

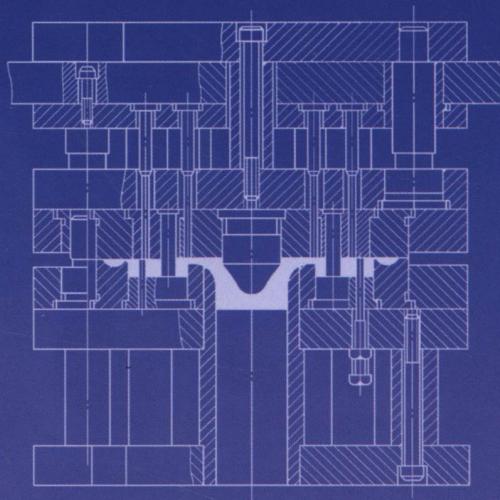


实用模具设计与制造丛书

SHIYONG YAZHUMU SHEJI YU ZHIZAO

实用压铸模 设计与制造

▲ 洪慎章 王国祥 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用模具设计与制造丛书

实用压铸模设计与制造

洪慎章 王国祥 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了压铸模具的设计与制造技术。全书内容包括：概论、压铸合金材料、压铸件设计、压铸成型工艺、压铸模设计、压铸模结构图例、压铸工艺 CAE、压铸模制造及检测、压铸模的装配及试模。本书以模具结构分析与制造技术为重点，结构体系新颖，技术内容全面；书中配有较多的应用实例，实用性强，能开拓思路，概念清晰，便于自学。

本书主要供从事压铸模具设计及制造的工程技术人员、工人使用，也可作为相关专业在校师生及研究人员的参考书和模具培训班的教材。

图书在版编目（CIP）数据

实用压铸模设计与制造/洪慎章，王国祥编著. —北京：
机械工业出版社，2011.7
(实用模具设计与制造丛书)
ISBN 978 - 7 - 111 - 34681 - 4

I. ①实… II. ①洪… ②王… III. ①压铸模－设计
②压铸模－制造 IV. ①TG241

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 089839 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：陈保华 责任编辑：白 刚

版式设计：霍永明 责任校对：吴美英

封面设计：赵颖喆 责任印制：杨 曜

北京京丰印刷厂印刷

2011 年 7 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm × 239mm · 19.75 印张 · 392 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 34681 - 4

定价：43.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

策划编辑：(010) 88379734

社服 务 中 心：(010)88361066

网络服务

销 售 一 部：(010)68326294

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部：(010)88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前　　言

随着 21 世纪科学技术的迅速发展，从事模具工程的技术人员迫切需要掌握多方面的技术，才能正确、合理及敏捷地完成整体的模具产品。制约模具行业发展的因素主要有三个方面：质量、成本和工期。为了提高质量，降低成本和缩短工期，提高模具设计和制造水平日显重要。为此特编写了本书，以期对我国模具行业人才培养和技术水平的提高有所裨益。

压铸成型作为一个重要的成型加工方法，是机械产品不可缺少的重要环节。在人类生活、国防等各个领域中，如在汽车、电站、冶金、机械设备、铁路、造船、航空航天、兵器、化工等，都具有广泛的应用；其生产的制件不仅具有强度高，精度高，形状复杂度高，生产率高的特点，而且节材、节能、降耗、成本低，适用于大批量生产，有很大的市场需求和广阔的发展前景。

全书共 9 章。内容包括概论、压铸合金材料、压铸件设计、压铸成型工艺、压铸模设计、压铸模结构图例、压铸工艺 CAE、压铸模制造及检测、压铸模的装配及试模。

本书是根据社会对模具人才的需要，结合现代科学技术发展的形势编写而成的。本书的特点如下：

(1) 内容力求全面 旨在使读者掌握模具设计与制造方法，了解国内外先进的工艺技术及较成熟的制造方法，为合理设计模具结构及正确选择模具制造方法打下必要的基础。

(2) 体系全面、系统，符合现代教育思想的要求 全书以模具设计与制造技术为主，着重介绍模具结构分析、模具零件的机械加工及特种加工。内容上循序渐进，由浅入深，依次介绍，力求条理清晰，便于讲授和自学。

(3) 重点突出，取材有简有详 对一般的结构设计与零件机械加工方法从简，对在模具制造中占主要地位的特种加工、数控加工技术、模具表面技术、快速制模技术等新工艺新技术从详。

(4) 图、表丰富 书中有大量的经验数据图表，资料完整，文、图、表紧密配合，可供生产中实际应用。

本书作为一本基本理论与生产实际相结合的压铸模设计与制造技术书籍，可供从事压铸成型加工的工种技术人员、工人使用，也可作为相关专业在校师生及研究人员的参考书和模具培训班的教材。

本书第 1~6 章、第 8、9 章及附录由上海交通大学洪慎章教授编写，第 7 章由

上海申模计算机系统集成有限公司副总经理王国祥高级工程师编写。在本书编写工作中，刘薇、洪永刚和丁惠珍等工程师参加了书稿的整理工作，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请读者不吝赐教，以便得以修正，以臻完善。

洪慎章

于上海交通大学

目 录

前言

第1章 概论	1
1.1 压铸实质及其工艺过程	1
1.2 压铸成型的分类	1
1.3 压铸模具的基本结构组成	2
1.4 压铸工艺的特点及应用范围	5
1.5 压铸生产在国民经济中的地位及发展方向	7
第2章 压铸合金材料	9
2.1 对压铸合金的基本要求	9
2.2 压铸合金的分类及主要性质	10
2.3 压铸合金的选择	12
2.4 压铸合金的熔炼	13
第3章 压铸件设计	17
3.1 压铸件的精度、表面粗糙度及加工余量	17
3.2 压铸件基本结构形状的设计	20
3.3 压铸件结构设计的工艺性	27
第4章 压铸成型工艺	34
4.1 压力	34
4.2 速度	37
4.3 温度	39
4.4 时间	45
4.5 压室充满度	47
4.6 胀型力和锁模力	48
4.7 压铸用涂料	49
第5章 压铸模设计	51
5.1 压铸模设计程序	51
5.2 压铸模设计的基本原则	56
5.3 压铸模的结构形式及分类	57
5.4 分型面设计	63
5.5 浇注系统设计	68
5.5.1 浇注系统的 basic structure	69
5.5.2 内浇口设计	70

5.5.3 横浇道设计	79
5.5.4 直浇道设计	89
5.6 成型零件设计	93
5.7 抽芯机构设计	104
5.8 结构零件设计	126
5.9 溢流与排气系统设计	146
5.10 模具温度控制系统设计	150
第6章 压铸模结构图例	156
第7章 压铸工艺 CAE	172
7.1 概述	172
7.2 压铸 CAE 的原理	173
7.3 压铸过程的模拟软件	175
7.4 压铸过程模拟软件的选用	177
7.5 压铸过程模拟软件的实例分析	178
第8章 压铸模制造及检测	191
8.1 概述	191
8.2 常规加工方法	196
8.2.1 锯削	196
8.2.2 刨削、插削、拉削	196
8.2.3 铣削	197
8.2.4 车削	200
8.2.5 钻、扩、铰、锪	207
8.2.6 镗削	209
8.2.7 磨削	211
8.2.8 珩磨	218
8.3 特种加工	219
8.3.1 电火花成形加工	219
8.3.2 电火花线切割加工	221
8.3.3 电解成形加工	222
8.3.4 电解抛光	223
8.3.5 电解修磨与电解磨削	224
8.3.6 照相腐蚀	225
8.4 数控加工技术	226
8.4.1 数控加工技术概述	226
8.4.2 常用的数控加工方式	228
8.4.3 模具 CAM 技术	229
8.4.4 高速切削技术	229
8.5 模具表面技术	230

8.5.1 表面强化技术	231
8.5.2 表面纹饰加工	232
8.5.3 光整加工技术	233
8.6 用模具制造模具法	235
8.6.1 冷挤压	235
8.6.2 低压铸造	236
8.6.3 精密铸造	237
8.7 快速制模技术	239
8.7.1 快速成形技术的基本原理与特点	239
8.7.2 快速成形技术的典型方法	240
8.7.3 基于 RP 的快速制模技术	245
8.8 压铸模零件制造的检测	246
8.8.1 模具零件检测内容	247
8.8.2 常用检测量具与检测方法	247
8.9 模具零件制造技术的应用实例	255
8.9.1 模具成型零件加工	255
8.9.2 导向机构零件加工	258
8.9.3 侧抽芯机构零件加工	262
8.9.4 模板类零件加工	264
第9章 压铸模的装配及试模	268
9.1 压铸模的装配	268
9.1.1 装配技术要求及生产流程	268
9.1.2 压铸模总装技术要求	270
9.1.3 压铸模装配的主要内容和组装技巧	271
9.1.4 压铸模的装配实例	273
9.2 压铸模的试模与调整	282
9.2.1 调整内容	282
9.2.2 试模过程	282
9.2.3 调整方法	285
附录	288
附录 A 压铸件的公差	288
附录 B 压铸合金材料	292
附录 C 国产压铸机的主要技术参数	295
附录 D 压铸模主要零件材料的选用及热处理要求	296
附录 E 压铸模技术条件	297
附录 F 压铸模零件加工要求	299
附录 G 模具加工方法及加工方案的选择	301
参考文献	306

第1章 概 论

1.1 压铸实质及其工艺过程

压铸是压力铸造的简称，其实质是在高压作用下，使液态或半液态金属以较高的速度充填压铸模型腔，并在压力下成型和凝固而获得铸件的方法。

高压力和高速度是压铸时熔融合金充填成型过程的两大特点，也是压铸与其他铸造方法最根本的区别所在。压铸时，常用的压射比压在几兆帕至几十兆帕范围内，甚至高达500MPa。充填速度在0.5~120m/s范围内；充填时间很短（与铸件的大小、壁厚有关），一般为0.01~0.03s，最短仅有千分之几秒。此外，压铸模应具有很高的尺寸精度和很小的表面粗糙度值。由于具有以上所述特点，使得压铸件的结构、质量和有关性能、压铸工艺以及生产过程都具有自己的特征。

合金材料、压铸机及压铸模是压铸生产工艺过程的三个基本要素。以普通压铸为例，其生产工艺过程图如图1-1所示。

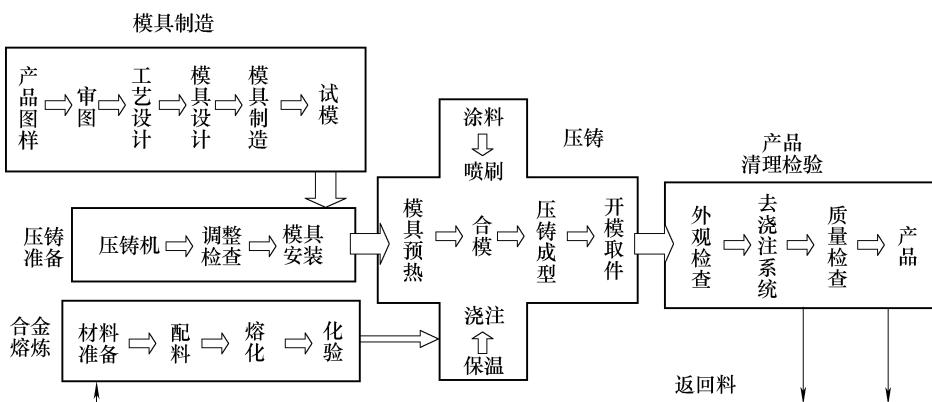


图1-1 压铸生产工艺过程图

1.2 压铸成型的分类

压铸的分类方法较多，常见的压铸分类方法见表1-1。

表 1-1 常见的压铸分类方法

压铸的分类方法			说 明
按压铸材料分	单金属压铸		目前主要是非铁合金压铸
	合金压铸	铁合金压铸	
		非铁合金压铸	
		复合材料压铸	
按压铸机分	热室压铸		压室浸在保温坩埚内
	冷室压铸		压室与保温炉分开
按合金状态分	全液态压铸		常规压铸
	半固态压铸		一种压铸新技术

除按压铸材料的不同将压铸分为单金属压铸、合金压铸外，通常是按压铸机种类，分为热室压铸和冷室压铸。

1) 热室压铸。热室压铸的压室浸在保温坩埚的液态金属中，压射部件装在坩埚上面。热室压铸具有效率高、合金消耗少、金属液较干净、工艺稳定、易于实现自动化等优点。但由于压室、压射头长期浸在金属液中，使用寿命较短，因而适用于各种低熔点合金，如锌合金、镁合金等。

2) 冷室压铸。冷室压铸的压室与保温炉是分开的，压铸时从保温炉中取出液态金属浇入压室后进行压铸。冷室压铸按压力传递方向不同又可分为立式和卧式两种。冷室压铸适用于压铸各种有色合金和黑色金属，其中立式和卧式压铸适用于有色合金压铸，黑色金属压铸则采用卧式压铸。

按压铸金属的形态分类，压铸可分为液态金属压铸与半固态金属压铸。

1) 液态金属压铸通常也称常规压铸，是以熔融金属液加入压室进行的压铸。目前绝大部分压铸采用的都是全液态金属压铸。

2) 半固态金属压铸是以流变性半固态金属或触变性半固态金属加入压室进行压铸。半固态金属压铸是近 20 年来压铸发展的重要标志之一。它是在一定冷却速度下获得 50% 甚至更高的固体成分的浆料进行的半固态金属压铸，对提高铸件质量，改善压铸机压射系统的工作条件都有一定的作用。

1.3 压铸模具的基本结构组成

压铸模具由模体和模架两大部分组成，模体又由定模和动模两部分构成，压铸模具结构的组成如图 1-2 所示。动模固定在压铸机的动模安装板上，并随之作开模、合模运动；定模固定在压铸机的定模安装板上，定模通过直浇道与压室或压铸机的喷嘴连接。动模与定模在合模时闭合浇注系统和型腔，金属液在高压下充满型腔；动模与定模在开模时分开，借助设在动模上的脱模机构顶出铸件。压铸模具基本结构如图 1-3 所示。压铸模具的模架包括模体、导柱导套和推出复位机构等，压铸模具的工作部分由浇注系统、排溢系统、抽芯系统、冷却系统和成型部分等组成。

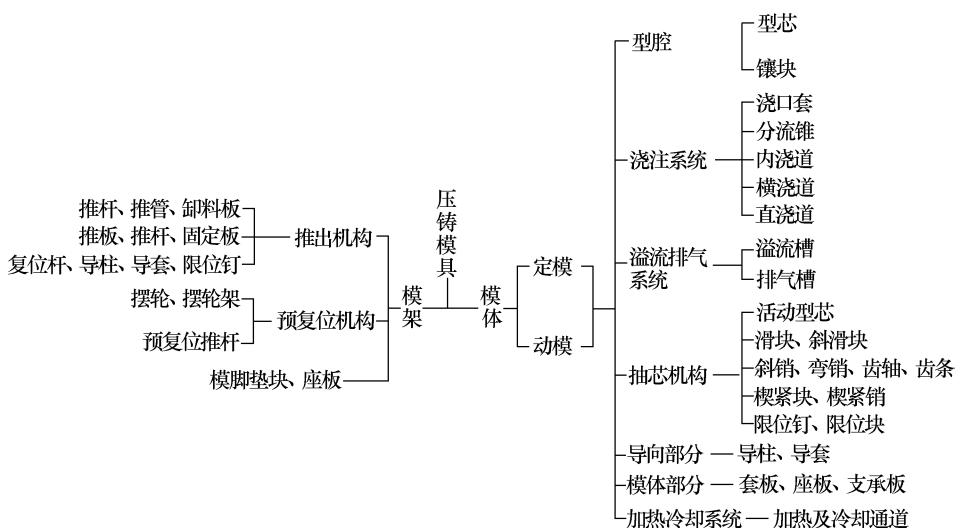


图 1-2 压铸模具的结构组成

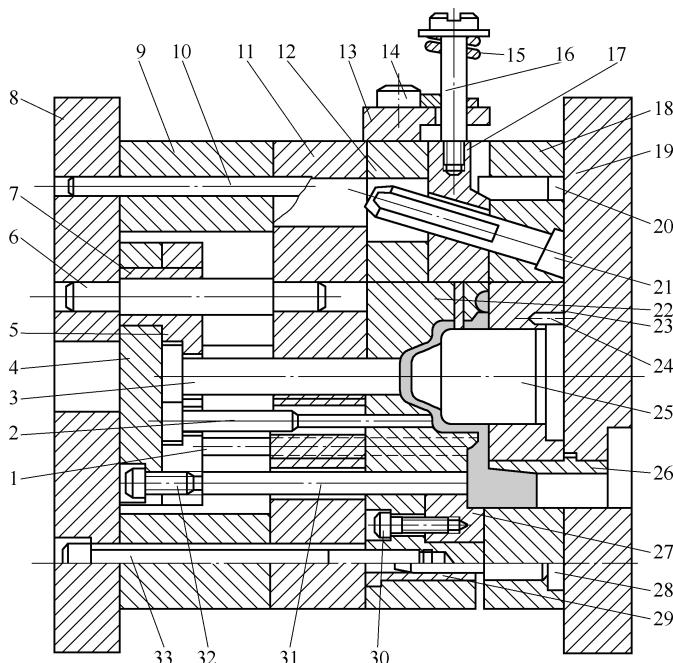


图 1-3 压铸模具的基本结构

- 1—复位杆 2、3—推杆 4—推板 5—推板固定板 6—推板导柱 7—推板导套 8—动模座板
 9—垫块 10—销钉 11—支承板 12—动模套板 13—挡块 14、30、32、33—螺钉 15—弹簧
 16—螺杆 17—成型滑块 18—定模套板 19—定模座板 20—楔紧块 21—斜销 22—动模镶块
 23—定模镶块 24—定位销 25—型芯 26—浇口套 27—浇道镶块 28—导柱 29—导套 31—镶块

1) 模体。模体是压铸模具的基本部分，包括动模套板12、定模套板18、支承板11、定位件和紧固件等。定模固定在压铸机定模安装板上，有直浇道与喷嘴或压室连接；动模固定在压铸机动模安装板上，并随动模安装板作开合模移动，合模时构成型腔与浇注系统，液体金属在高压下充满型腔并成型；开模时，动模与定模分开，借助于设在动模上的推出机构将铸件推出。

2) 导柱、导套。导柱28和导套29的作用是确定定模、动模的相对位置，保证运动导向精度。导柱和导套分别安装在动模套板、定模套板上。

3) 推出复位机构。推出复位机构包括推杆、推管、复位杆、推杆固定板、推板、推件板、垫块、限位钉、推板导柱、导套等。推出复位机构的作用是推出铸件，并借助模具的闭合动作使推出机构恢复到下一个压铸循环的工作位置。推杆固定板5是用于固定推出零件和复位零件，夹紧固定推板导套的板件。推板的作用是支承推出零件和复位零件，传递机床推出力。推件板、推杆、推管的作用是直接或间接推出铸件。垫块9的作用是用于调节模具闭合高度，并形成推出机构所需的空间位置。限位钉的作用则是支承和限定推出机构复位的位置。推出机构的导向由推板、导柱、导套共同完成。

4) 成型部分。成型部分由决定压铸件内外轮廓几何形状和尺寸精度的零件组成，包括镶块和型芯。镶块是组成模具型腔的主体零件，型腔形成铸件外表面，动、定模镶块分别固定在动、定模套板中，型芯是成型内表面的凸状零件。

5) 浇注系统。浇注系统是金属液从压铸机压室进入压铸模型腔的通道，直接影响了金属液进入模具型腔的速度、压力、排气和溢流等情况。浇注系统由浇口套、分流锥、导流块、直浇道、横浇道和内浇道等组成。直浇道是从模具浇注系统的入口到横浇道的一段通道；横浇道是从直浇道的末端到内浇道的一段通道；内浇道是金属液进入模具型腔的通道与入口；浇口套是形成直浇道的圆套零件；分流锥正对直浇道，其作用是分流金属液，使之能平稳改变流向；导流块的作用是使浇注系统中的金属液能平稳地改变流向。

6) 抽芯机构。铸件侧面有凸台或孔时，需要用侧向型芯成型，在铸件脱模之前，要用抽芯机构从铸件中抽拔出侧向型芯。斜销倾斜于分型面装配，使滑块在模具开合时在模具中产生相对运动，滑块沿导向结构滑动时带动型芯或镶块完成抽芯、复位动作，限位块限制了滑块抽芯后的最终位置，楔紧块的斜楔角在合模时楔紧滑块，弯销使滑块在模具开合时作抽芯、复位动作。

7) 排溢系统。排溢系统是为了排除型腔中的气体、涂料残渣、冷污金属液等而设计的排气槽和溢流槽。排气槽的凹槽一般设在分型面上，也可通过通孔的型芯头或推杆间隙等进行排气。溢流槽一般放在成型零件上，位于最新流入型腔的金属液的末端。

8) 冷却系统。为了适应压铸工艺的需要，平衡模具温度，防止型腔温度急剧

变化而影响铸件质量，模具上常需设置冷却系统，通常在模具上开设冷却水道，采用水冷却。

1.4 压铸工艺的特点及应用范围

1. 压铸成型的特点

由于压铸工艺是在极短时间内将压铸模填充完毕，且在高压、高速下成型，因此压铸法与其他成形方法相比有其自身的特点。

(1) 优点

1) 可以制造形状复杂、轮廓清晰、薄壁深腔的金属零件。因为熔融金属在高压高速下保持高的流动性，因而能够获得其他工艺方法难以加工的金属零件。

2) 压铸件的尺寸精度较高，可达 IT11 ~ IT13 级，有时可达 IT9 级，表面粗糙度达 $Ra0.8 \sim 3.2\mu\text{m}$ ，有时达 $Ra0.4\mu\text{m}$ ，互换性好。

3) 材料利用率高。由于压铸件的精度较高，只需经过少量机械加工即可装配使用，有的压铸件可直接装配使用。其材料利用率为 60% ~ 80%，毛坯利用率达 90%。

4) 可以将其他材料的嵌件直接嵌铸在压铸件上。这样既满足了使用要求，扩大产品用途，又减少了装配工序，使制造工艺简化。

5) 压铸件组织致密，具有较高的强度和硬度。因为液态金属是在压力下凝固的，又因充填时间很短，冷却时间极快，所以组织致密、晶粒细化，使铸件具有较高的强度和硬度，并具有良好的耐磨性和耐蚀性。

6) 可以实现自动化生产。因为压铸工艺大都为机械化和自动化操作，生产周期短，效率高，可适合大批量生产。一般冷压室压铸机平均每小时可压铸 80 ~ 100 次，而热压室压铸机平均每小时可压铸 400 ~ 1000 次。

(2) 缺点

1) 由于高速充填，快速冷却，型腔中气体来不及排出，致使压铸件常有气孔及氧化夹杂物存在，从而降低了压铸件质量。因高温时气孔内的气体膨胀会使压铸件表面鼓泡，因此，有气孔的压铸件不能进行热处理。

2) 压铸机和压铸模费用昂贵，不适合小批量生产。

3) 压铸件尺寸受到限制。因受到压铸机锁模力及装模尺寸的限制而不能压铸大型压铸件。

4) 压铸合金种类受到限制。由于压铸模具受到使用温度的限制，目前主要用压铸锌合金、铝合金、镁合金及铜合金。

2. 压铸的应用范围

压铸是近代金属加工工艺中发展较快的一种高效率、少无切削的金属成型精密

铸造方法。与其他铸造方法比较，由于压铸的生产工艺流程短、工序简单而集中，不需要繁多的设备和宽大的工作场地，铸件质量优、精度高、表面光洁程度好，可以省略大量的机械加工工序、设备和工时；金属的工艺出品率高，节省能源、节省原材料等优点，所以压铸是一种“好、快、省”高经济效益的铸造方法。这种工艺方法已广泛的应用在国民经济的各行各业中，如兵器、汽车与摩托车、航空航天产品的零部件，以及电器仪表、无线电通信、电视机、计算机、农业机具、医疗器械、洗衣机、电冰箱、钟表、照相机、建筑装饰、日用五金等各种产品的零部件的生产方面。目前生产的一些压铸零件最小的只有几克，最大的铝合金铸件重量达50kg，最大的直径可达2m。

压铸零件的形状有多种多样，大体上可以分为六类：

- 1) 圆盘类——号盘座等。
- 2) 圆盖类——表盖、机盖、底盘等。
- 3) 圆环类——接插件、轴承保持器、转向盘等。
- 4) 筒体类——凸缘外套、导管、壳体形状的罩壳、上盖、仪表盖、深腔仪表罩、照相机壳与盖、化油器等。
- 5) 多孔缸体、壳体类——气缸体、气缸盖及液压泵体等多腔的结构较为复杂的壳体（这类零件对力学性能和气密性均有较高的要求，材料一般为铝合金），例如汽车与摩托车的气缸体、气缸盖。

- 6) 特殊形状类——叶轮、喇叭、字体由筋条组成的装饰性压铸件等。

目前，压铸广泛地用于有色合金的压铸件。由于压铸工艺的特点，使用的合金要求结晶温度范围小、热裂倾向小以及收缩系数小的压铸铝、锌、镁及部分铜的合金。对于黑色金属的压铸，由于尚缺乏理想的耐高温模具材料，尚处于研究试验阶段。在有色合金的压铸中，铝合金占比例最高（为30%~60%），锌合金次之。在国外，锌合金铸件绝大部分为压铸件。铜合金比例仅占压铸件总量的1%~2%。镁合金铸件易产生裂纹，且工艺复杂，故慎用。铝、锌合金压铸的零件主要范例见表1-2。

表1-2 铝、锌合金压铸的零件范例

压铸的零件范例	
铝合金	锌合金
曲柄箱 引擎盖 变速器 离合器外壳 电动机外壳 托架 外盖 手把 电扇座 打字机机台 汽车轮毂 双筒望远镜本体 缝纫机机臂 机床之臂 音响零件 录音机零件 钓具 喇叭环 照相机本体 仪表外壳 仪器用台架 放映机 电梯踏阶 洗衣机	化油器本体 浮筒室盖 浮筒室本体 瓦斯器具 油泵本体 托架 汽车仪表 建筑用品 门把 农机具用零件 阀体 阀把 汽车用装饰品 喇叭环 汽车用后视镜座 灯体 汽车用门把 家用电器 打火机外壳 领带夹 装饰品 杯

综上所述，压铸零件的应用范围很广泛。压铸的確是很有发展前途的工艺方法之一。目前扩大应用范围，主要趋势是发展大型压铸件生产、承力零件压铸生产、压铸生产自动化、黑色合金压铸，以及研制熔点高、耐热疲劳、抗热裂倾向好的模具材料，延长压铸模具服役寿命等。上述诸方面，国内外均进行了大量的工作，并取得了一定的成果。压铸是高效益、高效率，很有发展前途的铸造方法，在改革开放，发展高科技应用于生产实际的形势下，压铸必将取得更迅速的发展，更进一步扩大其应用范围，在国民经济发展中必将发挥出越来越大的作用。

1.5 压铸生产在国民经济中的地位及发展方向

由于压铸成型技术有突出优点，在工业技术快速发展的年代，必将得到越来越广泛的应用。特别是在大批量的生产中，虽然模具成本高一些，但总的说来，其生产的综合成本会得到大幅度地降低。在这个讲求微利的竞争时代，采用金属压铸成型技术，更有其积极和明显的经济价值，所以压铸生产在国民经济中占有举足轻重的地位。

近年来，汽车工业的飞速发展给压铸成型的生产带来了机遇。出于可持续发展和环境保护的需要，汽车轻量化是实现环保、节能、节材、高速的最佳途径。因此，用压铸合金件代替传统的钢铁件，可使汽车质量减轻30%以上。同时，压铸合金件还有一个显著的特点是热传导性能良好，热量散失快，提高了汽车的行车安全性。因此，金属压铸行业正面临着发展的机遇，其应用前景十分广阔。

中国的压铸业经历了50多年的锤炼，已成长为具有相当规模的产业，并保持每年8%~12%的增长速度。但是由于企业综合素质还有待提高，技术开发滞后于生产规模的扩大，经营方式滞后于市场竞争的需要。从总体看，我国是压铸大国之一，但不是强国，压铸业的水平还比较落后。如果把中、日、德、美四国按综合系数相比，以中国为1，则日本为1.75，德国为1.75，美国则为2.4。可以看出，我国的压铸工业与国际上先进国家相比还有差距。而这些差距正为我国压铸业发展提供了广阔的空间。

压铸成型技术今后的发展方向如下：

1) 压铸成型机理的研究。利用计算机模拟技术展开金属在充填型腔的流动形态、金属在型腔中的凝固过程、型腔内金属液体的流动压力、模具的温度场分布、模具的温度梯度、模具的变形、压铸机拉杆系受力分析等方面的理论研究。

2) 研发新式压铸设备。压铸机械已朝自动化、智能化方向发展，并进行解决高温铝液腐蚀零部件问题及有柔性单元配备装置、智能化机械手、分立的自动浇料、取件、喷涂装置等新式压铸机的研发。

3) 开发压铸件新材料，进行金属基复合材料的压铸及压铸镁合金的开发研

究。

4) 研发压铸模新材料，不断研发提高压铸模寿命的压铸模新材料及压铸模表面处理新技术。

5) 开发新型检测设备，研发压铸产品的检测特别是内部缺陷的无损检测和评价新技术。

6) 发展压铸新技术，进一步研发真空压铸、充氧压铸、半固态压铸、挤压压铸等无气孔压铸新技术。

7) 在压铸生产中实施信息化工程技术，广泛应用 CAD/CAM/CAE 技术、虚拟设计制造技术和快速原型制造（RPM）等最新技术，开发压铸模具浇注系统设计等专业应用 CAD 软件系统，实现数字化、集成化和智能化的压铸模具设计制造。

第2章 压铸合金材料

2.1 对压铸合金的基本要求

金属压铸结构件，一般来说，应有较好的力学强度和稳定的尺寸精度。在压铸成型过程中，压铸合金在高温下流动成型，因此对压铸合金有如下要求：

1) 过热温度不高时，应具有较好的流动性能，以利于填充型腔，获得表面质量好的压铸件。

2) 热裂倾向小。压铸时，压铸合金在冷凝、固化和收缩的过程中，必然会产生应力而引起压铸件的热裂。压铸合金在固相线下要求有足够的强度，特别是在脱模温度下，热脆性要小，以防止热裂的现象发生，同时避免在推出过程中产生变形或碎裂。

3) 压铸合金结晶温度范围要小。结晶范围大的合金，在凝固过程中，产生细分叉的树枝状结晶，增加了流动阻力，对填充效果产生影响，而且会在较长时间内处于半液态状态，阻碍了内部凝固，容易形成缩孔、组织疏松等缺陷。

当结晶范围小时，可使金属液在型腔内冷却时各个部位凝固的时间接近一致。具有小的结晶间隔和含有大量共晶体的合金是理想的压铸合金。

4) 尽可能小的收缩率。金属液在模腔内的冷却固化过程中，会产生体积的收缩，影响压铸件的尺寸精度。在压铸件形状复杂及截面变化的情况下，在收缩过程中，往往使内应力增大，产生变形或碎裂，或出现缩孔和疏松等缺陷。收缩率越大，这些现象越严重。因此，要求压铸合金的收缩率尽量小。

5) 熔点较低。有利于延长压铸模的使用寿命。

6) 应具有稳定的物理-化学性能。压铸合金对型腔表面的腐蚀性要小，以减少粘模或熔蚀现象。

7) 在常温下应具有较好的力学性能和较好的耐蚀性，以满足压铸件的使用性能。

8) 在常温下应具有较好的机械加工性能，以便于再加工的需要。

目前，用于压铸合金的材料有铝、锌、镁、铜、锡、铅等有色金属。其中以铝合金和锌合金应用最广，镁合金和铜合金次之，锡和铅由于强度较低，应用很少。

由于纯铝的压铸性能较差，并容易氧化。它与钢铁有很强的亲和力，很容易粘

附模具，给压铸填充和压铸件的推出带来困难。所以，目前是以铝为基体，加入其他有利的元素，改变和提高压铸效果。

2.2 压铸合金的分类及主要性质

压铸用合金分为铸造钢铁材料合金和非铁金属合金两大类。

铸造钢铁材料合金又分为铸铁和铸钢两类。铸铁类如灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁等，铸钢类如碳钢、不锈钢和各种合金钢等，由于钢铁材料熔点高、易氧化和开裂，且模具寿命低，故钢铁材料合金铸件的压铸生产虽已试成，但在国内还不普遍，仅有少量应用。

铸造非铁金属合金又分为低熔点合金和高熔点合金。低熔点合金如铅合金、锡合金和锌合金等。高熔点合金如铝合金、镁合金和铜合金等。低熔点合金适于用压铸法制造复杂而精密的小铸件。由于铅和锡的强度很低，以及锡的价格昂贵而又不易取得，所以在机器制造中用得很少。非铁合金压铸件中应用比例最大的是铝合金，其次是锌合金、铜合金和镁合金，而且镁合金呈增长趋势。

1. 锌合金

锌合金的压铸性能很好，具有结晶温度范围小，不易产生疏松；充填成型容易；浇注温度较低，模具的使用寿命较长；不易粘附模具型壁；铸件精度较高；电磁屏蔽性能优越等特点。同时，力学性能也较高，特别是抗压和耐磨性能很好。此外，锌合金铸件能够很好地接受各种表面处理，尤其是电镀，故在压铸发展史中，锌合金压铸占有相当重要的地位。压铸锌合金虽经多年的发展并取得了显著成效，但仍倍受人们的关注，显示出巨大的应用和发展潜力，在电子、五金、玩具等行业具有广泛的应用市场。在一些无高温强度要求的情况下，锌合金压铸件是铜合金压铸件的有力竞争者。对锌合金压铸件通过氧化处理获得古铜色外观，是锌合金艺术品铸件的一大突破，可以和铜合金艺术品铸件媲美。

锌合金最严重的缺点是老化现象，这是锌合金的应用范围受到限制的主要原因。同时，锌合金的工作温度范围较窄，温度低于 -10℃ 时，其冲击韧度急剧降低；温度升高时，力学性能下降，且易发生蠕变。因此，受力零件的温度一般不超过 100℃。严格控制锌合金原材料的纯度和熔炼工艺过程，在锌合金中添加少量的 Mg 和适量的 Cu，可以减轻或消除老化现象及改善切削加工性能。

用压铸锌铝稀土合金制造减速机蜗轮是压铸锌合金的一个新的应用领域，用压铸锌基合金代替锡青铜制造减速机蜗轮不仅可以降低成本，而且可以提高使用性能。

用压铸锌基合金制造滚动轴承实体保持架是压铸锌合金的又一个新的应用领域，滚动轴承实体保持架的传统材料为铸造铅黄铜，先采用离心铸造工艺制成管状

毛坯，再用切削加工方法制成。压铸锌基合金保持架的成本不及黄铜的一半，且使用性能优于黄铜。

2. 铝合金

铝合金具有良好的压铸性能，导电性和导热性都很好。铝合金的密度较小，仅为铁、铜、锌的 $1/3$ 左右，比强度和比刚度高是其突出优点。铝合金的高温力学性能也很好，在低温下工作时，同样保持良好的力学性能（尤其是韧性），且铝合金熔铸工艺简单，成型及切削加工性能良好，有较高的力学性能及耐蚀性，是代替钢铁铸件的最具潜力的合金。

铝的表面有一层与铝结合得很牢的致密的氧化膜，故大部分铝合金在淡水、海水、浓硝酸、硝酸盐、汽油及各种有机物中均有良好的耐蚀性。但这层氧化膜能被氯离子及碱离子所破坏，因此铝在碱、碳酸盐、盐酸及卤化物中很快被腐蚀。氧化铝膜的化学稳定性及熔点都很高，故在高温工作时，仍有良好的抗腐蚀和抗氧化性能。

铝有较大的比热容和凝固潜热，大部分的铸铝合金均有较小的结晶温度范围，组织中亦常含有相当数量的共晶体，其线收缩较小，故具有良好的充填性能，较小的热裂倾向。但铸铝合金仍有相当大的体收缩值，易在最后凝固处生成大的集中缩孔。此外，铝合金和铁有很强的亲和力，易粘模，应在冷室压铸机上压铸。

3. 镁合金

在各种压铸用的合金中，镁合金的最大优势是密度最小，只相当于铸铁的 25%、铝合金的 64% 左右。镁合金的强度接近铝合金，其比强度明显高于铝合金和钢，比刚度则与铝合金和钢相当。与工程塑料相比，虽然工程塑料尤其是纤维增强塑料的比强度最高，但其弹性模量很小，比刚度远小于镁合金，且工程塑料难以回用。因此，承受弯曲载荷的结构件的轻量化，以采用镁合金压铸件更合适。

镁合金的熔点低，使得低温变形小，尺寸精度高，有利于一次开模成型；与铁的亲和力小，对模具的粘附现象小，有利于提高生产率和模具寿命；而且镁合金良好的流动性能有利于复杂件和细小件的生产；镁合金对声音和振动具有良好的消减性能，有利于提高汽车行驶的稳定性，被广泛应用于汽车工业。随着汽车工业的蓬勃发展，特别是轻载车辆的需求量迅速增加，为镁合金压铸生产提供了广阔的市场。

采用镁合金压铸件是汽车、摩托车等交通工具减轻本体重量、节省能耗、降低污染的主要措施，加上近年来适用于镁合金压铸的热室压铸机性能的日趋完善，镁合金熔铸采用气体保护（ SO_2 或 SF_6 及阻燃技术等）代替传统熔剂保护工艺，使镁合金压铸的一些诸如耐蚀性差、蠕变强度低、易氧化燃烧等难题逐一得到解决，为压铸镁合金的进一步发展创造了条件。镁合金压铸件的应用正在逐渐扩大，20 世

纪 80 年代以来，镁合金压铸件在计算机、通信、电子、电动工具、运动器具等领域的应用急剧增长。

镁合金熔液易氧化燃烧，铸造时热裂倾向比铝合金大，在熔化、浇注及压铸模温控制等方面都比铝合金压铸复杂。

镁合金可用冷室或热室压铸机压铸。一般情况下，小铸件采用热室压铸，以保证薄壁件的充满，而且还具有压铸压力低，压铸机体积小，循环时间短和压铸系统空气少等优点；大件则采用冷室压铸工艺。

4. 铜合金

压铸件因具有节约材料的特点，而铜又是一种价格昂贵的金属材料，因此铜合金压铸件的应用范围正在不断扩大，目前虽然熔点高、模具使用寿命短，但因为铜合金所具有的许多优越性能，所以铜合金在压铸生产中仍然十分普遍。

铜合金的力学性能高，其绝对值超过锌、铝和镁等合金。

铜合金在大气中及海水中都有良好的耐蚀性能，并且具有小的摩擦因数，耐磨性也很好，疲劳极限和导热性都很高，线胀系数也较小，故多用于制造耐磨、导热或受热时希望尺寸增大不多的零件。

铜合金的导电性能也很好，并且具有抗磁性能，常用来制造不允许受磁场干扰的仪器上的零件。

由于熔点较低，凝固范围不太宽，并且在低于凝固点的温度下具有足够高的强度，能经受住凝固过程中所遇到的应力，所以压铸用的铜合金主要是用锌质量分数为 35% 以上的黄铜。

压铸铜合金时，压铸温度接近或高于 1000℃，工作条件极为恶劣，压铸模使用寿命短。如何提高铜合金压铸模的使用寿命，是铜合金压铸件应用的关键问题。要提高铜合金压铸模的使用寿命，就必须大力开展和选用压铸模新钢种并采用新技术。

我国常用牌号的压铸铝合金、锌合金、铜合金和镁合金的化学成分及力学性能见 GB/T 15115—2009、GB/T 13818—2009、GB/T 15116—1994 和 JB/T 3070—1982。

2.3 压铸合金的选择

合理地选择压铸合金，是压铸件设计工作中重要的环节之一。不同种类的压铸合金，其性能各有差异。设计人员在选择压铸合金时，不仅要考虑所要求的使用性能，而且对压铸合金的工艺性能也要给予足够的重视，在满足使用性能的前提下，尽可能多考虑工艺性能优良的压铸合金。

压铸合金的性能包括使用性能和工艺性能两方面。其项目与内容见表 2-1。

表 2-1 压铸合金性能

性能类别	项目	内 容
使用性能	力学性能	抗拉强度、伸长率、硬度
	物理性能	密度、熔点、凝固点、线胀系数、比热容、热导率
	化学性能	耐蚀性
工艺性能	铸造工艺性能	
	切削加工性能	
	焊接性能	流动性、抗热裂性、模具粘附性
	热处理性能	

选择压铸合金应考虑的因素有：

- 1) 压铸件的受力状态，这是选择压铸合金的主要依据，但不是唯一的依据。
- 2) 压铸件工作环境状态。压铸件的工作环境状态有：
 - ①工作温度：高温和低温要求。
 - ②接触的介质：如潮湿大气、海水、酸碱等。
 - ③密闭性要求：气压、液压密闭性。
- 3) 压铸件在整机或部件中所处的工作条件。
- 4) 对压铸件的尺寸和重量所提出的要求。
- 5) 生产条件：熔化设备、压铸机、工艺装置及材料等。
- 6) 经济性。

2.4 压铸合金的熔炼

压铸合金的熔炼是压铸过程的重要环节。金属从固态变为液态，是一个复杂的物理、化学反应以及热交换过程。随着熔炼过程中合金产生金属和非金属的夹杂物、吸收气体以及合金中的组分与杂质含量有所变化，因而，在不同程度上影响到合金的工艺、物理、化学和力学性能。

压铸用的非铁金属合金大都具有熔点低，容易过热，在熔融状态下容易吸气和氧化等特点，因此熔炼工艺比较复杂。在压铸过程中，由于合金熔料中回炉料占一定的比例，合金在熔融状态下持续时间长、掏勺频繁等容易引起合金质量不良，所以要制定严格的确合理的熔炼工艺规程。严格按正确合理的工艺规程进行熔炼，是获得质量优良的压铸合金的重要保证。

1. 熔炉

压铸生产过程用的熔炉有熔化炉和保温炉。在小量生产和压铸机少的情况下，

常常是在保温炉内直接进行熔化，然后精炼使用。

压铸合金的熔炉以坩埚炉为主，根据热源的不同可分为燃料炉和电炉。

电炉既可用于熔炼，也可用于保温。

压铸生产中常用的坩埚材料有石墨和金属两种。在熔炼锌合金、铝合金和铜合金时，均可采用石墨坩埚。石墨坩埚不能用来熔炼镁合金，因为硅元素是所有镁合金都不宜存在的杂质。同样，对含镁量高的铝合金，也不能用石墨坩埚熔化。金属坩埚一般用于锌、铝、镁合金的熔炼。金属坩埚的材料多为铸铁、铸钢和钢板焊接等几种。材料为铸铁的坩埚，耐热性差，容易损坏，但价格低廉，制造容易，生产中广泛使用，熔化锌合金多用铸铁坩埚；熔化铝合金可用普通灰铸铁、耐热铸铁、铸钢或钢板焊接的坩埚；熔化镁合金可用铸钢或低碳钢板焊接的坩埚，但不能用含镍的钢坩埚。

除坩埚炉外，在压铸生产中，也采用一些其他形式的电炉，如高频或中频感应电炉、电弧炉。这些炉子多用于铜合金的熔炼。

2. 炉料

包括新金属合金料、中间合金和回炉料。炉料是根据合金的化学成分、质量要求、工艺特性以及经济效果来选择的。

3. 熔炼前的准备工作

包括熔炉、熔炼工具、熔剂及炉料等的准备工作。

4. 压铸合金的熔炼工艺特点

(1) 锌合金的熔炼工艺特点

1) 为了防止锌合金的“老化”，除了选用高纯度的新材料外，还应严格控制熔炼过程，防止有害杂物混入；对回炉料的成分及有害杂质应经化验分析，确定其含量后才能投入使用，混杂在回炉料中的铁及其他杂质要清除掉。

2) 锌的沸点低，易蒸发，易氧化。锌过热时，对组织和力学性能均有影响，故要严格控制熔炼温度，一般为440~480℃范围内，并且还应加有覆盖剂。

3) 先加入熔点较高的铝锭、铝铜中间合金，然后加入回炉料和锌，并撒上一层20mm厚的覆盖剂，最后用钟罩压入镁锭，除去覆盖层，用占料重0.25%~0.3%的精炼剂精炼，除渣后浇成铸锭或转保温炉待用。

(2) 铝合金的熔炼工艺特点

1) 当用金属锭及中间合金熔炼时，首先是装入金属锭，然后再装入中间合金。当用预制合金锭、回炉料熔化时，则首先是装入此类炉料，然后再装入为调整化学成分所需加入的金属锭或中间合金；对于一些易于损耗、熔点低的炉料，应该在熔炼末期加入，如镁和锌，它们是在其他炉料熔化完以后，于温度达到690~700℃时加入。

2) 炉料装入后，即开始了各种炉料的熔化过程，在这个过程中应尽量缩短熔

炼时间，并严格控制炉温，以防止合金液过热，因为熔炼时间越长，合金液过热度越高，合金液吸气和氧化将加剧。特别是采用坩埚炉熔炼或保温时更应注意。压铸用铝合金要在熔剂的保护下进行熔炼和保温，以防合金液吸气和产生氧化夹杂物。

3) 为了除去合金液中的气体和氧化夹杂物，铝合金熔炼过程中要进行精炼。目前广泛使用各种无公害的精炼剂。

(3) 镁合金的熔炼工艺特点

1) 熔炼工具与金属液接触时，其上粘有很多熔渣和氧化物，必须经常用熔剂进行清洗，为此要在熔炉旁边另设置一个熔剂熔化坩埚，将熔剂熔化并加热至760~800℃，以便熔炼工具在使用之前浸入其内洗涤干净，经过洗净的工具再预热到暗红色后才能使用。洗涤坩埚中的熔剂，在每一工作班中应清理1~2次，以除去其中的脏物，并根据熔剂的消耗量和洗涤能力的减弱，往洗涤坩埚中添加新的熔剂。洗涤剂应定期更换。

2) 将坩埚预热到400~450℃，撒上炉料重0.1%~0.5%的熔剂，随后加入预热的镁锭、铝镁中间合金和回炉料，迅速升温熔化，待全部炉料熔化后，于温度690~720℃加入锌锭，每次加料后应在金属液面暴露部分添加新的熔剂。

3) 为清除混入金属中的氧化夹杂物，提高金属的纯度，压铸镁合金要进行精炼。合金液温度至700~730℃时，用搅拌勺激烈地由上而下搅拌合金液5~8min，直至合金液呈现镜面光泽时为止。在搅拌过程中，应向合金液面均匀地不断地撒上熔剂，其消耗量为炉料总重量的0.8%~1%。除去合金液面的熔渣及熔剂，并撒上一层新熔剂，然后升温至780℃，在此温度下使金属液静置不少于15min。镁合金在整个熔炼和保温过程中，如发现在液面上有燃烧时，应立即撒以熔剂。撒上新熔剂后应停留2~3min才能压铸，否则容易将熔剂夹杂带入压铸件中。

(4) 铜合金的熔炼工艺特点

1) 压铸铜合金主要是黄铜，其熔炼温度一般为1100~1150℃。黄铜中含有较多的锌，在熔炼温度下，锌的蒸气压较大，故其含气量较小，锌对铜液有脱氧作用，故铅黄铜一般不需要加入脱氧剂进行脱氧；但硅黄铜仍需要加入脱氧剂进行脱氧。

2) 硅黄铜熔炼加料顺序是先加入铜硅中间合金，然后才加入铜和锌。熔炼过程中硅黄铜表面上有一层致密的氧化膜，可显著减少锌的蒸发。因此不一定要采用覆盖剂，而熔炼铅黄铜仍需要加入覆盖剂。

5. 压铸合金熔炼时的安全技术

在压铸合金熔炼过程中，当炉料和工具含有水分时，就会发生金属飞溅现象，甚至会出现烫伤事件，产生的有害气体会影响操作人员的身体健康。镁合金还有容易发生燃烧或爆炸的危险。因此，应严格按工艺规程和安全守则进行操作，并应遵守工业卫生的各种规定。

6. 压铸合金的质量检验

合金的质量对铸件质量有着决定性的影响。由于合金质量低劣而引起的废品是难以补救的，往往造成成批铸件的报废。所以，合金熔炼过程中的正确操作和严格控制，是获得高质量合金的重要前提。

合金质量的优劣，可以从化学成分、力学性能、物理性能及化学性能等方面来鉴定。在熔炼过程中，还可以应用一定的工艺方法进行检验，如断口检验和含气量检验等。

(1) 化学成分的检验 合金的化学成分对各方面的性能有着密切的联系和较大的影响。所以，在压铸生产中，对压铸合金进行化学成分的检验是必须做的最基本的检验项目。压铸合金的化学成分应符合国家标准的规定。化学成分的检验方法常用化学分析法或光谱分析法。化学成分检验的内容，应包括合金中的主要成分和有害杂质的含量。有时，根据生产现场的需要，对合金中含量可能改变的某种有影响的元素，也进行分析鉴定。若用炉前快速分析，则有利于控制合金的质量，在压铸前可以杜绝不合格的合金压铸成型。化学成分分析试样的制取，一般是从每一炉合金压铸到一半时，将合金液浇注在专用模内获得的。

(2) 力学性能的检验 合金的力学性能是铸件质量的重要指标之一。各种压铸合金的力学性能指标都必须符合国家标准的规定。合金的力学性能是合金的本质性能，它虽然不能完全代表铸件的实际性能，但确是检验合金熔炼质量的可靠依据。力学性能检验试样是根据国家标准的规定通过单独压铸从自由铸件上切取的方法获取的。

(3) 工艺性的检验 鉴定压铸合金质量的工艺性检验可以多方面进行。为了迅速地鉴定合金在熔炼过程中成分是否有偏差、吸气程度以及其他性质，可用炉前断口检验、含气量检验以及弯曲或折断试验等方法。但是，所有这些方法，需要操作人员和检验人员有一定的经验和判断能力，并且还应事先根据生产特点，制取相应标准试样。

第3章 压铸件设计

3.1 压铸件的精度、表面粗糙度及加工余量

1. 压铸件的尺寸精度

压铸件能达到的尺寸精度是比较高的，其稳定性也很好，基本上依压铸模制造精度而定。造成压铸件尺寸偏差的原因很多，其中有合金本身化学成分的偏差、工作环境温度的高低、金属收缩率的波动、开模和抽芯，以及推出机构运动状态的稳定程度、模具使用过程中磨损量引起的误差、压铸工艺参数的偏差、压铸机的精度和刚度引起的误差、模具的修理次数及其使用期限等。而这些原因又互相交织在一起，彼此影响。例如，合金收缩率就因压铸件的形状、压铸工艺参数、合金种类、压铸件的壁厚而不同。因此，要在研究上述这些条件与收缩率关系的基础上，才能设计出符合实际情况的收缩率。

(1) 长度尺寸 压铸件基本尺寸公差等级见表 3-1。尺寸公差带的位置如下：

1) 不加工的配合尺寸，孔取正 (+)，轴取负 (-)。

表 3-1 压铸件基本尺寸公差等级 (GB/T 6414—1999)

合金	公差等级 CT
锌合金	4~6
铝(镁)合金	5~7
铜合金	6~8

2) 待加工的尺寸，孔取负 (-)，轴取正 (+)；或孔与轴均取双向偏差 (\pm)，但其偏差值为 CT6 级精度公差值的 $1/2$ 。

3) 非配合尺寸，根据压铸件结构的需要，确定公差带位置取单向或双向，必要时调整公称尺寸。

压铸件受分型面或压铸模活动部分影响的尺寸，应按表 3-2 规定在基本尺寸公差上再加附加公差。附加公差是增量还是减量，取决于基本尺寸本身受上述两种因素影响的变化情况。

(2) 壁厚、肋厚、法兰或凸缘厚度等尺寸 壁厚、肋厚、法兰或凸缘厚度等尺寸公差按表 3-3 选取。

(3) 圆角半径尺寸 圆角半径尺寸公差按表 3-4 选取。

表 3-2 基本尺寸受分型面和压铸模活动部分影响的附加公差

(单位: mm)

受分型面影响时的附加公差				受压铸模活动部分影响时的附加公差		
压铸件在分型面上的投影面积/cm ²	附加公差增或减量			压铸模活动部位的投影面积/cm ²	附加公差增或减量	
	锌合金	铝合金	铜合金		锌合金	铝合金
≤150	0.08	0.10	0.10	≤30	0.10	0.15
>150 ~ 300	0.10	0.15	0.15	>30 ~ 100	0.15	0.20
>300 ~ 600	0.15	0.20	0.20	>100	0.20	0.30
>600 ~ 1200	0.20	0.30	—			—

注: 一模多腔时, 压铸件分型面上的投影面积为各压铸件投影面积之和。

表 3-3 厚度尺寸公差

(单位: mm)

压铸件的厚度尺寸	<1	>1 ~ 3	>3 ~ 6	>6 ~ 10
不受分型面和活动部分影响	±0.15	±0.20	±0.30	±0.40
受分型面和活动部分影响	±0.25	±0.30	±0.40	±0.50

表 3-4 圆角半径尺寸的公差

(单位: mm)

圆角半径	≤3	>3 ~ 6	>6 ~ 10	>10 ~ 18	>18 ~ 30	>30 ~ 50	>50 ~ 80
公差	±0.3	±0.4	±0.5	±0.7	±0.9	±1.2	±1.5

(4) 角度和锥度尺寸 自由角度和自由锥度尺寸公差按表 3-5 选取。锥度公差按锥体母线长度决定, 角度公差按角度短边长度决定。

表 3-5 自由角度和自由锥度公差

公称尺寸/mm	精度等级				公称尺寸/mm	精度等级			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1 ~ 3	1°30'	2°30'	4°	6°	>80 ~ 120	20'	30'	50'	1°15'
>3 ~ 6	1°15'	2°	3°	5°	>120 ~ 180	15'	25'	40'	1°
>6 ~ 10	1°	1°30'	2°30°	4°	>180 ~ 260	12'	20'	30'	50'
>10 ~ 18	50'	1°15'	2°	3°	>260 ~ 360	10'	15'	25'	40'
>18 ~ 30	40'	1°	1°30'	2°30'	>360 ~ 500	8'	12'	20'	30'
>30 ~ 50	30'	50'	1°15'	2°	>500				6'
>50 ~ 80	25'	40'	1°	1°30'					10'

注: 1. 一般按 3 级精度选取; 在特殊情况下, 可选用 2 级精度。

2. 受分型面及模具活动部分影响的和压铸件变形大的角度、加强肋的角度应选用 4 级精度。

(5) 孔中心距尺寸 孔中心距尺寸公差按表 3-6 选取。若受模具分型面和活动部分影响，在基本尺寸公差上也应加附加公差。

表 3-6 孔中心距尺寸公差 (单位: mm)

基本尺寸 铸件材料	~18	>18 ~ 30	>30 ~ 50	>50 ~ 80	>80 ~ 120	>120 ~ 160	>160 ~ 210	>210 ~ 260	>260 ~ 310	>310 ~ 360
锌合金、铝合金	0.10	0.12	0.15	0.23	0.30	0.35	0.40	0.48	0.56	0.65
镁合金、铜合金	0.16	0.20	0.25	0.35	0.48	0.60	0.78	0.92	1.08	1.25

2. 表面形状和位置

通常认为，压铸件的表面形状和位置主要是由压铸模的成型表面所决定的，而成型表面的形状和位置可以达到较高的精度，因此对压铸件的一般表面的形状和位置不作另行规定，其公差值包括在有关尺寸的公差范围内。对于直接用于装配的表面，类似于机械加工零件，在图样中注明表面形状和位置公差。

对于压铸件来说，变形是一个不可忽视的问题，其公差值应控制在一定的范围内，整形前和整形后的平面度和直线度公差，平行度、垂直度和倾斜度公差，同轴度和对称度公差分别按表 3-7、表 3-8 和表 3-9 选取。

表 3-7 压铸件平面度和直线度公差 (单位: mm)

基本尺寸	~25	>25 ~ 63	>63 ~ 100	>100 ~ 160	>160 ~ 250	>250 ~ 400	>400
整形前	0.2	0.3	0.45	0.7	1.0	1.5	2.2
整形后	0.1	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50

表 3-8 压铸件平行度、垂直度和倾斜度公差 (单位: mm)

被测量表面的最大尺寸	~25	>25 ~ 40	>40 ~ 63	>63 ~ 100	>100 ~ 160	>160 ~ 250	>250 ~ 400	>400 ~ 630
基准面与被测平面在同一半模内并且都是固定的	0.12	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60
基准面与被测平面分别为一个是固定的，另一个是活动的	0.16	0.20	0.25	0.32	0.40	0.50	0.65	0.80
基准面与被测平面都是活动的	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00

注：脱模斜度不计人。

表 3-9 压铸件同轴度和对称度公差 (单位: mm)

被测量表面的最大尺寸	~30	>30 ~ 50	>50 ~ 120	>120 ~ 250	>250 ~ 500	>500 ~ 800
基准面与被测平面在同一半模内并且都是固定的	0.10	0.12	0.15	0.20	0.25	0.30
基准面与被测平面分别为一个是固定的,另一个是活动的	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50

3. 表面粗糙度

在填充条件良好的情况下,压铸件的表面粗糙度一般比模具成型表面的粗糙度低两级。若是新模具,压铸件上可衡量的表面粗糙度应达到相当于 GB/T 131—2006 的 $Ra2.5 \sim 0.63 \mu\text{m}$,也可能达到 $Ra0.32 \mu\text{m}$ 。随着模具使用次数的增加,通常压铸件的表面粗糙度值会逐渐变大。

4. 加工余量

当压铸件的尺寸精度与形位公差达不到设计要求而需机械加工时,应优先考虑精整加工,以便保留其强度较高的致密层。机械加工余量应选用较小值,见表 3-10。

表 3-10 机械加工余量 (单位: mm)

尺寸	~30	>30 ~ 50	>50 ~ 80	>80 ~ 120	>120 ~ 180	>180 ~ 260	>260 ~ 360	>360 ~ 500
每面余量	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2

注: 1. 待加工的内表面尺寸以大端为基准,外表面尺寸以小端为基准。

2. 机械加工余量取铸件最大尺寸与公称尺寸两个余量的平均值,例如压铸件最大外轮廓尺寸为 200mm,待加工表面尺寸为 100mm,则加工余量取 $\frac{1}{2} (0.8 + 0.6) \text{ mm} = 0.7 \text{ mm}$ 。

3. 直径小于 18mm 的孔,铰孔余量为孔径的 1%;大于 18mm 的孔,铰孔余量为孔径的 0.6% ~ 0.4%,并小于 0.3mm。

3.2 压铸件基本结构形状的设计

1. 壁的厚度、连接形式及连接处的圆角

薄壁是压铸件的特点之一。压铸时,高压、高速和高温的金属液与压铸模成形工作表面接触后很快冷却,受到激冷的铸件表面形成了一层细晶粒组织。据测定,这层致密的细晶粒组织的厚度为 0.8 ~ 1.2mm,使压铸件的强度有明显提高的同时,也改善了其他性能(如耐磨性、耐蚀性)。以铝合金压铸件为例,与砂型铸造相比,压铸的抗拉强度要高 25% ~ 40%。

压铸件壁的厚薄对压铸件的质量有很大影响，厚壁压铸件中心层的晶粒较大，易有缩孔、气孔等缺陷，因而使压铸件的力学性能和气密性明显下降，因此在压铸中，单纯增加壁厚来提高强度的概念是错误的。当然，由于存在欠铸、冷隔的危险，压铸件的壁厚也不能太薄。

壁厚是压铸工艺中一个具有重要意义的因素。合理的壁厚取决于压铸件的具体结构、合金的性能，并与压铸工艺参数有着密切关系，通常以薄壁和均匀壁厚为佳。一般情况下，壁厚不宜超过4.5mm。中小型压铸件适宜的壁厚；锌合金1~3mm，铝、镁合金1.5~4mm，铜合金2~4mm；压铸件总体尺寸越大，壁厚亦应越厚；而壁厚一定时，面积也要受到一定限制。压铸件的最小壁厚和正常壁厚见表3-11。

表 3-11 压铸件最小和正常壁厚

壁厚处的面积 $a \times b$ /cm ²	壁厚 s/mm							
	锌合金		铝合金		镁合金		铜合金	
	最小	正常	最小	正常	最小	正常	最小	正常
≤25	0.5	1.5	0.8	2.0	0.8	2.0	0.8	1.5
>25~100	1.0	1.8	1.2	2.5	1.2	2.5	1.5	2.0
>100~500	1.5	2.2	1.8	3.0	1.8	3.0	2.0	2.5
>500	2.0	2.5	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	3.0

压铸件上壁与壁的连接形式和圆角设计，主要应考虑有利于金属流动和压铸件成型，避免压铸件产生应力集中和裂纹，以及延长压铸模寿命。壁的连接通常采用国内外设计标准推荐的圆角和隅部加强渐变过渡连接，各种过渡连接形式及设计数据如下：

两壁水平连接（图3-1）， $s_1/s_2 \leq 2$ 时， $R = (0.2 \sim 0.25)(s_1 + s_2)$ ； $s_1/s_2 > 2$ 时， $L \geq 4(s_1 - s_2)$ 。

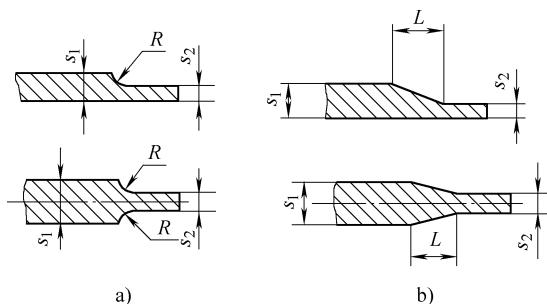


图 3-1 两壁水平连接

两壁垂直连接(图3-2)，等壁厚： $R_a = R_f + s$ ， $R_f = s$ 或 $R_a = 0$ ， $R_f = (1 \sim 1.25)s$ ；不等壁厚： $R_a = 0 \sim (R_f + s_2)$ ， $R_f = 0.6(s_1 + s_2)$ 。

两壁丁字形连接(图3-3a)， $s_1/s_2 \leq 1.75$ 时， $R = 0.25(s_1 + s_2)$ ； $s_1/s_2 > 1.75$ 时，加强部位在一壁(图3-3b)， $h = 3\sqrt{s_1 - s_2}$ ，加强部位在两壁(图3-3c)， $h = 0.5(s_1 - s_2)$ ，其 $L \geq 4h$ 以及 $0.1\text{mm} \leq R \leq s_1$ 或 s_2 。

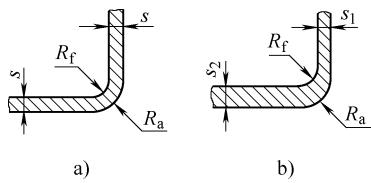


图3-2 两壁垂直连接
a) 等壁厚 b) 不等壁厚

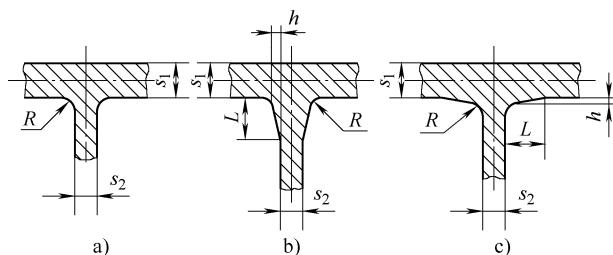


图3-3 两壁丁字形连接

交叉连接的壁，在多数情况下壁厚是相等的（不相等时，仍可按下列各式计算圆角，但选最薄的壁厚代入公式），交接处圆角尺寸如下（图3-4）：

$$\beta = 90^\circ, R = s; \beta = 45^\circ, R_1 = 0.7s, R_2 = 1.5s; \beta = 30^\circ, R_1 = 0.5s, R_2 = 2.5s.$$

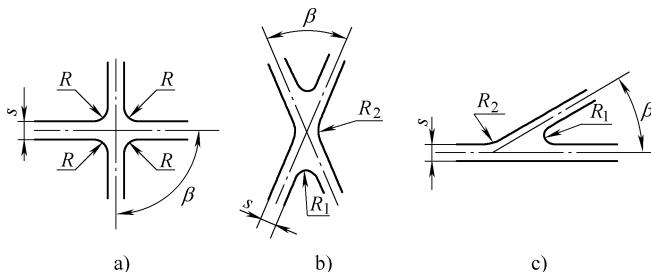


图3-4 交叉连接时的圆角
a) $\beta = 90^\circ$ b) $\beta = 45^\circ$ c) $\beta = 30^\circ$

2. 铸造斜度

铸造斜度又称起模斜度。为了便于从压铸模内取出压铸件和从压铸件内抽出型芯，压铸件应具有足够的和尽可能大的铸造斜度。通常在设计压铸件时，就应在结构上留有斜度。铸件上的铸造斜度，不单纯是为了减少压铸件与模具的摩擦，容易取出压铸件，保证压铸件表面不被拉伤，使表面光洁，同时对延长模具使用寿命也

具有重要意义。

为了减少压铸件起模时与模具零件成型表面间的摩擦，压铸件内表面上的斜度更为重要，这是因为金属收缩时会紧紧包住型芯以及型腔上凸出的成型部分，所以，压铸件上各部分所需要的斜度值大小是不相同的，应按金属收缩的方向来确定。当金属的收缩受到的阻力大时，斜度应大些；反之斜度可以稍小些。

铸造斜度一般不计入公差范围内，其大小要根据压铸件的起模深度、合金性质、形状复杂程度以及壁厚而定。一般规定的铸造斜度是：起模深度浅的大于深的；高熔点合金大于低熔点合金；形状复杂的大于形状简单的；厚壁大于薄壁；内侧大于外侧。表 3-12 中列举了最小铸造斜度值。在设计压铸件时，应尽可能选用大于表中的斜度值。

表 3-12 最小铸造斜度

合金	配合面的最小铸造斜度		非配合面的最小铸造斜度	
	外表面	内表面	外表面	内表面
锌合金	0°10'	0°15'	0°15'	0°45'
铝、镁合金	0°15'	0°30'	0°30'	1°
铜合金	0°30'	0°45'	1°	1°30'

注：表中数值适用于型腔深度或型芯高度小于或等于 50mm、 $Ra \geq 0.8 \mu\text{m}$ 。当深度或高度大于 50mm 或 $Ra < 0.8 \mu\text{m}$ 时，则数值可适当减小。

3. 压铸孔和槽

压铸法的特点之一是能够铸出小而深的圆孔、长方形孔和槽。对一些精度要求不很高的孔和槽，可以不必再进行机械加工就能直接使用，节省了金属和机械加工工时。

压铸件上可以压铸出孔和槽的最小尺寸及其深度受到一定的限制，与形成孔和槽的型芯在型腔中的分布位置有关。这是因为压铸后合金收缩时，对型芯产生的很大的包紧力和压铸件向基本形状的几何中心方向收缩时所产生的收缩力，使细长型芯抽出时，容易弯曲或折断。因此，压铸孔和槽的最小尺寸及其深度除受到一定限制外，在深度方向应带有一定的铸造斜度以便于抽芯。在一般情况下，压铸孔和槽的有关尺寸可参见表 3-13 和表 3-14。

表 3-13 压铸孔的最小直径、最大深度和最小斜度

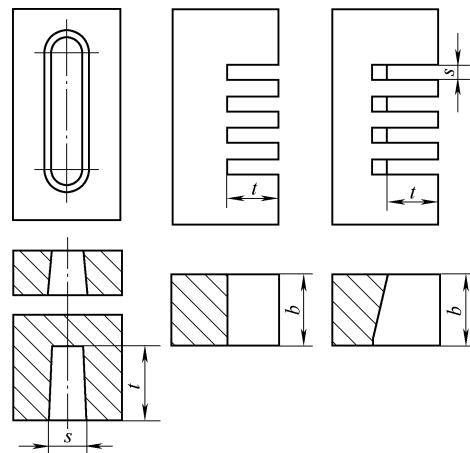
合金种类	最小直径/mm		最大深度(为该孔直径 d 的倍数)		最小铸造斜度
	一般的	可达到的	盲孔	通孔	
锌合金	1.0	0.7	4d	8d	0~0°15'
铝合金	2.5	0.7	> $\phi 5\text{mm}$ 为 4d, < $\phi 5\text{mm}$ 为 3d	> $\phi 5\text{mm}$ 为 7d, < $\phi 5\text{mm}$ 为 5d	0°15'~0°45'

(续)

合金种类	最小直径/mm		最大深度(为该孔直径d的倍数)		最小铸造斜度
	一般的	可达到的	盲孔	通孔	
镁合金	2.0	1.5	> $\phi 5\text{mm}$ 为 $4d$, < $\phi 5\text{mm}$ 为 $3d$	> $\phi 5\text{mm}$ 为 $8d$, < $\phi 5\text{mm}$ 为 $6d$	$0^\circ \sim 0^\circ 30'$
铜合金	3.0	2.5	> $\phi 5\text{mm}$ 为 $3d$, < $\phi 5\text{mm}$ 为 $2d$	> $\phi 5\text{mm}$ 为 $6d$, < $\phi 5\text{mm}$ 为 $4d$	$1^\circ 15' \sim 2^\circ 30'$

表 3-14 压铸长形方孔和槽的尺寸

(单位: mm)



合金种类	铅锡合金	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金
最小宽度s	0.8	0.8	1.2	1.0	1.5
深度t	10	12	10	12	10
厚度b	10	12	10	12	8
最小铸造斜度	$0^\circ 15' \sim 0^\circ 45'$	$1^\circ 15' \sim 2^\circ 30'$			

注: 宽度s在具有铸造斜度时, 表内值为小端部位值。

4. 肋

压铸件上肋的作用主要是在薄壁情况下, 提高压铸件的强度和刚度, 防止收缩变形、压铸件推出时的变形和产生裂纹; 填充时用以作为金属液流动的辅助通路; 以及减小壁厚和节省金属。

肋的厚度要均匀, 且布置要对称, 防止产生新的收缩变形。肋的交接形式尽量不采用交叉形式, 避免产生金属堆聚, 出现新的厚实部位。压铸件带肋后, 脱模时会增加阻力, 所以肋应有铸造斜度。一般情况下, 设计肋的厚度与斜度及具体数据见表 3-15 和表 3-16。

表 3-15 肋的厚度的斜度

	尺寸规范/mm		
	正常壁厚	$s \leq 3$	$s > 3$
b_1		$(0.6 \sim 1)s$	$(0.4 \sim 0.7)s$
b_2		$(1 \sim 1.3)s$	$(0.6 \sim 1)s$
高度 h		$h \leq 5s$	
最小圆角 r_1		$r_1 \geq 0.5$	

注：在不影响起模斜度情况下， b_2 可以等于 b_1 。

表 3-16 肋的厚度与斜度选定

铸件壁厚 a	铸件面积不超过 100cm^2	$0.8 \sim 2.5\text{mm}$
	铸件面积超过 100cm^2	$2.0 \sim 3.5\text{mm}$
肋的厚度 b		$1.5 \sim 3.5\text{mm}$
肋的圆角 r_1		$\leq b/2$
d 壁的圆角 r_2		$0.5 \sim 3.0\text{mm}$
e 肋的圆角 r_3		$0.5 \sim 2.0\text{mm}$
在分型面上铸件的圆角 r_4		在必要时 $0.5 \sim 2.0\text{mm}$
壁的斜度	α 外壁斜度	$0^\circ 30' \sim 1^\circ 30'$
	β 内壁斜度	$0^\circ 30' \sim 1^\circ 30'$

5. 压铸齿与螺纹

齿与螺纹都可直接压铸出来，压铸齿的最小模数见表 3-17。

表 3-17 压铸齿的最小模数

项 目	铅锡合金	锌合金	铝合金	镁合金	铜合金
模 数	0.3	0.3	0.5	0.5	1.5
精 度	3	3	3	3	3
斜 度	在宽度小于 20mm 时，每面至少有 $0.05 \sim 0.2\text{mm}$ ，而铜合金应为 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$				

压铸的螺纹稍加修整，除去接缝和缺陷便可使用。除铜合金因收缩大，型芯取出困难，只能压铸外螺纹和压铸螺纹的预制孔外，其他合金的内、外螺纹都可以进行压铸。对于内螺纹的压铸，由于压铸件的收缩，在旋出螺纹型芯时，螺纹牙形上表面摩擦面过多，旋出十分困难，为了减少摩擦面，螺纹型芯只宜较短些，在轴向上还要带有一定的斜度，从而减少螺纹的工作长度。

压铸螺纹的牙形要避免有尖锐的形状，而应为圆头和平头的牙形，如图 3-5 所示。

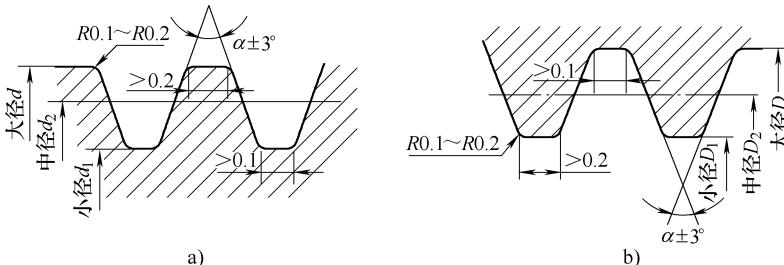


图 3-5 螺纹牙形

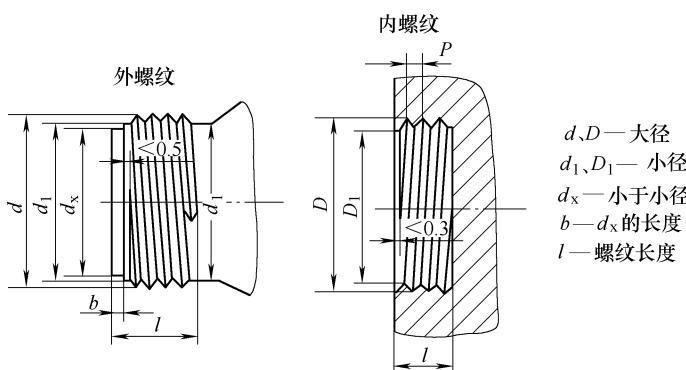
a) 外螺纹牙形 b) 内螺纹牙形

压铸的螺纹与机械加工的螺纹相比，表层的耐磨性和耐压性好是其优点，但在尺寸精度、形状的完整性以及表面粗糙度方面都要差一些。当压铸的螺纹较长时，必须估计到因合金收缩引起螺距的累积误差，因此螺纹不应过长。

压铸螺纹的极限尺寸见表 3-18，铸造斜度见表 3-19。压铸外螺纹的螺纹线起端和末端均应为整齐全扣，其螺纹高度是逐渐减小至与小径相交为止。内螺纹的螺纹线起端为整齐全扣，内端则因螺纹型芯拧出之故，不再具有整齐全扣的末端。

表 3-18 压铸螺纹的极限尺寸

(单位：mm)



(续)

合 金	最小螺距 <i>P</i>	最小直径(大径)		最大长度 <i>l</i> (<i>P</i> 的倍数)	
		外螺纹 <i>d</i>	内螺纹 <i>D</i>	外螺纹	内螺纹
锌合金	0.75	6	10	8 <i>P</i>	5 <i>P</i>
铝合金	0.75	8	14	6 <i>P</i>	4 <i>P</i>
镁合金	0.75	10	14	6 <i>P</i>	4 <i>P</i>
铜合金	1.00	12		6 <i>P</i>	

注：压铸内螺纹的直径不宜过大；外螺纹不是用螺纹型环时，其最大长度可加大。

表 3-19 压铸螺纹的铸造斜度

合 金	型芯表面宽度最大 100mm 的最小斜度					
	外侧斜度		活动型芯斜度		固定型芯斜度	
	螺纹深度的百分比 (%)	最小 /mm	螺纹深度的百分比 (%)	最小 /mm	螺纹深度的百分比 (%)	最小 /mm
铅锡合金	0~0.1	—	0.1	—	0.2	—
锌合金	0~0.2	—	0.2	—	0.4	0.03
铝合金	0~0.5	—	0.5	0.05	1.0	0.10
镁合金	0~0.3	—	0.3	0.03	0.6	0.05
铜合金	1~1.5	0.05	2.0	0.10	4.0	0.20

6. 凸纹、凸台、文字与图案

压铸件上可以压铸出凸纹、凸台、文字与图案等基本结构形状，一般希望它们都呈凸体，这是因为模具上加工凹体比较方便。这些结构单元均应避免尖角，图形和笔划应尽量简单，便于模具加工和延长模具使用寿命。这些结构单元的线条宽度、高度、圆角或侧面斜度除特殊要求外，应符合前述诸基本结构形状的设计要点。也可参照有关设计手册进行设计。

3.3 压铸件结构设计的工艺性

压铸件的结构设计直接影响着压铸模结构和制造的难易程度、压铸件的质量、生产率和模具的使用寿命等各个方面，故在设计压铸件时，必须强调设计人员与压铸工艺人员的合作，使压铸件在压铸过程中可能发生的许多不利因素得到预先考虑和事先加以排除。如果设计人员也熟悉压铸工艺，那么所设计的压铸件结构常是较为满意的。

1. 简化模具，延长模具使用寿命

(1) 压铸件的分型面上，应尽量避免带有圆角 图 3-6a 中的圆角不仅增加了模具的加工难度，而且使圆角处的模具强度和寿命有所下降。若动模与定模稍有错位，压铸件圆角部分易形成台阶，影响外观。若将结构改为如图 3-6b 所示的结构，则分型面平整，加工简便，避免了上述缺点。

(2) 避免模具局部过薄 图 3-7a 所示的盒形件，因侧面有孔而增设的活动型芯，使压铸模的局部厚度过薄，使用时易变形和损坏。如将压铸件侧面的孔向下延伸为如图 3-7b 所示的结构，则可省去活动型芯，并且也消除了模具上的薄弱部分，有利于延长模具的使用寿命。

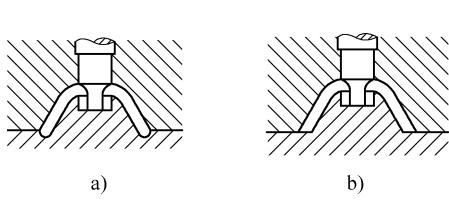


图 3-6 避免在分型面上有圆角

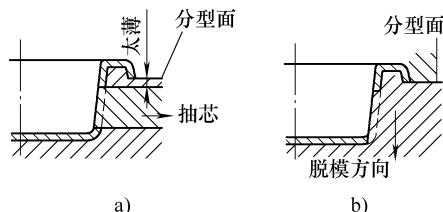


图 3-7 改善结构，便于模具制造

图 3-8a 所示的压铸件，因孔边离凸缘距离过小，易使模具镶块在 *a* 处断裂。若将压铸件改为如图 3-8b 所示的 $a \geq 3\text{mm}$ 的结构，则使镶块具有足够的强度，延长了模具的使用寿命。

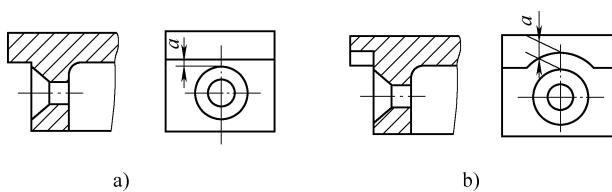


图 3-8 改善结构，使镶块具有足够强度

(3) 避免在压铸件上设计互相交叉的不通孔 交叉的不通孔必须使用公差配合较高的互相交叉的型芯（图 3-9a），这既增加了模具的加工量，又要求严格控制抽芯的次序。一旦金属液窜入型芯交叉的间隙中，便会使抽芯发生困难。若将交叉的不通孔改为如图 3-9b 所示的结构，即可避免型芯交叉，消除了上述的缺点。

(4) 消除内侧凹，降低生产成本 图 3-10a 所示的压铸件内法兰和轴承孔为内侧凹，抽芯困难，或需设置复杂的抽芯机构，或需设置可熔型芯，这既增加了模具的加工量，又降低了生产率。若将压铸件改为如图 3-10b 所示的消除内侧凹入的结构，即可简化模具，克服了如图 3-10a 所示压铸件带来的缺点。

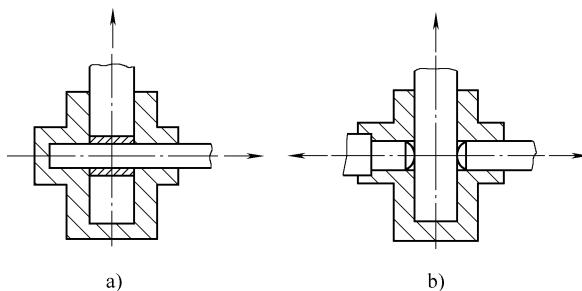


图 3-9 压铸件应避免有互相交叉的不通孔

同样,如图3-11a所示的压铸件,由于矩形孔尺寸 $B < A$,抽芯困难,结构复杂。若压铸件按图3-11b所示那样进行改进,取矩形孔尺寸 $B \geq A + 0.2$,就简化了模具结构,无需另设抽芯机构,延长了模具使用寿命。

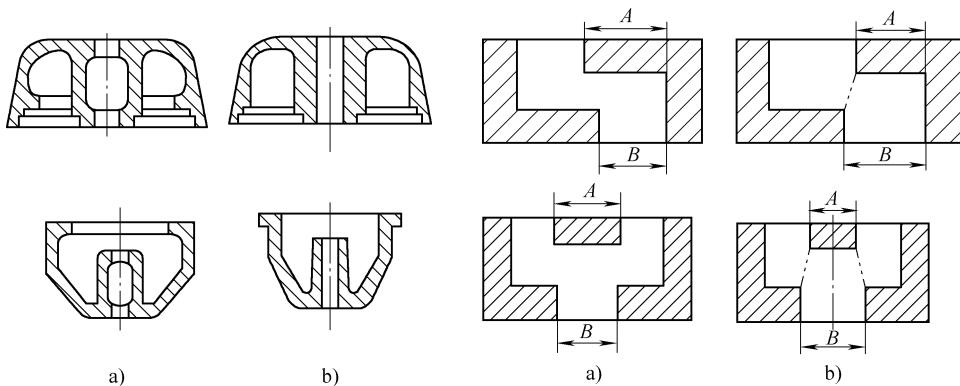


图 3-10 内侧凹结构及消除

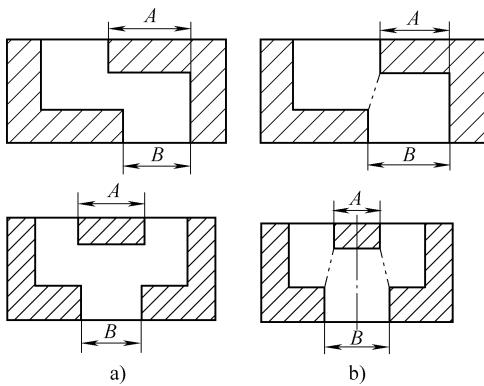


图 3-11 矩形孔尺寸与抽芯

2. 减少抽芯部位

减少不与分型面垂直的抽芯部位,对降低模具的复杂程度和保证压铸件的精度是有好处的。图3-12a所示压铸件侧面有三个侧孔,需另设抽芯方向不与分型面垂直的抽芯机构。若按图3-12b所示,改变三个侧孔结构,使侧孔与大型芯出模方向一致,即与分型面垂直,则不需要另设抽芯机构就可压铸成型。显然,后一种结构省去了抽芯机构,模具得到了简化。

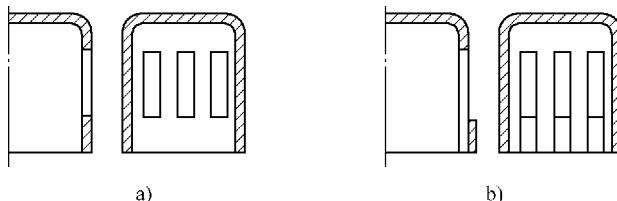


图 3-12 侧孔结构与抽芯

图 3-13a 所示压铸件，中心方孔深度深，抽芯距离长，需设专用抽芯机构，模具复杂；加上悬臂式型芯伸入型腔，易变形，难以控制侧壁壁厚均匀。而采用如图 3-13b 所示的 H 形断面结构后就不需抽芯，简化了模具结构。

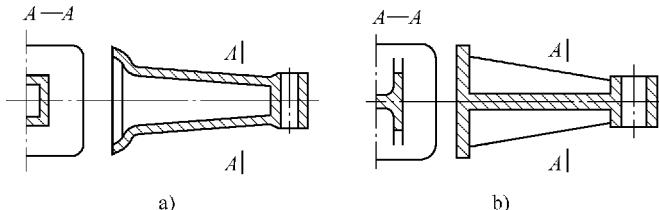


图 3-13 支承部位形状与抽芯

图 3-14a 所示压铸件侧壁圆孔需设抽芯机构；若按图 3-14b 进行改进，将侧壁圆孔改为与压铸件出模方向一致的 U 形凹槽后，即可省掉抽芯机构。

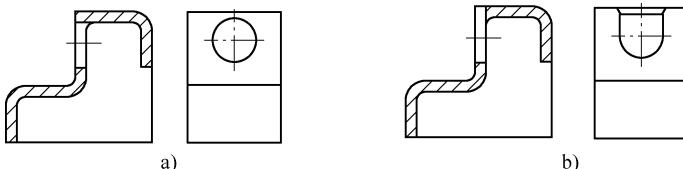


图 3-14 孔的形状与抽芯

3. 方便压铸件脱模和抽芯

图 3-15a 所示压铸件，因 K 处的型芯受凸台阻碍，无法抽芯。若将压铸件的形状作一定修改，变为图 3-15b 所示的结构，K 处的型芯即可顺利抽出。

图 3-16a 所示水龙头压铸件，因有内侧凹 A 和 B，平直段 C 以及 R 的中心线距离压铸件外廓太近，无法抽芯。若按图 3-16b 所示那样对压铸件结构进行改进，采取消除内侧凹，增大圆弧 R，使弧状型芯的回转中心处有足够的强度，并使弧状型芯退出时在其背后有足够的空间，方便了脱模和抽芯。

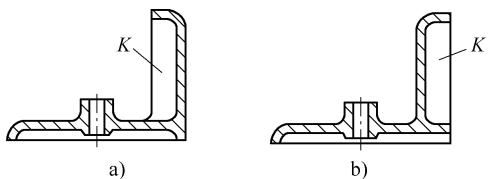


图 3-15 压铸件形状与抽芯

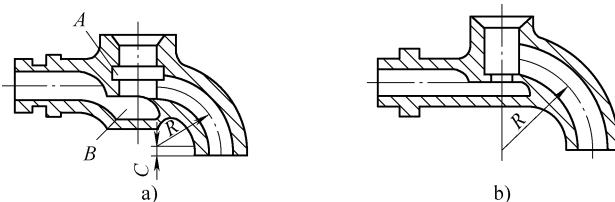


图 3-16 压铸件结构与抽芯

4. 防止变形

图 3-17a 为平板上有不连续侧壁的压铸件，因温差引起的收缩，截面削弱部位会发生变形。若在削弱部位的两侧面增加加强肋（图 3-17b），若选择图 3-17c 的结构（但侧面需设置抽芯机构），或采用降低开口部位的高度，并增添两条横跨平板的加强肋的结构（图 3-17d），均可提高开口部位的刚度，防止压铸件变形。

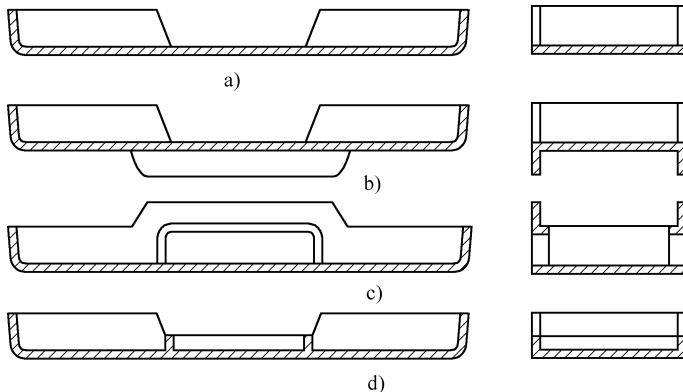


图 3-17 压铸件结构与变形

图 3-18 为用弯曲壁补偿和降低残余应力，防止压铸件变形和裂纹的例子。盒形件内部的一直壁 J（图 3-18a），常因承受过大的应力而产生裂纹；若将直壁改成弯曲壁（图 3-18b）后，弯曲壁能起到补偿作用，防止压铸件变形。

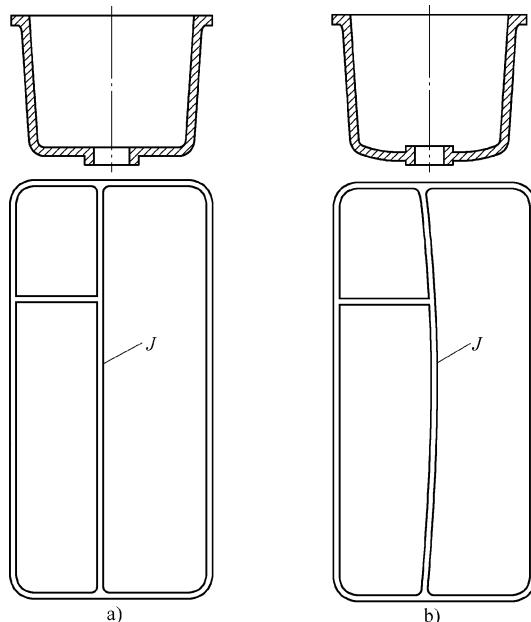


图 3-18 防止压铸件变形的结构

5. 铸入嵌件

压铸的另一个特点是可以方便地采用嵌件。这样既可以充分利用各种材料的特性，如强度、硬度、耐蚀性、耐磨性、导磁性、导电性、绝缘性等以满足不同场合的使用要求；还可以弥补因结构工艺性差而带来的缺点，如热节、内部疏松等，以及代替部分装配和解决具有特殊技术要求的压铸问题。

嵌件在压铸件内的连接必须稳固牢靠，不允许嵌件发生移动和旋转。为了加强嵌件与压铸金属之间的连接，嵌件上铸入压铸件的部分常制出直纹或斜纹滚花、凹槽或凸起。嵌件上凹槽和花纹尺寸分别见图 3-19 和表 3-20。嵌件上有螺纹时，无螺纹部分应在压铸件外面留出 $1.5 \sim 2\text{mm}$ ，否则在压铸时，螺纹部分易被金属液充满（图 3-20）。

表 3-20 镶嵌件滚花尺寸
(单位: mm)

嵌件直径		≤ 8	$> 8 \sim 16$	$> 16 \sim 32$	> 32
花纹间距	直纹	0.8	1	1.2	1.2
	网纹	0.8	1	1.2	1.6

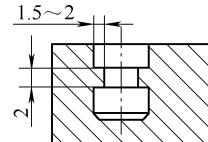


图 3-19 镶嵌件上凹槽的尺寸

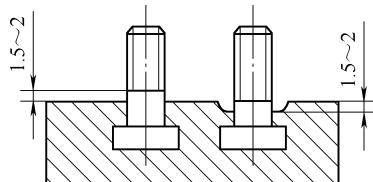


图 3-20 镶嵌螺纹件的尺寸

为获得牢固的嵌接及防止裂纹，嵌件周围的金属壁厚不能过薄，其最小厚度可参照表 3-21 确定。

表 3-21 包住镶嵌件的金属最小厚度
(单位: mm)

压铸件外径	2.5	3	6	9	13	16	19	22	25
嵌件最大直径	0.5	1	3	5	8	11	13	16	18
包住嵌件的金属最小壁厚	1	1	1.5	2	2.5	2.5	3	3	3.5

嵌件的材料根据需要而定，通常有金属和非金属（如皮革、胶木、硬纸等）之分。

采用铸入嵌件时还应注意以下几点：

- 1) 嵌件与压铸件本体的金属之间不产生严重的电化学腐蚀，必要时嵌件外表可镀层。
- 2) 嵌件不应离浇口太远，以免熔接不牢；如必须远离者，应适当提高浇注温度。
- 3) 嵌件上不允许有尖角，尤其在压铸镁合金时，更应注意，以免压铸件在尖角处开裂。
- 4) 有嵌件的压铸件应避免热处理，以免因两种合金的相变而产生不同的体积

变化后，嵌件在压铸件内松动。

5) 嵌件应能满足放入模具内的公差配合的要求。

6) 嵌件应进行清理，去污秽，并预热，预热温度与模具温度相近。

6. 由其他方法改为压铸法时，结构修改的注意事项

图 3-21、图 3-22 和图 3-23 是美国金属学会介绍的三个由其他方法改为压铸法的例子。其中，图 3-21 所示压铸件原为砂型铸件，图 3-22 和图 3-23 原为冲压件。

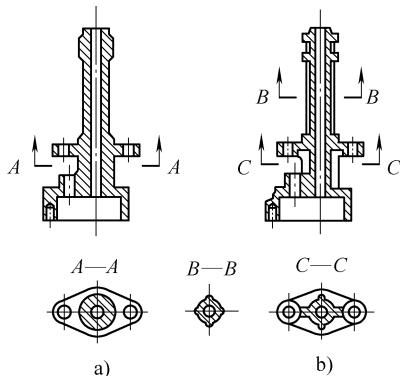


图 3-21 液压泵体的砂型铸件和压铸件的结构

a) 砂型铸件 b) 压铸件

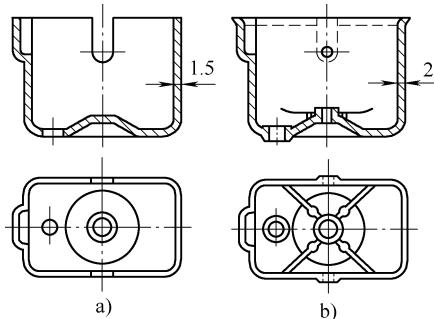


图 3-22 机壳的冲压件和压铸件的结构

a) 冲压件 b) 压铸件

结构修改时，应注意如下事项：

1) 根据压铸机的规格，对零件的大小进行分析，或将几个小型零件组合成一个整体的压铸件，或将一个大型零件分成几个较小的部分进行压铸，以取得最好的经济效益。

2) 按照压铸件基本结构单元的设计要求，对用其他方法成型的零件结构进行必要的修改设计，以适应压铸法的特点。

3) 采用增设和合理布置加强肋的结构，以满足压铸件的强度和刚度要求。

4) 将实心结构改为空心结构，消除热节，均匀壁厚，减轻压铸件质量，降低生产成本。

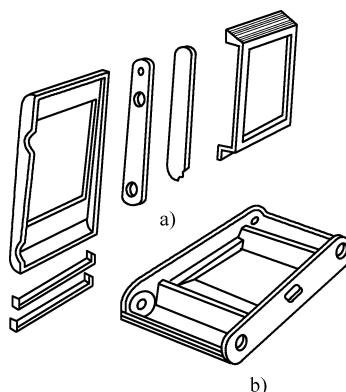


图 3-23 照相机壳体的组合件与压铸件的结构

a) 冲压组合件 b) 压铸件

第4章 压铸成型工艺

压铸合金、压铸模和压铸机是压铸生产的三要素，而压铸成型工艺则是将这三要素进行有机组合和运用的过程。因此，应对压铸成型工艺的性质、特点及其规律性进行研究，以最低的成本取得优质压铸件，特别是对压力、速度、温度、时间及涂料的应用等必须认真选择和控制。

4.1 压力

压铸压力是由泵产生的，泵借储能器通过工作液传递给压射活塞，经压射冲头施加于压室内的金属液上。

作用于金属液上的压力是获得组织致密和轮廓清晰压铸件的重要因素，必须控制压力变化，合理选择压力数值。

1. 压铸过程中各阶段的压力变化和压力峰

压铸过程中压力随压铸阶段而异，压射冲头的运动速度及压力的变化如图 4-1 所示。

压射各阶段的压力、压射冲头速度及控制和压力的作用见表 4-1。

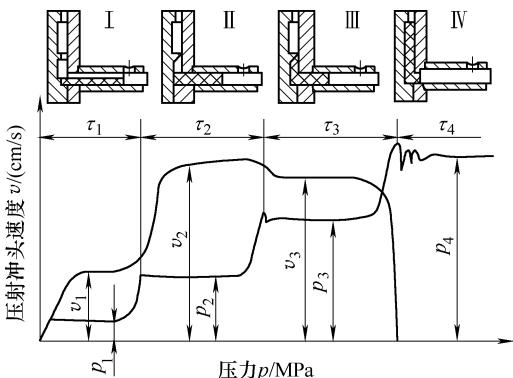


图 4-1 压铸不同阶段压射冲头的运动速度与压力的变化

表 4-1 压力的变化与作用

压射阶段	压力 p	压射冲头 速度 v	压 射 过 程	压 力 作 用
第一阶段 τ_1	p_1	v_1	压射冲头以低速前进，封住浇料口，推动金属液，压力在压室内平稳上升，使压室内的空气慢慢排出	克服压室与压射冲头和液压缸与活塞之间的摩擦阻力
第二阶段 τ_2	p_2	v_2	压射冲头以较快速度前进，金属液被推至压室前端，充满压室并堆积在浇口前沿	由于内浇口处在整个浇注系统中阻力最大，压力升高，足以达到突破内浇口阻力，此阶段后期，由于内浇口阻力产生第一个压力峰

(续)

压射阶段	压力 p	压射冲头 速度 v	压 射 过 程	压 力 作 用
第三阶段 τ_3	p_3	v_3	压射冲头按要求的最大速度前进，金属液充满整个型腔	金属液突破内浇口阻力，填充型腔，压力升至 p_3 。在此阶段结束前，由于水锤作用、压力升高，产生第二个压力峰
第四阶段 τ_4	p_4	v_4	压射冲头运动基本停止，但稍有前进	此阶段为最后增压阶段，压力作用于正在凝固的金属液上，使之压实，消除或减少疏松，提高压铸件密度

上述过程称为四级压射。但目前的压铸机多为三级压射，一般把第一、二压射阶段作为一级压射，三、四压射阶段分别作为二、三级压射。其中 p_3 越高内浇口速度越大， p_4 越高则越易得到轮廓清晰、表面光洁和组织致密的压铸件。最终压力 p_4 与合金的种类、压铸件质量要求有关，使用较高的压力，一般为 30 ~ 500 MPa。

金属液流经内浇口时，截面突然减少，阻力剧增，在内浇口前出现金属液堆积，瞬时压力升高，形成压力冲击，突破内浇口的阻力后，冲击现象消失。进入型腔遇到阻塞也会产生压力冲击。压力冲击使压铸过程中的压力产生波动，能量耗散增加，在不同压铸阶段出现压力峰，见图 4-1。

2. 压射力

压射力是压铸机压射机构推动压射活塞的力，它来源于高压泵，可用压射压力和压射比压来表示。

压射力可按下述公式计算：

$$\text{有增压机构时} \quad F_y = p_{zy} \pi d^2 / 4 \quad (4-1)$$

$$\text{无增压机构时} \quad F_y = p_g \pi d^2 / 4 \quad (4-2)$$

式中 F_y —— 压射力 (N)；

p_{zy} —— 增压后，压射型腔内的工作液压力 (MPa)；

p_g —— 压射型腔内的工作液压力 (MPa)；

d —— 压射冲头直径 (mm)。

3. 压射比压以及它对力学性能和填充条件的影响

压射比压是压室内金属液单位面积上所受的压力，即压铸机的压射力与压射冲头横断面面积之比。填充时的比压称为压射比压，用于克服浇口系统和型腔中的流动阻力，特别是内浇口的阻力，达到内浇口应具有的速度。有增压机构时，增压后的比压称为增压比压，它决定了压铸件最终所受的压力和模具的胀型力。

压射比压可按下式计算：

$$p_b = 4F_y / (\pi d^2) \quad (4-3)$$

式中 p_b ——压射比压 (MPa);
 F_y ——压射力 (N);
 d ——压射冲头直径 (mm)。

压铸过程中采用较高的压射比压，除易得到轮廓清晰、外表光洁和尺寸精确，以及带有花纹、图案、文字等的压铸件外，还可改善压铸件的致密度，从而提高压铸件的抗拉强度和硬度。

采用较高的压射比压还可获得较高的充填速度，保证金属液的流动性，相对降低浇注温度，有利于减少压铸件的缩孔和缩松，并可提高压铸模的寿命。但过高的压射比压会使压铸模受金属液强烈的冲刷并增加合金粘模的可能性，反而降低模具寿命。

由式 (4-3) 可见，压射比压与压铸机的压射力成正比，与压射冲头直径的平方成反比，所以压射比压可通过调整压射力和冲头直径来实现。

选择压射比压时，应根据压铸件的形状、尺寸、复杂程度、壁厚、合金的特性、温度、浇口及排溢系统等确定，一般在保证压铸件成型和使用要求的前提下，选用较低的压射比压。

选择压射比压要考虑的主要因素见表 4-2。

表 4-2 选择压射比压要考虑的主要因素

因素	选择条件	
压铸件结构 特性	壁厚	薄壁件压射比压高些，厚壁件增压比压高些
	铸件形状复杂程度	形状复杂压射比压高些，形状简单增压比压低些
	工艺合理性	工艺合理，压射比压低些
压铸合金特性	结晶温度范围	结晶温度范围大压射比压高些，结晶温度范围小增压比压低些
	流动性	流动性好压射比压低些，流动性差压射比压高些
	密度	密度大，压射比压、增压比压均应高些，反之则低些
	比强度	要求比强度大压射比压高些，要求比强度小压射比压低些
浇道系统	浇道阻力	浇道阻力大，浇道长，转向多，在同样截面下内浇口厚度小，增压比压应高些
	浇道散热速度	散热速度快，压射比压高些，反之压射比压低些
排溢系统	排气道分布	排气道分布合理，压射比压、增压比压均应高些
	排气道截面积	排气道截面积大，压射比压、增压比压均应高些
内浇口速度	要求内浇口速度	内浇口速度高压射比压高些
温度	合金与压铸模温差	温差大压射比压高些，温差小压射比压低些

各种压铸合金选用的计算压射比压见表 4-3。

表 4-3 各种压铸合金选用的计算压射比压 (单位: MPa)

合 金	铸件壁厚 < 3mm		铸件壁厚 > 3mm	
	结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	30	40	50	60
铝合金	35	45	55	60
铝镁合金	35	45	50	60
镁合金	40	50	60	70
铜合金	50	60	70	80

通常实际压射比压低于计算的压射比压，其压力损失折算系数 K 见表 4-4。

表 4-4 压力损失折算系数 K

条 件	K 值		
直浇道导入口截面 A_1 与内浇道口截面 A_2 之比 (A_1/A_2)	>1	=1	<1
立式冷压室压铸机	0.66 ~ 0.70	0.72 ~ 0.74	0.76 ~ 0.78
卧式冷压室压铸机			0.88

