

典型零件 数控车加工生产

贾 军 黎胜容 主编

实例



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

典型零件数控车 加工生产实例

贾 军 黎胜容 主 编



本书以生产应用为目标,结合大量实例,详细介绍了典型零件数控车加工生产的过程、技巧与实例。全书共7章,第1、2章简要介绍了车床结构、加工工艺和FANUC系统编程指令,引导读者学习入门;第3章归纳介绍了车加工的常用技术与经验技巧,包括坐标系设置、数值计算以及宏程序的运用;第4~7章为车加工生产实例,细分典型零件的类型,按照从简单到复杂的原则,结合26个工程实例,介绍了轴类零件、套类零件、孔类零件以及综合类零件的加工编程。本书所用实例典型丰富,全部取自生产实践,代表性和指导性强,读者学习后可以举一反三,快速入门上手,实现从入门到精通。

本书语言简洁,结构清晰,编程技巧经验和实际生产案例有机结合,内容安排合理,实例采用学习目标与注意事项+工艺分析+工具、量具、刀具清单+程序清单与注释+实例小结,技术内容全部符合实际加工过程,无论读者数控基础如何,都可通过学习达到事半功倍的效果。

本书适合广大初、中级读者使用,既可作为数控技工的自学参考,同时也可作为高职高专相关专业学生的理想教材,是读者学习数控车加工生产技能的必备宝典。

图书在版编目(CIP)数据

典型零件数控车加工生产实例 / 贾军, 黎胜容主编.

—北京: 机械工业出版社, 2011.4

ISBN 978-7-111-33818-5

I. ①典… II. ①贾… ②黎… III. ①机械元件—数控机床—加工工艺 IV. ①TH13②TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第046197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: 周国萍 责任编辑: 舒雯 周国萍

版式设计: 霍永明 责任校对: 申春香

封面设计: 姚毅 责任印制: 乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2011年5月第1版第1次印刷

169mm×239mm·15.75印张·311千字

0001—4000册

标准书号: ISBN 978-7-111-33818-5

定价: 36.00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

社服务中心: (010) 88361066

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

策划编辑 (010) 88379733

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

前 言

数控车削加工主要用于加工圆柱形零件，既可以车外圆，也可以车内圆，是数控加工领域的一项重要技术。目前市场上关于数控车加工的同类书中，讲解加工工艺和加工指令的内容较多，而对编程技巧与典型零件加工实例应用涉及的较少。为了弥补这种不足，本书结合大量实例，按照由浅入深、循序渐进的方式来介绍。全书共包括7章，具体内容安排如下。

第1章数控车床及加工工艺。简要介绍了数控车床的组成结构、技术参数、数控车床刀具以及车床加工工艺。读者通过学习可对数控车床加工技术有一个入门性的了解。

第2章FANUC系统及程序编制指令。由于本书是围绕FANUC数控系统介绍车床加工生产的，所以有针对性地介绍了FANUC数控系统的特点、FANUC数控系统的车床操作以及编程指令。其中，编程指令具体包括：刀具半径补偿指令、刀具长度补偿指令、直线插补、圆弧插补、单一型固定循环、复合型车削固定循环等，读者通过学习可以对这些指令的使用方法基本熟悉和掌握。

第3章介绍了数控车床编程运用技巧，包括坐标系设置、数学处理以及宏程序的使用。同时结合具体的案例来讲解，读者通过学习可以加深对数控车床编程的理解。

第4~7章典型零件的车加工编程应用。细分零件类型，依次介绍了轴类零件、套类零件、孔类零件以及综合类零件的加工编程案例。其中，轴类零件加工编程案例八个，分别为简单阶梯轴加工、多阶梯轴加工、螺纹加工、梯形螺纹加工、外圆锥面加工、槽加工（普通切槽刀）、槽加工（专用切槽刀）及椭圆外形加工。套类零件加工案例六个，分别为锥套零件加工、轴套零件加工、复杂套类零件加工、三个盘套类零件的加工。孔类零件加工编程案例六个，具体为两个通孔类零件加工，阶梯孔类零件加工及三个不通孔类零件加工。最后综合类零件加工案例，介绍了三个内轮廓综合加工和三个成形面类零件加工。

本书语言简洁，结构清晰，案例典型丰富，技术先进实用，代表性和指导性强；实例统一采用学习目标与注意事项+工艺分析+工具、量具、刀具清单+程序清单与注释+实例小结的结构编排。读者无论基础如何，都可以轻松入门上手，进而深入巩固和提高，掌握各类典型零件的车加工编程工艺、流程和实现技巧，最终达到精通的目的。

本书由贾军、黎胜容主编，参与编写的还有赵辉、岳战胜、黎双玉、涂志涛、

IV

刘红霞、刘铁军、何文斌、邓力、王乐、杨学围、张秋冬、闫延超、董延、郭志强、毕晓勤、贺红霞、史丽萍、袁丽娟、刘汝芳。

由于编者水平有限，书中难免会有一些疏漏和不足之处，欢迎广大读者及业内人士予以批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 数控车床及加工工艺	1
1.1 数控车床入门	1
1.1.1 数控车床的分类与组成	1
1.1.2 数控车床控制系统的功能	7
1.1.3 数控车床的主要结构特点	8
1.1.4 数控车床的技术参数	9
1.2 数控车床的刀具	10
1.2.1 刀具材料及其选用	10
1.2.2 数控刀具的种类及特点	13
1.2.3 数控车床刀具的选择	14
1.2.4 数控车床的对刀	21
1.3 数控车削加工工艺	22
1.3.1 数控车削加工原理	22
1.3.2 数控车床的编程特点	22
1.3.3 数控车削的主要加工对象	23
1.3.4 数控车削加工工艺分析的一般流程	24
第 2 章 FANUC数控系统及车床编程指令	29
2.1 FANUC数控系统概述	29
2.1.1 主要特点	29
2.1.2 主要系列	29
2.2 FANUC数控系统的车床操作	31
2.2.1 FANUC Oi系统数控车床操作面板	32
2.2.2 FANUC Oi系统数控车床的常用操作	34
2.2.3 数控车床的对刀操作	39
2.3 数控车床系统常用编程指令	44
2.3.1 绝对尺寸指令和增量尺寸指令（G90、G91）	44
2.3.2 预置寄存指令（G92）	45
2.3.3 坐标平面选择指令（G17、G18、G19）	45

2.3.4 刀具半径补偿指令 (G40、G41、G42)	45
2.3.5 刀具长度补偿指令 (G43、G44、G49)	48
2.3.6 直线插补 (G01)	49
2.3.7 圆弧插补 (G02、G03)	50
2.3.8 单一型固定循环 (G90、G92、G94)	52
2.3.9 复合型车削固定循环 (G70~G76)	57
第3章 数控车床编程运用技巧	67
3.1 数控加工坐标系	67
3.1.1 机床坐标系	67
3.1.2 编程坐标系	71
3.1.3 加工坐标系	71
3.2 程序编制中的数学处理	73
3.2.1 编程原点	73
3.2.2 编程基点	74
3.2.3 节点运算的处理技巧	74
3.2.4 数控加工误差的组成	75
3.3 宏程序的使用方法和实例	75
3.3.1 变量	75
3.3.2 算术与逻辑运算	77
3.3.3 转移与循环指令	79
3.3.4 宏程序实例	79
第4章 轴类零件加工编程案例	83
4.1 简单阶梯轴加工	83
4.1.1 学习目标与注意事项	83
4.1.2 工艺分析	83
4.1.3 工具、量具、刀具清单	84
4.1.4 程序清单与注释	85
4.1.5 实例小结	86
4.2 多阶梯轴加工	86
4.2.1 学习目标与注意事项	86
4.2.2 工艺分析	87
4.2.3 工具、量具、刀具清单	88
4.2.4 程序清单与注释	88
4.2.5 实例小结	90

4.3 螺纹加工	90
4.3.1 学习目标与注意事项	90
4.3.2 工艺分析	91
4.3.3 工具、量具、刀具清单	93
4.3.4 程序清单与注释	93
4.3.5 实例小结	96
4.4 梯形螺纹加工	96
4.4.1 学习目标与注意事项	96
4.4.2 工艺分析	97
4.4.3 工具、量具、刀具清单	99
4.4.4 程序清单与注释	100
4.4.5 实例小结	102
4.5 外圆锥面加工	103
4.5.1 学习目标与注意事项	103
4.5.2 工艺分析	103
4.5.3 工具、量具、刀具清单	104
4.5.4 程序清单与注释	105
4.5.5 实例小结	106
4.6 槽加工（普通切槽刀）	106
4.6.1 学习目标与注意事项	107
4.6.2 工艺分析	107
4.6.3 工具、量具、刀具清单	108
4.6.4 程序清单与注释	109
4.6.5 实例小结	111
4.7 槽加工（专用切槽刀）	111
4.7.1 学习目标与注意事项	111
4.7.2 工艺分析	112
4.7.3 工具、量具、刀具清单	113
4.7.4 程序清单与注释	114
4.7.5 实例小结	116
4.8 椭圆外形加工	117
4.8.1 学习目标与注意事项	117
4.8.2 工艺分析	117
4.8.3 工具、量具、刀具清单	119

4.8.4 程序清单与注释	120
4.8.5 实例小结	123
第 5 章 套类零件加工编程案例	124
5.1 锥套零件加工	124
5.1.1 学习目标与注意事项	124
5.1.2 工艺分析	124
5.1.3 工具、量具、刀具清单	125
5.1.4 程序清单与注释	125
5.1.5 实例小结	126
5.2 轴套零件加工	127
5.2.1 学习目标与注意事项	127
5.2.2 工艺分析	127
5.2.3 工具、量具、刀具清单	128
5.2.4 程序清单与注释	129
5.2.5 实例小结	132
5.3 复杂套类零件加工	132
5.3.1 学习目标与注意事项	132
5.3.2 工艺分析	132
5.3.3 工具、量具、刀具清单	134
5.3.4 程序清单与注释	134
5.3.5 实例小结	137
5.4 盘套类零件加工 1	137
5.4.1 学习目标与注意事项	137
5.4.2 工艺分析	137
5.4.3 工具、量具、刀具清单	139
5.4.4 程序清单与注释	140
5.4.5 实例小结	142
5.5 盘套类零件加工 2	142
5.5.1 学习目标与注意事项	143
5.5.2 工艺分析	143
5.5.3 工具、量具、刀具清单	144
5.5.4 程序清单与注释	145
5.5.5 实例小结	147
5.6 盘套类零件加工 3	147

5.6.1 学习目标与注意事项	147
5.6.2 工艺分析	148
5.6.3 工具、量具、刀具清单	149
5.6.4 程序清单与注释	150
5.6.5 实例小结	153
第6章 孔类零件加工案例	154
6.1 通孔类零件加工 1	154
6.1.1 学习目标与注意事项	154
6.1.2 工艺分析	154
6.1.3 工具、量具、刀具清单	156
6.1.4 程序清单与注释	156
6.1.5 实例小结	157
6.2 通孔类零件加工 2	158
6.2.1 学习目标与注意事项	158
6.2.2 工艺分析	159
6.2.3 工具、量具、刀具清单	160
6.2.4 程序清单与注释	160
6.2.5 实例小结	162
6.3 阶梯孔类零件加工	163
6.3.1 学习目标与注意事项	163
6.3.2 工艺分析	163
6.3.3 工具、量具、刀具清单	164
6.3.4 程序清单与注释	165
6.3.5 实例小结	166
6.4 不通孔类零件加工 1	166
6.4.1 学习目标与注意事项	166
6.4.2 工艺分析	166
6.4.3 工具、量具、刀具清单	168
6.4.4 程序清单与注释	168
6.4.5 实例小结	171
6.5 不通孔类零件加工 2	171
6.5.1 学习目标与注意事项	172
6.5.2 工艺分析	172
6.5.3 工具、量具、刀具清单	173

6.5.4 程序清单与注释	174
6.5.5 实例小结	177
6.6 不通孔类零件加工 3	177
6.6.1 学习目标与注意事项	178
6.6.2 工艺分析	178
6.6.3 工具、量具、刀具清单	179
6.6.4 程序清单与注释	180
6.6.5 实例小结	184
第 7 章 综合类零件加工案例	185
7.1 内、外轮廓综合加工 1	185
7.1.1 学习目标与注意事项	185
7.1.2 工艺分析	186
7.1.3 工具、量具、刀具清单	187
7.1.4 程序清单与注释	188
7.1.5 实例小结	191
7.2 内、外轮廓综合加工 2	191
7.2.1 学习目标与注意事项	191
7.2.2 工艺分析	192
7.2.3 工具、量具、刀具清单	193
7.2.4 程序清单与注释	194
7.2.5 实例小结	197
7.3 内、外轮廓综合加工 3 (斜椭圆)	197
7.3.1 学习目标与注意事项	197
7.3.2 工艺分析	198
7.3.3 工具、量具、刀具清单	199
7.3.4 程序清单与注释	200
7.3.5 实例小结	202
7.4 成形面类零件加工 1	202
7.4.1 学习目标与注意事项	203
7.4.2 工艺分析	203
7.4.3 工具、量具、刀具清单	205
7.4.4 程序清单与注释	206
7.4.5 实例小结	211
7.5 成形面类零件加工 2	212

7.5.1 学习目标与注意事项	212
7.5.2 工艺分析	213
7.5.3 工具、量具、刀具清单	214
7.5.4 程序清单与注释	215
7.5.5 实例小结	220
7.6 成形面类零件加工 3	220
7.6.1 学习目标与注意事项	222
7.6.2 工艺分析	223
7.6.3 工具、量具、刀具清单	224
7.6.4 程序清单与注释	225
7.6.5 实例小结	237
参考文献	238

第 1 章 数控车床及加工工艺

车床是最为常用的数控机床之一，主要用于轴类、套类等回转体零件的加工。本章将介绍关于数控车床加工入门的基础知识以及数控车床的加工工艺。

1.1 数控车床入门

数控车床是一种高度自动化的机床，它是用数字化的信息来实现自动化控制的，将与加工零件有关的信息——工件与刀具相对运动轨迹的尺寸参数、切削加工的工艺参数以及各种辅助操作等加工信息用规定的文字、数字和符号组成的代码，按一定的格式编写成加工程序单，将加工程序通过控制介质输入到数控装置中，由数控装置进行分析处理后，发出各种与加工程序相对应的信号和指令控制机床进行自动加工。本节首先介绍数控车床的分类与组成、数控车床的主要结构，使读者对数控车床有一个入门性的了解。

1.1.1 数控车床的分类与组成

1. 数控车床的类型及基本组成

(1) 数控车床的类型

1) 水平床身（卧式车床）。它有单轴卧式和双轴卧式之分。单轴卧式车床由于刀架拖板运动很少需要手摇操作，所以刀架一般安放于轴心线后部，其主要运动范围也在轴心线后半部，使操作者易接近工件。采用短床身占地小，宜于加工盘类零件。双轴卧式车床便于加工零件的正反面。

2) 倾斜式床身。它在水平导轨床身上布置三角形截面的床鞍。其布局兼有水平床身造价低和横滑板导轨倾斜便于排屑、易接近操作的优点。它有小规格、中规格和大规格三种。

3) 立式数控车床。它分单柱立式和双柱立式数控车床，采用立轴布置方式，适用于加工中等尺寸盘类和壳体类零件。便于装卸工件。

4) 高精度数控车床。它分中、小规格两种，适用于加工精密仪器、航天及电子行业的精密零件。

5) 四坐标数控车床。四坐标数控车床设有两个 X、Z 坐标或多坐标复式刀架，可提高加工效率，扩大工艺能力。

6) 车削加工中心。车削中心可在一台车床上完成多道工序的加工，从而缩

短了加工周期，提高了机床的生产效率和加工精度。若配上机械手、刀库、料台和自动测量监控装置构成车加工单元，用于中小批量的柔性加工。

7) 各种专用数控车床。专用数控车床有数控卡盘车床、数控管子车床等。

(2) 数控车床的基本组成 数控车床的整体结构组成基本与普通车床相同，同样具有床身、主轴、刀架及拖板和尾架等基本部件，但数控柜、操作面板和显示监控器却是数控机床特有的部件。即使对于机械部件，数控车床和普通车床也具有很大的区别。如数控车床的主轴箱内部省掉了机械式的齿轮变速部件，因而结构非常简单；车螺纹也不再需要另配丝杠和变换齿轮了；刻度盘式的手摇移动调节机构也已被脉冲触发计数装置所取代。下面以 CK7815 型数控车床和 CK9330 型数控车床为例，简单介绍一下数控车床的结构组成。

CK7815 型数控车床是长城机床厂的产品，可选配 FANUC-6T 或 FANUC-5T 系统，为两坐标联动半闭环控制的 CNC 车床。该车床能车削直线（圆柱面）、斜线（锥面）、圆弧（成形面）、米制和寸制螺纹（圆柱螺纹、锥螺纹及多头螺纹），能对盘形零件进行钻、扩、铰和镗孔加工。

CK7815 型数控车床如图 1-1 所示。其床身导轨为 60° 倾斜布置，排屑方便。导轨截面为矩形，刚性很好。主轴由直流（配 FANUC-5T 系统时）或交流（配 FANUC-6T 系统时）调速电动机驱动，主轴尾端带有夹紧液压缸，可用于快速自动装夹工件。床鞍溜板上装有横向进给驱动装置和转塔刀架，刀盘可选配 8 位、12 位小刀盘和 12 位大刀盘。纵、横向进给系统采用直流伺服电动机带动滚珠丝杠，使刀架移动。尾架套筒采用液压驱动。可采用光电读带机和手工键盘程序输入方

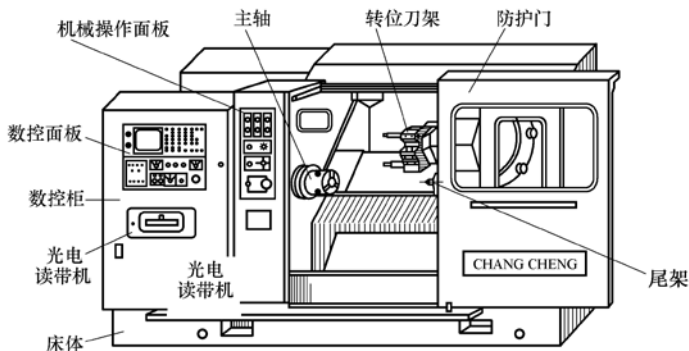


图 1-1 CK7815 型数控车床

式，带有 CRT 显示器、数控操作面板和机械操作面板。另外，还有液动式防护门罩和排屑装置。若再配置上、下料的工业机器人，就可以形成一个柔性制造单元(FMC)。

CK9330 型数控车床配有由华中数控研制开发的 HCNC-1T 数控系统，是直接由计算机通过数控软件进行加工控制的新型 CNC 系统。该机床是一开环控制的台式车床，其机械部分由床身、床头箱、工作台、大小拖板、普通刀架、尾架、主轴电动机和 XZ 轴步进电动机（4NM、1NM 各一个）等组成，控制部分由机床强电控制柜、机械操作面板、计算机和数控软件等组成。CK9330 型数控车床的

组成如图 1-2 所示。

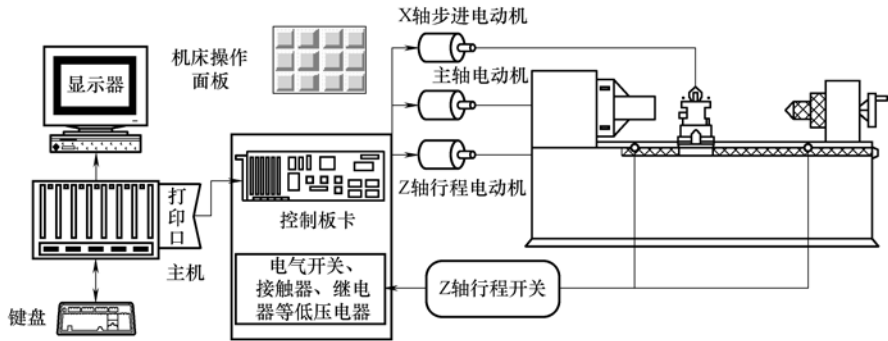


图 1-2 CK9330 型数控车床的组成

2. 数控车床的传动及速度控制

图 1-3 所示是 CK7815 型数控车床的传动系统图。主轴由 AC-6 型 5.5kW 交流调速电动机或 DC-8 型 1.1kW 直流调速电动机驱动，靠电气系统实现无级变速。由于电动机调速范围的限制，故采用两级宝塔传动带轮实施高、低两档速度的手工切换，在其中某档的范围内可由程序代码 S 任意指定主轴转速。结合数控装置还可进行恒线速度切削。但最高转速受卡盘和卡盘液压缸极限转速的制约，一般不超过 4500r/min。

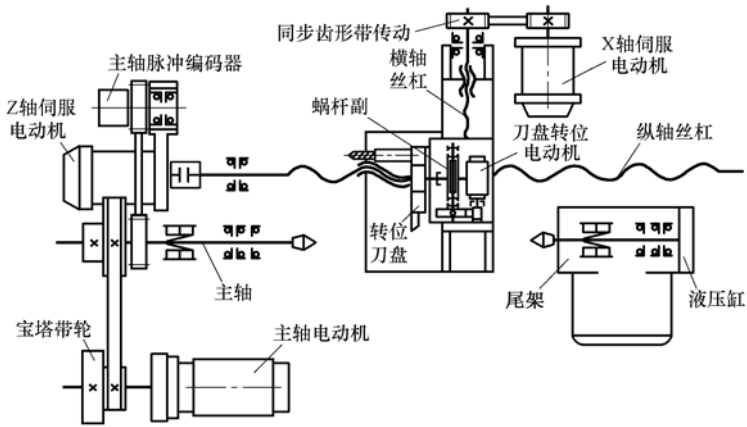


图 1-3 CK7815 型数控车床传动系统

纵向 Z 轴进给由直流伺服电动机直接带动滚珠丝杠实现；横向 X 轴进给由直流伺服电动机驱动；通过同步齿形带带动横向滚珠丝杠实现，这样可减小横轴方向的尺寸。

刀盘转位由电动机经过齿轮及蜗杆副实现，可手动或自动换刀。排屑机构由电动机、减速器和链轮传动实现。

工进速度和快进速度还受控制面板上相应的速度修调旋钮影响。实际速度还应乘以速度修调的倍率。

CK9330 型数控车床的传动系统较为简单，该机床主轴是由电动机经三角胶带传至车头主轴，由传动带塔轮传动实施有级变速。主轴转速不受 S 代码的控制，其调整需靠手工进行。按图 1-3 所示变换各传动带位置，即可得到表 1-1 中所列的 6 级主轴转速。由于主轴转速不可无级调控，所以在车削螺纹时，只有靠编码器检测主轴的实际转速并反馈到数控系统后，再由系统自动调整进给轴的进给速度来保证（主轴每转一圈，刀架移动一个螺距值）。

CK9330 型数控车床的纵向 Z 轴进给由 4N·m 的三相六拍感应式步进电动机直接带动普通丝杠实现，横向 X 轴进给由 1N·m 的步进电动机带动一对 18/27 的减速齿轮后，再带动普通丝杠实现。由于小拖板上的丝杠手柄调节位移量不计入数控装置，因此只用于加工前对刀时的辅助调节，它在加工过程中的任何移动都将影响尺寸精度。

CK9330 型数控车床的主要规格与技术参数如表 1-1 所示。

表 1-1 CK9330 型数控车床的主要规格与技术参数

床身上最大工件回转直径	300mm	加工米制螺纹螺距	0.5~3mm（或更大）
最大工件长度	500mm	加工寸制螺纹种数	20
刀架上最大工件回转直径	140mm	加工寸制螺纹螺距	11~40 牙/in
主轴通孔直径	26mm	纵、横向进给量级数	无级调速
主轴孔莫氏锥度	NO.4	主轴每转刀架的纵、横向进给量	无级调速
刀架最大横向行程	160mm	主轴转速范围	160~1600r/min
刀架最大纵向行程	100mm	主轴转速级数	6
加工米制螺纹种数	14		

此外，还有些车床的主轴虽然采用的是机械式的有级变速，但配合一定的液压动控制系统，也可通过 S 代码自动实现主轴的变速，但只能是有级变速。

3. 数控车床的控制面板及其功能

用计算机作控制系统的数控车床，其程序输入、数据设定和 NC 控制等操作均可用计算机的键盘进行，文字和图形信息由显示器显示。CK9330 型数控车床操作面板的布局如图 1-4 所示。

面板顶行为一排指示灯，分别为指示机床电柜电源的“强电”指示灯、表示机床与计算机数控软件是否联系上的“联机”指示灯、数控系统内部是否有故障的“数控”报警和控制轴行程是否超界的“超程”报警指示灯，以及回参考点指示灯。右上部按菱形布置的几个按钮为拖板移动用的手动操作按钮，相当于传统

车床上的旋转手柄，轴移动方向遵循标准规定。当按住某轴移动方向按钮的同时再按住中间的快移按钮时，则该轴将以内部设定的最快速度向指定方向移动；否则，将以当前设定的速度修调率移动。指示灯下方的旋钮为速度修调旋钮，“自动”的各档用于控制机床自动及 MDI 方式下的进给速度修调率，“手动”各档用于控制点动及步进移动时的 X、Z 轴移动速度，“增量”各档则用于决定步进方式下点按一下轴移动按钮所产生的移动量。左下方的 NC 锁匙电源是为机床提供的又一道电源开关。右下方的急停按钮用于紧急情况下强行切断电源。中部为以下几个功能控制按钮：

- 1) 超程解除。当 Z 轴正负方向出现硬性行程超界时，可同时按此按钮和 Z 轴相反方向的按钮以解除超程。
- 2) 循环启动、进给保持。用于自动运行中暂停进给和持续加工。
- 3) 单段执行。在自动运行方式下，若按下此钮，则每执行一段程序后都将暂停等待，需按循环启动方可执行下一段程序。
- 4) 机床锁住。若按下此按钮，则程序执行时只是数控系统内部进行控制运算，可模拟加工校验程序，但机械部件被锁住而不会产生实际的移动。
- 5) 主轴正转、反转和停。用于手动控制主轴的正转、反转和停转。

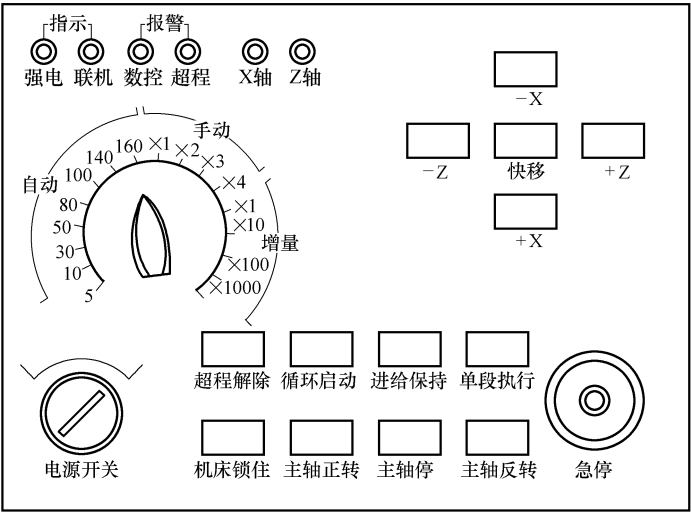


图 1-4 CK9330 型数控车床的操作面板

控制软件的环境界面如图 1-5 所示，图中屏幕顶行为状态行，用于显示工作方式及运行状态等，工作方式按主菜单变化，运行状态在不同的工作方式下有不同的显示。

- (1) 自动运行时显示
 - 1) 5%~140%（自动运行的进给速度修调倍率）。

2) 循环停止（自动运行处于暂停状态）。

3) 机床锁住（机械锁住有效时）。

4) 程序单段（单段运行有效时）等。

(2) MDI 方式时显示

1) 当前默认的 G 代码模态值（如 G00 G91 G21 G94）。

2) 点动操作方式：5%~100%（最大速度百分比）。

3) X 轴进给或 Z 轴进给。

4) 步进功能方式：×1、×10、×100、×1 000（四种步进倍率）。

5) X 轴进给或 Z 轴进给。

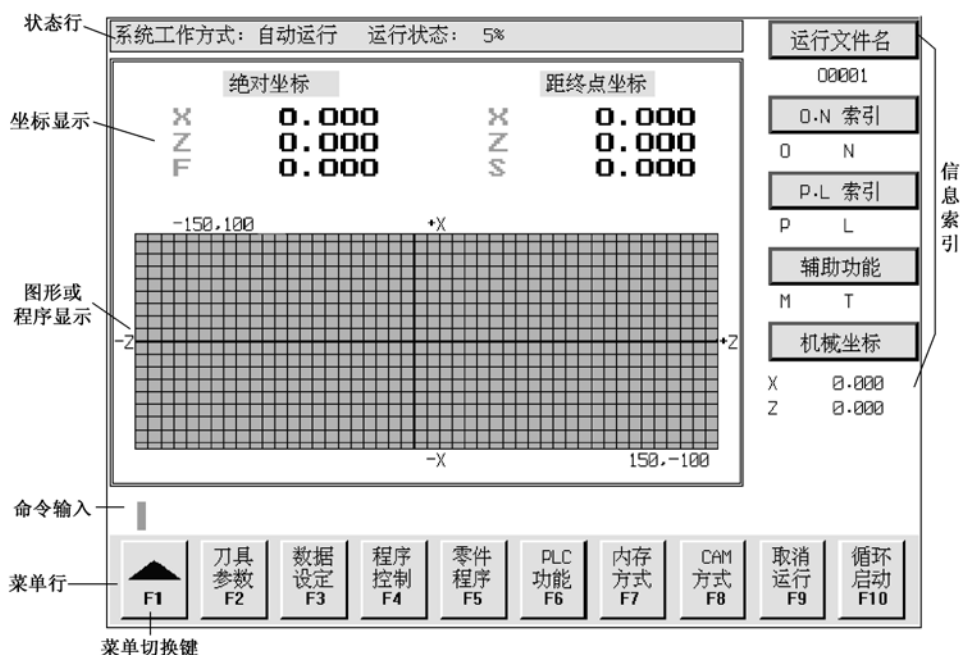


图 1-5 控制软件的环境界面

屏幕中间为工件加工的坐标显示和图形跟踪显示或加工程序内容显示。

屏幕下部为提示输入行和菜单区（多级菜单变化都在同一行中进行）。

屏幕右部为信息索引显示区：“O.N 索引”处显示自动运行中的 O 代码（主程序号）和 N 代码（程序段号）；“P.L 索引”处显示自动运行中的 P 代码（子程序调用）和 L 代码（调用次数）；“辅助功能”处显示自动运行中的 M 代码（辅助功能）和 T 代码（刀具号和刀补号）；“机械坐标”处显示刀具在机床坐标系中的坐标变化。

控制软件系统的整个菜单显示切换均在屏幕底行上进行，菜单选取由功能键

F1~F10 操作。第一级子菜单的调出和所有下级菜单的往上退回均靠 F1 功能键实施。例如：在主菜单级显示时，按下 F2 键选中自动运行方式后，该按钮呈凹下状，但需要再按 F1 键方可切换到自动运行方式的下级菜单。然后，在本级菜单显示时，按下相应的选用功能键，即可自动调用显示下级菜单或执行相应的菜单项功能（即除第一级子菜单调出需按 F1 键外，往下层次的子菜单调出，则不需按 F1 键，均可自动调出）。若从本级菜单返回到上一级菜单，以及当本级某菜单项执行完后又想执行本级的另一菜单项功能时，则需要按 F1 功能键，而不是按 Esc 键；若在主菜单显示时按了 Esc 键，则自动退出控制软件系统。

1.1.2 数控车床控制系统的功能

数控机床上数控系统的硬件有各种不同的组成和配置，再安装不同的监控软件，就可以应用于不同机床或设备的控制，这样数控系统就有不同的功能。具体如下：

（1）多坐标控制功能 控制系统可以控制坐标轴的数目，指的是数控系统最多可以控制多少个坐标轴，其中包括平动轴和回转轴。基本平动坐标轴是 X、Y、Z 轴；基本回转坐标轴是 A、B、C 轴。联动轴数是指数控系统按照加工的要求可以控制同时运动的坐标轴的数目。如某型号的数控机床具有 X、C、Z 三个坐标轴运动方向，而数控系统只能同时控制两个坐标（XZ、XC 或 ZC）方向的运动，则该机床的控制轴数为三轴（称为三轴控制），而联动轴数为两轴（称为两联动）。

（2）插补功能 插补功能指数控机床能够实现的运动轨迹，如直线、圆弧、螺旋线、抛物线、正弦曲线等。数控机床的插补功能越强，说明能够加工的轮廓种类越多。控制数控车床的系统一般只有直线和圆弧两种插补功能。

（3）进给功能 进给功能包括快速进给、切削进给、手动连续进给、自动加减速等功能。进给功能与伺服驱动系统的性能有很大的关系。

（4）主轴功能 主轴功能可实现恒转速、恒线速度、定向停止等功能。恒线速度指的是主轴可以自动变速，使得刀具对工件切削点的线速度保持不变。主轴定向停止功能主要用于数控机床在换刀、精镗等工序退刀前对主轴进行准确定位，以便于退刀。

（5）刀具功能 刀具功能指在数控机床上可以实现刀具的自动选择和自动换刀。

（6）刀具补偿功能 刀具补偿功能包括刀具位置补偿和半径补偿功能。半径补偿中包括对车刀的刀尖半径和刀尖朝向的补偿。

（7）机械误差补偿功能 机械误差补偿功能指系统可以自动补偿机械传动部件因间隙产生的误差的功能。

（8）操作功能 数控机床通常有单程序段运行、跳段执行、连续运行、试运行、机械锁住、进给保持和急停等功能，有的还有键盘操作功能。

(9) 程序管理功能 程序管理功能指对加工程序的检索、编制、修改、插入、删除、更名和锁住。

(10) 图形显示功能 在显示器 (CRT) 上进行二维或三维、单色或彩色的图形显示。图形可进行缩放、旋转, 还可以进行刀具轨迹动态显示。

(11) 辅助编程功能 辅助编程功能如固定循环、图形缩放、子程序、宏程序、坐标系旋转和极坐标编程等功能, 可减少手工编程的工作量和难度。

(12) 自诊断功能 自诊断功能指数控系统对其软件、硬件故障的自我诊断。这项功能可以监视整个机床和整个加工过程是否正常, 并在发生异常时及时报警。

(13) 通信与通信协议 现代数控系统一般都配有 RS232C 接口或 DNC 接口, 可以与上级计算机进行信号的高速传输。高档数控系统还可与工厂自动化局域网 (MAP) 或 Internet 相连, 以适应柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS) 的要求。

以上是一般可用于机床的数控系统的基本功能。对于用于数控车床的数控系统还有其自身的特点。首先, 数控车床所需要控制的坐标轴的数目比较少。一般的数控车床只需要控制两个坐标轴 (X 轴和 Z 轴); 对于高等级数控车床 (或者数控车削中心), 一般也只需要控制三个或四个坐标轴 (X、Z、C、Y 轴); 只是对于某些特殊类型的数控车床 (如双主轴或双刀架的车削中心), 对控制坐标轴的数目的要求才比较高。其次, 数控车床对可以联动的坐标轴的数目要求也比较少, 一般为两轴联动或三轴联动。这样与数控铣床或加工中心相比, 数控车床对数控系统的要求就相对低一些。至于对数控系统其他功能的要求, 与其他机床没有太大的区别, 只是要求具备恒线速度 (恒表面速度) 的功能, 这是由车削加工的特点决定的。

1.1.3 数控车床的主要结构特点

数控车床因其加工方法和特点, 配合不同类型的车削刀具, 主要应用于具有复杂回转型面工件的自动加工和各类螺纹的加工。目前已广泛应用于民用产品和军工产品的加工生产中, 是应用最为广泛的数控机床之一。与传统车床相比, 数控车床的结构有以下特点:

1) 由于数控车床刀架的两个方向运动分别由两台伺服电动机驱动, 所以它的传动链短, 不必使用变换齿轮、丝杠等传动部件, 用伺服电动机直接与丝杠连接带动刀架运动。伺服电动机丝杠间也可以用同步传动带副或齿轮副连接。

2) 多功能数控车床是采用直流或交流主轴控制单元来驱动主轴的, 按控制指令做无级变速, 主轴之间不必用多级齿轮副来进行变速。为扩大变速范围, 现在一般还要通过一级齿轮副, 以实现分段无级调速, 即使这样, 主轴箱内的结构已比传统车床简单得多。数控车床的另一个结构特点是刚度大, 这是为了与控制

系统的高精度控制相匹配，以便适应高精度的加工。

3) 数控车床的第三个结构特点是轻拖动。刀架移动一般采用滚珠丝杠副。滚珠丝杠副是数控车床的关键机械部件之一，滚珠丝杠两端安装的滚动轴承是专用轴承，它的压力角比常用的向心推力球轴承要大得多。这种专用轴承配对安装，最好在轴承出厂时就是成对的。

4) 为了拖动轻便，数控车床的润滑都比较充分，大部分采用油雾自动润滑。

5) 由于数控机床的价格较高、控制系统的寿命较长，所以数控车床的滑动导轨也要求耐磨性好。数控车床一般采用镶钢导轨，这样机床精度保持的时间比较长，其使用寿命也可延长许多。

6) 数控车床还具有加工冷却充分、防护较严密等特点。自动运转时，一般都处于全封闭或半封闭状态。

7) 数控车床一般还配有自动排屑装置。

1.1.4 数控车床的技术参数

数控车床的主要技术参数包括最大回转直径、最大车削长度、各坐标轴行程、主轴转速范围、切削进给速度范围、定位精度、刀架定位精度等，其主要技术参数如表 1-2 所示。

表 1-2 数控车床的主要技术参数

类 别	主 要 内 容	作 用
尺寸参数	X、Z 轴最大行程	影响加工工件的尺寸范围（质量）、编程范围及刀具、工件、机床之间干涉
	卡盘尺寸	
	最大回转直径	
	尾架套筒移动距离	
	最大车削长度	
接口参数	刀位数、刀具装夹尺寸	影响工件及刀具安装
	主轴头形式	
	主轴孔及尾架孔锥度、直径	
运动参数	主轴转速范围	影响加工性能及编程参数
	刀架快进速度、切削进给速度范围	
动力参数	主轴电动机功率	影响切削载荷
	伺服电动机额定转矩	
精度参数	定位精度、重复定位精度	影响加工精度及其一致性
	刀架定位精度、重复定位精度	
其他参数	外形尺寸（长×宽×高）、质量	影响使用环境

1.2 数控车床的刀具

在金属切削加工中，掌握刀具知识十分重要。而刀具知识中，刀具材料与刀具的选择最为重要。

1.2.1 刀具材料及其选用

正确选择刀具材料是设计和选用刀具的重要内容之一，特别是对某些难加工材料的切削，刀具材料的选用就显得尤为重要。下面首先对刀具材料应具备的基本性能作一介绍。

1. 刀具材料应具备的基本性能

刀具材料是指刀具切削部分的材料。金属切削时，刀具切削部分直接和工件及切屑相接触，受到很大的切屑压力和冲击，并受到工件切屑的剧烈摩擦，产生很高的切屑温度。也就是说，刀具切削部分是在高温高压及剧烈摩擦的恶劣条件下工作的。因此，刀具材料应具备以下基本性能。

(1) 硬度 刀具材料的硬度必须高于加工工件材料的硬度，否则在高温高压下，就不能保持刀具锋利的几何形状，这是刀具材料应具备的最基本特征。目前，切削性能最差的刀具材料——碳素工具钢，其硬度在室温条件下也应在 62HRC 以上；高速钢的硬度为 63~70HRC；硬质合金的硬度为 89~93HRC。

HRC 和 HRA 都属于洛氏硬度，HRA 硬度一般用于高值范围（大于 70HRA），HRC 硬度的有效范围是 20~70HRC。60~65HRC 的硬度相当于 81~83.6HRA 或 687~830HV。

(2) 足够的强度和韧性 刀具切削部分的材料在切削时要承受很大的切削力和冲击力。因此，刀具材料必须要有足够的强度和韧性。一般刀具材料的抗弯强度 σ_{bb} （单位为 Pa）表示它的强度大小；用冲击韧性 a_k （单位为 J/cm²）表示韧性的大小，它反映刀具材料抗脆性断裂和崩刃的能力。

(3) 耐磨性和耐热性 刀具材料的耐磨性是指抵抗磨损的能力。一般说来，刀具材料硬度越高，耐磨性越好。此外，刀具材料的金相组织中碳化物越多，颗粒越细，分布越均匀，其耐磨性就越高。

刀具材料的耐磨性和耐热性有着密切的关系。其耐热性通常用它在高温下保持较高硬度的性能，即高温硬度来衡量，或叫热硬性。高温硬度越高，表示耐热性越好，刀具材料在高温时抗塑变形的能力、抗磨损的能力也就越强。耐热性差的刀具材料，由于高温下硬度显著下降而会很快磨损乃至发生塑性变形，丧失其切削能力。

(4) 良好的导热性 刀具材料的导热性用热导率（单位为 W/(m·K)）来表

示。热导率大，表示导热性好，切削时产生的热量容易传导出，从而降低切削部分的温度，减轻刀具磨损。此外，导热性好的刀具材料其耐热冲击和抗热龟裂的性能增强，这种性能可以对脆性材料进行断续切削，特别是在加工导热性能差的工件时尤为重要。

(5) 良好的工艺和经济性 为了便于制造，要求刀具材料有较好的可加工性，包括锻压、焊接、切削加工、热处理、可磨性等。经济性是评价新型刀具材料的重要指标之一，刀具材料的选用应结合实际资源，降低成本。

(6) 抗粘接性 防止工件与刀具材料分子间在高温高压作用下发生相互吸附产生粘接。

(7) 化学稳定性 化学稳定性指刀具材料在高温下，不易与周围介质发生化学反应。

2. 刀具材料的种类及其选用

现今所采用的刀具材料，大体上分为五大类：高速钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、聚晶金刚石（PCD）。

(1) 高速钢 自 1906 年 Taylor 和 White 发明了高速钢以来，通过许多改进至今仍被大量使用，高速钢大体上可分为 W 系和 Mo 系两大类。其主要特征有：合金元素含量多且结晶粒比其他工具钢细，淬火温度极高（1200℃），淬透性极好，可使刀具整体的硬度一致。回火时有明显的二次硬化现象，甚至比淬火硬度更高且耐回火软化性较高，在 600℃ 仍能保持较高硬度，较其他工具耐磨性好且比硬质合金韧度高，但压延性较差，热加工困难，耐热冲击较弱。因此，高速钢刀具仍是数控机床的选择对象之一。目前国内外应用比较普遍的高速钢刀具材料以 WMo、WMoAl、WMoCo 为主，其中 WMoAl 是我国特有的品种。

(2) 硬质合金 硬质合金的分类与牌号如下：

1) 钨钴类硬质合金：主要成分是碳化钨（WC）和粘结剂钴（Co）。其牌号是由“YG”（硬、钴两字汉语拼音字首）和平均含钴量的百分数组成。

2) 钨钛钴类硬质合金：主要成分是碳化钨、碳化钛（TiC）及钴。其牌号由“YT”（硬、钛两字汉语拼音字首）和碳化钛平均含量组成。

3) 钨钛钽（铌）类硬质合金：主要成分是碳化钨、碳化钛、碳化钽（或碳化铌）及钴。这类硬质合金又称通用硬质合金或万能硬质合金。其牌号由“YW”（硬、钨两字汉语拼音字首）加顺序号组成。

硬质合金的性能特点如下：

1) 硬度高（86~93HRA，相当于 69~81HRC）。

2) 热硬性好（可达 900~1000℃，保持 60HRC）。

3) 耐磨性好。

4) 切削速度快，硬质合金刀具切削速度比高速钢质的快 4~7 倍。

5) 使用时间长, 硬质合金刀具寿命比高速钢质的 5~80 倍。

6) 脆性大, 不能进行切削加工, 难以制成形状复杂的整体刀具, 这是硬质合金的不足之处。

(3) 陶瓷 以陶瓷作为切削工具的技术从 20 世纪 30 年代就开始研究。陶瓷刀具基本上由两大类组成: 一类为纯氧化铝类(白色陶瓷), 另一类为TiC添加类(黑色陶瓷); 另外还有在 Al_2O_3 中添加SiCW(晶须)、 ZrO_2 (青色陶瓷)来增加韧性的, 以及以 Si_3N_4 为主体的陶瓷刀具。

陶瓷刀具具有高硬度、高温强度好的特性, 化学稳定性也很好, 但韧性很低。对此, 最近热等静压技术的普及对改善结晶的均匀细密性, 提高陶瓷的各项性能均衡乃至提高韧性起到了很大的作用, 作为切削工具的陶瓷抗弯强度已经提高到 900MPa 以上。

一般来说, 陶瓷刀具相对硬质合金和高速钢来说, 仍是极脆的材料。因此, 多用于高速连续切削, 例如, 铸铁的高速加工。另外, 陶瓷的热传导率相对硬质合金来说非常低, 是现有工具材料中最低的一种, 所以在切削加工时热容易被积蓄, 且陶瓷对热冲击的变化较难承受。所以加工中陶瓷刀具很容易因热裂纹产生崩刃等损伤, 切削温度也较高。陶瓷刀具因其材料的化学稳定性好、硬度高, 在耐热合金等难加工材料的加工中有广泛的应用。

金属切削加工所用刀具的研究开发总是在不断地追求硬度而自然遇到了韧性问题。金属陶瓷就是为解决陶瓷刀具的脆性大而出现的, 其成分以 TiC(陶瓷)为基体, Ni、Mo(金属)为结合剂, 故称为金属陶瓷。

金属陶瓷刀具最大优点是与被加工材料的亲和性极低, 故不易产生粘刀和积屑瘤现象, 使加工表面非常光洁平整, 在一般刀具材料中, 可谓是精加工用的佼佼者。但由于韧性大大限制了它的使用范围。通过添加 WC、TaC、TiN、TaN 等异种碳化物, 使其抗弯强度达到了硬质合金的水平, 因而得到了广泛的运用。日本黛杰(Dijet)工业株式会社新近推出通用性更为优良的 CX 系列金属陶瓷, 以适应各种切削状态的加工要求。

(4) 立方氮化硼 立方氮化硼是靠超高压、高温技术人工合成的新型刀具材料, 其结构与金刚石相似。其工具由美国通用电气(GE)公司研制开发。它的硬度略逊于金刚石, 但热稳定性远高于金刚石, 并且与铁族元素亲和性小, 不易产生积屑瘤。

CBN粒子硬度高达 4500HV, 热导率高, 在大气中加热至 1300℃仍保持性能稳定, 且与铁的反应性很低, 是迄今为止能够加工铁系金属最硬的一种刀具材料。它的出现使无法进行正常切削加工的淬火钢、耐热钢等高速钢切削变成可能。硬度为 60~65HRC、70HRC的淬火钢等高硬度材料均可采用CBN刀具来进行切削。所以, 在很多场合都以CBN刀具进行切削来取代之前只能采用磨削来加工的工

序,使加工效率得到了极大的提高。切削加工普通灰铸铁时,线速度在 500m/min 以上用CBN刀具材料。据最近的研究表明,用CBN切削普通灰铸铁,当速度超过 800m/min时,刀具寿命随着切削速度的增加反而更长。其原因一般为在切削过程中,刃口表面会形成 Si_3N_4 、 Al_2O_3 等保护膜替代切削刃的磨损。因此,可以说CBN将是超高速加工的首选刀具材料。

(5) 聚晶金刚石 1975 年,美国通用电气(GE)公司开发了用人造金刚石颗粒通过添加 Co、硬质合金、NiCr、Si-SiC 以及陶瓷结合剂在高温(1200℃以上)、高压下烧结成形的聚晶金刚石(PCD)刀具,并使其得到了广泛的使用。

聚晶金刚石刀具与铁系金属有极强的亲和力,切削时刀具中的碳元素极易发生扩散导致磨损。但与其他材料的亲和力很低,切削时不易产生粘刀现象,切削刃口可以磨得非常锋利。所以它只适用于高效地加工有色金属和非金属材料。此外,PCD 刀具消除了金刚石的性能异向性,使其失去其本来面目,故金刚石刀具不宜用于可能会产生高温的切削中。

上述五大类刀具材料,从总体上分析,材料的硬度、耐磨性,聚晶金刚石最高,递次降低为立方氮化硼、陶瓷、硬质合金、高速钢。而材料的韧性则是高速钢最高,聚晶金刚石最低。涂层刀具材料具有较好的实用性能,也是使硬度和韧性并存的手段之一。在数控机床中,采用最广泛的是硬质合金类。因为这类材料目前从经济性、适应性、多样性、工艺性等各方面,综合效果都优于陶瓷、立方氮化硼、聚晶金刚石和高速钢。

1.2.2 数控刀具的种类及特点

下面对数控刀具的种类及特点进行概要介绍。

1. 数控刀具的种类

常用车刀类型如图 1-6 所示,刀具装夹结构如图 1-7 所示。对于数控车床,较适合的应该是可转位刀片式车刀。当某零件加工需要用到多把车刀时,所用刀架可用图 1-7a 所示的普通转塔刀架。如果不能自动换位换刀,换刀动作得由人工在程序中进行适当处理。也有很多机床采用图 1-7b

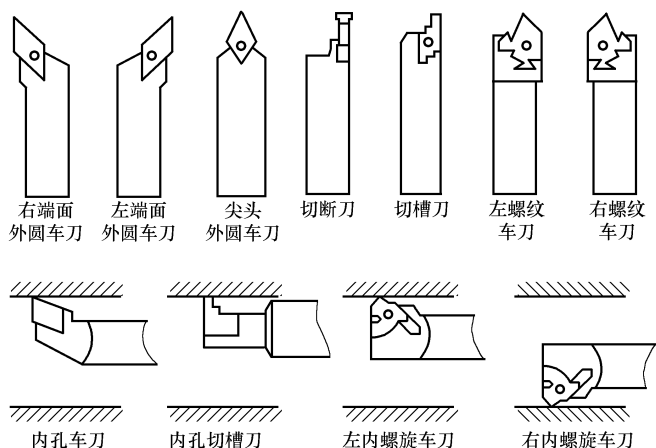


图 1-6 常用车刀类型

所示的刀架形式，即 12 位自动回转刀架，最多可安装 12 把车刀，其中可装外圆车刀 6 把、内孔刀具 6 把，此类系统可由程序控制实现自动换刀。

2. 数控刀具的特点

数控车床所采用的可转位车刀与普通车床的相比一般无本质的区

别，其基本结构、功能特点是相同的。但数控车床的加工工序是自动完成的，因此对可转位车刀的要求又有别于普通车床所使用的刀具，其特点如表 1-3 所示。

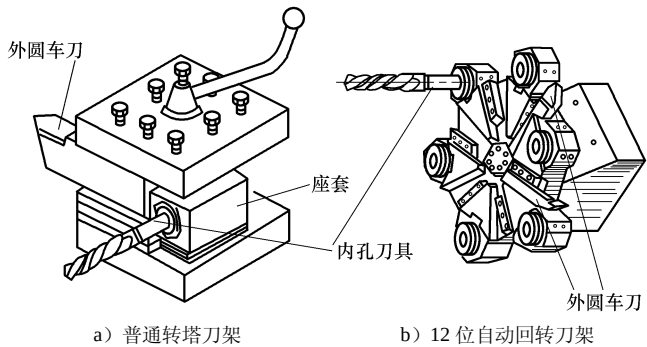


图 1-7 刀具装夹结构

表 1-3 可转位车刀特点

特 点	技 术 措 施	目 的
精度高	采用 M 级或更高精度等级的刀片；多采用精密级的刀杆；用带微调装置的刀杆在机外预调好	保证刀片重复定位精度，方便坐标设定，保证刀尖位置精度
可靠性高	采用断屑可靠性高的断屑槽型或有断屑台和断屑器的车刀；采用结构可靠的车刀；采用复合式夹紧结构和夹紧可靠的其他结构	断屑稳定，不能有紊乱和带状切屑；适应刀架快速移动和换位，以及整个自动切削过程中夹紧不得有松动的要求
换刀迅速	采用车削工具系统；采用快换小刀夹	迅速更换不同形式的切削部件，完成多种切削加工，提高生产效率
刀片材料	刀片较多采用涂层刀片	满足生产节拍要求，提高加工效率
刀杆截形	刀杆较多采用正方形刀杆，但因为刀架系统结构差异大，有的需采用专用刀杆	刀杆与刀架系统匹配

