3.2 研磨剂

研磨剂是由磨料和研磨液调和而成的混合剂。

（1）常用磨料及适用范围

研磨磨料按硬度可分为硬磨料和软磨料两类。常用的磨料见表 9-20。

表 9-20 磨料的系列与用途

系列	磨料名称	代号	特 性	适 用 范 围
刚 玉 类	棕刚玉	A	棕褐色。硬度高，韧性大，价格便宜	粗、精研磨钢、铸铁、黄铜
	白刚玉	WA	白色。硬度比棕刚玉高，韧性比棕刚玉差	精研磨淬火钢、高速钢、高碳钢及薄壁零件
	铬刚玉	PA	玫瑰红或紫红色。韧性比白刚玉高，磨削表面质量好	研磨量具、仪表零件及高精度表面
	单晶刚玉	SA	淡黄色或白色。硬度和韧性比白刚玉高	研磨不锈钢、高钒高速钢等强度高、韧性大的材料

(续)

系列	磨料名称	代号	特 性	适 用 范 围
碳化物类	黑碳化硅	C	黑色有光泽。硬度比白刚玉高，性脆而锋利，导热性和导电性良好	研磨铸铁、黄铜、铝、耐火材料及非金属材料
	绿碳化硅	GC	绿色。硬度和脆性比黑碳化硅高，具有良好的导热性和导电性	研磨硬质合金、硬铬、宝石、陶瓷、玻璃等材料
	碳化硼	BC	灰黑色。硬度仅次于金刚石，耐磨性好	精研磨和抛光硬质合金、人造宝石等硬质材料
金刚石类	人造金刚石	JR	无色透明、淡黄色、黄绿色或黑色。硬度高，比天然金刚石略脆，表面粗糙	粗、精研磨硬质合金、人造宝石、半导体等高硬度脆性材料
	天然金刚石	JT	硬度最高，价格昂贵	
软料磨类	氧化铁	—	红色至暗红色。比氧化铬软	精研磨或抛光电、铁、玻璃等材料
	氧化铬	—	深绿色	

(2) 磨料粒度的选择（表 9-21）

表 9-21 磨料粒度的选择

微粉粒度	适 用 范 围			能达到的表面粗糙度 $Ra/\mu m$
	连续施加磨粒	嵌砂研磨	涂敷研磨	
F400	✓		✓	0.63 ~ 0.32
F600	✓		✓	0.32 ~ 0.16
	✓		✓	
F1000			✓	0.16 ~ 0.08
		✓	✓	
F1200		✓	✓	0.08 ~ 0.04
F1200 以下		✓	✓	0.04 ~ 0.02
		✓	✓	
		✓	✓	0.02 ~ 0.01
		✓	✓	
		✓	✓	
		✓	✓	< 0.01

注：✓表示可选用。

(3) 研磨液

研磨液主要起润滑、冷却作用，并使磨粒均布在研具表面上。常用研磨液见表 9-22。

表 9-22 常用研磨液

工 件 材 料		研 磨 液
钢	粗研	煤油 3 份，L-AN10 全损耗系统用油 1 份，汽轮机油或锭子油（少量），轻质矿物油（适量）
	精研	L-AN10 全损耗系统用油
铸铁		煤油
铜		动物油（熟猪油与磨料拌成糊状后加 30 倍煤油）、锭子油（少量）、植物油（适量）
淬火钢、不锈钢		植物油、汽轮机油或乳化液
硬质合金		航空汽油
金刚石		橄榄油、圆度仪油或蒸馏水
金、银、白金		酒精或氨水
玻璃、水晶		水

(4) 研磨剂的配制

研磨剂主要有液态研磨剂和研磨膏两种。

1) 液态研磨剂。湿研时用煤油、混合脂、微粉配制。常用配方见表 9-23。

表 9-23 常用液态研磨剂

配 方		调 法	用 途
金刚砂/g	2 ~ 3	先将硬脂酸和航空汽油在清洁的瓶中混合，然后放入金刚砂摇晃至乳白状而金刚砂不易沉下为止，最后滴入煤油	研磨各种硬质合金刀具
硬脂酸/g	2 ~ 2.5		
航空汽油/g	80 ~ 100		
煤油	数滴		
白刚玉（F1000）/g	16	先将硬脂酸与蜂蜡溶解，冷却后加入航空汽油搅拌，然后用双层纱布过滤，最后加入磨料和煤油	精研磨高速钢刀具及一般钢材
硬脂酸/g	8		
蜂蜡/g	1		
航空汽油/g	80		
煤油/g	95		

干研时压砂用研磨剂配方见表 9-24。

表 9-24 压砂用研磨剂配方

序号	成 分	备 注	
1	白刚玉（F1200 以下）/g	15	使用时不加任何辅料
	硬脂酸混合脂/g	8	
	航空汽油/mL	200	
	煤油/mL	35	

(续)

序号	成 分	备 注	
2	白刚玉（F1200 以下）/g	25	使用时，平板表面涂以少量硬脂酸混合脂，并加数滴煤油
	硬脂酸混合脂/g	0.5	
	航空汽油/mL	200	
3	白刚玉/g	50	航空汽油与煤油的比例取决于磨料的粒度：F1200 以下，汽油 9 份，煤油 1 份；F1200，汽油 7 份，煤油 3 份
	硬脂酸混合脂/g	4 ~ 5	
	航空汽油及煤油配成/mL	500	
4	刚玉（F1000、F1200）适量，煤油 6 ~ 20 滴，直接放在平板上用氧化铬研磨膏调成稀糊状		

2) 研磨膏。常用研磨膏有: 刚玉类研磨膏, 主要用于钢铁件研磨; 碳化硅、碳化硼类研磨膏, 主要用于硬质合金、玻璃、陶瓷和半导体等研磨; 氧化铬类研磨膏, 主要用于精细抛光或非金属材料的研磨; 金刚石类研磨膏, 主要用于硬质合金等高硬度材料的研磨。常用研磨膏成分及用途见表 9-25 ~ 表 9-27。

表 9-25 刚玉研磨膏成分及用途

粒度号	成分及比例 (质量分数) (%)				用 途
	微粉	混合脂	油酸	其他	
F600	52	26	20	硫化油 2 或煤油少许	粗研
F800	46	28	26	煤油少许	半精研及研狭长表面
F1000	42	30	28	煤油少许	半精研
F1200	41	31	28	煤油少许	精研及研端面
F1200 以下	40	32	28	煤油少许	精研
	40	26	26	凡士林 8	精细研
	25	35	30	凡士林 10	精细研及抛光

表 9-26 碳化硅、碳化硼研磨膏成分及用途

研磨膏名称	成分及比例 (质量分数) (%)	用 途
碳化硅	碳化硅 (F240 ~ F320) 83、凡士林 17	粗研
碳化硼	碳化硼 (F600) 65、石蜡 35	半精研
混合研磨膏	碳化硼 (F600) 35、白刚玉 (F600 ~ F1000) 与混合脂各 15、油酸 35	半精研
碳化硼	碳化硼 (F1200 以下) 76、石蜡 12、羊油 10、松节油 2	精细研

表 9-27 人造金刚石研磨膏

规格	颜色	加工表面粗糙度 <i>Ra</i> /μm	规格	颜色	加工表面粗糙度 <i>Ra</i> /μm
F800	青莲	0.16 ~ 0.32	F1200 以下	桔红	0.02 ~ 0.04
F1000	蓝	0.08 ~ 0.32		天蓝	0.01 ~ 0.02
F1200	玫红	0.08 ~ 0.16		棕	0.008 ~ 0.012
F1200 以下	桔黄	0.04 ~ 0.08		中蓝	≤0.01
F1200 以下	草绿	0.04 ~ 0.08			

9.3.3 研具

研具是用于涂敷或嵌入磨料并使其磨粒发挥切削作用的工具。研具材料硬度一般应比工件材料硬度低，而且硬度一致性好，组织均匀，无杂质、异物、裂纹和缺陷。其结构要合理，并具有较高的几何精度，耐磨性好，散热性好。

(1) 研具材料

1) 常用研具材料的性能及适用范围见表 9-28。

表 9-28 常用研具材料的性能及适用范围

材料	性能与要求	用 途
灰铸铁	120 ~ 160HBW，金相组织以铁素体为主，可适当增加珠光体比例，用石墨球化及磷共晶等办法提高使用性能	用于湿式研磨平板
高磷铸铁	160 ~ 200HBW，以均匀细小的珠光体（70% ~ 85%）为基体，可提高平板的使用性能	用于干式研磨平板及嵌砂平板
10、20 低碳钢	强度较高	用于铸铁研具强度不足时，如 M5 以下螺纹孔， <i>d</i> < 8mm 小孔及窄槽等的研磨
黄铜、纯铜	磨粒易嵌入，研磨工效高，但强度低，不能承受过大的压力，耐磨性差，加工表面粗糙度值高	用于粗研余量大的工件及青铜件和小孔的研磨
木材	要求木质紧密、细致、纹理平直、无节疤、虫伤	用于研磨铜或其他软金属
沥青	磨粒易嵌入，不能承受大的压力	用于玻璃、水晶、电子元件等的精研与镜面研磨
玻璃	脆性大，一般要求 10mm 厚度，并经 450°退火处理	用于精研，配用氧化铬研磨膏，可获得良好研磨效果

2) 常用于研嵌砂平板材料成分见表 9-29。

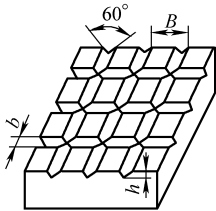
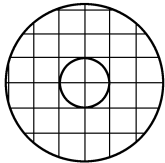
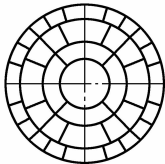
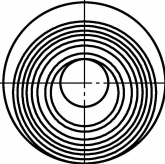
表 9-29 常用干研嵌砂平板材料成分

嵌砂 粒度	干研平板成分（质量分数）（%）								金相组织 及硬度
	C	Si	Mn	P	S	Sb	Ti	Cu	
F1200 以下	3.2	2.14	0.74	0.2	0.1	0.045	—	—	粗片状珠光体占 70%，游离碳呈 A 型 4 ~ 5 级，硬度 156HBW
	2.88	1.58	0.84	0.95	0.05	—	0.15	0.78	薄片状及细片状珠光 体约占 85%，二元磷共 晶网状分布，游离碳呈 A 型 4 ~ 5 型，硬度 192HBW

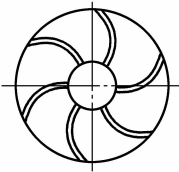
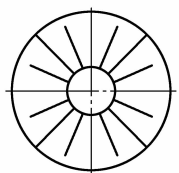
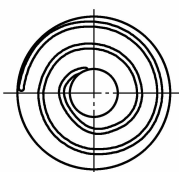
(2) 通用研具

1) 平面研具的类型、特点及适用范围见表 9-30。

表 9-30 平面研具的类型、特点及适用范围

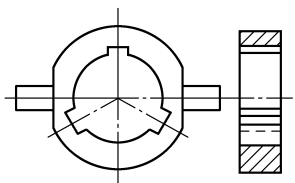
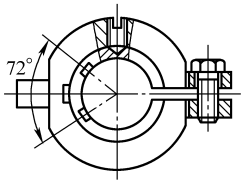
名 称		简 图	结 构 特 点	适 用 范 围
研磨平板			多制成正方形和长方形，常用于手工研磨，有开槽与不开槽两种。开槽目的是用于刮去多余的研磨剂，使零件获得高的平面度。常开 60°，V 形槽宽 b 和深 h 为 1 ~ 5mm，槽距 B 为 15 ~ 20mm	用于研磨平面
研 磨 圆 盘	直角交叉型圆盘		研磨圆盘也有开槽和不开槽两种。研磨圆盘多开螺旋槽，方向是使研磨液能向内侧循环移动，与离心力作用相抵消。如采用研磨膏研磨时，应选阿基米德螺旋线槽较好 但采用开槽圆盘研磨，工件的表面粗糙度较高，因此，若要求工件表面粗糙度较低时，应选用不开槽圆盘研磨	研磨各种平面零件，主要用于小型零件
	圆环射线型圆盘			
	偏心圆环型圆盘			

(续)

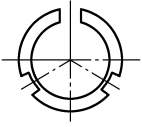

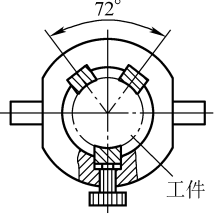
名 称	简 图	结 构 特 点	适 用 范 围
螺旋射线型圆盘		<p>研磨圆盘也有开槽和不开槽两种。研磨圆盘多开螺旋槽，方向是使研磨液能向内侧循环移动，与离心力作用相抵消。如采用研磨膏研磨时，应选阿基米德螺旋线槽较好</p> <p>但采用开槽圆盘研磨，工件的表面粗糙度较高，因此，若要求工件表面粗糙度较低时，应选用不开槽圆盘研磨</p>	研磨各种平面零件，主要用于小型零件
径向射线型圆盘			
阿基米德螺旋线型圆盘			

2) 外圆柱面研具的类型、特点及适用范围见表 9-31。

表 9-31 外圆柱面研具的类型、特点及适用范围

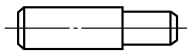
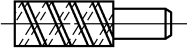
名 称	简 图	结 构 特 点	适 用 范 围
整体式研具		整体式外圆柱面研具是一个空心、整体不开口的研磨套，有均布的三个槽	用于研磨小直径的外圆柱面
带研磨套开口式研具	 无槽式	研磨较大直径的圆柱面时，孔内加研磨套，其内径比工件外径大 0.02 ~ 0.04mm，套的长度为加工表面长度的 1/4 ~ 1/2。研磨套内圆不开槽	用于研磨较大直径的外圆柱面

(续)

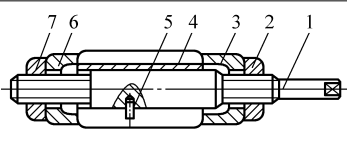
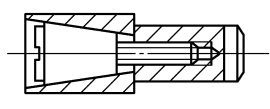
名 称	简 图	结 构 特 点	适 用 范 围
带研磨套开口式研具	 <p>研磨套的外表面开槽</p>	研磨套制成开口的，便于调节尺寸。除开口外，还开两个槽，使研磨套具有一定的弹性	用于研磨普通直径的外圆柱面
	 <p>研磨套的内表面开槽</p>	开口式研磨套，在研磨大型工件时，可在套的内表面开槽，以增加弹性	用于研磨大型外圆柱面
三点式研具	 <p>72° 工件</p>	三点式研具是在整体研具架的内径上开有三个槽（角度如图所示），其中拧入调节螺栓一槽较深。在三个槽内均镶嵌有一研磨块。研磨时，把三块研磨块车成研磨直径尺寸	用于研磨高精度的外圆柱面

3) 内圆柱面研具的类型、特点及适用范围见表 9-32。

表 9-32 内圆柱面研具的类型、特点及适用范围

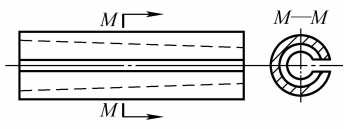
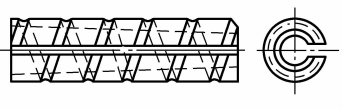
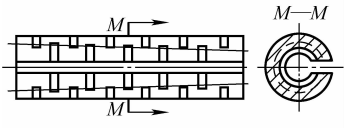
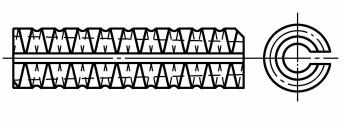
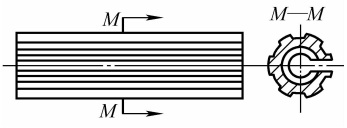
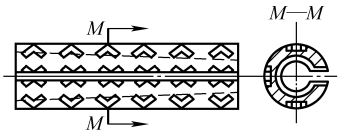
名 称	简 图	结 构 特 点	适 用 范 围
整 体 式 研 具	 <p>不开槽式</p>	不开槽式整体研棒，是实心整体圆柱体，刚性好，研磨精度高	用于精研较小孔（直径 < 8mm）内圆柱面
	 <p>开槽式</p>	开槽式整体研棒，是在实心圆柱体外圆表面上开直槽、螺旋槽或交叉槽。螺旋槽研棒研磨效率高，但研孔表面粗糙度和圆度较差；交叉螺旋槽和十字交叉槽研棒加工质量好，水平研磨开直槽较好，垂直研磨开螺旋槽较好	

(续)

名 称	简 图	结 构 特 点	适 用 范 围
可 调 式 研 具	 <p>1—心棒 2、7—螺母 3、6—套 4—研磨套 5—销</p>	心棒与研磨套的配合锥度为1:20~1:50。锥套外径比工件小0.01~0.02mm,其结构有开槽或不开槽两种	开槽式研磨棒适用于粗研,不开槽式研磨棒适用于精研
不 通 孔 式 研 具		利用螺纹,通过锥度使外径胀大。研棒工作部分的长度尺寸必须比被研磨孔的长度尺寸大20~30mm,锥度为1:50~1:20。研磨不通孔时,由于磨料不易均布,可在外径上开螺旋槽,或在轴向作成反锥	适用于研磨不通孔的内圆柱面

4) 内圆柱面研棒沟槽形式见表 9-33。

表 9-33 内圆柱面研棒沟槽形式

形 式	简 图	形 式	简 图
单 槽		螺旋槽	
圆周短槽		交叉螺旋槽	
轴向直槽		十字交叉槽	

9.3.4 研磨方法

(1) 常用研磨运动轨迹

1) 手工研磨运动轨迹类型见表 9-34。

表 9-34 手工研磨运动轨迹类型

轨迹类型	简 图	适用范围
直线往复式		常用于研磨有台阶的狭长平面，如平面样板、角尺的测量面等。能获得较高的几何精度
摆动直线式		用于研磨某些圆弧面，如样板角尺、双斜面直尺的圆弧测量面
螺旋式		用于研磨圆片或圆柱形工件的端面，能获得较好的表面粗糙度和平面度
“8”字形或仿“8”字形		常用于研磨小平面工件，如量规的测量面等

2) 机械研磨运动轨迹类型见表 9-35。

表 9-35 机械研磨运动轨迹类型

轨迹类型	轨 迹 图 形	特点及适用范围
直线往复式		工件在平板上作平面平行运动，其研磨速度一致，研磨量均匀，运动较平稳，研磨行程的同一性较好。但研磨轨迹容易重复，平板磨损不一致。适用于加工底面狭长而高的工件
正弦曲线式		工件始终保持平面平行运动，主要是成形研磨。由于轨迹交错频繁，研磨表面粗糙度比直线往复式有明显降低
周摆线式		工件运动能走遍整个板面，结构简单，加工表面粗糙度低。但因工件前导边始终不变换，且工件各点的行程不一致性较大，不易保持研磨盘的平面度。适用于加工扁平工件及圆柱工件的端面
内摆线式		内、外摆线式轨迹适于研磨圆柱形工件端面，及底面为正方形或矩形、长宽比小于2:1的扁平工件。这种轨迹的尺寸一致性好，平板磨损较均匀，故研磨质量好，效率较高，适用于大批生产
外摆线式		

(2) 研具的压砂

研磨前研具可按表 9-36 所述的工序步骤进行压砂。

表 9-36 研具压砂工序

序号	工序名称	说 明
1	涂硬脂酸	用煤油清洗擦净研具，涂抹一层硬脂酸
2	倒砂，抹匀及晾干	将浸泡好的液态研磨剂摇晃均匀，并倒在研具表面，抹匀、晾干
3	滴加液态润滑剂	滴加适量煤油，把晾干的研磨粉调匀呈粘稠状，然后将另一块研具合上，开始嵌压砂
4	嵌压砂	按“8”字形运动推研研具，并经常调转上研具的方向，一般需 3~5 遍，才能使磨粒均匀嵌入并有一定深度
5	擦净	取下上研具，用脱脂棉擦净研具表面
6	试块检查	用与被研工件材料相同的试块，在研具表面直线往复推研几下。当试块推研时切削速度很快，且表面研磨条纹细密均匀，则说明研具表面嵌砂多而均匀，即可正式使用

(3) 研磨工艺参数的选择

1) 研磨余量的选择见表 9-37 ~ 表 9-39。

表 9-37 平面研磨余量 (单位：mm)

平面长度	平面宽度		
	≤25	26~75	76~150
≤25	0.005~0.007	0.007~0.010	0.010~0.014
26~75	0.007~0.010	0.010~0.016	0.016~0.020
76~150	0.010~0.014	0.016~0.020	0.020~0.024
151~250	0.014~0.018	0.020~0.024	0.024~0.030

注：经过精磨的工件，手工研磨余量每面为 3~5μm，机械研磨余量每面为 5~10μm。

表 9-38 外圆研磨余量 (单位：mm)

直 径	余 量	直 径	余 量
≤10	0.005~0.008	51~80	0.008~0.012
11~18	0.006~0.008	81~120	0.010~0.014
19~30	0.007~0.010	121~180	0.012~0.016
31~50	0.008~0.010	181~260	0.015~0.020

注：经过精磨的工件，手工研磨余量为 3~8μm，机械研磨余量为 8~15μm。

表 9-39 内孔研磨余量 (单位：mm)

孔 径	铸 铁	钢
25~125	0.020~0.100	0.010~0.040
150~275	0.080~0.160	0.020~0.050
300~500	0.120~0.200	0.040~0.060

注：经过精磨的工件，手工研磨直径余量为 5~10μm。

2) 研磨速度的选择见表 9-40。

表 9-40 研磨速度的选择 (单位: m/min)

研磨类型	平 面		外圆	内孔	其他
	单 面	双 面			
湿研	20 ~ 120	20 ~ 60	50 ~ 75	50 ~ 100	10 ~ 70
干研	10 ~ 30	10 ~ 15	10 ~ 25	10 ~ 20	2 ~ 8

注: 1. 工件材质软或精度要求高时, 速度取小值。

2. 内孔指孔径范围 6 ~ 10mm。

3) 研磨压力的选择见表 9-41。

表 9-41 研磨压力的选择 (单位: MPa)

研磨类型	平面	外圆	内孔 ^①	其他
湿研	0. 10 ~ 0. 15	0. 15 ~ 0. 25	0. 12 ~ 0. 28	0. 08 ~ 0. 12
干研	0. 01 ~ 0. 10	0. 05 ~ 0. 15	0. 04 ~ 0. 16	0. 03 ~ 0. 10

① 孔径范围 5 ~ 20mm。

(4) 典型面研磨方法举例

1) 平面研磨方法。平面的研磨, 一般分为粗研和精研。粗研用有槽的平板, 精研用光滑平板。

研磨前, 先用煤油或汽油把研磨平板的工作表面清洗干净并擦干, 再在研磨平板上涂上适当的研磨剂, 然后把工件需要研磨的表面合在研板上进行研磨。研磨时多采用“8”字形或螺旋形运动轨迹 (表 9-34), 但研磨狭窄平面时也常采用直线往复式轨迹, 并用金属块作导靠 (金属块平面应互相垂直), 使金属块和工件紧靠在一起, 并跟工件一起研磨 (图 9-36a), 以保持侧面和平面的垂直, 防止倾斜和产生圆角。若加工工件数量较多, 可采用 C 形夹将几块工件夹在一起进行研磨 (图 9-36b)。

研磨平面时, 压力应适中, 粗研时压力可大些, 精研时压力要小些。研磨速度一般控制在每分钟往复 20 ~ 40 次的范围内。

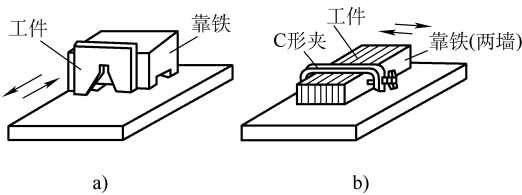


图 9-36 平面研磨时辅助工具的应用

2) 外圆柱面研磨方法。外圆柱面的研磨方法分纯手工研磨和机械配合手工研磨两种。

① 纯手工研磨方法。如图 9-37 所示, 先将工件安装在特制的工具上, 并在工件外圆涂一层薄而均匀的研磨剂, 然后装入已固定好的研具孔内, 调整好研磨间隙, 手握工具手柄, 使工件既作正、反方向转动, 又作轴向往复移动, 保证整个研磨面得到均匀的研磨。

② 机械配合手工研磨方法。如图 9-38 所示, 在研磨外圆柱面时, 由机床夹住工件旋转, 手握研具作轴向往复运动, 进行研磨 (图 9-38a、b)。

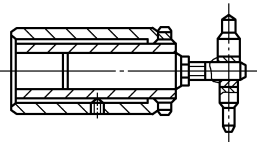


图 9-37 纯手工研磨外圆柱面

应根据表 9-31 选用相应的可调式研具。在工件上均匀涂上研磨剂，套上研具，调整研磨环的研磨间隙，以手能转动为宜。研磨中，应随时调整研磨间隙。由于工件存在加工误差，研磨时，手握研具可感觉到松紧不同，紧的地方可多研几下，直到间隙合理而手感松紧很均匀为止。研具应常调头研磨。

研磨时往复运动与工件旋转运动要有规律。一般工件的转速在直径小于 80mm 时为 100r/min，直径大于 100mm 时为 50r/min。研具往

复运动的速度，根据工件在研具上研磨出来的网纹来控制（图 9-38c）。当往复运动的速度，适当，工件上研磨出来的网纹成 45°交叉线；太快，网纹与工件轴线夹角就较小；太慢，网纹与工件轴线夹角较大。往复运动的速度不论太快还是太慢，都影响工件的精度和耐磨性。

3) 内圆柱面（内孔）研磨方法。内圆柱面的研磨方法分纯手工研磨和机械配合手工研磨两种。

① 纯手工研磨方法（图 9-39）。先将工件固定好，将研磨剂均匀涂在研具表面，然后装入工件中，用手转动研具（或将研具装在铰杠上），同时作轴向往复运动。

研具可采用整体式或可调式研磨棒。整体式研磨棒常采用 5 支一组形式，其尺寸公差见表 9-42。

表 9-42 整体式成组研磨棒的直径差

号数	尺寸规定/mm	备 注	号数	尺寸规定/mm	备 注
1	比被研磨孔小 0.015	开螺旋槽	4	比 3 号研磨棒大 0.005	不开螺旋槽
2	比 1 号研磨棒大 0.01 ~ 0.015	开螺旋槽	5	比 4 号研磨棒大 0.003 ~ 0.005	不开螺旋槽
3	比 2 号研磨棒大 0.005 ~ 0.008	开螺旋槽			

② 机械配合手工研磨方法（图 9-40）。研磨棒夹在机床卡盘上，将研磨剂均匀涂在研具表面，手握工件在研磨棒全长上作均匀往复移动，研磨速度取 0.3 ~ 1m/s。研磨中不断调大研磨棒直径，以达到工件要求的尺寸和精度。

在调节研磨棒时与工件的配合要适当，配合太紧，易将孔面拉毛；配合太松，孔会研磨成椭圆形。研磨时如工件的端面有过多的研磨剂被挤出，

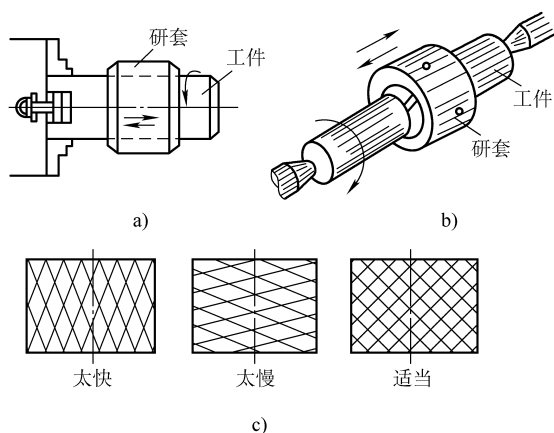


图 9-38 机械配合手工研磨外圆柱面

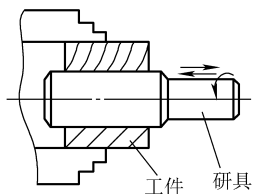


图 9-39 纯手工研磨内圆柱面

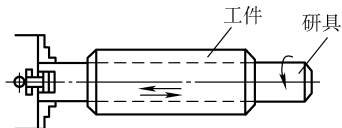


图 9-40 机械配合手工研磨内圆柱面

应及时擦掉，否则会使孔口扩大，研磨成喇叭口形状。如孔口要求精度很高，可将研磨棒的两端，用砂布磨得略小一些，以避免孔口扩大的缺陷。

4) 不通孔研磨。研磨前，要求工件孔径尽量接近最终要求，研磨余量要尽量小。研磨棒长度应长于工件 5 ~ 10mm，并使其前端有大于直径 0.01 ~ 0.03mm 的倒锥。粗研磨采用 F600 研磨剂，精研磨前洗净残留研磨剂，再用细研磨剂研磨。

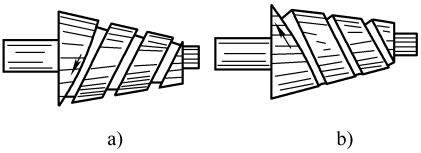


图 9-41 带有螺旋槽的圆锥面研棒

a) 左向螺旋槽 b) 右向螺旋槽

5) 圆锥面研磨。工件圆锥面的研磨，包括圆锥孔和圆锥体（外圆锥面）。研具结构有整体式和可调式两种，其工作部分的长度应是工件研磨长度的 1.5 倍左右。整体式研磨棒开有螺旋槽（图 9-41），可调式的研磨棒（套）其结构和圆柱面可调式研磨棒（套）类似。

研磨一般在车床或钻床上进行，研磨棒的转动方向应与螺旋槽方向一致。研磨时，研磨棒（套）上应均匀地涂上一层研磨剂，插入工件锥孔（或锥体）中（图 9-42）进行研磨。研磨时需要多次擦净，重新涂上研磨剂，在作转动的同时，要不断地稍微拔出和推入，反复进行研磨，研磨到接近要求的精度时，拔出研具，擦掉研具和工件表面的研磨剂，重新套上进行抛光。

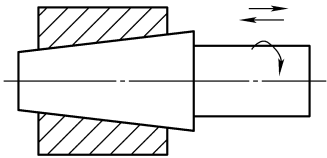


图 9-42 研磨圆锥面

9.3.5 研磨的质量分析

(1) 平板压砂常见问题及产生原因（表 9-43）

表 9-43 平板压砂常见问题及产生原因

常见问题	产生原因
有不均匀的打滑现象，并伴有“吱吱”声响，平板表面发亮	主要是压砂不进，硬脂酸过多，平板材料有硬层
压砂不均匀	硬脂酸过多，平板不吻合，煤油过少，磨料分布不均匀
平板中部磨料密集	对研平板有凹心，煤油过多
平板表面有划痕	研磨剂中混有粗粒，或磨料未嵌入，硬脂酸分布不均
平板表面出现黄色或茶褐色斑块烧伤	润滑剂少，对研速度过快或压力过高，研磨时间过长
研时噪声很大	磨粒呈脆性
平板表面光亮度不一致	磨粒分布不均匀，或所施加的压力不均匀

(2) 研磨时常见缺陷及产生原因 (表 9-44)

表 9-44 研磨时常见缺陷及产生原因

缺 陷	产 生 原 因
表面粗糙度值高	1) 磨料太粗 2) 研磨剂选用不当 3) 研磨剂涂得薄而不均 4) 研磨时忽视清洁工作, 研磨剂中混入杂质
平面成凸形	1) 研磨时压力过大 2) 研磨剂涂得太厚, 工作边缘挤出的研磨剂未及时擦去仍继续研磨 3) 运动轨迹没有错开 4) 研磨平板选用不当
孔口扩大	1) 研磨剂涂抹不均匀 2) 研磨时孔口挤出的研磨剂未及时擦去 3) 研磨棒伸出太长 4) 研磨棒与工件孔之间的间隙太大, 研磨时研具相对于工件孔的径向摆动太大 5) 工件内孔本身或研磨棒有锥度
孔成椭圆形或圆柱有锥度	1) 研磨时没有更换方向或及时调头 2) 工件材料硬度不均或研磨前加工质量差 3) 研磨棒本身的制造精度低

9.4 钻削、扩削、铰削技术

9.4.1 钻削[⊖]