4.2 速度

1. 压射速度

压射速度是压室内压射冲头推动金属液的移动速度，即压铸机压射冲头的速度。压射速度分为低速和高速两个阶段。通过压铸机压射速度调节阀可实现无级调速。

低速压射速度是指表 4-1 中压射的第一、二阶段，其作用是排出压室内的空气，将金属液推至压室前端并堆积在内浇口前沿。

低速压射速度根据浇注到压室内的金属量多少而定，见表 4-5。

表 4-5 低速压射速度的选择

压室充满度 (%)	压射速度/(cm/s)
≤30	30 ~ 40
30 ~ 60	20 ~ 30
>60	10 ~ 20

高速压射速度是指表 4-1 中压射的第三阶段，使金属液通过内浇口充满整个型腔，出现压力峰使压铸件压实，消除或减少缩孔、缩松。

高速压射速度须由表 4-6 确定填充时间，然后按下式计算：

$$v_{yh} = \frac{4V}{\pi d^2 \tau} \times [1 + (n - 1) \times 0.1] \quad (4-4)$$

式中 v_{yh} ——高速压射速度 (cm/s)；

V ——型腔容积 (cm³)；

n ——型腔数；

d ——压射冲头直径 (cm)；

τ ——填充时间 (s)。

此压射速度为获得最佳质量的最低速度，一般压铸件可提高至 1.2 倍，对有较大镶件或大模压小件时可提高至 1.5~2 倍。

表 4-6 推荐的压铸件平均壁厚与填充时间、内浇口速度的关系

压铸件平均壁厚 /mm	填充时间 /ms	内浇口速度 /(m/s)	压铸件平均壁厚 /mm	填充时间 /ms	内浇口速度 /(m/s)
1	10~14	46~55	5	48~72	32~40
1.5	14~20	44~53	6	56~84	30~37
2	18~26	42~50	7	66~100	28~34
2.5	22~32	40~48	8	76~116	26~32
3	28~40	38~46	9	88~138	24~29
3.5	34~50	36~44	10	100~160	22~27
4	40~60	34~42			

注：1. 压铸件平均壁厚 b 按下式计算：

$$b = \frac{b_1 A_1 + b_2 A_2 + b_3 A_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}$$

式中 b_1 、 b_2 、 b_3 、……——压铸件某个部位的壁厚 (mm)；

A_1 、 A_2 、 A_3 、……——壁厚为 b_1 、 b_2 、 b_3 、……部位的面积 (mm²)。

2. 表中数值以铝合金为基础，也适用于其他合金，实际的填充时间以锌合金为最短，内浇口速度以镁合金为最高。

2. 内浇口速度

内浇口速度是金属液通过内浇口进入型腔的线速度。较高的内浇口速度，即使采用较低的压射比压也能将金属液在凝固之前迅速充填型腔，获得轮廓清晰、表面光洁的压铸件，并提高金属液的动压力。

内浇口速度过高时也会带来一系列问题，主要是容易包卷气体形成气泡；金属液呈雾状进入型腔，粘附于型腔壁与后来的金属液不能熔合而形成表面缺陷和氧化夹杂，加速压铸模的磨损等。

内浇口速度与内浇口截面积有关。内浇口速度与压铸件的平均壁厚和填充时间

的关系见表 4-6。

3. 内浇口速度与压射速度和压力的关系

在冷压室压铸机中，压室、浇道和压铸模构成一个密闭系统。根据连续性原理，内浇口速度与压射速度具有固定关系，即

$$\frac{\pi}{4}D^2v_y = A_nv_n \quad (4-5)$$

式中 D ——压室直径 (cm)；

v_y ——压射速度 (cm/s)；

A_n ——内浇口截面积 (cm^2)；

v_n ——内浇口速度 (cm/s)。

此外，内浇口速度还与压射力和压射比压有关，根据流体力学及粘性流体因摩擦而引起的动能损失可知（下式与实际值相差较大）

$$v_n = \eta \sqrt{\frac{2 \times 10^3 p_b}{9.81\rho}} = \eta \sqrt{\frac{2 \times 10^3}{9.81\rho} \times \frac{4F_y}{\pi d^2}} \quad (4-6)$$

式中 v_n ——内浇口速度 (cm/s)；

p_b ——压射比压 (N/cm^2)；

F_y ——压射力 (N)；

d ——压射冲头直径 (cm)；

η ——阻力系数，一般取 0.3 ~ 0.6；

ρ ——合金的液态密度 (g/cm^3)，锌合金为 $6.40\text{g}/\text{cm}^3$ ，铝合金为 $2.40\text{g}/\text{cm}^3$ ，镁合金为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ，铜合金为 $7.50\text{g}/\text{cm}^3$ 。

由式 (4-6) 可知，压射力大，内浇口速度高；合金液密度大，内浇口截面积大，内浇口速度低。因此，压铸过程中，通过调整压射速度、改变压射冲头直径、压射比压及内浇口截面积等，都可以直接或间接调整内浇口速度。

4.3 温度

温度是压铸过程的热因素，为了提供良好的填充条件，保证压铸件的成型质量，控制和保持热稳定性，必须选用相应的温度规范，主要指合金浇注温度和模具温度。

1. 合金浇注温度

合金浇注温度是指金属液自压室进入型腔的平均温度，因测量不便，通常用保温炉内的温度表示，一般高于合金液相线 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 。浇注前对压室、冲头及浇勺应充分预热。

压铸过程中金属的流动性主要取决于温度、压力和填充速度，较低的浇注温度

使压铸件凝固收缩较小，不易产生缩松和缩孔，减轻合金的粘模，延长压铸模寿命。但对硅含量高的铝合金，硅将大量析出以游离状态存在于压铸件内，使可加工性变坏。一般硅含量高的铝合金，薄壁、形状复杂的压铸件和热容量大、散热快的模具，浇注温度应适当提高。

各种合金的浇注温度见表 4-7。

表 4-7 各种合金的浇注温度

(单位：℃)

合金	压铸件结构特征	铸件壁厚 < 3mm		铸件壁厚 > 3mm	
		结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	锌合金	420 ~ 440	430 ~ 450	410 ~ 430	420 ~ 440
铝合金	铝硅合金	610 ~ 650	640 ~ 700	590 ~ 630	610 ~ 650
	铝铜合金	620 ~ 650	640 ~ 720	600 ~ 640	620 ~ 650
	铝镁合金	640 ~ 680	660 ~ 700	620 ~ 660	640 ~ 680
镁合金		640 ~ 680	660 ~ 700	620 ~ 660	640 ~ 680
铜合金	普通黄铜	870 ~ 920	900 ~ 950	850 ~ 900	870 ~ 920
	硅黄铜	900 ~ 940	930 ~ 970	880 ~ 920	900 ~ 940

注：锌合金温度不宜超过 450℃，否则结晶粗大变脆。

浇注温度对压铸件力学性能的影响见图 4-2 和图 4-3。

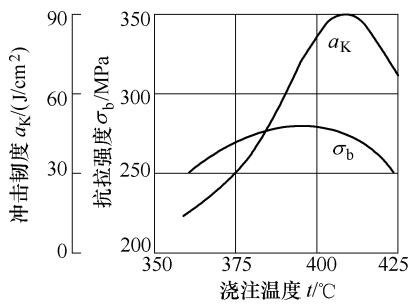


图 4-2 YX040.5 锌合金浇注
温度对力学性能的影响

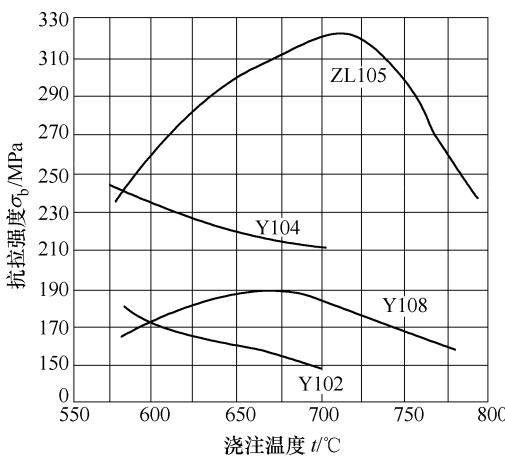


图 4-3 几种铝合金浇注温度对抗拉强度的影响

2. 内浇口速度对合金温度的影响

金属液流经内浇口进入型腔后，流速骤减直到充满型腔流速降为零，这部分动能大部分经摩擦而转换为热能，使合金的温度升高。

内浇口速度与合金温度升高的关系见图 4-4。

当内浇口速度为 40m/s 时, 铝合金进入型腔的温度将增加 8℃, 内浇口速度越大, 温升越高, 这对控制浇注温度有一定作用。

3. 模具温度和模具热平衡

(1) 模具温度 在连续压铸过程中, 每压射一次, 模具温度就进行一次升降循环。为避免金属液对低温压铸模的“热冲击”而使模具寿命缩短, 金属液激冷而失去流动性, 增大线收缩, 引起裂纹或开裂影响压铸件的质量, 压铸前必须对模具进行充分预热。

在连续生产中, 尤其压铸高熔点合金时, 模具升温很快, 导致金属液粘模, 压铸件推出变形, 模具局部卡死甚至损坏, 且延长开模时间, 降低生产率, 还因压铸件冷却缓慢而使晶粒粗大。因此压铸模温度过高时, 应采取冷却措施, 使模具保持热平衡。

压铸模温度 t_m 和合金浇注温度 t_j 可按下式粗略计算:

$$t_m = \frac{1}{3}t_j \pm 25^\circ\text{C}$$

对薄壁复杂件取上限, 厚壁简单件取下限。

不同压铸合金的压铸模预热温度及工作温度见表 4-8。

表 4-8 不同压铸合金的压铸模预热温度及工作温度 (单位: ℃)

合金	温度	压铸件结构特性			
		壁厚≤3mm	壁厚>3mm	结构简单	结构复杂
锌合金	预热温度	130~180	150~200	110~140	120~150
	连续工作保持温度	180~200	190~220	140~170	150~200
铝合金	预热温度	150~180	200~230	120~150	150~180
	连续工作保持温度	180~240	250~280	150~180	180~200
铝镁合金	预热温度	170~190	220~240	150~170	170~190
	连续工作保持温度	200~220	260~280	180~200	200~240
镁合金	预热温度	150~180	200~230	120~150	150~180
	连续工作保持温度	180~240	250~280	150~180	180~220

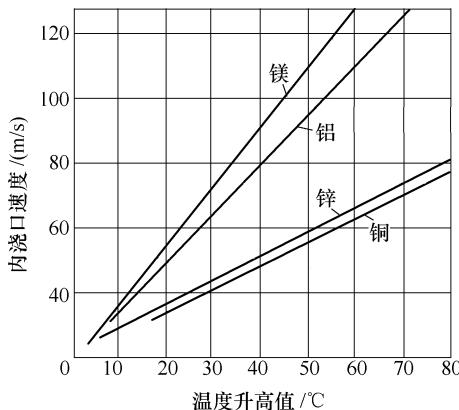


图 4-4 内浇口速度与合金温度升高的关系

压铸模温度对压铸件力学性能的影响见图 4-5 和图 4-6。

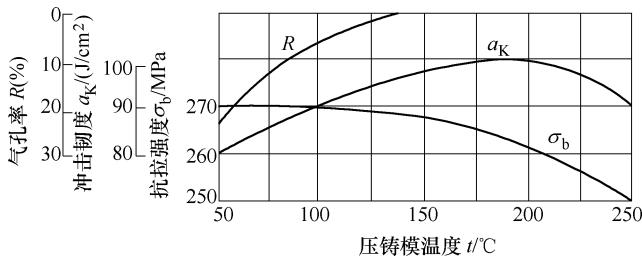


图 4-5 Al 4% 锌合金压铸件力学性能及气孔率与压铸模温度的关系

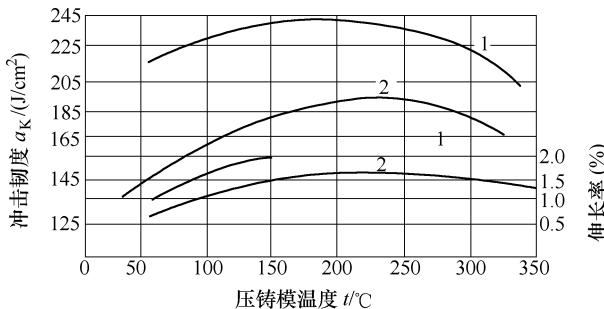


图 4-6 铝合金和镁合金压铸件力学性能与压铸模温度的关系

1—ZL105 2—YM5

(2) 模具热平衡 压铸模的温度直接影响压铸件的质量和生产率。为了保证压铸生产的连续进行，在每一个压铸循环中，金属液传给模具的热量、模具自然散热及通过冷却系统传走的热量应保持平衡。

模具热平衡的关系式为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4-7)$$

式中 Q ——金属液传给模具的热量 (kJ/h)；

Q_1 ——模具自然传走的热量 (kJ/h)；

Q_2 ——特定部位传走的热量 (kJ/h)；

Q_3 ——冷却系统传走的热量 (kJ/h)。

由于压铸件的形状、尺寸、壁厚、环境温度、模具大小、合金成分等均影响散热效果，精确计算十分困难。一般先粗略计算，然后通过调整冷却系统冷却介质的流量和流速，使模具保持热平衡。对中、小型模具，通常吸收的热量大于传走的热量，为了提高生产率，一般应设置冷却系统。对大型模具，由于表面积大、散热快且压铸周期长，升温慢也可不设冷却系统。冷却系统是否设置和冷却通道的直径与长度，可根据如下公式计算。

1) 每小时金属液传给模具的热量 Q

$$Q = qNm \quad (4-8)$$

式中 q ——1kg 金属液从浇注温度到铸件推出温度所放出的平均热量 (kJ/kg);

几种合金的 q 值: 锌合金 175.8 kJ/kg; 铝-硅合金 887.6 kJ/kg;

镁合金 711.8 kJ/kg; 铝-镁合金 795.5 kJ/kg;

铜合金 477.3 kJ/kg;

N ——压铸生产率 (个/h);

m ——每次压铸合金的质量 (含浇注系统) (kg)。

2) 每小时模具自然传走的热量 Q_1 。模具自然传走的热量主要是辐射散热, 其次是对流散热和压铸模座板的传导散热。为便于计算可粗略地表达为

$$Q_1 = \varphi A \quad (4-9)$$

式中 φ ——模具自然传热的面积热流量 [kJ/(m² · h)];

几种合金的 φ 值: 锌合金 4186.8 kJ/(m² · h);

铝合金和镁合金 6280.2 kJ/(m² · h);

铜合金 8373.6 kJ/(m² · h);

A ——模具散热的表面积 (m²);

$A = \text{模具侧面积} + \text{动、定模座板底面积} + \text{分型面积} \times \text{开模率}$

其中, 开模率 = 开模时间/压铸周期

3) 每小时特定部位传走的热量 Q_2 。特定部位是指压铸模和压铸机上常设冷却通道的部位, 如分流锥、浇口套、喷嘴、压室、压射冲头及压铸机定模安装板等。

① 分流锥 (热压室压铸机)、浇口套、喷嘴、压室传走的热量 Q'_2

$$Q'_2 = A_1\varphi_1 + A_2\varphi_2 \quad (4-10)$$

式中 A_1 ——分流锥冷却通道的表面积 (m²);

φ_1 ——分流锥冷却通道壁的面积热流量, 取 $\varphi_1 = 251.2 \times 10^4$ kJ/(m² · h);

A_2 ——浇口套、喷嘴、压室冷却通道表面积之和 (m²);

φ_2 ——浇口套、喷嘴、压室冷却通道壁的面积热流量, 取 $\varphi_2 = 209.3 \times 10^4$ kJ/(m² · h)。

② 压射冲头、压铸机定模安装板冷却通道传走的热量 Q''_2 : 该热量可在压铸过程中, 对每台压铸机进行测定。

每小时特定部位传走的热量 $Q_2 = Q'_2 + Q''_2$ 。

4) 冷却系统每小时传走的热量 Q_3 。当金属液每小时放出的热量远大于模具自然传走的热量时, 则应根据动、定模剩余热量分别设置相应的冷却通道, 特别对直浇道周围应加强冷却, 使模具备各部分均能保持大致的热平衡。

冷却通道的直径 d 可视压铸件的形状、大小、传热量的多少选取, 一般取 6~12 mm。直径过大的冷却通道易使模具激冷而产生龟裂。冷却通道与型腔壁间距 s

一般取通道直径的 1.5~2 倍，即 20~25mm，过大传热效果差，过小易产生穿透性裂纹。当压铸件壁厚较大时， s 可取小些。 s 减小一半，传走的热量增加 50%。冷却介质多用水、油或低压压缩空气。由于水冷效率高且比较经济，一般采用水冷。

冷却系统传走的热量与通道的表面积和平均传热系数的关系可用下式表示：

$$Q_3 = Q - Q_1 - Q_2 = \Sigma A\varphi \quad (4-11)$$

式中 A ——每个冷却通道的表面积 (m^2)；

φ ——冷却通道壁的面积热流量 [$kJ/(m^2 \cdot h)$]；

面积热流量 φ 可根据型腔投影长度 l 、单通道入口至出口长度 L 及 s 与 d 之间的关系由表 4-9 确定。

表 4-9 冷却通道壁面积热流量

s 与 d 关系	$\varphi/[kJ/(m^2 \cdot h)]$	
	$l < L/2$	$l > L/2$
$s < 2d$	125.6×10^4	146.5×10^4
$2d < s < 3d$	104.7×10^4	125.6×10^4
$s > 3d$	83.7×10^4	104.7×10^4

注：对于冷却通道为内外管道时， $\varphi = 167 \times 10^4 kJ/(m^2 \cdot h)$ 。

冷却通道的总表面积与模具结构、型腔分布、通道直径和个数有关，即

$$\Sigma A = Q_3/\varphi = n\pi dl \text{ 或 } n = \Sigma A/(\pi dl) \quad (4-12)$$

式中 n ——冷却通道个数；

l ——单通道有效工作长度，即型腔的投影长度 (m)；

d ——预先确定的通道直径 (m)。

当动、定模分别设置冷却通道时，一般被金属液所包容的动模分配 Q_3 的份额应多些，即冷却通道的表面积应大些。

例：已知铝合金 (YL102) 箱形压铸件，平均壁厚为 4mm，质量为 2.8kg，每次压铸浇入铝合金实际质量 3.6kg，预定压铸生产率 N 为 45 次/h，压铸模的总表面积 $A = 2.4 m^2$ ，设计冷却通道。

①熔融金属每小时传给模具的热量

$$Q = qNm = 887.6 \times 45 \times 3.6 kJ/h = 143791 kJ/h$$

②模具表面每小时传走的热量

$$Q_1 = \varphi A = 6280.2 \times 2.4 kJ/h = 15072.5 kJ/h$$

③特定部位每小时传走的热量：设动模正对压室部位的冷却通道直径为 1.2cm，长度为 22cm，表面积为 $83 cm^2$ ；浇口套冷却环内径为 10cm，长度为 5cm，表面积为 $157 cm^2$ ；压射冲头冷却通道传走的热量测定为 $8374 kJ/h$ ；压铸机定模安

装板冷却通道传走的热量测定为 12560kJ/h。则

$$\begin{aligned} Q_2 &= (0.0083 \times 251.2 \times 10^4 + 0.0157 \times 209.3 \times 10^4 + 8374 + 12560) \text{ kJ/h} \\ &= 74644 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

④设计动、定模上的冷却通道

冷却通道应传走的热量 $Q_3 = Q - Q_1 - Q_2 = 54075 \text{ kJ/h}$

设动模传走 $2/3$ 的热量，即 36050kJ/h；

则定模传走 $1/3$ 的热量，即 18025kJ/h。

a. 动模上的冷却通道采用内外管道式，由模具结构可设计 6 个通道，单通道的有效长度为 0.1m，则

$$\begin{aligned} \Sigma A &= 2Q_3/3\varphi \approx 0.0216 \text{ m}^2 \\ d &= \Sigma A/(n\pi l) \approx 0.0115 \text{ m} = 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

设壁间距 $s > 2d$ ，取 25mm。

b. 定模上的冷却通道：设 $l/L < 2$ ， $s/d > 3$ ，取 s 为 20mm，通道直径为 6mm，单通道有效长度为 320mm。则 $\Sigma A = Q_3/3\varphi = 0.0215 \text{ m}^2$ 。

通道总有效长度 $l_0 = \Sigma A/(\pi d) = 1.14 \text{ m}$

通道个数 $n = l_0/l = 1.14 \text{ m}/0.32 \text{ m} = 3.56$ 个，可设置 4 个冷却通道。

4.4 时间

压铸生产时，要求金属液尽快充填压铸模腔。充模太慢，在型腔充满前合金即开始冷却凝固，使压铸件产生各种缺陷；充模太快，压铸件内气体增多，孔隙率增大。提高压射比压虽可提高压铸件的致密度，但压射比压过高时会使模具型腔受到金属液的强烈冲击，增加粘模的可能性，降低模具寿命。

时间不是一个独立因素，它与压射比压、内浇口速度、内浇口截面积等因素均密切相关。

1. 填充时间和增压建压时间

(1) 填充时间 金属液自开始进入型腔到填满所需的时间称为填充时间。填充时间取决于压铸件的体积和复杂程度，体积大而形状简单的，填充时间应长，体积小而形状复杂的，填充时间应短。如只要求压铸件表面粗糙度值低，则应快速填充，如只要求卷入压铸件内的气体少，则应慢速填充。不论合金的种类和压铸件的形状如何，填充时间都很短。

当压铸件体积确定后，填充时间与内浇口速度和内浇口截面积之乘积成反比。当用高的速度时，有可能因内浇口截面积很小而需要较长的填充时间。反之，当内浇口截面积较大时，即使用较低的速度，也能缩短填充时间。因此，不能孤立地说内浇口速度越大，其所需的填充时间越短。

选择内浇口截面积时，其厚度的选取必须合适。如果内浇口截面积较大但很薄，由于压铸时金属呈稠粘的“粥状”，粘度很大，因而通过薄的内浇口时的阻力很大，则将会延长填充时间。

过薄的内浇口不仅会使充填时间延长，而且会使压力头过多地损失而转变成热能，引起内浇口处局部过热，并可能造成粘模。

填充时间与压铸件平均壁厚及内浇口速度的关系见表 4-6。

填充时间对压铸件质量的影响见图 4-7。

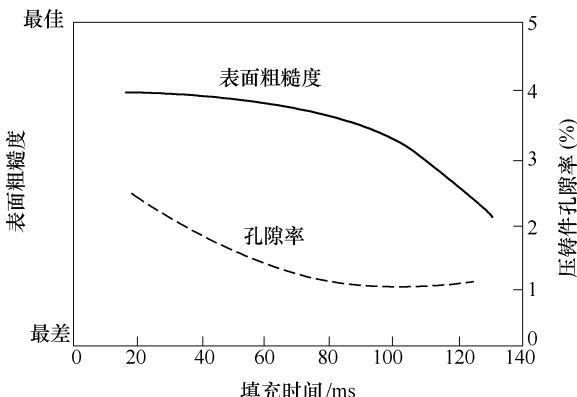


图 4-7 填充时间对典型铝压铸件表面粗糙度和气孔率的影响

(2) 增压建压时间 增压建压时间是指金属液在充模的增压阶段，从充满型腔的瞬时开始，至达到预定增压压力所需的时间，也即压射比压上升到增压比压所需的时间。从压铸工艺的角度来讲，所需的增压建压时间越短越好，但目前由于压铸机性能的限制，最短也需 $0.01 \sim 0.03$ s。

增压建压时间取决于型腔中金属液的凝固时间。凝固时间长的合金，增压建压时间可适当延长，但必须在内浇口凝固之前达到增压比压，否则合金已经凝固，压力无法传递，失去增压压实用作用。因此，压铸机增压装置上增压建压时间的可调性是十分重要的。

2. 持压时间和留模时间

(1) 持压时间 金属液充满型腔到凝固之前，增压比压持续的时间称为持压时间。持压时间的作用是使压射冲头有足够的将压力传给未凝固的金属，使之在压力下结晶，以便获得组织致密的压铸件。

持压时间的长短取决于压铸件的材料和壁厚。对于熔点高、结晶温度范围大的厚壁压铸件，持压时间应长些；而对熔点低、结晶温度范围小的薄壁压铸件，持压时间可以短些。一般填充终了至完全凝固的时间很短，因此压射冲头持压时间仅需 $1 \sim 2$ s，对于结晶温度范围大和壁较厚的压铸件，持压时间应取得长些，如壁厚为

2. 5~6mm 铜合金压铸件的持压时间应为 5~10s。

有时压铸件在去除浇口后常常发现连接处有孔穴，这并不完全是由于内浇口位置设置不当而形成的气孔，而往往是由持压时间不够，使未完全凝固的金属液回抽而形成的缩孔。这种现象对于壁厚而结晶范围大的压铸件特别严重。此外，如果持压时间不够，过早开模，则由于余料尚未凝固完毕，裹在余料中的气体因压力过大有可能发生爆炸。

生产中常用的持压时间见表 4-10。

表 4-10 生产中常用持压时间

(单位：s)

压铸合金	铸件壁厚 < 2.5mm	铸件壁厚 2.5~6mm
锌合金	1~2	3~7
铝合金	1~2	3~8
镁合金	1~2	3~8
铜合金	2~3	5~10

(2) 留模时间 留模时间指持压时间终了到开模推出压铸件的时间，以推出压铸件不变形、不开裂的最短时间为宜。一般合金收缩率大、强度高、压铸件壁薄、模具热容量大、散热快，留模时间应短些，反之应长些。但留模时间过长会降低生产率，使脱模困难并由于合金的热脆性而引起裂纹。

各种合金常用的留模时间见表 4-11。

表 4-11 各种合金常用留模时间

(单位：s)

压铸合金	壁厚 < 3mm	壁厚 3~4mm	壁厚 > 5mm
锌合金	5~10	7~12	20~25
铝合金	7~12	10~15	25~30
镁合金	7~12	10~15	15~25
铜合金	8~15	15~20	20~30

综上所述，压铸工艺参数中压力、速度、温度及时间的选择应遵循以下原则：结构复杂的厚壁压铸件压射力要大；结构复杂的薄壁压铸件压射速度要快，浇注温度和模具温度要高；形状一般的厚壁压铸件持压时间和留模时间要长。

4.5 压室充满度

压室充满度指浇入压室的金属液量占压室容量的百分数，一般以 70%~80% 为宜。若充满度过小，则增加压室内的空气量，金属液包卷气体严重，使铸件气孔增加，还会使金属液激冷，模具热平衡难以控制。

模具热平衡和冲头压射行程都与金属液浇入量有关，所以每一压铸循环，浇入量必须准确或变化很小，尤其对卧式冷压室压铸机更为重要。

压室充满度计算公式为

$$\Phi = \frac{m_j}{m_s} \times 100\% = \frac{4m_j}{\pi d^2 l \rho} \times 100\% \quad (4-13)$$

式中 Φ ——压室充满度 (%)；

m_j ——浇入压室金属液质量 (g)；

m_s ——压室内完全充满金属液的质量 (g)；

d ——压室内径 (cm)；

l ——压室有效长度 (包括浇口套长度) (cm)；

ρ ——金属液密度 (g/cm^3)。

4.6 胀型力和锁模力

1. 胀型力

压铸过程中，在压射比压的作用下，金属液充填型腔时，给型腔壁和分型面一定的压力，称为胀型力。在压铸过程中的最后阶段即增压比压通过金属液传给压铸模时，胀型力最大，是为压铸件初选压铸机型号及支承板进行强度和刚度校核的重要参数。胀型力可根据分型面的面积初步预算

$$F_z = p_b A \quad (4-14)$$

式中 F_z ——模具分型面上的胀型力 (N)，当有活动镶块楔紧装置时，应计入侧面胀型力引起锁模方向的分力；

p_b ——压射比压 (MPa)，有增压机构的压铸机采用增压比压；

A ——压铸件、浇口和排溢系统在分型面上投影面积总和 (mm^2)。

2. 锁模力

锁模力是表示压铸机大小的最基本参数，其作用是克服压铸填充时的胀型力，使模具分型面不致张开，避免合金飞溅，保证铸件的尺寸精度。当压铸机的锁模力大于胀型力，则可视为该压铸机可以选用。

锁模力与胀型力的关系式为

$$F_s \geq \frac{F_z}{K} \quad (4-15)$$

式中 F_s ——压铸机的锁模力 (N)；

F_z ——压铸填充时，金属液对模具在锁模方向上的胀型力 (N)；

K ——安全系数 (小铸件为 0.85，中铸件为 0.90，大铸件为 0.95)。

4.7 压铸用涂料

压铸过程中对模具型腔、型芯表面、滑块、推出元件、压铸机的冲头和压室等所喷涂的润滑材料和稀释剂的混合物，通称为压铸涂料。

1. 涂料的作用和对压铸涂料的要求

涂料的作用是为压铸合金和模具之间提供有效的隔离保护层，避免金属液直接冲刷型腔和型芯表面，改善模具的工作条件；降低模具热导率，保持金属液的流动性，提高金属的成型性；高温时保持良好的润滑性能，减少压铸件与模具成型部分尤其是型芯之间的摩擦，便于推出、延长模具寿命，提高压铸件的表面质量；对铝合金还可防止粘模。

根据涂料的作用，要求压铸用涂料挥发点低，在100~150℃稀释剂能很快挥发；涂敷性好，涂一次能压铸8~10次，易粘模的压铸件涂一次能压铸2~3次；对压铸模和压铸件无腐蚀作用；性能稳定，高温时不分解出有害气体；配制工艺简单，来源丰富，价格便宜。

2. 涂料的种类和使用

使用涂料时应特别注意用量，不论是刷涂还是喷涂，要避免厚薄不均或者太厚。因此，当采用喷涂时，涂料浓度要加以控制。用毛刷刷涂时，在刷后应用压缩空气吹匀。喷涂或刷涂后，应待涂料中的稀释剂挥发后才能合模浇注；否则，会增加型腔或压室内气体，增加压铸件产生气孔的可能性，甚至由于这些气体而形成高的反压力，使成型困难。此外，喷涂涂料后，应特别注意压铸模排气道的清理，避免因被涂料堵塞而起不到排气作用。对于转折、凹角部位应避免涂料沉积，以免造成压铸件的轮廓不清晰。

压铸用涂料种类繁多，其中比较理想的配方和适用范围列于表4-12，供选用时参考。

表 4-12 压铸用涂料名称、配比及应用范围

序号	名 称	质量配比(%)	配 制 方 法	适 用 范 围
1	胶体石墨 (水剂、油剂)	— —	成品	用于铝合金防粘模 用于压射冲头、压室及有咬合部位
2	天然蜂蜡或石蜡	—	成品	用于各种压铸合金、型腔及浇口部位
3	DFY-1 型 水基涂料	—	成品 加水稀释、配比1:15，现 用稀释配比1:10	用于压射冲头及压室 用于型腔防粘模

(续)

序号	名称	质量配比(%)	配制方法	适用范围
4	DFY-1型脂基涂料	—	成品 手工刷涂不稀释	用于压射冲头和压室润滑
5	30#或40#锭子油	—	成品	用于压铸锌合金润滑
6	聚乙烯 煤油	3~5 97~95	将小块聚乙烯泡在煤油中， 加热至80℃，溶化而成	用于铝合金、镁合型部分
7	氧化锌 水玻璃 水	5 1.2 93.8	将水玻璃倒入60~70℃热 水中一起搅拌，然后倒入氧 化锌搅匀	用于大中型铝合金、锌合金 压铸件
8	硅橡胶 铝粉 汽油	3~5 1~3 余量	硅橡胶溶于汽油中，使用 时加入1%~3%铝粉	用于铝合金压铸件表面要求 光洁场合
9	黄血盐	—	成品	用于铜合金作清洗剂

注：刷涂要求均匀，防止过厚。刷涂后，应等涂料中的溶剂挥发后，再合模浇注。

选用涂料时应满足压铸件使用要求，如复杂结构压铸件应选用隔离和润滑作用好的涂料，装饰性压铸件应选用对表面质量影响小的涂料。

目前国内外普遍采用水基涂料。水基涂料脱模性好，压铸件表面光洁，致密度高，且无油基涂料燃烧时的烟雾，减少了环境污染。西欧各国普遍采用物化特性类似石墨的二氧化硅水基涂料，涂前用20~30倍的水进行稀释。前苏联采用含有乳化液、胶体石墨、羧甲基纤维素、磺烷油及一定浓度的氨水等多种配方的水基涂料。美国采用苯基甲基硅酮类乳化液，涂前用20~30倍的水进行稀释。国内使用水基涂料的主要成分是乳化型醋类化合物、白炭黑、乳化油、高分子化合物、甲基硅油、乙醇等，加水稀释成喷涂所需浓度。

第5章 压铸模设计

5.1 压铸模设计程序

当接到模具设计任务书时，一般应按如下的设计程序设计。

1. 研究、消化原始资料

- 1) 收集有关压铸件设计、压铸成型工艺、成型设备、模具制造知识、机械加工及特种加工工艺等资料，并加以整理、汇总、消化，以备在模具设计时借鉴应用。
- 2) 对压铸件蓝图进行充分的研讨和消化，了解压铸件的主要功能和相互的装配关系，以及如何保证使用部位和组装部位的精度和强度要求。
- 3) 了解和熟悉现场的实际状况，如模具制造的加工能力和技术水平以及现有设备的状况，以便在结合现场实际的基础上设计出立足本地、经济实用的压铸模。

2. 对压铸件进行工艺性分析

从压铸成型工艺的角度分析压铸件的结构状况。对压铸件的合金材料、形状结构特点、尺寸精度等技术要求进行分析。对那些不适合压铸工艺的因素或没有必要采用特殊模具结构和特殊工艺措施的结构形式，应在征得压铸件设计者同意后，在不影响其使用性能的前提下，对压铸件蓝图进行局部修改，以基本满足压铸成型工艺的需要和简化模具结构的目的。

对压铸件进行工艺性分析，一般应注意分析以下几个问题：

- 1) 合金种类及技术性能能否满足使用性能。
- 2) 压铸件的结构是否有利于金属液的填充。
- 3) 压铸件壁厚、壁的连接方式、肋等结构能否满足压铸工艺的要求。
- 4) 压铸成型能否达到尺寸精度、形位精度及压铸件表面的技术要求。
- 5) 有无侧抽芯的部位，有无改变结构避免侧抽芯的可能性。
- 6) 有无型芯交叉现象，怎样避免。
- 7) 压铸件的基准面是否有利于模具制造和后加工的定位需要。
- 8) 对小孔、深孔、螺纹等的压铸能否满足压铸工艺的要求。

3. 拟定模具总体设计的初步方案

理想的模具结构应能充分发挥压铸设备的能力，在稳定可靠的压铸条件下，使模具结构最大限度地满足压铸成型工艺要求和实现高效低耗的经济效益。

拟定模具结构方案，应先绘制装配草图，根据压铸件的结构特点，经过认真思考和比较，初步确定各部分的结构状况。

为达到直观效果，在绘制装配草图时，所有相互配合的结构及零件都应以局部剖视的形式在图中表现出来，以便于及时发现问题。

拟定模具结构的初步设计方案，可从以下几个方面入手。

(1) 确定模具分型面 按压铸件形状和结构特点，合理确定分型面是模具设计中的重要环节。分型面的选择在很大程度上影响模具结构的复杂程度。分型面往往是模具设计和制造的基准面。

1) 选择有利于模具加工的基准面。

2) 选择有利于压铸成型的基准面。

3) 确定型腔数量及布局形式，测算投影面积。

4) 确定压铸件的成型位置，分割定模和动模各自所包含的成型部分的分配状况，确定各成型零件的结构组合形式和固定方法。

5) 分析和比较动模和定模的成型零件受到压铸件包紧力的大小。为使开模时压铸件留在动模一侧，应调整分配状况，在一般情况下，应使动模上成型零件的包紧力大于在定模上的包紧力。

(2) 拟定浇注系统的总体布置方案 浇注系统的总体布局，应根据压铸件的结构特点、几何形状、型腔的排气条件等工艺因素，并结合所选用压铸机的形式，对直浇道、横浇道以及内浇口的位置、形式、尺寸、导流方向、排溢系统的设置等进行综合考虑，并初步确定方案。特别是内浇口的位置和形式，是决定金属液填充效果和压铸件质量的重要因素。

(3) 选择脱模方式 在一般情况下，压铸成型后，在分型时，压铸件留在动模一侧。为使压铸件在不损坏、不变形的状态下顺利脱模，应根据压铸件的结构特点，选择正确合理的脱模方式，并确定推出部位和复位杆的位置、尺寸。

对于复杂的压铸件，在一次推出动作后，不能完全脱模时，应采用二次或多次脱模机构，并确定分型次数和多次脱模的结构形式及动作顺序。这些结构形式都应在模具结构草图中反映出来。

(4) 压铸件侧凹凸部位的处置 压铸件的侧凹凸的部位应采用侧抽芯机构。设置侧抽芯机构应在经济实用的基础上选用。如果产品批量不大或试制样品，可选用简单的侧抽芯形式；如采用手动抽芯机构和活动型芯的模外抽芯机构，可在开模后再用人工脱芯。

当必须借用开模力或外力驱动的侧抽芯机构时，在计算抽芯力后，可选择适宜的侧抽芯机构并确定主要结构构件的尺寸。

(5) 确定主要零件的结构与尺寸 根据压铸合金的性能和压铸件的结构特点确定压射比压，并结合压铸件的投影面积和型腔深度，测算并确定：

- 1) 型腔的侧壁厚度。
 - 2) 支承板的厚度。
 - 3) 型腔侧壁厚和支承板厚度确定后，即可依次确定型腔板、动模板、动模座板、定模座板的厚度以及它们的相关尺寸。
 - 4) 确定模具导向形式、位置和主要尺寸。
 - 5) 确定压铸模的定位方式、安装位置和固定形式。
 - 6) 确定各结构件的连接和固定形式，将各种结构件组合成一体。
 - 7) 确定模具温度调节方式，布置冷却或加热管道的位置和尺寸。
- (6) 选择压铸机的规格和型号 模具与压铸机应配套使用。在一般情况下，应根据压铸件的正投影面积和体积等参数选定压铸机，同时要兼顾现场拥有的设备生产负荷的均衡性。必要时也可选用规格稍大的压铸机。

在选用压铸机时，应核算以下几个主要参数：

- 1) 根据所选定的压射比压和由正投影面积测算出的锁模力，并结合压铸件的体积和压铸机的压室直径，初步选定压铸机的规格和型号。
 - 2) 模具的闭合高度应在压射机可调节的闭合高度范围内。为满足这项要求，可通过调节垫块的高度来解决。
 - 3) 模具的脱模推出力和推出距离应在压铸机允许的范围内；压铸机动模座板的行程应满足在开模时能顺利取出压铸件所需要的距离。
 - 4) 模体外形尺寸应能从压铸机拉杆内尺寸的空间装入。
 - 5) 模具的定位尺寸应符合压铸机压室法兰偏心距离、直径和高度的要求。
- (7) 绘制模具装配草图 以上各部的确定，就可以绘制出模具的整体设计方案。绘制模具设计方案时，应注意以下几点。
- 1) 尽量采用1:1的实效比例绘制，以增强直观效果，容易发现问题。如果必须采取放大或缩小的比例，则应严格按比例画出。
 - 2) 绘制模具装配图的顺序是：先内后外，先上后下。即先从压铸件的成型部位开始，并围绕分型面、浇注系统等依次展开。
 - 3) 对所有相互配合、相互移动部位的形状、大小以及装配关系，应按一定比例，选择简捷合理的投影和剖视，明显地表现出来。
 - 4) 绘出模具的立体尺寸，再验证这些尺寸是否与所选用的压铸机匹配，并将长×宽×高尺寸在装配图上标出。
 - 5) 某些结构形式可能有几种设计方案，当对采用的某种形式把握不大时，可在设计时留有修改的余地，避免因无修改的空间而导致报废。
 - 6) 尽量选用通用件和标准件，如标准模架、推出元件、导向件及浇口套等，并标出它们的型号和规格。
 - 7) 初步测算模具造价是否超出预算范围。

4. 方案的讨论与论证

设计者在拟定了初步方案后，应广开言路，广泛征询压铸生产和模具制造工艺人员以及有实践经验的现场工作人员的意见，充分吸收改进建议，经过分析论证与权衡利弊，对设计方案加以补充和修正，以设计出结构合理、经济实用的压铸模。

5. 绘制主要零件工程图

模具装配草图在经过论证，并经过必要的修改后，首先应绘制主要零件的工程图。这是因为在绘制装配草图时是粗线条的，必然会有些考虑不周的地方，通过绘制主要零件图，可能将在组合时出现的矛盾显露出来。这样可随时对装配草图进行修正和充实。

主要零件包括各成型零件及主要模板，如动模板、定模板等。

在绘制零件工程图时，应注意的问题如下：

- 1) 图面尽量按1:1的比例画出，以便于发现问题。
- 2) 各视图的视角应选择合理、简练，并按正确的投影、剖视表现出来，防止繁琐和重复。
- 3) 计算并标注各部尺寸，选择并标注经济实用的几何公差、表面粗糙度以及热处理等各项技术要求。
- 4) 对相互配合或相对移动的结构件，应注意有无相互矛盾、相互干涉的现象，并设法纠正，在装配草图上校正过来。

6. 绘制模具装配图

主要零件的绘制过程也是对装配草图的自我检验和审定的过程，对发现和遗漏的问题，在装配草图的基础上加以修正和补充。

- 1) 按标准画法，认真、细致、整洁地将业已修正和补充的装配草图描绘清晰。
- 2) 对各个零件正式编号，并列出完整的零件明细表、技术要求和标题栏。
- 3) 在装配图上，应标注以下内容：
 - ①模体的外形立体尺寸以及模具的定位安装尺寸，必要时应强调说明模具的安装方向。
 - ②压铸件所选用的压铸合金种类和质量。
 - ③所选用压铸机的型号、压室的内径及喷嘴直径。
 - ④压射比压。
 - ⑤推出机构的推出行程。
 - ⑥冷却系统的进出口。
 - ⑦模具制造的技术要求。

7. 绘制其余全部自制零件的工程图

- 1) 将绘制完的主要零件工程图按制图规范补充完整，并填写零件序号。

2) 将未绘制的自制零件图全部补齐。

3) 全部自行校对，防止差错和遗漏。

8. 编写设计说明书

编写设计说明书包括以下内容：

1) 对压铸件结构特点的分析。

2) 浇注系统的设计。包括压铸件成型位置，分型面的选择，内浇口的位置、形式和导流方向，以及预测可能出现的压铸缺陷及处理方法。

3) 压铸件的成型条件和工艺参数。

4) 成型零部件的设计与计算。包括型腔、型芯的结构形式、尺寸计算；型腔侧壁厚度和支承板厚度的计算和强度校核。

5) 脱模机构的设计。包括脱模力的计算；推出机构、复位机构、侧抽芯机构的形式、结构、尺寸配合以及主要强度、刚度或稳定性的校核。

6) 模具温度调节系统的设计与计算。包括模具热平衡计算；模温调节系统的结构、位置和尺寸计算。

设计说明书要求文字简捷通顺，计算准确。计算部分只要求列出公式，代入数据，求出结果即可，运算过程可以省略。必要时要画出与设计计算有关的结构简图。

9. 审核

1) 图样的标准化审查。

2) 主管部门审核会签。

10. 现场跟踪

模具投产后，模具设计者应跟踪模具加工制造和试模的全过程，及时增补或更改设计的疏漏或不足之处，对现场出现的问题加以解决或变通。

11. 全面总结，积累经验

当压铸模制作和试模完成，并经过一定批量的连续生产后，应对压铸模设计、制作、试模过程进行全面的回顾，认真总结经验，以利提高。

1) 从设计到试模成功这一全过程都出现哪些问题，采用了什么措施加以修正和解决的？

2) 对那些取得良好效果的结构形式应予以肯定，进一步总结升华，有利于今后的应用。

3) 压铸模还存在哪些局部问题，比如压铸件质量、压铸效率等，还应做哪些改进？

4) 从设计构思到现场实践都走了哪些弯路？其根本原因是什么？

5) 从现场跟踪发现哪些结构件在加工工艺上还存在问题？今后应从积累实践经验入手，设计出最容易加工和装配的模具结构件。

5.2 压铸模设计的基本原则

设计金属压铸模的基本原则如下：

1) 模具设计时，应充分了解压铸件的主要用途和与其他结构件的装配关系，以便于分清主次，突出模具结构的重点，以获得符合技术要求和使用要求的压铸件。

2) 结合实际，了解现场模具实际的加工能力，如现有的设备和可协作单位的装备情况，以及操作人员的技术水平，设计出符合现场实际需要的模具结构形式。

对于较复杂的成型零件，应重点考虑符合实际的加工方法，是采用普通的加工方法，还是采用特殊的加工方法。当因加工设备所限，必须采用传统的加工方法时，应考虑怎样分拆、镶嵌才更易于加工、抛光，更能避免热处理的变形，以保证组装的尺寸精度。

3) 模具应适应压铸生产的各项工艺要求，选择符合压铸工艺要求的浇注系统，特别是内浇口的位置和导向，应使金属液流动平稳、顺畅，并有序地排出型腔内的气体，以达到良好的填充效果和避免压铸缺陷的产生。

4) 充分体现压铸成型的优越性能，尽量压铸成型出符合压铸工艺的结构，如孔、槽、侧凹、侧凸等部位，避免不必要的后加工。

5) 在保证压铸件质量稳定的前提下，压铸模应：

①结构先进合理，运行准确可靠。

②操作方便，安全快捷。

6) 设计的压铸模应在安全生产的前提下，有较高的压铸效率，实现充模快、开模快、脱模机构灵活可靠以及自动化程度高等特点。

7) 模具结构件应满足机械加工工艺和热处理工艺的要求。选材适当，尤其是各成型零件和其他与金属液直接接触的零件，应选用优质耐热钢，并进行淬硬处理，使其具有足够的抵抗热变形能力、疲劳强度和硬度等综合力学性能以及耐蚀性能。

8) 压铸模的设计和制造应符合压铸件所规定的形状和尺寸的各项技术要求，特别是保证高精度、高质量部位的技术要求。

9) 相对移动部位的配合精度，应考虑模具温度变化带来的影响。应选用适宜的移动公差，在模具温度较高的压铸环境下，仍能移动顺畅、灵活可靠地实现各移动功能。

10) 根据压铸件的结构特点、使用性能及模具加工的工艺性，合理选择模具的分型面、型腔数量和布局形式、压铸件的推出形式和侧向脱模形式。

11) 模具设计应在可行性的基础上，对经济性进行综合考虑。

①模具总体结构力求简单、实用，综合造价低廉。

②应选取经济、实用的尺寸配合精度。

③注意减少浇注余料的消耗量。

12) 设法提高模具的使用寿命。

提高压铸模的使用寿命是压铸技术的重要课题。

①模具结构件应耐磨耐用，特别是受力较大的部位或相对移动部位的结构件，应具有足够的强度和刚性，并进行必要的强度计算。

②重要的承载力较大的模体组合件应进行调质等热处理，并提出必要的技术要求。

③易损部位的结构件应易于局部更换，提高整体的使用寿命。

13) 设置必要的模温调节装置，达到压铸生产的模具热平衡，以提高压铸生产的效率。

14) 掌握压铸机的技术特性，充分发挥压铸机的技术功能和生产能力。模具安装应方便、可靠。

15) 设计时应留有充分的修模余地。

①某些结构形式可能有几种设计方案。当对拟采用的形式把握不大时，应在设计时，给改用其他的结构形式留出修正的空间，以免模具整体报废或出现工作量很大的修改。

②重要部位的成型零件的尺寸，应考虑到试模以后的尺寸修正余量，以弥补理论上难以避免的影响。

16) 模具设计应尽量采用标准化通用件，以缩短模具的制造周期。

17) 广泛听取各方面的意见，与模具制造和压铸生产的工艺人员商讨，吸收有益的建议，对模具结构加以充实和完善。

5.3 压铸模的结构形式及分类

1. 压铸模的基本结构

压铸模的基本结构形式如图 5-1 所示。归纳起来，压铸模由以下五个主要部分组成：

(1) 成型部分 在合模后，由动模镶块 14 和型腔镶块 20 形成一个构成压铸件形状的空腔，通常称为成型空腔 19。构成成型部分的零件即为成型零件。成型零件包括固定的和活动的镶块与型芯，如图 5-1 中的型腔镶块 20、动模镶块 14、主型芯 17、型芯 15、型芯 16 以及侧型芯 13 等。有时成型零件还构成浇注系统的一部分，如内浇口、横浇道、溢口和排气道等。

(2) 浇注系统 浇注系统是熔融金属由压铸机压室进入压铸模成型空腔的通道，如图 5-1 中的浇口套 24、浇道镶块 25 以及横浇道、内浇口、排溢系统等。

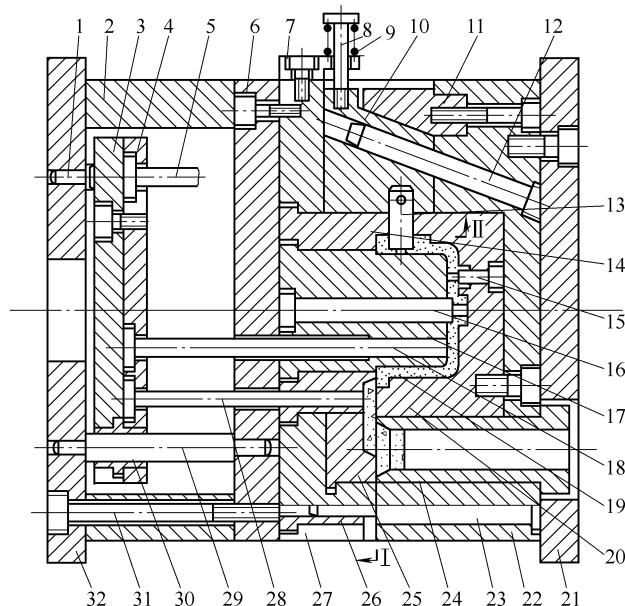


图 5-1 压铸模的基本结构形式

- 1—限位钉 2—垫块 3—推板 4—推杆固定板 5—复位杆 6—支承板 7—限位块
 8—拉杆 9—弹簧 10—侧滑块 11—楔紧块 12—斜销 13—侧型芯 14—动模镶块
 15、16—型芯 17—主型芯 18—推杆 19—成型空腔 20—型腔镶块 21—定模座板
 22—定模板 23—导柱 24—浇口套 25—浇道镶块 26—导套 27—动模板
 28—浇道推杆 29—推板导柱 30—推板导套 31—内六角螺钉 32—动模座板

由于成型零件和浇注系统的零件均与高温的金属液直接接触，所以它们应选用经过热处理的耐热钢制造。

(3) 模体结构 各种模板、座架等构架零件按一定程序和位置加以组合和固定，将模具的各个结构件组成一个模具整体，并能够安装到压铸机上，如图 5-1 中的垫块 2、支承板 6、动模板 27、定模板 22、定模座板 21 和动模座板 32 等。

导柱 23 和导套 26 是导向零件。它们的作用是引导动模板与定模板在开模和合模时能沿导滑方向移动，并准确定位。

(4) 推出机构 将压铸件或浇注余料从模具上脱出的机构，包括推出零件和复位零件，如图 5-1 中的推杆 18、浇道推杆 28、复位杆 5 以及固定它们的推杆固定板 4 和推板 3。同时，为使顶出机构在移动时平稳可靠，往往还设置自身的导向零件推板导柱 29 和推板导套 30。为便于清理杂物或防止杂物影响推板的正确复位，还在推板底部设置限位钉 1。

(5) 侧抽芯机构 当压铸件侧面有侧凹或侧凸结构时，则需要设置侧抽芯机构，如图 5-1 中的斜销 12、侧型芯 13、侧滑座 10 以及楔紧块 11、限位块 7、拉杆 8、弹簧 9 等。

(6) 其他 除以上各结构单元外，模具内还有其他用于固定各相关零件的内六角螺栓 31 以及销钉等。

另外，为了保持模具温度的热平衡，以适应压铸工艺的需要，模具内还设有温度调节装置。设置合理的模温调节系统，对实现科学控制压铸工艺参数、确保压铸件质量是非常重要的。

压铸模在循环工作时，有以下几个基本动作：

1) 合模。在压铸机合模装置的驱动下，压铸模合模，模具的成型零件形成相对密封的成型空腔 19。

2) 压铸填充。熔融的金属液注入压铸机压室，并在压射压力的作用下，压射冲头将金属液经直浇道、横浇道、内浇口，以一定的速度和压力填充型腔。

3) 在补缩压力作用下压实金属液，并逐渐冷却固化。

4) 从主分型面 I 处分型，这时有几个动作同时进行：

①压铸件脱离型腔镶块 20。

②在斜销 12 的作用下，驱动侧滑块 10 与侧型芯 13 从垂直分型面 II 处分型，并逐渐脱离压铸件。

③压铸机压射冲头将直浇道余料推出。

5) 在压铸机推出装置的驱动下，推板 3 带动推杆 18 及浇道推杆 28，将压铸件和浇注余料脱离模体落下。

6) 循环合模。清理杂物和涂脱模剂后合模，并在合模力的作用下，复位杆 5 带动推出机构同步复位。

2. 压铸模的分类

根据所使用压铸机类型的不同，压铸模的结构形式也略有不同。大体上可分为以下几种形式：

(1) 热压室压铸机用压铸模 热压室压铸机用压铸模的基本结构如图 5-2 所示。扇形推杆、推杆、推杆固定板、推板、推板导柱、推板导套和复位杆等组成推出机构。

(2) 立式冷压室压铸机用压铸模 立式冷压室压铸机用压铸模的基本结构如图 5-3 所示。传动齿条、齿轴、齿条滑块、销、止转块和活动型芯组成齿轮齿条抽芯机构。

(3) 卧式冷压室压铸机用压铸模（偏心浇口） 偏心浇口压铸模的基本结构如图 5-4 所示。斜销、滑块、活动型芯、楔紧块、限位块和弹簧等组成斜销抽芯机构。

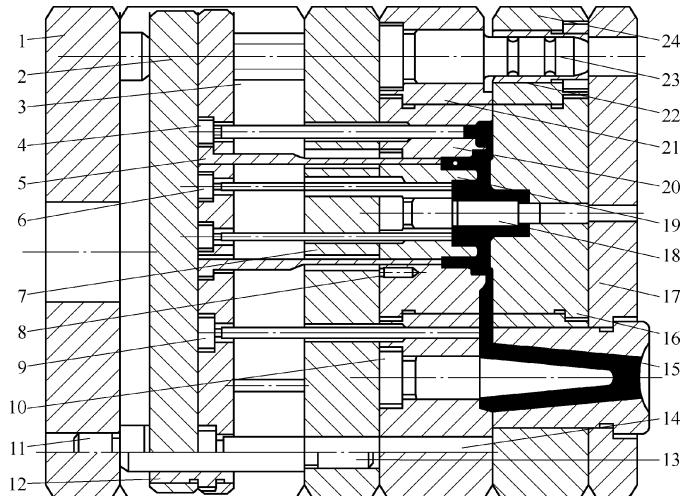


图 5-2 热压室压铸机用压铸模的基本结构

1—动模座板 2—推板 3—推板固定板 4、6、9—推杆 5—扇形推杆 7—支承板 8—止转销
 10—分流锥 11—限位钉 12—推板导套 13—推板导柱 14—复位杆 15—浇口套 16—定模镶块
 17—定模座板 18—型芯 19、20—动模镶块 21—动模套板 22—导套 23—导柱 24—定模套板

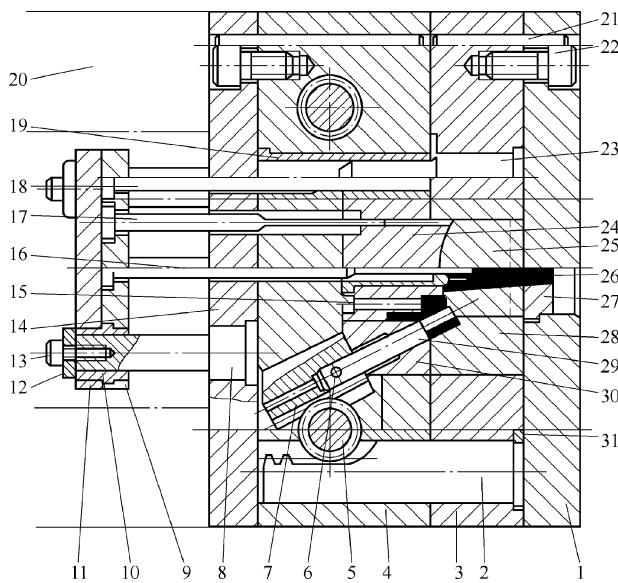


图 5-3 立式冷压室压铸机用压铸模的基本结构

1—定模座板 2—传动齿条 3—定模套板 4—动模套板 5—齿轴 6、21—销 7—齿条滑块
 8—推板导柱 9—推杆固定板 10—推板导套 11—推板 12—限位垫圈 13、22—螺钉 14—支承板
 15—型芯 16—中心推杆 17—成型推杆 18—复位杆 19—导套 20—通用模座 23—导柱
 24、30—动模镶块 25、28—定模镶块 26—分流锥 27—浇口套 29—活动型芯 31—止转块

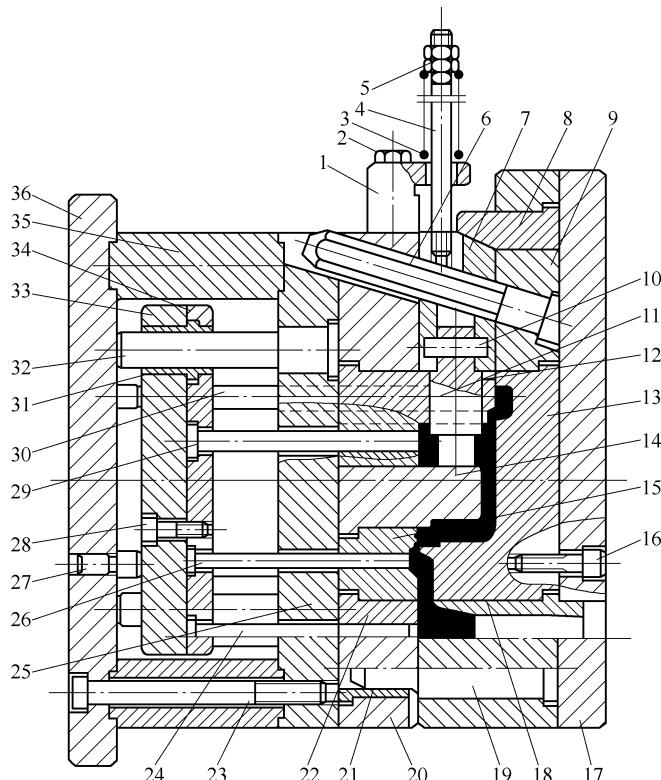


图 5.4 偏心浇口压铸模的基本结构

- 1—限位块 2—六角螺钉 3—弹簧 4—螺栓 5—螺母 6—斜销 7—滑块 8—楔紧块
 9—定模套板 10—销 11—活动型芯 12、15—动模镶块 13—定模镶块 14—型芯
 16、23、28—螺钉 17—定模座板 18—浇口套 19—导柱 20—动模套板 21—导套
 22—浇道镶块 24、26、29—推杆 25—支承板 27—限位钉 30—复位杆 31—推板导套
 32—推板导柱 33—推板 34—推杆固定板 35—垫块 36—动模座板

(4) 卧式冷压室压铸机用压铸模(中心浇口) 卧式中心浇口压铸模的基本结构如图 5-5 所示。开模时,由压射冲头推进,将螺旋槽浇口套内的余料按螺旋线方向旋出,在直浇口处扭断。

(5) 全立式压铸机用压铸模 全立式压铸机用压铸模的基本结构如图 5-6 所示。

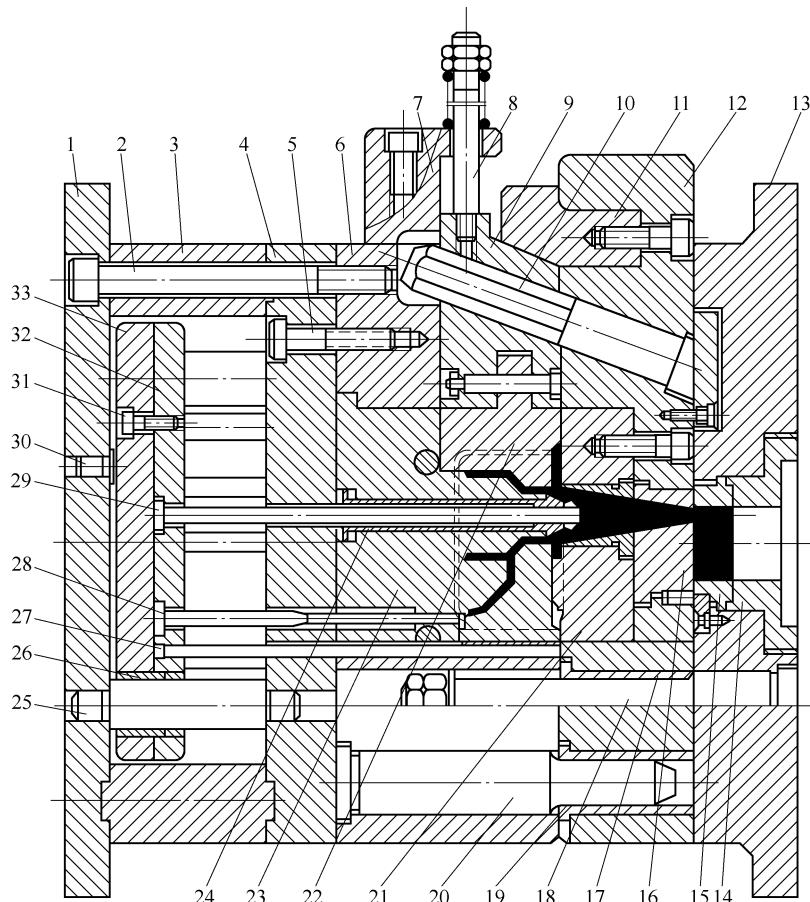


图 5-5 卧式中心浇口压铸模的基本结构

- 1—动模座板 2、5、31—螺钉 3—垫板 4—支承板 6—动模套板 7—限位块
 8—螺栓 9—滑块 10—斜销 11—楔紧块 12—定模活动套板 13—定模座板
 14—浇口套 15—螺旋槽浇口套 16—浇道镶块 17、19—导套 18—定模导柱
 20—动模导柱 21—定模镶块 22—活动镶块 23—动模镶块 24—分流锥
 25—推板导柱 26—推板导套 27—复位杆 28—推杆 29—中心推杆
 30—限位钉 32—推杆固定板 33—推板

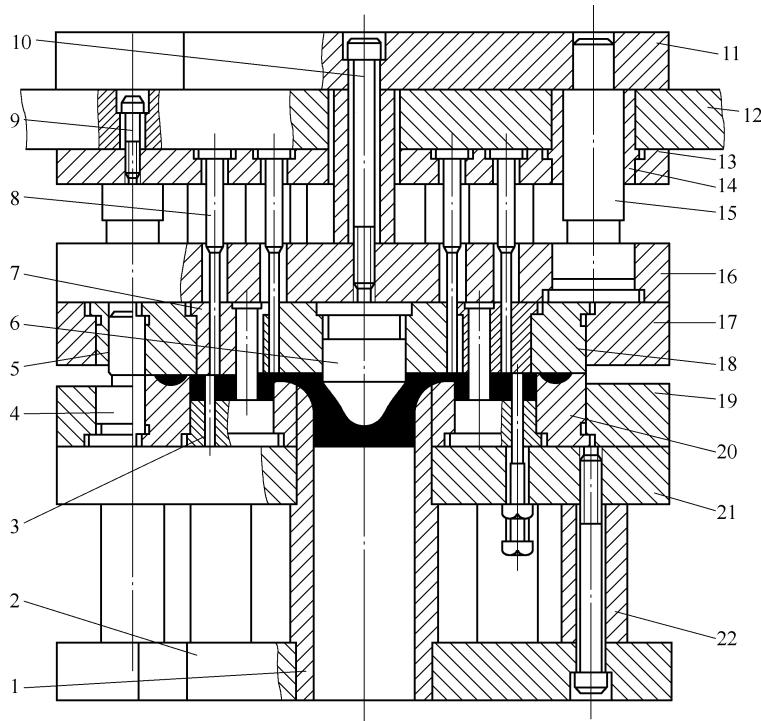


图 5-6 全立式压铸机用压铸模的基本结构

1—压室 2—座板 3—型芯 4—导柱 5—导套 6—分流锥 7、18—动模镶块 8—推杆
9、10—螺钉 11—动模座板 12—推板 13—推杆固定板 14—推板导套 15—推板导柱
16—支承板 17—动模套板 19—定模套板 20—定模镶块 21—定模座板 22—支承柱

5.4 分型面设计

定模部分和动模部分的接触表面称为分型面。

1. 分型面的作用和类型

分型面虽然不是压铸模一个完整的结构组成，但它与压铸件的形状和尺寸、压铸件在压铸模中的位置和方向密切相关，因此，分型面设计是压铸模设计中的一项重要内容。分型面确定后，将对整个压铸模结构、压铸件质量产生很大的影响。

对于一个压铸件来说，分型面的位置可以有多种选择，如图 5-7 所示的零件，至少就有几种分型的方案。因此，确定分型面时应考虑下列有关问题：

- 1) 考虑压铸件的技术要求，如从分型面算起的或被分型面截过互相关联的尺寸精度、脱模斜度大小和方向对相关尺寸精度的影响。

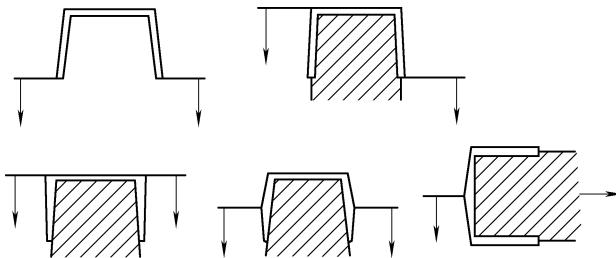


图 5-7 几种分型的方案

- 2) 考虑压铸件几何形状和金属液的流动形态，分型面应有利于合理布置内浇口的位置和浇注系统以及排溢系统的位置。
- 3) 考虑如何简化压铸模的基本结构，确定定模和动模各自所包含的成型部分的配置。
- 4) 考虑压铸件在模具内的方位和取出压铸件的方案，确认压铸机规格和工艺条件。
- 5) 考虑压铸模机械加工工艺性，尽量延长压铸模的使用寿命。
- 6) 考虑压铸件的生产批量和生产操作。

分型面的设置是压铸模设计工作的第一个程序。这就要求人们在设计压铸件和绘制压铸件毛坯图时，应该考虑到为设置最适宜的分型面提供有利条件，只有这样，才有可能得出较为理想的分型面。

分型面的类型较多，一般分型面是与压铸机开模方向相垂直的平面，称之为平直分型面；也有将分型面作成倾斜的平面、阶梯弯折面、曲面，分别称之为倾斜分型面、阶梯分型面和曲面分型面；少数的分型面与压铸机开模方向平行的称之为垂直分型面。

压铸模通常只有一个分型面，称为单分型面；但对于有些压铸件，由于结构的特殊性，以及为了使模具更好地适应压铸生产的工艺要求，往往需要再增设一个或两个辅助分型面，称为多分型面。多分型面可以由各种单分型面组合合成。

2. 分型面的选择

同一压铸件，因为分型面位置选择得不同，就可以设计出不同结构的压铸模，只有结构比较简单的压铸模才能算得上经济合理。分型面不同则金属液流动方向也不一样，这就会影响填充条件及其他一系列工艺条件，因此只有分型面选择得正确，才能设计出优良的压铸模。

下面举一个简单的例子来说明分型面的选择对压铸件和压铸模的影响。图 5-8 所示压铸件分型的方法较多，现就下面四种分型加以说明：

- (1) 第一种分型法（图 5-9） 构成压铸件形状的型腔被分型面截开，分别处

于定模和动模内，压铸件圆柱表面的完整性难以控制。同时还必须设置抽芯机构，抽芯之后才能取出压铸件，这使得压铸模结构复杂。

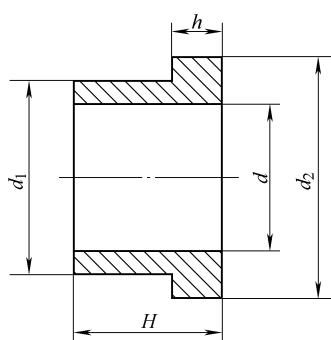


图 5-8 压铸件

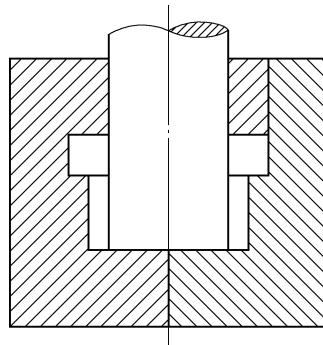


图 5-9 第一种分型法

(2) 第二种分型法 (图 5-10) 构成压铸件形状的型腔也被分型面截开，分别处于定模和动模内。压铸件的尺寸 d 与 d_2 能达到同轴，但是，它们与 d_1 的同轴度不易保证；如果同轴度要求高，这种分型法不合适。这种分型法还有一个缺点，就是压铸件的尺寸 H 和 h 精度偏低。

(3) 第三种分型法 (图 5-11) 构成压铸件形状的型腔全部在定模内，压铸件的尺寸 d_1 与 d_2 能达到同轴。但尺寸 d 在动模型芯上形成，与 d_1 和 d_2 不易保证同轴。如果压铸件的孔与外圆同轴度要求高时，就不能采用这种方法。但采用这种分型法的优点是尺寸 h 与 H 的基准都在分型面上，且尺寸 H 不受 h 的影响。

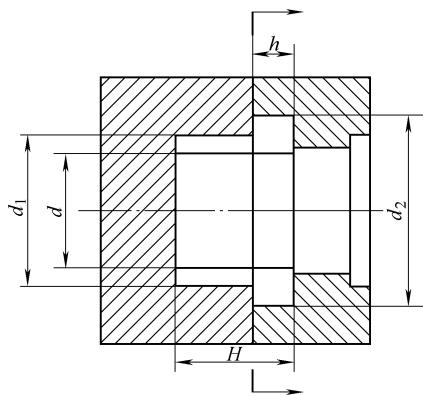


图 5-10 第二种分型法

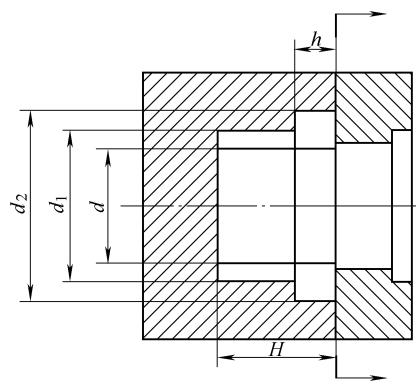


图 5-11 第三种分型法

(4) 第四种分型法 (图 5-12) 构成压铸件形状的型腔全部在动模内，这种分型法集中了前面三种分型的优点，克服了它们的缺点，三个尺寸 d 、 d_1 和 d_2 都能

达到同轴，又能使 h 和 H 都从分型面开始，尺寸精度较高。若压铸件的 d 、 d_1 和 d_2 的同轴度要求高，第四种分型方案是值得推荐的，但其压铸件脱模机构较为复杂。若模具制造能保证压铸件 d 与 d_1 和 d_2 的同轴度要求，采用第三种分型方案同样也是可行的。

所举的例子很简单，说明分型面的选择方法对模具结构和压铸件尺寸精度是有影响的，当然并不是所有的成型部分都在定模或动模内，就能获得优质压铸件。分型面的选择应根据具体情况而定，并且通常分型面的选择主要是通过浇注系统的合理安排而确定的。选择分型面的具体原则如下：

1) 分型面尽可能地使压铸件在开模后留在动模部分，以便于脱模。故在压铸模设计时要做到压铸件对动模上型芯的包紧力大于对定模的包紧力。如图 5-13 所示，利用压铸件对动模型芯 B 的包紧力略大于对定模型芯 A 的包紧力，再加上中间小型芯及四角小型芯都是动模型芯，压铸件可有 I—I 和 II—II 两个分型面供选择，考虑到压铸机和生产操作等因素有可能增加定模脱模阻力，采用 II—II 分型面较能保证压铸件随动模移动而脱出定模。

2) 分型面应适应合理的浇注系统的布置，有利于内浇道的位置和方向的安排，使金属液进入型腔顺畅，有良好的填充环境。如图 5-14 所示，压铸件适合于设置环形或半环形浇口和浇注系统，I—I 分型面比 II—II 分型面更能满足压铸件的压铸工艺要求。

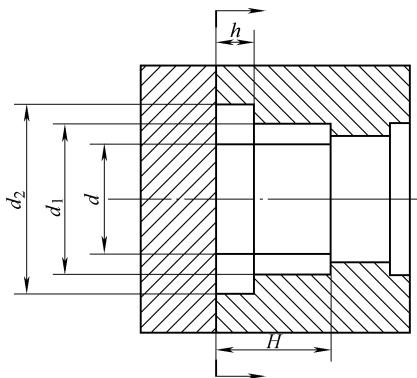


图 5-12 第四种分型法

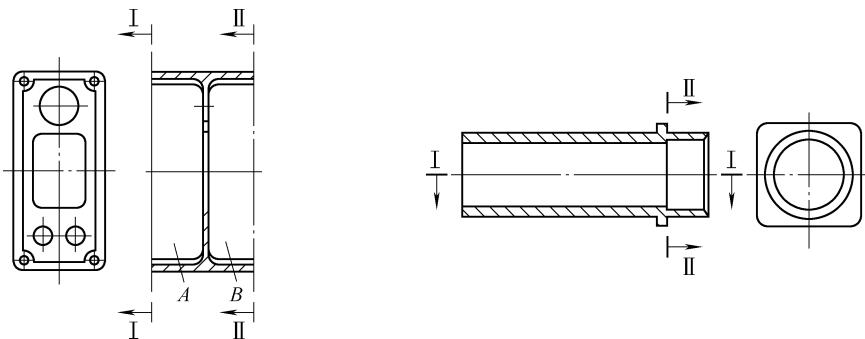


图 5-13 压铸件对动模型芯的包紧力大于对定模的包紧力

图 5-14 分型面应满足铸造工艺要求

3) 分型面应使压铸模型腔有良好的溢流排气条件, 使先进入型腔的冷金属和型腔内气体进入排溢系统排出。如图 5-15 所示, I—I 分型面比 II—II 分型面有利于溢流槽和排气槽的布置。

4) 分型面应开设在压铸件断面轮廓最大的地方, 使压铸件能顺利地从模具中脱出。

5) 尽可能选用平直分型面, 避免用阶梯、曲面、倾斜或垂直分型面。

6) 分型面应避免与压铸件基准面相重合, 尺寸精度要求较高的部位和对同轴度要求高的外形或内孔, 应尽可能设在同一半模内。如图 5-16 所示, A 为压铸件基准面, 应选 I—I 作为分型面, 这样即使分型面上有毛刺飞边也不会影响基准面的精度。

7) 应考虑型腔的构成方案, 以尽量简化模具结构为宜。如图 5-17 所示, 压铸模若采用 I—I 分型面, 需要两个侧向抽芯机构, 而采用 II—II 分型面不必设置侧向抽芯机构, 模具结构简单。

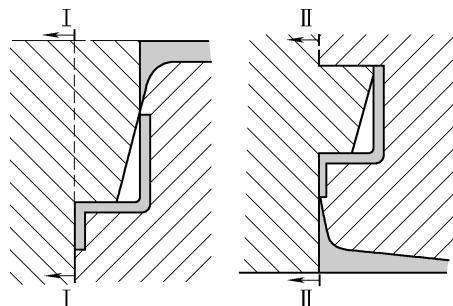


图 5-15 分型面应有利于排溢系统设置

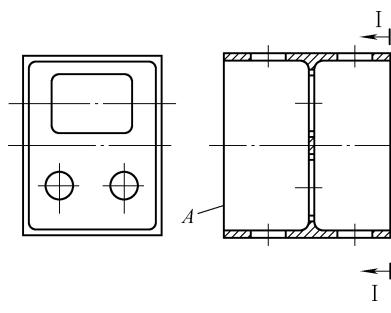


图 5-16 分型面应不与基准面重合

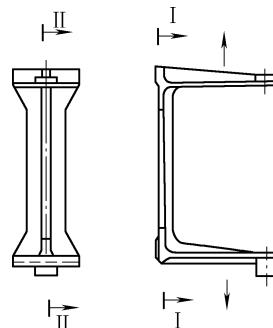


图 5-17 尽量减少侧抽芯机构和活动部分

8) 分型面应考虑型腔在动模和定模内的深度, 过深的型腔不但不利于金属液填充、排气以及上涂料, 同时会增加模具的厚度和质量。图 5-18 所示压铸件的两组尺寸中, 尺寸为 $160\text{mm} \times 160\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的压铸件的分型面应当取 A 为好, 而尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的压铸件的分型面应当取 B 为好。

9) 选择低于压铸机锁模力的压铸件投影面积为分型面。

10) 活动侧抽芯机构应尽可能设置在动模内, 避免使用定模抽芯结构 (图 5-19)。

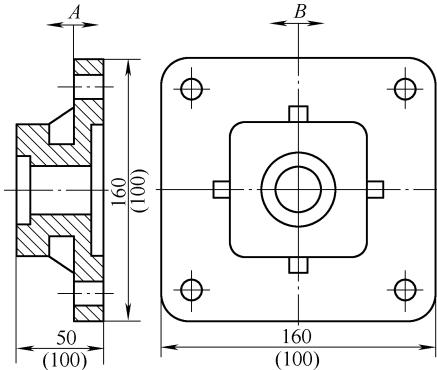


图 5-18 两组不同尺寸的压铸件

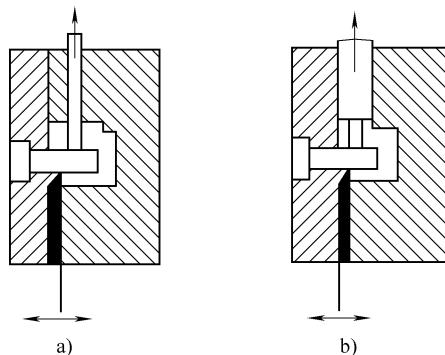


图 5-19 不同抽芯结构

a) 不合理 b) 合理

11) 应考虑金属液的流程，尤其对粘度大的合金流程不应过长。图 5-20 所示细长管状压铸件，因材料不同，分型面位置也应相应变化，I—I 分型面适用于锌合金，II—II 分型面则适用于铝合金或铜合金。

12) 分型面应当考虑到压铸件美观和容易去除飞边，尽可能避免在平直面的中间或无法抛光处设置分型面。图 5-21 所示零件，若外表面不允许留有脱模斜度，为减少机构加工量应选 II—II 分型面；若外周不允许有分型面痕迹，则应选择 I—I 作为分型面。

上述这些原则对分型面的选择无疑是重要的，但实际工作中，要全面满足上述原则是不太可能的，顾此失彼是常见的现象，此时就应在保证满足最重要的原则的前提下，尽量照顾到其他原则。如能与压铸件设计人员密切磋商并配合压铸件设计选择分型面，那将是再好不过的。

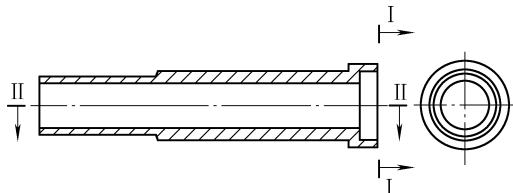


图 5-20 分型面与不同的合金

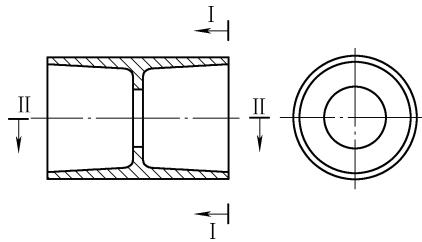


图 5-21 考虑压铸件外观要求

5.5 浇注系统设计

金属压铸模浇注系统是将压铸机压室内熔融的金属液在高温、高压、高速状态

下，填充入压铸模型腔的通道。它包括直浇道、横浇道、内浇口以及溢流排气系统等。它们在引导金属液填充型腔过程中，对金属液的流动状态、速度和压力的传递、排气效果以及压铸模的热平衡状态等各方面都起着重要的控制和调节作用，因此，浇注系统是决定压铸件表面质量以及内部显微组织的重要因素。同时，浇注系统对压铸生产的效率和模具的寿命也有直接影响。

浇注系统的设计是压铸模设计的重要环节。它既要从理论上对压铸件的结构特点进行压铸工艺的分析，又要有关实践积累经验的应用。因此，浇注系统的设计必须采取理论与实践相结合的方法。

5.5.1 浇注系统的基本结构

1. 浇注系统的组成

根据压铸机的形式和引入金属液的方式不同，压铸模浇注系统的组成形式也有所不同，大体分热压室、立式冷压室、全立式冷压室和卧式冷压室几种。各种压铸机上所用的压铸模浇注系统的组成如图 5-22 所示。

图 5-22a 为热压室压铸模的

浇注系统，由直浇道、内浇口、横浇道、分流锥和溢流槽（图内未画出）组成。由于压室放置在坩埚内，在压射完毕后，压射冲头的上移，在压室内形成负压，将未注入的金属液吸回鹅颈通道，产生的浇注余料较少。

图 5-22b 是立式冷压室压铸模的浇注系统，它与图 5-22a 有些类似，只是有料饼产生。

图 5-22c 是全立式冷压室压铸模的浇注系统。由于它是从下面进料，料饼出现在浇注系统的下部，分流锥则在上部。

图 5-22d 是卧式冷压室压铸模的浇注系统。这是实践中最常用的一种形式。它由直浇道、横浇道、内浇口和溢流槽、排气道组成。

2. 浇注系统设计的主要内容

- 1) 根据压铸件的外形尺寸、质（重）量和在分型面上的正投影面积，并根据

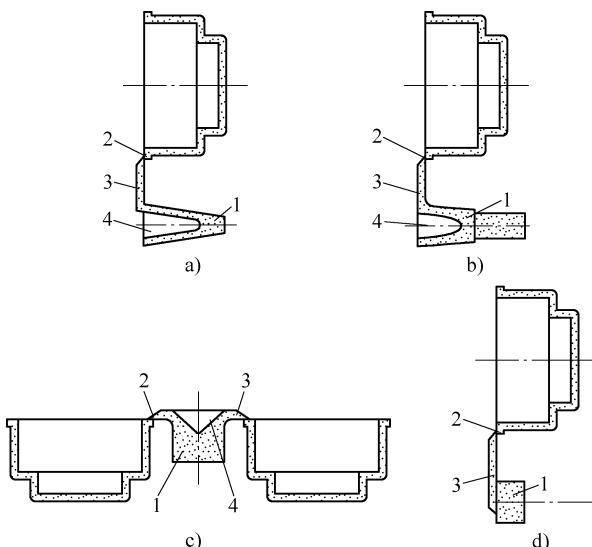


图 5-22 浇注系统的组成

1—直浇道 2—内浇口 3—横浇道 4—分流锥

现场设备的实际情况，选定所采用的压铸机的种类、型号以及压室直径等。当选用立式冷压室压铸机或热压室压铸机时，还要选用适当的喷嘴，使喷嘴形状与浇注系统相适应。

- 2) 对压铸件的尺寸精度、表面和内部质量的要求，承受负荷状况、耐压、密封要求等进行综合分析，确定金属液进入型腔的位置、方向和流动状态。
- 3) 对压铸件的复杂程度、结构特点以及加工基准面进行分析，结合分型面的选择，确定浇注系统的总体结构和各组成部分的主要尺寸。
- 4) 分析金属液的流动状况，确定溢流槽和排气道的位置。
- 5) 根据金属液的流动对模具温度的影响，确定合适的模温调节措施。

5.5.2 内浇口设计

内浇口是引导熔融的金属液以一定的速度、压力和时间填充成型型腔的通道。它的重要作用是形成良好地填充压铸型腔所需要的最佳流动状态。因此，设计内浇口时，主要是确定内浇口的位置和方向以及内浇口的截面尺寸，预计金属液在填充过程中的流态，并分析可能出现的死角区或裹气部位，从而在适当部位设置有效的溢流槽和排气槽。

1. 内浇口的基本类型及其应用

根据压铸件的外形和结构特点以及金属液填充流向的需要，将内浇口的基本类型归纳为以下几种：

(1) 扁平侧浇口 扁平侧浇口是最常见的内浇口形式，如图 5-23 所示。扁平侧浇口适用于多种压铸件，特别适用于平板形的压铸件，如图 5-23a 所示。

当环状或框状压铸件的内孔有足够的位置时，可将内浇口布置在压铸件的内部，既可使模具结构紧凑，又可保证模具的热平衡，如图 5-23b 所示。

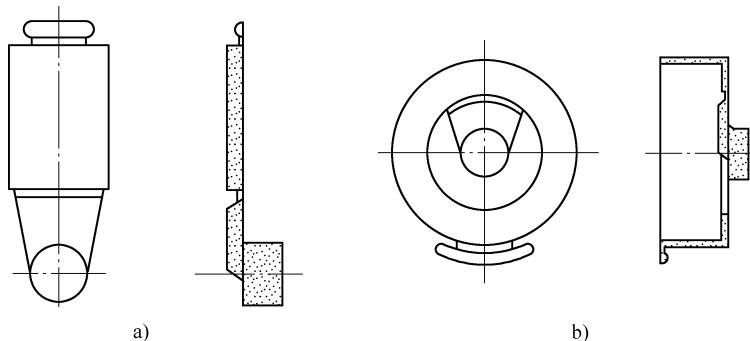


图 5-23 扁平侧浇口

(2) 端面侧浇口 端面侧浇口的形式如图 5-24 所示。它的特点是：避免金属液正面冲击成型零件，并使气体有序排出。如图 5-24a 所示的盒类压铸件，采用端

面侧浇口，使金属流首先填充可能存留气体的型腔底侧，将底部的气体排出后，再逐步充满型腔，避免压铸件中气孔缺陷的产生。

如图 5-24b 所示的环状压铸件，为了避免金属液正面冲击型腔，可采用从孔的中心处进料，使模具结构紧凑。在填充过程中，也可使型腔内的气体有序地排出。

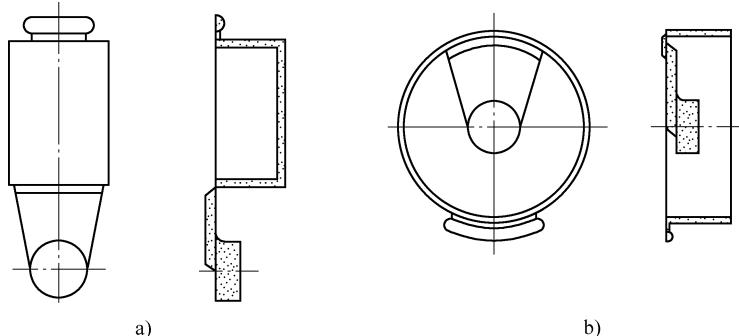


图 5-24 端面侧浇口

侧浇口的共同特点如下：

- 1) 浇口的截面形状简单，易于加工，并可根据金属液的流动状况随时调整截面尺寸，以改善压射条件。
- 2) 浇口的位置可根据压铸件的结构特点灵活选择。
- 3) 浇口的厚度较小，当高压、高速的金属液通过时，受到挤压和剪切作用，使金属液再次加热升温，改善了流动状态，以便于成型。
- 4) 应用范围广。
- 5) 容易去除浇注余料，不影响压铸件的外观。

(3) 梳状内浇口 对投影面积较大、要求精度较高并有气密性要求的平板形厚壁压铸件，多采用较宽的扁平侧浇口。但是，当采用普通的扁平侧浇口时，会出现各部分金属流流速不同的现象，使最先到达对面腔壁的金属流在返回时与尚未到达的金属流相遇而产生涡流现象。为保证在整个内浇道宽度上保持均匀的内浇道速度，采用梳状内浇口，即均匀设置多个截面尺寸相同的扁平浇口，如图 5-25 所示。

它的结构特点是在横浇道和内浇口之间加设一个横浇道。为了区别，分别称它们为主横

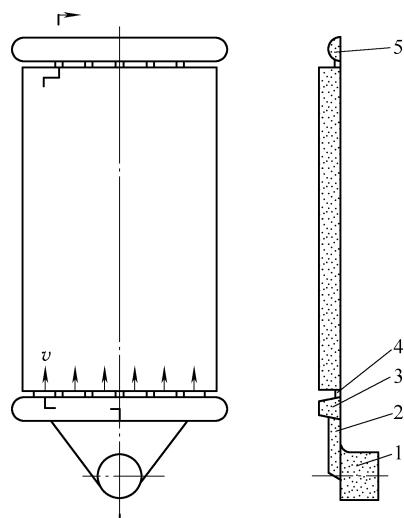


图 5-25 梳状内浇口

1—直浇道 2—主横浇道 3—过渡横浇道
4—内浇口 5—溢流槽

浇道和过渡横浇道。

金属液通过直浇道1、主横流道2，首先流入过渡横浇道3内，然后，金属液通过严格规定的方向输送到内浇口4内。在每个内浇口内，金属液流动的方向由各个内浇口的截面尺寸决定。这样，金属液即在型腔的整个宽度上保持比较均匀的流速，并同时填满型腔。

各个梳状内浇口的宽度和深度可以相同，也可以有所差别。比如，在试模后，可根据实际状况适当调整两侧内浇口的截面积，以提高旁侧内浇口的金属液流量，使这种结构更趋于合理。

在设置溢流槽时，也应开设多个梳状溢流口，并与各相对应的扁平浇口错开，以保证金属液在充满浇注终端的各个部位后，再流入溢流槽中。

梳状内浇口也属于侧浇口的一种，在框形、格形、多片形和多孔的压铸件中得到了广泛的应用。

(4) 切向内浇口 中、小型的环形压铸件多采用切向内浇口，如图 5-26 所示。

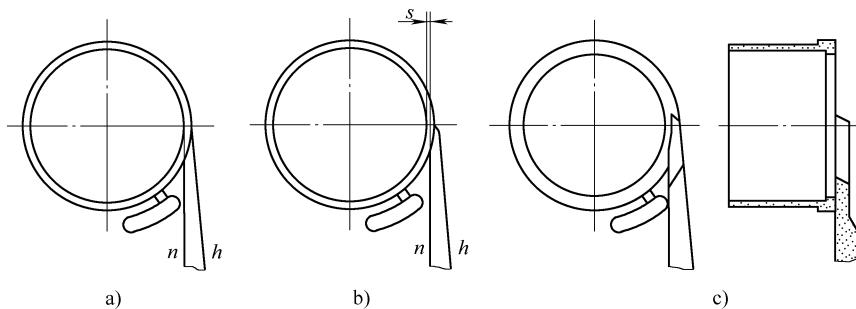


图 5-26 切向内浇口

切向内浇口是指浇口的内边线 n 与型芯的外径和外边线 h 与型腔的内径均呈切线走向。如图 5-26a 所示。但对于薄壁的压铸件，这种形式常常导致金属流冲击型芯，而产生冲蚀型芯或产生严重的粘附现象。这时浇口的内边线 n 应向外偏离一个距离 s ，而外边线 h 也应外移一个距离，在端点用圆弧与型腔外壁相交，如图 5-26b 所示。但在这种情况下，应考虑浇口余料的清除问题。

当环形压铸件的高度较大时，为提高填充效果，将内浇口搭在端面上，如图 5-26c 所示。这种形式的浇口即为端面切向内浇口。

切向内浇口的优点如下：

- 1) 金属液不直接冲击成型零件，提高了使用寿命。
- 2) 金属液从切线方向进入型腔，沿环形方向有序地填充。如在填充的终端部位设置排溢系统，使排溢效果良好，料流顺畅，提高压铸件的质量。
- 3) 克服了由正面进料时两股金属流在温度下降的状况下相遇而产生冷隔的压铸缺陷。

(5) 环形内浇口 如图 5-27 所示, 在圆筒形压铸件一端的整个圆周的端部开设环状内浇口, 也可以将环形内浇口沿环形浇口分隔成若干段或只有一两段, 在压铸件的另一端则开设与此相对应的溢流槽。

环形内浇口的特点是: 金属液从型腔的一端沿型壁注入, 可避免正面冲击型芯和型腔, 将气体有序地排出, 使填充条件良好。同时, 在内浇口或溢流槽处可设置推杆, 使压铸件上不留推杆痕迹。环形内浇口多在深腔的管状压铸件上应用。

环形内浇口浇口余料的切除比较麻烦。

(6) 中心内浇口 当压铸件的几何中心带有通孔时, 将内浇口开在通孔上, 在成型孔的型芯上设置分流锥, 金属液从型腔中心部位导入。在清除浇口凝料时, 为保持压铸件内孔的完整, 一般使分流锥的直面高出压铸件端面 $h = 0.5 \sim 1\text{mm}$, 如图 5-28 所示。它的特点如下:

- 1) 金属液流程短, 而各部的流动距离也较为接近, 可缩短金属液的填充时间和凝固时间。
- 2) 减少模具分型面上的投影面积, 并改善压铸机的受力状况。
- 3) 模具结构紧凑。
- 4) 周边的溢流槽可聚集不良冷污的金属液, 并有利于排气, 提高填充效果。

(7) 轮辐式内浇口 当压铸件的中心孔直径较大时, 可采用轮辐式内浇口。为获得最佳的填充流束, 按梳状内浇口的原理, 将内浇口分成几个分浇口, 如图 5-29 所示。它是中心内浇口的变通形式, 具有中心内浇口的优点。

由于这种形式是多股进料, 在各股金属液的相遇处易产生冷隔缺陷, 因此必须设置溢流槽。溢流槽开设的部位应与内浇口的位置错开, 即设在金属液相遇而可能产生冷隔的部位。

(8) 点浇口 对于结构对称、壁厚均匀的罩壳类压铸件, 也可以采用点浇口。

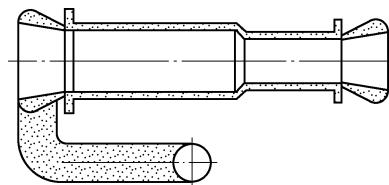


图 5-27 环形内浇口

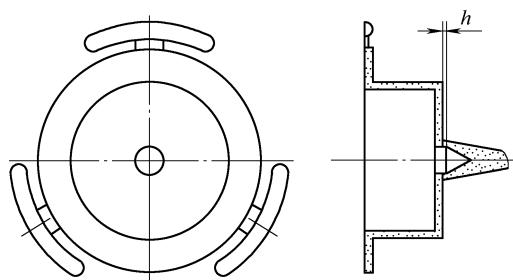


图 5-28 中心内浇口

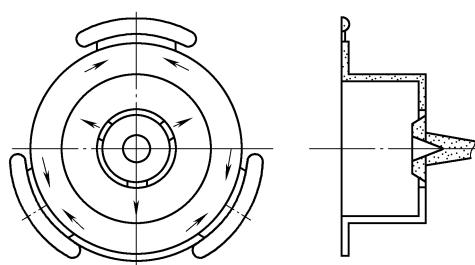


图 5-29 轮辐式内浇口

点浇口也是中心内浇口的特殊形式，如图 5-30 所示。

高速的金属流在冲击型芯后，立即弥散并形成雾状，对填充产生不利的影响。同时，高速的金属流对型芯的冲击使其局部温度升高，模具产生较大的温差，对压铸件的表面质量也有一定影响。在浇口附近的局部区域表面质量较好，而远离浇口的区域表面质量则越来越差，以致出现表面疏松、冷纹和冷隔等压铸缺陷。这种现象只有在模具温度达到平衡状态时才能得到改善。

由于点浇口的直径相对较小，使金属液流过内浇口的速度增大，它猛烈地冲击着型芯一个极小的区域，使该区域出现严重粘附或出现过早的冲蚀现象，所以这个局部区域应设计成可以更换的镶块结构。

从中心进料的内浇口多用于热压室和立式冷压室的压铸模。当用于卧式冷压室压铸模时，必须增设一个辅助分型面，以便于取出余料。

2. 内浇口位置的设计要点

设计内浇口时，最重要的是确定内浇口的位置、形式和导流方向。应根据压铸件的形状和结构特征、壁厚变化、收缩变形以及模具分型面等各种因素的影响，分析金属液在填充时的流态和填充速度的变化，以及预计填充过程中可能出现的死角区、裹气和产生冷隔的部位，并布置适当的溢流和排气系统。

内浇口的设计要点如下：

- 1) 内浇口位置应使金属液的流程尽可能地短，以减少填充过程中金属液能量的损耗和温度的降低。
- 2) 浇口位置应使金属液流至型腔各部位的距离尽量相等，以达到各个分割的远离部位同时填满和同时凝固。
- 3) 尽量减少和避免金属流过多的曲折和迂回，从而达到包卷气体少、金属流汇集处少和涡流现象少的效果。
- 4) 除非大型或箱体框架类特殊形状的压铸件，一般应尽可能采用单个的内浇口，尽量少用分支浇口。当必须采用多个分支浇口时，应注意防止多路金属液流互相撞击，形成涡流，产生裹气或氧化物夹杂以及冷隔等压铸缺陷。
- 5) 金属液进入型腔后，不应过早地封闭分型面、溢流槽和排气道，以便于型腔内气体有序地顺利排出。
- 6) 从内浇口进入型腔的金属液流，不应正面冲击型芯、型壁或螺纹等活动型芯，力求减少动能损耗。型芯或型壁被金属液流冲蚀后，会产生粘模现象，严重时

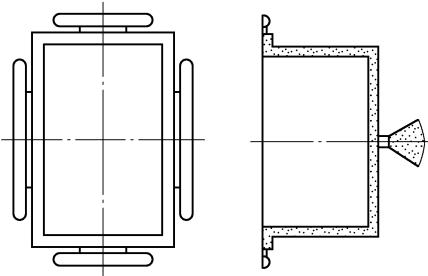


图 5-30 点浇口

会使该处形成凹陷，影响压铸件脱模，有时甚至产生局部的早期热裂倾向。同时易形成分散的滴液与空气相混，使压铸件压铸缺陷增多。

图 5-31 所示是一个带格的压铸件。为了使金属液不正面冲击多个型芯，采用多股的缝隙侧浇口进料。它是梳状内浇口的变异形式，只是为了满足高型腔大型压铸件的填充需要。采用多股窄缝填充，缩短了填充时间。这种形式对框形、多孔形、多片形或其他大型的压铸件都很实用。

7) 内浇口位置应尽可能设置在压铸件的厚壁处，使金属液由厚壁处向薄壁处有序填充，有利于最终补缩压力的传递。

8) 内浇口位置应使内浇口余料易于切除和清理。内浇口与型腔连接处应以圆弧或小倒角过渡连接，以便在清除内浇口余料时不损坏压铸件的基体表面。

9) 从内浇口进入型腔的金属液流，应首先填充深腔处难以排气的部位，避免因围拢气体而产生压铸缺陷。

10) 根据压铸件的技术要求，凡尺寸精度或表面粗糙度要求较高或不再加工的部位均不宜设置内浇口。

11) 薄壁压铸件的内浇口的厚度要小一些，以保证必要的填充速度。

12) 内浇口位置应使压铸模型腔温度场的分布符合工艺要求，以便尽量满足金属液流至最远的型腔部位的填充条件。

13) 内浇口的位置应有利于金属液的流动。带有加强肋和散热片以及带有螺纹或齿轮的压铸件，内浇口的位置应使金属液流在进入型腔后顺着它们的方向流动，以防产生较大的流动阻力，如图 5-32 所示。

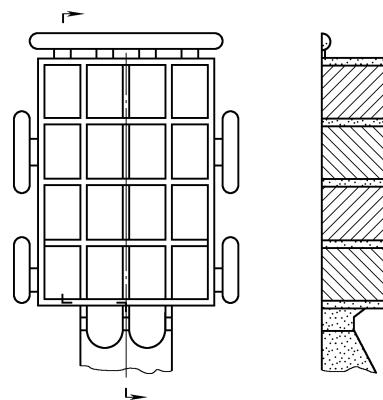


图 5-31 多股缝隙内浇口

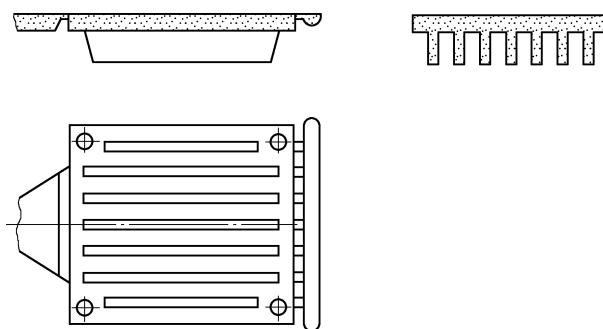


图 5-32 内浇口位置应有利于金属液的流动

14) 近似长方形、扁平状的压铸件，应尽可能在窄边上开设内浇口，以便金属液在填充时形成尽可能长的自由流束，使料流通畅，排气良好，有利于获得良好的表面质量，图 5-33a 所示的形式为协调模体的结构形状，也可采用图 5-33b 的布局形式。如果从宽边进料，容易产生料流紊乱、熔接不良等压铸缺陷。

3. 内浇口截面积的确定

内浇口的截面积直接决定着内浇口流速和填充时间。当内浇口流速选定后，内浇口的截面积过大，金属液填充型腔的时间过快，使型腔内的气体来不及排出而产生气孔等压铸缺陷。如果内浇口的截面积过小，则延长了填充时间，在填充过程中，部分金属液冷却过快，产生型腔填充不满的现象。

诚然，为了取得理想的填充时间，在内浇口截面积不变的情况下，调整作用在金属液上的压射压力和压射冲头的速度，也能改变金属液的填充时间，但是这个调整的范围很小，况且还要考虑压铸机的承载能力。因此，在设计过程中，预先确定内浇口的截面积是重要的设计内容。

目前，在压铸实践中，是以金属液在一定速度和预定的时间内充满型腔作为主要计算依据。

(1) 内浇口截面积的计算 目前，在实践中，计算内浇口的截面积以流量计算法为主。

设熔融的金属液以速度 v_n 流过截面积为 A_n 的内浇口，单位时间内流过的金属液为 Q ，则

$$Q = A_n v_n$$

在内浇口处，金属液的体积在单位时间内的流量 Q 表示为

$$Q = \frac{V}{t}$$

于是

$$A_n v_n = \frac{V}{t}$$

如果金属液体积用铸件质量 G 来表示，当金属液的密度为 ρ 时，则

$$V = \frac{G}{\rho}$$

所以

$$A_n v_n = \frac{G}{\rho t}$$

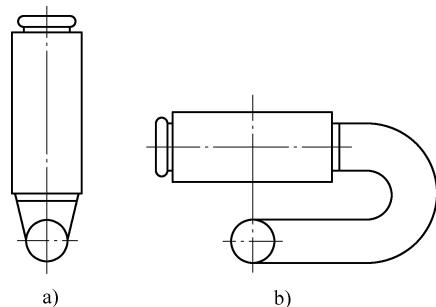


图 5-33 内浇口设在窄边处

这时，内浇口截面积 A_n 可以写成

$$A_n = \frac{G}{\rho v_n t} \quad (5-1)$$

式中 A_n ——内浇口截面积 (cm^2)；

G ——通过内浇口的金属液总质量 (g)；

ρ ——液态金属的密度 (g/cm^3)；

v_n ——内浇口流速 (cm/s)；

t ——型腔的填充时间 (s)。

从式 (5-1) 可以看出，当金属液的总质量确定后，决定内浇口截面积的主要因素是内浇口流速 v_n 和填充时间 t 两个压铸工艺参数。

(2) 经验公式和经验数据 通过计算或实践推荐得出的压铸参数，如内浇口流速、填充时间、内浇口截面积的大小等，在使用时过于复杂，也不十分准确。因此，人们根据经验寻找出一种简便的方法，称为“经验公式”。如 W. 达瓦可提出了压铸铝合金的近似公式

$$A_n = 180G \quad (5-2)$$

式中 A_n ——内浇口截面积 (mm^2)；

G ——压铸件质量 (kg)。

式 (5-2) 给出了内浇口截面积与压铸件质量之间的关系，对于具有 $2.4 \sim 3.2\text{mm}$ 中等壁厚的压铸件来说，这个经验公式所得的数值与其他计算结果相符。因此，可以说在压铸中等的压铸件时，根据压铸件的质量计算出来的内浇口截面积基本上可满足要求。