1.2.3 数控车床刀具的选择

由于数控车床的加工对象多为回转体，一般使用通用自定心卡盘夹具。下面将以 WALTER 系列车削刀具为例，重点讨论车削刀具的选用及使用问题。

数控车床刀具的选刀过程如图 1-8 所示。从对被加工零件图样的分析开始，到选定刀具，共需经过 10 个基本步骤，以图 1-8 中的 10 个图标来表示。选刀工作过程从第 1 个图标“零件图样”开始，经箭头所示的两条路径，共同到达最后一个图标“选定刀具”，以完成选刀工作。其中，第一条路线为：零件图样→机床影响因素→选择刀杆→刀片夹紧系统→选择刀片形状，主要考虑机床和刀具的情

况；第二条路线为：零件图样→工件影响因素→选择工件材料代码→确定刀片的断屑槽型代码或 ISO 断屑范围代码、选择加工条件脸谱，这条路线主要考虑工件的情况。综合这两条路线的结果，才能确定所选用的刀具。下面将介绍每一个图标的内容及选择办法。

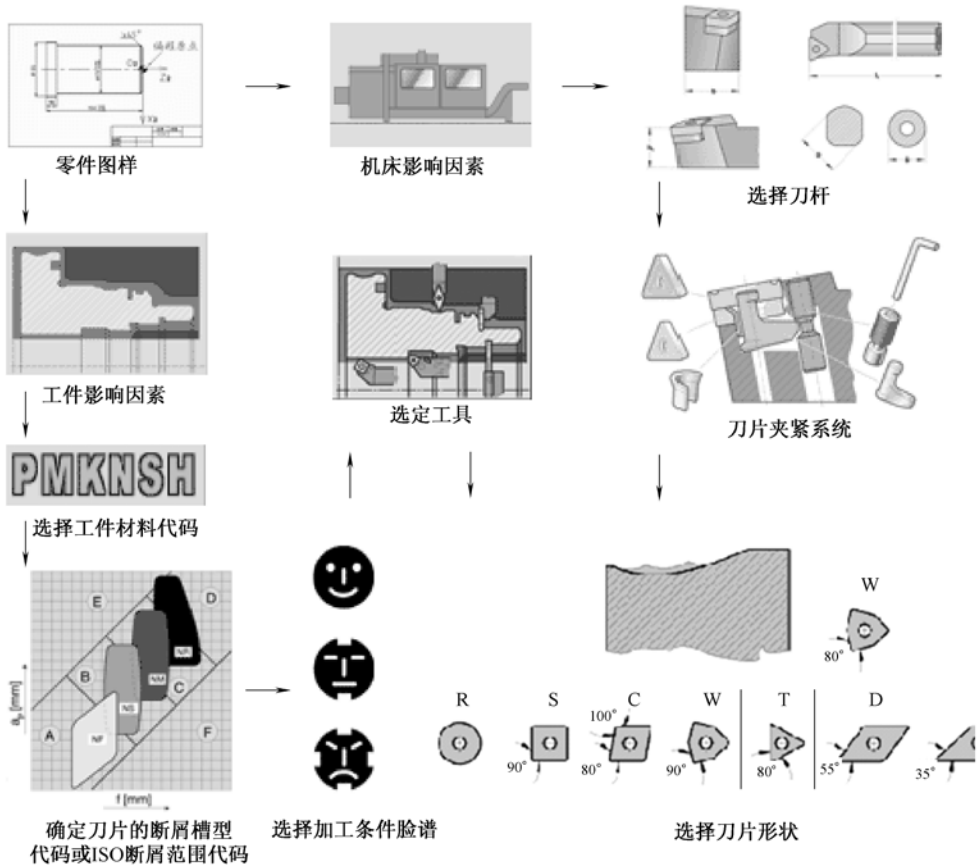


图 1-8 数控车床刀具的选刀过程

(1) 机床影响因素 “机床影响因素”图标如图 1-9 所示。为保证加工方案的可行性、经济性，获得最佳加工方案，在刀具选择前必须确定与机床有关的如下因素：

- 1) 机床类型：数控车床、车削中心。
- 2) 刀具附件：刀柄的形状和直径，左切和右切刀柄。
- 3) 主轴功率。

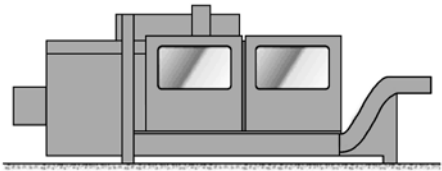


图 1-9 “机床影响因素”图标

4) 工件夹持方式。

(2) 选择刀杆 “选择刀杆”
图标如图 1-10 所示。其中，刀杆
类型尺寸如表 1-4 所示。

选用刀杆时，首先应选用尺
寸尽可能大的刀杆，同时要考虑
以下几个因素：

- 1) 夹持方式。
- 2) 切削层截面形状，即背吃
刀具和进给量。
- 3) 刀柄的悬伸。

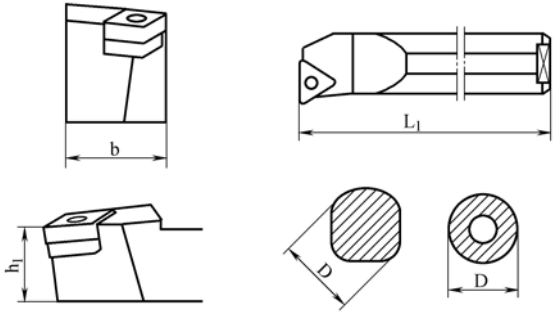


图 1-10 “选择刀杆”图标

表 1-4 刀杆类型尺寸

刀杆类型	外圆加工刀杆	刀杆尺寸	柄部直径 D
	内孔加工刀杆		柄部长度 L ₁
	柄部截面形状		主偏角

(3) 刀片夹紧系统 刀片夹紧系统有杠杆式夹紧系统和螺钉夹紧系统 “杠杆
式夹紧系统”图标如图 1-11 所示。

1) 杠杆式夹紧系统。杠杆式夹紧系统
是最常用的刀片夹紧方式。其特点为：定位精度
高，切屑流畅，操作简便，可与其他系列刀具
产品通用。

2) 螺钉夹紧系统。其特点为：适用于小
孔径内孔以及长悬伸加工。

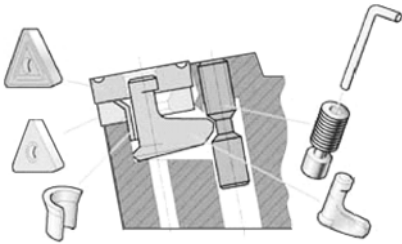


图 1-11 “杠杆式夹紧系统”图标

(4) 选择刀片形状 “选择刀片形状”
图标如图 1-12 所示。主要参数选择方法如下：

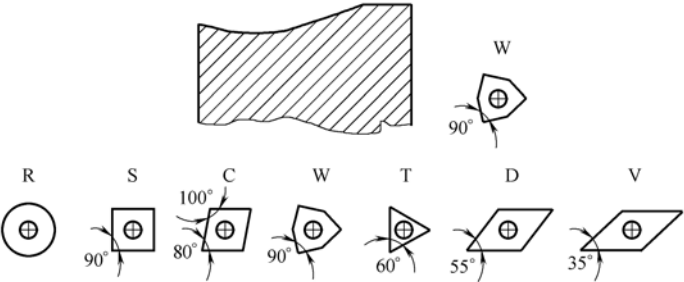


图 1-12 “选择刀片形状”图标

1) 刀尖角。刀尖角的大小决定了刀片的强度。在工件结构形状和系统刚性允许的前提下，应选择尽可能大的刀尖角。通常这个角度为 35°~90°。

图 1-12 中 R 型圆刀片，在重切削时具有较好的稳定性，但易产生较大的径向力。

2) 刀片基本类型。刀片可分为正型和负型两种基本类型。内轮廓加工、小型机床加工、工艺系统刚性较差和工件结构形状较复杂，应优先选择正型刀片。外圆加工、金属切除率高和加工条件较差时，应优先选择负型刀片。选择方法如表 1-5 所示。

表 1-5 刀片形状适用场合

可转位 刀片类型	内 孔 加 工										外 圆 加 工									
	正型	••	••	••	••	••	••					••	•	••	•					
	负型	•		•		•						•	••	•	••					
	正型							••	••								••	•		
	负型	•		•		•		•									•	••		
	正型															••				
	负型																			
	正型	••	••									•	•							
	负型	•										•	••							
	正型	•	•	•	•	••	••							••	•					
	负型													•	••					
	正型								••	••	••	••							••	••
	负型																			
	正型			••	••	••	••					••	•	••	•					
	负型	•		•		•						•	••	•	••					

注：••—首选；•—次选。

(5) 工件影响因素 “工件影响因素”图标如图 1-13 所示。选择刀具时，必须考虑以下与工件有关的因素：

- 1) 工件形状：稳定性。
- 2) 工件材质：硬度、塑性、韧性、可能形成的切屑类型。
- 3) 毛坯类型：锻件、铸件等。

- 4) 工艺系统刚性：机床夹具、工件、刀具等。
 - 5) 表面质量。
 - 6) 加工精度。
 - 7) 背吃刀量。
 - 8) 进给量。
 - 9) 刀具寿命。
- (6) 选择工件材料代码 “选择工件材料代码” 图标如图 1-14 所示。

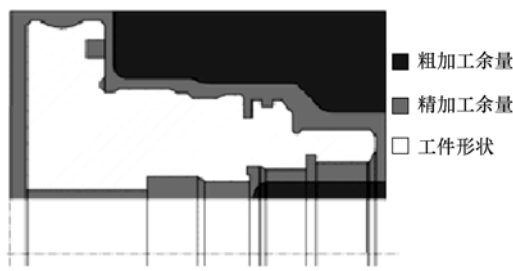


图 1-13 “工件影响因素” 图标



图 1-14 “选择工件材料代码” 图标

按照不同的机加工性能，加工材料分成 6 个工件材料组，它们分别与一个字母和一种颜色对应，以确定被加工工件的材料组符号代码，如表 1-6 所示。

表 1-6 选择工件材料代码

加 工 材 料 组		代 码
钢	非合金和合金钢 高合金钢 不锈钢、铁素体、马氏体	P（蓝）
不锈钢和铸钢	奥氏体 铁素体—奥氏体	M（黄）
铸铁	可锻铸铁、灰铸铁、球墨铸铁	K（红）
NF 金属	有色金属和非金属材料	N（绿）
难切削材料	以镍或钴为基体的热固性材料钛、钛合金及难切削加工的高合金钢	S（棕）
硬材料	淬硬钢、淬硬铸件和冷硬模铸件、锰钢	H（白）

(7) 确定刀片的断屑槽型代码或ISO断屑范围代码 “确定刀片的断屑槽代码或ISO断屑范围代码” 图标如图 1-15 所示。ISO 10910 按背吃刀量 a_p 和进给量的大小将断屑范围分为A、B、C、D、E、F六个区，其中A、B、C、D为常用区域。WALTER标准将断屑范围分为图 1-15 中各色块表示的区域，ISO标准和WALTER

标准可结合使用。根据选用标准，按加工的背吃刀量和合适的进给量来确定刀片的WALTER断屑槽型代码或ISO分类范围。

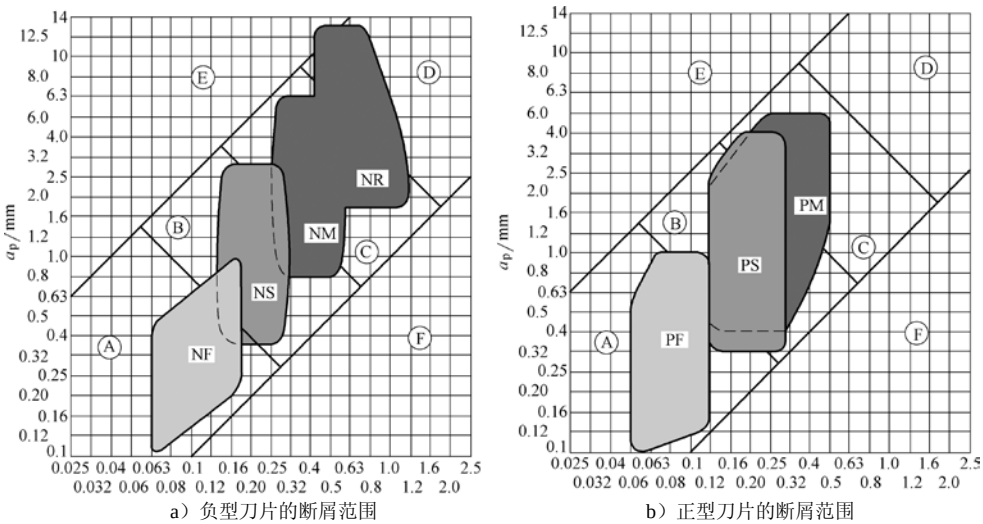


图 1-15 “确定刀片断屑槽代码或ISO断屑范围代码”图标

(8) 选择加工条件脸谱 “选择加工条件脸谱”图标如图 1-16 所示。三类脸谱代表了不同的加工条件：很好、好、不足。表 1-7 所示为加工条件取决于机床夹具和工件系统的稳定性和加工方式。

表 1-7 选择加工条件

加工方式	机床、夹具和工件系统的稳定性		
	很 好	好	不 足
无断续切削加工表面已经过粗加工	😊	😊	😞
带铸件或锻件硬表层，轻微的断续切削	😊	😞	😞
中等断续切削	😞	😞	😞
严重断续切削	😞	😞	😞

(9) 选定刀具 “选定刀具”图标如图 1-17 所示。选定工作分以下两方面。

1) 选定刀片材料。根据被加工工件的材料组符号标记、WALTER 槽型、加工条件脸谱，就可得出 WALTER 推荐刀片材料代号，负型刀片和正型刀片选定刀片材料如表 1-8 和表 1-9 所示。



图 1-16 “选择加工条件脸谱”图标



图 1-17 “选定刀具”图标

表 1-8 选定刀片材料（负型刀片）

工件材料组	ISO 分类范围	WALTER 槽代码			
P（蓝）	AB	...-NS4	WAK10	WAP20	WAM20
	B	...-NS8	WAP10	WAP20	WAP30
	BC	...-NM4	WAP10	WAP20	WAP30
	C	...-NM7	WAP10	WAP20	WAP30
	CD	...-NR7	WAP10	WAP20	WAP30
M（黄）	AB	...-NS4	WAM20	WAM20	WAM20
	BC	...-NM4	WAP30	WAM20	WAM20
	CD	...-NR7	WAP30	WAP30	WAP30
K（红）	—	...-NS4	WAK10	WAP20	WAP20
	—	...-NS8	WAK10	WAP20	WAP30
	—	...-NM4	WAK10	WAK10	WAP30
	—	NMA	WAK10	WAK10	—

表 1-9 选定刀片材料（正型刀片）

工件材料组	ISO 分类范围	WALTER 槽代码			
P（蓝）	AB	...-PS4	WAK10	WAP20	WAM20
	BC	...-PM5	WAP10	WAP20	WAP30
M（黄）	AB	...-PS4	WAM20	WAM20	WAM20
	BC	...-PM5	WAP30	WAP30	WAP30
K（红）	—	...-PS4	WAK10	WAK20	WAP20
	—	...-PM5	WAP10	WAP20	WAP30
N（绿）	—	...-PM2	WK1	WK1	WK1

2) 选定刀具。根据工件加工表面轮廓，从刀杆订货页码中选择刀杆。根据

选择好的刀杆，从刀片订货页码中选择刀片。

1.2.4 数控车床的对刀

在数控车削加工中，应首先确定零件的加工原点，以建立准确的加工坐标系，同时考虑刀具的不同尺寸对加工的影响。这些都需要通过对刀来解决。

1. 一般对刀

一般对刀是指在机床上使用相对位置检测手动对刀，相对位置检测对刀如图 1-18 所示下面以 Z 向对刀为例说明对刀方法。

刀具安装后，先移动刀具手动切削工件右端面，再沿 X 向退刀，将右端面与加工原点距离 N 输入数控系统，即完成这把刀具 Z 向对刀过程。

手动对刀是基本对刀方法，但它还是没跳出传统车床的“试切—测量—调整”的对刀模式，占用较多的时间，较为落后。

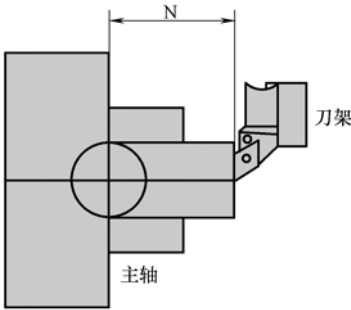


图 1-18 相对位置检测对刀

2. 机外对刀仪对刀

机外对刀的本质是测量出刀具假想刀尖点到刀具台基准之间 X 及 Z 方向的距离。利用机外对刀仪可将刀具预先在机床外校对好，以便装上机床后将对刀长度输入相应刀具补偿号即可以使用，机外对刀仪对刀如图 1-19 所示。

3. 自动对刀

自动对刀是通过刀尖检测系统实现的，刀尖以设定的速度向接触式传感器接近，当刀尖与传感器接触，传感器发出信号时，数控系统立即记下该瞬间的坐标值，并自动修正刀具补偿值。自动对刀过程如图 1-20 所示。



图 1-19 机外对刀仪对刀

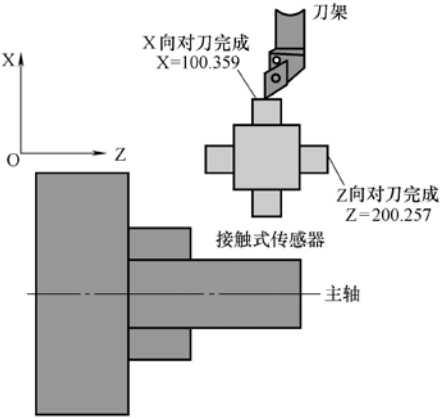


图 1-20 自动对刀过程

1.3 数控车削加工工艺

下面对数控车削加工进行详细介绍,包括加工原理与特点、加工的主要应用、加工工艺的制订等内容。

1.3.1 数控车削加工原理

数控车削的基本工作原理:被加工工件做回转主运动,由数控装置对主轴交流驱动电动机进行无级调速控制;而刀具做坐标运动,由数控装置对刀具各坐标方向的直流或交流电动机进行位置的进给伺服控制。

数控车床的另一个主要加工功能就是车各类螺纹。其加工工作原理:在主轴上安装有同步旋转的脉冲编码器,当数控装置控制主轴伺服电动机驱动主轴旋转时,脉冲编码器发出同步脉冲信号,使主轴的旋转与切削车刀进给同步,从而实现车螺纹。

1.3.2 数控车床的编程特点

1. 加工坐标系

加工坐标系应与机床坐标系的坐标方向一致,X轴对应径向,Z轴对应轴向,C轴(主轴)的运动方向则以从机床尾架向主轴看,逆时针为+C向,顺时针为-C向,数控车床坐标系如图1-21所示。

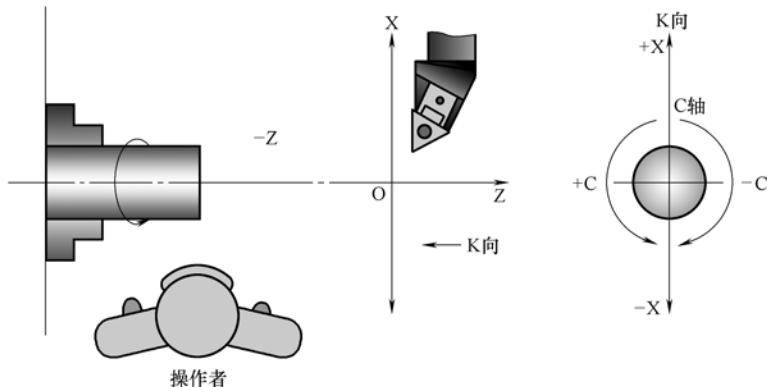


图 1-21 数控车床坐标系

加工坐标系的原点选在便于测量或对刀的基准位置,一般在工件的右端面或左端面上。

2. 直径编程方式

在车削加工的数控程序中,X轴的坐标值取为零件图样上的直径值,如图1-22

所示。图 1-22 中 A 点的坐标值为 (30, 80), B 点的坐标值为 (40, 60)。采用直径尺寸编程与零件图样中的尺寸标注一致, 这样可避免尺寸换算过程中可能造成的错误, 给编程带来很大方便。

3. 进刀和退刀方式

对于车削加工, 进刀时采用快速走刀接近工件切削起点附近的某个点, 再改用切削进给, 以减少空走刀的时间, 提高加工效率。切削起点的确定与工件毛坯余量大小有关, 应以刀具快速走到该点时刀尖不与工件发生碰撞为原则, 如图 1-23 所示。

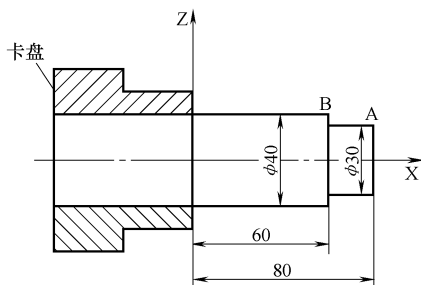


图 1-22 直径编程

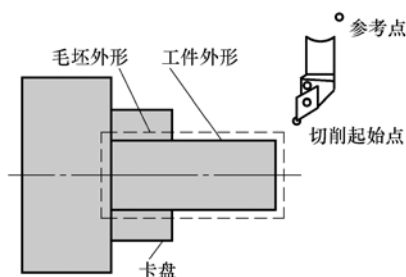


图 1-23 切削起始点的确定

1.3.3 数控车削的主要加工对象

数控车削是数控加工中用得最多的加工方法之一。由于数控车床具有加工精度高, 能做直线和圆弧插补, 以及在加工过程中能自动变速的特点, 因此, 其工艺范围较普通机床宽得多。凡是能在数控车床上装夹的回转体零件都能在数控车床上加工。针对数控车床的特点, 下列几种零件最适合数控车削加工。

1. 精度要求高的回转体零件

由于数控车床刚性好, 制造和对刀精度高, 以及能方便和精确地进行人工补偿和自动补偿, 所以能加工尺寸精度要求较高的零件。在有些场合可以以车代磨。此外, 数控车削的刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的, 再加上机床的刚性好和制造精度高, 所以它能加工对母线直线度、圆度、圆柱度等形状精度要求高的零件。对于圆弧以及其他曲线轮廓, 加工出的形状与图样上所要求的几何形状的接近程度比用仿形车床要高得多。数控车削对提高位置精度还特别有效。不少位置精度要求高的零件用普通车床车削时, 因机床制造精度低、工件装夹次数多, 而达不到要求, 只能在车削后用磨削等方法弥补。如图 1-24

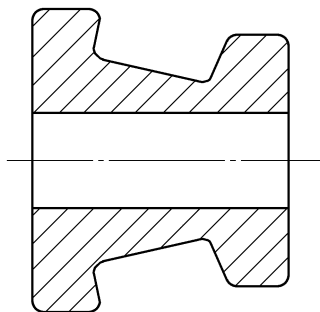


图 1-24 轴承内圈

所示的轴承内圈，原采用三台液压半自动车床和一台液压仿形车床加工，需多次装夹，因而造成较大的壁厚差，达不到图样要求，后改用数控车床加工，一次装夹即可完成。

2. 表面质量要求高的回转体零件

数控车床具有恒线速切削功能，能加工出表面粗糙度 Ra 值小而均匀的零件。在材质、精车余量和刀具已定的情况下，表面粗糙度值取决于进给量和切削速度。在普通车床上车削锥面和端面时，由于转速恒定不变，致使车削后的表面粗糙度值不一致，只有某一直径处的表面粗糙度值最小。使用数控车床的恒线速切削功能，就可选用最佳线速度来切削锥面和端面，使车削后的表面粗糙度值既小又一致。数控车削还适合于车削各部位表面粗糙度值要求不同的零件。表面粗糙度值要求大的部位选用大的进给量，要求小的部位选用小的进给量。

3. 表面形状复杂的回转体零件

由于数控车床具有直线和圆弧插补功能，所以可以车削由任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件。如某些壳体类零件中封闭内腔的成形面，在普通车床上是无法加工的，而在数控车床上则很容易加工出来。

组成零件轮廓的曲线可以是数学方程式描述的曲线，也可以是列表曲线。对于由直线或圆弧组成的轮廓，直接利用机床的直线或圆弧插补功能；对于由非圆曲线组成的轮廓，应先用直线或圆弧去逼近，然后再用直线或圆弧插补功能进行切削。

4. 带特殊螺纹的回转体零件

普通车床所能车削的螺纹相当有限，它只能车等导程的直螺纹、锥螺纹、米制螺纹和寸制螺纹，而且一台车床只能限定加工若干种导程。但数控车床不但能车削任何等导程的直螺纹、锥螺纹和端面螺纹，而且能车削增导程、减导程，以及要求等导程与变导程之间平滑过渡的螺纹。数控车床车螺纹时，主轴转向不必像普通车床那样交替变换，它可以一刀又一刀不停顿地循环，直到完成，所以车螺纹的效率很高。

1.3.4 数控车削加工工艺分析的一般流程

程序编制人员进行工艺分析时，要有机床说明书、编程手册、切削用量表、标准工具、夹具手册等资料，根据被加工工件的材料、轮廓形状、加工精度等选用合适的机床，最后制定加工方案，确定零件的加工顺序，以及各工序所用刀具、夹具和切削用量等。下面进行具体介绍。

1. 机床的合理选用

在数控机床上加工作件时，一般有两种情况。第一种情况：有零件图样和毛坯，要选择适合加工该零件的数控机床。第二种情况：已经有了数控机床，要选

择适合在该机床上加工的零件。无论哪种情况，考虑的因素主要有：毛坯材料、零件轮廓形状复杂程度、尺寸大小、加工精度、零件数量、热处理要求等。概括起来有三点：

- 1) 要保证加工零件的技术要求，加工出合格的产品。
- 2) 有利于提高生产率。
- 3) 尽可能降低生产成本（加工费用）。

2. 数控加工零件工艺性分析

数控加工工艺性分析涉及面很广，在此仅从数控加工的可能性和方便性两方面加以分析。

(1) 零件图样上尺寸数据应符合编程方便的原则

1) 零件图上尺寸标注方法应适应数控加工的特点。在数控加工零件图上，应以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸。这种标注方法既便于编程，又便于尺寸之间的相互协调，在保持设计基准、工艺基准、检测基准与编程原点设置的一致性方面带来很大方便。由于零件设计人员一般在尺寸标注中较多地考虑装配等使用特性方面，而不得不采用局部分散的标注方法，这样就会给工序安排与数控加工带来许多不便。由于数控加工精度和重复定位精度都很高，不会因产生较大的积累误差而破坏使用特性，因此可将局部的分散标注法改为同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸的标注法。

2) 构成零件轮廓的几何元素的条件应充分。在手工编程时，要计算基点或节点坐标。在自动编程时，要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义。因此，在分析零件图时，要分析几何元素的给定条件是否充分。如圆弧与直线、圆弧与圆弧在图样上相切，但根据图上给出的尺寸，在计算相切条件时，变成了相交或相离状态。由于构成零件几何元素条件的不充分，使编程时无法下手。遇到这种情况时，应与零件设计者协商解决。

(2) 零件各加工部位的结构工艺性应符合数控加工的特点

1) 零件的内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸。这样可以减少刀具规格和换刀次数，方便编程，提高生产效益。

2) 内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小，因而内槽圆角半径不应过小。零件工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转接圆弧半径的大小等有关。

3) 应采用统一的基准定位。在数控加工中，若没有统一基准定位，会因工件的重新安装而导致加工后的两个面上轮廓位置及尺寸不协调现象。因此为避免上述问题的产生，保证两次装夹加工后其相对位置的准确性，应采用统一的基准定位。

零件上最好有合适的孔作为定位基准孔，若没有，要设置工艺孔作为定位基准孔。若无法制出工艺孔时，最起码也要用经过精加工的表面作为统一基准，以

减少两次装夹产生的误差。

此外，还应分析零件所要求的加工精度、尺寸公差等是否可以得到保证，有无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。

3. 加工方法的选择与加工方案的确定

(1) 加工方法的选择 加工方法的选择原则是保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。由于获得同一级精度及表面粗糙度的加工方法有许多，因而在实际选择时，要结合零件的形状、尺寸大小和热处理要求等全面考虑。此外，还应考虑生产率和经济性的要求，以及工厂的生产设备等实际情况。常用加工方法的经济加工精度及表面粗糙度可查阅有关工艺手册。

(2) 加工方案确定的原则 零件上比较精密表面的加工，常常是通过粗加工、半精加工和精加工逐步达到的。对这些表面仅仅根据质量要求选择相应的最终加工方法是不够的，还应正确地确定从毛坯到最终成形的加工方案。确定加工方案时，首先应根据主要表面的精度和表面粗糙度的要求，初步确定为达到这些要求所需要的加工方法。

4. 工序与工步的划分

(1) 工序的划分 在数控机床上加工零件，工序可以比较集中，在一次装夹中尽可能完成大部分或全部工序。首先应根据零件图样，考虑被加工零件是否可以在一台数控机床上完成整个零件的加工工作；若不能，则应决定其中哪一部分在数控机床上加工，哪一部分在其他机床上加工，即对零件的加工工序进行划分。

(2) 工步的划分 为便于分析和描述较复杂的工序，在工序内又细分为工步。工步的划分主要从加工精度和效率两方面考虑。在一个工序内往往需要采用不同的刀具和切削用量，对不同的表面进行加工。

5. 零件的安装与夹具的选择

(1) 定位安装的基本原则

- 1) 力求设计、工艺与编程计算的基准统一。
- 2) 尽量减少装夹次数，尽可能在一次定位装夹后，加工出全部待加工表面。
- 3) 避免采用占机的人工调整式加工方案，以充分发挥数控机床的效能。

(2) 选择夹具的基本原则 数控加工的特点对夹具提出了两个基本要求：一是要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定；二是要协调零件和机床坐标系的尺寸关系。除此之外，还要考虑以下四点：

- 1) 当零件加工批量不大时，应尽量采用组合夹具、可调式夹具及其他通用夹具，以缩短生产准备时间，节省生产费用。
- 2) 在成批生产时，才考虑采用专用夹具，并力求其结构简单。
- 3) 零件的装卸要快速、方便、可靠，以缩短机床的停顿时间。
- 4) 夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各表面的加工，夹紧机构元件不能

影响加工中的走刀（如产生碰撞等）。

6. 切削用量的确定

切削用量包括切削速度、背吃刀量和进给量等。对于不同的加工方法，需要选择不同的切削用量，并应编入程序单内。

合理选择切削用量的原则是：粗加工时，一般以提高生产率为主，但也应考虑经济性和加工成本；半精加工和精加工时，应在保证加工质量的前提下，兼顾切削效率、经济性和加工成本。具体数值应根据机床说明书和切削用量手册，并结合经验而定。

7. 对刀点与换刀点的确定

在编程时，应正确地选择对刀点和换刀点的位置。对刀点就是在数控机床上加工零件时，刀具相对于工件运动的起点。由于程序段从该点开始执行，所以对刀点又称为程序起点或起刀点。

对刀点的选择原则是：便于用数字处理和简化程序编制；在机床上找正容易，加工中便于检查；引起的加工误差小。

对刀点可选在工件上，也可选在工件外面（如选在夹具上或机床上），但必须与零件的定位基准有一定的尺寸关系。对刀点与换刀点如图 1-25 所示，对刀点相对于机床原点为 (X_0, Y_0) ，相对于工件原点为 (X_1, Y_1) ，据此便可明确地表示出机床坐标系、工件坐标系和对刀点之间的位置关系。

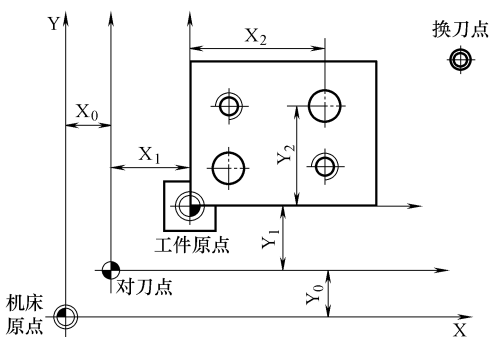


图 1-25 对刀点与换刀点

为了提高加工精度，对刀点应尽量选择在设计基准或工艺基准上。工厂常用的找正方法是将千分表装在机床主轴上，然后转动机床主轴，以使刀位点与对刀点一致。一致性越好，对刀精度越高。所谓刀位点是指车刀刀头底面的中心。

零件安装后，工件坐标系与机床坐标系就有了确定的尺寸关系。在工件坐标系设定后，从对刀点开始的第一个程序段的坐标，为对刀点在机床坐标系中的坐标 (X_0, Y_0) 。当按绝对值编程时，不管对刀点和工件原点是否重合，都是 (X_2, Y_2) ；当按增量值编程时，对刀点与工件原点重合时，第一个程序段的坐标是 (X_2, Y_2) ；不重合时，则为 (X_1+X_2, Y_1+Y_2) 。

对刀点既是程序的起点，也是程序的终点。因此，在成批生产中要考虑对刀点的重复精度，该精度可用对刀点相距机床原点的坐标 (X_0, Y_0) 来校核。

所谓机床原点是指机床上一个固定不变的极限点。对车床而言，是指车床主轴回转中心与车头卡盘端面的交点。

加工过程中需要换刀时，应规定换刀点。所谓换刀点是指刀架转位换刀时的位置。换刀点应设在工件或夹具的外部，以刀架转位时不碰工件及其他部件为准。其设定值可用实际测量方法或计算确定。

8. 加工路线的确定

在数控加工中，刀具刀位点相对于工件运动的轨迹称为加工路线。编程时，加工路线的确定原则主要有以下几点：

- 1) 加工路线应保证被加工零件的精度和表面粗糙度，且效率较高。
- 2) 使数值计算简单，以减少编程工作量。
- 3) 应使加工路线最短，这样既可减少程序段，又可减少空刀时间。

对点位控制的数控机床，只要求定位精度较高，定位过程尽可能快，而刀具相对工件的运动路线是无关紧要的，因此这类机床应按空程最短来安排走刀路线。除此之外，还要确定刀具轴向的运动尺寸，其大小主要由被加工零件的孔深来决定，但也应考虑一些辅助尺寸，如刀具的引入距离和超越量。

在数控车床上车削螺纹时，沿螺距方向的Z向进给应和机床主轴的旋转保持严格的速比关系，因此应避免在进给机构加速或减速过程中切削。为此要有引入距离 δ_1 和超越距离 δ_2 ，它们的数值与机床拖动系统的动态特性有关，与螺纹的螺距和螺纹的精度有关。引入距离 δ_1 和超越距离 δ_2 一般为 2~5mm，对大螺距和高精度的螺纹取大值；一般取最大值的 1/4 左右。若螺纹收尾处没有退刀槽时，收尾处的形状与数控系统有关，一般按 45° 收尾。

加工曲面时，常用球头刀采用行切法进行加工。所谓行切法是指刀具与零件轮廓的切点轨迹是一行一行的，而行间的距离是按零件加工精度的要求确定的。

第 2 章 FANUC 数控系统及车床编程指令

日本 FANUC 公司的数控系统是世界上最生产非常早而且非常成熟的数控产品，具有高质量、高性能、功能全的特点，适用于各种机床加工，市场的占有率远远超过其他的数控系统。本章结合 FANUC 数控系统，对车床操作以及编程指令进行详细介绍。

2.1 FANUC 数控系统概述

下面围绕产品特点与系列，对 FANUC 数控系统进行概述。

2.1.1 主要特点

概括起来，FANUC 数控系统的特点主要体现在以下几个方面：

- 1) 系统在设计中大量采用模块化结构。这种结构易于拆装，各个控制板高度集成，使可靠性有很大提高，而且便于维修和更换。
- 2) 具有很强的抵抗恶劣环境影响的能力。其工作温度为 $0\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，最高相对湿度为 75%。
- 3) 有较完善的保护措施。FANUC 对自身的系统采用比较好的保护电路。
- 4) FANUC 系统所配置的系统软件具有比较齐全的基本功能和选项功能。对于一般的机床来说，基本功能完全能满足使用要求。
- 5) 提供大量丰富的 PMC 信号和 PMC 功能指令。这些丰富的信号和编程指令便于用户编制 PMC 控制程序，而且增加了编程的灵活性。
- 6) 具有很强的 DNC 功能。系统提供串行 RS232C 传输接口，使通用计算机和机床之间的数据传输能方便、可靠地进行，从而实现高速的 DNC 操作。
- 7) 提供丰富的维修报警和诊断功能。FANUC 维修手册为用户提供了大量的报警信息，并且按不同的类别进行分类。

2.1.2 主要系列

日本 FANUC 数控系统产品比较多，下面介绍几个常用系列产品。

1. FS 6 系统

1979 年推出的 FS6 系列数控，是具备一般功能和部分高级功能的中级型 CNC 系统。在 20 世纪 70 年代末期、80 年代初期的数控机床上得到了广泛应用。其中，

6M 使用于铣、镗床和加工中心；6T 使用于车床。

FS6 的硬件采用了大板结构，系统采用了在当时先进的 8086 系列微处理器与大规模集成电路：伺服驱动系统通常采用 FANUC 直流驱动系统，通过脉冲编码器进行位置检测，构成半闭环位置控制系统。系统软件为固定式专用软件。系统最大可以控制五轴，三轴联动，具有较强的自诊断功能与较高的可靠性。

2. FS 11 系统

1984 年推出的 FS11 系列数控系统为多微处理器控制系统，其主 CPU 采用 68000 系列，在图形控制、对话式自动编程控制、轴控制等方面也都有各自的 CPU。同系列的产品有 FS10/11/12 三种基本规格，其基本结构相似，性能与使用场合有所区别。

FS11 配有高速、大容量的 PMC（Programmable Controller，可编程机床控制器），最大 PMC 程序存储容量为 16 000 步，可以控制的 I/O 点数多达 752/496 点。PMC 采用了 FANUC 开发的混合电路，输出驱动模块的驱动能力可以达到 200V/2A，可以直接驱动机床的执行元器件。

CNC 系统和操作面板、I/O 单元之间采用光缆连接，连接简单，抗干扰能力强。FS11 系统伺服驱动与主轴驱动一般采用 FANUC 模拟式交流伺服驱动系统。

系统软件为固定式专用软件，最大可以控制五轴，并实现全部控制轴的联动。系统还可以选择并联轴控制、3D 刀补、手动任意角度进给等多种功能。系统采用了菜单操作的软功能面板，可以进行简单的人机对话式编程。此外，F10/F11/F12 系列数控系统还充实了专用宏功能、自动计划功能、自动刀具补偿功能、刀具寿命管理、彩色图形显示（CRT）等。

以上性能在当时（20 世纪 80 年代）都具有相当先进的水平，从而使 FS 11 在当时的机床行业，特别是高档、进口数控设备上得到了广泛的应用。

3. FANUC 0 系统

1985 年 FANUC 公司推出 F0 系列数控系统，它的主要特点是体积小，价格低，适用于机电一体化的小型数控机床。F0 系列数控系统是一个多微处理器系统。0A 系列主 CPU 为 80186，0B 系列主 CPU 为 80286，0C 系列主 CPU 为 80386。F0 系列在已有的 RS-232C 串行接口之外，又增加了具有高速串行接口的远程缓冲器，以便实现 DNC（Distributed Numerical Control，分布式数控）运行。F0 系列数控系统在硬件组成上以最少的元件数发挥最高的效能为宗旨，采用了最新型高速和高集成度微处理器。三轴控制系统的主控制电路包括输入、输出接口、PMC 和 CRT 电路等都装在一块大型印制电路板上，与操作面板、CRT 组成一体。F0 系列数控系统的主要功能有：彩色图形显示、会话菜单式编程、专用宏功能、录返功能等。自 FANUC 公司推出 F0 系列数控系统以来，得到了世界各国用户的高度评价，从而成为广泛采用的数控系统之一。

F0 系列数控系统有多种规格,其中,F0-MA/MB/MEA/MC/MF 用于加工中心、铣床和镗床;F0-TA/TB/TEA/TC/TF 用于车床;F0-TTA/TTB/TTC 用于主轴双刀架或两个主轴双刀架的四轴控制车床;F0-GA/GB 用于磨床;F0-PB 用于锻压机床。

北京 FANUC 有限公司生产的 F0 系列有 BEIJING-FANUC 0C 和 0D 系列,其中 D 为普及型, C 为全功能型,与之配套的有 α 系列交流伺服电动机和交流主轴电动机。BEIJING-FANUC Power Mate0 为 F0 系列的派生产品,与 F0 系列比较,是功能简单、结构更为紧凑的经济型 CNC 产品。

F0i 系统的特点是采用了总线技术,增加了网络功能,并采用了“闪存”(FLASH ROM)。系统可以通过远程缓冲存储器(Remote buffer)接口与个人计算机相连,由计算机控制加工,实现信息传递;系统间也可以通过 I/O link 总线进行连接。

4. FANUC15/16/18 系统

F-15/16/18 系列系统有 F-15/16/18、F15/16/18i 及 F-150/160/180、F160i/180i 等型号,该系列系统是专门为工厂自动化设计的数控系统,是目前国际上性能最先进、功能最强大的数控系统之一。系统具有以下特点:

1) 系统硬件与微电子技术发展同步,采用了超大规模集成芯片,CPU 可以是 80486 或 Pentium 系列处理器,带 64 位 RISC 芯片等。

2) 系统元器件采用了立体化、高密度的安装方式(FANUC 公司的专利技术)。

3) 系统采用 8.4in 或 9.5in TFT 彩色液晶显示器,4 096 色、256 色可以同时显示。

4) 系统软件丰富,功能强大,具有渐开线、抛物线、指数函数曲线、圆弧螺线、多头螺线、变螺距螺线、锥螺线、端面螺线、柱面体型槽、极坐标插补等多种特殊曲线的插补功能与多种固定加工循环。

5) 系统可配套 $\alpha/\alpha i$ 系列高精度、智能型数字式交流伺服系统,伺服电动机体积小、转距/惯量大、加速快、运行平稳,即使在极低的转速下仍能满负荷运行。

6) 系统带有高速 PMC,基本指令的执行时间为每步 0.1 μ s,梯形图最大可达 24 000 步。

7) FS-15/1618 系列系统既可单机运行,也可通过 Remote buffer 接口与个人计算机相连,由计算机控制加工,实现信息传递。

2.2 FANUC数控系统的车床操作

数控系统的控制面板是操作人员控制、操作数控机床的最主要介质。数控系统控制面板一般由 MDI 面板(Manual Data Input)和机床操作面板(Operator Panel)

两部分组成。

MDI 面板一般由键盘和显示器面板组成，主要用于手工程序的输入、编辑等功能。机床操作面板主要用于手动方式下对机床的操作以及自动方式下对机床的操作或干预。

数控系统不同，各种数控车床的操作方法及操作面板也是不相同的，但大多数数相近或具有共性。操作人员对数控车床的主要操作是车床控制操作与数控编程操作。本节以 FANUC 0i 系统为例，系统介绍数控车床的操作。

2.2.1 FANUC 0i 系统数控车床操作面板

FANUC 0i 系统的数控车床操作面板如图 2-1 所示，主要用于控制机床运行状态，由模式选择按钮、运行控制开关等多个部分组成，每一部分的详细说明如下。

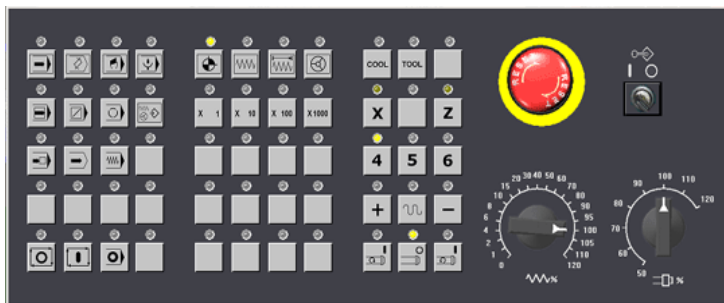


图 2-1 FANUC 0i 系统的数控车床操作面板

(1) 第一行面板按钮

- 1) AUTO: 自动加工模式。
- 2) EDIT: 编辑模式。
- 3) MDI: 手动数据输入。
- 4) INC: 增量进给。
- 5) HND: 手轮模式移动机床。
- 6) JOG: 手动模式，手动连续移动机床。
- 7) DNC: 用 232 电缆线连接个人计算机和数控机床，选择程序传输加工。
- 8) REF: 回参考点。

(2) 程序运行控制开关

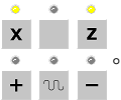
1) : 程序运行开始。模式选择旋钮在“ AUTO ”和“ MDI ”位置时按下有效，其余时间按下无效。

2) : 程序运行停止。在程序运行中，按下此按钮停止程序运行。

(3) 机床主轴手动控制开关

1) : 手动主轴正转。

- 2) : 手动主轴反转。
- 3) : 手动停止主轴。

(4) 手动移动机床各轴按钮 。

(5) 增量进给倍率选择按钮  用于设置选择移动机床轴时，每一步的距离：×1 为 0.001 mm，×10 为 0.01 mm，×100 为 0.1 mm，×1 000 为 1 mm。置光标于按钮上，点击鼠标左键选择。

(6) 进给率 (F) 调节旋钮  用于调节程序运行中的进给速度，
调节范围从 0~120%。置光标于旋钮上，点击鼠标左键转动。

(7) 主轴转速倍率调节旋钮  用于调节主轴转速，调节范围从 0~
120%。

(8) 手脉  把光标置于手轮上，选择轴向，按鼠标左键，移动鼠

标，手轮顺时针转，相应轴往正方向移动；手轮逆时针转，相应轴往负方向移动。

- (9) 单步执行开关  每按一次程序启动执行一条程序指令。
- (10) 程序段跳读  自动方式按下此键，跳过程序段开头带有 “/” 程序。
- (11) 程序停  自动方式下，遇有 M00 程序停止。
- (12) 机床空运行  按下此键，各轴以固定的速度运动。
- (13) 手动示教 。
- (14) 冷却液开关  按下此键，冷却液开；再按一下，冷却液关。
- (15) 在刀库中选刀  按下此键，在刀库中选刀。

(16) 程序编辑锁定开关  置于 “” 位置，可编辑或修改程序。

(17) 程序重启动  由于刀具破损等原因自动停止后，程序可以从指定的程序段重新启动。

(18) 机床锁定开关  按下此键，机床各轴被锁住，只能程序运行。

(19) M00 程序停止键  程序运行中，按下此键，M00 停止。

(20) 紧急停止按钮 。

2.2.2 FANUC Oi系统数控车床的常用操作

系统操作键盘在视窗的右上角，其左侧为显示屏，右侧是编程面板，FANUC Oi 系统数控车床操作面板如图 2-2 所示。

1. 按键介绍

(1) 数字/字母键

O _P	N _Q	G _R	7 _A	8 _B	9 _C
X _U	Y _V	Z _W	4 _I	5 _J	6 _K
M _L	S _J	T _K	1 _F	2 _G	3 _H
F _L	H _D	EOB _E	-	0	.

数字/字母键用于输入数据到输入区

域，FANUC Oi 系统中数字及符号输入如图 2-3 所示，系统自动判别取字母还是取数字。字母和数字键通过  键切换输入，如：O—P，7—A。

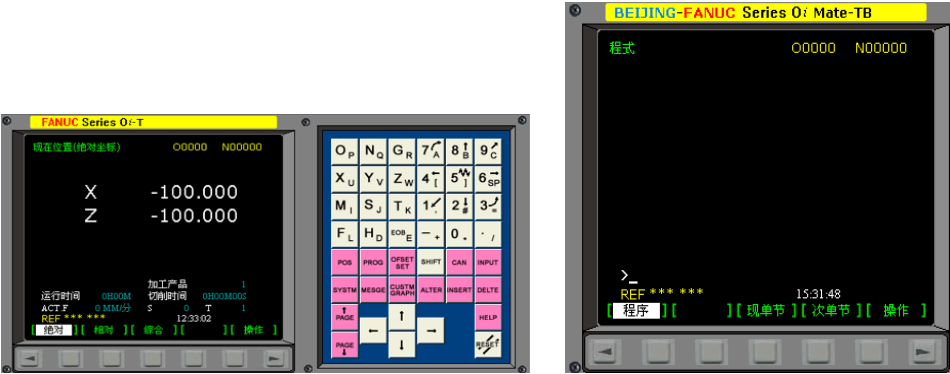


图 2-2 FANUC Oi系统数控车床操作面板

图 2-3 FANUC Oi系统中数字及符号输入

(2) 编辑键

- 1) ：替换键。用输入的数据替换光标所在的数据。
- 2) ：删除键。删除光标所在的数据；或者删除一个程序或者删除全部程序。
- 3) ：插入键。把输入区之中的数据插入到当前光标之后的位置。
- 4) ：取消键。消除输入区内的数据。
- 5) ：回车换行键。结束一行程序的输入并且换行。

6)  : 上档键。

(3) 页面切换键

1)  : 程序显示与编辑页面。

2)  : 位置显示页面。位置显示有三种方式，用 **PAGE** 按钮选择。

3)  : 参数输入页面。按第一次进入坐标系设置页面，按第二次进入刀具补偿参数页面。进入不同的页面以后，用 **PAGE** 按钮切换。

4)  : 系统参数页面。

5)  : 信息页面，如“报警”。

6)  : 图形参数设置页面。

7)  : 系统帮助页面。

8)  : 复位键。

(4) 翻页按钮 (**PAGE**)

1)  : 向上翻页。

2)  : 向下翻页。

(5) 光标移动 (**CURSOR**)

1)  : 向上移动光标。

2)  : 向下移动光标。

3)  : 向右移动光标。

4)  : 向左移动光标。

(6) 输入键  把输入区内的数据输入参数页面。

2. 机床手动操作

(1) 回参考点

1) 置模式旋钮在  位置。

2) 选择各轴   ，按住按钮，即回参考点。

(2) 移动 手动移动机床轴的方法有以下三种：

1) 方法一：快速移动 ，这种方法用于较长距离的工作台移动。

① 置“JOG”模式在  位置。

② 选择各轴，点击方向键  ，机床各轴移动，松开后停止移动。

③ 按  键，各轴快速移动。

2) 方法二：增量移动 ，这种方法用于微量调整，如用在对基准操作中。

① 置模式在  位置，选择     步进量。

② 选择各轴，每按一次，机床各轴移动一步。

3) 方法三：操纵手脉 ，这种方法用于微量调整。在实际生产中，使用手脉可以让操作者容易控制和观察机床移动。“手脉”在软件界面右上角 ，点击即会出现。

(3) 开、关主轴

- 1) 置模式旋钮在“JOG”位置 .
- 2) 按  机床主轴正反转，按  主轴停转。

(4) 启动程序加工零件

- 1) 置模式旋钮在“**AUTO**”位置 .
- 2) 选择一个程序（参照下面介绍选择程序方法）。
- 3) 按程序启动按钮 .