9.4.1.1 群钻

群钻是以改进钻头几何形状为主要特点的高效麻花钻。它综合采用了各种修磨方法的特点, 根据用途的不同, 修磨有多种不同形式。

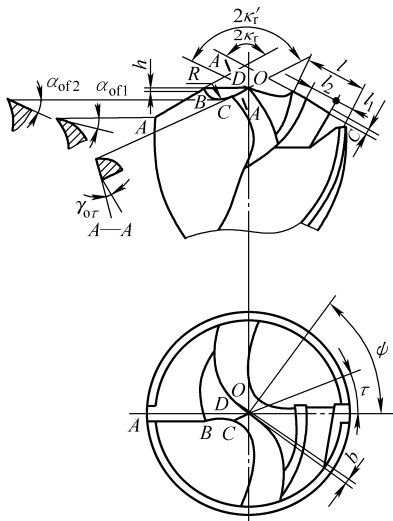
群钻与标准麻花钻相比, 其轴向力可降低 35% ~ 50%, 转矩可减少 10% ~ 30%, 钻头寿命可提高 3 ~ 5 倍。切削效率高, 加工质量好。

(1) 几种群钻切削部分的几何参数

- 1) 基本型群钻切削部分的几何参数见表 9-45。
- 2) 加工铸铁用群钻切削部分的几何参数见表 9-46。
- 3) 加工纯铜用群钻切削部分的几何参数见表 9-47。
- 4) 加工黄铜用群钻切削部分的几何参数见表 9-48。
- 5) 加工薄板用群钻切削部分的几何参数见表 9-49。
- 6) 毛坯扩孔用群钻切削部分的几何参数见表 9-50。

⊖ 标准麻花钻的结构、切削角度、刃磨和修磨见第 2 章。

表 9-45 基本型群钻切削部分的几何参数

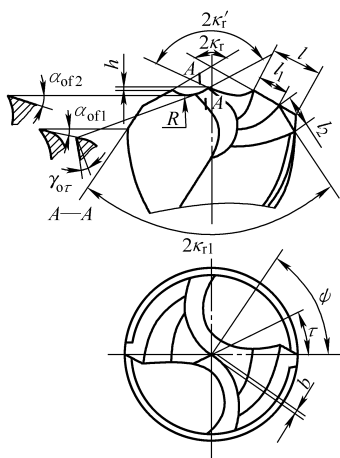


特点口诀
三尖七刃锐当先，
月牙弧槽分两边，
一侧外刃宽分屑，
横刃磨低窄又尖

钻头直径 d	尖高 h	圆弧 半径 R	外刃 长 l	槽距 l_1	槽宽 l_2	横刃长		槽 深 C	槽 数 Z	外刃 锋角		内刃 锋角 $2\kappa'_r$	横刃 斜角		内刃 前角 γ_{or}	内刃 斜角 τ	外刃 后角 α_{of1}	圆弧 后角 α_{of2}
						I	II			I	II		I	II				
						b				$2\kappa_r$			ψ					
mm									条	(°)								
5 ~ 7	0.2	0.75	1.3	~	~	0.2	0.15											
> 7 ~ 10	0.28	1	1.9	~	~	0.3	0.2	~	~							20	15	18
> 10 ~ 15	0.36	1.5	2.6	~	~	0.4	0.3											
> 15 ~ 20	0.55	1.5	5.5	1.4	2.7	0.5	0.4											
> 20 ~ 25	0.7	2	7.0	1.8	3.4	0.6	0.48											
> 25 ~ 30	0.85	2.5	8.5	2.2	4.2	0.75	0.55	1	1	125	140	135	65	60	-10	25	12	15
> 30 ~ 35	1	3	10	2.5	5	0.9	0.65											
> 35 ~ 40	1.15	3.5	11.5	2.9	5.8	1.05	0.75											
> 40 ~ 45	1.3	4	13	2.2	3.25	1.15	0.85											
> 45 ~ 50	1.45	4.5	14.5	2.4	3.6	1.3	0.95	1.5	2							30	10	12
> 50 ~ 60	1.65	5	17	2.9	4.25	1.45	1.05											

注：Ⅰ—加工一般钢材；Ⅱ—加工铝合金。

表 9-46 加工铸铁用群钻切削部分的几何参数

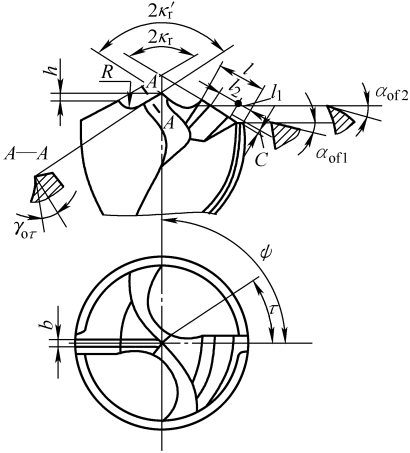


特点口诀

铸铁屑碎赛磨料，
转速稍低大走刀，
三尖刃利加冷却，
双重锋角寿命高

[illegible]

表 9-47 加工纯铜用群钻切削部分的几何参数

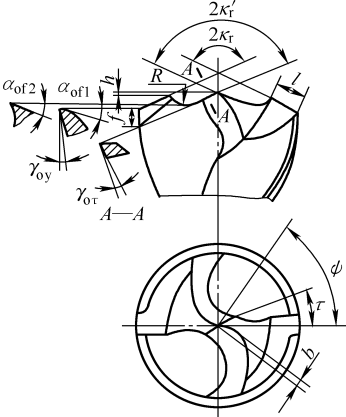


特点口诀

纯铜群钻钻心高，
圆弧后角要减小，
横刃斜角九十度，
孔形光整无多角

钻头直径 d	尖高 h	圆弧 半径 R	横刃 长 b	外刃 长 l	槽距 l_1	槽宽 l_2	槽数 z	外刃 锋角 $2\kappa_r$	内刃 锋角 $2\kappa'_r$	横刃 斜角 ψ	内刃 前角 γ_{or}	内刃 斜角 τ	外刃 后角 α_{of1}	圆弧 后角 α_{of2}
mm							条	(°)						
5~7	0.35	1.25	0.15	1.3	—	—	—	120	115	90	-25	30	15	12
>7~10	0.5	1.75	0.2	1.9	—	—								
>10~15	0.8	2.25	0.3	2.6	—	—								
>15~20	1.1	3	0.4	3.8	—	—								
>20~25	1.4	4	0.48	4.9	—	—								
>25~30	1.7	4	0.55	8.5	2.2	4.2	1					35	12	10
>30~35	2	4.5	0.65	10	2.5	5								
>35~40	2.3	5	0.75	11.5	2.9	5.8								

表 9-48 加工黄铜用群钻切削部分的几何参数



特点口诀

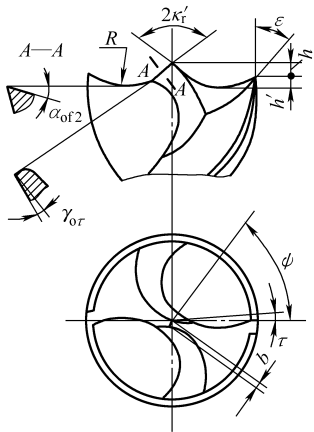
黄铜钻孔易“扎刀”，
外刃前角要减小，
棱边磨窄、修圆弧，
孔圆、光整质量高

(续)

钻头直径 d	尖高 h	圆弧 半径 R	横刃 长 b	外刃 长 l	修磨 长度 f	外刃锋角		内刃 锋角 $2\kappa'_r$	横刃 斜角 ψ	外刃纵 向前角 γ_{oy}	内刃 前角 γ_{or}	内刃 斜角 τ	外刃 后角 α_{ofl}	圆弧 后角 α_{of2}
						I	II							
						$2\kappa_r$								
mm						(°)								
>5~7	0.2	0.75	0.15	1.3	1.5	125	110	135	65	8	-10	20	15	18
>7~10	0.3	1	0.2	1.9										
>10~15	0.4	1.5	0.3	2.6										
>15~20	0.55	2	0.4	3.8	3							25	12	15
>20~25	0.70	2.5	0.48	4.9										
>25~30	0.85	3	0.55	6										
>30~35	1	3.5	0.65	7.1										
>35~45	1.15	4	0.75	8.2										

注：Ⅰ—钻黄铜；Ⅱ—钻胶木。

表 9-49 加工薄板用群钻切削部分的几何参数

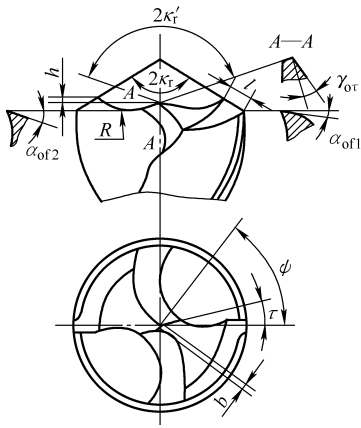


特点口诀
迂回、钳制靠三尖，
内定中心外切圈，
压力减轻变形小，
孔形圆整又安全

钻头直径 d	横刃长 b	尖 高 h	圆弧半径 R	圆弧深度 h'	内刃锋角 $2\kappa'_r$	刃尖角 ε	内刃前角 γ_{or}	圆弧后角 α_{of2}
mm					(°)			
5~7 >7~10 >10~15	0.15 0.20 0.30	0.5	用单圆弧 连接					15
>15~20 >20~25 >25~30	0.40 0.48 0.55	1	用双圆弧 连接	$>(\delta+1)$	110	40	-10	12
>30~35 >35~40	0.65 0.75	1.5						

注： δ 指料厚。

表 9-50 毛坯扩孔用群钻切削部分的几何参数



特点口诀

毛坯扩孔定心难，
钻心低于两外尖，
外刃切入手进给，
再用机进也不偏

钻头直径 d	尖高 h	圆弧半径 R	横刃长 b	外刃长 l	外刃锋角 $2\kappa_r$	内刃锋角 $2\kappa'_r$	横刃斜角 ψ	内刃前角 $\gamma_{\sigma\tau}$	内刃斜角 τ	外刃后角 α_{of1}	圆弧后角 α_{of2}
mm					(°)						
30 ~ 46	1.5	6	1.5	按扩孔 余量决 定	120	140	65	- 15	30	12	12
> 46 ~ 60	2	7	2						35	10	10
> 60 ~ 80	2.5	8	2.5						40	8	8

(2) 群钻手工刃磨方法

以标准中型群钻（直径 15 ~ 40mm）为例（图 9-43）。

1) 修整砂轮见图 9-44。

口诀：砂轮要求不特殊，通用砂轮就满足。

外圆轮侧修平整，圆角可小月牙弧。

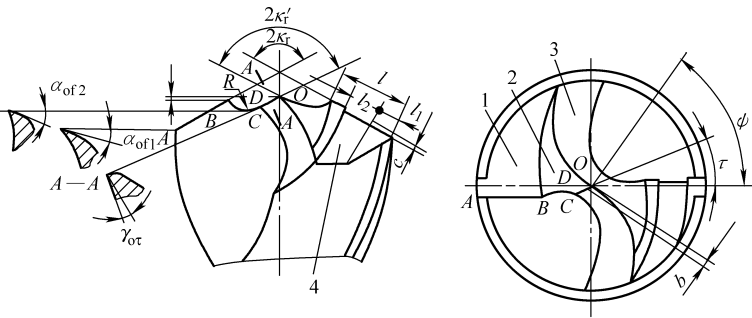


图 9-43 标准中型群钻

1—外刃后面 2—月牙槽后面 3—内刃前面 4—分屑槽

2) 磨外直刃见图 9-45。

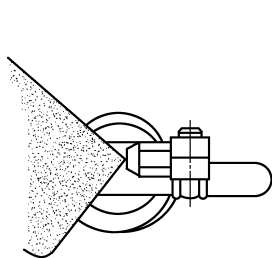


图 9-44 刃磨前修整砂轮

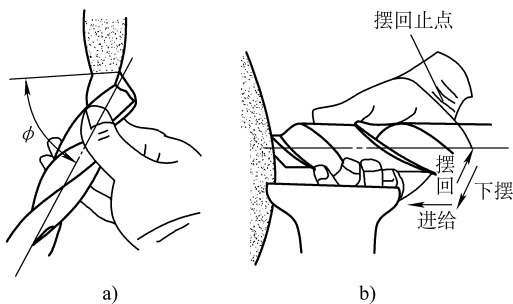


图 9-45 磨外直刃

口诀：钻刃摆平轮面靠，钻轴左斜出锋角。

由刃向背磨后面，上下摆动尾别翘。

3) 磨月牙槽见图 9-46。

口诀：刀对轮角、刃别翘，钻尾
压下弧后角 (α_{of2})。

轮侧、钻轴夹 55° ，上下
勿动平进刀。

4) 修磨横刃见图 9-47。

口诀：钻轴左倾 15° ，尾柄下压
约 55° ，

外刃、轮侧夹“ τ ”角，
钻心缓进别烧糊。

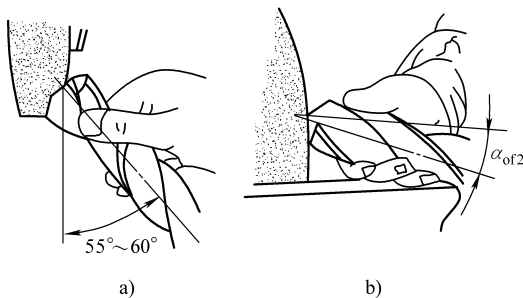


图 9-46 磨月牙槽

5) 磨外直刃上的分屑槽见图 9-48。

口诀：片砂轮或小砂轮，垂直刃口两平分，
开槽选在高刃上，槽侧后角要留心。

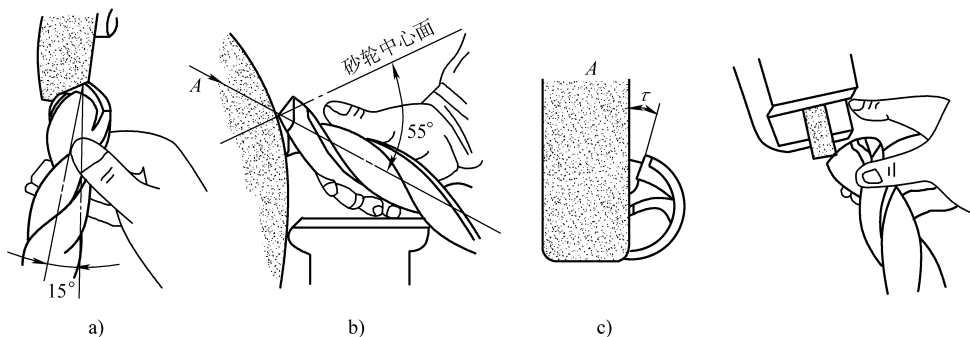


图 9-47 修磨横刃

图 9-48 磨外直刃上
的分屑槽

9.4.1.2 几种典型钻头举例

(1) 分屑钻头 (图 9-49)

分屑钻头适用于加工碳素钢与合金结构钢。

分屑槽尺寸见表 9-51。

表 9-51 分屑槽尺寸 (单位: mm)

钻头直径	总槽数	l_2	c	l'_1	l_1	l''_1
12 ~ 18	2	0.85 ~ 1.3	0.6 ~ 0.9	2.3	4.6	—
> 18 ~ 35	3	1.3 ~ 2.1	0.9 ~ 1.5	3.6	7.2	7.2
> 35 ~ 50	5	2.1 ~ 3	1.5 ~ 2	5	10	10*

注: 有两条槽时, 槽距应为 10mm, 具体尺寸可按钻头直径决定。

横刃长度为 0.75 ~ 1.5mm, 应注意修磨对称。采用分屑钻头, 加工表面粗糙度 R_a 可达 6.3 ~ 3.2 μ m, 钻头排屑好, 有利于冷却。可提高钻头寿命和生产率。

(2) 综合钻头 (图 9-50)

综合钻头适用于加工铸铁件。

钻头横刃长度为 0.5 ~ 1mm; 双后角 $l/3$ 的后面的后角 $\alpha_o = 8^\circ \sim 12^\circ$; 其余为 45° ; 双重锋角, 近外圆处为 75° ; 在 4 ~ 5mm 长度的棱边上磨出副后角 α_1 , $\alpha_1 = 6^\circ \sim 8^\circ$; 两主切削刃和过渡刃要修磨对称。

采用综合钻头, 加工表面粗糙度 R_a 可达 6.3 ~ 3.2 μ m。可提高钻头寿命和生产率。

(3) 钻不锈钢钻头 (图 9-51)

钻不锈钢钻头适用于加工不锈钢和耐热钢。

钻头分屑槽尺寸, $l_2 = 1.5 \sim 17.5\text{mm}$, $c = 0.5 \sim 0.6\text{mm}$, $l_1 = \frac{d}{6} \sim \frac{d}{7}$ 。

修磨横刃, 使该处为正前角, 横刃长一般应根据钻头直径 d 确定, $d = 6 \sim 25\text{mm}$, 横刃长 $b = 0.4 \sim 0.5\text{mm}$; $d > 25 \sim 30\text{mm}$, $b = 0.6 \sim 0.7\text{mm}$; $d > 30\text{mm}$, $b = 0.7 \sim 0.8\text{mm}$ 。

锋角和后角尺寸见表 9-52。

表 9-52 锋角与后角尺寸

钻头直径 d/mm	锋角 $2\kappa_r$ /($^\circ$)	后角 α_o /($^\circ$)
< 15	135 ~ 140	12 ~ 15
> 15 ~ 30	130 ~ 135	10 ~ 12
> 30 ~ 40	125 ~ 130	8 ~ 10
> 40	120 ~ 125	7 ~ 8

修磨棱边, 宽度为 0.5 ~ 1mm, 后角为 30° 。

采用钻不锈钢钻头, 加工表面粗糙度 R_a 可达 6.3 ~ 3.2 μ m。可提高钻头寿命和生产

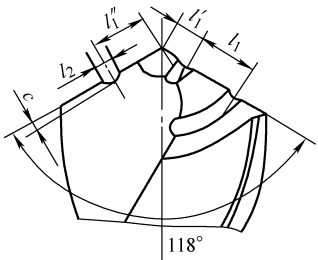


图 9-49 分屑钻头

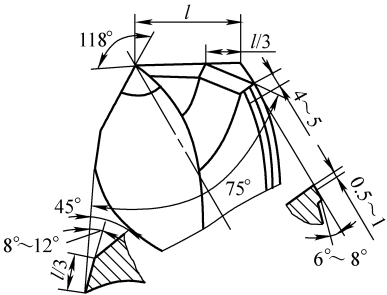


图 9-50 综合钻头

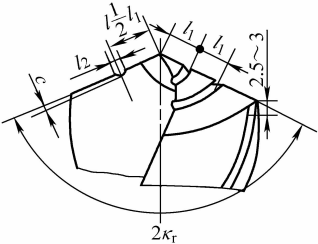


图 9-51 钻不锈钢钻头

率。加工时,应注意经常清除切削刃上的刀瘤,钻头未退出孔以前,不要停车。

(4) 钻铝合金钻头 (图 9-52)

钻铝合金钻头适用于加工铝合金件。

钻头前角 $\gamma_o = 3^\circ \sim 5^\circ$, 外刃圆角半径 $R = \frac{d}{4}$, 横刃与前面一起修磨成光滑圆弧连接, 前面背光, 不易粘刀瘤, 切屑可顺利排出。

采用钻铝合金钻头, 加工表面粗糙度 Ra 可达 $6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$, 可提高钻头寿命和生产率。

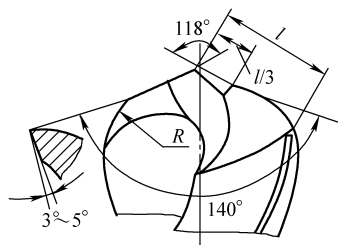


图 9-52 钻铝合金钻头

(5) 钻高锰钢用硬质合金钻头 (图 9-53)

钻高锰钢用硬质合金钻头适用于加工高锰钢材料。

钻头前角 $\gamma_o = 0^\circ \sim 5^\circ$, 后角 $\alpha_o = 10^\circ \sim 15^\circ$, 横刃斜角 $\psi = 77^\circ$, 横刃长(b): $d = 16 \sim 18\text{mm}$ 时, $b = 1.2\text{mm}$; $d = 20 \sim 22\text{mm}$ 时, $b = 1.5\text{mm}$; $d = 24 \sim 30\text{mm}$ 时, $b = 1.8 \sim 2\text{mm}$ 。此外, 硬质合金刀片上, 还应磨有与钻头轴线成 6° 的斜角。

采用钻高锰钢用硬质合金钻头, 最好用硫化乳化切削液。可提高钻头寿命和生产率。

(6) 精钻孔钻头 (图 9-54)

精钻孔钻头适用于加工低碳钢、中碳钢和不锈钢扩孔。

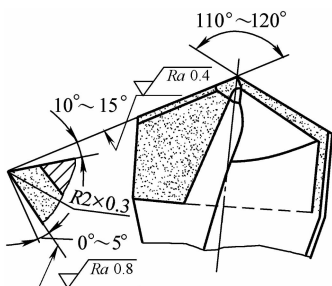


图 9-53 钻高锰钢用硬质合金钻头

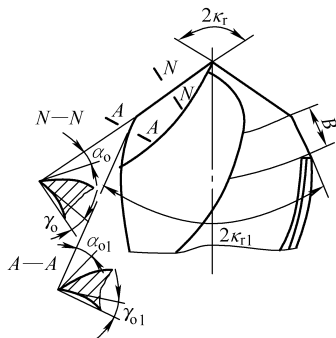


图 9-54 精钻孔钻头

钻头前角 $\gamma_o = 15^\circ \sim 20^\circ$, 后角 $\alpha_o = 15^\circ \sim 17^\circ$, 最外缘处 $\approx 30^\circ$, 锋角修磨要对称、加工脆性材料时 $2\kappa_r = 100^\circ \sim 115^\circ$, $2\kappa_{r1} = 50^\circ \sim 60^\circ$; 加工韧性材料时 $2\kappa_r = 100^\circ \sim 110^\circ$, $2\kappa_{r1} = 45^\circ \sim 50^\circ$, $B \approx 0.2D$ 。棱边宽度为 $0.2 \sim 0.4\text{mm}$, 副后角 $\alpha_1 = 6^\circ \sim 8^\circ$ 。

采用精钻孔钻头, 加工精度可达 IT6 ~ IT8 级, 表面粗糙度 Ra 可达 $0.8 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 。

(7) 钻软橡胶钻头 (图 9-55)

钻软橡胶钻头适用于钻削软橡胶, 表面粗糙度 Ra 可达 $6.3 \mu\text{m}$ 。

(8) 钻塑料、硬橡胶钻头 (图 9-56)

钻塑料、硬橡胶钻头适用于加工塑料和硬橡胶件。

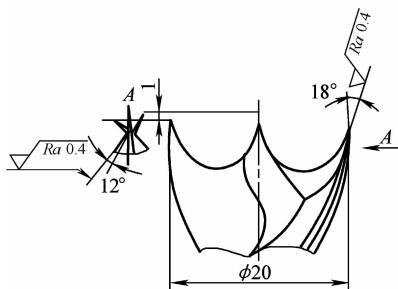


图 9-55 钻软橡胶钻头

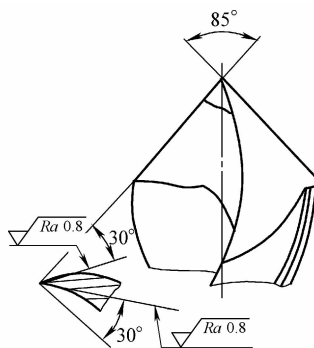


图 9-56 钻塑料、硬橡胶钻头

钻头修磨前面，加大前角，后角 $\alpha_0 = 30^\circ$ ，横刃长为 0.3mm。

采用钻塑料、硬橡胶钻头，加工表面粗糙度 Ra 可达 $6.3\mu\text{m}$ 。

9.4.1.3 工件装夹方法及钻模类型

(1) 常用装夹方法

1) 手握或用手虎钳夹持。钻直径 6mm 以下的小孔，如果工件能用手握住，而且基本比较平整时，可以直接用手握住工件进行钻孔。

对于短小工件，用手不能握持时，必须用手虎钳或小型台虎钳来夹紧（图 9-57）。

对于较长工件，虽然可用手握住，但最好在钻床台面上再用螺钉靠住工件（图 9-58），这样比较安全。

2) 用机用平口虎钳装夹。在平整的工件上钻较大孔时，一般采用机用平口虎钳装夹。装夹时在工件下面垫一木块，如果钻的孔较大，机用平口虎钳应用螺钉固定在钻床工作台上（图 9-59）。

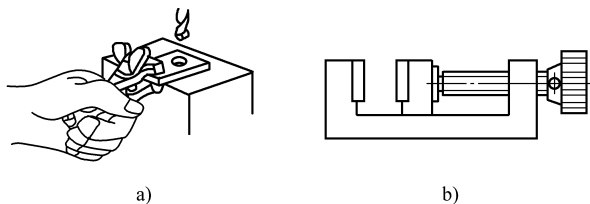


图 9-57 钻小孔时的装夹

a) 用手虎钳夹持工件 b) 小型台虎钳

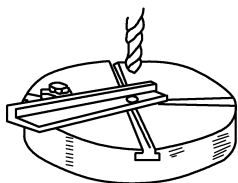


图 9-58 用螺钉靠住长工件

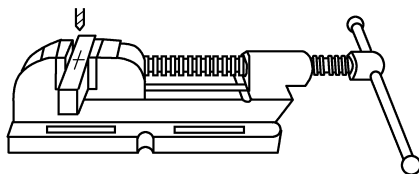


图 9-59 用机用平口虎钳装夹工件

3) 用 V 形块装夹。在圆柱形或套筒类工件上钻孔时, 一般把工件放在 V 形块上, 并配以压板压紧 (图 9-60)。

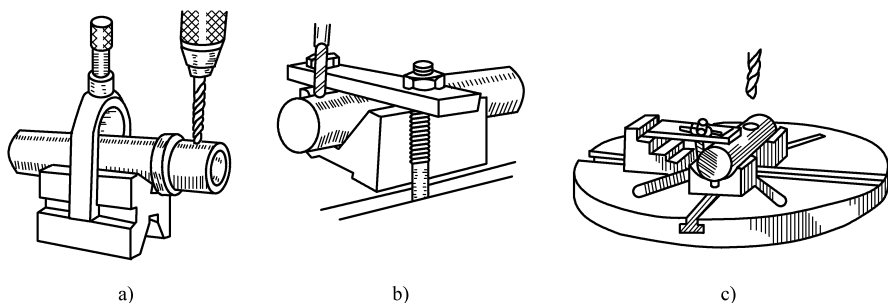


图 9-60 用 V 形块装夹工件

4) 用角铁装夹。将工件装夹在已固定在钻床工作台面上的角铁上 (图 9-61)。

5) 在钻床工作台面上装夹工件。钻大孔或不适宜用机用平口虎钳装夹的工件, 可直接用压板、螺栓把工件固定在钻床工作台面上 (图 9-62)。

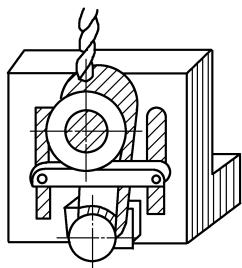


图 9-61 用角铁装夹工件

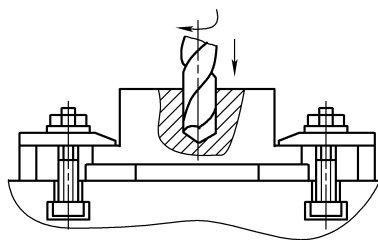


图 9-62 在钻床工作台面上装夹工件

(2) 常用钻夹具 (钻模) 形式及特点

各类钻床上进行钻、扩、绞孔的夹具, 统称为钻床夹具。

钻床夹具上, 一般都装有距定位元件一定距离的钻套 (因此钻床夹具习惯上又称钻模), 通过钻套引导刀具就可以保证被加工孔的坐标位置, 并防止钻头切入后的偏斜。

因为钻模能够保证并提高被加工孔的位置精度、尺寸精度及表面粗糙度, 并大大缩短工序时间 (可不用划线和找正工序), 提高生产率等特点, 所以钻模应用较广范。

在钻削加工中, 工件上被加工孔的分布情况, 一般可决定夹具的结构类型。例如, 有分布在工件同一表面有共同回转轴线的平行孔系, 排列成直线的平行多孔, 分布在工件不同表面或圆周上的径向孔等。因此钻夹具的基本结构类型有: 固定式、移动式、翻转式、盖板式、回转式 (分度式) 等。

1) 固定式钻床夹具。在加工过程中, 夹具和工件在机床上的位置始终保持不变, 用于加工同一方向的直孔或斜孔。

应注意: 加工直径大于 10mm 钻孔时夹具应固定在工作台上。安装夹具时, 应先将

装在主轴上的心轴（钻孔精度要求较低时，可直接用钻头）伸入钻套中，校正夹具位置后，将夹具紧固。

固定式钻床夹具举例^①：

- ① 在套筒上加工一径向孔的固定式钻模（图 9-63）。
- ② 钻斜孔的固定式钻模（图 9-64）。
- ③ 在圆柱轴上加工一径向孔的固定式钻模（图 9-65）。

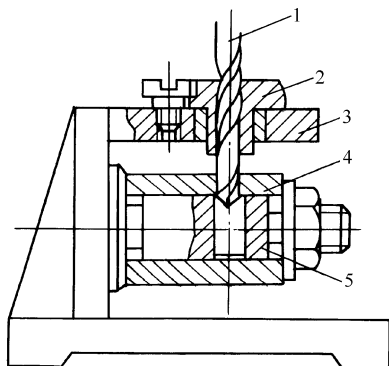


图 9-63 固定式钻模

1—钻头 2—钻套 3—钻模板
4—工件 5—心轴

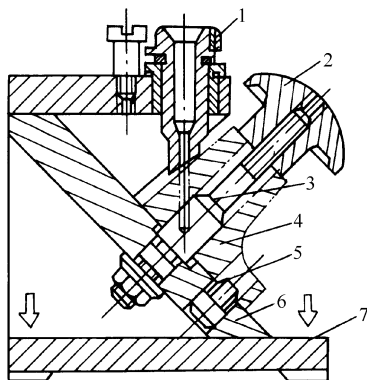


图 9-64 钻斜孔固定式钻模

1—钻套 2—夹紧螺母 3—心轴 4—工件
5—菱形销 6—支承板 7—夹具体

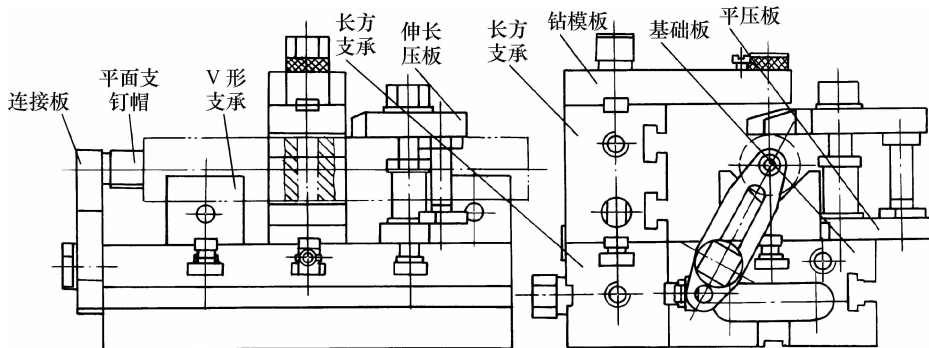


图 9-65 组合夹具组装的固定式钻模

2) 移动式钻床夹具。被加工工件在同一平面一条直线上具有多而密的孔时采用移动式钻床夹具。

移动方式：有工件和夹紧工件的夹具体一起移动；工件移动；钻模板移动等几种方式，可根据工件结构特点选择使用。

① 钻模类型结构举例中有“组合夹具”组装的钻模（选自《组合夹具组装结构分析》一书（机械工业出版社），其组装结构与专用钻模结构基本相同，供参考。

移动式钻夹具举例：

① 如图 9-66 工件和钻模装夹在一起，在夹具体两挡板中移动，当移至右端靠紧定位板时钻削孔 1，移至左端与定位板靠紧时钻削孔 2。

② 如图 9-67 移动式钻模，钻模中的方形支承在基础板上可平行移动，将工件装夹在方形支承上紧固，并利用方形支承的槽距 40mm 通过定位心轴进行尺寸控制，加工 $\phi 6 \sim \phi 9$ mm 的通孔。

3) 翻转式钻床夹具。工件一次装夹后，工件随同整个夹具在加工中作 180° 、 90° 或其他特殊角度的翻转，完成几个方向孔加工的钻模。工件孔与孔之间的几何精度，由钻模本身的精度保证（如一般精度要求的不通孔同心度）。因加工中要将整个钻模进行翻转，所以夹具力求轻便，翻转的底面要保证平整、稳固并与钻套中心线相垂直。