实际上，由于客观的影响因素较多，确定最合理的内浇口截面积是很困难的。因此，在设计时应留有适当的修正余量，即内浇口的初始尺寸应选取较小值，为以后在试模后进行必要的修正和调整留有余地。

在内浇口截面积中，内浇口厚度对形成良好的填充流动状态的影响较大。对于薄壁复杂的压铸件，宜采用较薄的内浇口，以保证必要的内浇口流速。但当内浇口厚度太薄时，金属液流中的微小杂质，如偏析、夹杂物、氧化物等杂质都会导致内浇口的局部堵塞，缩小了内浇口的有效流动面积。同时，进入型腔的金属液很容易产生雾化现象，从而堵塞排气道，而裹卷型腔内的气体产生压铸缺陷。当内浇口厚度较厚时，则有利于降低填充速度。同时，内浇口凝固时间几乎与内浇口厚度的二次方增加，这样有利于补缩压力的传递。因此，在不影响压铸件表面和不增加去除内浇口成本的情况下，可尽量增加内浇口的厚度。

表 5-1 和表 5-2 分别列出了内浇口厚度的经验数据和内浇口宽度及长度的经验数据，供使用时参考。

表 5-1 内浇口厚度的经验数据

(单位: mm)

合金	压铸件壁厚						
	0.6~1.5		1.5~3		3~6		>6
	复杂	简单	复杂	简单	复杂	简单	与铸件壁厚之比(%)
锌合金	0.4~0.8	0.4~1.0	0.6~1.2	0.8~1.5	1.0~2.0	1.5~2.0	20~40
铝合金	0.6~1.0	0.6~1.2	0.8~1.5	1.0~1.8	1.5~2.5	1.8~3.0	40~60
镁合金	0.6~1.0	0.6~1.2	0.8~1.5	1.0~1.8	1.5~2.5	1.8~3.0	40~60
铜合金		0.8~0.2	1.0~1.8	1.0~2.0	1.8~3.0	2.0~4.0	40~60

表 5-2 内浇口宽度和长度的经验数据

内浇口进口部位 压铸件形状	内浇口宽度	内浇口长度	说 明
矩形或长方形板件	压铸件边长的 0.6~0.8 倍	2~3mm	指从压铸件中轴线处侧向注入, 如离轴线一侧的端浇道或点浇口则不受此限
圆形板件	压铸件外径的 0.4~0.6 倍		内浇口以割线注入
圆环形、圆筒形	压铸件外径和内径的 0.25~0.3 倍		内浇口以切线注入
方框形	压铸件边长的 0.6~0.8 倍		内浇口从侧壁注入

(3) 点浇口各部尺寸 对结构对称、壁厚均匀的罩壳类压铸件, 点浇口的结构形式如图 5-34 所示。

点浇口的直径主要与压铸件在分型面上的正投影面积和压铸件结构的复杂程度有一定关系。

表 5-3 和表 5-4 分别列出了点浇口直径和其他部分尺寸的推荐值。

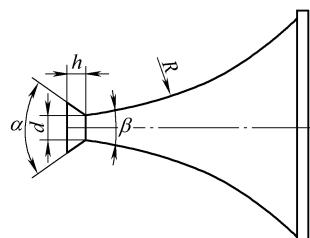


图 5-34 点浇口的结构

表 5-3 点浇口直径的推荐值

铸件投影面积 A/cm^2		≤ 80	$> 80 \sim 100$	$> 150 \sim 300$	$> 300 \sim 500$	$> 500 \sim 750$	$> 750 \sim 1000$
直径 d/mm	简单件	2.8	3.0	3.2	3.5	4.0	5.0
	中等复杂件	3.0	3.2	3.5	4.0	5.0	6.5
	复杂件	3.2	3.5	4.0	5.0	6.0	7.5

注: 表中数值适用于壁厚在 2.0~3.5mm 范围内的压铸件。

表 5-4 点浇口其他部分尺寸的推荐值

直径 d/mm	< 4	< 6	< 8
厚度 h/mm	3	4	5
出口角度 $\alpha/(\text{°})$	60 ~ 90		
进口角度 $\beta/(\text{°})$	45 ~ 60		
圆弧半径 R/mm	30		

5.5.3 横浇道设计

横浇道是直浇道的末端到内浇口前端的连接通道。横浇道应符合下列要求：

- 1) 提供稳定的金属液流。
- 2) 对金属液的流动有较小的阻力。
- 3) 金属液在流动时包卷的气体量少。
- 4) 对型腔的热平衡提供良好的条件。
- 5) 使金属液有适宜的凝固时间，即不妨碍补缩压力的传递，又不延长压铸的循环周期。
- 6) 金属液流过横浇道时热量损失应最少。

1. 横浇道的基本形式

横浇道的结构形式主要取决于压铸件的结构形式和轮廓尺寸、内浇口的位置、方向和宽度以及型腔的分布情况。

横浇道的基本形式按在分型面上的投影形状来分，可分为以下几种形式：

- (1) 等宽横浇道 图 5-35 所示是等宽横浇道的结构形式，是最简单的一种横浇道。为了防止金属液在流经内浇口前产生涡流，在接近内浇口时，有一个截面厚度的收敛区域。但是为了避免过多的能量消耗，截面厚度要缓慢收敛，即收敛角不宜太大。

等宽横浇道横截面的形状对金属液流的稳定状态、热量散失以及横浇道表面摩擦阻力引起的压力损失都有一定的影响。等宽横浇道的截面形状如图 5-36 所示。图 5-36a 所示为圆形截面的横浇道，它的结构特点是：在相同的截面积时，它的周长最短，即散热的表面积相对较小，从而使横浇道中的金属液冷却速度较慢，但由于圆形截面的横浇道加工比较困难，所以采用较少。图 5-36b、c 分别为正方形和矩形截面的横浇道，它们的散热速度相对较快，但可以通过设计不同的长、宽比例来调节，加工也比较方便。为了便于横浇道余料顺利脱出，在实践中多采用矩形截面的变异形式，即梯形截面的横浇道。

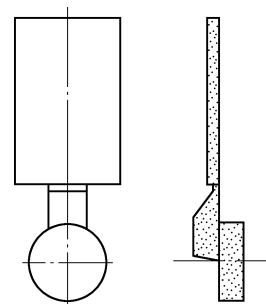


图 5-35 等宽横浇道

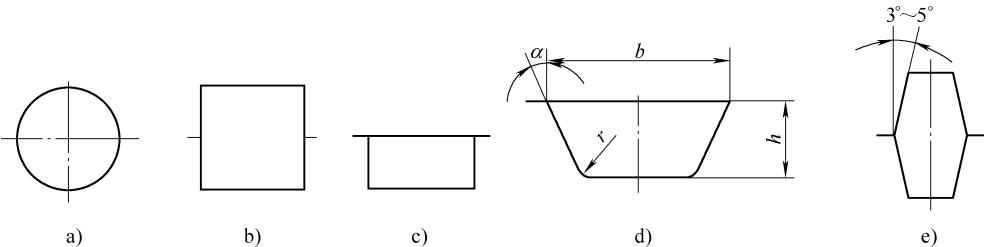


图 5-36 等宽横浇道截面形状

梯形截面的横浇道如图 5-36d 所示。它的几何尺寸与内浇口的截面积、内浇口的厚度以及压铸件的平均壁厚有关。在一般情况下：

$$A_h = (2 \sim 4) A_n \quad (5-3)$$

$$h = (1.5 \sim 2)t \quad (5-4)$$

$$b = (1.25 \sim 3) \frac{A_n}{h} \quad (5-5)$$

$$\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$$

$$r = 2 \sim 3\text{mm}$$

式中 A_h ——等宽横浇道截面积 (mm^2)；

A_n ——内浇口截面积 (mm^2)；

h ——等宽横浇道的厚度 (mm)；

t ——压铸件的平均壁厚 (mm)；

b ——横浇道的长边尺寸 (mm)；

α ——脱模斜度 ($^\circ$)；

r ——底面圆角半径 (mm)。

等宽横浇道的形状一般以扁梯形为主。在特殊情况下，根据内浇口的形式，也可采用窄梯形，如图 5-36e 所示。

等宽横浇道的截面积如果过小，压射压力会在内浇口前预先损失一部分，并且由于散热速度过快而出现局部凝固的现象，妨碍补缩时的压力传递。因此，在不影响压铸效率的前提下，等宽横浇道应选得稍大一些。

由于等宽的梯形横浇道结构简单，易于加工，应用比较广泛，特别用于多型腔模具中。

(2) 扇形横浇道 扇形横浇道是在投影面上呈逐渐扩大的形状，如图 5-37 所示。当扇形扩大的边线为直线时，即为直线扇形横浇道，如图 5-37a 所示；当扇形扩大的边线呈曲线时，便称为曲线扇形横浇道，如图 5-37b 所示。由于直线扇形横浇道易于加工，所以应用较多。

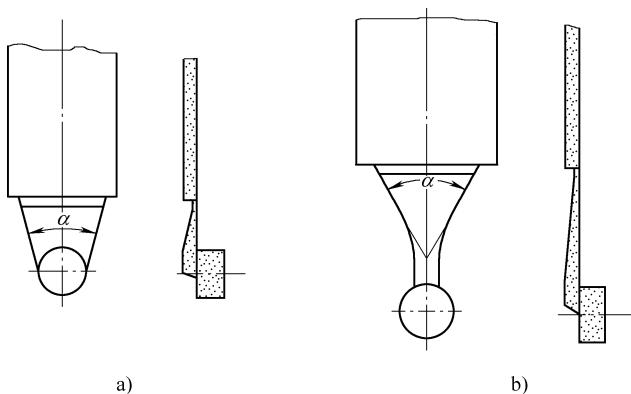


图 5-37 扇形横浇道

扇形横浇道的厚度随着在投影面上的扩散而逐渐变薄。曲线扇形横浇道有的采用曲线形底面。但总应遵循其横截面积总保持收敛或变小的原则，以保证金属液在横浇道内的流速呈均匀加速的状态。如果横浇道局部截面积扩大，金属液流过时会产生负压，必然会吸收分型面上的气体，从而增加金属液在流动过程中的涡流，降低了内浇口前的压射压力，致使金属液的供应不连续，同时对填充过程之后的补缩压力亦有一定影响。

在一般情况下，扇形横浇道入口处的截面积与内浇口截面积之比为

$$A_h = (1.5 \sim 3.0) A_n \quad (5-6)$$

式中 A_h ——扇形横浇道入口处截面积 (cm^2)；

A_n ——内浇口的截面积 (cm^2)。

扇形横浇道的开口角 $\alpha \leq 90^\circ$ 。当开口角大于 90° 时，会出现内浇口两端失效，使内浇口不能有效填充，并可能出现卷气的现象。

(3) T 形横浇道 T 形横浇道是在等宽横浇道或扇形横浇道与内浇口之间设置一个有足够容量的横向浇道。金属液流在这里形成稳定的流动之后，再向内浇口处均衡填充。在平板状大型压铸件中，等宽横浇道和扇形横浇道往往由于横浇道的限制，使金属流在填充过程中，在内浇口或型腔两侧出现填充滞缓的现象，使金属液不能同时填满型腔或出现紊流、涡流等不良现象。T 形横浇道就是使金属流呈稳流状态均衡填充型腔。它的基本形式如图 5-38 所示。

在通常情况下，T 形横浇道与梳状内浇口匹配使用，如上面讲到的图 5-25 所示。

图 5-39 所示是 T 形横浇道的另一种结构形式。它的结构特点是将扇形主横浇道分叉成逐渐向外扩散的两个横浇道，在中心部位形成一个三角区域。金属液从直

浇道压出后，形成两股金属液流流入过渡横浇道，使填充状态更加良好。为了容纳冷污金属液和便于排气，将横向浇道的两端延长，起溢流槽作用。

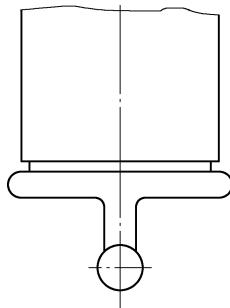


图 5-38 T 形横浇道

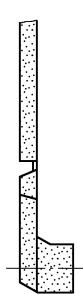


图 5-39 变通的 T 形横浇道

(4) 环形横浇道 底面有通孔的压铸件，常常把内浇口开设在这个孔上。图 5-28 所示中心内浇口和图 5-29 所示轮辐式内浇口均采用环形横浇道。

环形横浇道如图 5-40 所示。当压铸件上的通孔较小时，采用图 5-40a 的结构形式。它在直浇道的出口部位设置分流锥，形成环形横浇道和环形内浇口。当通孔较大并有足够的空间时，采用图 5-40b 的形式，在型芯的对应位置开设环形浇道，并设置分流锥，形成环形横浇道。

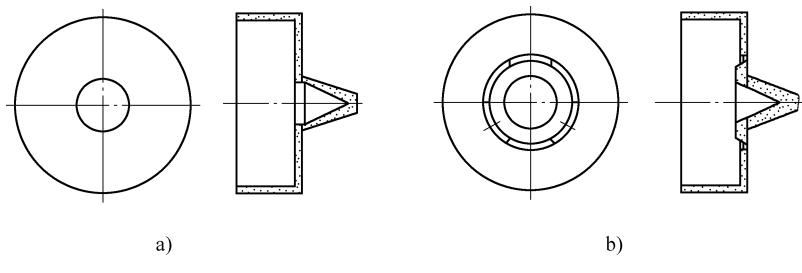


图 5-40 环形横浇道

它们在向内浇口过渡时，均采用截面积逐渐收敛的形式。

在图 5-27 中，采用环形内浇口的进料方式，横浇道是采用等宽横浇道与环形横浇道相结合的形式。

2. 多型腔模横浇道的布局

生产大而复杂的压铸件时，大多采用单腔的压铸模；而形状较为简单的小型压铸件，当生产批量较大时，为了提高压铸的生产效率，通常多采用多型腔压铸模。而且在多型腔压铸模上，可以设置几个相同的型腔，也可以设置几个不同种类的型腔。在一般情况下，一模多腔的压铸模，除了压铸效率比单腔模提高外，其综合制

模成本也比单腔模低得多。

一模多腔压铸模横浇道的布局形式应视各型腔的布局而定。多型腔位置的布局，应根据各压铸件的结构特点、金属液的流动状况以及模具温度的热平衡综合考虑，使各个型腔的压铸工艺条件尽可能地达到一致。

多型腔模横浇道的布局形式大体有如下几种：

(1) 直线排列 图 5-41 是直线排列式横浇道。在多型腔模中，横浇道可分为主横浇道和过渡横浇道，如图 5-41a 所示。在一般情况下，压铸小型压铸件多采用图 5-41a 的形式。但是，当金属液压入主横浇道的瞬间，金属液在 M 处开始分流，金属液的主流向前流动，而一小股金属液流在很小的过压作用下，从过渡横浇道流入就近的型腔，形成预填充状态，并重复出现这种情况，使每个型腔都流入少量的金属液。当金属液的主流到达主横浇道的前端时，产生相应的冲击压力，自上而下地依次填充型腔。因为预填充的金属液是在很小压力作用下进入型腔的，而且在瞬间其温度会有明显降低，甚至接近冷却状态，这时它们与后来进入的主流金属液不容易熔合。这种填充时间差带来的影响使压铸成型效果下降，特别是离直浇道近的压铸件通常容易产生压铸缺陷。

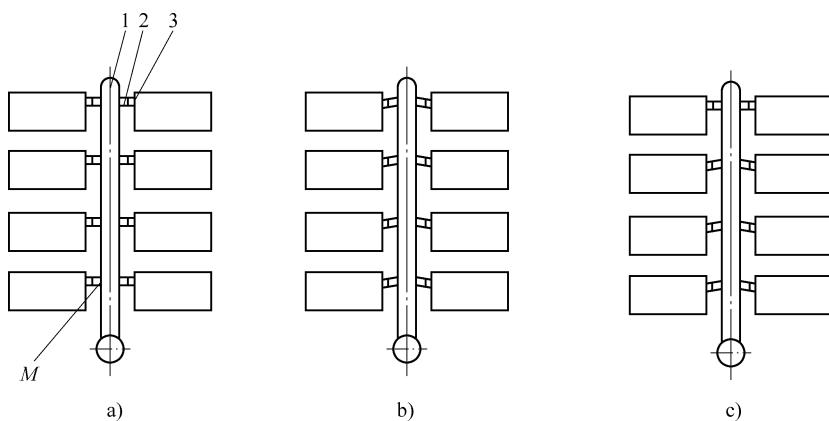


图 5-41 直线排列

1—主横浇道 2—过渡横浇道 3—内浇口

针对以上出现的问题，在直线排列式横浇道中，采用图 5-41b 和 c 的方式，情况大有改观。在图 5-41b 中过渡横浇道采用了反向倾斜的进料方式，减少了预填充状况，最多只是部分的金属液预先达到内浇口。还有人提出了图 5-41c 的进料方式，即横浇道采用不同的反向倾斜的进料方式，即过渡横浇道由远而近，反向倾斜角依次递增的方案。这些反向倾斜的进料方式显著提高了压铸效果，压铸件的压铸缺陷明显降低。

图 5-42 所示是双直线排列形式。直线排列式横浇道由于大多采用反向进料的结构形式，不同程度地增大了涡流现象的产生。因此，应设置有效的溢流槽和排气道。但是，对致密性要求较高的压铸件，不推荐采用反方向设置横浇道的方式。

(2) 对称排列 较大型的压铸件可采用对称排列的形式，如图 5-43 所示。从直浇道压入的金属液，经过均匀分叉的横浇道进入型腔。它的结构特点是：容易保证双模腔相同的压铸工艺条件，模体的受力也较为平衡。

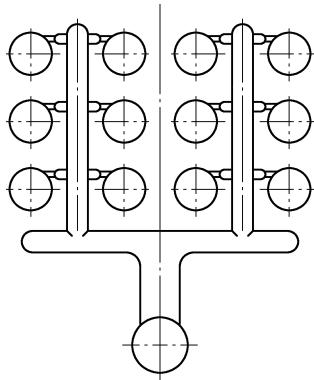


图 5-42 双直线排列

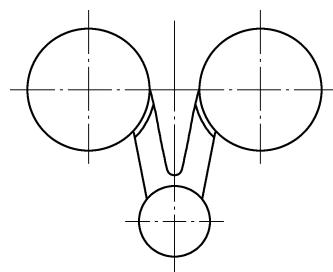


图 5-43 对称排列

长矩形压铸件在卧式冷压室压铸机上，可采用图 5-44 所示的双腔排列形式。图 5-44a 是金属液分别从窄边平行进料，形成稳定而均匀的金属流束，并以相同的速度充满型腔。在内浇口对面设置溢流槽，容纳混有气体和冷污的金属液。图 5-44b 和 c 都是采用从长边的一端进料，金属液进入型腔而冲击对面腔壁后，迂回转向型腔的另一端，并充满型腔。但是，由于金属液的转向，容易产生液流紊乱或出现涡流的现象，所以必须在金属液填充的终端区域设置足够大的溢流槽和排气槽。

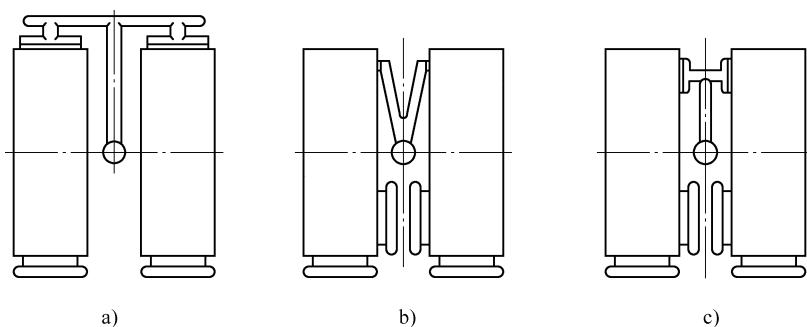


图 5-44 矩形压铸件的双腔排列

对于长矩形的压铸件，结合它的形状特点，采用双腔排列的横浇道，既满足了卧式冷压室压铸机的工艺需要，又提高了压铸效率。从整体布局上，使模具结构紧凑，降低了制模的综合成本，并且使模体受力均匀，模具温度也容易达到热平衡。

(3) 梳状排列 梳状排列是借鉴梳状内浇口和变通的T形横浇道的结构特点，将单腔模的进料方式应用到多腔模上，如图5-45所示。这两种形式具有梳状内浇口和T形横浇道的特点，可参照图5-25、图5-38和图5-39的介绍。

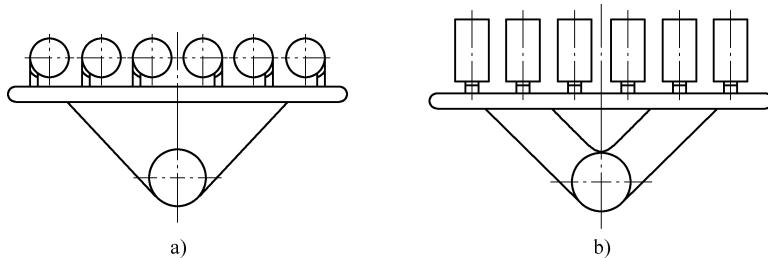


图 5-45 梳状排列

(4) 环绕排列 当各型腔的布局与直浇道的距离相同时，横浇道可采用环绕排列的布局形式，这样，金属液在基本相同的压铸条件下，分别流入各个型腔，满足同时填满、同时冷却的原则，会取得良好的压铸效果，如图5-46所示。

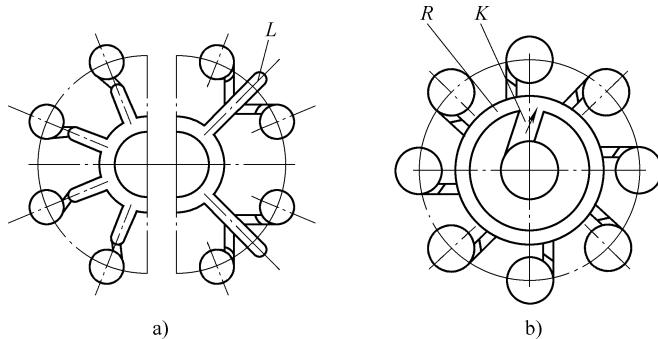


图 5-46 环绕排列

图5-46a是在立式冷压室压铸机上使用的压铸模的型腔和横浇道的排列形式。在立式冷压室压铸机上，型腔可环绕在直浇道的四周均匀排布，各个型腔可以单独设置横浇道，如左半部分。也可以如右半部分那样，两个型腔设置一个共同的横浇道。从压铸条件考虑，这种排布形式比单独设置横浇道要好得多。首先，共用横浇道有伸展延长的条件，在延长段L起溢流槽的作用，有利于溢流和排气。同时，加工省力，用料也比较节省。

在卧式冷压室压铸机上,应采用图 5-46b 的形式。为防止在压射前金属液对型腔进行预填充,应设置过渡环形横浇道 R ,通过主横浇道 K 与直浇道相通。当金属液注入压室而未开始压射时,金属液不能流入环形浇道和型腔。在压铸过程中,金属液从直浇道经主横浇道 K 压入环形横浇道。这时,金属液在压射压力下产生离心作用,将金属液推向环形横浇道 R 的外壁,并依次流入各个型腔,直到完全充满。

图 5-46b 的布局形式在压铸过程中也会出现预填充的现象。金属液在由环形横浇道 R 向型腔填充的初始瞬间,与主横浇道 K 邻近的型腔被受离心力作用的金属液首先填充。在所有型腔填充结束后和补缩压力出现前首先被填充的型腔内的金属液部分已冷却凝固。这时补缩压力对于个别型腔的补压和改善压铸件的质量的作用则会降低。

出现预填充的程度取决于金属液的流动速度、环形横浇道的外径尺寸、主横浇道与环形横浇道的截面积之比以及两相邻型腔的距离。

以上只是这种排列形式在理论上可能出现的问题,但它在实践中仍有一定的应用价值。

(5) 其他形式的排列 由于压铸件的结构不同,多型腔模型腔和横浇道的布局也各不相同。常用的横浇道的排列形式如图 5-47 所示。

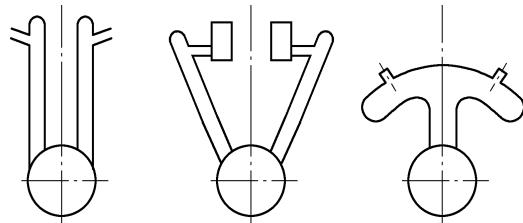


图 5-47 其他排列形式

大体上有平直分支式、斜向分支式以及圆弧分支式等多种。在实践中,根据压铸件的结构特点而定。

3. 横浇道与内浇口的连接

根据压铸件的结构特性,金属液的进料方式大体有侧面进料、平接进料、端面进料和环形进料。横浇道与内浇口的连接形式决定了金属液的进料方式和进料方向。

常用的连接形式如图 5-48 所示。图 5-48a 为侧面连接形式。压铸件、内浇口和横浇道均设在同一个模面上,金属液从侧面直接进入型腔。图 5-48b 和图 5-48c 为侧面平接的连接形式,压铸件、内浇口设在模面的一侧,设置在模面另一侧的横浇道起搭桥作用,使直浇道与内浇口连通。由于横浇道的变向作用,金属液从侧面进入型腔时,流动方向略有改变。图 5-48a、b 的连接形式适用于平板状的压铸件,图 5-48c 的形式适用于薄壁的压铸件。

图 5-48d 和图 e 为端面连接的形式。它的结构特点是:压铸件与横浇道分设在分型面的两侧,横浇道的出口处与压铸件的搭边 h_1 形成进料的内浇口,尺寸 h_1 即为内浇口的厚度。金属液在进入型腔时改变了流动方向,从端面进料,避免金属液对型芯的正面冲击。

图 5-48f 的连接形式使金属液从切线方向导入型腔。管状或环状的压铸件多采

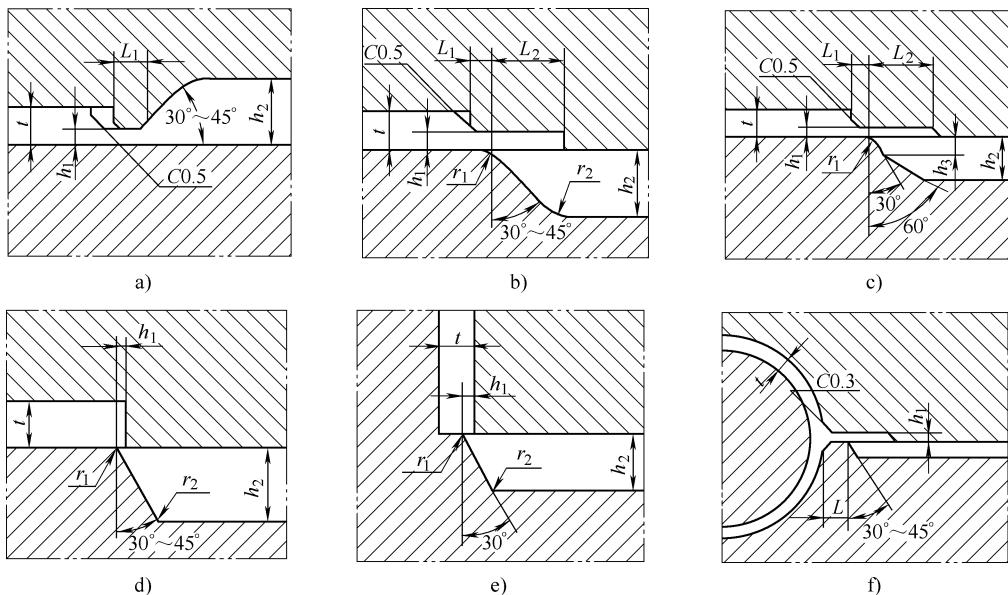


图 5-48 横浇道与内浇口的连接

用这种进料方式。它避免了金属液对型芯的正面冲击，同时从切线方向进料，使型腔内的气体有序地排出，提高了填充的实际效果。

图 5-48 中，各相关尺寸的相互关系如下：

$$L_2 = 3L_1 \quad (5-7)$$

$$h_2 > 2h_1 \quad (5-8)$$

$$r_1 = h_1 \quad (5-9)$$

$$r_2 = \frac{1}{2}h_2 \quad (5-10)$$

$$L_1 + L_2 = 8 \sim 10\text{mm}$$

式中 L_2 ——内浇口延长段长度 (mm)；

L_1 ——内浇口长度，一般取 $L_1 = 2 \sim 3\text{mm}$ ；

h_2 ——横浇道厚度 (mm)；

h_1 ——内浇口厚度 (mm)，参见表 5-1；

r_1 ——横浇道出口处圆角半径 (mm)；

r_2 ——横浇道底部圆角半径 (mm)。

4. 横浇道设计要点

在一般情况下，横浇道的设计要点如下：

- 1) 为了使金属液达到均衡匀速或匀加速的流动状态，横浇道应保持均匀的截

面积或缓慢收敛的趋向，不应有突然收缩和扩张。特别是不应该呈扩张状态，否则金属液在流动过程中，会出现低压区或涡流现象而卷入气体，影响金属液流的稳定性。横浇道截面积和厚度的变化特征如图 5-49 所示。

2) 横浇道应有一定的厚度，金属液在流过横浇道时，使热量损失尽可能地小，也便于余料脱模。同时，金属液在冷却时，应使金属液在横浇道中的冷却凝固时间比型腔中的冷却凝固时间长些，以便于补缩压力的传递。

3) 横浇道应平滑光亮，在拐角处应圆滑过渡，如图 5-50 所示，并防止尖角，以减少金属液的流动阻力，避免过大的压力损失。为此，横浇道应有较好的表面粗糙度，并顺着金属液的流动方向研磨，其表面粗糙度不大于 $Ra0.2\mu m$ 。

4) 在任何情况下，横浇道的截面积都应大于内浇口的截面积；多型腔压铸模主横浇道的截面积应大于各分支横浇道的截面积之和。

5) 为了改善模具温度的热平衡，根据工艺要求，必要时可设置盲浇道，以调节模具温度的分布状况，特别是薄壁压铸件，可凭借盲浇道中金属液的热量，提高附近成型件的温度，有利于薄壁件的充满，如图 5-51 所示。

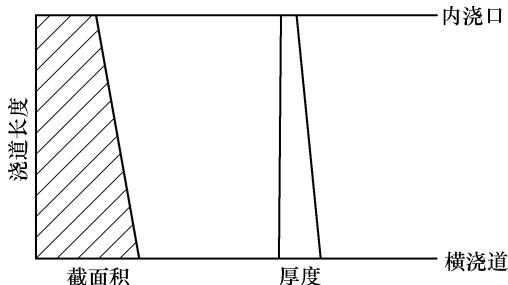


图 5-49 横浇道的变化特征

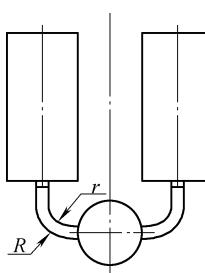


图 5-50 横浇道拐角圆滑过渡

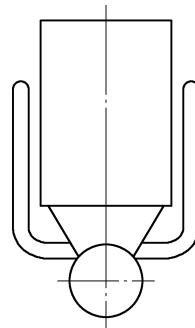
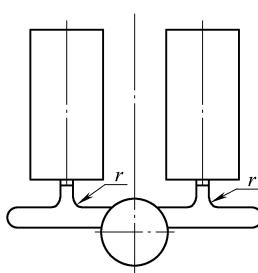


图 5-51 盲浇道

盲浇道的另一个作用是容纳冷污的金属液和其他杂质以及气体等。

6) 卧式冷压室压铸模在一般情况下，横浇道的入口处应位于直浇道的上方，以防止压室中的金属液在压射前过早地流入型腔。当卧式冷压室压铸模采用中心进料时，也应采取相应的措施，如图 5-46b 所示的布局形式。

7) 为便于调整，横浇道截面积的初始尺寸应选得小些，以便在试模时留有修

正的余地。

8) 横浇道应尽量短些,以便于横浇道余料脱模和节约原材料。

对多型腔模除了应遵循一般型腔模的设计原则外,还应注意以下几个问题:

1) 根据压铸件的结构特点,尽量采用对称的布局形式。

2) 各型腔的填充工艺条件力求一致,尽可能在相同的时间内同时填满各个型腔。

3) 当各型腔的压铸件的种类不同时,各个内浇口截面积应单独计算确定。

4) 同种压铸件的各个型腔,其横浇道应选用相同的长度。在某些情况下,不能完全达到这个要求时,它们的内浇口截面积也应适当变化,即离直浇道远的型腔,内浇口截面积应适当增大,以增加金属液的流量。

5) 为达到压铸平衡状态,各型腔横浇道截面积的初始尺寸应选得小些,以便在试模时留出修正的余地。

6) 考虑模体的热平衡状态,尽量使各型腔成型区的模温趋于一致。

5.5.4 直浇道设计

直浇道是金属液从压室进入型腔前首先经过的通道。直浇道的结构形式因压铸机类型的不同,可分为热压室压铸模直浇道、立式冷压室压铸模直浇道和卧式冷压室压铸模直浇道。

1. 热压室压铸模直浇道

(1) 直浇道的组成形式 热压室压铸模的直浇道一般由压铸模上的浇口套2、分流锥3、浇道镶块4和浇道推杆5等组成,如图5-52所示,浇口套与压铸机上的喷嘴1圆锥面对接。表5-5为直浇道尺寸的推荐值。

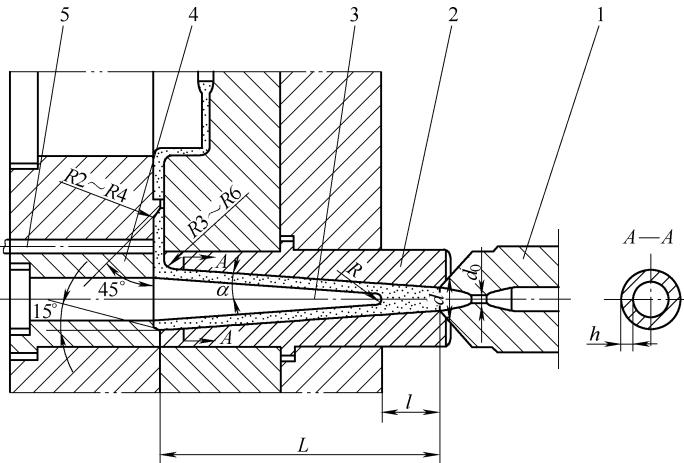


图 5-52 热压室压铸模直浇道的组成形式

1—喷嘴 2—浇口套 3—分流锥 4—浇道镶块 5—浇道推杆

表 5-5 热压室压铸模直浇道尺寸推荐值 (单位: mm)

符号内容	推荐尺寸								
直浇道长度 L	40	45	50	55	60	65	70	75	80
喷嘴孔直径 d_0			8				10		
直浇道小端直径 d			12				14		
脱模斜度 α			6°				4°		
环形通道壁厚 h			2.5 ~ 3.0				3.0 ~ 3.5		
直浇道端面至分流锥顶端距离 l		10			12	17	22	27	32
分流锥端部圆角半径 R		5					10		

(2) 浇口套的结构形式 一般情况下, 直浇道是在另外设置的浇口套中形成的。浇口套的结构形式分整体式和套接式两类, 如图 5-53 所示。

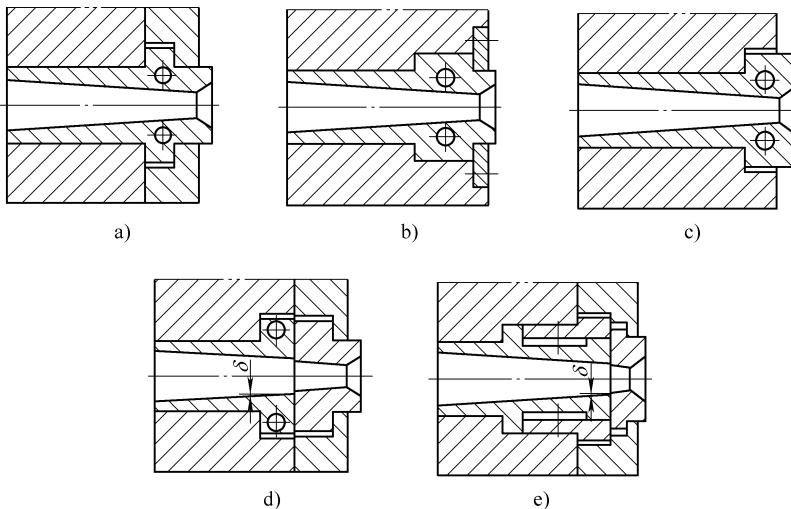


图 5-53 热压室浇口套的结构形式

图 5-53a ~ c 为浇口套整体式结构。其中图 5-53a 采用模板及螺钉固定, 稳固可靠, 但需另设一块垫板, 装拆不太方便。图 5-53b 采用压板及螺钉固定, 省去了一块垫板, 装拆比较方便。图 5-53c 采用过渡配合, 结构简单, 易于加工, 装拆也比较方便, 但容易松动, 多用于中、小型压铸模。

整体式结构的特点是: 直浇道没有接合面, 金属液流动顺畅, 直浇道的浇注余料也容易脱模。

图 5-53d 是套接式结构, 浇口套分两段套接而成。

图 5-53e 分两段制成, 并在浇口套的外部设置环形冷却槽, 冷却面积大, 效率

高，但结构较为复杂。同时，应采取密封措施，防止冷却液的渗出。

套接式结构形式的直浇道增加了一个对接面，容易产生横向飞边。因此，在对接面处应紧密靠合，不应有装配间隙。同时，在对接面的孔径应有 $\delta = 0.5 \sim 1\text{mm}$ 的顺差，以防止直浇道出现倒拔角现象，影响直浇道余料的顺利脱出。

(3) 浇口套与喷嘴的对接方式 根据压铸机喷嘴端面形状的不同，浇口套与喷嘴的对接方式大体有如图 5-54 所示的两种。图 5-54a 所示为球面对接，其对接面容易密切配接，并有微量的调心对中作用，且便于加工，应用比较广泛。图 5-54b 所示为圆锥面对接，但圆锥面调心对中的功能较差。当浇口套与喷嘴的轴线有偏差时，会出现对接密封不严，导致金属液喷溅的现象，多用于小型模具。

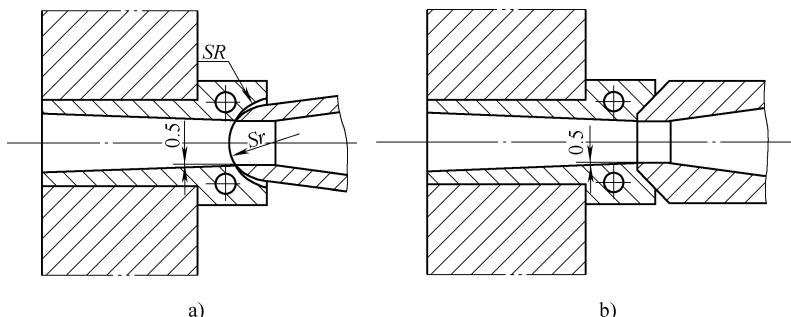


图 5-54 浇口套与喷嘴的对接方式

(4) 设计要点 在设计热压室压铸模的直浇道时，应注意以下几点：

1) 浇口套与压铸机喷嘴的对接面必须接触良好。当采用球面对接时，为避免金属液从对接处泄漏和加工、研合的方便，浇口套的凹形球面半径 SR 应略大于喷嘴端部球半径 Sr ，即 $SR = Sr + 0.4\text{mm}$ ，以利于球面中心部位的紧密对接。

2) 直浇道截面积应顺着金属液的流动方向逐渐扩大，不应有倒拔角现象，以保证直浇道余料顺利脱模。

3) 直浇道入口处的孔径 D 应大于喷嘴出口孔直径 d ，即 $D = d + 1\text{mm}$ ，以保证金属液顺利压入型腔。

4) 浇口套、分流器、分流锥均采用耐热钢制造，如 3Cr2W8 等，热处理硬度为 $44 \sim 48\text{HRC}$ 。

5) 根据内浇口的截面积选择压铸机喷嘴孔的直径 d_0 。在一般情况下，喷嘴孔的截面积应为内浇口截面积的 $1.1 \sim 1.2$ 倍。

6) 为适应热压室压铸机高效率生产的需要，在浇口套和分流锥处应分别设置冷却系统。

7) 直浇道的单边斜度一般取 $4^\circ \sim 6^\circ$ ，浇口套内孔表面粗糙度不大于

$Ra0.2\mu\text{m}$ 。

8) 直浇道中心应设置分流锥, 以调整直浇道的截面积, 改变金属液流向, 同时还可减少金属液的消耗量。

2. 卧式冷压室压铸模直浇道

(1) 直浇道的组成形式 卧式冷压室压铸模直浇道的组成形式如图 5-55 所示, 由浇口套 2、浇道镶块 4 和浇道推杆 5 组成。浇口套与压铸机的压室端面密封对接。

(2) 浇口套的结构形式 浇口套在压铸模的浇注系统中起着承前启后的作用。直浇道就是在浇口套中形成的。浇口套的结构形式大体有如图 5-56 表示的几种。

图 5-56a 所示结构制造和装卸比较方便, 在中小型模具中应用比较广泛。图 5-56b 所示是利用台肩将浇口套固定在两模板之间, 装配牢固, 但拆装均不方便。它们的共同不足是: 直浇道与压铸机压室内孔的同轴度主要靠压铸模定位孔与压铸机压室的定位法兰的配合精度和两模板相对两孔的同轴度来保证。当它们的配合间隙较大或出现装配偏差时, 使它们对接的同轴度出现较大误差。这样压射冲头在压射金属液时, 会发生错位障碍。

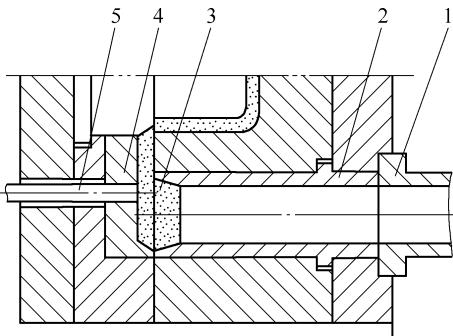


图 5-55 卧式冷压室压铸
模直浇道的组成形式

1—压铸机压室 2—浇口套 3—余料
4—浇道镶块 5—浇道推杆

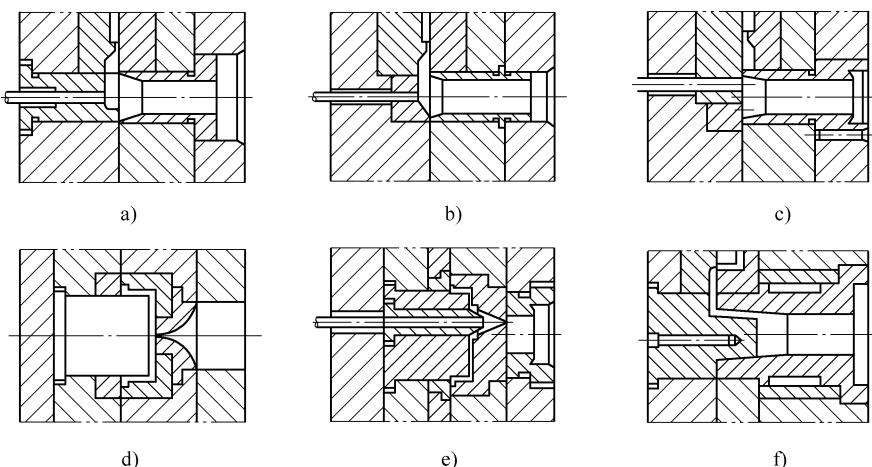


图 5-56 浇口套的结构形式

图 5-56c 所示是将压铸模的安装定位孔直接设置在浇口套上，消除了装配误差，保证了直浇道与压室内孔的同轴度。

图 5-56d、e 所示形式用于采用中心进料的压铸模。图 5-56d 所示为采用点浇口的浇口套。图 5-56e 所示为采用中心浇口的浇口套。

图 5-56f 所示是导入式直浇道的结构形式。它可以提高金属液在压室的注入量，从而缩短直浇道的长度，减少深腔压铸模的厚度。同时，环绕浇口套外径开设冷却水路，改善模具热平衡条件，有利于提高压铸生产率。

(3) 浇口套与压室的连接方式 浇口套与压铸机压室的连接方式，根据浇口套结构形式的不同，可分为两种，如图 5-57 所示。

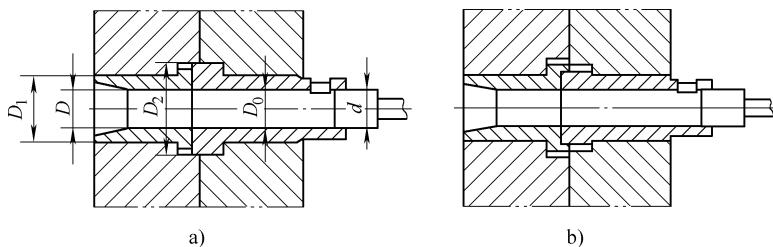


图 5-57 浇口套与压室的连接方式

图 5-57a 所示为平面对接形式。为了保证直浇道和压室压射内孔的同轴度，应提高加工精度和装配精度。

浇口套采用图 5-56c 所示的结构形式，它们的连接方式如图 5-57b 所示。

5.6 成型零件设计

压铸模结构中构成型腔以形成压铸件形状的零件称为成型零件。一般情况下，浇注系统、溢流与排气系统也在成型零件上加工而成。这些零件直接与金属液接触，承受着高速金属液流的冲刷和高温、高压的作用，成型零件的质量决定了压铸件的精度和质量，也决定了模具的寿命。压铸模的成型零件主要是指镶块和型芯。在结构形式上，分为整体式结构和镶拼式结构两种。

1. 成型零件的结构设计

(1) 整体式结构 成型部分的型腔直接在模板上加工而成，如图 5-58 所示。整体式结构适用于小型单腔的简单模具；生产精度要求不高和低熔点合金压铸件的模具；生产批量小，可不需进行热处理的模具。一般较

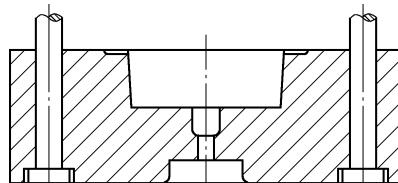


图 5-58 整体式结构

少采用。

(2) 镶拼式结构 成型部分的型腔和型芯是由镶块镶拼而成的。镶块装入模具的套板内加以固定，就构成了动（定）模型腔。这种结构广泛地应用于压铸模具中，如图 5-59 所示。

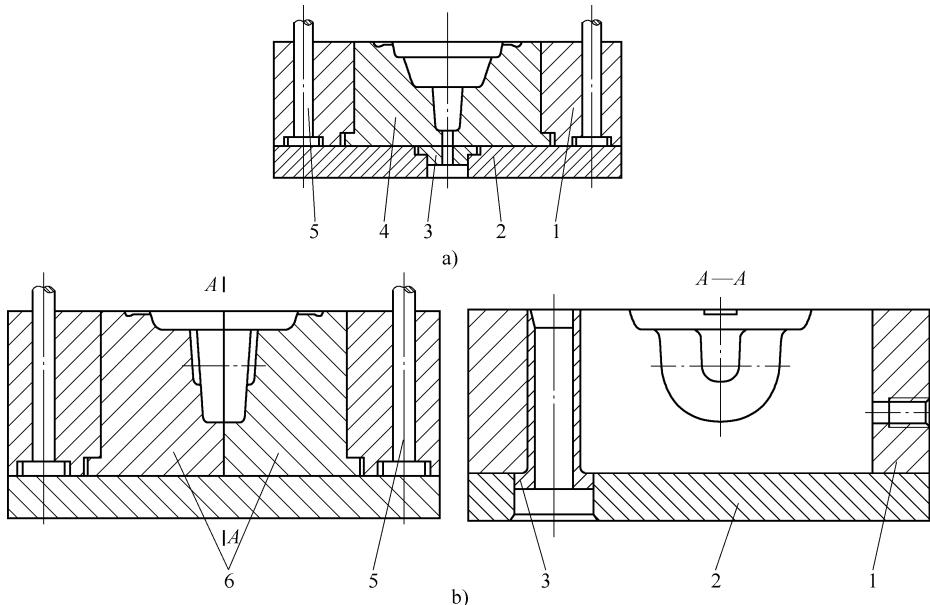


图 5-59 镶拼式结构

a) 整体镶块式 b) 组合镶块式

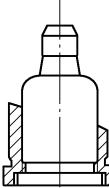
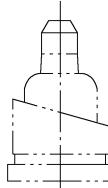
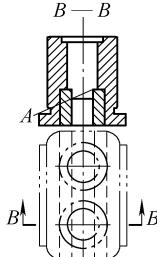
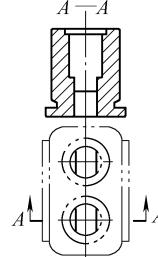
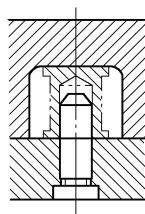
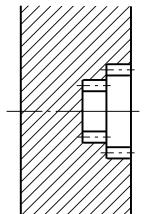
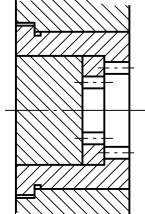
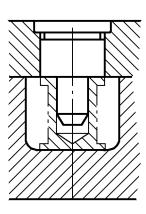
1—定模套板 2—定模座板 3—浇口套 4—整体镶块 5—导柱 6—组合镶块

随着微机控制的电火花加工、线切割加工等先进的加工工艺在模具加工中的应用，除了为满足压铸工艺要求，如排除深腔内的气体或为了易损件便于更换而采用组合镶块外，应尽可能地采用整体镶块。成型零件采用镶拼结构的优点是：能合理使用模具钢，降低成本；便于易损件的更换和修理；拼合处的适当间隙有利于型腔排气。当采用整体镶块时，简化了加工工艺，提高了模具制造质量，容易满足成型部位的精度要求。

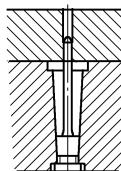
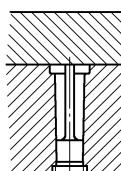
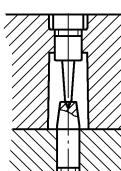
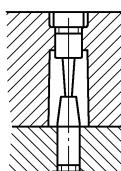
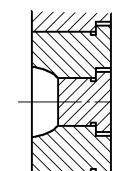
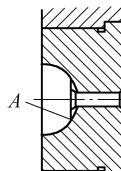
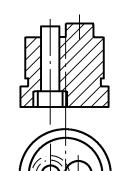
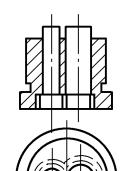
1) 镶拼式结构的设计要点。镶拼式结构的示例见表 5-6。

- ① 便于机械加工，以保证压铸件的尺寸精度和镶块间的配合精度。
- ② 保证镶块和型芯的强度以及提高镶块、型芯与模块间相对位置的稳定性。
- ③ 不应具有锐边和薄壁。因为型芯和镶块上的薄壁和锐角，在压铸生产及热处理过程中，会产生变形和裂纹。

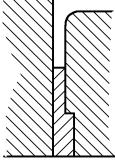
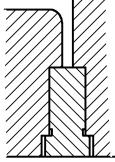
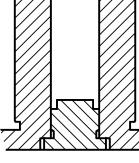
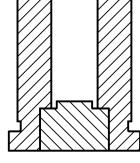
表 5-6 镶拼结构示例

镶块类型	推荐结构		不合理结构	
	图例	说明	图例	说明
便于机械加工的 镶拼结构形式		型芯和镶套的内、外径及斜面均可在热处理后进行磨削，易于研磨和保证精度		环形斜面台阶及相关型芯的外径难以机械加工成形，如用钳工成形，劳动强度高，精度低
		扁圆形通孔由两个镶块组成。装配前A处的配合面必须研磨，保证紧密结合，否则易产生横向飞边。仅适用于压铸件包紧力较小的半模内或设有推出机构的动模部分		扁圆形通孔机械加工难以成形，不但效率低且精度差，难以保证几个孔的两个平面相互垂直或平行
		型芯加工简单，保证嵌件平面与压铸件底平面一致		型芯内定位台阶高度难以保证与镶块平面完全平齐
		内齿轮型腔由三件镶块所组成，机械加工方便，有利于排除型腔内气体		齿轮型腔采用一般机械加工方法难以成形（特别对耐热合金钢）

(续)

镶块类型	推荐结构		不合理结构	
	图例	说明	图例	说明
提高强度和相对位置稳定性 的结构形式	长型芯	 <p>型芯的一端固定，另一端插入另一半模内，增加型芯的刚度，防止型芯弯曲，也有利于排除型腔内气体</p>		型芯的刚度差，易弯曲甚至发生断裂
	不同的直径的细长型芯	 <p>小型芯的锥顶插入大型芯的锥坑内，可增加型芯强度，保证较高的同轴度</p>		细长型芯受金属液的压力与冲击易发生弯曲变形，影响同轴度
避免锐角和薄壁的结构形式	半圆形腔局部有平面	 <p>机械加工虽较复杂，但可保证镶块强度，而且使镶拼间隙的飞边方向与脱模方向一致</p>		镶块边缘A处有锐角，影响模具寿命，易产生与脱模方向不一致的飞边
	两个距离较近直径不同的型芯	 <p>一个型芯在镶块上整体做出，另一个用小型芯单独镶入，机械加工虽然复杂，但消除了薄壁现象，镶块强度高，使用寿命长</p>		机械加工虽较简单，但两个型芯之间产生薄壁，镶块强度差，易出现材料热疲劳，热处理后易变形和产生裂纹

(续)

镶嵌块类型	推荐结构		不合理结构	
	图例	说明	图例	说明
有利于压铸件脱模的镶嵌结构形式	较窄的平面深型腔	 <p>镶嵌间隙的飞边方向与压铸件脱模方向一致，有利压铸件脱模，型腔的深度尺寸便于修正。在镶嵌块上可设置排气槽，有利于排除型腔气体</p>		镶嵌间隙的飞边方向与压铸件脱模方向，垂直易产生横向飞边，致使压铸件滞留在定模内
	深型腔底部有窄槽	 <p>镶嵌间隙的飞边方向与压铸件脱模方向一致，有利压铸件脱模，型腔的深度尺寸便于修正。在镶嵌块上可设置排气槽，有利于排除型腔气体</p>		镶嵌间隙的飞边方向与压铸件脱模方向垂直易产生横向飞边，致使压铸件滞留在定模内

④镶嵌间隙处的飞边方向与脱模方向一致。因模具加工或因模具长期使用，而造成的镶嵌间隙处压铸件的飞边，其方向若与脱模方向不一致，会影响压铸件脱模。

⑤便于维修和调换。镶嵌块和型芯易损部位或直接受金属液冲刷的部位（如卧式压铸模直浇道的底部），要设计成单独的镶嵌块以便于更换和修理。

⑥不影响压铸件外观，便于去除飞边。设计镶嵌块结构时，应尽可能减少压铸件上的镶嵌痕迹，以免影响压铸件外观，减少修整工作量。一般拼接位置应选择在压铸件的外角上。

2) 镶块的固定形式。镶嵌块通常是装在模具的套板内并加以固定。套板分通孔和不通孔两种，固定的形式因而有所不同，但都要求固定时保持与相关零件的稳定性和可靠性，以及便于加工和装卸。

①对不通孔的套板，镶嵌块用螺钉直接紧固在套板上（图 5-60）。该形式多用于圆形镶嵌块或型腔较浅的模具。非圆形镶嵌块只适用于单腔模具。

②对通孔的套板，用台阶压紧镶嵌块或直接用螺钉将镶嵌块和座板紧固。台阶固定形式见图 5-61，多用于型腔较深或一模多腔的模具，以及对于狭小的镶嵌块不便于用螺钉紧固的模具。无台阶式则是镶嵌块与支承板（或压板）直接用螺钉紧固（图 5-62）。

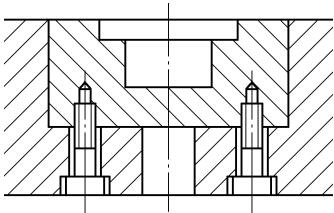


图 5-60 不通孔套板镶块的固定形式

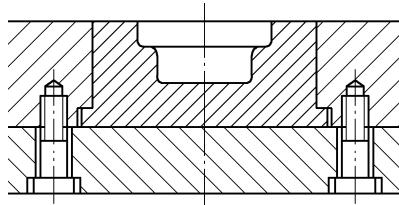


图 5-61 通孔套板台阶固定式

若动、定模都是通孔的，则动模及定模上镶块安装孔的形状和大小应该一致，以便于组合加工，容易保证动、定模的同轴度，防止压铸件错位。

3) 型芯的固定形式。型芯固定时必须保持与相关零件之间的稳定性和可靠性以及便于机械加工和装卸。型芯普遍采用台阶式的固定方式。型芯靠台阶固定在镶块、滑块或动模套板内，制造和装配都很方便（图 5-63）。

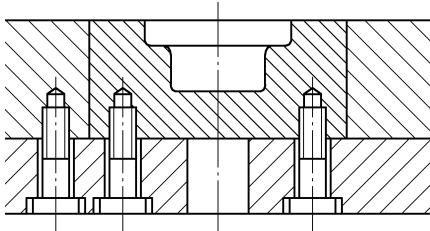


图 5-62 通孔套板无台阶式

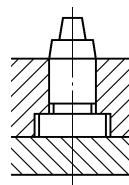


图 5-63 型芯固定形式

4) 镶块和型芯的止转。当圆柱形镶块或型芯的成型部分有方向性时，为了保持动、定模镶块和其他零件的相对位置，必须采用止转措施。常用的止转形式是采用销钉止转和平键止转（图 5-64 和图 5-65）。销钉止转形式加工方便，应用范围较广，但因接触面小，经多次拆卸后装配精度会下降。平键止转形式因接触面大故精度较高。

2. 成型零件的尺寸计算

(1) 影响压铸件尺寸精度的因素 影响压铸件尺寸精度的主要因素有：压铸件的结构、模具的结构和制造误差，收缩率的选择，压铸工艺和生产操作、合金种类、压铸机性能等。由于影响压铸件尺寸精度的因素多而复杂，要对压铸模成型部分的尺寸进行精确的计算很困难。为此，在计算中要全面地考虑影响压铸件尺寸的因素，使计算时的假定条件尽量接近实际情况，并要正确地掌握计算尺寸的原则和方法，以使尺寸达到所要求的精度。

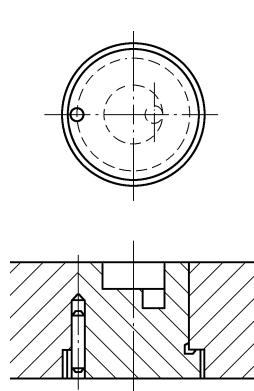


图 5-64 销钉止转形式

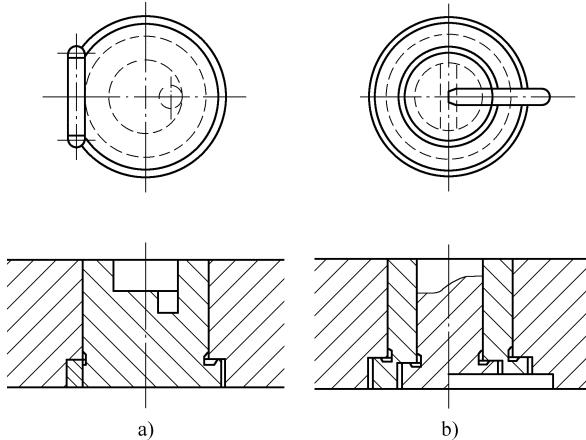


图 5-65 平键止转形式

a) 边缘的 b) 中心的

(2) 镶块的主要尺寸

1) 镶块壁厚尺寸, 见表 5-7。在此表中型腔的长边尺寸 L 及深度尺寸 H_1 是指整个型腔侧面的大部分面积, 对不规则的型腔中的一些小的凸块与凹坑忽略不计。镶块壁厚尺寸 h 与型腔的侧面积 ($L \times H_1$) 成正比。对几何形状复杂、型腔深度 H_1 较小而套板又采用通孔结构的情况, 镶块高度应与套板厚度一致。

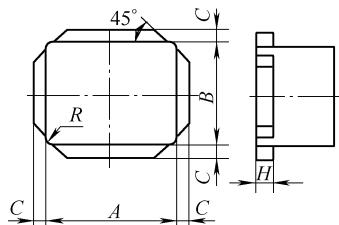
表 5-7 镶块壁厚尺寸推荐值 (单位: mm)

型腔长边尺寸 L	型腔深度 H_1	镶块壁厚尺寸推荐值 (单位: mm)	
		镶块壁厚 h	镶块底厚 H
≤ 80	$5 \sim 50$	15 ~ 30	≥ 15
$> 80 \sim 120$	$10 \sim 60$	20 ~ 35	≥ 20
$> 120 \sim 160$	$15 \sim 80$	25 ~ 40	≥ 25
$> 160 \sim 220$	$20 \sim 100$	30 ~ 45	≥ 30
$> 220 \sim 300$	$30 \sim 120$	35 ~ 50	≥ 35
$> 300 \sim 400$	$40 \sim 140$	40 ~ 60	≥ 40
$> 400 \sim 500$	$50 \sim 160$	45 ~ 80	≥ 45

2) 镶块台阶尺寸, 见表 5-8。

表 5-8 镶块台阶尺寸推荐值

(单位: mm)



镶块台阶	公称尺寸 A					
	≤60	>60 ~ 150	>150 ~ 250	>250 ~ 360	>360 ~ 500	>500 ~ 630
厚度 H	8 ~ 10		12 ~ 15		18 ~ 20	20 ~ 25
宽度 C	3.5		4.5		6	8
圆角半径 R	8	10	12	15	20	25

注: 1. 根据受力状态不同台阶可设在四侧或长边的两侧。

2. 对在同一套板安装孔内的组合镶块, 其公称尺寸 A 是指装配后全部组合镶块的总外形尺寸。

3. 对薄片状的组合镶块, 为提高强度可取 $H \geq 15\text{mm}$, 但不应大于套板高度的 $1/3$ 。

3) 组合式结构成型镶块固定部分长度, 见表 5-9。

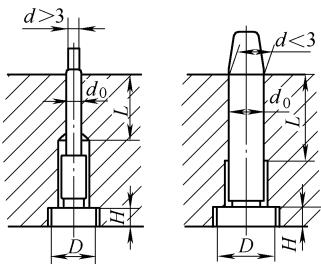
表 5-9 组合式结构成型镶块固定部分长度推荐值 (单位: mm)

简图	成型部分长度 l	固定部分短边尺寸 B	固定部分长度 L
	≤20	≤20	>20
		>20	>15
	>20 ~ 30	≤20	>25
		20 ~ 40	>25
	>40	>20	
	>30 ~ 50	≤20	>30
		20 ~ 40	>25
		>40	>20
	>50 ~ 80	≤20	>40
		20 ~ 40	>35
		>40	>30
	>80 ~ 120	≤20	>45
		20 ~ 50	>40
		>50	>35

(3) 圆型芯的主要尺寸 圆型芯的主要尺寸见表 5-10。

表 5-10 圆型芯尺寸推荐值

(单位: mm)



成型段直径 d	配合段直径 d_0	台阶直径 D	台阶厚度 H	配合段长度 L (不小于)
≤ 3	4	8	5	6 ~ 10
$> 3 \sim 10$		$d_0 + 4$	8	10 ~ 20
$> 10 \sim 18$				15 ~ 25
$> 18 \sim 30$		$d_0 + 5$	10	20 ~ 30
$> 30 \sim 50$				25 ~ 40
$> 50 \sim 80$		$d_0 + 6$	12	30 ~ 50
$> 80 \sim 120$				40 ~ 60
$> 120 \sim 180$		$d_0 + 8$	15	50 ~ 80

注: 为了便于应用标准工具加工孔径 d_0 , 公称尺寸应取整数或取标准铰刀的尺寸规格。

(4) 压铸件的收缩率

1) 实际收缩率。压铸件的实际收缩率 $\varphi_{\text{实}}$ 是指室温时的模具成型尺寸减去压铸件实际尺寸与模具成型尺寸之比, 即

$$\varphi_{\text{实}} = \frac{L_{\text{型}} - L_{\text{实}}}{L_{\text{型}}} \times 100\% \quad (5-11)$$

式中 $L_{\text{型}}$ —— 室温下模具的成型尺寸 (mm);

$L_{\text{实}}$ —— 室温下压铸件的实际尺寸 (mm)。

2) 计算收缩率。设计模具时, 计算成型零件所采用的收缩率为计算收缩率 φ , 它包括了压铸件收缩值和成型零件从室温到工作温度时膨胀值, 即

$$\varphi = \frac{L' - L}{L} \times 100\% \quad (5-12)$$

式中 L' —— 通过计算的模具成型零件尺寸 (mm);

L —— 压铸件的公称尺寸 (mm)。

几种常用压铸合金的计算线收缩率见表 5-11。

表 5-11 几种常用压铸合金的计算线收缩率

合 金	φ (%)		合 金	φ (%)	
	自由收缩	受阻收缩		自由收缩	受阻收缩
锌合金	0.50 ~ 0.65	0.4 ~ 0.60	镁合金	0.60 ~ 0.85	0.50 ~ 0.75
铝合金	0.50 ~ 0.75	0.45 ~ 0.65	铜合金	0.70 ~ 1.0	0.60 ~ 0.85

3) 收缩率的确定。压铸件的收缩率应根据压铸件结构特点、收缩受阻条件、收缩方向、压铸件壁厚、合金成分以及有关工艺因素等确定。

①压铸件结构复杂、型芯多，收缩受阻大时，收缩率较小；反之收缩率较大。

②薄壁压铸件收缩率小，厚壁压铸件收缩率大。

③压铸件脱模温度越高，压铸件同室温的温差越大，则收缩率也大。

④压铸件收缩率受模具型腔温度不均匀的影响，靠近浇口处型腔温度高，收缩率较大，远离浇口处型腔温度较低，收缩率较小。

(5) 模具成型尺寸计算 计算型腔尺寸的目的是为了保证压铸件的尺寸精度，但影响尺寸精度的因素很多，而且有些因素是随时在变化的，所以要精确计算型腔尺寸是困难的，一般都是采取调整主要因素上下偏差的方法来决定型腔尺寸。

1) 成型尺寸的分类及尺寸计算的要点。成型尺寸主要可分为：型腔尺寸(包括型腔深度尺寸)、型芯尺寸(包括型芯高度尺寸)、成型部分的中心距离和位置尺寸等。

各类成型尺寸的计算要点如下：

①型腔磨损后尺寸增大。因此，计算型腔尺寸时，应保持压铸件外形尺寸接近下极限尺寸。

②型芯磨损后尺寸减小。因此，计算型芯尺寸时，应保持压铸件内形尺寸接近上极限尺寸。

③两个型芯或型腔之间的中心距离和位置尺寸与磨损量无关，应保持压铸件尺寸接近上下两个极限尺寸的平均值。

④凡有脱模斜度的各类成型尺寸，对无加工余量的压铸件，应保证压铸件在装配时不受阻碍。对留有加工余量的压铸件，应保证加工时有足够的加工余量。

2) 模具成型尺寸的计算公式

①型腔尺寸的计算(图 5-66) 公式如下：

$$D'^{\frac{+A'}{0}} = (D + D\varphi - 0.7\Delta)^{\frac{+A'}{0}} \quad (5-13)$$

$$H'^{\frac{+A'}{0}} = (H + H\varphi - 0.7\Delta)^{\frac{+A'}{0}} \quad (5-14)$$

式中 D' 、 H' ——型腔尺寸或型腔深度尺寸 (mm)；

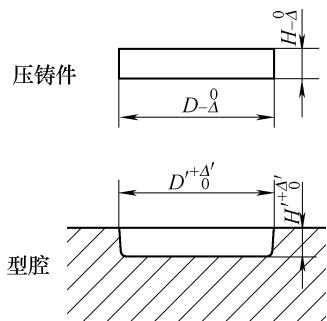


图 5-66 型腔尺寸计算

- D 、 H ——压铸件外形的上极限尺寸 (mm);
 φ ——压铸件计算收缩率 (%);
 Δ ——压铸件公称尺寸的偏差 (mm);
 Δ' ——成型部分公称尺寸的制造偏差 (mm);
 0.7Δ ——尺寸补偿和磨损系数计算值 (mm)。

②型芯尺寸的计算 (图 5-67) 公式如下:

$$d'_{-\Delta'} = (d + d\varphi + 0.7\Delta)_{-\Delta'}^0 \quad (5-15)$$

$$h'_{-\Delta'} = (h + h\varphi + 0.7\Delta)_{-\Delta'}^0 \quad (5-16)$$

- 式中 d' 、 h' ——型芯尺寸或型芯高度尺寸 (mm);
 d 、 h ——压铸件内形的下极限尺寸 (mm);
 φ ——压铸件的计算收缩率 (%);
 Δ ——压铸件公称尺寸的偏差 (mm);
 Δ' ——成型部分公称尺寸的制造偏差 (mm);
 0.7Δ ——尺寸补偿和磨损系数计算值 (mm)。

③中心距离、位置尺寸的计算 (图 5-68) 公式如下:

$$L' \pm \Delta' = (L + L\varphi) \pm \Delta' \quad (5-17)$$

- 式中 L' ——成型部分的中心距离、位置的平均尺寸 (mm);
 L ——压铸件中心距离、位置的平均尺寸 (mm);
 φ ——压铸件计算收缩率 (%);
 Δ ——压铸件中心距离、位置尺寸的偏差 (mm);
 Δ' ——成型部分中心距离、位置尺寸的制造偏差 (mm)。

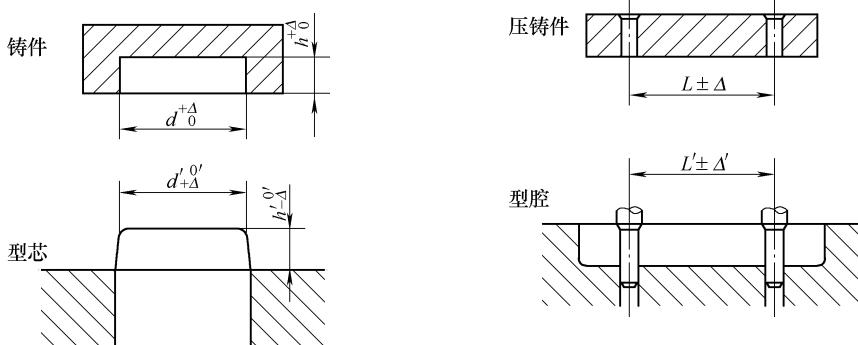


图 5-67 型芯尺寸计算

图 5-68 中心距离、位置尺寸计算

- 型腔和型芯尺寸的制造偏差 Δ' 按下列规定选取:
当压铸件尺寸为 IT11 ~ IT13 级精度时, Δ' 取 $1/5\Delta$;
当压铸件尺寸为 IT14 ~ IT16 级精度时, Δ' 取 $1/4\Delta$ 。

中心距离、位置尺寸的制造偏差 Δ' 按下列规定选取：

当压铸件尺寸为IT11~IT14级精度时， Δ' 取 $1/5\Delta$ ；

当压铸件尺寸为IT15~IT16级精度时， Δ' 取 $1/4\Delta$ 。

压铸件的尺寸偏差 Δ 和模具成型部分尺寸的制造偏差 Δ' 的正负符号，是按压铸件和模具在加工和使用过程中的尺寸变化趋向而定的。当零件在机械加工过程中按图样设计基准推算，尺寸趋向于增大的，偏差符号为“+”；尺寸趋向于减小的，偏差符号为“-”；尺寸变化趋向稳定的如中心距离、位置尺寸的偏差符号为“±”。

在应用式(5-13)~式(5-17)时应注意 Δ 和 Δ' 的“+”或“-”偏差符号，必须随同偏差值一起代入公式。

5.7 抽芯机构设计

阻碍压铸件从模具中沿着垂直于分型面方向取出的成型部分，都必须在开模前或开模过程中脱离压铸件。模具结构中，使这种阻碍压铸件脱模的成型部分在开模动作完成前脱离压铸件的机构，称为抽芯机构。

1. 常用抽芯机构及其特点

(1) 抽芯机构的组成 抽芯机构的组成见图5-69。抽芯机构一般由下列几部分组成：

1) 成型元件。形成压铸件的侧孔、侧凹(凸)表面或曲面，如型芯、型块等。

2) 运动元件。带动型芯或型块在模套导滑槽内运动，如滑块、斜滑块等。

3) 传动元件。迫使运动元件作抽芯和插芯动作，如斜销、齿条、液压抽芯器等。

4) 锁紧元件。合模后压紧运动元件，防止压射时受到反压力作用而产生位移，如锁紧块、楔紧块等。

5) 限位元件。使运动元件在开模以后停留在所要的位置上，保证合模时传动元件工作顺利，如限位块、限位钉等。

(2) 抽芯机构分类 常用抽芯机构分机械抽芯机构、液压抽芯机构和其他抽芯机构三大类，其中机械抽芯机构应用最为普遍。

1) 机械抽芯机构：

①斜销抽芯机构(图5-70)：特点是以压铸机的开

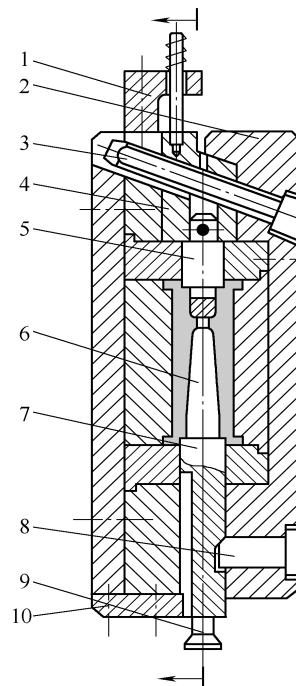


图 5-69 抽芯机构的组成

- 1—限位块 2—定模板 3—斜销
- 4—矩形滑块 5、6—型芯
- 7—圆形滑块 8—楔紧块
- 9—液压抽芯接头
- 10—止转导向块

模力作为抽芯的动力，结构简单，抽出方向一般与分型面平行或有不大的夹角。用于抽出接近分型面且抽芯力不太大的型芯。

②弯销抽芯机构（图 5-71）：特点是延时抽芯距离长。弯销可设在模具外侧，结构紧凑。用于抽出离分型面垂直距离较远的型芯。

③齿轮齿条抽芯机构（图 5-72）：特点是抽出方向可与分型面成任何角度，且抽芯距离较长，可实现长距离延时抽芯。模具结构较复杂，抽芯力较小。

④斜滑块抽芯机构（图 5-73）：特点是抽芯与推出压铸件动作同时进行。斜滑块间隙有利排气。适用于抽出成型深度较浅、面积较大的凹凸表面。

2) 液压抽芯机构（图 5-74）。特点是可抽出与分型面成任何角度的型芯。液压抽芯器是通用件，简化了模具设计，抽芯力和抽芯距离可供选择的范围大，抽芯动作平稳。普遍用于大中型模具。

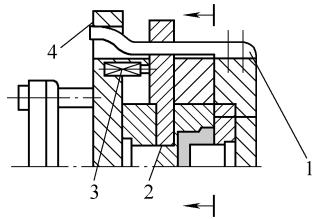


图 5-71 弯销抽芯机构

1—弯销 2—型芯滑块
3—限位钉 4—楔紧块

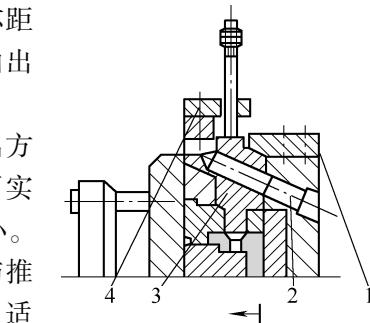


图 5-70 斜销抽芯机构

1—楔紧块 2—斜销
3—型芯滑块 4—限位块

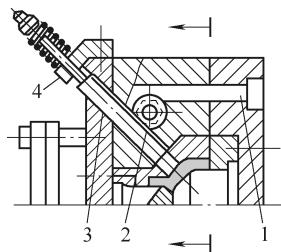


图 5-72 齿轮齿条抽芯机构

1—齿条 2—齿轮 3—型芯
齿条 4—限位块

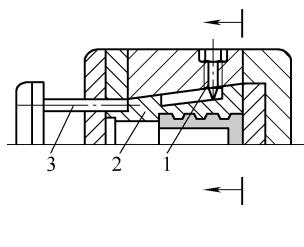


图 5-73 斜滑块抽芯机构

1—限位钉 2—斜滑块 3—推杆

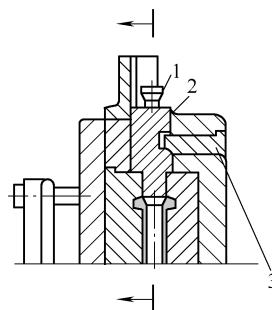


图 5-74 液压抽芯机构

1—接头 2—型芯滑块 3—楔紧块

3) 其他抽芯机构

① 手动抽芯机构(图5-75):特点是模具结构简单。用于定模抽芯和远离分型面处的小型芯抽芯;用于小批量生产。

② 活动镶块模外抽芯(图5-76):用于复杂成型部分的抽芯。抽芯在模外进行,可简化模具结构。常用于小批量生产或无法采用一般抽芯机构的场合。

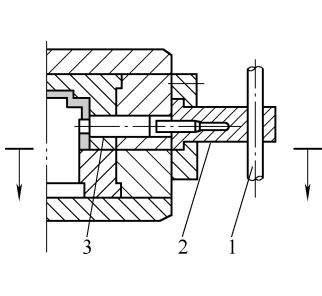


图 5-75 手动抽芯机构

1—手柄 2—转动螺母 3—型芯

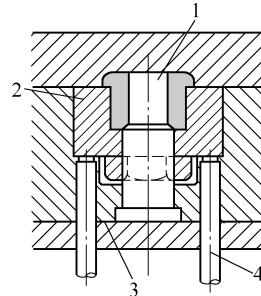


图 5-76 活动镶块模外抽芯机构

1—型芯 2—活动镶块 3—动模 4—推杆

(3) 抽芯机构的设计要点

- 1) 计算抽芯力,并根据抽芯力的大小,设计抽芯机构的构件。
- 2) 活动型芯插入型腔后应有定位面,以保持准确的型芯位置。
- 3) 型芯与滑块一般采用镶嵌的形式,镶嵌处要求牢固可靠。
- 4) 采用机械抽芯机构,借助开模力完成抽芯动作时,除在活动型芯投影面积范围内尽量不设推出元件外,还应尽量避免定模抽芯。
- 5) 需设置限位装置,开模抽芯后使滑块停留在一定位置上,不致因滑块自重或抽芯时的惯性而越位。

2. 抽芯力和抽芯距离的确定

(1) 抽芯力 压铸时,金属液充填型腔,冷凝收缩后对型芯的成型部分产生包紧力,抽芯时需克服由压铸件收缩产生的包紧力和抽芯机构运动时所受的各种阻力,两者的合力即为抽芯力。

在开始抽芯的瞬间,所需抽芯力最大,为起始抽芯力。而后继续抽芯时,只需克服机构及型芯运动时的阻力,为相继抽芯力。以下计算的抽芯力,均指起始抽芯力。

1) 抽芯力的估算法。抽芯时型芯受力的状况见图5-77,抽芯力按下式计算:

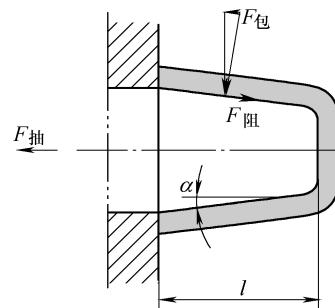


图 5-77 抽芯力分析图

$$F = F_{\text{阻}} \cos\alpha - F_{\text{包}} \sin\alpha = Llp (\mu \cos\alpha - \sin\alpha) \quad (5-18)$$

式中 F ——起始抽芯力 (10N);

$F_{\text{阻}}$ ——抽芯阻力 (10N);

$F_{\text{包}}$ ——压铸件冷凝收缩后对型芯产生的包紧力 (10N);

L ——被压铸件包紧的型芯成型部分断面周长 (cm);

l ——被压铸件包紧的型芯成型部分长度 (cm);

p ——挤压应力 (10^5 Pa), 对锌合金一般 p 取 $60 \sim 80 \times 10^5$ Pa; 对铝合金一般 p 取 $100 \sim 120 \times 10^5$ Pa; 对铜合金一般 p 取 $120 \sim 160 \times 10^5$ Pa;

μ ——压铸合金对型芯的摩擦因数, 一般取 $0.2 \sim 0.25$;

α ——型芯成型部分的脱模斜度 ($^\circ$)。

2) 抽芯力的查图法。按式 (5-18) 取挤压应力和摩擦因数的较大值, 作出镁、锌、铝、铜合金压铸时的抽芯力查用图 (图 5-78), 可简化设计时的计算过程。

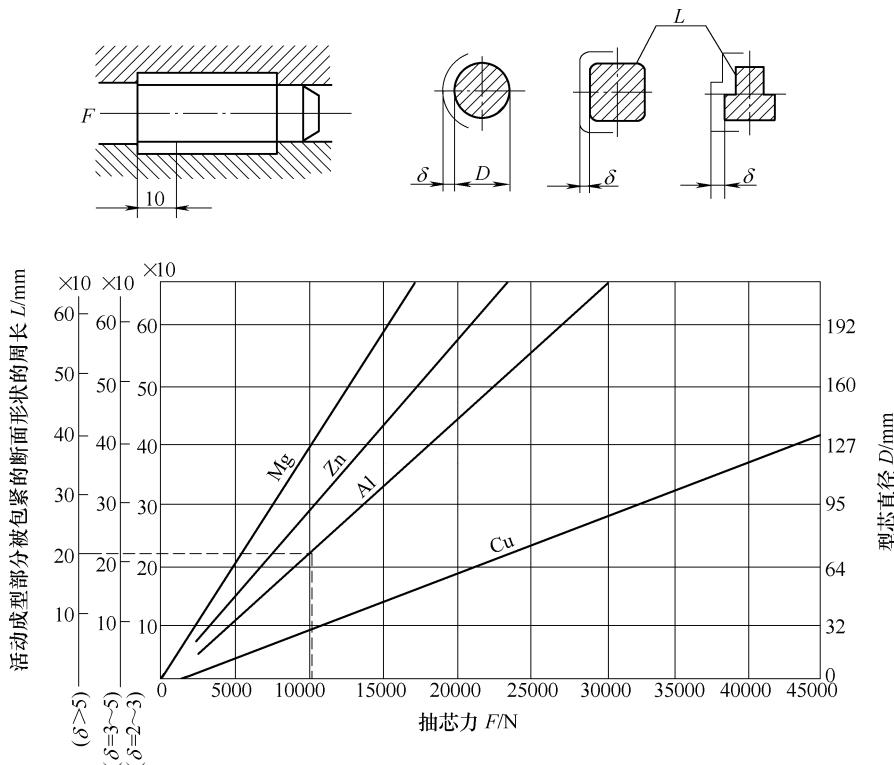


图 5-78 型芯为 10mm 长的抽芯力
(δ 为压铸件壁厚)

(2) 抽芯距离 抽芯后活动型芯应完全脱出压铸件的成型表面，使压铸件能顺利推出型腔。抽芯距离的计算如下

$$s_{\text{抽}} = s_{\text{移}} + k \quad (5-19)$$

式中 $s_{\text{抽}}$ ——抽芯距离 (mm)；

$s_{\text{移}}$ ——滑块型芯完全脱出成型处的移动距离 (mm)；

k ——安全值 (mm)，安全值 k 按抽芯距离长短及抽芯机构选定，见表 5-12。

表 5-12 常用抽芯距离的安全值 k (单位: mm)

抽芯机构	滑块型芯完全脱出成型处的移动距离 $s_{\text{移}}$				
	< 10	10 ~ 30	30 ~ 80	80 ~ 180	180 ~ 360
斜销、弯销、手动	3 ~ 5		5 ~ 8		8 ~ 12
齿轮齿条	5 ~ 10 (圆整为整齿)				
斜滑块	2 ~ 3	3 ~ 5	—	—	—
液压	—	—	8 ~ 10	10 ~ 15	> 15

3. 斜销抽芯机构

(1) 斜销抽芯机构的组成及抽芯过程 由图 5-79 可知，斜销抽芯机构主要是由构成压铸件侧孔的成型元件活动型芯 10、带动型芯在动模套板导滑槽内作抽芯运动的运动元件滑块 4、安装在定模套板内与分型面成一定倾角的传动元件斜销 3、防止压铸时运动元件产生位移的锁紧元件楔紧块 2 和使运动元件准确定位的限位元件限位块 8 等组成。

斜销抽芯机构的抽芯过程 (见图 5-80)：

1) 开模：定模、动模分开，滑块随动模作水平运动，与此同时滑块被强制地沿斜销作向上运动，将型芯从压铸件的侧孔内抽出来。随着开模过程的进行，动、定模之间的距离越来越大。当滑块脱出斜销之时，亦即完成了抽芯动作。随后是推出机构推出压铸件及清理模具、喷刷涂料等合模前的准备工作。

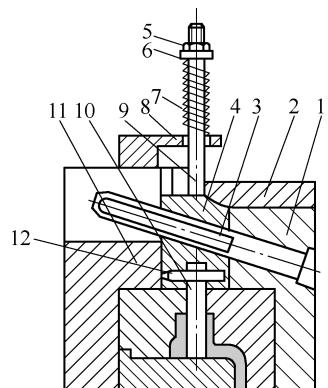


图 5-79 斜销抽芯机构的组成
1—定模套板 2—楔紧块 3—斜销
4—滑块 5—螺母 6—垫圈
7—压缩弹簧 8—限位块
9—螺栓 10—活动型芯
11—动模套板 12—销钉

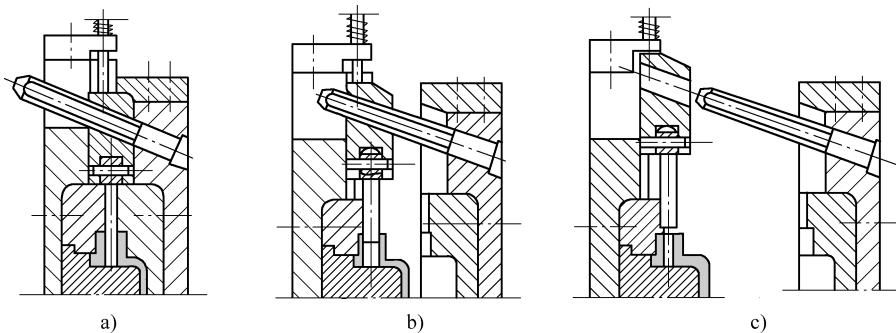


图 5-80 斜销抽芯动作过程

a) 合模状态 b) 开模抽芯 c) 抽芯结束

2) 合模: 开模结束时由于限位块的作用, 使滑块停留在与斜销脱离时的位置上, 因此在合模过程中, 斜销就会很顺利地插入滑块的导滑孔中, 强制滑块在合模过程中向下运动, 当动、定模合拢时, 滑块也就恢复到开模抽芯之前的位置。

(2) 斜销抽芯机构的设计要点

1) 斜销的基本形式及作用。斜销的基本形式见图 5-81; 斜销各部分的作用见表 5-13。

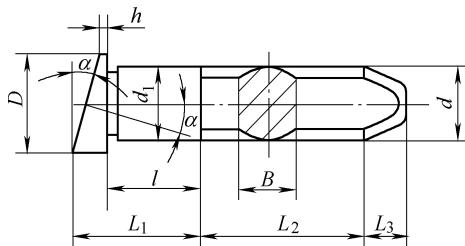


图 5-81 斜销的基本形式

表 5-13 斜销各部分的作用

符 号	作 用	选用尺寸范围
α	强制滑块作抽芯运动	$10^\circ \sim 25^\circ$
d	承受抽芯力	$\phi 10 \sim \phi 40\text{mm}$
L_1	固定于模套内使斜销工作时可靠	按需要进行计算
L_2	完成抽芯所需工作段的尺寸	按需要进行计算
L_3	插芯时保持斜销准确插入滑块斜孔	$\beta = \alpha + 2^\circ \sim 3^\circ$ 或 $\beta = 30^\circ$
B	减少斜销工作时摩擦阻力	$B = 0.8d$
l	斜销固定牢靠	$l \geq 1.5d$
D	防止斜销脱出套板	$D = d + (6 \sim 8)\text{ mm}$
h	保证固定端台阶强度	$h \geq 5\text{mm}$
d_1	斜销在套板中固定	—

2) 滑块的导滑结构形式:

① “T”形滑块结构(图5-82):该结构稳定可靠,是最常用的结构形式。

②方导套圆滑块结构(图5-83):用于抽出分型面上的活动型芯。圆滑块在方导套内滑动,方导套固定于动模套板上,压射时金属液不易窜入导滑槽内,保持合模后滑块的正确位置。

③圆形滑块结构(图5-84):适用于距分型面垂直距离较远的小孔的抽芯。结构紧凑,动模套板强度较好。

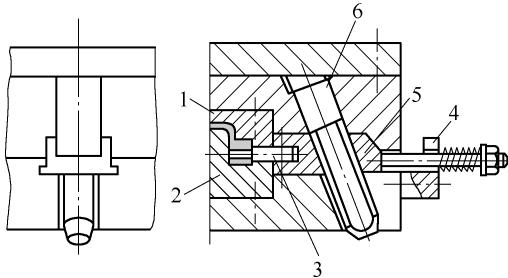


图 5-82 “T”形滑块结构

1—定模 2—动模 3—活动型芯 4—限位块 5—“T”形滑块 6—斜销

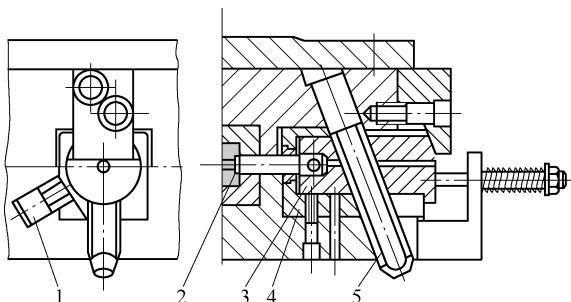


图 5-83 方导套圆滑块结构

1—止转装置 2—活动型芯 3—圆滑块
4—方导套 5—斜销

④导柱式外接滑块结构(图5-85):该结构简单,节省材料,但构件刚度差。

3) 斜销在模套中的安装形式(图5-86)。斜销一定要安装牢固,工作时稳定可靠。当斜销较长时还应对压铸机的有效开模距离进行核算,以保证模具所需最小开模距离小于压铸机的有效开模距离。

4) 斜销孔位置的确定。如图5-87所示,确定斜销孔距 s 、 s_1 、 s_2 和 s_3 的步骤如下:

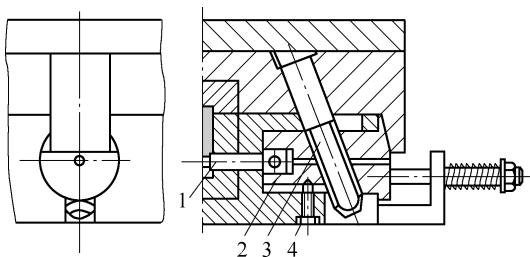


图 5-84 圆形滑块结构

1—活动型芯 2—圆形滑块 3—斜销 4—止转螺钉

①在滑块顶面长度为 $1/2$ 处取B点，通过B点作出斜角为 α 的直线段与模具外平面相交于A点。

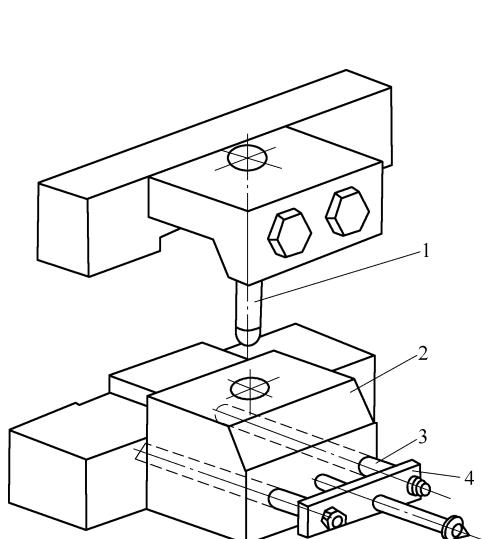


图 5-85 导柱式外接滑块结构

1—斜销 2—外接滑块
3—导柱 4—限位块

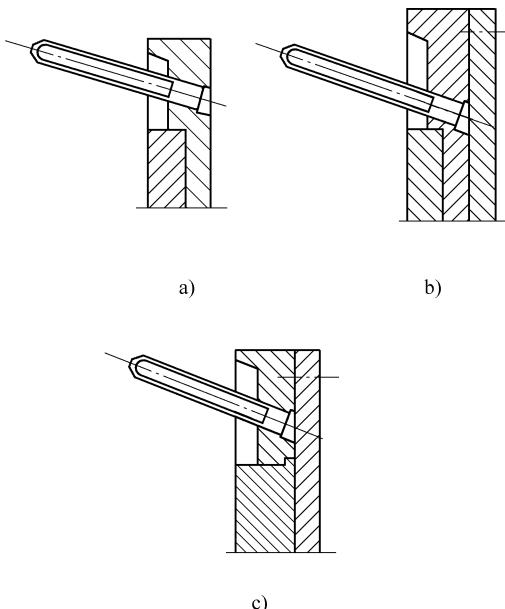


图 5-86 斜销的安装形式

②计算A点到模具中心线的距离，并圆整为整数，此数即为斜销孔距的基本尺寸 s 。

③斜销中心线上B、C、D各点至模具中心线的距离时可按以下三式计算：

$$s_1 = s + H \tan \alpha, \quad s_2 = s_1 + H_1 \tan \alpha, \quad s_3 = s_2 + H_2 \tan \alpha$$

④斜销孔中心线在滑块顶面上的投影应与滑块抽芯方向的轴线相重合（一根斜销抽芯时）或平行（两根斜销抽芯时）。

(3) 斜销工作段尺寸的计算与选择

1) 斜销斜角 α 的选择。抽芯方向与分型面平行时，斜角的选择与抽芯力的大小、抽芯行程的长短、斜销承受的弯曲应力以及开模阻力有关，见图 5-88 及表 5-14。由图和表可知：①如不考虑摩擦力， α 值增大时，要得到相同的抽芯力 F ，斜销所受的弯曲力 $F_{\text{弯}}$ 就增大，所需的开模阻力 $F_{\text{阻}}$ 也增大； α 值减小时则相反；②在一定抽芯距 $s_{\text{抽}}$ 的情况下， α 值越小，斜销的有效工作长度 s' 及开模行程 s 均需增大；过大的 s' 使斜销刚性下降，而 s 值增大有时受到压铸机行程的限制。综上分

析, 从斜销受力考虑, 希望 α 值小一些, 从斜销的结构考虑, 希望 α 值大一些。总之, 斜销斜角 α 应综合考虑, 统筹兼顾。

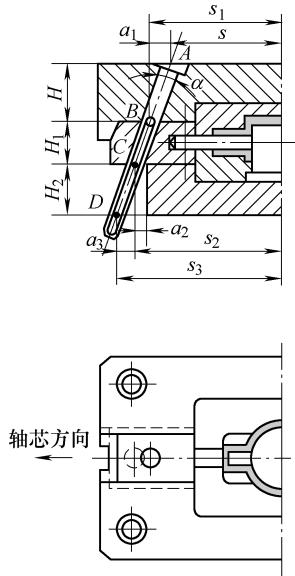


图 5-87 斜销孔位置的确定

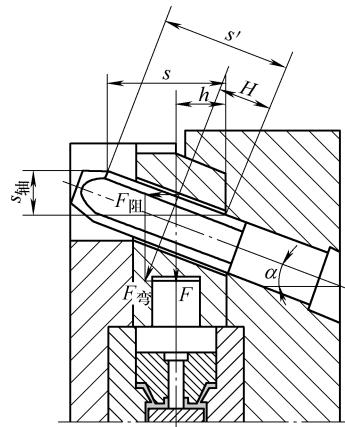


图 5-88 斜销受力图

α —斜销斜角 $s_{\text{抽}}$ —抽芯距离 F —抽芯力
 $F_{\text{弯}}$ —斜销抽芯时所受弯曲力 $F_{\text{阻}}$ —开模阻力
 H —斜销受力点距离 h —斜销受力点垂直距离

表 5-14 斜销斜角与其他参数的关系

α	$F_{\text{阻}} = F \tan \alpha$	$F_{\text{弯}} = \frac{F}{\cos \alpha}$	$s' = \frac{s_{\text{抽}}}{\sin \alpha}$	$s = s_{\text{抽}} \cot \alpha$	α 与 $F_{\text{阻}}$ 、 F 、 $F_{\text{弯}}$ 、 $s_{\text{抽}}$ 、 s 的相互关系
10°	$F_{\text{阻}} = 0.176F$	$F_{\text{弯}} = 1.015F$	$s' = 5.75s_{\text{抽}}$	$s = 5.67s_{\text{抽}}$	α 值小, 开模力小而抽芯力大, 抽芯产生的开模阻力为抽芯力的 17% ~ 26%。抽芯力作用在斜销上的弯曲力小, 能抽出需要抽芯力较大的型芯 用于抽短型芯
	$F = 5.69F_{\text{阻}}$				
15°	$F_{\text{阻}} = 0.268F$	$F_{\text{弯}} = 1.035F$	$s' = 3.86s_{\text{抽}}$	$s = 3.73s_{\text{抽}}$	α 值适中, 抽芯时的开模阻力为抽芯力的 30% ~ 35%, 斜销承受弯曲力近于抽芯力 1.05 倍 抽芯所需的开模距离均为抽芯行程的 3 倍
	$F = 3.73F_{\text{阻}}$				
18°	$F_{\text{阻}} = 0.325F$	$F_{\text{弯}} = 1.051F$	$s' = 3.24s_{\text{抽}}$	$s = 3.08s_{\text{抽}}$	α 值适中, 抽芯时的开模阻力为抽芯力的 30% ~ 35%, 斜销承受弯曲力近于抽芯力 1.05 倍 抽芯所需的开模距离均为抽芯行程的 3 倍
	$F = 3.06F_{\text{阻}}$				
20°	$F_{\text{阻}} = 0.364F$	$F_{\text{弯}} = 1.064F$	$s' = 2.93s_{\text{抽}}$	$s = 2.75s_{\text{抽}}$	α 值适中, 抽芯时的开模阻力为抽芯力的 30% ~ 35%, 斜销承受弯曲力近于抽芯力 1.05 倍 抽芯所需的开模距离均为抽芯行程的 3 倍
	$F = 2.74F_{\text{阻}}$				

(续)

α	$F_{\text{阻}} = F \tan \alpha$	$F_{\text{弯}} = \frac{F}{\cos \alpha}$	$s' = \frac{s_{\text{抽}}}{\sin \alpha}$	$s = s_{\text{抽}} \cot \alpha$	α 与 $F_{\text{阻}}$ 、 F 、 $F_{\text{弯}}$ 、 $s_{\text{抽}}$ 、 s 的相互关系
22°	$F_{\text{阻}} = 0.404F$	$F_{\text{弯}} = 1.062F$	$s' = 2.62s_{\text{抽}}$	$s = 2.41s_{\text{抽}}$	α 值较大，所需开模力大，抽芯力小。抽芯时产生的开模阻力为抽芯力的 40% ~ 45%，抽芯力作用于斜销上的弯曲力为抽芯力的 1.1 倍，斜销承受弯力大 抽芯所需的开模距离约为抽芯行程的 2.5 倍 斜销受力状况较差，为了缩短开模行程可用于抽芯行程较长的型芯
	$F = 2.48F_{\text{阻}}$				
25°	$F_{\text{阻}} = 0.466F$	$F_{\text{弯}} = 1.108F$	$s' = 2.36s_{\text{抽}}$	$s = 2.14s_{\text{抽}}$	
	$F = 2.15F_{\text{阻}}$				

2) 斜销直径的估算。斜销所受的力，主要取决于抽芯时作用于斜销上的弯曲力。斜销直径 d (cm) 的估算公式如下：

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{F_{\text{弯}} h}{300 \cos \alpha}} \quad (5-20)$$

或

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{F h}{300 \cos^2 \alpha}}$$

式中 $F_{\text{弯}}$ ——斜销承受的最大弯曲力 (10N)。许用抗弯强度取 300MPa；

h ——滑块端面至受力点的垂直距离 (cm)；

F ——抽芯力 (10N)。

3) 斜销长度的确定。对于斜销抽芯机构，按所选定的抽芯力、抽芯行程、斜销位置、斜销斜角、斜销直径以及滑块的大致尺寸，在总图上按比例作图进行大致布局后，即可按作图法或计算法来确定斜销的长度。

作图法 (图 5-89) 步骤如下：

取消滑块端面斜孔与斜销外侧斜面接触处为 A 点；

自 A 点作平行于分型面的直线 AC ，使 AC 等于 $s_{\text{抽}}$ ($s_{\text{抽}}$ 为抽芯距离)；

自 C 点作垂直于 AC 线的 BC 线，交斜销处侧斜面于 B 点；

AB 线段的长度 L' 为斜销有效工作段

$$\text{长度}, L' = \frac{s_{\text{抽}}}{\sin \alpha};$$

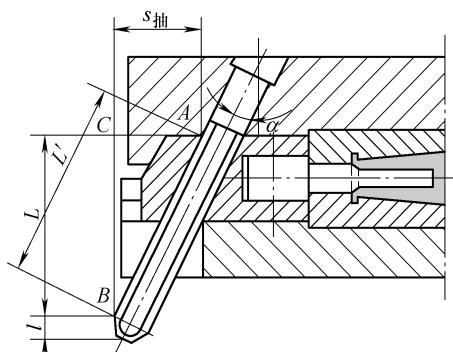


图 5-89 用作图法确定斜销有效工作段长度

BC 线段长度加上斜销导引头部高度 l' 为斜销抽芯结束时所需的最小开模距离

$$L = \frac{s_{\text{抽}}}{\tan \alpha} + l'.$$

计算法见图 5-90。斜销长度的计算是根据抽芯距离 $s_{\text{抽}}$ 、固定端模套厚度 H 、斜销直径 d 以及所采用的斜角 α 的大小而定。斜销总长度 L 的计算公式如下：

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = \frac{D - d}{2} \tan \alpha + \frac{H}{\cos \alpha} + d \tan \alpha + \frac{s_{\text{抽}}}{\sin \alpha} + (5 \sim 10) \text{ mm} \quad (5-21)$$