(5) 试运行程序

试运行程序时，机床和刀具不切削零件，仅运行程序。

- 1) 置在  模式。
- 2) 选择一个程序如 O0001 后按  调出程序。
- 3) 按程序启动按钮 .

(6) 单步运行

- 1) 置单步开关  于“ON”位置。
- 2) 程序运行过程中，每按一次  执行一条指令。
- (7) 选择一个程序 有下面两种方法进行选择。

1) 方法一：按程序号搜索。

- ① 选择模式放在“EDIT”。
- ② 按  键输入字母“O”。
- ③ 按  键输入数字“7”，输入搜索的号码：“O7”。
- ④ 按  键开始搜索；找到后，“O7”显示在屏幕右上角程序号位置，“O7”

NC 程序显示在屏幕上。

2) 方法二：选择模式“**AUTO**” 位置。

- ① 按  键输入字母“O”。
- ② 按  键入数字“7”，键入搜索的号码：“O7”。

- ③ 按  操作 →   键，“O7”显示在屏

幕上。

- ④ 可输入程序段号“N30”，按  搜索程序段。

(8) 删除一个程序

- 1) 选择模式在“EDIT”。
- 2) 按  键输入字母“O”。
- 3) 按  键输入数字“7”，输入要删除的程序的号码：“O7”。
- 4) 按  键，“O7”NC 程序被删除。

(9) 删除全部程序

- 1) 选择模式在“EDIT”。
- 2) 按 **PROG** 键输入字母“O”。
- 3) 输入“-9999”。
- 4) 按 **DELTE** 键，全部程序被删除。

(10) 搜索一个指定的代码 一个指定的代码可以是一个字母或一个完整的代码。例如：“N0010”、“M”、“F”、“G03”等。搜索应在当前程序内进行。操作步骤如下：

- 1) 在“**AUTO**” **→** 或“**EDIT**” **↻** 模式。
- 2) 按 **PROG** 键。
- 3) 选择一个 NC 程序。
- 4) 输入需要搜索的字母或代码，如“M”、“F”、“G03”。
- 5) 按 **[BG-EDT][O检索][检索↓][检索↑][REWIND]** 菜单行中的 **[检索↓]** 键，开始在当前程序中搜索。

(11) 编辑 NC 程序（删除、插入、替换操作）

- 1) 模式置于“EDIT” **↻**。
- 2) 按 **PROG** 键。
- 3) 输入被编辑的 NC 程序名如“O7”，按 **INSERT** 键即可编辑。
- 4) 移动光标。
 - ① 方法一：按 **↑PAGE** 或 **PAGE↓** 键翻页，按 **←** 或 **→** 键移动光标。
 - ② 方法二：用搜索一个指定的代码的方法移动光标。
- 5) 输入数据：用鼠标点击数字/字母键，数据被输入到输入域。**CAN** 键用于删除输入域内的数据。

6) 自动生成程序段号输入：按 **OFSET SET** **→** **[SETTING]**，机床手动输入如图 2-4 所示，在参数页面顺序号中输入“1”，所编程序自动生成程序段号（如：N10…N20…）。

(12) 删除、插入、替代

- 1) 按 **DELTE** 键，删除光标所在的代码。
- 2) 按 **INSERT** 键，把输入区的内容插入到光标所在代码后面。
- 3) 按 **ALTER** 键，把输入区的内容替代光标所在的代码。

(13) 通过操作面板手工输入 NC 程序

- 1) 置模式开关在“EDIT” **↻**。
- 2) 按 **PROG** 键，再按 **DIR** 进入程序



图 2-4 机床手动输入

页面。

- 3) 按  键输入“O7”程序名（输入的程序名不可以与已有程序名重复）。
- 4) 按  →  键，开始程序输入。
- 5) 按  →  键，换行后再继续输入。

(14) 从计算机输入一个程序 NC 程序可在计算机上建文本文件编写，文本文件 (*.txt) 后缀名必须改为 “*.nc” 或 “*.cnc”。

- 1) 选择“EDIT”模式，按  键切换到程序页面。
- 2) 新建程序名“Oxxxx”，按  键进入编程页面。
- 3) 按  键打开计算机目录下的文本文件，程序显示在当前屏幕上。

(15) 输入零件原点参数

1) 按  键进入参数设定页面，按“坐标系”，FANUC 0i 系统工件坐标系页面如图 2-5 所示。

2) 用 、 或 、 键选择坐标系。

输入地址字 (X/Y/Z) 和数值到输入域。方法参考“输入数据”操作。

3) 按  键，把输入域中的内容输入到所指定的位置。

(16) 输入刀具补偿参数 FANUC 0i 系统刀具补正页面如图 2-6 所示。

1) 按  键进入参数设定页面，按“ 补正 

2) 用  和  键选择长度补偿、半径补偿。



图 2-5 FANUC 0i系统工件坐标系页面



图 2-6 FANUC 0i系统刀具补正页面

- 3) 用  和  键选择补偿参数编号。
- 4) 输入补偿值到长度补偿 H 或半径补偿 D 中。
- 5) 按  键，把输入的补偿值输入到所指定的位置。

(17) 位置显示 按  键切换到位置显示页面。用  和  键切换。

(18) MDI 手动数据输入

1) 按  键，切换到“MDI”模式。

- 2) 按 **PROG** 键, 再按 **MDI** → **FOR E** 分程序段号“N10”, 输入程序如: G0X50。
- 3) 按 **INSERT** “N10G0X50”, 程序被输入。
- 4) 按 **程序启动** 按钮。

(19) 镜像功能 按 **OFFSET SET** → **SETTING** → **PAGE 1**, FANUC 0i 系统镜像页面如图 2-7 所示。

在参数页面中, MIRROR IMAGE X、MIRROR IMAGE Y、MIRROR IMAGE Z 分别表示 X 轴、Y 轴和 Z 轴镜像功能。比如, 输入“1”, 镜像启动。

(20) 零件坐标系 (绝对坐标系) 位置 FANUC 0i 系统零件坐标系页面如图 2-8 所示。



图 2-7 FANUC 0i系统镜像页面



图 2-8 FANUC 0i系统零件坐标系页面

- 1) 绝对坐标系: 显示机床在当前坐标系中的位置。
- 2) 相对坐标系: 显示机床坐标相对于前一位置的坐标。
- 3) 综合显示: 同时显示机床在以下坐标系中的位置。
 - ① 绝对坐标系中的位置 (ABSOLUTE)。
 - ② 相对坐标系中的位置 (RELATIVE)。
 - ③ 机床坐标系中的位置 (MACHINE)。
 - ④ 当前运动指令的剩余移动量 (DISTANCE TO GO)。

2.2.3 数控车床的对刀操作

数控车床的对刀可分为基准车刀的对刀和各个刀具相对位置偏差的测定两部分。先从所需用到的众多车刀中选定一把作为基准刀具, 进行对刀操作, 再分别测出其他各刀具与基准刀具刀位点的位置偏差值 (这可通过分别测量各刀具相对于刀架中心或相对于刀座装刀基准点在 X、Z 方向的偏置值来得到), 不必对每把刀具都进行对刀操作。

本节以 FANUC 0i 数控系统为例对数控车床的对刀方法做介绍, 其他系统的

对刀方法与原理基本相同，以后不再赘述。

1. 数控车床的对刀调整

(1) 基准车刀的对刀 基准车刀的对刀就是在加工前测定出加工起始点（起刀点）处，刀具刀位点（如刀尖）在预想的工件坐标系（编程坐标系）中的相对坐标位置。对刀操作通常是在建立工件坐标系以前进行的，只有通过刀对，才可确保建立一个和编程坐标系一致的工件坐标系。

对于具有参考点功能的数控车床而言，在经过回参考点操作后，由于机床原点是已知的、固定不变的，因此在参考点处显示的是刀架上某参照点（如刀架中心）在机床坐标系中的位置坐标。对刀操作在机床坐标系控制下进行，当刀具装夹好后，刀架中心和刀具刀位点之间的距离是固定的，因此，可以通过刀架中心在机床坐标系中的坐标变化来推测出刀具刀位点在设想的工件坐标系中的坐标。可以说，刀架中心点是用于对刀的参照点。其试切对刀的过程大致如下：

1) 先进行手动返回参考点的操作。

2) 试切外圆。用MDI（Manual Data Input，手动输入方式）方式操纵机床将工件外圆表面试切一刀，然后保持刀具在X轴方向上的位置不变，沿Z轴方向退刀，记下此时显示器上显示的刀架中心在机床坐标系中的X坐标值 X_t ，并测量工件试切后的直径 D ，此即当前位置上刀尖在工件坐标系中的X值（通常X零点都选在回转轴心上）。

3) 试切端面。用同样的方法再将工件右端面试切一刀，保持刀具Z坐标不变，沿X方向退刀，记下此时刀架中心在机床坐标系中的Z坐标值 Z_t ，且测出试切端面至预定的工件原点的距离 L ，即当前位置处刀尖在工件坐标系中的Z值，利用机床坐标数据试切对刀如图2-9所示。

4) 对刀。根据上述得到的四个数据，可用如下两种方法进行对刀。

① 方法一：若已经

在将要运行的程序中写好了“G92 Xa Zb;”的程序行，那么就应该用手动或MDI方法移动刀具，将刀具移至使显示器上所显示的刀架中心在机床坐标系中的坐标值为 (X_t+a-D, Z_t+b-L) 的位置。这样就实现了将刀尖放在程序所要求的起刀点

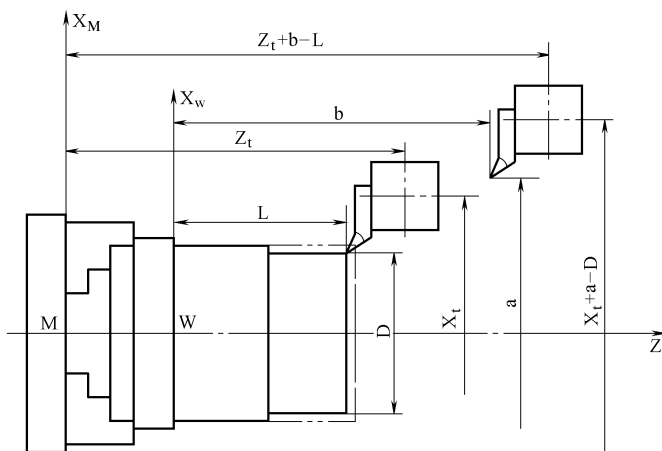


图 2-9 利用机床坐标数据试切对刀

位置 (a, b) 上的对刀要求。

② 方法二：将刀具移到工件外可作为起刀点的任意某位置，记下此时刀架中心在机床坐标系中的坐标如 (X_0, Z_0) ，可以算出该位置在工件坐标系中的坐标值应该是 $(D+X_0-X_t, L+Z_0-Z_t)$ 。在运行程序前保持此起刀点位置不变的情况下，根据此计算结果值改写程序中“G92 X_ Z_”，指令为“G92 X $(D+X_0-X_t)$ Z $(L+Z_0-Z_t)$ ”。

5) 建立工件坐标系。可在上述对刀完成后，在保持当前刀具位置不变的情形下，用MDI 方式运行“G92 Xa Zb;”（方法一）或“G92 X $(D+X_0-X_t)$ Z $(L+Z_0-Z_t)$;”（方法二）的程序指令，或者直接开始运行编好的程序，则显示器中将显示当前刀尖在工件坐标系中的位置坐标 (a, b) 或 $(D+X_0-X_t, L+Z_0-Z_t)$ 。

对于无参考点功能的数控车床，因为没有固定的机床坐标原点，所以不能利用机床坐标系来对刀。若系统不能对当前坐标位置进行断电自动记忆，则中途因某些原因退出了控制系统的话，就必须重新对刀。如下试切对刀的方法，可供参考。

① 装夹好工件及刀具后，在主菜单上选择“点动操作”，然后按 X、Z 轴移动键，使刀具慢慢靠近工件，并调好一定的背吃刀量为车外圆做准备，再按+Z 方向键稍离开工件。

② 按主轴正转按钮，启动主轴。

③ 在主菜单上选择“MDI 功能”，在输入“G91G01 Z-20 F15”后，按 F10 键开始执行（即让车刀以 15 mm/min 的速度向 Z 轴负向移动 20 mm 进行试切外圆，如图 2-10a 所示），车完后，再输入“G91 G01 Z25 F100”退出。按“主轴停转”按钮，使主轴停转。

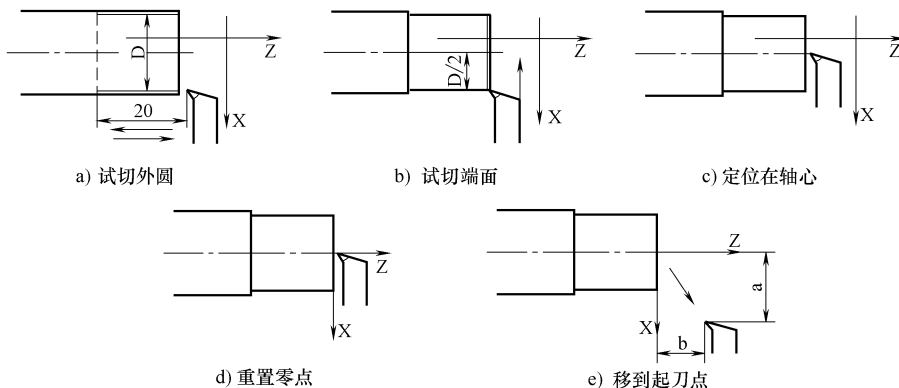


图 2-10 无参考点机床的对刀

④ 测量加工后工件的外径值，记为 D 。

⑤ 置点动操作方式，点按一下 Z 轴方向键，调整好用于端面车削的背吃刀量，然后正转启动主轴。

⑥ 切换至“MDI 功能”，在光标处输入：“G91 G01 X-D/2 F15”，然后再执行（由工件外圆面处向轴心处进给以试切端面，如图 2-10b 所示）。

注意：D/2 应为按步骤④实测值计算的结果。

⑦ 待车完端面后，让主轴停转，则刀尖就已经定位在工件右端回转轴心处，如图 2-10c 所示。返回到第一层菜单后执行“坐标清零”，则当前坐标位置即被设为相对零点。如果工件坐标原点就设在此右端轴心处的话，编写程序时就应用“G92 X0 Z0;”指令建立工件坐标系。从图 2-10c 可以看出，此位置点距当前机床坐标原点有一定的距离。由于图形跟踪总是按机床坐标系来显示的，所以为便于观察，有必要令工件坐标系和机床坐标系重合，为此重新启动软件进入控制系统，即可将此位置点重置为新的机床零点，如图 2-10d 所示。

⑧ 若要执行的程序中指令为“G92 Xa Zb;”，则应在运行程序之前，先用 MDI 方式执行指令“G91 G00 Xa Zb;”，让刀架移到屏幕坐标显示为（a，b）的位置，如图 2-10e 所示。

（2）其他各刀具的对刀 其他各刀具的对刀就是测定出每一把刀具转位到加工方位时，其刀位点相对于基准车刀刀位点在 X、Z 两方向上的位置偏差；然后，将偏差值存入对应的刀具数据库即可。这样，只需要在加工程序中用指令标明所用的刀具，则执行到刀具指令时，机床会自动移动调整刀架，直到新刀具刀位点与前一把刀具刀位点重合。整个程序均可按基准车刀刀位点进行编写。

2. 刀具参数的设置输入

进入“刀具参数”菜单项，依次输入各参数即可。

（1）刀偏数据的测定 事实上，这里所称的刀偏数据就是前面所讲到的各刀具相对于基准刀具的几何补偿。可通过下述方法获得其偏置数据。

1) 用点动或步进操作移动拖板并结合旋动小刀架手柄，使基准刀具的刀尖对准工件上的一基准点（如右端面轴心），并使屏幕上显示的 X 轴、Z 轴坐标清零，再点动使刀具退到远离刀架的某位置。旋动刀架换一把刀具，再用点动及步进方式（不可再动小刀架手柄）使该刀具刀尖对准工件上的同一基准点，此时屏幕上显示的坐标值即是该刀号刀具的几何偏置 ΔX_j ， ΔZ_j 。同理，可测定到其他刀具相对于基准刀具的几何偏置。

2) 用本节中的试切对刀方法，先用基准车刀试切，获得 X_1 、 D_1 ， Z_1 、 L_1 ，换刀后再去试切，获得另一组数据 X_2 、 D_2 ， Z_2 、 L_2 ，则该刀号刀具的几何偏置为： $\Delta X = X_2 - X_1 - (D_2 - D_1)$ ， $\Delta Z = Z_2 - Z_1 - (L_2 - L_1)$ 。若为半径编程，则式中 D_1 、 D_2 应除以 2。

（2）刀偏数据的输入

1) 选择刀具编号。通过上下光标键移动，选择机床系统中存储的刀具数据所需刀号；如本画面没有，可以继续翻页选择。

2) 输入数据。先在数据区左下端显示“INPUT:”处输入数据,如 X,再将刀号处的光标用左右光标移动键移至 X 下方,按回车键即可;Z 的输入方法一样。

3) 退出返回,系统即可自动存储刀偏数据。

用同样的操作,可输入设置几何补偿和磨损补偿数据。

(3) 刀具补偿值的输入 为保证加工精度和编程方便,在加工过程中必须进行刀具补偿,每一把刀具的补偿量需要在空运行前输入到数控系统中,以便在程序的运行中自动进行补偿。

为了编程及操作的方便,通常是使 T 代码指令中的刀具编号和刀具补偿号相同。如“T0101”中前面的“01”是刀具编号,后面的“01”表示刀具补偿号。

(4) 更换刀具后刀具补偿值的输入 更换刀具时引起刀具位置变化,需要进行刀具的位置补偿。按下面的顺序输入刀具补偿值:

1) 按下功能键“MENU OFFSET”。

2) 将光标移到欲设定的补偿号位置上。

3) 分别输入 X、Z、R、T 的补偿值,按下“INPUT”键。

刀具补偿值输入到数控系统后,刀具运行轨迹便会自动校正。当刀具磨损后需要修改已存储在相应存储器里的刀具补偿值时,操作顺序同上,修改后的刀补偿值替换原刀补偿值。

3. 刀具补偿值的直接输入

在实际编程时可以不使用 G50 指令设定工件坐标系,而是将任一位置作为加工的起始点,当然该点的设置要保证刀具、卡盘、工件不发生干涉。用试切法确定每一把刀具起始点的坐标值,并将此坐标值作为刀补偿值输入到相应的存储器内。其操作过程如下:

1) 手动返回机床参考点。

2) 任选一把加工中所使用的刀具。

3) 按下“MENU OFFSET”键,CRT 屏幕上显示“OFFSET/GEOMETRY”页面。

4) 将光标移动到该刀具补偿号的 Z 值处。

5) 以手摇轮方式移动滑板,轻轻车一刀工件端面,沿 X 方向退刀,并停下主轴,记录该点 Z 坐标。

6) 测量工件端至工件原点的距离。

7) 按下“M”键和“Z”键,输入工件原点到工件端面的距离,按下“INPUT”键。如果端面需留有精加工余量,则应将该余量值加入刀补偿值中。

8) 将光标移动到该刀具补偿号的 X 值处。

9) 用手摇轮方式轻轻车一刀外圆,沿 Z 向退刀,主轴停转,记录该点 X 坐标。

10) 测量切削后的工件直径。

11) 按下“M”键和“X”键，输入测量的直径值，按下“INPUT”键。

12) 对其他的刀具，返回第 2) 步，重复执行以上的操作，直到所有刀具的补偿值输入完毕。

2.3 数控车床系统常用编程指令

数控加工程序是由各种功能字按照规定的格式组成的。正确地理解各个功能字的含义，恰当地使用各种功能字，按规定的程序指令编写程序，是编好数控加工程序的关键。程序编制的规则首先是由所采用的数控系统来决定的，本章以使用最为广泛的 FANUC 0i 系列为例介绍 FANUC 数控车床系统的编程指令。

2.3.1 绝对尺寸指令和增量尺寸指令（G90、G91）

在加工程序中，绝对尺寸指令和增量尺寸指令有两种表达方法。

绝对尺寸指机床运动部件的坐标尺寸值相对于坐标原点给出，如图 2-11 所示。增量尺寸指机床运动部件的坐标尺寸值相对于前一位置给出，如图 2-12 所示。

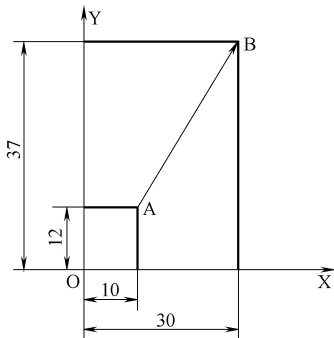


图 2-11 绝对尺寸

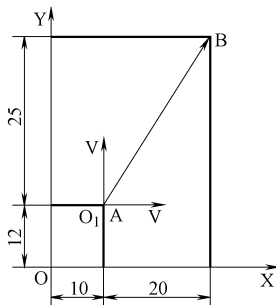


图 2-12 增量尺寸

如 B 点坐标，使用绝对坐标编程时为 (30, 37)，使用增量坐标编程时为 (20, 25)。

在编程时，采用绝对方式编程还是采用增量方式编程有两种指定方式。

1. G 功能字指定

G90 指定尺寸值为绝对尺寸。G91 指定尺寸值为增量尺寸。

这种表达方式的特点是同一条程序段中只能用一种，不能混用；同一坐标轴方向的尺寸字的地址符是相同的。

2. 用尺寸字的地址符指定

绝对尺寸的尺寸字的地址符用 X、Y、Z。增量尺寸的尺寸字的地址符用 U、V、W。

这种表达方式的特点是同一程序段中绝对尺寸和增量尺寸可以混用，这给编程带来很大方便。如：G01 U20 Y30 F120，表示 X 轴方向采用增量方式编程，Y 轴方向采用绝对方式编程。

2.3.2 预置寄存指令（G92）

预置寄存指令是按照程序规定的尺寸字值，通过当前刀具所在位置来设定加工坐标系的原点。这一指令不产生机床运动。

编程格式：G92 X~Y~ Z~

其中，X、Y、Z 的值是当前刀具位置相对于加工原点位置的值。

举例：下面建立如图 2-13 所示的加工坐标系。

当前的刀具位置点在 A 点时：G92 X10 Y12

当前的刀具位置点在 B 点时：G92 X30 Y37

注意：这种方式设置的加工原点是随刀具当前位置（起始位置）的变化而变化的。

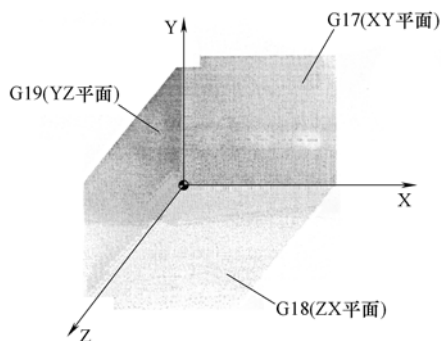


图 2-13 坐标平面选择

2.3.3 坐标平面选择指令（G17、G18、G19）

坐标平面选择指令是用来选择圆弧插补的平面和刀具补偿平面的。

G17 表示选择 XY 平面，G18 表示选择 ZX 平面，G19 表示选择 YZ 平面。

坐标平面选择如图 2-13 所示。一般地，数控车床默认在 ZX 平面内加工，数控铣床默认在 XY 平面内加工。

2.3.4 刀具半径补偿指令（G40、G41、G42）

在零件轮廓铣削加工时，由于刀尖圆弧半径或刀具半径尺寸影响，刀具的中心轨迹与零件轮廓往往不一致。为了避免计算刀具中心轨迹，直接按零件图样上的轮廓尺寸编程，数控系统提供了刀具半径补偿功能，如图 2-14 所示。

1. 编程格式

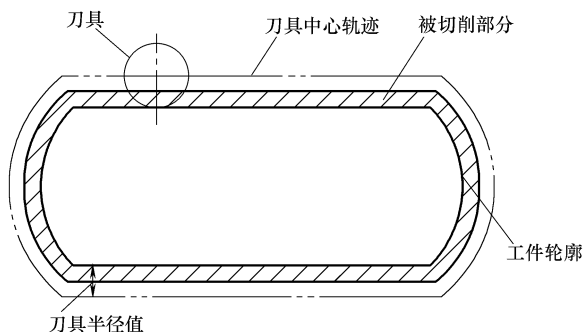


图 2-14 刀具半径补偿

G41 为左偏刀具半径补偿，定义为假设工件不动，沿刀具运动方向向前看，刀具在零件左侧的刀具半径补偿，如图 2-15 所示。

G42 为右偏刀具半径补偿，定义为假设工件不动，沿刀具运动方向向前看，刀具在零件右侧的刀具半径补偿，如图 2-16 所示。G40 为补偿撤销指令。

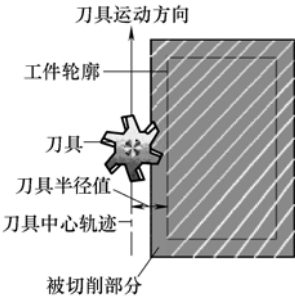


图 2-15 左偏刀具半径补偿

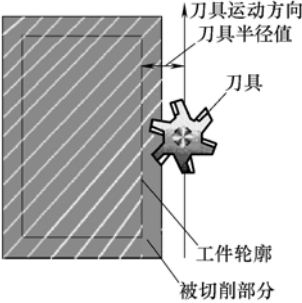


图 2-16 右偏刀具半径补偿

程序格式：

```
G00/G01 G41/G42 X~ Y~ H~ //建立补偿程序段
..... //轮廓切削程序段
.....
G00/G01 G40 X~ Y~ //补偿撤销程序段
```

其中：

- 1) G41/G42 程序段中的 X、Y 值是建立补偿直线段的终点坐标值。
- 2) G40 程序段中的 X、Y 值是撤销补偿直线段的终点坐标。
- 3) H 为刀具半径补偿代号地址字，后面一般用两位数字表示代号，代号与刀具半径值一一对应。刀具半径值可用 CRT/MDI 方式输入，即在设置时，H~ = R。如果用 H00 也可取消刀具半径补偿。

2. 工作过程

图 2-17 至图 2-19 所示为刀具半径补偿的工作过程。其中，实线表示编程轨迹；点划线表示刀具中心轨迹；r 等于刀具半径，表示偏移向量。

1) 刀具半径补偿建立时，一般是直线且为空行程，以防过切。以 G42 为例，其刀具半径补偿建立如图 2-17 所示。

2) 刀具半径补偿一般只能平面补偿，其补偿运动情况如图 2-18 所示。

3) 刀具半径补偿结束用 G40 撤销，撤销时同样要防止过切，如图 2-19 所示。

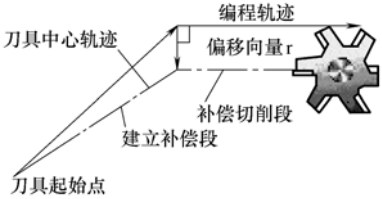


图 2-17 刀具半径补偿的建立

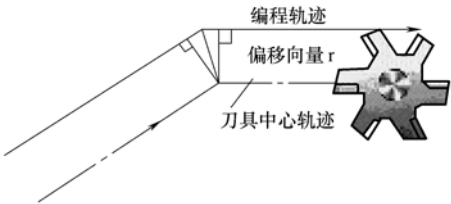


图 2-18 刀具半径补偿运动

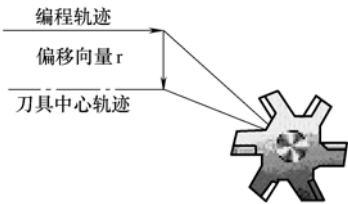


图 2-19 刀具半径补偿的撤销

4) 注意事项

- ① 建立补偿的程序段，必须是在补偿平面内不为零的直线移动。
- ② 建立补偿的程序段，一般应在切入工件之前完成。
- ③ 撤销补偿的程序段，一般应在切出工件之后完成。

3. 刀具半径补偿量的改变

一般刀具半径补偿量的改变是在补偿撤销的状态下重新设定刀具半径补偿量。如果在已补偿的状态下改变补偿量，则程序段的终点是按该程序段所设定的补偿量来计算的，如图 2-20 所示。

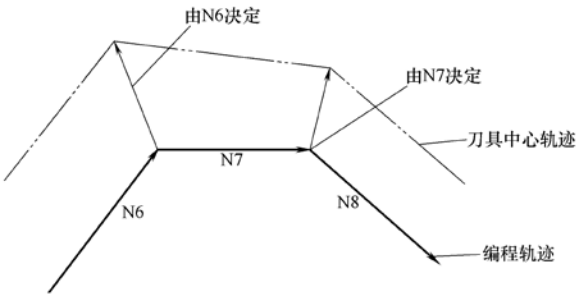


图 2-20 刀具半径补偿量的改变

4. 刀具半径补偿量的符号

一般刀具半径补偿量的符号为正，若取为负值时，会引起刀具半径补偿指令 G41 与 G42 的相互转化。

5. 过切

通常过切有以下两种情况：

- 1) 刀具半径大于所加工工件内轮廓转角时产生的过切，如图 2-21 所示。
- 2) 刀具直径大于所加工沟槽时产生的过切，如图 2-22 所示。

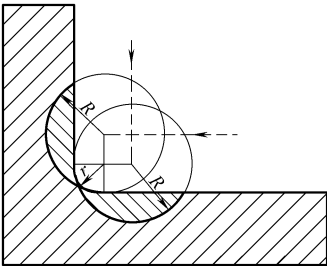


图 2-21 加工内轮廓转角

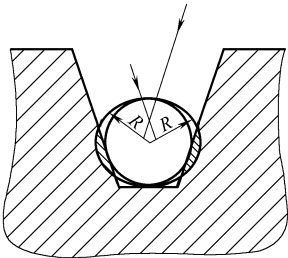


图 2-22 加工沟槽

6. 刀具半径补偿的其他应用

应用刀具半径补偿指令加工时，刀具的中心始终与工件轮廓相距一个刀具半径距离。当刀具磨损或刀具重磨后，刀具半径变小，只需在刀具补偿值中输入改变后的刀具半径，而不必修改程序。在采用同一把半径为 R 的刀具，并用同一个程序进行粗、精加工时，设精加工余量为 Δ ，则粗加工时设置的刀具半径补偿量为 $R+\Delta$ ，精加工时设置的刀具半径补偿量为 R ，就能在粗加工后留下精加工余量 Δ ，然后，在精加工时完成切削。刀具半径补偿的应用实例如图 2-23 所示。

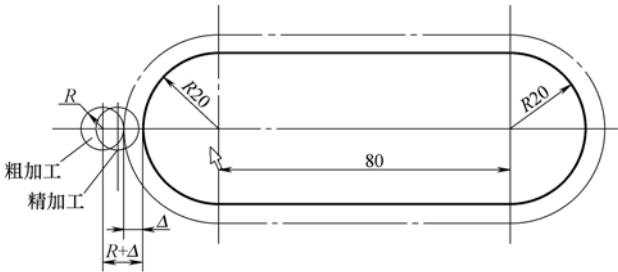


图 2-23 刀具半径补偿的应用实例

2.3.5 刀具长度补偿指令（G43、G44、G49）

使用刀具长度补偿指令，在编程时就不必考虑刀具的实际长度及各把刀具不同的长度尺寸。加工时，用 MDI 方式输入刀具的长度尺寸，即可正确加工。当由于刀具磨损、更换刀具等原因引起刀具长度尺寸变化时，只要修正刀具长度补偿量，而不必调整程序或刀具。

G43 为正补偿，将 Z 坐标尺寸字与 H 代码中长度补偿的量相加，按其结果进行 Z 轴运动。

G44 为负补偿，将 Z 坐标尺寸字与 H 中长度补偿的量相减，按其结果进行 Z 轴运动。

G49 为撤销补偿。

编程格式为：

```
G01 G43/G44 Z H      // 建立补偿程序段
.....               // 切削加工开始程序段
:
.....               // 切削加工结束程序段
G49                  // 补偿撤销程序段
```

例如：图 2-24 中左图所对应的程序段为 G01 G43 ZS H~；右图所对应的程序段为 G01 G44 ZS H~。其中：S 为 Z 向程序指令点；H~的值为长度补偿量，即 $H\sim=\Delta$ 。H 为刀具长度补偿代号地址字，后面一般用两位数字表示代号，代号与长度补偿量一一对应。刀具长度补偿量可用 CRT/MDI 方式输入。如果用 H00，则取消刀具长度补偿。

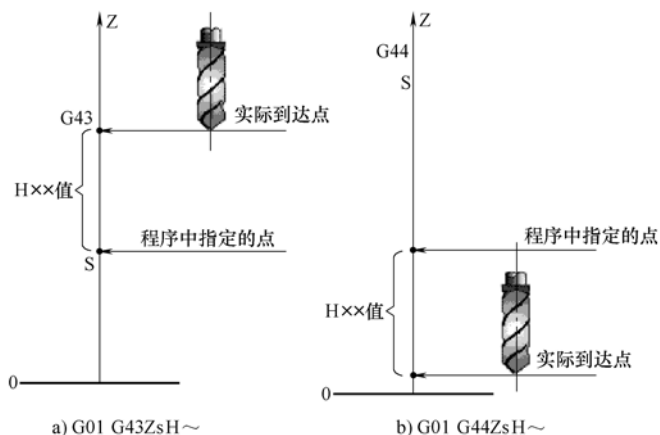


图 2-24 刀具长度补偿

2.3.6 直线插补 (G01)

直线插补指令 G01 用于刀具在两坐标之间以插补联动方式按指定的进给速度 F 做任意斜率的直线运动，如图 2-25 所示。

1. 编程格式

编程格式：G01X(U) ~ Z(W) ~F~；

其中：X, Z 为绝对坐标编程时，目标点在工件坐标系中的坐标；U, W 为增量编程时，目标点坐标的增量。F 为进给速度

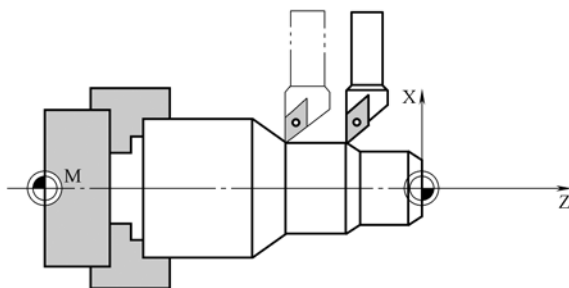


图 2-25 G01 直线插补轨迹

2. 说明

1) G01 是模态指令，一直有效，直到被 G 功能组中的其他指令(G02, G03, ...) 取代为止。

2) G01 指令后面的坐标值取绝对尺寸还是增量尺寸，由尺寸值决定。

3) G01 指令进给速度有模态指令 F 决定。如果在 G01 程序段之前的程序段没有 F 指令，而当前的 G01 程序段中也没有 F 指令，则机床不运动。因此，为了保险起见，G01 程序段中必须含有 F 指令。

4) G01 指令前若出现 G00 指令，而该句程序段中未出现 F 指令，则 G01 指令的移动速度按照 G00 指令的速度执行。

5) 当采用绝对坐标编程时，径向尺寸就以图样上直径值来表示；当采用增量坐标编程时，径向尺寸以径向实际位移量的两倍来表示。

3. 应用

G01 指令用于完成端面、外圆、内圆、槽、倒角、圆锥面等表面的加工。

4. 编程实例

下面以图 2-26 所示的零件为例来介绍 G01 指令。

数控加工程序为：

N10 G99 G00 X100 Z100 T0101; 每转进给，快速移动到换刀点，选择 1

号刀导入 1 号刀补

N20 M03 S500; 主轴正转，转速 500r/min

N30 G00 X50 Z2; 快速移动到起刀点

N40 G01 Z0 F0.2; 移动到 A 点

绝对坐标程序：

N50 X50 Z-75; 移动到 B 点

N60 X100; 移动到 C 点

增量坐标程序：

N50 U0 W-75; 移动到 B 点

N60 U50; 移动到 C 点

N70 G00 X100 Z100; 回换刀点

N80 M05; 主轴停止

N90 M30; 程序结束

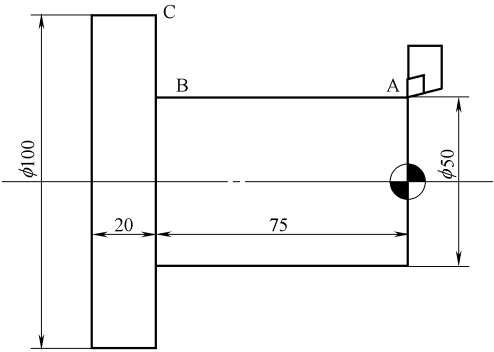


图 2-26 零件图

2.3.7 圆弧插补（G02、G03）

圆弧插补指令用于刀具在指定平面内按给定的进给速度 F 作圆弧运动，切削圆弧轮廓。G02 为顺时针圆弧插补指令，G03 为逆时针圆弧插补指令，如图 2-27 所示。

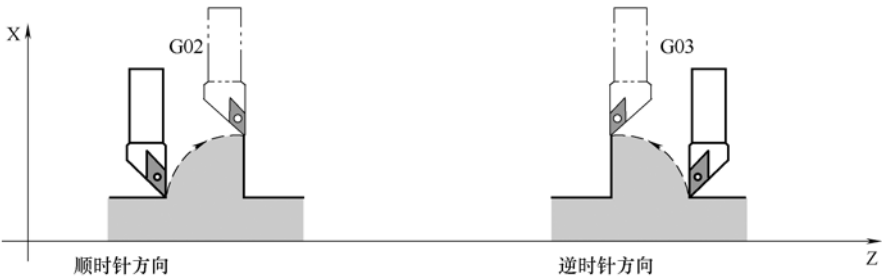


图 2-27 圆弧插补

1. 编程格式

编程格式: $G02(G03)X(U)\sim Z(W)\sim R\sim F\sim;$

$G02(G03)X(U)\sim Z(W)\sim I\sim K\sim F\sim;$

其中: X, Z 是绝对坐标编程时, 圆弧终点在工件坐标系中的坐标; U, W 是增量编程时, 圆弧终点相对于圆弧起点的位移量; I, K 是圆心相对于圆弧起点的增量值 (等于圆心的坐标减去圆弧起点的坐标, 在绝对、增量编程时都是以增量方式指定, 在直径、半径编程时 I 都是半径值); R 是圆弧半径, 圆弧圆心角小于 180° 时, R 为正值, 否则, R 为负值; F 是进给速度。

2. 说明

1) $G02/G03$ 是模态指令, 一直有效, 直到被 G 功能组中的其他指令 ($G00, G01, \dots$) 取代为止。

2) 顺时针或逆时针是从垂直于圆弧所在平面的坐标轴正方向看到的回转方向, 前置刀架和后置刀架正好相反, 如图 2-28 所示。

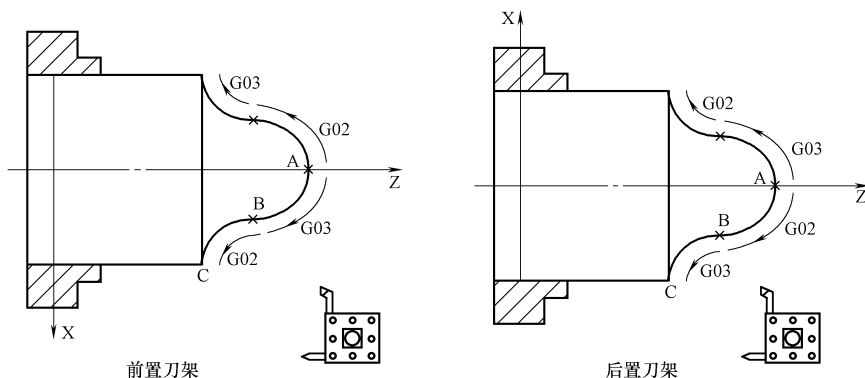


图 2-28 前置刀架和后置刀架

3) 圆心坐标 I, K 为圆弧起点到圆弧中心所作矢量分别在 X 轴、 Z 轴方向上的矢量 (矢量方向指向圆心)。当分量方向与坐标轴的方向一致时为正号, 相反为符号。

4) 整圆编程时不可以使用 R , 只能用 I, K 。此外, 在一般圆弧编程时, 同时编入 R 与 I, K, R 有效。

3. 应用

$G02/G03$ 指令用于圆弧成形面加工。

4. 编程实例

下面以图 2-29 所示的零件为例来介绍

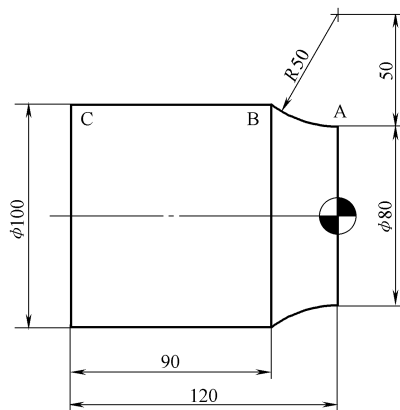


图 2-29 零件图

G02/G03 指令。

数控加工程序为：

N10 G99 G00 X100 Z100 T0101;	每转进给，快速移动到换刀点，选择 1 号刀导入 1 号刀补
N20 M03 S500;	主轴正转，转速 500 r/min
N30 G00 X100 Z2;	快速移动到起刀点
N40 G01 Z0 F0.2;	移动到 A 点
绝对坐标程序：	
N50 G02 X100 Z-30 R50;	圆弧插补到 B 点
或 N50 G02 X100 Z-30 I50 K0;	
增量坐标程序：	
N50 G02 U20 W-30 R50;	圆弧插补到 B 点
或 N50 G02 U20 W-30 I50 K0;	
N60 Z-120;	移动到 C 点
N70 G00 X100 Z100;	回换刀点
N80 M05;	主轴停止
N90 M30;	程序结束

2.3.8 单一型固定循环（G90、G92、G94）

数控车床上单件被加工零件的毛坯常用棒料，所以车削加工时加工余量大，一般需要多次重复循环加工，才能车去全部加工余量。单一固定循环可以将一系列连续加工动作，如“切入—切削—退刀—返回”，用一个循环指令完成，从而简化程序。

1. 外圆、内圆车削循环（G90）

G90 指令用于在零件内、外圆柱（圆锥）面上毛坯余量较大或直接从棒料车削零件时进行精车前的粗车，以去除大部分毛坯余量。

（1）圆柱面切削循环

1) 编程格式。编程格式：G90 X(U)~Z(W)~F~。

其中：X、Z 为圆柱面切削的终点坐标值；U、W 为圆柱面切削的终点相对于循环起点坐标分量。

2) 说明。圆柱面切削循环过程如图 2-30 所示，刀具从循环起点开始按照矩形 1R→2F→3F→4R 循环，最后又回到循环起点。图中虚线表示按 R 快速移动，实线表示按 F 指定的工件进给速度移动。

3) 编程实例。下面以图 2-31 所示的零件为例来介绍 G90 指令在圆柱面切削加工中的应用。

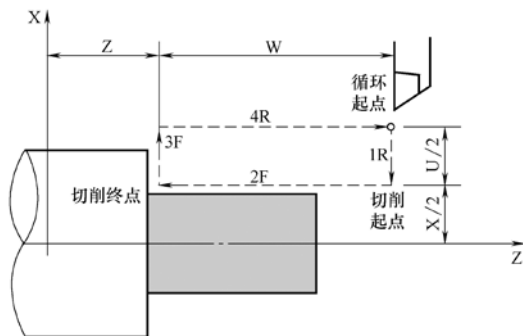


图 2-30 圆柱面切削循环过程

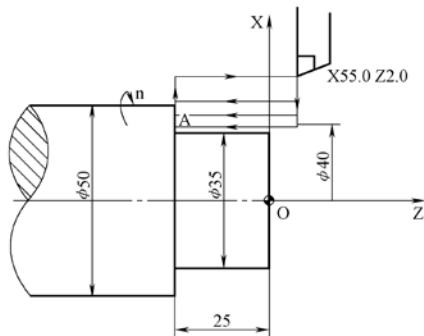


图 2-31 零件图

数控加工程序为：

N10 G99 G00 X200 Z200 T0101;	每转进给，快速移动到换刀点，选择 1 号刀导入 1 号刀补
N20 M03 S1000;	主轴正转，转速 1 000 r/min
N30 G00 X55 Z2;	快速移动到起刀点（循环起点）
N40 G90 X45 Z-25 F0.2;	圆柱面切削循环
N50 X40;	圆柱面切削循环
N50 X38;	圆柱面切削循环
N60 X35;	圆柱面切削循环
N70 G00 X200 Z200;	回换刀点
N80 M05;	主轴停止
N90 M30;	程序结束

(2) 圆锥面切削循环

1) 编程格式。编程格式：G90 X(U)~Z(W)~R~F~

其中：X、Z 为圆锥面切削的终点坐标值；U、W 为圆锥面切削的终点相对于循环起点的坐标；R 为圆锥面切削的起点相对于终点的半径差，如果切削起点的 X 向坐标小于终点的 X 向坐标，I 值为负，反之为正；F 为进给速度。

2) 说明。圆锥面切削循环过程如图 2-32 所示，刀具从循环起点开始按照梯形 1R→2F→3F→4R 循环，最后又回到循环起点。图中 R 表示快速移动，F 表示按指定的工件

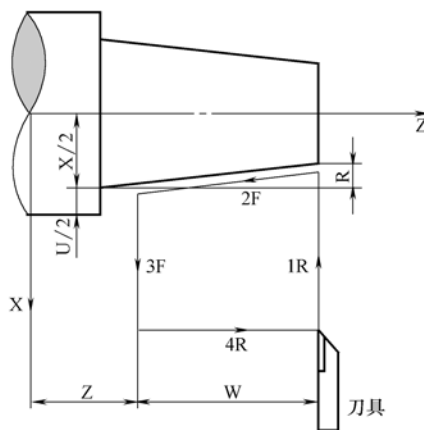


图 2-32 圆锥面切削循环过程

进给速度移动。

3) 编程实例。下面以图 2-33 所示的零件为例来介绍 G90 指令在圆柱面切削加工中的应用。

数控加工程序为:

N10 G99 G00 X200 Z200 T0101;

每转进给, 快速移动到换刀点, 选择 1 号
刀导入 1 号刀补

N20 M03 S1000;

主轴正转, 转速 1 000 r/min

N30 G00 X65 Z2;

快速移动到起刀点 (循环起点)

N40 G90 X60 Z-25 R-5 F0.2; 圆锥面切削循环

N50 X55; 圆锥面切削循环

N50 X50; 圆锥面切削循环

N60 G00 X200 Z200; 回换刀点

N70 M05; 主轴停止

N80 M30; 程序结束

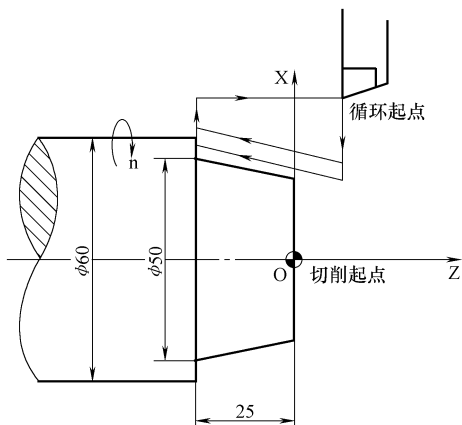


图 2-33 零件图

2. 端面车削循环 (G94)

G94 指令用于一些短、面大的零件垂直端面或锥形端面的加工, 直接从毛坯或棒料车削零件进行粗加工, 以去除大部分毛坯余量。

(1) 平面端面切削循环

1) 编程格式。编程格式:

G94 X(U)~Z(W)~F~

其中: X、Z 为端面切削的终点坐标值; U、W 为端面切削的终点相对于循环起点的坐标; F 为进给速度。

2) 说明。车削过程如图 2-34 所示, 刀具从循环起点开始按照矩形 1R→2F→3F→4R 循环, 最后又回到循环起点。

图中 R 表示快速移动, F 表示按指定的工件进给速度移动。

3) 编程实例。下面以图 2-35 所示的零件为例来介绍 G94 指令在平面端面切削加工中的应用。

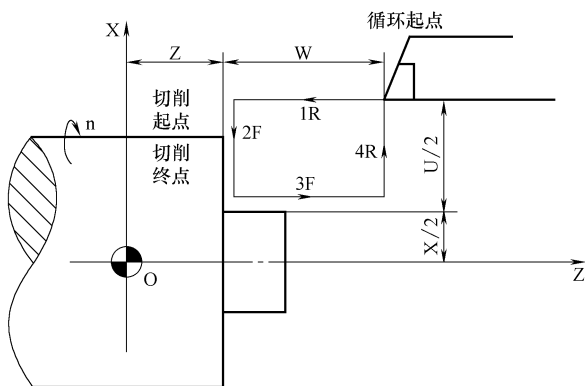


图 2-34 车削过程

数控加工程序为：

```
N10 G99 G00 X200 Z200 T0101;
每转进给，快速移动到换刀点，选择 1
号刀导入 1 号刀补
N20 M03 S1000;           主轴正转，转速 1 000 r/min
N30 G00 X105 Z2;         快速移动到起刀点（循环
                           起点）
N40 G94 X60 Z-5 F0.2;    端面车切削循环
N50   Z-10;             端面车切削循环
N60   Z-14;             端面车切削循环
N70   Z-17;             端面车切削循环
N80 G00 X200 Z200;      回换刀点
N90 M05;                主轴停止
N100 M30;               程序结束
```

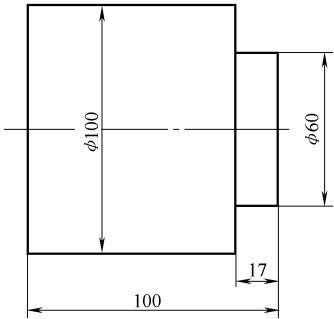


图 2-35 G94 的应用（平面）

（2）锥面端面切削循环

1）编程格式。编程格式：G94 X(U)~Z(W)~R~F~

其中：X、Z 为端面切削的终点坐标值；U、W 为端面切削的终点相对于循环起点的坐标；K 为端面切削的起点相对于终点在 Z 轴方向的坐标分量。当起点 Z 向坐标小于终点 Z 向坐标时 K 为负，反之为正。F 为进给速度。

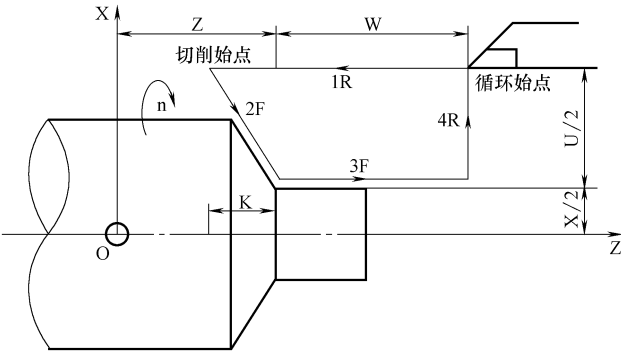


图 2-36 锥面端面切削循环过程

2）说明。锥面端面切削循环过程如图 2-36 所示，刀具从循环起点开始按照矩形 1R→2F→3F→4R 循环，最后又回到循环起点。图中 R 表示快速移动，F 表示按指定的工件进给速度移动。

3）编程实例。下面以图 2-37 所示的零件为例来介绍 G94 指令在锥面端面切削加工中的应用。

数控加工程序为：

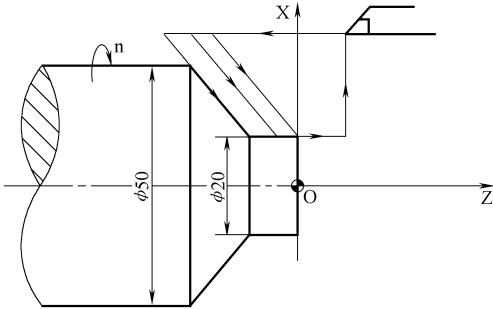


图 2-37 零件图（锥面）

```
.....  
G94 X20 Z0 K-5 F0.2  
Z-5  
Z-10  
.....
```

3. 螺纹切削循环（G92）

G92 指令用于对圆柱螺纹和圆锥螺纹进行循环切削，每指定一次，螺纹切削自动进行一次循环。

（1）圆柱螺纹切削循环

1) 编程格式。编程格式：G92 X(U)~Z(W)~F~；

其中：X、Z 为螺纹切削的终点坐标值；U、W 为螺纹切削的终点坐标相对循环起点的坐标增量值；F 为螺纹导程。

2) 说明。圆柱螺纹切削循环过程如图 2-38 所示，刀具从循环起点开始按照 1R→2F→3F→4R 循环，最后又回到循环起点。图中 R 表示快速移动，F 表示按指定的工件进给速度移动。

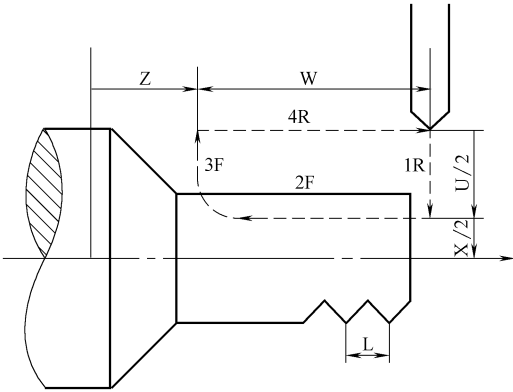


图 2-38 圆柱螺纹切削循环过程

3) 编程实例。下面以图 2-39 所示的零件为例来介绍 G92 指令在圆柱螺纹切削加工中的应用。

数控加工程序为：

```
.....  
G00 X35 Z104 循环切削起点  
G92 X29.2 Z53 F1.5;  
                螺纹切削循环  
X28.6;          第二刀  
X28.2;          第二刀  
X28.04;         第三刀  
G00 X200 Z200;  
                刀具回换刀点  
.....
```

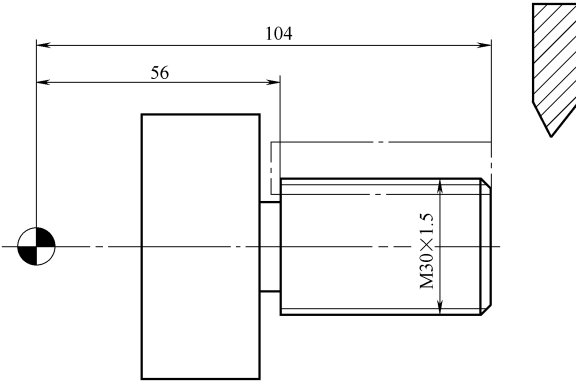


图 2-39 零件图

（2）圆锥螺纹切削循环

1) 编程格式。编程格式：G92 X(U)~Z(W)~R~F~；

其中: X 、 Z 为螺纹切削的终点坐标值。 U 、 W 为螺纹切削的终点坐标相对循环起点的坐标增量值。 R 为螺纹部分半径之差, 即螺纹切削起始点与切削终点的半径差。加工圆锥螺纹时, 当 X 向切削起始点坐标小于切削终点坐标时, R 为负, 反之为正。 F 为螺纹导程。

2) 说明。圆锥螺纹切削循环过程如图 2-40 所示, 刀具从循环起点开始按照 $1R \rightarrow 2F \rightarrow 3F \rightarrow 4R$ 循环, 最后又回到循环起点。图中 R 表示快速移动, F 表示按指定的工件进给速度移动。

3) 编程实例。下面以图 2-41 所示的零件为例来介绍 $G92$ 指令在圆锥螺纹切削加工中的应用。

数控加工程序为:

.....