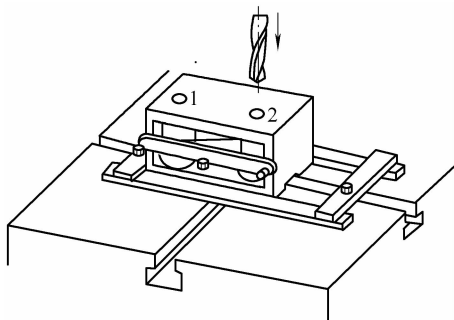


图 9-66 移动式钻模

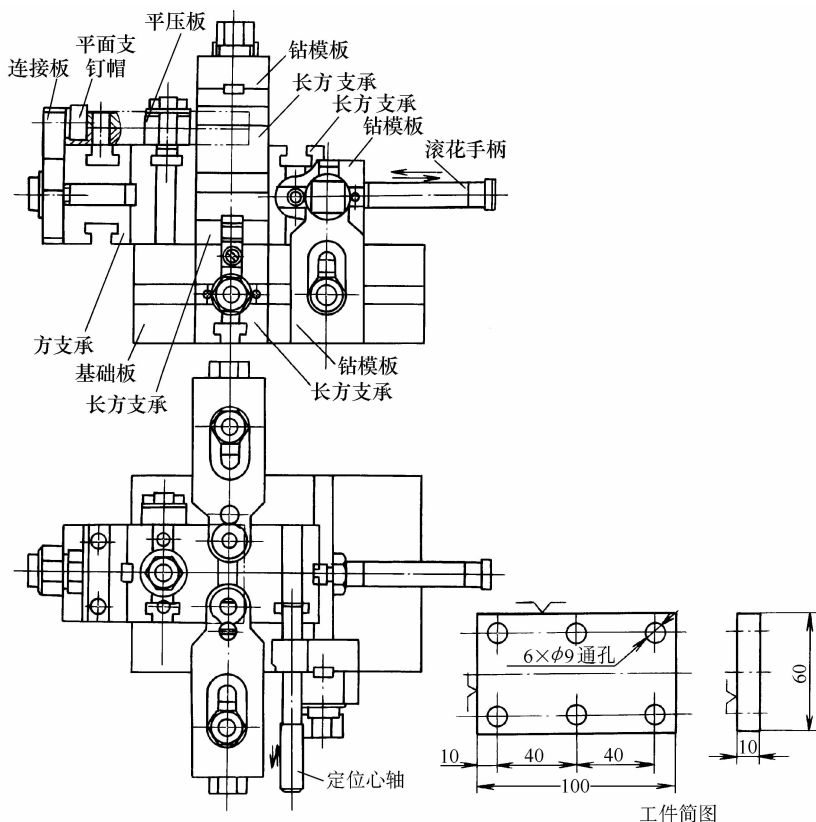


图 9-67 组合夹具组装的移动式钻模

翻转式钻床夹具举例：

① 图 9-68 为 60° 翻转式钻模，用于加工套筒上两个方向的四个径向孔。当一个方向上的两个孔钻削完成后，将钻模翻转 60° 就可钻另一方向上的两个孔。

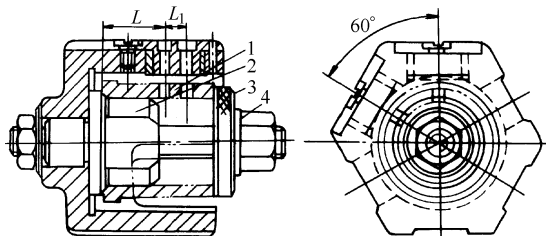


图 9-68 翻转式钻模

1—工件 2—心轴 3—开口垫圈 4—螺母

② 图 9-69 为 180° 翻转式钻模，用于加工支架上 180° 方向上相对的 $\phi 12^{+0.05}_0$ mm 孔，当一个方向上的两孔钻削完成后，将钻模翻转 180° 就可钻另一方向上的两个孔。

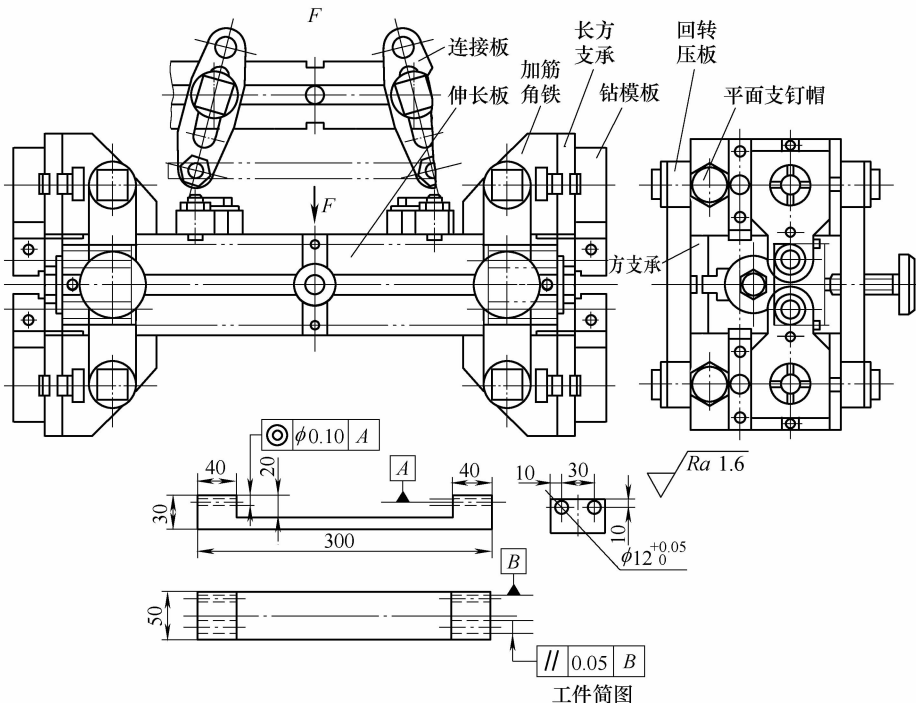


图 9-69 用组合夹具组装的翻转式钻模

4) 盖板式钻床夹具。盖板式钻床夹具是根据被加工工件的技术要求，按其坐标组成的钻模，并将它放在工件上直接进行加工的一种结构形式。

这种钻模一般用于加工尺寸较大工件上的孔，或较大工件上某一部位的孔（即局

部的孔)。其形式可分直线坐标和圆周等分等。这类钻模本身即有导向装置、又有定位结构及夹紧装置。所以钻模应在保证刚性的基础上,尽量减轻其结构重量。这种钻模通常利用工件底面作安装基准面,因此,钻孔精度取决于工件本身精度及工件和钻模安装精度。

盖板式钻床夹具举例:

① 图 9-70 为在一小型连杆上加工小头孔。夹具本身就是一块钻模板 1。利用在自身上定位销 2 和由两块摆动压块 3 组成的 V 形槽对中夹紧机构,在工件上实现定位和夹紧,进行钻削加工。

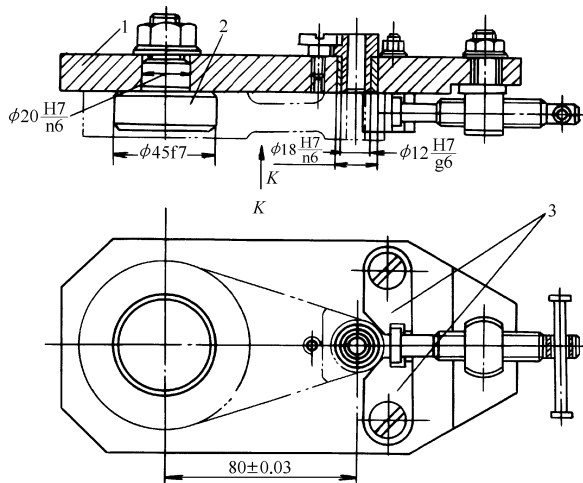


图 9-70 盖板式钻模

- ② 图 9-71 为用组合夹具组装的直线坐标盖板式钻模。
- ③ 图 9-72 为用组合夹具组装的圆周等分盖板式钻模。
- ④ 图 9-73 为用组合夹具组装的为曲轴配重孔钻加工用盖板式钻模。

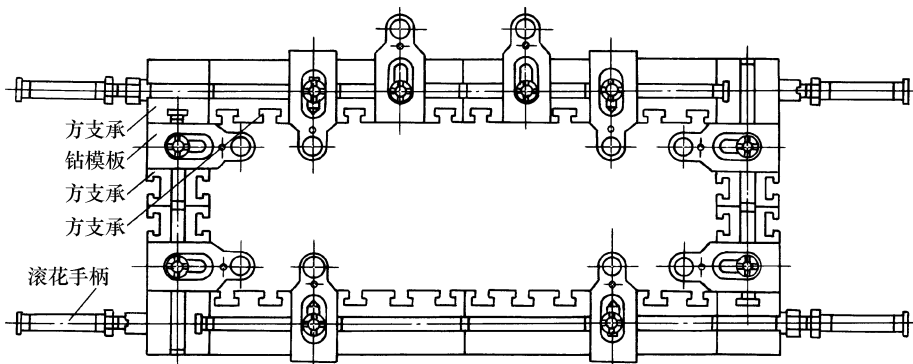


图 9-71 直线坐标盖板式钻模

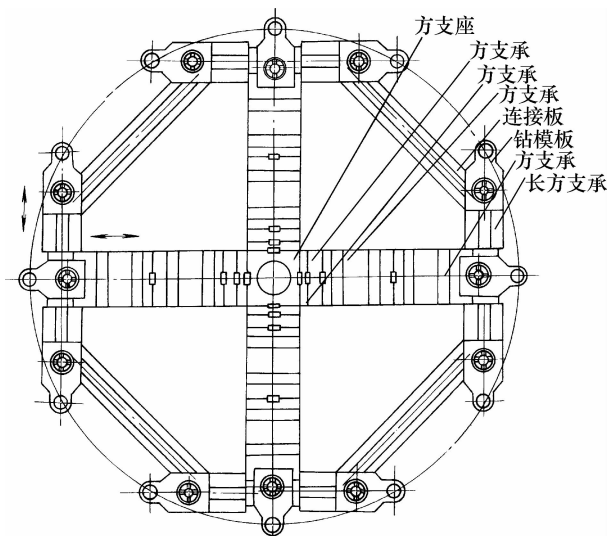


图 9-72 圆周等分盖板式钻模

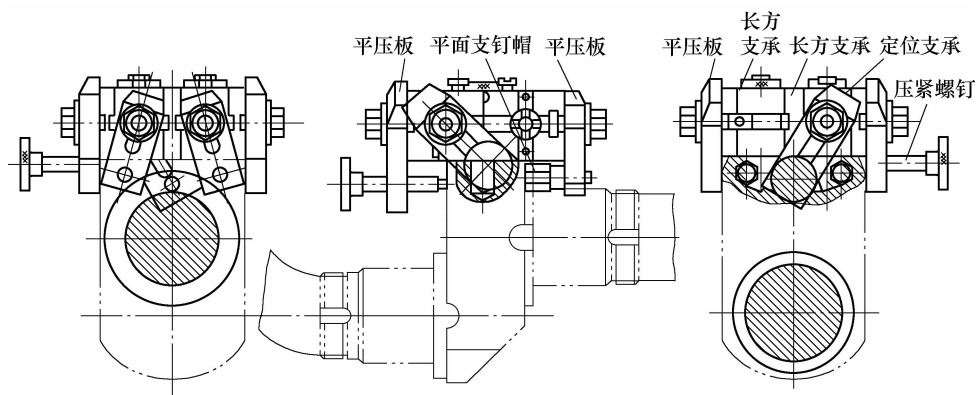


图 9-73 局部钻孔、盖板式钻夹具

5) 回转式(分度式)钻床夹具。是用于加工同心圆周上的平行孔系或分布在几个不同表面上的径向孔的钻模。有立轴类、卧轴类、斜轴类三个类型。其分度方法可采用标准的分度机构(回转分度台),也可利用加工工件自身的特点进行分度。

回转式(分度式)钻床夹具举例:

① 图 9-74 是标准立轴回转式钻模。

② 图 9-75 是利用组合夹具圆形基础板的等分槽来实现分度,对工件端面圆周孔进行钻削的立轴回转式钻模。

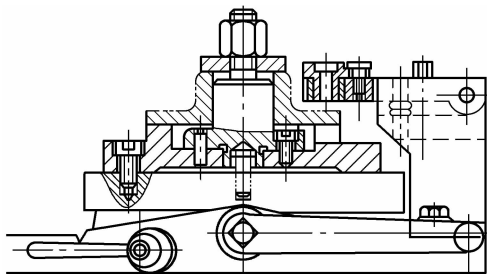


图 9-74 立轴回转式钻模

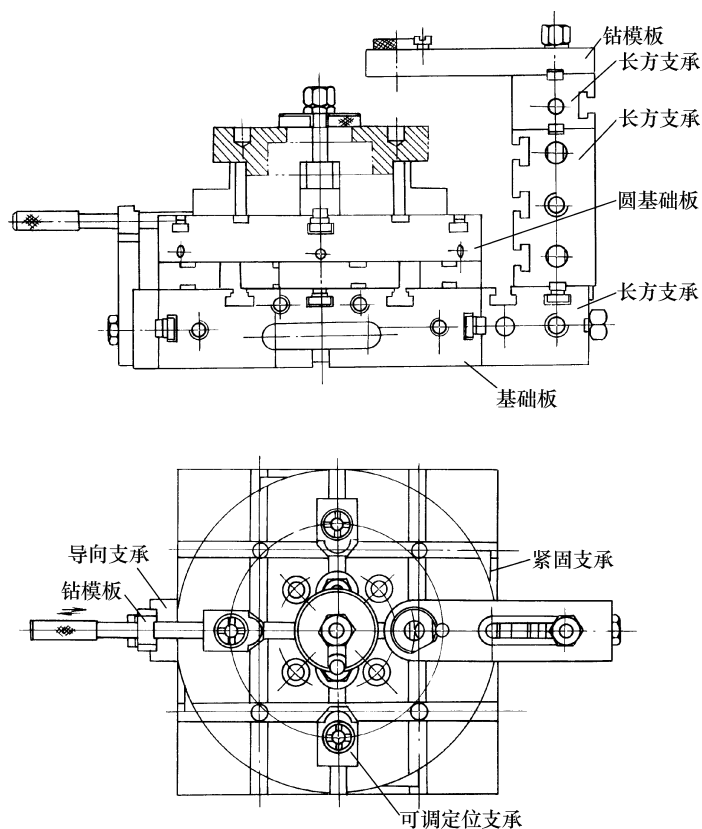


图 9-75 用组合夹具组装的立轴回转式钻模

③ 图 9-76 是利用被加工齿轮本身的齿槽进行分度，钻削径向等分孔的卧轴式钻模。

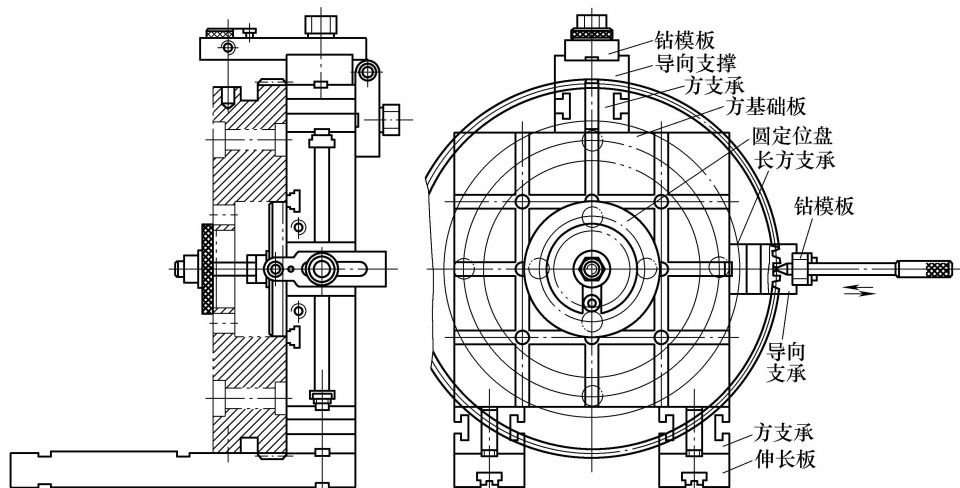


图 9-76 用组合夹具组装的卧轴式钻模

④ 图 9-77 是利用工件已加工的孔自行定位分度，钻削径向等分孔的卧轴式钻模。

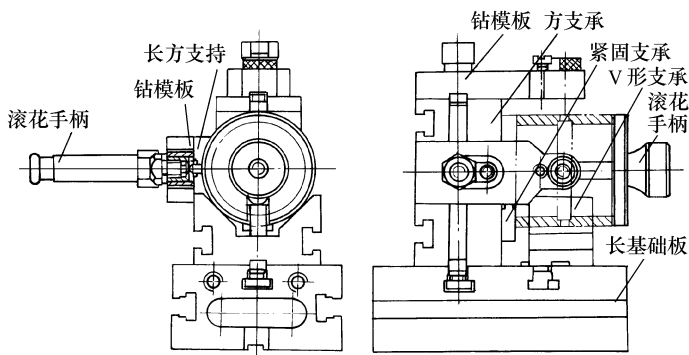


图 9-77 用组合夹具组装的分度式钻模

⑤ 图 9-78 是用组合夹具端面齿分度合件（回转台）组装的回转式钻模。

端面齿分度合件有 180 等分、240 等分和 360 等分三种。适用于要求精度较高或圆周等分及按角度分度的孔的加工。其导向部分（钻模板）可根据工件孔的位置尺寸进行调整。

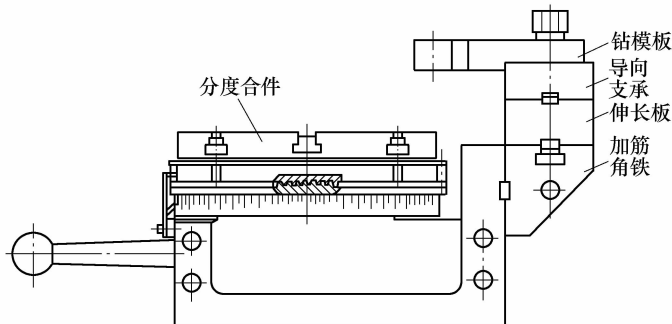


图 9-78 端面齿分度合件钻模

⑥ 图 9-79 是用组合夹具元件与通用自定心卡盘组合的分度合件。其中分度心轴可配制成等分 and 不等分多种，导向部分（钻模板）可根据工件孔的位置尺寸进行调整，使用方便。

⑦ 图 9-80 是用组合夹具元件与分度头组合的分度合件。可利用分度头进行各种精密分度。其导向部分（钻模板）可根据工件的位置尺寸进行调整。根据加工的需要分度头上的圆形基础板也可改换通用自定心卡盘配合使用。

9.4.1.4 常用钻孔方法

在用划线钻孔时，钻孔前先把孔中心的样冲眼冲大一些，这样可使横刃预先落入样冲眼的锥坑中，钻孔时钻头不易偏离中心。

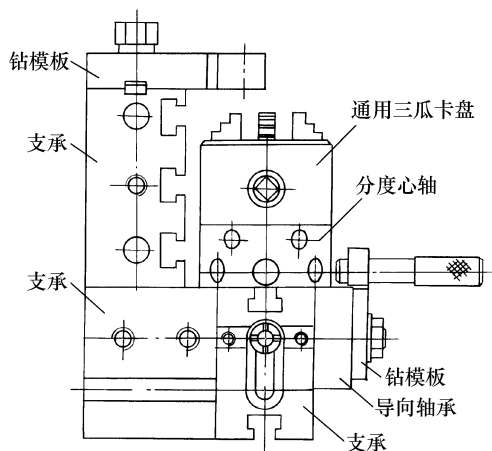


图 9-79 卡盘爪合件

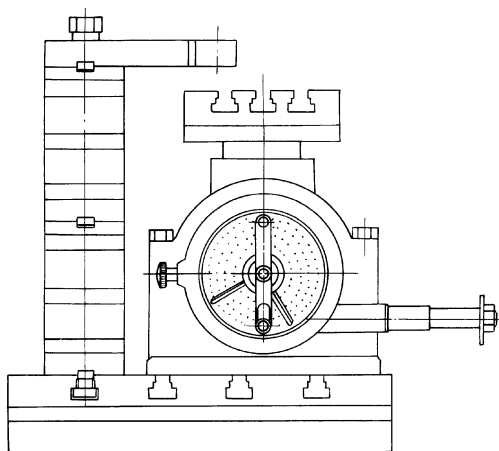


图 9-80 分度头合件

钻孔时使钻尖对准钻孔中心，先试钻一浅坑，如钻出的锥坑与所划的钻孔圆周线不同心可及时予以纠正。如果偏离较少，可靠移动工件或移动钻床主轴（摇臂钻床钻孔时）来解决。如果偏离较多，可用尖錾或样冲在偏移的相反方向錾出几条槽来，以减少此处的切削阻力而让钻头纠正偏心（图 9-81）。

当试钻达到同心要求时，才可正式钻孔。

钻削通孔时，当孔快要钻穿时，应变自动进刀为手动进刀，以避免钻穿孔的瞬间因进给量剧增而发生啃刀，影响加工质量和损坏钻头。

钻不通孔（盲孔）时，应按钻孔深度调整好钻床上的挡块、深度标尺等或采用其他控制方法，以免钻得过深或过浅，并注意退屑。

一般钻削深孔时钻削深度达到钻头直径 3 倍时，钻头就应退出排屑。此后，每钻进一定深度，钻头就再退出排屑一次，并注意冷却润滑，防止切屑堵塞、钻头过热退火或扭断。

直径超过 $\phi 30\text{mm}$ 大孔，一般应分两次钻削，第一次用 $0.6 \sim 0.8$ 倍孔径的钻头，第二次用所需直径的钻头扩孔。扩孔钻头应使两条主切削刃长度相等、对称，否则会使孔径扩大。

钻 $\phi 1\text{mm}$ 以下的小孔时，开始进给力要轻，防止钻头弯曲和滑移，以保证钻孔试切的正确位置。钻削过程要经常退出钻头排屑和加注切削液。切削速度可选在 $2000 \sim 3000\text{r/min}$ 以上，进给力应小而平稳，不宜过大过快。

(1) 几种特形钻套的使用

当工件的形状或工序的加工条件不宜采用标准钻套时，就应采用特形钻套，保证钻削加工质量。

1) 加长钻套（图 9-82）。是在工件凹腔内钻孔用的钻套，装卸工件时钻套可以提

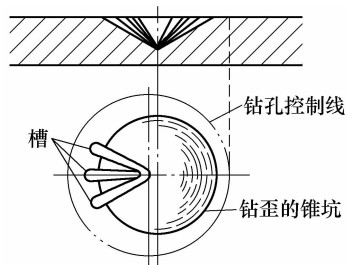


图 9-81 用錾槽纠正钻偏的孔

起, 钻套上部孔径必须扩大, 以减少与刀具的接触长度, 减少摩擦。

2) 削边钻套 (图 9-83)。用于加工中心距较小而不能采用标准钻套的孔, 但应保证削边厚度 b 不小于 $1 \sim 2\text{mm}$ 。

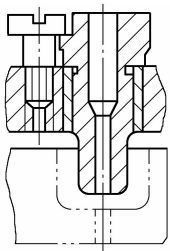


图 9-82 加长钻套

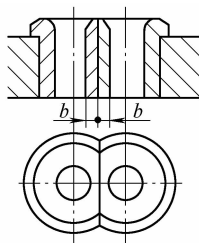


图 9-83 削边钻套

3) 斜面钻套、圆弧面钻套 (图 9-84)。用于在斜面或圆弧面上钻孔, 可防止钻头切入时引偏或折断。

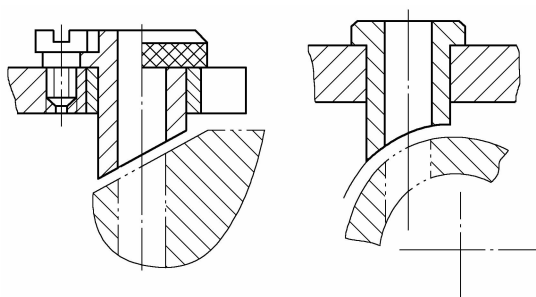


图 9-84 斜面钻套和圆弧面钻套

4) 中间钻套 (图 9-85)。用于加工间断孔, 实际作用为双导向或多导向, 以免钻头偏斜。

(2) 钻半 (缺) 圆孔

钻半圆孔, 可把两工件合起来或用同样材料的垫块与工件合在一起钻 (图 9-86a)。

若钻削缺口, 可用同样材料镶嵌在工件内, 钻孔后去掉这块材料, 工件留下了缺圆孔 (图 9-86b)。

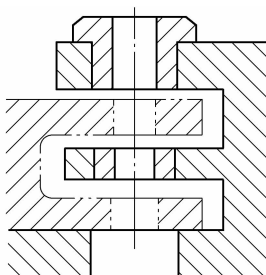


图 9-85 中间钻套

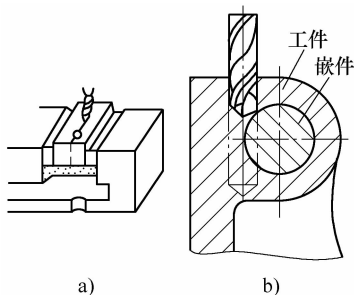


图 9-86 钻半 (缺) 圆孔

(3) 钻骑缝孔 (图 9-87)

钻骑缝孔要选用短钻头, 钻头的横刃要磨短, 以增强钻头刚度和定心作用。若两种零件材料不同, 样冲眼应打在略于偏硬材料一边, 并在钻孔时使钻头略往硬材料一边偏。

(4) 在斜面上钻孔 (图 9-88)

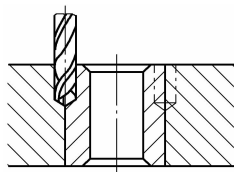


图 9-87 钻骑缝孔

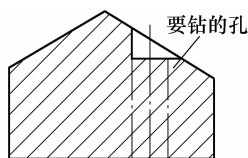


图 9-88 钻斜面上孔

若不采用钻模和专用的斜面钻套, 钻斜面上的孔, 钻头必然会产生偏歪、滑移而无法定心。为保证钻削顺利进行, 可采取如下方法:

- 1) 先用立铣刀在斜面上铣出一个平面, 然后再钻孔。
- 2) 先用錾子在斜面上錾出一个小平面后, 用中心钻钻出一个较大的锥坑, 或用小钻头钻出一个浅孔, 然后再钻孔。

(5) 钻二联孔

常见的二联孔有三种形式。可分别采用以下钻孔方法。

- 1) 如图 9-89 所示工件, 可先钻大孔至平底深度, 再改用小钻头将小孔钻穿, 然后用平底钻镗平底孔。

- 2) 如图 9-90 所示工件, 可先钻出上面孔。当钻头横刃刚接触下面孔平面时, 轴向不要进刀, 而用横刃在平面上刮划出一个小圆线, 然后按小圆线找正中心, 打一个样冲眼, 再钻孔。

- 3) 如图 9-91 所示工件, 可先钻出大孔, 然后用一根外径与大孔为动配合的接长钻杆, 装上中心钻头, 先钻一个定位孔后, 再换上与小孔直径相同的钻头钻孔。

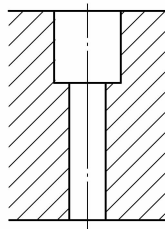


图 9-89 二联孔形式 (一)

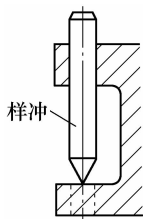


图 9-90 二联孔形式 (二)

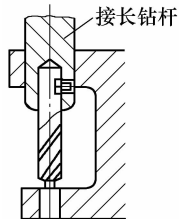


图 9-91 二联孔形式 (三)

9.4.1.5 钻削不同孔距精度所用的加工方法（表 9-53）

表 9-53 钻削不同孔距精度所用的加工方法

孔距精度 /mm	加 工 方 法	适用范围
$\pm 0.25 \sim 0.5$	划线找正、配合测量与简易钻模	单件、小批生产
$\pm 0.1 \sim 0.25$	用普通夹具或组合夹具、配合快换卡头	小、中批生产
	盘、套类工件可用通用分度夹具	
$\pm 0.03 \sim 0.1$	利用坐标工作台、百分表、量块、专用对刀装置或采用坐标、数控钻床	单件、小批生产
	采用专用夹具	大批、大量生产

9.4.1.6 切削液的选用（表 9-54）

表 9-54 切削液的选用

加工材料	切 削 液	加工材料	切 削 液
碳素钢、合金钢	1. 3% ~ 5% 乳化液 2. 5% ~ 10% 极压乳化液	铸铁、黄铜	1. 一般不加 2. 3% ~ 5% 乳化液
		纯铜、铝及其合金	1. 3% ~ 5% 乳化液 2. 煤油 3. 煤油与菜籽油的混合油
不锈钢、高温合金	1. 10% ~ 15% 乳化液 2. 10% ~ 20% 极压乳化液 3. 含氯（氯化石蜡）的切削油 4. 含硫、磷、氯的切削油	硬橡胶、胶木、硬纸板	1. 一般不加 2. 风冷
		有机玻璃	10% ~ 15% 乳化液

9.4.1.7 麻花钻钻孔中常见问题产生原因和解决方法（表 9-55）

表 9-55 麻花钻钻孔中常见问题产生原因和解决方法

问 题 内 容	产 生 原 因	解 决 方 法
孔径增大、误差大	1) 钻头左、右切削刃不对称，摆差大 2) 钻头横刃太长 3) 钻头刃口崩刃 4) 钻头刃带上有积屑瘤 5) 钻头弯曲 6) 进给量太大 7) 钻床主轴摆差大或松动	1) 刃磨时保证钻头左、右切削刃对称，摆差在允许范围内 2) 修磨横刃，减小横刃长度 3) 及时发现崩刃情况，并更换钻头 4) 将刃带上的积屑瘤用油石修整到合格 5) 校直或更换 6) 降低进给量 7) 及时调整和维修钻床
孔径小	1) 钻头刃带已严重磨损 2) 钻出的孔不圆	1) 更换合格钻头 2) 见第三项的解决办法

(续)

问题内容	产生原因	解决方法
钻孔时产生振动或孔不圆	<ol style="list-style-type: none"> 1) 钻头后角太大 2) 无导向套或导向套与钻头配合间隙过大 3) 钻头左、右切削刃不对称, 摆差大 4) 主轴轴承松动 5) 工件夹紧不牢 6) 工件表面不平整, 有气孔砂眼 7) 工件内部有缺口、交叉孔 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 减小钻头后角 2) 钻杆伸出过长时必须要有导向套, 采用合适间隙的导向套或先打中心孔再钻孔 3) 刃磨时保证钻头左、右切削刃对称, 摆差在允许范围内 4) 调整或更换轴承 5) 改进夹具与定位装置 6) 更换合格毛坯 7) 改变工序顺序或改变工件结构
孔位超差, 孔歪斜	<ol style="list-style-type: none"> 1) 钻头的钻尖已磨钝 2) 钻头左、右切削刃不对称, 摆差大 3) 钻头横刃太长 4) 钻头与导向套配合间隙过大 5) 主轴与导向套轴线不同轴, 主轴与工作台不垂直 6) 钻头在切削时振动 7) 工件表面不平整, 有气孔砂眼 8) 工件内部有缺口、交叉孔 9) 导向套底端面与工件表面间的距离远, 导向套长度短 10) 工件夹紧不牢 11) 工件表面倾斜 12) 进给量不均匀 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 重磨钻头 2) 刃磨时保证钻头左、右切削刃对称, 摆差在允许范围内 3) 修磨横刃, 减小横刃长度 4) 采用合适间隙的导向套 5) 校正机床夹具位置。检查钻床主轴的垂直度 6) 先打中心孔再钻孔, 采用导向套或改为工件回转的方式 7) 更换合格毛坯 8) 改变工序顺序或改变工件结构 9) 加长导向套长度 10) 改进夹具与定位装置 11) 正确定位安装 12) 使进给量均匀
钻头折断	<ol style="list-style-type: none"> 1) 切削用量选择不当 2) 钻头崩刃 3) 钻头横刃太长 4) 钻头已钝, 刃带严重磨损呈正锥形 5) 导向套底端面与工件表面间的距离太近, 排屑困难 6) 切削液供应不足 7) 切屑堵塞钻头的螺旋槽, 或切屑卷在钻头上, 使切削液不能进入孔内 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 减少进给量和切削速度 2) 及时发现崩刃情况, 当加工较硬的工件时, 后角要适当减小 3) 修磨横刃, 减小横刃长度 4) 及时更换钻头, 刃磨时将磨损部分全部磨掉 5) 加大导向套与工件间的距离 6) 切削液喷嘴对准加工孔口, 加大切削液流量 7) 减小切削速度、进给量; 采用断屑措施; 或采用分级进给方式, 使钻头退出数次