式中 L_1 ——斜销固定端尺寸 (mm)；

L_2 ——斜销工作段尺寸 (mm)；

L_3 ——斜销工作导引段尺寸，一般取 5~10mm；

$s_{\text{抽}}$ ——抽芯距离 (mm)；

H ——斜销固定段套板的厚度 (mm)；

α ——斜销斜角 (°)；

d ——斜销工作段直径 (mm)；

D ——斜销固定段台阶直径 (mm)。

(4) 斜销延时抽芯 延时抽芯是指开模后，抽芯机构不立即开始工作，而是当动、定模分开一定距离后才开始抽芯。斜销的延时抽芯是靠与斜销配合的滑块斜孔在型芯抽出方向上留出的加长量来实现的。由于受到滑块长度与斜销长度的限制，加长量不可能留得很大，所以延时抽芯行程较短，一般仅用于压铸件对动、定模模型芯的包紧力较大或压铸件分别对动、定模包紧力相等的场合，以保证开模时压铸件留在动模上。

延时抽芯参数的计算如下：

1) 延时抽芯的行程 $s_{\text{延}}$ 按设计需要确定 (图 5-91)。

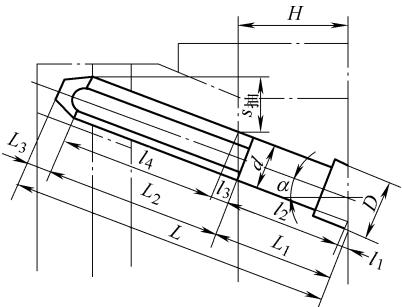


图 5-90 斜销尺寸计算

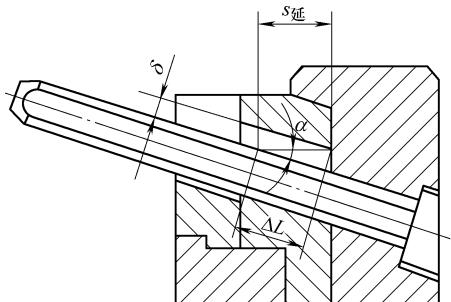


图 5-91 延时抽芯的有关参数

2) 延时抽芯的斜销直径 d 可参照式 (5-20) 进行计算。此时斜销开始抽芯时的受力点已外移了 $s_{\text{延}}$ 这一段距离。

3) 滑块斜孔加长量按下式计算：

$$\delta = s_{\text{延}} \sin \alpha \quad (5-22)$$

式中 δ ——滑块斜孔加长量 (mm)；

$s_{延}$ ——延时行程 (mm);

α ——斜销斜角 ($^{\circ}$)。

4) 延时抽芯时斜销的总长度是按式 (5-21) 计算后再加上因 $s_{延}$ 引起的增长

$$\text{量 } \Delta L, \Delta L = \frac{s_{延}}{\cos\alpha}.$$

4. 弯销抽芯机构

(1) 弯销抽芯机构的组成及抽芯过程 弯销抽芯机构的组成如图 5-92 所示。

弯销的抽芯动作过程如图 5-93 所示, 图 5-93a 为抽芯前的合模状态。图 5-93b 为抽芯前的开模过程。靠压铸机的开模力, 卸除了压铸件对定模型芯的包紧力, 楔紧块脱离了滑块, 弯销开始进入抽芯状态。图 5-93c 中动、定模完全分开, 抽芯过程结束, 滑块由限位钉定位, 以便再次合模。

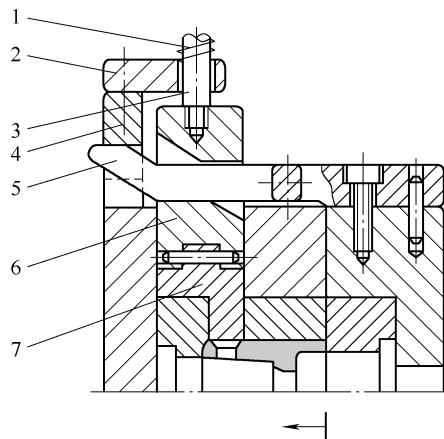


图 5-92 弯销抽芯机构的组成

1—弹簧 2—限位块 3—柱头螺钉 4—楔紧块
5—弯销 6—滑块 7—型芯

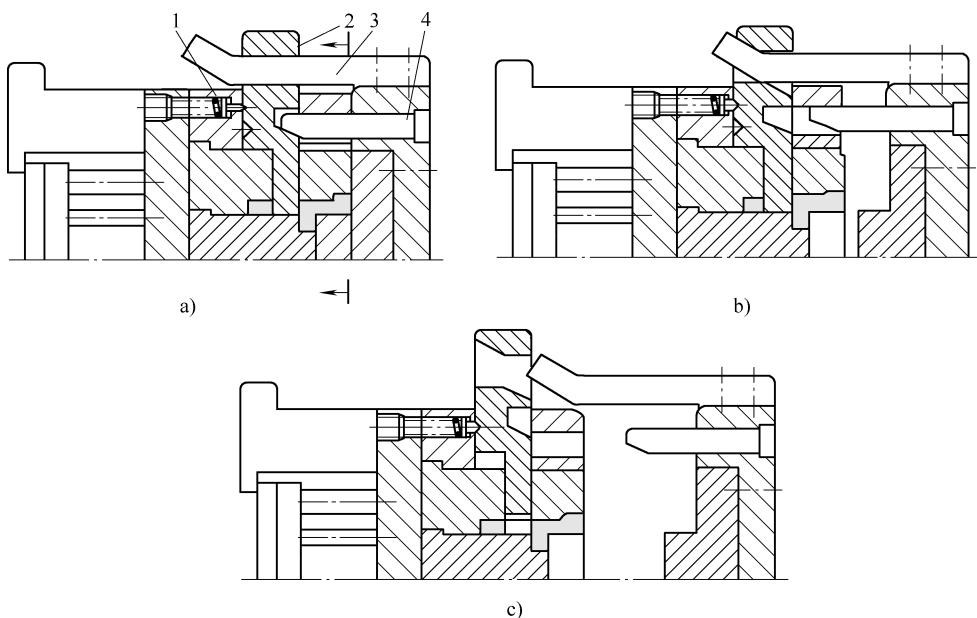


图 5-93 弯销的抽芯动作过程

1—限位钉 2—型芯滑块 3—弯销 4—楔紧块

(2) 弯销抽芯机构的设计要点

1) 弯销的结构形式。通常根据抽芯力的大小、抽芯距离的长短、是否需要延时抽芯等因素决定。

2) 弯销的固定形式。分三种：一种固定于定模套板外侧，模套强度高，结构紧凑，但滑块较长。另一种固定于定模套板内，为保持模套的强度应适当加大模套外形尺寸。还有一种固定于动模支承板或推板上，用于抽芯力较小、抽芯距离较短的定模抽芯。

3) 弯销的楔紧。当压射过程中滑块所受反压力不大时，可以直接用弯销的头部或根部楔紧。当滑块所受反压力较大时，另外设置楔紧块。

4) 弯销尺寸的确定。弯销与滑块孔的配合情况见图 5-94。

①弯销斜角的确定：弯销抽芯时，弯销在滑块中滑动的行程一定，弯斜的斜角 α 越大，抽芯距离 $s_{\text{抽}}$ 也越大，弯销所承受的弯曲力也越大。当抽芯距离短、抽芯力大时，斜角 α 取小值，反之则取大值。

常用斜角 α 的度数为 10° 、 15° 、 18° 、 20° 、 22° 、 25° 、 30° 。

②弯销抽芯行程的确定：延时抽芯行程可用经验公式（5-23）进行计算，它适用于定模型芯包紧力较大的情况。开模一定距离后，先卸除定模型芯包紧力，再抽出动模型芯。

$$s_{\text{延}} = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) h \quad (5-23)$$

式中 $s_{\text{延}}$ ——延时抽芯行程 (mm)；

h ——定模型芯成型高度 (mm)。

楔紧角小于斜角时，开模后应待楔紧块与滑块彻底分离后，才带动滑块抽芯，即

$$s_{\text{延}} \geq s \quad (5-24)$$

式中 s ——楔紧块伸入滑块的长度 (mm)。

③弯销截面尺寸的确定：弯销截面尺寸见图 5-94。弯销厚度 a 由表 5-15 可查得。

为保持弯销工作的稳定性，弯销宽度 b 可按下式计算：

$$b = \frac{2}{3}a \quad (5-25)$$

式中 b ——弯销宽度 (mm)；

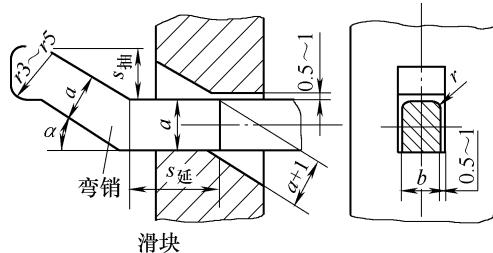


图 5-94 弯销与滑块孔的配合情况

a ——弯销厚度 (mm)。

也有按斜销计算公式进行计算, 根据算出的斜销直径再进行修正。

表 5-15 弯销厚度 a

抽芯角 α	受力距离 s_1/mm	起始抽芯力 $F/10\text{N}$									
		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
		弯销厚度 a/mm									
10°	20	16	20	23	25	27	29	30	31	32	33
	40	20	24	28	31	33	35	37	39	40	41
	60	23	28	32	35	38	40	42	44	46	47
	80	25	31	36	40	43	45	47	49	51	52
	100	27	33	38	42	45	48	50	52	54	56
20°	20	17	21	24	26	28	30	31	32	33	34
	40	21	25	29	32	34	36	38	40	41	42
	60	24	29	33	36	39	41	43	45	47	48
	80	26	32	37	41	44	46	48	50	52	53
	100	28	34	39	43	46	49	51	53	55	57
30°	20	18	22	25	27	29	31	32	33	34	35
	40	22	26	30	33	35	37	39	41	42	43
	60	25	30	34	37	40	42	44	46	48	49
	80	27	33	38	42	45	47	49	51	53	54
	100	29	35	40	44	47	50	52	54	56	58

注: 受力距离 s_1 为弯销抽芯力作用点至弯销固定端部中点的距离。

5. 斜滑块抽芯机构

(1) 斜滑块抽芯机构的组成及抽芯过程 斜滑块抽芯机构又分外侧抽芯机构和内凹抽芯机构两种, 组成分别见图 5-95 和图 5-96。

外侧抽芯过程: 开模时, 压铸件随斜滑块和动模运动, 由于斜滑块是安装在动模套板的梯形槽内的, 推出机构在推动斜滑块向前运动的同时, 作 K 向分型位移, 抽出压铸件侧面的凸凹部分。

内凹抽芯过程: 与外侧抽芯机构的抽芯过程相同。而内凹抽芯机构的复位, 是靠设置在推板上的滑轮座与内斜滑块尾端的滚轮同步联动, 借助复位杆使内斜滑块合模时正确复位。

(2) 斜滑块抽芯机构的设计要点

1) 为了使斜滑块与镶块、斜滑块与斜滑块的侧向分型面间完全密合, 防止压射时金属液窜入形成飞边, 影响压铸件尺寸精度, 斜滑块与动模套板装配后的要求如下:

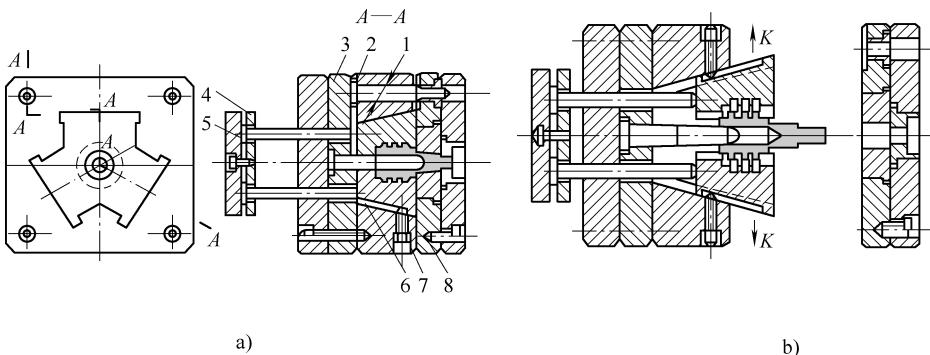


图 5-95 外侧抽芯机构的组成及动作过程

a) 合模状态 b) 开模抽芯终止状态

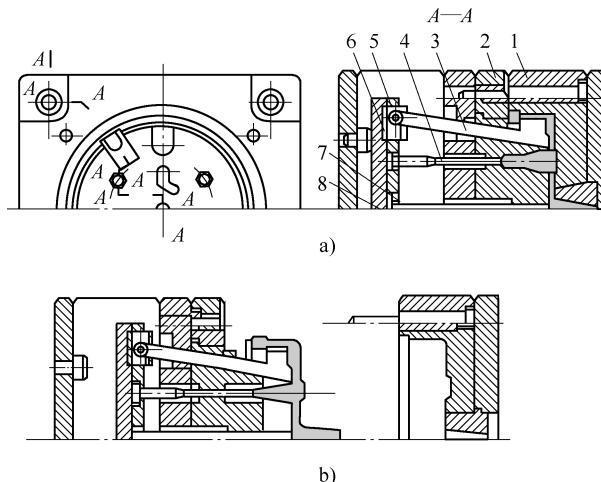
1—型芯 2—动模套板 3—型芯固定板 4—推杆固定板 5—推杆
6—斜滑块 7—限位螺杆 8—定模套板

图 5-96 内凹抽芯机构的组成及动作过程

a) 合模状态 b) 开模抽芯终止状态

1—定模套板 2—动模套板 3—内斜滑块 4—推杆 5—滑轮
6—滑轮座 7—推杆固定板 8—推板

①斜滑块底面留有 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 的空隙。

②斜滑块端面需高出动模套板分型面一小段距离 δ 。 δ 可按下面经验公式计算，制造偏差取上限 $+0.05\text{mm}$ 。

$$\delta = 0.05 / \tan \alpha \quad (5-26)$$

式中 δ ——斜滑块端面高出套板分型面的高度 (mm)；

α ——斜滑块的导向斜角 ($^\circ$)。

2) 在由多块斜滑块组成的抽芯机构中, 推出滑块时要求同步, 以防压铸件由于受力不均而产生变形。通常在两块滑块上设置横向导销, 强制斜滑块同步推出。

3) 为了便于清除斜滑块底部残留的金属碎屑、涂料油污, 应在斜滑块底部的动模支承板平面上, 开出深度为 $3 \sim 4\text{mm}$ 的排屑槽 (图 5-97)。

4) 在定模型芯包紧力较大的情况下, 开模时, 斜滑块和压铸件可能被留在定模型芯上, 或滑块产生位移, 为此应增设强制装置, 确保开模后斜滑块稳定地留在动模套板内, 见图 5-98。

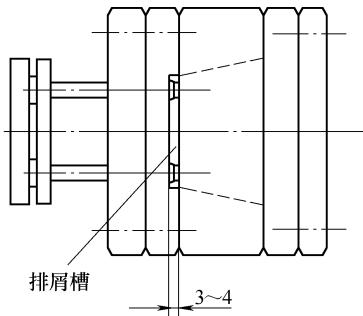


图 5-97 排屑槽位置图

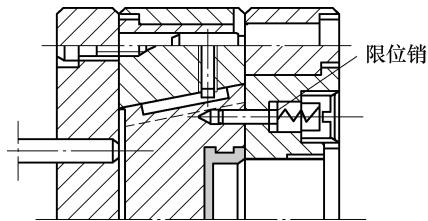


图 5-98 限位销强制斜滑块留在动模内的结构

5) 斜滑块端面上设置浇注系统, 要防止金属液窜入套板和斜滑块的配合间隙。垂直分型面上设置缝隙式浇口, 则以不阻碍斜滑块径向顺利移动为原则。

(3) 斜滑块的设计 在设计前必须对其工作时的受力情况进行分析。计算出压射时模套对斜滑块的法向分力 $F_{\text{法}}$, 并核算压铸机的锁模力, 使得斜滑块所受到的锁模力要大于模套对斜滑块的法向分力。斜滑块受力状况见图 5-99。

1) 斜滑块主要参数的确定 (图 5-100)

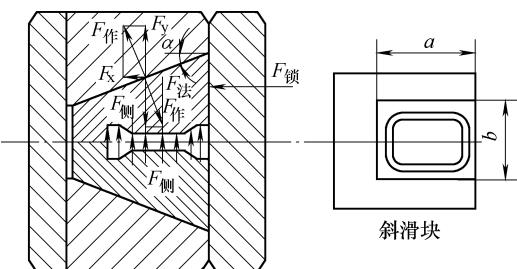


图 5-99 斜滑块受力分析

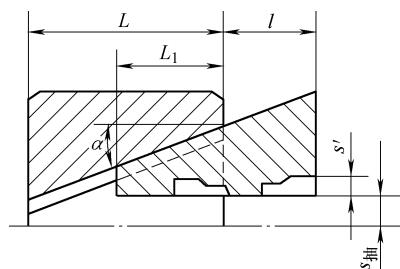


图 5-100 斜滑块基本参数

① 抽芯距离 $s_{抽}$

$$s_{抽} = s' + k \quad (5-27)$$

式中 s' ——由滑块形成的压铸件凹腔深度 (mm)；

k ——安全值 (mm)，见表 5-12。

② 斜滑块推出高度 l 。斜滑块抽芯机构具有抽芯与推出压铸件的双重功能，因此，当推出斜滑块的动作完成时，斜滑块在抽芯方向上移动的距离要大于抽芯距离，在推出高度上要能充分卸除压铸件对型芯的包紧力。另外，还要求滑块留在套板内的高度 L_1 超过 30mm。通常斜滑块的推出高度占滑块总高的 50% ~ 60%。导向角小时，推出距离可大些。

③ 导向斜角 α 。根据已确定的抽芯距离 $s_{抽}$ 和推出高度 l ，可按下式求 α ：

$$\alpha = \arctan \frac{s_{抽}}{l} \quad (5-28)$$

计算所得的值圆整取整数后，再按常用值（表 5-16）选用。

表 5-16 推荐导向斜角值

导向斜角 $\alpha/(^{\circ})$	适用范围
5	侧面抽芯距离小，推出高度大，适用于抽芯力小，压铸件结构强度不高，推出承力面 ^① 较窄的深腔薄壁压铸件
8	
10	
12	
15	抽芯距离及推出高度处于中等程度，压铸件具有一定的结构强度
18	
20	
22	侧向抽芯距离大推出高度小，适用于压铸件结构强度高，且具有较宽的推出承力面
25	

① 推出承力面为压铸件上承受起始推出力的支承面。

2) 斜滑块导向部位的形式与参数

① 斜滑块导向部位常用的基本形式。适用于抽芯力较大和导向斜角较大的场合，导向形式有 T 形槽式和燕尾槽式（图 5-101 和图 5-102）两种。这两种导向形式牢固可靠，得到广泛的应用。

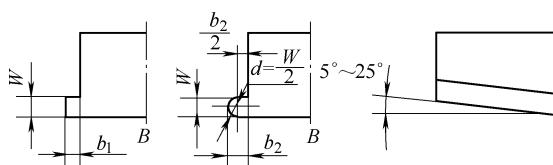


图 5-101 T 形槽导向斜滑块

双圆柱销式（图 5-103）斜滑块适用于抽芯力中等和导向斜角大小中等的场合，多块斜滑块镶嵌的结构也多采用这种导向形式。

单圆柱销式（图 5-104）斜滑块适用于抽芯力和导向斜角均较小的场合。

斜导销式（图 5-105）斜滑块适用于抽芯力较小而导向斜角较大的场合。

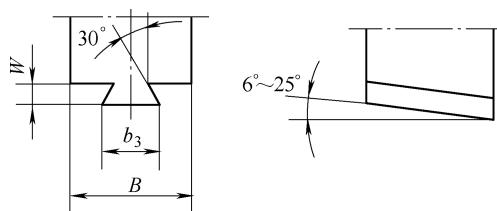


图 5-102 燕尾槽导向斜滑块

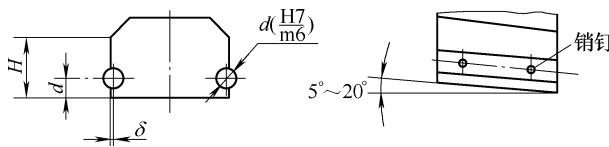


图 5-103 双圆柱销导向斜滑块

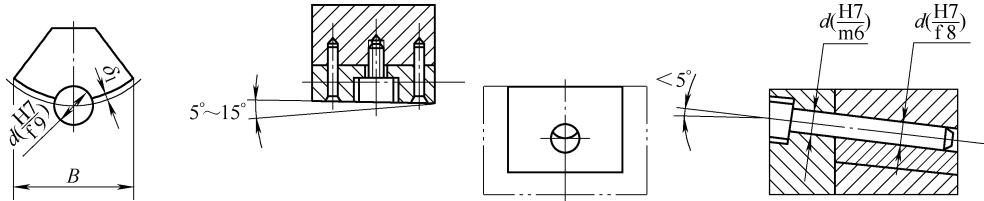


图 5-104 单圆柱销导向斜滑块

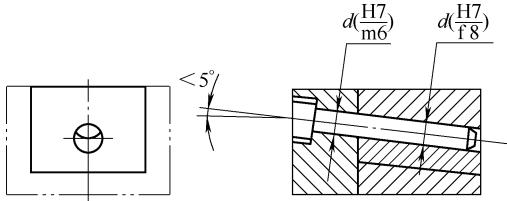


图 5-105 斜导销导向斜滑块

②斜滑块导向部位的参数。斜滑块导向部位的参数见表 5-17。

表 5-17 斜滑块导向部位参数

(单位: mm)

斜滑块宽度 B	30~50	50~80	80~120	120~160	160~200
导向部位符号	各导向部分参数				
W	8~10	10~14	14~18	18~20	20~22
b_1	6	8	12	14	16
b_2	10	14	18	20	22
b_3	20~40	40~60	60~100	100~130	130~170
d	12	14	16	18	20
δ	1	1.2	1.4	1.6	1.8
δ_1	1.4	1.6	1.8		

注：符号见图 5-101~图 5-105。

6. 齿轮齿条抽芯机构

(1) 齿轮齿条抽芯机构的组成 齿轮齿条抽芯机构主要由齿轮齿条传动机构和滑块限位、楔紧机构组成, 如图 5-106 所示。

图 5-106 所示为合模状态, 压射时, 齿条滑块 4 由楔紧块 6 与齿轮 5 的斜端面楔紧。

(2) 借助开模动作抽芯的齿轮齿条抽芯机构设计

1) 抽芯过程。开模时, 楔紧块后退松开齿条滑块, 由于传动齿条 3 (图 5-106) 上有一段延时抽芯距离, 在此距离内传动齿条与齿轮尚未啮合, 待楔紧块完全脱离时, 压铸件已脱离定模随动模运动, 传动齿条与齿轮啮合, 齿轮、齿条滑块在传动齿条的驱动下运动, 抽出型芯, 整个抽芯动作在推出机构开始动作前完成。这种机构的特点是传动齿条布置在定模内, 开模后传动齿条驱动齿轮作旋转运动, 齿轮又带动与其啮合的齿条滑块作直线运动抽出型芯。

2) 设计要点

①为了使传动平稳可靠, 又能传递较大的力, 传动齿条的齿形常采用渐开线短齿。基本参数为: 模数 $m = 3$, 齿轮齿数 $z = 12$, 压力角 $\alpha = 20^\circ$ 。齿轮、齿条的其他尺寸设计计算均以上述参数为依据。

②齿轮、齿条的模数及啮合宽度是决定机构承受抽芯力的主要参数, 当模数 $m = 3$ 时, 可承受的抽芯力按下式估算:

$$F = 350B \quad (5-29)$$

式中 F —抽芯力 (N);

B —啮合宽度 (mm)。

③齿轮应有精确的定位装置, 以便开模结束, 传动齿条与齿轮完全脱开后, 齿轮处于确定位置。在合模时, 传动齿条与齿轮能很好地啮合。合模结束后, 因传动齿条上有一段延时抽芯行程, 传动齿条与齿轮完全脱开。故为了保证开模抽芯时, 传动齿条与齿轮准确的啮合, 也要求设置齿轮定位装置。

(3) 利用推出机构推动齿轮齿条的抽芯机构 利用推出机构推动齿轮齿条的抽芯机构见图 5-107。

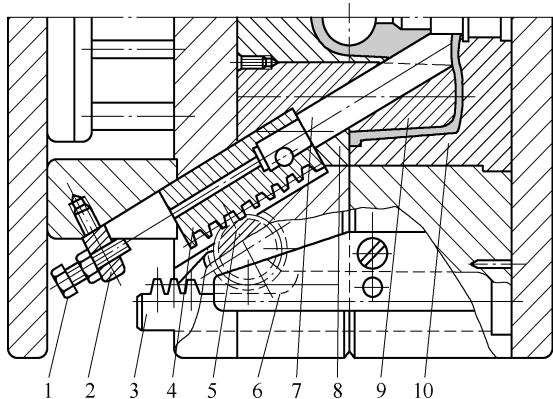


图 5-106 齿轮齿条抽芯机构

1—限位螺钉 2—螺钉固定块 3—传动齿条 4—齿条滑块
5—齿轮 6—楔紧块 7—活动型芯 8—动模
9—动模型芯 10—定模

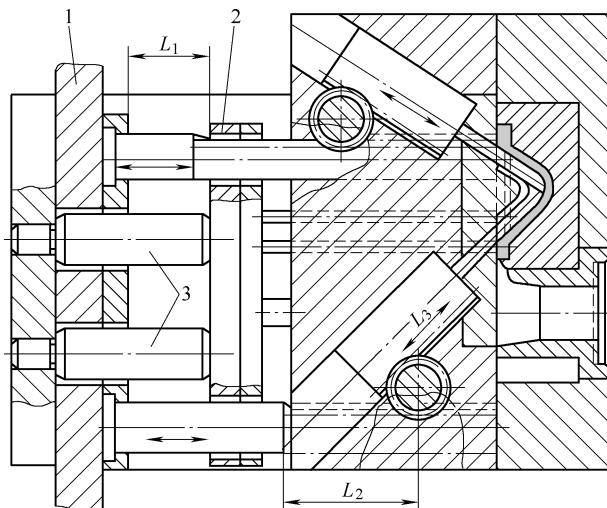


图 5-107 利用推出机构推动齿轮齿条的抽芯机构

1—齿条推板 2—推板 3—支柱

1) 抽芯过程。图 5-107 所示的模具处于合模状态。不同型号的压铸机带有不同的推出机构, 一种是机械推出机构, 一种是液压推出机构, 所以抽芯动作也分为两种。

①采用机械式推出机构的压铸机, 开模时, 动模开到一定距离, 传动齿条推板 1 与压铸机上的推杆接触, 阻止了齿条推板继续运动, 而动模则还继续运动, 利用动模与齿条推板之间的相对运动, 齿条推板推动齿条, 迫使齿轮旋转, 带动型芯齿条运动抽出型芯。待齿条推板与推板 2 接触时, 推板上的推出元件将压铸件推出型腔。

合模时, 因伸出动模分型面的传动齿条较复位杆长, 先与定模分型面接触, 推动齿条推板 1 后退, 传动齿条带动齿轮旋转, 拨动型芯齿条插芯, 传动齿条退到与复位杆平齐时, 复位杆与传动齿条推动推板 1、2 同时后退。模具闭合后, 推板与支柱 3 接触, 完成插芯动作。

②采用液压推出器的压铸机, 开模结束后, 液压推出器推动齿条推板 1 进行抽芯, 并继续推动推板 2 推出压铸件。合模前推出器退回, 使抽芯机构复位。

2) 设计要点

①参照图 5-107 确定抽芯行程。允许推出压铸件时的抽芯行程 L_1 要大于推出压铸件所需的行程。

②计算并确定传动齿条工作段长度 L_2 。

③计算并确定齿条滑块工作段长度 L_3 。

7. 液压抽芯机构

(1) 液压抽芯机构的组成及抽芯过程 常用液压抽芯机构的组成见图 5-108。通过联轴器将活动型芯与装在模具上的抽芯器连成一体，抽芯器尾部通高压液，活塞推动活动型芯插入型腔。压射时滑块靠定模楔紧块和抽芯器共同锁紧。开模时，楔紧块脱离滑块，开模中停片刻，高压液从抽芯器前腔进入，开始抽出活动型芯，而后继续开模，推出压铸件。

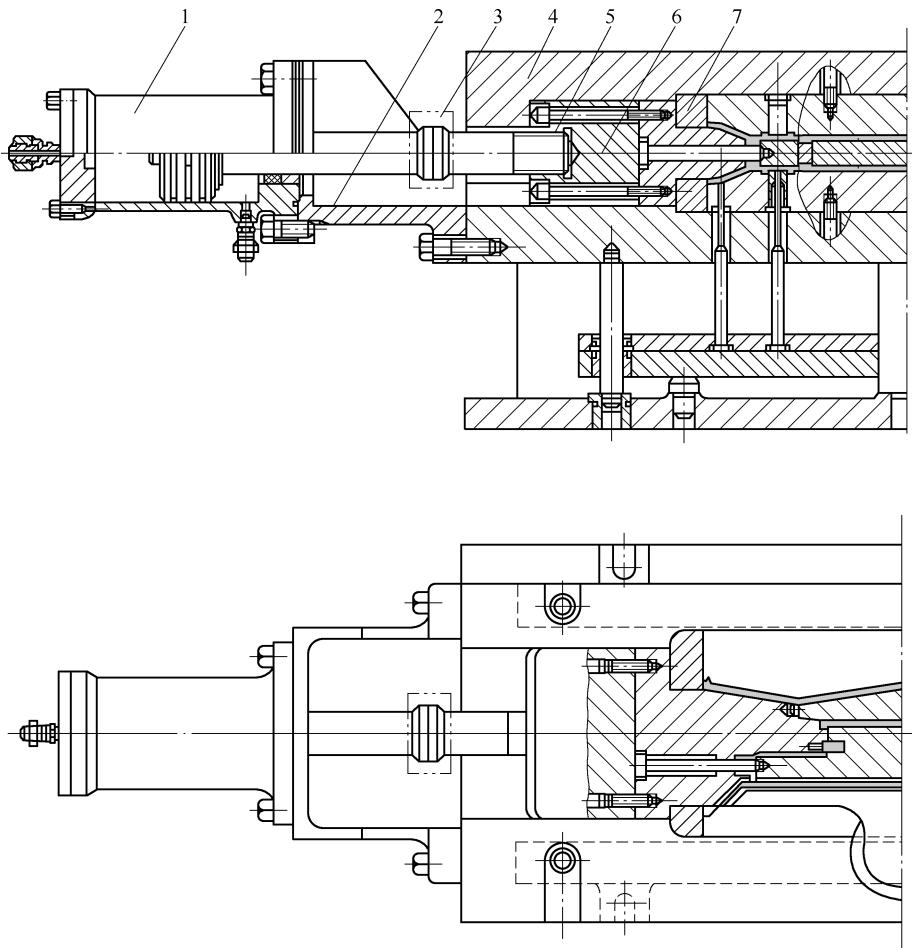


图 5-108 液压抽芯机构的组成

1—抽芯器 2—抽芯器座 3—连轴器 4—定模套板
5—拉杆 6—滑块 7—活动型芯

(2) 液压抽芯机构的设计要点

1) 滑块受力计算。抽芯器设置在动模上, 定模可设楔紧块。滑块受力状态如图 5-109 所示。

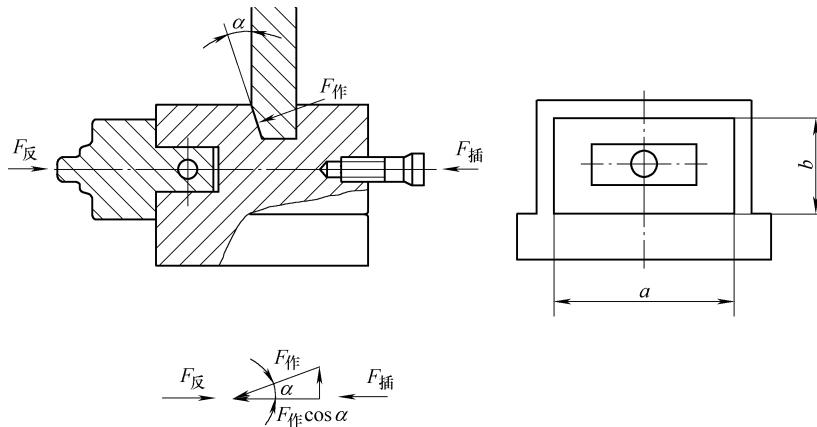


图 5-109 滑块受力状态图

楔紧块所需的作用力 $F_{\text{作}}$ (10N) 可按下式计算:

$$F_{\text{作}} \geq k \frac{F_{\text{反}} - F_{\text{插}}}{\cos \alpha} = k \frac{pA - F_{\text{插}}}{\cos \alpha} \quad (5-30)$$

式中 $F_{\text{反}}$ ——压铸时的反压力 (10N);

p ——压射比压 (10^5Pa);

A ——滑块成型部分的投影面积 (cm^2), $A = ab$;

k ——安全因数, k 取 1.25;

$F_{\text{插}}$ ——抽芯器插芯力 (10N);

α ——滑块楔紧角 ($^\circ$)。

当抽芯器设置在定模时, 须抽芯后才能开模, 不得设置楔紧块, 而靠抽芯器本身的锁芯力锁住滑块型芯。锁芯力的大小取决于抽芯器活塞的面积和管道压力。

2) 当抽芯力及抽芯距离决定后, 通常按计算抽芯力的 1.3 倍来选用抽芯器。

3) 液压抽芯机构应加入安全防范措施, 避免事故发生。压铸程序应注意液压抽芯器上的型芯复位后, 才能合模。

4) 活动型芯的投影面积内不宜设置推出元件。

5.8 结构零件设计

压铸模的结构零件是将镶块、型芯和其他零件按设计要求加以组合和固定，使之成为模具并能安装在压铸机上进行生产的一部分。结构零件包括各种板件、模座和导向零件等构架零件。

1. 支承与固定零件的设计

动、定模套板的作用是用来放置镶块和型芯，对有抽芯机构的压铸模，则常在动模套板上开设滑块的导滑槽，在定模上设置斜销和楔紧装置。套板一般承受拉伸、弯曲、压缩三种作用力。设计套板时主要对套板的边框厚度进行计算。

(1) 动、定模套板边框厚度的计算

1) 圆形套板边框厚度的计算(图5-110)。型腔为不通孔时，圆形套板边框厚度按下式计算：

$$h \geq \frac{DpH_1}{2[\sigma]H} \quad (5-31)$$

型腔为通孔时，按下式计算：

$$h \geq \frac{Dp}{2[\sigma]} \quad (5-32)$$

式中 h ——套板边框厚度(cm)；

D ——镶块外径(cm)；

p ——压射比压(10^5 Pa)；

$[\sigma]$ ——套板材料抗拉强度(10^5 Pa)， $[\sigma] = 820 \sim 1000 \times 10^5$ Pa；

H_1 ——镶块高度(cm)；

H ——套板厚度(cm)。

2) 矩形套板边框厚度计算(图5-111)。矩形套板的边框厚度按下式计算：

$$h = \frac{F_2 + \sqrt{F_2^2 + 8H[\sigma]F_1L_1}}{4H[\sigma]} \quad (5-33)$$

$$F_1 = pL_1H_1$$

$$F_2 = pL_2H_1$$

式中

h ——套板边框厚度(cm)；

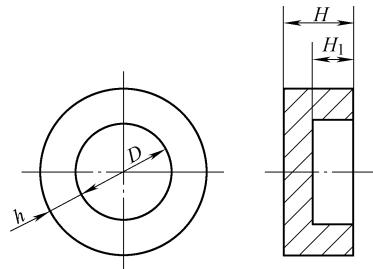


图 5-110 圆形套板边框厚度计算图

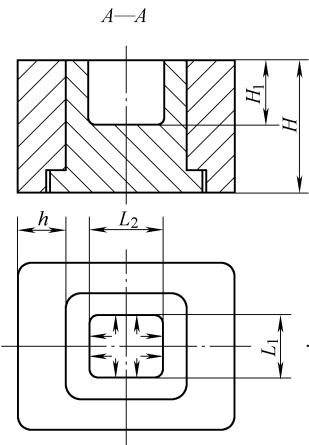


图 5-111 矩形套板边框厚度计算图

H 、 H_1 、 L_1 、 L_2 ——按压铸件大小确定 (cm);

F_1 、 F_2 ——边框侧面承受的总压力 (10N);

$[\sigma]$ ——材料的抗拉强度 (10^5 Pa)。45 钢为套板的常用材料, 调质后

$[\sigma]$ 可达 $2000 \sim 2500 \times 10^5$ Pa;

p ——压射比压 (10^5 Pa)。

(2) 动模支承板的设计 由图 5-112 可知, 支承板受力后主要产生弯曲变形。支承板的厚度应随作用力 F 和距离 L 增大而增厚。

1) 支承板厚度的计算。动模支承板厚度可按下式计算:

$$h = \sqrt{\frac{FL}{2B[\sigma_{\text{弯}}]}} \quad (5-34)$$

图 5-112 支承板在动模中的位置及其受力图

式中 h ——动模支承板厚度 (cm);

F ——动模支承板所受总压力 (10N), $F = pA$, 其中 A 为压铸件在分型面上的投影面积 (包括浇注系统及溢流槽的面积) (cm^2), p 为压射比压 (10^5 Pa);

B ——动模支承板长度 (cm);

L ——垫块间距 (cm);

$[\sigma_{\text{弯}}]$ ——钢材的许用抗弯强度 (10^5 Pa)。

动模支承板材料为 45 钢, 回火状态, 静载弯曲时可根据支承板结构情况, $[\sigma_{\text{弯}}]$ 分别按 1350×10^5 Pa、 1000×10^5 Pa、 900×10^5 Pa 三种情况选取。

2) 动模支承板的加强措施。当垫块间的距离 L 较大或支承板厚度 h 偏小时, 可采用支柱和推板导柱来增强支承板的支撑作用 (图 5-113)。

(3) 定模座板的设计 设计定模座板时应考虑:

1) 图 5-114 孔 3 的沉孔是压铸模在压铸机上安装时的定位孔, 浇口套安放于此。安装模具时, 压铸机压室端面或喷嘴端面与模具上的浇口套端面相吻合。设计时要精确计算模具上浇口套与压室或喷嘴之间的配合尺寸。

2) 留出安装压板或紧固螺钉的位置 (图 5-114 中双点画线到轮廓线的距离 l)。可以沿座板四周留出位置, 也可以在相对的两边留出位置, 以便将定模压紧在压铸机上。 l

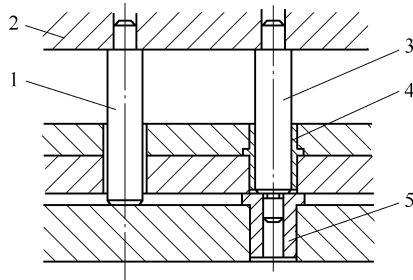
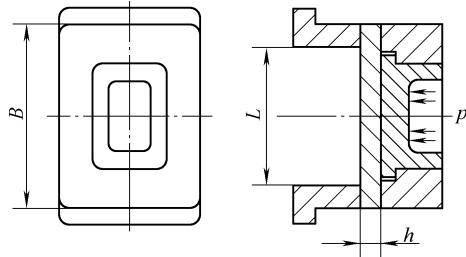


图 5-113 动模支承板的加强形式

1—支柱 2—支承板 3—推板导柱

4—推板导套 5—挡圈

值可取 30~60mm。双点画线处可以是定模套板的外形尺寸。

3) 当定模套板为不通孔时, 即以定模模板替代定模座板时, 仍然需要留出安装压板或紧固螺钉的位置。

4) 定模座板与定模套板由两个定位销定位(图 5-114 中孔 2 处), 用若干个内六角螺钉紧固(图 5-114 中孔 1 处)。

(4) 垫块的设计 垫块又称模座, 它是支承模体承受机器压力的构件。其一端与动模的支承板相连组成动模部分, 另一端则紧固在压铸机的动模安装板上或通用模座上。垫块的两端在压铸生产过程中承受压铸机的锁模力, 在推出铸件时又承受较大的推出反力, 因此垫块与动模模板的紧固形式必须稳固可靠。在模体较小的情况下垫块还可以用来调整模具的总厚度, 满足最小压铸模厚度(压铸机的参数)的要求。垫块还应满足推出机构和推出行程的要求。

模座的基本形式有角架式、积木式和整体式三种。

角架式模座结构简单制造方便, 质量轻, 节省材料, 适用于小型模具(图 5-115a)。

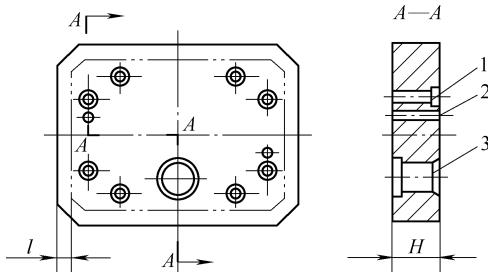


图 5-114 定模座板结构图

1—螺栓通孔 2—定位销孔

3—与压室(喷嘴)的配合孔

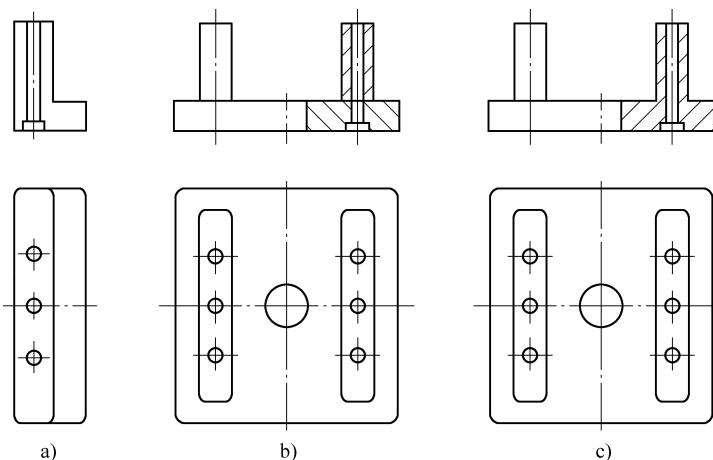


图 5-115 几种常用的模座形式

a) 角架式模座 b) 積木式模座 c) 整体式模座

积木式模座由垫块和动模座板组合而成，使用较普遍，适用于中小型模具（图 5-115b）。

整体式模座是整体铸出的，强度、刚性都较高，适用于大中型模具（图 5-115c）。

2. 导向零件设计

导向机构的作用是引导动模按规定的方向移动，以保证动模和定模在安装和合模时的正确运动方向和位置。有时导向零件还可兼作推出机构的导向机构。

（1）动、定模导柱和导套的设计

1) 导柱和导套的设计要点：

①导柱需具有足够的刚度，保证动、定模在合模时的正确位置，且在开、合模过程中应运动灵活无卡死现象。模套与导向零件的配合见图 5-116。

②导柱应高出型芯高度，以免型芯在合模、搬运中损坏。

③为了便于取出压铸件，导柱一般安装在定模上。

④卧式压铸机上采用中心浇口的模具，导柱设在定模座板上。

⑤模具采用卸料板卸料时，导柱安装在动模上，以便于卸料板在导柱上滑动进行卸料。

2) 导柱主要尺寸（图 5-117）：

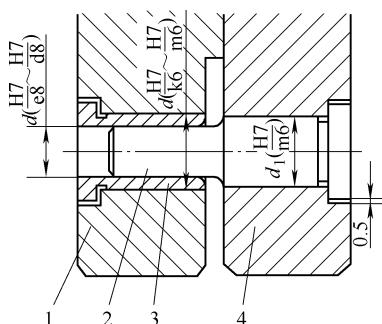


图 5-116 模套与导向零件配合简图

1—动模套板 2—导柱 3—导套 4—定模套板

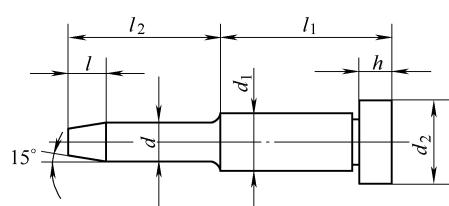


图 5-117 导柱主要尺寸

①导柱直径 d 。当模具设计四根导柱时，计算导柱直径的经验公式为

$$d = K \sqrt{A} \quad (5-35)$$

式中 d ——导柱导滑段直径（mm）；

A ——模具分型面上的表面积（ mm^2 ）；

K ——比例因数，一般为 $0.07 \sim 0.09$ 。当 $A > 2 \times 10^5 \text{ mm}^2$ 时， K 取 0.07 ； $A = 0.4 \times 10^5 \sim 2 \times 10^5 \text{ mm}^2$ 时， K 取 0.08 ； $A < 0.4 \times 10^5 \text{ mm}^2$ 时， K 取 0.09 。

直径 d 部分起着导滑作用，在合模过程中将插入动模套板上的导套中，为了加强润滑效果可在其上开设油槽，形式不限。

②导滑段长度 l_2 。最小长度取 $1.5 \sim 2.0d$ ，一般按高出分型面的型芯高度加上 $12 \sim 20\text{mm}$ 计算。

③导柱固定段直径 d_1

$$d_1 = d + (6 \sim 10) \text{ mm} \quad (5-36)$$

④固定段长度 l_1 。与装配的模板厚度一致， $l_1 \geq 1.5d_1$

⑤导柱台阶直径 d_2

$$d_2 = d_1 + (6 \sim 8) \text{ mm} \quad (5-38)$$

⑥导柱台阶厚度 h

$$h = 6 \sim 20 \text{ mm} \quad (5-39)$$

⑦引导段长度 l

$$l = 6 \sim 12 \text{ mm} \quad (5-40)$$

3) 导套主要尺寸(图 5-118)：

①导套内孔直径 D 。与选用的导柱直径 d 相同，采用 $\frac{\text{H}7}{\text{e}8} \sim \frac{\text{H}7}{\text{d}8}$ 配合。

②导套内扩孔直径 D_1

$$D_1 = D + 0.5 \text{ mm} \quad (5-41)$$

③导套外径 d_1

$$d_1 = D + (6 \sim 10) \text{ mm} \quad (5-42)$$

④导套台阶外径 d_2

$$d_2 = d_1 + (6 \sim 8) \text{ mm} \quad (5-43)$$

⑤导滑段长度 l_2

$$l_2 = kd \quad (5-44)$$

式中 k ——比例因数， $k = 1.3 \sim 1.7$ 。 d 小时 k 取大值， d 大时 k 取小值。

⑥导套总长度 l_1 。 l_1 为装配该导套的模板厚度减去 $3 \sim 5\text{mm}$ 。

(2) 导柱导套在模板中的位置 导柱、导套一般都布置在模板的四个角上，以保持导柱之间有较大间距，见图 5-119。为防止动定模在合模时错位，可将其中一根导柱取不等分分布。

对于圆形模具，一般可采用三根导柱，三根导柱的中心位置为不等分分布，见图 5-120。对于大型模具，由于导柱导套的中心距离较大，会因动、定模受热条件不同致使膨胀量有差异，因而影响动、定模的正常配合。为此可采用方形导柱、导套，并在膨胀差异量大的配合面上留有 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 的间隙。

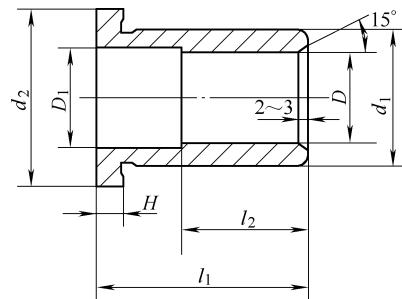


图 5-118 导套主要尺寸

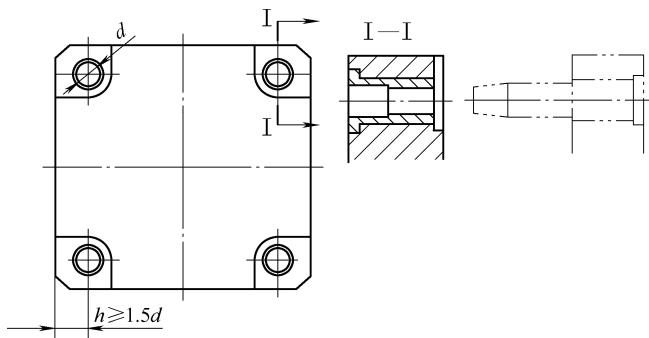


图 5-119 方形模具导柱导套的布置

3. 推出机构的设计

推出机构用于开模后卸除压铸件对成型零件的包紧力，并使压铸件处于便于取出的位置。推出机构一般设置在动模上。

在压铸的每一工作循环中，推出机构推出压铸件后，都必须准确地恢复到原来的位置，这个动作通常是借助复位杆来实现的，使合模后的推出机构处于准确可靠的位置。当推出元件推出压铸件后所处的位置影响嵌件的安装、推出元件与活动型芯在插芯时两者动作发生干扰时（图 5-121 和图 5-122），必须采用预复位的推出机构。

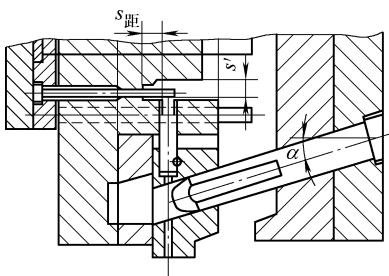


图 5-121 推出机构与斜销抽芯的干扰

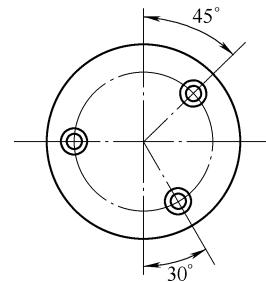


图 5-120 圆形模具导柱的布置

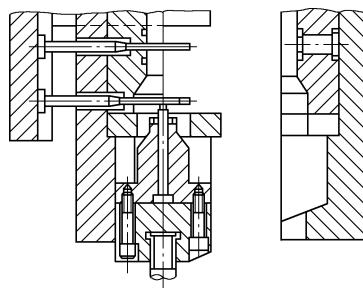


图 5-122 推出机构与液压抽芯的干扰

产生干扰现象的必要条件是活动型芯沿模具轴线方向上的投影与推杆端面相重合，因此，设计模具应尽可能避免这种情况发生。不能避免时，若能满足下列条件：

$$s_{\text{距}} > s' \cot \alpha$$

式中 $s_{\text{距}}$ ——推杆端面与活动型芯的最近距离；
 s' ——活动型芯与推杆的重合距离；
 α ——斜销斜角。

也不会发生干扰现象。

(1) 推出机构的组成 推出机构一般由下列几部分组成(图5-123)：

1) 推出元件。用于推出压铸件，如推杆、推管、卸料板、成型推板、斜滑块等。

2) 复位元件。控制推出机构在合模状态时准确地回到原位，如复位杆和能兼起复位作用的推杆、卸料板和斜滑块。

3) 限位元件。保证推出机构在压射力作用下不改变位置，起到止退、限位作用，如挡钉、挡圈等。

4) 导向元件。保证推出机构按既定方向平稳可靠地往复运动，如推板导柱(导钉、导杆、支柱)、推板导套等。

5) 结构元件。使推出机构各元件装配成一体，起固定作用，如推杆固定板、推板及其他连接件。

(2) 推出机构的分类 推出机构按基本传动形式分有电动推出、液压推出器推出和手动推出三种。

推出机构按动作方向分有直线推出(动模推出、定模推出及型芯倒抽)、旋转推出、摆动推出；按机构形式分有推杆推出、推管与推叉推出、卸料板推出、斜滑块推出及其他推出机构(如两次推出、斜推出、非充分推出、不推出、换向推出、增力推出及多次分型辅助机构)。

(3) 推出机构的设计要点

1) 推出距离的确定：

① 直线推出(图5-124)

$$\text{当 } H \leq 20\text{mm} \text{ 时, } s_{\text{推}} \geq H + K \quad (5-45)$$

$$\text{当 } H > 20\text{mm} \text{ 时, } \frac{1}{3}H \leq s_{\text{推}} \leq H \quad (5-46)$$

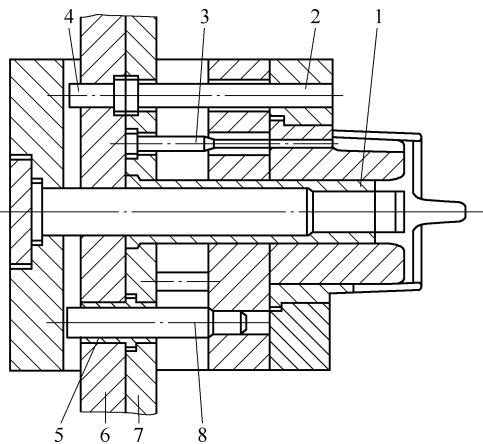


图 5-123 推出机构的组成

1—推管 2—复位杆 3—推杆 4—挡钉
 5—推板导套 6—推板
 7—推杆固定板 8—推板导柱

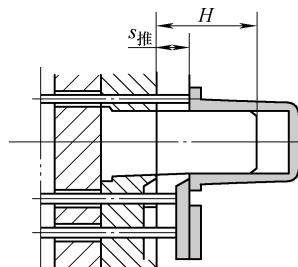


图 5-124 直线推出距离的计算示意图

$$\text{当使用斜钩推杆时, } s_{\text{推}} \geq H + 10 \text{ mm} \quad (5-47)$$

式中 H ——滞留压铸件的最大成型长度 (mm)；

$s_{\text{推}}$ ——直线推出距离 (mm)；

K ——安全值, $K = 3 \sim 5 \text{ mm}$ 。

②旋转推出 (图 5-125)

$$\eta_{\text{推}} \geq \frac{H + K}{T} \quad (5-48)$$

式中 $\eta_{\text{推}}$ ——旋转推出转数；

H ——成型螺纹长度 (mm)；

T ——螺纹导程 (mm)；

K ——安全值, $K = 3 \sim 5 \text{ mm}$ 。

③摆动推出 (图 5-126)

$$\alpha_{\text{推}} = \alpha + \alpha_k \quad (5-49)$$

式中 $\alpha_{\text{推}}$ ——摆动推出角度；

α ——铸件旋转面夹角；

α_k ——安全值, $\alpha_k = 3^\circ \sim 5^\circ$ 。

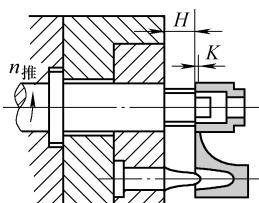


图 5-125 旋转推出距离的计算示意图

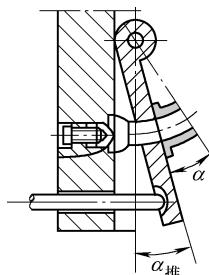


图 5-126 摆动推出距离的计算示意图

2) 推出部位的选择原则:

①设在受压铸件包紧的成型部位 (如型芯) 周围以及收缩后互相拉紧的孔或侧壁部位。

②设在脱模斜度较小或垂直于分型面方向深凹处的成型表面附近。

③尽量设在压铸件的凸缘、加强肋及强度较高的部位。

④位于动模的浇道上或受压铸件包紧力较大的分流锥周围。

⑤推出元件在压铸件上的作用部位应对称均匀, 防止压铸件推出时变形。

⑥避免设置在压铸件的重要表面和基准表面, 以免在这些部位留下推痕。

⑦推出元件的设置应避免与活动型芯发生干扰。

3) 推出力的计算。当模具具有较深型腔或形状比较复杂时, 推出压铸件需要

较大的推出力，推出力按下式核算：

$$F_{\text{推}} > K F_{\text{包}} \quad (5-50)$$

式中 $F_{\text{推}}$ —— 推出力 (N)，机动推出时为压铸机的开模力 (顶出力)，液压推出器推出时为液压推出器的推出力；

$F_{\text{包}}$ —— 压铸件对模具成型零件的包紧力及压铸件与型腔壁的摩擦阻力 (N)；

K —— 安全因数， $K = 1.2$ 。

4) 推板的强度和刚度。推板必须有足够的强度和刚度。推板的厚度按下式计算 (图 5-127)：

$$H \geq \sqrt[3]{\frac{FCK}{12.24B}} \times 10^{-6} \quad (5-51)$$

式中 H —— 推板厚度 (cm)；

F —— 推板载荷 (10N)；

C —— 推杆孔在推板上分布的最大跨距 (cm)；

B —— 推板宽度 (cm)；

K —— 因数， $K = L^3 - \frac{1}{2}CL + \frac{1}{8}C^3$ ，其中 L 为压铸机推杆跨距 (cm)。

推板尺寸见表 5-18。

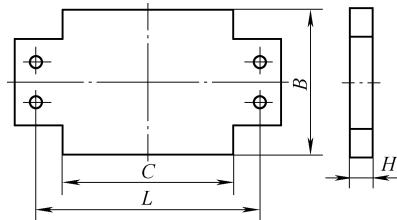
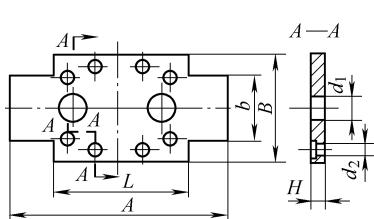


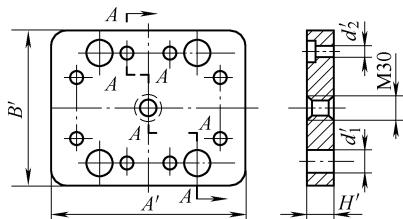
图 5-127 推板厚度计算结构示意图

表 5-18 推板推荐尺寸

(单位：mm)



机动推出



液压中心推出器推出

压缩机 型号	机动推出的推板							液压中心推出器的推板				
	A	B	b	L	H	d_1	d_2	A'	B'	H'	d'_1	d'_2
J113	290	100 ~ 180	100	150 ~ 320	20 ~ 25	$\phi 15 \sim \phi 20$	$\phi 9$	—	—	—	—	—
J116	410	150 ~ 250	150	240 ~ 350	25 ~ 30	$\phi 20 \sim \phi 28$	$\phi 11$	—	—	—	—	—

(续)

压缩机 型号	机动推出的推板							液压中心推出器的推板				
	A	B	b	L	H	d ₁	d ₂	A'	B'	H'	d' ₁	d' ₂
J1113	520	210 ~ 300	210	300 ~ 450	30 ~ 40	φ34 ~ φ38	φ13	—	—	—	—	—
J1113A	520	210 ~ 300	210	300 ~ 450	30 ~ 40	φ34 ~ 38φ	φ13	—	—	—	—	—
J1113B	150 ~ 410	130 ~ 330	160	150 ~ 410	30 ~ 40	φ34 ~ φ38	φ13	150 ~ 410	130 ~ 330	25 ~ 30	φ34 ~ φ38	φ13
J1125	450 ~ 600	120 ~ 350	120	260 ~ 450	35 ~ 45	φ42 ~ φ46	φ13	450	120 ~ 420	30 ~ 40	φ42 ~ φ46	φ17
J1125A	660	190 ~ 400	190	260 ~ 450	35 ~ 45	φ42 ~ φ46	φ13	450	190 ~ 440	30 ~ 40	φ42 ~ φ46	φ17
J1140	350 ~ 670	290 ~ 440	290	480 ~ 770	40 ~ 45	φ42 ~ φ46	φ17	670	360 ~ 530	40 ~ 45	φ42 ~ φ46	φ17
J1163	1140	400 ~ 650	320	440 ~ 660	60 ~ 80	φ58 ~ φ63	φ21	440 ~ 660	400 ~ 650	40 ~ 50	φ58 ~ φ63	φ21
J1512	560	120 ~ 250	120	250 ~ 500	30 ~ 40	φ34 ~ φ38	φ13	—	—	—	—	—
J1513	150 ~ 360	130 ~ 330	130 ~ 160	150 ~ 410	25 ~ 30	φ34 ~ φ38	φ13	150 ~ 360	130 ~ 330	25 ~ 30	φ20 ~ φ28	φ11
JZ213	100 ~ 270	110 ~ 160	100	200 ~ 280	20 ~ 25	φ15 ~ φ20	φ9	—	—	—	—	—
J2113	150 ~ 360	130 ~ 330	130 ~ 160	150 ~ 410	30 ~ 35	φ34 ~ φ38	φ13	150 ~ 360	130 ~ 330	25 ~ 30	φ34 ~ φ38	φ13

推杆固定板是通过螺栓紧固在推板上的。推杆固定板的作用就是通过推杆尾部的台阶将推杆固定在推出机构上。推杆固定板厚度的选择见表 5-19。

表 5-19 推杆固定板厚度推荐值

压铸机锁模力	推杆固定板厚度/mm	压铸机型号示例
小	12 ~ 15	J113
中	15 ~ 20	J116、J113
大	20 ~ 25	J1125、J1163

5) 推出机构的定位、复位和导向装置。推出机构在模具中应有可靠的定位、复位(预复位)和导向装置。通过推板传递压铸机动力,推出压铸件的推杆的端面设置在铸件的平面、凸台、肋部、浇注及溢流系统等部位。在一定条件下,推杆滑动部分的间隙可兼起排气作用,推杆的推出端面还可具有溢流槽、标记打印等功能。

(4) 推杆推出机构 推杆推出机构的组成包括推杆、复位杆、推板导柱、推板导套、推杆固定板、推板、挡钉等(图5-128)。

1) 推杆推出机构的主要特点:

- ①推出元件形状较简单,制造维修方便。
- ②推出动作简单、准确,不易发生故障,安全可靠。
- ③可根据压铸件对模具包紧力的大小,选择推杆直径和数量,使推出力均衡。

④推杆设置在动模或定模深腔部位,兼起排气、溢流作用。

⑤在压铸件的被推部位会留有推杆印痕。

2) 推杆的设计:

①推杆推出段截面形状。推杆推出段截面形状受压铸件被推部位的形状和镶块镶嵌结构的影响较大,常见的形状有圆形、方形、矩形、半圆形、扁形等。而其端面形状,根据压铸件被推部位表面形状不同而异,一般有平面、圆锥、凹面、凸面等。

②推杆尾部的形式及固定方法。选择推杆尾部的结构形式和推杆的固定方法应保证:推杆定位准确;能将推板作用的推出力由尾部传至端部推出压铸件;复位时,尾部结构不应松动和脱落。推杆尾部的形式很多,有整体式、铆接式、螺接式、焊接式、销接式、圆锥式等。推杆的固定方法有多种,在生产中广泛应用的是整体式的尾部形式(图5-129)、沉入式的固定方法(图5-130)。凡推杆有方向要求而不能由动模镶块上的推杆孔给以定位的推杆,可在其尾部加上定位结构,以防止推杆转动。

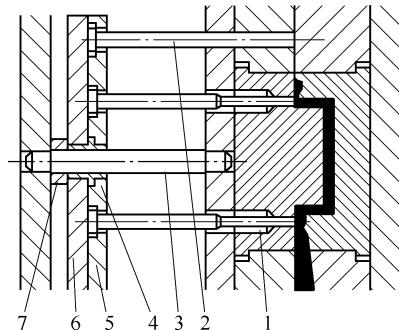


图 5-128 推杆推出机构的组成

1—推杆 2—复位杆 3—推板导柱
4—推板导套 5—推杆固定板
6—推板 7—挡圈

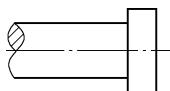


图 5-129 整体式推杆尾部结构

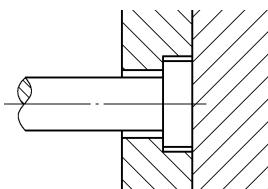


图 5-130 沉入式推杆固定方法

③推杆的尺寸与配合。推杆在推出压铸件时，压铸件尚处在高温状态，此时压铸件的强度低于室温时的许用强度，当压铸件包紧力较大，而设置的推杆数量又较少时，若每根推杆上的推出力超出压铸件被推部位所能承受的许用应力，推杆就会顶入压铸件内部，顶坏压铸件。推杆的截面积可按式（5-52）进行计算。又因为推杆均为细长的杆件，因此还必须校核推杆的稳定性。

选择推杆的规格（直径）和数量，主要依据是压铸件对模具的包紧力，从而确定其作用在推杆端面的推力大小。推杆截面积计算如下：

$$A = \frac{F_{\text{推}}}{n[\sigma]} \quad (5-52)$$

式中 A ——推杆推出段端部截面积 (mm^2)；

$F_{\text{推}}$ ——推杆承受的总推力 (10N)；

n ——推杆数量；

$[\sigma]$ ——压铸件的许用强度 (10^5Pa)。铜、铝合金取 $[\sigma] = 500 \times 10^5 \text{Pa}$ ；锌合金取 $[\sigma] = 400 \times 10^5 \text{Pa}$ ；镁合金取 $[\sigma] = 300 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

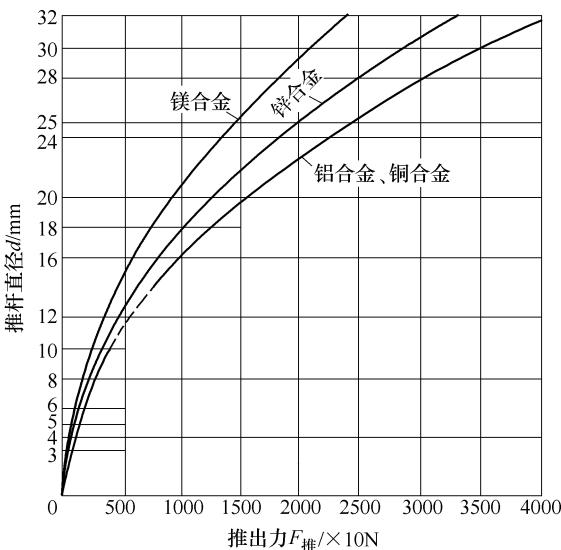


图 5-131 推杆直径与推出力关系线图

根据式（5-52）当 $n=1$ 时，

绘制的推杆直径与推出力的关系曲线图（图 5-131），可供设计时查用。

推杆承受静压力时的稳定性可根据下式计算：

$$K_{\text{稳}} = \eta \frac{EI}{F_{\text{推}} l^2} \quad (5-53)$$

式中 $K_{\text{稳}}$ ——稳定安全因数，钢取 1.5~3；

η ——稳定因数， $\eta = 20.19$ ；

E ——弹性模量 (MPa)，钢取 $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ ；

$F_{\text{推}}$ ——推杆承受的实际推力 (10N)；

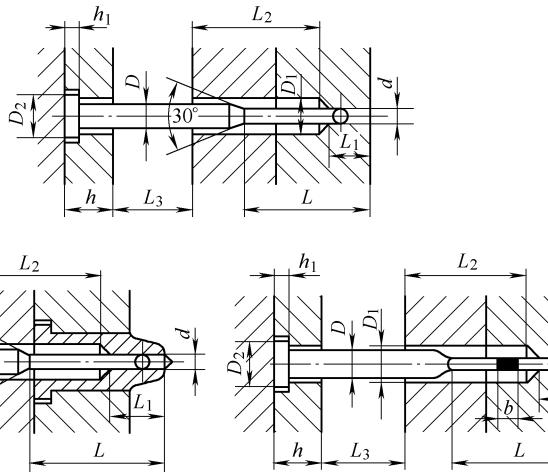
l ——推杆全长 (cm)；

I ——推杆最小截面处的抗弯截面惯性矩 (cm^4)，当推杆是直径为 d 的圆截面时， $I = \pi d^4 / 64$ ；当推杆是短、长边为 a 、 b 的矩形截面时， $I = a^3 b / 12$ 。

推杆所采用的配合应达到：推杆无阻碍地沿轴向往复运动，顺利地推出压铸件

和复位。推杆推出段与镶块的配合间隙应适当，间隙过大金属液将进入间隙，过小则推杆导滑性能差。推杆的配合及参数见表 5-20。

表 5-20 推杆的配合及参数



配合部位	配合精度及参数	说 明
推杆与孔的配合	H7/f7	用于压铸锌合金时的圆截面推杆
	H7/e8	用于压铸铝合金时的圆截面推杆
	H7/d8	用于压铸铜合金时的圆截面推杆
	H8/f8	用于压铸锌铝合金时非圆截面推杆
推杆与孔的导滑封闭长度 L_1	$d < 5\text{mm}, L_1 = 15\text{mm}; d = 5 \sim 8\text{mm}, L_1 = 3d; d = 8 \sim 12\text{mm}, L_1 = (2.5 \sim 3)d; d > 12\text{mm}, L_1 = (2 \sim 2.5)d$	
推杆加强部分直径 D	$d \leq 6\text{mm}, D = d + 4\text{mm}; 6\text{mm} < d < 10\text{mm}, D = d + 2\text{mm}; d > 10\text{mm}, D = d + 6\text{mm}$	用于圆截面推杆
	$D \geq \sqrt{a^2 + b^2}$	用于非圆截面推杆
推杆前端长度 L	$L = L_1 + s_{\text{推}} + 10\text{mm} \leq 10d$	$s_{\text{推}}$ 为推出距离
推板推出距离 L_3	$L_3 = s_{\text{推}} + 5\text{mm}, L_2 > L_3$	保护导滑孔
推杆固定板厚度 h	$15\text{mm} \leq h \leq 30\text{mm}$	除需要预复位的模具外,无强度计算要求
推杆台阶直径与厚度 D_2, h_1	$D_2 = D + 6\text{mm} \quad h_1 = 4 \sim 8\text{mm}$	
支承板孔直径 D_1	$D_1 = D + (0.5 \sim 1)\text{mm}$	

(5) 推管推出机构

1) 推管推出机构的组成及形式。推管推出机构与推杆推出机构相似，它们的传动方式也基本相同，只是推出元件呈管状，套在型芯外面，以推出压铸件。

通常推管推出机构由推管、推板、推管紧固件以及型芯紧固件等组成，见图 5-132。从图 5-132 中可以看出，推管尾部与推管为一整体，用推杆固定板夹紧，推管中的型芯穿过动模支承板、推杆固定板和推板，由动模座板压紧在压铸机动模安装板上。该种结构的特点是推管强度高、型芯维修调换方便。

为了使推管中的型芯与成型镶块不发生相对运动，又能使套在型芯外面的推管能灵活往复运动推出压铸件，牢固而巧妙地设置型芯是设计推管推出机构的一个重要问题。为此，根据型芯包紧力的大小、压铸件壁厚等特点，推管推出机构还有下面几种形式：

图 5-133 所示机构中推管尾部分为四片，型芯尾部的台阶上也开了四个相应的缺口，推管的尾部用半圆套圈定位压紧。型芯的台阶直径较推管外径大，型芯由半圆压板压紧。该种机构制造维修均较复杂。

图 5-134 中的推管的尾部分为四片，分尾长度较长，壁较薄，有较好的弹性，便于装配。推管尾部有轴肩，内径有环槽分别与螺塞及套环用螺钉压紧。型芯用圆柱销固定。这种机构受力条件较差，适用于受反压力不大的型芯。

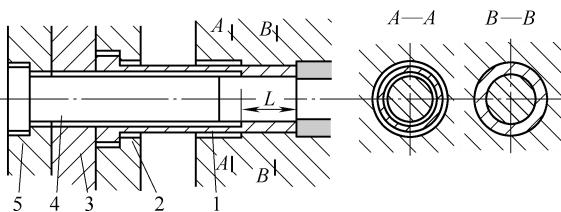


图 5-132 推管推出机构的组成

1—推管 2—推杆固定板 3—推板
4—型芯 5—动模座板

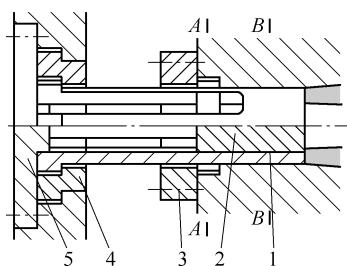
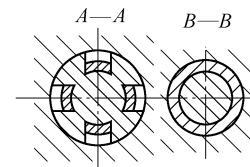


图 5-133 推管尾部分片形式一

1—推管 2—型芯 3—半圆压板
4—半圆套圈 5—压板

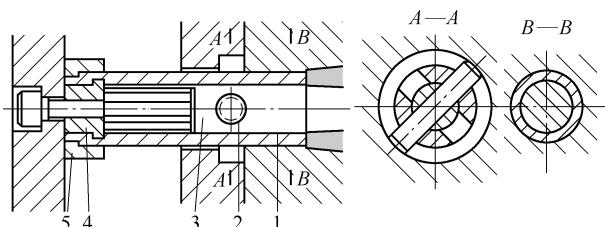


图 5-134 推管尾部分片形式二

1—推管 2—圆柱销 3—型芯 4—螺塞 5—套环

图 5-135 中的推管为整体式，中部铣一长圆孔，用方销固定型芯。推管尾部台阶由推杆固定板与推板夹紧。这种机构对型芯的固紧力较小，在型芯较小的情况下使用。

图 5-136 所示推管的尾部用螺纹与内推板紧固。型芯直接固定在动模支承板上。内推板的推出与复位由卸料推杆与复位杆完成。该机构结构紧凑，适用于推出距离不大的场合。

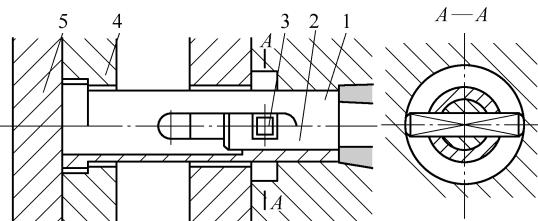


图 5-135 推管中部开槽的形式

1—推管 2—型芯 3—方销 4—推杆固定板 5—推板

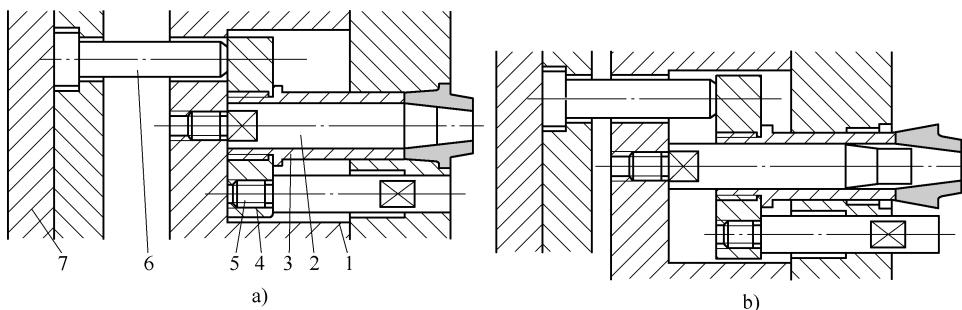


图 5-136 内推板固定推管的形式

a) 推出前状态 b) 推出后状态

1—支承板 2—型芯 3—推管 4—内推板 5—复位杆 6—卸料推杆 7—推板

2) 推管推出机构的特点：

①推出力作用点离包紧力的作用点距离较近，推出力平稳、均匀，是较理想的推出状态。

②推管推出的作用面积大，压铸件表面承受的推出压强小，压铸件变形小。

③推管与型芯的配合间隙有利于型腔气体的排出。

④适合推出薄壁筒形压铸件。

⑤对型芯喷刷涂料比较困难。

3) 推管的设计要点：

①为避免推管损伤镶块及型芯表面，推管的外径尺寸应较筒形压铸件外壁尺寸小 $1.2 \sim 0.5\text{mm}$ ，推管的内径应较压铸件内壁尺寸大 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ 。

②通常推管内径在 $\phi 10 \sim \phi 50\text{mm}$ 范围内选用，推管壁厚在 $1.5 \sim 6\text{mm}$ 范围内选用。

③推管的导滑封闭段长度 L （图 5-132）按下式计算：

$$L = (s_{\text{推}} + 10) \geq 20 \text{mm} \quad (5-54)$$

式中 $s_{\text{推}}$ ——压铸件推出距离 (mm)。

④推管与镶块、型芯的配合可按 H8/f7 ~ H8/e8 选用。

⑤推管的非导滑部位尺寸见表 5-21。

表 5-21 推管的非导滑部位推荐尺寸

部位	尺寸
动模镶块内扩孔	$D_1 = D + (1 \sim 2) \text{mm}$
推管内扩孔	$d_2 = d + (0.5 \sim 1) \text{mm}$
型芯缩小段	$d_1 = d - (0.5 \sim 1) \text{mm}$
推管尾部外径	$D_2 = D + (6 \sim 10) \text{mm}$
推管尾部厚度	$h = 5 \sim 10 \text{mm}$

(6) 卸料板推出机构 卸料板推出机构是利用动模镶块的推出动作，从型芯上推出压铸件的机构。它适用于压铸件投影面积大、壁薄且轮廓简单的深腔铸件。

1) 卸料板推出机构的组成。卸料板推出机构的组成如图 5-137 所示。卸料板机构主要由卸料板、动模镶块、卸料推杆和推板等零件所组成。推出力通过推板、卸料板借助导套在导柱上的移动，将压铸件从型芯上推出。

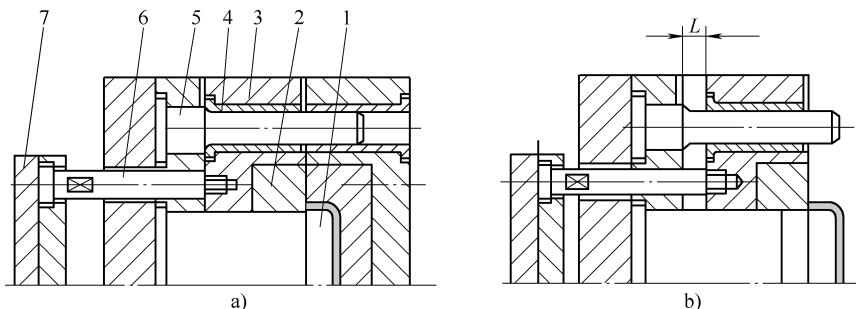


图 5-137 卸料板推出机构的组成

a) 合模状态 b) 推出状态

1—型芯 2—动模镶块 3—卸料板 4—导套 5—导柱 6—卸料推杆 7—推板

2) 卸料板推出机构的特点：

- ①推出力分布均匀，推出过程平稳、可靠，压铸件变形小。
- ②推出力作用在压铸件侧壁的端面上，适用于推出侧壁包紧力大的压铸件。
- ③压铸件上不会留下推出痕迹，提高了压铸件的尺寸精度和外观质量。
- ④卸料板推出压铸件后遮住了型芯，因此对型芯喷刷涂料较困难。

3) 卸料板推出机构的设计要点:

① 推出压铸件时动模镶块推出距离 L 不得大于动模镶块与动模固定型芯接合面长度的 $2/3$, 以使模具在复位时保持稳定。

② 卸料推杆可以设在模具分型面的水平投影面内, 也可以设在水平投影面外, 视具体情况而定。

③ 型芯与卸料板(动模镶块)间的配合一般在 $H7/e8 \sim H7/d8$ 之间。若型芯直径较大, 与卸料板配合段可做成 $1^\circ \sim 3^\circ$ 的斜度, 以减少推出阻力。

除上述三种主要的推出机构之外, 还有其他多种推出机构, 设计时视具体情况而定, 无固定的结构形式。

4. 复位和预复位机构设计

在压铸生产过程的每一次循环中, 推出元件推出压铸件后, 都必须准确地回到起始位置, 这就是推出机构的复位。这个动作通常是借助复位杆来实现的, 并用挡钉作最后定位(图 5-138)。推出机构的复位形式有模外和模内复位两种, 其复位是在合模过程中, 定模分型面推动复位杆使推出机构复位。

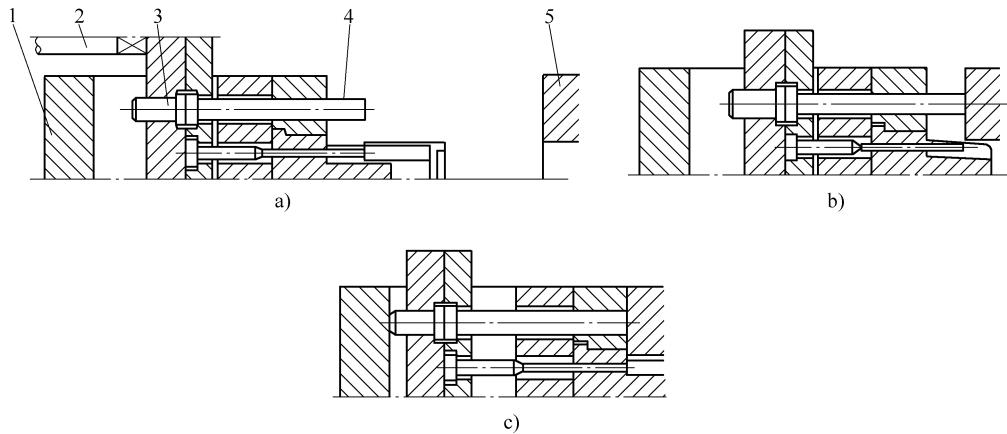


图 5-138 复位动作过程

a) 开模状态 b) 合模状态 c) 最后限位状态

1—动模座板 2—压铸机推杆 3—挡钉 4—复位杆 5—定模

(1) 复位机构的设计要点

1) 复位元件及限位元件的位置通常在型腔、抽芯机构、推出机构设计确定后, 选择合理空间位置设置 4 根或 2 根复位杆和 4 个限位钉, 应对称布置, 使推板受力均衡。

2) 限位元件尽可能布置在压铸件投影面积范围内, 以改善推板受力状况。

3) 采用推杆或推管推出机构时, 应设复位杆。设计中也可用复位杆作为推杆

推出压铸件。

4) 在卸料板推出机构和斜滑块推出机构中, 卸料板和斜滑块本身具有使推出机构复位的功能, 可不另设复位机构。

5) 常用推板的限位形式如图 5-139 和图 5-140 所示。图 5-139 中, 在推板导柱的端部用内六角螺钉固定限位环, 中间设有弹簧垫圈。该结构加工方便, 但限位不够精确, 适用于通用模座的小型模具。图 5-140 中限位钉布置在复位杆后面, 复位精度高, 刚性好, 适用于大中型模具。

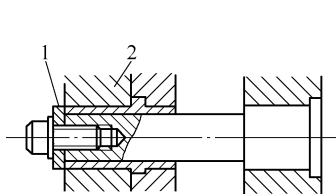


图 5-139 小型模具推板的限位形式

1—限位环 2—推板

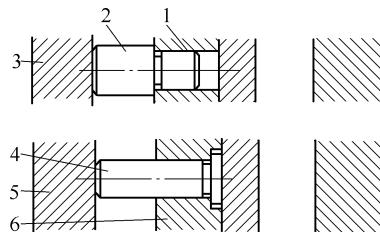


图 5-140 大中型模具推板的限位形式

1、6—推板 2、4—限位钉

3、5—动模底板

(2) 预复位机构设计 预复位机构是合模前或合模过程中, 在动、定模闭合前, 将推出元件准确地送回到原来的起始位置的一种装置。

预复位通常在下列两种情况下采用: 推出元件推出压铸件后所处的位置影响到嵌件的安放; 推出元件与活动型芯的运动路线相交, 插芯动作受到干扰, 如图 5-121 和图 5-122 所示。

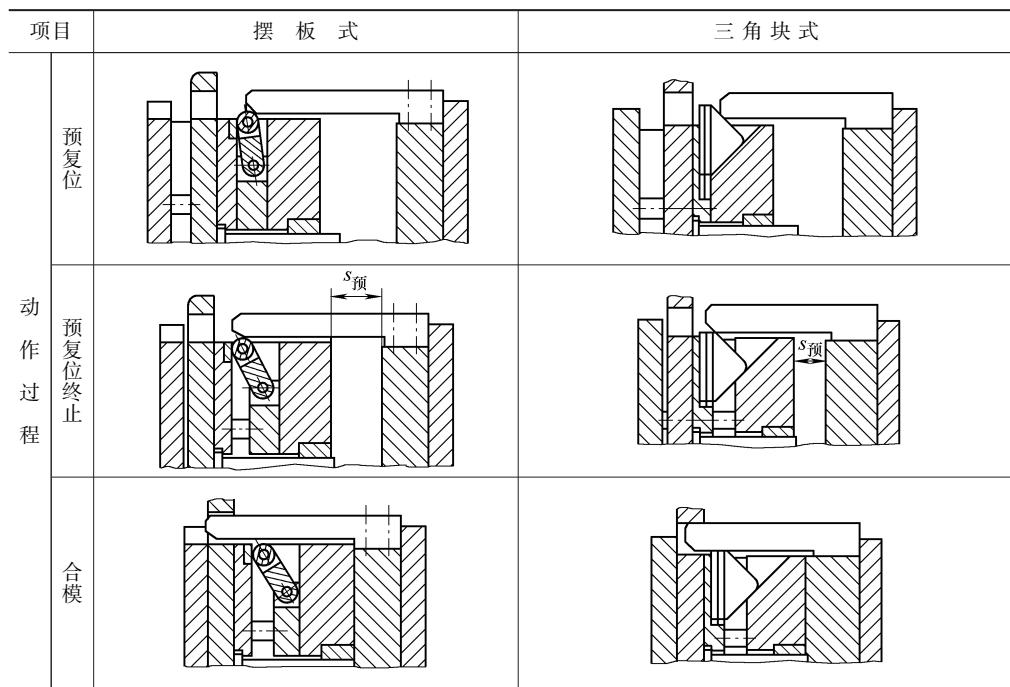
从图 5-121 和图 5-122 中可以看出, 当推出元件设计在活动型芯的投影面积以内时, 就有可能发生推出元件与活动型芯的相互干扰, 必须采用带有预复位结构的推出机构。

1) 机动推出的预复位机构。机动推出在复位时, 推杆与斜销抽芯机构的活动型芯产生干扰, 通常采用摆板式与三角块式的预复位机构 (表 5-22)。

表 5-22 摆板式与三角块式预复位机构

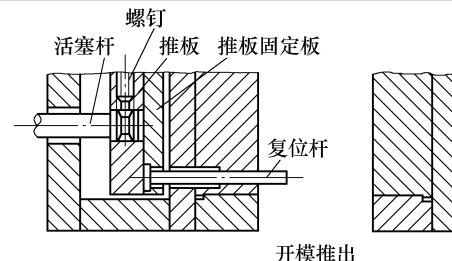
项目		摆 板 式	三 角 块 式
动 作 过 程	开模推出	 滚轮 预复位杆 摆板轴 复位杆	 三角块 预复位杆 复位杆

(续)

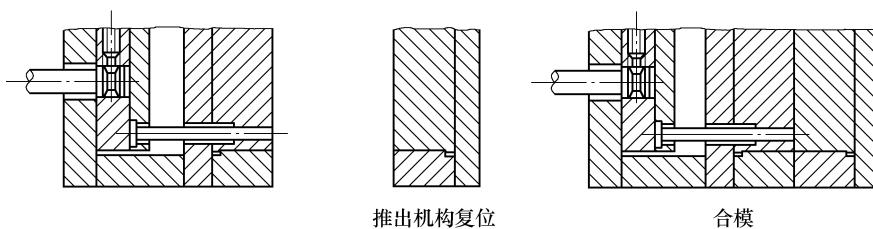


2) 液压推出器推出元件的预复位机构。液压推出器推出元件的预复位机构见表 5-23。在装有液压推出器的压铸机上或装有液压推出器的模座上，模具推出机构预复位可以由液压推出器来实现。

表 5-23 液压推出器推出的预复位机构



开模推出



推出机构复位

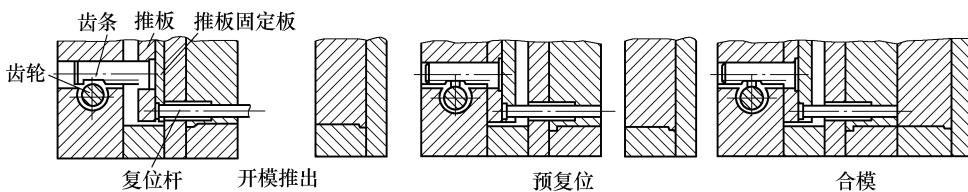
合模

(续)

特点	1) 推板与液压推出器活塞杆用螺钉连接,在液压推出器复位时带动推板复位,预复位仍可在未合模前实现 2) 推板的全部推出行程都实现了预复位,动作安全可靠 3) 动作顺序由电气和液压系统控制
应用场合	1) 推出机构与液压抽芯机构产生干扰的模具 2) 推出机构与斜销抽芯机构产生干扰的模具 3) 推出元件推出后的位置影响嵌件安装的模具

3) 手动推出的预复位机构。使用齿轮齿条传动的手动推出机构时,改变操作程序就可以实现推出机构的预复位(表5-24)。

表5-24 手动推出的预复位机构



特点	1) 预复位是在未合模前实现的 2) 推板的全部推出行程都可以实现预复位 3) 动作顺序由人控制,劳动强度较大
应用场合	1) 在没有液压推出器的压铸机上,使用的推出机构与液压抽芯器抽芯机构发生干扰的模具 2) 在没有液压推出器的压铸机上,使用的推出元件推出后的位置影响嵌件安装的模具 3) 在推出机构与抽芯机构有干扰,并分别具有复杂动作要求及有严格的操作顺序的模具

5. 推出机构的导向

引导推板带动推出元件作往复运动的导柱通常称作推板导柱以区别定模套板上的导柱。推板导柱被应用于各种结构的模具。用得较多的导向形式有导钉式(图5-141)和支柱式(图5-142)。

从图5-141中可以看出,导钉是用螺纹紧固在动模支承板上,导钉头部轴肩对

推板有定位作用，适用于推板质量较轻、受压射力作用较小的模具。支柱式又有单支承式和双支承式两种。其特点是圆柱定位安装，两端分别支撑于支承板与动模座板间，适用于有动模座板、推出机构质量较大的模具。推板导柱和推板导套配合组成的双支承式推出与复位机构的导向机构，主要用于推出行程长的模具，除其导向精度与承重能力好之外，还能增强支承板的抗弯性能。

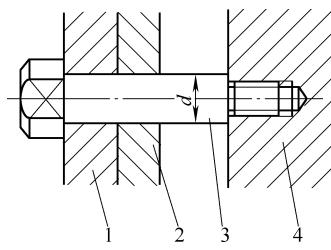


图 5-141 导钉式导向机构

1—推板 2—推杆固定板
3—导钉 4—支承板

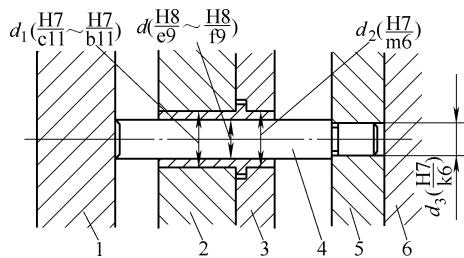


图 5-142 支柱式导向机构

1—动模座板 2—推板 3—推杆固定板
4—支柱 5—支承板 6—动模套板

5.9 溢流与排气系统设计

在模具设计中要将溢流槽、排气槽和浇注系统作为一个整体来考虑。因为溢流槽和排气槽的采用和设置是提高压铸件质量、消除局部紊流带来的疵病的重要措施之一，有时还可以弥补由于浇注系统设计不合理而带来的铸造缺陷，其效果取决于溢流槽和排气槽在型腔周围的布局、容量大小以及本身的结构形式等。目前对溢流槽的设置有两种不同的观点，一种是将溢流槽开设得很小，而另一种要将溢流槽开得很大，其质量占浇注质量的 20% ~ 30%。

1. 溢流槽设计

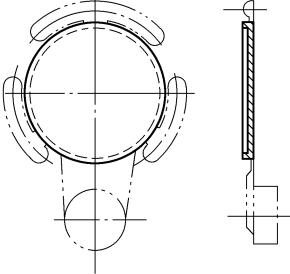
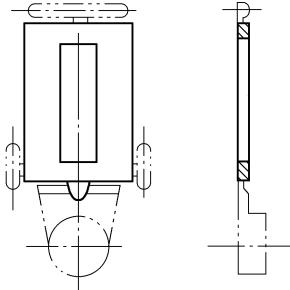
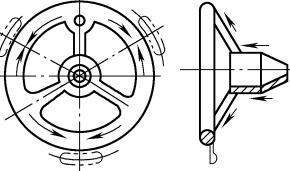
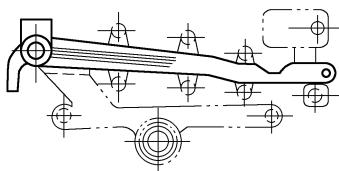
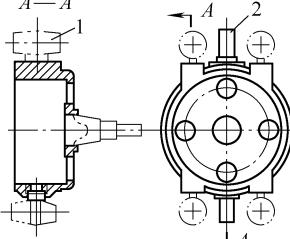
(1) 溢流槽的作用 溢流槽的主要作用如下：

- 1) 溢流槽布置在模具温度低的部位时可调节模具型腔的温度场分布。
- 2) 布置在动模上的溢流槽，可增大压铸件对动模镶块的包紧力，便于压铸件在开模时留在动模上。
- 3) 作为压铸件存放、运输及加工时支承、吊挂、装夹或定位的附加部分。

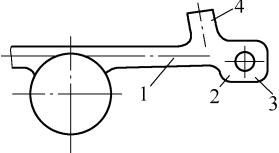
(2) 溢流槽的设计要点

- 1) 正确布置溢流槽在模具中的位置 (表 5-25)：

表 5-25 溢流槽的布置示例

部位	简图	说 明
金属液最先冲击部位和内浇口两侧		在金属液最先冲击的部位和内浇口两侧设置溢流槽,以排除金属液流前头的气体、冷污金属液、稳定流态,减少涡流,并将折回浇口两侧的气体、夹渣排除
型芯背面金属液汇合		型芯背面区域是金属液在充填过程中被型芯阻止所形成的死角,也是由气体和夹渣形成铸造缺陷之处,故经常布置溢流槽,以改善压铸件质量
型腔内金属液汇合处		在压铸过程中,由于压铸件结构和工艺条件所限,往往不易完全达到理想的流态,在几股金属液的汇合处,也是气体、冷污金属、涂料残渣最集中的区域,应设置溢流槽来改善充填排气条件
金属液最后充填的部位		在金属液最后充填的部位,合金温度和模具温度比较低,气体、夹渣较集中,故应设置溢流槽以改善模具热平衡状态,改善充填和排气条件
压铸件局部厚壁处	 1—溢流槽 2—嵌件	压铸件厚壁处最易产生气孔、缩松等缺陷,为了改善厚壁处的内部质量,经常采用大容量的溢流槽和较厚的溢流口,以充分地排除气体和夹渣,转移缩松部位,改善内部质量

(续)

部位	简图	说明
主横浇道的端部	 <p>1—主横浇道 2—溢流槽 3—推出推杆 4—分支横浇道</p>	冷污金属和涂料残渣、气体储藏在主横浇道端部的大容量溢流槽中，同时对金属液流态有一定的缓冲作用

- ①是金属液在横浇道内或进入型腔后最先冲击的部位。
- ②是受金属液冲击的型芯后面或多股金属液相汇合处容易产生涡流裹气或氧化夹杂的部位。
- ③是金属液最后充填的部位。
- ④是型腔温度较低的部位。
- ⑤内浇口两侧或其他金属液不能直接充填的死角部位。
- ⑥其他需控制局部金属液流动状态以消除疵病的部位。
- 2) 溢流槽的溢流口总截面积应小于内浇口的总截面积。
- 3) 采用多个单独的溢流槽要比一个同等容积的溢流槽，更易控制从压铸件周围任何部分外流的金属液。
- 4) 根据溢流槽的作用确定其容积。

(3) 溢流槽的容积和尺寸

1) 溢流槽的容积，见表 5-26。

- ①作为储存冷污金属的储存器，容量大的溢流槽比容量小的效果好。但容量过大增加了回炉料量，使压铸件成本提高。一般按该处要放单个溢流槽的尺寸设计。
- ②以改善模具型腔温度场为目的而设计的溢流槽，其容量要通过计算来确定。
- ③作为消除局部热节处缩松、缩孔等缺陷而设计的溢流槽，其容积应为热节部位体积的 3~4 倍或为缺陷部位体积的 2~2.5 倍。

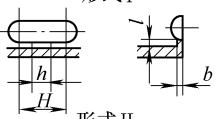
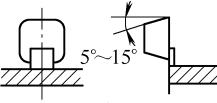
表 5-26 溢流槽的容积

使用条件	容积范围	说明
消除压铸件局部热节处缩孔缺陷	为热节的 3~4 倍或为缺陷部位体积的 2~2.5 倍	如作为平衡模具温度的热源或用于改善金属液充填流态，则应再加大其容积
溢流槽的总容积	不少于压铸件体积的 20%	小型压铸件比值更大

2) 溢流槽的尺寸, 见表 5-27。

表 5-27 单个溢流槽的尺寸

(单位: mm)

简图	经验数据			
	铝合金 锡合金 锌合金	铝合金 镁合金	铜合金 黑色金属	
形式 I				
				
形式 II				
				
形式 III				
				
溢流口宽度 h	6 ~ 12	8 ~ 12	8 ~ 12	
溢流槽半径 r	4 ~ 6	5 ~ 10	6 ~ 12	
溢流口长度 l	2 ~ 3	2 ~ 3	2 ~ 3	
溢流口厚度 b	0.4 ~ 0.5	0.5 ~ 0.8	0.6 ~ 1.2	
溢流槽长度中心距 H	$> (1.5 \sim 2)h$	$> (1.5 \sim 2)h$	$> (1.5 \sim 2)h$	

- 注: 1. 一般情况下采用形式 I。形式 II 及 III 容积较大, 常用于改善模具热平衡或其他需要采用大容积溢流槽的部位。
 2. 溢流口总截面积, 一般为内浇口截面积的 50% ~ 70%。如果溢流口过大, 则与型腔同时充满, 不能充分发挥溢流、排气作用, 故溢流口厚度和截面积应小于内浇口的厚度和截面积。
 3. 溢流口的截面积一般为排气槽截面积 50%, 以保证溢流槽有效地排出气体。

2. 排气槽设计

设置排气槽的目的是为了在金属液充填过程中将型腔中的气体尽可能多地排出模具, 以减少和防止压铸件中气孔缺陷的产生。

通常排气槽设在分型面上, 只要金属液充填过程中不过早地封闭排气槽, 型腔内的气体就能得到很好的排除。对于给定截面的排气槽, 其结构和形状对压铸件质量没有明显的影响。型腔气流与排气槽表面的摩擦损失很小, 对排气量没有影响。压射前压室内金属充满度对压铸件质量有显著影响。压室充满度高于 75% 时, 卷进压铸件内的气体量大大减少, 当压室充满度低于 75% 时, 压室内形成金属液波浪所卷进的气体将很难通过排气槽排除。对某些深腔部位, 由于金属液充填过程中气体无法逸出, 会产生较大的背压, 致使压铸件轮廓不清晰或在压铸件内形成气孔。必须在这种深腔部位设置排气塞排气或利用型芯和镶块间的配合间隙或推杆与推杆孔之间的配合间隙来进行排气。

排气槽设计要点及尺寸如下:

- 1) 排气槽与溢流槽配合使用, 能降低溢流槽内的气体压力, 更好地发挥溢流槽的作用。
- 2) 排气槽的总面积为内浇口总面积的一半。
- 3) 通常排气槽为扁宽的缝隙式, 其深度与浇注合金的流动性有关, 一般为

0.05~0.3mm。

4) 推荐各种合金的排气槽深度尺寸见表 5-28。

表 5-28 排气槽深度尺寸

(单位: mm)

合 金	排 气 槽 深 度	合 金	排 气 槽 深 度
锡-铝合金	0.05~0.10	镁合金	0.10~0.15
锌合金	0.08~0.12	铜合金	0.15~0.20
铝 合 金	0.10~0.12	钢	0.20~0.30

5) 排气槽的宽度为8~25mm。可以在分型面上直接从型腔中引出平直或曲折的排气槽，也可以在溢流槽后部布置排气槽。

5.10 模具温度控制系统设计

模具温度是影响压铸件质量的一个重要因素，但在生产过程中往往未被严格地控制。大多数形状简单、压铸工艺性好的压铸件对模具温度控制要求不高，模具温度在较大范围内变动仍能生产出合格的压铸件。而生产某些复杂压铸件时，只有当模具温度控制在某一范围内时，才能生产出合格的压铸件，且此温度范围又较窄，此时，必须严格控制模具温度。

在每一个压铸循环中，模具型腔内的温度是变化的(图 5-143)。使模具升温的热源，一是由金属液带入的热量，二是金属液充填型腔所消耗的一部分机械能转换成的热能。模具在得到热量的同时也向周围散发热量，如果在单位时间内模具吸收的热量与散发的热量相等而达到一个平衡状态，则称为模具的热平衡。模具的温度控制就是把模具在热平衡时的温度控制在模具的最佳工作温度内。

模具的温度控制是通过模具的加热和冷却系统来达到的。

加热冷却系统的主要作用：提高压铸件的内部质量和表面质

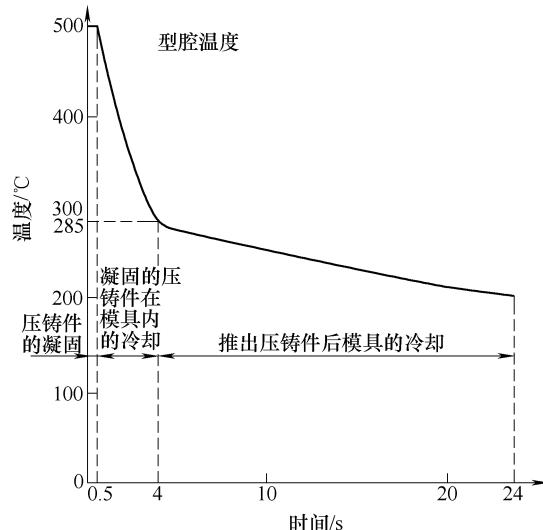


图 5-143 在一个循环内型腔温度的变化

用某铝合金在650℃时压铸厚度为4mm的压铸件，压射前
模具温度为200℃，循环持续时间24s

量；稳定压铸件的尺寸精度；提高压铸机生产效率；降低模具热交变应力，提高模具使用寿命。

1. 模具的加热方法

加热模具的热源有煤气、喷灯、柴油喷枪、电阻加热器、电感应加热器和红外线加热器等。若用煤气或喷灯进行生产前的预热是不理想的，它们会使模具上的凸起部分局部过热，而对凹入的型腔部位加热不足。用辐射式的电热盘或条状电阻的外热式电加热法能得到较好的效果，其中最常采用电热管加热。

(1) 管状电热元件加热法 管状电热元件如 SRM3 型，其外壳材料为不锈钢管，管内放入螺旋形金属电阻丝，可以根据需要选用合适的规格。管状电热元件一般布置在动、定模套板（也可以通过镶块）、支承板和座板上。按实际需要设置电热元件的安装孔，布置时应避免与活动型芯或推杆发生干扰。

(2) 低电压大电流加热法 为安全起见，通过低电压变压器输出低电压大电流，通过电热丝发热加热模具。电热元件安装孔不能水平放置以免电热丝受热后变形，造成短路。

2. 模具的冷却方法

模具的冷却方法主要有风冷和水冷两种。

(1) 风冷法 风冷法的风力来自鼓风机或空气压缩机。靠风力加强模具的散热，模具内不需设置冷却装置，结构简单，冷却速度较慢，适用于要求散热量较小的模具。

(2) 水冷法 大多用直流式冷却水管冷却，将整副模具的温度降低到最合适范围。通常在模具侧面钻孔接水管通冷却水直接冷却镶块，见图 5-144。要提高这种直流式冷却水管的冷却效果，与其增加冷却水的流速不如增加冷却面积，加大冷却孔的直径。但冷却孔离镶块表面至少要在 20mm 以上，以免由于急冷急热的影响而使镶块产生裂纹。为此，小型模具用的冷却孔直径为 $\phi 8 \sim \phi 10\text{mm}$ ，大型模具为 $\phi 15 \sim \phi 20\text{mm}$ 。