G00 X80 Z62 循环切削起点

G92 X49.2 Z12 F1.5; 螺纹切削循环

X48.6; 第二刀

X48.2; 第二刀

X48.04; 第三刀

G00 X200 Z200; 刀具回换刀点

.....

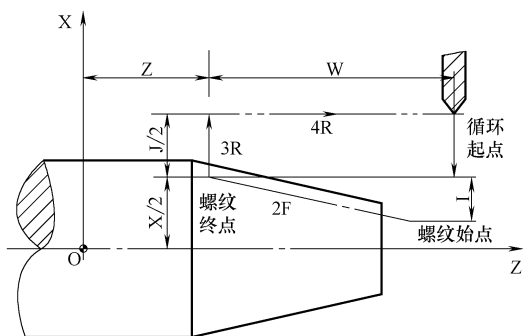


图 2-40 圆锥螺纹切削循环过程

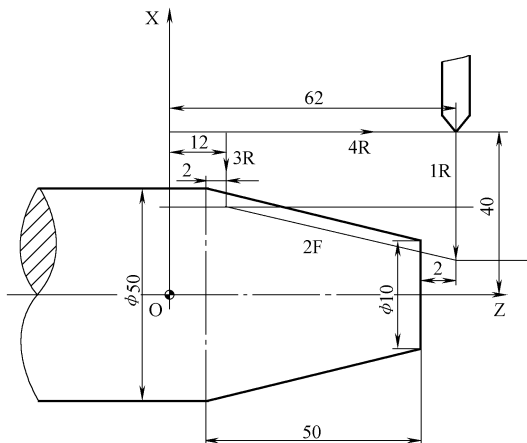


图 2-41 零件图

2.3.9 复合型车削固定循环 ($G70 \sim G76$)

FANUC 0i 系统提供了多重复合型车削固定循环, 主要用于粗/精车外形、内孔、钻孔、切槽和螺纹等加工, 可进一步简化编程。其中, $G71$ 、 $G72$ 和 $G73$ 指令主要用于毛坯粗车, $G70$ 主要用于精车, $G74$ 和 $G75$ 指令用于切槽和钻孔, $G76$ 指令用于螺纹加工循环。

1. 外圆、内圆粗车循环 ($G71$)

外圆、内圆粗车循环 $G71$ 是一种复合固定循环, 适用于外圆柱面需多次走刀才能完成的粗加工。

(1) 编程格式 编程格式:

G71 U(Δd) R(e)

G71 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)

其中: Δd 为背吃刀量 (半径指定); e 为退刀量; ns 为精加工轮廓程序段中开始程序段的段号; nf 为精加工轮廓程序段中结束程序段的段号; Δu 为 X 轴向精加工余量; Δw 为 Z 轴向精加工余量; f 、 s 、 t 为 F、S、T 代码。

(2) 说明 外圆粗切循环过程如图 2-42 所示, 当按照图 2-42 所示的精加工形状的路线 A→B 及每次背吃刀量, 就会进行平行于 Z 轴的多次切削, 最后再按照预留的径向精车余量 $\Delta u/2$ 、轴向精车余量 $\Delta w/2$, 使用 G70 指令进行精加工。

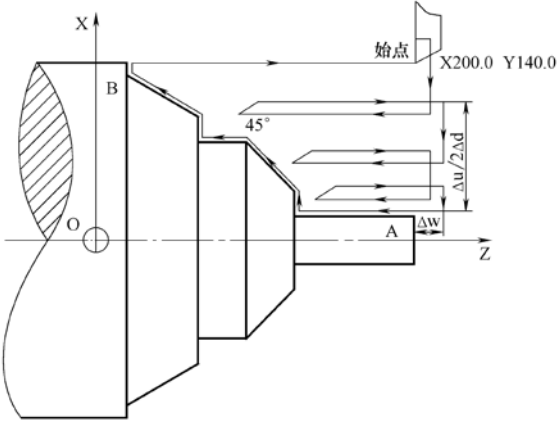


图 2-42 外圆粗切循环过程

1) $ns \rightarrow nf$ 程序段中的 F、S、T 功能, 即使被指定也对粗车循环无效, 只有 G71 指令中指定的 F、S 功能有效。

2) 零件轮廓必须符合 X 轴、Z 轴方向同时单调增大或单调减小; X 轴、Z 轴方向非单调时, $ns \rightarrow nf$ 程序段中第一条指令必须在 X、Z 向同时有运动。

(3) 编程实例 下面以图 2-43 所示的零件为例来介绍 G71 指令。

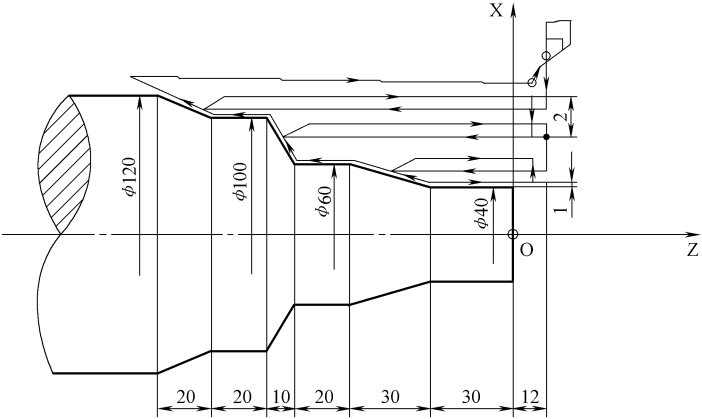


图 2-43 零件图

数控加工程序为:

N10 G99 G00 X200 Z200 T0101; 每转进给, 快速移动到换刀点, 选择 1 号刀导入 1

	号刀补
N20 M03 S450;	主轴正转，转速 450 r/min
N30 G00 X122 Z10;	快速移动到起刀点（循环起点）
N40 G71 U2 R1;	外圆粗切削循环
N50 G71 P60 Q110 U2 W2 F0.2;	外圆粗切削循环
N60 G01 Z-30;	
N70 X60 Z-60;	
N80 Z-80;	
N90 X100 Z-90;	
N100 Z-110;	
N110 X120 Z-130;	
N120 G00 X200 Z200;	回换刀点
N130 M05;	主轴停止
N140 M30;	程序结束

2. 端面粗车循环（G72）

端面粗切循环 G72 是一种复合固定循环，用于加工端面尺寸较大的零件，即所谓的盘类零件。

(1) 编程格式 编程格式：

G72 U(Δd) R(e)

G72 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)

其中： Δd 、e、ns、nf、 Δu 、 Δw 、f、s、t 的含义与 G71 相同。

(2) 说明 端面粗车循环过程中，刀具是沿 Z 方向进刀，平行于 X 轴切削，如图 2-44 所示。

(3) 编程实例 下面以图 2-45 所示的零件为例来介绍 G72 指令。

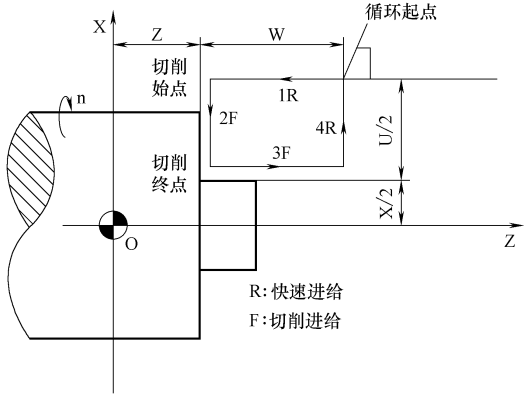


图 2-44 端面粗车循环过程

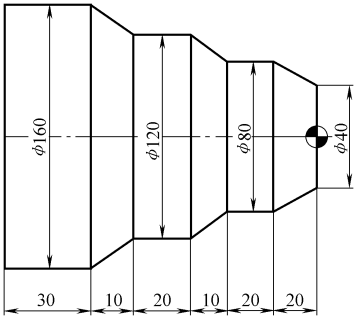


图 2-45 零件图

数控加工程序为：

N10 G99 G00 X200 Z200 T0101;	每转进给，快速移动到换刀点，选择 1 号刀导入 1 号刀补
N20 M03 S450;	主轴正转，转速 450 r/min
N30 G00 G41 X165 Z2;	快速移动到起刀点（循环起点）
N40 G72 W4 R1;	端面粗切削循环
N50 G72 P50 Q120 U1 W1 F0.2;	端面粗切削循环
N60 G00 Z-110;	
N70 X160;	
N80 Z-80;	
N90 X120 Z-70;	
N100 Z-50;	
N110 X80 Z-40;	
N120 X40 Z0	
N130 G00 G40 X200 Z200;	回换刀点
N140 M05;	主轴停止
N150 M30;	程序结束

3. 封闭切削循环（G73）

封闭切削循环 G73 是一种复合固定循环，该指令为按照一定切削形状，逐渐接近最终形状的循环切削方式。一般用于车削毛坯的形状已用锻造或铸造方法成形的零件粗车，加工效率高，其轨迹如图 2-46 所示。

（1）编程格式 编程格式如下：

```
G73 U(Δi) W(Δk) R(d)
G73 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s)
T(t)
```

其中：Δi 为 X 轴向总退刀量（毛坯切削余量），半径值指定。该值为正值、模态值，直到下此指定之前均有效。Δk 为 Z 轴向总退刀量（毛坯切削余量）。该值为正值、模态值，直到下此指定之前均有效。d 为粗切循环的次数，该值为模态值，直到下个指定之前均有效。ns 为精加工轮廓程序段中开始程序段的段号。nf 为精加工轮廓程序段中结束程序段的段号。Δu 为 X 轴向精加工余量。Δw 为 Z 轴向精加工余量；f、s、t 为 F、S、T 代码。

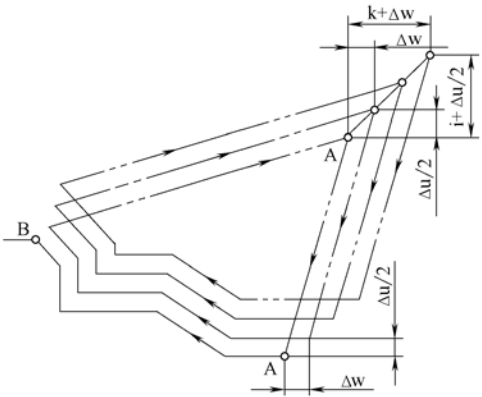


图 2-46 封闭切削循环轨迹

(2) 说明

1) G73 指令必须带有 P、Q 地址 ns、nf，且与精加工路径起、止顺序号对应，否则不能应用该循环加工。在顺序号 ns 到 nf 之间的程序段，不能调用子程序。

2) ns 的程序段必须为 G00 或 G01 指令，否则会报警。

3) G73 指令一般用于车削毛坯的形状已用锻造或铸造方法成形的零件粗车，但也可用于没有预加工的毛坯棒料，此时会产生较多的空刀行程，因此应尽量采用 G71 和 G72 指令。

4) 在粗车循环过程中，可进行刀具补偿功能。

(3) 编程实例 下面以图 2-47 所示的零件为例来介绍 G73 指令。

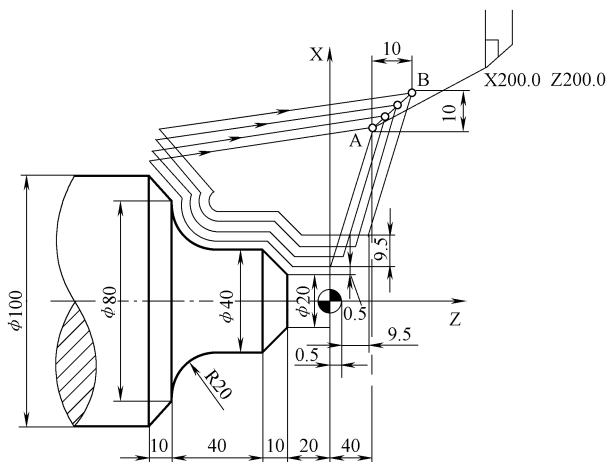


图 2-47 零件图

数控加工程序为：

N10 G99 G00 X200 Z200 T0101;	每转进给，快速移动到换刀点，选择 1 号刀导入 1 号刀补
N20 M03 S450;	主轴正转，转速 450 r/min
N30 G00 G42 X140 Z5;	快速移动到起刀点（循环起点）
N40 G73 U9.5 W9.5 R3;	封闭粗切削循环
N50 G73 P60 Q120 U1 W0.5 F0.2;	封闭粗切削循环
N60 G00 X20 Z0;	
N70 Z-20;	
N80 X40 Z-30;	
N90 Z-50;	
N100 G02 X80 Z-70 R20;	
N110 G01 X100 Z-80;	
N120 X105	
N130 G00 G40 X200 Z200;	回换刀点
N140 M05;	主轴停止
N150 M30;	程序结束

4. 精加工循环（G70）

由 G71、G72、G73 完成粗加工后，可以用 G70 进行精加工，切除粗车循环

中留下的余量。

(1) 编程格式 编程格式: G70 P(ns) Q(nf)

其中: ns 为精加工轮廓程序段中开始程序段的段号; nf 为精加工轮廓程序段中结束程序段的段号。

(2) 说明

1) 在 G71、G72、G73 程序应用示例中的 nf 程序段后再加上 “G70 Pns Qnf” 程序段, 并在 ns→nf 程序段中加上精加工适用的 F、S、T, 就可以完成从粗加工到精加工的全过程。

2) 精加工时, G71、G72、G73 程序段中的 F、S、T 指令无效, 只有在顺序号 ns→nf 程序段中的 F、S、T 才有效。

3) 当 G70 循环加工结束时, 刀具返回到起点并读下一个程序段。

4) G70 到 G71~G73 中的 ns 到 nf 程序段不能调用子程序。

5. 端面深孔加工循环 (G74)

端面深孔加工循环 G74 用于深槽的断屑加工, 如果忽略了 X (U) 和 P, 只有 Z 轴的移动, 则可作为 Z 向啄式钻孔循环, 故又称深孔钻削循环。

(1) 编程格式 编程格式:

G74 R(e)

G74 X(U) Z(W) P(Δi) Q(Δk) R(Δd) F(f)

其中: e 为分层切削每次退刀量, 该值为模态值, 直到下次指定之前均有效, 由程序指令修改。X 为 X 向终点绝对坐标。Z 为最大切深点的 Z 向终点绝对坐标。 Δi 为沿轴向切完一个刀宽后退出, 在 X 向的移动量 (无符号值), 单位为 μm , 半径值, 其值小于刀宽。 Δk 为切槽过程中轴向 (Z 向) 的切入量, 单位 μm 。 Δd 为刀具在槽底的退刀量, 用正值指定。f 为切槽进给量。

(2) 说明 G74 指令段内部参数示意图如图 2-48 所示。在编程时, AB 的差值为槽宽减去切刀宽度的差值。A 点坐标根据刀具的位置和 U 的方向决定。在程序执行时, 刀具快速到达 A 点, 因此 A 点应在工件之外, 以保证快速进给的安全。从 A 点到 C 点为切削进给, 每次切深 Δk 便快速后退 e 值, 以便断屑, 最后到达 C 点。在槽底, 刀具要横移, 则要服从刀具结构, 以免折断刀具。刀具退回到 A 点

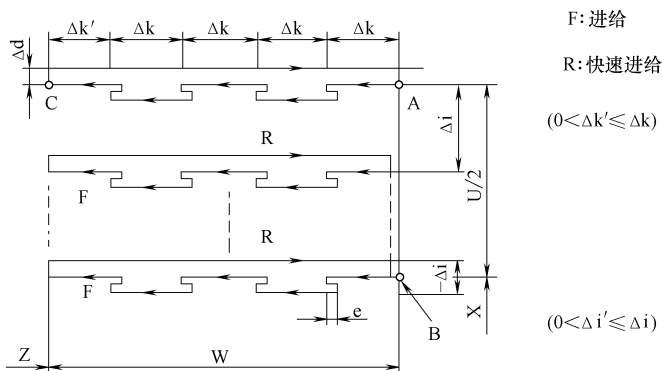


图 2-48 G74 指令段内部参数示意图

后，首先按 Δi 移动一个新位置，然后再执行切深循环，此时 Δi 需根据刀具宽度确定，直到达到整个槽宽为止。最后刀具从 B 点快速返回到 A 点，整个循环结束。

此外，如果省略 X (U) 和 P，可进行钻孔加工，此时编程格式为：

```
G74 R(e)
G74 Z(W) Q( $\Delta k$ ) F(f)
```

(3) 编程实例 下面以图 2-49 所示的零件为例来介绍 G74 指令。

数控加工程序为：

```
N10 G99 G00 X200 Z200
```

T0101; 每转进给，快速移动到换刀点，选择 1 号刀导入 1 号刀补

N20 M03 S450; 主轴正转，转速 450 r/min

N30 G00 X0 Z1; 快速移动到起刀点（循环起点）

N40 G74 R1; 钻孔切削循环，退刀量为 1mm

```
N50 G74 Z-80 Q2000 F0.1;
```

N60 G00 Z100; 快速退刀

N70 G00 X200 Z200; 回换刀点

N80 M05; 主轴停止

N90 M30; 程序结束

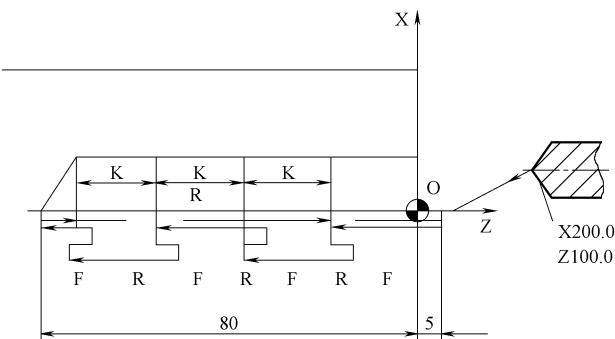


图 2-49 零件图

6. 外圆、内圆切槽循环（G75）

外圆、内圆切槽循环（G75）可以实现内孔、外圆切槽的断屑加工，适合于在外圆面上切削沟槽或切断加工。

(1) 编程格式 编程格式如下：

```
G75 R(e)
G75 X(U) Z(W) P( $\Delta i$ ) Q( $\Delta k$ ) R( $\Delta d$ ) F(f)
```

其中：e 为分层切削每次退刀量，该值为模态值，直到下次指定之前均有效，由程序指令修改。X 为最大切深点的 X 轴绝对坐标。Z 为最大切深点的 Z 向绝对坐标。 Δi 为切槽过程中径向 X 的切入量，单位为 μm ，其值小于刀宽。 Δk 为沿径向切完一个刀宽后退出，在 Z 向的移动量，单位 μm 。 Δd 为刀具在槽底的退刀量，用正值指定。f 为切槽进给量。

(2) 说明 G75 指令段内部参数示意图如图 2-50 所示。在编程时，AB 的差值为槽宽减去切刀宽度的差值。A 点坐标根据刀尖的位置和 W 的方向决定。在程序执行时，刀具快速到达 A 点，因此 A 点应在工件之外，以保证快速进给的安全。

从 A 点到 C 点为切削进给，每次切深 Δi 便快速后退 e 值，以便断屑，最后到达 C 点。在槽底，刀具要横移，则要服从刀具结构，以免折断刀具。刀具退回到 A 点后，首先按 Δk 移动一个新位置，然后再执行切深循环，此时 Δk 需根据刀具宽度确定，直到达到整个槽宽为止。最后刀具从 B 点快速返回到 A 点，整个循环结束。

(3) 编程实例 下面以图 2-51 所示的需要切槽加工的零件为例来介绍 G75 指令。

数控加工程序为：

N10 G99 G00 X200 Z200

T0101;

每转进给，快速移动到换刀点，选择

1号刀导入1号刀补

N20 M03 S450;

N30 G00 X32 Z-13;

N40 G75 R1;

N50 G75 X20 Z-40 P5000 Q9000 F0.5;

N60 G00 X50;

N70 G00 X200 Z200;

N80 M05;

N90 M30;

7. 复合螺纹切削循环 (G76)

复合螺纹切削循环指令 G76 可以完成一个螺纹段的全部加工任务。它的进刀方法有利于改善刀具的切削条件，在编程中应优先考虑应用该指令。

(1) 编程格式 编程格式如下：

G76 P(m) (r) (α) Q(Δ admin) R(d)

G76 X(U) Z(W) R(i) P(k) Q(Δ d) F(L)

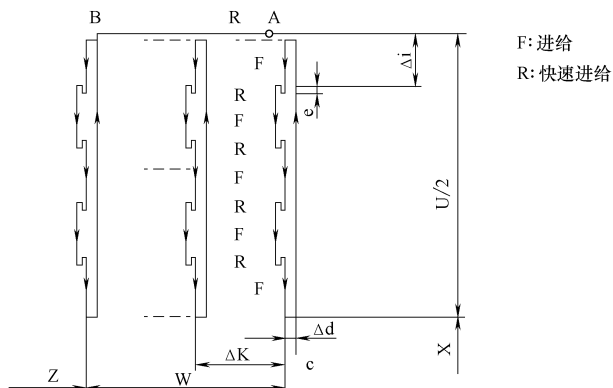


图 2-50 G75 指令段内部参数示意图

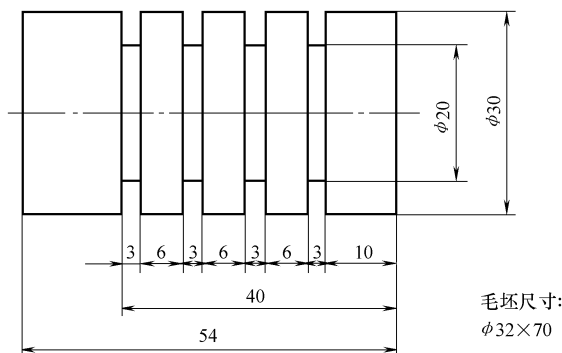


图 2-51 需要切槽加工的零件

主轴正转，转速 450 r/min

快速移动到起刀点（循环起点）

切槽切削循环，退刀量为 1mm

X 向背吃刀量 5mm，Z 向每次增量移动 9mm

快速退刀

回换刀点

主轴停止

程序结束

其中： m 为精加工重复次数，可以是 1~99 次，用两位数表示。该值为模态值，直到下次被指定之前一直有效。 r 为螺纹尾部倒角量，是螺纹导程的 0.0~9.9 倍，以 0.1 为一档增加，设定时用两位数，即 00~99，该值为模态值，直到下次被指定之前一直有效。 α 为螺纹刀尖角，可选择 80°、60°、55°、30°、29° 和 0°。 Δd_{min} 为最小切入量，半径值指定，单位 μm 。由两位数规定。该值为模态值，直到下次被指定之前一直有效。车削过程中每次的背吃刀量为 $\Delta d\sqrt{n} - \Delta d\sqrt{n-1}$ ，当计算深度小于此极限值时，背吃刀量锁定在这个值。 d 为精加工余量，X 轴方向半径值指定，单位 mm 。该值为模态值，直到下次被指定之前一直有效。 $X(U)Z(W)$ 为绝对坐标编程时，为螺纹终点在工件坐标系下的坐标；增量值编程时，为螺纹切削终点相对于循环起点的增量坐标值。指令中的 $X(U)$ 的值，外螺纹为小径值，内螺纹为大径值。 i 为螺纹部分半径之差，即螺纹切削起始点与切削终点的半径差。加工圆柱螺纹时， $i=0$ ；加工圆锥螺纹时，当 X 向切削起始点坐标小于切削终点坐标时， i 为负，反之为正。 k 为螺牙的高度（X 轴方向的半径值），单位为 μm 。外螺纹按 $k=6459.5L$ ，内螺纹按 $k=541.3P$ 计算。 Δd 为第一次切入量（X 轴方向的半径值），单位为 μm ； L 为螺纹导程。

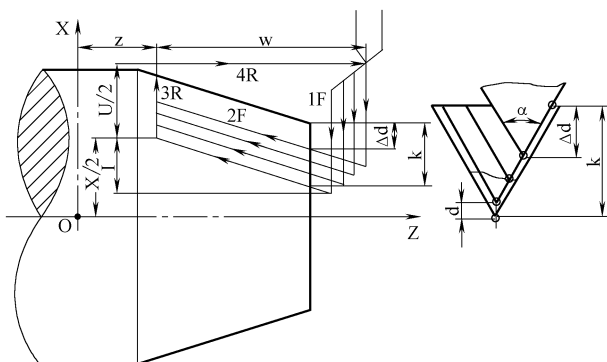


图 2-52 指令段内部参数示意图 G76

(2) 说明 G76 指令段内部参数示意图如图 2-52 所示。

1) 螺纹切削时进给速度倍率、主轴速度倍率无效。

2) 螺纹切削循环起始点坐标 X 向，在切削外螺纹时，应比螺纹大径大 2~3mm。Z 向必须考虑空刀导入量。

(3) 编程实例 下面以图 2-53 所示的零件为例来介绍 G76 指令。

数控加工程序为：

N10 G99 G00 X200 Z200 T0101；

每转进给，快速移动到换刀点，选择 1

号刀导入 1 号刀补

N20 M03 S450；

主轴正转，转速 450 r/min

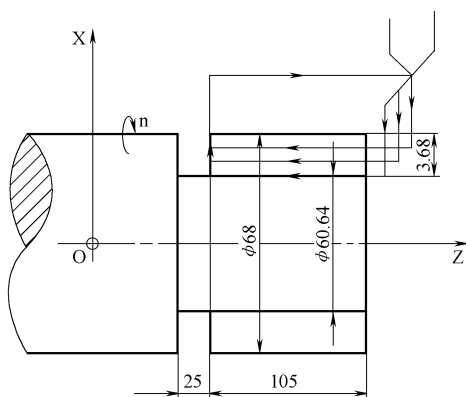


图 2-53 零件图

N30 G00 X65 Z4;	快速移动到起刀点（循环起点）
N40 G76 P010060 Q200 R0.1;	螺纹切削循环
N50 G76 X60.64 Z-110 R0 P3680 Q1800 F6;	导程 6mm
N60 G00 X100;	快速退刀
N70 G00 X200 Z200;	回换刀点
N80 M05;	主轴停止
N90 M30;	程序结束

第3章 数控车床编程运用技巧

在进行数控车床编程时，需要涉及一些技巧处理，常见的包括加工坐标系、数学处理、宏程序使用等，本章将进行具体介绍。

3.1 数控加工坐标系

在数控编程时，为了描述机床的运动，简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性，数控机床的坐标系和运动方向均进行了标准化，ISO 组织和我国都拟定了命名的标准。读者需要掌握机床坐标系、编程坐标系、加工坐标系的概念，具备实际动手设置机床加工坐标系的能力。

3.1.1 机床坐标系

1. 机床坐标系的确定

由于数控机床的运动轴分为平动轴和转动轴，而且有的运动轴是使刀具产生运动，有的运动轴是使工件产生运动，因此，标准规定在编程时要确定数控机床坐标系和运动方向，同时对 X、Y、Z 三轴的相对位置关系也做了规定。

(1) 机床相对运动的规定 在机床上，始终认为工件静止，而刀具是运动的，即刀具相对静止工件运动原则。这样编程人员在不考虑机床上工件与刀具具体运动的情况下，就可以依据零件图样，确定机床的加工过程。

(2) 机床坐标系的规定 标准机床坐标系中 X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡尔直角坐标系决定。

在数控机床上，机床的动作是由数控装置来控制的，为了确定数控机床上的成形运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的位移和运动的方向，这就需要通过坐标系来实现，这个坐标系称为机床坐标系。

例如，在铣床上，有机床的纵向运动、横向运动以及垂直方向运动，如图 3-1 所示。在数控加工中就应用机床坐标系来描述。

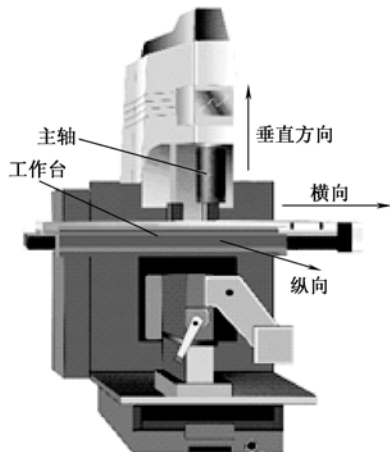


图 3-1 数控铣床坐标系

标准机床坐标系中，X、Y、Z 坐标轴的相互关系由右手笛卡尔直角坐标系决定，具体如下：

1) 伸出右手的大拇指、食指和中指，并互为 90° ，则大拇指代表 X 坐标，食指代表 Y 坐标，中指代表 Z 坐标。

2) 大拇指的指向为 X 坐标的正方向，食指的指向为 Y 坐标的正方向，中指的指向为 Z 坐标的正方向。

3) 围绕 X、Y、Z 坐标旋转的旋转坐标分别用 A、B、C 表示，根据右手螺旋定则，大拇指的指向为 X、Y、Z 坐标中任意轴的正向，则其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A、B、C 的正向，如图 3-2 所示。

(3) 运动方向的规定 增大刀具与工件距离的方向即为各坐标轴的正方向，即刀具远离工件为正。图 3-3 所示为数控车床上两个运动的正方向。

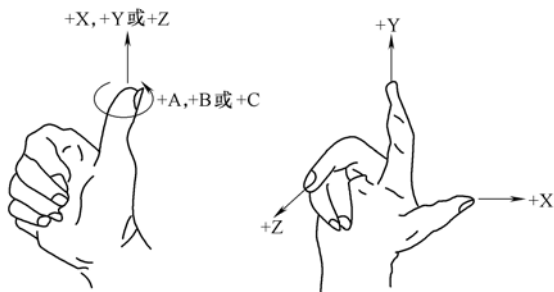


图 3-2 右手笛卡尔直角坐标系

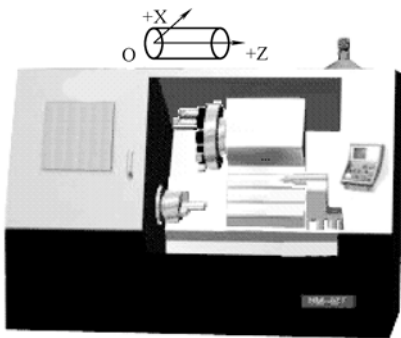


图 3-3 数控车床上两个运动的正方向

2. 坐标轴的确定方法

(1) Z 坐标 Z 坐标的运动方向是由传递切削动力的主轴所决定的，即平行于主轴轴线的坐标轴即为 Z 坐标，Z 坐标的正向为刀具离开工件的方向。

对于以工件旋转中心为主轴的机床，如车床 Z 轴为工件旋转中心，刀具远离工件的方向为正方向。

对于以刀具旋转中心为主轴的机床，如铣床 Z 轴为刀具旋转中心，刀具远离工件的方向为正方向。

如果机床上有几个主轴，则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为 Z 坐标方向；如果主轴能够摆动，则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向；如果机床无主轴，则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向，且向上为正。图 3-4 所示为数控车床的坐

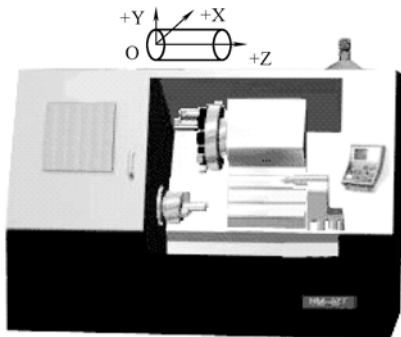


图 3-4 数控车床的坐标系

标系。

(2) X 坐标 X 坐标平行于工件的装夹平面，一般在水平面内。确定 X 轴的方向时，要考虑两种情况：

1) 如果工件做旋转运动，则刀具离开工件的方向为 X 坐标的正方向。

2) 如果刀具做旋转运动，则分为三种情况：Z 坐标水平时，观察者沿刀具主轴向工件看时，+X 运动方向指向右方；Z 坐标垂直时，观察者面对刀具主轴向立柱看时，+X 运动方向指向右方。对于龙门式铣床，沿着主要刀具主轴向机床左侧看，+X 运动方向指向右方。

3) 如果刀具与工件都不旋转（如刨床），则 X 方向为沿着主要切削力的方向，并以此为正方向。

(3) Y 坐标 在确定 X、Z 坐标的正方向后，可以根据 X 和 Z 坐标的方向，按照右手直角坐标系来确定 Y 坐标的方向。

3. 旋转运动

用 A、B、C 表示回转轴线与 X、Y、Z 轴重合或平行的回转运动，用右手螺旋定则判断，如图 3-2 所示。正方向用 +A、+B、+C 表示，负方向用 -A、-B、-C 表示。

4. 附加坐标系

为了编程和加工的方便，有时还要设置附加坐标系。对于直线运动，通常建立的附加坐标系有：

1) 指定平行于 X、Y、Z 的坐标轴，可以采用的附加坐标系：第二组 U、V、W 坐标，第三组 P、Q、R 坐标。

2) 指定不平行于 X、Y、Z 的坐标轴，也可以采用附加的坐标系：第二组 U、V、W 坐标，第三组 P、Q、R 坐标。附加坐标系上的旋转坐标系可用 D、E、F 表示。

举例：根据图 3-5 所示的数控立式铣床结构图，试确定 X、Y、Z 直线坐标。

1) Z 坐标：平行于主轴，刀具离开工件的方向为正。

2) X 坐标：Z 坐标垂直，且刀具旋转，所以面对刀具主轴向立柱方向看，向右为正。

3) Y 坐标：在 Z、X 坐标确定后，用右手直角坐标系来确定。

上述坐标轴正方向，均是假定工件不动，刀具相对于工件做进给运动而确定的方向，即刀具运动坐标系。但在实际机床加工时，有很

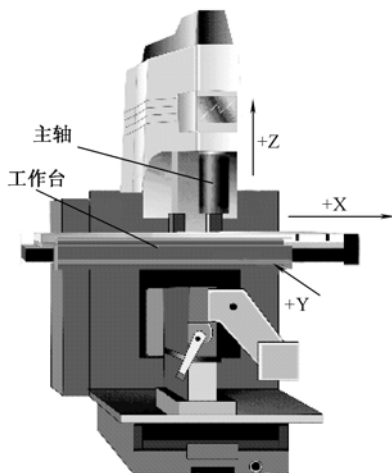


图 3-5 数控立式铣床结构图

多都是刀具相对不动，而工件相对于刀具移动实现进给运动的情况。此时，应在各轴字母后加上“'”表示工件运动坐标系。按相对运动关系，工件运动的正方向恰好与刀具运动的正方向相反，即有：

$$+X = -X' \quad +Y = -Y' \quad +Z = -Z' \quad +A = -A' \quad +B = -B' \quad +C = -C'$$

5. 机床原点的设置

机床原点是指在机床上设置的一个固定点，即机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已确定下来，是数控机床进行加工运动的基准参考点。

(1) 数控车床的机床原点 在数控车床上，机床原点一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点处，如图 3-6 所示。同时，通过设置参数的方法，也可将机床原点设定在 X、Z 坐标的正方向极限位置上。

(2) 数控铣床的机床原点 在数控铣床上，机床原点一般取在 X、Y、Z 坐标的正方向极限位置上，如图 3-7 所示。

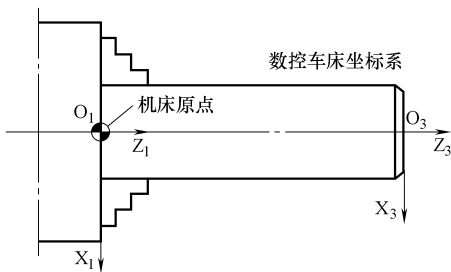


图 3-6 数控车床的机床原点

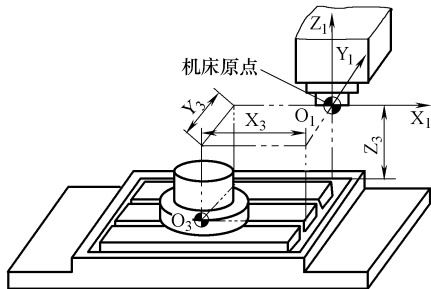


图 3-7 数控铣床的机床原点

6. 机床参考点

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点。

机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的，坐标值已输入数控系统中。因此参考点对机床原点的坐标是一个已知数。

通常在数控铣床上机床原点和机床参考点是重合的；而在数控车床上机床参考点是离机床原点最远的极限点。

图 3-8 所示为数控车床的参考点与机床原点。

数控机床开机时，必须先确定机床原点，而确定机床原点的运动就是刀架返回参考点的操作，这样通过确认参考点，就确定了机床原点。只有机床参考点被确认后，刀具（或工作台）移动才有基准。

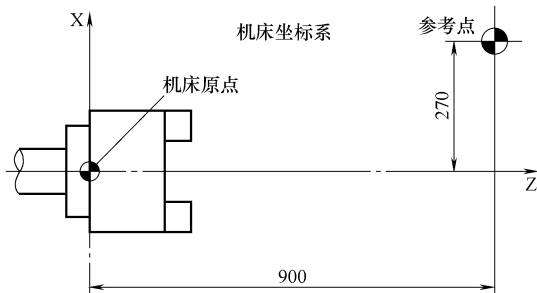


图 3-8 数控车床的参考点与机床原点

3.1.2 编程坐标系

编程坐标系是编程人员根据零件图样及加工工艺等建立的坐标系。

编程坐标系一般供编程使用，确定编程坐标系时不必考虑工件毛坯在机床上的实际装夹位置。铣削零件的编程坐标系如图 3-9 所示，其中 O_2 即为编程坐标系原点。

编程原点是根据加工零件图样及加工工艺要求选定的编程坐标系的原点。

编程原点应尽量选择在设计基准或工艺基准上，编程坐标系中各轴的方向应该与所使用的数控机床相应的坐标轴方向一致，图 3-10 所示为车削零件的编程原点。

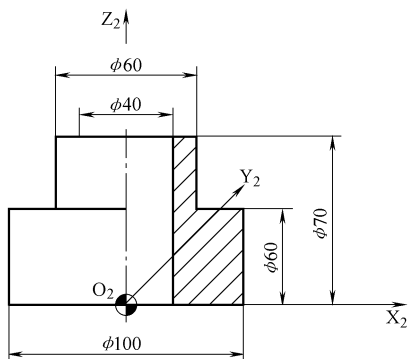


图 3-9 铣削零件的编程坐标系

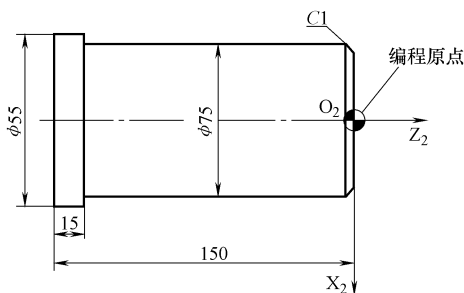


图 3-10 车削零件的编程原点

3.1.3 加工坐标系

1. 加工坐标系的确定

加工坐标系是指以确定的加工原点为基准所建立的坐标系。

加工原点也称为程序原点，是指零件被装夹好后，相应的编程原点在机床坐标系中的位置。

在加工过程中，数控机床是按照工件装夹好后所确定的加工原点位置和程序要求进行加工的。编程人员在编制程序时，只要根据零件图样就可以选定编程原点，建立编程坐标系，计算坐标数值，而不必考虑工件毛坯装夹的实际位置。对于加工人员来说，则应在装夹工件、调试程序时，将编程原点转换为加工原点，并确定加工原点的位置，在数控系统中给予设定（即给出原点设定值），设定加工坐标系后就可根据刀具当前位置，确定刀具起始点的坐标值。在加工时，工件各尺寸的坐标值都是相对于加工原点而言的，这样数控机床才能按照准确的加工坐标系位置开始加工。图 3-7 中的 O_3 为加工原点。

2. 加工坐标系的设定

(1) 方法一：在机床坐标系中直接设定加工原点。

下面以图 3-12 为例，在配置FANUC-0M系统的立式数控铣床上设置加工原点O₃。

1) 加工坐标系的选择。编程原点设置在工件轴心线与工件底端面的交点上。

设工作台工作面尺寸为 800mm×320mm，若工件装夹在接近工作台中间处，则确定了加工坐标系的位置，其加工原点O₃就在距机床原点O₁为X₃、Y₃、Z₃处，并且X₃=-345.700mm，Y₃=-196.220mm、Z₃=-53.165mm。

2) 设定加工坐标系指令

① G54~G59 为设定加工坐标系指令。G54 对应 1 号工件坐标系，其余依此类推。可在MDI方式的参数设置页面中，设定加工坐标系。例如：对已选定的加工原点O₃，将其坐标值：

X₃=-345.700mm

Y₃=-196.220mm

Z₃=-53.165mm

设在 G54 中，则表明在数控系统中设定了 1 号工件加工坐标。加工坐标系的设定页面如图 3-11 所示。

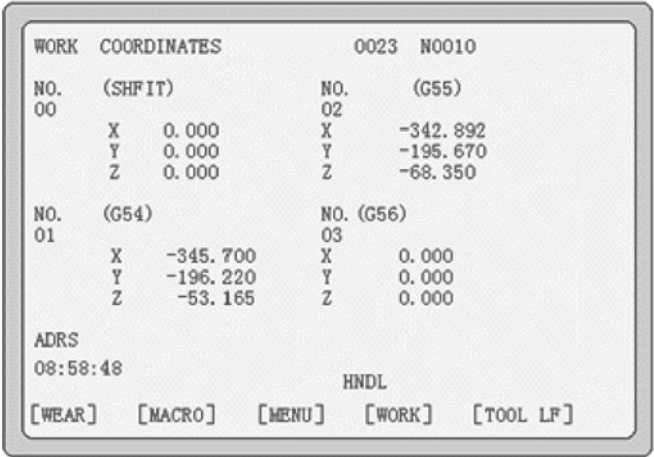


图 3-11 加工坐标系的设定

② G54~G59 在加工程序中出现时，即选择了相应的加工坐标系。

(2) 方法二：通过刀具起始点来设定加工坐标系。

1) 加工坐标系的选择。加工坐标系的原点可设定在相对于刀具起始点的某一符合加工要求的空间点上。

应注意的是，当机床开机回参考点之后，无论刀具运动到哪一点，数控系统对其位置都是已知的。也就是说，刀具起始点是一个已知点。

2) 设定加工坐标系指令。G92 为设定加工坐标系指令。在程序中出现 G92 程序段时，通过刀具当前位置即刀具起始点来设定加工坐标系。

G92 指令的编程格式：G92 X a Y b Z c

该程序段运行后，就根据刀具起始点设定了加工原点，如图 3-12 所示。

从图 3-12 中可看出，用 G92 设置加工坐标系，也可看做是：在加工坐标系中，确定刀具起始点的坐标值，并将该坐标值写入 G92 编程格式中。

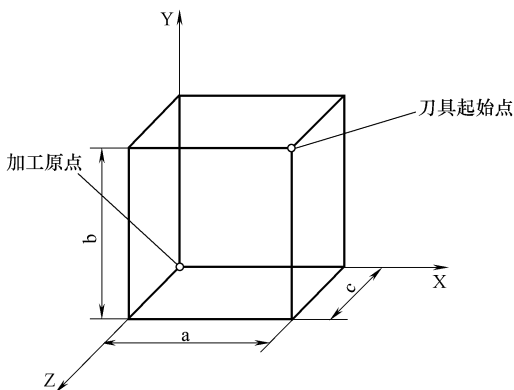


图 3-12 根据刀具起始点设定加工原点

3.2 程序编制中的数学处理

根据被加工零件图样，按照已经确定的加工工艺路线和允许的编程误差，计算数控系统所需要输入的数据，称为数学处理。数学处理一般包括两个内容：

1) 根据零件图样给出的形状、尺寸和公差等直接通过数学方法（如三角、几何与解析几何法等），计算出编程时所需要的有关各点的坐标值。

2) 当按照零件图样给出的条件不能直接计算出编程所需的坐标，也不能按零件给出的条件直接进行工件轮廓几何要素的定义时，就必须根据所采用的具体工艺方法、工艺装备等加工条件，对零件原图形及有关尺寸进行必要的数学处理或改动，才可以进行各点的坐标计算和编程工作。

3.2.1 编程原点

从理论上讲，编程原点选在零件上的任何一点都可以，但实际上，为了换算尺寸尽可能简便，减少计算误差，应选择一个合理的编程原点。

对于车削零件编程的原点，X 向零点应选在零件的回转中心。Z 向零点一般应选在零件的右端面、设计基准或对称平面内。

编程原点选定后，就应把各点的尺寸换算成以编程原点为基准的坐标值。为了在加工过程中有效地控制尺寸公差，按尺寸公差的中值来计算坐标值。

3.2.2 编程基点

零件的轮廓是由许多不同的几何要素所组成的，如直线、圆弧、二次曲线等，各几何要素之间的连接点称为基点。基点坐标是编程中必需的重要数据。

例如：在图 3-13 所示的零件中，A、B、C、D、E 为基点。A、B、D、E 的坐标值从图中很容易找出，C 点是直线与圆弧切点，要联立方程求解。

以 B 点为计算坐标系原点，联立下列方程：

$$\text{直线方程：} Y = \tan(\alpha + \beta)X$$

$$\text{圆弧方程：} (X - 80)^2 + (Y - 14)^2 = 30$$

可求得 (64.2786, 39.5507)，换算到以 A 点为原点的编程坐标系中，C 点坐标为 (64.2786, 51.5507)。

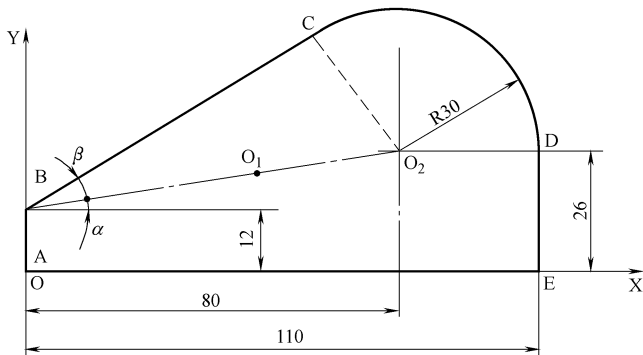


图 3-13 零件图样

3.2.3 节点运算的处理技巧

数控系统一般只能做直线插补和圆弧插补的切削运动。如果工件轮廓是非圆曲线，数控系统就无法直接实现插补，而需要通过一定的数学处理。数学处理的具体方法是，用直线段或圆弧段去逼近非圆曲线，而逼近线段与被加工曲线交点则称为节点。

例如，对图 3-14 所示的曲线用直线逼近时，其交点 A、B、C、D、E、F 等即为节点。

在编程时，首先要计算出节点的坐标（节点的计算一般都比较复杂，靠手工计算已很难胜任，必须借助计算机辅助处理）。求得各节点后，就可按相邻两节点间的直线来编写加工程序。

由此可见，节点数目决定了程序段的数目。图 3-14 中有 6 个节点，

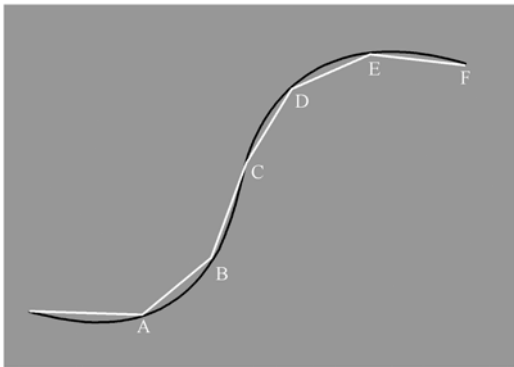


图 3-14 零件轮廓的节点

即用五段直线逼近了曲线，因而就有五个直线插补程序段。节点数目越多，由直线逼近曲线产生的误差 δ 越小，程序的长度则越长。所以节点数目的多少，决定了加工的精度和程序的长度。