(续)

问 题 内 容	产 生 原 因	解 决 方 法
钻头折断	8) 导向套磨损成倒锥形, 退刀时, 钻屑夹在钻头与导向套之间 9) 快速行程终了位置距工件太近, 快速行程转向工件进给时误差大 10) 孔钻通时, 由于进给阻力迅速下降而进给量突然增加 11) 工件或夹具刚性不足, 钻通时弹性恢复, 使进给量突然增加 12) 进给丝杠磨损, 动力头重锤重量不足。动力液压缸反压力不足, 当孔钻通时, 动力头自动下落, 使进给量增大 13) 钻铸件时遇到缩孔 14) 锥柄扁尾折断	8) 及时更换导向套 9) 增加工作行程距离 10) 修磨钻头顶角, 尽可能降低钻孔轴向力; 孔将要钻通时, 改为手动进给, 并控制进给量 11) 减少机床、工件、夹具的弹性变形; 改进夹紧定位, 增加工件、夹具刚性; 增加二次进给 12) 及时维修机床, 增加动力头重锤重量; 增加二次进给 13) 对估计有缩孔的铸件要减少进给量 14) 更换钻头, 并注意擦净锥柄油污
钻头寿命低	1) 同“钻头折断一项中”1)、3)、4)、5)、6)、7) 2) 钻头切削部分几何形状与所加工的材料不适应 3) 其他	1) 同“钻头折断一项中”1)、3)、4)、5)、6)、7) 2) 加工铜件时, 钻头应选用较小后角, 避免钻头自动钻入工件, 使进给量突然增加; 加工低碳钢时, 可适当增大后角, 以增加钻头寿命; 加工较硬的钢材时, 可采用双重钻头顶角, 开分屑槽或修磨横刃等, 以增加钻头寿命 3) 改用新型适用的高速钢(铝高速钢、钴高速钢)钻头或采用涂层刀具; 消除加工件的夹砂、硬点等不正常情况
孔壁表面粗糙	1) 钻头不锋利 2) 后角太大 3) 进给量太大 4) 切削液供给不足, 切削液性能差 5) 切屑堵塞钻头的螺旋槽 6) 夹具刚性不够 7) 工件材料硬度过低	1) 将钻头磨锋利 2) 采用适当后角 3) 减小进给量 4) 加大切削液流量, 选择性能好的切削液 5) 见“钻头折断一项中”之7) 6) 改进夹具 7) 增加热处理工序, 适当提高工件硬度

9.4.2 扩孔钻及扩孔

扩孔是用扩孔刀具对工件上已有的孔进行扩大加工, 如钻孔、铸孔、锻孔和冲孔的扩大加工。扩孔可以作为孔的最终加工, 也可作为铰孔、磨孔前的预加工工序。扩孔

后, 孔的公差等级一般可达 IT9 ~ IT10, 表面粗糙度值可达 $Ra12.5 \sim Ra3.2 \mu m$ 。

9.4.2.1 扩孔钻的结构和特点

扩孔钻结构形式分带柄和套式两种 (图 9-92)。带柄的扩孔钻由工作部分及柄部组成, 工作部分一般由 3~4 个刀齿及螺旋槽组成, 刀齿的前端带有 120° 锥角的切削刃, 而无横刃、刀齿外圆的全长上具有带微量倒锥的刃带, 其作用是减少加工时与孔壁的摩擦。柄部又分直柄与锥柄两种。套式扩孔钻由工作部分及 $1:30$ 锥孔组成, 工作部分由带有螺旋槽的刀齿及带有 120° 锥角的切削刃组成, 刀齿的外圆全长上带有微量倒锥的刃带, 锥孔带有端面键槽。

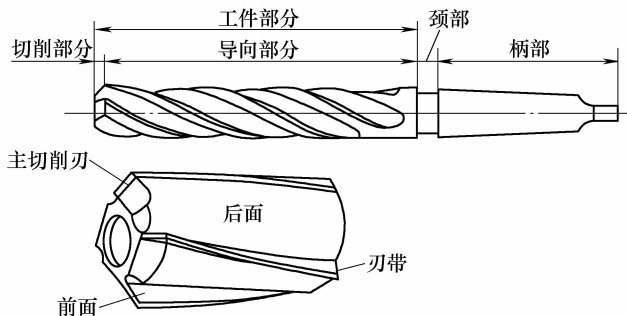


图 9-92 扩孔钻的结构要素

9.4.2.2 常用扩孔钻的形式及规格

(1) 直柄扩孔钻 (GB/T 4256—2004)

直柄扩孔钻又称直柄三刃扩孔钻 (图 9-93) 其规格范围为 $d = 3 \sim 19.7 mm$ 。

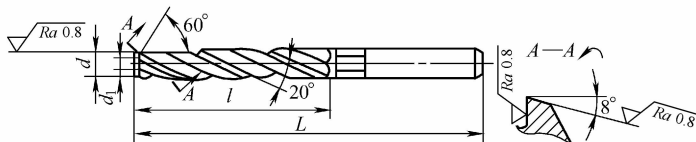


图 9-93 直柄扩孔钻

(2) 锥柄扩孔钻 (GB/T 4256—2004)

锥柄扩孔钻又称锥柄三刃扩孔钻 (图 9-94), 其规格范围为 $d = 7.8 \sim 50 mm$ 。

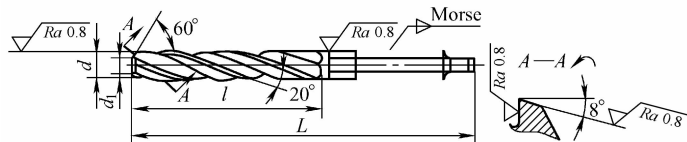


图 9-94 锥柄扩孔钻

(3) 套式扩孔钻 (GB/T 1142—2004)

套式扩孔钻又称筒体扩孔钻 (图 9-95), 其规格范围为 $d = 25 \sim 100 mm$ 。

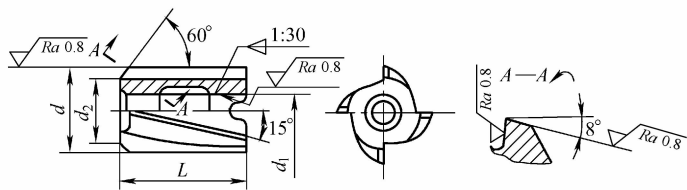


图 9-95 套式扩孔钻

套式扩孔钻使用前先装在具有 1:30 锥度的专用刀杆上, 刀杆的尾部具有莫氏自锁圆锥 (图 9-96)。

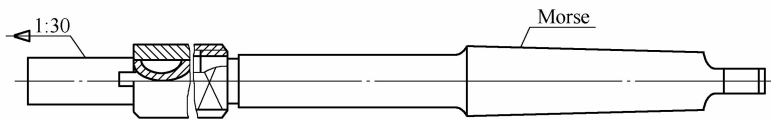


图 9-96 刀杆

标准高速钢扩孔钻按直径精度分 1 号扩孔钻和 2 号扩孔钻两种。1 号扩孔钻用于铰孔前扩孔, 2 号扩孔钻用于 H11 精度孔的最后加工。

(4) 硬质合金锥柄扩孔钻

硬质合金锥柄扩孔钻 (图 9-97), 其规格范围为 $d = 14 \sim 40\text{mm}$ 。硬质合金锥柄扩孔钻按直径精度分四种, 1 号扩孔钻一般适用于铰孔前扩孔; 2 号扩孔钻用于 H11 精度孔的最后加工; 3 号扩孔钻用于精铰孔前的扩孔; 4 号扩孔钻用于 D11 精度孔的最后加工。

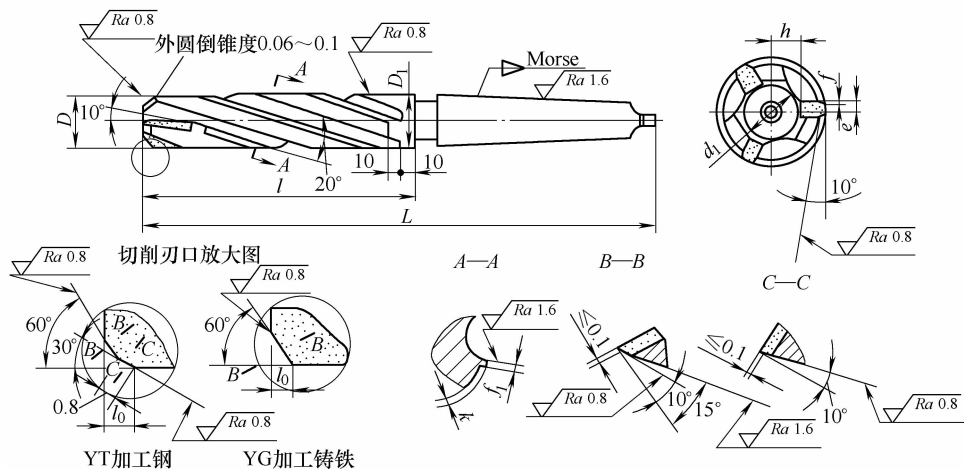


图 9-97 硬质合金锥柄扩孔钻

(5) 硬质合金套式扩孔钻

硬质合金套式扩孔钻 (图 9-98), 其规格范围为 $d = 32 \sim 80\text{mm}$ 。硬质合金套式扩孔钻按直径精度分两种, 1 号扩孔钻用于精铰孔前的扩孔; 2 号扩孔钻用于一般精度孔铰前的扩孔。

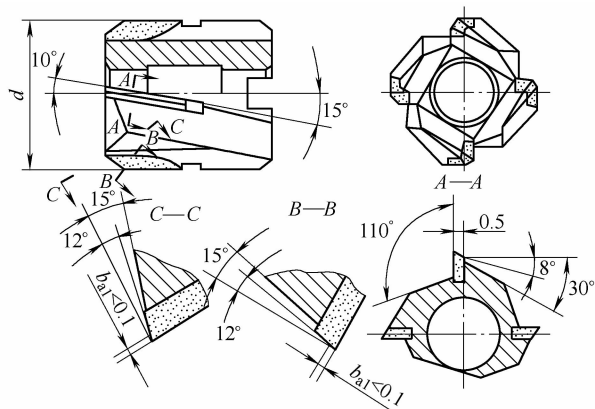


图 9-98 硬质合金套式扩孔钻

9.4.2.3 扩孔方法

(1) 用麻花钻扩孔

在实际生产中,常用经修磨的麻花钻当扩孔钻使用。

在实心材料上钻孔,如果孔径较大,不能用麻花钻一次钻出,常用直径较小的麻花钻预钻一孔,然后用大直径的麻花钻进行扩孔(图 9-99)。

在预钻孔上扩孔的麻花钻,几何参数与钻孔时基本相同。由于扩孔时避免了麻花钻横刃切削的不良影响,可适当提高切削用量。同时,由于吃刀深度减小,使切屑容易排出,因此扩孔后,孔的表面粗糙度也有一定的提高。

用麻花钻扩孔时,扩孔前的钻孔直径为孔径的 0.5~0.7 倍,扩孔时的切削速度约为钻孔的 1/2,进给量约为钻孔的 1.5~2 倍。

(2) 用扩孔钻扩孔

扩孔钻的切削条件要比麻花钻头好。由于它的切削刃较多,因此扩孔时切削比较平稳,导向作用好,不易产生偏移。但为提高扩孔的精度,还应注意以下几点:

1) 钻孔后,在不改变工件和机床主轴相互位置的情况下,立即换上扩孔钻,进行扩孔。这样可使钻头与扩孔钻的中心重合,使切削均匀平稳保证加工质量。

2) 扩孔前先用铰刀铰出一段直径与扩孔钻相同的导向孔(图 9-100),这样可使扩孔钻在一开始就有较好的导向,而不致随原有不正确的孔偏斜。这种方法多用于在铸孔、锻孔上进行扩孔。

3) 也可采用钻套为导向进行扩孔。

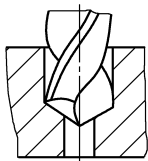


图 9-99 用麻花钻扩孔

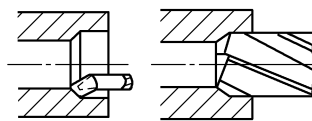


图 9-100 扩孔前的铰孔

9.4.2.4 扩孔钻扩孔中常见问题产生原因和解决方法（表 9-56）

表 9-56 扩孔钻扩孔中常见问题产生原因和解决方法

问题内容	产生原因	解决方法
孔径增大	1) 扩孔钻切削刃摆差大 2) 扩孔钻刃口崩刃 3) 扩孔钻刃带有切屑瘤 4) 安装扩孔钻时，锥柄表面油污未擦干净，或锥面有磕、碰伤	1) 刃磨时保证摆差在允许范围内 2) 及时发现崩刃情况，更换刀具 3) 将刃带上的切屑瘤用油石修整到合格 4) 安装扩孔钻前必须将扩孔钻锥柄及机床主轴锥孔内部油污擦干净，锥面有磕、碰伤处用油石修光
孔表面粗糙	1) 切削用量过大 2) 切削液供给不足 3) 扩孔钻过度磨损	1) 适当降低切削用量 2) 切削液喷嘴对准加工孔口；加大切削液流量 3) 定期更换扩孔钻；刃磨时把磨损区全部磨去
孔位置精度超差	1) 导向套配合间隙大 2) 主轴与导向套同轴度误差大 3) 主轴轴承松动	1) 位置公差要求较高时，导向套与刀具配合要精密些 2) 校正机床与导向套位置 3) 调整主轴轴承间隙

9.4.3 铤钻及铤孔

用铤钻对工件的孔口表面进行各种成形加工，称为铤孔（削）。常见的铤孔形式有：如图 9-101 铤圆柱形沉孔；如图 9-102 铤锥形沉孔；如图 9-103 铤凸台平面等三种。

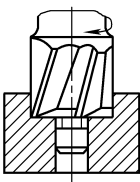


图 9-101 铤圆柱形沉孔

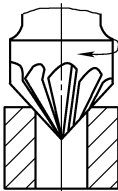


图 9-102 铤锥形沉孔

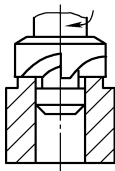


图 9-103 铤凸台平面

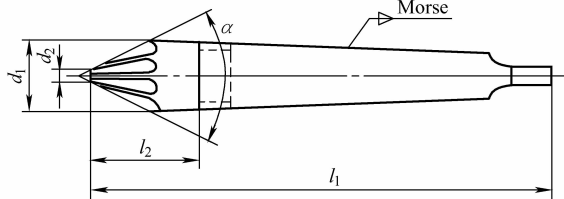
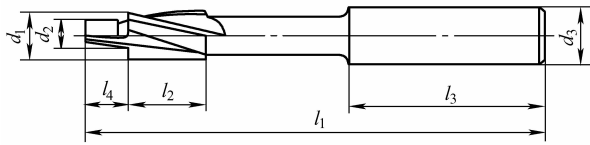
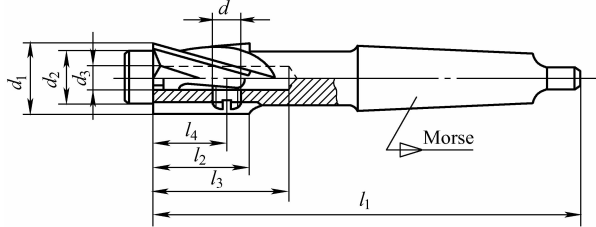
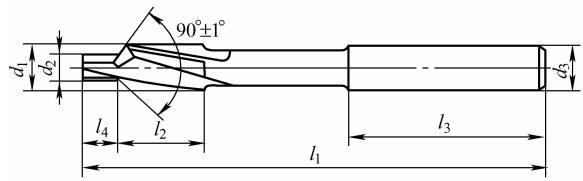
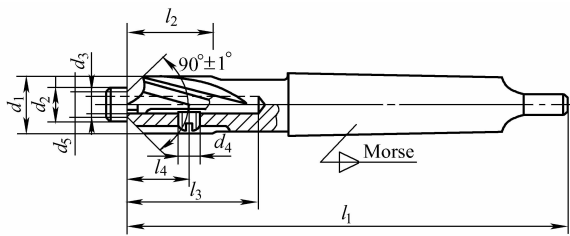
9.4.3.1 铤钻及应用

（1）铤钻类型、规格范围及标准代号（表 9-57）

表 9-57 铤钻类型、规格范围及标准代号（单位：mm）

类 型	简 图	规格范围	标 准 代 号
60°、90°、120° 直柄 锥面铤钻		d_1 8 ~ 25	GB/T 4258—2004

(续)

类 型	简 图	规格范围	标 准 代 号
60°、90°、 120° 莫氏 锥 柄锥面铤钻		d_1 16 ~ 80	GB/T 1143— 2004
带整体导 柱直柄平底 铤钻		$(d_1 \times d_2)$ 3.3 × 1.8 ~ 20 × 13.5	GB/T 4260— 2004
带可换导 柱莫氏锥柄 平底铤钻		$(d_1 \times d_2)$ 13 × 6.6 ~ 61 × 33	GB/T 4261— 2004
带整体导 柱直柄 90°锥 面铤钻		$(d_1 \times d_2)$ 3.7 × 1.8 ~ 17.6 × 9	GB/T 4263— 2004
带可换导 柱莫氏锥柄 90°锥面铤钻		$(d_1 \times d_2)$ 13.8 × 6.6 ~ 40.4 × 22	GB/T 4264— 2004

(2) 用麻花钻改制铰钻

1) 用标准麻花钻改制成带导柱平底铰钻 (图 9-104)。一般选用比较短的麻花钻, 在磨床上把麻花钻的端部磨出圆柱形导柱, 其直径

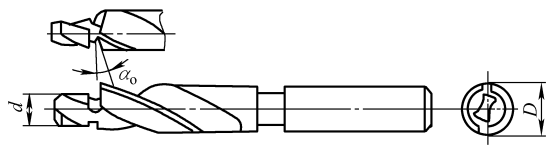


图 9-104 改制的带导柱平底铰钻

d 与工件上已有的孔采用 $f7$ 的间隙配合。端面上切削刃用薄片砂轮磨出, 后角一般为 $\alpha_0 = 8^\circ$, 磨花钻的螺旋槽与导柱面形成的刃口要用油石磨钝。

若将标准麻花钻改制成不带导柱平底铰钻 (图 9-105) 则它即可铰圆柱形沉孔, 又可以铰平孔口端面。如果将图中凸尖部全部磨平, 则可用于铰平不通孔的孔底。

2) 用标准麻花钻改制成锥形铰钻 (图 9-106) 其锥角 2ϕ 按沉头孔规定的角度确定。为了保证铰出的锥形沉头孔表面的粗糙度较低, 后角磨得小些, 一般取 $\alpha_0 = 6^\circ \sim 10^\circ$ 并有 $1 \sim 2\text{mm}$ 倒棱, 麻花钻外缘处的前角也磨得小一些, 一般取 $\gamma_0 = 15^\circ \sim 20^\circ$, 两切削刃要磨得对称。

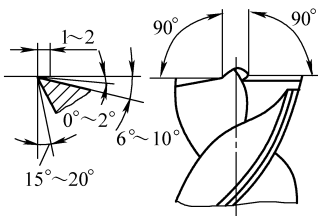


图 9-105 改制的平底铰钻

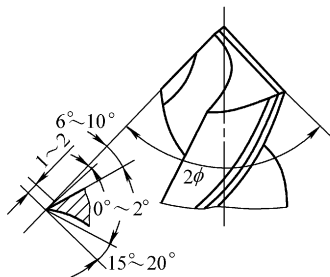


图 9-106 改制的锥形铰钻

(3) 端面铰钻

1) 简单端面铰钻。其结构形式见图 9-107。它由刀杆 (镗杆) 和刀片 (高速钢) 组成。刀杆上的方孔与刀片尺寸以 $h6$ 的间隙配合, 并与刀杆轴线垂直, 刀杆的端部外圆直径与工件已有孔采用 $f7$ 间隙配合, 以保证良好的引导作用, 使铰出的端面与孔轴线垂直。

刀片的角度为, 铰铸铁材料时 $\gamma_0 = 5^\circ \sim 10^\circ$ 、铰钢材料时 $\gamma_0 = 15^\circ \sim 20^\circ$, 后角 $\alpha_0 = 6^\circ \sim 8^\circ$, 副后角 $\alpha'_0 = 4^\circ \sim 6^\circ$ 。

图 9-108 所示为采用衬套作导向装置, 反铰端面。

2) 多齿端面铰钻。多齿端面铰钻的刀体为套式, 只在端面上有切削刃 (图 9-109)。使用时与刀杆相配, 靠紧定螺钉传递转矩。刀杆的圆柱部分伸入工件已有的孔内, 起导向作用, 保证铰削的平面与孔轴线垂直。由于端面铰钻的加工对象主要是铸铁件, 因此一般刀体上是镶硬质合金刀片。

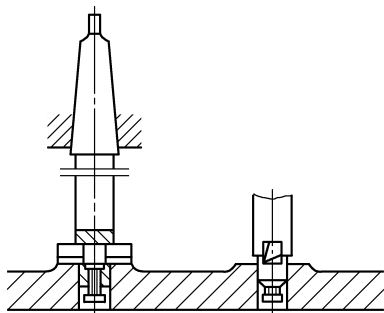


图 9-107 简单端面铰钻

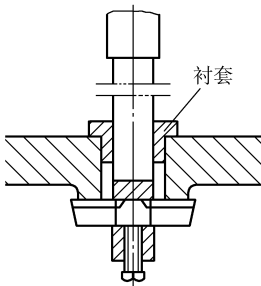


图 9-108 用衬套的导向装置

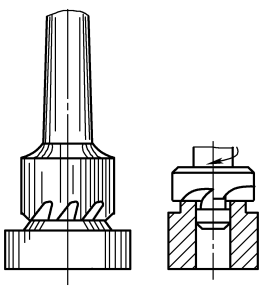


图 9-109 多齿端面铤钻

9.4.3.2 铤孔中常见问题产生原因和解决方法（表 9-58）

表 9-58 铤孔中常见问题产生原因和解决方法

问题内容	产生原因	解决方法
锥面、平面呈多角形	1) 前角太大，有扎刀现象	1) 减小前角
	2) 铤削速度太高	2) 降低铤削速度
	3) 选择切削液不当	3) 合理选择切削液
	4) 工件或刀具装夹不牢固	4) 重新装夹工件和刀具
	5) 铤钻切削刃不对称	5) 正确刃磨
平面呈凹凸形	铤钻切削刃与刀杆旋转轴线不垂直	正确刃磨和安装铤钻
表面粗糙度差	1) 铤钻几何参数不合理	1) 正确刃磨
	2) 选用切削液不当	2) 合理选择切削液
	3) 刀具磨损	3) 重新刃磨

9.4.4 铤削

用铤刀对已经粗加工的孔进行精加工称为铤削（铤孔）。铤削可提高孔的尺寸精度和降低表面粗糙度值，铤削后孔的公差等级可达 IT9 ~ IT7，表面粗糙度 Ra 可达 $3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

9.4.4.1 铤刀

（1）铤刀的主要几何参数（表 9-59）

表 9-59 铤刀的主要几何参数

直柄手用铤刀	锥柄机用铤刀
<p>d—铤刀直径 L—总长 l_1—工作部分 l_2—柄部 l_3—切削部分 l_4—圆柱校准部分</p> <p>θ—齿槽成形夹角 κ_r—主偏角 γ_o—前角 α_o—后角 ω—齿间夹角 b_{a1}—棱边 F—齿背宽度</p>	

(续)

加工材料	铰刀切削部分材料				加工材料	铰刀切削部分材料			
	高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金		高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金
	前角 $\gamma_o/ (^{\circ})$		后角 $\gamma_o/ (^{\circ})$			前角 $\gamma_o/ (^{\circ})$		后角 $\gamma_o/ (^{\circ})$	
未淬硬钢	0 ~ 4	0 ~ - 5	6 ~ 12	6 ~ 8	镁合金	5 ~ 8	—	10 ~ 12	—
中硬钢	5 ~ 10	- 5 ~ - 10	6 ~ 12	6	铝和铝合金	5 ~ 10	—	10 ~ 12	—
不锈钢耐热钢	8 ~ 12	—	5 ~ 8	—	铸铁	0	5	6 ~ 8	8 ~ 10
铜合金	0 ~ 5	—	10 ~ 12	—					

(2) 常用铰刀形式、标准代号及规格范围 (表 9-60)

表 9-60 常用铰刀形式、标准代号及规格范围

(单位: mm)

类 型	图 示	规格范围
手 用 铰 刀 ^① (GB/T 1131.1 ~ 2—2004)		$d \times l \times l_1$ 3.5 × 71 × 35 ~ 50 × 347 × 174
直柄机用铰刀 ^① (GB/T 1132—2004)		$d \times L \times l$ 3.5 × 70 × 18 ~ 20 × 195 × 60
莫氏锥柄机用铰刀 ^① (GB/T 1132—2004)		$d \times L \times l$ 5.5 × 138 × 26 ~ 50 × 344 × 86
硬质合金直柄机用铰刀 ^① (GB/T 4251—2004)		$d \times d_1 \times L \times l$ 6 × 5.6 × 93 × 17 ~ 20 × 16 × 195 × 25

(续)

类 型	图 示	规格范围
硬质合金莫氏 锥柄机用铰刀 ^① (GB/T 4252— 2004)		$d \times L \times l$ $8 \times 156 \times 17 \sim$ $40 \times 321 \times 34$
手用 1:50 锥 度销子铰刀		$d \times L \times l \times d_2$ $0.6 \times 35 \times 10 \times$ $0.7 \sim 50 \times 300 \times$ 220×54.1
手用长刃 1:50 锥度销子铰刀		$d \times L \times l \times d_0 \times d_2$ $0.6 \times 38 \times 20 \times$ $0.76 \times 0.9 \sim$ $50 \times 460 \times 360 \times$ 56×56.9
莫氏锥柄机用 1:50 锥度销子铰 刀		$d \times L \times l \times l_0 \times d_0$ $5 \times 155 \times 73 \times$ $65 \times 6.2 \sim$ $50 \times 500 \times 360 \times$ 315×56

(续)

类 型	图 示	规格范围
直柄莫氏圆锥 和米制圆锥铰刀 (GB/T 1139— 2004)		圆锥号 米制: 4、6 莫氏: 0 ~ 6
锥柄莫氏圆锥 和米制圆锥铰刀 (GB/T 1139— 2004)		圆锥号 米制: 4、6 莫氏: 0 ~ 6
带刃倾角直柄 机 用 铰 刀 ^① (GB/T 4244— 2004)		$d \times L \times l$ 5.5 × 93 × 26 ~ 20 × 195 × 60
带刃倾角莫氏 锥柄机用铰刀 ^① (GB/T 1134— 2004)		$d \times L \times l$ 8 × 156 × 33 ~ 40 × 329 × 81
套式机用铰 刀 ^① (GB/T 1135—2004)		$d \times L \times l$ 25 × 45 × 32 ~ 100 × 100 × 71

(续)

类 型	图 示	规格范围
米制锥螺纹锥 孔铰刀		螺纹代号 ZM6 ~ ZM60
可调节手用铰 刀 (JB/T 3869— 1999)		调节范围(直径) (6.5 ~ 7.0) ~ (84 ~ 100)
硬质合金可调 节浮动铰刀 (JB/T 7426— 2006)		调节范围 $\times D$ (30 ~ 33) \times 30 ~ (210 ~ 230) \times 210

① 该类型铰刀分为 H7、H8、H9 三个公差等级。

(3) 铰刀磨钝标准及寿命

1) 铰刀的磨钝标准见表 9-61。

表 9-61 铰刀的磨钝标准 (单位: mm)

刀具材料	加工材料	铰刀直径 d_0	
		≤ 20	> 20
		后刀面最大磨损限度	
高速钢	钢	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 0.7
	铸铁	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.9
硬质合金	钢（扩孔）	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8
	铸铁		
	淬硬钢	0.3 ~ 0.35	

2) 铰刀寿命见表 9-62。

表 9-62 铰刀寿命 (单刀加工)

加工材料	刀具材料	铰刀直径 d_0/mm						
		6 ~ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 50	51 ~ 60	61 ~ 80
		铰刀寿命 T/min						
结构钢、铸钢	高速钢	—	40	80		120		
	硬质合金	20	30	50	70	90	110	140
铸铁、铜合金、铝合金	高速钢	—	60	120		180		
	硬质合金	—	45	75	105	135	165	210

9.4.4.2 铰削方法

(1) 铰刀直径的确定及铰刀的研磨

铰刀的直径和公差直接影响被加工孔的尺寸精度。在确定铰刀的直径和公差时,应考虑被加工孔的公差,铰孔时的扩张或收缩量,铰刀使用时的磨损量,以及铰刀本身的制造公差等。

铰孔后孔径可能缩小,其缩小因素很多,目前对收缩量的大小尚无统一规定。一般对铰刀直径的确定多采用经验数值。

铰削基准孔时铰刀公差可按下式确定:

$$\text{上偏差} = \frac{2}{3} \text{被加工孔公差}$$

$$es = \frac{2}{3} IT$$

$$\text{下偏差} = \frac{1}{3} \text{被加工孔公差}$$

$$ei = \frac{1}{3} IT$$

[例] 若工件被加工孔的尺寸为 $\phi 16^{+0.027}_0 \text{ mm}$, 求所用铰刀的直径尺寸。

解: 铰刀直径的基本尺寸应为 $\phi 16 \text{ mm}$ 。

铰刀公差:

$$\text{上偏差 } es = \frac{2}{3}IT = \frac{2}{3} \times 0.027 \text{ mm} = 0.018 \text{ mm}$$

$$\text{下偏差 } ei = \frac{1}{3}IT = \frac{1}{3} \times 0.027 \text{ mm} = 0.009 \text{ mm}$$

因此, 所选用铰刀尺寸应为 $\phi 16_{+0.009}^{+0.018} \text{ mm}$ 。

新的标准圆柱铰刀, 直径上留有研磨余量, 而且棱边的表面粗糙度也较差, 所以铰削标准公差等级为 IT8 以上的孔时, 先要将铰刀直径研磨到所需要的尺寸精度。

研磨铰刀的工具与方法如下:

1) 径向调整式研磨工具 (图 9-110)。它是由壳套、研套和调整螺钉组成的。孔径尺寸用精镗或由待研的铰刀铰出, 研套上铣出开口斜槽, 由调整螺钉控制研套弹性变形, 进行研磨以达到要求的尺寸。

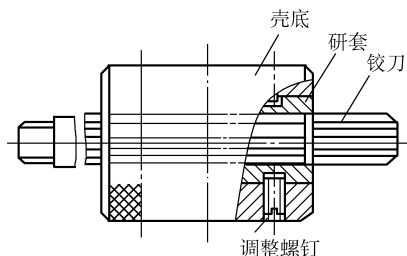


图 9-110 径向调整式研磨工具

径向调整式研磨工具制造方便, 但研套的孔径尺寸不易调成一致, 所以研磨的精度不高。

2) 轴向调整式研磨工具 (图 9-111)。它是由壳套、研套、调整螺母和限位螺钉组成的。研套和壳套以圆锥配合。研套沿轴向铣有开口直槽, 这样可依靠弹性变形改变孔径的尺寸。研套外圆上还铣有直槽可在限位螺钉的控制下, 只能作轴向移动而不能转动。在旋动两端的调整螺母, 研套在轴向移动的同时使研套的孔径得到调整。

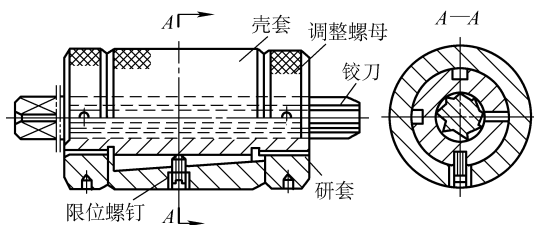


图 9-111 轴向调整式研磨工具

轴向调整式研磨工具的研套孔径胀缩均匀、准确, 能使尺寸公差控制在很小的范围内, 所以适用于研磨精密铰刀。

3) 整体式研磨工具 (图 9-112)。它是由铸铁棒经加工后, 孔径尺寸最后由待研的铰刀铰出。这种研具制造简单, 但没有调整量, 只适用于研磨单件生产精度要求不高的铰刀。