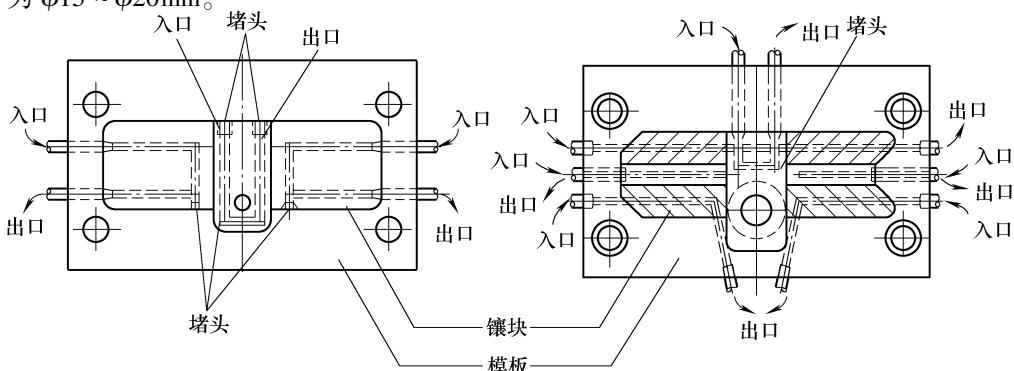
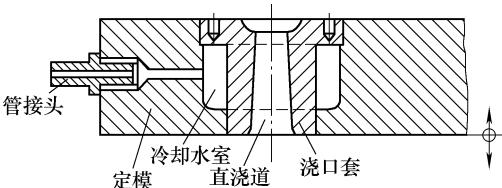
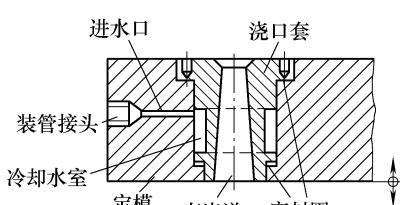
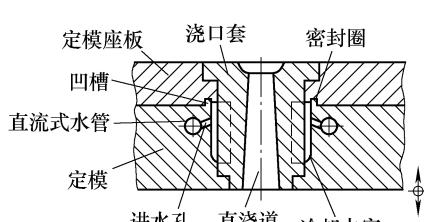
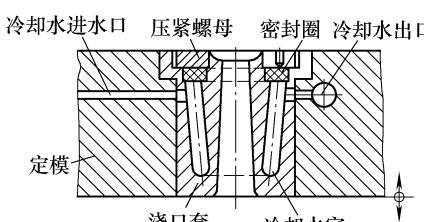


图 5-144 直流式水冷装置

对模具中那些特别容易过热的部位，如直浇道、型芯、凸出部位、形成压铸件厚壁部位等处要考虑冷却，以保持整副模具的热平衡，可用直流式冷却水管。但为达到部分冷却的目的，多用循环式冷却水管和喷流式冷却水管（图 5-145）。不同的冷却部位采用的水冷方法见表 5-29。

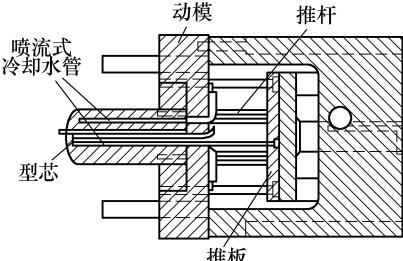
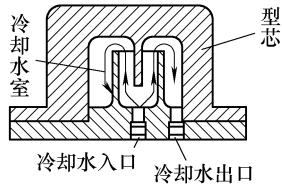
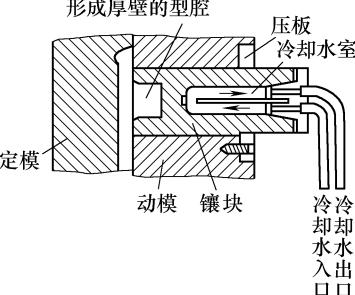
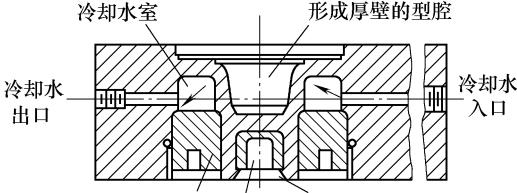
表 5-29 水冷法示例

冷却部位	结构简图	说 明
		1) 循环式冷却水在浇口套周围孔中循环 2) 冷却效果好 3) 结构简单, 价格便宜
热压室压铸机浇口套		1) 两处用铜或铅的密封圈压入浇口套, 利用温度上升时铜或铅与钢的热膨胀大小不同而形成严密的封闭 2) 能防止漏水
		1) 冷却水室分别在定模及浇口套上形成 2) 用密封圈防漏水
		1) 能在浇口套整个长度上冷却 2) 为防漏水而放入铅的密封圈

(续)

冷却 部位	结构简图	说 明
分 流 锥		<p>1) 用喷流式冷却水管 2) 用于分流锥圆锥部分较短的情况</p>
		<p>1) 圆锥部分内侧有凸出部分,增加了冷却面积 2) 冷却效果更好</p>
		<p>1) 用喷流式冷却水管,孔径分几级,能靠近前端 2) 用于分流锥圆锥部分较长的情况</p>
		<p>1) 分流锥前端压入与其同一材质的斜销,用水冷法冷却分流锥 2) 也可用空冷 3) 加工方便</p>
		<p>1) 分流锥中压入导热性很好的铍铜套,热量由中心孔中传出 2) 为增加放热效果,往中心孔中吹压缩空气</p>

(续)

冷却部位	结构简图	说 明
型芯		1) 型芯中放置尽可能多的喷流式冷却水管 2) 适用于较长的固定型芯 3) 冷却效果好
芯		1) 型芯中的冷却水室中设置隔板,增加冷却面积 2) 有循环式冷却的效果 3) 适用于断面大、体积大的型芯
压铸件厚壁或凸台处的模具部分		1) 形成压铸件厚壁部位的镶块上用循环式冷却法冷却 2) 动模与镶块结合面处易产生飞边
		1) 循环式冷却水管的水冷与铍铜的空冷结合 2) 冷却效果好 3) 适用于压铸件壁相当厚的模具

(3) 热管冷却法 热管是一种高效的传热元件，即使在温度梯度较小的情况下也能迅速地传热。它的外壳为一密封管子，内壁衬以由吸水材料组成的虹吸层，

在此虹吸层中可产生毛细管作用，内装低温时能气化的液体（如酒精、氨水、氟利昂等）。热管一端受热时，虹吸层中的液体就会气化，蒸气向热管中较冷的区域流动而凝聚，在虹吸层的毛细管作用下，冷却后的液体向气化区移动，这样热管内进行着液体气化——气体液化过程的不断循环，热量通过气化端传出。热管工作时的传热方式见图 5-146。

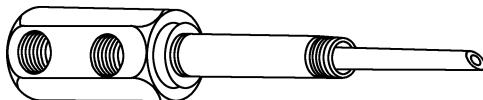


图 5-145 喷流式水冷装置

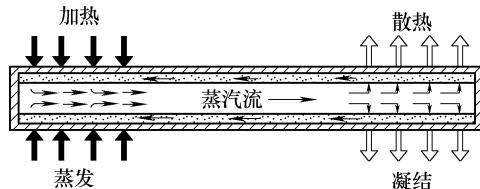


图 5-146 热管工作时传热方式示意图

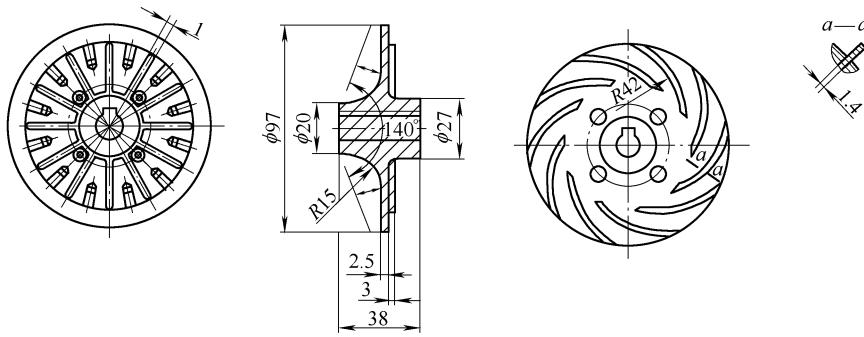
3. 热流体加热-冷却装置

热流体加热-冷却装置是通过控制流体的温度来控制模具的温度，可在压铸前预热模具，又可在生产中冷却模具。

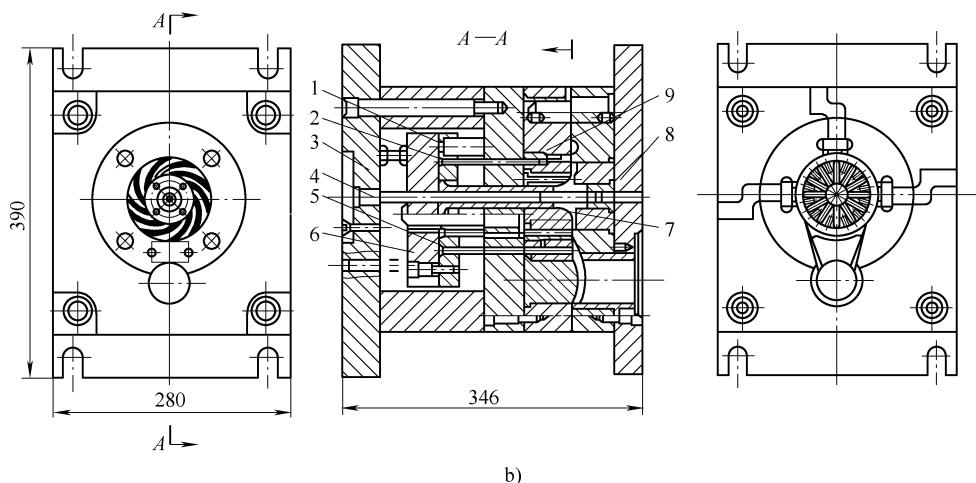
第6章 压铸模结构图例

1. 平面分型压铸模具结构

平面分型压铸模具结构如图 6-1 所示，铸件的叶片部位壁薄，要求有较好的排气，在中心孔型芯 4 的位置应有足够的推出力，通常采用推管推杆推出结构。叶片镶件 8 由 10 件组成并设置排气槽，中心孔型芯 4 固定在动模座板 3，并且与镶件 9



a)



b)

图 6-1 平面分型压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1—复位杆 2、5—推杆 3—动模座板 4—型芯 6—推板 7—推管 8、9—镶件

(设置排气槽) 定位。开模后, 由推板 6 推动推管 7、推杆 2、推杆 5 将铸件推出, 然后取出铸件。合模时, 复位杆 1 推动推板 6, 推板 6 推动推管 7、推杆 2、推杆 5 复位。

2. 阶梯分型压铸模具结构

阶梯分型压铸模具结构如图 6-2 所示, 按金属液充填方向在铸件的最后充填位置开设溢流槽和排气槽, 动模镶块 5、动模套板 8 与定模镶块 6、定模套板 7 采用阶梯分型推杆推出结构。开模后, 由推板 1 推动推杆 3、4 将铸件推出, 然后取出铸件。合模时, 复位杆 2 推动推板 1, 推板 1 带动推杆 3、4 复位。

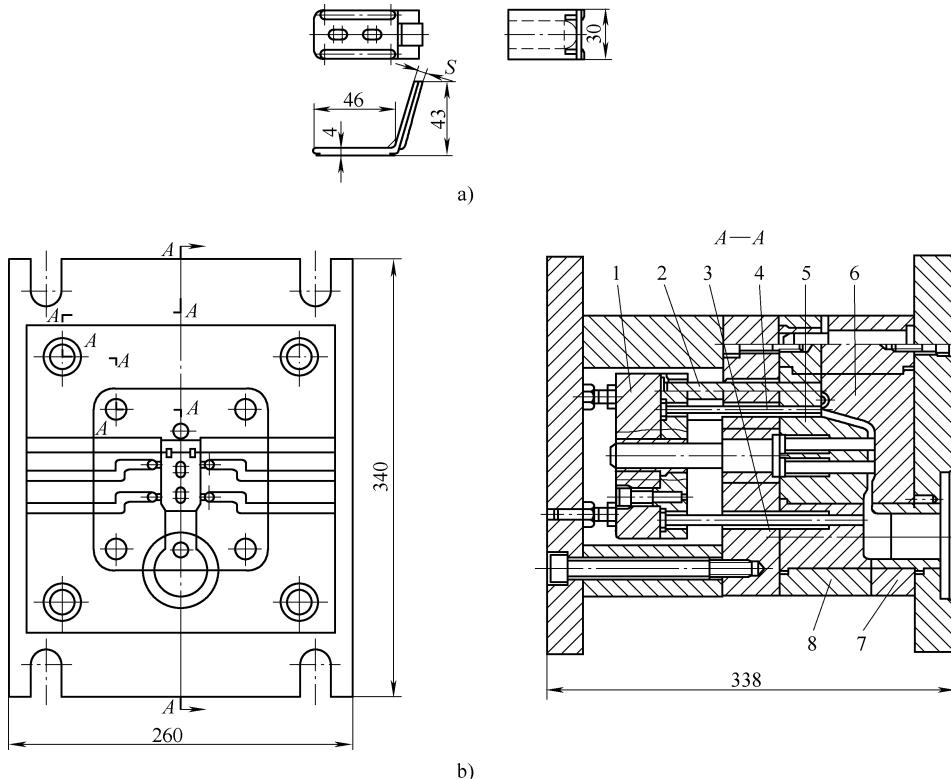


图 6-2 阶梯分型压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1—推板 2—复位杆 3、4—推杆 5—动模镶块 6—定模镶块 7—定模套板 8—动模套板

3. 弯销设在动模内的定模抽芯压铸模具结构

如图 6-3 所示, 压铸件在定模包容部分有一侧孔, 需采用弯销设置在动模内的定模抽芯结构。

开模时, 分型面 I 首先打开, 而分型面 II 处因设有锁紧装置, 不能立即打开。在分型面 I 打开的同时, 弯销 8 带动滑块 9 进行抽芯。

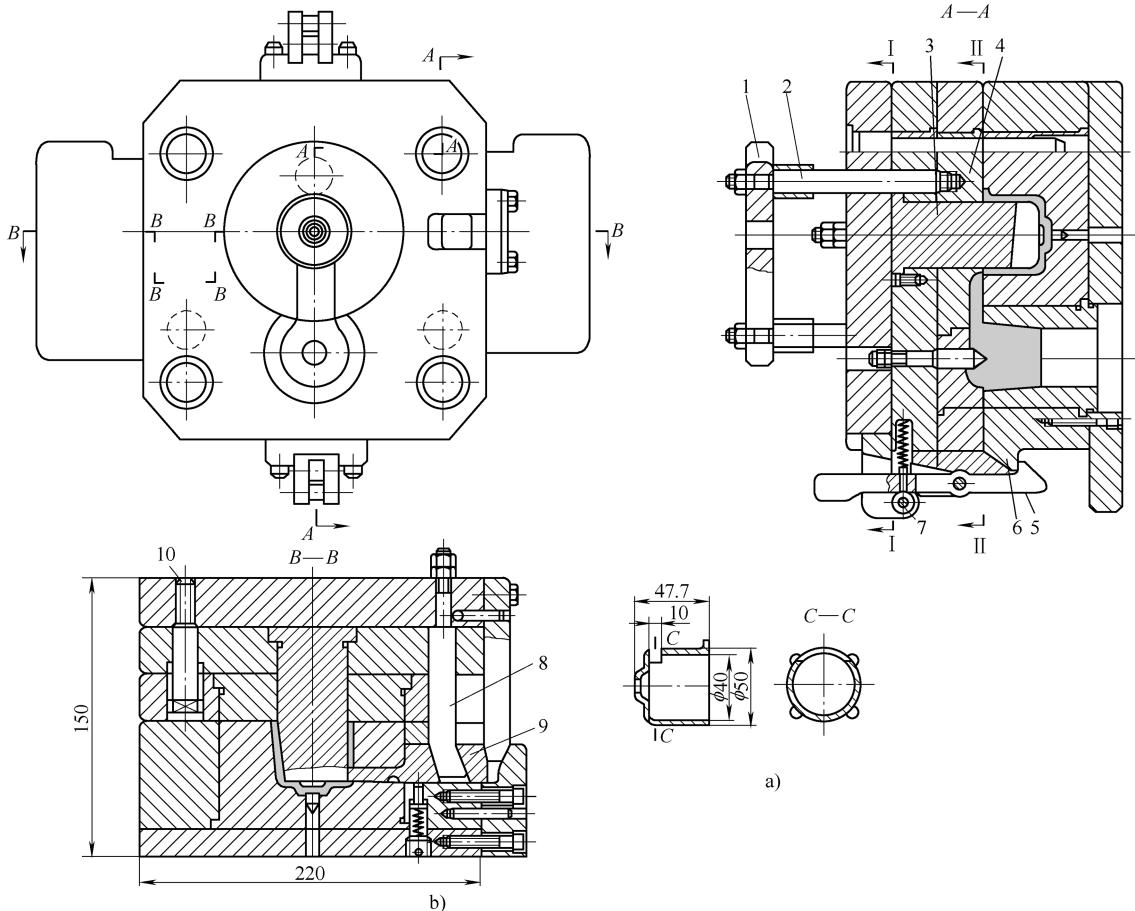


图 6-3 弯销设在动模内的定模抽芯压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1—推板 2—推杆 3—型芯 4—卸料板 5—拉钩 6—销钩 7—滚柱 8—弯销 9—滑块 10—限位钉

开模至一定距离时，滚柱7将锁钩6尾端压下，锁钩6即与拉钩5脱开，分型面Ⅱ打开，压铸件脱出定模，限位钉10为分型面Ⅰ限位。继续开模，推板带动推杆2，推杆带动卸料板4，将压铸件从型芯3上推出。

4. 推管、卸料板二次推出压铸模具结构

如图6-4所示的薄壁压铸件，对动模型芯产生两层包紧力，为防止推出过程中压铸件变形和开裂，故采用推管、卸料板二次推出结构。

开模后，压铸机的顶杆推动长推板1，在长推板带动推杆2推出卸料板8的同时，带动摆块3的大圆弧推动推管6，这样，推管和卸料板同步地从型芯4上推出压铸件。当压铸件从型芯上推出后，摆块已摆动一个角度，此时摆块的小圆弧代替大圆弧推动推板5，使推管的速度比卸料板快，将压铸件从卸料板上推出。

5. 外斜滑块分型兼推出结构压铸模具结构

如图6-5所示，铸件有一处圆球形，因此采用外斜滑块分型兼推出结构。外斜滑块1圆球中心线作为分型面，由动模镶块8内的导滑槽导向，分型的距离大于圆球半径，推出时外斜滑块1不能脱离动模镶块8。开模后，由推板11推动推杆5、9和连接杆3将铸件推出，连接杆3与连接器10和外斜滑块1相连接，外斜滑块1协同推杆5、9推出铸件的同时，向外分型脱离铸件的圆球，然后取出铸件。合模时，复位杆4推动推板11带动推杆5、9与连接杆3复位，同时定模镶块7将外斜滑块完全复位。

6. 内斜滑块抽芯兼推出压铸模具结构

如图6-6所示，铸件内孔有三等分的部分突出内螺纹，因此采用内斜滑块抽芯兼推出结构。

内斜滑块4形成铸件内部的三段内螺纹，由动模型芯7内的导沿槽导向。抽芯距离要大于螺纹牙形高度。

开模后，由推板1推动推杆3、8将铸件推出。推杆3推动内斜滑块4，内斜滑块4协同推杆8推出铸件的同时向内脱出螺纹，然后取出铸件。

合模时，复位杆9推动推板1，推板1带动推杆3、8复位。同时定模型芯5推动内斜滑块4复位。销钉6作内斜滑块4限位用。

7. 弯销、齿条齿轴抽芯压铸模具结构

弯销、齿条齿轴抽芯压铸模具结构如图6-7所示。铸件有斜向孔和便于铸件充填后浇道脱出，采用弯销、齿条齿轴抽芯结构。

开模时，在液压缸10的作用下，带动齿条5运动，齿条5带动齿轴9转动，齿轴9又带动齿条4和型芯2进行抽芯运动。弯销3先有一段延时行程70mm，然后抽拔滑块1使浇道脱出。开模后，推杆6将铸件推出。

液压缸10的动作由行程开关8控制。合模后为防止齿轴9转动，设置了一防转压条7。

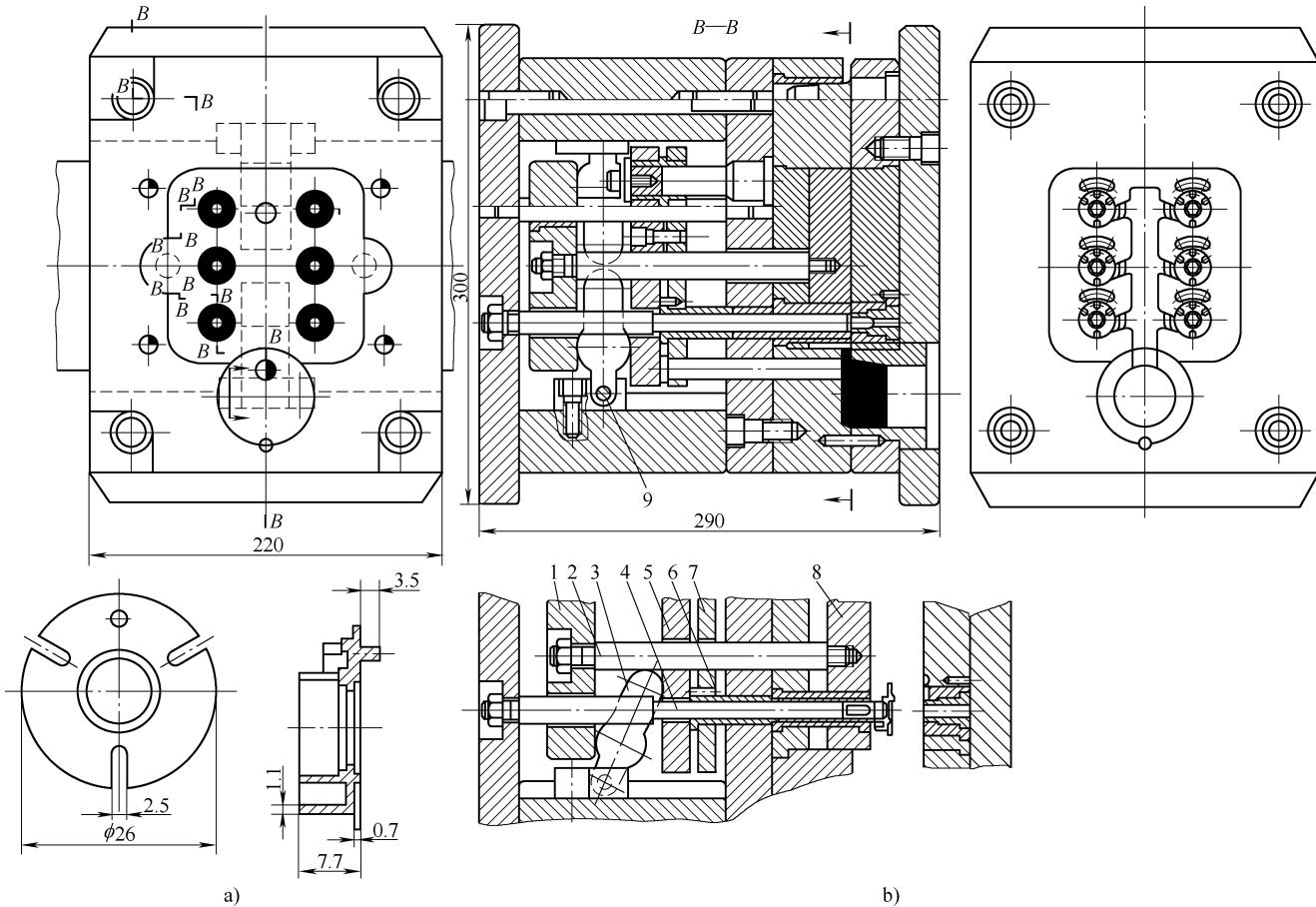


图 6-4 推管、卸料板二次推出压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1—长推板 2—推杆 3—摆块(两件) 4—型芯 5—推板 6—推管 7—推杆固定板 8—卸料板 9—轴心

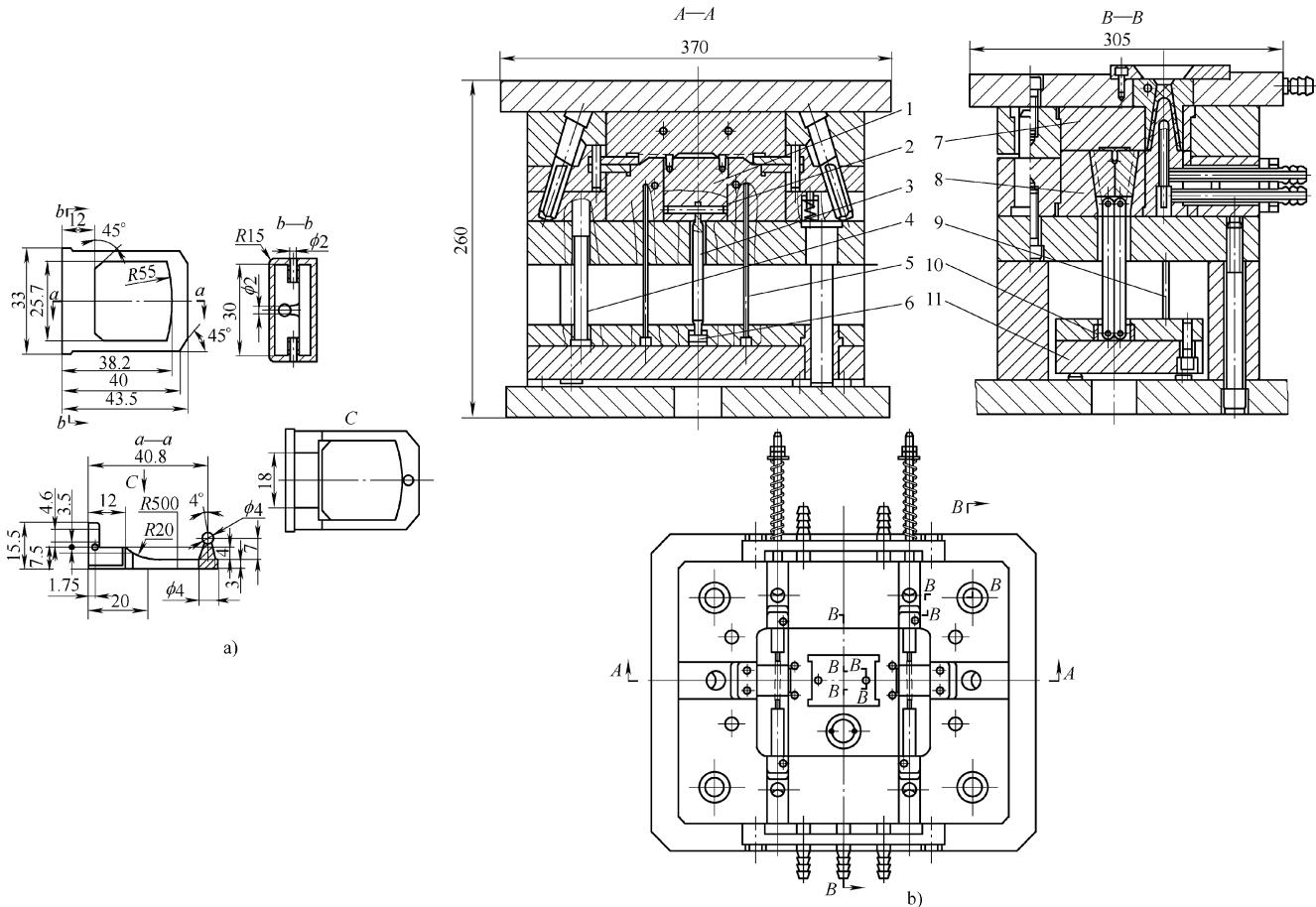
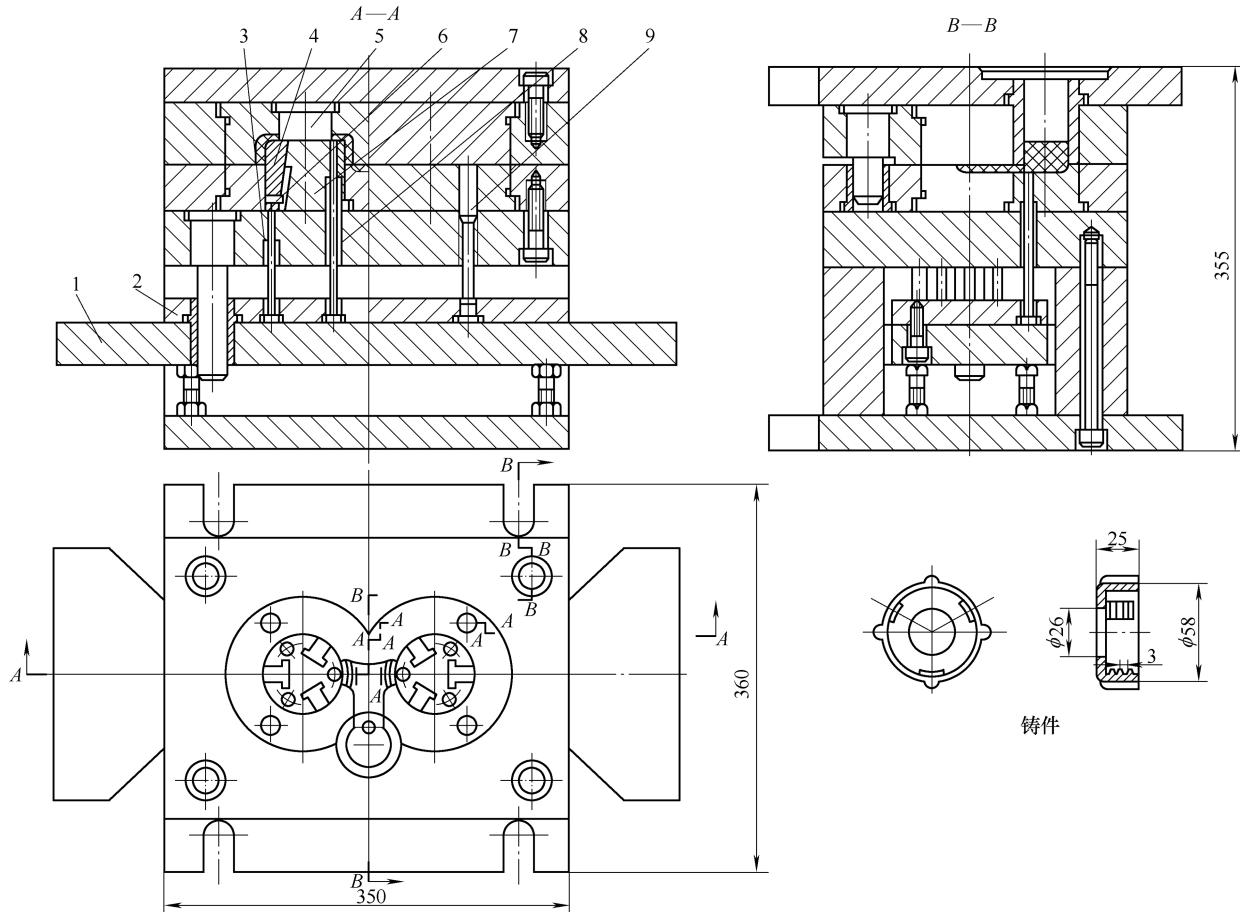


图 6-5 外斜滑块分型兼推出压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1—外斜滑块 2,6—销钉 3—连接杆 4—复位杆 5,9—推杆 7—定模镶块 8—动模镶块 10—连接器 11—推板



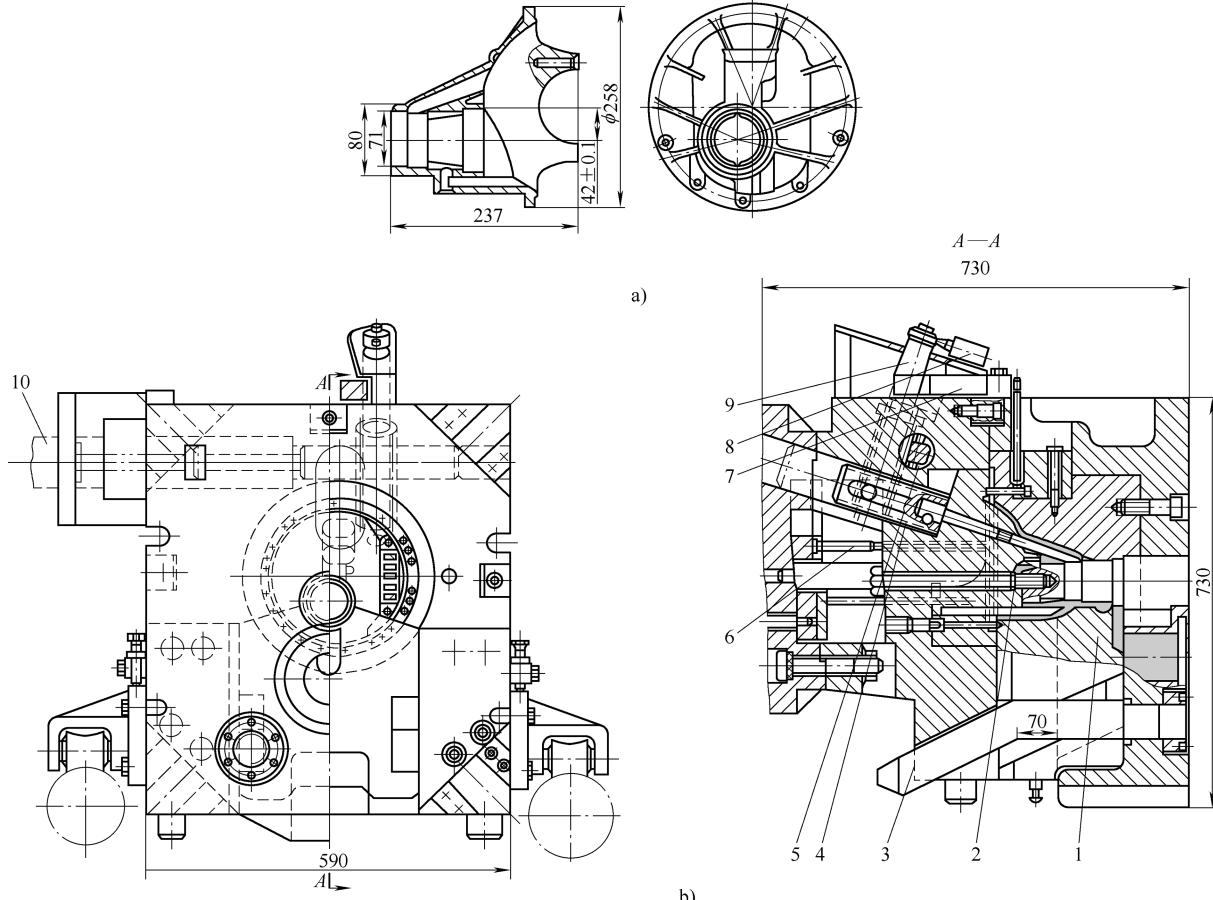


图 6-7 弯销、齿条齿轴抽芯压铸模具
a) 铸件 b) 模具结构图

1—滑块 2—型芯 3—弯销 4、5—齿条 6—推杆 7—防转压条 8—行程开关 9—齿轴 10—液压缸

8. 锥齿轮传动旋出的内螺纹压铸模具结构

采用锥齿轮传动旋出的内螺纹压铸模具结构如图 6-8 所示，铸件有内螺纹，开模后齿轮传动机构旋出铸件。开模时，固定在定模上的齿条 1 带动直齿圆柱齿轮 2 转动，从而传动锥齿轮 3、4 及直齿圆柱齿轮 5、6 转动和带动型芯轴 7 转动。由于铸件外形有八处加强肋，因此型芯轴 7 转动时，作脱模动作的同时将铸件推出。为了减轻转动时的摩擦力矩，采用平面轴承以减小摩擦力。

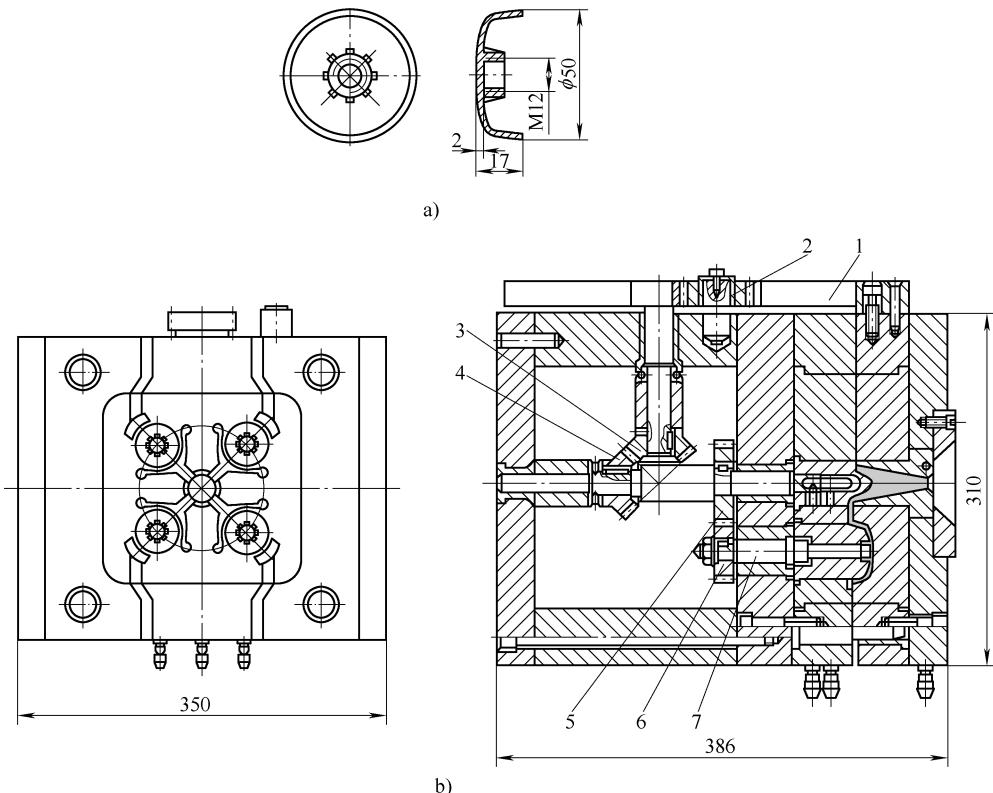


图 6-8 锥齿轮传动旋出的内螺纹压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1—齿条 2、5、6—直齿圆柱齿轮 3、4—锥齿轮 7—型芯轴

9. 斜导柱延时抽芯、推杆与卸料板联合推出压铸模具结构

如图 6-9 所示，该模具定模上有大型芯。开模时，靠抽芯滑块将铸件先从定模型芯上脱卸，故采用斜导柱延时抽芯机构，然后由推杆、动模卸料板联合推出。

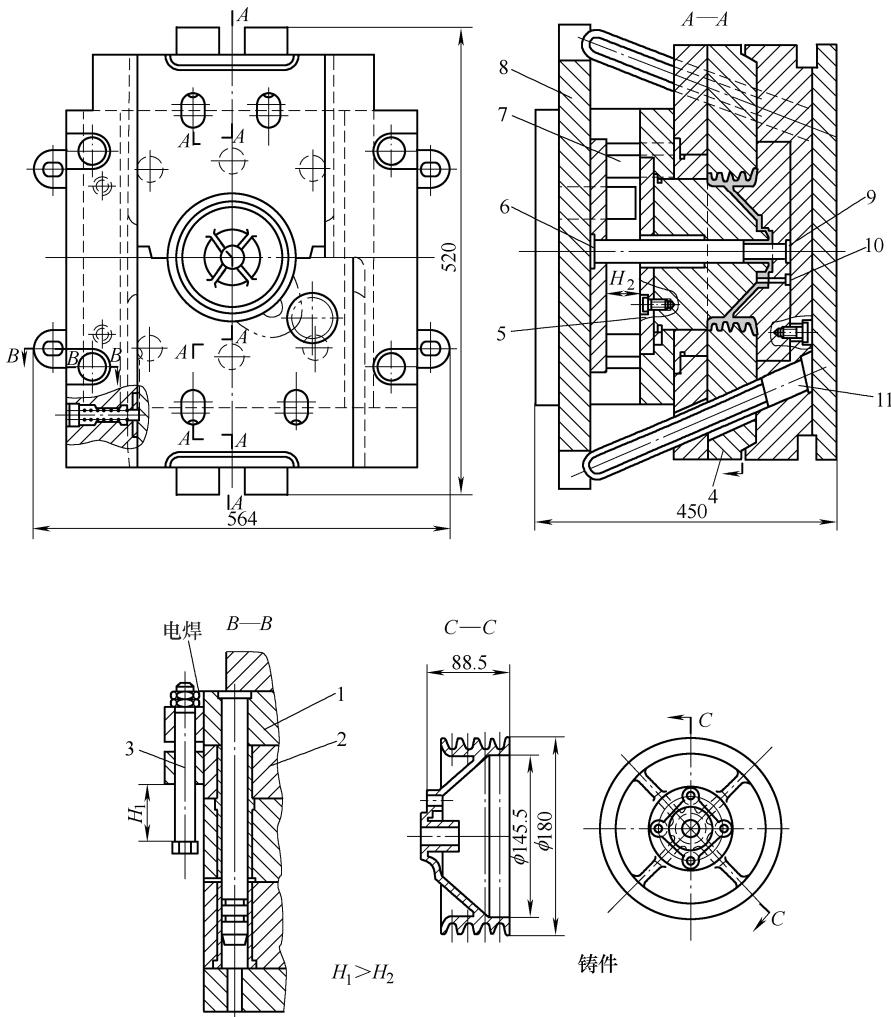


图 6-9 斜导柱延时抽芯、推杆卸料板联合推出压铸模具
 1—支承板 2—动模卸料板 3—限位杆 4—型芯滑块 5、9、10—型芯
 6—中心推杆 7—卸料板推板 8—推板 11—斜导柱

开模时，由于滑块外销孔呈椭圆长槽形，故需开模一段距离后斜导柱再起抽芯作用，实现延时抽芯。定模型芯脱出后，斜导柱带动型芯滑块4（两件）抽芯，然后推板8带动推杆6，卸料板2推出铸件。

为防止动模卸料板在脱模过程中脱出，设置限位杆3，铸件推出行程 H_2 须小于限位行程 H_1 （小于5~10mm）。

10. 弯斜销二次复合抽芯压铸模具结构

如图 6-10 所示的压铸件，有一深度较浅的倾斜为 63° 的侧凹，采用了弯斜销二次复合抽芯结构。

开模时，弯销 2 带动滑块 1 和滑动镶块 4，再带动斜销 3，使型芯滑块 5 作抽芯运动。因在开模状态下斜销与型芯滑块不脱离，故型芯滑块不需限位装置。抽芯运动完成后，推杆 6 将压铸件推出。

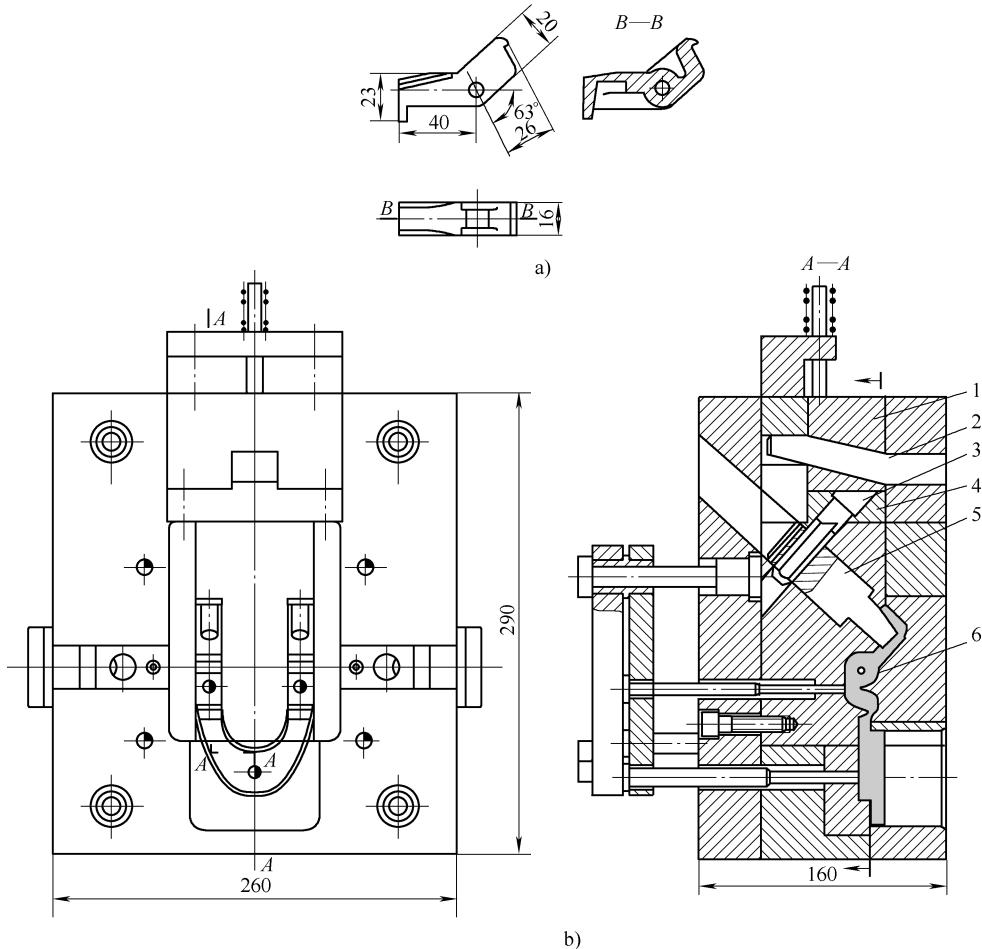


图 6-10 弯斜销二次复合抽芯压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1—滑块 2—弯销 3—斜销 4—滑动镶块 5—型芯滑块 6—推杆

11. 斜导柱、齿条齿轮二次抽芯压铸模具结构

如图 6-11 所示，铸件的抽芯距离长，包紧力大，因此采用斜导柱、齿条齿轮二次抽芯结构。

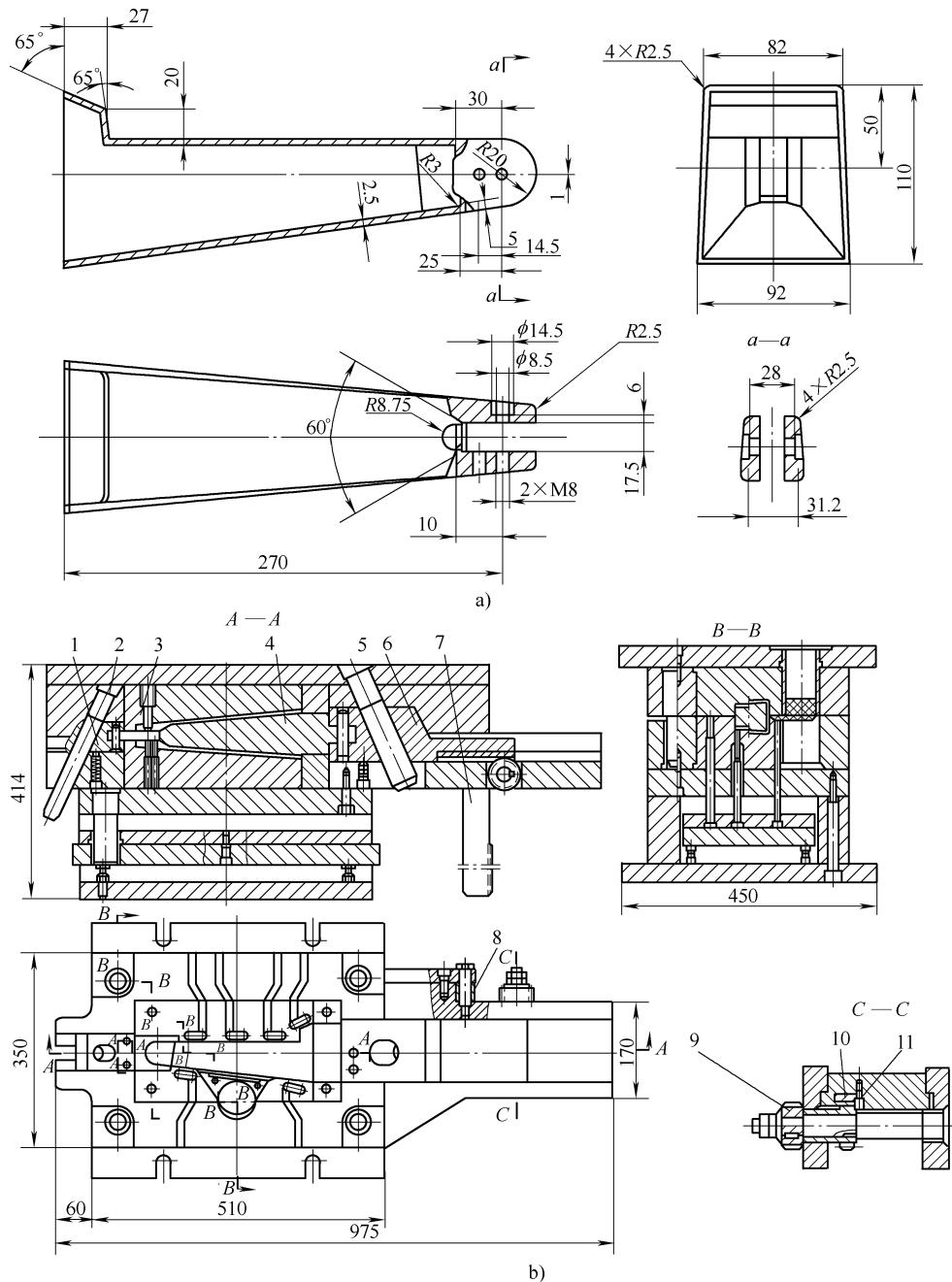


图 6-11 斜导柱、齿条齿轮二次抽芯压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1、6—滑块 2、5—斜导柱 3、4—型芯 7—齿条 8—滚轮 9、11—直齿圆柱齿轮 10—齿条

开模时,先用刚性强的斜导柱2、5作抽拔,将由滑块1和型芯3组成的滑块型芯脱离铸件,同时型芯4支除包紧力,斜导柱5脱离滑块6后,齿条7开始带动直齿圆柱齿轮9转动,从而传动直齿圆柱齿轮11,再带动齿条10和滑块6运动,使型芯4完全脱离铸件。

开模后,推出铸件。滚轮8以帮助齿条7运动时定位。为了减轻转动时的力矩,采用平面轴承以减少摩擦力。

12. 斜导柱切断余料压铸模具结构

如图6-12所示为斜导柱切断余料结构。卧式机采用中心浇道时,以斜导柱带动切刀切断余料。

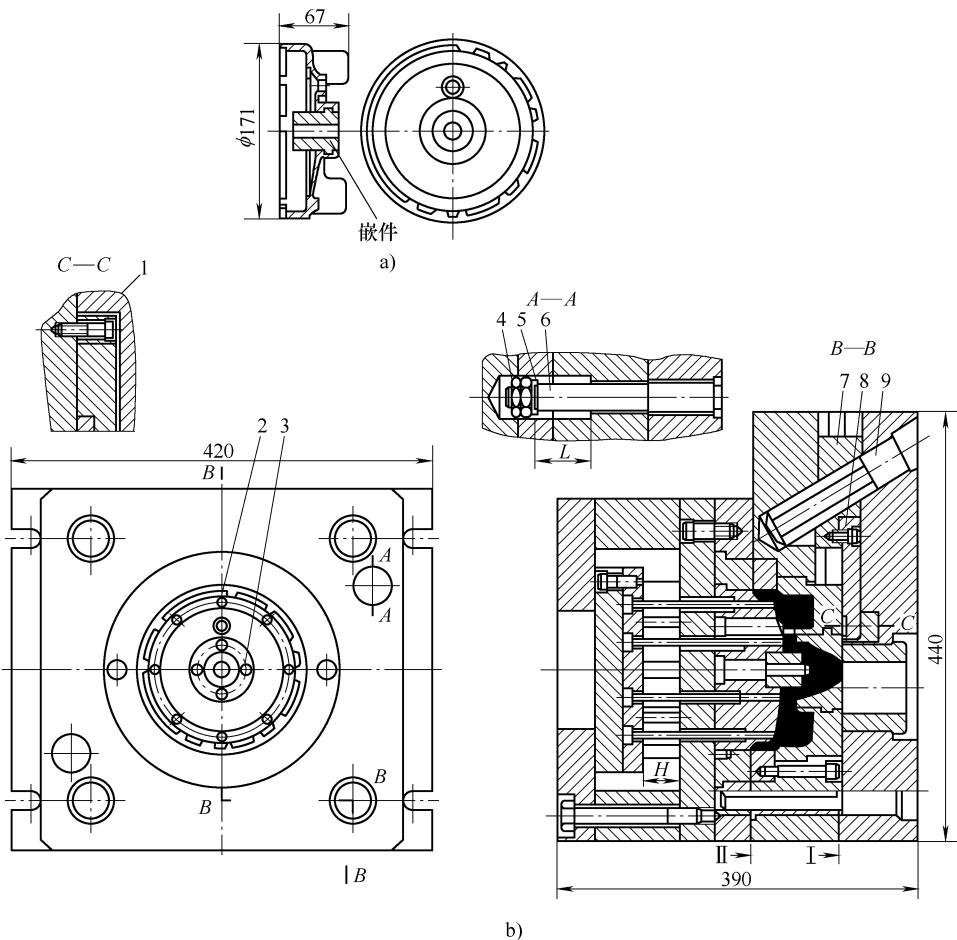


图 6-12 斜导柱切断余料压铸模具

a) 铸件 b) 模具结构图

1—导向件 2、3—推杆 4—螺母 5—垫圈 6—拉杆 7—滑块 8—切刀 9—斜导柱

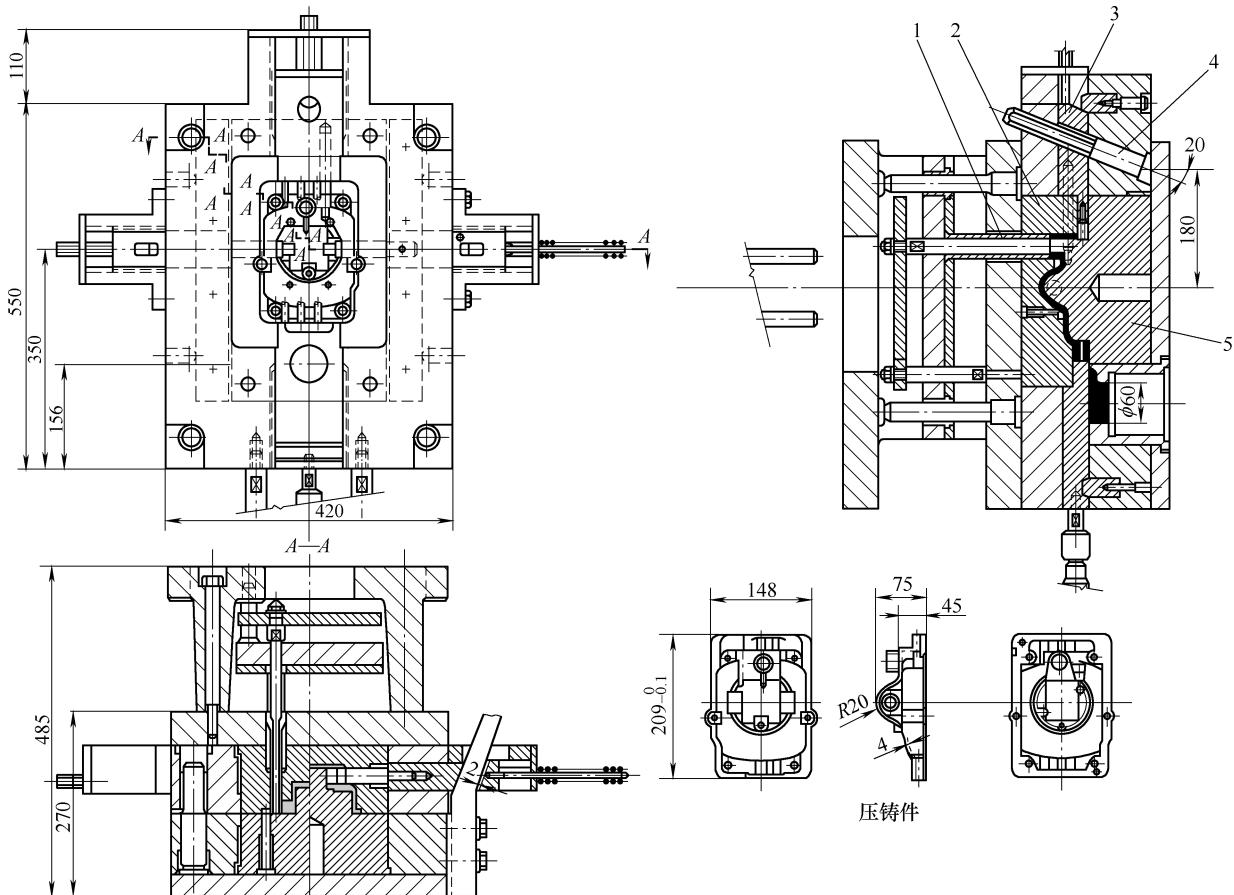


图 6-13 斜销、弯销、液压复式抽芯压铸模具

1—推管 2—动模镶块 3—滑块 4—斜导柱 5—定模镶块

开模时,由于铸件对动模型芯产生包紧力和压射头推出余料动作,分型面Ⅰ应首先敞开。在敞开过程中,斜导柱9带动滑块7和切刀8切断余料。

继续开模,由于拉杆6的作用第Ⅰ分型面停止移动,分型面Ⅱ即敞开,再继续开模,推杆2、3将铸件推出。压铸时应控制倒入金属液的量,使余料厚度H应满足下式:

$$H < L/\tan\alpha$$

式中 L —切刀至余料的距离;

α —倾斜角度。

分型面Ⅰ分型的 L 应大于 H 。

13. 斜销、弯销、液压复式抽芯压铸模具结构

图 6-13 所示的轿车变速器上盖压铸件四周有侧孔,采用四面动模抽芯结构。开模时,斜销带动上滑块进行抽芯,而两侧和下方滑块不动,强制压铸件脱离定模后,弯销和液压抽芯器才先后动作完成抽芯,最后推出压铸件。

14. 支架压铸模具结构

图 6-14a 所示为支架零件图,材料为 YL102。该零件结构比较简单,但在三个方向均有侧面凹孔,因此,压铸时要采用抽芯机构抽芯。该零件全部尺寸均未注公差。按图中要求,其公差按 IT12 级,用压铸方法生产该零件完全能达到尺寸要求。

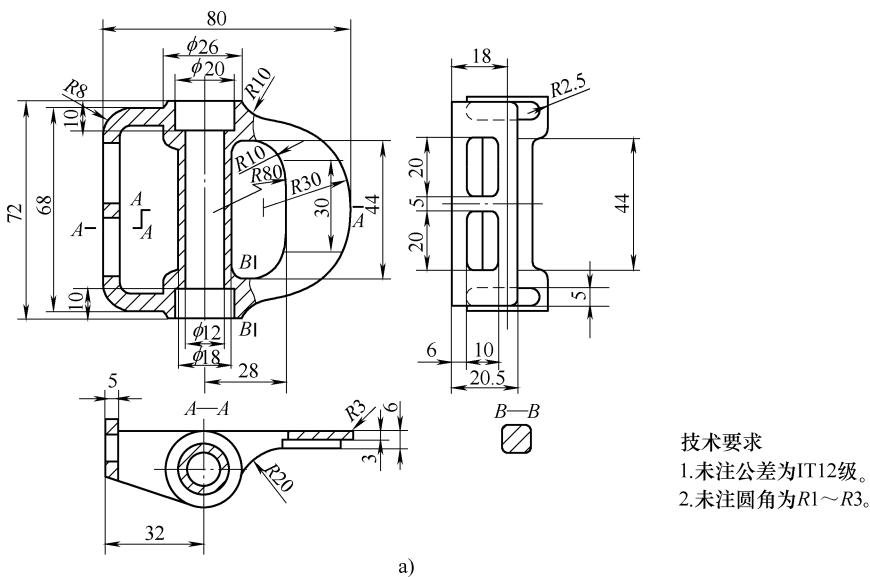


图 6-14 支架压铸模具

a) 压铸件

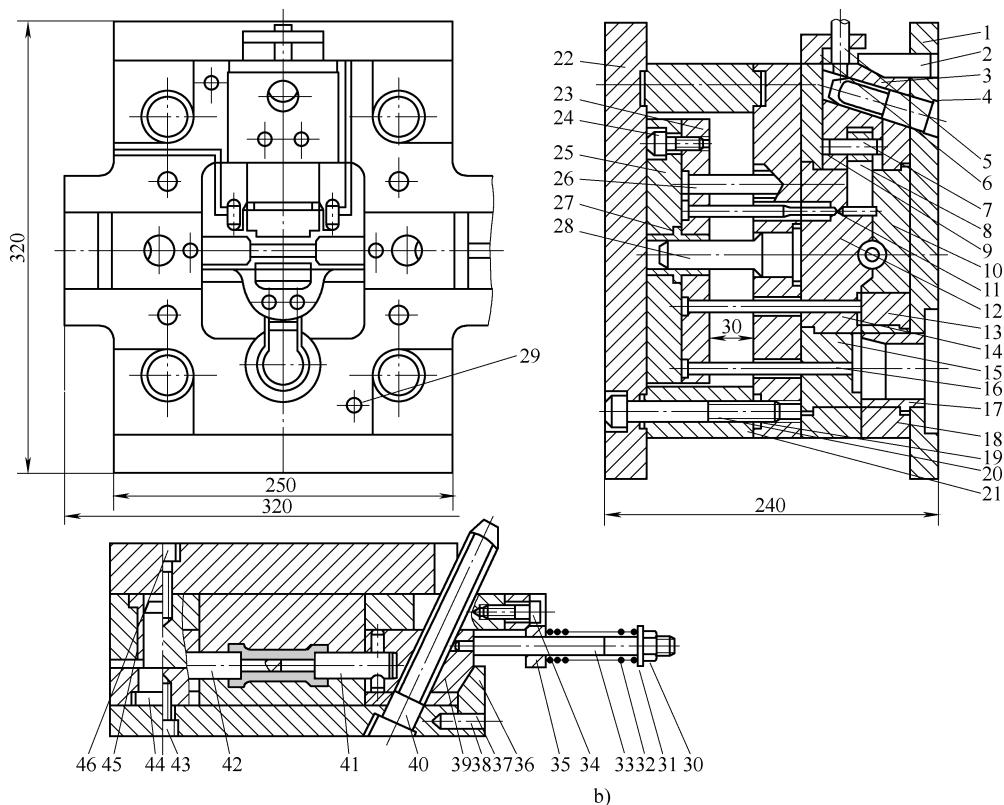


图 6-14 支架压铸模具 (续)

b) 模具结构图

- 1—定模座板 2—楔紧块 3—滑块 4、40—斜销 5、33—拉杆 6—定位块 7、29、37—圆柱销
- 8、41、42—侧型芯 9—动模套板 10—定模 11、14—推杆 12—动模 13—定模镶块
- 15—浇道镶块 16—浇道推杆 17—浇口套 18—定模套板 19—支承板 20、24、34、38、43、46—螺钉
- 21—垫块 22—动模座板 23—推杆固定板 25—推板 26—复位杆 27—推板导套 28—推杆导柱
- 30—螺母 31—垫圈 32—弹簧 35—定位块 36—斜楔 39—斜滑块 44—导柱 45—导套

图 6-14b 为支架压铸模具结构。压铸模具三个方向的内侧凹采用斜销抽芯机构抽芯。为保证 $\phi 12\text{mm}$ 孔同心，两面的侧型芯 41、42 采用对插结构。右侧两个 $10\text{mm} \times 20\text{mm}$ 矩形孔用一个型芯抽出，以便进行机械加工。右面宽度 30mm 的凹模在模具上采用拼块结构成型。

第7章 压铸工艺 CAE

7.1 概述

高压压铸是一个以熔融金属在高温下快速填充型腔、在高压下凝固的复杂过程。可生产高精度、低表面粗糙度、高强度，壁厚很薄的复杂零件，实现少无切削。并且利用压铸机及自动化的周边设备，压铸生产率极高，是所有铸造方法中生产率最高的方法。

但是压铸质量影响因素很多，涉及到流体力学、热力学和金属学等各种有关基础理论，包括边界层理论、连续性原理、湍流现象、液压冲击、热交换过程和凝固理论等，因此很难用精确的理论模型进行描述，属于弱理论强经验的领域。

影响压铸件产品质量的因素复杂、繁多，压铸技术含量较高，处理不当，将造成高废品率。铸造生产中，合金熔炼是必须的，也是耗能最多的环节。在全球气候变暖、能源日趋紧张的大背景下，世界各国均强调整节能减排，提倡绿色制造，能耗的高低将严重影响到该项技术在工程中的应用。

提高铸件质量是节能降耗的根本。铸件质量对能源消耗的影响最大，铸件产生内在、外在质量问题造成报废而重复生产，能源消耗量将大大增大，因此生产优质铸件是最大的节能，同时可提高劳动生产率。另外，在获得优质铸件的条件下，提高工艺出品率，可以提高劳动生产率和金属液的利用率，降低能源及金属消耗。

要取得高质量的压铸件，必须设计、优化出一个能照顾到各个方面均皆良好的工艺方案。

工艺方案设计是一项复杂且经验性强的创造性工作。压铸生产中，以压铸机、压铸合金和压铸模为三大要素。压铸工艺则是将这三大要素有机组合，合理选择设置。在影响充型的许多因素中，主要是压力、速度、温度和时间等。各个工艺因素互相影响，互为制约，调整某个工艺因素时，必然引起与之相应的工艺因素发生变化，并可能反过来对已经调整的那个工艺因素产生影响而导致其发生变化。因此，要对这些工艺参数进行正确选择、控制和调整，使各种工艺参数满足压铸生产的需要，才能在其他条件良好的情况下，生产出合格的压铸件。

进入21世纪之初，国家就提出了“信息化带动工业化”这一战略方针。计算机技术以其高智力、知识密集、综合性强、效益高等特点已经广泛应用并成为改造传统铸造技术的高新技术。利用计算机强大的计算和图形功能辅助模具设计，提高设计精

度和设计的可靠性，设计合理的模具结构及合理的浇注系统。利用 CAE 技术（Computer Aided Engineering）进行压铸过程数值模拟，俗称计算机试模，可视化地显示出铸造生产中金属液在型腔内流动、凝固的全过程，分析缺陷形成的因素。

模拟在产品开发中十分重要，当产品原型设计完成后，就应该进行模拟。由于处于开发初期，开发设计人员拥有改进设计的最大自由度。这时，结构和工艺模拟仿真将十分有效，产品设计将在很短的时间内改进，并且费用很少，事半功倍。铸造车间和模具车间可以在开发前期对产品开发提出修改意见。这样，产品设计师、工模车间、铸造车间等有关部门之间的沟通将非常顺利、方便。运用模拟工具可以很好地促成设计工程师、铸造车间之间紧密、信任的合作，方便产品结构的优化修改。在铸造企业，铸造模拟工具能够帮助铸造工艺设计者模拟不同的工艺，找出最佳工艺参数，优化浇注、排溢、冷却等系统，实现金属液最佳的充填状态和模具的合理温度分布，直到能铸造出合格的铸件。当然，软件也可以优化企业中正在生产的老产品，以期降低废品率，降低成本。

铸造 CAE 技术可以彻底改变传统铸造工艺方案制定过程中的不确定性，确保工艺的可行性和铸件质量，减少、省却传统铸造时的反复试模、修模过程，缩短产品开发周期、降低成本、提高市场竞争能力，是铸造工艺由“经验”走向“科学”的重要途径。

7.2 压铸 CAE 的原理

铸造的核心环节为金属液的浇注与凝固过程，包括充型、合金液的冷却与凝固、固态相变，其中包含着各种传递现象，如热量、质量及动量的传递，以及其他复杂过程。这些过程可以通过纳维-斯托克斯（Navier-Stokes）、傅里叶（Fourier）和阿夫拉米（Avrami）等方程，从连续介质的宏观尺度上去描述。数值模拟就是建立正确的数学模型，通过恰当的数值方法，利用计算机来求解这些模型，从而得出流动场、温度场、微观组织等结果，用于指导铸造实践。

1. 基本数学方程

铸造 CAE 对铸造过程中的物理、冶金现象进行分析，配合精确的边界条件，分别求解方程。其基本数学方程及变量关系见表 7-1。充型凝固过程可以用连续性方程（质量守恒定律）、动量方程（动量守恒定律）以及能量方程（能量守恒定律）描述。

表 7-1 铸造过程中的物理现象、基本数学方程及变量关系

铸造过程	满足定律	方程	变量
充型	动量守恒	纳维-斯托克斯方程	速度
	质量守恒	连续性方程	压力
	能量守恒	能量方程	温度

(续)

铸造过程	满足定律	方程	变量
凝固	热平衡	导热方程	温度
应力/应变	力的平衡	平衡方程 状态方程	位移 应力 应变

假设金属液为不可压缩流体，没有受到除重力以外的体积力及表面力，几个基本方程分别为

连续性方程

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (7-1)$$

纳维-斯托克斯方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\partial \mu u_i}{\partial x_j}\right) + \rho g_i \quad (7-2)$$

$$\text{能量方程} \quad (\rho c_p) \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j \rho c_p T) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j}\right) + \mu \Phi_T + L \frac{\partial f_s}{\partial t} \quad (7-3)$$

式中 u_i 、 u_j ——速度分量；

x_j ——直角坐标系中的 x 、 y 、 z ；

ρ ——金属液密度；

t ——时间；

μ ——金属液动力粘度；

p ——金属液压力；

g_i ——重力加速度；

c_p ——比热容；

T ——温度；

λ ——热导率；

Φ_T ——耗散函数；

L ——相变潜热；

f_s ——固相分数。

上述方程只是基本方程，还假定了很多前提条件。由于充型凝固过程不仅涉及金属液流动问题，还涉及流动过程自由表面确定，以及热量传导和金属液凝固相变等现象，其过程非常复杂，铸造模拟所涉及的方程还不止这些。求解这些复杂的方程组，加上压铸件往往形状复杂，所以欲精确求解上述偏微分方程组的解析解是不可能完成的任务。目前，铸造过程模拟软件大多使用数值计算方法，数值计算方法

实际上是一种近似解法。数值计算是基于对计算域的离散，不同数值方法对计算域的离散方法不同，对边界的处理方法也不同，计算效率和计算精度往往也不同。

2. 压铸 CAE 采用的数值计算方法

数值计算离不开对计算域的离散，将基本方程所涉及的区域在空间上和时间上进行离散化处理（对空间域的离散又常称网格划分），使之形成一系列的微小单元或节点；在所有的单元（节点）和边界单元（节点）上建立由基本方程及定解条件转换而来的数值计算方程组；选用适当的计算方法求解此方程组，获取各种数据结果。

根据基本方程建立相应的数值计算方程时，可以有不同方法，从而产生不同的求解方法及计算格式。常用的数值计算方法有：有限差分法（Finite Difference Method, FDM）、有限元法（Finite Element Method, FEM）和边界元法（Boundary Element Method, BEM）等。目前，模拟软件使用的数值方法以有限差分法（及其基础上发展的相关方法）和有限元法居多。有限差分法以差分代替微分来处理各类微分方程，概念清晰直观，易于计算，内存资源占用少，计算速度快，且网格划分比较容易，能够实现全自动网格划分，但在边界上存在锯齿形。有限元法是基于古典变分法而发展起来的一种计算方法，可作不规则网格剖分，能用比 FDM 更少的网格来再现复杂物体形状。但是计算过程较为复杂，物理概念不如有限差分法明确。相对而言网格划分也较难，不易自动划分网格。实际上，各种网格划分方法及相应的计算算法各有优缺点，没有哪种网格拥有绝对的本质上的优势。

经过冶金学家、计算机专家、铸造专家的多年努力，上述的知识内容均已经编成软件系统，形成铸造工作者可以方便使用的工具。操作软件时，使用者对上述基本方程及其算法只要了解其原理即可，不需要作太多深入了解。软件作为工具，可以帮助使用者从繁琐的计算中脱离出来，把有限的精力集中到工艺的创新设计中，优化出高工艺出品率、低废品率的铸造工艺方法。所以使用者需要熟悉压铸工艺，能够顺利完成压铸参数的设定；通过观测模拟结果，发现存在的问题；对工艺参数、浇冒口等进行修改、优化，尽快得到满意的结果。

7.3 压铸过程的模拟软件

随着模拟技术、计算机软硬件的不断发展以及铸造市场的需求，铸造过程模拟商品化软件不断涌现出来。

1. 国内外主要铸造模拟软件

(1) 国外 德国 MAGMA 公司的 MAGMASOFT，法国 ESI 公司的 ProCAST（原美国）和 PAM-QUIKCAST，美国 FiniteSolutions 公司 SOLIDCast，日本高力科公司（旧小松软件）和日本大阪大学大中逸雄研究室联合研发的 JSCAST，日本日立公

司的 ADSTEFAN，韩国 AnyCasting 有限公司的 anycasting，美国 Flow Science 公司的 Flow3D，瑞典 NovaCast Foundry Solutions 公司的 NOVACAST，芬兰 CT-Castech 公司的 CastCAE，西班牙 Quantech ATZ 公司的 VULCAN 等。

(2) 国内 华中科技大学的华铸 CAE InteCAST，清华大学的 FT-STAR 铸造之星，北京北方恒利科技发展有限公司的 CASTsoft/CAE 软件等。

市场上模拟软件还有很多，并且变化也很快，不断地有新软件面世。经过市场竞争而依然健康发展的软件，都有其独到之处和存在的理由。

2. CAE 软件的基本结构

在所有模拟软件中，其结构大致都包括前处理（几何模型设定）、网格划分、参数设定、计算（流动场、温度场、应力场）、后处理和数据库等模块。

(1) 前处理 前处理的任务主要是处理几何模型，通过自身三维建模功能，或者通过数据接口，导入压铸模各功能模块、铸件、浇注系统等，分别标识，进行装配。还可以设定排气道，设置示踪粒子、虚拟热电偶等。

(2) 网格划分 对充型、凝固过程及应力应变进行数值计算，首先要对计算域进行离散化处理，即划分网格。有些软件将网格划分与前处理放在一起。由于网格划分的结果将直接影响模拟精度以及运算时间，比较重要；而且，将复杂的压铸零件、模具等剖分出合适的网格是个难点。所以将网格划分单独作为一个模块是必要的。

网格剖分时需要选择适当的网格尺寸，薄壁处网格需要加密，尺寸小；厚部位可以适当放大网格尺寸，得到相当稀疏的网格，从而控制网格总数。另外，为了提高计算精度，六面体的网格相对比较好；相邻网格的尺寸变化不宜太大；单个网格的各个轴向尺寸比不宜过大，防止出现针状网格。在网格划分结束后，需要检查一下网格质量，保证网格剖分正确有效。

(3) 参数设定及计算 在网格处理完毕后，即可设定合金液、模具、冷却系统等的参数，包括材料、初始温度等信息；不同材料之间的热传导系数，与空气及周边环境的传热条件；压铸机的选择，一、二级压射的速度大小及转换点设定； $p-Q^2$ 图校核；整个压射周期的动作设定，包括动、定模、抽芯块的开合模顺序，涂料喷涂过程，冷却系统的开闭时间等；对于压铸等连续生产过程，需要了解经过多次循环后，模具达到热平衡后金属液在模具内的充型、凝固状况，此时的模具温度分布是型腔表面温度较高，而周边温度低的状况，无法直接设定，需要软件经过多个循环过程的计算，自动形成，所以需要设定多个循环过程；最后，一般软件均需要设定存储充型、凝固过程中的节点数据，如每隔 5% 存储一个结果。

(4) 后处理 计算机模拟的结果是一堆电脑数据，需要后处理将这些庞大的数据翻译成流动场、温度场、应力场以及缺陷数据图片。一般通过对数据的可视化处理，以计算机图形、视频的方式，直观、方便查看模拟结果，包括线图、二维图

形、三维图形以及动画等形式。用到的技术有旋转、剖视、透视等，这些技术可组合运用，方便追踪、查看计算域内各处的温度、速度、压力和应力情况。

(5) 数据库 数据库也是模拟软件的重要部分。数据库可包含各种金属材料的热物性特性参数；各种材料间的热传导系数；甚至压铸机的相关参数；以及一些重要的经验数据。一般，模拟软件还可以对数据库进行编辑，增加或自建数据库，方便使用者丰富数据库。

7.4 压铸过程模拟软件的选用

在众多的软件中，挑选一款适合自己的，除了市场因素，读者从技术上可以参考以下几点：

(1) 数据库 压铸中涉及合金材料、模具材料、压铸机、冷却/模温控制系统介质、涂料等各个方面，一个包含满足模拟所需的各种材料的完善热物性参数和界面传热关系，以及压铸机主要参数的数据库，将大大提高软件的使用效率，同时也防止了参数选择错误而造成的计算错误。

(2) 模拟精度 目前大部分模拟软件都能给出相应较为可靠的模拟结果，但根据数值模拟的原理，所有数值模拟方法都有精度极限，不存在绝对精确的模拟软件。结果的准确性可以通过实际产品计算、结果验证、用户交流、了解软件开发团队背景等综合考察。

(3) 运算求解效率 随着绿色铸造的发展，压铸产品朝薄壁、复杂趋势发展，产品设计团队越来越多地开发一个复杂的产品来完成以前几个产品所达到的功能。对模拟软件而言，网格需要划分越来越小，导致总网格数越来越多，有些项目的网格数要突破数亿个单元格，计算量非常巨大，运算周期往往很长。一次运算时间超过一个星期，将很难缩短产品开发周期，也影响了软件的实际使用。同时，运算的稳定性也很重要。一个项目运算了一天，由于软件本身的稳定性而导致运算中止，使用者将很难接受。软件通过改进算法，提高模拟计算效率；通过严谨的算法纠错保证计算的稳定性，来满足越来越大的稳定运算需求。

(4) 建模与数据交换 一般铸造 CAE 软件开发团队专注于铸造专业知识及模拟相关技术的开发，而复杂的铸件、模具等的三维建模目前都依赖通用专业 CAD 软件来完成，所以需要数据交换接口。行业常用的数据交换格式有 STL、SETP 和 IGES。采用最多的是 STL 数据交换格式。STL (Stereolithography) 格式原用于快速成形技术，通过对 CAD 实体模型或曲面进行表面三角化离散得到，用一种全由小三角形面片构成的多面体近似原 CAD 模型。该模型数据结构简单，处理起来非常方便，并与 CAD 系统无关，所以绝大多数 CAE 软件支持该格式作为接口。但是毕竟原始模型造型质量存在差别，不同 CAD 软件输出的 STL 模型质量也不一样，所

以 CAE 软件需要具备 STL 数据容错及纠错功能。除了数据交换接口，CAE 软件还应该自带一定的建模功能，方便一些简单的模型修改。因为经常需要对冷却系统、浇注系统等进行局部优化，频繁地在 CAD 软件与 CAE 软件之间转换数据将带来不便，影响使用效率。

(5) 网格处理 模拟区域的网格剖分质量将影响模拟的精度、效率。往往网格越小，计算精度越高，但是计算时间也长，所以获得兼顾运算精度和时间的经济、高质量网格非常重要。目前经常采用的是变网格技术，对薄壁、厚壁部位采用非均匀网格划分。有多种网格处理手段，可以自动划分网格等特点都非常有用。

(6) 前处理参数设置，工艺参数的定义，多种边界条件设定 方便设定各种不同的材料，如区分合金液、动模、定模、抽芯，区分多道冷却/温控介质，分别对其设定材质、工艺参数；对合金液区分直浇道、横浇道、内浇道、溢流槽等部分，可以帮助设定压射曲线、计算金属收缩率等。

(7) 后处理与缺陷预测 模拟结果需要通过后处理观察，后处理应该能够提供多种判据，从多个角度帮助判断缺陷的形成。通过多个角度、多个剖面，动画显示金属液在型腔中的流动、凝固过程。方便快捷地追踪查看、定位铸件内部缺陷部位是后处理功能优劣的衡量标准。

(8) 界面友好程度 一个好的界面，可以帮助用户快速顺利地完成必需的参数设定，防止漏设、误设。这对于降低使用难度，提高使用效率非常重要。

7.5 压铸过程模拟软件的实例分析

为获得理想充填形态，应保证在金属液充满型腔的条件下，以最低充填速度及浇注温度，使金属流形成与型腔基本一致的金属液柱，从一端顺利地充满型腔，排出气体。但这一形态的获得需要优化浇注系统，并且在其他工艺条件均处于恰当的条件下，综合配合而达成。铸件的凝固过程也受到充型状态、模具情况及冷却管道的影响。数值模拟技术可以帮助验证压铸工艺设计的可靠性。下面通过实例说明利用计算机模拟技术对实际生产过程进行模拟，对压铸中有关的工艺参数、将专家系统如何集成到数值模拟中去的有关技术内容，做了较为全面的介绍。模拟采用 MAGMASOFT 的 MAGMAhpde 模块。

除了金属的充型、凝固模拟，MAGMASOFT 针对压铸工艺还开发了许多特别功能。创建铸件模型或把已有的 CAD 模型输入后，用户可选择充型参数，基于丰富的理论知识和实践经验对充型条件进行评估。

1. 选择适当的压铸机

首先帮助用户选择合适的压铸机。压铸机选择主要基于锁模力以及根据铸件的质量要求所需要的金属流量。要求的最小锁模力为保压压力与投影面积之积。当网

格自动划分完成后，软件就将投影面积自动计算好。只有锁模力条件满足后，该压铸机才能被选取。图 7-1 显示输入需要的压力后，系统计算最小锁模力并乘以安全系数，选择合适的压铸机。

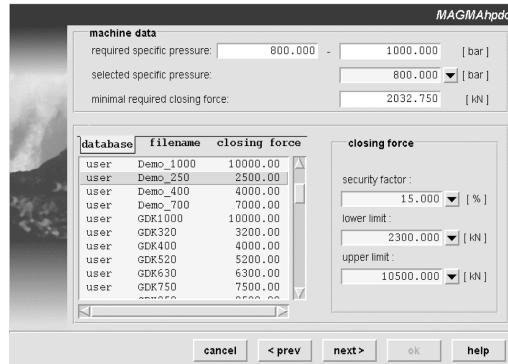


图 7-1 压铸机的选择

下一步是验证该压铸机在二级压射时，能否提供要求的金属流量。需要的金属流量主要由充型时间决定，而充型时间由铸件壁厚决定。

2. 计算充型时间

$$t_{fl} = k \left(\frac{T_g - T_f + S \times Z}{T_f - T_d} \right) \times T_{ew} \quad (7-4)$$

式中 t_{fl} ——理想充填时间 (s)；

k ——经验常数 (s/m)，为 34.09 s/m；

T_g ——浇注温度 (℃)；

T_f ——最低金属温度 (℃)；

T_d ——模温 (℃)；

S ——固相分数 (%)；

Z ——变换因子 (℃/%)；

T_{ew} ——铸件特征壁厚 (m)。

3. $p-Q^2$ 图

浇注系统的设计，是整个压铸工艺设计的关键。一般认为，充填时间和金属液流经内浇口的速度是浇注系统的决定性工艺参数。但是，这两个参数在实际生产中难以直接测量和控制。压射比压和压射速度却是可以控制的工艺参数。压铸机的流量主要由压铸机的液压系统决定。液压系统的压力克服浇注系统的阻力到达型腔，这里，阻力最主要由内浇口造成。 $p-Q^2$ 图是运用流体力学的原理，通过测定压铸机压射冲头的压射能量、能量损失、压铸模浇注系统的阻力系数而绘制的。 $p-Q^2$ 图将压铸机和压铸模、压铸工艺有机地联系在一起，可用于压铸机的选择、调试，

优化压铸机和压铸模的匹配，验证压铸机浇注系统的能量是否满足压铸工艺的要求。

根据两种极限情况：①压射终了，冲头速度为零时，冲头施加在金属液上的未加增压的压力为最大金属液静压力；②速度阀全开，空压射，压力等于零时的最大金属液量。绘制图 7-2 斜线 L_1 ，为压铸机的特性曲线。

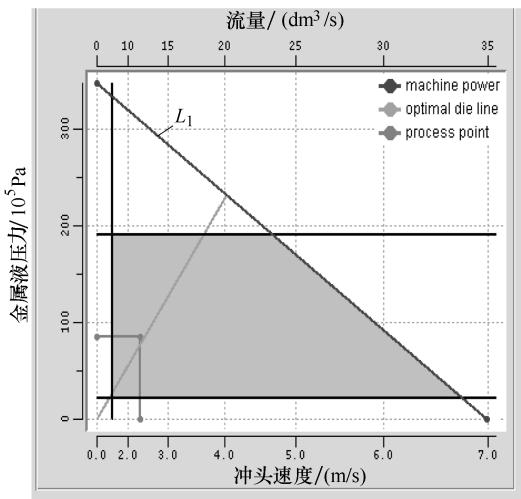


图 7-2 $p-Q^2$ 图

不同合金材料，由于其密度、运动粘度等特性不同，适合的内浇口速度也不同，表 7-2 为常用压铸合金的内浇口速度范围。

表 7-2 常用合金材料适合的内浇口速度范围

合 金	内浇口速度 / (m/s)	合 金	内浇口速度 / (m/s)
Al	20 ~ 60	Zn	30 ~ 50
Mg	40 ~ 90	Cu	20 ~ 50

金属液压力（依照伯努利定理）：

$$p_w = \frac{1}{2} \rho \left[\frac{v_r}{c_d} \right]^2 \quad (7-5)$$

式中 p_w —— 金属液压力 (Pa)；

ρ —— 合金密度 (kg/m^3)；

v_r —— 内浇口处速度 (m/s)；

c_d —— 阻力系数。

表 7-2 的内浇口速度通过式 (7-5) 转化成压力，反映在 $p-Q^2$ 图上，即图 7-2

中阴影区域中上、下两条水平线（由最大及最小内浇口速度转变而来的压力值绘制）。

在充型过程中，金属液温度下降很快，低于液相线后，将开始结晶。达到一定固相分数后，金属液将失去流动性。为了能够顺利充满型腔，型腔的最大充填时间取决于在充型结束前允许金属液凝固的比例，即式（7-4）中的 S 。经过内浇口的金属体积除以型腔的最大充填时间即为最小流量（图 7-2 阴影区域左边的垂直线）。假如所选的压铸机提供的流量不足，用户就应选择更大的压铸机，或者在压铸机能力范围内修改充填条件，如修改冲头直径、内浇口截面积等。

图 7-2 中的阴影区域由压铸机的特性曲线、最大及最小内浇口速度和最大充填时间组成，表示允许的工艺范围，实际工艺点必须落在该区域里，才能生产出合格的铸件。软件自动在 p - Q^2 图上标出工艺点，这样，用户就可以任意测试工艺参数。

4. 一级压射速度

在压铸生产中，一级压射也非常重要，但实际生产中常被忽略。如果一级压射速度过快，将在压室里产生波浪，将空气裹在金属液中并带入到型腔，并留在铸件里边。

一级压射临界速度的计算公式：

$$v_{ss} = k \left(\frac{100\% - f_i}{100\%} \right) \times d_p^{0.5} \quad (7-6)$$

式中 v_{ss} ——一级压射速度（m/s）；

k ——常数项为 3.634 ($m^{0.5}/s$)；

f_i ——压室充满度（%）；

d_p ——冲头直径（m）。

模拟软件自动计算一级压射临界速度供用户参考。

5. 一、二级压射转换点

一、二级压射转换点对铸件质量影响很大。二级压射时，内浇口处的速度必须要达到设计值，金属液才能在通过内浇口时产生雾化效果。二级压射速度远远超过一级压射速度，如果转换点太早，压室还没有充满金属液，将导致卷气；转换过迟，可能导致金属液慢慢流经内浇口而进入型腔，造成金属液由于温度过低而产生缺陷。软件可任意设置转换点，这样就可在屏幕上研究不同转换点所产生的效果，在正式生产前设计出合适的转换点。

6. 抽真空

通常由于压铸件内含有气体，受热后气体膨胀，导致压铸件表面凸起形成鼓泡。对要求极高的铸件，如需要进行热处理或要求焊接的铸件，生产中常常用抽真空压铸方式生产。

软件考虑了抽真空情况。若用真空泵，当冲头过加料口时起动真空泵，排气量

为时间的函数。由于金属型排气困难，生产实践中常用排气槽排气，在软件中也可设定。

7. 压铸计算器

该功能帮助用户设定充型参数。它可帮助压铸专家全面地设计内浇口以及充型参数，也可帮助对现场不太熟悉的用户正确地使用模拟工具。

8. 压射周期

除了从压铸计算器中获取的金属充型模拟参数外，完整的铸造过程计算需要更多的信息。由于模温对铸型充填行为的影响很大，需要定义一个达到热平衡状态下的模具温度场，这可以通过模拟几个压射周期来达到。周期数可根据需要任意设定，前一次的计算结果是下一次计算的初始条件。压铸工艺的顺序控制信息（合模时间、侧型芯抽芯时间、铸件顶出时间、喷涂时间、冷却加热时间等）可在软件上任意定义。软件还考虑了多种冷却介质，包括水冷、油冷、空气冷却等，每个端口均可采用时间开关控制或采用温度区间控制，以实现模具温控系统的模拟。软件还实现了喷涂工序的模拟。除了定义喷涂的时间外，用户还可以对每个模具零件在不同的时间段里定义喷脱模剂，而且用户还可定义等待时间（如喷嘴的移动时间）以及随后的吹压缩空气。

9. 模拟结果

当然，用户更关心准确的模拟结果。从模拟获得的信息也可以更早、更及时地反馈到铸件结构设计、工艺设计以及加工或其他相关部门中去。下面分别就充型、凝固、模具、压铸残余应力等进行说明。

(1) 充型模拟 在充型模拟过程中，任意时刻，铸件内部所有已充填部位金属的温度、速度、流动方向以及压力均被计算，通过检查充型过程，就可发现可能产生的缺陷。图 7-3 显示在充填 60% 和 80% 时剖面及后部的温度分布。显然，被封留在侧面凸台处的气体难以顺利排出，该处到分型面的通道已经被金属堵上了，凸台有卷气的危险。

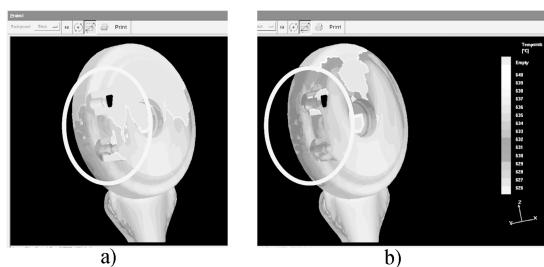


图 7-3 金属充填行为及温度分布

a) 金属充型 60% b) 充型 80%

铸件充型完毕时的气压结果进一步证实了这种情况。如图 7-4 所示，将气压低的进行消隐处理，显示铸件中凸台及溢流槽处气压最高。由此可以确定在凸台处必存在卷气。

当铸件需要热处理时，可能出现卷气的部位就应该特别关注。通过实际比较，热处理后的铸件中的气泡位置与计算中具有高气压的位置精确吻合。修改排气条件，然后继续模拟，再改善，通过多次模拟，降低关键部位的气体压力。积累一定的经验后，就可以显著地减少以后由于鼓泡而引起的修模和试模。

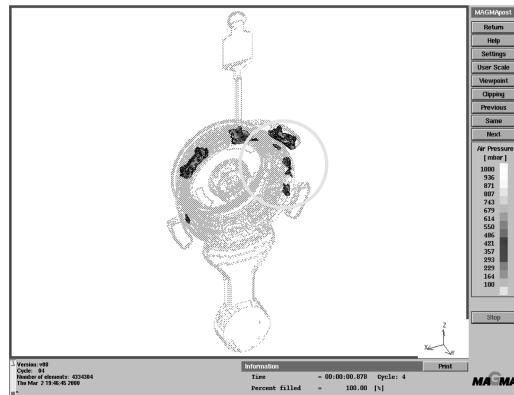


图 7-4 铸件中气压最高的部位

在不同的充型结果评估中，优化排气或溢流槽位置的最有效工具是使用局部型腔充填时间图，见图 7-5。图 7-5 中较早充填的部位用蓝颜色表示，最有效的溢流槽和排气应设在最后充填的部位，即图 7-5 中的黄颜色区域。由经验可知，最后充填部位处的排气槽最为有效，因为这些地方的排气通道未被金属液封堵住。一般情况下，这些区域最适合设置溢流槽。

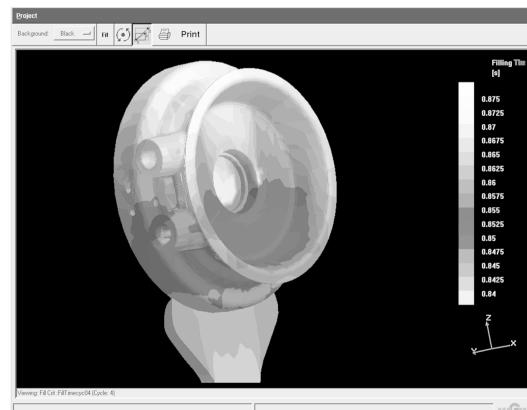


图 7-5 局部型腔充填时间图

通过充型过程中的温度分布，可预测冷隔的产生。当金属在充型过程中，温度低于液相线时，就可能出现冷隔。软件很快即可查出这种缺陷。像温度一样，速度也可用颜色显示出来。另外，利用矢量箭头可表示出金属的流动方向，过快的速度可被分别标出。

在多内浇口的压铸中，可在每个内浇口处设置测量点。图 7-6 显示不同内浇口处的速度曲线，每个内浇口的流速都不同，其中一个是正常值的 3 倍，这是由浇注系统中不好的流动条件造成的。同时也可知道金属到达每个内浇口处的时间。这样就为修改浇注系统提供了重要的依据。

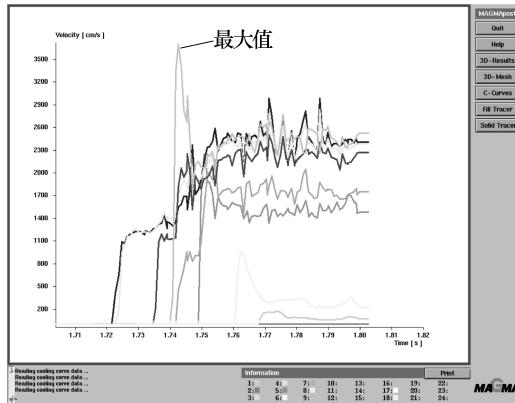


图 7-6 内浇口处的速度曲线

评估充型过程的另外一种方法是使用示踪粒子。示踪粒子可以动态显示金属的整个充型过程，可以很方便地显示涡流及卷气。图 7-7 显示在内浇口附近存在涡流，这表示在金属进入型腔之前就存在包气的危险，浇注系统需要优化。图 7-7 中的颜色表示金属进入型腔的先后时间。

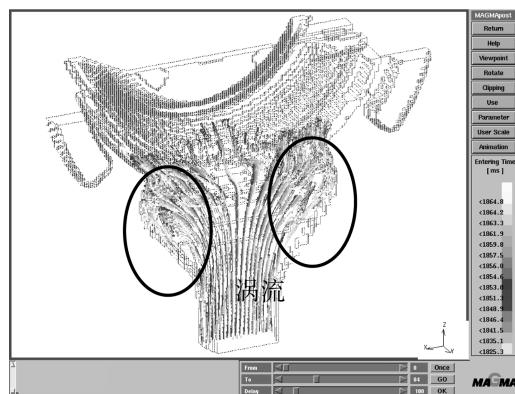


图 7-7 示踪粒子图

(2) 凝固模拟 金属液在充型流动过程中，与低温的型壁接触，温度下降很快，充型结束后，铸件内各部位存在较大的温度差，薄壁铸件的温度差更大。所以只有在充型模拟后才可能正确模拟凝固行为，尤其是在压铸过程中，只单做凝固模拟，其结果的参考意义将大打折扣。凝固模拟研究铸件的凝固行为以及可能产生的缺陷。通过对整个模具的模拟，可以知道任何时刻模具的温度分布。

类似充型模拟，凝固模拟可计算任意时刻铸件、浇注系统、模具等的温度。当然，也考虑通过冷却系统和周围环境散失的热量以及凝固潜热。相应充型结果，凝固过程也有不同的评估方法。除了铸件的凝固过程，还有大量的物理量和判据，最重要的有凝固速率、温度梯度、凝固时间、热节判据以及补缩、缩松判据。

图 7-8 为局部凝固时间图，它显示了整个铸件的凝固次序及时间。图 7-8 所示螺钉孔凸台附近凝固至少需要 13s，而铸件的大部分在 7~8s 已凝固，此处很可能出现缩孔、缩松。通过该图，还可以重新设定铸件的最少开模时间，并且可以判定是否需要更多的冷却通道或其他特殊的冷却方式。图 7-9 为热节判据图。热节判据自动识别凝固中的关键部位，然后为用户指出由于凝固收缩可能产生缺陷的部位。

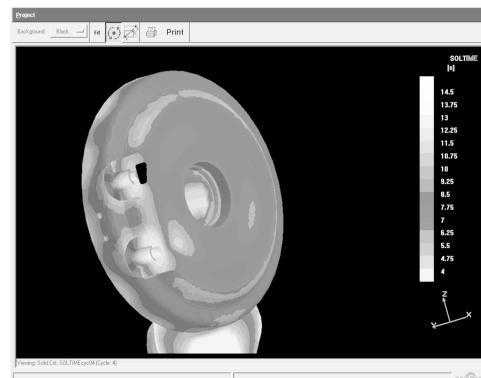


图 7-8 凝固时间图

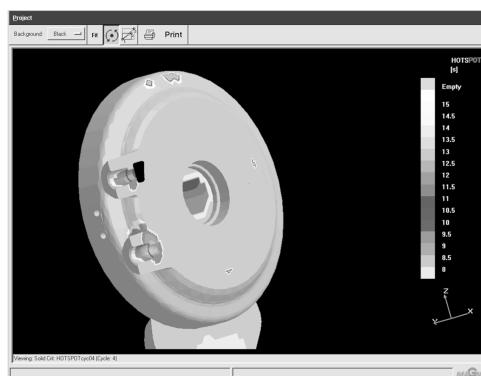


图 7-9 热节判据图

补缩判据是判断缩孔、缩松的一个很重要的工具。金属液在充型结束后，压射系统迅速建压，使液态金属在特别高的压力下凝固。相对依靠重力的自然补缩，保压压力能大幅提高金属液的补缩能力，金属失去流动性时的固相分数大大提高。高压下凝固的金属铸件致密度也得到很大的提高。不考虑保压，按重力铸造的方法去计算凝固补缩会导致错误的结果，所以要为补缩计算开发特殊的算法。图 7-10 为不同补缩算法计算结果的比较，图 7-10a 为重力铸造，图 7-10b 为压铸。图 7-10 中有颜色部位为补缩不足。

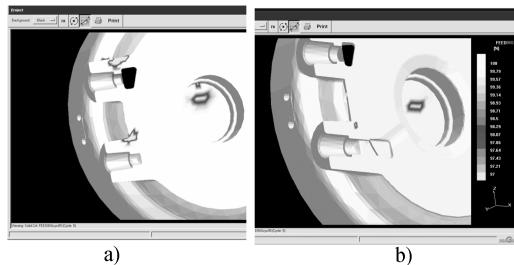


图 7-10 补缩判据图

a) 未加压 b) 压力下凝固

通过对已凝固部分的消隐处理，就可以像 X 光透视那样清楚地看到未凝固部位。图 7-11 为 X 光透视显示尚未凝固的部位，此时内浇口已全部凝固，而铸件内部还有未凝固部位。由于内浇口已经冻结，保压压力已经传递不到尚处于凝固收缩的这些部位，这些部位只是在重力作用下凝固，得不到有效的补缩，将很可能出现缩孔、缩松。

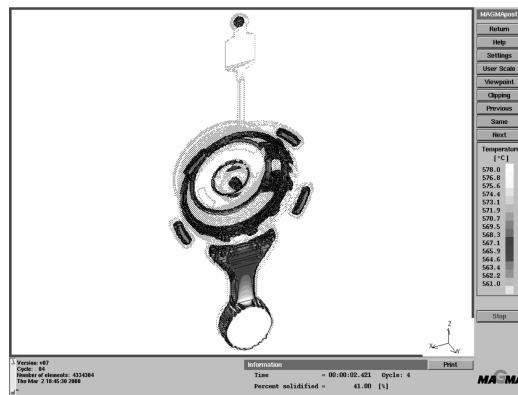


图 7-11 X 光透视尚未凝固的部位

(3) 模具 在整个压铸过程中，模具的温度场也需要与铸件一样被计算。在金属液充型及凝固刚刚开始的过程中，模具被迅速地加热，直到型腔表面与铸件接触

部位的温度与相对应铸件部位的温度相同，才开始一起冷却。只有知道了模具在不同时间的温度分布，才能对冷却系统进行优化。同时，可找出一些关键部位，如型腔表面模具过热，容易造成粘模；模具过冷，则有可能使金属液冷却过快，低于液相线而容易产生冷隔。图 7-12 显示了铸件顶出时定模和一个侧抽芯的温度分布情况。定模上很薄的一层（白色）温度很高，此处模具被金属液半包围，散热条件很差，为过热区。在冷却管道设置上，无法照顾到该处。碰到这种情况，操作人员需非常小心，可以通过加强局部喷涂脱模剂等局部冷却方法来防止该部分出现粘模。

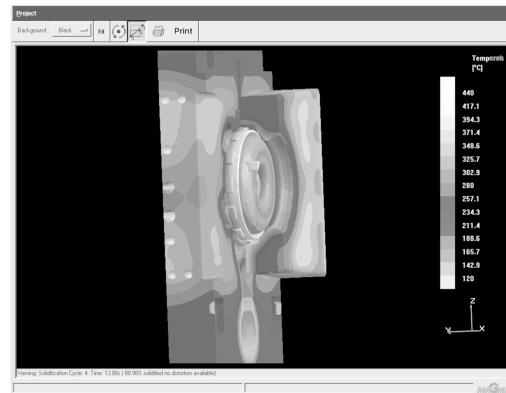


图 7-12 铸件顶出时，模温分布图

图 7-13 显示了脱模剂喷涂结束后，模具表面及截面上的温度分布情况。对比图 7-12，可明显看到模具型腔表面的冷却效果。利用该结果优化冷却、加热系统，结合模具的几何形状，就可以很好地指导并得出管道的最佳布置方案。