3.2.4 数控加工误差的组成

数控加工误差 $\Delta_{\text{数加}}$ 是由编程误差 $\Delta_{\text{编}}$ 、机床误差 $\Delta_{\text{机}}$ 、定位误差 $\Delta_{\text{定}}$ 、对刀误差 $\Delta_{\text{刀}}$ 等误差综合形成的。即：

$$\Delta_{\text{数加}} = f(\Delta_{\text{编}} + \Delta_{\text{机}} + \Delta_{\text{定}} + \Delta_{\text{刀}})$$

其中：

1) 编程误差 $\Delta_{\text{编}}$ 由逼近误差 δ 、圆整误差组成。逼近误差 δ 是在用直线段或圆弧段去逼近非圆曲线的过程中产生的，如图 3-14 所示。圆整误差是在数据处理时，将坐标值四舍五入圆整成整数脉冲当量值而产生的误差。脉冲当量是指每个单位脉冲对应坐标轴的位移量。普通精度级的数控机床，一般脉冲当量值为 0.01mm；较精密数控机床的脉冲当量值为 0.005mm、0.001mm等。

2) 机床误差 $\Delta_{\text{机}}$ 由数控系统误差、进给系统误差等原因产生。

3) 定位误差 $\Delta_{\text{定}}$ 是当工件在夹具上定位、夹具在机床上定位时产生的。

4) 对刀误差 $\Delta_{\text{刀}}$ 是在确定刀具与工件的相对位置时产生的。

如何减少上述各项误差，以提高加工精度的问题，将在后续相关内容中讨论。

3.3 宏程序的使用方法和实例

宏程序又称为用户宏程序，在数控加工中的作用正越来越受重视。宏程序的主要特点是可以使用变量、算术和逻辑运算，以及条件分支控制，并可通过变量进行运算，大大拓宽传统数控编程的局限性。常用的循环指令都是通过宏程序来实现的，用户如能掌握一些宏程序的编制方法，将有助实现对数控系统的二次开发。

数控机床上采用的宏指令可分为 A、B 两类，现在市场上使用的主流系统一般都是 B 类。宏 B 类宏指令相对 A 类更直观，类似于一般的计算机语言编程。下面以目前最通用的 FANUC 系统为例，介绍宏程序使用方法和注意事项。

3.3.1 变量

普通加工程序直接用数值指定 G 代码和移动距离；例如，GO1 和 X100.0。使用用户宏程序时，数值可以直接指定或用变量指定。当用变量时，变量值可用程序或用 MDI 面板上的操作改变。

```
#1=#2+100
```

```
G01 X#1 F300
```

具体说明如下：

(1) 变量的表示 计算机允许使用变量名，用户宏程序不行。变量用变量符号（#）和后面的变量号指定。

例如：#1

表达式可以用于指定变量号。此时，表达式必须封闭在括号中。

例如：#[#1+#2-12]

(2) 变量的类型 变量根据变量号可以分成四种类型：

1) #0：空变量。该变量总是空,没有值能赋给该变量。

2) #1～#33：局部变量。局部变量只能用在宏程序中存储数据。例如，当断电时，局部变量被初始化为空；调用宏程序时，自变量对局部变量赋值。

3) #100～#199、#500～#999：公共变量。公共变量在不同的宏程序中的意义相同。当断电时，变量#100～#199 初始化为空，变量#500～#999 的数据保存，即使断电也不丢失。

4) #1000：系统变量。系统变量用于读和写 CNC 运行时各种数据的变化。例如，系统变量用于记录刀具的当前位置和补偿值。

变量的类型与功能说明如表 3-1 所示。

表 3-1 变量的类型与功能说明

变 量 号	变 量 类 型	功 能
#0	空	此变量总是空
#1～#33	局部变量	只能在同一个宏程序里使用
#100～#149（#199） #500～#531（#999）	公共变量	不同的宏程序主体都可以调用
#1000	系统变量	固定用途的变量，主要用于系统内外信息交换的一些信号处理

(3) 变量值的范围 局部变量和公共变量可以有 0 值或下面范围中的值： $-10^{47} \sim -10^{-29}$ 或 $-10^{-2} \sim -10^{47}$ 。如果计算结果超出有效范围，则发出P/S报警 NO.111。

(4) 小数点的省略 当在程序中定义变量值时，小数点可以省略。

例：当定义#1=123；变量#1 的实际值是 123.000。

(5) 变量的引用 为在程序中使用变量值，指定后跟变量号的地址。当用表达式指定变量时，要把表达式放在括号中。

例如：G01X[#1+#2]F#3；被引用变量的值根据地址的最小设定单位自动地舍入。

例如：当 G00X#；以 1/1 000mm 的单位执行时，CNC 把 123456 赋值给变量 #1，实际指令值为 G00X12346。

改变引用变量的值的符号，要把负号（-）放在#的前面。

例如：G00X-#1；

当引用未定义的变量时，变量及地址都被忽略。

例如：当变量#1 的值是 0，并且变量#2 的值是空时，G00X#1 Y#2 的执行结果为 G00X0。

（6）双轨迹（双轨迹控制）的公共变量 对双轨迹控制，系统为每一轨迹都提供了单独的宏变量，但是，根据参数 N0.6036 和 6037 的设定，某些公共变量可同时用于两个轨迹。

（7）未定义的变量 当变量值未定义时，这样的变量成为空变量。变量#0 总是空变量。它不能写，只能读。

（8）限制 程序号、顺序号和任选程序段跳转号不能使用变量。

例：下面情况不能使用变量：

```
0#1;  
/#2G00X100.0;  
N#3Y200.0;
```

3.3.2 算术与逻辑运算

表 3-2 中列出的运算可以在变量中执行。运算符右边的表达式可包含常量和或由函数或运算符组成的变量。表达式中的变量#j 和#k 可以用常数赋值。左边的变量也可以用表达式赋值。

表 3-2 算术和逻辑运算的功能与格式

功 能	格 式	备 注
定义	#i=#j	
加法	#i=#j+#k	
减法	#i=#j-#k	
乘法	#i=#j*#k	
除法	#i=#j/#k	
正弦	#i=SIN[#j]	角度以度指定，90°30'表示为 90.5°
反正弦	#i=ASIN[#j]	
余弦	#i=COS[#j]	
反余弦	#i=ACOS[#j]	
正切	#i=TAN[#j]	
反正切	#i=ATAN[#j]/[#k]	

(续)

功 能	格 式	备 注
平方根 绝对值 舍入 上取整 下取整 自然对数 指数函数	$\#i=\text{SQRT}[\#j]$ $\#i=\text{ABS}[\#j]$ $\#i=\text{ROUND}[\#j]$ $\#i=\text{FIX}[\#j]$ $\#i=\text{FUP}[\#j]$ $\#i=\text{LN}[\#j]$ $\#i=\text{EXP}[\#j]$	
或 异或 与	$\#i=\#j\text{OR}\#k$ $\#i=\#j\text{XOR}\#k$ $\#i=\#j\text{AND}\#k$	逻辑运算一位一位地按二进制数执行
从 BCD 转为 BIN 从 BIN 转为 BCD	$\#i=\text{BIN}[\#j]$ $\#i=\text{BCD}[\#j]$	用与与 PMC 的信号交换

相关说明如下：

- 1) 函数 SIN、COS、ASIN、ACOS、TAN 和 ATAN 的角度单位是度。如 90°30' 表示为 90.5°。
- 2) ATAN 函数后的两个边长要用“1”隔开。例：当 $\#1=\text{ATAN}[1]/[-1]$ 时， $\#1$ 为 35.0。
- 3) ROUND 用于语句中的地址，按各地址的最小设定单位进行四舍五入。
例：设 $\#1=1.234$ ， $\#2=2.345$ ，设定单位 1 μm
G91 X- $\#1$ ； X-1.234
X- $\#2$ F300； X-2.345
X[$\#1+\#2$]； X3.580
未返回原处，应改为：X[ROUND[$\#1$]+ROUND[$\#2$]]。
- 4) 取整后的绝对值比原来的值大为上取整，相反则为下取整。
例：设 $\#1=1.2$ ， $\#2=-1.2$ 时，
若 $\#3=\text{FUP}[\#1]$ 时，则 $\#3=2.0$ ；
若 $\#3=\text{FIX}[\#1]$ 时，则 $\#3=1.0$ ；
若 $\#3=\text{FUP}[\#2]$ 时，则 $\#3=-2.0$ ；
若 $\#3=\text{FIX}[\#2]$ 时，则 $\#3=-1.0$ 。
- 5) 指令函数时，可只写开头 2 个字母。例：ROUND→RO；FIX→FI。
- 6) 优先级。函数→乘除（*，/，AND）→加減（+，-，OR，XOR）。例：
 $\#1=\#2+\#3*\text{SIN}[\#4]$ 。

7) 括号为中括号，最多五重，圆括号用于注释语句。例：#1=SIN[[[#2+#3]*#4+#5]*#6]; (三重)

3.3.3 转移与循环指令

(1) 无条件的转移

格式： GOTO 1;
GOTO #10;

(2) 条件转移

格式： IF[<条件式>= GOTO n

条件式：

#j EQ#k 表示=

#j NE#k 表示≠

#j GT#k 表示>

#j LT#k 表示<

#j GE#k 表示≥

#j LE#k 表示≤

例：求 1 到 10 之和。

O9500;

#1=0

#2=1

N1 IF [#2 GT10] GOTO 2

#1=#1+#2;

#2=#2+1;

GOTO 1

N2 M301. 循环

格式： WHILE[<条件式>=DO m; (m=1, 2, 3)

...

...

...

ENDm

3.3.4 宏程序实例

下面介绍的实例为一拖多车薄螺母件，属于短轴套类车床件，由于单件加工效率很低，因此可以在刚性允许的情况下，尽量伸出长些，进行相同路径的多件加工。

O8888;

#2601=0.; (#2601 对应 G54 坐标系 Z 轴)

N1 G40 G99 G97 G53 Z0.; (挡料退刀)

M1;

N10 G54 G40 G99 G97 T105 M3 S3000 G0 X0.; ($\phi 14$ 钻头)

Z2. M8;

Z. 5;

G1 Z-0.8;

Z-8. F0.12; (仅钻 8mm，而不一次钻 6 件的深度是考虑到钻孔后刚性不足，在车螺纹时易振动而影响螺纹精度)

G0 Z30.;

N20 G40 G99 G97 T104 M3 S4200 G0 X17.; ($\phi 12$ 镗孔刀，粗车内孔倒角)

Z20. M8;

Z1.;

G1 Z0.3 F0.15;

G1 X14.85 Z-0.8 F0.05;

Z-4.8 F0.1;

G0 U-0.5 Z30. S800;

N30 G40 G99 G97 T102 M3 S3200 G0 X14.2; ($\phi 12$ 内螺纹刀)

Z20. M8;

Z2.;

G92 X15.3 Z-3.7 F1.;

X15.5;

X15.6;

X15.65;

X15.7;

X15.75;

X15.8;

X15.85;

X15.9;

X15.95;

X15.95;

G0 Z30. S1600;

N40 G40 G99 G97 T104 M3 S4500 G0 X14.; ($\phi 12$ 镗刀/精车内孔及倒角)

Z20. M8 ;

Z-4.45 ;

G1 X14.9 F0.06 ;

Z-0.9 F0.05 ;

U1.86 Z0.03 F0.03 ;

X21. F0.05 ;

G0 Z30. ;

N50 G40 G99 G97 T106 M3 S2000 G0 X-22. ; (外圆刀,修外倒角及平面)

Z20. M8 ;

Z-1.15 ;

G1 X-19.2 F0.15 ;

G1 X-17.9 Z0. F0.03 ;

X-13. F0.06 ;

G0 Z60. S800 ;

N60 G40 G99 G97 T103 M3 S800 G0 X14. ; ($\phi 10\text{mm}$ 内沟槽刀, 刀宽 0.75mm 反车沟后倒角)

Z20. M8 ;

Z-3.54 ;

G1 X16.5 F0.03 ;

G0 X14. S1200 ;

Z-2.57 ;

G1 X14.8 F0.1 ;

X16.4 Z-3.37 F0.03 ;

X16.6 ;

G0 X14. ;

Z30. ;

N70 G40 G99 G97 T102 M3 S3200 G0 X14.2 ; ($\phi 12\text{mm}$ 内罗纹刀精修螺纹一遍)

Z20. M8 ;

Z2. ;

G92 X15.95 Z-3.7 F1.;

X15.95 ;

G0 Z30. ;

N80 G40 G99 G97 T101 M3 S2600 G0 X21. ; (切断刀, 刀宽 1.1mm)

Z20. M8 ;

Z-2.64 ;

G1 X16.8 F0.03 ;

G0 X20. S1800 ;

Z-2.19 ;

G1 X19.2 F0.1 ;

X18.5 Z-2.54 F0.02 ;

X16.5 ;

X16.0 F0.01 ;

X15.0 F0.1 ;

G0 X21. ;

Z60. S800;

M1;

#2601=#2601-3.8;

(变量递减)

IF[#2601GT-19.1]GOTO10;

(如 2601 大于-19.1,程序跳转到 N10)

M1;

N0 #2601=0.;

(赋值)

G54 G40 T110 M5 G0 X0. ;

(后续加工做准备)

Z20. M11 ;

Z0.1 M9 ;

M30 ;

第 4 章 轴类零件加工编程案例

轴类零件是车削加工的典型零件之一，包括阶梯轴、螺纹、梯形、槽、锥面、椭圆几类。本章通过实例来讲解 FANUC 系统中常用指令在轴类零件加工中的应用。

4.1 简单阶梯轴加工

在数控车床上加工图 4-1 所示的轴类零件。该零件由外圆柱面、倒角圆弧面组成，材料为 45 钢，选择毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 70\text{mm}$ 的圆棒料。

4.1.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

1) 熟悉基本编程指令 G00、G01、G03 等的使用方法以及单一固定循环编程指令 G90 的走刀路线。

2) 掌握车圆法中圆弧分层方法。

2. 注意事项

采用单一固定循环编程指令 G90 编写加工程序，要正确选择程序起始点的位置，因为起始点既是程序循环的起点，又是程序循环的终点。对于该点，一般宜选择离毛坯表面 1~2mm 的地方。

4.1.2 工艺分析

1. 加工难点分析

加工圆弧时，采用车圆法进行分层加工，即采用大小不等半径的圆弧来车削，最终将圆弧加工出来，如图 4-2 所示。

第一层切削采用圆弧插补，插补半径为 R3mm，然后进行第二层 R6mm 半径圆弧切削，第三层 R9mm 半径圆弧插补切削，最后 R10mm 半径的完整圆角切削加工。

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

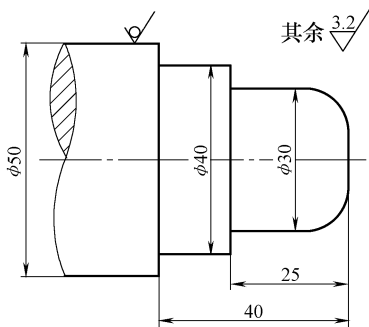


图 4-1 简单阶梯轴零件图

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件的加工长度为 40mm，卡盘的限位安全距离为 5mm，因此零件应伸出卡盘总长为 45mm 以上。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 70\text{mm}$ ，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在 (X52, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案为：首先加工外圆表面，然后加工倒角圆弧面。

3. 选择刀具与切削用量

该零件的刀具与切削用量如表 4-1 所示。

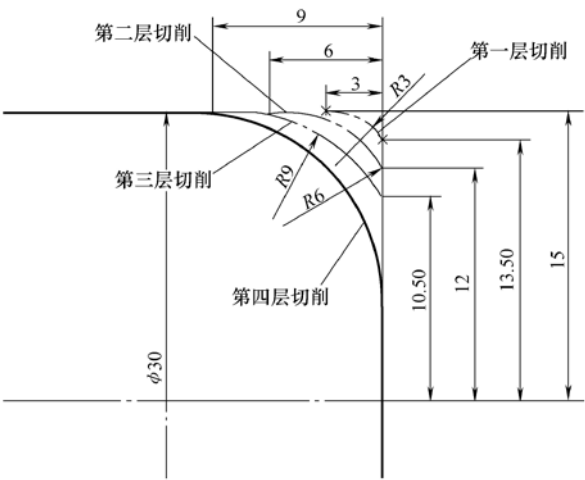


图 4-2 车圆法分层加工

表 4-1 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/ (r/min)	进给速度/ (mm/min)
T0101	外圆车刀 (外圆)	2	800	200
	外圆车刀 (圆弧)	0.5	1200	100

4.1.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 4-2 所示。

表 4-2 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格 (精度)	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm (0.02mm)	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm (0.01mm)	各 1	
百分表	0~10mm (0.01mm)	1	
磁性表座		1	

(续)

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
半径样板	R7~R14.5mm,R15~R25mm	1	
外圆车刀	90°	1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

4.1.4 程序清单与注释

O4101		程 序 名
N10	G98 G00 X100 Z100 T0101	采用每分进给，快速移动到换刀点，换 1 号刀导入 1 号刀补
N20	M03 S800 F200	主轴正转，转速为 800r/min，设定进给速度 200mm/min
N30	G00 X52 Z2	圆柱面加工程序段 刀具快速移动到起刀点（循环起点）
N40	G90 X48 Z-40	单一固定循环指令加工圆柱表面
N50	X44	单一固定循环模式调用,下同
N60	X41	
N70	X40	
N80	X36 Z-25	
N90	X32	
N100	X31	
N110	X30	
N120	G00 X32 Z2	圆弧加工程序段 定位至圆弧加工起点
N130	G01 X27 Z0 F100	第一次分层去除毛坯余量
N140	G03 X30 Z-3 R3	
N150	G00 X32 Z2	
N160	G01 X24 Z0	第二次分层去除毛坯余量
N170	G03 X30 Z-6 R6	
N180	G00 X32 Z2	
N190	G01 X21 Z0	第三次分层去除毛坯余量
N200	G03 X30 Z-9 R9	

(续)

O4101		程 序 名
N210	G00 X32 Z2	
N220	G01 X20 Z0	第四次分层去除毛坯余量，最后一次为精加工
N230	G03 X30 Z-10 R10	
N240	G00 X35 Z-10	退出加工表面
N250	G00 X100 Z100	返回换刀点
N260	M05	主轴停止
N270	M30	程序结束并返回程序开头

4.1.5 实例小结

本例介绍了简单阶梯轴的加工工艺与编程，读者通过学习将掌握车圆法圆弧分层方法。同时由于采用单一固定循环编程指令 G90 编写加工程序，因此要注意正确选择程序起始点的位置，因为起始点既是程序循环的起点，又能程序循环的终点，对能否完成正确加工有决定性的作用。

4.2 多阶梯轴加工

在数控车床上加工图 4-3 所示的轴类零件。该零件由外圆柱面、圆弧面和半球面组成，材料为 45 钢，选择毛坯尺寸为 $\phi 30\text{mm}\times 40\text{mm}$ 的圆棒料。

4.2.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

1) 掌握车床加工中的外径粗车复合固定循环指令 G71、端面粗车复合固定循环指令 G72 和精车循环指令 G70。

2) 熟悉固定循环程序编制的一般步骤。

2. 注意事项

1) G71、G72 以及 G70 指令中各参数的含义。

2) 固定循环在加工中的走刀路线和精加工余量的确

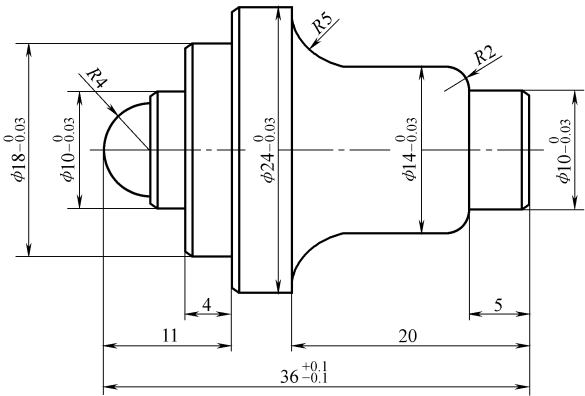


图 4-3 多阶梯轴零件图

定方法。

4.2.2 工艺分析

1. 加工难点分析

固定循环 G71 与 G72 的主要区别如下：

1) 在指令格式上，G71 的格式如下：

G71 U(Δd) R(e)

G71 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)

而 G72 的格式如下：

G72 W(Δd) R(e)

G72 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)

比较二者指令的格式，基本上相同，唯一的区别就是第一程序段 G71 为“U”，而 G72 为“W”，这就表明二者在进刀方向上的本质区别，一个沿径向，另一个沿轴向。

2) 在走刀轨迹上，G71 轨迹是沿着 X 向（径向）进行分层切削的，而 G72 轨迹是沿着 Z 向（轴向）进行分层切削的。

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件的加工长度为 30mm，零件需要加工两端，因此需要考虑两次装夹的位置。考虑到右端 $\phi 10\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的台阶可以用来装夹，采用一夹一顶的装夹方式。因此先加工右端，然后再掉头加工左端。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为 $\phi 30\text{mm} \times 40\text{mm}$ ，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在 (X32, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

1) 粗车加工工件右端轮廓。

2) 精车加工工件右端轮廓，利用外径千分尺保证尺寸精度要求。

3) 掉头装夹，手动车左端保证总长。

4) 粗车加工工件左端轮廓。

5) 精车加工工件左端轮廓，利用外径千分尺保证尺寸精度要求。

3. 选择刀具与切削用量

该零件的刀具与切削用量如表 4-3 所示。

表 4-3 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1 200	100

4.2.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 4-4 所示。

表 4-4 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm 0.02mm	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm 0.01mm	各 1	
百分表	0~10mm 0.01mm	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm,R15~R25mm	1	
外圆车刀	90°,35°	各 1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

4.2.4 程序清单与注释

O4201		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化，换 1 号刀，选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	G00 X32 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环，背吃刀量 2mm，退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q130 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N130，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.1mm，进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X6 Z1	精加工轮廓的起始点，倒角的延长线
N70	G01 X10 Z-1	倒角
N80	Z-5	加工外圆

(续)

O4201		工件右端加工程序
N90	G03 X14 Z-7 R2	加工圆弧
N100	G01 Z-15	加工外圆
N110	G02 X24 Z-20 R5	加工圆弧
N120	G01 Z-27	加工外圆
N130	G40 G01 X35 Z27	退出已加工表面, 精加程序结束
N140	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N150	M05	主轴停止
N160	M00	程序停止
N170	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N180	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N190	G00 X32 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G70 P60 Q130 F100	调用精车循环, 进给速度 100mm/min
N210	G00 X100 Z100	回到换刀点
N220	M05	主轴停止
N230	M30	程序结束并返回程序开头
O4202		工件左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	G00 X40 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G72 W2 R1	粗车复合固定循环指令, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G72 P60 Q170 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N130, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.5mm, 进给速度 200mm/min
N60	G00 Z-11	精加工轮廓的起始点
N70	G01 X24	
N80	X23 Z-10	
N90	X18	
N100	Z-8	
N110	X16 Z-7	
N120	X10	

(续)

O4202		工件左端加工程序
N130	Z-5	
N140	X9 Z-4	
N150	X8	
N160	G02 X0 Z0 R4	精加工轮廓的结束点
N170	G01 X0 Z2	退出已加工表面，精加工程序结束
N180	G00 X100 Z100	回换刀点
N190	M05	主轴停止
N200	M00	程序停止
N210	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N220	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N230	G00 X40 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N240	G70 P60 Q170 F60	调用精车循环
N250	G00 X100 Z100	回到换刀点
N260	M05	主轴停止
N270	M30	程序结束并返回程序开头

4.2.5 实例小结

本例介绍了多阶梯轴的加工工艺与编程，主要涉及固定循环程序的编制，加工中的走刀路线和精加工余量的确定方法是学习的重点。读者通过学习，可以温习和巩固外径粗车复合固定循环指令 G71、端面粗车复合固定循环指令 G72 和精车循环指令 G70 的含义和应用。

4.3 螺纹加工

在数控车床上加工图 4-4 所示的轴类零件。该零件由外圆柱面、弧面、凹槽和螺纹组成，材料为 45 钢，选择毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm}\times 90\text{mm}$ 的圆棒料。

4.3.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 掌握车床加工中的端面深孔加工循环（G74），掌握车床加工中的外圆、内圆切槽循环（G75）。
- 2) 掌握螺纹切削单一固定循环指令 G92。

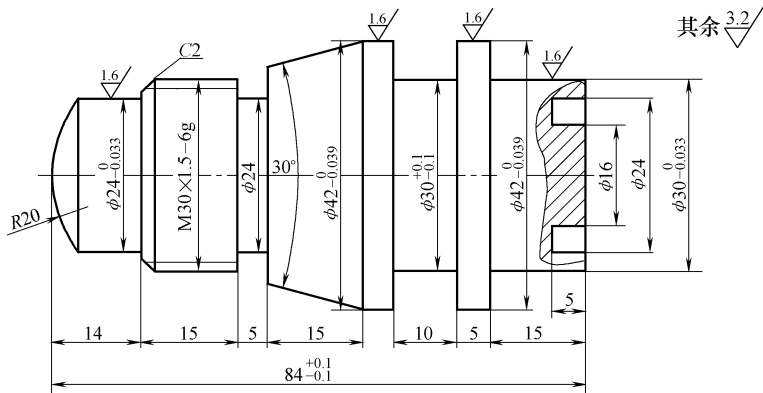


图 4-4 螺纹零件图

2. 注意事项

加工沟槽时，注意对刀点和沟槽起点坐标的关系。外圆切槽可供选择的刀位点有两个，编程时只需选择一个即可，切不可两个同时使用。

4.3.2 工艺分析

1. 加工难点分析

螺纹加工属于成形加工，为了保证螺纹的导程，加工时主轴旋转一周，车刀的进给量必须等于螺纹的导程，进给量较大，因此螺纹牙型往往不是一次加工而成，需要多次进行切削加工。如果要提高螺纹的表面质量，可增加几次光整加工。常用螺纹切削进给次数对应的背吃刀量如表 4-5 所示。

表 4-5 螺纹切削的进给次数对应的背吃刀量（直径双边值）（单位：mm）

螺 距		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
牙 深		0.649	0.974	1.299	1.624	1.949	2.273	2.598
背吃刀量	切削次数	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.5
	第一次							
	第二次	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
	第三次	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	第四次		0.16	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
	第五次			0.1	0.4	0.4	0.4	0.4
	第六次				0.15	0.4	0.4	0.4
	第七次					0.2	0.2	0.4
	第八次						0.15	0.3
	第九次							0.2

要求加工的螺纹大径尺寸为 M30×1.5mm，查表 4-5 可知要分四次切削，第一次背吃刀量为 0.8mm，此时直径为 29.2mm；第二次背吃刀量为 0.6mm，此时直径为 28.6mm；第三次切削背吃刀量为 0.4mm，此时直径为 28.2mm；第四次背吃刀量为 0.16mm，此时直径为 28.04mm。

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件需要加工两端，因此要考虑两次装夹的位置。考虑到右端φ24mm×14mm 的台阶可以用来装夹，采用一夹一项的装夹方式，因此先加工右端，然后再掉头加工左端。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在（X100，Z100）。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为φ50mm×90mm，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在（X52，Z2）。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

- 1) 粗车加工工件右端轮廓。
- 2) 精车加工工件右端轮廓，利用外径千分尺保证尺寸精度要求。
- 3) 车削径向槽。
- 4) 车削端面槽。
- 5) 掉头装夹，手动车左端保证总长。
- 6) 粗车加工工件左端轮廓。
- 7) 精车加工工件左端轮廓，利用外径千分尺保证尺寸精度要求。
- 8) 车削径向槽。
- 9) 车削外螺纹。

3. 选择刀具与切削用量

该零件的刀具与切削用量如表 4-6 所示。

表 4-6 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0303	切槽刀	—	600	60
T0404	端面槽刀	—	500	20
T0505	外螺纹刀	—	500	

4.3.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 4-7 所示。

表 4-7 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1副	
外圆车刀	93°,45°	各 1	
可转位外圆车刀	R型、V型、T型、S型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	1	
端面槽刀	刀宽 3mm	1	
切槽刀	刀宽 5mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

4.3.4 程序清单与注释

O4301		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化，快速返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令并指定背吃刀量为 2mm，退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q110 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段N70~N110，X轴留精车余量 0.5mm，Z轴留精车余量 0.5mm，进给速度为 200mm/min

(续)

O4301		工件右端加工程序
N70	G42 G00 X30 Z2	精加程序起始点ns, 车削轮廓的起点
N80	G01 Z-15	
N90	X42	
N100	Z-32	
N110	G40 G01 X52 Z-32	精加程序结束点nf, 退出已加工表面
N120	G00 X100 Z100	回换刀点
N130	M05	主轴停止, 此时可以测量加工工件的尺寸
N140	M00	程序停止
N150	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N160	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N170	G00 S2 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N180	G70 P70 Q110 F100	调用精车循环并设定精车进给量
N190	G00 X100 Z100	回到换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M00	程序停止
N220	M03 S600	设置切槽时的转速为 600r/min
N230	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补 (刀宽 4mm)
N240	G00 X45 Z-20	快速移动至切槽循环的起始点
N250	G75 R0.5	外圆切槽循环, 指定退刀量 0.5mm
N260	G75 X30 Z-25 P2000 Q3000 F60	
N270	G00 X100	刀具沿径向快速退出
N280	Z100	回到换刀点
N290	M05	主轴停止
N300	M00	程序停止
N310	M03 S500	设置端面切槽时的转速为 500r/min
N320	T0404	换 4 号端面切槽刀, 选择 4 号刀补 (刀宽 3mm)
N330	G00 X16 Z5	快速移动至端面切槽循环的起始点
N340	G74 R1	端面切槽循环, 指定退刀量 1mm
N350	G74 X18 Z-5 P2000 Q1000 F20	端面切槽循环
N360	G00 X100 Z100	返回到换刀点
N370	M05	主轴停止
N380	M30	主程序结束并返回程序开头

(续)

O4202		掉头加工左端外圆及螺纹
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令并指定背吃刀量为 2mm, 退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q170 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段 70~170, X轴留精车余量 0.5mm, Z轴留精车余量 0.5mm, 进给速度为 200mm/min
N70	G00 G42 X0 Z2	精加工程序起始点ns, 车削轮廓的起点
N80	G01 X0 Z0 F100	精加工进给速度 100mm/min
N90	G03 X24 Z-4 R20	
N100	G01 Z-14	
N110	X26	
N120	X28.8 Z-16	
N130	Z-34	
N140	X34	
N150	X42 Z-49	
N160	Z-52	
N170	G40 G01 X52 Z-52	精加工程序结束点nf, 退出已加工表面
N180	G00 X100 Z100	回换刀点
N190	M05	主轴停止
N200	M00	程序停止
N210	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N220	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N230	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N240	G70 P70 Q170	调用精车循环
N250	G00 X100 Z100	回到换刀点
N260	M05	主轴停止
N270	M00	程序停止
N280	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补
N290	M03 S600	设置切槽时的转速为 600r/min
N300	G00 X35	

(续)

O4202		掉头加工左端外圆及螺纹
N310	Z-34	快速移动至切槽的起始点
N320	G01 X24 F60	切槽
N330	G01 X35	
N340	X100 Z100	回到换刀点
N350	M05	主轴停止
N360	M00	程序停止
N370	T0505	换 5 号外螺纹车刀，选择 5 号刀补
N380	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N390	G00 X35 Z-10	快速移动至切螺纹的起始点
N400	G92 X29.2 Z-31 F1.5	G92 第一次车螺纹，背吃刀量 0.8mm
N410	X28.6	G92 第二次车螺纹，背吃刀量 0.6mm
N420	X28.2	G92 第三次车螺纹，背吃刀量 0.4mm
N430	X28.04	G92 第四次车螺纹，背吃刀量 0.16mm
N440	X28.04	光刀
N450	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N460	M05	主轴停止
N470	M30	主程序结束并返回程序开头

4.3.5 实例小结

本例介绍了螺纹加工的一般工艺和流程，读者通过学习可以熟悉端面深孔加工循环（G74）、外圆、内圆切槽循环（G75）以及螺纹切削单一固定循环指令 G92 的应用。同时注意加工沟槽时，外圆切槽可供选择的刀位点有两个，编程时只需选择一个即可，切不可两个同时使用。

4.4 梯形螺纹加工

工件球头蜗杆如图 4-5 所示，毛坯为 $\phi 45\text{mm}\times 180\text{mm}$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺并编写其数控车加工程序。

4.4.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标
- 1) 能熟练地编制复杂零件的加工程序。

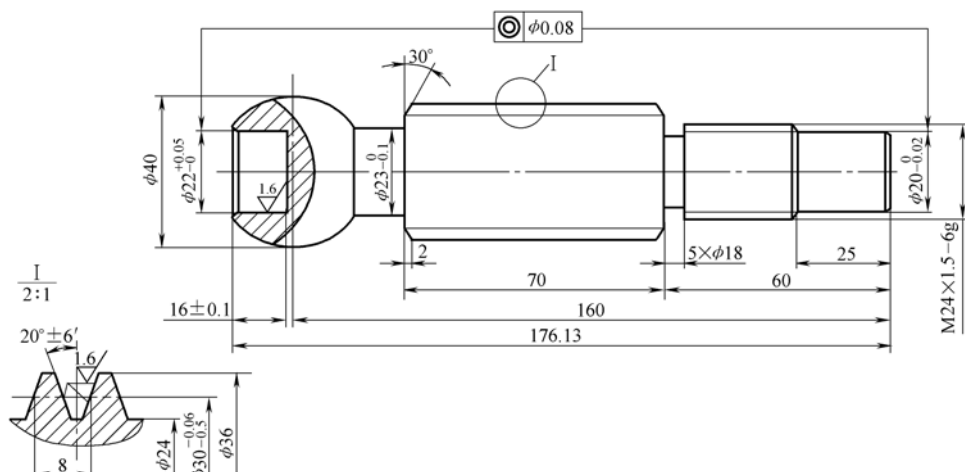


图 4-5 工件球头蜗杆零件图

2) 掌握车床加工中螺纹切槽循环指令 G92。

3) 熟悉螺纹复合循环指令 G76。

2. 注意事项

1) G92、G76 指令在编程时走刀路线和指令格式的区别。

2) 合理安排零件粗、精加工，保证零件尺寸精度。

3) 在加工本例中的圆锥和球头表面时，要注意使用刀具圆弧半径补偿。

4.4.2 工艺分析

1. 加工难点分析

(1) 螺纹的加工方法

1) 直进法。螺纹车刀刀具径向间歇进刀至牙深处，用加工指令 G32、G92 可以实现。采用此种方法车刀可以左右两侧刃同时切削，所受轴向切削分力有所抵消，部分地克服了因轴向切削分力导致车刀偏歪的现象。两侧面均匀磨损，能保证螺纹牙型清晰，但存在排屑不畅、散热不好、集中受力等问题。适用于切削 1.5mm 以下螺距的螺纹。

2) 斜进法。螺纹车刀沿牙型角方向斜向间隙进给至牙深处，用加工指令 G76 可以实现。采用此种方法加工螺纹时，螺纹车刀始终只有一个侧刃参加切削，另一刃因不切削而发生摩擦，这会导致积屑瘤、表面粗糙度值高和工件硬化。但是切屑从刀刃上卷开，形成条状屑，散热较好。适宜进行梯形螺纹的切削加工。

3) 左右侧面交替进刀。螺纹车刀沿牙型角方向交错间隙进给至牙深处，即刀具沿左右交替切削每次径向进给时，横向向左或向右移动一定距离，使车刀只有一侧参加切削。此方法一般用于通用车床和螺距在 3mm 以上的螺纹和梯形螺

纹的加工，在数控车床上编程较复杂。

在此例中考虑到具体情况，使用 G92 加工普通螺纹，使用 G76 加工梯形螺纹。

(2) 梯形螺纹的测量 梯形螺纹的测量常用三针测量法，如图 4-6 所示。测量时所用的三根圆柱形量针，是由量具厂专门制造的。在没有量针的情况下，也可用三根直径相等的优质钢丝或新的钻头柄部代替。测量时，把三根量针放置在螺纹两侧相对应的螺旋槽内，用千分尺量出两边量针顶点之间的距离 M 。根据 M 值可计算出螺纹中径的实际尺寸。三针测量时， M 值和中径的计算公式如下：

$$M = d_2 + 4.864d_D - 1.866P$$

式中， M 为三针测量时的理论值； d_D 为测量用量针的直径。

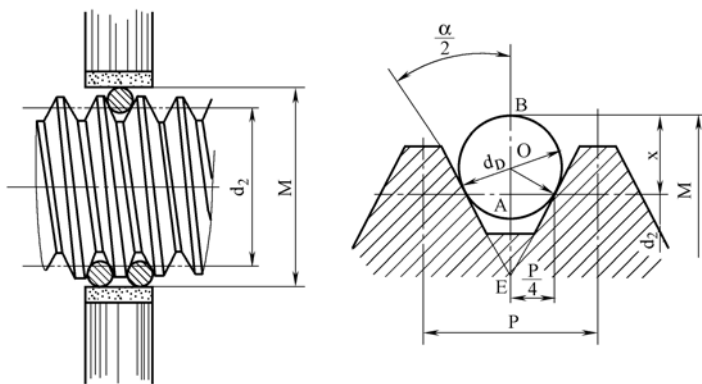


图 4-6 三针法测量螺纹中径

(3) FANUC 螺纹加工指令

1) 单一固定循环加工螺纹

G92 X(U)_ Z(W)_ F_;

2) 复合固定循环加工螺纹

G76 P(m)(r)(a) Q(min) R(d)

G76 X(U)_ Z(W)_ R(i) P(k) Q(Δd) F_

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件的加工长度为 40mm，卡盘的限位安全距离为 5mm，因此零件应伸出卡盘总长为 45mm 以上。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为 $\phi 45\text{mm}\times 180\text{mm}$ ，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在（X47，Z2）。

(3) 确定加工工艺路线

- 1) 粗、精加工右端外轮廓至尺寸要求。
- 2) 切螺纹退刀槽（ $5\times\phi 18$ ）。
- 3) 切槽（ $13.64\times\phi 23$ ）。
- 4) 粗、精加工螺纹至尺寸要求。
- 5) 粗、精加工蜗杆螺纹至尺寸要求。
- 6) 钻孔（ $\phi 20\times 16$ ）。
- 7) 车左端面至长度尺寸要求。
- 8) 粗、精加工左端内轮廓至尺寸要求。
- 9) 粗、精加工左端外轮廓至尺寸要求。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量参数表如表 4-8 所示。

表 4-8 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1200	100
T0303	切槽刀（刀宽为 5mm）		600	60
T0404	外螺纹刀		500	20
T0505	蜗杆螺纹刀		500	
T0606	内孔车刀	1	600	100

4.4.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 4-9 所示。

表 4-9 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm，25~50mm，50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	

(续)

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
半径样板	R7~R15.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°,55°	各 1	
镗刀		1	
可转位外圆车刀	R型、V型、T型、S型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
梯形螺纹刀	P=8mm	1	
切槽刀	刀宽为 5mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

4.4.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O4601		工件右端加工程序
N10	G98 G50	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N50	G00 X47 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令，并指定粗切量为 2mm
N60	G71 P70 Q150 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段，精车余量和粗车进给速度，其转速由前面的程序段已指定
N70	G00 X18	精加工轮廓的起始点
N80	G01 Z0 F100	
N90	X20 Z-1	
N100	Z-25	
N110	X23.8 Z-26	
N120	Z-60	
N130	X29	
N140	X36 Z-62	
N150	Z-145	精加工程序结束

(续)

O4601		工件右端加工程序
N160	G00 X100 Z100	回换刀点
N170	M05	主轴停止
N180	M00	程序停止
N190	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N200	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N210	G00 47 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N220	G70 P70 Q150 F100	调用精车循环并设定精车进给量
N230	G00 X100 Z100	回到换刀点
N250	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补
N250	M03 S600	设置切槽时的转速为 600r/min
N260	G00 X40 Z-60	快速移动至切槽的起始点
N270	G01 X18 F60	外圆切槽
N280	G00 X40	
N290	Z-135	快速移动至切槽的起始点
N300	G75 R1	径向切槽循环
N310	G75 X23 Z-143.64 P3000 Q3000 F60	
N320	G00 X100 Z100	回到换刀点
N330	T0404	换 4 号端面外螺纹刀, 选择 4 号刀补
N340	M03 S500	设置螺纹切削时的转速为 500r/min
N350	G00 X40 Z-22	快速移动至螺纹切槽循环的起始点
N360	G92 X22.9 Z-58 F1.5	G92 分四次车削螺纹
N370	X22.4	
N380	X22.15	返回到换刀点
N390	X22.05	主轴停止
N400	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N410	T0505	换 5 号梯形螺纹车刀, 选择 5 号刀补
N420	G00 47 Z2	刀具移动到螺纹复合固定循环起点
N430	G76 P020540 Q50 R80	螺纹加工复合固定循环加工梯形螺纹
N440	G76 X23800 Z-138500 P1200 Q500 F8	
N450	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N460	M05	主轴停止
N470	M30	主程序结束并返回程序开头

(续)

O4602		掉头加工左端外圆及内孔
N10	G98 G50	程序初始化
N20	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N30	T0606	换 6 号镗孔刀，选择 6 号刀补
N50	G00 X18 Z5	刀具移动到单一复合固定循环起点
N50	G90 X21 Z-16 F100	镗孔
N60	X22	
N70	G00 X100 Z100	回换刀点
N80	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N90	T0101	换 1 号菱形孔刀，选择 1 号刀补
N100	G00 X47 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N110	G73 U12 R6	粗车复合固定循环指令加工球头，设置走刀次数为 6 次
N120	G73 P130 Q160 U0.5 W0 F150	指定循环所属的首末程序段，精车余量和粗车进给速度，其转速由前面的程序段已指定
N130	G00 X23.66	精加工程序起点
N140	G01 Z0 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N150	G03 X23 Z-32.49 R20	
N160	G01 Z-35	
N170	G00 X100 Z100	回换刀点
N180	M05	主轴停止
N190	M00	程序停止
N200	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N210	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N220	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N230	G70 P130 Q160	调用精车循环
N240	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N250	M05	主轴停止
N260	M30	主程序结束并返回程序开头

4.4.5 实例小结

本节以工件球头蜗杆为例，介绍了较为复杂的螺纹加工工艺与编程，读者通过学习可以熟悉 G92、G76 指令的使用，以及在编程时走刀路线的各自特点与区别。在加工本例中的圆锥和球头表面时，需要合理使用刀具圆弧半径补偿，以确保实现最终的效果。

4.5 外圆锥面加工

在数控车床上加工图 4-7 所示的外圆锥面零件，毛坯为铸造成形的工件，余量为 7mm，材料为 45 号钢。

4.5.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 掌握车床加工中的 G02、G03 圆弧插补指令。
- 2) 掌握单一固定循环 G90 和仿形车粗车复合固定循环指令 G73 的使用。

2. 注意事项

G73 循环主要用于车削固定轨迹的轮廓。这种复合循环可以高效地切削铸造成形、锻轧成形或已粗车成形的工件。对不具类似成形条件的工件，若采用 G73 进行编程与加工，反而会增加刀具在切削过程中的空行程，而且也不便于计算粗车余量。

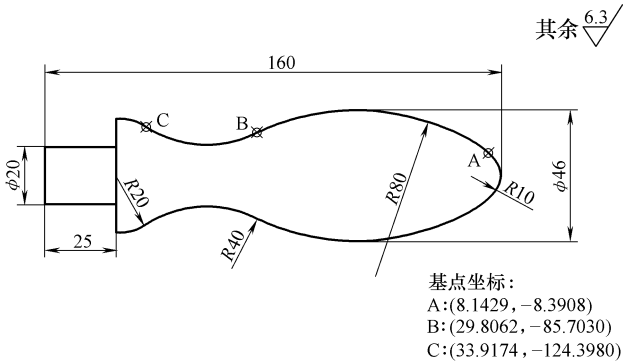


图 4-7 外圆锥面零件

4.5.2 工艺分析

1. 加工难点分析

手柄外形加工可用 G73 指令，它的含义是沿着手柄的形状进行切削。
G73 的指令格式如下：
G73 U(Δi) W(Δk) R(d);
G73 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)
在编程时，应特别注意 G73 指令后 U(Δi)、W(Δk)、R(d)三个参数的含义及联系。其中， Δi 是 X 轴方向的退刀距离参数指定，也是毛坯的余量，按半径值编程； Δk 是 Z 轴方向退刀距离参数指定，也是毛坯的余量，按半径值编程；d 是分割次数，这个值与粗加工重复次数相同。

2. 分析加工方案

- 本例工件的加工方案如下：
- (1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长

度（应将机床的限位考虑进去）。零件需要加工两端，因此需要考虑两次装夹的位置。考虑到右端 $\phi 20\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的台阶可以用来装夹，采用一夹一顶的装夹方式，因此先加工右端，然后再掉头加工左端。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在（X100，Z100）。

2) 起刀点：为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在（X52，Z2）。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工路线如下：

- 1) 粗车加工工件左端轮廓。
- 2) 精车加工工件左端轮廓，利用外径千分尺保证尺寸精度要求。
- 3) 掉头装夹，手动车右端保证总长。
- 4) 粗车工件右端轮廓。
- 5) 精车加工工件右端轮廓，利用外径千分尺保证尺寸精度要求。

3. 选择刀具与切削用量

该零件的刀具与切削用量如表 4-10 所示。

表 4-10 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度（mm/min）
T0101	90°外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	90°外圆车刀（精）	0.5	1200	100
T0303	35°外圆车刀（粗）	1	600	150
T0404	35°外圆车刀（精）	0.4	1000	80

4.5.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 4-11 所示。

表 4-11 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	精 度	数 量
车刀	45°机夹偏刀		1
车刀	90°硬质合金机夹外圆车刀		1
车刀	35°硬质合金机夹外圆车刀		2
游标卡尺	0~150mm	0.02mm	1
百分表	0~10mm（0.01）	0.01mm	1
磁性表座			1

(续)

名 称	规 格 (精度)	精 度	数 量
半径样板	R7~R14.5mm,R15~R25mm		1
其他	常用数控车床辅具		若干

4.5.4 程序清单与注释

O4401		工件左端加工程序名
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化,快速返回换刀点
N20	M03 S800 F200	主轴正转,转速为 800r/min;设定进给量 200mm/min
N30	T0101	换 1 号刀,选择 1 号刀补
N40	G00 G42 X52 Z2	刀具移动到固定循环起点
N50	G90 X34 Z-25	固定循环指令加工圆柱表面
N60	X30	固定循环模态调用,下同
N70	X26	
N80	X22	
N90	X21	
N100	G40 G00 X100 Z100	返回换刀点
N110	M05	主轴停止,此时可以测量加工工件的尺寸
N120	M00	程序停止
N130	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N140	T0202	换 2 号精车刀,选择 2 号刀补
N150	G42 G00 52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N160	G90 X20 Z-25	固定循环指令精加工圆柱表面
N170	G40 G00 X100 Z100	返回换刀点
N180	M05	主轴停止
N190	M30	程序结束并返回程序开头
O4402		掉头加工右端外圆
N10	G98 G40 X100 Z100	程序初始化,快速返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转,转速为 800r/min
N30	T0202	换 3 号刀,选择 3 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点

(续)

O4402		掉头加工右端外圆
N50	G73 U7 W7 R5	粗车复合固定循环指令，设置走刀次数为 5 次
N60	G73 P70 Q130 U0.5 W0.3 F150	指定循环所属的首末程序段 70~130，设置精车余量和粗车进给速度
N70	G42 G00 X0 Z2	精加工程序起点
N80	G01 X0 Z0 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N90	G03 X8.1429 Z-8.3908 R10	
N100	G03 X29.8062 Z-85.7030 R80	
N110	G02 X33.9174 Z-124.3980 R40	
N120	G03 X40 Z-135 R20	
N130	G01 Z-137	精加工程序结束
N140	G00 X100 Z100	回换刀点
N150	M05	主轴停止
N160	M00	程序停止
N170	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N180	T0404	换 4 号精车刀，选择 4 号刀补
N190	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G70 P70 Q160	调用精车循环
N210	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N220	M05	主轴停止
N230	M30	主程序结束并返回程序开头

4.5.5 实例小结

本例介绍了外圆锥面的加工工艺与流程，本例主要涉及单一固定循环 G90 和仿形车粗车复合固定循环指令 G73 的使用，G73 循环主要用于车削固定轨迹的轮廓，可以高效地切削铸造成形、锻轧成形或已粗车成形的工件。但对不具类似成形条件的工件不要使用，否则适得其反，会增加刀具在切削过程中的空行程。

4.6 槽加工（普通切槽刀）

在数控车床上加工如图 4-8 所示的槽加工零件，材料为 45 钢，选择毛坯尺寸为φ30mm×75mm 的圆棒料。

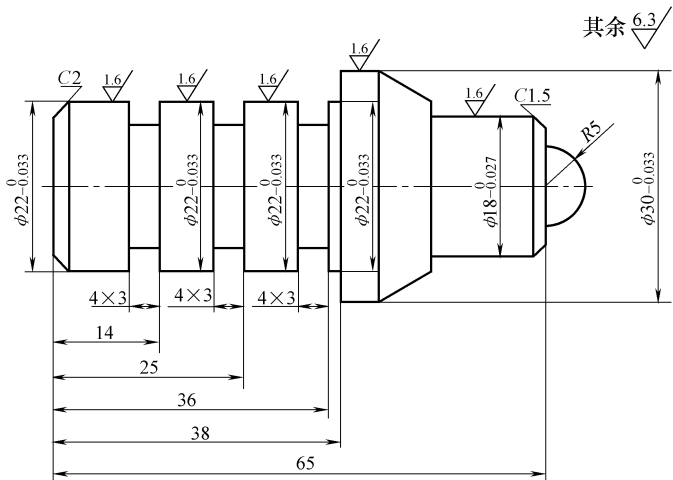


图 4-8 槽加工（普通切槽刀）零件

4.6.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 外圆槽刀的使用方法。
- 2) 掌握车床加工中的外圆、内圆切槽循环（G75）。

2. 注意事项

- 1) G75 指令各参数的含义。
- 2) 外圆槽加工中精加工余量的确定方法。
- 3) 加工沟槽时，注意对刀点和沟槽起点坐标的关系。外圆切槽可供选择的刀位点有两个，编程时只需选择一个即可，切不可两个同时使用。

4.6.2 工艺分析

1. 加工难点分析

外圆槽加工可用 G75 指令，它的含义是 X 向切槽循环。它的加工路线为：从起点径向（X 轴）进给、回退、再进给……直至切削到与切削终点 X 轴坐标相同的位置，然后轴向退刀、径向回退至与起点 X 轴坐标相同的位置，完成一次径向切削循环；径向再次进刀后，进行下一次径向切削循环；切削到切削终点后，返回起点，径向切槽复合循环完成。G75 的轴向进刀和径向进刀方向由切削终点 X(U)、Z(W)与起点的相对位置决定，此指令用于在工件外圆、内孔加工环形槽，径向断续切削起到断屑、及时排屑的作用。

G75 的格式如下：

G75 R(e)
G75 X(u) Z(w) P(Δi) Q(Δk) R(Δd) F(f)

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

（1）装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件需要加工两端，因此需要考虑两次装夹的位置。考虑到左端φ22mm 的外圆可以用来装夹，采用一夹一顶的装夹方式，因此先加工左端外轮廓并切槽，然后再掉头，校正工件后加工右端外轮廓。

（2）位置点

1）换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在（X100，Z100）。

2）起刀点：零件材料的毛坯尺寸为φ50mm×90mm，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在（X37，Z2）。

（3）确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

- 1）粗车加工工件左端外轮廓。
- 2）精车加工工件右端轮廓，利用外径千分尺保证尺寸精度要求。
- 3）车削径向槽。
- 4）掉头装夹，手动车左端保证总长。
- 5）粗车工件左端轮廓。
- 6）精车加工工件左端轮廓，利用外径千分尺保证尺寸精度要求