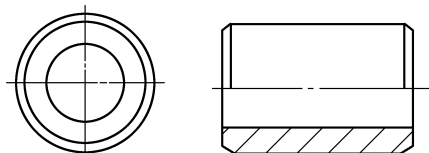


图 9-112 整体式研磨工具

研磨工具的研套材料常用铸铁。所用的研磨剂可参考表 9-25 和表 9-26, 也可参考有关资料自行配制。

4) 研磨方法。无论采用哪种研具, 研磨方法都相同。铰刀用两顶尖和拨盘装夹在车床上。研磨时铰刀由拨盘带动旋转 (图 9-113), 旋转方向要与铰削方向相反, 转速

以 $40 \sim 60 \text{ r/min}$ 为宜。研具套在铰刀的工作部分上，将研套孔的尺寸调整到能在铰刀上自由滑动和转动为宜。研磨剂放置要均匀。研磨时，用手握住研具作轴向均匀的往复移动。

研磨过程中要随时注意检查，并及时清除铰刀沟槽中的研垢，并重新换上研磨剂再研磨。

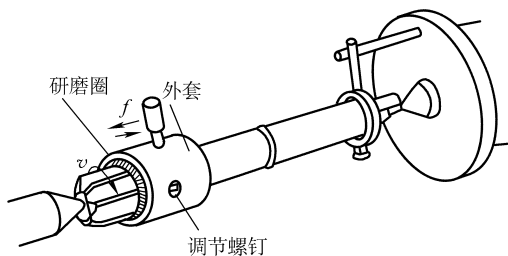


图 9-113 铰刀的研磨

(2) 铰刀在使用中的修磨

铰刀在使用中可以通过手工修磨，保持和提高其良好的切削性能。

1) 研磨或修磨后的铰刀，为了使切削刃顺利地过渡到校准部分，必须用油石仔细地将过渡处的尖角修成小圆弧（图 9-114），并要求各齿圆弧大小一致，避免因圆弧不一致而产生径向偏摆。

2) 铰刀刃口有毛刺或粘结切屑瘤时，要用油石研掉。

3) 切削刃后面磨损不严重时，可用油石沿切削刃垂直方向，轻轻研磨，加以修光（图 9-115）。

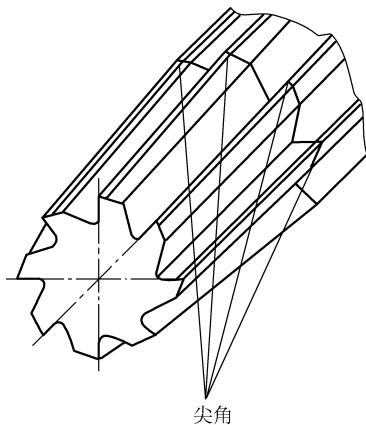


图 9-114 切削刃与校准部分过渡处尖角

若要将铰刀刃带宽度磨窄时，也可用上述方法将刃带研出 1° 左右的小斜面（图 9-116），并保持需要的刃带宽度。但研磨后面时，不能将油石

沿切削刃方向推动（图 9-117），这样很可能将刀齿刃口磨圆，从而降低其切削性能。

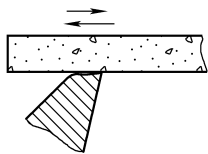


图 9-115 铰刀后面的研磨

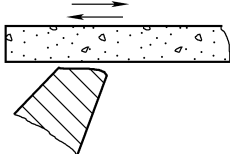


图 9-116 修磨铰刀刃带

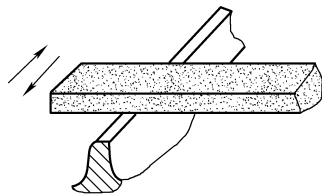


图 9-117 不正确的研磨方法

4) 当刀齿前面需要研磨时，应将油石紧贴在前面上，沿齿槽方向轻轻推动，进行研磨但应特别注意不要研坏刃口。

5) 铰刀在研磨时，切勿将刃口研凹，必须保持铰刀原有的几何形状。

(3) 铰削余量的选择

正确选择铰削余量，既能保证加工孔的精度又能提高铰刀的使用寿命。铰削余量应依据加工孔径的大小、精度、表面粗糙度、材料的软硬、上道工序的加工质量和铰刀类

型等多种因素进行选择。若对铰削精度要求较高的孔，必须经过扩孔或粗铰孔工序后进行精铰孔，这样才能保证铰孔的质量。一般铰削余量的选择可参考表 9-63。

表 9-63 铰削余量 (单位: mm)

铰孔直径	<5	5 ~ 20	21 ~ 32	33 ~ 50	51 ~ 70
铰孔余量	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	0.3	0.5	0.8

(4) 铰削时切削液的选用 (表 9-64)

表 9-64 切削液的选用

加工材料	切 削 液
钢	1) 10% ~ 20% 乳化液 2) 铰孔要求高时, 采用 30% 菜籽油和 70% 肥皂水 3) 铰孔要求更高时, 可采用菜籽油、柴油、猪油等
铸铁	1) 一般不用 2) 煤油, 但引起孔径缩小, 最大收缩量 0.02 ~ 0.04mm 3) 低浓度乳化液
铝	煤油
铜	乳化液

(5) 手工铰孔应注意的事项

1) 工件装夹位置要正确, 应使铰刀的轴线与孔的轴线重合。对薄壁工件夹紧力不要过大, 以免将孔夹扁, 铰削后产生变形。

2) 在铰削过程中, 两手用力要平衡, 旋转铰手的速度要均匀, 铰手不得摆动, 以保持铰削的稳定性, 避免将孔径扩大或将孔口铰成喇叭形。

3) 铰削进给时, 不要用过大的力压铰手, 而应随着铰刀的旋转轻轻地对铰手加压, 使铰刀缓慢地引伸进入孔内, 并均匀的进给, 以保证孔的加工质量。

4) 注意变换铰刀每次停歇的位置, 以消除铰刀在同一处停歇所造成的振痕。

5) 铰刀不能反转, 即使退刀时也不能反转, 即要按铰削方向边旋转边向上提起铰刀。铰刀反转会使切屑卡在孔壁和后面之间, 将孔壁刮毛。同时, 铰刀也容易磨损, 甚至造成崩刃。

6) 铰削钢料工件时, 切屑碎末容易粘附在刀齿上, 应经常清除。

7) 铰削过程中, 如果铰刀被切屑卡住时, 不能用力扳转铰手, 以防损坏铰刀。应想办法将铰刀退出, 清除切屑后, 再加切削液, 继续铰削。

(6) 机动铰孔应注意的事项

1) 必须保证钻床主轴、铰刀和工件孔三者的同轴度。

当孔精度要求较高时, 应采用浮动式铰刀夹头装夹铰刀, 以调整铰刀的轴线位置。

常用浮动式铰刀夹头有两种: 图 9-118 是一种比较简单的浮动式铰刀夹头, 图中只有销轴与夹头体为间隙配合, 装锥柄铰刀的套筒只能在此轴转动方向有浮动范围。所以铰刀轴线的调整受到一定限制, 只适用于轴线偏差不大的工件采用。图 9-119 为万向浮动式铰刀夹头, 图中套筒上端为球面, 与垫块零件以点接触, 这样, 在销轴与夹具体配

合间隙许可的范围内, 铰刀的浮动范围得到扩大, 所以铰刀可以在任意方向调整铰刀轴线的偏差。这种铰刀夹头适用于要求精度较高孔的加工使用。

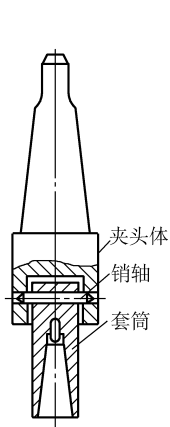


图 9-118 浮动式铰刀夹头

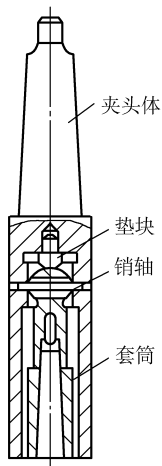


图 9-119 万向浮动式铰刀夹头

2) 开始铰削时, 先采用手动进给, 当铰刀切削部分进入孔内以后, 再改用自动进给。

3) 铰削不通孔时, 应经常退刀, 清除刀齿和孔内的切屑, 以防切屑刮伤孔壁。

4) 铰削通孔时, 铰刀校准部分不能全部铰出头, 以免将孔的出口处刮坏。

5) 在铰削过程中, 必须注入足够的切削液, 以清除切屑和降低切削温度。

6) 铰孔完毕, 应不停车退出铰刀, 以免停车退出时拉伤孔壁。

(7) 圆锥孔的铰削

1) 铰削尺寸较小的圆锥孔。先按圆锥孔小端直径并留铰削余量钻出圆柱孔, 孔口按圆锥孔大端直径铰出 45° 的倒角, 然后用圆锥铰刀铰削。在铰削过程中一定要及时的用精密配锥 (或圆锥销) 试深控制尺寸 (图 9-120)。

2) 铰削尺寸较大的圆锥孔。铰孔前先将工件钻出阶梯孔 (图 9-121)。

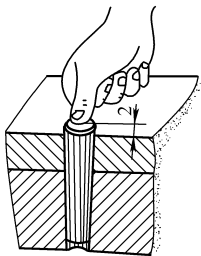


图 9-120 用圆锥销检查铰孔尺寸

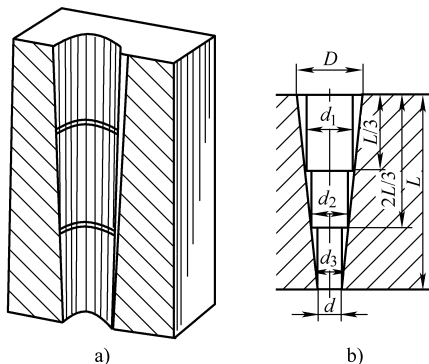


图 9-121 预钻阶梯孔

1:50 的圆锥孔可钻两节阶梯孔。1:10 圆锥孔、1:30 圆锥孔、莫氏锥孔、圆锥管螺纹底孔可钻三节阶梯孔。阶梯孔的最小直径按锥孔小端直径确定,并留有铰削余量。其余各段直径可根据锥度计算公式算得。

9.5 矫正

通过外力作用,消除材料或工件的弯曲、扭曲、凹凸不平等缺陷的加工方法称为矫正。

金属材料的变形有两种:一种是在外力作用下,材料发生变形,当外力去除后,仍能恢复原状,这种变形称为弹性变形。另一种是当外力去除后不能恢复原状,这种变形称为塑性变形。矫正是对塑性变形而言,所以只有对塑性好的材料才能进行矫正。

金属板材、型材矫正的实质,就是使它产生新的塑性变形来消除原来的不平、不直或翘曲变形。在矫正过程中,金属板材、型材要产生新的塑性变形,它的内部组织变得紧密,金属材料表面硬度增加,性质变脆。这种材料变硬的现象叫做冷作硬化。冷硬后的材料给进一步的矫正或其他冷加工带来困难,必要时可进行退火处理,使材料恢复到原来的力学性能。

按矫正时产生矫正力的方法,矫正可分为手工矫正、机械矫正两种。

9.5.1 手工矫正方法

手工矫正是由钳工用手锤在平台、铁砧或台虎钳上进行的,通过扭转、弯曲、延展和伸张等方法,使工件恢复到原来的形状。

(1) 扭转法

对工件施以扭矩,使之产生扭转变形,来达到矫正目的的方法。

例1 矫正扁钢产生扭曲变形。可将扁钢的一端用台虎钳夹住,另一端用叉形扳手或活扳手夹持扁钢向扭曲的相反方向扭转(图 9-122),待扭曲变形消失后,再用锤击将其矫平。

例2 矫正角钢产生扭曲变形。同样将角钢一端用台虎钳夹住,另一端用扳手夹持向相反方向扭转(图 9-123),待扭曲变形消失后,再用锤击将其矫平。

(2) 弯曲法

对工件施以弯矩,使之产生

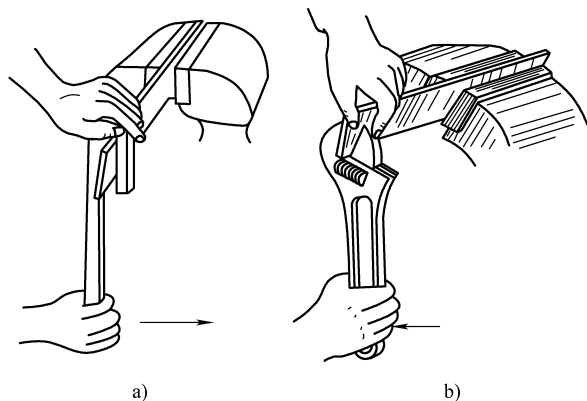


图 9-122 扁钢扭曲的矫正

a) 叉形扳手 b) 活扳手

弯曲变形，来达到矫正目的的方法。

例 3 矫正扁钢在厚度方向上弯曲。在近弯曲处夹入台虎钳，然后在扁钢的末端用扳手朝相反方向扳动，使其弯曲处初步扳直（图 9-124a）；或将扁钢的弯曲处放在台虎钳口内，利用台虎钳把它初步压直（图 9-124b）；消除显著的弯曲现象后，再放到平板上用锤子锤打（图 9-124c），进一步矫正到平直为止。

例 4 棒料、轴类的矫正。直径小的棒料可采用“扁钢在厚度方向上弯曲时”矫正的方法进行矫正，最后再沿棒料全长上轻轻锤击，进一步矫直（图 9-125）。

轴类工件的矫直，一般用压力机矫直（图 9-126）。矫正前先把轴装在两顶尖上或架在两块 V 形块上，将轴转动，用粉笔划出弯曲处。矫直时，使凸部向上，让压力机压块压在轴的凸起部位上，使其恢复平直。用百分表检查轴的矫正情况，边矫正，边检查，直到符合要求。

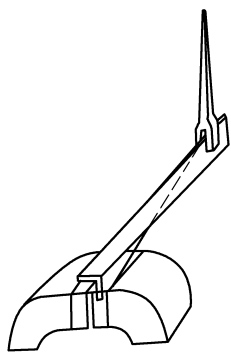


图 9-123 角钢扭曲的矫正

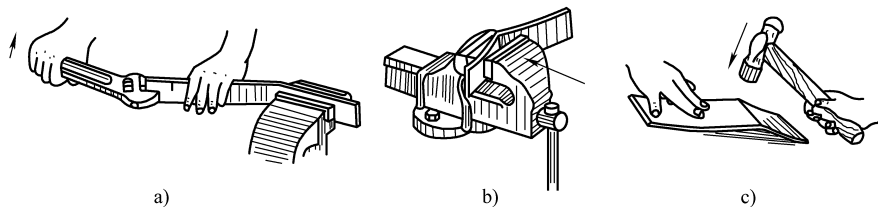


图 9-124 扁钢弯曲的矫正

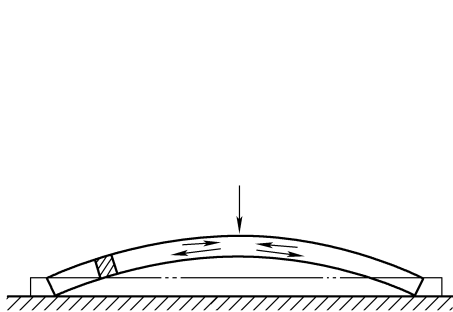


图 9-125 直径小棒料的矫正

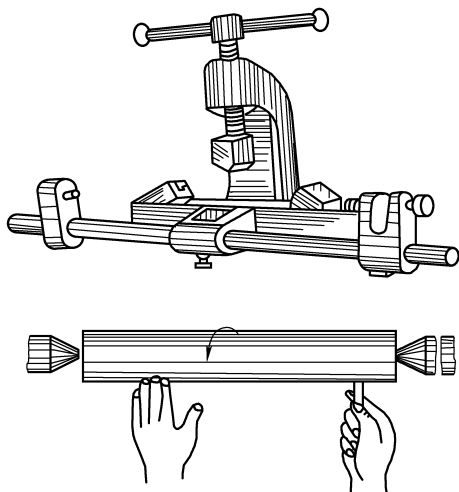


图 9-126 轴类工件的矫正

例 5 角钢的矫正。矫正角钢外弯时，角钢可放在钢圈上或铁砧上（图 9-127），锤击时为了不使角钢翻转，锤柄应稍微抬高或放低一个角度（ α 约为 5° ）。在用力锤击的

同时,应根据角钢摆放的方向,同时稍带有向内拉(锤柄后手抬高)或向外推的力(锤柄后手放低)。

矫正角钢内弯时,角钢应背(宽)面朝上立放(图 9-128),其矫正方法与外弯矫正方法相同。

矫正角钢的角变形时,可以在 V 形块上或平台上锤击矫正。图 9-129a、b 为角钢夹角大于 90° 时的矫正;图 9-129c 为角钢夹角小于 90° 时的矫正。

如果角钢同时有几种变形,则应先矫正变形较大的部位,后矫正

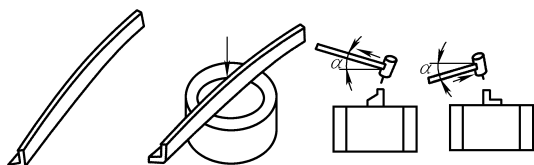


图 9-127 角钢外弯的矫正

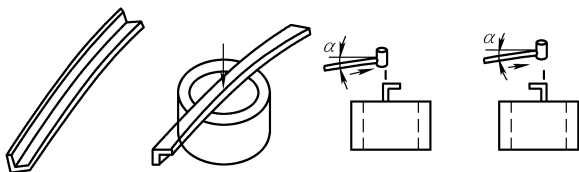


图 9-128 角钢内弯的矫正

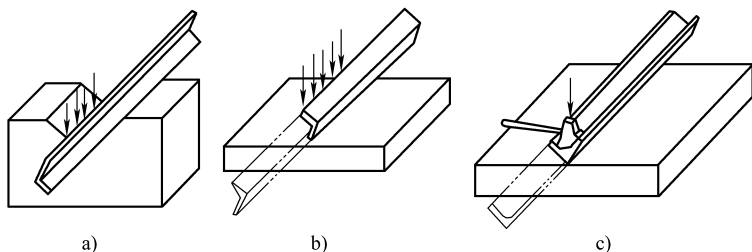


图 9-129 角钢角变形的矫正

a)、b) 角钢夹角大于 90° 的矫正 c) 角钢夹角小于 90° 的矫正

变形较小部位。如果角钢既有弯曲变形又有扭曲变形,应先矫正扭曲变形,然后矫正弯曲变形。

例 6 槽钢的矫正。槽钢弯曲变形有立弯(腹板方向的弯曲)、旁弯(翼板上的弯曲)。无论是矫正立弯还是旁弯,都应将槽钢用两根圆钢垫起在平台上,使凸起部分向上(图 9-130),然后用大锤锤击。

当槽钢翼板有局部变形时,可用一个手锤垂直抵住(图 9-131a)或横向抵住(图 9-131b)翼板凸起部位,用另一个手锤锤击翼板凸处。当翼板有局部凹陷时,也可将翼板平放(图 9-131c),锤击凸起处,直接矫平。

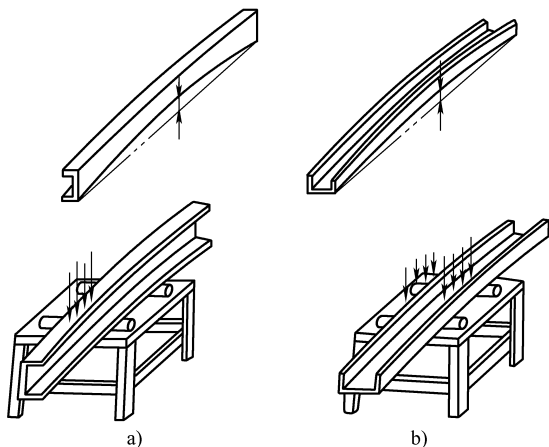


图 9-130 槽钢弯曲的矫正

a) 立弯的矫正 b) 旁弯的矫正

(3) 延展法

用锤子敲打材料的适当部位，使之局部伸长和展开，来达到矫正复杂变形目的的方法。

例 7 矫正扁钢在宽度方向上弯曲。可先将扁钢的凸面向上放在铁砧上，锤打凸面（图 9-132），然后再将扁钢平放在铁砧上，锤击弯形里面（图中弧内短线部分为锤击部位），经锤击后，使材料伸长而变直。

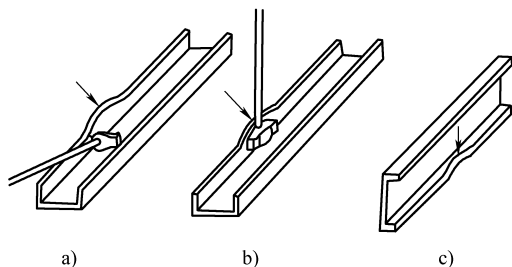


图 9-131 槽钢翼板变形矫正

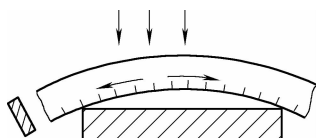


图 9-132 扁钢宽度方向上弯曲的矫正

例 8 板材的矫正。金属板材厚度小于 4mm 的为薄板；厚度大于 4mm 的为厚板。

1) 薄板材料的矫正。

① 薄板中部凸起（图 9-133）

薄板凸起是由于材料变形后中间变薄、金属纤维伸长而引起的。矫正时可锤击板料的边缘，使边缘的材料也变薄、金属纤维也变长，如图 9-133a 中箭头所示方向就是锤击位置。锤击时从外到里应逐渐由重到轻，锤击点由密到稀，直到当边缘的材料与中间凸起部分材料一样时，材料就矫平了。

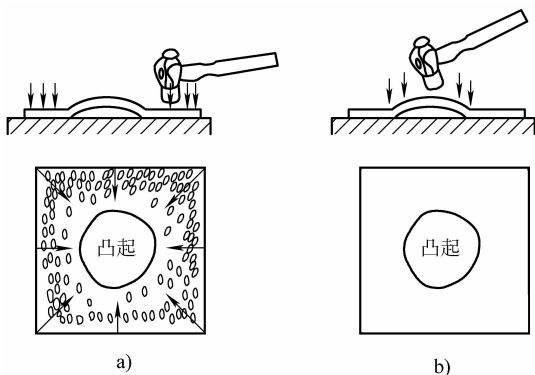


图 9-133 中部凸起板料的矫正

a) 正确 b) 错误

如果矫正时直接锤击板料的凸

起部位，如图 9-133b 所示则凸起部位会变得更薄，金属纤维伸展得更长，这样不但达不到矫平的目的，反而会使凸起更为严重。

如果薄板表面有相邻几处凸起，锤击时应先在凸起的交界处轻轻锤击，使几处凸起合并成一处，然后再锤击四周面使薄板矫平。

② 薄板四周呈波纹状（图 9-134）。薄板四周呈波纹状是由于材料四周变薄、金属纤维伸长而引起的。这时的锤击点应按图中箭头所示方向，从中间向四周逐渐由重到轻、由密到稀，经反复多次锤打，使薄板达到平整。

③ 薄板对角翘曲变形（图 9-135）。薄板对角翘曲变形是由于对角线处材料变薄，

金属纤维伸长而引起的。矫正时锤击点应沿另外没有翘曲的对角线锤击，使其延展而矫平。

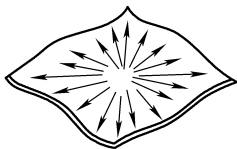


图 9-134 四周呈波纹状板料的矫正

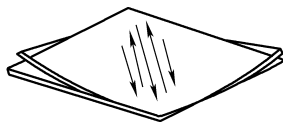


图 9-135 对角翘曲变形板料的矫正

在厚度不大的薄板有微小扭曲时，可用抽条从左到右（或从右到左）顺序抽打平面（图 9-136）因抽条与板料接触面积大，板料受力均匀，容易达到平整。

如果是铜箔、铝箔等薄而软的箔片产生变形，可将箔片放在平板上，一手按住箔片，一手用木块沿变形处挤压（图 9-137a），使其延展而达到平整。也可用木锤或橡皮锤锤击矫平（图 9-137b）。

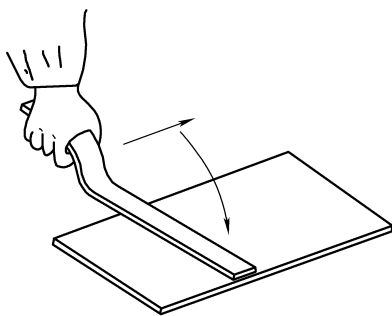


图 9-136 用抽条抽平材料

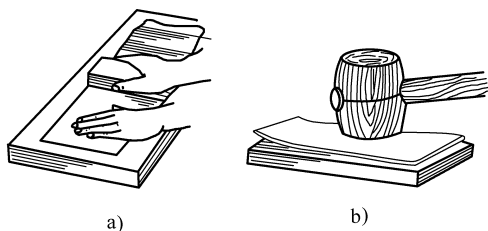


图 9-137 铜箔、铝箔的矫正

2) 厚板料的矫正。由于厚板材料的刚性较好，矫正时可以直接锤击凸起处，使金属材料纤维压缩变形而达到矫平。

(4) 伸张法

用拉力使线材产生长度方向变形（拉伸变形），来达到矫正蜷曲线材目的的方法。

例 9 蜷曲线材的矫正。将蜷曲线材一端夹在台虎钳上，在钳口处把线材在圆木上绕一圈，用左手握住圆木向后拉，右手展开线材，线材在拉力作用下，得到伸长矫直（图 9-138）。

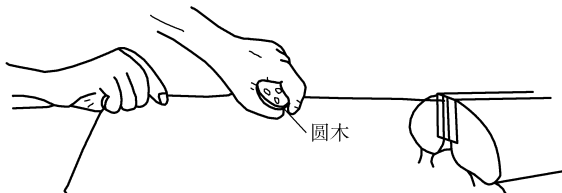


图 9-138 细长线材矫直

9.5.2 常用机械矫正方法

(1) 用滚板机矫正板料

用多辊滚板机矫平板料（厚板辊少，薄板辊多，上辊双数，下辊单数）。当板料通过辊轴，由于上下辊垂直间隙小于板厚，使板料受到多次反复弯曲变形，最终将其矫平（图 9-139a）。

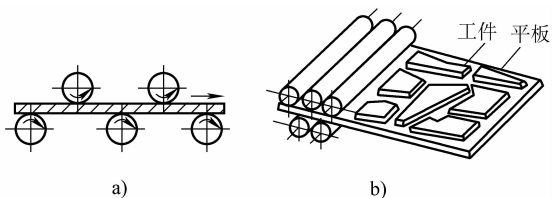


图 9-139 用滚板机矫平板料

矫正厚度相同的小块板料，可放在一块大面积的厚板上同时滚压多次，并翻转工件，使被矫板料反复受到很大的压力，直至矫平。但应注意在调整上下辊间隙时勿使设备超载（图 9-139b）。

(2) 用滚圆机矫正板料

板料也可采用三辊滚圆机进行矫正（图 9-140），它是利用材料反复弯曲变形而使应力均匀、平正度提高。对于薄板、小零件也可采用类似滚板机矫正小块板料时用的方法。

(3) 用压力机矫正厚板

厚板矫正可用油压机进行，在工件凸起处施加压力，使材料内应力超过屈服极限，产生塑性变形，从而纠正原有变形。应该适当采用矫枉过正的办法，因为即使在矫正时，材料由塑性变形而获得平正，但在卸载后还是有些部分弹性恢复。

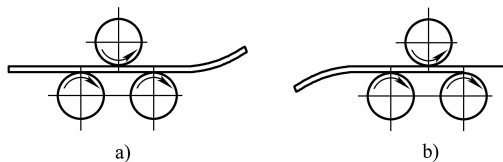


图 9-140 用滚圆机矫平板料

a) 第一次正滚 b) 第二次反滚

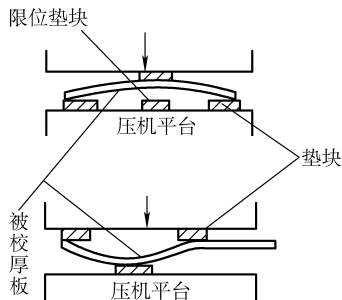


图 9-141 用压力机矫正厚板

9.6 弯形

将原来平直的板料或型材弯成所需形状的加工方法称为弯形。

弯形是使材料产生塑性变形，因此只有塑性好的材料才能进行弯形。图 9-142a 所示为弯形前的钢板，图 9-142b 所示为钢板弯形后的情况。它的外层材料伸长（图中 $e-e$ 和 $d-d$ ），内层材料缩短（图中 $a-a$ 和 $b-b$ ）而中间一层材料（图中 $c-c$ ）在弯形后的长度不变，这一层叫中性层。材料弯曲部分的断面，虽然由于发生拉伸和压缩，使它

产生变形,但其断面面积保持不变。

由于工件在弯形后,中性层的长度不变,因此,在计算弯曲工件的毛坯长度时,可按中性层的长度计算。在一般情况下,工件弯形后,中性层不在材料的正中,而是偏向内层材料的一边。经实验证明,中性层的位置,与材料的弯曲半径 r 和材料厚度 t 有关。

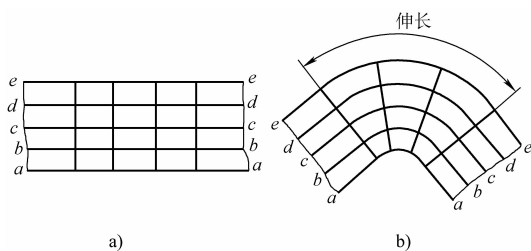


图 9-142 钢板弯形前后的情况

a) 弯形前 b) 弯形后

在材料弯曲过程中,其变形大小与下列因素有关(图 9-143):

- 1) r/t 比值愈小,变形愈大;反之, r/t 比值愈大,则变形愈小。
- 2) 弯曲角 α 愈小,变形愈小;反之,弯曲角 α 愈大,则变形愈大。

由此可见,当材料厚度不变,弯曲半径愈大,变形愈小,而中性层愈接近材料厚度的中间。如弯曲半径不变,材料厚度愈小,而中性层也愈接近材料厚度的中间。因此在不同的弯曲情况下,中性层的位置是不同的(图 9-144)。

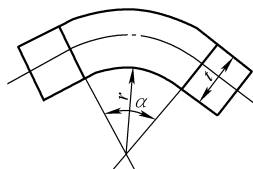


图 9-143 弯曲半径和弯曲角

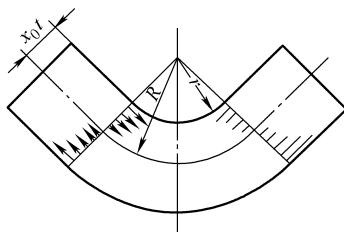


图 9-144 弯曲时中性层的位置

表 9-65 所示为中性层位置系数 x_0 的数值。

从表中 r/t 比值可知,当弯曲半径 $r \geq 16$ 倍材料厚度 t 时,中性层在材料厚度的中间。在一般情况下,为了简化计算,当 $r/t \geq 5$ 时,即按 $x_0 = 0.5$ 进行计算。

9.6.1 弯形件展开长度计算方法

(1) 工件弯形前毛坯长度的计算

- 1) 将工件复杂的弯形形状分解成几段简单的几何曲线和直线。
- 2) 计算 r/t 值,按表 9-65 查出中性层位置系数 x_0 值。

表 9-65 弯曲中性层位置系数 x_0

$\frac{r}{t}$	0.25	0.5	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	>16
x_0	0.2	0.25	0.3	0.35	0.37	0.4	0.41	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.5

3) 按中性层分别计算各段几何曲线的展开长度:

$$A = \pi (r + x_0 t) \frac{\alpha}{180^\circ}$$

式中 A ——圆弧部分的长度 (mm);

r ——内弯曲半径 (mm);

x_0 ——中性层位置系数;

t ——材料厚度 (mm);