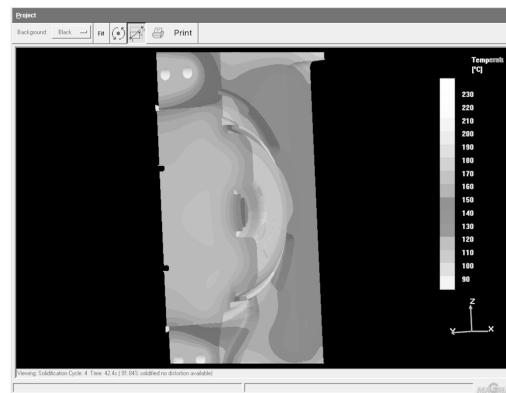


图 7-13 喷涂结束后，模具截面温度图

另外，通过设定虚拟热电偶，可以得出铸件各部位、模具关键部位的温度变化情况。在设定时，输入需要了解热行为的点的空间位置，该点的温度变化即显示出

来，供铸造人员进行有效的评估。图 7-14 显示了模具上的 8 个点在 5 个循环周期里温度的变化轨迹，图中 a 线最靠近型腔表面。通过这种方法，也可得到实际无法测量或很难测的温度。

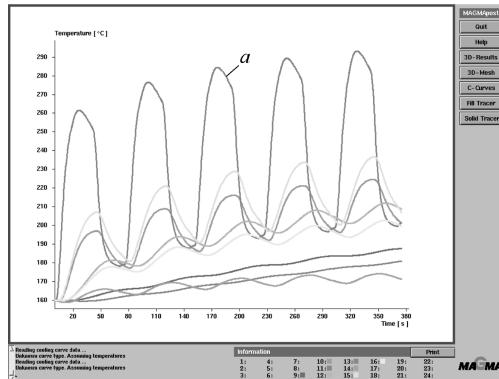


图 7-14 模具上各点温度随时间变化的曲线

(4) 压铸残余应力计算 由于壁厚不同，冷却条件也不尽相同，铸件顶出后，各部位存在温差。图 7-15 显示在出模时，铸件存在明显的温差，最高点与最低点的温差达 140℃。在铸件冷却到环境温度的时候，由于温差不同，铸件上各点的收缩量也不同。将造成残余应力以及变形。残余应力及变形也可计算出。图 7-16 显示根据 Von Mises 准则计算的铸件中的残余应力，在薄壁法兰处的应力最大。

同样，模具存在型腔表面温度高，而周边温度低的温度分布状况。不同的热胀冷缩量将导致模具热变形，在压铸模具内产生应力。图 7-17 为放大 50 倍后的模具变形情况。由于模具变形，将造成分型面无法有效贴合，从而导致飞边、逃料等情況，严重的将引起铸件充型不足等缺陷。通过改变加热和冷却方法，可以降低模具变形，有效防止飞边。

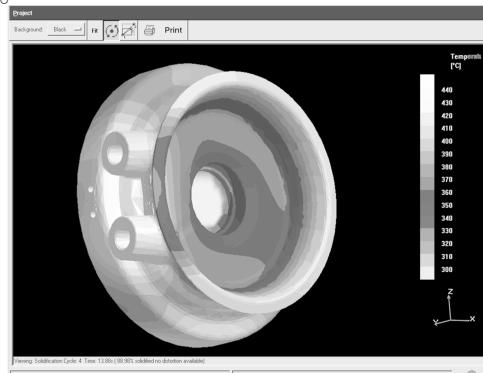


图 7-15 顶出时，铸件的温度分布图

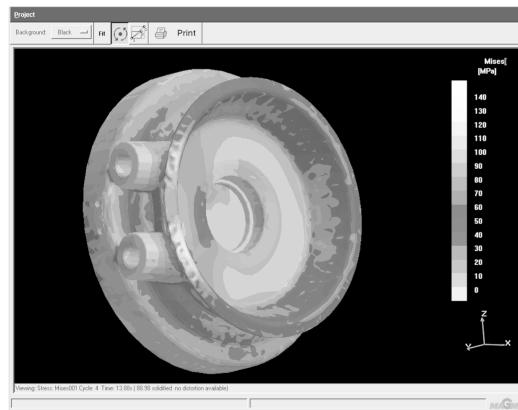


图 7-16 残余应力分布图

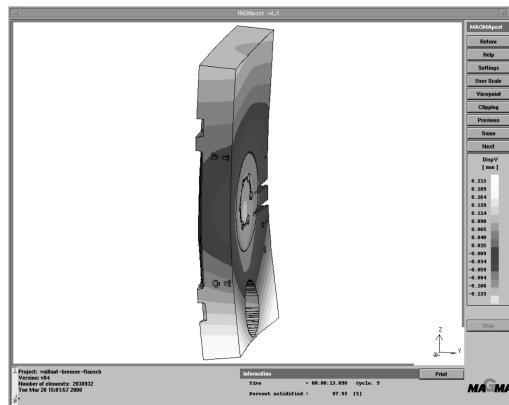


图 7-17 模具的热变形（放大 50 倍）

熔融金属液造成的热冲击导致模具表面温度快速升高，从而产生膨胀，而模具内部温度升高并没有表面快，从而在型腔表面产生压应力；同样，在喷涂脱模剂时，型腔表面受到激冷作用，急剧收缩，受到内部模具的阻碍而形成拉应力。图 7-18 为模具应力分布图，圆环周围薄薄一层的模具应力高（亮色显示）。在交变应力的作用下，极易产生疲劳裂纹，导致模具表面龟裂失效，模具设计人员可预先将这些关键部位设计成镶块，方便更换。

模拟软件应该能够为用户设定压射参数提供所有必要的帮助。有经验的压铸技术人员可以方便地完成内浇口、模具充型参数等全部设计；而对压铸实际生产不太了解的铸件开发人员和模具设计人员，也可通过铸造模拟开发设计出适于压铸的铸件以及优化压铸工艺。通过尽早使用模拟工具，预先知道在压铸过程中可能发生的充型问题、凝固及应力情况，则可充分发挥 CAE 技术的优势，从产品设计、工艺设计、模具设计到现场生产等整个产业链的各个环节及整体上节约大量费用。

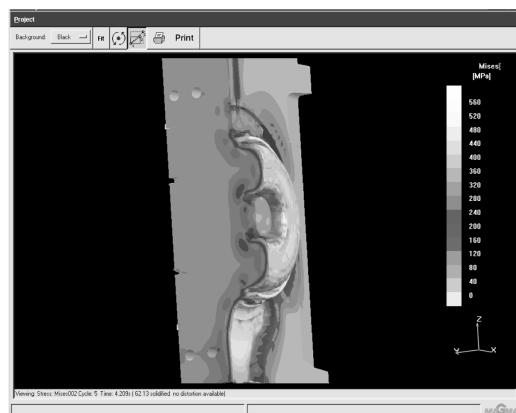


图 7-18 模具的应力分布图

第8章 压铸模制造及检测

8.1 概述

模具制造应与模具设计等协同保证压铸模的使用，也可以说，模具制造是完成模具设计的内容，但模具制造也对模具设计提出了一定的要求，否则不能制造或很难实现，或制造经济性很差。

1. 压铸模制造过程

压塑模制造过程如下：模具制造工艺设计及生产准备→加工→检验→装配→检验→试模及试注射→修正→验收→入库。

(1) 模具制造工艺设计及生产准备

1) 分析模具设计图，制定工艺规程（包括材料消耗定额、工时定额等）。

2) 编制加工程序。

3) 设计制造模具所需的工具、夹具、刀具、量具等。

4) 制定生产计划，制定并实施工具、材料、标准件、辅料、油料等采购计划。

(2) 加工、装配、试模、修正

1) 毛坯准备。主要内容为模具零件毛坯的锻造、铸造、切割、退火或正火等。

2) 毛坯加工。主要内容为进行毛坯粗加工，涉及工序有锯、刨、铣、粗磨、焊接等。

3) 零件加工。主要内容为进行模具零件的半精加工和精加工，涉及工序有划线、钻、车、铣、镗、仿刨、插、热处理、磨、电火花加工等。

4) 装配与试模、修正。一般除装配和试模以外，还包括装配加工和钳工修配、研磨、抛光、钻孔、攻螺纹等。

2. 模具制造车间的模式

模具的全部加工过程是在模具制造车间完成的，模具制造车间的运行模式确保了模具工艺过程的顺利完成。图 8-1 所示为模具制造车间的运行模式，主要从以下几个方面加以考虑：

(1) 基于仓库的运行机制 仓库中有以下几大模块：

1) 机床、夹具、工具、量具、辅具。这个模块主要是指直接参与切削加工的部分。

2) 材料、辅料。材料即加工工件所需的材料，如各种模具钢等；辅料是在模

具加工过程中所用的利于切削加工的材料以及维护模具零件的辅助材料，如冷却液、润滑油等。

3) 标准件、常备件。标准件即模具标准化商品零件，可以直接用于模具或稍作加工修改而用于模具；常备件是各个模具制造厂家根据具体情况而储备的一种“企业标准件”，在制造模具过程中可以直接用于模具。

4) 半成品件。一套模具在制造过程中，将初始的一些加工结果或初始组装好的部件临时存入仓库，这就是半成品件。半成品件还不是一套完整的模具。

5) 模具成品。即完全制造好的一套完整模具。

仓库为前台即加工场所提供一切资源，前台的结果又回到仓库，并最终从仓库中发出模具成品到市场，而且前台除了制造出的模具成品外的一切设施都要在最终归还到仓库中。有些是实际的归还，如工具等，有些则是虚拟的归还，如机床等。

(2) 总工艺系统及子工艺系统 在模具制造的整个工艺过程中，可以将一道工序在一台加工机床上加工的系统，认为是一个子工艺系统，而该零件全部加工完成的工艺流程中所有子工艺系统总和看成一个总工艺系统（相当于一个“流水线”，即总工艺系统将各子工艺系统在空间上进行了有时间顺序的排列连线）。对于每个子工艺系统来说，其中均包含机床、夹具、工具、量具、辅具和被加工的工件等。

各子工艺系统之间有联系，如工件的运输机构。对于模具车间常用桥式起重机、叉车等，相当于流水线中的物流机构。

在加工系统的保障中有水、电、气（如压缩空气，用于加工过程中一些需要气动的机构以及吹除削屑清理工件等）。

对于每一个子工艺系统，有的自带测量系统，以确认是否满足加工要求。如果没有自带测量系统，则其均要在加工过程中与公用的测试间进行联系。

每一个子加工系统的结果，都是朝着最终完成模具装配这个方向。所以，可以认为在每个子工艺系统都对模具“装配”了一部分内容。在所有子加工系统都完成以后，再进行总装配，从而完成模具成品。

(3) 模具制造方法

1) 常规加工方法及钳工。主要是利用机械切除力进行加工，如锯削、刨削

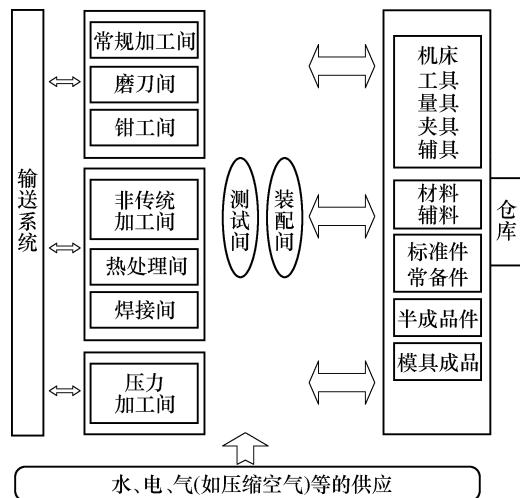


图 8-1 模具制造车间的模式

(插削、拉削)、铣削、车削、钻削(扩孔、铰孔、锪)、镗削、磨削、珩磨、多工种复合的机床上的加工(如组合机床、加工中心等的加工)等。

2) 非传统制造方法及热处理、焊接。主要利用物理能、化学能,包括一些机械能等来进行加工。非传统制造方法包括常说的特种加工和基于特种加工技术的新的综合技术。前者有化学能主导的特种加工[化学加工、照相腐蚀、CVD、电化学加工(如电解加工、电镀、电铸等)等]、物理能主导的特种加工(电火花成形加工、电火花线切割加工、激光加工、等离子体加工、燃热加工、PVD等)和机械能主导的特种加工(超声波加工、磨料流动加工等)。后者有快速原型/零件制造技术(激光光刻、选择性激光烧结、分层实体制造、3D Printing、BPM、FDM等)、表面工程(如表面清洁、表面光整、表面保护、表面改性等)和微细、纳米加工。

3) 成形加工。成形加工就是用模具加工模具,主要利用材料的变形等来进行加工。如锻造、冷挤压、低压铸造、熔模铸造、陶瓷型铸造、壳型铸造、环氧树脂浇铸等。

(4) 加工机理及工艺考虑 在各子工艺系统和总工艺系统中,进行切削加工的原理和切削工艺参数分析、系统静态和动态性能分析(如振动、刚性、误差等)、所能达到的工件质量(精度、表面质量)和生产率分析、总工艺系统的编排设计(即工艺流程设计原理,相当于各子工艺系统在总工艺系统中处于什么位置和阶段,如粗加工、半精加工、精加工阶段等)。

(5) 加工方法在模具加工中的应用 选择加工方法应先分析加工模具零件的什么内容(如加工零件表面、加工零件结构等),以及各种加工方法的加工余量、加工精度及表面粗糙度(见表8-1)等。压铸模加工的内容分类及其所需加工方法如下:

1) 平面加工:即加工所得形状为平面。对应加工工种有锯、刨、插、铣、平面磨、电解磨等。

2) 孔类加工:即加工所得形状为孔类(内形)。对应加工工种有钻、扩孔、铰、镗、攻螺纹、内圆磨、珩磨、电火花、线切割等。

3) 轴类加工:即加工所得形状为轴类(外形)。对应加工工种有车、外圆磨、线切割等。

4) 型面、曲面、立体加工:即加工所得形状为型面、曲面、空间立体。对应加工工种有铣、成形磨削、电火花成形、线切割、电铸、电解、快速模型制造、锻造、冷挤压、低压铸造、精密铸造、环氧树脂浇注等。

5) 表面处理及加工:即对模具零件表面进行加工及处理,包括表面光整、图案、文字、表面强化等。对应加工工种有雕刻、研磨、抛光、电解抛光、CVD、照相腐蚀、化学镀、电镀、PVD、喷涂、超声波抛光等。

6) 装配:即把模具零件组装成一个完整的模具。

7) 材料性能处理:如热处理等。

表 8-1 各种加工方法的加工余量、加工精度及表面粗糙度

加工方法		本道工序单面经济加工余量/mm	经济加工精度	表面粗糙度 Ra/μm
刨削	半精刨	0.8~1.5	IT10~IT12	6.3~12.5
	精刨	0.2~0.5	IT8~IT9	3.2~6.3
铣削	划线铣	1~3	1.6mm	1.6~6.3
	靠模铣	1~3	0.04mm	1.6~6.3
	粗铣	1~2.5	IT10~IT11	3.2~12.5
	精铣	0.5	IT7~IT9	1.6~3.2
	仿形雕刻	1~3	0.1mm	1.6~3.2
车削	靠模车	0.6~1	0.24mm	1.6~3.2
	成形车	0.6~1	0.1mm	1.6~3.2
	粗车	1	IT11~IT12	6.3~12.5
	半精车	0.6	IT8~IT10	1.6~6.3
	精车	0.4	IT6~IT7	0.8~1.6
	精细车、金刚车	0.15	IT5~IT6	0.1~0.8
钻削		—	IT11~IT14	6.3~12.5
扩	粗扩	1~2	IT12	6.3~12.5
	铸孔或冲孔后的一次扩孔	1~1.5	IT11~IT12	3.2~6.3
	细扩	0.1~0.5	IT9~IT10	1.6~6.3
铰	粗铰	0.1~0.15	IT9	3.2~6.3
	精铰	0.05~0.1	IT7~IT8	0.8
	细铰	0.02~0.05	IT6~IT7	0.2~0.4
锪	无导向锪	—	IT11~IT12	3.2~12.5
	有导向锪	—	IT9~IT11	1.6~3.2
镗削	粗镗	1	IT11~IT12	6.3~12.5
	半精镗	0.5	IT8~IT10	1.6~6.3
	高速镗	0.05~0.1	IT8	0.4~0.8
	精镗	0.1~0.2	IT6~IT7	0.8~1.6
	细镗、金刚镗	0.05~0.1	IT6	0.2~0.8
磨削	粗磨	0.25~0.5	IT7~IT8	3.2~6.3
	半精磨	0.1~0.2	IT7	0.8~1.6
	精磨	0.05~0.1	IT6~IT7	0.2~0.8
	细磨、超精磨	0.005~0.05	IT5~IT6	0.025~0.1
	仿形磨	0.1~0.3	0.01mm	0.2~0.8
	成形磨	0.1~0.3	0.01mm	0.2~0.8
	坐标磨	0.1~0.3	0.01mm	0.2~0.8

(续)

加工方法	本道工序单面经济加工余量/mm	经济加工精度	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
珩磨	0.005 ~ 0.03	IT6	0.05 ~ 0.4
钳工划线	—	0.25 ~ 0.5 mm	—
钳工研磨	0.002 ~ 0.015	IT5 ~ IT6	0.025 ~ 0.05
钳工抛光	粗抛	0.05 ~ 0.15	—
	细抛、镜面抛	0.005 ~ 0.01	0.001 ~ 0.1
电火花成形加工	—	0.05 ~ 0.1 mm	1.25 ~ 2.5
电火花线切割	—	0.005 ~ 0.01 mm	1.25 ~ 2.5
电解成形加工	—	$\pm (0.05 \sim 0.2) \text{ mm}$	0.8 ~ 3.2
电解抛光	0.1 ~ 0.15	—	0.025 ~ 0.8
电解修磨	0.1 ~ 0.15	IT6 ~ IT7	0.025 ~ 0.8
电解磨削	0.1 ~ 0.15	IT6 ~ IT7	0.025 ~ 0.8
照相腐蚀	0.1 ~ 0.4	—	0.1 ~ 0.8
超声抛光	0.02 ~ 0.1	—	0.01 ~ 0.1
磨料流动抛光	0.02 ~ 0.1	—	0.01 ~ 0.1
锻造	—	IT15 ~ IT16	—
冷挤压	—	IT7 ~ IT8	0.08 ~ 0.32
低压铸造	—	IT11 ~ IT15	—
熔模铸造	—	IT8 ~ IT13	1.6 ~ 6.3
陶瓷型铸造	—	IT11 ~ IT13	3.2 ~ 6.3
壳型铸造	—	IT10 ~ IT13	3.2

注：经济加工余量是指本道工序比较合理、经济的加工余量。本道工序加工余量要视加工基本尺寸、工件材料、热处理状况、前道工序的加工结果等具体情况而定。所有工序加工余量的总和为此零件的总加工余量。本道工序后面的所有工序的加工余量总和为本道工序留给后续工序的加工余量。

3. 制订机械加工工艺规程的步骤

制订机械加工工艺规程的原始资料主要是产品图样、生产纲领、现场加工设备及生产条件等，有了这些原始资料并由生产纲领确定了生产类型和生产组织形式之后，即可着手机械加工工艺规程的制订。其步骤如下：

- 1) 零件图的研究与工艺分析。
- 2) 确定毛坯的种类。
- 3) 设计工艺过程：划分工艺过程的组成，选择定位基准，选择零件表面的加工方法，拟订零件的加工工艺路线。
- 4) 工序设计：选择机床和工艺装备，确定加工余量，确定工序尺寸及其公

差，确定切削用量及时间定额等。

5) 填写工艺文件。

8.2 常规加工方法

模具的常规加工方法与其他产品工件的常规加工方法类似。常规加工方法有：锯削、刨削（插削、拉削）、铣削、车削、钻削（扩孔、铰孔、锪）、镗削、磨削、珩磨、多工种复合的机床上的加工（如组合机床、加工中心等上的加工）等。

8.2.1 锯削

锯削是在锯床上用锯刀来加工工件，常用作模具下料。例如，选用浙江三门机床厂生产的0712A型强力液压弓锯床，最大可锯削直径为 $\phi 210\text{mm}$ 的工件。

8.2.2 刨削、插削、拉削

刨削、插削和拉削在加工原理上是类似的。

1. 刨削

刨削加工是在刨床上用刨刀对工件进行加工，常用作模具的粗加工。刨床可加工平面（水平面、垂直平面、斜面）、沟槽（直槽、T形槽、V形槽、燕尾槽）及某些成形面。刨削加工的尺寸公差等级可达IT8~IT9，表面粗糙度值 R_a 可达 $3.2\sim 6.3\mu\text{m}$ 。平面粗刨后留给精铣的加工余量见表8-2。

表8-2 平面粗刨后留给精铣的加工余量 (单位: mm)

平面长度	平面宽度		
	≤ 100	$100 \sim 200$	> 200
≤ 100	0.6~0.7	—	—
100~250	0.6~0.8	0.7~0.9	—
250~500	0.7~1.0	0.75~1.0	0.8~1.1
> 500	0.8~1.0	0.9~1.2	0.9~1.2

刨削所使用的刨床有牛头刨床、龙门刨床、仿形刨床（又称刨模机）。刨床采用的装夹附件主要有台虎钳、撑板、压板、挡铁等。

2. 插削

在插床上对工件进行切削加工，称为插削。

插床的结构原理与牛头刨床类似，其滑枕在垂直方向作往复运动（即主运动）。因此插床实际上是一种立式刨床。插床的工作台由下滑板、上滑板及圆工作台三部分组成。下滑板用于横向进给，上滑板用于纵向进给，圆工作台用于回转进给。

插床主要用于零件的内孔表面加工，如方孔、长方孔、各种多边形孔及孔内键

槽等，除了一般的插床加工外，还有插齿加工，也可加工某些外表面。在插床上插削方孔、孔内键槽。插床的生产率较低，多用于单件小批生产和修配工作。

3. 拉削

拉削是在拉床上用拉刀对工件进行加工。拉削相当于把推力改为拉力的插削，常用来加工工件的键槽等。在模具制造中，拉削用得比较少。

8.2.3 铣削

在铣床上用铣刀进行切削加工称为铣削加工。

铣床主要用来加工各类平面、沟槽和成形面，也可进行钻孔、铰孔和镗孔。铣削加工的尺寸公差等级一般为 IT9 ~ IT8，表面粗糙度值 R_a 一般为 $1.6 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。

用于模具加工的铣床有卧式铣床、立式铣床、龙门铣床、万能工具铣床、仿形铣床、刻模铣床（雕刻机）和数控铣床等。此外，还有一些专门铣床，如滚齿机等。

1. 一般铣削加工

常用的铣床有卧式铣床、立式铣床（整体式立式铣床、回转式立式铣床）、龙门铣床和万能工具铣床等。

铣床上的附件很多，仅介绍其中的一些。

（1）万能铣头 这是一种扩大卧式铣床加工范围的附件，铣头的主轴可安装铣刀，并可根据加工需要在空间扳转成任意方向。卧式铣床上装有万能铣头，铣床主轴的旋转运动通过铣头内的两对弧齿锥齿轮传到铣头主轴和铣刀上。

（2）分度头 它用于铣削六方、齿轮、花键等，需要利用分度头依次进行分度。分度头可在水平、垂直和倾斜位置工作。分度头的主轴前端可安装三爪自定心卡盘，主轴的锥孔内可安放顶尖，用以装夹工件。

为了满足不同形状面的加工要求，常用一些成形刀具，如加工凸圆弧柱面，可用凹圆弧的成形铣刀。

2. 仿形铣

仿形铣是利用仿形机床的靠模指沿靠模走动，而以一定的变换比例，通过仿形铣刀而切削模具零件的加工方法。

（1）靠模指 圆柱形靠模指是指以圆柱面为靠模基准，用于圆轮仿侧型面或分层仿加工（切除大余量的粗仿加工）；球头靠模指是指以球头为靠模基准，用于加工凹凸复杂型面。标准靠模指的形状见图 8-2。

靠模指的形状应与仿形铣刀工作刃口端的

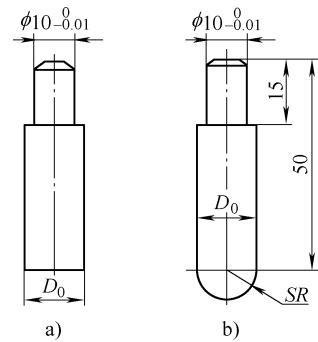


图 8-2 标准靠模指形状
a) 圆柱形靠模指 b) 球头靠模指

形状相似。圆柱形靠模指常配用圆柱形立铣刀，球头靠模指常配用圆柱球头铣刀或锥形球头铣刀。

靠模指的尺寸应保证仿形加工出来的工件有一定的钳工修整量。靠模指的直径按下式计算：

$$\text{粗仿形加工} \quad D_0 = D + 2\delta_0 + 1$$

$$\text{精仿形加工} \quad D_0 = D + 2\delta_0$$

式中 D_0 ——靠模指的直径 (mm)；

D ——仿形铣刀直径 (mm)；

δ_0 ——预偏量 (mm)，精仿形时取 $0.06 \sim 0.1\text{ mm}$ 。

对于加工余量不太大的粗、精仿形加工，可不更换靠模指直径，调整预偏量可使仿形加工的工件尺寸更趋近于图样要求，提高仿形加工的精度。

靠模指可用钢、硬铝、铜或塑料制成，工件表面应具有一定的硬度，并经抛光。

(2) 仿形铣刀 仿形铣刀的尺寸和形状是根据型腔的形状，特别是型面圆角半径的大小而选用的。

圆柱立铣刀一般用于各种凹凸型面的去除量粗加工和要求型腔底面清角的仿形加工。圆柱球头用于各种凹凸型面的半精和精仿加工。在型腔底面与侧壁之间有圆弧过渡时，进行侧壁仿形加工。锥形球头铣刀用于较复杂的凹凸型面，并具有一定深度和较小圆弧的工件。小型锥指铣刀用于加工特别细小的花纹。

3. 雕刻加工

如图 8-3 所示，模板和工件安装在工件工作台上和模板工作台上。通过缩放机构在工件上缩小雕刻出模板上的字、图案等。在平面雕刻时，触头和刀具作平面运动就可以了。当进行立体雕刻时，必须要有上下运动的机构，当触头作上下、左右、前后运动时，固定有刀具的主轴作相应比例运动。

如果采用平面模板在圆柱表面、圆锥表面上进行雕刻，则必须采用专门的滚轮附件。

模板制造可采用腐蚀、切削加工、铸造等方法。模板材料一般采用低碳钢、中碳钢、黄铜等，当触头接触压力不大时，也可用木材、石膏等制造。

雕刻用的铣刀与仿形铣用的铣刀不完全相同。雕刻用的铣刀如图 8-4 所示，一般都是单刃铣刀。刀具材料一般采用合金工具钢、高速钢或硬质合金。由于刀尖很细很尖，雕刻过程中刃磨次数比较多，因此在雕刻模铣床附近应设专门磨刀机。

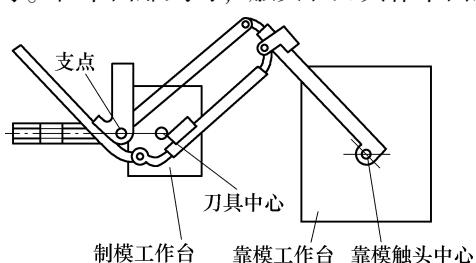


图 8-3 缩放仪

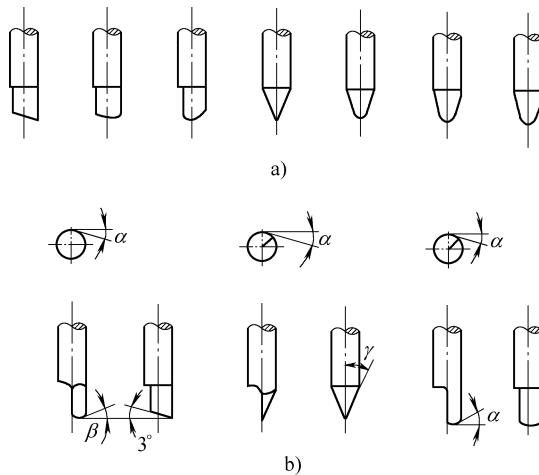


图 8-4 雕刻铣刀形状和角度

a) 刀具形状 b) 刀具角度

触头的端头形状与刀具相似，尺寸按模板放大倍数制造。触头材料可采用T8A、T10A，热处理硬度为50~55HRC。

雕刻机（刻模铣床）的主要技术规格见表8-3。

表 8-3 雕刻机的主要技术规格

型号	最大铣削宽度/mm	最大铣削长度/mm	缩放机构中心距/mm	刻模比例范围	主轴转速范围/(r/min)	工作台面尺寸：(长/mm) × (宽/mm)	靠模台尺寸：(长/mm) × (宽/mm)
X4220-HS	200	220	380	1.5:1~8:1	1600~20000	360×220	500×320

4. 数控铣

数控铣是在数控铣床上加工工件。数控铣床是一种数控机床，是在一般铣床基础上加入数控系统，通过数控编程控制加工过程，从而最终完成工件的加工。数控铣的关键是数控加工程序的编制。

数控铣床用来加工三维曲面的球头铣刀如图8-5所示。球头的硬质合金刀片可采用焊接或做成机夹形式，但要求球头刀刃形状正确，以便在进行数控加工时，得到准确的三维曲面形状。小规格的球头铣刀，多制成整体硬质合金结构。直径16mm以上的，通过焊接或机夹制成可转位刀片结构，如图8-6所示。这种球头刀具同样适用于普通铣床加工三维曲面，特别是在模具加工中，得到较广泛的应用。



图 8-5 球头铣刀

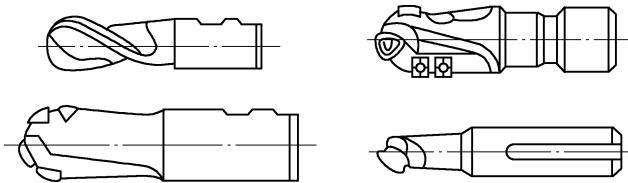


图 8-6 硬质合金球头铣刀

8.2.4 车削

在车床上用车刀进行切削加工称为车削加工。车削的主运动是工件的旋转运动，进给运动是刀具的移动。因此，车床可加工各种零件上的回转表面，应用十分广泛，在生产中具有重要的地位。

车床的加工范围较广，可加工内外圆柱面、内外圆锥面、端面、沟槽、螺纹、成形表面以及滚花等。此外，还可在车床上进行钻孔、铰孔和镗孔。

车削加工的尺寸公差等级为 IT6 ~ IT11，表面粗糙度值 R_a 为 $0.8 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 。

1. 车床

车床的种类很多，有卧式车床、转塔车床、多刀自动车床、双轴卧式车床、立式车床、铲齿车床、仪表车床、仿形车床、半自动车床、数控车床及车削中心等。单件小批生产中多用卧式车床。随着电子技术和计算机技术的发展，数控车床为多品种小批量生产实现高效率、自动化提供了有利的条件和广阔的发展前景。

2. 车刀

(1) 车刀的组成 车刀由刀头和刀体两部分组成。刀头用于车削，刀体用于安装。刀头一般由三面、两刃、一尖组成。

(2) 刀具材料 切削过程中，刀具的切削部分要承受很大的压力、摩擦、冲击和很高的温度。因此，刀具材料必须具备以下的性能。

1) 高硬度。刀具材料的硬度一般要高于被加工材料硬度 3 ~ 4 倍。常温下，刀具材料的硬度一般应在 60 ~ 65HRC 以上。

2) 高耐磨性。耐磨性是指材料抵抗磨损的能力。为了抵抗切削过程中剧烈摩擦所引起的磨损，刀具材料需要有很高的耐磨性。通常刀具材料的硬度越高，耐磨性也越高。

3) 足够的强度和韧性。刀具材料要有足够的强度和韧性，是为了承受切削力以及振动和冲击，防止刀具崩刃和脆性断裂。

4) 高耐热性。高耐热性又称热硬性，是指材料在高温下仍能保持足够硬度的性能。它是衡量刀具材料性能的主要指标。高耐热性一般以热硬温度（能保持足够硬度的最高温度）来表示。

5) 一定的工艺性能。为了便于刀具的制造和刃磨，刀具材料应具备一定的可加工性能、刃磨性能、焊接性能及热处理性能。

刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金及陶瓷等。车刀材料目前最常用的有硬质合金和高速钢。

1) 硬质合金。硬质合金是高耐磨性和高耐热性的 WC (碳化钨)、TiC (碳化钛) 和 Co (钴) 的粉末经高压成形用高温烧结而制成的，其中 Co 起粘结作用。硬质合金的硬度为 89 ~ 93HRA (相当于 74 ~ 82HRC)，有很高的热硬温度，在 800 ~ 1000℃ 的高温下仍能保持切削所需的硬度，硬质合金刀具切削一般钢件的切削速度可达 100 ~ 300m/min，可用这种刀具进行高速切削。其缺点是韧性较差，较脆，不耐冲击。硬质合金一般制成各种形状的刀片，焊接或夹固在刀体上使用。

常用的硬质合金有钨钴合金和钨钛合金两大类。

钨钴类是由 WC 和 Co 组成的。相对于钨钴钛类，其韧性较好，常用来加工脆性材料 (如铸铁等) 或冲击性较大的工件。钨钴类硬质合金按钴含量的不同，分为 YG3、YG6 及 YG8 等牌号。牌号中 Y 和 G 分别是“硬”与“钴”的汉语拼音第一个字母，数字是钴含量的百分数 (质量分数)。因为钴含量越多，则韧性越好，因此 YG8 用于粗加工，YG6 和 YG3 用于半精加工和精加工。

钨钴钛类是由 WC、TiC 和 Co 组成的，加入 TiC 可提高合金的硬度和耐热性，但韧性减小脆性加大，一般用来加工塑性材料，如各种钢件。钨钴钛类硬质合金按 TiC 的含量不同，分为 YT5、YT15 及 YT30 等牌号。牌号中 Y 和 T 分别是“硬”和“钛”的汉语拼音第一个字母，数字是 TiC 含量的百分数 (质量分数)。TiC 含量越高，则耐热性越好，但钴含量相应减少，韧性较差，承受冲击的性能也较差。因此，YT5 一般用于粗加工，而 YT15 及 YT30 用于半精加工和精加工。

新型的硬质合金有以下几种：

通用硬质合金：在以 WC 为基体的硬质合金中除加入 TiC 提高耐热性和硬度外，还加入 TaC (碳化钽) 或 NbC (碳化铌) 以提高韧性和抗弯强度。因此，通用硬质合金可切削普通钢和铸铁以及耐热钢和不锈钢等难加工材料。其牌号有 YW1 和 YW2，前者用于半精加工和精加工，后者用于粗加工和半精加工。

超细晶粒硬质合金：其 WC 晶粒极细，平均尺寸在 $0.5\mu\text{m}$ 以下。硬质合金的晶粒尺寸越小，其硬度、耐磨性和韧性则越高。超细晶粒硬质合金的牌号有 YH1、YH2、YH3 等，用于切削耐热合金和高强度合金等难加工材料。

表面涂层硬质合金：在韧性较好的钨钴类硬质合金的表面涂覆一层厚度为 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 的高硬度和高耐磨性的 TiC 或 TiN，使之内韧外硬。因为涂层极薄，一般只适用于不重新刃磨的刀片。

2) 高速钢。高速钢又称锋钢、风钢、白钢，是以钨、铬、钒、钼为主要合金

元素的高合金工具钢。高速钢淬火后的硬度为 62 ~ 67HRC，其热硬温度为 550 ~ 600℃，允许的切削速度为 25 ~ 30m/min。

高速钢的硬度、耐热性及允许的切削速度虽不及硬质合金，但其抗弯强度和冲击韧度比硬质合金高；可以进行铸造、锻造、焊接、热处理和切削加工；有良好的磨削性能，刃磨质量较高。因此，高速钢多用来制造形状复杂的成形刀具，如钻头、扩孔钻、铰刀、丝锥、铣刀、拉刀及齿轮刀具等，亦常用作低速精加工车刀和成形车刀。

常用的高速钢牌号有 W18Cr4V（钨系高速钢）和 W6Mo5Cr4V2（钼系高速钢）。

（3）车刀的安装 车刀安装在方刀架的左侧，刀尖应与工件轴线等高，一般用尾架顶尖校对，用垫刀片调整。车刀在方刀架上伸出的长度，一般以刀体高度的 1.5 ~ 2 倍为宜，垫刀片应平整对齐。

3. 工件的安装

在车床上安装工件应使被加工表面的轴线与车床主轴回转轴线重合，保证工件处于正确的位置；同时要将工件夹紧，以防在切削力的作用下工件松动或脱落，保证工件安全。在车床上安装工件所用的附件有三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘、顶尖、心轴、中心架、跟刀架、花盘和弯板等。

4. 车削加工

为了保证加工质量和提高生产率，零件加工应分为若干步骤。中等精度的零件，一般按粗车→精车的方案进行；精度较高的零件，一般按粗车→半精车→精车或粗车→半精车→磨削的方案进行。

（1）粗车 粗车的目的是尽快地从毛坯上切去大部分加工余量，使工件接近要求的形状和尺寸。粗车应给半精车和精车留有合适的加工余量（一般为 1 ~ 2mm），而对精度和表面粗糙度无严格的要求。为了提高生产率和减小车刀磨损，粗车应优先选用较大的背吃刀量，其次适当加大进给量，而只采用中等或中等偏低的切削速度。使用硬质合金车刀进行粗车的切削用量推荐如下：背吃刀量 a_p 取 2 ~ 4mm，进给量 f 取 0.15 ~ 0.4mm/r，切削速度 v 取 40 ~ 60m/min（切削钢件）或 30 ~ 50m/min（切削铸铁件）。当卡盘夹持的毛坯表面凸凹不平或夹持的长度较短时，切削用量应适当减小。

（2）精车 精车的关键是保证加工精度和表面粗糙度的要求，生产率应在此前提下尽可能提高。

精车的尺寸公差等级一般为 IT6 ~ IT8，半精车一般为 IT8 ~ IT10，精车的尺寸公差等级主要靠试切来保证。

精车的表面粗糙度值 Ra 一般为 0.8 ~ 3.2μm；半精车的 Ra 一般为 3.2 ~ 6.3μm。精车时为保证表面粗糙度值 Ra 一般采取如下措施：

- 1) 适当减小副偏角 κ' 或刀尖磨有小圆弧，以减小残留面积。
- 2) 适当加大前角 γ_0 ，将刀刃磨得更为锋利。
- 3) 用油石仔细打磨车刀的前后刀面，使 Ra 达到 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ，可有效减小工件表面粗糙度值。
- 4) 合理选用切削用量。选用较小的背吃刀量 a_p 和进给量 f 可减小残留面积，使表面粗糙度值减小。车削钢件时采用较高的切削速度 ($v \geq 100 \text{ m/min}$) 或很低的切削速度 ($v \leq 5 \text{ m/min}$) 都可获得较小的表面粗糙度 Ra 值，低速精车生产率很低，一般只用于小直径的工件。精车铸铁件，切削速度较粗车时稍高即可。因为铸铁导热性差，切削速度过高将使车刀磨损加剧。

精车时切削用量可参考表 8-4 选用。

表 8-4 精车切削用量参考数据

车铸铁件		背吃刀量 a_p/mm	进给量 $f/(\text{mm/r})$	切削速度 $v/(\text{m/min})$
		0.10 ~ 0.15		
车钢件	高速	0.30 ~ 0.50	0.05 ~ 0.20	100 ~ 120
	低速	0.05 ~ 0.10		3 ~ 5

- 5) 合理使用切削液。切削液的合理使用也是降低表面粗糙度值的重要方面，低速精车应使用乳化液或全损耗系统用油；若用低速精车铸铁应使用煤油。高速精车钢件和较高切速精车铸铁件，一般不使用切削液。

5. 工件车削加工的种类

车削工件有车外圆及台阶、车端面、镗孔、车锥面、车螺纹、车成形面、切槽和切断等。

(1) 车外圆和台阶 车外圆是车削中最基本、最常见的加工方法。车台阶与车外圆没有显著的区别，唯需兼顾外圆的尺寸和台阶的位置。根据相邻两圆柱直径之差，台阶可分为低台阶（高度小于 5mm）与高台阶（高度大于 5mm）两种。

低台阶可一次走刀车出，应按台阶形式选用相应的车刀；高台阶一般与外圆成直角，需用偏刀分层纵向切削。在最后一次纵向进给后应转为横向进给，将台阶面精车一次。偏刀主切削刃与纵向进给方向应成 95°左右。

台阶的位置，在单件生产时，用金属直尺控制用刀尖刻线来确定；在成批生产时，可用样板控制。台阶的长度一般用金属直尺测量，长度要求精确的台阶常用深度游标尺来测量。

(2) 车端面 车端面时刀尖必须准确对准工件的旋转中心，否则将在端面中心处车出凸台，并易崩坏刀尖。车端面时，切削速度由外向中心逐渐减小，会影响端面的表面粗糙度，因此工件切削速度应比车外圆时略高。

(3) 孔加工 在车床上可用钻头、镗刀、扩孔钻和铰刀分别进行钻孔、镗孔、

扩孔和铰孔。

1) 镗孔。镗孔是用镗刀对已经铸出、锻出和钻出的孔作进一步加工，以扩大孔径，提高精度，降低表面粗糙度值和纠正原孔的轴线偏斜。镗孔可分为粗镗、半精镗和精镗。精镗可达的尺寸公差等级为 IT7 ~ IT8，表面粗糙度值 R_a 为 0.8 ~ 1.6 μm 。

镗刀的刀杆截面应尽可能大些，伸出长度应尽量减小，以增加刚性，避免刀杆弯曲变形使孔发生锥形误差。镗刀刀尖一般应略高于工件旋转中心，以减少颤动，避免扎刀，防止刀杆下弯而碰伤孔壁。

为了保证镗孔质量，精镗时一定要应用试切方法，并选用比精车外圆更小的背吃刀量 a_p 和进给量 f 。测量孔径时需用棉丝擦净孔中的屑末。

2) 钻孔。在车床上钻孔，工件旋转为主运动，摇动尾架手柄使钻头纵向移动为进给运动。钻孔的尺寸公差等级为 IT11 ~ IT14，表面粗糙度值 R_a 为 6.3 ~ 25 μm 。

锥柄钻头装在尾架套筒的锥孔中，如钻头锥柄号数小，可加用过渡锥套。直柄钻头用钻卡头夹持，钻卡头装于尾架套筒中。

当所钻的孔径 D 小于 $\phi 30\text{mm}$ 时，可一次钻成。若所钻的孔径 D 大于 $\phi 30\text{mm}$ 时，可分两次钻削。第一次钻头直径取 $(0.5 \sim 0.7) D$ ；第二次钻头直径取 D 。这样，钻削较为轻快，可用较大的进给量，孔壁质量和生产率均得到提高。

钻孔前一般应先将工件端面车平，有时需用中心钻钻出中心孔作为钻头的定位孔。钻削时要加注冷却液；孔较深时应经常退出钻头，以便排屑。

3) 扩孔。扩孔是用扩孔钻进行钻孔后的半精加工。扩孔可达的尺寸公差等级为 IT9 ~ IT10，表面粗糙度值 R_a 为 $3.2 \sim 6.3 \mu\text{m}$ ，扩孔的余量为 $0.5 \sim 2\text{mm}$ 。扩孔钻的安装和扩孔的方法与钻孔相同。

4) 铰孔。铰孔是在扩孔或半精镗后用铰刀进行的精加工。铰孔可达的尺寸公差等级为 IT7 ~ IT8，表面粗糙度值 R_a 为 $0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$ ，加工余量为 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ 。

钻-扩-铰连用是孔加工的典型方法之一，多用于成批生产，亦常用于单件小批生产中加工细长孔。

(4) 切槽与切断

1) 切槽。车床上可切外槽、内槽与端面槽。切槽与车端面很相似，切槽如同左右偏刀同时车削左右两个端面。宽度为 5mm 以下的窄槽，可用主切削刃与槽等宽的切槽刀一次切出。

2) 切断。切断与切槽类似。但是，当切断工件的直径较大时，切断刀刀头较长，切屑容易堵塞在槽内，刀头容易折断。因此，往往将切断刀刀头的高度加大，以增加强度；将主切削刃两边磨出斜刃，以利于排屑。

切断一般在卡盘上进行，切断处应尽可能靠近卡盘。切断刀主切削刀必须对准

工件旋转中心，较高或较低均会使工件中心部位形成凸台，并损坏刀头。切断时进给要均匀，即将切断时需放慢进给速度，以免刀头折断。切断不宜在顶尖上进行。

(5) 车锥面 锥面分外锥面和内锥面(即锥孔)。锥面配合紧密，拆卸方便，多次拆装仍能保持精确的对中性。因此，锥面广泛用于要求定位准确，能传递一定转矩和经常拆卸的配合件上。例如，车床主轴锥孔与顶尖的配合，钻头锥柄与车床尾架套筒锥孔的配合等。

锥面的车削方法有：小刀架转位法、尾架偏移法、宽刀法(又称样板刀法)和靠模法(又称锥尺法)四种。

(6) 车成形面 手柄、圆球及手轮等零件上的曲线回转表面称为成形面。成形面的车削有以下三种方法。

1) 双向车削法。先用普通尖刀按成形表面形状粗车许多台阶；后用双手控制圆弧车刀同时作纵向和横向进给，车去台阶峰部并使之基本成形；再用样板检验，并需经过多次车削修整和检验方能符合要求。形状合格后尚需用砂纸和砂布作适当打磨。加工的表面粗糙度值 R_a 可达 $3.2 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 。

此法操作技术要求较高，但无需特殊设备与工具，多用于单件小批生产中加工精度不高的成形面。

2) 成形刀法。成形刀刃与成形面轮廓相符，只需一次横向进给即可车削成形。有时为了减少成形刀的材料切除量，可先用尖刀按成形面形状粗车许多台阶，再用成形刀精车成形。

此法生产效率较高，但刃磨较困难，车削时容易振动。故只用于批量较大的生产中，车削刚性较好，长度较短，且较简单的成形面。

3) 靠模法。靠模安装在床身后面，车床横滑板需与横丝杠脱开，其前端连接板上装有滚柱。当大滑板纵向自动进给时，滚柱即沿靠模的曲线槽移动，从而带动中滑板和车刀曲线走刀而车出成形面。

车削前小刀架应转 90° ，以便用它作横向移动，调整车刀位置和控制切深。

此法操作简单，生产率较高，但需制造专用靠模，故只用于大批量生产中车削长度较大、形状较为简单的成形面。

(7) 车螺纹 相配的内外螺纹，除旋向与线数需一致外，螺纹的配合质量主要取决于牙型角 α 、螺距 P 和中径 $D_2(d_2)$ 三个基本要素的精度。

螺纹加工必须保证上述三个基本要素的精度。

1) 牙型角 α 的保证。取决于车刀的刃磨和安装。螺纹车刀安装时，刀尖必须与工件旋转中心等高；刀尖角的平分线必须与工件轴线垂直。因此，要用对刀样板对刀。

2) 螺距 P 的保证。保证螺距的基本方法是：在工件旋转一周时，车刀准确移动一个螺距。也就是要保证下列关系：

$$n_{\text{丝}} P_{\text{丝}} = n_{\text{工}} P$$

即丝杠与工件之间的速比 $i = \frac{n_{\text{丝}}}{n_{\text{工}}} = \frac{P}{P_{\text{丝}}}$

式中 $n_{\text{丝}}$ 、 $n_{\text{工}}$ ——丝杠和工件的转速 (r/min)；
 $P_{\text{丝}}$ 、 P ——丝杠和工件的螺距 (mm)。

这一关系是通过更换“配换齿轮”和调整进给箱手柄而得到的。车削各种螺距的螺纹，进给箱手柄所需放置的位置及所需配置齿轮的齿数，均标注在车床的标牌上，按此查阅和调整即可。

车削右螺纹，车刀自右向左移动；车削左螺纹，车刀需自左向右移动。因此，车床进给系统中应有一个反向机构。反向机构由几个齿轮所组成，当它改变啮合状态时，实际上是在传动链中增加或减少一个齿轮，从而使后面的传动件均自行反向。由于反向机构本身的速比为 1:1，故不影响工件与丝杠之间的速比，也就是说，并不影响螺距大小。

车螺纹，需经多次纵向走刀才能完成。在多次切削中，必须保证车刀总是落在已切的螺纹槽中，否则就会出现“乱扣”现象，工件即行报废。如果车床丝杠的螺距 $P_{\text{丝}}$ 是工件螺距 P 的整数倍，即 $P_{\text{丝}}/P = \text{整数}$ ，则每次切削之后，可打开“对合螺母”纵向摇回刀架，而不会乱扣；如果 $P_{\text{丝}}/P \neq \text{整数}$ ，则不能打开“对开螺母”摇回刀架，只能打反车（即主轴反转）使刀架纵向退回。

车螺纹为了避免乱扣，还应注意以下几点：

- ① 中滑板和小刀架与导轨之间不宜过松。否则，应调整镶条。
- ② 不论在卡盘上还是在顶尖上，工件与主轴之间的相对位置不能变动。
- ③ 在车削过程中如果换刀或磨刀，均应重新对刀。

螺纹螺距还可以通过靠模法保证，与成形面的靠模法车削加工原理相同。

3) 中径 D_2 (d_2) 的保证：螺纹中径是靠控制多次走刀的总背吃刀量来保证的。一般根据螺纹牙高由刻度盘作大致的控制，并用螺纹量规进行检验。

(8) 滚花 工具和零件的手握部分，为了美观和加大摩擦力，常在表面上滚压出花纹。例如，螺纹量规和活顶尖的手握外圆部分，都进行滚花。

滚花是在车床上用滚花刀挤压工件，使其表面产生塑性变形而形成花纹的。滚花刀安装在方刀架上。滚花时，工件低速旋转，滚花轮径向挤压后，再作纵向进给。为避免滚花刀损伤和防止细屑滞塞在滚花刀内而产生乱纹，应充分供给切削液。

花纹有直纹和网纹两种，每种又分为粗纹、中纹和细纹。单轮滚花刀是滚直纹的；双轮滚花刀是滚网纹的，两轮分别为左旋斜纹与右旋斜纹；六轮滚花刀是由三对粗细不等的斜纹轮组成，以备选用。

8.2.5 钻、扩、铰、锪

1. 钻孔

(1) 钻床

1) 台式钻床简称台钻，是一种小型机床，安放在钳工台上使用。其钻孔直径一般在 $\phi 12\text{mm}$ 以下。由于加工的孔径较小，台钻主轴转速较高，最高时每分钟可近万转，故可加工 1mm 以下的小孔。主轴转速一般用通过改变 V 带在带轮上的位置来调节。台钻的主轴进给运动由手完成。台钻小巧灵便，主要用于加工小型工件上的各种孔，钳工加工中用得最多。

2) 立式钻床简称立钻，一般用来钻中型工件上的孔，其规格用最大钻孔直径表示。常用的有 $\phi 25\text{mm}$ 、 $\phi 35\text{mm}$ 、 $\phi 40\text{mm}$ 、 $\phi 50\text{mm}$ 等几种。

立钻主要由机座、立柱、主轴变速箱、进给箱、主轴、工作台和电动机等组成。主轴变速箱和进给箱与车床类似，分别用以改变主轴的转速与直线进给速度。钻小孔时，转速需高些；钻大孔时，转速应低些。

钻孔时，工件安放在工作台上，通过移动工件位置使钻头对准孔的中心。

3) 摆臂钻床用来钻削大型工件的各种螺钉孔、螺纹底孔和油孔等。它有一个能绕立柱旋转的摆臂。主轴箱可以在摆臂上作横向移动，并随摆臂沿立柱上下作调整运动。刀具安装在主轴上，操作时能很方便地调整到需钻削的孔中心位置，而工件不需移动。摆臂钻床加工范围广泛，在单件和成批生产中都可采用。

4) 深孔钻床是专门化机床，专门用于加工深孔，例如加工枪管、炮管和机床主轴等零件的深孔。这种机床加工的孔较深，为了减少孔中心线的偏斜，加工时通常是由工件转动来实现主运动，深孔钻头并不转动，只作直线的进给运动。此外，由于被加工孔深而且工件往往又较长，为了便于排除切屑及避免机床过于高大，深孔钻床通常是成卧式的布局。因此，深孔钻床的布局与车床类似。在深孔钻床中备有切削液输送装置（由刀具内部输入切削液至切削部位）及周期退刀排屑装置。

5) 微孔钻床是专门用于加工微型孔的钻床，这种钻床具有精确的自定心系统，保证在钻削过程中，钻头不致损坏。

(2) 钻头

1) 麻花钻是钻孔的主要工具。直径小于 $\phi 12\text{mm}$ 时一般为直柄钻头，大于 $\phi 12\text{mm}$ 时为锥柄钻头。

麻花钻有两条对称的螺旋槽，用来形成切削刃，且作输送切削液和排屑之用。前端的切削部分有两条对称的主切削刃，两刃之间的夹角称为锋角，其值为 $2\Phi_0 = 116^\circ \sim 118^\circ$ 。两个顶面的交线称为横刃，钻削时作用在横刃上的轴向力很大。故大直径的钻头常采用修磨的方法缩短横刃，以降低轴向力。导向部分上的两条刃带在切削时起导向作用，同时又能减小钻头与工件孔壁的摩擦。

麻花钻的装夹方法，按其柄部的形状不同而异。

锥柄可以直接装入钻床的主轴孔内，较小的钻头可用过渡套筒安装。直柄钻头则用钻夹头安装。

2) 模具零件的小孔，可用精孔钻加工。精孔钻用麻花钻修磨而成。其特点是切削刃两边磨出顶角为 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 的修光刃，同时磨出 60° 的切削刃。在低的切削速度($2 \sim 8 \text{ m/min}$)和较小进给量($0.1 \sim 0.2 \text{ mm/r}$)下进行扩孔。扩孔余量一般为 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ 。尺寸精度可达IT7~IT8，表面粗糙度值 R_a 可达 $0.4 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。

3) 小孔钻头用来钻削小孔或微孔。

(3) 钻孔方法 钻床钻孔时，钻头旋转(主运动)并作轴向移动(进给运动)。

由于钻头结构上存在一些缺点，如刚性差、切削条件差，故钻孔精度低，尺寸公差等级一般为IT12左右，表面粗糙度值 R_a 为 $12.5 \mu\text{m}$ 左右。

1) 钻孔前的准备。钻孔前，工件要划线定心，在工件孔的位置划出加工圆和检验圆，并在加工圆和中心冲出样冲眼。

根据孔径大小选取合适的钻头，检查钻头主切削刃是否锋利和对称，如不合要求，应认真修磨。装夹时，应将钻头轻轻夹住，开车前检查是否放正，若有摆动，则应纠正，最后用力夹紧。

2) 工件的安装。对不同大小与形状的工件，可用不同的安装方法。一般可用机用平口钳等装夹。在圆柱形工件上钻孔，可放在V形块上进行，亦可用机用平口钳装夹。较大的工件则用压板螺钉直接装夹在机床工作台上。

在成批和大量生产中，钻孔时广泛应用钻模夹具。

3) 钻孔操作。按划线钻孔时，应先对准样冲眼试钻一浅坑，如有偏位，可用样冲重新冲孔纠正，也可用錾子錾出几条槽来纠正。钻孔时，进给速度要均匀，将要钻通时，进给量要减小。钻韧性材料要加切削液。钻深孔(孔深 L 与直径 d 之比大于5)时，钻头必须经常退出排屑。

钻床钻孔时，当孔径大于 $\phi 30 \text{ mm}$ 时，亦需分两次钻出。

2. 扩孔和铰孔

用扩孔钻对已经钻出的孔作扩大加工称为扩孔。扩孔所用的刀具是扩孔钻。扩孔钻的结构与麻花钻相似，但切削刃有3~4个，前端是平的，无横刃，螺旋槽较浅，钻体粗大结实，切削时刚性好，不易弯曲。扩孔尺寸公差等级可达IT9~IT10，表面粗糙度值 R_a 可达 $3.2 \mu\text{m}$ 。扩孔可作为终加工，也可作为铰孔前的预加工。

铰孔是孔的精加工。铰孔可分为粗铰和精铰。精铰加工余量较小，只有 $0.05 \sim 0.15 \text{ mm}$ ，尺寸公差等级可达IT7~IT8，表面粗糙度值 R_a 可达 $0.8 \mu\text{m}$ 。铰孔前工件应经过钻孔-扩孔(或镗孔)等加工。

铰孔所用刀具是铰刀。铰刀有手用铰刀和机用铰刀两种，手用铰刀为直柄，工

作部分较长。机用铰刀多为锥柄，可装在钻床、车床或镗床上铰孔。铰刀的工作部分由切削部分和修光部分组成。切削部分呈锥形，担负着切削工作；修光部分起着导向和修光作用。铰刀有6~12个切削刃，每个刀刃的切削负荷较轻。

铰孔时选用切削速度较低，进给量较大，并要使用切削液。铰铸铁件用煤油，铰钢件用乳化液。

锥铰刀用以铰削锥度为1:50的定位销孔。对于直径较小的锥销孔，可先按小头直径钻孔；对于直径大而深的锥销孔，可先钻出阶梯孔，再用锥铰刀铰削。

在铰削的最后阶段，要注意用锥销试配，以防将孔铰大。孔铰好之后，要清洗干净。锥销放进孔内，用手按紧时，其头部应高于工件平面3~5mm，然后用铜锤轻轻敲紧。装好的锥销其头部可以略高于工件平面；当工件平面与其他零件接触时，锥销头部则应低于工件平面。

3. 铣孔与铣平面

在孔口表面用铣钻加工出一定形状的孔或凸台的平面，称为铣削，如图8-7所示。铣削又分铣孔和铣平面。

圆柱形埋头孔铣钻的端刃起主要的切削作用，周刃作为副切削刃起修光作用。为了保持原有孔与埋头孔同心，铣钻前端带有导柱，与已有的孔滑配，起定心作用。

锥形铣钻顶角有60°、75°、90°及120°四种，其中90°的用得最广泛。锥形钻有6~12个刀刃。

端面铣钻用于铣与孔垂直的孔口端面（凸台平面）。小直径孔口端面可直接用圆柱形埋头孔铣钻加工，较大孔口的端面也可另行制作铣钻。

铣削时，切削速度不宜过高，铣削时需加润滑油，以免铣削表面产生径向振纹或出现多棱形等质量问题。

8.2.6 镗削

1. 镗床

镗床有普通镗床、坐标镗床和数控镗床等。

坐标镗床万能回转台除了能绕主分度回转轴任意角度回转外，尚能绕辅助回转轴作0~90°的倾斜转动。主回转运动由手轮带动蜗杆副实现，倾斜回转运动由另一手轮带动蜗杆副实现。手柄用以固定分度回转轴，另一手柄用以固定倾斜回转轴。松开一手柄，转动偏心套，可使蜗杆副脱开，实现转台快速转动。倾斜回转精度要求较高（30''以下）时，可利用正弦规和块规来控制。

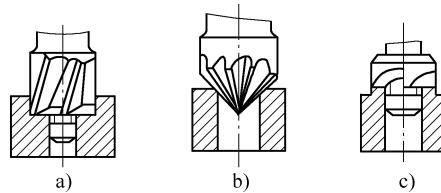


图8-7 铣削工作

a) 铣圆柱形埋头孔 b) 铣锥形埋头孔

c) 铣凸台的平面

2. 镗削工艺

(1) 基本找正 在坐标镗加工中, 根据工件形状特点, 定位基准有:

- 1) 工件上的划线。
- 2) 圆形件上已加工的外圆或内孔。
- 3) 矩形件或不规则外形件上已加工的孔。
- 4) 矩形件或不规则外形件上已加工的相互垂直面。

(2) 镗淬硬工件 在没有坐标磨床的情况下, 为了解决热处理后的变形, 必要时可以用硬质合金刀具镗淬硬的工件。但需注意以下几点:

- 1) 刀杆尽量短, 刀杆材料用 40Cr, 硬度为 43~48HRC, 以提高刀杆的刚性。
- 2) 硬质合金刀刃上磨出宽度约 0.3mm 的负前角 ($\approx -10^\circ$), 以提高刀刃的强度。
- 3) 进给量根据工件硬度按表 8-5 选用。

表 8-5 镗淬硬工件的进给量

工件硬度 HRC	43~48	53~58	60~63
进给量/(mm/r)	0.06~0.09	0.09~0.11	0.10~0.13

4) 镗淬硬工件的主轴转速按表 8-6 选用。

表 8-6 镗淬硬工件的主轴转速

镗孔直径/mm	5.5~8	8~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~50	50~70
主轴转速/(r/min)	1300	1100	900	700	500	300	200	100

5) 减小镗孔锥度的方法。加工硬度为 50~55HRC 的 T8A 材料时, 可采取上下行程都吃刀。加工硬度为 60~63HRC 的 Cr12MoV 钢制件时, 如果工件硬度均匀, 也可采取上下行程都吃刀, 但由于硬度高, 刀头磨损快, 最后精镗要注意保持刃口锋利; 当硬度不均匀时, 只宜在下行程时吃刀, 并根据硬度改变进给量。

3. 坐标镗加工精度

镗孔尺寸精度与表面粗糙度见表 8-7。

表 8-7 镗孔尺寸精度与表面粗糙度

加工步骤	孔距精度(机床坐标精度的倍数)	孔径精度	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适应孔径/mm
钻中心孔→钻 钻→扩 精钻	1.5~3	IT7	1.6~0.8	<8

(续)

加工步骤	孔距精度(机床坐标精度的倍数)	孔径精度	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适应孔径/mm
钻中心孔→钻 钻→扩精铰	1.5~3	IT7	1.6~0.8	<20
钻→半精镗→精钻	1.2~2	IT7	1.6~0.8	<8
钻→半精镗→精铰 钻→半精镗→精镗	1.2~2 1.2~2	IT7 IT6~IT7	0.8~0.4 0.8~0.4	<20

8.2.7 磨削

在磨床上用砂轮对工件进行切削加工称为磨削加工。磨削加工是零件精加工的主要方法之一。磨削的尺寸公差等级可达 IT5~IT6，表面粗糙度值 Ra 一般为 $0.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

模具零件加工的磨床有外圆磨床、内圆磨床和平面磨床、万能工具磨床、工具曲线磨床、光学曲线磨床、坐标磨床、仿形磨床、数控磨床等。另外，还有无心磨床（一种外圆磨床）、手摇平面磨床（用于精修配模具镶块，精度可达 $0.0025 \sim 0.005 \mu\text{m}$ ）、螺纹磨床、齿轮磨床等。

1. 常用磨削

(1) 磨床 常见磨削的磨床有外圆磨床、内圆磨床和平面磨床等。万能外圆磨床与普通外圆磨床的区别，主要在于增加了内圆磨头。因此，万能外圆磨床不仅可以磨削工件的外圆面、外锥面以及轴肩端面，而且能磨削内圆面、内锥面和内台阶面。内圆磨床主要用于磨削工件的内圆面、内锥面及内台阶。

(2) 砂轮 磨削用的砂轮是由许多细小而极硬的磨粒用结合剂粘结而成。砂轮表面尖棱多角的磨粒如同铣刀的刀刃一样，在砂轮的高速旋转下切入工件表面，从而实现磨削加工。从本质上说，磨削是一种多刀多刃的高速切削过程。

由于磨粒的硬度极高，因此磨削不仅可以加工一般的金属材料，如碳钢、合金钢、铸铁及某些有色金属，而且还可以加工一般刀具难于加工的高硬度材料，如淬火钢、硬质合金等。这是磨削加工的一个显著特点。

1) 砂轮的种类。砂轮的磨粒直接担负着切削工作。磨削时，磨粒在高温下经受剧烈的摩擦及挤压，必须具有高硬度、高耐热性和一定的韧性，还有具有锋利的切削刃口。

常用的磨料有三类：

①刚玉类：主要成分是 Al_2O_3 ，其韧性好，适于磨削普通钢料和高速钢。

②碳化硅类：主要成分是 SiC，其硬度比刚玉类高，性脆而锋利，导热性好，适用于磨削铸铁、青铜等脆性材料及硬质合金。

③超硬类：超硬磨粒包括金刚石和立方氮化硼两种。金刚石磨粒适于加工硬质合金、石材、陶瓷和光学玻璃等硬脆材料。立方氮化硼的硬度仅次于金刚石，适于加工各类淬火工具钢、模具钢、不锈钢以及镍基和钴基合金等硬脆材料。

磨粒的大小用粒度表示。粒度号数越大，颗粒越小。粗加工和磨软材料选用粗磨粒，精加工和磨削脆性材料选用细磨粒。砂轮的常用粒度号为 36# ~ 100#。砂轮可以按加工需要制成各种形状和尺寸。砂轮常用的结合剂为陶瓷结合剂。磨粒粘结越牢，磨削过程中就越不易脱落，这样砂轮的使用寿命也就越长。

2) 砂轮的检查、安装、平衡和修整。砂轮安装前一般通过外观检查和敲击响声来判断是否有裂纹，以防高速旋转时破裂。

安装时，要求砂轮松紧合适地套在法兰盘上，在砂轮和法兰盘之间垫上 1 ~ 2mm 厚的纸垫，通过法兰盘端面的压紧螺钉将砂轮压紧在法兰盘上。

为使砂轮平稳地工作，一般直径大于 $\phi 125\text{mm}$ 时都要进行平衡。平衡时将砂轮装在心轴上，再放到平直、光滑的平衡架导轨的刃口上。如果砂轮不平衡，较重的部分总是转至下方。这时可移动法兰盘端面环形槽内的平衡块，当砂轮转至任意部位都能静止，即表明砂轮各个部分重量均匀，平衡良好。

砂轮工作一定时间后，磨粒逐渐变钝，砂轮工作表面空隙被堵塞。这时需对砂轮进行修整，以修磨出新的刃口，恢复切削能力和外形精度。砂轮一般用金刚石工具在磨床上进行修整。

磨孔加工余量见表 8-8。

表 8-8 磨孔加工余量 (单位: mm)

孔的直径 d	加工状态	磨孔长度 L					磨前精度 IT11
		≤50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 500	
		加工余量					
≤10	未淬硬	0.2	—	—	—	—	0.1
	淬硬	0.2	—	—	—	—	
10 ~ 18	未淬硬	0.2	0.3	—	—	—	0.12
	淬硬	0.3	0.4	—	—	—	
18 ~ 30	未淬硬	0.3	0.3	0.4	—	—	0.14
	淬硬	0.3	0.4	0.4	—	—	
30 ~ 50	未淬硬	0.3	0.3	0.4	0.4	—	0.17
	淬硬	0.4	0.4	0.4	0.5	—	

(续)

孔的直径 d	加工状态	磨孔长度 L					磨前精度 IT11
		≤50	50~100	100~200	200~300	300~500	
		加工余量					
50~80	未淬硬	0.4	0.4	0.4	0.4	—	0.20
	淬硬	0.4	0.5	0.5	0.5	—	
80~120	未淬硬	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.23
	淬硬	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	
120~180	未淬硬	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.26
	淬硬	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	
180~260	未淬硬	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.3
	淬硬	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	
260~300	未淬硬	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.34
	淬硬	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	
300~500	未淬硬	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.38
	淬硬	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	

平面磨床用于磨削工件的平面。磨削平面加工余量见表 8-9。

平面淬火前加工余量见表 8-10。

(3) 电磁吸盘的构造和工作原理 对于由钢、铸铁等导磁性材料制成的中小型工件，一般用电磁吸盘直接安装。

表 8-9 磨削平面加工余量

(单位: mm)

零件厚度	经热处理或未经热处理零件的终磨				热处理后												
					粗 磨						半 精 磨						
	宽度 ≤ 200		宽度 200 ~ 400		宽度 ≤ 200		宽度 200 ~ 400		宽度 ≤ 200		宽度 200 ~ 400		宽度 ≤ 200		宽度 200 ~ 400		
平面长度																	
	≤100	100~250	250~400	≤100	100~250	250~400	≤100	100~250	250~400	≤100	100~250	250~400	≤100	100~250	250~400	≤100	
>6~30	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
>30~50	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
>50	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

表 8-10 平面淬火前加工余量

(单位: mm)

加工面长度	加工面宽度		加工面长度	加工面宽度	
	≤300	300~500		≤300	300~500
	平面留量			平面留量	
≤300	0.5	—	1000~2000	1	1.2
300~1000	0.7	0.9	允许偏差	±0.1	±0.1

电磁吸盘的吸盘体由钢制成，其中部凸起心体上绕有线圈，上部有钢制盖板，被绝缘层隔成许多条块。当线圈通电时，心体被磁化，磁力线经心体—盖板—工件—盖板—吸盘体—心体而闭合，从而吸住工件。绝缘层的作用是使绝大部分磁力线通过工件再回到吸盘体，而不是通过盖板直接回去，以保证对工件有足够的电磁吸力。对于陶瓷、铜合金、铝合金等非磁性材料，则可采用精密平口钳、精密角铁等导磁性夹具进行安装。

随着技术的发展，电磁吸盘表面可以用陶瓷做成，使电磁吸盘更耐磨。另外，磁力线分布可使工件底部完全吸牢，而工件上部则不受磁力线影响，所以可以不会因磁力而造成被磨下的铁屑被吸住而影响加工质量。

(4) 磨削工件 磨削过程中，由于磨削速度很高(一般为30~50m/s)，产生大量的切削热，使磨削区的温度可达1000℃以上，高温的磨屑在空气中剧烈氧化，产生火花。为了减少摩擦和充分散热，降低磨削温度，及时冲走屑末，确保工件表面质量，磨削时需使用大量的切削液。

磨削可加工零件的内外圆柱面、内外圆锥面、平面以及成形表面(如螺纹、花键、齿形等)。

2. 成形磨削

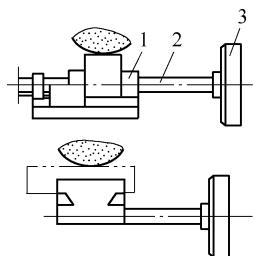
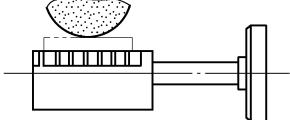
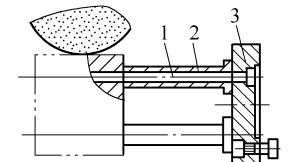
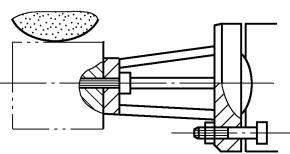
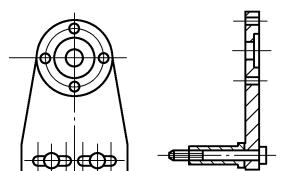
成形磨削可以在平面磨床、万能工具磨床、工具曲线磨床、光学曲线磨床和立式坐标磨床上进行。

(1) 成形砂轮磨削法 它适用于磨削小圆弧、小尖角和槽等无法用分段磨削的工件。对砂轮进行成形修整，一般采用金刚石笔。

修整成形砂轮时应注意：金刚石刀杆的顶尖应通过砂轮主轴中心；修整凸圆弧时，砂轮的圆弧半径一般比工件圆弧半径小0.01mm；修整凹圆弧时，砂轮的圆弧半径比工件圆弧半径大0.01mm；修整凹凸圆弧的最大圆心角一般小于180°；为减少金刚石笔消耗，粗修整砂轮时可用碳化硅砂块去除大部分修整量；对于精度要求高的成形面，要分粗、精磨削进行，精磨用的成形砂轮应进行精细修整。

(2) 利用夹具的成形磨削法 万能夹具装夹工件方法见表8-11。

表 8-11 万能夹具装夹工件方法

项目	示意图	说 明
精密平口钳装夹	 <p>1—精密平口钳 2—螺钉 3—万能夹具圆盘</p>	精密平口钳 1 用螺钉 2 固定在万能夹具圆盘 3 上。该装夹方法不能磨削封闭轮廓
电磁台装夹		用小型磁力台装夹工件,工件必须以平面定位,适用于磨削小而薄的工件和非封闭形状的工件
用螺钉和支柱装夹	 <p>1—螺钉 2—等高支柱 3—圆盘</p>	工件上预制装夹用螺孔 工件用螺钉 1、等高支柱 2 固定在圆盘 3 上。可磨削较大的封闭形工件
球面支架装夹		工件用螺钉固定在球面支架上,可调节工件的水平面
磨大圆弧附件		附件一端固定在万能夹具圆盘上,工件用螺钉、支柱直接固定在附件的另一端

利用万能夹具时，其磨削工艺要点为：按工件图形选择便于工艺计算的直角坐标系，尽可能以设计坐标系作为工艺坐标系。将工件轮廓型面分解成若干个简单型面，然后按表 8-12 次序磨削各类型面。

表 8-12 各类型面的磨削次序

型面类型	直线与凸圆弧相连	直线与凹圆弧相连	两凸圆弧相连	两凹圆弧相连	凹、凸圆弧相连
先磨	直线	凹圆弧	大圆弧	小凹圆弧	凹圆弧
后磨	凸圆弧	直线	小圆弧	大凹圆弧	凸圆弧

(3) 在工具曲线磨床上成形磨削 在 M9025 型工具曲线磨床上，工件一次装夹就可磨削由直线和圆弧组成的各种封闭轮廓形状。利用正切机构，可磨削函数曲线形成的曲面。

在该机床上成形磨削方法与采用万能夹具磨削基本相同。其工艺要点为：加工前必须调整坐标分度盘的回转中心，使与光学显微镜中的十字线重合。调整时将角尺测量块置于坐标分度盘上的十字拖板工作台上，并使测量块的一侧校正到平行于纵（横）轴线的位置，然后移动（溜板）分度盘，使角尺测量块的一边在纵（横）轴的 180° 方向上对准显微镜十字线，记下调整量，在纵（横）轴方向移动分度盘，其移动量为调整量的一半。

在磨削过程中，以坐标分度盘圆转中心为基准，利用光学显微镜中的十字线对工件的棱边进行测量。

(4) 光学曲线磨削 采用陶瓷砂轮磨削，最小圆角半径可达 $3\mu\text{m}$ ，一般砂轮也可磨出 0.1mm 的圆角半径。

1) 绘制放大图。在放大图上绘制十字中心线和边框线，线条误差控制在 $\pm 0.2\text{mm}$ 以内。原则上按实际磨削方向从左向右绘制，并尽量利用光屏中心对比度理想的区域安排图纸。

2) 工件装夹和定位。工件先用各种装夹工具装夹，然后固定在工作台上。常用的装夹方式有机械法、磁性工作台和粘结装固三种。

工件定位的步骤如下：

① 将放大图的十字中心线对准机床光屏面上的中心标记。

② 将装夹工具的测量棱边对准放大图的十字中心线或拼模线。

③ 当工件尺寸大小能在一次投影中磨完全部型面时，用工件外形对准放大图基准线进行定位。当工件尺寸大小需要分段磨削时，工件的定位是先使工件拼合面对准放大图拼合线，然后移动工作台使工件外形基面对准放大图上中心线，再用块规垫入机床纵向工作台，控制机床纵向移动距离。

3) 磨削方法见表 8-13。

表 8-13 光学曲线磨削方法

用 途	磨削方法	说 明
斜面磨削	砂轮座滑板斜置后，可磨削较长的斜面	用放大图校正砂轮座运动方向是否正确
	用成形砂轮磨削狭长斜面	用砂轮修整器修正后，再用放大图检验砂轮角度
内角磨削	砂轮座滑板倾斜 $1^\circ \sim 2^\circ$ ，砂轮修出斜度，移动纵横滑板，磨削 90° 内角。若将砂轮座纵滑板斜置 θ 角，则可磨大于 90° 内角	磨削内清角时将砂轮修成双面斜度，砂轮从内角处向外磨
	用成形砂轮磨削小于 90° 内角	成形砂轮用放大图校核
凸凹弧磨削	用单斜边砂轮、双斜边砂轮和平直形砂轮依放大图线逐点磨出	用平直形砂轮磨凸弧时，操作方便，但拉角较深
	用成形砂轮切入法磨削	凹弧半径大时，将砂轮修成凸形后分段接磨
带后角工件的磨削	将磨头座按逆时针方向转过一个后角，并用反射投影工件端面的像。后角不大的，一般以工件端面为对焦平面	磨削时，砂轮行程应调整到越出工件端面 $5 \sim 10\text{mm}$

(5) 在仿形磨床上进行成形磨削 仿形磨削是在仿形磨床上按放大样板或放大图进行磨削加工，或采用专门装置按放大样板将砂轮修成形再进行加工的一种方法。用此法磨削的工件尺寸一般较小且大多是不封闭的轮廓。

3. 坐标磨削

坐标磨削可消除热处理变形误差，加工精度可达 $5\mu\text{m}$ 左右。磨削时，砂轮作高速自转、行星运动和上下往复运动。在加工高精度小孔时，由于砂轮轴很细，必须注意减少磨削余量。

坐标磨床是在坐标镗床加工原理和结构的基础上发展起来的一种精密机床。其特征是：坐标磨床 = 坐标工作台系统(精密坐标系 + 精密坐标测量系统) + 高精度坐标磨削系统，可对高硬度、淬硬钢等材料进行磨削加工。

其中坐标工作台系统与各厂的坐标镗床基本通用。

坐标磨削系统与一般磨床不同，特别是工件不转，磨削运动和圆周进给运动由磨头的公转和自转完成，上下走刀运动由磨头套筒上下冲程运动完成。

坐标磨床在增加了磨锥机构、各种附件和数控技术后，坐标磨床几乎没有限制，特别适用于形状特别复杂和精度很高的各类模具零件和各种精密机械零件。

4. 无心磨削

磨削时工件放在磨轮和导轮之间，由托板支承着进行磨削。由于导轮的转速较低，工件在导轮的摩擦力带动下旋转，当导轮轴线与工件轴线倾斜一定角度时，工件就能获得轴向进给运动。无心磨削效率高，圆度误差可控制在 $0.0005 \sim 0.001\text{mm}$ ，表面粗糙度值 R_a 为 $0.1 \sim 0.025\mu\text{m}$ 。

5. 数控磨削

在数控磨床上进行磨削。数控磨床是一种数控机床，是在非数控磨床上加上数控系统，所以在使用时，要编制相应的加工程序。

8.2.8 珩磨

珩磨是用磨粒很细的磨条（也叫磨石）来进行加工的，多用于加工圆柱孔。

珩磨孔用的工具叫珩磨头，其结构有很多种，图 8-8 所示为一种简单的珩磨头。磨头体通过浮动联轴器与机床上主轴连接，以消除机床主轴和工件内孔不同心的有害影响。四块磨条（也有三、五、六块的）用结合剂（或机械方法）与垫块固结在一起，并装进磨头体的槽中。垫块两端由弹簧箍住，使磨条保持在磨头体上。当转动螺母时，通过调整锥和顶销使磨条张开以调整磨头的工作尺寸及磨条的工作压力。这种珩磨头难以保证磨条对孔壁的工作压力调整得准确，原因是磨条的磨损、孔径的增大，以及磨条对孔壁的压力也不能保持恒定。因此，在珩磨过程中，需要经常停车转动螺母来调整工作压力，从而降低了生产率。在成批大量生产中，广泛采用气动、液动调节工作压力的珩磨头。珩磨头工作时有两种运动的结果，磨条上的每颗磨粒在工件孔壁磨出左右螺旋形的交叉痕迹（见图 8-9）。为使整个工件表面均匀地被加工到，磨条在孔的两端都要露出一段约 25mm 的越程。

珩磨的工件表面粗糙度值 R_a 为 $0.05 \sim 0.4\mu\text{m}$ ，尺寸精度为 IT6，圆度或圆柱度误差可控制在 $0.003 \sim 0.005$ 范围内。珩磨加工余量见表 8-14。

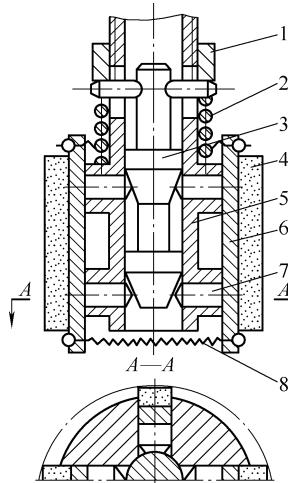


图 8-8 珩磨头

1—螺母 2—弹簧 3—调整锥 4—磨条
5—磨头体 6—垫块 7—顶销 8—弹簧

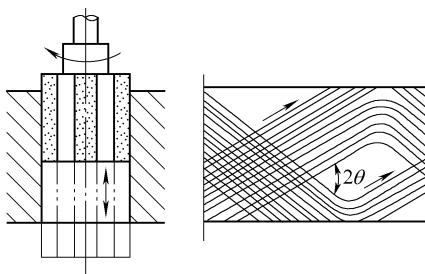


图 8-9 珩磨时磨粒的运动轨迹

表 8-14 珩磨加工余量

被加工孔的 直径/mm	直径上余量/mm	
	铸铁	钢
25 ~ 125	0.02 ~ 0.10	0.10 ~ 0.04
125 ~ 250	0.06 ~ 0.15	0.02 ~ 0.05
> 250	0.10 ~ 0.20	0.04 ~ 0.06

8.3 特种加工

8.3.1 电火花成形加工

1. 电火花加工系统

电火花加工是在电火花机床上对工件进行的一种放电加工。图 8-10 所示为电火花加工的示意图。

电火花加工机床一般由三部分组成：机床主机、脉冲电源及工作液循环系统，如图 8-11 所示。

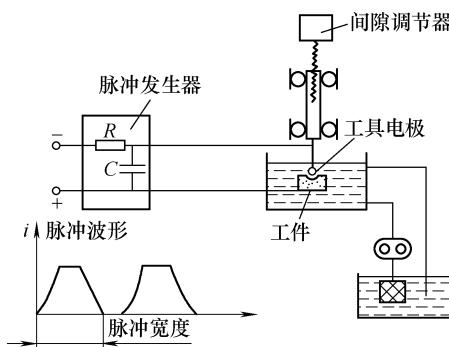


图 8-10 电火花加工的示意图

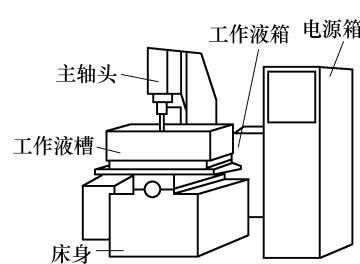


图 8-11 电火花加工机床的组成

2. 电火花加工的原理

电火花加工时，脉冲电源的一极接工具电极，另一极接工件电极。两极浸入绝缘的工作液（煤油或矿物油）中，工具电极由放电间隙自动调节器控制，向工件移近。当两极间达到一定距离时，极间最近点处的液体介质被击穿，形成放电通道。由于通道截面很小，放电时间极短，电流密度很高，能量高度集中，在放电区产生高温，致使工件的局部金属熔化和气化，并被抛出工件表面，形成一个小凹

坑。第二个脉冲又在另一最近点处击穿液体介质，重复上述过程。如此循环下去，工具电极的轮廓和截面形状将复印在工件上，形成所需的加工表面。工具电极也会因放电而产生损耗。电蚀过程如图 8-12 所示。

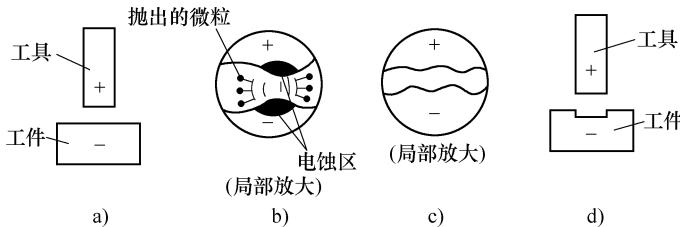


图 8-12 电蚀过程

- a) 工具电极在自动调节器带动下向工件电极靠近
- b) 两极最近点处液体介质被电离产生火花放电，局部金属熔化、气化并被抛离
- c) 多次脉冲放电后，加工表面形成无数个小凹坑
- d) 工具电极的轮廓和截面形状复印在工件上

3. 电火花加工的条件

如上所述，利用电火花放电对工件进行电蚀加工时，必须具备下列条件：

- 1) 必须采用脉冲电源，以便形成极短的脉冲（1ms）放电，才能使能量集中于微小的区域，而来不及传递到周围材料中去。如果形成连续放电，便会像电焊一样出现电弧，工件表面会被烧成不规则形状。
- 2) 工具电极与工件电极之间必须保持一定的间隙。间隙过大，工作电压击不穿液体介质；间隙过小，形成短路接触，极间电压接近于零，两种情况都无法形成火花放电。为此，工具电极的进给速度应与电蚀的速度相适应。
- 3) 火花放电必须在绝缘的液体介质中进行。否则，不能击穿液体介质，形成放电通道；也不能排除悬浮的金属微粒和冷却电极表面。
- 4) 极性效应，即工具电极和工件电极分别接在脉冲电源的正极或负极，以保证工具电极的低损耗。

4. 电火花加工的应用

(1) 型腔加工 加工各种模具的型腔，将电极的形状复印到模具零件上，从而形成型腔（见图 8-13）。

(2) 穿孔加工 各种截面形状的型孔(圆孔、方孔、异形孔)、曲线孔(弯孔、螺旋孔)和微小孔($<\phi 0.1\text{mm}$)等均可用电火花穿孔加工(见图 8-14)。

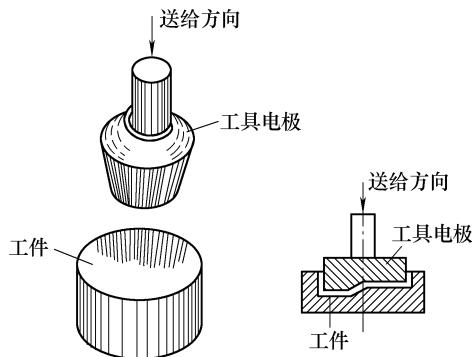


图 8-13 电火花加工模具型腔

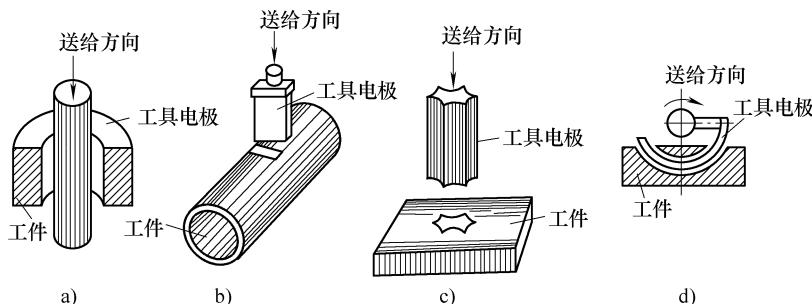


图 8-14 电火花穿孔加工

a) 直孔 b) 直槽 c) 异形孔 d) 弯孔

(3) 其他加工 电火花磨削加工和雕刻花纹等, 如图 8-15、图 8-16 所示。

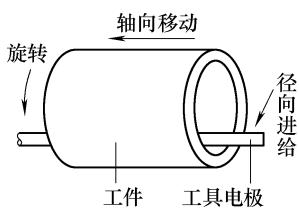


图 8-15 电火花内圆磨削

注: 磨削小孔, 工件旋转,
并作轴向移动和径向进给



图 8-16 电火花雕刻花纹

8.3.2 电火花线切割加工

电火花线切割加工是在电火花线切割机床上对工件进行切割加工。其加工系统示意图如图 8-17 所示。

其加工原理与电火花成形加工相同, 与电火花成形加工相比较主要有以下特点:

- 1) 不需要制造成形电极, 工件材料的预加工量少。
- 2) 能方便地加工复杂形状的工件、小孔和窄缝等。
- 3) 加工电流较小, 属中、精加工范畴, 所以采用正极性加工, 即脉冲电源正

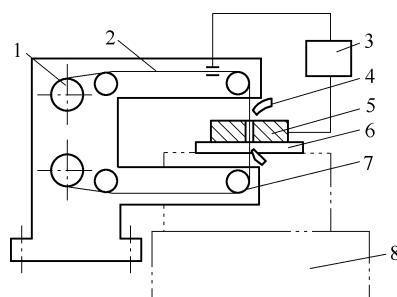


图 8-17 电火花线切割加工系统示意图
1—储丝筒 2—丝线 3—脉冲电源 4—工作液
5—工件 6—工作台 7—导向轮 8—床身

极接工件，负极接电极丝。加工时基本是一次成形，中途不需要换电极丝。

- 4) 只对工件进行轮廓图形加工，余料仍可利用。
- 5) 由于采用移动的长电极丝进行加工，单位长度电极丝损耗较小，所以当切割工件的周边长度不长时，对加工精度影响较小。
- 6) 自动化程度高，操作方便，加工周期短，成本低，较安全。
- 7) 单向走丝线切割机上的自动化穿丝装置，能自动地实现多个形状的加工。
- 8) 单向走丝线切割机由于 $x-y$ 工作台以每一脉冲 $0.25\mu\text{m}$ 的速度驱动，而且使用激光测长仪测量机床的误差和进行修正，因而可以进行高精度尺寸的加工。

国内外电火花线切割最高加工精度和最佳表面粗糙度比较见表 8-15。

表 8-15 国内外电火花线切割最高加工精度和最佳表面粗糙度比较

项 目	国 内	国 外
加工精度/mm	± 0.005	0.002 ~ 0.005(瑞士五次切割) $\pm 0.001 \sim 0.020$ (俄罗斯微精切割)
表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	$0.4(v_{wi} \geq 13\text{mm}^2/\text{min})$ $0.8(v_{wi} \geq 20\text{mm}^2/\text{min})$	$0.2(v_{wi} \geq 10\text{mm}^2/\text{min})$ (瑞士) $0.1 \sim 0.05(v_{wi} \geq 0.03 \sim 0.30\text{mm}^2/\text{min})$ (俄罗斯)

注： v_{wi} 为切割速度。

国内外电火花线切割加工最小切缝比较见表 8-16。

表 8-16 国内外电火花线切割加工最小切缝比较

项 目	国 内	国 外
最小切缝宽度/mm	$0.07 \sim 0.09$	$0.0045 \sim 0.014$ (俄罗斯) $0.035 \sim 0.04$ (瑞士)
电极丝直径 $d/\mu\text{m}$	$0.05 \sim 0.07$	$0.003 \sim 0.01$ (俄罗斯) 0.03 (瑞士)

电火花线切割加工可以用来切割各种异形曲线（见图 8-18）。

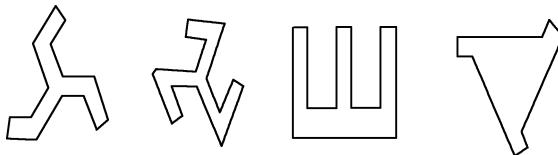


图 8-18 电火花线切割加工的异形曲线

8.3.3 电解成形加工

电解成形加工是利用金属在外电场作用下的阳极溶解，使工件加工成形的一种

加工方法。图 8-19 所示为电解成形加工的原理图。在工件和工具电极之间接上直流电源，工件接正极（称阳极），工具电极接负极（称阴极），在工件和工具之间保持较小的间隙（0.1~1mm），在间隙中通过高速流动（可达 75m/s）的电解液，在电源给阳极和阴极之间加上直流电压时，在工件表面不断产生阳极溶解。由于阴极和阳极之间各点距离不等，电流密度也不等（见图 8-19 中上面的曲线图），在工件表面上产生的阳极溶解速度也不相同，在阴阳极距离最近的地方，电流密度最大，阳极溶解速度也最快，随着阴极的不断进给，电解产物不断被电解液冲走，最终工件型面与阴极表面达到基本吻合（见图 8-19 中下面的曲线图）。

型腔电解加工的主要特点如下：

- 1) 生产率高。电解加工型腔比电火花加工效率高 4 倍以上，比切削加工成形效率高几倍至十几倍。
- 2) 表面粗糙度低， $R_a = 0.8 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 。
- 3) 工具阴极不损耗，阴极可以长期使用。
- 4) 不受材料硬度限制，可以在模具淬火后加工。
- 5) 尺寸精度可达 $\pm 0.05 \sim \pm 0.2 \text{ mm}$ 。
- 6) 电解液（主要是氯化钠）对设备和工艺装备有腐蚀作用。
- 7) 设备投资和占地面积较大。

8.3.4 电解抛光

1. 基本原理

电解抛光实际上是利用电化学阳极溶解的原理对金属表面进行抛光的一种方法。如图 8-20 所示，阳极为要进行抛光的工件，阴极为用铅板制成的与工件加工面相似形状的工具电极，与工件形成一定的电解间隙。当电解液中通以直流电时，阳极表面发生电化学溶解，工件表面被一层溶化的阳极金属和电解液所组成的粘膜所覆盖，其粘度很高，电导率很低。工件表面的高低不平，凹入部分的粘膜较厚，电阻较大，而凸起部分的粘膜较薄，电阻较小。因此，凸起部分的电流密度比凹入部分的大，溶解得快，经过一段时间后，

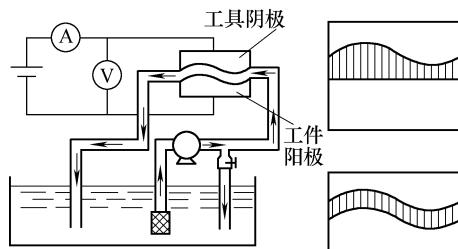


图 8-19 电解成形加工原理图

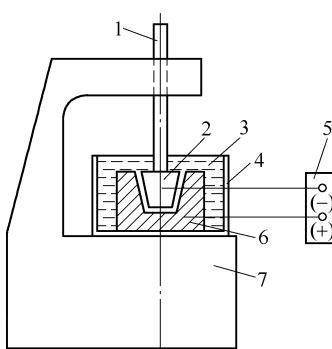


图 8-20 电解抛光示意图
1—主轴头 2—阴极 3—电解液 4—电解液槽
5—电源 6—阳极（工件） 7—床身

就逐渐将不平的金属表面蚀平，从而得到与机械抛光相同的效果。

2. 电解抛光的特点

1) 电火花加工后的型腔表面，经电解抛光后，其表面粗糙度值 R_a 可由 $1.2 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 降低到 $0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

2) 效率高。当加工余量为 $0.1 \sim 0.15 \text{ mm}$ 时，电解抛光的时间仅需 $10 \sim 15 \text{ min}$ 。

3) 对于表面粗糙度要求不太高的模具，经电解抛光后，即可使用。对要求高的模具，经电火花加工后，用电解抛光去除硬化层和减小表面粗糙度值，再进行手工抛光，可大大缩短模具制造周期。

4) 电解抛光不能消除原始表面的波纹。因此要求在电解抛光前，型腔应无波纹。另外，抛光质量还取决于工件材料组织的均匀性和纯度。经电解抛光后，金属结构的缺陷往往会更明显地暴露出来。

5) 由于表层金属产生溶解，工件尺寸将略有改变，故对尺寸精度要求高的工件不宜采用。

3. 电解抛光工艺过程

电火花加工后的型腔→制造阴极→电解抛光前的预处理（化学脱脂、清洗）→电解抛光→后处理（清洗、钝化、干燥处理）。

1) 电解抛光设备分为电源和机床两部分，如图 8-20 所示。直流电源常用晶闸管整流，电压为 $0 \sim 50 \text{ V}$ ，电流视工件大小而定，一般以电流密度为 $80 \sim 100 \text{ A/dm}^2$ 来计算电源的总电流。工具电极的上下运动，由伺服电动机控制。工作台上有纵横滑板，电解槽由塑料制成，电解液设有恒温控制装置。

2) 工具电极由青铅制成。电极与加工表面应保持 $5 \sim 10 \text{ mm}$ 的电解间隙。对于较复杂的型腔，可将青铅加热熔化后直接浇注在模具型腔内，冷却后取出再用手工加工使之均匀缩小 $5 \sim 10 \text{ mm}$ 。经实验证实，阴极的形状和电解间隙之间不存在严格的关系。

3) 作为模具材料电解抛光的电解液，推荐的配方（质量分数）为： $\text{H}_3\text{PO}_4 65\%$ ， $\text{H}_2\text{SO}_4 15\%$ ， $\text{CrO}_3 6\%$ ， $\text{H}_2\text{O} 14\%$ 。阳极电流密度为 $35 \sim 40 \text{ A/dm}^2$ ，电解液温度为 $65 \sim 75^\circ\text{C}$ 。

配置完后，电解液必须进行预处理。处理方法有以下两种。

第一种：把电解液在 $110 \sim 120^\circ\text{C}$ 温度下加热 $2 \sim 3 \text{ h}$ 。

第二种：采用铅板作阳极进行通电处理。阳极电流密度选用 $25 \sim 30 \text{ A/dm}^2$ ，处理到 $5 \text{ A} \cdot \text{h/L}$ 。

8.3.5 电解修磨与电解磨削

电解修磨加工是通过阳极溶解作用对金属进行腐蚀。工件为阳极，修磨工具即

磨头为阴极，两极由一低压直流电源供电，两极间通以电解液。为了防止两电极接触时形成短路，在磨头表面覆上一层起绝缘作用的金刚石磨粒。通电后，电解液在两极间流动时，工件表面被溶解并生成很薄的氧化膜，这层氧化膜被移动着的磨头上磨粒所刮除，在工件表面露出新的金属层，并继续被电解。由于电解作用和刮除氧化膜作用的交替进行，达到去除氧化膜和降低表面粗糙度值的目的。图 8-21 所示为电解修磨的原理图。

电解磨削的原理与电解修磨原理一样，都是结合电解作用和机械作用进行加工的。

8.3.6 照相腐蚀

模具型腔中，往往需要刻制有关铭牌商标、图案花纹以及文字手迹等。如果用手工雕刻，不但生产率低，劳动强度大，而且需要熟练技术。照相腐蚀就能较好地完成这个任务。照相腐蚀即为照相制版和化学腐蚀相结合的技术。即在模具型腔上均匀地喷涂上一层感光胶膜，胶膜经曝光后发生化学变化，感光后的胶膜非但不溶于水，而且还增强了耐蚀性，而未感光的胶膜能溶于水，经过水的清洗，该部分金属就裸露而无保护，在腐蚀液的侵蚀下，就获得了所刻蚀的花纹。

照相腐蚀的过程如下：

- 1) 型腔腐蚀面的清洗处理。模具设计时应考虑到制版的方便，因此最好是平面或规则圆弧面，必要时可作成嵌镶件，照相腐蚀后再装配。

型腔喷胶面的清洁处理十分重要，用汽油、苯或去污粉等洗去油污，用水冲洗干净，再经电炉烘烤至 50℃左右。

- 2) 喷胶。感光胶的配方为：聚乙烯醇 60g，加水 1000mL；重铬酸钾 10g，加水 100mL。配制时，先将聚乙烯醇的水溶液水浴蒸煮 2h，再加入重铬酸钾水溶液蒸煮 0.5h 即可。要避光保存，使用时可用压缩空气喷枪喷涂。

- 3) 贴上底片或透光图案纸。将事先准备好的底片或图案纸平整地贴附在型腔表面。必须注意的是欲腐蚀部分的图案花纹应是黑的，不透光的，而没有图案花纹的地方应是透光的。此工序完成得好坏以及和型腔表面贴附的情况，直接决定了以后腐蚀的质量。

- 4) 曝光。曝光可用碳弧灯、氙灯或其他光源。感光时要注意让型腔各处感光均匀。感光时间长短可根据实践而定。

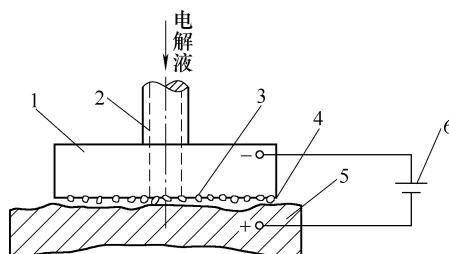


图 8-21 电解修磨原理图

1—修磨工具（阴极） 2—电解液管 3—磨料
4—电解液 5—工件（阳极） 6—电源

- 5) 显影及清洗。先将曝光后的型腔在50℃左右热水中浸几秒钟，观察其显影程度，然后用水清洗，使未感光的胶膜溶于水而除去。
- 6) 烘干及修版。将清洗后型腔低温烘干后进行修版。将图案模糊或膜皮脱落处用油墨填充好后用180℃的温度进行焙烘，使胶膜坚实和增加耐蚀性。
- 7) 腐蚀。腐蚀剂为三氯化铁水溶液。腐蚀方法可用浸蚀或喷射法等。
- 8) 将腐蚀好的型腔清洗、去胶，烘干后进行必要的钳工修整，整个照相腐蚀过程就完成了。

8.4 数控加工技术

数控机床是一种以数字信号控制机床运动及其加工过程的设备，简称为NC(Numerical Control)机床。它是随着电子计算机技术的发展，为解决多品种、单件小批量机械加工自动化问题而出现的。使用计算机代替数控机床专门的控制装置的数控机床称为计算机控制数控机床(Computer Numerical Control, CNC)。随着数控机床的进一步发展，产生了带有刀库和自动换刀装置的数控机床，即加工中心(Machining Center, MC)。工件在加工中心上一次装夹以后，能连续进行车、铣、钻、镗等多道工序加工。近年出现的直接数控技术(Direct Numerical Control, DNC)，是指用一台或多台计算机对多台数控机床实施综合控制。数控机床由于加工精度高、柔性好，在模具制造中应用日益广泛。

数控机床种类繁多，分类标准也不统一。按控制方式可以分为开环控制数控机床、半闭环控制和闭环控制机床。按机械运动轨迹分为点位控制机床、直线控制机床和轮廓控制机床。根据数控机床的控制联动坐标数的不同，有两坐标联动数控机床、三坐标联动数控机床和多坐标联动数控机床。在模具加工中常用的数控机床有数控铣床、数控电火花加工机床和加工中心等。

8.4.1 数控加工技术概述

1. 数控加工特点

- 1) 加工过程柔性好，适宜多品种、单件小批量加工和产品开发试制，对不同的复杂工件只需要重新编制加工程序，对机床的调整很少，加工适应性强。
- 2) 加工自动化程度高，减轻工人的劳动强度。
- 3) 加工零件的一致性好、质量稳定、加工精度高。机床的制造精度高、刚性好。加工时工序集中，一次装夹，不需要钳工划线。数控机床的定位精度和重复定位精度高，依照数控机床的不同档次，一般定位精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$ ，重复定位精度可达 $\pm 0.002\text{mm}$ 。
- 4) 可实现多坐标联动，加工其他设备难以加工的数学模型描述的复杂曲线或

曲面轮廓。

- 5) 应用计算机编制加工程序，便于实现模具的计算机辅助制造（CAM）。
- 6) 设备昂贵，投资大，对工人技术水平要求高。

正是由于这些特点，数控机床近年来广泛应用于模具加工。压铸模的型腔、型芯等成型零件不仅表面形状复杂，而且尺寸精度和表面质量要求较高，从数控机床的加工适应性角度看非常适合于在数控机床上加工。

2. 数控加工的工艺过程

数控加工基本过程可以概括为：首先分析零件图样，进行数控加工工艺性审查，然后按设计要求和加工条件制定数控加工工艺，并在此基础上编写加工程序，最后由数控机床加工零件，如图 8-22 所示。