3. 选择刀具与切削用量

该零件的刀具与切削用量如表 4-12 所示。

表 4-12 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度(mm/min)
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1200	100
T0303	切槽刀		600	60

4.6.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 4-13 所示。

表 4-13 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	

(续)

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
千分尺	0～25mm,25～50mm,50～75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0～320°（2'）	1	
百分表	0～10mm（0.01mm）	1	
半径样板	R7～R14.5mm,R15～R25mm	1	
内径量表	18～35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02～1mm	1 副	
外圆车刀	93°,45°	各 1	
可转位外圆车刀	R型、V型、T型、S型刀片	各 1	选用
切槽刀	刀宽为 5mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

4.6.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O4501		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化，快速返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X37 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令并指定背吃刀量为 2mm，退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q110 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段N70～N110，X轴留精车余量 0.5mm，Z轴留精车余量 0.5mm，进给速度为 200mm/min
N70	G00 X18 Z2	精加工程序起始点ns，车削轮廓的起点
N80	G01 Z0	
N90	X22 Z-2	
N100	Z-38	
N110	G01 X52 Z-32	精加工程序结束点nf，退出已加工表面
N120	G00 X100 Z100	回换刀点

(续)

O4501		工件右端加工程序
N130	M05	主轴停止，此时可以测量加工工件的尺寸
N140	M00	程序停止
N150	M03 S1200	设置精车转速为 1200r/min
N160	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N170	G00 37 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N180	G70 P70 Q110 F100	调用精车循环，并设定精车进给量
N190	G00 X100 Z100	回到换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M00	程序停止
N220	M03 S600	设置切槽时的转速为 600r/min
N230	T0303	换 3 号切槽刀，选择 3 号刀补（刀宽 4mm）
N240	G00 X24 Z-14	快速移动到切槽循环的起始点
N250	G75 R0.5	外圆切槽循环，指定退刀量 0.5mm
N260	G75 X16 Z-36 P1000 Q11000 F60	
N270	G00 X100	刀具沿径向快速退出
N280	Z100	回到换刀点
N290	M05	主轴停止
N300	M30	程序停止
O4502		掉头加工左端外圆及螺纹
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G42 G00 X37 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令，并指定背吃刀量为 2mm，退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q170 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段 70~170，X轴留精车余量 0.5mm，Z轴留精车余量 0.5mm，进给速度为 200mm/min
N70	G00 X0 Z2	精加工程序起始点ns，车削轮廓的起点
N80	G01 X0 Z0 F100	精加工进给速度 100mm/min

(续)

O4502		掉头加工左端外圆及螺纹
N90	G03 X10 Z-5 R5	
N100	G01 X15	
N110	X18 Z-6.5	
N120	Z-20	
N130	X22	
N140	X30 Z-37	
N150	Z-42	
N160	G01 X32	精加程序结束
N170	G00 X100 Z100	回换刀点
N180	M05	主轴停止
N190	M00	程序停止
N200	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N210	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N220	G00 X37 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N230	G70 P70 Q160	调用精车循环
N240	G00 X100 Z100	回到换刀点
N250	M05	主轴停止
N260	M30	主程序结束并返回程序开头

4.6.5 实例小结

本节介绍了槽加工中普通切槽刀的加工工艺与编程，主要涉及 G75 指令的应用，读者学习时候需要掌握 G75 指令各参数的含义；此外掌握外圆槽加工中精加工余量的确定方法，是本例学习的另一个重点。

4.7 槽加工（专用切槽刀）

在数控车床上加工图 4-9 所示的轴类零件，材料为 45 钢，选择毛坯尺寸为 $\phi 30\text{mm}\times 84\text{mm}$ 的圆棒料，通孔已经加工完毕，试子程序编写其数控车加工程序。

4.7.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 了解子程序调用指令 M98 的使用方法。

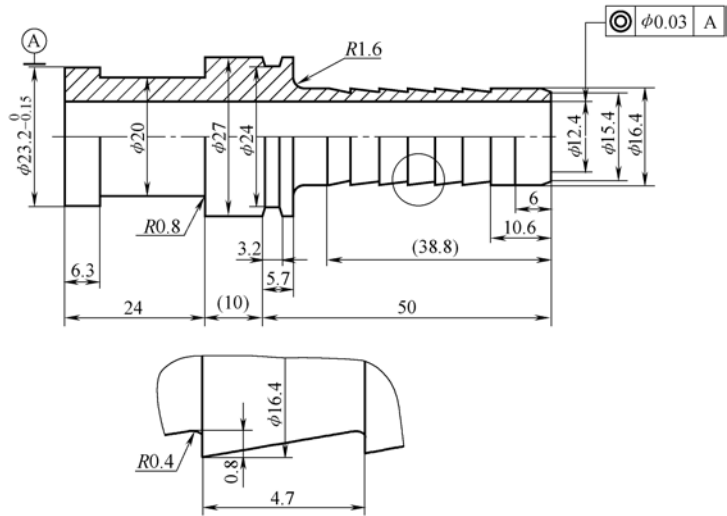


图 4-9 （专用切槽刀）零件

- 2) 使用子程序加工槽和阶梯台。
- 2. 注意事项
 - 1) M98 指令后各参数的含义。
 - 2) 在编写子程序的过程中，最好采用增量坐标方式进行编程，以避免失误。
 - 3) 在刀尖圆弧半径补偿模式中的程序不能被分隔指令。

4.7.2 工艺分析

1. 加工难点分析

1) 在编写此工件的精加工程序时，由于工件的轮廓由许多相类似的形状组成。因此，采用子程序的方式进行编程，可实现简化编程的目的。在加工此工件锯齿形凹槽时，采用图 4-10 所示的专用的切槽刀具（刀宽设为 3mm）进行加工，以假想点 A 作为刀位点，则加工第一条槽时，刀位点的 Z 向坐标为 $-10.6 - 3 = -13.6$ 。

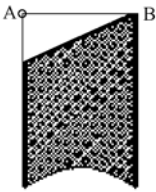


图 4-10 专用的切槽刀具

2) 子程序的调用可通过辅助功能指令 M98 指令进行，同时在调用格式中将子程序的程序号地址改为 P，其常用的子程序调用格式有两种：

- ① 格式一 M98P××××L××××

其中，地址符 P 后面的 4 位数字为子程序号，地址 L 后面的数字表示重复调用的次数，子程序号及调用次数前的 0 可省略不写。如果只调用子程序一次，则地址 L 及其后的数字可省略。

② 格式二 M98P××××××××

地址 P 后面的 8 位数字中，前 4 位表示调用次数，后 4 位表示子程序号，采用这种调用格式时，调用次数前的 0 可以省略不写，但子程序号前的 0 不可省略。

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

(1) 装夹方案 考虑到该零件的内孔表面已经加工完毕，且属于薄壁零件，直接在内孔插入心轴定位加工外圆。首先使用自定心卡盘定位加工左端外轮廓，然后再掉头，加工右端外轮廓。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为 $\phi 30\text{mm} \times 84\text{mm}$ ，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在 (X32, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

- 1) 粗、精车加工工件右端外轮廓。
- 2) 车削锯齿形径向凹槽。
- 3) 粗、精车加工工件的左端外轮廓。
- 4) 车削加工径向凹槽。

3. 选择刀具与切削用量

该零件的刀具与切削用量如表 4-14 所示。

表 4-14 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/ (r/min)	进给速度/ (mm/min)
T0101	外圆车刀(粗)	2	800	200
T0202	外圆车刀(精)	0.5	1 200	100
T0303	专用切槽刀	1	600	80
T0404	切槽刀		600	60

4.7.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 4-15 所示。

表 4-15 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格 (精度)	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm (0.02mm)	1	
千分尺	0~25mm, 25~50mm, 50~75mm (0.01mm)	各 1	

(续)

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
万能量角器	0~320°（2'）	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
半径样板	R7~R14.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°,45°	各 1	
外圆车刀（右偏）		1	
可转位外圆车刀	R型、V型、T型、S型刀片	各 1	选用
切槽刀	刀宽为 5mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

4.7.4 程序清单与注释

O4701		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化，快速返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X32 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令，并指定背吃刀量为 2mm，退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q120 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段 70~120，X轴留精车余量 0.5mm，Z轴留精车余量 0.5mm，进给速度为 200mm/min
N70	G00 X15.4 Z2	精加程序起始点ns，车削轮廓的起点
N80	G01 Z0	
N90	X16.4 Z-6	
N100	Z-42.7	
N110	G02 X19.6 Z-44.3 R1.6	
N120	G01 X32	精加程序结束点nf，退出已加工表面
N130	G00 X100 Z100	回换刀点
N140	M05	主轴停止，此时可以测量加工工件的尺寸

(续)

O4701		工件右端加工程序
N150	M00	程序停止
N160	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N170	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N180	G00 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N190	G70 P70 Q120 F100	调用精车循环并设定精车进给量
N200	G00 X100 Z100	回到换刀点
N210	M03 S600	设置切槽时的转速为 600r/min
N220	T0303	换 3 号专用切槽刀, 选择 3 号刀补
N230	G42 G00 X17.4 Z-13.6	快速移动至切槽的起始点并建立刀具补偿
N240	M98 P64702	外圆切槽循环, 指定退刀量 0.5mm
N250	G40 G00 X100 Z100	刀具沿径向快速退出
N260	M05	主轴停止
N270	M30	程序停止并返回程序开头
O4702		切槽子程序
N10	G01 U-0.8 F80	增量式坐标方式
N20	G02 U-0.78 W-0.47 R0.4	
N30	G01 U1.58 W-4023	
N40	U1	
N50	M99	子程序结束, 返回主程序
O4703		工件左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化, 快速返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N40	G00 X32 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令并指定背吃刀量为 2mm, 退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q110 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段N70~N110, X轴留精车余量 0.5mm, Z轴留精车余量 0.5mm, 进给速度为 200mm/min

(续)

O4703		工件左端加工程序
N70	G00 X23.2 Z2	精加程序起始点ns，车削轮廓的起点
N80	G01 Z-24	
N90	X27	
N100	Z-40	
N110	G01 X32	精加程序结束点nf，退出已加工表面
N120	G00 X100 Z100	回换刀点
N130	M05	主轴停止，此时可以测量加工工件的尺寸
N140	M00	程序停止
N150	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N160	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N170	G00 X32 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N180	G70 P70 Q110 F100	调用精车循环，并设定精车进给量
N190	G00 X100 Z100	回到换刀点
N200	M03 S600	设置切槽时的转速为 600r/min
N210	T0404	换 4 号切槽刀，选择 4 号刀补（刀宽 3.2mm）
N220	G00 X25 Z-9.5	快速移动至切槽循环的起始点
N230	G75 R0.5	外圆切槽循环，指定退刀量 0.5mm
N240	G75 X20 Z-24 P3000 Q2000 F60	
N250	G00 X25	刀具沿径向快速退出
N260	Z-27.2	回到切槽进刀点
N270	G01 X24	切槽
N280	G00 X100	刀具沿径向快速退出
N290	Z100	退刀至换刀点
N300	M05	主轴停止
N310	M30	程序停止并返回程序开头

4.7.5 实例小结

本节介绍了槽加工中专用切槽刀的加工工艺与流程，重点使用子程序调用指令 M98 进行实现，因此读者需要熟悉 M98 指令各参数的含义；同时为了避免失误，建议在编写子程序的过程中，最好采用增量坐标方式进行编程。

4.8 椭圆外形加工

在数控车床上加工图 4-11 所示的椭圆外形零件，材料为 45 钢，选择毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 85\text{mm}$ 的圆棒料，试编写其数控车加工程序。

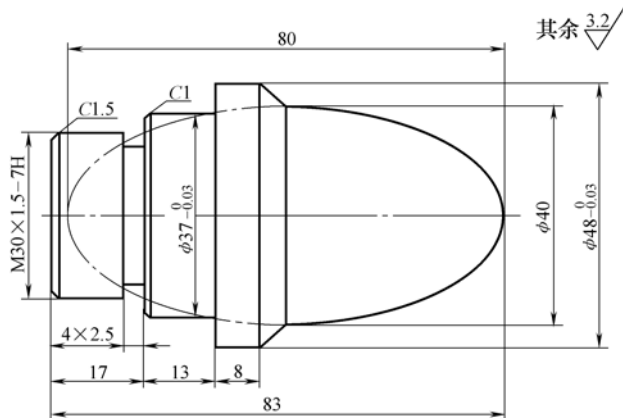


图 4-11 椭圆外形零件

4.8.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 能根据零件图正确编制椭圆弧的加工程序，并且要掌握基本的尺寸计算。
- 2) 熟练掌握毛坯切削循环的使用条件和编程方法。

2. 注意事项

对于 FANUC oi-mate 系统来说，G73 可以进行宏程序加工。若是有些系统不能用 G73 来加工，也可以利用调用子程序的加工方法，走刀路径完全一样。但是 G71 不能进行加工。

4.8.2 工艺分析

1. 加工难点分析

- (1) 宏程序常用的控制指令 控制指令起到控制程序流向的作用。

1) 分支语句

格式一：GOTO n;

例：GOTO 1000

该例为无条件转移。当执行该程序段时，将无条件转移到 N1000 程序段执行。

格式二：IF [条件表达式]GOTO n;

例：IF [#1GT#100]GOTO 1000

该例为有条件转移语句。如果条件成立，则转移到 N1000 程序段执行；如果条件不成立，则执行下一程序段：宏程序条件表达式的种类如表 4-16 所示。

表 4-16 宏程序条件表达式的种类

条 件	意 义	示 例
#i EQ #j	等于 (=)	IF [#5EQ#6]GOTO 100
#i NE #j	不等于 (≠)	IF [#5NE100]GOTO 100
#i GT #j	大于 (>)	IF [#5GT#6]GOTO 100
#i GE #j	大于等于 (≥)	IF [#5GE100]GOTO 100
#i LT #j	小于 (<)	IF [#5LT#6]GOTO 100
#i LE #j	小于等于 (≤)	IF [#5LT100]GOTO 100

注意：条件判断中条件的表示方法

2) 循环指令循环指令格式为

WHILE[条件表达式]DOm(m=1、2、3…)

.....

ENDm:

当条件满足时，就循环执行 WHILE 与 END 之间的程序段 m 次；当条件不满足时，就执行 ENDm 的下一个程序段。

(2) 用宏程序加工椭圆的通用格式 例如，椭圆的方程为 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$ ，宏程序如下：

#101=Z	方程中的Z坐标（椭圆中心点在工件坐标系中的坐标）
#102= SQRT[a*a-#101*#101]*b/a	
#103=#101-a	工件坐标系中的Z坐标
#104=#102*2	工件坐标系中的X坐标

只需要套用控制指令中的控制指令就可以完成椭圆弧的切削。

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件需要加工两端，因此需要考虑两次装夹的位置。考虑到左端 $\phi 37\text{mm}$ 的外圆可以用来装夹，因此先加工左端外轮廓并加工螺纹，然后再掉头，校正工件后加工右端外轮廓。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在（X100，Z100）。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm}\times 85\text{mm}$ ，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在（X52，Z2）。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

- 1) 粗、精车加工工件左端外轮廓。
- 2) 车削外螺纹。
- 3) 粗、精车加工工件的右端外轮廓。

3. 选择刀具与切削用量

该零件的刀具与切削用量如表 4-17 所示。

表 4-17 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0303	切槽刀		600	60
T0404	外螺纹刀		500	

4.8.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 4-18 所示。

表 4-18 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
半径样板	R7~R14.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	

(续)

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
外圆车刀	93°,45°	各 1	
外圆车刀（右偏）		1	
可转位外圆车刀	R型、V型、T型、S型刀片	各 1	选用
切槽刀	刀宽为 5mm	1	
外螺纹刀	三角形螺纹	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

4.8.4 程序清单与注释

O4801		加工左端外圆及螺纹
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令，并指定背吃刀量为 2mm，退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q160 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段N70～ N170，X轴留精车余量 0.5mm，Z轴留精车余量 0.5mm，进给速度为 200mm/min
N70	G00 X27 Z2	精加工程序起始点ns，车削轮廓的起点
N80	G01 Z0 F100	精加工进给速度 100mm/min
N90	G01 X29.8 Z-1.5	
N100	Z-17	
N110	X35	
N120	X37 Z-18	
N130	Z-30	
N140	X48	
N150	Z-34	
N160	G01 X52 Z-52	精加工程序结束点nf，退出已加工表面
N170	G00 X100 Z100	回换刀点

(续)

O4801		加工左端外圆及螺纹
N180	M05	主轴停止
N190	M00	程序停止
N200	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N210	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N220	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N230	G70 P70 Q160	调用精车循环
N240	G00 X100 Z100	回到换刀点
N250	M05	主轴停止
N260	M00	程序停止
N270	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补
N280	M03 S600	设置切槽时的转速为 600r/min
N290	G00 X31	
N300	Z-16	快速移动至切槽的起始点
N310	G01 X25 F60	切槽
N320	G01 X35	
N330	X100 Z100	回到换刀点
N340	M05	主轴停止
N350	M00	程序停止
N360	T0404	换 5 号外螺纹车刀, 选择 5 号刀补
N370	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N380	G00 X35 Z3	快速移动至切螺纹的起始点
N390	G92 X29.2 Z-15 F1.5	G92 第一次车螺纹, 背吃刀量 0.8mm
N400	X28.6	G92 第二次车螺纹, 背吃刀量 0.6mm
N410	X28.2	G92 第三次车螺纹, 背吃刀量 0.4mm
N420	X28.04	G92 第四次车螺纹, 背吃刀量 0.16mm
N430	X28.04	光刀
N440	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N450	M05	主轴停止
N460	M30	主程序结束并返回程序开头

(续)

O4802		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G73 U12 R12	粗车复合固定循环指令并指定背吃刀量为 2mm, 退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q160 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段N70~N170, X轴留精车余量 0.5mm, Z轴留精车余量 0.5mm, 进给速度为 200mm/min
N70	G00 G42 X0 Z2	精加工程序起始点ns, 车削轮廓的起点
N80	G01 Z0 F100	精加工进给速度 100mm/min
N90	#101=40	定义变量#101 为Z坐标, 并赋初值, 赋值的大小与工件椭圆起始点的坐标有关
N100	#102=SQRT[40*40-#101*#101]*20/40	定义变量#102 为X坐标, 并根据椭圆方程 $\frac{X^2}{20^2} + \frac{Z^2}{40^2} = 1$ 即 $X = \frac{20}{40} \sqrt{40^2 - Z^2}$ 计算出X值
N110	#103=#101-40	调整Z坐标
N120	#104=#102*2	X坐标应该是直径值
N130	G01 X#104 Z#103	调整坐标, 用G01 直线插补拟合椭圆
N140	#101=#101-0.1	设置Z向步进量
N150	IF[#101 GE 0] GOTO100	当Z坐标≥0 时, 跳转至N100 执行循环
N160	G01 X40 Z-40	
N170	X48 Z-45	
N180	Z-50	精加工程序结束点nf, 退出已加工表面
N190	G00 X100 Z100	回换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M00	程序停止
N220	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N230	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N240	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N250	G70 P70 Q160	调用精车循环
N260	G00 X100 Z100	回到换刀点

(续)

O4802		工件右端加工程序
N270	M05	主轴停止
N280	M00	程序停止
N290	M30	程序结束并返回程序开头

4.8.5 实例小结

本例介绍了椭圆外形的加工工艺与编程，读者学习时候应注意毛坯切削循环的使用条件，同时注意对于 FANUC oi-mate 系统来说，G73 可以进行宏程序加工。若是有些系统不能用 G73 来加工，则可以通过调用子程序的方法来实现，走刀路径完全一样。

第 5 章 套类零件加工编程案例

套类零件是车削加工的典型零件之一，包括锥套、轴套、盘套等几类。本章通过实例讲解 FANUC 系统中常用指令在套类零件加工中的应用。

5.1 锥套零件加工

锥套零件如图 5-1 所示，毛坯为 $\phi 60\text{mm} \times 85\text{mm}$ 的 45 钢，端面手工加工，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

5.1.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

1) 熟悉基本编程指令 G00、G01、G03 等以及内孔加工刀具半径补偿 G41、G42 的使用方法。

2) 了解使用外圆、内圆粗车循环 G71、精车循环指令 G70 内孔车削方法。

2. 注意事项

要正确选择程序起始点的位置，因为起始点既是程序循环的起点，又是程序循环的终点。一般宜选择钻出的内空表面 1~2mm 的地方。

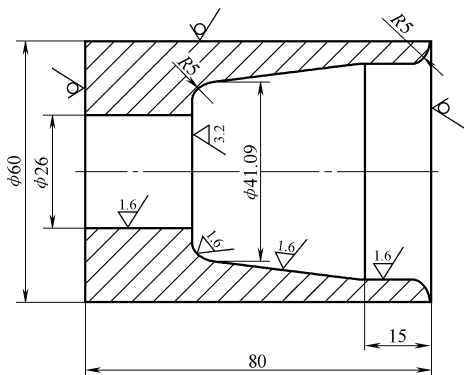


图 5-1 锥套零件

5.1.2 工艺分析

1. 加工难点分析

在加工锥套面时，采用复合固定循环编程指令 G71 编写加工程序。在 G71 的指令格式中的 Δu 、 Δw 指的是精加工余量值，该值按其余量的方向有正负之分。 Δu 的值若为正值，加工的是外圆；若为负值，则说明加工的是内孔。

此外，由于刀尖圆弧半径补偿对圆柱和端面尺寸没有影响，而对圆锥和圆弧表面尺寸有较大影响。所以在本例加工中，由于涉及圆锥面的配合加工，所以在加工圆锥面时必须采用刀具半径补偿功能。

2. 分析加工方案

(1)装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，外表面已经加工完毕。确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件的加工长度为 80mm，卡盘的限位安全距离为 5mm，因此零件应伸出卡盘总长为 50mm 以上。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在（X100，Z100）的位置。

2) 起刀点：由于加工内孔，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在（X20，Z2）的位置上。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

1) 先用中心钻钻出一个预制中心孔来，再用 $\phi 24\text{mm}$ 的麻花钻钻出一个通孔来。

2) 用自定心卡盘来装夹工件外圆，加工工件的内孔。

3. 选择刀具与切削用量

零件的刀具与切削用量如表 5-1 所示。

表 5-1 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	内孔镗刀（粗）	1	600	120
T0202	内孔镗刀（精）	0.3	1 000	60

5.1.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 5-2 所示。

表 5-2 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格	精 度	数 量
镗刀	内孔镗刀		2
麻花钻	中心钻， $\phi 24\text{mm}$		各 1
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖		各 1
游标卡尺	0~150mm	0.02mm	1
其他	常用数控机床辅具		若干

5.1.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O5201		工件右端加工程序
N10	G98 G50	程序初始化
N20	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X20 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U1 R0.5	粗车内孔复合固定循环指令，指定粗切量为 1mm
N60	G71 P70 Q150 U-0.3 W0.1 F120	指定循环所属的首末程序段 N70~N140，X 向精车余量 0.3mm，Z 向精车余量 0.1mm
N70	G41 G00 X60 Z2	精加工轮廓的起始点 ns
N80	G01 Z0	
N90	G02 X50 Z-5 R5	
N100	G01 Z-15	
N110	X41.09 Z-50.62	
N120	G03 X31.17 Z-55 R5	
N130	G01 X26	
N140	Z-82	加工内圆柱面
N150	G40 G01 X20	退出加工表面，精加程序结束 nf
N160	G00 X100 Z100	返回换刀点
N170	M05	主轴停止
N180	M00	程序暂停
N190	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N200	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N210	G00 X20 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N220	G70 P70 Q150 F100	调用精车循环
N230	G40 G00 X100 Z100	回到换刀点,取消圆弧半径补偿
N240	M05	主轴停止
N250	M30	程序结束，并返回程序开头

5.1.5 实例小结

本例介绍了锥套零件加工工艺及编程，主要涉及外圆、内圆粗车循环 G71、精车循环指令 G70 的使用。读者学习时候应该正确选择程序起始点的位置，熟练掌握内孔加工刀具半径补偿 G41、G42 的使用方法。

5.2 轴套零件加工

轴套零件如图 5-2 所示，毛坯为 $\phi 60\text{mm} \times 60\text{mm}$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

5.2.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

1) 掌握车床加工中的内、外径粗车复合固定循环指令 G71、仿形车粗车复合固定循环指令 G73 和精车循环指令 G70。

2) 熟悉螺纹复合循环指令 G76。

2. 注意事项

加工螺纹时，外螺纹大径尺寸一定要取负偏差，内螺纹小径尺寸取正偏差。特别注意在 G76 指令中 d 参数一般在内螺纹中取负值，外螺纹取正值。

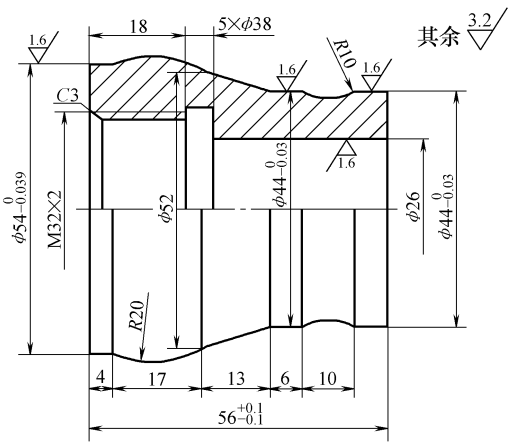


图 5-2 轴套零件

5.2.2 工艺分析

1. 加工难点分析

(1) 车螺纹前直径尺寸的确定 车外螺纹时，由于受车刀挤压会使螺纹大径尺寸胀大，所以车螺纹前大径一般应比基本尺寸小 0.2~0.4mm (约 0.13P)，车好螺纹后牙顶处有 0.125P 的宽度。同理，车削三角形内螺纹时，内孔直径会缩小，所以车削内螺纹前的孔径要比内螺纹小径略大些。

(2) 利用螺纹切削复合循环指令 G76 加工螺纹 只要编写出螺纹的底径值、螺纹 Z 向终点位置，螺纹总的切深及第一次背吃刀量等加工参数，车床即可自动计算每次的背吃刀量进行循环切削，直到加工完为止。编程格式如下：

G76 P(m)(r) (α) Q(Δadmin) R(d)

G76 X(U) Z(W) R(i) P(k) Q(Δd) F(L)

螺纹牙型高度（螺纹总切深）指的是在螺纹牙型上牙顶到压底之间垂直于螺纹轴线的距离，它是车削时车刀总切入深度。对于三角形普通螺纹，外螺纹按 $k = 649.5P$ 计算，内螺纹按 $k = 541.3P$ 计算，P 是指螺距（单位 mm）。

车床按照车螺纹的规律自动计算每次的切深（背吃刀量），每次吃刀时的切削

面积应尽可能保持均衡的趋势，因此相邻两次的吃刀深度应按递减规律逐步减小在本循环方式下，第一次切深为 Δd ，第 n 次切深为 $\Delta d\sqrt{n}$ ，相邻两次切削深度差为 $(\Delta d\sqrt{n} - \Delta d\sqrt{n-1})$ ，若邻次切削深度差始终为定值的话，则必然是随着切削次数的增加切削面积逐步增大，有的车床为了计算简便，而采用这种等深度螺纹车削方法，这样螺纹就不易车光，而且也会影响刀具寿命。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 考虑到该零件需要加工内外表面，要进行二次安装。首先使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，加工内孔，然后内孔插入心轴定位加工外圆。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀是刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100) 的位置。

2) 起刀点：由于加工内孔，为了减少循环加工的次数，外圆起刀点可设置在 (X65, Z5) 的位置，内轮廓可设置在 (X20, Z2) 的位置上。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

1) 先用中心钻钻出一个预制中心孔来，再用 $\phi 24\text{mm}$ 的麻花钻钻出一个通孔来。

2) 用自定心卡盘来装夹工件外圆，加工工件的内轮廓。

3) 用心轴定位加工外圆表面。

3. 选择刀具与切削用量

该零件的刀具与切削用量如表 5-3 所示。

表 5-3 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	外圆车刀(粗)	2	800	150
T0202	外圆车刀(精)	0.5	1 200	100
T0303	内孔车刀(粗)	1	600	120
T0404	内孔车刀(精)	0.4	1 000	80
T0505	内切槽刀		500	30
T0606	内螺纹刀		500	

5.2.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 5-4 所示。

表 5-4 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	35°,45°	各 1	
不重磨外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
内切槽刀	刀宽 5mm	1	
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
内孔车刀	镗孔刀	2	
麻花钻	中心钻， $\phi 24\text{mm}$	各 1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

5.2.4 程序清单与注释

程序清单及注释如下：

O5201		工件内轮廓加工程序
N10	G98 G50 G00 X100 Z100	程序初始化，快速返回换刀点
N20	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N30	T0303	换 3 号内孔车刀，选择 3 号刀补
N40	G00 X20 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U1 R0.5	粗车复合固定循环指令，并指定粗切量为 2mm
N60	G71 P70 Q130 U-0.4 W0.0 F120	指定循环所属的首末程序段，精车余量和粗车进给速度，其转速由前面的程序段已指定
N70	G00 G41 X33 Z2	精加工轮廓的起始点 ns
N80	G01 Z0 F80	

(续)

O5201		工件内轮廓加工程序
N90	X27 Z-3	倒角
N100	Z-23	
N110	X26	
N120	Z-58	加工内孔外圆
N130	G40 G01 X20	退出加工表面, 精加工程序结束
N140	G00 X100 Z100	回换刀点
N150	M05	主轴停止
N160	M00	程序暂停
N170	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N180	T0404	换 4 号精车刀, 选择 4 号刀补
N190	G00 X20 Z2	刀具移动到精加工循环的起点
N200	G70 P70 Q130 F80	调用精车循环
N210	G00 X100 Z100	返回到换刀点
N220	M05	主轴停止
N230	M00	程序暂停, 用于对工件检测
N240	T0505	换 5 号端面切槽刀, 选择 5 号刀补
N250	M03 S500	设置端面切槽时的转速为 500r/min
N260	G00 X24 Z3	快速移动至进槽的起始点
N270	Z-23	
N280	G01 X38 F30	切槽加工
N290	G00 X24	
N300	Z3	
N310	G00 X100 Z100	返回换刀点
N320	M05	主轴停止
N330	M00	程序暂停
N340	T0606	换 6 号内螺纹车刀, 选择 6 号刀补
N350	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N360	G00 X24 Z3	快速移动至螺纹加工的起始点
N370	G76 P010160 Q100 R-0.05	采用螺纹切削复合循环加工内螺纹
N380	G76 X32 Z-20 R0 P1083 Q500 F2	
N390	G00 X100 Z100	返回换刀点

(续)

O5201		工件内轮廓加工程序
N400	M05	主轴停止
N410	M30	程序结束并返回程序开头
O5202		工件外轮廓加工程序
N10	G98 G40	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号外圆刀, 选择 1 号刀补
N40	G00 X65 Z5	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G73 U10 W1 R5	粗车复合固定循环指令, 设置走刀次数为 5 次
N60	G73 P70 Q150 U0.5 W0.3 F150	指定循环所属的首末程序段 N70~N150, X 向精车余量 0.5mm, Z 向精车余量 0.3mm
N70	G42 G00 X44	精加工轮廓的起始点 ns
N80	G01 Z0 F100	
N90	Z-6	
N100	G02 X44 Z-16 R10	
N110	G01 Z-22	
N120	X52 Z-35	
N130	G03 X54 Z-52 R20	
N140	G01 Z-58	
N150	G40 G00 X60	精加工程序结束 nf
N160	G00 X100 Z100	回换刀点
N170	M05	主轴停止
N180	M00	程序停止
N190	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N200	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N210	G00 X65 Z5	刀具移动到复合固定循环起点
N220	G70 P70 Q150	调用精车循环
N230	G00 X100 Z100	回到换刀点
N240	M05	主轴停止
N250	M30	程序结束并返回程序开头

5.2.5 实例小结

本例介绍了轴套零件的加工工艺及编程，主要涉及内、外径粗车复合固定循环指令 G71、仿形车粗车复合固定循环指令 G73、精车循环指令 G70 以及螺纹复合循环指令 G76 的使用。读者学习时候要注意：加工螺纹时，外螺纹大径尺寸一定要取负偏差，内螺纹小径尺寸取正偏差。因为在 G76 指令中 d 参数一般在内螺纹中取负值，外螺纹取正值。

5.3 复杂套类零件加工

复杂套类零件如图 5-3 所示，毛坯为 $\phi 165\text{mm} \times 45\text{mm}$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

5.3.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

1) 能熟练地编制复杂零件的加工程序。

2) 掌握车床加工中的内、外径粗车复合固定循环指令 G71。

3) 熟悉螺纹复合循环指令 G76。

2. 注意事项

加工内外圆时，外圆尺寸一定要取负偏差，内圆尺寸取正偏差。特别注意，在 G71 指令中 U 参数一般在加工外圆取正值，加工内孔取负值。

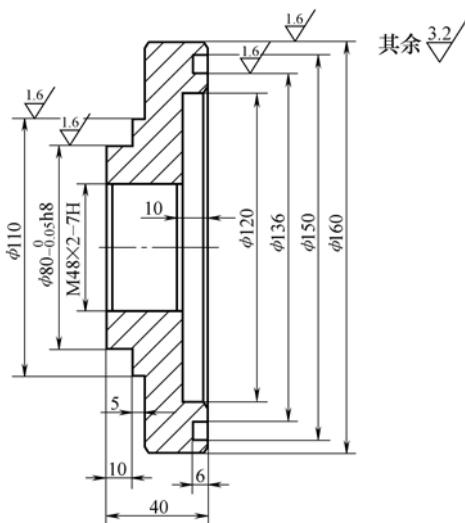


图 5-3 复杂套类零件

5.3.2 工艺分析

1. 加工难点分析

1) 直进法：螺纹车刀刀具径向间歇进刀至牙深处，用加工指令 G32、G92 可以实现。采用此种方法，车刀可以左右两侧刃同时切削，所受轴向切削分力有所抵消，部分地克服了因轴向切削分力导致车刀偏歪的现象。两侧面均匀磨损，能保证螺纹牙型清晰，但存在排屑不畅、散热不好、集中受力等问题。适用于切削 1.5mm 以下螺距的螺纹。

2) 斜进法：螺纹车刀沿牙型角方向斜向间隙进给至牙深处，用加工指令 G76 可以实现。采用此种方法加工螺纹时，螺纹车刀始终只有一个侧刃参加切

削，另一刃因不切削而发生摩擦，这会导致积屑瘤、表面粗糙度值高和工件硬化。但是切屑从刀刃上卷开，形成条状屑，散热较好。适宜进行梯形螺纹的切削加工。

3) 左右侧面交替进刀：螺纹车刀沿牙型角方向交错间隙进给至牙深处，即刀具沿左右交替切削每次径向进给时，横向向左或向右移动一定距离，使车刀只有一侧参加切削。此方法一般用于通用车床和螺距在 3mm 以上的螺纹和梯形螺纹的加工，在数控车床上编程较复杂。

在此例中，考虑具体情况，由于螺纹的螺距较大，使用 G76 加工螺纹。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 考虑到该零件需要加工内外表面，要进行二次安装。首先使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，加工外圆，然后以左端外圆定位加工外圆和内孔。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀是刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100) 的位置。

2) 起刀点：由于加工内孔，为了减少循环加工的次数，外圆起刀点可设置在 (X167, Z2) 的位置，内轮廓可设置在 (X25, Z2) 的位置上。

(3) 确定加工工艺路线。

1) 先用中心钻钻出一个预制中心孔来，再用 $\phi 28\text{mm}$ 的麻花钻钻出一个通孔来。

2) 粗、精加工左端外轮廓至尺寸要求。

3) 掉头装夹，手动车左端保证总长。

4) 粗、精加工右左端外轮廓至尺寸要求。

5) 粗、精加工右端内轮廓至尺寸要求。

6) 粗、精加工内螺纹至尺寸要求。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 5-5 所示。

表 5-5 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	外圆车刀(粗)	2	800	200
T0202	外圆车刀(精)	0.5	1 200	100
T0303	切槽刀(刀宽 4mm)		600	20
T0404	内螺纹刀		500	
T0505	内孔车刀(粗)	1	600	100
T0606	内孔车刀(精)	0.4	1 000	80

5.3.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 5-6 所示。

表 5-6 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R15.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°,55°	各 1	
镗刀		1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
切槽刀	刀宽为 4mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

5.3.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O5301		工件左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化，换 1 号刀，选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	G00 X167 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环，背吃刀量 2mm，退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q110 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N130，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.1mm，进给速度 200mm/min

(续)

O5301		工件左端加工程序
N60	G00 X80	精加工轮廓的起始点
N70	G01 Z-10	
N80	X110	
N90	Z-15	
N100	X160	
N110	Z-20	退出已加工表面，精加工程序结束
N120	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N130	M05	主轴停止
N140	M00	程序停止
N150	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N160	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N170	G00 X167 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N180	G70 P60 Q110 F100	调用精车循环，进给速度 100mm/min
N190	G00 X100 Z100	回到换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M30	程序结束并返回程序开头
O5302		掉头加工右端外圆及内孔
N10	G98 G00 X100 Z100 T0101	采用每分进给，快速移动到换刀点，换 1 号刀导入 1 号刀补
N20	M03 S800 F200	主轴正转，转速为 800r/min，设定进给量 200mm/min
N30	G00 X52 Z2	圆柱面加工程序段 刀具快速移动到起刀点（循环起点）
N40	G90 X163 Z-16	单一固定循环指令加工圆柱表面
N50	X161	单一固定循环模式调用，下同
N60	X160	
N70	G00 X100 Z100	回换刀点
N80	M03 S600	主轴正转，转速为 800r/min
N90	T0505	换 5 号内孔刀，选择 5 号刀补
N100	G00 X25 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N110	G71 U1 R0.5	粗车复合固定循环指令加工球头，设置走刀次数为 6 次

(续)

O5302		掉头加工右端外圆及内孔
N120	G73 P130 Q170 U-0.5 W0 F100	指定循环所属的首末程序段，设置精车余量和粗车进给速度，其转速由前面的程序段已指定
N130	G00 X128 Z2	精加工程序起点
N140	G01 X120 Z-2	设置精加工进给速度为 80mm/min
N150	Z-10	
N160	X44	
N170	Z-32	精加工结束
N180	G00 X100 Z100	回换刀点
N190	M05	主轴停止
N200	M00	程序停止
N210	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N220	T0606	换 6 号内精车刀，选择 6 号刀补
N230	G00 X167 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N240	G70 P130 Q170 F80	调用精车循环
N250	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N260	T0404	换 4 号内螺纹车刀，选择 4 号刀补
N270	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N280	G00 X24	
N290	Z-7	快速移动至螺纹加工的起始点
N300	G76 P010160 Q100 R-0.05	采用螺纹切削复合循环加工内螺纹
N310	G76 X48 Z-32 R0 P1083 Q500 F2	
N320	G00 X100 Z100	返回换刀点
N330	M03 S500	设置端面切槽时的转速为 500r/min
N340	T0303	换 3 号端面切槽刀，选择 3 号刀补（刀宽 3mm）
N350	G00 X142 Z5	快速移动至端面切槽循环的起始点
N360	G74 R1	端面切槽循环，指定退刀量 1mm
N370	G74 X136 Z-6 P2000 Q1000 F20	端面切槽循环
N380	G00 Z100	
N390	X100	返回到换刀点
N400	M05	主轴停止
N410	M30	主程序结束并返回程序开头

5.3.5 实例小结

本例介绍了复杂类型的套内零件加工工艺及编程，主要运用到内、外径粗车复合固定循环指令 G71 以及螺纹复合循环指令 G76。读者学习时候需注意：加工内外圆时，外圆尺寸一定要取负偏差，内圆尺寸取正偏差。因为在 G71 指令中 U 参数一般在加工外圆取正值，加工内孔取负值。

5.4 盘套类零件加工 1

盘套零件 1 如图 5-4 所示，毛坯为 $\phi 50\text{mm} \times 56\text{mm}$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

5.4.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

1) 提高套类典型车削类零件加工工艺分析能力，合理制定零件的加工工艺及正确编制程序。

2) 掌握车加工中的内、外径粗车复合固定循环指令 G71。

3) 掌握工件掉头车削加工时，工件的装夹部位和程序零点设置。

2. 注意事项

加工内外圆时，外圆尺寸一定要取负偏差，内圆尺寸取正偏差。特别注意，在 G71 指令中 U 参数一般在加工外圆取正值，加工内孔取负值。

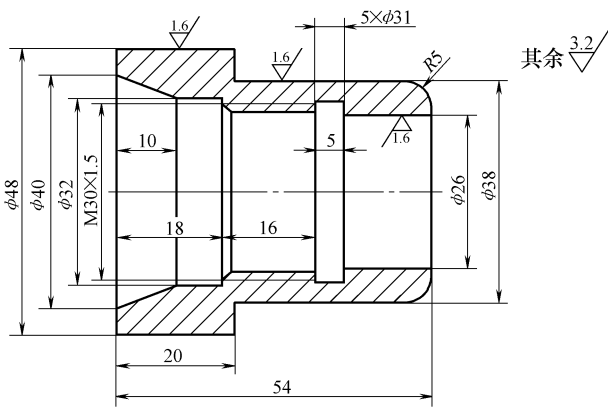


图 5-4 盘套零件 1

5.4.2 工艺分析

1. 加工难点分析

螺纹加工属于成型加工，为了保证螺纹的导程，加工时主轴旋转一周，车刀的进给量必须等于螺纹的导程，进给量较大，因此螺纹牙型往往不是一次加工而成，需要多次进行切削加工。如果要提高螺纹的表面质量，可增加几次光整加工。常用螺纹进给次数对应的背吃刀量如表 5-7 所示。

表 5-7 螺纹切削的进给次数对应的背吃刀量（直径双边值）（单位：mm）

螺 距		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
牙 深		0.649	0.974	1.299	1.624	1.949	2.273	2.598
背吃刀量	切削次数	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.5
	第一次							
	第二次	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
	第三次	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	第四次		0.16	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
	第五次			0.1	0.4	0.4	0.4	0.4
	第六次				0.15	0.4	0.4	0.4
	第七次					0.2	0.2	0.4
	第八次						0.15	0.3
	第九次							0.2

要求加工的螺纹大径尺寸为 M30×1.5mm，查表 5-7 可知要分四次切削，第一次切削背吃刀量直径值为 0.8mm，此时直径为 28.8mm；第二次切削背吃刀量为 0.6mm，此时直径为 28.6mm；第三次切削背吃刀量为 0.4mm，此时直径为 28.2mm；第四次切削深度 0.24mm，此时直径为 30.02mm。

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

（1）装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件需要加工两端，因此需要考虑两次装夹的位置。考虑到右端φ24mm×15mm 的台阶可以用来装夹，采用一夹一项的装夹方式，因此先加工右端，然后再掉头加工左端。

（2）位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在（X100，Z100）。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为φ50mm×56mm，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在（X52，Z2）。

（3）确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

- 1) 粗、精车加工工件右端轮廓。
- 2) 粗、精车加工工件左端内轮廓。
- 3) 车削内螺纹。

3. 选择刀具与切削用量
刀具与切削用量如表 5-8 所示。

表 5-8 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0303	内孔车刀（粗）	1	600	100
T0404	内孔车刀（精）	0.4	1 000	80
T0505	内切槽刀（刀宽 5mm）		500	20
T0606	内螺纹刀		500	

5.4.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 5-9 所示。

表 5-9 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2'）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R15.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°,55°	各 1	
镗刀		1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
切槽刀	刀宽为 4mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

5.4.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O5401		工件左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化，换 1 号刀，选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环，背吃刀量 2mm，退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q110 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60～N110，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.1mm，进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X28 Z2	精加程序起始点 ns，车削轮廓的起点
N70	G01 Z0 F100	精加工进给速度 100mm/min
N80	G03 X38 Z-5 R5	
N90	G01 Z-34	
N100	X48	
N110	G01 Z-60	退出已加工表面，精加程序结束 nf
N120	G40 G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N130	M05	主轴停止
N140	M00	程序停止
N150	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N160	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N170	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N180	G70 P60 Q110	调用精车循环，进给速度 100mm/min
N190	G00 X100 Z100	回到换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M30	程序结束并返回程序开头
O5402		掉头加工右端外圆及内孔
N10	G98 G00 X100 Z100 T0101	采用每分进给，快速移动到换刀点，换 1 号刀，导入 1 号刀补
N20	M03 S800 F200	主轴正转，转速为 800r/min，设定进给速度 200mm/min

(续)

O5402		掉头加工右端外圆及内孔
N30	G00 X52 Z2	圆柱面加工程序段 刀具快速移动到起刀点（循环起点）
N40	G90 X50 Z-16	单一固定循环指令加工圆柱表面
N50	X48.5	单一固定循环模态调用,下同
N60	X48	
N70	G00 X100 Z100	回换刀点
N80	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N90	T0303	换 3 号内孔刀, 选择 3 号刀补
N100	G00 X22 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N110	G71 U1 R0.5	粗车复合固定循环, 背吃刀量 1mm, 退刀量 0.5mm
N120	G71 P130 Q210 U-0.5 W0 F100	指定循环所属的首末程序段 N130-N210, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0mm, 进给速度 100mm/min
N130	G41 G00 X40	精加工程序起点 ns
N140	G01 Z0 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N150	X32 Z-10	
N160	Z-18	
N170	X28 Z-20	
N180	Z-39	
N190	X26	
N200	Z-55	
N210	G40 G01 X22	精加工结束 nf
N220	G00 X100	
N230	Z100	回换刀点
N240	M05	主轴停止
N250	M00	程序停止
N260	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N270	T0404	换 4 号内精车刀, 选择 4 号刀补
N280	G00 X22 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N290	G70 P130 Q210	调用精车循环
N300	G00 X100 Z100	返回到加工起始点

(续)

O5402		掉头加工右端外圆及内孔
N310	M03 S500	设置切槽时的转速为 500r/min
N320	T0505	换 5 号端面切槽刀，选择 5 号刀补（刀宽 5mm）
N330	G00 X24 Z5	
N340	Z-39	刀具移动至加工起始位置
N350	G01 X31 F20	切槽加工
N360	G00 Z5	退刀
N370	X100 Z100	返回换刀点
N380	T0606	换 6 号内螺纹车刀，选择 6 号刀补
N390	M03 S600	设置切螺纹时的转速为 600r/min
N400	G00 X24 Z3	
N410	Z-15	刀具移动至加工起始位置
N420	G92 X28.8 Z-36 F1.5	G92 第一次车螺纹，背吃刀量 0.8mm
N430	X29.4	G92 第二次车螺纹，背吃刀量 0.6mm
N440	X29.8	G92 第三次车螺纹，背吃刀量 0.4mm
N450	X30.02	G92 第四次车螺纹，背吃刀量 0.24mm
N460	X30.02	光刀
N470	G00 Z5;	退刀
N480	X100 Z100;	返回换刀点
N490	M05	主轴停止
N500	M30	主程序结束并返回程序开头

5.4.5 实例小结

本例介绍了简单类的盘套零件的加工工艺及编程，主要涉及内、外径粗车复合固定循环指令 G71 的使用。读者学习时应重点掌握工件掉头车削加工时，工件的装夹部位和程序零点设置；同时注意加工内外圆时，外圆尺寸一定要取负偏差，内圆尺寸取正偏差。

5.5 盘套类零件加工 2

工件如图 5-5 所示，毛坯为 $\phi 50\text{mm}\times 52\text{mm}$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

5.5.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

1) 掌握车床加工中的螺纹切削复合循环指令 G76。

2) 掌握车床加工中的内、外径粗车复合固定循环指令 G71。

3) 掌握工件掉头车削加工时，工件的装夹部位和程序零点的设置。

2. 注意事项

在加工内螺纹时，注意切削螺纹时的起刀点必须设置在偏离工件的安全位置，特别是在内孔中，既要防止刀具与工件相撞，又要保持刀具与工件间的距离。此外，螺纹切削循环 G76 一般适用于加工牙型较深和恒螺距的内螺纹或外螺纹。

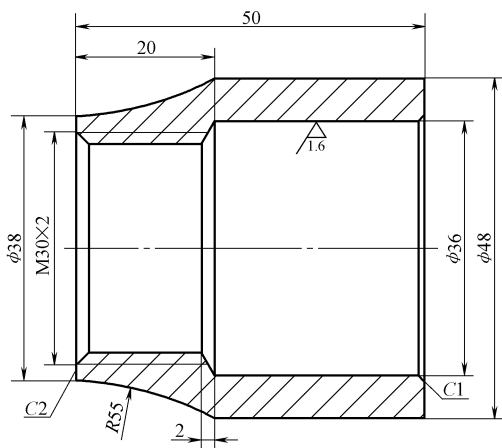


图 5-5 盘套零件 2

5.5.2 工艺分析

1. 加工难点分析

螺纹加工属于成型加工，为了保证螺纹的导程，加工时主轴旋转一周，车刀的进给量必须等于螺纹的导程，进给量较大，因此螺纹牙型往往不是一次加工而成，需要多次进行切削加工。如果要提高螺纹的表面质量，可增加几次光整加工。

要求加工的螺纹大径尺寸为 M30×2mm，查表 5-7 可知分四次切削，第一次切削背吃刀量直径值为 0.9mm，则半径值就为 0.45mm。牙深可取为 1.3mm，精加工重复一次。

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下：

(1) 装夹方案 对于短轴类零件，用自定心卡盘夹持 $\phi 48\text{mm}$ 外圆，使工件伸出卡盘 30mm（应将机床的限位距离考虑进去），共限制 4 个自由度，一次装夹完成内孔和螺纹加工。然后再掉头，校正后再加工左端圆弧。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 52\text{mm}$ ，为了减少循环加工的次数，循环的外圆点可以设置在 (X52, Z2)，内孔的循环加工起点为 (X26, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

- 1) 粗、精车加工工件右端外轮廓。
- 2) 钻 $\phi 28\text{mm}$ 的通孔。
- 3) 粗、精车加工工件右端内轮廓。
- 4) 车削内螺纹。
- 5) 粗、精车加工工件左端外轮廓。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量表如表 5-10 所示。

表 5-10 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/ (r/min)	进给速度/ (mm/min)
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0303	内孔车刀（粗）	1	600	100
T0404	内孔车刀（精）	0.4	1 000	80
T0505	内螺纹刀		500	

5.5.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 5-11 所示。

表 5-11 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R15.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°,55°	各 1	
镗刀		1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	

(续)

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
麻花钻	φ28mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

5.5.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O5501		掉头加工右端外圆及内孔
N10	G98 G00 X100 Z100 T0101	采用每分进给，快速移动到换刀点，换 1 号刀导入 1 号刀补
N20	M03 S800 F200	主轴正转，转速为 800r/min，设定进给量 200mm/min
N30	G00 X52 Z2	圆柱面加工程序段 刀具快速移动到起刀点（循环起点）
N40	G90 X50 Z-25	单一固定循环指令加工圆柱表面
N50	X48.5	单一固定循环模式调用,下同
N60	X48	
N70	G00 X100 Z100	回换刀点
N80	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N90	T0303	换 3 号内孔刀，选择 3 号刀补
N100	G00 X26 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N110	G71 U1 R0.5	粗车复合固定循环，背吃刀量 1mm，退刀量 0.5mm
N120	G71 P130 Q190 U-0.5 W0 F100	指定循环所属的首末程序段 N130~N190，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0mm，进给速度 100mm/min
N130	G00 X38 Z5	精加工程序起点 ns
N140	G01 Z0 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N150	X36 Z-1	
N160	Z-30	
N170	X34.65 Z-32	
N180	Z-52	
N190	G01 X26	精加工结束 nf