α ——弯形角 (整圆弯曲时, $\alpha = 360^\circ$, 直角弯曲时 $\alpha = 90^\circ$)。

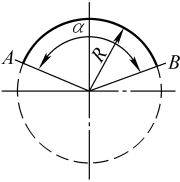
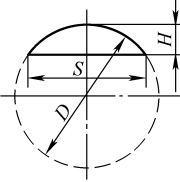
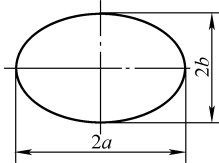
对于内边弯成直角不带圆弧的制品, 按 $r = 0$ 计算。

4) 将各段几何曲线的展开长度和直线部分相加, 即工件毛坯的总长度。

(2) 常用曲线展开长度计算公式 (表 9-66)

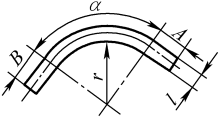
(3) 不同弯形件展开长度计算 (表 9-67)

表 9-66 常用曲线展开长度计算公式

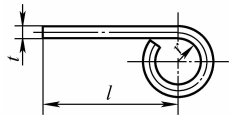
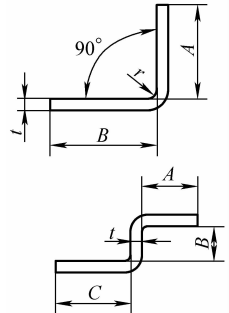
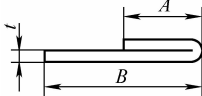
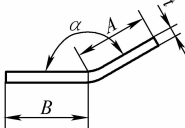
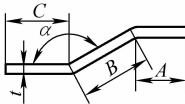
曲线名称	简 图	计算公式
圆周		$C = 2\pi R = \pi D$
任意圆弧 (AB 弧长)		$L = \frac{\pi R \alpha}{180^\circ} = 0.01745 R \alpha$
弓形		$D = H + \frac{S^2}{4H}$ $H = \frac{D - \sqrt{D^2 - S^2}}{2}$ $S = 2 \sqrt{H(D - H)}$
椭圆		较精确值 $P = \pi \times \sqrt{2(a^2 + b^2) - \frac{(a - b)^2}{4}}$ 近似值 $P = \pi(a + b)$

注: C —圆周长 R —半径 D —直径 α —任意圆弧 \widehat{AB} 所对圆心角 H —弦高 S —弦长 a —椭圆长轴半径 b —椭圆短轴半径 P —椭圆周长

表 9-67 不同弯形件展开长度计算

弯形件简图	计 算 方 法
<p>弯曲部分有圆角的 $\frac{r}{t} > 0.5$</p> 	<p>弯曲部分 (α 角范围内) 中性层长度加不弯曲部分直线长度之和</p> $L = A + B + \frac{\alpha}{180^\circ} (r + x_0 t) \pi, \alpha > 90^\circ \text{ 时, } x_0 \text{ 值宜适当减小, 反之宜大}$ <p>弯形件有几个弯角时, 则将全部弯曲部分展开长加全部直线部分长即可</p>

(续)

弯形件简图	计 算 方 法																				
<p>铰链圈弯曲</p> 	$L = 1.5 \pi \left(r + x_0 t \right) + r + l$ <p>铰链圈中性层位移系数 x_0</p> <table><tr><th>r/t</th><td>0.5</td><td>0.8</td><td>1.0</td><td>1.2</td><td>1.5</td><td>1.8</td><td>2</td><td>2.5</td><td>≥ 3</td></tr><tr><th>x_0</th><td>0.77</td><td>0.73</td><td>0.70</td><td>0.67</td><td>0.62</td><td>0.58</td><td>0.54</td><td>0.52</td><td>0.5</td></tr></table>	r/t	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2	2.5	≥ 3	x_0	0.77	0.73	0.70	0.67	0.62	0.58	0.54	0.52	0.5
r/t	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2	2.5	≥ 3												
x_0	0.77	0.73	0.70	0.67	0.62	0.58	0.54	0.52	0.5												
<p>90°折角$\left(\frac{r}{t} < 0.5\right)$</p> 	$L = A + B + C + \cdots + nkt$ <p>式中 $A、B$——（包括多折角时的各段直边）内缘尺寸 n——折角数目 k——折角系数无论单角、多角弯曲、每次只弯一个角时， $k = 0.4$，每次弯二个角 $k = 0.3$，每次三个角以上，$k = 0.25$</p>																				
<p>180°折角</p> 	$L = A + B - 0.43t$																				
<p>>90°折角</p> 	$L = A + B + \frac{180^\circ - \alpha}{90^\circ} \times 0.4t$																				
<p>>90°多折角</p> 	<p>当各折角相同时</p> $L = A + B + C + \cdots + \frac{180^\circ - \alpha}{90^\circ} nkt$ <p>当各折角不同时</p> $L = A + B + C + \cdots + \left(\frac{180^\circ - \alpha_1}{90^\circ} + \frac{180^\circ - \alpha_2}{90^\circ} + \cdots \right) kt$ <p>k 的意义及取值参照本表 90°折角一栏</p>																				

注： L 为展开长度。

9.6.2 弯形方法

弯形分为冷弯和热弯两种。冷弯是指材料在常温下进行的弯形，它适合于材料厚度

小于 5mm 的钢材。热弯是指材料在预热后进行的弯形。

按加工方法，弯形分为手工弯形和机械弯形两种。

(1) 板料弯形

1) 手工弯形方法举例。

① 卷边。在板料的一端划出两条卷边线， $L = 2.5d$ 和 $L_1 = \frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}L$ 。然后按图 9-145 所示的步骤进行弯形。

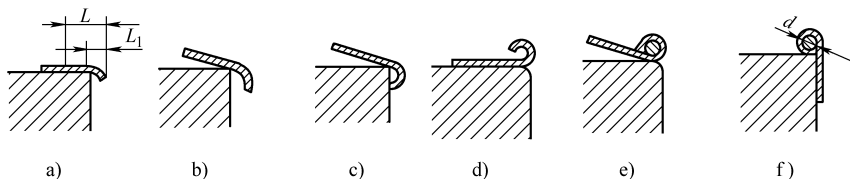


图 9-145 薄板料卷边方法

按图 a：把板料放到平台上，露出 L_1 长并弯成 90° 。

按图 b、c：边向外伸料边弯曲，直到 L 长为止。

按图 d：翻转板料，敲打卷边向里扣。

按图 e：将合适的铁丝放入卷边内，边放边锤扣。

按图 f：翻转板料，接口靠紧平台缘角，轻敲接口咬紧。

② 咬缝。咬缝基本类型有五种，如图 9-146 所示。与弯形操作方法基本相同，下料留出咬缝量，为缝宽 \times 扣数。操作时应根据咬缝种类留余量，决不可以搞平均。一弯一翻作好扣，二板扣合再压紧，边部敲凹防松脱（图 9-147）。

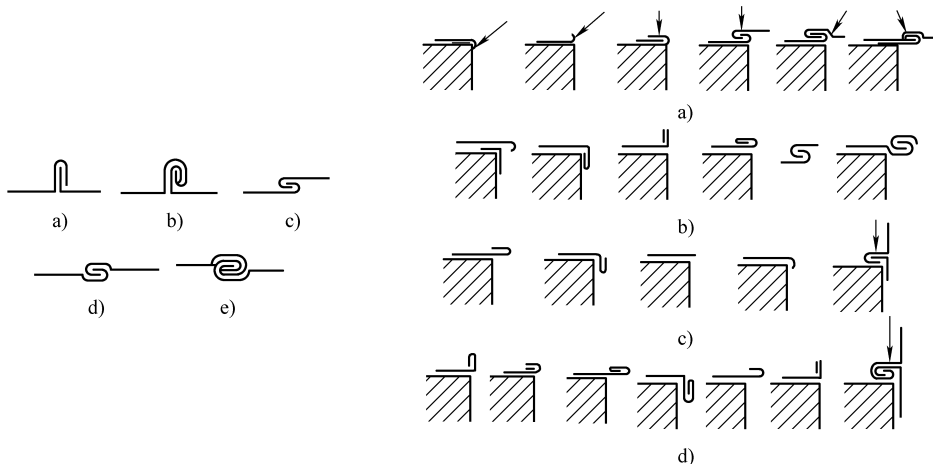


图 9-146 咬缝的种类

a) 站缝单扣 b) 站缝双扣 c) 卧缝挂扣
d) 卧缝单扣 e) 卧缝双扣

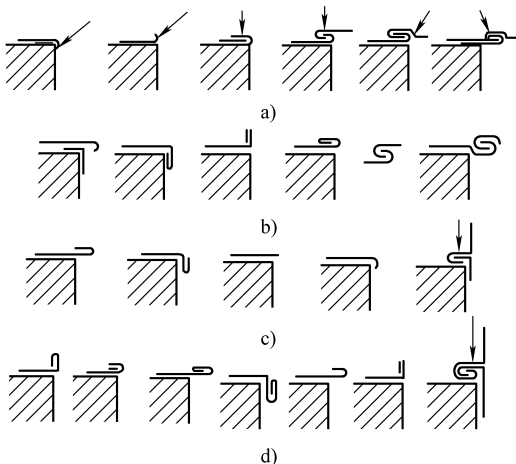


图 9-147 咬缝操作过程

a) 卧缝单扣 b) 卧缝双扣
c) 站缝单扣 d) 站缝双扣

③ 弯直角工件。如果工件形状简单、尺寸不大,而且能在台虎钳上夹持的,应在台虎钳上弯制直角(图9-148)。

a. 先在弯曲部位划好线,线与钳口对齐夹持工件,两边要与钳口垂直。

b. 用木锤在靠近弯曲部位的全长上轻轻敲打,直到打到直角为止(图9-148a)。

c. 如弯曲线以上部分较短时,可用硬木块垫在弯曲处再敲打,弯成直角(图9-148b)。

对于加工工件弯曲部位的长度大于钳口长度,而且工件两端又较长,无法在台虎钳上夹持时,可将一边用压板压紧在有T形槽的平板上,用锤子或垫上方木条锤击弯曲处(图9-149),使其逐渐弯成直角。

④ 弯多直角形工件。如图9-150所示的工件,可用木垫或金属垫作辅助工具。工件弯形步骤如下:

a. 将板料按划线夹入台虎钳的两块角衬内,弯成A角(图9-150a)。

b. 再用衬垫①弯成B角(图9-150b)。

c. 最后用衬垫②弯成C角(图9-150c)。

⑤ 弯圆弧形工件。

方法1:

a. 先在材料上划好弯曲处位置线,按线夹在台虎钳的两块角铁衬垫里(图9-151)。

b. 用方头锤子的窄头锤击,按图9-151a、b、c三步初步弯曲成形。

c. 最后在半圆模上修整圆弧至合格(图9-151d)。

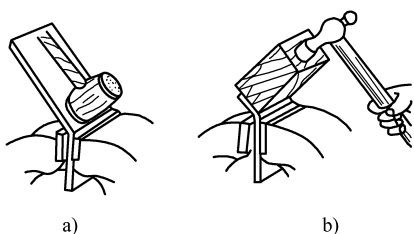


图9-148 板料直角弯形方法

a) 用锤子直接弯形 b) 用垫块间隙变形

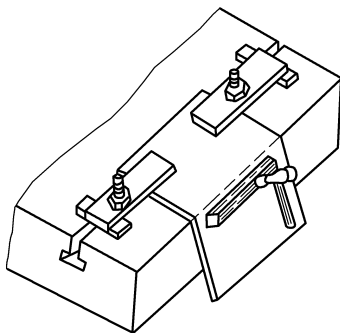


图9-149 较大板料弯形方法

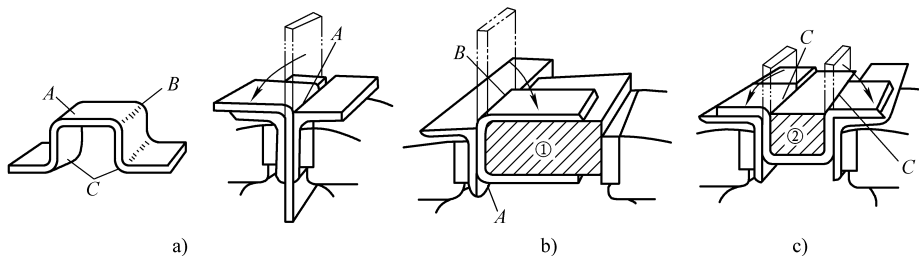


图9-150 多直角形工件弯形方法

方法2:

a. 先划出圆弧中心线和两端转角弯曲线Q(图9-152a)。

b. 沿圆弧中心线R将板料夹紧在钳口上弯形(图9-152b)。

c. 将心轴的轴线方向与板料弯形线Q对正,并夹紧在钳口上。应使钳口作用

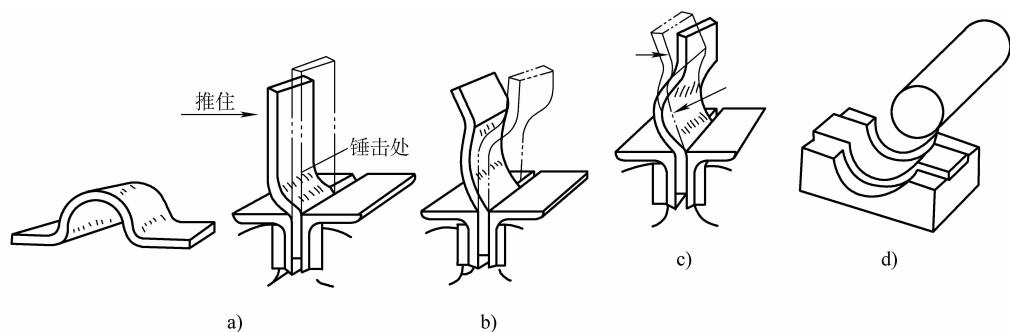


图 9-151 圆弧形工件弯形方法 (一)

点 P 与心轴圆心 O ，在一直线上，并使心轴的上表面略高于钳口平面，把 a 脚沿心轴弯形，使其紧贴在心轴表面上（图 9-152c）。

d. 翻转板料，重复上述操作过程，把 b 脚沿心轴弯形，最后使 a 、 b 脚平行（图 9-152d）。

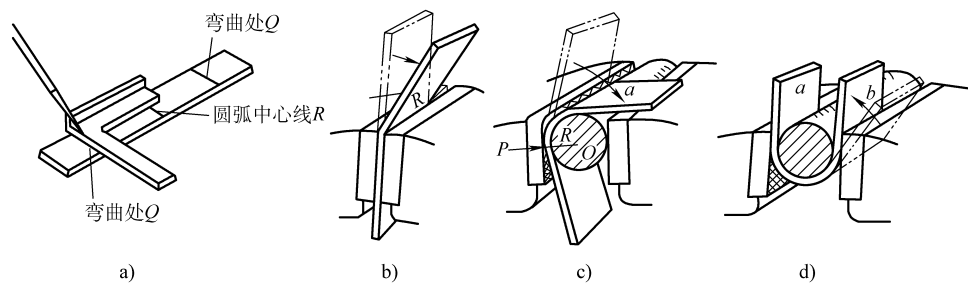


图 9-152 圆弧形工件弯形方法 (二)

⑥ 圆弧和角度结合的工件。

a. 先在板料上划弯形线（图 9-153a），并加工好两端的圆弧和孔。

b. 按划线将工件夹在台虎钳的衬垫内（图 9-153b），先弯好两端 A 、 B 两处。

c. 最后在圆钢上弯工件的圆弧（图 9-153c）。

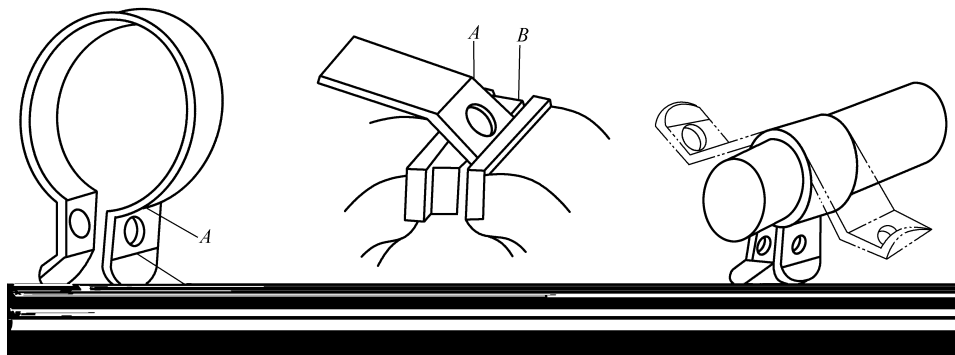
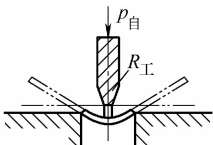
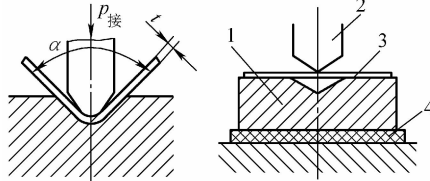
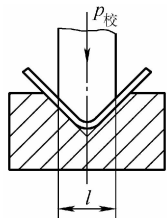


图 9-153 圆弧和角度结合工件弯形方法

2) 常用机械弯形方法及适用范围见表 9-68。

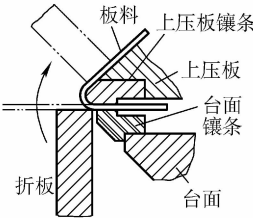
表 9-68 常用机械弯形方法及适用范围

类 型	工 序 简 图	适 用 范 围
压 弯	<p>V 形自由弯曲</p> 	<p>凸模圆角半径 (R_w) 很小, 工件圆角半径在弯曲时自然形成, 调节凸模下死点位置, 可以得到不同的弯曲角度及曲率半径。模具通用性强。这种弯曲变形程度较小, 弹性回跳量大, 故质量不易控制</p> <p>适用于精度要求不高的大中型工件的小批量生产</p>
	<p>V 形接触弯曲</p>  <p>a) b)</p> <p>t—工件厚度 1—凹模 2—凸模 3—工件 4—强力橡胶 5—床面</p>	<p>凸模角度等于或稍小于 ($2^\circ \sim 3^\circ$) 凹模角度, 弯曲时凸模到下死点位置时应使弯曲件的弯曲角度 α 刚好与凹模的角度吻合, 此时工件圆角半径, 等于自由弯曲半径。由于材料力学性能不稳定, 厚度会有偏差, 故工件精度不太高 (介于自由弯曲和校正弯曲之间), 但弯曲力比校正弯曲小。模具寿命长 (图 a)</p> <p>此法主要适用于厚度宽度都较大的弯曲件, 如图 b 所示。用衬有强力橡胶的弯曲模, 可以减少薄板弯曲时由于厚度不均等引起的弯曲角度误差</p>
	<p>V 形校正弯曲</p>  <p>$P_{校} = P_{校} A \quad A = lB$</p> <p>$B$—料宽 A—工件受压部分投影面积</p>	<p>凸模在下死点时与工件、凹模全部接触, 并施加很大压力使材料内部应力增加, 提高塑性变形程度, 因而提高了弯曲精度。由于校正压力很大, 故适用于厚度及宽度较小的工件。为了避免压力机下死点位置不准引起机床超载而损坏, 不宜使用曲柄压力机。$P_{校} = 80 \sim 120 \text{MPa}$ (详细数据参见有关资料)</p>

(续)

类 型	工 序 简 图	适 用 范 围
压 弯	<p>U 形件弯曲</p> <p>a)</p> <p>b)</p>	<p>图 a 所示 U 形件弯曲模, 属于自由弯曲。底部呈弓形, 弯曲结束, 弓形部分回弹。U 形件二侧便张开。弯曲件精度低, 这种模具结构简单, 冲压力小</p> <p>图 b 所示 U 形件弯曲模, 属于校正弯曲。顶板在开始弯曲时对材料底部有一压力, 避免弓形产生, 保证了冲压后的质量</p> <p>U 形件弯曲模凸凹模之间的间隙 Z 太大会引起过大的回弹量, 过小则会使材料表面擦伤, 并增加弯曲力。$Z \approx 1.05 \sim 1.2t$</p>
滚 弯	<p>a)</p> <p>b)</p> <p>c)</p>	<p>板材置在一组 (一般为三支) 旋转着的辊轴之间, 由于滚轴对板材的压力和摩擦力, 使板材在辊轴间通过, 在通过同时又产生了弯曲变形</p> <p>滚弯属于自由弯曲, 因此回弹较大, 一次辊压难以达到精度, 但可多次滚压, 并调节 H 使工件弯曲半径达到一定精度。特点是不需要特殊的工具和模具, 通用性大。对称型三辊轴滚圆机使用时, 工件两端有 $a/2$ 长的一段未受到弯曲 (图 a), 因此必需在滚弯前先用压弯法将两端压出圆弧形</p> <p>不对称三辊卷板机可以使直线部分减至最小, 但弯曲力要大得多, 且不能在一次滚压中将两端都滚弯 (图 b)。厚度较薄及圆筒直径较大时, 可将板料端部垫上已有一定曲率半径圆弧的厚垫板一起滚压, 使其两端先滚出圆弧 (图 c)</p>

(续)

类 型	工 序 简 图	适 用 范 围
折 弯		折弯是在折板机上进行的, 主要用于长度较长, 弯曲角较小的薄板件, 控制折板的旋转角度及调换上压板的头部镶块, 可以弯曲不同角度及不同弯曲半径的零件

3) 常用板材最小弯曲半径见表 9-69。

表 9-69 常用板材最小弯曲半径

(单位: mm)

材料	低碳钢	硬铝 2A12	铝	纯铜	黄铜
材料厚度	最小弯曲半径				
0.3	0.5	1.0	0.5	0.3	0.4
0.4	0.5	1.5	0.5	0.4	0.5
0.5	0.6	1.5	0.5	0.5	0.5
0.6	0.8	1.8	0.6	0.6	0.6
0.8	1.0	2.4	1.0	0.8	0.8
1.0	1.2	3.0	1.0	1.0	1.0
1.2	1.5	3.6	1.2	1.2	1.2
1.5	1.8	4.5	1.5	1.5	1.5
2.0	2.5	6.5	2.0	1.5	2.0
2.5	3.5	9.0	2.5	2.0	2.5
3.0	5.5	11.0	3.0	2.5	3.5
4.0	9.0	16.0	4.0	3.5	4.5
5.0	13.0	19.5	5.5	4.0	5.5
6.0	15.5	22.0	6.5	5.0	6.5

(2) 角钢弯形

1) 角钢作角度弯形。角钢角度弯形有三种, 如图 9-154 所示: 大于 90° 的弯曲程度较小; 等于 90° 的弯曲程度中等; 小于 90° 的弯曲程度大。

弯形步骤:

- ① 计算锯切角 α 大小。
- ② 划线锯切 α 角槽, 锯切时应保证 $\alpha/2$ 角的对称。两边要平整, 必要时可以锉平。V 形尖角处要清根, 以免弯形完了合不严实 (图 9-155a)。

- ③ 弯形。一般可夹在台虎钳上进行,

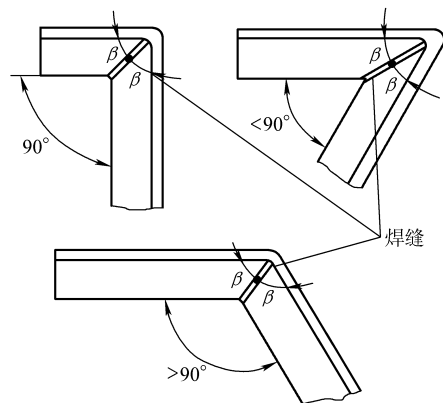


图 9-154 角钢角度弯形的形式

边弯曲边锤打弯曲处（图 9-155b）。 β 角越小，弯作中锤打越要密些，力大点。对退火、正火处理的角钢弯作过程可适当快些，未作过处理的角钢，弯曲中要密打弯曲处，以防裂纹。

2) 角钢作弯圆。角钢的弯圆分为角钢边向里弯圆和向外弯圆两种。一般需要一个与弯圆圆弧一致的弯形工具配合弯形，必要时也可采用局部加热弯作。

① 角钢边向里弯圆见图 9-156。

a. 将角钢 a 处与型胎工具夹紧。

b. 敲打 b 处，使之贴靠型胎工具，并将其夹紧。

c. 均匀敲打 c 处，使 c 处平整。

② 角钢边向外弯圆见图 9-157。

a. 将角钢 a' 处与型胎工具夹紧。

b. 敲打 b' 处使之贴靠型胎工具，并将其夹紧。

c. 均匀敲打 c' 处，防止 c' 翘起，使 c' 处平整。

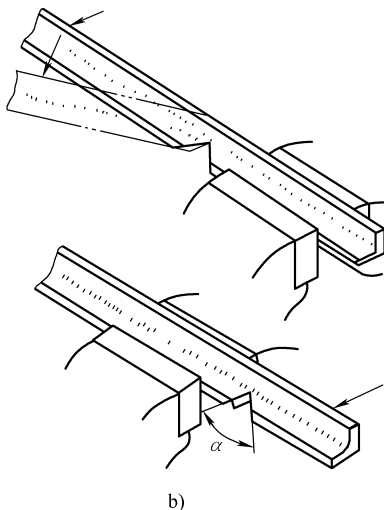
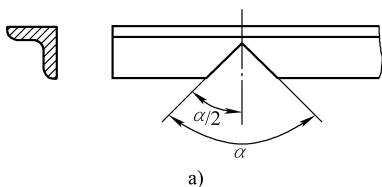


图 9-155 角钢作角度弯形方法

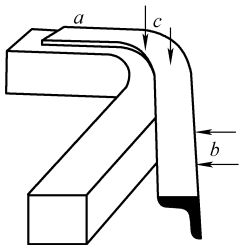


图 9-156 角钢边向里弯圆方法

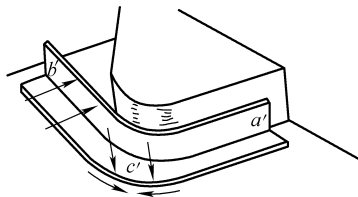


图 9-157 角钢边向外弯圆方法

(3) 管子弯形

管子弯形分冷弯与热弯两种。直径在 12mm 以下的管子可采用冷弯方法，而直径在 12mm 以上的管子则采用热弯，但弯管的最小弯曲半径必须大于管子直径的 4 倍。

管子内部填充材料的选择见表 9-70，管子直径大于 10mm 时，在弯形前，必须在管内灌满填充材料，两端用木塞塞紧（图 9-158），对于有焊缝的管子，弯形时需将焊缝放在中性层的位置上（图 9-159），以免弯形时焊缝裂开。

1) 用手工冷弯管子。

① 对直径较小的铜管手工弯形时，应将铜管退火后，用手边弯边整形，修整弯作

产生的扁圆形状,使弯形圆弧光滑圆整(图9-160)。切记不可一下子弯很大的弯曲度,这样不易修整产生的变形。

② 钢管弯形(图9-161)首先应将管子装砂,封堵;并根据弯曲半径先固定定位柱,然后再固定别挡。

表 9-70 弯曲管子时管内填充材料的选择

管子材料	管内填充材料	弯曲管子条件
钢管	普通黄砂	将黄砂充分烘炒干燥后,填入管内,热弯或冷弯
一般纯铜管、黄铜管	铅或松香	将铜管退火后,再填充冷弯。应注意:铅在热熔时,要严防滴水,以免溅伤
薄壁纯铜管、黄铜管	水	将铜管退火后灌水冰冻冷弯
塑料管	细黄砂 (也可不填充)	温热软化后迅速弯曲

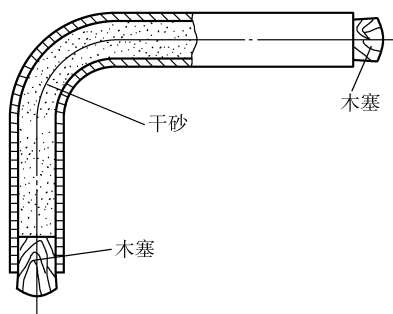


图 9-158 管内灌砂及两端塞上木塞

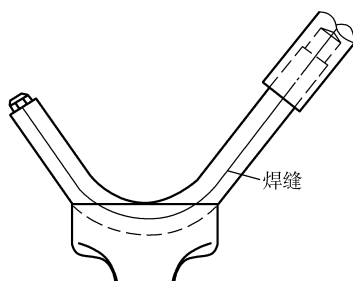


图 9-159 管子弯形时焊缝位置

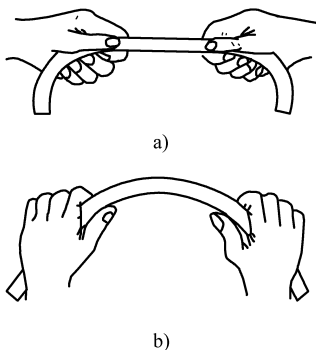


图 9-160 手工冷弯小直径铜管

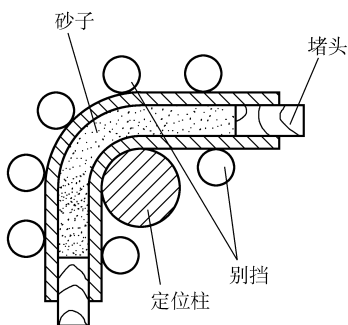


图 9-161 钢管弯形

弯作时逐步弯作,将管子一个别挡一个别挡别进来,用铜锤锤打弯曲高处,也要锤打弯曲的侧面,以纠正弯作时产生的扁圆形状。

热弯直径较大管子时,可在管子弯曲处加热后,采用这种方法弯形。

2) 用弯管工具冷弯管子。冷弯小直径的油管一般在弯管工具上进行(图9-162)。

弯管工具由底板、转盘、靠铁、钩子和手柄等组成。转盘圆周上和靠铁侧面上有圆弧槽，圆弧槽按所弯的油管直径而定（最大直径可达 12mm）。当转盘和靠铁的位置固定后（两者均可转动，靠铁不可移动）即可使用。使用时，将油管插入转盘和靠铁的圆弧槽中，钩子钩住管子，按所需的弯曲位置，扳动手柄，使管子跟随手柄弯到所需角度。

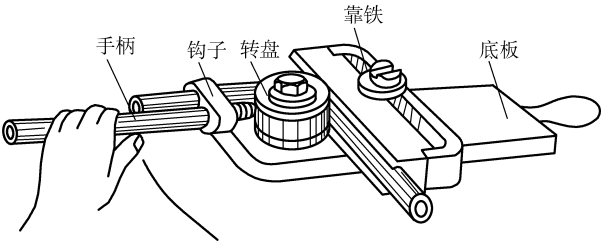


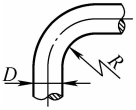
图 9-162 弯管工具

3) 常用型材、管材最小弯形半径的计算公式见表 9-71。

表 9-71 常用型材、管材最小弯形半径的计算公式

碳素钢板弯曲		热	$R_{\min} = S$
		冷	$R_{\min} = 2.5S$
扁钢弯曲		热	$R_{\min} = 3a$
		冷	$R_{\min} = 12a$
圆钢弯曲		热	$R_{\min} = a$
		冷	$R_{\min} = 2.5a$
方钢弯曲		热	$R_{\min} = a$
		冷	$R_{\min} = 2.5a$
无缝钢管弯曲		热	$D > 20\text{mm}, \quad R \approx 2D$
		冷	$D > 20\text{mm}, \quad R \approx 3D$
不锈钢板弯曲		热	$R_{\min} = S$
		冷	$R_{\min} = (2 \sim 2.5) S$
不锈钢圆钢弯曲		热	$R_{\min} = D$
		冷	$R_{\min} = (2 \sim 2.5) D$

(续)

不锈钢耐钢管弯曲		充砂加热	$R_{\min} = 3.5D$
		气焊嘴加热	弯曲一侧有折纹 $R_{\min} = 2.5D$
		不充砂冷弯	专门弯管机上弯 $R_{\min} = 4D$

4) 铜、铝管最小弯形半径 R_{\min} 见表 9-72。

表 9-72 铜、铝管最小弯形半径 R_{\min} (单位: mm)

纯铜管与黄铜管			铝 材 管		
d	R_{\min}	壁厚	d	R_{\min}	壁厚
5.0	10	1.0	—	—	—
6.0	10	1.0	6.0	10	1.0
7.0	15	1.0	—	—	—
8.0	15	1.0	8.0	15	1.0
10	15	1.0	10	15	1.0
12	20	1.0	12	20	1.0
14	20	1.0	14	20	1.0
15	30	1.0	—	—	—
16	30	1.5	16	30	1.5
18	30	1.5	—	—	—
20	30	1.5	20	30	1.5
24	40	1.5	—	—	—
25	40	1.5	25	50	1.5
28	50	1.5	30	60	1.5
35	60	1.5	40	80	1.5
45	80	1.5	50	100	2.0
55	100	2.0	60	125	2.0