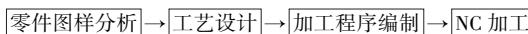


图 8-22 数控机床加工过程

数控加工与普通加工的最大差别在于控制方式上，所以两者的加工工艺设计存在很大的差别。在传统加工中，操作内容及其参数多数是由现场工人把握的，或者由靠模、凸轮等硬控制实现的；而数控加工的自动化程度高，自适应性差，加工过程的所有控制内容都严格地写入加工程序，因此数控工艺设计必须十分严格、明确和具体，并在加工代码中实现。数控加工工艺设计的质量不仅影响加工效率和质量，工艺设计不当甚至可能导致加工事故。

数控加工工艺设计的主要内容和步骤包括：

1) 工艺分析。对零件图样进行工艺性分析，审查数控加工的可行性和经济性；确定数控加工的加工对象和加工内容，在此基础上把零件的几何模型转化为工艺模型。

2) 工艺规划。根据所得到的工艺数据和加工条件，安排加工工艺路线和加工顺序，划分工序；进一步安排加工工序，选择定位方案和加工基准，选择刀具、夹具等工装设备，确定对刀点与换刀点、切削量等加工参数，选择测量方法。

3) 编写数控加工工艺技术文件。数控加工的工艺文件作为加工过程的参考说明和产品验收依据，包括数控加工工序卡、数控加工程序说明卡和走刀路线图等。

3. 数控编程

数控机床加工零件之前首先需要编制加工程序。工艺设计完成之后，按照数控系统规定的指令和程序格式及工艺设计过程所得到的全部工艺过程、工艺参数，编写加工程序。然后把加工程序通过一定的介质（如磁盘、电缆等）传给 NC 机床，由 NC 机床完成工件的加工。程序编制属于工艺规划内容，是在工艺分析和几何计算的基础上完成的。编程方法有手工编程和自动编程。

- 1) 早期的加工程序大多是采用手工编制的，是以数控指令编写的加工程序。

在手工编程中，工艺处理和几何计算都由人工完成。几何计算包括刀具轨迹计算、几何元素关系运算（如交点、切点、圆弧圆心等求解）、曲线、曲面逼近等。手工编程工作量大，对技术人员要求较高。主要用于处理一些不很复杂的零件加工程序。

2) 自动编程是借助于计算机来编制加工程序，所以又称为计算机辅助编程。自动编程方法有数控语言编程和图形编程两种形式。数控语言编程编写的程序称为源程序，与手工编写的加工代码不同，源程序不能直接控制数控机床，而是由几何定义语句、工艺参数语句和运动语句组成。数控源程序需要经过编译和后置处理转换成机床的控制指令。最有代表性的编程语言是美国开发的 APT，后来各国相继开发了多种数控语言，如 EXAPT、HAPT 及我国的 ZCK、SKC 等。

8.4.2 常用的数控加工方式

1. 数控铣削

数控铣床有两轴（两坐标联动）、两轴半和多轴等数控铣床。两轴铣床常用于加工平面类零件；两轴半铣床一般用于粗加工和二维轮廓的精加工；三轴及三轴以上的数控铣床称为多轴铣床，可以用于加工复杂的三维零件。按结构形式数控铣床可以分为三类：立式数控铣床、卧式数控铣床和龙门数控铣床。

在模具加工中，数控铣床使用非常广泛，可以用于加工具有复杂曲面及轮廓的型腔、型芯以及电火花加工所需的电极等，也可以对工件进行钻、扩、铰、镗孔加工和攻螺纹等。

另外，数控系统配备了数据采集功能后，可以通过传感器对工件或实物进行测量和采集所需的数据。有些系统能对实物进行扫描并自动处理扫描数据，然后生成数控加工程序，这在反求工程中具有重要的应用。

2. 加工中心加工

加工中心按结构形式分为立式加工中心、卧式加工中心和龙门加工中心等；按功能分为以镗为主的加工中心、以铣削为主的加工中心和高速铣削加工中心等。

加工中心主轴转速与进给速度高，一次装夹后通过自动换刀完成多个表面的自动加工，自动处理切屑，而且具有复合加工功能，所以加工效率高；另一方面，加工中心具有很高的定位精度和重复定位精度，可以达到很高的加工质量并具有较高的加工质量稳定性。

加工中心是机电一体化的高技术设备，投资大，运行成本高，所以选用适合的加工对象对取得良好的经济效益很重要。下列工件适于在加工中心上加工：

- 1) 多工序集约型工件，即一次安装后需要对多表面进行加工，或需要用多把刀具进行加工的工件。
- 2) 复杂、精度要求高的单件小批量工件。

3) 成组加工、重复生产型的工件。

4) 形状复杂的工件，如具有复杂形状或异形曲面的模具、航空零件等。

加工中心的这些特点非常适合于具有复杂型腔曲面模具单件生产。在模具加工中应用广泛，表现为以下几个方面：

1) 模板类零件的孔系加工。

2) 石墨电极加工中心，用于石墨电极的加工。

3) 模具型腔、型芯面的加工。

4) 文字、图案雕刻。

8.4.3 模具 CAM 技术

广义地说，模具计算机辅助制造（CAM）是利用计算机对模具制造全过程的规划、管理和控制。一般模具 CAM 技术包括计算机辅助编程、数控加工、计算机辅助工艺设计（CAPP）、模具辅助生产管理等。这里 CAM 仅指计算机辅助编程。

模具 CAM 系统充分利用 CAD 中已经建立的零件几何信息，通过人工或自动输入工艺信息，由软件系统生成 NC 代码，并对加工过程进行动态仿真，最后在 NC 机床上完成零件的加工。现在的 CAM 软件大多具有如下特点与功能：

1) 从 CAD 中获得零件的几何信息。CAM 系统通过人机交互的方式或自动提取 CAD 信息，这点既不同于手工编程的人工计算，又不需要用数控语言的语句来描述零件。多数系统都能把 CAD 与 CAM 很好的集成。

2) 数控加工的前置处理，即把零件模型转换成加工所需的工艺模型。

3) 生成各种加工方法的刀具轨迹，选择刀具、工艺参数，计算切削时间等。

4) 根据刀具轨迹文件生成数控机床的数控程序。

5) 对加工过程进行仿真，预先检验加工过程。

6) 编辑管理 NC 程序，实现 CAM 软件与 NC 设备的通信。

目前，国内比较著名的 CAM 软件有北航海尔的 CAXA 系列、广州红地公司的金银花系列，国外的有英国 Delcam 公司的 PowerMILL、以色列 Cimatron 公司的 Cimatron 软件、法国 Dassault 公司的 CATIA、美国 CNC software 公司的 MasterCAM、美国 EDS 公司的 UNIGRAPHICS (UG)、美国 PTC 公司的 Pro/Engineer 和 Manusoft 公司的 SolidWorks 等软件。

8.4.4 高速切削技术

高速加工（High Speed Machine，主要指高速切削加工）是指使用超硬材料刀具，在高转速、高进给速度下提高加工效率和加工质量的现代加工技术。由于这种加工方法可以高效率地加工出高精度及高表面质量的零件，因此在模具加工中得到广泛的应用。

1. 高速切削的定义

目前，高速切削没有一个统一的定义。对于不同的加工方式、不同的工件材料，高速切削的速度是不同的。通常高速切削的切削速度是指比常规切削速度高出5~10倍以上。一般认为主轴转速达到8000r/min以上、最大进给速度在30m/min以上的切削加工定义为高速加工。

2. 高速切削的应用

高速切削时，刀具高速旋转，而轴向、径向切入量小，大量的切削热量被高速离去的切屑带走。因此切削温度及切削力会减少，刀具的磨损小也使得加工精度进一步地提高。在高速加工中加入高压的切削液或压缩空气，不仅可以冷却，而且可以将切屑排除加工表面，避免刀具的损坏。因而，高速加工具有加工效率高、加工质量高、刀具磨损小的特点。

如今，各种商业化高速机床已经进入市场，应用于飞机、汽车及模具制造。

模具型腔一般是形状复杂的自由曲面、材料硬度高。常规的加工方法是粗切削加工后进行热处理，然后进行磨削或电火花放电精加工，最后手工打磨、抛光，这样使得加工周期很长。高速切削加工可以达到模具加工的精度要求，减少甚至取消了手工加工。而且采用新型刀具材料（如PCD、CBN、金属陶瓷等），高速切削可以加工硬度达到60HRC，甚至硬度更高的工件材料，可以加工淬硬后的模具。高速铣削加工在模具制造中具有高效、高精度以及可加工高硬材料的优点，在模具加工中得到广泛的应用。高速切削加工技术引进模具，主要应用于以下几个方面：

1) 淬硬模具型腔的直接加工。由于高速切削采用极高的切削速度和超硬刀具，可直接加工淬硬材料，因此高速切削可以在某些情况下取代电火花型腔加工。与电火花加工相比，加工质量和加工效率都不逊色，甚至更优，而且省略了电极的制造。

2) 电火花加工用电极的制造。应用高速切削技术加工电极可以获得很高的表面质量和精度，并且提高电火花的加工效率。

3) 快速模具的制造。由于高速切削技术具有很高的加工效率，可以实现由模具型腔的三维实体模型到满足设计要求的模具的快速转化，真正实现快速制模。

8.5 模具表面技术

模具表面技术包括表面强化、表面修复、型腔表面光整加工技术和表面纹饰加工技术。

模具表面技术的应用越来越广泛，其作用主要如下：

1) 提高模具型腔表面硬度、耐磨性、耐蚀性和抗高温氧化性能，大幅度提高模具的使用寿命。

- 2) 提高脱模能力，从而提高生产率。
- 3) 用于模具型面的修复。
- 4) 用于模具型腔表面的纹饰加工，以提高铸件的档次和附加值。

8.5.1 表面强化技术

可用于模具制造的表面强化和修复技术包括表面淬火技术、热扩渗技术、堆焊技术和电镀硬铬技术、电火花表面强化技术、激光表面强化技术、物理气相沉积技术（PVD）、化学气相沉积技术（CVD）、离子注入技术、热喷涂技术、热喷焊技术、复合电镀技术、复合电刷镀技术和化学镀技术等。

1. 热扩渗技术

热扩渗技术又称化学热处理技术，是指用加热扩散的方式把 C、N、Si、B、Al、V、Ti、W、Nb、S 等一元或多元非金属或金属元素渗入模具的表面，从而形成表面合金层的工艺。其突出特点是扩渗层与基材之间是靠形成合金来结合的，具有很高的结合强度。模具表面强化中常用的扩渗元素有碳和氮。

渗碳具有渗速快、渗层深、渗层硬度梯度与成分梯度可方便控制、成本低等特点，能有效地提高材料的室温表面硬度、耐磨性和疲劳强度等。渗氮层的硬度高（950~1200HV），耐磨性、疲劳强度、热硬性及抗咬合性均优于渗碳层。由于渗氮温度低（一般为 480~600℃），工件变形很小，尤其适用于一些精密模具的表面强化。

2. 气相沉积技术

气相沉积技术是一种利用气相物质中的某些化学、物理过程，将高熔点、高硬度金属及其碳化物、氮化物、硼化物、硅化物和氧化物等性能特殊的稳定化合物沉积在模具工作零件表面上，形成与基体材料结合力很强的硬质沉积层，从而使模具表面获得优异力学性能的技术。根据沉积层形成机理的不同，气相沉积分为：物理气相沉积、化学气相沉积、等离子体化学气相沉积三大类。

(1) 物理气相沉积（PVD） 在真空条件下，以各种物理方法产生的原子或分子沉积在基材上，形成薄膜或沉积层的过程称为物理气相沉积。PVD 法主要特点是沉积温度低于 600℃，它可在工具钢和模具钢的高温回火温度以下进行表面处理，故变形小，最适合于精密模具。但是 PVD 法不适用于沉积深孔及窄的沟槽，此外不能对有氧化腐蚀、变质层的零件进行沉积。按照沉积时物理机制的差别分为真空蒸镀（VE）、真空溅射（VS）和离子镀（IP）三种类型。其中，采用多弧离子镀膜方法镀覆 TiN、TiC 耐磨层技术已在模具表面强化方面取得了广泛的生产应用。

(2) 化学气相沉积（CVD） 化学气相沉积是采用含有膜层中各元素的挥发性化合物或单质蒸气在热基体表面产生气相化学反应，反应产物形成沉积层的一种表面技术。其特点是 CVD 处理沉积层的组织中存在扩散层过渡区，沉积层与基体的

结合力高，模具不会产生剥落、崩块等问题。对于深孔型及复杂型腔的模具，使用CVD处理较PVD处理更易形成沉积层。但是由于CVD法是在800~1200℃的高温下进行，工件易变形，出现脱碳现象，易形成残留奥氏体，性能下降；经CVD处理的模具一般还需要在真空炉中重新淬火。

(3) 等离子体化学气相沉积 (PCVD) 等离子体化学气相沉积技术是在化学气相沉积和物理气相沉积基础上发展起来的，兼有CVD的良好绕镀性及PVD的低温成膜的优点。在模具上用PCVD法沉积NiCN、TiCN、TiC等结合力高，模具使用性能良好，可以提高模具使用寿命。PCVD可适用于形状复杂的精密模具表面强化，而且还可以用于表面修复。

3. 电镀与化学镀

(1) 电镀 利用电镀技术，在模具表面镀覆一层具有特殊性能的金属材料(常用Ni或Cr)，可以提高模具的耐磨性、耐蚀性和表面硬度。这种表面处理技术工艺简单，成本低。镀Ni层硬度可在150~600HV之间，镀Cr层硬度可在400~1200HV之间。

近年来，为了提高复合镀层的耐磨性，采取了如下措施：采用合金镀层，包括Ni-Co、Ni-Mn、Ni-Fe、Ni-P镀层等，代替单金属镀层，能够较大幅度地提高模具表面的硬度。采用聚四氟乙烯(PTFE)作为共沉积微粒制备的Ni-PTFE复合镀层常用于压铸模和橡胶模的脱模镀层。

(2) 化学镀 化学镀的均镀能力强，由于没有外电源、电流密度的影响，镀层可在形状复杂的模具型腔基材表面均匀沉积。特别是化学镀Ni-P层，其硬度可达1000HV，已接近一些硬质合金的硬度，而且具有相当高的耐磨性和耐蚀性。化学镀Ni-P比电镀Cr对PVC腐蚀模具现象具有更好的防护作用。

4. 激光表面强化技术

激光能量密度极高，对材料表面进行加热时，加热速度极快，整个基体的温度在加热过程中基本不受影响。这样对工件的形状、性能等也不会产生影响。激光材料表面强化技术主要有激光相变硬化(LTH)、激光表面合金化(LSA)、激光表面熔覆(LSC)三种。如利用激光表面熔覆(LSC)技术，在聚乙烯造粒模具上熔覆Co包WC或Ni基合金涂层等，可以降低模具型腔表面粗糙度值，减小型腔的磨损。

8.5.2 表面纹饰加工

塑件表面纹饰可以通过模具型腔纹饰得到，如文字、图案、亚光面、各种纹理花纹等。模具型腔纹饰加工方法有机械加工、电火花加工、电铸及化学加工等。

1. 数控雕刻机

精度要求不高的模具型腔花纹可由手工或者刻模铣削雕刻完成。随着计算机技

术的发展，尤其是 CNC 技术的发展，近年来数控雕刻机应用日益普遍。数控雕刻机雕刻精细产品的效率高，可以进行产品曲面、复杂花纹雕刻，并具有与计算机设计技术的接口，这些优点使得它在模具型腔复杂图饰、三维浮雕雕刻、电极雕刻等方面取得了广泛的应用。

数控雕刻系统由雕刻 CAD/CAM 软件和雕刻机组成。在模具数控雕刻中，既要保证其型腔成型的尺寸精度，又必须满足图案复杂的外形要求，因此雕刻数控加工工艺和控制技术与普通数控差异较大。必须使用高速小刀具进行精雕细刻，并采用高速铣削技术（HSM）和 CNC 雕刻独有的等量切削技术。雕刻时，刀具以很高的转速旋转并保持较高的旋转精度，从而减少了振动和跳动断刀。CAD/CAM 软件是数控雕刻的核心。雕刻 CAD/CAM 软件应具有强大的图形、图像设计编辑和造型设计功能，能够按区域雕刻或轮廓雕刻自动生成加工路径，输出相应的 G 代码，指挥雕刻机进行各种加工。如有些 CNC 雕刻机的软件在扫描仪上将平面图输入后，根据图像的颜色或灰度能自动生成雕刻深度、曲面特性和刀具轨迹，或者直接对数码相机的实物图片进行预处理，加工出凸凹的浮雕图案。CAM 能进行雕刻加工仿真，也就是刀具路径模拟，可以模拟实际的加工环境和刀具运动路线。

2. 模腔表面纹饰蚀刻工艺

(1) 光化学蚀刻法 模腔表面纹饰光化学蚀刻的原理是把所需的图形用照相法精确地缩到照相底片上，底片上的图案经过曝光、显影等光化学反应，复制到涂有感光胶的模腔表面，然后进行坚膜固化处理，使感光胶具有较高的耐蚀性，最后对型腔表面进行化学腐蚀，即可得到型腔图案。这种方法具有成形复杂图形、精度高、不需要专门设备等优点，但同时也存在着诸如工序繁琐、加工速度慢、生产周期长、工作环境苛刻、能量和材料消耗大及沿保护层下严重的侧向腐蚀等缺点。工艺过程如图 8-23 所示。

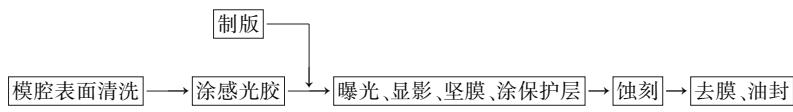


图 8-23 纹饰蚀刻工艺过程

(2) 电化学蚀刻法 电化学蚀刻法使用与光化学相同的方法制作耐蚀膜，以丝网印刷技术取代照相制版技术来制作图纹掩膜，以电化学加工手段取代化学腐蚀手段来蚀刻图纹。这种蚀刻方法蚀刻速度快，容易成形较深的图纹，但需要辅助电极和专门设备。

8.5.3 光整加工技术

模具常用的光整加工工艺方法有刮削、研磨和抛光，目前主要还是由钳工手工

来操作。各种光整加工方法不受工件的大小和形状的限制，加工的精度高，表面可以达到镜面要求。当一般的机床无法满足加工要求时，都要进行光整加工，但是光整加工效率低，劳动强度大。表 8-17 给出了三种光整加工方法的比较。

表 8-17 光整加工工艺

加工方法	精度与加工余量	加工设备与用具	应用范围
刮削	尺寸精度 IT4 ~ IT6 表面粗糙度 Ra 为 $0.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 加工层厚 $0.05 \sim 0.4 \text{ mm}$	校准工具：校准平板、校准直尺、角度角尺、专用校准型板、芯棒、显示剂、刮刀	分型面、锁紧面、型孔加工
研磨	尺寸精度 $0.001 \sim 0.005 \text{ mm}$ 表面粗糙度 Ra 为 $0.012 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 加工层厚 $0.005 \sim 0.03 \text{ mm}$	研具：研磨平板、研磨环、研磨棒 研磨剂：氧化物、碳化物或金刚石磨料、有机油、硬脂酸等	导柱、导套、滑块、导滑槽等加工
抛光	尺寸精度小于 $1 \mu\text{m}$ 表面粗糙度 Ra 为 $0.008 \sim 0.025 \mu\text{m}$ 加工层厚 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ （公差范围内）	手持抛光机、磨石、砂纸、抛光膏	模具型腔、型芯等加工

1. 刮削

刮削是用刮刀去除工件表面金属薄层。刮削时，将工件与校准工具或与之配合的工件涂上一层显示剂，经过对研，使工件凸起的部位显出来，然后用刮刀进行微量去除。刮削主要是利用刮刀的机械切除作用，同时还有刮刀的推挤和压光作用。刮削不受加工对象和装夹的限制，刃具磨损和夹具误差都不影响加工精度。通过刮削可以获得很高的尺寸精度、形状和位置精度以及接触精度。

2. 研磨

研磨是用研磨工具和研磨剂从工件上研除一层极薄表面金属，从而对工件进行光整加工。研磨过程包含了物理和化学作用。由于研具和工件之间的相对运动，使磨粒在工件表面产生微量切除，即研磨的物理作用。化学作用是由于研磨液中的氧化铬、硬脂酸等与空气接触后在工件表面形成容易脱落的氧化膜，研磨时氧化膜不断地脱落，又不断地形成，如此反复，加快了研磨切除。

3. 抛光

模具抛光是模具加工的一道重要工序，其目的是加工表面质量要求很高的模具型腔表面，从而保证塑件能顺利地脱模且具有优良的表面质量，或为另一工序例如蚀刻或镀层作准备。抛光与研磨的原理相同，是一种超精研磨。抛光的方法有机械抛光、电解抛光、超声波抛光、胶体挤压抛光及复合抛光等。机械抛光和砂光是通过手工或抛光机床利用砂轮抛头、砂纸、磨石等来抛光模具型腔的。模具表面抛光不单受抛光设备和工艺技术的影响，还受模具材料镜面度的影响，也就是说，抛光

本身受模具材料的制约。例如，用45钢制作压铸模具型腔时，抛光至 R_a 为 $0.2\mu\text{m}$ 时，肉眼可见明显的缺陷，继续抛下去只能增加光亮度，而表面粗糙度已不能改善，故生产表面质量要求高的铸件的模具需要选用专门的抛光性能符合要求的模具材料，即镜面钢材。

8.6 用模具制造模具法

用模具制造模具法是通过模具在压力设备上对金属材料进行成形加工，从而获得合乎要求的工件。用模具制造模具法除了锻造外，还有冷挤压、低压铸造、精密铸造等。

8.6.1 冷挤压

型腔冷挤压成形是在室温下，利用装在压力机上的机头——凸模，以很大的压力（挤压钢时可达 2GPa 以上）挤入模坯，使模坯产生塑性变形，从而形成和冲头的形状及大小一致的凹穴，再经适当的切削加工修整，就成为所需的型腔。

根据挤压时模坯材料的流动情况，型腔冷挤压可分为封闭式和敞开式两种。封闭式型腔冷挤压（见图8-24）是将模坯放在一个模套内。在挤压过程中，由于受到模套的限制，金属只能沿轴线方向上流动，所以可以获得比较精确的型腔形状。

敞开式型腔冷挤压见图8-25。模坯外面没有模套，因此，坯料金属的流动较为自由，不但沿轴线方向变形，也沿径向变形。结果使坯料产生翘曲，所获得的型腔精度较封闭式的低。但由于变形阻力较小，因此所需的挤压力也就比封闭式的要小。如果加大坯料的直径，使 D/d 大于6，则外层的坯料相当于模套的作用，这时型腔的精度可以提高，但所需的挤压力也就相应增加，而坯料浪费的材料也多。因此，敞开式型腔冷挤压不如封闭式用得普遍，只有在挤压要求不高的浅型腔或多型腔时采用。

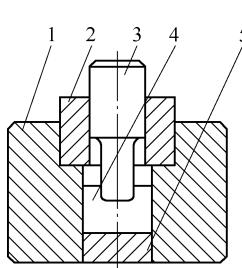


图 8-24 封闭式型腔冷挤压
1—模套 2—导向套 3—凸模 4—模坯 5—垫板

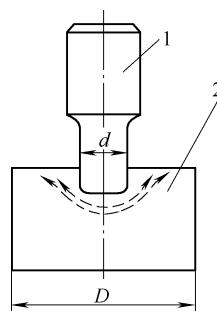


图 8-25 敞开式型腔冷挤压
1—凸模 2—模坯

型腔冷挤压工艺，具有以下优点：

1) 由于凸模的加工比凹模方便，所以冷挤压可以制造难以用机械加工方法成形的复杂型腔，并且提高了生产率。尤其在多腔模情况下，生产率的提高就更显著。型腔的形状越复杂，其优越性也就越大。

2) 工件精度较高，表面光整，精度可达 IT7 ~ IT8 或更高，表面粗糙度值 R_a 可达 $0.08 \sim 0.32 \mu\text{m}$ ，主要由凸模的精度和表面粗糙度来决定。

3) 冷挤压可使模坯的金属组织更为致密，硬度和耐磨性亦有所提高。目前，冷挤压工艺应用于各种有色金属和低碳钢、中碳钢以及部分塑性较好的工具钢。

8.6.2 低压铸造

低压铸造是利用压缩空气的压力，将液态金属平稳地自下而上地压入铸型，并在一定的压力下使其凝固而获得铸件的铸造方法，如图 8-26 所示。由于作用在液面上的压力一般不超过 250kPa ，远远低于压铸时的压力，因而称为低压铸造。

低压铸铝和一般的铸铝方法相比，具有以下优点：

1) 由于金属液是自下而上平稳地充模，因此大大减少了一般浇注时金属液冲刷铸型和飞溅的现象，从而减少了氧化、夹杂以及产生气孔等缺陷。

2) 由于是在压力下凝固和结晶的，并且易于实现顺序凝固，所以有利于补缩，铸件的致密性较好，不但可以缩小浇注系统的尺寸，提高金属利用率，而且更为重要的是提高了铸件的力学性能。据统计，低压铸造和条件相同的自由浇注相比较，强度和硬度可提高 10% 左右。

3) 提高了金属的流动性，有利于得到轮廓清晰和形状复杂的薄壁铸件，并且尺寸精度也较高。

与压铸相比较，低压铸造的设备较为简单，而且不需要昂贵的高级模具钢。此外，压铸件存在皮下气孔，铸件重量和投影面积也都受到限制。

与自由浇注及压铸相比，低压铸造也有不及之处。与自由浇注相比，低压铸造总需一定的设备以及掌握必需的技能。与压铸相比，低压铸铝的生产率较低，铸件的精度要差些，表面粗糙度值要高些。

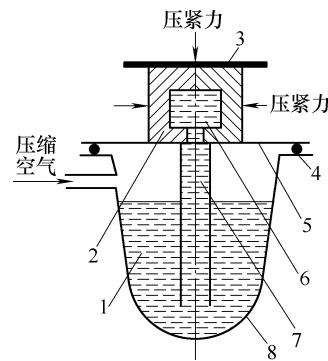


图 8-26 低压铸铝图

- 1—坩埚中铝液 2—铸型
- 3—压板 4—密封圈
- 5—盖板 6—型腔
- 7—升液管 8—坩埚

8.6.3 精密铸造

精密铸造是采用特殊的造型方法，以获得尺寸精度较高、表面粗糙度值较低的铸件，因此可以用来制造模具的型腔毛坯。精密铸造的方法很多，根据模具制造为单件或小批生产的特点，目前国内研究和应用较多的有以下三种方法，即熔模铸造、陶瓷型铸造以及壳型铸造。由于精密铸造提高了精度，减少了加工余量，节约了金属，使加工周期缩短，因此成本也相应降低。在单件小批生产情况下，精密铸造不需要复杂的设备，在原有铸造生产的基础上，只需改变造型材料和制造方法，因此很容易掌握。

1. 熔模铸造

熔模铸造是利用低熔点的蜡料制成与所需铸件形状一致的蜡模，然后在蜡模表面用耐火材料制壳并使其硬化，制壳后将蜡模熔去，因而获得中空的模壳，模壳经高温焙烧后即可浇注，待金属凝固冷却后敲去模壳，即可获得所需的铸件。熔模铸造的工艺过程如图 8-27 所示。

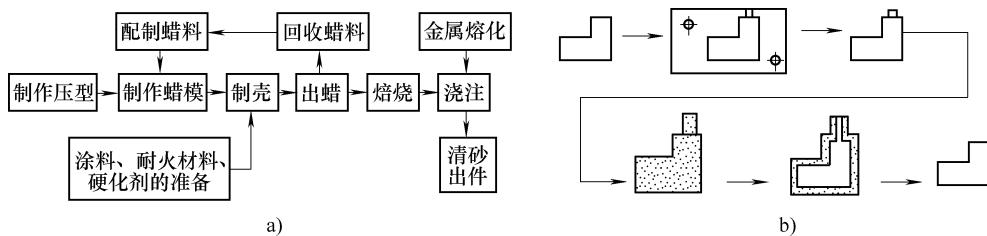


图 8-27 熔模铸造的工艺过程

a) 流程图 b) 工艺图

熔模铸造的最大特点是蜡模在制壳时没有分型面，并且不需要起模，所以避免因分型、起模而带来的困难和造成的尺寸误差，可以获得较高的精度。制件的形状越复杂，此优点就越突出。目前熔模铸造的精度可达 IT8 ~ IT13，表面粗糙度值 R_a 可达 $1.6 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。

熔模铸造的缺点为工艺过程和生产周期较长，并且由于蜡模的强度较低，铸件越大，蜡模就越容易变形而影响精度，因此铸件重量受到限制。目前熔模铸造的铸钢件重量，小的只有几克，绝大多数铸钢件的重量在 10kg 以下。

2. 陶瓷型铸造

陶瓷型铸造是把由耐火材料和粘结剂等配制而成的陶瓷浆料浇到母模上，在催化剂的作用下，陶瓷浆结胶硬化而形成陶瓷层，然后再经过起模、喷烧和焙烧等工

序，就形成了耐火度、尺寸精度较高及表面粗糙度值较低的精密铸型，再经过合箱、浇注和清砂出件，就可获得所需的铸件。陶瓷型精密铸造的工艺过程如图 8-28 所示。

与熔模铸造相比，陶瓷型铸造的最大特点是可以铸造重型零件，目前大的已达 4~5t。其精度为 IT11~IT13，表面粗糙度值 R_a 可达 3.2~6.3 μm 。陶瓷型铸造的缺点主要是陶瓷浆的原料——刚玉粉和硅酸乙酯价格较贵而且来源较少，操作工序也较多。

3. 壳型铸造

壳型铸造是用合成树脂作为粘结剂，硅砂为耐火材料配制成的型砂来造型，由于树脂砂的强度很高，铸型厚度只需 10mm 左右，同时铸型又具有很高的尺寸精度和很低的表面粗糙度值，因此这种方法称为壳型精密铸造或薄壳精密铸造，其工艺过程如图 8-29 所示。

由图 8-29 可知，壳型铸造的工序比熔模铸造和陶瓷型铸造简单，生产周期短。

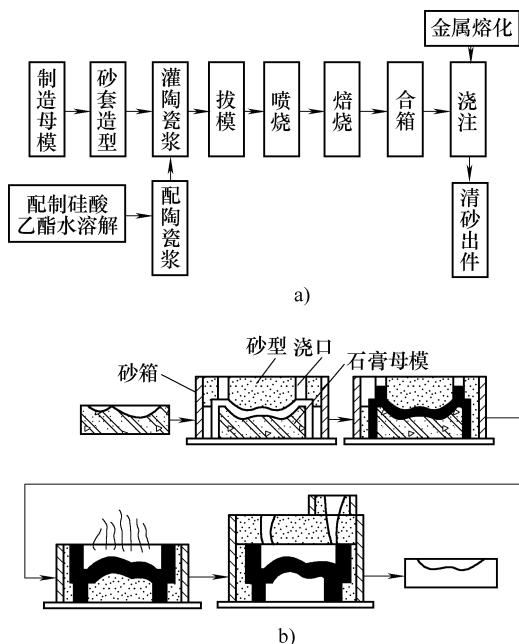


图 8-28 陶瓷型铸造的工艺过程

a) 流程图 b) 工艺图

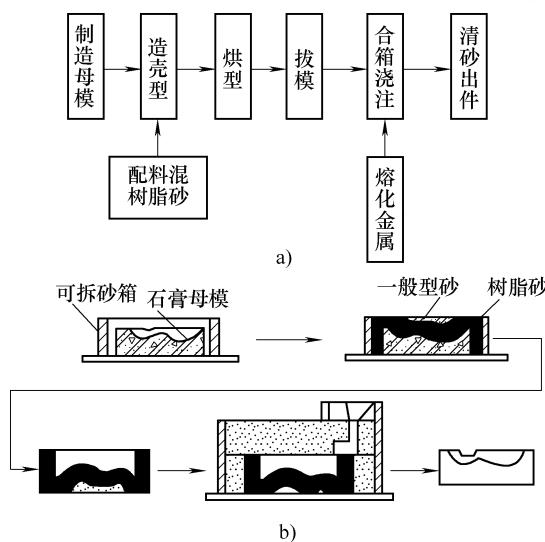


图 8-29 壳型铸造的工艺过程

a) 流程图 b) 工艺图

壳型铸造既适用于大批量生产，在流水线上，几分钟就可造好一个型，也适用于单件小批生产，这时只需简单的混砂机和烘箱即可。壳型铸造的精度和陶瓷型铸造近似，为 IT10 ~ IT13 级，表面粗糙度值 R_a 可达 $3.2\mu\text{m}$ ，铸件重量目前可达几百公斤，常用于 30kg 以下的铸件。壳型铸造还有一个优点，就是壳型强度高而质量轻，便于运输和保存。

8.7 快速制模技术

随着科学技术的进步，市场竞争日趋激烈，产品更新换代周期越来越短，因此，缩短新产品的开发周期，降低开发成本，是每个制造厂商面临的亟待解决的问题，对模具快速制造的要求便应运而生。

快速制模技术包括传统的快速制模技术（如低熔点合金模具、电铸模具等）和以快速成形技术（Rapid Prototyping, RP）为基础的快速制模技术。

8.7.1 快速成形技术的基本原理与特点

快速成形技术的具体工艺方法很多，但其基本原理都是一致的，即以材料添加法为基本方法，将三维 CAD 模型快速（相对机加工而言）转变为由具体物质构成的三维实体原型。首先在 CAD 造型系统中获得一个三维 CAD 模型，或通过测量仪器测取实体的形状尺寸，转化为 CAD 模型，再对模型数据进行处理，沿某一方向进行平面“分层”离散化，然后通过专用的 CAM 系统（成形机）对坯料分层成形加工，并堆积成原型。

快速成形技术开辟了不用任何刀具而迅速制造各类零件的途径，并为用常规方法不能或难于制造的零件或模型提供了一种新的制造手段。它在航天航空、汽车外形设计、轻工产品设计、人体器官制造、建筑美工设计、模具设计制造等技术领域已展现出良好的应用前景。归纳起来，快速成形技术有如下应用特点：

1) 由于快速成形技术采用将三维形体转化为二维平面分层制造机理，对工件的几何构成复杂性不敏感，因而能制造复杂的零件，充分体现设计细节，并能直接制造复合材料零件。

2) 快速制造模具

- ①能借助电铸、电弧喷涂等技术，由压铸件制造金属模具。
- ②将快速制造的原型当作消失模（也可通过原型翻制制造消失模的母模，用于批量制造消失模），进行精密铸造。
- ③快速制造高精度的复杂母模，进一步浇铸金属件。
- ④通过原型制造石墨电极，然后由石墨电极加工出模具型腔。
- ⑤直接加工出陶瓷型壳进行精密铸造。

3) 在新产品开发中的应用, 通过原型 (物理模型), 设计者可以很快地评估一次设计的可行性并充分表达其构思。

①外形设计。虽然 CAD 造型系统能从各个方向观察产品的设计模型, 但无论如何也比不上由 RP 所得原型的直观性和可视性, 对复杂形体尤其如此。制造商可用概念成形的样件作为产品销售的宣传工具, 即采用 RP 原型, 可以迅速地让用户对其开发的新产品进行比较评价, 确定最优外观。

②检验设计质量。以模具制造为例, 传统的方法是根据几何造型在数控机床上开模, 这对昂贵的复杂模具而言, 风险太大, 设计上的任何不慎, 就可能造成不可挽回的损失。采用 RPM 技术, 可在开模前精确地制造出将要压铸成型的零件, 设计上的各种细微问题和错误都能在模型上一目了然, 大大减少了盲目开模的风险。RP 制造的模型又可作为数控仿形铣床的靠模。

③功能检测。利用原型快速进行不同设计的功能测试, 优化产品设计。如风扇等的设计, 可获得最佳扇叶曲面、最低噪声的结构。

4) 快速成形过程是高度自动化, 长时间连续进行的, 操作简单, 可以做到昼夜无人看管, 一次开机, 可自动完成整个工件的加工。

5) 快速成形技术的制造过程不需要工装模具的投入, 其成本只与成形机的运行费、材料费及操作者工资有关, 与产品的批量无关, 很适宜于单件、小批量及特殊、新试制品的制造。

6) 快速造型中的反向工程具有广泛的应用。激光三维扫描仪、自动断层扫描仪等多种测量设备能迅速高精度地测量物体内外轮廓, 并将其转化成 CAD 模型数据, 进行 RP 加工。

8.7.2 快速成形技术的典型方法

1. 光固化立体成形

光固化立体成形 (Stereo Lithography Apparatus, SLA) 的工作原理如图 8-30 所示。在液槽中盛满液态光敏树脂, 该树脂可在紫外线照射下快速固化。开始时, 可升降的工作台处于液面下一个截面层 (CAD 模型离散化合的截面层) 厚的高度, 聚焦后的激光束, 在计算机的控制下, 在截面轮廓范围内, 对液态树脂逐点进行扫描, 使被扫描区域的树脂固化, 从而得到该截面轮廓的塑料薄片。然后, 升降机构带动工作台下降一层薄片的高度, 已固化的塑料薄片就被一层新的液态树脂覆盖, 以便进行第二层激光扫描固化, 新固化的层牢固地粘结在前一层上, 如此重复直到整个模型成形完毕。一般截面薄片的厚度为 0.07 ~

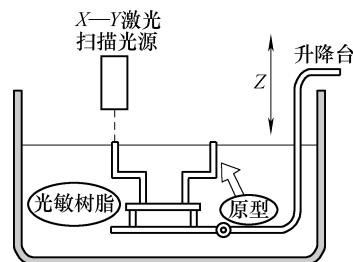


图 8-30 光固化立体成形示意图

0.4mm。

工件从液槽中取出后还要进行后固化，工作台上升到容器上部，排掉剩余树脂，从 SLA 机取走工作台和工件，用溶剂清除多余树脂，然后将工件放入后固化装置，经过一段时间紫外线曝光后，工件完全固化。固化时间由零件的几何形状、尺寸和树脂特性确定，大多数零件的固化时间不小于 30min。从工作台上取下工件，去掉支撑结构，进行打光、电镀、喷漆或着色即成。

此外线可以由 HeCd 激光器或者 UV argon-ion 激光器产生。激光的扫描速度可由计算机自动调整，以使不同的固化深度有足够的曝光量。X—Y 扫描仪的反射镜控制激光束的最终落点，并可提供矢量扫描方式。

SLA 是第一种投入商业应用的 RPM 技术。其特点是技术日臻成熟，能制造精细的零件，尺寸精度较高，可确保工件的尺寸精度在 0.1mm 以内；表面质量好，工件的最上层表面很光滑；可直接制造塑料件，产品为透明体。不足之处有：设备昂贵，运行费用很高；可选的材料种类有限，必须是光敏树脂；工件成形过程中不可避免地使聚合物收缩产生内部应力，从而引起工件翘曲和其他变形；需要设计工件的支撑结构，确保在成形过程中工件的每一结构部位都能可靠定位。

2. 叠层实体制造

叠层实体制造（Laminated Object Manufacturing, LOM）是近年来发展起来的又一种快速成形技术，它通过对原料纸进行层合与激光切割来形成零件，如图 8-31 所示。LOM 工艺先将单面涂有热熔胶的胶纸带通过加热辊加热加压，与先前已形成的实体粘结（层合）在一起，此时，位于其上方的激光器按照分层 CAD 模型所获得的数据，将一层纸切割成所制零件的内外轮廓。轮廓以外不需要的区域，则用激光切割成小方块（废料），这些小方块在成形过程中可以起支撑和固定作用。该层切割完后，工作台下降一个纸厚的高度，然后新的一层纸再平铺在刚成形的面上，通过热压装置将它与下面已切割层粘合在一起，激光束再次进行切割。经过多次循环工作，最后形成由许多小废料块包围的三维原型零件。然后取出原型，将多余的废料块剔除，就可以获得三维产品。胶纸片的厚度一般为 0.07 ~ 0.15mm。由于 LOM 工艺无需激光扫描整个模型截面，只要切出内外轮廓即可，因此，制模的时间取决于零件的尺寸和复杂程度，成形速度比较快，制成模型后用聚氨酯喷

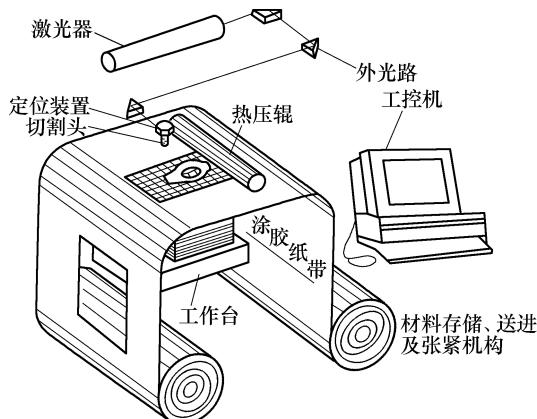


图 8-31 叠层实体制造原理图

涂即可使用。

LOM 的优点如下：

- 1) 设备价格低廉（与 SLA 相比），采用小功率 CO₂ 激光器，不仅成本低廉，而且使用寿命也长，造型材料成本低。
- 2) 造型材料一般是涂有热熔树脂及添加剂的纸，制造过程中无相变，精度高，几乎不存在收缩和翘曲变形，原型强度和刚度高，几何尺寸稳定性好，可用常规木材加工的方法对表面进行抛光。
- 3) 采用 SLA 方法制造原型，需对整个截面扫描才能使树脂固化，而 LOM 方法只需切割截面轮廓，成形速度快，原型制造时间短。
- 4) 无需设计和构建支撑结构。
- 5) 能制造大尺寸零件，工业应用面广。
- 6) 代替蜡材，烧制时不膨胀，便于熔模铸造。

该方法也存在如下一些不足：

- 1) 可供应用的原材料种类较少，尽管可选用若干原材料，如纸、塑料、陶土以及合成材料，但目前常用的只是纸，其他箔材尚在研制中。
- 2) 纸质零件很容易吸潮，必须立即进行后处理、上漆。
- 3) 难以制造精细形状的零件，即仅限于结构简单的零件。
- 4) 由于难以去除里面的废料，该工艺不宜制造内部结构复杂的零件。

3. 选择性激光烧结

选择性激光烧结 (Selected Laser Sintering, SLS) 采用 CO₂ 激光器对粉末材料 (塑料粉、陶瓷与粘结剂的混合粉、金属与粘结剂的混合粉等) 进行选择性烧结，是一种由离散点一层堆积成三维实体的工艺方法，如图 8-32 所示。

选择性激光烧结在开始加工之前，先将充有氮气的工作室升温，并保持在粉末的熔点以下。成形时，送料筒上升，铺粉滚筒移动，先在工作台上均匀地铺上一层很薄的 (100 ~ 200 μm) 粉末材料，然后，激光束在计算机的控制下按照 CAD 模型离散后的截面轮廓对工件实体部分所在的粉末进行烧结，使粉末熔化继而形成一层固体轮廓。一层烧结完成后，工作台下降一层截面的高度，再铺上一层粉末进行烧结，如此循环，直至整个工件完成为止。最后经过 5 ~ 10 h 冷却，即可从粉末缸中取出零件。未经烧结的粉末能承托正在烧结的工件，当烧

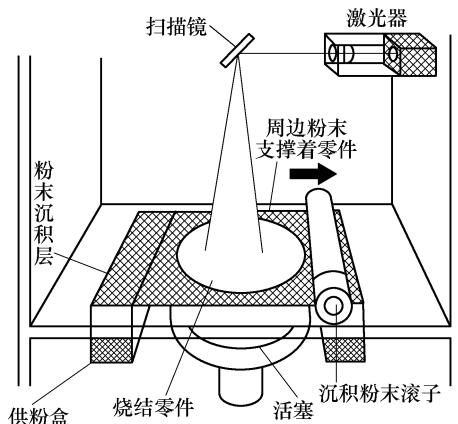


图 8-32 选择性激光烧结原理图

结工序完成后，取出零件，未经烧结的粉末基本可自动脱落（必要时可用低压压缩空气清理），并重复利用。

SLS 与其他快速成形工艺相比，能制造很硬的零件；可以采用多种原料，如绝大多数工程用塑料、蜡、金属和陶瓷等；无需设计和构建支撑结构。

SLS 的缺点是预热和冷却时间长，总的成形周期长；零件表面粗糙度的高低受粉末颗粒及激光点大小的限制；零件的表面一般是多孔性的，后处理较为复杂。

选择性激光烧结工艺适合成形中小型零件，零件的翘曲变形比液态光固化立体成形工艺要小，适合于产品设计的可视化表现和制造功能测试零件。由于它可采用各种不同成分金属粉末进行烧结，进行渗铜后置处理，因而其制成的产品具有与金属零件相近的力学性能，故可用于制造 EDM 电极、金属模具及小批量零件生产。

4. 熔丝堆积成形

熔丝堆积成形（Fused Deposition Modeling, FDM）工艺是一种不依靠激光作为成形能源，而将各种丝材加热熔化的成形方法，如图 8-33 所示。

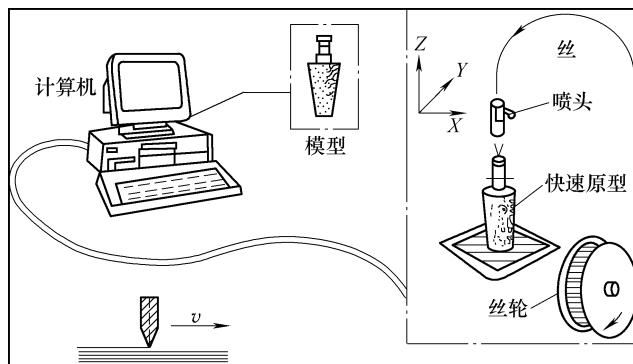


图 8-33 熔丝堆积成形原理图

熔丝堆积成形的原理是：加热喷头在计算机的控制下，根据产品零件的截面轮廓信息，作 X—Y 平面运动，热塑性丝材由供丝机构送至喷头，并在喷头中被加热至略高于其熔点，呈半流动状态，从喷头中挤压出来，很快凝固后形成一层薄片轮廓。一层截面成形完成后，工作台下降一层高度，再进行下一层的熔覆，一层叠一层，最后形成整体。每层厚度范围在 0.025 ~ 0.762mm。

FDM 可快速制造瓶状或中空零件，工艺相对简单，费用较低；不足之处是精度较低，难以制造复杂的零件，且与截面垂直的方向强度小。

这种方法适合于产品概念建模及功能测试。FDM 所用材料为聚碳酸酯、铸造蜡材和 ABS，可实现塑料零件无注塑模成型制造。

5. 三维印刷

三维印刷与选择性激光烧结有些相似，不同之处在于它的成形方法是用粘结剂将粉末材料粘结，而不是用激光对粉末材料进行烧结，在成形过程中没有能量的直接介入。由于它的工作原理与打印机或绘图仪相似，因此，通常称为三维印刷（Three Dimensional Printing, TDP），如图 8-34 所示。

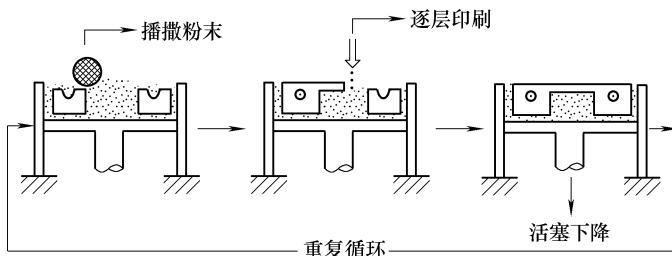


图 8-34 三维印刷原理图

TDP 的工作过程是：含有水基粘结剂的喷头在计算机的控制下，按照零件截面轮廓的信息，在铺好一层粉末材料的工作平台上，有选择性地喷射粘结剂，使部分粉末粘结在一起，形成截面轮廓。一层粉末成形完成后，工作台下降一个截面层高度，再铺上一层粉末，进行下一层轮廓的粘结，如此循环，最终形成三维产品的原型。为提高原型零件的强度，可用浸蜡、树脂或特种粘结剂作进一步的固化。

TDP 具有设备简单，粉末材料价格较便宜，制造成本低和成形速度快（高度方向可达 $25 \sim 50\text{mm/h}$ ）等优点，但 TDP 制成的零件尺寸精度较低（为 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ ），强度较低。TDP 法适用的材料范围很广，甚至可以制造陶瓷模，主要问题是制件的表面质量较差。

四种快速成形方法的特点及常用材料见表 8-18。

表 8-18 四种快速成形方法的特点及常用材料

成形方法	零件			成形速度	制作成本	常用材料
	大小	复杂程度	精度			
熔丝堆积成形	中小件	中等	较低 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$	较慢	较低	石蜡、塑料、低熔点金属等
叠层实体成形	中大件	简单或中等	较高 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$	快	低	纸、金属箔、塑料薄膜
光固化立体成形	中小件	中等	较高 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$	较快	较高	热固性光敏树脂等
选择性激光烧结成形	中小件	复杂	较低 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$	较慢	较低	石蜡、塑料、金属、陶瓷等粉末

8.7.3 基于 RP 的快速制模技术

在快速成形技术领域中，目前发展最迅速，产值增长最明显的就是快速制模（Rapid Tooling, RT）技术。应用快速原型技术制造快速模具（RP + RT），在最终生产模具之前进行新产品试制与小批量生产，可以大大提高产品开发的一次成功率，有效地缩短开发时间和降低成本。

RP + RT 技术提供了一种从模具 CAD 模型直接制造模具的新的概念和方法，它将模具的概念设计和加工工艺集成在一个 CAD/CAM 系统内，为并行工程的应用创造了良好的条件。RT 技术采用 RP 多回路、快速信息反馈的设计与制造方法，结合各种计算机模拟与分析手段，形成了一整套全新的模具设计与制造系统。

利用快速成形技术制造快速模具可以分为直接模具制造和间接模具制造两大类。

基于快速成形技术的各种快速制模技术如图 8-35 所示。

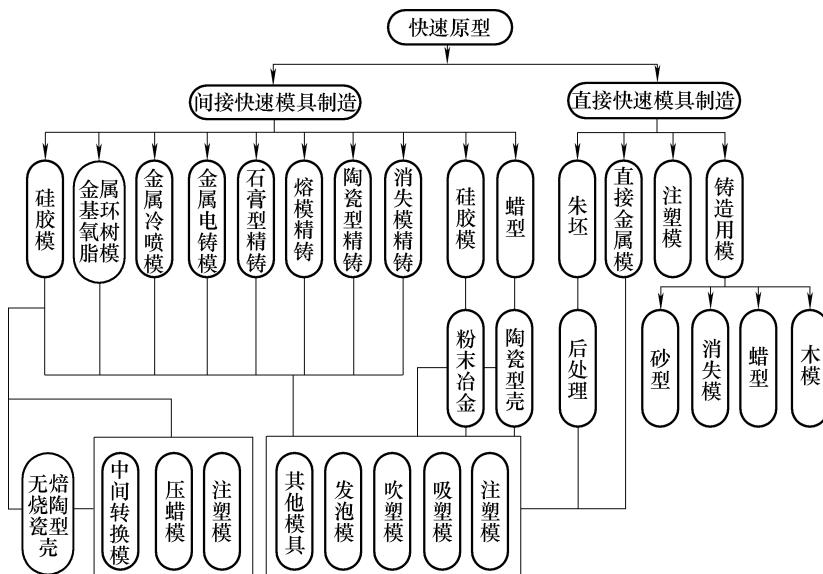


图 8-35 快速制模技术

1. 直接快速模具制造

直接快速模具制造指的是利用不同类型的快速原型技术直接制造出模具，然后进行一些必要的后处理和机加工，以获得模具所要求的力学性能、尺寸精度和表面粗糙度。目前，能够直接制造金属模具的快速成形工艺包括：选择性激光烧结（SLS）、形状沉积制造（SDM）和三维焊接（3D Welding）等。

直接快速模具制造环节简单，能够较充分地发挥快速成形技术的优势，特别是

与计算机技术密切结合，快速完成模具制造。对于那些需要复杂形状的、内流道冷却的注塑模具，采用直接快速模具制造有着其他方法不能替代的优势。

运用 SLS 直接快速模具制造工艺方法能在 5~10 天之内制造出生产用的注塑模，其主要步骤如下：

1) 利用三维 CAD 模型先在烧结站制造产品零件的原型，进行评价和修改，然后，将产品零件设计转换为模具型芯设计，并将模具型芯的 CAD 文件转换成 STL 格式，输入烧结站。

2) 烧结站的计算机系统对模具型芯 CAD 文件进行处理，然后，烧结站按照切片后的轮廓将粉末烧结成模具型芯原型。

3) 将制造好的模具型芯原型放进聚合物溶液中，进行初次浸渗，烘干后放入气体控制熔炉，将模具型芯原型内含有的聚合物蒸发，然后渗铜，即可获得密实的模具型芯。

4) 修磨模具型芯，将模具型芯镶入模坯，完成注塑模的制造。

采用直接 RT 方法在模具精度和性能控制方面比较困难，特殊的后处理设备与工艺使成本提高较大，模具的尺寸也受到较大的限制。与之相比，间接快速模具制造可以与传统的模具翻制技术相结合，根据不同的应用要求，使用不同复杂程度和成本的工艺，一方面可以较好地控制模具的精度、表面质量、力学性能与使用寿命，另一方面也可以满足经济性的要求。因此，目前研究的侧重点是间接快速模具制造技术。

2. 间接快速模具制造

用快速原型制母模，浇注蜡、硅橡胶、环氧树脂或聚氨酯等软材料，可构成软模具。用这种合成材料制造的注射模，其模具使用寿命可达 50~5000 件。

用快速原型制母模或软模具与熔模铸造、陶瓷型精密铸造、电铸或冷喷等传统工艺结合，即可制成硬模具，能批量生产塑料件或金属件。硬模具通常具有较好的可加工性，可进行局部切削加工，获得更高的精度，并可嵌入镶块、冷却部件和浇道等。

8.8 压铸模零件制造的检测

零件加工检测是零件精度和模具产品质量的根本保证和基础，模具零件的检测内容和检测手段视不同的生产条件和生产规模而有所不同。

由于模具加工属于单件生产，加工工序多，零件形面复杂，其质量检测与常规的检测略有不同。同时对于模具型腔的硬度、耐蚀性和纹饰加工等要求难以通过一般的检测方法实现，只能通过一定的加工方法和工艺措施来保证。有时候模具零件的检测结果并不能仅按合格与否来评价，如型腔表面的抛光通常说明的是抛光质量

的优劣。这是模具零件检测与普通零件检测相区别的地方。

8.8.1 模具零件检测内容

模具零件的检测内容主要是几何量的检测，包括尺寸公差、形状公差、位置公差、表面粗糙度及螺纹型芯、型腔的公差等。

尺寸公差要求是为了保证零件的尺寸准确性，配合尺寸公差要求是为了保证零件的互换性，运动副的配合精度、配合间隙及偏差。尺寸公差有两种：线性尺寸公差和角（锥）度公差。形位公差要求是为了保证模具的精度和工作性能。形状公差是针对单一要素而言的，包括直线度、平面度、圆度、圆柱度、线轮廓度和面轮廓度等。位置公差是针对关联要素而言的，包括平行度、垂直度、倾斜度、同轴度、位置度和对称度等。表面粗糙度是表征工件表面微观形貌误差的指标。螺纹检测包括单一内容检测（如螺距、牙型角、中径等）和综合检测。

1. 模板类零件

这类零件主要影响模具的闭合精度和运动精度，也是加工和装配过程中重要的基准面，需要重点检测上下平面的表面粗糙度、平行度、平面度、与侧面的垂直度、孔系的圆柱度、垂直度、孔径尺寸及孔间距尺寸等。

2. 型腔类零件

这类零件直接关系到塑件的尺寸精度，是模具加工的核心部分，也是需要重点检测的内容。对型腔类零件的检测几乎包括了尺寸公差、形状公差、位置公差、表面粗糙度及螺纹型芯、型腔的公差等全部内容，同时还有脱模斜度及表面质量检测的要求，如对抛光质量的评价和镀层是否脱落的判断。

3. 结构件类零件

这类零件中具有导向和运动功能的零件，如导柱、导套、滑块等，对表面质量要求较高。导柱检测的指标有各台阶轴段的同轴度、圆柱度、径向尺寸等。导套主要是检测其内外圆柱面的同轴度、圆柱度和径向尺寸。滑块对滑动配合表面的平行度、平面度、锁紧斜面的角度等具有较高的精度要求。对拉杆主要检测轴向功能尺寸的一致性，对压板主要检测平行度、垂直度、功能尺寸的一致性。对于推杆、复位杆等外购件主要从进货渠道来保证质量，可以对径向尺寸、硬度进行监测。

4. 标准件类零件

标准件类零件的检验需要专门的设备，在一般企业很难进行，但螺钉的过早疲劳、复位弹簧的过早失效，都有可能对模具造成损坏。所以应该选用一些质量好、信誉高的知名产品，以避免出现类似问题。

8.8.2 常用检测量具与检测方法

检测方法和仪器设备的选用一般应符合以下原则：

1) 根据实际的生产条件和生产规模选用。模具生产一般是单件小批量生产，所选用的量具多是通用量具。实际选用还需要根据车间的检测能力确定量具。

2) 根据检测对象，确定量具的测量范围及其不确定度。例如，测量 $\phi 30^0_{-0.01}$ mm 轴时，选用 0 ~ 150mm、分度值为 0.02mm 的游标卡尺就不能满足测量要求，因为它的示值误差大于 0.02mm。

3) 测量的方便性和经济性。例如，模具的型腔面，检测表面粗糙度时只需视检或样板检测即可，若选用专门的表面粗糙度检测仪势必带来操作上的繁琐和成本的增加。

计量器具按其结构特点可分为以下几种：

- 1) 量具类：如量规、量块、线纹尺等。
- 2) 游标类：如游标卡尺、游标深度尺、游标万能角度尺等。
- 3) 微动螺旋副类：如外径千分尺（百分尺）、内径千分尺（百分尺）等。
- 4) 机械类：如百分表、千分表、杠杆比较仪、扭簧比较仪等。
- 5) 气动类：如压力式气动量仪、流量式气动量仪。
- 6) 电学类：如电感比较仪、电动轮廓仪等。
- 7) 光学机械类：如光学计、测长仪、投影仪、干涉仪等。
- 8) 激光类：如激光准直仪、激光干涉仪等。
- 9) 光学电子类：如光栅测长机、光纤传感器等。

下面介绍模具制造中用得比较多的一些计量器具。

1. 量具类器具

(1) 塞规与卡规 塞规与卡规（又称卡板）是用于成批生产的一种专用量具，操作方便、测量准确。

1) 塞规：塞规如图 8-36 所示，是用来测量孔径和槽宽的。较长的一端，其直径等于孔径的最小极限尺寸，称为“过端”；较短的一端，其直径等于孔径的最大极限尺寸，称为“止端”。测量孔径时，当“过端”能进去，而“止端”进不去，即为合格。

2) 卡规：卡规如图 8-37 所示，是用来测量轴径或厚度的。一端为“过端”，其宽度等于最大极限尺寸，另一端为“止端”，其宽度等于最小极限尺寸。测量轴径时，当“过端”能通过，“止端”通不过，即为合格。

(2) 塞尺 塞尺又称厚薄规，由一组薄钢片组成，其厚度一般为 0.01 ~ 0.3mm（见图 8-38）。厚薄规用来检查两贴合面之间缝隙大小。测量时，用厚薄规直接塞入缝隙，若一片或数片能塞进贴合面之间，则一片或数片的厚度，即为贴合面的最大间隙值。

(3) 刀口尺 刀口尺用于检测小型平面的直线度和平面度误差（见图 8-39）。若平面不平，则刀口尺与平面之间即有缝隙，可根据光隙判断误差状况，也可用塞

尺测量缝隙大小。

(4) 90°角尺 90°角尺内侧两边及外侧两边分别成准确的90°，用来检测小型零件上垂直面的垂直度误差（见图8-40）。使用时，直角尺宽边与零件基准面贴合，窄边与被测平面贴合。如果被测一边有缝隙，即可用光隙判断误差状况，也可用塞尺测量其缝隙大小。

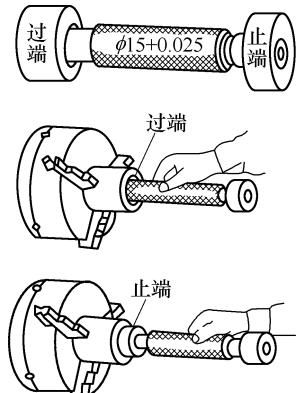


图 8-36 塞规及其使用

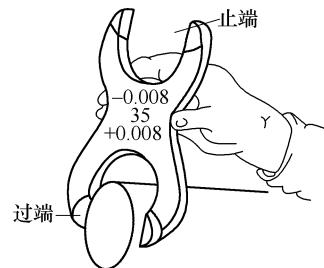


图 8-37 卡规及其使用

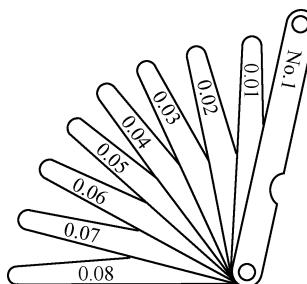


图 8-38 塞尺

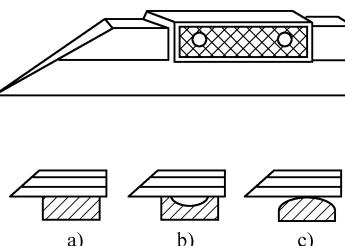


图 8-39 刀口尺及其应用

a) 平 b) 凹 c) 凸

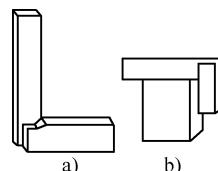


图 8-40 90°角尺及其应用

a) 90°角尺

b) 90°角尺测量垂直度误差

(5) 量块 量块的精度极高，可作为长度标准来检验和校正其他量具；与百分表配用可用比较法对高精度的工件尺寸进行精密测量或对机床进行精密找正或调整。

量块是按尺寸系列分组成套的，有42块一套或87块一套等几种，装在专用木盒内以便保管与维护。量块为长方形六面体，每块有两个测量平面，两测量面之间的距离为量块的工作尺寸。一套量块组合成各种不同的长度，以便使用。由于测量面非常平直与光洁，若将两块或数块量块的测量面擦净，互相推合，即可牢固地粘接在一起。为了减小难以避免的误差，使用时组合的量块数不宜过多，一般不超过4块。

2. 游标类器具

游标卡尺是非常通用的长度测量工具，使用方便，精度较高。图 8-41 所示是一种常用的游标卡尺。

与之工作原理类似的还有高度游标尺和深度游标尺（见图 8-42）。

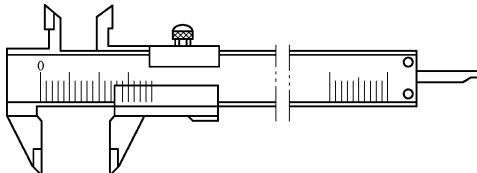


图 8-41 游标卡尺

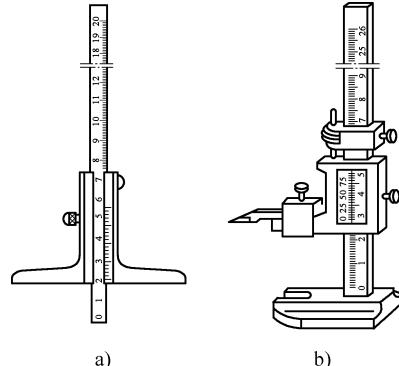
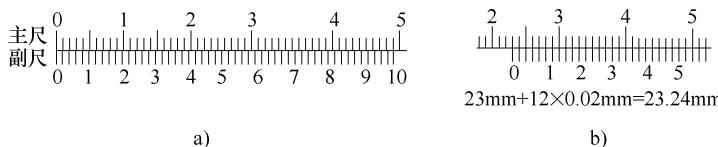


图 8-42 深度游标尺和高度游标尺
a) 深度游标尺 b) 高度游标尺

按读数的准确度，游标卡尺可分为 1/10、1/20 与 1/50 三种，其读数准确度分别为 0.1mm、0.05mm 和 0.02mm。

游标卡尺可以用来测量外尺寸（如轴径、长度，矩形体的长、宽、高等）和内尺寸（如孔径，槽的深度、宽度等）。为读数方便，又产生了数显游标卡尺。高度游标尺主要在平板上对工件进行高度的测量或划线。深度游标尺用于测量孔、槽的深度。

(1) 刻线原理 现以 1/50 的游标卡尺为例，介绍刻线原理。如图 8-43a 所示，当两卡脚贴合时，主尺与副尺（又称游标）的零线对齐，主尺每一小格为 1mm。取主尺 49mm 长度在副尺上等分为 50 格，则副尺每一小格为 $49/50\text{mm}$ (0.98mm)。主尺与副尺每格之差 = $1\text{mm} - 0.98\text{mm} = 0.02\text{mm}$ 。



a)

b)

图 8-43 游标卡尺的刻线原理和读数示例

a) 刻线原理 b) 读数示例

(2) 读数方法 如图 8-43b 所示，读数应分为三个步骤。

- 1) 读整数，读出副尺零线以左的主尺上最大整数（毫米数），图中为 23mm。
- 2) 读小数，根据副尺零线以右、且与主尺上刻线对准的刻线数，乘以 0.02 读

出小数。图中为 $12 \times 0.02\text{mm} = 0.24\text{mm}$ 。

3) 将整数与小数相加, 即为总尺寸。图中的总尺寸为 $23\text{mm} + 0.24\text{mm} = 23.24\text{mm}$ 。

(3) 测量方法 测量方法如图 8-44 所示。

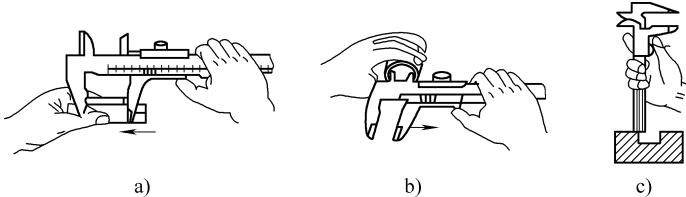


图 8-44 用游标卡尺测量工件

a) 测量外表面尺寸 b) 测量内表面尺寸 c) 测量深度

3. 微动螺旋副类器具

千分尺又称螺旋测微器, 是利用螺旋传动原理制作的一种测量工具。由于受到螺旋副制造精度的限制, 故其分度值一般为 0.01mm 。千分尺的种类有外径千分尺、内径千分尺、深度千分尺、公法线千分尺和螺纹千分尺等。经常使用的是外径千分尺, 简称千分尺, 如图 8-45 所示。千分尺的螺杆与活动套筒连在一起, 当转动活动套筒时螺杆即可向左或向右移动。螺杆与砧座之间的距离, 即为零件的外圆直径或长度尺寸。

外径千分尺按测量尺寸的范围有 $0 \sim 25\text{mm}$ 、 $25 \sim 50\text{mm}$ 、 $50 \sim 75\text{mm}$ 、 $75 \sim 100\text{mm}$ 等多种规格。外径千分尺一般用于外尺寸的测量。

(1) 刻线原理 千分尺的读数机构由固定套筒与活动套筒组成, 如图 8-46 所示。固定套筒在轴线方向有一条中线, 中线的上下方各有一排刻线, 刻线每小格均为 1mm , 但上下刻线相互错开 0.5mm 。实际上由轴向刻线可读出整数和 0.5mm 的小数。活动套筒左端圆周上有 50 等分的刻度线, 因与活动套筒相连的测量螺杆的螺距为 0.5mm , 当活动套筒与螺杆每转一周时, 轴向移动 0.5mm , 所以活动套筒上每小格的读数值为 $0.5\text{mm}/50 = 0.01\text{mm}$ 。实际上, 圆周刻线用来读出 0.5mm 以下至 0.01mm 的小数值。

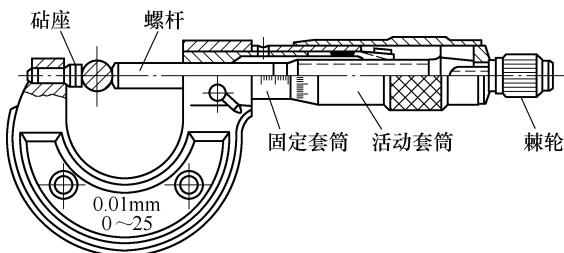


图 8-45 千分尺

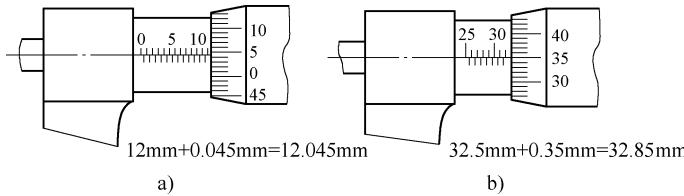


图 8-46 千分尺的刻线原理

a) 0 ~ 25mm 千分尺 b) 25 ~ 50mm 千分尺

当千分尺的测量螺杆与砧座接触时，活动套筒边缘与轴向刻度的零线重合；同时，圆周上的零线应与中线对准。

(2) 读数方法 千分尺读数方法（见图 8-46）可分为三个步骤。

- 1) 读出固定套筒上露出刻线的毫米数和 0.5mm 数。
- 2) 读出活动套筒上小于 0.5mm 的小数值。
- 3) 将上述两部分相加，即为总尺寸。图 8-46a 的总读数为 $12\text{mm} + 0.045\text{mm} = 12.045\text{mm}$ ；图 8-46b 的总读数为 $32.5\text{mm} + 0.35\text{mm} = 32.85\text{mm}$ 。

4. 机械类器具

百分表（见图 8-47）是一种进行读数比较的量具，测量精度较高，为 0.01mm。百分表测量范围有 0 ~ 3mm、0 ~ 5mm 及 0 ~ 10mm 等几种。同理还有分度值为 0.001mm 的千分表。百分表只能测出相对数值，不能测出绝对数值。

百分表的读数原理如图 8-47 所示。百分表有大指针 5 和小指针 7，大指针刻度盘的圆周上有 100 个等分格，小刻度盘的圆周上有 10 个等分格。当测量杆 1 向上或向下移动 1mm 时，通过测量杆上的齿条和齿轮 2、3、4、6 带动大指针转 1 周，小指针转 1 格。也就是说，大指针每格读数为 0.01mm，用来读 1mm 以下的小数值；小指针每格读数值为 1mm，用来读 1mm 以上的整数值。测量时，大、小指针的读数变化值之和即为尺寸的变动量。

百分表主要用来测量零件的形状和位置误差，例如平行度、圆跳动、以及工件的精密找正。百分表使用时，需固定位置的，应装在磁力表架上；需要移动位置的，则装在普通表架上。

5. 投影仪

投影仪是将工件的轮廓外形进行光学放大，并把放大后的轮廓影像投影到仪器影屏上的一种测量仪器。测量时，可以先根据被测零件的实际尺寸和公差，按投影仪的放大倍数绘制成标准轮廓曲线，与被测零件的实际轮廓进行比较，观察它是否在公差带内。

投影仪的影屏上一般都有瞄准线，工作台有精密的坐标系统或分度盘，因此也

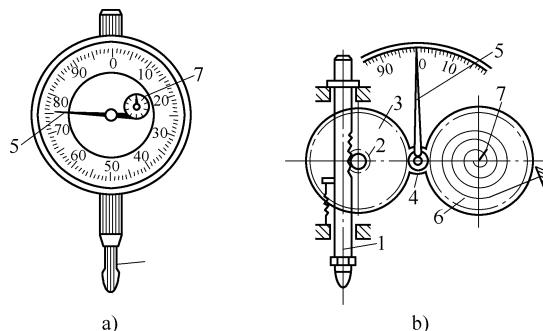


图 8-47 百分表及其传动系统

a) 外形 b) 传动系统

1—测量杆 2~4、6—齿轮 5—大指针 7—小指针

可以测量零件的长度、角度和坐标位置。利用反射照明装置，还可以检查零件的表面缺陷。

投影仪现已成为模具车间的常用检测工具之一。除测量外，还可以对加工过程予以监控，即观察加工余量以确定进给量的大小，一般与成形磨削配合使用。

6. 三坐标测量机

随着金属加工技术的发展，数控机床、精密模具的增多，测量技术也有了相应的发展，三坐标测量机就是其中之一，且使用越来越广。从机床的精度等级分为生产型和高精度型两种。生产型的定位精度在 $\pm 0.01 \sim \pm 0.03\text{ mm}$ 之间，适用于一般加工车间零件测量用。高精度型的定位精度在 $\pm 0.001 \sim \pm 0.002\text{ mm}$ 之间，特别适用于精密模具和精密零件测量用。由于其附件多、性能广，故又称之为三坐标万能测量机。

(1) 三坐标万能测量机的特点

1) 精度高。其精度一般高于或等于相应坐标镗、磨精度，并具有高精度二维或三维测量头，测量重复精度 $< \pm 0.1\mu\text{m}$ ，示值为 $0.1\mu\text{m}$ 。

2) 配备有各种附件，有小型计量室之称，可以进行坐标磨床加工零件的各种形状测量。

光学平转台：用来测量平面分度或极限坐标标注的各种槽和成形形状工件。

圆度测量附件：用来检测孔、轴、球类工件的圆度。

光学测量显微镜：主要用来测量圆弧半径、螺纹参数、线纹类工件和工件轮廓的角度。

光学像点比较显微镜：由显微镜和辅助工作台组成。用来测量能反光的小通孔或槽，工作时作瞄准定位用，可测大于 $\phi 0.1\text{ mm}$ 的孔或槽。

非接触式光学垂直测量显微镜：用来测量测头不容易够得到的轮廓面和凹面等。

几十种附件。

3) 测量时工件固定不动,用转台等附件配合进行各种测量,适用于精密模具各类外形复杂零件的安装测量。优于其他仪器和一般的测量机。

(2) 三坐标测量机的一般测量项目 三坐标测量机有多种用途,其一般测量项目见表 8-19。

表 8-19 三坐标测量机的一般测量项目

被测对象	测 量 项 目
基准	基准面位置
平面	平面与平面之间的距离 高度差 槽宽 凸起部分的宽度 水平面的轮廓及形状 平面的平直度、平行度
孔	小孔的位置 小孔的中心距 大孔的位置(中心位置) 大孔的中心距 大孔的直径 垂直面上的孔位置、中心距 高度大时测量两平面孔的位置及其他
曲面或立体	位置、距离、形状的无接触测量 轮廓形状 球的中心位置 球形、圆柱形凸起部的中心位置的中心距 凸起轴的中心位置 非整圆的中心位置及中心距 小轴的中心位置及中心距 曲轴等的轴线位置及中心距离 轴类的轴心位置及中心距离 薄工件位置尺寸及形状 软质工件的位置及形状、轮廓

8.9 模具零件制造技术的应用实例

各类模具的结构组成、功能特点与成型工艺条件要求不同，其制造工艺与技术要求也不一样，所选用的材料差别也很大。压铸模具的成型零件一般要选用优质钢材，并需进行较复杂的三维形面加工和表面的精细研磨、抛光或皮纹处理，有些零件还需镀覆、渗氮和淬火处理等。模具中的导向机构、侧抽芯机构、脱模机构、模板类等零件，是模具各种功能实现的基础，是模具的重要组成部分，其质量高低直接影响着整个模具的制造质量。本节将具体介绍一些典型模具零件的加工工艺过程。

8.9.1 模具成型零件加工

1. 成型零件的特点与加工要求

(1) 成型零件的特点 压铸模具的组成零件种类很多，加工要求也各不相同。通常将模具中直接参与成型铸件内、外表面或结构形状的零件，称为成型零件。如压铸模具的型腔、型芯、侧向抽芯和成型滑块、成型斜推杆、螺纹型环和螺纹型芯等。这些零件都直接与成型制件相接触，它们的加工质量将直接影响到最终制件的尺寸与形状精度和表面质量，因此，成型零件加工是模具制造中最重要的零件加工。

按照成型零件的结构形式，通常可将其分为整体式与镶嵌式两大类。整体式结构又可分为圆形或矩形的型腔和型芯；镶嵌式结构也可分为圆形和矩形的整体镶嵌和局部镶嵌，或者是两者的组合。

模具成型零件与一般结构零件相比，其主要特点如下：

- 1) 结构形状复杂，尺寸精度要求高。
- 2) 大多为三维曲面或不规则的形状结构，零件上细小的深、不通孔及狭缝或窄凸起等结构较多。
- 3) 型腔表面要求光泽且表面粗糙度低或为皮纹腐蚀表面及花纹图案等。
- 4) 材料性能要求高，热处理变形小。

零件结构的复杂性与高质量要求，决定了其加工方法的特殊性和使用技术的多样性与先进性，也使得其制造过程复杂，加工工序多，工艺路线长。

(2) 成型零件的加工要求 成型零件是模具结构中的核心功能零件，模具的整体制造精度与使用寿命，以及成型制件的质量都是通过成形零件的加工质量体现的，因此，成型零件的加工应满足以下要求：

- 1) 形状准确。成型零件的轮廓形状或局部结构，必须与制件的形状完全一致，尤其是具有复杂的三维自由曲面或有形状精度与配合要求的制件，其成型零件

的形状加工必须准确，曲面光顺，过渡圆滑，轮廓清晰，并应严格保证形位公差要求。

2) 尺寸精度高。成型零件的尺寸是保证制件的结构功能和力学性能的重要前提。成型零件的加工精度低，会直接影响到制件的尺寸精度。一般模具成型零件的制造误差应小于或等于制件尺寸公差的 $1/3$ ，精密模具成型零件的制造精度还要更高，一般要求达到微米级。此外，还应严格控制零件的加工与热处理变形对尺寸精度的影响。

3) 表面粗糙度低。多数模具型腔表面粗糙度值 R_a 的要求都在 $0.1\mu\text{m}$ 左右，有些甚至要求达到镜面，尤其对成型有光学性能要求的制件，其模具成型零件必须严格按照程序进行光整加工与精细地研磨、抛光。

要满足成型零件的加工要求，首先必须正确地选择零件材料。材料的加工性能、热处理性能与抛光性能是获得准确的形状、高的加工精度和良好表面质量的前提。

2. 成型零件加工方法

成型零件包括成型镶块、固定型芯和活动型芯等。由于它们直接与金属液接触，所以均应进行最终的淬硬处理。而在粗加工后，还必须进行消除组织应力的退火处理。所以成型零件的加工工艺重点考虑合理划分退火处理前后的加工内容，应尽量将去除量大的加工部位安排在退火处理之前，使成型零件在退火处理时，得到充分的变形，使内部的残余应力最小。

成型零件的形状均可分解为回转曲面和非回转曲面两种。回转曲面可用车削、镗削、钻削、内外圆磨削加工成形，工艺过程比较简单，而非回转曲面的加工比较复杂，常用铣削、锉削、磨削、成形磨削、数控机床以及电加工机床等综合工艺成形。

3. 侧对合型腔加工工艺实例

图 8-48 是斜销侧抽芯模侧对合型腔的零件图。侧对合型腔的加工工艺过程卡见表 8-20。

表 8-20 侧对合型腔加工工艺过程卡

工序号	工序	加 工 内 容
1	锻	$105\text{mm} \times 90\text{mm} \times 70\text{mm}$ 两块，单边留加工余量 $3\sim4\text{mm}$
2	铣	加工 $105\text{mm} \times 90\text{mm} \times 70\text{mm}$ 四方，单面均留加工余量 $0.6\sim0.8\text{mm}$
3	磨	两件一起加工各对应平面，使“ $105 \times 90 \times 70 +0.03$ ”，各对应面尺寸一致，并使“ $70 +0.03$ ”达到尺寸精度要求，并保证各面的垂直度小于 0.02mm
4	划	
5	钳	以 A、B 为基准，对接夹紧或局部焊合，将两件组合成一体

(续)

工序号	工序	加工内容
6	车	1) 粗车:校准花盘,将组合件夹在花盘上,用划线盘粗找正并夹紧,粗车型腔内孔“ $\phi 37$ ”处各部,均留量2~3mm 2) 精找正:将百分表放在中拖板上,侧长“105”一侧面找平,记下百分表读数;百分表退离工件后,将组合件旋转180°,再使另一侧平行,记下读数。比较百分表读数差,并调正组合件位置,经反复测量和反复调正后,使两侧面读数相同。同时,以同样的方法测宽“90”的两侧,并调正夹紧 3) 精车:加工组合型腔“ $45^{+0.025}_0$ ”、“ $\phi 40^{+0.025}_0$ ”和“ $\phi 37^{+0.025}_0$ ”
7	划	
8	铣	以宽90mm的一侧为基准面B,加工导滑部位“ $70^{-0.03}_{-0.06}$ ”的另一侧C,成80mm,保证尺寸80mm,留磨量0.2~0.3mm,“ $12^{-0.016}_{-0.034}$ ”留磨量0.1~0.2mm
9	磨	1) 以同一基准面B为基准,加工“80”铣削面C,并以“ $\phi 45^{+0.025}_0$ ”为测量参考,保证“ $80^{-0.02}_{-0.03}$ ”,即间接保证“ $70^{-0.02}_{-0.06}$ ”尺寸精度的1/2,并保证与B面平行 2) 保证这一侧“ $12^{-0.016}_{-0.034}$ ”的尺寸精度
10	铣	以C面一侧的精加工面为基准,加工另一侧面尺寸“ $70^{-0.02}_{-0.06}$ ”,留磨量0.2~0.3mm,尺寸“ $12^{-0.016}_{-0.034}$ ”留磨量0.1~0.2mm
11	磨	以同一基准面为基准,保证“ $70^{-0.02}_{-0.06}$ ”和“ $12^{-0.016}_{-0.034}$ ”,并保证与基准面平行
12	钳	修研“ $12^{-0.016}_{-0.034}$ ”根部,消除磨削圆角
13	划	
14	镗	以A为基准面,镗侧孔“ $\phi 25^{+0.021}_0$ ”,保证高度尺寸“ 34 ± 0.02 ”
15	铣	1) 顶部“50”深“6.5”型腔,保证拼合尺寸 2) 横浇道“15×2”深“3”,保证尺寸“2”
16	铣	侧面“46”深“6”型腔,保证拼合尺寸
17	钳	修整侧孔“ $\phi 25^{+0.021}_0$ ”与“ $45^{+0.025}_0$ ”、“ $\phi 40^{+0.025}_0$ ”连接处及各部毛刺。分拆组合体
18	铣	C面侧孔“ $16^{+0.018}_0 \times 10^{+0.015}_0$ ”及45°角,保证尺寸“24”
19	钳	做工具电极
20	电火花	1) 分别电加工型腔散热片宽大,5处均布,保证尺寸“ $\phi 56$ ” 2) “ $10^{+0.015}_0 \times 5$ ”方孔,保证尺寸“22”
21	划	
22	铣	1) 分别铣尾部斜面23°,尺寸“ $75^{+0.05}_0$ ”,留研磨量0.1~0.2mm,并保证尺寸“20” 2) 铣去导滑台肩的多余部分,与侧面齐平,保证尺寸“40”

注: 斜杠斜孔“ $\phi 22^{+0.021}_0$ ”组装后加工。

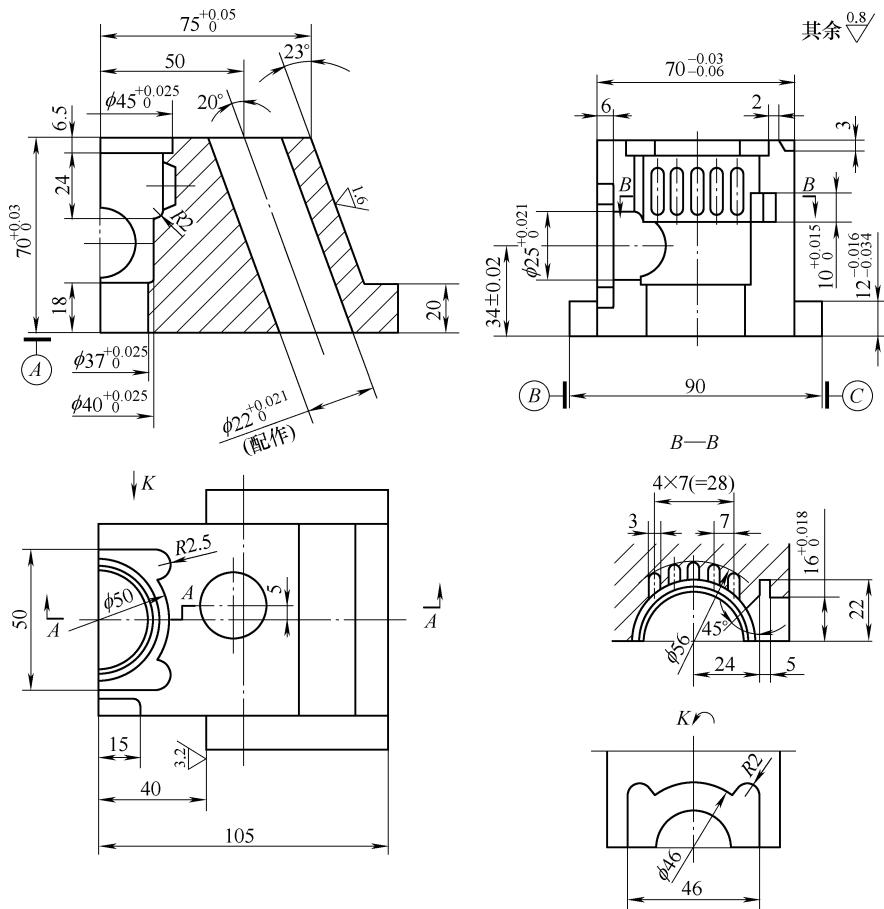


图 8-48 侧型腔加工工艺用图

根据对合型腔的结构特点,它重要的形位精度是必须保证对合型腔的分型面与型腔的中心线重合,即保证两型腔所包容的压铸件相同,以防止型腔在偏移时,一侧包容的压铸件大于半圆,引起脱模阻力增大,以致产生型腔或压铸件被拉坏的现象。

以上的工艺过程是行之有效的工艺方法,可保证对合型腔的分型面恰好在型腔的中心线上,使对合型腔的脱模力均衡,既保证产品质量,又有利于脱模。

8.9.2 导向机构零件加工

模具导向机构零件是指在组成模具的零件中,能够对模具零件的运动方向和位置起着导向和定位作用的零件。因此,模具导向机构零件质量的优劣,对模具的制造精度、使用寿命和制件的质量有着非常重要的作用。所以,对模具导向机构零件的制造应予以足够的重视。

模具运动零件的导向，是借助导向机构零件之间精密的尺寸配合和相对的位置精度，来保证运动零件的相对位置和运动过程中的平稳性，所以，导向机构零件的配合表面都必须进行精密加工，而且要有较好的耐磨性。一般导向机构零件配合表面的精度可达 IT6，表面粗糙度值 $Ra 0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。精密的导向机构零件配合表面的精度可达 IT5，表面粗糙度 $Ra 0.08 \sim 0.16 \mu\text{m}$ 。

导向机构零件在使用中起导向作用。开、合模时有相对运动，成形过程中要承受一定的压力或偏载负荷。因此，要求表面耐磨性好，心部具有一定的韧性。目前，如 GCr15、T8A、T10A 等材料较为常用，使用时的硬度为 58~62HRC。

导向机构零件的形状比较简单。一般采用普通机床进行粗加工和半精加工后再进行热处理，最后用磨床进行精加工，消除热处理引起的变形，提高配合表面的尺寸精度，降低表面粗糙度。对于配合要求精度高的导向机构零件，还要对配合表面进行研磨，才能达到要求的精度和表面粗糙度。

虽然导向机构零件的形状比较简单，加工制造过程中不需要复杂的工艺和设备及特殊的制造技术，但也需采取合理的加工方法和工艺方案，才能保证导向零件的制造质量，提高模具的制造精度。同时，导向机构零件的加工工艺对杆类、套类零件具有借鉴作用。

1. 导柱的加工

导柱是各类模具中应用最广泛的导向机构零件之一。导柱与导套一起构成导向运动副，应当保证运动平稳、准确。所以，对导柱的各段台阶轴的同轴度、圆柱度专门提出较高的要求，同时，要求导柱的工作部位轴径尺寸满足配合要求，工作表面具有耐磨性。通常，要求导柱外圆柱面硬度达到 58~62HRC，尺寸精度达到 IT5~IT6，表面粗糙度值 Ra 达到 $0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。各类模具应用的导柱其结构类型也很多，但主要表面为不同直径的同轴圆柱表面。因此，可根据它们的结构尺寸和材料要求，直接选用适当尺寸的热轧圆钢为毛料。在机械加工的过程中，除保证导柱配合表面的尺寸和形状精度外，还要保证各配合表面之间的同轴度要求。导柱的配合表面是容易磨损的表面。所以，在精加工之前要安排热处理工序，以达到要求的硬度。

加工工艺为粗车外圆柱面、端面，钻两端中心定位孔，车固定台肩至尺寸，外圆柱面留 0.5mm 左右磨削余量；热处理；修研中心孔；磨导柱的工作部分，使其表面粗糙度和尺寸精度达到要求。

下面以压铸模滑动式标准导柱为例（见图 8-49），来介绍导柱的制造过程。导柱加工工艺过程见表 8-21。

对精度要求高的导柱，终加工可以采用研磨工序。

在导柱加工过程中工序的划分及采用的工艺方法和设备，应根据生产类型、零件的形状、尺寸大小、结构工艺及工厂设备状况等条件决定。不同的生产条件下，

采用的设备和工序划分也不相同。因此，加工工艺应根据具体条件来选择。

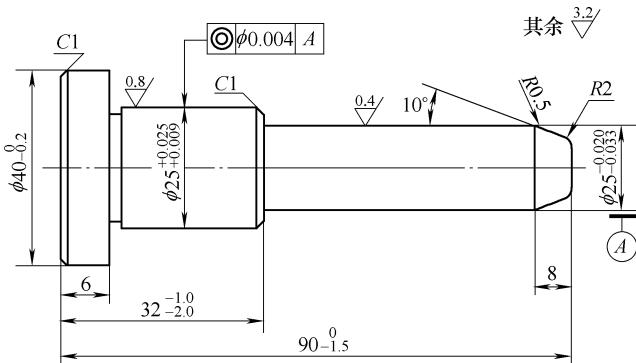


图 8-49 导柱零件图

表 8-21 导柱加工工艺过程

(单位: mm)

序号	工 序	工 艺 要 求
1	下料	切割 φ40 × 94 棒料
2	车	车端面至长度 92, 钻中心孔, 掉头车端面, 长度至 90, 钻中心孔
3	车	车外圆 φ40 × 6 至尺寸要求; 粗车外圆 φ25 × 58, φ35 × 26 留磨量, 并倒角, 切槽, 10°角等
4	热	热处理 55 ~ 60HRC
5	车	研中心孔, 调头研另一中心孔
6	磨	磨 φ35、φ25 至尺寸要求

在加工导柱的过程中，对外圆柱面的车削和磨削，一般采用设计基准和工艺基准重合的两端中心孔定位。所以，在车削和磨削之前需先加工中心定位孔，为后续工艺提供可靠的定位基准。中心孔的形状精度，对导柱的加工质量有着直接影响，特别是加工精度要求高的轴类零件，保证中心定位孔与顶尖之间的良好配合是非常重要的。导柱中心定位孔在热处理后的修正，目的是消除热处理过程中可能产生的变形和其他缺陷，使磨削外圆柱面时能获得精确定位，保证外圆柱面的形状和位置精度要求。

中心定位孔的钻削和修正是在车床、钻床或专用机床进行加工的。中心定位孔修正时，如图 8-50 所示，用车床三爪自定心卡盘夹持锥形砂轮，在被修正的中心定位孔处加入少量的煤油或全损耗系统用油，手持工件

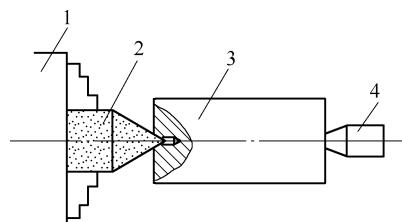


图 8-50 锥形砂轮修正中心定位孔

1—三爪自定心卡盘 2—锥形砂轮
3—工件 4—尾座顶尖

利用车床尾座顶尖支撑，利用主轴的转动进行磨削。该方法效率高，质量较好；但是，砂轮易磨损，需经常修整。如果将图 8-50 中的锥形砂轮用锥形铸铁研磨头代替，在被研磨的中心定位孔表面涂以研磨剂进行研磨，将达到更高的配合精度。

2. 导套的加工

与导柱配合的导套也是模具中应用最广泛的导向零件之一。因其应用不同，其结构、形状也不同，但构成导套的主要的是内外圆柱表面，因此，可根据它们的结构、形状、尺寸和材料的要求，直接选用适当尺寸的热轧圆钢为毛坯。

在机械加工过程中，除保证导套配合表面尺寸和形状精度外，还要保证内外圆柱配合面的同轴度要求。导套装配在模板上，以减少导柱和导向孔滑动部分的磨损。因此，导套内圆柱面应当具有很好的耐磨性，根据不同的材料采取淬火或渗碳，以提高表面硬度。内外圆柱面的同轴度及其圆柱度一般不低于 IT6，还要控制工作部位的径向尺寸，热处理硬度为 50~55HRC，表面粗糙度值 R_a 为 0.4~0.8 μm 。

加工工艺一般为：粗车，内外圆柱面留 0.5mm 左右磨削余量；热处理；磨内圆柱面至尺寸要求；上芯棒，磨外圆柱面至尺寸要求。表 8-22 是图 8-51 中带头导套的加工工艺过程。

表 8-22 导套加工工艺过程

(单位：mm)

序号	工序	工艺要求
1	车	车端面见平，钻孔 $\phi 25$ 至 $\phi 23$ ，车外圆 $\phi 35 \times 94$ ，留磨量，倒角，切槽；车 $\phi 40$ 至尺寸要求；截断，总长至 102；调头车端面见平，至长度 100，倒角
2	热	热处理 50~55HRC
3	磨	磨内圆柱面至尺寸要求；上芯棒，磨外圆柱面至尺寸要求

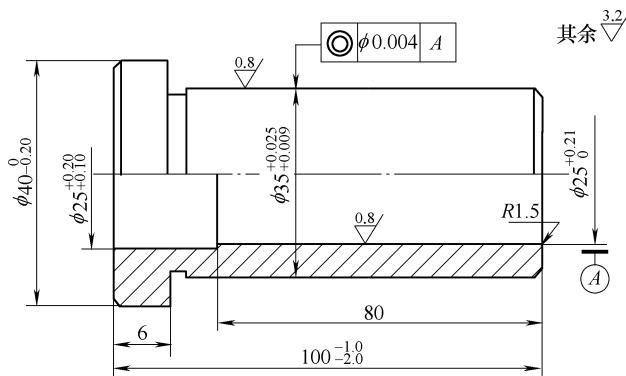


图 8-51 带头导套

在不同的生产条件下，导套制造所采用的加工方法和设备不同，制造工艺也不同。对精度要求高的导套，终加工可以采用研磨工序。

8.9.3 侧抽芯机构零件加工

侧抽芯机构是压铸模具最常见的机构之一。侧抽芯机构主要由滑块、斜导柱、导滑槽等几部分组成。工作时，滑块在斜导柱的带动下，在导滑槽内运动，在开模后和制件推出之前完成侧向分型或抽芯工作，使制件顺利脱模。由于模具的结构不同，具体的滑块导滑方式也不同，种类较多。

1. 滑块的加工

由于模具结构形式不同，因此滑块的形状和大小也不相同，它可以和型芯设计为整体式，也可以设计成组合式。在组合式滑块中，型芯与滑块的连接必须牢固可靠，并有足够的强度，常见的连接形式如图 5-83 ~ 图 5-85 所示。

滑块多为平面和圆柱面组合，斜面、斜导柱孔和成形表面的形状、位置精度和配合要求较高。所以，在机械加工过程中，除必须保证尺寸、形状精度外，还要保证位置精度，对于成形表面，还要保证较低的表面粗糙度值。

由于滑块的导向表面及成形表面要求较好的耐磨性和较高的硬度，一般采用工具钢和合金工具钢，经铸造制成毛坯，在精加工之前，要进行热处理使之达到硬度要求。

下面以如图 8-52 所示的组合式滑块为例，介绍其加工过程。滑块加工工艺过程见表 8-23。

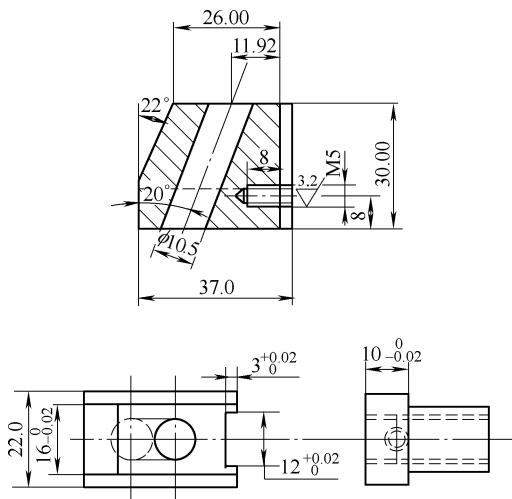


图 8-52 组合式滑块

注：材料为 45 钢，热处理硬度为 30 ~ 34HRC，未注表面粗糙度值 R_a 为 $0.8 \mu\text{m}$ 。

表 8-23 滑块加工工艺过程

(单位: mm)

序号	工序	工艺要求
1	备料	备截面尺寸不小于 22×30 的条料或棒料
2	铣	至 $30.6 \times 22 \times 37.6$,且各面间保持垂直、平行
3	热	热处理 $30 \sim 34$ HRC
4	磨	平磨或成形磨各平面至尺寸要求
5	钳	钻、攻 M5 × 8 至尺寸要求
6	铣	侧抽芯机构装配后,钻、扩 $\phi 10.5$ 至尺寸要求

对于体积较大的滑块, 导滑面(如图 8-52 所示的 $16_{-0.02}^0$ mm 两侧面和 $10_{-0.02}^0$ mm 上表面)可以分为铣、磨两个环节; 而对于小滑块, 由于加工量不大, 可以简化为一道工序。

另外, 如果加工手段不能保证, 图 8-52 中的 22° 斜面要留装配磨量, 在侧抽芯机构装配时配磨, 以调节锁模力的大小。

滑块各组成平面间均有平行度、垂直度的要求, 对位置精度的保证主要是选择合理的定位基准, 如图 8-52 所示的组合式滑块, 在加工过程中的定位基准为宽度 22mm 的底面和与其垂直的侧面。这样, 在加工过程中, 可以准确定位, 装夹方便可靠。对于各平面之间的平行度和垂直度则由机床和夹具保证。在加工过程中, 各工序之间的加工余量需根据零件的大小及不同的加工工艺而定, 可参见相关的切削用量手册。

图 8-52 中斜导柱孔 $\phi 10.5$ mm 和斜导柱之间有 0.5mm 左右的间隙, 其主要目的在于开模之初使滑块的抽芯运动滞后于开模运动, 使动、定模可以分开一个很小的距离, 斜导柱才开始按滑块的斜导柱孔内表面开始抽芯运动, 所以, 其孔的表面粗糙度值要低, 并且有一定的位置要求。为了保证滑块上的斜导柱孔和模板斜导柱孔的同轴度, 一般是在模板配后进行配作加工。

2. 导滑槽的加工

导滑槽和滑块是模具侧向分型的抽芯导向装置。抽芯运动过程中, 要求滑块在导滑槽内运动平稳、无上下窜动和卡死现象。

除整体式的导滑槽外, 组合式的导滑槽常用材料一般为 45、T8、T10 等材料, 并经热处理使其硬度达到 $52 \sim 56$ HRC。在导滑槽和滑块的配合中, 在上、下和左、右两个方向各有一对平面是间隙配合充当导滑面, 配合精度一般为 H7/f6 和 H8/f7, 表面粗糙度值 R_a 为 $0.63 \sim 1.25 \mu\text{m}$ 。

由于导滑槽的结构比较简单, 大多数导滑槽都是由平面组成, 所以, 机械加工比较容易, 可依次采用刨削、铣削、磨削的方法进行加工。

8.9.4 模板类零件加工

模板是组成各类模具的重要零件。因此，模板类零件的加工如何满足模具结构、形状和成形等各种功能的要求，达到所需要的制造精度和性能，取得较高的经济效益，是模具制造的重要问题。

模板类零件是指模具中所应用的平板类零件。如图 5-1 ~ 图 5-6 所示，压铸模具中的定模座板、定模套板、动模座板、动模套板、推板、推杆支承板、推杆固定板等都是模板类零件。因此，掌握模板类零件加工工艺方法是高速优质制造模具的重要途径。

模板类零件的形状、尺寸、精度等级各不相同，它们各自的作用综合起来主要包括以下几个方面：

(1) 连接作用 压铸模具中动、定模座板，它们具有将模具的其他零件连接起来，保证模具工作时具有正确的相对位置，使之与使用设备相连接的作用。

(2) 定位作用 压铸模具中动、定模套板，它们将型芯、型腔镶块和动、定模的相对位置进行定位，保证模具工作过程中准确的相对位置。

(3) 导向作用 模板类零件和导柱、导套相配合，在模具工作过程中，沿开合模方向进行往复直线运动，对模板上所有零件的运动进行导向。

(4) 卸料或推出制件 模板中的卸料板、推杆支承板及推杆固定板在模具完成一次成型后，借助机床的动力及时地将成型的制件推出或毛坯料卸下，便于模具顺利进行下一次制件的成型。

1. 模板类零件的基本要求

模板类零件种类繁多，不同种类的模板有着不同的形状、尺寸、精度和材料的要求。根据模板类零件的作用，模板类零件的基本要求可以概括为以下几个方面：

(1) 材料质量 模板的作用不同对材料的要求也不同，压铸模具的模板大多选用中碳钢。

(2) 平行度和垂直度 为了保证模具装配后各模板能够紧密配合，对于不同尺寸和不同功能模板的平行度和垂直度，应按 GB/T 1184—1996 执行。压铸模具模板上下平面的平行度公差等级为 5 级，模板两侧基准面的垂直度公差为 5 级。

(3) 尺寸精度与表面粗糙度 对于一般模板平面，尺寸精度应达到 IT7 ~ IT8，表面粗糙度值 R_a 为 $0.63 \sim 1.6 \mu\text{m}$ ；对于平面为分型面的模板，应达到 IT6 ~ IT7， R_a 为 $0.32 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

(4) 孔的精度、垂直度和位置度 常用模板各孔径的配合精度一般为 IT7 ~ IT6， R_a 为 $0.32 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。孔轴线与上下模板平面的垂直度为 4 级精度。对应模板上各孔之间的孔间距应保持一致，一般要求在 $\pm 0.02 \text{ mm}$ 以下，以保证各模板装配后达到的装配要求，使各运动模板沿导柱平稳移动。

2. 压铸模具模板的加工

目前，压铸模具的设计与制造选用标准模架已经非常普遍，标准模架的模板一般不需要经过热处理，除非用户有特殊要求。模板的加工工序安排要尽量减少模板的变形。加工去除量大的部分是孔加工，因此，把模板上下两面的平磨加工分为两部分。对于外购的标准模架的模板，首先进行划线、钻孔等粗加工，然后时效一段时间，使其应力充分释放；第一次平磨削除变形量，然后进行其他精加工；第二次平磨至尺寸，并可去除加工造成的毛刺和表面划伤等，使模具的外观质量得以保证。两次平磨在有些场合也可以合二为一。