(续)

O5501		掉头加工右端外圆及内孔
N200	G00 X100 Z100	回换刀点
N210	M05	主轴停止
N220	M00	程序停止
N230	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N240	T0404	换 4 号内精车刀, 选择 4 号刀补
N250	G00 X26 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N260	G70 P130 Q190	调用精车循环
N270	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N280	T0505	换 5 号内螺纹车刀, 选择 5 号刀补
N290	M03 S600	设置切螺纹时的转速为 600r/min
N300	G00 X25 Z5	刀具移动至加工起始位置
N310	Z-26	移动到螺纹加工起始点
N320	G76 P010160 Q100 R-0.05	采用螺纹切削复合循环加工内螺纹。精加工重复一次, 牙型角 60°
N330	G76 X30 Z-53 R0 P1300 Q450 F2	内螺纹的大径为 30mm, Z 向的终点坐标-53mm, 直螺纹, 牙深 1.3mm, 第一刀切深为 0.45mm。导程 2mm
N340	G00 Z100	退刀
N350	X100	返回换刀点
N360	M05	主轴停止
N370	M30	主程序结束并返回程序开头
O5502		工件左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q100 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N130, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X38 Z2	精加工程序起始点 ns, 车削轮廓的起点

(续)

O5502		工件左端加工程序
N70	G01 Z0 F100	精加工进给速度 100mm/min
N80	G02 X48 Z-20 R55	
N90	G01 Z-30	
N100	G01 X50	退出已加工表面，精加工程序结束 nf
N110	G40 G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N120	M05	主轴停止
N130	M00	程序停止
N140	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N150	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N160	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N170	G70 P60 Q100	调用精车循环，进给速度 100mm/min
N180	G00 X100 Z100	回到换刀点
N190	M05	主轴停止
N200	M30	程序结束并返回程序开头

5.5.5 实例小结

本例介绍了盘套零件的加工工艺及编程，比上节的案例略为复杂，主要涉及螺纹切削复合循环指令 G76 以及内、外径粗车复合固定循环指令 G71 的使用。读者学习时，要注意在切削螺纹时，起刀点必须设置在偏离工件的安全位置，特别是在内孔中，既要防止刀具与工件相撞，又要保持刀具与工件间的距离。

5.6 盘套类零件加工 3

工件如图 5-6 所示，毛坯为 $\phi 50\text{mm}\times 70\text{mm}$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺并编写其数控车加工程序。

5.6.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 掌握车床加工中的内、外径粗车复合固定循环指令 G71。
- 2) 掌握工件掉头车削加工时，工件的装夹部位和程序零点设置。
- 3) 掌握车床加工中的螺纹切削复合循环指令 G76。

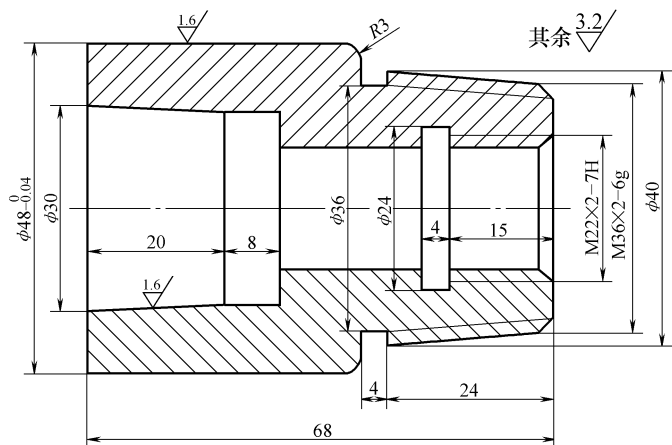


图 5-6 盘套零件 3

2. 注意事项

- 1) 外锥螺纹的加工时用 G76 加工指令中的锥度 R 值的设定。
- 2) 加工沟槽时, 注意对刀点和沟槽起点坐标的关系。外圆切槽可供选择的刀位点有两个, 编程时只需选择一个即可, 切不可两个同时使用。

5.6.2 工艺分析

1. 加工难点分析

G76 的指令格式如下:

G76 P(m)(r)(a) Q(Δ min) R(d)

G76 X(u) Z(w) R(i) P(k) Q(Δ d) F(f)

用此指令加工锥螺纹时应注意, 其中 i 为螺纹部分的半径差; 加工圆柱螺纹时, $i=0$; 加工圆锥螺纹时, 当 X 向切削始点坐标小于切终点坐标时, i 为负值; 反之取正。则在本例中 X 向切削始点坐标大于切终点坐标, 即 i 为正值, $R=(40-36)/2=2$ 。

2. 分析加工方案

本例工件的加工方案如下:

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆, 确定零件伸出合适长度 (应将机床的限位考虑进去)。零件需要加工两端, 因此需要考虑两次装夹的位置。考虑到右端 $\phi 48\text{mm}$ 的外圆可以用来装夹, 因此先加工左端, 然后再掉头加工右端。

(2) 位置点

1) 换刀点: 零件原点设置在零件右端面, 为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰, 换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：零件材料的毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm}\times 56\text{mm}$ ，为了减少循环加工的次数，循环外圆的起刀点可以设置在（X52，Z2）、内孔的起刀点可以设置在（X16，Z2）。

(3) 确定加工工艺路线 本例工件的加工方案如下：

- 1) 粗、精车加工工件左端内、外轮廓。
- 2) 粗、精车加工工件右端外轮廓。
- 3) 车削外锥螺纹。
- 4) 粗、精车加工工件右端内轮廓。
- 5) 车削内螺纹。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 5-12 所示。

表 5-12 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	外圆车刀	2	800	200
T0202	切槽刀		500	60
T0303	内孔车刀（粗）	1	600	100
T0404	内切槽刀（刀宽 5mm）		500	60
T0505	外螺纹		500	
T0606	内螺纹刀		500	

5.6.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 5-13 所示。

表 5-13 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2'）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R15.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°，55°	各 1	

(续)

名 称	规 格 (精度)	数 量	备 注
镗刀		1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
切槽刀	刀宽为 4mm	1	
内孔切槽刀	刀宽为 4mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

5.6.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O5601		掉头加工右端外圆及内孔
N10	G98 G00 X100 Z100 T0101	采用每分进给，快速移动到换刀点，换 1 号刀导入 1 号刀补
N20	M03 S800 F200	主轴正转，转速为 800r/min，设定进给量 200mm/min
N30	G00 X52 Z2	圆柱面加工程序段 刀具快速移动到起刀点（循环起点）
N40	G90 X50 Z-16	单一固定循环指令加工圆柱表面
N50	X48.5	单一固定循环模式调用，下同
N60	X48	
N70	G00 X100 Z100	回换刀点
N80	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N90	T0303	换 3 号内孔刀，选择 3 号刀补
N100	G00 X20 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N110	G71 U1 R0.5	粗车复合固定循环，背吃刀量 1mm，退刀量 0.5mm
N120	G71 P130 Q170 U-0.5 W0 F100	指定循环所属的首末程序段 N130-N170，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0mm，进给速度 100mm/min
N130	G41 G00 X30	精加工程序起点 ns
N140	G01 Z0 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N150	X28 Z-20	

(续)

O5601		掉头加工右端外圆及内孔
N160	Z-28	
N170	G40 G01 X22	精加工结束 nf
N180	G00 X100 Z100	回换刀点
N190	M05	主轴停止
N200	M00	程序停止
N210	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N220	T0303	换 3 号内精车刀, 选择 3 号刀补
N230	G00 X22 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N240	G70 P130 Q170	调用精车循环
N250	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N260	M05	主轴停止
N270	M30	主程序结束并返回程序开头
O5602		工件左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q110 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N110, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X32 Z2	精加工程序起始点 ns, 车削轮廓的起点
N70	G01 Z0 F100	精加工进给速度 100mm/min
N80	X35.85 Z-2	
N90	X40 Z-24	
N100	Z-28	
N110	X42	
N120	G03 X48 W-31 R3	
N130	G40 G01 X52	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N140	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N150	M05	主轴停止

(续)

O5602		工件左端加工程序
N160	M00	程序停止
N170	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N180	T0101	换 1 号精车刀, 选择 1 号刀补
N190	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G70 P60 Q110	调用精车循环, 进给速度 100mm/min
N210	G00 X100 Z100	回到换刀点
N220	M05	主轴停止
N230	M30	程序结束并返回程序开头
N240	G00 X100 Z100	回到换刀点
N250	M03 S500	主轴正转, 转速为 500r/min
N260	T0202	换 2 号切槽刀, 选择 2 号刀补 (刀宽 4mm)
N270	G00 X48 Z-27	快速移动至切槽循环的起始点
N280	G75 R0.5	外圆切槽循环, 指定退刀量 0.5mm
N290	G75 X36 Z-28 P1000 Q1000 F60	
N300	G00 X100	刀具沿径向快速退出
N310	Z100	回到换刀点
N320	T0505	换 5 号外形螺纹车刀, 选择 5 号刀补
N330	G00 47 Z2	刀具移动到螺纹复合固定循环起点
N340	G76 P011060 Q50 R0.05	螺纹加工复合固定循环加工螺纹
N350	G76 X38.05 Z-24 P975 Q400 R-2 F1.5	
N360	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N370	M03 S600 F100	主轴正转, 转速为 800r/min, 设定进给量 100mm/min
N380	T0303	换 3 号内孔车刀, 选择 3 号刀补
N390	G00 X16 Z2	圆柱面加工程序段 刀具快速移动到起刀点 (循环起点)
N400	G90 X18 Z-19	单一固定循环指令加工圆柱表面
N410	X18.75	单一固定循环模态调用, 下同
N420	G00 X100 Z100	回换刀点
N430	M03 S500	主轴正转, 转速为 500r/min
N440	T0404	换 4 号内孔切槽刀, 选择 4 号刀补
N450	G00 X17 Z-18	快速移动至切槽循环的起始点

(续)

O5602		工件左端加工程序
N460	G75 R0.5	外圆切槽循环，指定退刀量 0.5mm
N470	G75 X25 Z-19 P1000 Q1000 F60	
N480	G00 Z100	刀具沿径向快速退出
N490	Z100	回到换刀点
N500	T0606	换 6 号内螺纹车刀，选择 6 号刀补
N510	G00 X17 Z3	刀具移动到螺纹复合固定循环起点
N520	G76 P011060 Q50 R0.05	螺纹加工复合固定循环加工螺纹
N530	G76 X22 Z-16 P1625 Q400 R-2 F2.5	
N540	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N550	M05	主轴停止
N560	M30	主程序结束并返回程序开头

5.6.5 实例小结

本例介绍了盘套零件的加工工艺及编程，比上节的案例更为复杂，主要运用到内、外径粗车复合固定循环指令 G71 以及螺纹切削复合循环指令 G76。读者学习时，应注意外锥螺纹的加工时 G76 加工指令中的锥度 R 值的设定，以及加工沟槽时对刀点和沟槽起点坐标的关系。

第 6 章 孔类零件加工案例

孔类零件是车削加工的典型零件之一，包括通孔、盲孔（不通孔）几类。本章结合实例来讲解 FANUC 系统中孔类零件的加工方法和过程，使读者对孔类零件的加工工艺及编程熟悉和掌握。

6.1 通孔类零件加工 1

工件如图 6-1 所示，毛坯已钻出 $\phi 20\text{mm}$ 的通孔，且外圆也已经加工好，要求分析内轮廓表面的加工工艺，并编写其数控车加工程序。

6.1.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 了解使用复合固定循环编程指令 G71 加工内孔的方法。
- 2) 掌握封闭复合固定循环编程指令 G73 加工内孔的方法。

2. 注意事项

- 1) G73 指令加工凹凸类零件还需注意在 Z 轴方向的总加工余量一定要为零，精加工余量也为零。
- 2) 由于刀尖圆弧半径补偿对圆柱和端面尺寸没有影响，而对圆锥和圆弧表面尺寸有较大影响。所以在本例加工中，由于涉及圆弧面加工，所以在加工时必须采用刀具半径补偿功能。

6.1.2 工艺分析

1. 加工难点分析

封闭复合固定循环 G73 指令更适合加工一些铸造、锻造成型的或已粗加工成型的零件，但需注意直径落差较大的零件，例如，球头或内圆弧的零件，会产生很多空刀行程。

例如，加工球头类零件，用 G73 加工 X 轴的最大的加工余量（半径值）为 25mm，要用 8 刀，编程格式为：G73 U25 W0 R8，从图 6-2 中可以看到有非常多

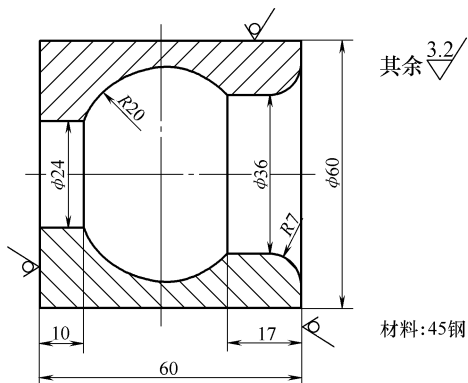


图 6-1 通孔类零件 1

的空走刀现象，影响加工效率和质量。

最好解决的办法用 CAD 进行优化轨迹，先用 G71 加工进行粗加工去除，然后 G73 加工时余量仅为 10mm，用三刀切削即可，刀轨如图 6-3 所示。总之，能用 G71，绝不用 G73；少用 G73，减少 G73 的使用次数。

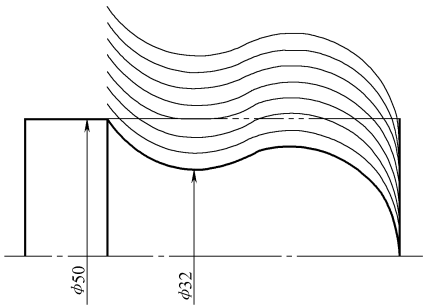


图 6-2 球头零件刀轨

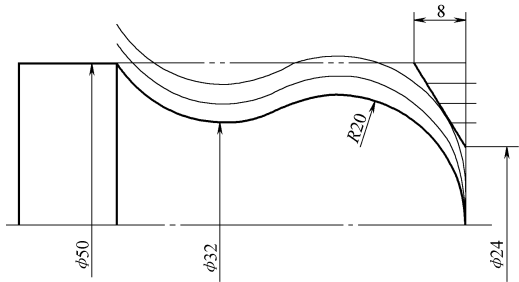


图 6-3 用 G71 加工后的 G73 刀轨

在本例加工过程中，也考虑到了实际情况，加工内孔的时候，先用 G71 加工内孔中的大部分余量，再用成形复合循环 G73 进行加工。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，外表面已经加工完毕。确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件的加工长度为 60mm，卡盘的限位安全距离为 5mm，因此零件应伸出卡盘总长为 30mm 以上。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：由于加工内孔，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在 (X18, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

- 1) 先用中心钻钻出一个预制中心孔来，再用 φ20mm 的麻花钻钻出一个通孔来。
- 2) 用自定心卡盘来装夹工件外圆，加工工件的内孔。

3. 选择刀具与切削用量

选择刀具与切削用量如表 6-1 所示。

表 6-1 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	内孔镗刀(粗)	1	600	120
T0202	镗刀	1	600	120
T0303	内孔镗刀(精)	0.4	1 000	60

6.1.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 6-2 所示。

表 6-2 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
内孔车刀	内孔镗刀	3	
外切槽刀	刀宽 4mm	1	
内切槽刀	刀宽 4mm	1	
麻花钻	中心钻, $\varnothing 20\text{mm}$	各 1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

6.1.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O6101		加 工 程 序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U1 R0.5	粗车内孔复合固定循环指令，并指定粗切量为 1mm
N60	G71 P70 Q130 U-1 W1 F120	指定循环所属的首末程序段 N70~N130，X 向精车加工余量为 1mm，Z 向精车余量 1mm，精车余量应设置大一点
N70	G41 G00 X50	精加工轮廓的开始程序 ns

(续)

O6101		加 工 程 序
N80	G01 Z0	
N90	G02 X36 Z-7 R7	圆弧插补
N100	G01 Z-17	
N110	G03 X24 Z-50 R20	
N120	G01 Z-62	
N130	G40 G01 X18 Z-62	退出加工表面，精加工轮廓结束 nf
N140	G00 X100 Z100	返回到换刀点
N150	M05	主轴停止
N160	M00	程序暂停
N170	T0202	换 2 号内孔刀，选择 2 号刀补
N180	M03 S600	设置转速为 600r/min
N190	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G73 U1 R3	粗车复合固定循环指令，设置走刀次数为 3 次
N210	G73 P70 Q130 U-0.4 W0 F100	指定循环所属的首末程序段，设置精车余量和粗车进给速度，其转速由前面的程序段已指定
N220	G00 X100 Z100	回换刀点
N230	M05	主轴停止
N240	M00	程序暂停
N250	M03 S1000	设置精车转速为 1000r/min
N260	T0303	换 3 号精车刀，选择 3 号刀补
N270	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N280	G70 P70 Q130	调用精车循环
N290	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N300	M05	主轴停止
N310	M30	主程序结束并返回程序开头

6.1.5 实例小结

本例介绍了通孔类零件的加工工艺及编程，主要涉及复合固定循环编程指令 G71、G73 以及精车循环指令 G70 的使用。读者学习时，应注意复合循环指令必须指定合理的循环起点，使该点尽量贴近零件；使用 G70 精车循环时，注意快速退刀的路线，防止刀具与工件碰撞，以免影响正确的加工效果。

圆面时必须采用刀具半径补偿功能。

6.2.2 工艺分析

1. 加工难点分析

在加工椭圆时，应用宏程序加工椭圆。由于数控车床的横坐标轴为 Z，竖坐标轴为 X 轴，故数控编程时对于椭圆方程中的参数要有所变动。

椭圆的解析方程为：

$$\frac{Z^2}{a^2} + \frac{X^2}{b^2} = 1$$

根据椭圆解析方程，我们可以得到如下关系式：以 Z 作为自变量，则

$$X = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - Z^2}$$

2. 分析加工方案

（1）装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件需要加工两端，因此需要考虑两次装夹的位置。先加工左端外轮廓然后再掉头，直接加工右端的内、外轮廓。

（2）位置点

1）换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在（X100，Z100）。

2）起刀点：由于加工内孔，为了减少循环加工的次数，循环的外圆起刀点可以设置在（X115，Z2）的位置上、内孔起刀点可以设置在（X26，Z2）。

（3）确定加工工艺路线

- 1）粗、精车加工工件左端外轮廓。
- 2）先用中心钻钻出一个预制中心孔来，再用φ28mm 的麻花钻钻出一个通孔来。
- 3）用三爪卡盘来装夹工件外圆，加工工件右端的内孔。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 6-3 所示。

表 6-3 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0303	内孔镗刀（粗）	1	600	120
T0404	镗刀	1	600	120
T0505	内孔镗刀（精）	0.3	1 000	60

6.2.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 6-4 所示。

表 6-4 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格	精 度	数 量
镗刀	内孔镗刀，后角 30°的镗刀		1
麻花钻	中心钻， $\phi 24$		各 1
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖		各 1
游标卡尺	0~160mm	0.02mm	1
其他	常用数控车床辅具		若干

6.2.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O6201		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化，快速返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X115 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令并指定背吃刀量为 2mm，退刀量为 1mm
N60	G71 P70 Q120 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段 N70~N120，X 轴留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.5mm，进给速度为 200mm/min
N70	G42 G00 X40 Z2	精加工程序起始点 ns，车削轮廓的起点
N80	G01 Z-20 F100	
N90	X50	
N100	X110 Z-37.273	
N110	Z-40	
N120	G40 G01 X115	精加工程序结束点 nf，退出已加工表面
N130	G00 X100 Z100	回换刀点
N140	M05	主轴停止，此时可以测量加工工件的尺寸
N150	M00	程序停止
N160	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N170	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N180	G00 37 Z2	刀具移动到复合固定循环起点

(续)

O6201		工件右端加工程序
N190	G70 P70 Q120 F100	调用精车循环并设定精车进给量
N200	G00 X100 Z100	回到换刀点
N210	M05	主轴停止
N220	M30	主程序结束并返回程序开头
O6202		工件右端加工程序
N10	G98 G00 X100 Z100 T0101	采用每分进给, 快速移动到换刀点, 换 1 号刀导入 1 号刀补
N20	M03 S800 F200	主轴正转, 转速为 800r/min, 设定进给量 200mm/min
N30	G00 X114 Z2	圆柱面加工程序段 刀具快速移动到起刀点(循环起点)
N40	G90 X112 Z-55	单一固定循环指令加工圆柱表面
N50	X110.5	单一固定循环模态调用, 下同
N60	X110	
N70	G00 X100 Z100	回换刀点
N80	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N90	T0303	换 3 号刀, 选择 3 号刀补
N100	G00 X26 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N110	G71 U1 R0.5	粗车内孔复合固定循环指令, 并指定粗切量为 1mm
N120	G71 P130 Q180 U-1 W1 F120	指定循环所属的首末程序段, 精车余量应设置大一点和粗车进给速度, 其转速由前面的程序段已指定
N130	G00 X100	G71 精加程序起始点 ns
N140	G01 Z0	
N150	G03 X40 Z-50 R61	
N160	G01 Z-60	
N170	X40	
N180	Z-92	G71 精加程序结束点 nf
N190	G00 X100 Z100	返回到换刀点
N200	T0202	换 2 号内孔刀, 选择 2 号刀补
N210	M03 S600	设置端面切槽时的转速为 600r/min
N220	G00 X26 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N230	G73 U-6 R12	仿形粗车复合固定循环指令

(续)

O6202		工件右端加工程序
N240	G73 P250 Q380 U-0.4 W0 F100	指定循环所属的首末程序段 N250~N380，X 轴留精车余量 0.4mm，Z 轴留精车余量 0，进给速度为 100mm/min
N250	G00 G41 X100 Z2	精加工程序起始点 ns，车削轮廓的起点
N260	G01 Z0 F60	精加工进给速度 60mm/min
N270	#101=0	定义变量#101 为 Z 坐标，并赋初值，赋值的大小与工件椭圆起始点的坐标有关
N280	#102=SQRT[30*30-#101*#101]*50/30	定义变量#102 为 X 坐标，并根据椭圆方程 $\frac{X^2}{50^2} + \frac{Z^2}{30^2} = 1$ 即 $X = \frac{50}{30} \sqrt{30^2 - Z^2}$ 计算出 X 值
N290	#103=#102*2+40	X 坐标应该是直径值
N300	G01 X#103 Z#101	调整坐标，用 G01 直线插补拟合椭圆
N310	#101=#101-0.01	设置 Z 向步进量
N320	IF[#101 GE -49.57] GOTO100	当 Z 坐标≥0 时，跳转至 N100 执行循环
N330	G01 X47.85 Z-49.57	
N340	G02 X40 Z-54.45 R5	
N350	G01 Z-60	
N360	X40	
N370	Z-92	
N380	G01 G40 X26	精加工程序结束点 nf，退出已加工表面
N390	G00 X100 Z100	返回换刀点
N400	M05	主轴停止
N410	M00	程序停止
N420	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N430	T0303	换 3 号精车刀，选择 3 号刀补
N440	G00 X26 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N450	G70 P250 Q380	调用精车循环
N460	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N470	M05	主轴停止
N480	M30	主程序结束并返回程序开头

6.2.5 实例小结

本例继续介绍了通孔类零件的加工工艺及编程，在使用复合固定循环编程指

令 G71、G73 精车循环指令 G70 的同时，还涉及宏程序的应用。读者学习时，应注意 G73 指令加工凹凸类零件时候，在 Z 轴方向的总加工余量一定要为零，精加工余量也为零；同时本例由于涉及椭圆面的加工，因此在加工椭圆面时必须采用刀具半径补偿功能。

6.3 阶梯孔类零件加工

阶梯孔类零件如图 6-5 所示，零件的材料为 45 钢，右端预钻出 $\phi 20\text{mm}$ 的通路，要求分析其加工工艺，并编写零件内轮廓的数控车加工程序。

6.3.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 熟悉基本编程指令 G00、G01、G03 等的使用方法。
- 2) 了解使用复合固定循环编程指令 G72。
- 3) 掌握精车循环指令 G70 的使用方法。

2. 注意事项

- 1) 复合循环指令必须指定合理的循环起点，该点尽量贴近零件，否则就会把循环指令前一点作起点（可能是换刀点），就会出现空刀现象，特别是 G71、G72 加工时最明显。
- 2) 使用 G70 精车循环时，要注意快速退刀的路线，防止刀具与工件碰撞。
- 3) 由于刀尖圆弧半径补偿对圆柱和端面尺寸没有影响，而对圆锥和圆弧表面尺寸有较大影响。所以在本例加工中，由于涉及圆弧面的加工，所以在加工圆弧面时必须采用刀具半径补偿功能。

6.3.2 工艺分析

1. 加工难点分析

G72 的指令格式如下：

G72 W (Z 轴位移量) R (半径退刀量)

G72 U (精车 X 轴留量) W (精车 Z 轴留量) P (循环程序起始段号) Q (循环程序结束段号) F (进给量) S (转数) T (刀具号)

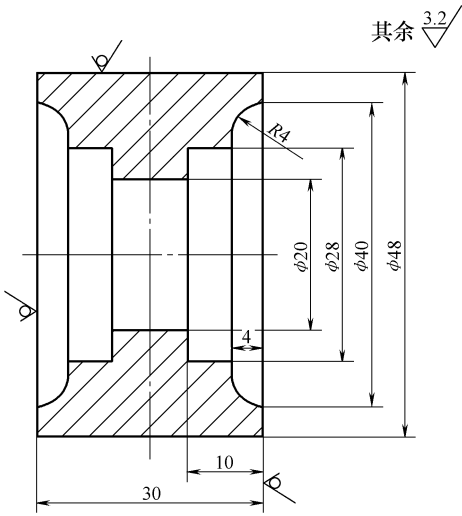


图 6-5 阶梯孔类零件

此指令与 G71 的格式相似，用法也一致，但在使用时应当注意：只有带有 P、Q 地址的 G71 或 G72 指令，才能进行该循环加工；粗加工循环时，处于 ns 到 nf 程序段之间的 F、S、T 机能的指令均无效，G71 或 G72 格式中含有的 P、S、T 有效；在顺序号为 ns 的顺序段中，必须使用 G00 或 G01 指令。在顺序号为 ns 的顺序段中，使用 G71 指令时，不得有 Z 轴方向的位移，使用 G72 指令时，不得有 X 轴方向的位移；由 A 到 B 的刀具轨迹在 X、Z 轴上必须连续递减或递增；处于 ns 到 n 于程序段之间的精加工程序不应包含有子程序。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，外表面已经加工完毕。确定零件伸出合适长度（应将机床的限位考虑进去）。零件的加工长度为 30mm，卡盘的限位安全距离为 5mm，因此零件应伸出卡盘总长为 20mm 以上。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：由于加工内孔，为了减少循环加工的次数，循环的起刀点可以设置在 (X18, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

1) 先用中心钻钻出一个预制中心孔来，再用 $\phi 20\text{mm}$ 的麻花钻钻出一个通孔来。

2) 用自定心卡盘来装夹工件外圆，加工工件的内孔。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 6-5 所示。

表 6-5 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	内孔镗刀（粗）	1	600	120
T0202	内孔镗刀（精）	0.3	1 000	60

6.3.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 6-6 所示。

表 6-6 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格	精 度	数 量
镗刀	内孔镗刀，后角 30°的镗刀		1
麻花钻	中心钻， $\phi 24\text{mm}$		各 1

(续)

名 称	规 格	精 度	数 量
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖		各 1
游标卡尺	0~160mm	0.02mm	1
其他	常用数控车床辅具		若干

6.3.4 程序清单与注释

具体参考程序及注释如下：

O6201		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S600	主轴正转，转速为 600 r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G72 W1 R0.5	粗车复合固定循环指令并指定背吃刀量为 1mm，退刀量为 0.5mm
N60	G72 P70 Q120 U-0.5 W0.3 F120	指定循环所属的首末程序段 N70~N120，X 轴留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.3mm，进给速度为 120mm/min
N70	G41 G00 Z-10	精加工程序起始点 ns，车削轮廓的起点
N80	G01 X28 F60	
N90	Z-5	
N100	X32	
N110	G02 X40 Z0 R4	
N120	G40 G01 X18 Z1	精加工程序结束点 nf，退出已加工表面
N130	G00 X100 Z100	返回到换刀点
N140	M05	主轴停止
N150	M00	程序停止
N160	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N170	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N180	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N190	G70 P70 Q120	调用精车循环
N200	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N210	M05	主轴停止
N220	M30	主程序结束并返回程序开头

6.3.5 实例小结

本例介绍了阶梯孔类零件的加工工艺及一般流程，主要涉及复合固定循环编程指令 G72 及精车循环指令 G70 的使用。读者学习时应注意：复合循环指令必须指定合理的循环起点，该点尽量贴近零件，避免出现空刀现象；同时使用 G70 精车循环时，注意快速退刀的路线，防止刀具与工件碰撞。

6.4 不通孔类零件加工 1

不通孔类零件 1 如图 6-6 所示，零件的材料为 45 钢，工件的毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 40\text{mm}$ 右端预钻孔 $\phi 25\text{mm}$ 孔深 26mm，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

6.4.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 了解内螺纹加工指令 G92。
- 2) 各个加工指令特别是循环指令的格式和区别。

2. 注意事项

(1) 掌握车床加工中的外径粗车复合固定循环指令 G71 和精车循环指令 G70。

(2) 工件的精度要求主要受工件形位精度和尺寸精度影响。因此，在数控加工中，工件在夹具中的定位与精确找正显得尤为重要。

6.4.2 工艺分析

1. 加工难点分析

螺纹加工属于成型加工，为了保证螺纹的导程，加工时主轴旋转一周，车刀的进给量必须等于螺纹的导程，进给量较大，因此螺纹牙型往往不是一次加工而成，需要多次进行切削加工。如果要提高螺纹的表面质量，可增加几次光整加工。

要求加工的螺纹大径尺寸为 $M30 \times 1.5\text{mm}$ ，镗孔的大小应该是公称直径减去螺距，即 $30\text{mm} - 1.5\text{mm} = 28.5\text{mm}$ ；若是按理论来算镗孔应该镗刀 28，但是确实有点小了，实际上应该 28.05（理论的）+0.39（左右牙配合间隙（刀具刀尖也不是

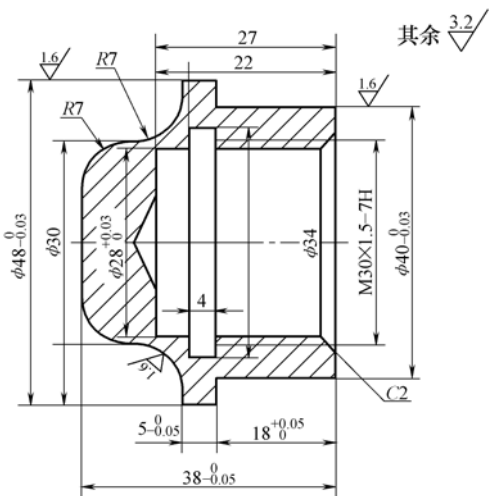


图 6-6 不通孔类零件 1

绝对尖的,也有点误差的))=28.35mm 也是理论的。不过在经验上最好还是 28.5mm (螺纹旋入轻松些), 因此理论值只是依据。

由于要求加工的螺纹大径尺寸为 M30×1.5mm, 查上表 5-7 可知分四次切削, 第一次切削背吃刀量直径值为 0.9mm, 则半径值就为 28.9mm; 第二次切削背吃刀量为 0.6mm, 此时直径为 29.5mm; 第三次切削背吃刀量为 0.4mm, 此时直径为 29.9mm; 第四次切削深度 0.16mm, 此时直径为 30.04mm。最后再继续光刀一次。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 考虑到两个零件都需要加工内、外表面, 要进行二次安装。首先使用自定心卡盘夹持工件的毛坯外圆, 加工外圆和内孔, 然后再加工件的左端外圆。

(2) 位置点

1) 换刀点: 零件原点设置在零件右端面, 为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰, 换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点: 由于加工内孔, 为了减少循环加工的次数, 工件的外圆起刀点可设置在 (X52, Z2) 的位置, 内轮廓可设置在 (X25, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

- 1) 手动精车工件右端面。
- 2) 粗、精车工件右端外轮廓。
- 3) 粗、精车工件右端内轮廓。
- 4) 切退刀槽控制 4mm 槽宽、槽底直径 24mm 至尺寸要求。
- 5) 粗、精车螺纹 M30×1.5-6H 至尺寸要求。
- 6) 手动精车工件左端面。
- 7) 粗、精车工件左端外轮廓。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 6-7 所示。

表 6-7 刀具与切削用量

刀具号	刀具名称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	93°外圆车刀(粗)	2	800	200
	93°外圆车刀(精)	0.5	1 200	100
T0202	90°内孔车刀(粗)	2	600	120
	90°内孔车刀(精)	0.5	1 000	80
T0303	内切槽刀		400	50
T0404	内螺纹车刀		500	

6.4.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 6-8 所示。

表 6-8 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2'）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm,R15mm~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°,45°	各 1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	1	
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
内孔车刀	φ20mm 不通孔、φ20mm 通孔	各 1	
内切槽刀	刀宽 4mm	1	
麻花钻	中心钻，φ10、φ20、φ24	各 1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

6.4.4 程序清单与注释

具体程序及注释如下：

O6401		工件 2 右端内、外轮廓加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z5	刀具移动到单一复合固定循环起点
N50	G90 X48.5 Z-40 F200	固定循环指令加工圆柱表面

(续)

O6401		工件 2 右端内、外轮廓加工程序
N60	X45 Z-18	固定循环模式调用, 下同
N70	X41	
N80	X40 S1200 F100	
N90	G00 X100 Z100	回到换刀点
N100	T0202	换 2 号内孔刀, 选择 2 号刀补
N110	M03 S600	设置加工内孔时的转速为 600r/min
N120	G00 X25 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N130	G71 U1 R0.5	粗车内孔复合固定循环指令, 并指定粗切量为 1mm
N140	G71 P150 Q210 U-0.4 W0.1 F120	指定内孔粗车循环所属的首末程序段, 设置精车余量和粗车进给速度, 其转速由前面的程序段已指定
N150	G00 X27.7	精加工轮廓的起始点
N160	G01 Z0 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N170	X28.5 Z-2	
N180	Z-22	
N190	X28	
N200	Z-27	
N210	X25	精加工程序结束
N220	G00 X100 Z100	回到换刀点
N230	M05	主轴停止, 此时可以测量加工工件的尺寸, 可以进行补偿
N240	M00	程序停止
N250	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N260	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N270	G00 25 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N280	G70 P150 Q210	调用精车循环并设定精车进给量
N290	G00 X100 Z100	回到换刀点
N300	T0303	换 3 号内切槽刀, 选择 3 号刀补
N310	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N320	G00 X28	
N330	Z-23	快速移动至切槽的起始点
N340	G01 X34 F60	直线切槽
N350	G00 X25	

(续)

O6401		工件 2 右端内、外轮廓加工程序
N360	Z100	
N370	X100	回到换刀点
N380	T0404	换 4 号内螺纹车刀, 选择 4 号刀补
N390	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N400	G00 X25 Z5	快速移动至切螺纹的起始点
N410	G92 X28.9 Z-20 F1.5	G92 第一次车螺纹, 背吃刀量 0.8mm
N420	X29.5	G92 第二次车螺纹, 背吃刀量 0.6mm
N430	X29.9	G92 第三次车螺纹, 背吃刀量 0.4mm
N440	X30.04	G92 第四次车螺纹, 背吃刀量 0.16mm
N450	X30.04	光刀
N460	G00 X100 Z100	返回换刀点
N470	M05	主轴停止
N480	M30	程序结束并返回程序开头
O6402		工件 2 左端外轮廓加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N30	T0101	换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车内孔复合固定循环指令, 并指定粗切量为 1mm
N60	G71 P70 Q120 U0.5 W0 F200	指定内孔粗车循环所属的首末程序段, 设置精车余量和粗车进给速度, 其转速由前面的程序段已指定
N70	G00 X16	精加工轮廓的起始点
N80	G01 Z0 F100	设置精加工进给速度为 100mm/min
N90	G03 X30 Z-7 R7	
N100	G01 Z-8	
N110	G02 X44 Z-15 R7	
N120	G01 X52	精加工程序结束
N130	G00 X100 Z100	返回换刀点
N140	M05	主轴停止, 此时可以测量工件的尺寸并对其进行补偿
N150	M00	程序停止
N160	M03 S1000	设置精车转速为 1 000 r/min

(续)

O6402		工件 2 左端外轮廓加工程序
N170	T0101	
N180	G42 G00 X14 Z2	刀具移动到复合固定循环起点，并掉用圆弧半径右补偿进行精加工内轮廓
N190	G70 P70 Q120	调用精车循环
N200	G40 G00 X100 Z100	回到换刀点，取消圆弧半径补偿
N210	M05	主轴停止
N220	M30	程序结束并返回程序开头

6.4.5 实例小结

本例介绍了不通孔类零件的加工工艺及编程，主要涉及内螺纹加工指令 G92、外径粗车复合固定循环指令 G71 和精车循环指令 G70 的使用。由于工件的精度要求主要受工件形位精度和尺寸精度影响，因此，本例加工中，工件在夹具中的定位与精确找正显得尤为重要。

6.5 不通孔类零件加工 2

高脚杯零件如图 6-7 所示，零件的材料为 45 钢，工件的毛坯尺寸为 $\phi 55\text{mm}\times 80\text{mm}$ ，右端预钻孔 $\phi 20\text{mm}$ 孔深 45mm，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

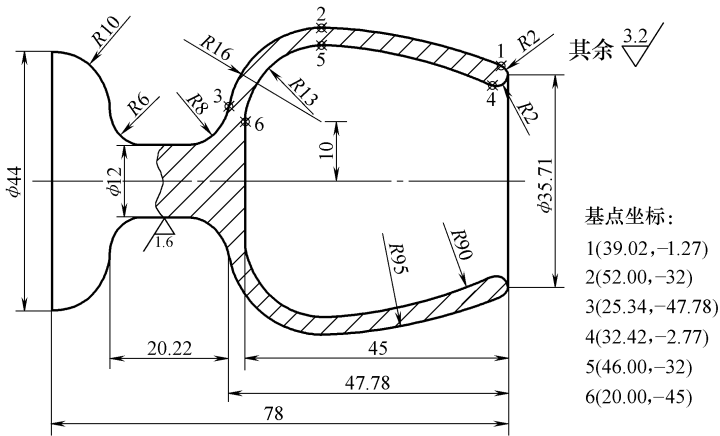


图 6-7 高脚杯零件

6.5.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 熟悉基本编程指令 G00、G01、G03 等的使用方法。
- 2) 了解使用复合固定循环编程指令 G71。
- 3) 掌握仿形复合固定循环编程指令 G73 加工内孔的方法。
- 4) 掌握精车循环指令 G70 的使用方法。

2. 注意事项

- 1) 掌握车床加工中的外径粗车复合固定循环指令 G71 和精车循环指令 G70。
- 2) 由于刀尖圆弧半径补偿对圆柱和端面尺寸没有影响，而对圆锥和圆弧表面尺寸有较大影响。所以，在本例加工中，由于涉及很多圆弧面的加工，所以在加工圆弧面时必须采用刀具半径补偿功能。

6.5.2 工艺分析

1. 加工难点分析

该零件的加工难点就在于保证轮廓的光滑过渡和脚杯宽槽的加工。主要是加工宽槽，由于圆弧的过渡比较陡，加工时不能采用一般的外圆车刀进行加工，可以先用平端面复合固定循环，用切槽刀来切去大部分的余量，再继续用切槽刀的两个切削刃分别进行精加工。

切槽刀的 X 轴对刀方法和外圆刀一样，关于 Z 轴要看用户的程序是怎么写的，有两种对刀方式：一是左刀尖进行对刀；二是右刀尖进行对刀。如果是以刀尖的左边编程，就直接对刀就行了，以右面编程序就要减去切刀的宽度。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 考虑到零件需要加工内、外表面，并且没有装夹的部位，可以在加工前在左端端面先焊接一个辅件以供装夹使用。首先使用自定心卡盘夹持工件的毛坯外圆，加工内孔，然后再用自定心卡盘夹持焊接的辅件，加工工件的外圆。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点：由于加工内孔，为了减少循环加工的次数，工件的外圆起刀点可设置在 (X57, Z2) 的位置，内轮廓可设置在 (X18, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

1) 先用中心钻钻出一个预制中心孔来，再用 $\phi 20\text{mm}$ 的麻花钻钻出一个通孔来。

- 2) 用自定心卡盘来装夹工件外圆，加工工件的内孔。
- 3) 粗、精车工件外轮廓。
- 4) 粗、精车工件外圆槽。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 6-9 所示。

表 6-9 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	93°外圆车刀（粗）	2	800	200
	93°外圆车刀（精）	0.5	1200	100
T0202	90°内孔车刀（粗）	2	600	120
	90°内孔车刀（精）	0.5	1000	80
T0303	切槽刀（刀宽为 3mm）		400	50

6.5.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 6-10 所示。

表 6-10 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm, 25~50mm, 50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2'）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm, R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°,45°	各 1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	1	
内孔车刀	φ20mm 不通孔、φ20mm 通孔	各 1	
外切槽刀	刀宽 3mm	1	
麻花钻	中心钻, φ10mm、φ20mm、φ24mm	各 1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	

(续)

名 称	规 格 (精度)	数 量	备 注
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

6.5.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O6501		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0202	程序初始化，换 2 号刀，选择 2 号刀补
N20	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N30	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G73 U-10 R10	仿形粗车复合固定循环，背吃刀量 1mm，走刀次数为 10 次
N50	G73 P60 Q130 U-0.5 W0 F120	指定循环所属的首末程序段 N60~N130，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.1mm，进给速度 120mm/min
N60	G41 G00 X35.71 Z2	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N80	G02 X32.42 Z-2.77 R2	
N90	G03 X46 Z-32 R90	
N100	G03 X20 Z-45 R13	
N110	G40 G01 X18	退出加工表面，精加工程序结束 nf
N120	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N130	M05	主轴停止
N140	M00	程序停止
N150	M03 S1000	设置精车转速为 1 200r/min
N160	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N170	G00 X32 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N180	G70 P60 Q130 F100	调用精车循环，进给速度 100mm/min
N190	G00 X100 Z100	回到换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M30	程序结束并返回程序开头
O6502		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化，换 1 号刀，选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min

(续)

O6502		工件右端加工程序
N30	G00 X57 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q100 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N100, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X35.71 Z2	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0 F100	设置精加工进给量为 100mm/min
N80	G03 X39.02 Z-1.27 R2	加工外圆
N90	G03 X52 Z-32 R16	加工圆弧
N100	G40 G01 X57	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N110	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N120	M05	主轴停止
N130	M00	程序停止
N140	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N150	T0101	换 1 号精车刀, 选择 1 号刀补
N160	G00 X57 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N170	G70 P60 Q100	调用精车循环, 进给速度 100mm/min
N180	G00 X100 Z100	回到换刀点
N190	M03 S600	设置切槽时的转速为 600r/min
N200	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补 (刀宽 3mm), 右刀尖对刀
N210	G00 X57 Z-37	快速移动至切槽加工的起始点
N220	G01 X50.5 F50	切槽加工第一刀
N230	G00 X57	
N240	Z-40	
N250	G01 X48.3	切槽加工第二刀
N260	G00 X57	
N270	Z-42	
N280	G01 X45.5	切槽加工第三刀
N290	G00 X57	
N300	Z-44	
N310	G01 X41.5	切槽加工第四刀
N320	G00 X57	
N330	Z-46	

(续)

O6502		工件右端加工程序
N340	G01 X35.8	切槽加工第五刀
N350	G00 X57	
N360	Z-48	
N370	G01 X23.8	切槽加工第六刀
N380	G00 X57	
N390	Z-50	
N400	G01 X17.2	切槽加工第七刀
N410	G00 X57	
N420	Z-52	
N430	G01 X14.3	切槽加工第八刀
N440	G00 X57	
N450	Z-54	
N460	G01 X12.9	切槽加工第九刀
N470	G00 X57	
N480	Z-56	
N490	G01 X12.5	切槽加工第十刀
N500	G00 X57	
N510	Z-58	
N520	G01 X12.5	切槽加工第十一刀
N530	G00 X57	
N540	Z-60	
N550	G01 X12.5	切槽加工第十二刀
N560	G00 X57	
N570	Z-32	
N580	G42 G01 X52 F30	精加工槽的右端
N590	G03 X25.34 Z-47.78 R16	
N600	G02 X12 Z-56 R8	
N610	G01 X12 Z-59	
N620	G40 G00 X57	
N630	G00 X100 Z100	
N640	M05	主轴停止
N650	M00	程序停止

(续)

O6502		工件右端加工程序
N660	T0304	换 3 号刀，选择 4 号刀补，左刀尖编程
N670	G00 X57 Z-60	刀具移动到复合固定循环起点
N680	G72 W1 R0.5	端面粗车复合固定循环指令加工槽的左端，并指定背吃刀量为 1mm，退刀量为 0.5mm
N690	G72 P700 Q750 U0.5 W0 F50	指定循环所属的首末程序段 N700~N750，X 轴留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0，进给速度为 50mm/min
N700	G41 G00 Z-78 F30	精加工程序起始点 ns，车削轮廓的起点
N710	G01 X44	
N720	G02 X24 Z-68 R10	
N730	G03 X12 Z-62 R6	
N740	G01 Z-61	
N750	G40 G01 X57	精加工程序结束点 nf，退出已加工表面
N760	G00 X100 Z100	返回到换刀点
N770	M05	主轴停止
N780	M00	程序停止
N790	M03 S1000	设置精车转速为 1 000 r/min
N800	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N810	G70 P70 Q120	调用精车循环
N820	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N830	M05	主轴停止
N840	M30	主程序结束并返回程序开头

6.5.5 实例小结

本例继续介绍了不通孔类零件的加工工艺及编程，主要涉及复合固定循环编程指令 G71、G73 以及精车循环指令 G70 的使用。读者学习时要注意，由于刀尖圆弧半径补偿对圆柱和端面尺寸没有影响，而对圆锥和圆弧表面尺寸有较大影响，所以，在本例加工圆弧面时，必须采用刀具半径补偿功能。本例的加工难点在于保证轮廓的光滑过渡和脚杯宽槽的加工，确定好加工工艺路线尤为关键。

6.6 不通孔类零件加工 3

工件如图 6-8 所示，毛坯为 $\phi 75\text{mm}\times 160\text{mm}$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺并编写其数控车加工程序。

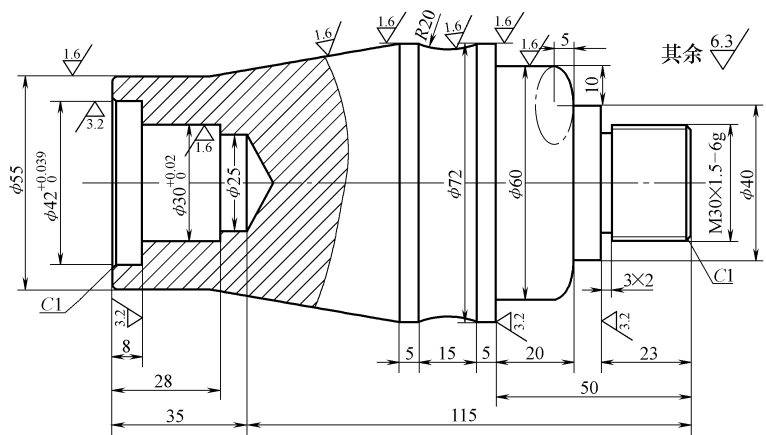


图 6-8 不通孔类零件 3

6.6.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 掌握编制复杂零件（椭圆）的加工程序。
- 2) 掌握 FANUC 0i 宏程序的编写。

2. 注意事项

在 FANUC 0i 指令中只提供了直线插补和圆弧插补功能，对于非圆曲面的加工而言，例如椭圆，必须用宏指令通过直线插补进行拟合实现。

6.6.2 工艺分析

1. 加工难点分析

常见的非圆曲线主要有抛物线、双曲线、椭圆曲线、正弦曲线和余弦曲线等。目前数控系统都还没有提供完善的非圆曲线插补功能，因此本例中要用宏指令来编椭圆程序。

首先设置 $Z = a = 5$ （椭圆在 Z 轴方向上的半径），然后根据椭圆公式可计算出 $X = \frac{10}{5} \sqrt{5^2 - Z^2}$ 。这时需要注意的是，由于椭圆中心没有在原点处，还要调整 Z 坐标的位置。根据公式如果从椭圆的起点设为 Z 为 0 的话，那么每次 Z 减小 0.1mm，求出 X 再让刀具按 G01 走刀，椭圆轮廓就会出来。

当然要完成此功能，必须借助宏程序编程中的控制指令：

IF [条件表达式] GOTO n;

例：IF[#1GT#100] GOTO 1000

该例为有条件转移语句。如果条件成立，则转移到 N1000 程序段执行；如果

条件不成立，则执行下一程序段。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆，确定零件伸出合适的长度（应将机床的限位距离考虑进去）。零件需要加工两端，因此需要考虑两次装夹的位置，考虑到右端 $\phi 60\text{mm}\times 20\text{mm}$ 的台阶可以用来装夹，因此先加工右端，然后调头夹持 $\phi 60\text{mm}\times 20\text{mm}$ 的台阶加工左端。

(2) 位置点

1) 换刀点：零件原点设置在零件右端面，为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰，换刀点可设置在（X100，Z100）。

2) 起刀点：为了减少循环加工的次数，外圆轮廓加工起刀点可设置在（X77，Z2）的位置，内孔轮廓加工可设置在（X20，Z2）。

(3) 确定加工工艺路线

1) 夹持零件，粗、精加工工件右端外圆、槽及螺纹。

2) 调头装夹，夹持 $\phi 60\text{mm}\times 20\text{mm}$ 的台阶，校正，手动车左端保证总长。

3) 工件左端外轮廓粗精加工、钻孔、内孔轮廓粗精加工。

3. 选择刀具与切削用量

选择刀具与切削用量如表 6-11 所示。

表 6-11 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0303	内孔镗刀（粗）	1	600	120
T0404	内孔镗刀（精）	0.4	1 000	80
T0505	切槽刀		600	60
T0606	外螺纹刀		500	20
T0707	钻头 $\phi 25\text{mm}$		400	60

6.6.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 6-12 所示。

表 6-12 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm,25~50mm,50~75mm（0.01mm）	各 1	

(续)

名 称	规 格 (精度)	数 量	备 注
万能量角器	0~320° (2')	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm (0.01mm)	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R15.5mm,R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm (0.01mm)	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°,35°	各 1	
内孔镗刀	90°	2	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
切槽刀	刀宽 3mm	1	
钻头	直径 25mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

6.6.4 程序清单与注释

具体程序及注释如下：

O6301		工件右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化，快速回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X77 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令，并指定粗切量为 2mm
N60	G71 P70 Q170 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段 N70~N170，X 向精车加工余量 0.5mm，Z 加工余量 0.5mm
N70	G42 G00 X24 Z2	精加工轮廓的起始点，倒角延长线 ns
N80	G01 Z0	精加工的进给量速度 100mm/min
N90	X29.85 Z-1 F100	倒角
N100	Z-23	车螺纹外径
N110	X40	

(续)