注: 一件上弯作几个弯曲处, 如两个、三个弯曲处等, 均应不小于 R_{\min} 。

5) 不锈钢管、不锈无缝钢管最小弯形半径 R_{\min} 见表 9-73。

表 9-73 不锈钢管、不锈无缝钢管最小弯形半径 R_{\min} (单位: mm)

不锈无缝钢管			不 锈 钢 管		
d	R_{\min}	壁厚	d	R_{\min}	壁厚
6.0	15	1.0	—	—	—
8.0	15	1.0	—	—	—
10	20	1.5	—	—	—
12	25	1.5	—	—	—
14	30	1.5	14	18	2.0

(续)

不锈钢管			不 锈 钢 管		
d	R_{\min}	壁厚	d	R_{\min}	壁厚
16	30	1.5	—	—	—
18	40	1.5	18	28	2.0
20	40	1.5	—	—	—
22	60	1.5	(22)	50	2.0
25	60	3.0	25	50	2.0
32	80	3.0	32	60	2.5
38	80	3.0	38	70	2.5
41	100	3.0	45	90	2.5
57	180	4.0	57	110	2.5
76	220	4.0	(76)	225	3.5
89	270	4.0	89	250	4.0
102	—	—	102	—	—
108	340	6.0	(108)	360	4.0
133	420	6.0	133	400	4.0

注：一件上弯作几个弯曲处，如两个、三个等，均应不小于 R_{\min} 。

6) 无缝钢管最小弯形半径 R_{\min} 见表 9-74。

表 9-74 无缝钢管最小弯形半径 R_{\min} (单位：mm)

d	R_{\min}	壁厚	d	R_{\min}	壁厚
6	15	1.0	44.5	100	3.0
8	15	1.0	45	90	3.5
10	20	1.5	57	110	3.5
12	25	1.5	57	150	4.0
14	30	1.5	76	180	4.0
14	18	3.0	89	220	4.0
16	30	1.5	102		
18	40	1.5	108	270	4.0
18	28	3.0	133	340	4.0
20	40	1.5	159	450	4.5
22	50	3.0	159	420	6.0
25	50	3.0	194	500	6.0
32	60	3.0	219	500	6.0
32	60	3.5	245	600	6.0
38	80	3.0	273	700	8.0
38	70	3.5	325	800	8.0

附 录

三角函数表

0°

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0′	0. 0000	1. 0000	0. 00000	∞	60
2	00058	0000	00058	1718. 9	58
4	00116	0000	00116	859. 44	56
6	00175	0000	00175	572. 96	54
8	00233	0000	00233	429. 72	52
10	0. 00291	1. 0000	0. 00291	343. 77	50
12	00349	99999	00349	286. 48	48
14	00407	99999	00407	245. 55	46
16	00465	99999	00465	214. 86	44
18	00524	99999	00524	190. 98	42
20	0. 00582	0. 99998	0. 00582	171. 89	40
22	00640	99998	00640	156. 26	38
24	00698	99998	00698	143. 24	36
26	00756	99997	00765	132. 22	34
28	00814	99997	00815	122. 77	32
30	0. 00873	0. 99996	0. 00873	114. 59	30
32	00931	99996	00931	107. 43	28
34	00989	99995	00989	101. 11	26
36	01047	99995	01047	95. 489	24
38	01105	99994	01105	90. 463	22
40	0. 01164	0. 99993	0. 01164	85. 940	20
42	01222	99993	01222	81. 847	18
44	01280	99992	01280	78. 126	16
46	01338	99991	01338	74. 729	14
48	01396	99990	01396	71. 615	12
50	0. 01454	0. 99989	0. 01455	68. 750	10
52	01513	99989	01513	66. 105	8
54	01571	99988	01517	63. 657	6
56	01629	99987	01629	61. 383	4
58	01687	99986	01687	59. 266	2
60	0. 01745	0. 99985	0. 01746	57. 290	0′
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

89°

1° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 01745	0. 99985	0. 01746	57. 290	60
2	01803	99984	01804	55. 442	58
4	01862	99983	01862	53. 709	56
6	01920	99982	01920	52. 081	54
8	01978	99980	01978	50. 549	52
10	0. 02036	0. 99979	0. 02036	49. 104	50
12	02094	99978	02095	47. 740	48
14	02152	99977	02153	46. 449	46
16	02211	99976	02211	45. 226	44
18	02269	99974	02269	44. 066	42
20	0. 2327	0. 99973	0. 02328	42. 964	40
22	02385	99972	02386	41. 916	38
24	02443	99970	02444	40. 917	36
26	02501	99969	02502	39. 965	34
28	02560	99967	02560	39. 057	32
30	0. 2618	0. 99966	02619	38. 188	30
32	02676	99964	02677	37. 358	28
34	02734	99963	02735	36. 563	26
36	02792	99961	02793	35. 801	24
38	02850	99959	02851	35. 070	22
40	0. 2908	0. 99958	0. 02910	34. 368	20
42	02967	99956	02968	33. 694	18
44	03025	99954	03026	33. 045	16
46	03083	99952	03084	32. 421	14
48	03141	99951	03143	31. 821	12
50	0. 03199	0. 99949	0. 03201	31. 242	10
52	03257	99947	03259	30. 683	8
54	03316	99945	03317	30. 145	6
56	03374	99943	03376	29. 624	4
58	03432	99941	03434	29. 122	2
60	0. 03490	0. 99939	0. 03492	28. 636	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

2° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.03490	0.99939	0.03492	28.636	60
2	03548	99937	03550	28.166	58
4	03606	99935	03609	27.712	56
6	03664	99933	03667	27.271	54
8	03723	99931	03725	26.845	52
10	0.03781	0.99929	0.03783	26.432	50
12	03839	99926	03842	26.031	48
14	03897	99924	03900	25.642	46
16	03955	99922	03958	25.264	44
18	04013	99919	04016	24.898	42
20	0.04071	0.99917	0.04075	24.542	40
22	04129	99915	04133	24.196	38
24	04188	99912	04191	23.859	36
26	04246	99910	04250	23.532	34
28	04304	99907	04308	23.214	32
30	0.04362	0.99905	0.04366	22.904	30
32	04420	99902	04424	22.602	28
34	04478	99900	04483	22.308	26
36	04536	99897	04541	22.022	24
38	04594	99894	04599	21.743	22
40	0.04653	0.99892	0.04658	21.470	20
42	04711	99889	04716	21.205	18
44	04769	99886	04774	20.946	16
46	04827	99883	04833	20.693	14
48	04885	99881	04891	20.446	12
50	0.04943	0.99878	0.04949	20.206	10
52	05001	99875	05007	19.970	8
54	05059	99872	05066	19.740	6
56	05117	99869	05124	19.516	4
58	05175	99866	05182	19.296	2
60	0.05234	0.99863	0.05241	19.081	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

3° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.05234	0.99863	0.05241	19.081	60
2	05292	99860	05299	18.871	58
4	05350	99857	05357	18.666	56
6	05408	99854	05416	18.464	54
8	05466	99851	05474	18.268	52
10	0.05524	0.99847	0.05533	18.075	50
12	05582	99844	05591	17.886	48
14	05640	99841	05649	17.702	46
16	05698	99838	05708	17.521	44
18	05756	99834	05766	17.343	42
20	0.05814	0.99831	0.05824	17.169	40
22	05873	99827	05883	16.999	38
24	05931	99824	05941	16.832	36
26	05989	99821	05999	16.668	34
28	06047	99817	06058	16.507	32
30	0.06105	0.99813	0.06116	16.350	30
32	06163	99810	06175	16.195	28
34	06221	99806	06233	16.043	26
36	06279	99803	06291	15.895	24
38	06337	99799	06350	15.748	22
40	0.06395	0.99795	0.06408	15.605	20
42	06453	99792	06467	15.464	18
44	06511	99788	06525	15.325	16
46	06569	99784	06584	15.189	14
48	06627	99780	06642	15.056	12
50	0.06685	0.99776	0.06700	14.924	10
52	06743	99772	06759	14.795	8
54	06802	99768	06817	14.669	6
56	06860	99764	06876	14.544	4
58	06918	99760	06934	14.421	2
60	0.06976	0.99756	0.06993	14.301	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

4°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.06976	0.99756	0.06993	14.301	60
2	07034	99752	07051	14.182	58
4	07092	99748	07110	14.065	56
6	07150	99744	07168	13.951	54
8	07208	99740	07227	13.838	52
10	0.07266	0.99736	0.07285	13.727	50
12	07324	99731	07344	13.617	48
14	07382	99727	07402	13.510	46
16	07440	99723	07461	13.404	44
18	07498	99719	07519	13.300	42
20	0.07556	0.99714	0.07578	13.197	40
22	07614	99710	07636	13.096	38
24	07672	99705	07695	12.996	36
26	07730	99701	07753	12.898	34
28	07788	99696	07812	12.801	32
30	0.07846	0.99692	0.07870	12.706	30
32	07904	99587	07929	12.612	28
34	07962	99683	07987	12.520	26
36	08020	99678	08046	12.429	24
38	08078	99673	08104	12.339	22
40	0.08136	0.99668	0.08163	12.251	20
42	08194	99664	08221	12.163	18
44	08252	99659	08280	12.077	16
46	08310	99654	08339	11.992	14
48	08368	99649	08397	11.909	12
50	0.08426	0.99644	0.08456	11.826	10
52	08484	99639	08514	11.745	8
54	08542	99635	08573	11.664	6
56	08600	99630	08632	11.585	4
58	08658	99625	08690	11.507	2
60	0.08716	0.99619	0.08749	11.430	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

5° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.08716	0.99619	0.08749	11.430	60
2	08774	99614	08807	11.354	58
4	08831	99609	08866	11.279	56
6	08889	99604	08925	11.205	54
8	08947	99599	08983	11.132	52
10	0.09005	0.99594	0.09042	11.059	50
12	09063	99588	09101	10.988	48
14	09121	99583	09159	10.918	46
16	09179	99578	09218	10.848	44
18	09237	99572	09277	10.780	42
20	0.09295	0.99567	0.09335	10.712	40
22	09353	99562	09394	10.645	38
24	09411	99556	09453	10.579	36
26	09469	99551	09511	10.514	34
28	09527	99545	09570	10.449	32
30	0.09585	0.99540	0.09629	10.385	30
32	09642	99534	09688	10.322	28
34	09700	99528	09746	10.260	26
36	09758	99523	09805	10.199	24
38	09816	99517	09864	10.138	22
40	0.09874	0.99511	0.09923	10.078	20
42	09932	99506	09981	10.019	18
44	09990	99500	10040	9.9601	16
46	10048	99494	10099	9.9021	14
48	10106	99488	10158	9.8448	12
50	0.10164	0.99482	0.10216	9.7882	10
52	10221	99476	10275	9.7322	8
54	10279	99470	10334	9.6768	6
56	10337	99464	10393	9.6220	4
58	10395	99458	10452	9.5679	2
60	0.10453	0.99452	0.10510	9.5144	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

6°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 10453	0. 99452	0. 10510	9. 5144	60
2	10511	99446	10569	4614	58
4	10569	99440	10628	4090	56
6	10626	99434	10687	3572	54
8	10684	99428	10746	3060	52
10	0. 10742	0. 99421	0. 10805	9. 2553	50
12	10800	99415	10863	2051	48
14	10858	99409	10922	1555	46
16	10916	99402	10981	1065	44
18	10973	99396	11040	0579	42
20	0. 11031	0. 99390	0. 11099	9. 0098	40
22	11089	99383	11158	8. 9623	38
24	11147	99377	11217	9152	36
26	11205	99370	11276	8686	34
28	11263	99364	11335	8225	32
30	0. 11320	0. 99357	0. 11394	8. 7769	30
32	11378	99351	11452	7317	28
34	11436	99344	11511	6870	26
36	11494	99337	11570	6427	24
38	11552	99331	11629	5989	22
40	0. 11609	0. 99324	0. 11688	8. 5555	20
42	11667	99317	11747	5126	18
44	11725	99310	11806	4701	16
46	11783	99303	11865	4280	14
48	11840	99297	11924	3863	12
50	0. 11898	0. 99290	0. 11983	8. 3450	10
52	11956	99283	12042	3041	8
54	12014	99276	12101	2636	6
56	12071	99269	12160	2234	4
58	12129	99262	12219	1837	2
60	0. 12187	0. 99255	0. 12278	8. 1443	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

7° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 12187	0. 99255	0. 12278	8. 1443	60
2	12245	99248	12338	1054	58
4	12302	99240	12397	0667	56
6	12360	99233	12456	0285	54
8	12418	99226	12515	7. 9906	52
10	0. 12476	0. 99219	0. 12574	7. 9530	50
12	12533	99211	12633	9158	48
14	12591	99204	12692	8789	46
16	12649	99197	12751	8424	44
18	12706	99189	12810	8062	42
20	0. 12764	0. 99182	0. 12869	7. 7704	40
22	12822	99175	12929	7348	38
24	12880	99167	12988	6996	36
26	12937	99160	13047	6647	34
28	12995	99152	13105	6301	32
30	0. 13053	0. 99144	0. 13165	7. 5958	30
32	13110	99137	13224	5618	28
34	13168	99129	13284	5281	26
36	13226	99122	13343	4947	24
38	13283	99114	13402	4615	22
40	0. 13341	0. 99106	0. 13461	7. 4287	20
42	13399	99098	13521	3962	18
44	13456	99091	13580	3639	16
46	13514	99083	13639	3319	14
48	13572	99075	13698	3002	12
50	0. 13629	0. 99067	0. 13758	7. 2687	10
52	13687	99059	13817	2375	8
54	13744	99051	13876	2066	6
56	13802	99043	13935	1759	4
58	13860	99035	13995	1455	2
60	0. 13917	0. 99027	0. 14054	7. 1154	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

8° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 13917	0. 99027	0. 14054	7. 1154	60
2	13975	99019	14113	0855	58
4	14033	99011	14173	0558	56
6	14090	99002	14232	0264	54
8	14148	98994	14291	6. 9972	52
10	0. 14205	0. 98986	0. 14351	6. 9682	50
12	14263	98978	14410	9395	48
14	14320	98969	14470	9110	46
16	14378	98961	14529	8828	44
18	14436	98953	14588	8548	42
20	0. 14493	0. 98944	0. 14648	6. 8269	40
22	14551	98936	14707	7994	38
24	14608	98927	14767	7720	36
26	14666	98919	14826	7448	34
28	14723	98910	14886	7179	32
30	0. 14781	0. 98902	0. 14945	6. 6912	30
32	14838	98893	15005	6646	28
34	14896	98884	15064	6383	26
36	14954	98876	15124	6122	24
38	15011	98867	15183	5863	22
40	0. 15069	0. 98858	0. 15243	6. 5606	20
42	15126	98849	15302	5350	18
44	15184	98841	15362	5097	16
46	15241	98832	15421	4846	14
48	15299	98823	15481	4596	12
50	0. 15356	0. 98814	0. 15540	6. 4348	10
52	15414	98805	15600	4103	8
54	15471	98796	15660	3859	6
56	15529	98787	15719	3617	4
58	15586	98778	15779	3376	2
60	0. 15643	0. 98769	0. 15838	6. 3138	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

9° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.15643	0.98769	0.15838	6.3138	60
2	15701	98760	15898	2901	58
4	15758	98751	15958	2666	56
6	15816	98741	16017	2432	54
8	15873	98732	16077	2200	52
10	0.15931	0.98723	0.16137	6.1970	50
12	15988	98714	16196	1742	48
14	16046	98704	16256	1515	46
16	16103	98695	16316	1290	44
18	16160	98686	16376	1066	42
20	0.16218	0.98676	0.16435	6.0844	40
22	16275	98667	16495	0624	38
24	16333	98657	16555	0405	36
26	16390	98648	16615	0188	34
28	16447	98638	16674	5.9972	32
30	0.16505	0.98629	0.16734	5.9758	30
32	16562	98619	16794	9545	28
34	16620	98609	16854	9333	26
36	16677	98600	16914	9124	24
38	16734	98590	16974	8915	22
40	0.16492	0.98580	0.17033	5.8708	20
42	16849	98570	17093	8502	18
44	16906	98561	17153	8298	16
46	16964	98551	17213	8095	14
48	17021	98541	17273	7894	12
50	0.17078	0.98531	0.17333	5.7694	10
52	17136	98521	17393	7495	8
54	17193	98511	17453	7297	6
56	17250	98501	17513	7101	4
58	17308	98491	17573	6906	2
60	0.17365	0.98481	0.17633	5.6713	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

10° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 17365	0. 98481	0. 17633	5. 6713	60
2	17422	98471	17693	6521	58
4	17479	98461	17753	6329	56
6	17537	98450	17813	6140	54
8	17594	98440	17873	5951	52
10	0. 17651	0. 98430	0. 17933	5. 5764	50
12	17708	98420	17993	5578	48
14	17766	98409	18053	5393	46
16	17823	98399	18113	5209	44
18	17880	98389	18173	5026	42
20	0. 17937	0. 98378	0. 18233	5. 4845	40
22	17995	98368	18293	4665	38
24	18052	98357	18353	4486	36
26	18109	98347	18414	4308	34
28	18166	98336	18474	4131	32
30	0. 18224	0. 98325	0. 18534	5. 3955	30
32	18281	98315	18594	3781	28
34	18338	98304	18654	3607	26
36	18395	98294	18714	3435	24
38	18452	98283	18775	3263	22
40	0. 18509	0. 98272	0. 18835	5. 3093	20
42	18567	98261	18895	2924	18
44	18624	98250	18955	2755	16
46	18681	98240	19016	2588	14
48	18738	98229	19076	2422	12
50	0. 18795	0. 98218	0. 19136	5. 2557	10
52	18852	98207	19197	2092	8
54	18910	98196	19257	1929	6
56	18967	98185	19317	1767	4
58	19024	98174	19378	1606	2
60	0. 19081	0. 98163	0. 19438	5. 1446	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

11° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 19081	0. 98163	0. 19438	5. 1446	60
2	19138	98152	19498	1286	58
4	19195	98140	19559	1128	56
6	19252	98129	19619	0970	54
8	19309	98118	19680	0814	52
10	0. 19366	0. 98107	0. 19740	5. 0658	50
12	19423	98096	19801	0504	48
14	19481	98084	19861	0350	46
16	19538	98073	19921	0197	44
18	19595	98061	19982	0045	42
20	0. 19652	0. 98050	0. 20042	4. 9894	40
22	19709	98039	20103	9744	38
24	19766	98027	20164	9594	36
26	19823	98016	20224	9446	34
28	19880	98004	20285	9298	32
30	0. 19937	0. 97992	0. 20345	4. 9152	30
32	19994	97981	20406	9006	28
34	20051	97969	20466	8860	26
36	20108	97958	20527	8716	24
38	20165	97946	20588	8573	22
40	0. 20222	0. 97934	0. 20648	4. 8430	20
42	20279	97922	20709	8288	18
44	20336	97910	20770	8147	16
46	20393	97899	20830	8007	14
48	20450	97887	20891	7867	12
50	0. 20507	0. 97875	0. 20952	4. 7729	10
52	20563	97863	21013	7591	8
54	20620	97851	21073	7453	6
56	20677	97839	21134	7317	4
58	20734	97827	21195	7181	2
60	0. 20791	0. 97815	0. 21256	4. 7046	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

12°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 20791	0. 97815	0. 21256	4. 7046	60
2	20848	97803	21316	6912	58
4	20905	97791	21377	6779	56
6	20962	97778	21438	6646	54
8	21019	97766	21499	6514	52
10	0. 21076	0. 97754	0. 21560	4. 6382	50
12	21132	97742	21621	6252	48
14	21189	97729	21682	6122	46
16	21246	97717	21743	5993	44
18	21303	97705	21804	5864	42
20	0. 21360	0. 97692	0. 21864	4. 5736	40
22	21417	97680	21925	5609	38
24	21474	97667	21986	5483	36
26	21530	97655	22047	5357	34
28	21587	97642	22108	5232	32
30	0. 21644	0. 97630	0. 22169	4. 5107	30
32	21701	97617	22231	4983	28
34	21758	97604	22292	4860	26
36	21814	97592	22353	4737	24
38	21871	97579	22414	4615	22
40	0. 21928	0. 97566	0. 22475	4. 4494	20
42	21985	97553	22536	4374	18
44	22041	97541	22597	4253	16
46	22098	97528	22658	4134	14
48	22155	97515	22719	4015	12
50	0. 22212	0. 97502	0. 22781	4. 3897	10
52	22268	97489	22842	3779	8
54	22325	97476	22903	3662	6
56	22382	97463	22964	3546	4
58	22438	97450	23026	3430	2
60	0. 22495	0. 97437	0. 23087	4. 3315	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

77°

13° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 22495	0. 97437	0. 23087	4. 3315	60
2	22552	97424	23148	3200	58
4	22608	97411	23209	3086	56
6	22665	97398	23271	2972	54
8	22722	97384	23332	2859	52
10	0. 22778	0. 97371	0. 23393	4. 2747	50
12	22835	97358	23455	2635	48
14	22892	97345	23516	2524	46
16	22948	97331	23577	2413	44
18	23005	97318	23639	2303	42
20	0. 23062	0. 97304	0. 23700	4. 2193	40
22	23118	97291	23762	2084	38
24	23175	97278	23823	1976	36
26	23231	97264	23885	1868	34
28	23288	97251	23946	1760	32
30	0. 23345	0. 97237	0. 24008	4. 1653	30
32	23401	97223	24069	1547	28
34	23458	97210	24131	1441	26
36	23514	97196	24193	1335	24
38	23571	97182	24254	1230	22
40	0. 23627	0. 97169	0. 24316	4. 1126	20
42	23684	97155	24377	1022	18
44	23740	97141	24439	0918	16
46	23797	97127	24501	0815	14
48	23853	97113	24562	0713	12
50	0. 23910	0. 97100	0. 24624	4. 0611	10
52	23966	97086	24686	0500	8
54	24023	97072	24747	0408	6
56	24079	97058	24809	0308	4
58	24136	97044	24871	0207	2
60	0. 24192	0. 97030	0. 24936	4. 0108	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

14°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 24192	0. 97030	0. 24933	4. 0108	60
2	24249	97015	24995	0009	58
4	24305	97001	25056	3. 9910	56
6	24362	96987	25118	9812	54
8	24418	96973	25180	9714	52
10	0. 24474	0. 96959	0. 25242	3. 9617	50
12	24531	96945	25304	9520	48
14	24587	96930	25366	9423	46
16	24644	96916	25428	9327	44
18	24700	96902	25490	9232	42
20	0. 24756	0. 96887	0. 25552	3. 9136	40
22	24813	96873	25614	9042	38
24	24869	96858	25676	8947	36
26	24925	96844	25738	8854	34
28	24982	96829	25800	8760	32
30	0. 25038	0. 96815	0. 25862	3. 8667	30
32	25094	96800	25924	8575	28
34	25151	96786	25986	8482	26
36	25207	96771	26048	8391	24
38	25263	96756	26110	8299	22
40	0. 25320	0. 96742	0. 26172	3. 8208	20
42	25376	96727	26235	8118	18
44	25432	96712	26297	8028	16
46	25488	96697	26359	7938	14
48	25545	96682	26421	7848	12
50	0. 25601	0. 96667	0. 26483	3. 7760	10
52	25657	96653	26546	7671	8
54	25713	96638	26608	7583	6
56	25769	96623	26670	7495	4
58	25826	96608	26733	7408	2
60	0. 25882	0. 96593	0. 26795	3. 7321	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

75°

15° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 25882	0. 96593	0. 26795	3. 7321	60
2	25938	96578	26857	7234	58
4	25994	96562	26920	7148	56
6	26050	96547	26982	7062	54
8	26107	96532	27044	6976	52
10	0. 26163	0. 96517	0. 27107	3. 6891	50
12	26219	96502	27169	6806	48
14	26275	96486	27232	6722	46
16	26331	96471	27294	6638	44
18	26387	96456	27357	6554	42
20	0. 26443	0. 96440	0. 27419	3. 6470	40
22	26500	96425	27482	6387	38
24	26556	96410	27545	6305	36
26	26612	96394	27607	6222	34
28	26668	96379	27670	6140	32
30	0. 26724	0. 96363	0. 27732	3. 6059	30
32	26780	96347	27795	5978	28
34	26836	96332	27858	5897	26
36	26892	96316	27921	5816	24
38	26948	96301	27983	5736	22
40	0. 27004	0. 96285	0. 28046	3. 5656	20
42	27060	96269	28109	5576	18
44	27116	96253	28172	5497	16
46	27172	96238	28234	5418	14
48	27228	96222	28297	5339	12
50	0. 27284	0. 96206	0. 28360	3. 5261	10
52	27340	96190	28423	5183	8
54	27396	96174	28486	5105	6
56	28452	96158	28549	5028	4
58	27508	96142	28612	4951	2
60	0. 27564	0. 96126	0. 28675	3. 4874	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

16°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 27564	0. 96126	0. 28675	3. 4874	60
2	27620	96110	28738	4798	58
4	27676	96094	28801	4722	56
6	27731	96078	28864	4646	54
8	27787	96062	28927	4570	52
10	0. 27843	0. 96046	0. 28990	3. 4495	50
12	27899	96029	29053	4420	48
14	27955	96013	29116	4346	46
16	28011	95997	29179	4271	44
18	28067	95981	29242	4197	42
20	0. 28123	0. 95964	0. 29305	3. 4124	40
22	28178	95948	29368	4050	38
24	28234	95931	29432	3977	36
26	28290	95915	29495	3904	34
28	28346	95898	29558	3832	32
30	0. 28402	0. 95882	0. 29621	3. 3759	30
32	28457	95865	29685	3687	28
34	28513	95849	29748	3616	26
36	28569	95832	29811	3544	24
38	28625	95816	29875	3473	22
40	0. 28680	0. 95799	0. 29938	3. 3402	20
42	28736	95782	30001	3332	18
44	28792	95766	30065	3261	16
46	28847	95749	30128	3191	14
48	28903	95732	30192	3122	12
50	0. 28959	0. 95715	0. 30255	3. 3052	10
52	29015	95698	30319	2983	8
54	29070	95681	30382	2914	6
56	29126	95664	30446	2845	4
58	29182	95647	30509	2777	2
60	0. 29237	0. 95630	0. 30573	3. 2709	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

73°

17° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 29237	0. 95630	0. 30573	3. 2709	60
2	29293	95613	30637	2641	58
4	29348	95596	30700	2573	56
6	29404	95579	30764	2506	54
8	29460	95562	30828	2438	52
10	0. 29515	0. 95545	0. 30891	3. 2371	50
12	29571	95528	30955	2305	48
14	29626	95511	31019	2238	46
16	29682	95493	31083	2172	44
18	29737	95476	31147	2106	42
20	0. 29793	0. 95459	0. 31210	3. 2041	40
22	29849	95441	31274	1975	38
24	29904	95424	31338	1910	36
26	29960	95407	31402	1845	34
28	30015	95389	31466	1780	32
30	0. 30071	0. 95372	0. 31530	3. 1716	30
32	30126	95354	31594	1652	28
34	30182	95337	31658	1588	26
36	30237	95319	31722	1524	24
38	30292	95301	31786	1460	22
40	0. 30348	0. 95284	0. 31850	3. 1397	20
42	30403	95266	31914	1334	18
44	30459	95248	31978	1271	16
46	30514	95231	32042	1209	14
48	30570	95213	32106	1146	12
50	0. 30625	0. 95195	0. 32171	3. 1084	10
52	30680	95177	32235	1022	8
54	30736	95159	32299	0961	6
56	30791	95142	32363	0899	4
58	30846	95124	32428	0838	2
60	0. 30902	0. 95106	0. 32492	3. 0777	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

18°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.30902	0.95106	0.32492	3.0777	60
2	30957	95088	32556	0716	58
4	31012	95070	32621	0655	56
6	31068	95052	32685	0595	54
8	31123	95033	32749	0535	52
10	0.31178	0.95015	0.32814	3.0475	50
12	31233	94997	32878	0415	48
14	31289	94979	32943	0356	46
16	31344	94961	33007	0296	44
18	31399	94943	33072	0237	42
20	0.31454	0.94924	0.33136	3.0178	40
22	31510	94906	33201	0120	38
24	31565	94888	33266	0061	36
26	31620	94869	33330	0003	34
28	31675	94851	33395	2.9945	32
30	0.31730	0.94832	0.33460	2.9887	30
32	31786	94814	33524	9829	28
34	31841	94795	33589	9772	26
36	31896	94777	33654	9714	24
38	31951	94758	33718	9657	22
40	0.32006	0.94740	0.33783	2.9600	20
42	32061	94721	33848	9544	18
44	32116	94702	33913	9487	16
46	32171	94684	33978	9431	14
48	32226	94665	34043	9375	12
50	0.32282	0.94646	0.34108	2.9319	10
52	32337	94627	34173	9263	8
54	32392	94609	34238	9208	6
56	32447	34590	34303	9152	4
58	32502	94571	34368	9097	2
60	0.32557	0.94552	0.34433	2.9042	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

71°

19° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 32557	0. 94552	0. 34433	2. 9042	60
2	32612	94533	34498	8987	58
4	32667	94514	34563	8933	56
6	32722	94495	34628	8878	54
8	32777	94476	34693	8824	52
10	0. 32832	0. 94457	0. 34758	2. 8770	50
12	32887	94438	34824	8716	48
14	32942	94418	34889	8662	46
16	32997	94399	34954	8609	44
18	33051	94380	35020	8555	42
20	0. 33106	0. 94361	0. 35085	2. 8502	40
22	33161	94342	35150	8449	38
24	33216	94322	35216	8396	36
26	33271	94303	35281	8344	34
28	33326	94284	35346	8291	32
30	0. 33381	0. 94264	0. 35412	2. 8239	30
32	33436	94245	35477	8187	28
34	33490	94225	35543	8135	26
36	33545	94206	35608	8083	24
38	33600	94186	35674	8032	22
40	0. 33655	0. 94167	0. 35740	2. 7980	20
42	33710	94147	35805	7929	18
44	33764	94127	35871	7878	16
46	33819	94108	35937	7827	14
48	33874	94088	36002	7776	12
50	0. 33929	0. 94068	0. 36068	2. 7725	10
52	33983	94049	36134	7675	8
54	34038	94029	36199	7625	6
56	34093	94009	36265	7575	4
58	34147	93989	36331	7525	2
60	0. 34202	0. 93969	0. 36397	2. 7475	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

20° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 34202	0. 93969	0. 36397	2. 7475	60
2	34257	93949	36463	7425	58
4	34311	93929	36529	7376	56
6	34366	93909	36595	7326	54
8	34421	93889	36661	7277	52
10	0. 34475	0. 93869	0. 36727	2. 7228	50
12	34530	93849	36793	7179	48
14	34584	93829	36859	7130	46
16	34639	93809	36925	7082	44
18	34694	93789	36991	7034	42
20	0. 34748	0. 93769	0. 37057	2. 6985	40
22	34803	93748	37123	6937	38
24	34857	93728	37190	6889	36
26	34912	93708	37256	6841	34
28	34966	93688	38322	6794	32
30	0. 35021	0. 93667	0. 37388	2. 6746	30
32	35075	93647	37455	6699	28
34	35130	93626	37521	6652	26
36	35184	93606	37588	6605	24
38	35239	93585	37654	6558	22
40	0. 35293	0. 93565	0. 37720	2. 6511	20
42	35347	93544	37787	6464	18
44	35402	93524	37853	6418	16
46	35456	93503	37920	6371	14
48	35511	93483	37986	6325	12
50	0. 35565	0. 93462	0. 38053	2. 6279	10
52	35619	93441	38120	6233	8
54	35674	93420	38186	6187	6
56	35728	93400	38253	6142	4
58	35782	93379	38320	6096	2
60	0. 35837	0. 93358	0. 38386	2. 6051	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

21° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.35837	0.93358	0.38386	2.6051	60
2	35891	93337	38453	6006	58
4	35945	93316	38520	5961	56
6	36000	93295	38587	5916	54
8	36054	93274	38654	5871	52
10	0.36108	0.93253	0.38721	2.5826	50
12	36162	93232	38787	5782	48
14	36217	93211	38854	5737	46
16	36271	93190	38921	5693	44
18	36325	93169	38988	5649	42
20	0.36379	0.93148	0.39055	2.5605	40
22	36434	93127	39122	5561	38
24	36488	93106	39190	5517	36
26	36542	93084	39257	5473	34
28	36596	93063	39324	5430	32
30	0.36650	0.93042	0.39391	2.5386	30
32	36704	93020	39458	5343	28
34	36758	92999	39526	5300	26
36	36812	92978	39593	5257	24
38	36867	92956	39660	5214	22
40	0.36921	0.92935	0.39727	2.5172	20
42	36975	92913	39795	5129	18
44	37029	92892	39862	5086	16
46	37083	92870	39930	5044	14
48	37137	92849	39997	5002	12
50	0.37191	0.92827	0.40065	2.4960	10
52	37245	92805	40132	4918	8
54	37299	92784	40200	4876	6
56	37353	92762	40267	4834	4
58	37407	92740	40335	4792	2
60	0.37461	0.92718	0.40403	2.4751	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

22°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.37461	0.92718	0.40403	2.4751	60
2	37515	92697	40470	4709	58
4	37569	92675	40538	4668	56
6	37622	92653	40606	4627	54
8	37676	92631	40674	4586	52
10	0.37730	0.92609	0.40741	2.4545	50
12	37784	92587	40809	4504	48
14	37838	92565	40877	4464	46
16	37892	92543	40945	4423	44
18	37946	92521	41013	4383	42
20	0.37999	0.92499	0.41081	2.4342	40
22	38053	92477	41149	4302	38
24	38107	92455	41217	4262	36
26	38161	92432	41285	4222	34
28	38215	92410	41353	4182	32
30	0.38268	0.92388	0.41421	2.4142	30
32	38322	92366	41490	4102	28
34	38376	92343	41558	4063	26
36	38430	92321	41626	4023	24
38	38483	92299	41694	3984	22
40	0.38537	0.92276	0.41763	2.3945	20
42	38591	92254	41831	3906	18
44	38644	92231	41899	3867	16
46	38698	92209	41968	3828	14
48	38752	92186	42036	3789	12
50	0.38805	0.92164	0.42105	2.3750	10
52	38859	92141	42173	3712	8
54	38912	92119	42242	3673	6
56	38966	92096	42310	3635	4
58	39020	92073	42379	3597	2
60	0.39073	0.92050	0.42447	2.3559	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

67°

23° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.39073	0.92050	0.42447	2.3559	60
2	39127	92028	42516	3520	58
4	39180	92005	42585	3483	56
6	39234	91982	42654	3445	54
8	39287	91959	42722	3407	52
10	0.39341	0.91936	0.42791	2.3369	50
12	39394	91914	42860	3332	48
14	39448	91891	42929	3294	46
16	39501	91868	42998	3257	44
18	39555	91845	43067	3220	42
20	0.39608	0.91822	0.43136	2.3183	40
22	39661	91799	43205	3146	38
24	39715	91775	43274	3109	36
26	39768	91752	43343	3072	34
28	39822	91729	43412	3035	32
30	0.39875	0.91706	0.43481	2.2998	30
32	39928	91683	43550	2962	28
34	39982	91660	43620	2925	26
36	40035	91636	43689	2889	24
38	40088	91613	43758	2853	22
40	0.40141	0.91590	0.43828	2.2817	20
42	40195	91566	43897	2781	18
44	40248	91543	43966	2745	16
46	40301	91519	44036	2709	14
48	40355	91496	44105	2673	12
50	0.40408	0.91472	0.44175	2.2637	10
52	40461	91449	44244	2602	8
54	40514	91425	44314	2566	6
56	40567	91402	44384	2531	4
58	40621	91378	44453	2496	2
60	0.40674	0.91355	0.44523	2.2460	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

24°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 40674	0. 91355	0. 44523	2. 2460	60
2	40727	91331	44593	2425	58
4	40780	91307	44662	2390	56
6	40833	91283	44732	2355	54
8	40886	91260	44802	2320	52
10	0. 40939	0. 91236	0. 44872	2. 2286	50
12	40992	91212	44942	2251	48
14	41045	91188	45012	2216	46
16	41098	91164	45082	2182	44
18	41151	91140	45152	2148	42
20	0. 41204	0. 91116	0. 45222	2. 2113	40
22	41257	91092	45292	2079	38
24	41310	91068	45363	2045	36
26	41363	91044	45432	2011	34
28	41416	91020	45502	1977	32
30	0. 41469	0. 90996	0. 45573	2. 1943	30
32	41522	90972	45643	1909	28
34	41575	90948	45713	1876	26
36	41628	90924	45784	1842	24
38	41681	90899	45854	1808	22
40	0. 41734	0. 90875	0. 45924	2. 1775	20
42	41787	90851	45995	1742	18
44	41840	90826	46065	1708	16
46	41892	90802	46136	1675	14
48	41945	90778	46206	1642	12
50	0. 41988	0. 90753	0. 46277	2. 1609	10
52	42051	90729	46348	1576	8
54	42104	90704	46418	1543	6
56	42156	90680	46489	1510	4
58	42209	90655	46560	1478	2
60	0. 42262	0. 90631	0. 46631	2. 1445	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

65°

25° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.42262	0.90631	0.46631	2.1445	60
2	42315	90606	46702	1413	58
4	42367	90582	46772	1380	56
6	42420	90557	46843	1348	54
8	42473	90532	46914	1315	52
10	0.42525	0.90507	0.46985	2.1283	50
12	42578	90483	47056	1251	48
14	42631	90458	47128	1219	46
16	42683	90433	47199	1187	44
18	42736	90408	47270	1155	42
20	0.42788	0.90383	0.47341	2.1123	40
22	42841	90358	47412	1092	38
24	42894	90334	47483	1060	36
26	42946	90309	47555	1028	34
28	42999	90284	47626	0997	32
30	0.43051	0.90259	0.47698	2.0965	30
32	43104	90233	47769	0934	28
34	43156	90208	47840	0903	26
36	43209	90183	47912	0872	24
38	43261	90158	47984	0840	22
40	0.43313	0.90133	0.48055	2.0809	20
42	43366	90108	48127	0778	18
44	43418	90082	48198	0748	16
46	43471	90057	48270	0717	14
48	43523	90032	48342	0686	12
50	0.43575	0.90007	0.48414	2.0655	10
52	43628	89981	48486	0625	8
54	43680	89956	48557	0594	6
56	43733	89930	48629	0564	4
58	43785	89905	48701	0533	2
60	0.43837	0.89879	0.48773	2.0503	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

26°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.43837	0.89879	0.48773	2.0503	60
2	43889	89854	48845	0473	58
4	43942	89828	48917	0443	56
6	43994	89803	48989	0413	54
8	44046	89777	49062	0383	52
10	0.44098	0.89752	0.49134	2.0353	50
12	44150	89726	49206	0323	48
14	44203	89700	49278	0293	46
16	44255	89674	49351	0263	44
18	44307	89649	49423	0233	42
20	0.44359	0.89623	0.49495	2.0204	40
22	44411	89597	49568	0174	38
24	44464	89571	49640	0145	36
26	44516	89545	49713	0115	34
28	44568	89519	49786	0086	32
30	0.44620	0.89493	0.49858	2.0057	30
32	44672	89467	49931	0028	28
34	44724	89441	50004	1.9999	26
36	44776	89415	50076	9970	24
38	44828	89389	50149	9941	22
40	0.44880	0.89363	0.50222	1.9912	20
42	44932	89337	50295	9883	18
44	44984	89311	50368	9854	16
46	45036	89285	50441	9825	14
48	45088	89259	50514	9797	12
50	0.45140	0.89232	0.50587	1.9768	10
52	45192	89206	50660	9740	8
54	45243	89180	50733	9711	6
56	45295	89153	50806	9683	4
58	45347	89127	50879	9654	2
60	0.45399	0.89101	0.50953	1.9626	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

63°

27° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.45399	0.89101	0.50953	1.9626	60
2	45451	89074	51026	9598	58
4	45503	89048	51099	9570	56
6	45554	89021	51173	9542	54
8	45606	88995	51246	9514	52
10	0.45658	0.88968	0.51319	1.9486	50
12	45710	88942	51393	9458	48
14	45762	88915	51467	9430	46
16	45813	88888	51540	9402	44
18	45865	88862	51614	9375	42
20	0.45917	0.88835	0.51688	1.9347	40
22	45968	88808	51761	9319	38
24	46020	88782	51835	9292	36
26	46072	88755	51909	9265	34
28	46123	88728	51983	9237	32
30	0.46175	0.88701	0.52057	1.9210	30
32	46226	88674	52131	9183	28
34	46278	88647	52205	9155	26
36	46330	88620	52279	9128	24
38	46381	0.88593	52353	9101	22
40	0.46433	88566	0.52427	1.9074	20
42	46484	88539	52501	9047	18
44	46536	88512	52575	9020	16
46	46587	88485	52650	8993	14
48	46639	88458	52724	8967	12
50	0.46690	0.88431	0.52798	1.8940	10
52	46742	88404	52873	8913	8
54	46793	88377	52947	8887	6
56	46844	88349	53022	8860	4
58	46896	88322	53096	8834	2
60	0.46947	0.88295	0.53171	1.8807	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

28° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.46947	0.88295	0.53171	1.8807	60
2	46999	88267	53246	8781	58
4	47050	88240	53320	8755	56
6	47101	88213	53395	8728	54
8	47153	88185	53470	8702	52
10	0.47204	0.88158	0.53545	1.8676	50
12	47255	88130	53620	8650	48
14	47306	88103	53694	8624	46
16	47358	88075	53769	8598	44
18	47409	88048	53844	8572	42
20	0.47460	0.88020	0.53920	1.8546	40
22	47511	87993	53995	8520	38
24	47562	87965	54070	8495	36
26	47614	87937	54145	8469	34
28	47665	87909	54220	8443	32
30	0.47716	0.87882	0.54296	1.8418	30
32	47767	87854	54371	8392	28
34	47818	87826	54446	8367	26
36	47869	87798	54522	8341	24
38	47920	87770	54597	8316	22
40	0.47971	0.87743	0.54673	1.8291	20
42	48022	87715	54748	8265	18
44	48073	87687	54824	8240	16
46	48124	87659	54900	8215	14
48	48175	87631	54975	8190	12
50	0.48226	0.87603	0.55051	1.8165	10
52	48277	87575	55127	8140	8
54	48328	87546	55203	8115	6
56	48379	87518	55279	8090	4
58	48430	87490	55355	8065	2
60	0.48481	0.87462	0.55431	1.8040	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

29° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.48481	0.87462	0.55431	1.8040	60
2	48532	87434	55507	8016	58
4	48583	87406	55583	7991	56
6	68634	87377	55659	7966	54
8	48684	87349	55736	7942	52
10	0.48735	0.87321	0.55812	1.7917	50
12	48786	87292	55888	7893	48
14	48837	87264	55964	7868	46
16	48888	87235	56041	7844	44
18	48938	87207	56117	7820	42
20	0.48989	0.87178	0.56194	1.7796	40
22	49040	87150	56270	7771	38
24	49090	87121	56347	7747	36
26	49141	87093	56424	7723	34
28	49192	87064	56501	7699	32
30	0.49242	0.87036	0.56577	1.7675	30
32	49293	87007	56654	7651	28
34	49344	86978	56731	7627	26
36	49394	86949	56808	7603	24
38	49445	86921	56885	7579	22
40	0.49495	0.86892	0.56962	1.7556	20
42	49546	86863	57039	7532	18
44	49596	86834	57116	7508	16
46	49647	86805	57193	7485	14
48	49697	86777	57271	7461	12
50	0.49748	0.86748	0.57348	1.7437	10
52	49798	86719	57425	7414	8
54	49849	86690	57503	7391	6
56	49899	86661	57580	7367	4
58	49950	86632	57657	7344	2
60	0.50000	0.86603	0.57735	1.7321	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

30° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.50000	0.86603	0.57735	1.7321	60
2	50050	86573	57813	7297	58
4	50101	86544	57890	7274	56
6	50151	86515	57968	7251	54
8	50201	86486	58046	7228	52
10	0.50252	0.86457	0.58124	1.7205	50
12	50302	86427	58201	7182	48
14	50352	86398	58279	7159	46
16	50403	86369	58357	7136	44
18	50453	86340	58435	7113	42
20	0.50503	0.86310	0.58513	1.7090	40
22	50553	86281	58591	7067	38
24	50603	86251	58670	7045	36
26	50654	86222	58748	7022	34
28	50704	86192	58826	6999	32
30	0.50754	0.86163	0.58905	1.6977	30
32	50804	86133	58983	6954	28
34	50854	86104	59061	6932	26
36	50904	86074	59140	6909	24
38	50954	86045	59218	6887	22
40	0.51004	0.86015	0.59297	1.6864	20
42	51054	85985	59376	6842	18
44	51104	85956	59454	6820	16
46	51154	85926	59533	6797	14
48	51204	85896	59612	6775	12
50	0.51254	0.85866	0.59691	1.6753	10
52	51304	85836	59770	6731	8
54	51354	85806	59849	6709	6
56	51404	85777	59928	6687	4
58	51454	85747	60007	6665	2
60	0.51504	0.85717	0.60086	1.6643	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

31° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 51504	0. 85717	0. 60086	1. 6643	60
2	51554	85687	60165	6621	58
4	51604	85657	60245	6599	56
6	51653	85627	60324	6577	54
8	51703	85597	60403	6555	52
10	0. 51753	0. 85567	0. 60483	1. 6534	50
12	51803	85536	60562	6512	48
14	51852	85506	60642	6490	46
16	51902	85476	60721	6469	44
18	51952	85446	60801	6447	42
20	0. 52002	0. 85416	0. 60881	1. 6426	40
22	52051	85385	60960	6404	38
24	52101	85355	61040	6383	36
26	52151	85325	61120	6361	34
28	52200	85294	61200	6340	32
30	0. 52250	0. 85264	0. 61280	1. 6318	30
32	52299	85234	61360	6297	28
34	52349	85203	61440	6276	26
36	52399	85173	61520	6255	24
38	52448	85142	61601	6234	22
40	0. 52498	0. 85112	0. 61681	1. 6212	20
42	52547	85081	61761	6191	18
44	52597	85051	61842	6170	16
46	52646	85020	61922	6149	14
48	52696	84989	62003	6128	12
50	0. 52745	0. 84959	0. 62083	1. 6107	10
52	52794	84928	62164	6087	8
54	52844	84897	62245	6066	6
56	52893	84866	62325	6045	4
58	52943	84836	62406	6024	2
60	0. 52992	0. 84805	0. 62487	1. 6003	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

32°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 52992	0. 84805	0. 62487	1. 6003	60
2	53041	84774	62568	5983	58
4	53091	84743	62649	5962	56
6	53140	84712	62730	5941	54
8	53189	84681	62811	5921	52
10	0. 53238	0. 84650	0. 62892	1. 5900	50
12	53288	84619	62973	5880	48
14	53337	84588	63055	5859	46
16	53386	84557	63136	5839	44
18	53435	84526	63217	5818	42
20	0. 53484	0. 84495	0. 63299	1. 5798	40
22	53534	84464	63380	5778	38
24	53583	84433	63462	5757	36
26	53632	84402	63544	5737	34
28	53681	84370	63625	5717	32
30	0. 53730	0. 84339	0. 63707	1. 5697	30
32	53779	84308	63789	5677	28
34	53828	84277	63871	5657	26
36	53877	84245	63953	5637	24
38	53926	84214	64035	5617	22
40	0. 53975	0. 84182	0. 64117	1. 5597	20
42	54024	84151	64199	5577	18
44	54073	84120	64281	5557	16
46	54122	84088	64363	5537	14
48	54171	84057	64446	5517	12
50	0. 54220	0. 84025	0. 64528	1. 5497	10
52	54269	83994	64610	5477	8
54	54317	83962	64693	5458	6
56	54366	83930	64775	5438	4
58	54415	83899	64858	5418	2
60	0. 54464	0. 83867	0. 64941	1. 5399	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

57°

33° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.54464	0.83867	0.64941	1.5399	60
2	54513	83835	65024	5379	58
4	54561	83804	65106	5359	56
6	54610	83772	65189	5340	54
8	54659	83740	65272	5320	52
10	0.54708	0.83708	0.65355	1.5301	50
12	54756	83676	65438	5282	48
14	54805	83645	65521	5262	46
16	54854	83613	65604	5243	44
18	54902	83581	65688	5224	42
20	0.54951	0.83549	0.65771	1.5204	40
22	54999	83517	65854	5185	38
24	55048	83485	65938	5166	36
26	55097	83453	66021	5147	34
28	55145	83421	66105	5127	32
30	0.55194	0.83389	0.66189	1.5108	30
32	55242	83356	66272	5089	28
34	55291	83324	66356	5070	26
36	55339	83292	66440	5051	24
38	55388	83260	66524	5032	22
40	0.55436	0.83228	0.66608	1.5013	20
42	55484	83195	66692	4994	18
44	55533	83163	66776	4975	16
46	55581	83131	66860	4957	14
48	55630	83098	66944	4938	12
50	0.55678	0.83066	0.67028	1.4919	10
52	55726	83034	67113	4900	8
54	55775	83001	67197	4882	6
56	55823	82969	67282	4863	4
58	55871	82936	67366	4844	2
60	0.55919	0.82904	0.67451	1.4826	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

34°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.55919	0.82904	0.67451	1.4826	60
2	55968	82871	67536	4807	58
4	56016	82839	67620	4788	56
6	56064	82806	67705	4770	54
8	56112	82773	67790	4751	52
10	0.56160	0.82741	0.67875	1.4733	50
12	56208	82708	67960	4715	48
14	56256	82675	68045	4696	46
16	56305	82643	68130	4678	44
18	56353	82610	68215	4659	42
20	0.56401	0.82577	0.68301	1.4641	40
22	56449	82544	68386	4623	38
24	56497	82511	68471	4605	36
26	56545	82478	68557	4586	34
28	56593	82446	68642	4568	32
30	0.56641	0.82413	0.68728	1.4550	30
32	56689	82380	68814	4532	28
34	56736	82347	68900	4514	26
36	56784	82314	68985	4496	24
38	56832	82281	69071	4478	22
40	0.56880	0.82248	0.69157	1.4460	20
42	56928	82214	69243	4442	18
44	57976	82181	69329	4424	16
46	57024	82148	69416	4406	14
48	57071	82115	69502	4388	12
50	0.57119	0.82082	0.69588	1.4370	10
52	57167	82048	69675	4352	8
54	57215	82015	69761	4335	6
56	57262	81982	69847	4317	4
58	57310	81949	69934	4299	2
60	0.57358	0.81915	0.70021	1.4281	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

55°

35° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 57358	0. 81915	0. 70021	1. 4281	60
2	57405	81882	70107	4264	58
4	57453	81848	70194	4246	56
6	57501	81815	70281	4229	54
8	57548	81782	70368	4211	52
10	0. 57596	0. 81748	0. 70455	1. 4193	50
12	57643	81714	70542	4176	48
14	57691	81681	70629	4158	46
16	57738	81647	70717	4141	44
18	57786	81614	70804	4124	42
20	0. 57833	0. 81580	0. 70891	1. 4106	40
22	57881	81546	70979	4089	38
24	57928	81513	71066	4071	36
26	57976	81479	71154	4054	34
28	58023	81445	71242	4037	32
30	0. 58070	0. 81412	0. 71329	1. 4019	30
32	58118	81378	71414	4002	28
34	58165	81344	71505	3985	26
36	58212	81310	71593	3968	24
38	58260	81276	71681	3951	22
40	0. 58307	0. 81242	0. 71769	1. 3934	20
42	58354	81208	71857	3916	18
44	58401	81174	71946	3899	16
46	58449	81140	72034	3882	14
48	58496	81106	72122	3865	12
50	0. 58543	0. 81072	0. 72211	1. 3848	10
52	58590	81038	72299	3831	8
54	58637	81004	72388	3814	6
56	58684	80970	72477	3798	4
58	58731	80936	72565	3781	2
60	0. 58779	0. 80902	0. 72654	1. 3764	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

36° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 58779	0. 80902	0. 72654	1. 3764	60
2	58826	80867	72743	3747	58
4	58873	80833	72832	3730	56
6	58920	80799	72921	3713	54
8	58967	80765	73010	3697	52
10	0. 59014	0. 80730	0. 73100	1. 3680	50
12	59061	80696	73189	3663	48
14	59108	80662	73278	3647	46
16	59154	80627	73368	3630	44
18	59210	80593	73457	3613	42
20	0. 59248	0. 80558	0. 73547	1. 3597	40
22	59295	80524	73637	3580	38
24	59342	80489	73726	3564	36
26	59389	80455	73816	3547	34
28	59436	80420	73906	3531	32
30	0. 59482	0. 80386	0. 73996	1. 3514	30
32	59529	80351	74086	3498	28
34	59576	80316	74176	3481	26
36	59622	80282	74267	3465	24
38	59669	80247	74357	3449	22
40	0. 59716	0. 80212	0. 74447	1. 3432	20
42	59763	80178	74538	3416	18
44	59809	80143	74628	3400	16
46	59856	80108	74719	3384	14
48	59902	80073	74810	3367	12
50	0. 59949	0. 80038	0. 74900	1. 3351	10
52	59995	80003	74991	3335	8
54	60042	79968	75082	3319	6
56	60089	79934	75173	3303	4
58	60135	79899	75264	3287	2
60	0. 60182	0. 79864	0. 75355	1. 32270	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

37° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 60182	0. 79864	0. 75355	1. 3270	60
2	60228	79829	75447	3254	58
4	60274	79793	75538	3238	56
6	60321	79758	75629	3222	54
8	60367	79723	75721	3206	52
10	0. 60414	0. 79688	0. 75812	1. 3190	50
12	60460	79653	75904	3175	48
14	60506	79618	75996	3159	46
16	60553	79583	76088	3143	44
18	60599	79547	76180	3127	42
20	0. 60645	0. 79512	0. 76272	1. 3111	40
22	60691	79477	76364	3095	38
24	60738	79441	76456	3079	36
26	60784	79441	76548	3064	34
28	60830	79371	76640	3048	32
30	0. 60876	0. 79335	0. 76733	1. 3032	30
32	60933	79300	76825	3017	28
34	60968	79264	76918	3001	26
36	61015	79229	77010	2985	24
38	61061	79193	77103	2970	22
40	0. 61107	0. 79158	0. 77196	1. 2954	20
42	61153	79122	77289	2938	18
44	61199	79087	77382	2923	16
46	61245	79051	77475	2907	14
48	61291	79016	77568	2892	12
50	0. 61337	0. 78980	0. 77661	1. 2876	10
52	61383	78944	77754	2861	8
54	61429	78908	77848	2846	6
56	61474	78873	77941	2830	4
58	61520	78837	78035	2815	2
60	0. 61566	0. 78801	0. 78129	1. 2799	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

38°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 61566	0. 78801	0. 78128	1. 2799	60
2	61612	78765	78222	2784	58
4	61658	78729	78316	2769	56
6	61704	78694	78410	2753	54
8	61749	78658	78504	2738	52
10	0. 61795	0. 78622	0. 78598	1. 2723	50
12	61841	78586	78692	2708	48
14	61887	78550	78786	2693	46
16	61932	78514	78881	2677	44
18	61978	78478	78975	2662	42
20	0. 62024	0. 78442	0. 79070	1. 2647	40
22	62069	78405	79164	2632	38
24	62115	78369	79259	2617	36
26	62160	78333	79354	2602	34
28	62206	78297	79449	2587	32
30	0. 62251	0. 78261	0. 79544	1. 2572	30
32	62297	78225	79639	2557	28
34	62342	78188	79734	2542	26
36	62388	78152	79829	2527	24
38	62433	78116	79924	2512	22
40	0. 62479	0. 78079	0. 80020	1. 2497	20
42	62524	78043	80115	2482	18
44	62570	78007	80211	2467	16
46	62615	77970	80306	2452	14
48	62660	77934	80402	2437	12
50	0. 62706	0. 77897	0. 80498	1. 2423	10
52	62751	77861	80594	2408	8
54	62796	77824	80690	2393	6
56	62842	77788	80786	2378	4
58	62887	77751	80882	2364	2
60	0. 62932	0. 77715	0. 80978	1. 2349	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

51°

39° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 62932	0. 77715	0. 80978	0. 2349	60
2	62977	77678	81075	2334	58
4	63022	77641	81171	2320	56
6	63068	77605	81268	2305	54
8	63113	77568	81364	2290	52
10	0. 63158	0. 77531	0. 81461	1. 2276	50
12	63203	77494	81558	2261	48
14	63248	77458	81655	2247	46
16	63293	77421	81752	2232	44
18	63338	77384	81849	2218	42
20	0. 63383	0. 77347	0. 81946	1. 2203	40
22	63428	77310	82044	2189	38
24	63473	77273	82141	2174	36
26	63518	77236	82238	2160	34
28	63563	77199	82336	2145	32
30	0. 63608	0. 77162	0. 82434	1. 2131	30
32	63653	77125	82531	2117	28
34	63698	77088	82629	2102	26
36	63742	77051	82727	2088	24
38	63787	77014	82825	2074	22
40	0. 63832	0. 76977	0. 82923	1. 2059	20
42	63877	76940	83022	2045	18
44	63922	76903	83120	2031	16
46	63966	76866	83218	2017	14
48	64011	76828	83317	2002	12
50	0. 64056	0. 76791	0. 83415	1. 1988	10
52	64100	76754	83514	1974	8
54	64145	76717	83613	1960	6
56	64190	76679	83712	1946	4
58	64234	76642	83811	1932	2
60	0. 64279	0. 76604	0. 83910	1. 1918	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

40°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 64279	0. 76604	0. 83910	1. 1918	60
2	64323	76567	84009	1903	58
4	64368	76530	84108	1889	56
6	64412	76492	84208	1875	54
8	64457	76455	84307	1861	52
10	0. 64501	0. 76417	0. 84407	1. 1847	50
12	64546	76380	84507	1833	48
14	64590	76342	84606	1819	46
16	64635	76304	84706	1806	44
18	64679	76267	84806	1792	42
20	0. 64723	0. 76229	0. 84906	1. 1778	40
22	64768	76192	85006	1764	38
24	64812	76154	85107	1750	36
26	64856	76116	85207	1736	34
28	64901	76078	85308	1722	32
30	0. 64945	0. 76041	0. 85408	1. 1708	30
32	64989	76003	85509	1695	28
34	65033	75965	85609	1681	26
36	65077	75927	85710	1667	24
38	65122	75889	85811	1653	22
40	0. 65166	0. 75851	0. 85912	1. 1640	20
42	65210	75813	86014	1626	18
44	65254	75775	86115	1612	16
46	65298	75738	86216	1599	14
48	65342	75700	86318	1585	12
50	0. 65386	0. 75661	0. 86419	1. 1571	10
52	65430	75623	86521	1558	8
54	65474	75585	86623	1544	6
56	65518	75547	86725	1531	4
58	65562	75509	86827	1517	2
60	0. 65606	0. 75471	0. 86929	1. 1504	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

49°

41° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0. 65606	0. 75471	0. 86929	1. 1504	60
2	65650	75433	87031	1490	58
4	65694	75395	87133	1477	56
6	65738	75356	87236	1463	54
8	65781	75318	87338	1450	52
10	0. 65825	0. 75280	0. 87441	1. 1436	50
12	65869	75241	87543	1423	48
14	65913	75203	87646	1410	46
16	65956	75165	87749	1396	44
18	66000	75126	87852	1383	42
20	0. 66044	0. 75088	0. 87955	1. 1369	40
22	66088	75050	88059	1356	38
24	66131	75011	88162	1343	36
26	66175	74973	88265	1329	34
28	66218	74934	88369	1316	32
30	0. 66262	0. 74896	0. 88473	1. 1303	30
32	66306	74857	88576	1290	28
34	66349	74818	88680	1276	26
36	66383	74780	88784	1263	24
38	66436	74741	88888	1250	22
40	0. 66480	0. 74703	0. 88992	1. 1237	20
42	66523	74664	89097	1224	18
44	66566	74625	89201	1211	16
46	66610	74586	89306	1197	14
48	66653	74548	89410	1184	12
50	0. 66697	0. 74509	0. 89515	1. 1171	10
52	66740	74470	89620	1158	8
54	66783	74431	89725	1145	6
56	66827	74392	89830	1132	4
58	66870	74353	89935	1119	2
60	0. 66913	0. 74314	0. 90040	1. 1106	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

42°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.66913	0.74314	0.90040	1.1106	60
2	66956	74276	90146	1093	58
4	66999	74237	90251	1080	56
6	67043	74198	90357	1067	54
8	67086	74159	90463	1054	52
10	0.67129	0.74120	0.90569	1.1041	50
12	67172	74080	90674	1028	48
14	67215	74041	90781	1016	46
16	67258	74002	90887	1003	44
18	67301	73963	90993	0990	42
20	0.67344	0.73924	0.91099	1.0977	40
22	67387	73885	91206	0964	38
24	67430	73846	91313	0951	36
26	67473	73806	91419	0939	34
28	68516	73767	91526	0926	32
30	0.67559	0.73728	0.91633	1.0913	30
32	67602	73688	91740	0900	28
34	67645	73649	91847	0888	26
36	67688	73610	91955	0875	24
38	67730	73570	92062	0862	22
40	0.67773	0.73531	0.92170	1.0850	20
42	67816	73491	92277	0837	18
44	67859	73452	92385	0824	16
46	67901	73413	92493	0812	14
48	67944	73373	92601	0799	12
50	0.67987	0.73333	0.92709	1.0786	10
52	68029	73294	92817	0774	8
54	68072	73254	92926	0761	6
56	68115	73215	93034	0749	4
58	68157	73175	93143	0736	2
60	0.68200	0.73135	0.93252	1.0724	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

47°

43° (续)					
分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.68200	0.73135	0.93252	1.0724	60
2	68242	73096	93360	0711	58
4	68285	73056	93469	0699	56
6	38327	73016	93578	0686	54
8	68370	72976	93688	0674	52
10	0.68412	0.72937	0.93797	1.0661	50
12	68455	72897	93906	0946	48
14	68497	72857	94016	0637	46
16	68539	72817	94125	0624	44
18	68582	72777	94235	0612	42
20	0.68624	0.72737	0.94345	1.0599	40
22	68666	72697	94455	0587	38
24	68709	72657	94565	0575	36
26	68751	72617	94676	0562	34
28	68793	72577	94786	0550	32
30	0.68835	0.72537	0.94896	1.0538	30
32	68878	72497	95007	0526	28
34	68920	72457	95118	0513	26
36	68962	72417	95229	0501	24
38	69004	72377	95340	0489	22
40	0.69046	0.72337	0.95451	1.0477	20
42	69088	72297	95562	0464	18
44	69130	72257	95673	0452	16
46	69172	72216	95785	0440	14
48	69214	72176	95897	0428	12
50	0.69256	0.72136	0.96008	1.0416	10
52	69298	72095	96120	0404	8
54	59340	72055	96232	0392	6
56	69382	72015	96344	0379	4
58	69424	71974	96457	0367	2
60	0.69466	0.71934	0.96569	1.0355	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

44°

(续)

分	正弦 sin	余弦 cos	正切 tan	余切 cot	
0'	0.69466	0.71934	0.96569	1.0355	60
2	69508	71894	96681	0343	58
4	69549	71853	96794	0331	56
6	69591	71813	96907	0319	54
8	69633	71772	97020	0307	52
10	0.69675	0.71732	0.97133	1.0295	50
12	69717	71691	97246	0283	48
14	69758	71650	97359	0271	46
16	69800	71610	97472	0259	44
18	69842	71569	97586	0247	42
20	0.69883	0.71529	0.97700	1.0235	40
22	69925	71488	97813	0224	38
24	69966	71447	97927	0212	36
26	70008	71407	98041	0200	34
28	70049	71366	98155	0188	32
30	0.70091	0.71325	0.98270	1.0176	30
32	70132	71284	98384	0164	28
34	70174	71243	98499	0152	26
36	70215	71203	98613	0141	24
38	70257	71162	98728	0129	22
40	0.70298	0.71121	0.98843	1.0117	20
42	70339	71080	98958	0105	18
44	70381	71039	99073	0094	16
46	70422	70998	99189	0082	14
48	70463	70957	99304	0070	12
50	0.70505	0.70916	0.99420	1.0058	10
52	70546	70875	99536	0047	8
54	70587	70834	99652	0035	6
56	70628	70793	99768	0023	4
58	70670	70752	99884	0012	2
60	0.70711	0.70711	1.00000	1.0000	0'
	余弦 cos	正弦 sin	余切 cot	正切 tan	分

45°