3. 动、定模板加工工艺实例

(1) 动模板加工工艺 图 8-53 是斜销多方位侧抽芯压铸模的动模板加工工艺用图，其加工工艺过程卡见表 8-24。

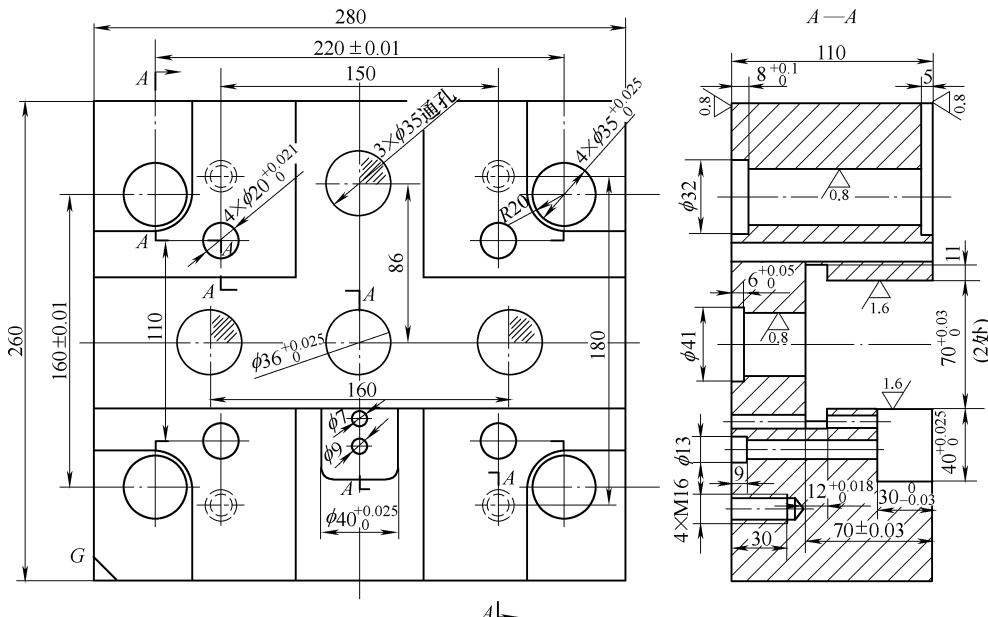


图 8-53 动模板加工工艺用图

表 8-24 动模板加工工艺过程卡

工序号	工序	加工内容
1	锻	280mm × 260mm × 110mm, 单边留加工余量 4~5mm
2	热处理	退火处理
3	铣	280mm × 260mm × 110mm, 单边留加工余量 1~2mm
4	划	粗划导滑槽, 70mm × 70mm 深
5	铣	粗铣导滑槽, 单边留余量 3mm

(续)

工序号	工序	加工内容
6	热处理	调质 220 ~ 250HBW
7	铣	厚 110mm, 留磨量 0.6 ~ 0.8mm
8	钳	钻攻侧面的吊钩螺孔(图中未画出)
9	磨	厚 110mm, 达到尺寸要求, 保证平行度允差小于 0.02mm
10	铣	1) 确定基准角 G, 以模板大平面为基准, 分别精加工基准角 G 相邻两侧面相互垂直, 并与模板大平面垂直, 做基准角标记“G”或两侧基准面标记“X”、“Y” 2) 铣与 X、Y 相对应的两侧面, 达到尺寸要求
11	划	以 X、Y 两侧面为基准, 按以下加工内容划线
12	铣	1) 精加工导滑槽“70 ^{+0.03} / ₀ ”深“70 ± 0.03”, 2 处及各台肩槽“12 ^{+0.018} / ₀ × 11” 2) 铣浇道镶块固定槽“40 ^{+0.025} / ₀ ”深“30 ⁰ / _{-0.03} ” 3) 铣四角的“R20”深 5mm 的塌边
13	划	
14	镗	以 X、Y 两侧面为基准, 加工“4 × φ35 ^{+0.025} / ₀ ”、“4 × φ20 ^{+0.021} / ₀ ”以及“φ36 ^{+0.025} / ₀ ”
15	钳	1) 钻孔“3 × φ35”通孔、“φ7”和“φ9”的通孔 2) 背面扩台肩孔“φ41 × 6”、“4 × φ32 × 8”、“φ13 × 9”以及钻攻“4 × M16”螺孔
16	钳	去除加工毛刺, 模板周边倒角“C2”

(2) 定模板加工工艺 图 8-54 是为定模板零件图, 其加工工艺过程卡见表 8-25。

表 8-25 定模板加工工艺过程卡

工序号	工序	加工内容
1	锻	280mm × 260mm × 50mm, 单边留加工余量 3 ~ 4mm
2	热处理	调质 220 ~ 250HBW
3	铣	厚 50mm, 留磨量 0.6 ~ 0.8mm
4	磨	加工厚“50 ^{+0.03} / ₀ ”至尺寸要求, 并保证两面平行度允差小于 0.02mm
5	铣	1) 确定基准角 G, 以模板大平面为基准, 分别精加工基准角 G 相邻两侧面相互垂直, 并与模板大平面垂直, 做基准角标记“G”或两侧基准面标记“X”、“Y” 2) 铣与 X、Y 相对应的两侧面, 达到尺寸要求
6	划	以 X、Y 两侧面为基准划线
7	钳	钻孔“6 × φ11”、“4 × φ7”和“□70”矩形孔的下刀孔
8	镗	以 X、Y 两侧面为基准加工“4 × φ35 ^{+0.025} / ₀ ”及“70 × 22 ^{+0.021} / ₀ × 20”共三处的矩形槽两端的工艺孔“6 × φ22 ⁰ / _{-0.02} × 20”, 保证矩形槽内边的尺寸精度“150 ⁰ / _{-0.03} ”和“85 ⁰ / _{-0.02} ”的尺寸要求

(续)

工序号	工序	加工内容
9	铣	1) 以X、Y两基准面找线,铣“ $\square 70_0^{+0.03} \times 20_0^{+0.021}$ ” 2) 以工艺孔“ $6 \times \phi 22_0^{-0.02} \times 20$ ”为基准,加工各矩形槽“ $70 \times 22_0^{+0.021}$ ”,使内加工面与各工艺孔相切,达到尺寸精度,并保证“ $150_0^{-0.03}$ ”及“ $85_0^{-0.02}$ ”的位置尺寸 3) 铣 $80\text{mm} \times 30\text{mm} \times 20\text{mm}$ 四角塌边
10	钳	1) 扩背面台肩孔“ $4 \times \phi 32 \times 8$ ”、“ $6 \times \phi 16 \times 11$ ”、“ $4 \times \phi 11 \times 7$ ”及侧面的吊钩螺孔(图中未画出) 2) 去除加工毛刺,模板周边倒角“C2”

注: 斜销固定孔“ $3 \times \phi 20_0^{+0.021}$ ”及浇口套固定孔“ $\phi 48_0^{+0.025}$ ”和“ $\phi 70_{+0.03}^{+0.07} \times 16_0^{+0.03}$ ”组装后加工。

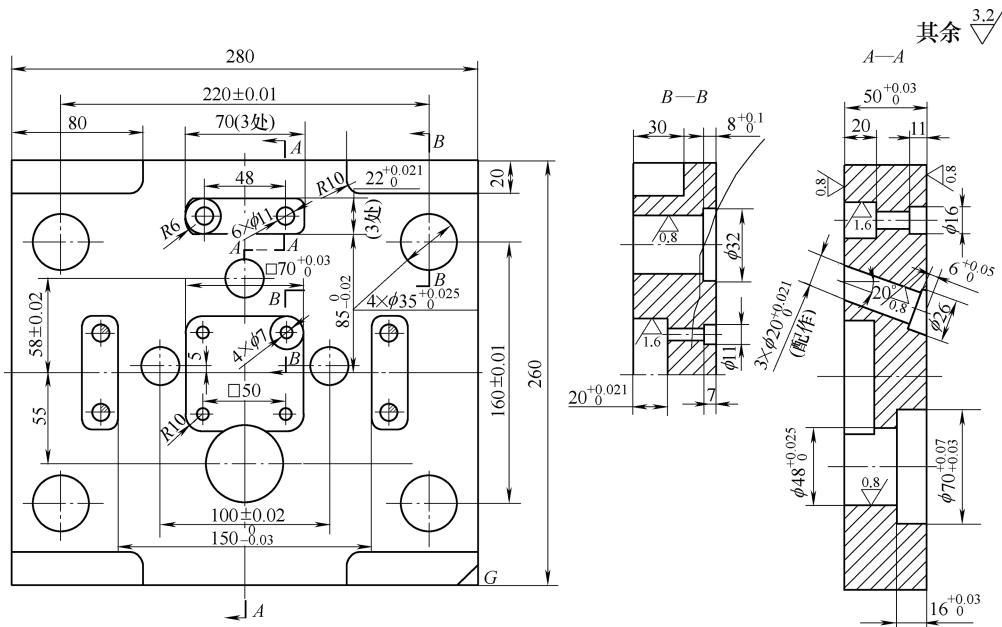


图 8-54 定模板加工工艺用图

第9章 压铸模的装配及试模

9.1 压铸模的装配

9.1.1 装配技术要求及生产流程

模具装配是把模具零件、组件或部件组装成一副完整模具的过程。相应地有组件装配、部件装配和总装三个步骤。模具装配既要保证配合零件的配合精度，还要保证零件之间的位置精度，对于彼此之间有相对运动的零件应保证运动精度。

模具装配是典型的钳工负责制的单件小批量组装，加之模具结构复杂各异，精度要求较高，这些特点从根本上决定了模具装配的方法和组织形式。互换装配法和分组装配法是以大批量生产和成组技术为基础的，要求所加工的零件具有很高的互换性，甚至完全互换性。这两种方法显然都不适于模具装配。所以，压铸模具装配中普遍采用修配装配法及调整装配法，通过对某些零件的修磨或位置调整使之达到装配精度要求。这样既可以保证模具装配精度的要求，又不致于增加加工难度和加工成本。在组织形式上，模具装配现阶段多数还是在固定地点，由技术熟练的钳工完成所有的装配工作。

1. 压铸模的装配技术要求

- (1) 模具外观装配技术要求
 - 1) 模具非工作部分的棱边应倒角。
 - 2) 装配后的闭合高度、安装部位的配合尺寸、顶出形式、开模距离等均应符合设计要求及使用设备的技术条件。
 - 3) 模具装配后各分型面要配合严密。
 - 4) 各零件之间的支撑面要互相平行，平行度公差为 200mm 内不大于 0.05mm。
 - 5) 大、中型模具应设有起重吊钩、吊环，以便模具安装应用。
 - 6) 装配后的模具打刻动模与定模方向记号、编号、图号及使用设备型号。
- (2) 成型零件及浇注系统
 - 1) 成型零件的尺寸精度应符合设计要求。
 - 2) 成型零件及浇注系统的表面应光洁，无死角、塌坑、划伤等缺陷。
 - 3) 型腔分型面、浇道系统、进料口等部位，应保持锐边，不得修整为圆角。

4) 互相接触的型芯与型腔、挤压环、柱塞和加料室之间应有适当间隙或适当的承压面积，以防在合模时零件互相直接挤压造成损伤。

5) 装配后，互相配合的成型零件相对位置精度应达设计要求，以保证成型制件的尺寸、形状精度。

6) 拼块、镶嵌式的型腔或型芯，应保证拼接面配合严密、牢固，表面光洁，无明显接缝。

(3) 活动零件的装配技术要求

1) 各滑动零件的配合间隙要适当，起、止位置定位要准确可靠。

2) 活动零件导向部位运动要平稳、灵活、互相协调一致，不得有卡紧及阻滞现象。

(4) 锁紧及紧固零件的装配技术要求

1) 锁紧零件要锁紧有力、准确、可靠。

2) 紧固零件要紧固有力，不得松动。

3) 定位零件要配合松紧合适，不得有松动现象。

(5) 推出机构装配技术要求

1) 各推出零件动作协调一致、平稳、无卡阻现象。

2) 有足够的强度和刚度，良好的稳定性，工作时受力均匀。

3) 开模时应保证制件和浇注系统的顺利脱模及取出，合模时应准确退回原始位置。

(6) 导向机构的装配技术要求

1) 导柱、导套装配后，应垂直于模座，滑动灵活、平稳、无卡阻现象。

2) 导向精度要达到设计要求，对动、定模具有良好的导向、定位作用。

3) 斜导柱应具有足够的强度、刚度及耐磨性，与滑块的配合适当，导向正确。

4) 滑块和滑槽配合松、紧适度，动作灵活，无卡、阻现象。

(7) 加热冷却系统的装配技术要求

1) 冷却装置要安装牢固，密封可靠，不得有渗漏现象。

2) 加热装置安装后要保证绝缘，不得有漏电现象。

3) 各控制装置安装后，动作要准确、灵活、转换及时、协调一致。

2. 装配生产流程

(1) 装配前的准备

1) 研究分析装配图、零件图，了解各零件的作用、特点和技术要求，掌握关键装配尺寸。

2) 检查待装配的零件，确定哪些零件有配作加工内容。

3) 确定装配基准。

4) 清理模具零件。清洁、退磁、规整模具零件。

(2) 装配和配作 详见下面有关小节。

(3) 检验 在装配完成后进行全面的检验，以确定是否满足装配技术要求。

(4) 试模和修正 将装配好的模具在压铸机上试模，找出模具存在的问题并加以修正，修正后再进行试模。模具基本合格后，进行表面处理和表面纹饰加工，然后再进行试模，直至模具检验合格为止。

(5) 出厂或入库 将合格的模具清理干净，特别是型腔、型芯表面的残余金属液；并给动、定模打上方向标记、编号、生产日期等，涂上防锈油后出厂或入库。

9.1.2 压铸模总装技术要求

1) 模具分型面对定、动模座板安装平面的平行度按表 9-1 所示的规定。

表 9-1 模具分型面对座板安装平面的平行度规定 (单位: mm)

被测面最大直线长度	≤106	>106 ~ 250	>250 ~ 400	>400 ~ 630	>630 ~ 1000	>1000 ~ 1600
公差值	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20

2) 在分型面上，定模、动模镶件平面应分别与定模套板、动模套板齐平或允许略高，但高出量应在 0.05 ~ 0.10mm 范围内。

3) 导柱、导套对定、动模座板安装面的垂直度按表 9-2 所示的规定。

表 9-2 导柱、导套对定、动模座板安装面的垂直度规定 (单位: mm)

导柱、导套有效导滑长度	≤40	>40 ~ 63	>63 ~ 100	>100 ~ 160	>160 ~ 250
公差值	0.015	0.020	0.025	0.030	0.040

4) 合模时镶块分型面应紧密贴合，如局部有间隙，也应不大于 0.05mm（排气槽除外）。

5) 推杆、复位杆应分别与型面齐平，推杆允许突出型面，但不大于 0.1mm，复位杆允许低于型面，但不大于 0.05mm。推杆在推杆固定板中应能灵活转动，但轴向间隙不大于 0.10mm。

6) 滑块在开模后应定位准确、可靠。抽芯动作结束时，所抽出的型芯端面，与铸件上相对应型孔的端面距离不应小于 2mm。滑动机构应导滑灵活，运动平稳，配合间隙适当。合模后滑块与楔紧块应压紧，接触面积不小于 1/2，且具有一定预应力。

7) 模具所有活动部位，应保证位置准确，动作可靠，不得有歪斜和呆滞现象；相对固定的零件之间不允许窜动。

- 8) 浇道表面粗糙度 $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$, 转接处应光滑连接, 镶拼处应密合, 脱模斜度不小于 5° 。
- 9) 冷却水道和温控油道应畅通, 不应有渗漏现象, 进口和出口处应有明显标记。
- 10) 所有成形表面粗糙度值 $Ra \leq 0.4 \mu\text{m}$, 所有表面都不允许有击伤、擦伤或微裂纹。
- 11) 各模板的边缘均应倒角 $C2$, 安装面应光滑平整, 不应有突出的螺钉头、销钉、毛刺和击伤等痕迹。

9.1.3 压铸模装配的主要内容和组装技巧

- 1) 测定各配合零件的配合精度, 修整组部件的积累误差, 使其达到尺寸和形位的配合精度。
- 2) 为便于组装, 可在配合件的安装入口处, 设置导入斜角或导入过渡面。如图 9-1 所示, 根据结构性质, 台肩式固定的零件应如图 9-1a 所示, 在固定孔下端入口处设置导入斜角, 而螺栓固定的零件则如图 9-1b 所示, 在零件的导入端设置导入斜角。

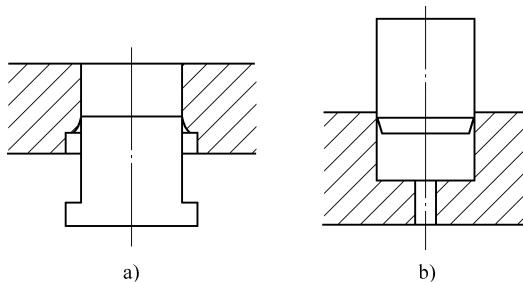


图 9-1 在安装入口处设置导入斜角或导入过渡面

- 3) 在采用手工方法迫入配合镶件时, 应摆正位置, 首先将镶件放在固定孔上, 利用导入斜角或导入过渡面的微量导入, 轻轻敲击, 使其站稳后, 用直角尺分别测量相邻 90° 处两侧面的垂直度, 并不断调整, 直到两侧面完全垂直后, 再用力平行压入, 如图 9-2 所示。为防止拉伤配合面, 应涂润滑油。

- 4) 导向零件在组装时, 应与模具的主分型面垂直。在一般情况下, 应先组装导套, 采用用直角尺测量配合面垂直度的方法。在组装导柱时, 可借助已组装的导套作导向, 将导柱迫入的方法, 如图 9-3 所示。

- 5) 推出元件各部应配合间隙得当, 在不发生溢料的前提下, 应运动自如, 无卡滞、歪扭现象, 在采用卸料板推出时, 应使推出端口的配合间隙均匀适宜。在采用斜向推出机构时, 其推出顶面应低于型芯表面 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$, 以防止推出顶面在侧向移动时受阻。

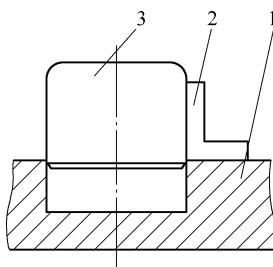


图 9-2 用直角尺调整垂直度

1—模板 2—直角尺 3—型芯

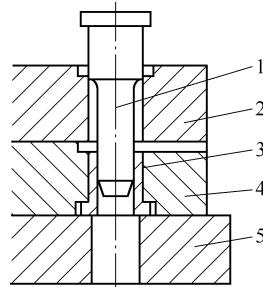


图 9-3 导柱的装配

1—导柱 2—定模板 3—导套
4—动模板 5—平行垫块

调整推杆及复位杆的长度，使其达到合适的组装高度。调整推出零件组装高度的方法有：

①当局部需要调整时，可局部加长或缩短。

②当全部需要调整时，可采取调整垫块高度和调整动模座板上的限位钉的高度。

6) 在侧抽芯机构中，应使侧滑块与导滑槽的配合间隙达到技术要求，并在压铸时模温升高的状态下，仍能移动平稳，灵活可靠。

如图 9-4 所示是侧型芯安装在侧滑块上的侧抽芯机构。当研合侧滑块导滑槽的配合状态达到要求后，将加工完的型腔装入模套中，如图 9-4a 所示。以导滑槽底面 A 为基准，测量侧孔高度 h ，根据高度镗侧型芯的固定孔。再采取图 9-4b 的方法，用定中心工具，在侧滑块端面冲出印迹，按中心印迹找正中心，钻镗侧型芯固定孔。

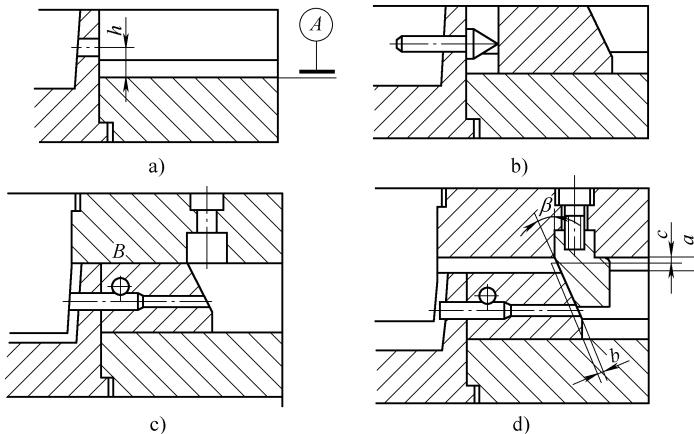


图 9-4 侧抽芯机构的组装和研合

模具处于合模状态时，侧型芯端面应与主型芯紧密接触。为此，将侧型芯端部修整成与主型芯侧面接触部位相吻合的形状后，装入侧滑块的固定孔中，在侧滑块立端面与型腔镶块的B面接触后，使侧型芯紧靠主型芯的侧面，钻横销的骑缝孔，并装入横销固定侧型芯，如图9-4c所示。

当模具处于合模状态时，楔紧块斜面必须和侧滑块斜面均匀接触，并留有足够的预紧力间隙c。楔紧块的组装和研磨方法及步骤如图9-4d所示。

①用螺栓将楔紧块紧固在定模板上。

②合模后，研磨斜楔紧面，使之均匀密合，其研磨量为

$$b = (a - c) \sin\beta$$

式中 b——楔紧斜面的研磨量（mm）；

a——合模后测得的主分型面的实际间隙（mm）；

c——主分型面上预留的预紧力间隙，一般取c=0.2~0.4mm，根据侧分型的压射截面积而定；

β——楔紧块的楔紧角（°）。

在研磨楔紧斜面时，为减少研磨量，可在楔紧块的楔紧斜面的中部，开设深为1.0mm左右的格式空刀，或中央部位凹陷只对周边受力的部位研合。

成型零件的相互斜插的碰合面也可采用以上的方法。

7) 压铸件应有均匀的壁厚。因此，在模具装配时，应检测成型空腔的间隙厚度，将铅条等软金属放置在需要检测的部位，合模后进行试成型，必要时进行修整。通常的方法是对定模或动模的成型镶块的位置进行微量移动，在达到厚度均匀时，紧固或用圆柱销固定。

9.1.4 压铸模的装配实例

在一般情况下，压铸模的装配总的原则是，先组装成型零件和导向零件，后组装其他零件。装配的顺序是先组装动模部分，后组装定模部分，最后是合模研合调整。动模部分组装的内容包括：成型零件、导向零件的组装、推出机构的组装以及侧抽芯机构、导滑槽的研合和组装等。定模部分组装的内容包括：成型零件、导向零件的组装以及浇口套的组装等。合模总装包括：各成型零件的位置状况、分型面的密合状况、导向零件的移动状况的研合调整和侧抽芯机构中楔紧块的研合、斜销的固定孔加工和安装，以及卧式冷压室压铸模浇口套的固定孔加工和安装等。

1. 实例1

图9-5所示为全立式压铸机用压铸模具，由动模和定模两部分组成。动模由导套5、分流锥6、动模镶块7、推杆8、螺钉9和10、动模座板11、推板12、推杆固定板13、推板导套14、推板导柱15、支承板16、动模套板17和动模镶块18组成；定模由压室1、座板2、型芯3、导柱4、定模套板19、组合定模镶块20、定

模座板 21 和支承柱 22 组成。

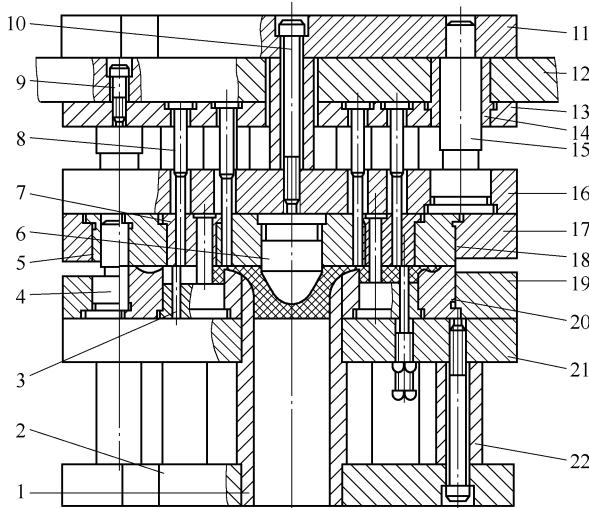


图 9-5 全立式压铸机用压铸模具

1—压室 2—座板 3—型芯 4—导柱 5—导套 6—分流锥 7、18—动模镶块
8—推杆 9、10—螺钉 11—动模座板 12—推板 13—推杆固定板
14—推板导套 15—推板导柱 16—支承板 17—动模套板 19—定模套板
20—组合定模镶块 21—定模座板 22—支承柱

(1) 部件装配

1) 组合动模镶块的装配。组合动模镶块由分流锥 6、动模套板 17、动模镶块 18 和型芯 3 构成。装配时把动模镶块 18 放在等高块上，先把配合面涂油后的动模套板 17 压入动模镶块 18 中间的镶块装配孔内，再把分流锥 6 和型芯压入动模套板 17 中间的分流锥装配孔和型芯装配孔中构成组合动模镶块。

2) 动模套板 17 的装配。装配时先将动模套板 17 放在等高块上，再把配合面涂油后的组合动模镶块压入动模套板 17 中间的组合动模镶块装配孔内，然后把配合面涂油后的导套 5 压入动模套板 17 的导套装配孔内，最后磨平压装后的动模套板 17 的底面。

3) 推板导柱 15 与支承板 16 的装配。装配时先将支承板 16 放在等高块上，再把配合面涂油后的推板导柱 15 压入支承板 16 的导柱装配孔内，然后磨平压装后的支承板 16 的底面。

4) 推杆 8 与推杆固定板 13 的装配。装配时先将推杆 8 装入推杆固定板 13 的推杆孔中，然后磨平装有推杆 8 的推杆固定板 13 的端面。

5) 推板 12 的装配。装配时先将配磨后的推杆固定板 13 放在等高块上，再把配合面涂油的推板导套 14 压入推杆固定板 13 的导套装配孔中，然后将配合面涂油的推板 12 套在推板导套 14 上，最后用涂油后的螺钉 9 把配磨后的推杆固定板 13

和推板导套 14 固定在推板 12 上。拧紧螺钉时，要按一定的顺序进行，并做到分次逐步拧紧，否则会使被连接件产生松紧不匀和不规则的变形。

6) 组合定模镶块 20 的装配。如图 9-6 所示，组合定模镶块由定模镶块 1 和定模镶块 2 构成。装配时先把定模镶块 1 小端向下放在压 力机工作台上，把装配面涂油后的定模镶块 2 小端向下压入定模镶块 1 中间的镶块装配孔内，组成组合定模镶块。

7) 组合定模镶块 20 与定模套板的装配。装配时先将定模套板 19 放在等高块上，再把配合面涂油后的组合定模镶块 20 压入定模套板 19 中间的组合定模镶块装配孔内；最后把配合面涂油后的导柱 4 压入定模套板 19 的导柱装配孔中，磨平压装后的定模套板 19 的底面并检测导柱 4 与基准面的垂直度误差。

8) 定模座的装配。定模座由压室 1、座板 2、定模座板 21、支承柱 22 和型芯 3 构成。装配时先将定模座板 21 放在等高块上，再把配合面涂油后的压室 1 压入定模座板 21 中间的压室装配孔内；把型芯 3 装在定模座板 21 的型芯螺孔内，把支承柱 22 放在定模座板 21 上，并保证支承柱 22 的螺纹过孔与定模座板 21 上的螺纹孔对正，最后把座板 2 套在压室 1 上，并用螺钉将压室 1、座板 2、定模座板 21、支承柱 22 和型芯 3 连成一体。

(2) 总装

1) 定模装配。定模部分由定模座、压装后的定模套板 19 和定模镶套构成。装配时将定模座水平放置，再把压装后的定模套板 19 套在定模座的压室 1 上，并使型芯 3 插入定模套板 19 的型芯孔中，最后把配合面涂油的定模镶套压入压室 1 与定模镶块之间的环形槽内，用螺钉把定模套板 19 固定在定模座上，至此定模部分的装配即告结束。

2) 动模装配。动模部分由装配后的动模套板 17、装配后的支承板 16、装配后的推板 12、动模座板 11 和支承柱 22 构成。装配时先把装配后的动模套板 17 放在等高块上，再把装配后的支承板 16 放在装配后的动模套板 17 上，并使它们的推杆孔对正；把装配后的推板 12 套在装配后支承板 16 的推板导柱 15 上，并使用推杆 8 插入装配后的支承板 16 和装配后动模套板 17 的推杆孔内，用螺钉将支承板 16 和装配后的动模套板 17 固定在一起；把支承柱放到装配后的推板 12 的支承柱装配孔内，将动模座板 11 套在推板导柱 15 上后用螺钉 10 把动模部分连成一体。检查推板导柱 15 和推杆 8 滑动是否灵活，若有卡滞现象，可用红粉涂于滑动件的配合表面，往复活动观察卡滞部位，分析原因并进行修配。检查完毕后动模部分的装配即告结束。

3) 合模。全立式压铸机压铸模由动模部分和定模部分构成，将模具的动、定

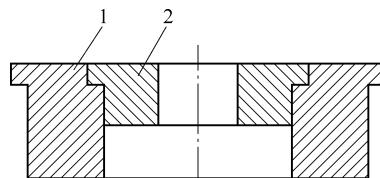


图 9-6 组合定模镶块

1、2—定模镶块

模合模后应检查导柱、导套的滑动是否灵活，若不灵活，有卡滞现象，可用红粉涂于导柱表面，往复拉动模板，观察卡滞部位，分析原因并进行修配。检查完毕后模具的装配过程即告结束。该模具进入试模阶段。

2. 实例 2

图 9-7 为隔膜泵壳体的压铸模。它的结构特点是：

- 1) 采用三个方向斜销侧分型的结构形式。
- 2) 在卧式冷压室压铸机上，采用扁平侧浇口从压铸件上端部进料的方式。
- 3) 在侧分型时，侧对合型腔 13 和 32 的端面与侧滑块 17 接触，故采用侧分型延迟动作，以防止干扰。

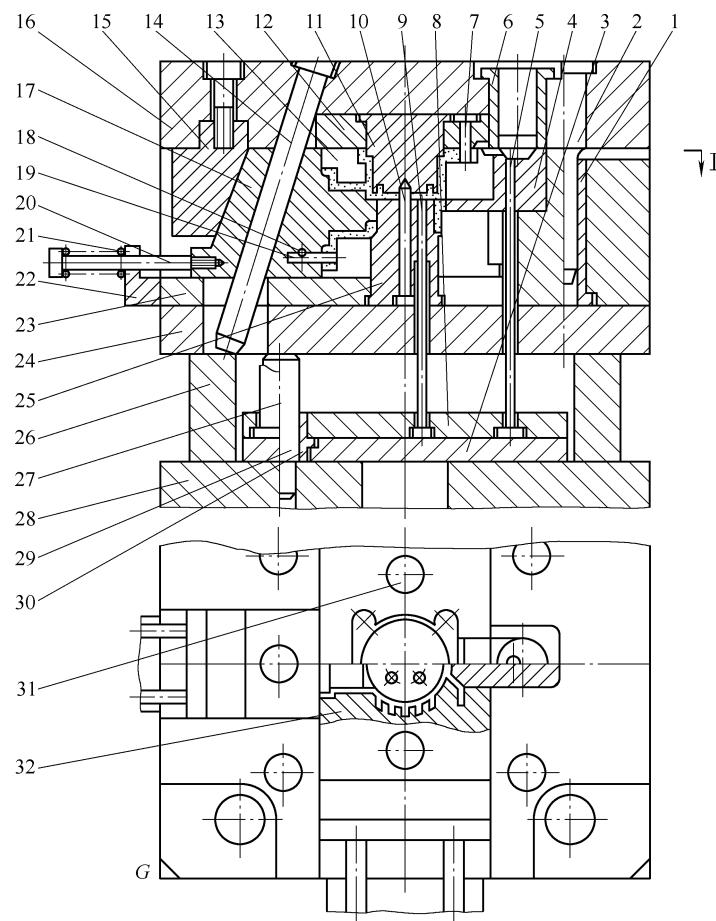


图 9-7 斜销多方位侧抽芯压铸模

- 1—导套 2—导柱 3—推板 4—浇道镶块 5—浇道推杆 6—浇口套 7、10—型芯 8—推杆固定板
 9—推杆 11—定模主型芯 12—定模镶块 13、32—侧对合型腔 14、31—斜销 15—楔紧块
 16—定模板 17—侧滑块 18—横销 19—侧型芯 20—拉杆 21—弹簧 22—限位块 23—动模板
 24—支承板 25—动模主型芯 26—垫块 27—复位杆 28—动模座板 29—推板导柱 30—推板导套

下面将装配程序作分步介绍。

(1) 动模部分组装 动模部分组装过程流程卡见表 9-3。

表 9-3 动模部分组装过程流程卡

工 序 号	组 装 内 容
1	将型芯 10 装入动模主型芯 25 的型芯孔中，并一起装入动模板 23 的型芯孔中
2	导套 1 迫入动模板 23 的固定孔中
3	浇道镶块 4 装入动模板 23 的固定孔中，调整位置后，用螺钉紧固
4	将支承板 24 安装在动模板 23 上，用螺钉紧固为一体
5	配作推出元件孔，将推杆固定板 8 夹固在动模板 23 和支承板 24 组合体底部的中心位置上，以动模主型芯 25 的推杆 9、浇道镶块 4 上的浇道推杆 5 及动模板 23 上的复位杆 27 的安装孔为导向钻通。整体翻转扩孔 +1.0mm，后卸下推杆固定板 8，并扩钻推出元件的台肩孔
6	装对合型腔 13 和 32 装入动模板 23 的 T 形导滑槽中，研合至配合良好，运动舒畅。以动模主型芯 25 为轴研合，使侧对合型腔的对合面对中良好，并接触紧密
7	将侧滑块 17 装入动模板 23 的 T 形导滑槽中，研合至配合良好，并运动自如。在侧滑块 17 导滑端面与侧对合型腔 13 和 32 的侧端面相碰时，使侧滑块 17 成型部位的圆柱端面也与动模主型芯 25 的圆柱面紧密碰合
8	侧型芯 19 迫入侧滑块 17 的固定孔，钻横销孔并迫入横销 18。调整伸长长度，使侧型芯 19 与侧对合型腔碰合
9	将推板导柱 29 迫装在动模座板 28 的固定孔中
10	推杆 9、浇道推杆 5、复位杆 27 及推板导套 30 穿入推杆固定板 8，并分别装入动模组件和推板导柱 29 中，安装推板 3
11	将垫块 26 及动模座板 28 安装在动模组合体上
12	将推杆固定板和推板的组合体推至支承板 24 底面，调正推板导柱的位置，在反复推拉、反复调整后，使推板组合体并带动推出元件运动自如，无蹩劲现象后，拧紧螺栓
13	调整推杆和复位杆高度，使推杆高出 0.05 ~ 0.10mm，复位杆低于 0 ~ 0.05mm

(2) 定模部分组装 定模部分组装工艺过程流程卡见表 9-4。

表 9-4 定模部分组装工艺过程流程卡

工 序 号	组 装 内 容
1	将定模主型芯 11、型芯 7 装入定模镶块 12 中，组合体经检验后，装入并紧固在定模板 16 上
2	确定浇口套 6 的位置，划线

(续)

工 序 号	组 装 内 容
3	加工浇口套 6 的固定孔和模体的定位孔
4	清洗后, 将浇口套 6 装入定模板 16 中
5	导柱 2 迫入定模板 16 中

(3) 合模装配 合模装配的工艺内容见表 9-5。

表 9-5 合模装配的工艺内容

工 艺 顺 序	工 艺 内 容
1	按基准角 G 的位置合模, 检验导柱 2 和导套 1 的配合状况, 并保证运动平稳、顺畅
2	检验定模主型芯 11、动模主型芯 25、型芯 10 和型芯 7 的突出高度, 保证压铸件的壁厚均匀和通孔的要求
3	检验分型面的合模的平行度及密合状况, 分型并修正研合
4	开模。楔紧块 15 及侧对合型腔 13 和 32 的楔紧块 (图中未画出) 分别安装并紧固在定模板 16 上
5	再次合模, 研合楔紧块的楔紧面, 应有 2/3 的均匀接触面, 并且在手工合模状态下, 在主分型面上应有 0.2mm 的预紧间隙
6	将定模组合体和动模组合体夹紧成一体, 分别找出斜销 14 和斜销 31 在定模板 16 顶面上的安装位置, 划线
7	把定、动模的组合体装夹在镗床工作台上, 使其端面与工作台垂直, 分别调好斜销斜角、校线, 使斜销安装孔中心线与主轴重合, 按要求分别加工斜销 14 和 31 的安装孔、台肩孔和各侧滑块的斜孔
8	将斜销 14 和 31 分别迫装在定模板 16 上, 并修平固定台肩的端面
9	安装并调整限位块 22 及侧对合型腔 13 和 32 的限位块 (图中未画出) 的限位距离, 使侧成型零件前端在脱离压铸件的投影区 2mm 以上时, 实现限位功能
10	安装拉杆 20 及弹簧 21 等, 并调整弹簧的拉力, 使之能承载侧型芯的重力
11	检验合模

3. 实例 3

图 9-8 为旋片泵定子座的压铸模。由于在压铸件平面的中心部位有一倾角为

30°的斜孔。经分析认证，采用模内中心斜抽芯的结构形式。现将模内中心斜抽芯压铸模的装配工艺过程安排如下：

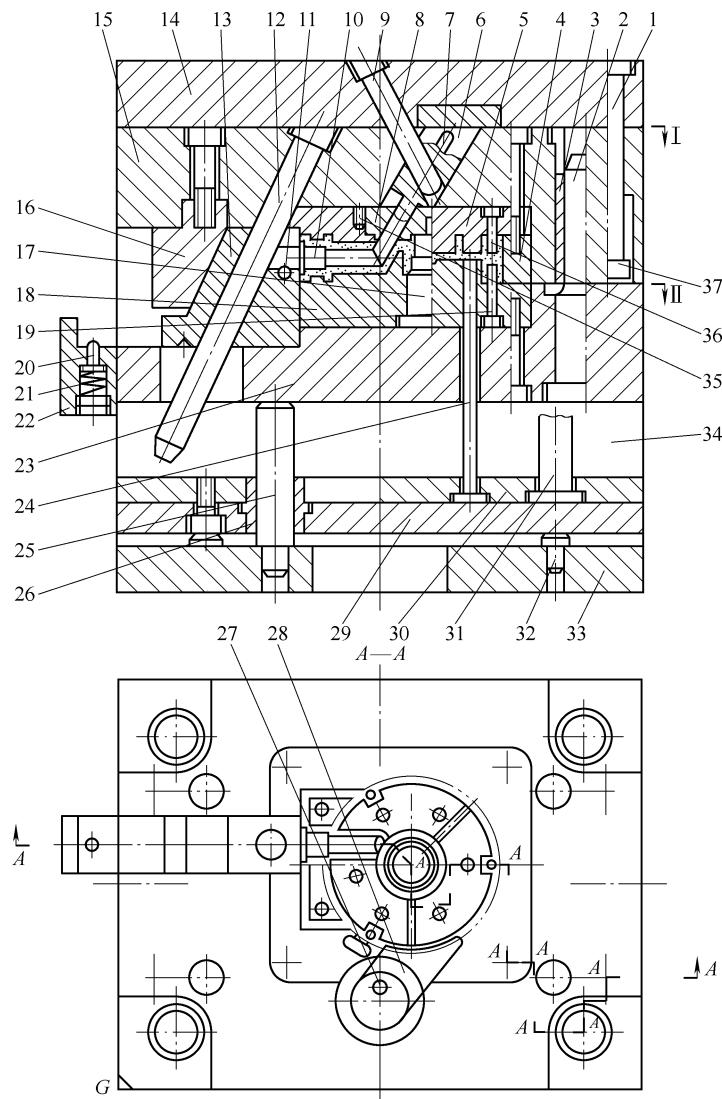


图 9-8 模内中心斜抽芯压铸模

- 1—限位导柱 2—导柱 3—导套 4—凹模套 5—定模镶块 6—中心斜芯
- 7—导滑键 8、17、19、36—型芯 9—中心斜销 10—侧型芯 11—横销
- 12—斜销 13—侧滑座 14—定模座板 15—定模板 16—楔紧块 18—动模镶块
- 20—定位销 21—弹簧 22—限位块 23—动模板 24—推杆 25—推板导柱
- 26—推板导套 27—浇道推杆 28—浇道镶块 29—推板 30—推板固定板
- 31—复位杆 32—限位钉 33—动模座板 34—垫块 35—骑缝螺钉 37—限位垫

(1) 动模部分组装 动模组装工艺过程流程卡见表 9-6。

表 9-6 动模部分组装工艺过程流程卡

工序号	组 装 内 容
1	将型芯 17、19 装入动模镶块 18 的安装孔内，调好位置后，一起装入动模板 23 中紧固
2	确定浇道镶块 28 的位置，镗孔后装入
3	导柱 2 迫入动模板 23 内
4	配作推出元件孔。将推板固定板 30 夹固在动模板 23 背面的合适位置上，以型芯 18 上推杆 24、浇道推杆 27 和复位杆 31 的安装孔为导向钻通孔。整体翻转扩孔 +1.0mm。卸下推板固定板 30，扩钻顶出元件的台肩孔
5	将侧滑座 13 装入动模板 23 的 T 形槽中，研合导滑槽，使其配合状态良好，运动自如
6	将侧型芯 10 迫入侧滑座 13 中，钻横销骑缝孔，迫入横销 11
7	调整侧型芯 10 的伸出长度，满足尺寸要求
8	将推板导柱 25 和限位钉 32 迫在动模座板 33 上
9	将推杆 24、复位杆 31、浇道推杆 27 以及推板导套 26 穿入推板固定板 30 相应的安装孔中，并装入动模组件和推板导柱 25 中，安装推板 29
10	垫块 34 和动模座板 33 安装在动模组合体上
11	将推板和推板固定板的组合体向动模板 23 靠拢，并调正推板导柱 25 的位置，反复推拉调整，使推板组合件带动推出元件运动舒畅，无卡滞现象后，拧紧螺栓
12	调整推杆和复位杆的高度，在复位状态下，使推杆高出 0.05~0.10mm，复位杆低于分型面 0~0.05mm

(2) 定模部分组装 定模部分组装工艺过程流程卡见表 9-7。

表 9-7 定模部分组装工艺过程流程卡

工序号	组 装 内 容
1	将型芯 8 和 36 迫入定模镶块 5 的安装孔内，经检验后，钻攻骑缝螺孔，并旋入骑缝螺钉 35 定位
2	定凸模组合体和凹模磁 4 装入定模板 15 内，用螺栓紧固
3	导套 3 校准后，迫入定模板 15 内
4	找准中心斜芯 6 的安装孔，划线
5	将定模组合体装夹在镗床工作台上，保证模板与工作台面垂直，调好中心斜芯 6 的倾斜角与机床主轴中心重合，锁紧工作台各部
6	镗镶块 8 的斜孔，并适当伸深，作为后续工艺基准孔

(续)

工 序 号	组 装 内 容
7	轻轻卸下定模镶块 5 的组合体，并保证其他部分的位置不变。在定模板 15 上加工中心斜芯 6 的导滑孔。保证配合精度
8	加工导滑孔中的导滑键槽，清理后，将定模镶块 5 的组合体和凹模套 4 重新装入定模板 15 中紧固
9	将限位导柱 1 和中心斜芯 6 的垫板装入定模座板 14 的固定孔中

(3) 合模装配 合模装配的工艺内容见表 9-8。

表 9-8 合模装配的工艺内容

工 序 号	组 装 内 容
1	按基准角 G 的位置合模，检验导柱 2 和导套 3 的配合状况，保证在相对移动时，运动平稳、顺畅
2	检验并调整型芯 8、17、19、36 的突出高度、压铸件壁厚和密合状况
3	检验并研合分型面合模的平行度精度和密合状况
4	开模。将楔紧块 16 安装在定模板 15 上，并紧固定位
5	再次合模，研合楔紧块 16 的楔紧面，有 2/3 以上的均匀接触面积，并且在人工合模状态下，在主分型面上应有 0.2mm 的预紧力空间
6	将定模组合体和动模组合体夹紧成一体，找出斜销 12 在定模板 15 顶面上的安装位置，划线
7	把定、动模的组合体装夹在镗床工作台上，使其端面与工作台垂直，调好斜销 12 的抽拔角，校线，使之与机床主轴中心重合。锁紧工作台
8	镗斜销 12 的安装孔、台肩孔和侧滑座 13 的斜孔
9	开模清理后，将斜销 12 迫入定模板 15 的安装孔内。修正台肩端面与模板齐平
10	装入中心斜芯 6 及导滑键 7，调整斜芯长度，使中心斜芯 6 的成型端部与侧型芯 10 斜向密合，并工艺锁紧
11	修研中心斜芯 6 导滑段端面与定模板 15 的上端面齐平
12	将定模座板 14 的组合体，以限位导柱 1 导向，装夹在定模的组合体上。确定浇口套（图中未画出）和中心斜销 9 在定模座板 14 上端面的位置，划线
13	1) 采取同样的程序，镗中心斜销 9 的固定孔、台肩孔、中心斜芯 6 的斜孔 2) 浇口套的固定孔部位
14	打开组合体，取出中心斜芯 6，清理后重新装入，并将中心斜销 9、浇口套装入定模座板 14 上
15	定模板 15 与定模座板 14 合模，安装限位垫 37

(续)

工序号	组 装 内 容
16	将限位块 22 安装在动模板 23 上。合模并开模后，确定侧滑座 13 的侧分型距离，使侧型芯 10 在离开压铸件的投影区域 2mm 以上时，限位块 22 限位
17	引孔做侧滑座 13 的定位锥窝。安装定位销 20、弹簧 21 及丝堵，调整定位弹力
18	检验后合模

9.2 压铸模的试模与调整

9.2.1 调整内容

压铸模制造完成以后，要经过试模调整，选择正确的压铸条件，才能达到稳定地压铸出合格的铸件。

试模前，试模人员应做到对压铸用合金原材料进行检查，了解合金材料的特点和压铸特性；还应了解模具结构、压铸机的性能、压铸条件及操作方法。

正确选择压铸成形条件，是试模调整的关键。常常遇到即使模具的设计与制造都正确，由于压铸成型条件选择不当，同样压不出合格的铸件。相反，在某些情况下，可借助于调整压铸成型条件，克服模具的不足之处、压出了合格的铸件。为此，试模人员必须熟悉各项压铸成型条件的作用及相互关系、模具动作原理，才能正确地选择和合理地调整各项压铸成型条件。

压铸成型条件调整的内容有以下几点：

- 1) 材料熔融温度、压射时模具温度及熔液温度。
- 2) 压铸机的注射压力、锁模力、开模力的确定及根据制件情况所需的压射比压、压射速度大小等。
- 3) 对压铸成的制品状况要进行修整才能获得完善的制件。

9.2.2 试模过程

试模是模具制造的最后一个环节，是在压铸机上对压铸模成型效果的现场检验过程。试模的目的不仅在于对模具设计和制造的检验，也是为正式生产寻求最佳的成型工艺条件。

试模过程大体分装模、试模和调整三个阶段。

1. 装模

装模包括预检、装模和调节等主要内容。

(1) 预检

- 1) 压室容积满足压铸件总压铸容积的要求。
- 2) 压铸机锁模力应大于在压铸时金属液产生压射冲击的反压力。
- 3) 模具的闭合高度和外形满足所选定的压铸机的技术要求。
- 4) 压铸机的推出行程大于模具的最大脱模行程。
- 5) 开模距离满足压铸件顺利脱模的要求。
- 6) 模具的定位及紧固部位应满足压铸机的技术要求。

(2) 装模

1) 在一般情况下，模具应尽可能整体安装。吊装着力点应使模体平衡，防止模体大幅度摆动，影响安全。机身应放置木垫，防止模体直接接触机身。

2) 当模体设有侧抽芯机构时，应按设计要求的位置装模。

3) 模具定位孔装入定位法兰后，沿竖直方向摆正模具，慢速闭合压铸机动座板，直至锁紧模具。采用螺钉和压板紧固模具后，慢速开启模具，并反复运行几次，查看在合模时，导柱入口时的导入状态以及分型面的密合状况，并加以微量调整。

陈旧的压铸机由于移动的动座板与导向拉杆的日久磨损，产生较大的配合间隙。由于在自然合模的状态下紧固，动模部分较重，当开模时，必然引起动模部分向内倾斜，在重新合模时，可能导致导柱和导套孔的错位而产生蹩劲现象，严重时，会相互损伤或研死。这种情况，可采用如下的调整方法；在压铸机锁紧模具后，先紧固定模部分，使动模部分抬高适当距离后，再紧固动模部分。经反复调整直到导柱导入顺畅为止。

当动模部分过重或压铸机过于陈旧时，可在压铸机动座板上设置支承托架，用以支承动模，如图 9-9 所示。

- 4) 接通加热装置和冷却装置。

(3) 调节

1) 调节锁模的松紧程度。锁模力应足够大，保证模具在金属液压射压力冲击下不开缝，但过大会导致模体挤压变形。对于曲肘式合模机构的压铸机，主要靠经验来调节合模的松紧程度，即在合模时，使肘节先快后慢，在既不很自然，也不太勉强的伸直状态时，合模的松紧程度正好合适。

2) 调节推杆的推出距离。在开模状态下，将压铸机推出机构的推出距离调节到使压铸件完全脱模而正常推出的前提下，使模具的推杆固定板与动模板或支承板之间尚有不小于 5mm 的空间距离，以防止损坏模具。

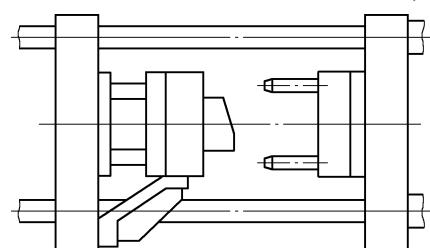


图 9-9 动模部分设支承架

2. 试模

试模的主要内容如下：

(1) 模具预热 用模具加热装置，使模具温度达到预热温度。

模温过高，会使金属液的冷却速度放缓，从而延长成型周期，降低压铸效率，同时使压铸件内部组织晶粒粗大，影响机械强度，还可能产生粘模现象。

模具预热温度过低，则影响金属液的流动性和热冲击而影响成型零件的寿命。

因此，模具的预热温度应达到适宜的热平衡状态，才能改善压铸件的顺序凝固状态，使凝固速度均匀，提高内部质量和保证尺寸的稳定性。

(2) 浇注温度 浇注温度应均衡适宜，在保温镇静一段时间后，使金属液温度均匀。金属液在坩埚中的过热温度应控制在 50℃ 以下。

浇注温度过高，使成型收缩增大，影响压铸件尺寸的稳定性，并容易产生裂纹及粘模等压铸缺陷。

过低的浇注温度会影响金属液的流动性，产生欠铸、冷隔、裂纹等压铸缺陷。

因此，在金属液保持良好的流动性的前提下，采用较低的浇注温度。

(3) 选择压射比压 选择压射比压应根据压铸件的形状、尺寸、壁厚、结构复杂程度以及合金的特性等多种因素确定。结构复杂的薄壁件，要求强度高、致密度高的压铸件以及结晶温度范围大、流动性差的压铸合金，如铜合金的压铸件，应选取较高的压射比压。

调整压射比压可通过调整压射力和选择不同直径的压射冲头来实现。压射冲头直径越小，可获得越大的压射比压。

(4) 选择压射速度 在试模过程中，压射速度大体有两种表现形式：

1) 慢速堆集阶段。为防止金属液包卷气体，压射冲头以极低的速度推动压室中的金属液，使压室上方的气体在平稳的环境中有序地排出。

2) 填充阶段的速度。在填充阶段，压射冲头高速度移动，在内浇口处，由于截面积小，使金属液以极高的速度，即内浇口速度填充型腔。

内浇口速度由压铸件的结构特点决定。在一般情况下，结构复杂、壁薄和表面质量要求较高时，应选用较高的内浇口速度；而结构较为简单和厚壁的压铸件，则选用低一些的内浇口速度。

(5) 确定填充时间 填充时间直接影响压铸生产的效率。填充时间主要受压铸金属液的总质量和内浇口的基本状态的影响。当金属液的总质量固定后，内浇口速度越高，内浇口截面积越大，填充时间越短。填充时间越短，压铸件表面质量及轮廓清晰度越好，但充型太快，易造成型腔气体来不及排出，使孔隙率增大，影响压铸件的致密性。

在一般情况下，金属液总量大和有强度、致密性要求的压铸件，填充时间应取长些；有表面质量要求的压铸件，填充时间应取短些。

根据现场情况，适当提高压射速度，即提高内浇口速度，或者改变内浇口的截面积，可改变填充时间。

试模过程应注意的问题是：

1) 试模中压铸工艺的参数应按压射比压、压射速度、填充时间、开模时间的顺序调整。一个参数调好后，再调整另一个参数，不要同时变动两个以上的工艺参数，以便准确分析成型时产生的问题和提出解决方法。

2) 试模中出现的问题或压铸缺陷，往往是在多种条件下出现的，特别是在试模过程中模具温度的影响。因此，进行全面分析，从调整压铸工艺和改善成型条件入手，解决问题，消除压铸缺陷。不要一出现问题，就考虑更改模具。因为一经更改，模具就很难恢复原状。

3) 试模中出现的问题经分析后制定解决的方法，并详细记录备查。

4) 应对调节压铸工艺的过程和最佳压铸成型工艺的数据及操作要点，经整理后记录，以便批量生产时参考。

9.2.3 调整方法

压铸模试模中可能出现的缺陷、产生原因与调整方法见表 9-9。

表 9.9 压铸模试模中可能出现的缺陷、产生原因与调整方法

缺 陷	产 生 原 因	调 整 方 法
压铸件表面有花纹、并有金属液痕迹	1) 内浇口通往铸件进口处流道太浅 2) 压射比压太大，致使金属流速过高，引起金属液的飞溅	1) 加深浇口流道 2) 减少压射比压
压铸件表面有裂纹或局部变形	1) 顶料杆分布不均匀或数量不够，受力不均 2) 推料杆固定板在工作时偏斜，致使一面受力大，一面受力小，使制品变形及产生裂纹 3) 铸件壁太薄，收缩后变形	1) 增加顶杆数量，调整其分布位置，使顶件力受力均匀 2) 调整及重新安装推杆固定板 3) 重新设计铸件，使其壁部加厚
压铸件表面有细小的凸瘤	1) 型腔内表面有划痕或有凹坑、裂纹产生 2) 表面粗糙	1) 更换型腔或进行修补 2) 抛光型腔
压铸件表面有顶杆印痕，表面不光洁、粗糙	1) 顶杆太长 2) 型腔表面粗糙，或有杂物	1) 调整顶杆长度 2) 抛光型腔，清除杂物及油污

(续)

缺 陷	产 生 原 因	调 整 方 法
压铸件表面有气孔	1) 润滑剂涂得太多 2) 排气槽被堵, 气排不出去	1) 合理使用润滑剂 2) 修复或增设排气槽, 使其排气通畅
压铸件表面有缩孔	1) 压铸工艺不合理, 壁厚变化太大 2) 金属液温度太高	1) 在壁厚的地方增加工艺孔, 使壁厚均匀 2) 降低金属液温度
压铸件内有气孔产生	1) 金属流动方向不正确, 与铸件型腔发生正面冲击, 产生涡流, 将空气包围, 产生气泡 2) 内浇口太小, 金属流速过大。在空气未排出前, 过早地堵往了排气孔, 使气体留在铸件内 3) 型腔太深, 通风排气困难 4) 排气系统设计不合理, 排气困难	1) 修正分流锥大小形状, 防止造成金属流对型腔的正面冲击 2) 适当加大内浇口 3) 改进模具设计 4) 合理设计排气槽, 增加空气穴
压铸件外轮廓不清晰, 成不了型, 局部欠料	1) 压铸机压力不够, 压射比压太低 2) 进料口厚度太大 3) 浇口位置不正确, 使金属发生正面冲击	1) 更换压铸比压大的压铸机 2) 减小进料口流道厚度 3) 改变浇口位置, 防止对铸件正面冲击
压铸件部分未成型, 型腔充不满	1) 压铸模温度太低 2) 金属液温度低 3) 压铸机压力太小 4) 金属液不足, 压射速度太高 5) 空气排不出来	1) 提高压铸模温度 2) 提高金属液温度 3) 更换大压力压铸机 4) 加足金属液, 减小压射速度, 加大进料口厚度 5) 修整排气系统, 给以良好排气
压铸件锐角处充填不满	1) 内浇口进口太大 2) 锐角处通气不好, 有空气排不出来 3) 压铸机压力过小	1) 减小内浇口 2) 改善排气系统 3) 更换压力大的压铸机
压铸件结构疏松, 强度不高	1) 压铸机压力不够 2) 内浇口太小 3) 排气孔堵塞	1) 改换压力大的压铸机 2) 加大内浇口 3) 检查排气孔, 保持排气畅通

(续)

缺 陷	产 生 原 因	调 整 方 法
压铸件内有杂质	1) 金属液不清洁, 有杂质 2) 合金成分不纯 3) 模具型腔不干净	1) 浇注时把杂质和渣物清掉 2) 更换合金 3) 清理模具型腔, 保持干净
压铸过程中有金属外溅	1) 动、定模间合模不严密, 间隙较大 2) 锁模力不够 3) 压铸机架、定模安装板不平行	1) 重新安装模具 2) 加大锁模力 3) 调整压铸机, 使动、定模安装板保持平行

附录

附录 A 压铸件的公差

表 A-1 压铸高精度尺寸公差推荐值 (单位: mm)

基本尺寸	空间对角线≤50			空间对角线>50~180			空间对角线>180~500			空间对角线>500	
	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金
≤18	0.04	0.07	0.11	0.07	0.11	0.18	0.11	0.18	0.27	0.18	0.27
>18~30	0.05	0.08	0.13	0.08	0.13	0.21	0.13	0.21	0.33	0.21	0.33
>30~50	0.06	0.10	0.16	0.10	0.16	0.25	0.16	0.25	0.39	0.25	0.39
>50~80				0.12	0.19	0.30	0.19	0.30	0.46	0.30	0.46
>80~120				0.14	0.22	0.35	0.22	0.35	0.54	0.35	0.54
>120~180				0.16	0.25	0.40	0.25	0.40	0.63	0.40	0.63
>180~250							0.29	0.46	0.72	0.46	0.72
>250~315							0.32	0.52	0.81	0.52	0.81
>315~400							0.36	0.57	0.89	0.57	0.89
>400~500							0.40	0.63	0.97	0.63	0.97
>500~630										0.70	1.10
>630~800										0.80	1.25
>630~800										0.90	1.40
>1000~1250										1.05	1.65

表 A-2 压铸严格尺寸公差推荐值 (单位: mm)

基本尺寸	空间对角线≤50			空间对角线>50~180			空间对角线>180~500			空间对角线>500	
	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金
≤18	0.07	0.11	0.18	0.11	0.18	0.27	0.18	0.27	0.35	0.27	0.35
>18~30	0.08	0.13	0.21	0.13	0.21	0.33	0.21	0.33	0.43	0.33	0.43
>30~50	0.10	0.16	0.25	0.16	0.25	0.39	0.25	0.39	0.51	0.39	0.51

(续)

基本尺寸	空间对角线≤50			空间对角线>50~180			空间对角线>180~500			空间对角线>500	
	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金	铜 合金	锌 合金	铝、镁 合金
>50~80				0.19	0.30	0.46	0.30	0.46	0.60	0.46	0.60
>80~120				0.22	0.35	0.54	0.35	0.54	0.71	0.54	0.71
>120~180				0.25	0.40	0.63	0.40	0.63	0.82	0.63	0.82
>180~250							0.46	0.72	0.94	0.72	0.94
>250~315							0.52	0.81	1.06	0.81	1.06
>315~400							0.57	0.89	1.15	0.89	1.15
>400~500							0.63	0.97	1.21	0.97	1.21
>500~630										1.10	1.43
>630~800										1.25	1.62
>630~800										1.40	1.85
>1000~1250										1.65	2.12

表 A-3 铝、镁合金压铸尺寸未注公差（长、宽、高、直径、中心距）

(单位: mm)

基本尺寸	空间对角线 ≤50				空间对角线 >50~180				空间对角线 >180~500				空间对角线 >500			
	Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度	
	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B
≤18	0.14	0.24	0.11	0.21	0.17	0.32	0.14	0.24	0.22	0.42	0.17	0.32	0.25	0.55	0.22	0.42
>18~30	0.17	0.27	0.14	0.24	0.2	0.35	0.17	0.27	0.26	0.46	0.2	0.35	0.35	0.65	0.26	0.46
>30~50	0.2	0.3	0.16	0.26	0.25	0.4	0.2	0.3	0.31	0.51	0.25	0.4	0.4	0.7	0.31	0.51
>50~80					0.3	0.45	0.23	0.33	0.37	0.57	0.3	0.45	0.45	0.75	0.37	0.57
>80~120					0.35	0.5	0.27	0.37	0.44	0.64	0.35	0.5	0.55	0.85	0.44	0.64
>120~180					0.4	0.55	0.32	0.42	0.5	0.7	0.4	0.55	0.65	0.95	0.5	0.7
>180~250									0.6	0.8	0.45	0.6	0.75	1	0.6	0.8
>250~315									0.65	0.85	0.5	0.65	0.8	1.1	0.65	0.85
>315~400									0.7	0.9	0.55	0.7	0.85	1.1	0.7	0.9
>400~500									0.8	1	0.6	0.75	0.95	1.2	0.8	1
>500~630														1.1	1.4	0.9
>630~800														1.2	1.5	1
>630~800														1.4	1.7	1.2
>1000~1250														1.6	1.9	1.3

表 A-4 铝、镁合金压铸尺寸未注公差（壁厚、肋、圆角）（单位：mm）

基本尺寸	空间对角线 ≤50				空间对角线 >50 ~ 180				空间对角线 >180 ~ 500				空间对角线 >500			
	Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度	
	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B
≤3	0.15	0.25	0.13	0.23	0.2	0.35	0.15	0.25	0.25	0.45	0.2	0.35	0.13	0.55	0.25	0.45
>3 ~ 6	0.2	0.3	0.15	0.25	0.25	0.4	0.2	0.3	0.3	0.5	0.25	0.4	0.4	0.6	0.3	0.5
>6 ~ 10	0.23	0.33	0.18	0.28	0.3	0.45	0.23	0.33	0.35	0.55	0.3	0.45	0.45	0.7	0.35	0.55

表 A-5 锌合金压铸尺寸未注公差（长、宽、高、直径、中心距）

(单位：mm)

基本尺寸	空间对角线 ≤50				空间对角线 >50 ~ 180				空间对角线 >180 ~ 500				空间对角线 >500			
	Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度	
	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B
≤18	0.11	0.21	0.09	0.19	0.14	0.29	0.11	0.21	0.17	0.37	0.14	0.29	0.22	0.47	0.17	0.37
>18 ~ 30	0.14	0.24	0.11	0.21	0.17	0.32	0.14	0.24	0.2	0.4	0.17	0.32	0.26	0.51	0.2	0.4
>30 ~ 50	0.16	0.26	0.13	0.23	0.2	0.35	0.16	0.26	0.25	0.45	0.2	0.35	0.31	0.56	0.25	0.45
>50 ~ 80					0.23	0.38	0.19	0.29	0.3	0.5	0.23	0.38	0.37	0.62	0.3	0.5
>80 ~ 120					0.27	0.42	0.22	0.32	0.35	0.55	0.27	0.42	0.44	0.69	0.35	0.55
>120 ~ 180					0.32	0.47	0.25	0.35	0.4	0.6	0.32	0.47	0.5	0.75	0.4	0.6
>180 ~ 250									0.45	0.65	0.36	0.51	0.6	0.85	0.45	0.65
>250 ~ 315									0.5	0.7	0.4	0.55	0.65	0.9	0.5	0.7
>315 ~ 400									0.55	0.75	0.45	0.6	0.7	0.95	0.55	0.75
>400 ~ 500									0.6	0.8	0.48	0.63	0.8	1.1	0.6	0.8
>500 ~ 630														0.9	1.2	0.7
>630 ~ 800														1	1.3	0.8
>630 ~ 800														1.1	1.4	0.9
>1000 ~ 1250														1.3	1.6	1.1

表 A-6 锌合金压铸尺寸未注公差（壁厚、肋、圆角）（单位：mm）

基本尺寸	空间对角线 ≤50				空间对角线 >50 ~ 180				空间对角线 >180 ~ 500				空间对角线 >500			
	Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度	
	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B
≤3	0.13	0.23	0.1	0.2	0.15	0.3	0.13	0.23	0.2	0.4	0.15	0.3	0.25	0.45	0.2	0.4
>3 ~ 6	0.15	0.25	0.12	0.22	0.2	0.35	0.15	0.25	0.25	0.45	0.2	0.35	0.3	0.5	0.25	0.45
>6 ~ 10	0.18	0.28	0.14	0.24	0.2	0.35	0.18	0.28	0.3	0.5	0.2	0.35	0.35	0.55	0.3	0.5

表 A-7 铜合金压铸尺寸未注公差（长、宽、高、直径、中心距）

(单位：mm)

基本尺寸	空间对角线≤50				空间对角线>50 ~ 180				空间对角线>180 ~ 500			
	Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度	
	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B
≤18	0.22	0.37	0.17	0.27	0.25	0.45	0.22	0.37	0.35	0.55	0.25	0.45
>18 ~ 30	0.26	0.41	0.2	0.3	0.35	0.55	0.26	0.41	0.4	0.6	0.35	0.55
>30 ~ 50	0.31	0.46	0.25	0.35	0.4	0.6	0.31	0.46	0.5	0.7	0.4	0.6
>50 ~ 80					0.45	0.65	0.37	0.52	0.6	0.8	0.45	0.65
80 ~ 120					0.55	0.75	0.44	0.59	0.7	0.9	0.55	0.75
>120 ~ 180					0.65	0.85	0.5	0.65	0.8	1	0.65	0.85
>180 ~ 250									0.95	1.1	0.75	0.95
>250 ~ 315									1.1	1.3	0.8	1
>315 ~ 400									1.2	1.4	0.9	1.1
>400 ~ 500									1.3	1.5	1	1.2

表 A-8 铜合金压铸尺寸未注公差（壁厚、肋、圆角）（单位：mm）

基本尺寸	空间对角线≤50				空间对角线>50 ~ 180				空间对角线>180 ~ 500			
	Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度		Ⅱ级精度		I 级精度	
	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B	尺寸 A	尺寸 B
≤3	0.2	0.35	0.15	0.25	0.25	0.45	0.2	0.35	0.3	0.5	0.25	0.45
>3 ~ 6	0.25	0.4	0.2	0.3	0.3	0.5	0.25	0.4	0.4	0.6	0.3	0.5
>6 ~ 10	0.3	0.45	0.2	0.3	0.35	0.55	0.3	0.45	0.45	0.65	0.35	0.55

表 A-9 自由角度及锥度公差

精度等级	锥体母线或夹角短边长度 L/mm												
	1 ~ 3	>3 ~ 6	>6 ~ 10	>10 ~ 18	>18 ~ 30	>30 ~ 50	>50 ~ 80	>80 ~ 120	>120 ~ 180	>180 ~ 260	>260 ~ 360	>360 ~ 500	
	偏差(±)												
I	1.5°	1°15'	1°	50'	40'	30'	25'	20'	15'	12'	10'	8'	6'
II	2.5°	2°	1.5°	1°15'	1°	50'	40'	30'	25'	20'	15'	12'	10'

表 A-10 压铸件平行度和垂直度公差 (单位: mm)

基本尺寸	同一半型内的公差	两个半型内的公差	同一半型内两个活动部位间公差
≤25	0.1	0.15	0.20
>25 ~ 63	0.15	0.20	0.30
>63 ~ 160	0.20	0.30	0.45
>160 ~ 250	0.30	0.45	0.70
>250 ~ 400	0.45	0.65	1.20
>400	0.75	1.00	

表 A-11 压铸件同轴度和对称度公差 (单位: mm)

基本尺寸	同一半型内的公差	两个半型内的公差	基本尺寸	同一半型内的公差	两个半型内的公差
≤18	0.10	0.20	>120 ~ 260	0.35	0.50
>18 ~ 50	0.15	0.25	>260 ~ 500	0.65	0.80
>50 ~ 120	0.25	0.35			

附录 B 压铸合金材料

表 B-1 压铸锌合金的化学成分 (质量分数) (GB/T 13818—2009) (%)

序号	合金牌号	合金代号	主要成分				杂质含量(≤)			
			Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Sn	Cd
1	YZZnAl4A	YX040A	3.9 ~ 4.3	≤0.1	0.030 ~ 0.060	余量	0.035	0.004	0.0015	0.003
2	YZZnAl4B	YX040B	3.9 ~ 4.3	≤0.1	0.010 ~ 0.020	余量	0.075	0.003	0.0010	0.002
3	YZZnAl4Cu1	YX041	3.9 ~ 4.3	0.7 ~ 1.1	0.030 ~ 0.060	余量	0.035	0.004	0.0015	0.003
4	YZZnAl4Cu3	YX043	3.9 ~ 4.3	2.7 ~ 3.3	0.025 ~ 0.050	余量	0.035	0.004	0.0015	0.003
5	YZZnAl8Cu1	YX081	8.2 ~ 8.8	0.9 ~ 1.3	0.020 ~ 0.030	余量	0.035	0.005	0.0050	0.002
6	YZZnAl11Cu1	YX111	10.8 ~ 11.5	0.5 ~ 1.2	0.020 ~ 0.030	余量	0.050	0.005	0.0050	0.002
7	YZZnAl27Cu2	YX272	25.5 ~ 28.0	2.0 ~ 2.5	0.012 ~ 0.020	余量	0.070	0.005	0.0050	0.002

注: YZZnAl4B Ni 含量为 0.005 ~ 0.020。

表 B-2 压铸铝合金的化学成分 (GB/T 15115—2009)

序号	合金牌号	合金代号	化学成分(质量分数,%)										
			Si	Cu	Mn	Mg	Fe	Ni	Ti	Zn	Pb	Sn	Al
1	YZAlSi10Mg	YL101	9.0 ~ 10.0	≤ 0.6	≤ 0.35	0.45 ~ 0.65	≤ 1.0	≤ 0.50		≤ 0.40	≤ 0.10	≤ 0.15	余量
2	YZAlSi12	YL102	10.0 ~ 13.0	≤ 1.0	≤ 0.35	≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 0.50		≤ 0.40	≤ 0.10	≤ 0.15	余量
3	YZAlSi10	YL104	8.0 ~ 10.5	≤ 0.3	0.2 ~ 0.5	0.30 ~ 0.50	0.5 ~ 0.8	≤ 0.10		≤ 0.30	≤ 0.05	≤ 0.01	余量
4	YZAlSi9Cu4	YL112	7.5 ~ 9.5	3.0 ~ 4.0	≤ 0.50	≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 0.50		≤ 2.90	≤ 0.10	≤ 0.15	余量
5	YZAlSi11Cu3	YL113	9.5 ~ 11.5	2.0 ~ 3.0	≤ 0.50	≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 0.30		≤ 2.90	≤ 0.10		余量
6	YZAlSi17Cu5Mg	YL117	16.0 ~ 18.0	4.0 ~ 5.0	≤ 0.50	0.50 ~ 0.70	≤ 1.0	≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 1.40	≤ 0.10		余量
7	YZAlMg5Si1	YL302	≤ 0.35	≤ 0.25	≤ 0.35	7.60 ~ 8.60	≤ 1.1	≤ 0.15		≤ 0.15	≤ 0.10	≤ 0.15	余量

注：除有范围的元素和铁为必检元素外，其余元素在有要求时抽检。

表 B-3 压铸镁合金的化学成分和力学性能 [JB/T 3970—1982(2009)]

合金牌号	合金代号	化学成分(质量分数,%)										力学性能(≥)		
		主要成分				杂质含量(不大于)						抗拉强度 σ_b/MPa	伸长率 $\delta(\%)$ ($L_0 = 50$)	布氏硬度 HBW 5/250/30
		铝	锌	锰	镁	铁	铜	硅	镍	总和				
YZMgAl9Zn	YM5	7.5 ~ 9.0	0.2 ~ 0.8	0.15 ~ 0.5	其余	0.08	0.1	0.25	0.01	0.5	200	1		65

表 B-4 压铸铜合金的化学成分和力学性能(GB/T 15116—1994)

序号	合金牌号	合金代号	化学成分(质量分数,%)														力学性能(≥)				
			主要成分							杂质含量(不大于)							抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 (%)	布氏硬度 HBW 5/250/30		
			Cu	Pb	Al	Si	Mn	Fe	Zn	Fe	Si	Ni	Sn	Mn	Al	Pb	Sb	总和			
1	YZCuZn40Pb	YT40-1	58.0 ~ 63.0	0.5 ~ 1.5	0.2 ~ 0.5	—	—	—	余	0.8	0.05	—	—	0.5	—	—	1.0	1.5	300	6	85
2	YZCuZn16Si4	YT16-4	79.0 ~ 81.0	— —	— ~ 4.5	2.5 ~ 4.5	—	—	余	0.6	—	—	0.3	0.5	0.1	0.5	0.1	2.0	345	25	85
3	YZCuZn30Al3	YT30-3	66.0 ~ 68.0	— —	2.0 ~ 3.0	— —	— —	— —	余	0.8	—	—	1.0	0.5	—	1.0	—	3.0	400	15	110
4	YZCuZn35Al2Mn2Fo	YT35-2-2-1	57.0 ~ 65.0	— —	0.5 ~ 2.5	— —	0.1 ~ 3.0	0.5 ~ 2.0	余	—	0.1	3.0	1.0	—	—	0.5 + As 0.4	Sb + Pb 2.0 ^①	475	3	130	

① 杂质总和中不含 Ni。

附录 C 国产压铸机的主要技术参数

表 C-1 卧式冷室压铸机基本参数

合模力 kN	压射力 kN	压铸型厚度	动型板 行程	拉杠内间距 水平/垂直	顶出力 顶出力	顶出 行程	压射位置	一次金属 浇入量(铝)	压室直径	空循环 周期
		最小/最大							最小最大	
≥630	90	150/350	≥250	280/280			0/60	0.7	30~45	≤5
≥1000	140	150/450	≥300	350/350	80	60	0/120	1.0	40~50	≤6
≥1600	200	200/550	≥350	420/420	100	80	0/70/140	1.8	40~60	≤7
≥2500	280	250/650	≥400	520/520	140	100	0/80/160	3.2	56~75	≤8
≥4000	400	300/750	≥450	620/620	180	120	0/100/200	4.5	60~80	≤10
≥6300	600	350/850	≥600	750/750	250	150	0/125/250	9	70~100	≤12
≥8000	750	420/950	≥670	850/850	360	180	0/140/280	15	80~120	≤14
≥10000	900	480/1060	≥750	950/950	450	200	0/160/320	22	80~130	≤16
≥12500	1050	530/1180	≥850	1060/1060	500	200	0/160/320	26	100~140	≤19
≥16000	1250	600/1300	≥950	1180/1180	550	250	0/175/350	32	110~150	≤22
≥20000	1500	670/1500	≥1060	1320/1320	630	250	0/175/350	45	130~175	≤26
≥25000	1800	750/1700	≥1180	1500/1500	750	315	0/180/360	60	150~200	≤30

表 C-2 立式冷室压铸机基本参数

合模力 kN	压射力 kN	压铸厚度	动型板 行程	拉杠内间距 水平/垂直	顶出力 顶出力	顶出 行程	压射位置	一次金属 浇入量(铝)	压室直径	空循环 周期
		最小/最大							最小最大	
≥630	160	150/350	250	280/280				0.6	50~60	≤6
≥1000	200	150/450	300	350/350	80	60		1	60~70	≤7.5
≥1600	300	200/550	350	420/420	100	80		2	70~90	≤9
≥2500	400	250/650	400	520/520	140	100	0/80	3.6	90~110	≤10
≥4000	700	300/750	450	620/620	180	120	0/100	7.5	110~130	≤13
≥6300	900	350/850	600	750/750	250	150	0/150	11.5	130~150	≤16

表 C-3 热室压铸机基本参数

合模力 kN	压射力 kN	压铸厚度 最小/最大	动型板 行程	拉杠内间距 水平/垂直	顶出力 kN	顶出 行程	压射位置	一次金属 浇入量(锌) kg	标准压 室直径 mm	空循环 周期 s
		mm	mm	mm						
≥630	50	150/350	≥250	280/280			0	1.2	60	≤4
≥1000	70	150/450	≥300	350/350	80	≥60	0/50	2.5	70	≤5
≥1600	90	200/550	≥350	420/420	100	≥80	0/60	3.5	80	≤6
≥2500	120	250/650	≥400	520/520	140	≥100	0/80	5	90	≤7
≥4000	150	300/750	≥450	620/620	180	≥120	0/100	7.5	100	≤8
≥6300	200	350/850	≥600	750/750	250	≥150	0/150	12.5	110	≤10

附录 D 压铸模主要零件材料的选用及热处理要求

零件名称		压铸合金			热处理要求			
		锌合金	铝合金、 铝合金	铜合金	压铸锌合金、 铝合金、镁合金	压铸铜合金		
与金属液接触的零件	型腔镶块,型芯,滑块中成型部位等成型零件	4Cr5MoV1Si 3Cr2W8V (3Cr2W8) 5CrNiMo 4CrW2Si	4Cr5MoV1Si 3Cr2W8V (3Cr2W8)	3Cr2W8V (3Cr2W8) 3Cr2W5Co5MoV 4Cr3Mo3W2V	43 ~ 47HRC (4Cr5MoV1Si) 44 ~ 48HRC		38 ~ 42HRC	
	浇道镶块,浇道套,分流锥等浇注系统	4Cr5MoV1Si 3Cr2W8V (3Cr2W8)		4Cr3Mo3SiV 4Cr5MoV1Si	(3Cr2W8V)			
滑动配合零件	导柱、导套(斜导柱、弯销等)	T8A (T10A)			50 ~ 55HRC			
	推杆	4Cr5MoV1Si 3Cr2W8V(3Cr2W8)			45 ~ 50HRC			
		T8A(T10A)			50 ~ 55HRC			
模架结构零件	复位杆	T8A(T10A)			50 ~ 55HRC			
模架结构零件	动模套板、定模套板、支承板、垫块、动模底板、定模底板、推板、推杆固定板	45			调质 220 ~ 250HBW			
		Q235 铸钢						

注：1. 表中所列材料，先列者为优先选用。

2. 压铸锌、镁、铝合金的成型零件经淬火后可进行软氮化或氮化处理，氮化层深度为 0.08 ~ 0.15mm，硬度 ≥600HV。

附录 E 压铸模技术条件

表 E-1 零件技术要求 (GB/T 8844—2003)

标准条目编写	条 目 内 容																																		
1. 1	设计压铸模应优先按 GB/T 4678. 1 ~ 19—2003《压铸模零件》选用标准件																																		
1. 2	模具成形零件和浇注系统的零件,其材料和热处理硬度应符合表 E-1-1 的规定 表 E-1-1 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center; width: 30%;">模具零件名称</th> <th style="text-align: center;">模具材料</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">热处理硬度 HRC</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">牌 号</th> <th style="text-align: center;">用于压铸锌合金、镁合金、铝合金</th> <th style="text-align: center;">用于压铸铜合金</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">型芯定动模镶块、活动镶块、分流锥、推杆、浇口套、导流块</td><td style="text-align: center;">3Cr2W8</td><td style="text-align: center;">45 ~ 50</td><td style="text-align: center;">38 ~ 42</td></tr> <tr> <td></td><td style="text-align: center;">4Cr5MoVrSi</td><td style="text-align: center;">42 ~ 48</td><td style="text-align: center;">—</td></tr> </tbody> </table>					模具零件名称	模具材料	热处理硬度 HRC		牌 号	用于压铸锌合金、镁合金、铝合金	用于压铸铜合金	型芯定动模镶块、活动镶块、分流锥、推杆、浇口套、导流块	3Cr2W8	45 ~ 50	38 ~ 42		4Cr5MoVrSi	42 ~ 48	—															
模具零件名称	模具材料	热处理硬度 HRC																																	
	牌 号	用于压铸锌合金、镁合金、铝合金	用于压铸铜合金																																
型芯定动模镶块、活动镶块、分流锥、推杆、浇口套、导流块	3Cr2W8	45 ~ 50	38 ~ 42																																
	4Cr5MoVrSi	42 ~ 48	—																																
1. 3	压铸锌、镁、铝合金的成型零件经淬火工艺处理后,成型面进行软氮化或氮化处理,氮化层深度为 0.08 ~ 0.15mm,硬度 ≥ 600HV																																		
1. 4	模具零件的几何形状、尺寸、表面粗糙度应符合图样要求																																		
1. 5	模具零件不允许有裂纹,成型零件不允许有划痕、压伤、锈蚀等缺陷																																		
1. 6	成型部位未注公差尺寸的极限偏差按表 E-1-2 的规定 表 E-1-2 (单位:mm) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">基本尺寸</th> <th style="text-align: center;">≤10</th> <th style="text-align: center;">>10 ~ 50</th> <th style="text-align: center;">>50 ~ 180</th> <th style="text-align: center;">>180 ~ 400</th> <th style="text-align: center;">>400</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">极限偏差</td><td style="text-align: center;">±0.03</td><td style="text-align: center;">±0.05</td><td style="text-align: center;">±0.10</td><td style="text-align: center;">±0.15</td><td style="text-align: center;">±0.2</td></tr> </tbody> </table>					基本尺寸	≤10	>10 ~ 50	>50 ~ 180	>180 ~ 400	>400	极限偏差	±0.03	±0.05	±0.10	±0.15	±0.2																		
基本尺寸	≤10	>10 ~ 50	>50 ~ 180	>180 ~ 400	>400																														
极限偏差	±0.03	±0.05	±0.10	±0.15	±0.2																														
1. 7	成型部位转接圆弧未注公差尺寸的极限按表 E-1-3 规定 表 E-1-3 (单位:mm) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">基本尺寸</th> <th style="text-align: center;">≤6</th> <th style="text-align: center;">>6 ~ 18</th> <th style="text-align: center;">>18 ~ 30</th> <th style="text-align: center;">>30 ~ 120</th> <th style="text-align: center;">>120</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">凸圆弧</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">极限偏差</td><td style="text-align: center;">-0.15</td><td style="text-align: center;">-0.20</td><td style="text-align: center;">-0.30</td><td style="text-align: center;">-0.45</td><td style="text-align: center;">-0.60</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">凹圆弧</td><td style="text-align: center;">+0.15</td><td style="text-align: center;">+0.20</td><td style="text-align: center;">+0.30</td><td style="text-align: center;">+0.45</td><td style="text-align: center;">+0.60</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">极限偏差</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> </tbody> </table>					基本尺寸	≤6	>6 ~ 18	>18 ~ 30	>30 ~ 120	>120	凸圆弧	0	0	0	0	0	极限偏差	-0.15	-0.20	-0.30	-0.45	-0.60	凹圆弧	+0.15	+0.20	+0.30	+0.45	+0.60	极限偏差	0	0	0	0	0
基本尺寸	≤6	>6 ~ 18	>18 ~ 30	>30 ~ 120	>120																														
凸圆弧	0	0	0	0	0																														
极限偏差	-0.15	-0.20	-0.30	-0.45	-0.60																														
凹圆弧	+0.15	+0.20	+0.30	+0.45	+0.60																														
极限偏差	0	0	0	0	0																														
1. 8	成型部位未注角度和锥度按表 E-1-4 规定。锥度公差按锥体母线长度决定,角度公差按角度短边长度决定 表 E-1-4 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">锥体母线或角度 短边长度/mm</th> <th style="text-align: center;">≤6</th> <th style="text-align: center;">>6 ~ 18</th> <th style="text-align: center;">>18 ~ 50</th> <th style="text-align: center;">>50 ~ 120</th> <th style="text-align: center;">>120</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">极限偏差值</td><td style="text-align: center;">±30'</td><td style="text-align: center;">±20'</td><td style="text-align: center;">±15'</td><td style="text-align: center;">±10'</td><td style="text-align: center;">±5'</td></tr> </tbody> </table>					锥体母线或角度 短边长度/mm	≤6	>6 ~ 18	>18 ~ 50	>50 ~ 120	>120	极限偏差值	±30'	±20'	±15'	±10'	±5'																		
锥体母线或角度 短边长度/mm	≤6	>6 ~ 18	>18 ~ 50	>50 ~ 120	>120																														
极限偏差值	±30'	±20'	±15'	±10'	±5'																														
1. 9	当成型部位未注脱模斜度时,形成铸件内侧壁(承受铸件收缩力的侧面)的脱模斜度按表 E-1-5 规定,对构成铸件外侧壁的脱模斜度取表 E-1-5 数值的 1/2,圆型芯的脱模斜度按表 E-1-6 规定																																		

(续)

表 E-2 总装技术要求 (GB/T 8844—2003) (单位: mm)

标准条目编写	条目内容						
	模具分型面对定、动模座板安装平面的平行度按表 E-2-1 的规定						
	表 E-2-1						
2.1	被测面最大直线长度	≤160	>160 ~250	>250 ~400	>400 ~630	>630 ~1000	>1000 ~1600
	公差值	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20
	导柱、导套对定、动模座板安装平面的垂直度按表 E-2-2 规定						
	表 E-2-2						
2.2	导柱、导套有效长度	≤40	>40 ~63	>63 ~100	>100 ~160	>160 ~250	
	公差值	0.015	0.020	0.025	0.030	0.040	
2.3	在分型面上,动模、定模镶块平面应分别与动模、定模模板齐平,可允许略高,但高出量≤0.5mm						
2.4	推杆、复位杆应分别与型面、分型面齐平、推杆允许凸出型面,但须≤0.1mm。复位杆允许低于分型面,但须≤0.05mm						
2.5	模具所有活动部分,应保证位置准确,动作可靠,不得歪斜和呈卡滞现象。要求固定的零件,不得相互窜动						
2.6	浇道转接处应光滑连接,镶拼处应密合;未注脱模斜度≥5°;表面粗糙度 $R_a \leq 0.4 \mu m$						
2.7	滑块运动应平稳,合模后滑块与斜楔块应压紧,接触面积≥3/4,开模后定位准确可靠						
2.8	合模后分型面应紧密贴合,如有局部间隙,其间隙值≤0.05mm(排气槽除外)						
2.9	冷却水路应畅通,不应有渗漏现象,进水口和出水口应有明显标记						
2.10	在模具上方装有吊环螺钉,其强度应符合 GB/T 825—1988 规定						

附录 F 压铸模零件加工要求

表 F-1 压铸模零件的形位公差选用精度等级

有关要素的行位公差	选用精度
导柱固定部位的轴线与导滑部分轴线的同轴度	5~6 级

(续)

有关要素的形位公差	选用精度
圆形镶块各成型台阶表面对安装表面的同轴度	5~6 级
导套内径与外径轴线的同轴度	6~7 级
套板内镶块固定孔轴线与其他套板上的孔的公共轴线同轴度	圆孔 6 级, 非圆孔 7~8 级
导柱或导套安装孔的轴线与套板分型面的垂直度	5~6 级
套板的相邻两侧面为工艺基准面的垂直度	5~6 级
镶块相邻两侧面和分型面对其他侧面的垂直度	6~7 级
套板内镶块孔的表面与其分型面的垂直度	7~8 级
镶块上型芯固定孔的轴线对分型面的垂直度	7~8 级
套板两平面的平行度	5 级
镶块相对两侧面和分型面对其底面的平行度	5 级
套板内镶块孔的轴线与分型面的端面圆跳动	6~7 级
圆形镶块的轴线对其端面的径向圆跳动	6~7 级
镶块的分型面、滑块的密封面、组合拼块的组合面等的平行度	≤0.05 mm

注：图样中未标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996《形状和位置公差未注公差》的规定，其公差等级按 C 级。

表 F-2 压铸模的表面粗糙度

表面部位	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
镶块、型芯等成型零件的成型表面和浇注系统表面	0.1~0.2
镶块、型芯、浇道套、分流锥等零件的配合表面	≤0.4
导柱、导套、推杆、斜导柱等零件的配合表面	≤0.8
模具分型面、各模板间的接合面	≤0.8
型芯、推杆、浇道套、分流锥等零件的支撑面	≤1.6
非工作的其他表面	≤6.3

附录 G 模具加工方法及加工方案的选择

表 G-1 模具加工方法

类别	加工方法	机床与使用的工具	适用范围
切削加工	平面加工	龙门刨床(刨刀)、牛头刨床(刨刀)、龙门铣床(端面铣刀)	对模具坯料进行六面加工
	车削加工	车床(车刀)、NC 车床(车刀)、立式车床(车刀)	加工内外圆柱面、内外圆锥面、端面、沟槽、螺纹、成型表面以及滚花、钻孔、铰孔和镗孔等
	钻孔加工	钻床(钻头、铰刀)、横臂钻床(钻头、铰刀)、铣床(钻头、铰刀)、数控铣床和加工中心(钻头、铰刀)	加工模具零件的各种孔
		深孔钻(深孔钻)	加工压铸模冷却水孔
	镗孔加工	卧式镗床(镗刀)、加工中心(镗刀)、铣床(镗刀)	镗削模具中的各种孔
		坐标镗床(镗刀)	镗削高精度孔
	铣削加工	铣床(立铣刀、端面铣刀)、NC 铣床(立铣刀、端面铣刀)、加工中心(立铣刀、端面铣刀)	铣削模具各种零件
		仿形铣床(球头铣刀)	进行仿形加工
		雕刻机(小直径立铣刀)	雕刻图案
	磨削加工	平面磨床(砂轮)	模板各平面
		成形磨床, NC 磨床和光学曲线磨床(均砂轮)	各种形状模具零件的表面
		坐标磨床(砂轮)	精密模具型孔
		内、外圆磨床(砂轮)	圆形零件的内、外表面
		万能磨床(砂轮)	可实施锥度磨削
	电加工	型腔电加工(电极)	用上述切削方法难以加工的部位
		线切割(线电极)	精密轮廓加工
		电解加工(电极)	型腔和平面加工
	抛光加工	手持抛光工具(各种砂轮)	去除铣削痕迹
		抛光机或手工(锉刀、砂纸、油石、抛光剂)	对模具零件进行抛光

(续)

类别	加工方法	机床与使用的工具	适用范围
非切削加工	挤压加工	压力机(挤压凸模)	难以进行切削加工的型腔
	铸造加工	铍铜压力铸造(铸造设备) 精密铸造(石膏模型、铸造设备)	压铸模型腔
	电铸加工	电铸设备(电铸母型)	精密压铸模型腔
	表面装饰加工	蚀刻装置(装饰纹样板)	加工压铸模型腔

表 G-2 压铸模加工方法的加工余量、加工精度、表面粗糙度

制造方法		本道工序经济加工余量(单面)/mm	经济加工精度	表面粗糙度 Ra/μm
刨削	半精刨	0.8~1.5	IT10~IT12	6.3~12.5
	精刨	0.2~0.5	IT8~IT9	3.2~6.3
	划线铣	1~3	1.6mm	1.6~6.3
铣削	靠模铣	1~3	0.04mm	1.6~6.3
	粗铣	1~2.5	IT10~IT11	3.2~12.5
	精铣	0.5	IT7~IT9	1.6~3.2
	仿形雕刻	1~3	0.1mm	1.6~3.2
车削	靠模车	0.6~1	0.24mm	1.6~3.2
	成形车	0.6~1	0.1mm	1.6~3.2
	粗车	1	IT11~IT12	6.3~12.5
	半精车	0.6	IT8~IT10	1.6~6.3
	精车	0.4	IT6~IT7	0.8~1.6
	精细车、金刚车	0.15	IT5~IT6	0.1~0.8
钻		—	IT11~IT14	6.3~12.5
扩	粗扩	1~2	IT12	6.3~12.5
	细扩	0.1~0.5	IT9~IT10	1.6~6.3
铰	粗铰	0.1~0.15	IT9	3.2~6.3
	精铰	0.05~0.1	IT7~IT8	0.8
	细铰	0.02~0.05	IT6~IT7	0.2~0.4
锪	无导向锪	—	IT11~IT12	3.2~12.5
	有导向锪	—	IT9~IT11	1.6~3.2

(续)

制造方法	本道工序经济加工余量(单面)/mm		经济加工精度	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
镗削	粗镗	1	IT11 ~ IT12	6.3 ~ 12.5
	半精镗	0.5	IT8 ~ IT10	1.6 ~ 6.3
	高速镗	0.05 ~ 0.1	IT8	0.4 ~ 0.8
	精镗	0.1 ~ 0.2	IT6 ~ IT8	0.8 ~ 1.6
	精细镗、金刚镗	0.05 ~ 0.1	IT6	0.2 ~ 0.8
磨削	粗磨	0.25 ~ 0.5	IT7 ~ IT8	3.2 ~ 6.3
	半精磨	0.1 ~ 0.2	IT7	0.8 ~ 1.6
	精磨	0.05 ~ 0.1	IT6 ~ IT7	0.2 ~ 0.8
	细磨、超精磨	0.005 ~ 0.05	IT5 ~ IT6	0.025 ~ 0.1
	仿形磨	0.1 ~ 0.3	0.01mm	0.2 ~ 0.8
	成形磨	0.1 ~ 0.3	0.01mm	0.2 ~ 0.8
	坐标磨	0.1 ~ 0.3	0.01mm	0.2 ~ 0.8
珩磨	0.005 ~ 0.03	IT6	0.05 ~ 0.4	
钳工划线	—	0.25 ~ 0.5mm		
钳工研磨	0.002 ~ 0.015	IT5 ~ IT6	0.025 ~ 0.05	
钳工抛光	粗抛	0.05 ~ 0.15	—	0.2 ~ 0.8
	细抛、镜面抛	0.005 ~ 0.01	—	0.001 ~ 0.1
电火花成形加工	—	0.05 ~ 0.1mm	1.25 ~ 2.5	
电火花线切割	—	0.005 ~ 0.01	1.25 ~ 2.5	
电解成形加工	—	±0.05 ~ 0.2	0.8 ~ 3.2	
电解抛光	0.1 ~ 0.15	—	0.025 ~ 0.8	
电解磨削	0.1 ~ 0.15	IT6 ~ IT7	0.025 ~ 0.8	
照相腐蚀	0.1 ~ 0.4	—	0.1 ~ 0.8	
超声抛光	0.02 ~ 0.1	—	0.01 ~ 0.1	
磨料流动抛光	0.02 ~ 0.1	—	0.01 ~ 0.1	
冷挤压	—	IT7 ~ IT8	0.08 ~ 0.32	

注：经济加工余量是指本道工序的比较合理、经济的加工余量。本道工序加工余量要视加工基本尺寸、工件材料、热处理状况、前道工序的加工结果等具体情况而定。

表 G-3 外圆表面加工方案的选择

序号	加 工 方 案	经济精度级	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适 用 范 围
1	粗车	IT11 以下	12.5 ~ 50	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车—半精车	IT8 ~ IT10	3.2 ~ 6.3	
3	粗车—半精车—精车	IT8	0.8 ~ 1.6	
4	粗车—半精车—精车—滚压(或抛光)	IT8	0.025 ~ 0.2	
5	粗车—半精车—磨削	IT7 ~ IT8	0.4 ~ 0.8	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜加工有色金属
6	粗车—半精车—粗磨—精磨	IT6 ~ IT7	0.1 ~ 0.4	
7	粗车—半精车—粗磨—精磨—超精加工	IT5	0.1	
8	精车—半精车—精车—金刚石车	IT6 ~ IT7	0.025 ~ 0.4	主要用于有色金属加工
9	粗车—半精车—粗磨—精磨—研磨	IT5 ~ IT6	0.08 ~ 0.16	极高精度的外圆加工
10	粗车—半精车—粗磨—精磨—超精磨或镜面磨	IT5 以上	<0.025 ($R_a 0.05 \mu\text{m}$)	

表 G-4 孔加工方案的选择

序号	加 工 方 案	经济精度级	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适 用 范 围
1	钻	IT11 ~ IT12	12.5	加工未淬火钢及铸铁,也可用于加工有色金属
2	钻—铰	IT9	1.6 ~ 3.2	
3	钻—铰—精铰	IT7 ~ IT10	0.8 ~ 1.6	
4	钻—扩	IT10 ~ IT11	6.3 ~ 12.5	同上,孔径可大于 15 ~ 20mm
5	钻—扩—铰	IT8 ~ IT9	1.6 ~ 3.2	
6	钻—扩—粗铰—精铰	IT7	0.8 ~ 1.6	
7	钻—扩—机铰—手铰	IT6 ~ IT7	0.1 ~ 0.4	
8	钻—扩—拉	IT7 ~ IT9	0.1 ~ 1.6	大批量生产(精度由拉刀的精度确定)
9	粗镗(或扩孔)	IT11 ~ IT12	6.3 ~ 12.5	除淬火钢以外的各种材料,毛坯有铸出孔或锻出孔
10	粗镗(粗扩)—半精镗(精扩)	IT8 ~ IT9	1.6 ~ 3.2	
11	粗镗(扩)—半精镗(精扩)—精镗(铰)	IT7 ~ IT8	0.8 ~ 1.6	
12	粗镗(扩)—半精镗(精扩)—精镗—浮动镗刀精镗	IT6 ~ IT7	0.8 ~ 0.4	
13	粗镗(扩)—半精镗磨孔	IT7 ~ IT8	0.2 ~ 0.8	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜用于有色金属
14	粗镗(扩)—半精镗—精镗—金刚镗	IT6 ~ IT7	0.1 ~ 0.2	

(续)

序号	加工方案	经济精度级	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
15	粗镗—半精镗—精镗—金刚镗	IT6 ~ IT7	0.05 ~ 0.4	
16	钻—(扩)—粗铰—精铰—珩磨 钻—(扩)—拉—珩磨 粗镗—半精镗—精镗—珩磨	IT6 ~ IT7	0.025 ~ 0.2	主要用于精度高的有色金属用于精度要求很高的孔
17	以研磨代替上述方案中的珩磨	IT6 以上	0.025 ~ 0.2	

表 G-5 平面加工方案的选择

序号	加工方案	经济精度级	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车—半精车	IT9	3.2 ~ 6.3	
2	粗车—半精车—精车	IT7 ~ IT8	0.8 ~ 1.6	主要用于端面加工
3	粗车—半精车—磨削	IT8 ~ IT9	0.2 ~ 0.8	
4	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)	IT9 ~ IT10	1.6 ~ 6.3	一般不淬硬平面
5	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—刮研	IT6 ~ IT7	0.1 ~ 0.8	精度要求较高的不淬硬平面,批量较大时宜采用宽刃精刨
6	以宽刃刨削代替上述方案中的刮研	IT7	0.2 ~ 0.8	
7	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—磨削	IT7	0.2 ~ 0.8	精度要求高的淬硬平面或未淬硬平面
8	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—粗磨—精磨	IT6 ~ IT7	0.2 ~ 0.4	
9	粗铣—拉削	IT7 ~ IT9	0.2 ~ 0.8	大量生产,较小的平面 (精度由拉刀精度而定)
10	粗铣—精铣—磨削—研磨	IT6 以上	<0.1 (R_z 为 0.05)	高精度的平面

参 考 文 献

- [1] Franco Bonollo, Stefano Odorizzi. Numerical Simulation of Foundry Processes [M]. Servizi Grafici Editoriali, 2001.
- [2] 赵浩泽. 现代压力铸造技术 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [3] 吴春苗. 压铸实用技术 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2003.
- [4] 赖华清. 压铸工艺及模具 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [5] 傅建军. 模具制造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [6] 王敏杰, 宋满仑. 模具制造技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [7] 杨裕国. 压铸工艺与模具设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [8] 彭建生. 模具设计与加工速查手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [9] 黄毅宏, 李明辉. 模具制造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [10] 模具实用技术丛书编委会. 压铸模设计应用实例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [11] 田雁晨, 田宝善, 王文广, 等. 金属压铸模设计技巧与实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [12] 潘宪曾, 张化明, 荆玉春. 压铸工艺与模具 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [13] 潘宪曾. 压铸模设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [14] 中国模具工程大典编委会. 中国模具工程大典: 第8卷 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [15] 耿鑫明. 压铸件生产指南 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [16] 王鹏驹, 殷国富. 压铸模具设计师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [17] 胡石杰. 模具工实用技术手册 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2008.
- [18] 卢宏远, 董显明, 王峰. 压铸技术与生产 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [19] 吕琳. 模具制造技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [20] Yue Shuhua, Wang Guoxiang. Application of an integrated CAD/CAE/CAM system for die casting dies [J]. Journal of Materials Processing Technology, 139 (2003): 465-468A.
- [21] 王国祥. 压铸工艺计算机模拟技术 [J]. 铸造工程. 造型材料, 2003 (3): 20-23.
- [22] 洪慎章. 快速成型技术是模具加工的创新 [J]. 机械制造, 2004 (2): 54-56.
- [23] 洪慎章. 现代模具技术的现状及发展趋势 [J]. 航空制造技术, 2006 (6): 30-32.
- [24] 洪慎章. 21世纪模具的发展趋势 [J]. 中国模具信息, 2006 (12): 4-6.
- [25] 洪慎章. 模具六大重要制造技术 [J]. 中国模具信息, 2007 (4): 10-12.
- [26] 洪慎章. 现代模具发展中的几个关注问题 [J]. 模具市场, 2007 (5): 31-33.
- [27] 洪慎章. 数字化制造模具在模具企业中的应用 [J]. 模具市场, 2007 (11): 5-7.
- [28] 洪慎章. 现代模具与高速切削技术 [J]. 上海模具工业, 2007 (12): 15-17.
- [29] 洪慎章. 数字化是制造模具的关键技术 [J]. 中国模具信息, 2007 (12): 19-21.
- [30] 洪慎章. 压铸模具钢的选用及提高寿命方法 [J]. 现代模具, 2007 (12): 92-93.
- [31] 洪慎章. 模具加工中的高速切削技术 [J]. 中国模具信息, 2006 (7): 6-8.
- [32] 洪慎章. 21世纪模具动态 [J]. 现代模具, 2008 (8): 41-42.
- [33] 洪慎章. 21世纪模具技术的现状及发展方向 [J]. 模具工程, 2008 (8): 50-55.

○ ISBN 978-7-111-34681-4

○ 策划编辑：陈保华

○ 封面设计：赵颖喆

丛书特色

- ☆ **突出重点—— 以模具结构分析与制造技术为重点，结构体系新颖，技术内容全面。**
- ☆ **强调实用—— 书中配有较多的应用实例，实用性强，能使读者举一反三，拓展思路。概念清晰易懂，便于自学。**

丛书书目

- 实用注塑模设计与制造
- 实用冷挤压模设计与制造
- 实用冲模设计与制造
- 实用热锻模设计与制造
- 实用压铸模设计与制造

上架指导：工业技术 / 机械工程 / 模具

ISBN 978-7-111-34681-4



9 787111 346814 >

地址：北京市百万庄大街22号

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)88326294

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

定价：43.00元