O6301		工件右端加工程序
N120	Z-30	
N130	X60	
N140	Z-50	
N150	X72	
N160	Z-76	
N170	G40 G01 X77	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N180	G00 X100 Z100	回到换刀点
N190	M05	主轴停止
N200	M00	程序暂停, 检测
N210	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N220	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N230	G00 X77 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N240	G70 P70 Q170	调用精车循环
N250	G00 X100 Z100	回到换刀点
N260	M05	主轴停止
N270	M00	程序暂停, 检测
N280	T0101	换 1 号外圆刀, 选择 1 号刀补
N290	M03 S800	设置切槽时的转速为 800r/min
N300	G00 X77 Z-25	刀具移动到复合固定循环起点
N310	G73 U6 W6 R3	封闭车削复合固定循环指令
N320	G73 P330 Q470 U0.4 W0 F200	指定循环所属的首末程序段 N330~N 470, X 向精车加工余量 0.4mm, Z 向无加工余量。
N330	G42 G00 X60 Z-29	精加工轮廓的起始点
N340	G01 X40 F100	精加工的进给速度为 100mm/min
N350	#101=5	定义变量#101 为 Z 坐标, 并赋初值, 赋值的大小与工件椭圆起始点的坐标有关
N360	#102=SQRT[5*5-#101*#101]*10/5	定义变量#102 为 X 坐标, 并根据椭圆方程 $\frac{X^2}{10^2} + \frac{Z^2}{5^2} = 1$ 即 $X = \frac{10}{5}\sqrt{5^2 - Z^2}$ 计算出 Z 值
N370	#103=#101-5	调整 Z 坐标
N380	#104=#102*2	X 坐标应该是直径值
N390	G01 X[#104+40] Z[#103-30]	调整坐标, 用 G01 直线插补拟合椭圆
N400	#101=#101-0.1	设置 Z 向步增量

(续)

O6301		工件右端加工程序
N410	IF[#101 GE 0] GOTO 360	当 Z 坐标 ≥ 0 时, 跳转至 N360 执行循环
N420	G01 X60	
N430	G00 X75	
N440	Z-55	
N450	G01 X72	
N460	G02 X72 Z-70 R20	
N470	G40 G01 X77	退出已加工表面, 精车程序结束
N480	G00 X100 Z100	回到换刀点
N490	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N500	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N510	G00 X77 Z-29	刀具移动到复合固定循环起点
N520	G70 P330 Q470	调用精车循环并设定精车进给量
N530	G00 X100 Z100	回到换刀点
N540	M05	主轴停止
N550	M00	程序暂停, 检测
N560	T0505	换 5 号切槽刀, 选择 5 号刀补
N570	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N580	G00 X42 Z-23	快速移动至切槽的起始点
N590	G01 X36 F60	直线切槽
N600	G04 X2.0	暂停 2s
N610	G00 X100	
N620	Z100	
N630	M05	主轴停止
N640	M00	程序暂停, 检测
N650	T0606	换 6 号螺纹车刀, 选择 6 号刀补
N660	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N670	G00 X30 Z3	快速移动至切螺纹的起始点
N680	G76 P010160 Q50 R0.05	采用螺纹切削复合循环加工螺纹
N690	G76 X28.5 Z-21.5 R0 P975 Q500 F1.5	
N700	G00 X100 Z100	返回换刀点
N710	M05	主轴停止
N720	M30	程序结束并返回程序开头

(续)

O6302		掉头加工左端外圆及内孔
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N30	T0101	换 1 号外圆刀, 选择 1 号刀补
N50	G00 X77 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车外圆复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N60	G71 P70 Q130 U0.5 W0.5 F200	指定外圆粗车循环所属的首末程序段 N70–N130, X 向精车余量 0.5mm, Z 向精加工余量 0.5mm
N70	G42 G00 X50	精加工轮廓的起始点 ns
N80	G01 Z0 F100	设置精加工进给速度为 100mm/min
N90	G03 X55 Z-2 R2	
N100	G01 Z-25	
N110	X72 Z-40	
N120	Z-42	
N130	G40 G01 X77	退出已加工表面, 精加工轮廓结束 nf
N140	G00 X100 Z100	返回换刀点
N150	M05	主轴停止, 此时可以测量工件的尺寸
N160	M00	程序停止
N170	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N180	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N190	G00 X77 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G70 P70 Q130	调用精车循环
N210	G00 X100 Z100	回到换刀点
N220	M05	主轴停止, 此时可以测量工件的尺寸
N230	M00	程序停止
N240	M03 S400	设置精车转速为 1 200r/min
N250	T0707	换 7 号钻头
N260	G00 X0 Z3	快速到达钻孔起点
N270	G74 R1.0	端面车削循环, 退刀量为 1mm
N280	G74 Z-28 Q3000 F60	
N290	G00 Z100	轴向退刀
N300	G00 X100	径向退刀
N310	M05	主轴停止, 此时可以测量工件的尺寸

(续)

O6302		掉头加工左端外圆及内孔
N320	M00	程序停止
N330	M03 S600	设置粗车内孔转速为 600r/min
N340	T0303	换 3 号内孔车刀，选择 3 号刀补
N350	G00 X20 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N360	G71 U1 R0.5	粗车内孔复合固定循环指令，粗切量为 1mm
N370	G71 P380 Q430 U-0.4 W0.1 F120	指定内孔粗车循环所属的首末程序段 N380- N430，X 向精车余量为 0.4mm，Z 向精车余量为 0.1mm
N380	G41 G00 X46	精加工内孔的起始点，倒角延伸线 ns
N390	G01 X42 Z-1 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N400	Z- 8	
N410	X30	
N420	Z-28	
N430	G40 G01 X20	退出已加工表面，精加工内孔结束 nf
N440	G00 X100 Z100	返回换刀点
N450	M05	主轴停止，此时可以测量工件的尺寸并对其进行补偿
N460	M00	程序停止
N470	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N480	T0404	换 4 号精车刀，选择 4 号刀补
N490	G00 X20 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N500	G70 P380 Q430	调用精车内孔循环
N510	G00 X100 Z100	回到换刀点
N520	M05	主轴停止
N530	M30	程序结束并返回程序开头

6.6.5 实例小结

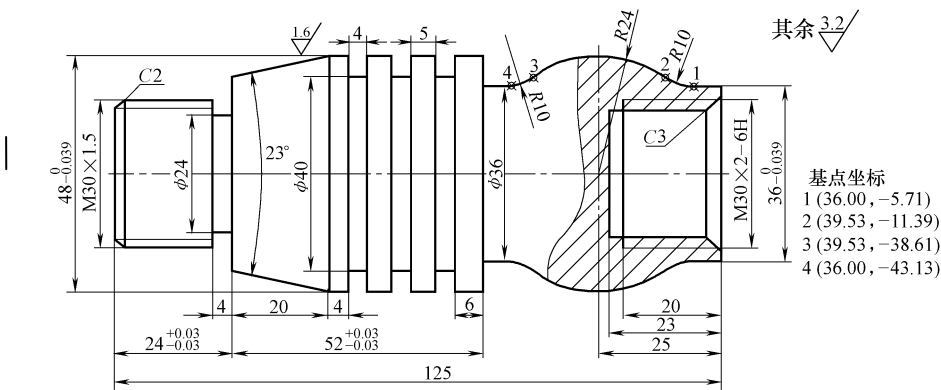
本例继续介绍了不通孔类零件的加工工艺及编程，主要涉及螺纹复合循环指令 G76 以及宏指令的使用。读者学习时请注意：对于 FANUC oi-mate 系统 G73 可以进行宏程序加工。若是有些系统不能用 G73 来加工，则可以利用调用子程序的加工方法来实现，走刀路径完全一样。

第 7 章 综合类零件加工案例

前面分别介绍了轴类、套类、孔类零件的加工编程方法。但是实际加工的时候，经常会遇见一些难度较大的综合类零件。本章结合典型案例来介绍 FANUC 系统中综合类零件加工的加工方法和过程，使读者从入门走向精通。

7.1 内、外轮廓综合加工 1

加工零件如图 7-1 所示，毛坯尺寸为 $\phi 50 \times 127$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺并编写其数控车加工程序。



7.1.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 熟悉基本编程指令 G00、G01、G03 等的使用方法。
- 2) 掌握螺纹切削单一固定循环指令 G92。
- 3) 熟悉螺纹复合循环指令 G76。

2. 注意事项

- 1) G92、G76 指令在编程时走刀路线和指令格式的区别。
- 2) G73 指令加工凹凸类零件时，还需注意在 Z 轴方向的总加工余量一定要为零，精加工余量也为零。

3) 使用 G70 精车循环时, 要注意快速退刀的路线, 防止刀具与工件碰撞。

4) 由于刀尖圆弧半径补偿对圆柱和端面尺寸没有影响, 而对圆锥和圆弧表面尺寸有较大影响。所以在本例加工中, 由于涉及圆锥面的配合加工, 所以在加工圆锥面时必须采用刀具半径补偿功能。

7.1.2 工艺分析

1. 加工难点分析

(1) 车螺纹前直径尺寸的确定 车外螺纹时, 由于受车刀挤压会使螺纹大径尺寸胀大, 所以车螺纹前大径一般应比基本尺寸小 $0.2 \sim 0.4\text{mm}$ (约 $0.13P$), 车好螺纹后牙顶处有 $0.125P$ 的宽度。同理, 车削三角形内螺纹时, 内孔直径会缩小, 所以车削内螺纹前的孔径要比内螺纹小径略大些。

(2) FANUC 螺纹加工指令

1) 单一固定循环加工螺纹

G92 X(U)_ Z(W)_ F_;

2) 复合固定循环加工螺纹

G76 P(m)(r)(a) Q(min) R(d)

G76 X(U)_ Z(W)_ R(i) P(k) Q(Δd) F_

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 考虑到该零件需要加工内外表面, 要进行二次安装。首先使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆, 加工左侧外轮廓, 保证左侧外圆、螺纹、切槽的加工精度, 然后掉头装夹校正工件后, 加工工件右端的内、外圆轮廓。

(2) 位置点

1) 换刀点: 零件原点设置在零件右端面, 为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰, 换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点: 由于加工内孔, 为了减少循环加工的次数, 外圆起刀点可设置在 (X52, Z2) 的位置, 内轮廓可设置在 (X22, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

1) 粗、精加工左端外轮廓至尺寸要求。

2) 切螺纹退刀槽。

3) 粗、精加工螺纹至尺寸要求。

4) 钻孔 ($\phi 24 \times 23$)。

5) 车左端面至长度尺寸要求。

6) 粗、精加工右端内、外轮廓至尺寸要求。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 7-1 所示。

表 7-1 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	93°外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	93°外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0303	切槽刀（刀宽为 4mm）		400	60
T0404	外螺纹刀		500	20
T0505	菱形外圆车刀	1	800	120
T0606	内孔车刀	1	800	100
T0707	内螺纹车刀		500	

7.1.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 7-2 所示。

表 7-2 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm，25~50mm，50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R15.5mm，R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°，35°	各 1	
镗刀		1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
切槽刀	刀宽 3mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

7.1.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O7101		工件左端加工程序
N10	G98 G40 X100 Z100	程序初始化，返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令，并指定粗切量为 2mm
N60	G71 P70 Q140 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段 N70~N140，X 方向精车余量 0.5mm，Z 方向精车余量 0.5mm
N70	G42 G00 X26	精加工程序起始点 ns
N80	G01 Z0 F100	
N90	X29.8 Z-2	
N100	Z-24	
N110	X40	
N120	X48 Z-44	
N130	Z-76	
N140	G40 G01 X52	精加工程序结束点 nf
N150	G00 X100 Z100	回换刀点
N160	M05	主轴停止
N170	M00	程序暂停，检测，补偿
N180	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N190	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N200	G00 52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N210	G70 P70 Q140	调用精车循环并设定精车进给量
N220	G00 X100 Z100	回到换刀点
N230	M05	主轴停止
N240	M00	程序暂停，检测，补偿
N250	T0303	换 3 号切槽刀，选择 3 号刀补
N260	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N270	G00 X45 Z-24	快速移动至切槽的起始点
N280	G01 X24 F60	外圆切槽

(续)

O7101		工件左端加工程序
N290	G00 X100	
N300	Z100	快速移动至换刀点
N310	T0404	换 4 号外螺纹刀, 选择 4 号刀补
N320	M03 S500	设置螺纹切削时的转速为 500r/min
N330	G00 X35 Z3	快速移动至螺纹切槽循环的起始点
N340	G92 X29.2 Z-31 F1.5	G92 第一次车螺纹, 背吃刀量 0.8mm
N350	X28.6	G92 第二次车螺纹, 背吃刀量 0.6mm
N360	X28.2	G92 第三次车螺纹, 背吃刀量 0.4mm
N370	X28.04	G92 第四次车螺纹, 背吃刀量 0.16mm
N380	X28.04	光刀
N390	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N400	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补
N410	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N420	G00 X50 Z-52	快速移动至切槽循环的起始点
N430	G75 R0.5	外圆切槽循环, 指定退刀量 0.5mm
N440	G75 X40 Z-70 P2000 Q9000 F60	
N450	G00 X100	刀具沿径向快速退出
N460	Z100	回到换刀点
N470	M05	主轴停止
N480	M30	程序结束并返回程序开头
O7102		掉头加工右端轮廓和内孔
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800 r/min
N30	T0505	换 5 号菱形刀, 选择 5 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G73 U15 W1 R10	粗车复合固定循环指令, 设置走刀次数为 10 次
N60	G73 P70 Q180 U0.5 W0 F200	指定循环所属的首末程序段 N70~N180, X 方向精车余量 0.2mm, Z 向无加工余量
N70	G42 G00 X36	精加工程序起点 ns
N80	G01 Z-5.71 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min

(续)

O7102		掉头加工右端轮廓和内孔
N90	G02 X39.53 Z-11.39 R10	
N100	G03 X39.53 Z-38.61 R24	
N110	G02 X36 Z-43.13 R10	
N120	G01 Z-49	
N130	G40 G01 X52	精加工程序结束点 nf
N140	G00 X100 Z100	回换刀点
N150	M05	主轴停止
N160	M00	程序暂停, 检测, 补偿
N170	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N180	T0505	换 5 号精车刀, 选择 5 号刀补
N190	G00 X52 Z5	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G70 P70 Q180	调用精车循环
N210	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N220	M03 S800	设置精车转速为 800r/min
N230	T0606	换 6 号内孔刀, 选择 6 号刀补
N240	G00 X22 Z5	刀具移动到单一复合固定循环起点
N250	G90 X24 Z-25 F80	固定循环指令加工圆柱表面
N260	X26	固定循环模式调用, 下同
N270	X28	
N280	G00 X100 Z100	回到换刀点
N290	M03 S500	设置精车转速为 500r/min
N300	T0707	换 7 号内螺纹车刀, 选择 7 号刀补
N310	G00 X20 Z3	刀具移动到单一复合固定循环起点
N320	G76 P010160 Q100 R-0.05	采用螺纹切削复合循环加工内螺纹, 精加工重复一次, 牙型角为 60°
N330	G76 X30 Z-23 R0 P1300 Q450 F2	螺纹的大径为 30mm, Z 向的终点坐标-23, 直螺纹, 牙深为 1.3mm, 第一刀切深为 0.45mm, 导程为 2mm
N340	G00 Z100	
N350	X100	回到换刀点
N360	M05	主轴停止
N370	M30	主程序结束并返回程序开头

7.1.5 实例小结

本例介绍了内、外轮廓综合加工工艺及编程，主要涉及螺纹切削单一固定循环指令 G92、螺纹复合循环指令 G76 和精车循环指令 G70 的使用。读者学习时应注意，使用 G70 精车循环时，要注意快速退刀的路线，防止刀具与工件碰撞，以免破坏加工效果。

7.2 内、外轮廓综合加工 2

加工零件如图 7-2 所示，毛坯尺寸为 $\phi 75 \times 120$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

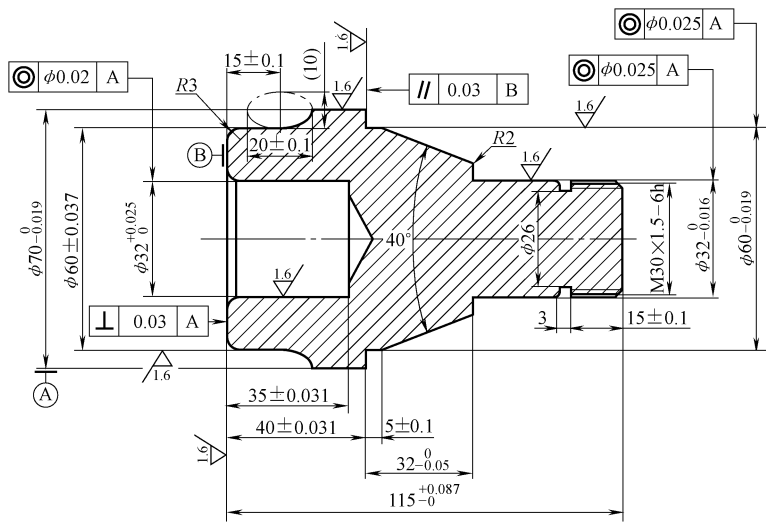


图 7-2 内、外轮廓综合加工零件 2

7.2.1 学习目标与注意事项

- 1. 学习目标
 - 1) 掌握复合固定循环编程指令 G71 和精车循环指令 G70 的使用方法。
 - 2) 掌握仿形复合固定循环编程指令 G73 加工椭圆的方法。
- 2. 注意事项
 - 1) 根据零件的具体形状，正确选择螺纹加工的起刀点和退刀点。
 - 2) G73 指令加工凹凸类零件时需注意在 Z 轴方向的总加工余量一定要为零，精加工余量也为零。

3) 工件需调头加工, 注意工件的装夹部位和程序零点设置的位置。

7.2.2 工艺分析

1. 加工难点分析

(1) 刀尖圆弧半径补偿的定义 在理想状态下, 总是将尖形车刀的刀位点假想成一个点, 该点即为假想刀尖 (图 7-3 中的 O 点), 在对刀时, 也是以假想刀尖进行对刀。但实际加工中的车刀, 由于工艺或其他要求, 刀尖往往不是一个理想的点, 而是一段圆弧 (如图 7-3 中圆弧), 这时的刀位点为刀尖圆弧的圆心。为确保工件轮廓形状, 加工时不允许刀具刀尖圆弧的圆心运动轨迹与被加工工件轮廓重合, 而应与工件轮廓偏置一个半径值, 这种偏置称为刀尖圆弧半径补偿。

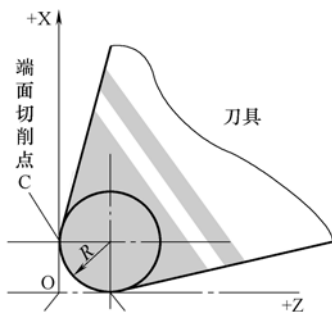


图 7-3 假想刀尖示意图

(2) 刀尖圆弧半径补偿指令

格式: G41 G01/G00 X_ Z_ F_ (刀尖圆弧半径左补偿)

G42 G01/G00 X_ Z_ F_ (刀尖圆弧半径右补偿)

G40 G01/G00 X_ Z_ (取消刀尖圆弧半径补偿)

(3) 刀尖圆弧半径补偿注意事项

1) 刀具半径补偿模式的建立与取消程序段只能在 G00 或 G01 移动指令模式下才有效。

2) G41/G42 不带参数, 其补偿号由 T 指令指定, 刀尖圆弧半径补偿号与刀具偏置补偿号对应。

3) 采用切线切入方式或法线切入方式建立或取消刀补。

4) 为了防止在刀具半径补偿建立与取消过程中刀具产生过切现象, 在建立与取消补偿时, 程序段的起始位置与终点位置最好与补偿方向在同一侧。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆, 确定零件伸出合适的长度 (应将机床的限位距离考虑进去)。零件需要加工两端, 因此需要考虑两次装夹的位置, 考虑到右端 $\phi 32\text{mm}$ 的台阶可以用来装夹, 因此先加工右端, 然后调头夹持 $\phi 32\text{mm}$ 的台阶加工左端。

(2) 位置点

1) 换刀点: 零件原点设置在零件右端面, 为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰, 换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点: 为了减少循环加工的次数, 外圆起刀点可设置在 (X77, Z2) 的

位置，内轮廓可设置在（X25，Z2）。

（3）确定加工工艺路线

- 1) 粗、精加工右端外轮廓至尺寸要求。
- 2) 切螺纹退刀槽。
- 3) 粗、精加工螺纹至尺寸要求。
- 4) 掉头，手动车左端面至长度尺寸要求。
- 5) 手动钻孔（ $\phi 28 \times 35$ ）。
- 6) 粗、精加工左端内、外轮廓至尺寸要求。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 7-3 所示。

表 7-3 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	外圆车刀（粗）	2	800	200
T0202	外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0303	切槽刀		400	60
T0404	外螺纹刀		500	20
T0505	内孔车刀	1	800	100

7.2.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 7-4 所示。

表 7-4 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm，25~50mm，50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2'）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R15.5mm，R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	90°，35°	各 1	
镗刀		1	

(续)

名 称	规 格 (精度)	数 量	备 注
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	1	
切槽刀	刀宽为 3mm	1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

7.2.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O7101		工件右端加工程序
N10	G98 G40 X100 Z100	程序初始化，返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X77 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车复合固定循环指令，并指定粗切量为 2mm
N60	G71 P70 Q180 U0.5 W0.5 F200	指定循环所属的首末程序段 N70~N180，X 方向精车余量 0.5mm，Z 方向精车余量 0.5mm
N70	G42 G00 X26	精加工程序起始点 ns
N80	G01 Z0 F100	
N90	X29.85 Z-2	
N100	Z-18	
N110	X32	
N120	Z-43	
N130	X37.54	
N140	G03 X41.3 W-1.32 R2	
N150	G01 X60 Z-70	
N160	W-5	
N170	X72	
N180	G40 G01 X77	精加工程序结束点 nf
N190	G00 X100 Z100	回换刀点

(续)

O7101		工件右端加工程序
N200	M05	主轴停止
N210	M00	程序暂停, 检测, 补偿
N220	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N230	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N240	G00 X77 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N250	G70 P70 Q180	调用精车循环并设定精车进给量
N260	G00 X100 Z100	回到换刀点
N270	M05	主轴停止
N280	M00	程序暂停, 检测, 补偿
N290	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补
N300	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N310	G00 X35 Z-18	快速移动至切槽的起始点
N320	G01 X26 F60	外圆切槽
N330	G00 X100	
N340	Z100	快速移动至换刀点
N350	M05	主轴停止
N360	M00	程序暂停, 检测, 补偿
N370	T0404	换 4 号外螺纹刀, 选择 4 号刀补
N380	M03 S500	设置螺纹切削时的转速为 500r/min
N390	G00 X35 Z3	快速移动至螺纹切槽循环的起始点
N400	G92 X29.2 Z-17 F1.5	G92 分四次车削螺纹
N410	X28.6	
N420	X28.2	
N430	X28.04	
N440	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N450	M05	主轴停止
N460	M30	程序结束并返回程序开头
O7102		掉头加工左端轮廓和内孔
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min

(续)

O7102		掉头加工左端轮廓和内孔
N30	T0101	换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N40	G00 X77 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G73 U15 W1 R10	粗车复合固定循环指令, 设置走刀次数为 10 次
N60	G73 P70 Q180 U0.5 W0 F200	指定循环所属的首末程序段 N70~N180, X 方向精车余量 0.2mm, Z 向无加工余量
N70	G42 G00 X54	精加工程序起点 ns
N80	G01 Z0 F100	设置精加工进给速度为 80mm/min
N90	G03 X60 Z-3 R3	
N100	Z-15	
N110	#101=0	定义变量#101 为 Z 坐标, 并赋初值, 赋值的大小与工件椭圆起始点的坐标有关
N120	#102=SQRT[5*5-#101*#101]*10/5	定义变量#102 为 X 坐标, 并根据椭圆方程 $\frac{X^2}{10^2} + \frac{Z^2}{5^2} = 1$ 即 $X = \frac{10}{5}\sqrt{5^2 - Z^2}$ 计算出 X 值
N130	#103=#102*2	X 坐标应该是直径值
N140	G01 X[70-#103] Z[-#101-15]	调整坐标, 用 G01 直线插补拟合椭圆
N150	#101=#101+0.1	设置 Z 向步进量
N160	IF[#101 LE 5] GOTO 120	当 Z 坐标≤5 时, 跳转至 N120 执行循环
N170	G01 X70	
N180	Z-40	精加工程序结束 nf
N190	G00 X100 Z100	回换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M00	程序暂停, 检测, 补偿
N220	M03 S1200	设置精车转速为 1200r/min
N230	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N240	G00 X80 Z5	刀具移动到复合固定循环起点
N250	G70 P70 Q180	调用精车循环
N260	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N270	M05	主轴停止
N280	M00	程序暂停, 检测, 补偿
N290	M03 S800	设置精车转速为 800r/min
N300	T0505	换 5 号内孔刀, 选择 5 号刀补

(续)

O7102		掉头加工左端轮廓和内孔
N310	G00 X25 Z5	刀具移动到单一复合固定循环起点
N320	G90 X30 Z-40 F100	固定循环指令加工圆柱表面
N330	X31	固定循环模态调用，下同
N340	X32	
N350	G00 X100 Z100	回到换刀点
N360	M05	主轴停止
N370	M30	主程序结束并返回程序开头

7.2.5 实例小结

本例继续介绍了内、外轮廓综合加工工艺及编程，主要涉及复合固定循环编程指令 G71、精车循环指令 G70 以及仿形复合固定循环编程指令 G73 的使用。读者学习时候请注意工件的装夹部位和程序零点设置的位置，需要调头加工；同时 G73 指令加工凹凸类零件时候，在 Z 轴方向的总加工余量一定要为零，精加工余量也为零。

7.3 内、外轮廓综合加工 3（斜椭圆）

加工零件如图 7-4 所示，毛坯尺寸为 $\phi 75 \times 120$ 的 45 钢，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

7.3.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 掌握复合固定循环编程指令 G71 和精车循环指令 G70 的使用方法。
- 2) 掌握仿形复合固定循环编程指令 G73 加工椭圆的方法。

2. 注意事项

- 1) 根据零件的具体形状，正确选择螺纹加工的起刀点和退刀点。
- 2) G73 指令加工凹凸类零件时需注意在 Z 轴方向的总加工余量一定要为零，精加工余量也为零。

3) 在加工中，变量的赋值可以按粗车和精车来取值。粗加工程序变量的取值应根据预留加工余量的大小来确定，在保证加工不过切的前提下，可以选择较大的程序变量，但是也不能过大，变量过大会使精加工余量不均匀或形成过切；精加工时，主要是保证工件的质量，为使工件的几何形状达到要求，需要减少拟合

的误差，因此应该选择一个较小的程序变量。

7.3.2 工艺分析

1. 加工难点分析

本例的加工难点在于“斜椭圆”的加工，也可采用宏程序加工的方式，可按如下格式：

1) 相关数学计算。椭圆的参数方程为：

$$Z = a \times \cos(t)$$

$$X = b \times \sin(t)$$

则椭圆上任一点 A 点坐标 (Z, X) : (acost, bsint)，即 $\frac{X}{Z} = \frac{bsint}{acost} = \frac{b}{a} \tan t$ ，可根据此公式来计算椭圆轮廓的起始角和终点角。若椭圆绕圆心旋转 θ ，则根据旋转公式，求出 A 点在工件坐标系 (ZOX 坐标系) 中的坐标为：

$$A \text{ 点: } Z: acost \cos\theta - bsint \sin\theta;$$

$$X: acost \sin\theta + bsint \cos\theta.$$

注意：椭圆顺时针旋转时，公式中的 θ 角取负值；逆时针旋转时， θ 角取正值。

2) 程序格式

#101=起始角 (t) (椭圆轮廓起始点的参数角)

WHILE[#101 GE 负终点角] DOm (m=1、2、3...) [若为凹凸椭圆轮廓，则应为 WHILE[#101 LE 终点角] DOm (m=1、2、3...)]

#102=a*COS[#101]*COS[θ]-b*SIN[#101]*SIN[θ] [椭圆上任一点 Z 坐标值]

#103=a*COS[#101]*SIN[θ]+b*SIN[#101]*COS[θ] [椭圆上任一点 X 坐标值]

G01 X[2*#103+U]Z[#102+W]F60 (直线插补椭圆，U、W 为椭圆圆心在编程坐标系下的坐标，即椭圆平移后需要进行坐标转换，请注意平移方向，以便确定 U、W 的正负)。

#101=#101-0.5 (若为凸椭圆轮廓，则应为 #101=#101+0.5)

ENDm;

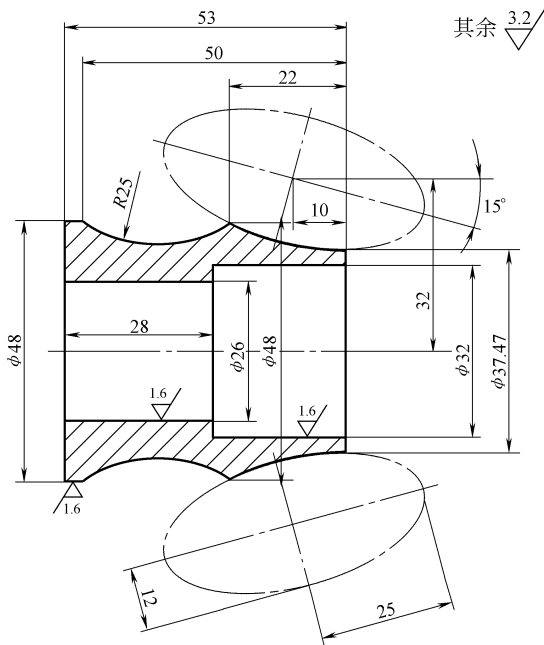


图 7-4 内、外轮廓综合加工零件 3

3) 本例题计算起始参数角和终点参数角的结果如下:

计算终点参数角: 根据公式 $\frac{X}{Z} = \frac{bsint}{acost} = \frac{b}{a} \tan t$,

可以得到: 起始参数角=-38°。

计算终点参数角: 根据公式 $\frac{X}{Z} = \frac{bsint}{acost} = \frac{b}{a} \tan t$,

可以得到: 终点参数角=-130°。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 由于工件的外圆在加工完成后不能再装夹, 因此可考虑用心轴来装夹。首先使用自定心卡盘夹持零件的毛坯外圆, 加工工件的内孔。内孔加工完成后装入心轴, 然后直接加工工件的外圆。

(2) 位置点

1) 换刀点: 零件原点设置在零件右端面, 为了防止换刀是刀具与零件或尾架相碰, 换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点: 为了减少循环加工的次数, 外圆起刀点可设置在 (X52, Z2) 的位置, 内轮廓可设置在 (X22, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

1) 手动钻通孔 (φ24mm)。

2) 粗、精加工工件的内轮廓至尺寸要求。

3) 装入心轴, 粗、精加工工件的外轮廓至尺寸要求。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 7-5 所示。

表 7-5 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	菱形外圆车刀(粗)	2	800	200
T0202	菱形外圆车刀(精)	0.5	1 200	100
T0303	内孔镗刀(粗)	1	600	120
T0404	内孔镗刀 (精)	0.3	1 000	80

7.3.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 7-6 所示。

表 7-6 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0 ~ 25mm， 25 ~ 50mm， 50 ~ 75mm (0.01mm)	各 1	
万能量角器	0~320°（2'）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R15.5mm， R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	90°， 35°	各 1	
镗刀		1	
麻花钻	中心钻， $\phi 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 24\text{mm}$	各 1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

7.3.4 程序清单与注释

参考程序及代码如下：

O7301		工件内孔加工程序
N10	G98 G40 X100 Z100	程序初始化，返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800 r/min
N30	T0303	换 3 号内孔镗刀，选择 3 号刀补
N40	G00 X22 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G71 U1 R0.5	粗车复合固定循环指令，并指定粗切量为 1mm
N60	G71 P70 Q120 U0.5 W0.5 F120	指定循环所属的首末程序段 N70~N120，X 方向精车余量 0.5mm，Z 方向精车余量 0.5mm
N70	G00 X34	精加工程序起始点 ns
N80	G01 Z0 F80	设置精车进给量为 80mm/min

(续)

O7301		工件内孔加工程序
N90	X32 Z-1	
N100	Z-25	
N110	X26	
N120	Z-55	精加程序结束点 nf
N130	G00 X100 Z100	回换刀点
N140	M05	主轴停止
N150	M00	程序暂停, 检测, 补偿
N160	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N170	T0404	换 4 号精车刀, 选择 4 号刀补
N180	G00 X22 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N190	G70 P70 Q120	调用精车循环
N200	G00 X100 Z100	回到换刀点
N210	M05	主轴停止
N220	M30	程序结束并返回程序开头
O7302		加工工件的外轮廓
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N40	G00 X52	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G73 U13 R13	粗车复合固定循环指令, 设置走刀次数为 13
N60	G73 P70 Q190 U0.5 W0 F200	指定循环所属的首末程序段 N70~N190, X 方向精车余量 0.5mm, Z 向无加工余量
N70	G42 G00 X37.47	精加程序起点 ns
N80	G01 Z0 F100	设置精加工进给量为 100mm/min
N90	#101=-38	椭圆轮廓起始点的参数角
N100	WHILE[#101 GE -130] DO1	当角度值 $t \geq -130$ 时, 执行循环
N110	#102=25*COS[#101]*COS[-15] -12*SIN[#101]*SIN[-15]	椭圆上的 Z 坐标值
N120	#103=25*COS[#101]*SIN[-15]+12* SIN[#101]*COS[-15]	椭圆上的 X 坐标值

(续)

O7302		加工工件的外轮廓
N130	G01 X[64-2*#103] Z[-#102-10]	调整坐标，用 G01 直线插补拟合椭圆
N140	#101=#101-0.5	设置角度的步进量
N150	END1	
N160	G01 X48 Z-22	
N170	G02 X48 Z-50 R25	
N180	G01 Z-55	
N190	G40 G01 X52	精加工程序结束 nf
N200	G00 X100 Z100	回换刀点
N210	M05	主轴停止
N220	M00	程序暂停，检测，补偿
N230	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N240	T0202	换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N250	G00 X22 Z5	刀具移动到复合固定循环起点
N260	G70 P70 Q190	调用精车循环
N270	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N280	M05	主轴停止
N290	M30	主程序结束并返回程序开头

7.3.5 实例小结

本例在前面实例基础上，介绍了内、外轮廓综合加工 3（斜椭圆）的工艺及流程。加工本例时候，首先根据零件的具体形状，正确选择螺纹加工的起刀点和退刀点。然后在加工中，变量的赋值可以按粗车和精车来取值，粗加工程序变量的取值应根据预留加工余量的大小来确定。精加工时，为使工件的几何形状达到要求，需要减少拟合的误差，所以选择一个较小的程序变量。

7.4 成形面类零件加工 1

组合件 1 如图 7-5 所示，材料为 45 钢，件 1 的毛坯尺寸为 $\phi 60\text{mm}\times 60\text{mm}$ ，左端预钻孔 $\phi 25\text{mm}$ ，孔深 10mm，件 2 的毛坯尺寸为 $\phi 60\text{mm}\times 45\text{mm}$ ，并钻 $\phi 20\text{mm}$ 的通孔，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

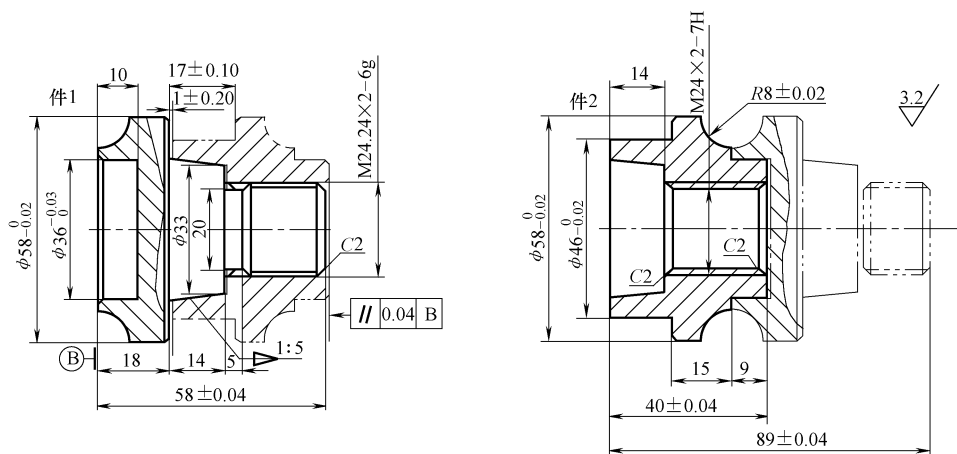


图 7-5 成形面类组合件 1

技术要求：锐边去毛倒棱，未注倒角为 C1，件 1 右端允许打中心孔。

7.4.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 掌握配合件的加工方法。
- 2) 掌握循环指令的格式和用法。

2. 注意事项

1) 在加工前要明确件 1 与件 2 各端面的加工次序。在确定加工次序时，要考虑各单件的加工精度、组合件的配合精度及工件加工过程中的装夹与校正等各方面因素。

2) 配合件的各项配合精度要求主要受工件形位精度和尺寸精度影响。因此，在数控加工中，工件在夹具中的定位与精确找正显得尤为重要。

3) 对于保证圆锥面的配合要求，内外圆锥面在精加工过程中，应采用刀尖圆弧半径补偿进行编程和加工。

7.4.2 工艺分析

1. 加工难点分析

加工方法分析本配合件加工的难点在于保证各项配合精度。组合精度分析工件组合后，难保证的尺寸精度主要有：槽宽尺寸 (17 ± 0.10) mm，间隙尺寸 (1 ± 0.20) mm，长度尺寸 (89 ± 0.04) mm，圆弧尺寸 R (8 ± 0.02) mm。难保证的形位精度有：平行度 0.04mm。其他难保证的组合精度有：接触面积大于 60%，圆

柱面配合及螺纹配合松紧适中。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 工件的定位及装夹本例均采用自定心卡盘进行定位与装夹。件 1 掉头加工另一端时, 还可采用一夹一项的装夹方式。

工件装夹时的夹紧力要适中, 既要防止工件的变形与夹伤, 又要防止工件在加工过程中产生松动。工件装夹过程中, 应对工件进行找正, 以保证工件轴线与主轴轴线同轴。

(2) 位置点

1) 换刀点: 零件原点设置在零件右端面, 为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰, 换刀点可设置在 (X100, Z100)。

2) 起刀点: 由于加工内孔, 为了减少循环加工的次数, 件 1 的外圆起刀点可设置在 (X62, Z2) 的位置, 内轮廓起刀点可设置在 (X20, Z2) 的位置上; 件 2 的外圆起刀点可设置在 (X62, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

1) 件 1 加工步骤

- ① 手工钻孔、扩孔、车端面, 扩孔直径为 $\phi 25\text{mm}$, 注意控制孔的深度。
- ② 采用外圆粗、精车指令加工左端外形轮廓, 保证尺寸由 $\phi 58_{-0.02}^0\text{mm}$ 、 $R(8\pm 0.02)\text{mm}$, $\phi 58\text{mm}$ 外圆长度方向加工至 Z-40 处, 以便掉头装夹钻中心孔。
- ③ 采用粗、精车指令加工左端内轮廓, 保证尺寸 $\phi 36_{+0.03}^0\text{mm}$ 及深度尺寸。
- ④ 掉头装夹校正, 手工车端面, 保证总长 $(58\pm 0.04)\text{mm}$, 钻中心孔。
- ⑤ 重新采用一夹一项的装夹方式装夹工件, 注意控制工件伸出长度。
- ⑥ 采用外圆粗、精车指令加工右端外形轮廓, 螺纹大径处尺寸为 24.8mm , 精车时, 应采用刀尖圆弧半径补偿, 以保证锥面的尺寸精度。
- ⑦ 切槽加工螺纹退刀槽。
- ⑧ 加工右端外螺纹, 在拆卸工件前先松开顶尖, 用止通规检查螺纹精度。
- ⑨ 拆卸工件, 并对工件去毛倒棱。

2) 件 2 加工步骤

- ① 装夹工件并注意装夹长度。手工钻孔、扩孔、车端面, 扩孔直径为 $\phi 20\text{mm}$ 。
- ② 采用外圆粗、精车循环指令加工左端外形轮廓, 保证尺寸 $\phi 58_{-0.02}^0\text{mm}$ 和 $\phi 46_{-0.02}^0\text{mm}$ 。
- ③ 采用内孔粗、精车循环指令加工内轮廓, 内螺纹小径加工至 $\phi 22\text{mm}$ 。
- ④ 加工内螺纹, 并用止通规检查。
- ⑤ 用件 1 与件 2 试配并修正件 2 内锥面, 以保证各项配合精度。
- ⑥ 掉头装夹于 $\phi 46$ 直径处, 用百分表校正 $\phi 58$ 外圆表面, 手工车右端面。

⑦ 采用外圆粗、精车循环指令加上右端外形轮廓，用件 1 与件 2 试配并修正件 2。

⑧ 拆卸工件，去毛倒棱，检查各项加工精度。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 7-7 所示。

表 7-7 刀具与切削用量

刀 具 号	刀具名称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	90°外圆车刀（粗）	2	800	200
	90°外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0202	90°内孔车刀（粗）	1	600	120
	90°内孔车刀（精）	0.4	1 000	80
T0303	外切槽刀		400	50
T0404	外螺纹车刀		500	
T0505	内螺纹车刀		500	

7.4.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 7-8 所示。

表 7-8 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm，25~50mm，50~75mm（0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm，R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°，45°	各 1	

(续)

名 称	规 格 (精度)	数 量	备 注
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	1	
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
内孔车刀	φ20mm 不通孔、φ20mm 通孔	各 1	
外切槽刀	刀宽 4mm	1	
麻花钻	中心钻, φ10mm、φ20mm、φ24mm	各 1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

7.4.4 程序清单与注释

参考程序及代码如下：

O7401		工件 1 左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q100 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N100, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X42	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	G02 X58 Z-8 R8	
N90	G01 Z-40	
N100	G40 G01 X60	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N110	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N120	M05	主轴停止
N130	M00	程序停止
N140	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N150	T0101	换 1 号精车刀, 选择 1 号刀补
N160	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N170	G70 P60 Q100 F100	调用精车循环, 进给速度 100mm/min

(续)

O7401		工件 1 左端加工程序
N180	G00 X100 Z100	回到换刀点
N190	T0202	换 2 号内孔刀, 选择 2 号刀补
N200	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N210	G00 X23 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N220	G71 U1 R0.5	内孔粗车复合固定循环, 背吃刀量 1mm, 退刀量 0.5mm
N230	G71 P240 Q280 U-0.5 W0.1 F120	指定循环所属的首末程序段 N240~N280, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 120mm/min
N240	G00 X38	精加工轮廓的起始点 ns
N250	G01 Z0	
N260	G01 X36 Z-1	
N270	G01 Z-10	
N280	G01 X24	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N290	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N300	M05	主轴停止
N310	M00	程序停止
N320	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N330	T0202	换 2 号内孔精车刀, 选择 2 号刀补
N340	G00 X23 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N350	G70 P240 Q280 F80	调用精车循环, 进给速度 80mm/min
N360	G00 X100 Z100	回到换刀点
N370	M05	主轴停止
N380	M30	程序结束并返回程序开头
O7402		工件 1 右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q140 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N140, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min

(续)

O7402		工件 1 右端加工程序
N60	G42 G00 X20.2	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	G01 X24.8 Z-2	
N90	G01 Z-36	
N100	X33	
N110	X36.6 W-14	
N120	X56	
N130	X58 W-1	
N140	G40 G01 X60	退出已加工表面，精加程序结束 nf
N150	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N160	M05	主轴停止
N170	M00	程序停止
N180	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N190	T0101	换 1 号精车刀，选择 1 号刀补
N200	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N210	G70 P60 Q140 F100	调用精车循环，进给速度 100mm/min
N220	G00 X100 Z100	回到换刀点
N230	T0303	换 3 号切槽刀，选择 3 号刀补
N240	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N250	G00 X35	
N260	Z-36	快速移动至切槽的起始点
N270	G01 X20 F60	切槽
N280	G01 X35	
N290	X100 Z100	回到换刀点
N300	T0505	换 5 号外螺纹车刀，选择 5 号刀补
N310	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500 r/min
N320	G00 X30 Z3	快速移动至切螺纹的起始点
N330	G76 P010160 Q100 R0.05	采用螺纹切削复合循环加工螺纹，精加工重复一次，牙型角为 60°
N340	G76 X23 Z-33 R0 P1300 Q450 F2	螺纹的大径为 23mm，Z 向的终点坐标-33，直螺纹，牙深为 1.3mm 第一刀切深为 0.45mm，导程为 2mm

(续)

O7402		工件 1 右端加工程序
N350	G00 X100 Z100	回到换刀点
N360	M05	主轴停止
N370	M30	程序结束并返回程序开头
O7403		工件 2 左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800 r/min
N30	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q130 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N130, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G00 X44	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	X46 Z-1	
N90	Z-26	
N100	X56	
N110	X58 Z-27	
N120	Z-35	
N130	G01 X60	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N140	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N150	M05	主轴停止
N160	M00	程序停止
N170	M03 S1200	设置精车转速为 1200r/min
N180	T0101	换 1 号精车刀, 选择 1 号刀补
N190	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G70 P60 Q130 F100	调用精车循环, 进给速度 100mm/min
N210	G00 X100 Z100	回到换刀点
N220	T0202	换 2 号内孔刀, 选择 2 号刀补
N230	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N240	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点

(续)

O7403		工件 2 左端加工程序
N250	G71 U1 R0.5	内孔粗车复合固定循环，背吃刀量 1mm，退刀量 0.5mm
N260	G71 P270 Q330 U-0.5 W0.1 F120	指定循环所属的首末程序段 N270~N330，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.1mm，进给速度 120mm/min
N270	G41 G00 X36.6	精加工轮廓的起始点 ns
N280	G01 Z0	
N290	G01 X33 Z-14	
N300	G01 X26	
N310	X22 Z-16	
N320	Z-42	
N330	G40 G01 X18	退出已加工表面，精加工程序结束 nf
N340	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N350	M05	主轴停止
N360	M00	程序停止
N370	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N380	T0202	换 2 号内孔精车刀，选择 2 号刀补
N390	G00 X18 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N400	G70 P270 Q330 F80	调用精车循环，进给速度 80mm/min
N410	G00 X100 Z100	回到换刀点
N420	T0505	换 5 号外螺纹车刀，选择 5 号刀补
N430	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N440	G00 X18 Z3	快速移动至切螺纹的起始点
N450	Z-12	
N460	G76 P010160 Q100 R-0.05	采用螺纹切削复合循环加工螺纹，精加工重复一次，牙型角为 60°
N470	G76 X24 Z-43 R0 P1300 Q450 F2	螺纹的大径为 24mm，Z 向的终点坐标-43，直螺纹，牙深为 1.3mm 第一刀切深为 0.45mm，导程为 2mm
N480	G00 Z100	
N490	X100	回到换刀点
N500	M05	主轴停止
N510	M30	程序结束并返回程序开头

(续)

O7404		工件 2 右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化，换 1 号刀，选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环，背吃刀量 2mm，退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q130 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N130，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.1mm，进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X34	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	G01 X36 Z-1	
N90	G01 Z-9	
N100	X42	
N110	G02 X58 Z-17 R8	
N120	G01 Z-20	
N130	G40 G01 X60	退出已加工表面，精加工程序结束 nf
N140	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N150	M05	主轴停止
N160	M00	程序停止
N170	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N180	T0101	换 1 号精车刀，选择 1 号刀补
N190	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G70 P60 Q130 F100	调用精车循环，进给速度 100mm/min
N210	G00 X100 Z100	回到换刀点
N220	M05	主轴停止
N230	M30	程序结束并返回程序开头

7.4.5 实例小结

本例介绍了成形面类零件加工的加工工艺及编程，主要难点在于配合件的加工。首先在加工前要明确件 1 与件 2 各端面的加工次序，其次要考虑各单件的加工精度。另外，为了保证圆锥面的配合要求，内外圆锥面在精加工过程中，应采用刀尖圆弧半径补偿进行编程和加工。

7.5 成形面类零件加工 2

组合件 2 如图 7-6 所示，材料为 45 钢，件 1 的毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 90\text{mm}$ ，右端预钻孔 $\phi 26\text{mm}$ ，孔深 20mm，件 2 的毛坯尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 65\text{mm}$ ，要求分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。

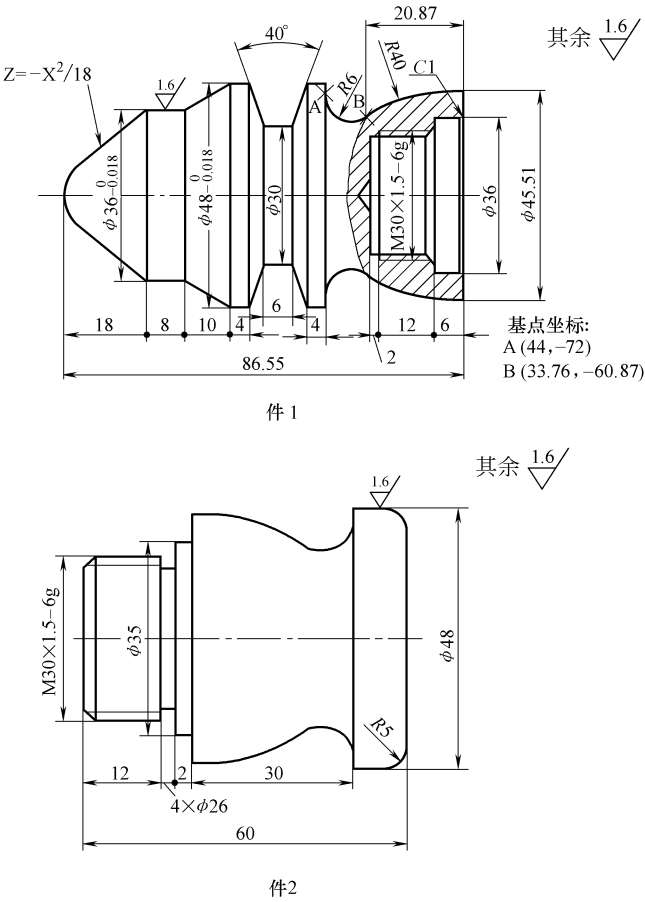


图 7-6 成形面类组合件 2

7.5.1 学习目标与注意事项

- 1. 学习目标
- 1) 掌握配合件的加工方法。
- 2) 掌握循环指令的格式和用法。

2. 注意事项

1) 在加工前要明确件1与件2各端面的加工次序。在确定加工次序时,要考虑各单件的加工精度,组合件的配合精度及工件加工过程中的装夹与校正等各方面因素。

2) 组合件的各项配合精度要求主要受工件形位精度和尺寸精度影响。因此,在数控加工中,工件在夹具中的定位与精确找正显得尤为重要。

7.5.2 工艺分析

1. 加工难点分析

1) 本例配合件加工时,主要难度是件1 $\phi 30\text{mm}$ 的槽和圆弧面的加工。其中,槽加工的方法有两种,一种是采用切槽刀的左右刀尖进行加工,先中间后两边的方法,另一种方法是用菱形刀片的机夹刀来进行加工,要注意切削用量的合理选择。本例中选择用切槽刀加工 $\phi 30\text{mm}$ 的槽。

2) 对于件1的二次曲面的加工,可以采用复合编程循环指令进行,但是对于FANUC系统来说,G73可以进行宏程序加工,而G71不能,因此可以采用G71先去除大部分余量,并加工完成圆柱面和锥面,仅仅留下二次曲面用G73指令加工即可。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 该零件是配合件,考虑到两个零件都需要加工外表面,最后要两者配合后进行装配加工。因此首先使用自定心卡盘夹持零件1的毛坯外圆,加工外圆和内孔;然后再使用自定心卡盘夹持零件2的毛坯外圆,加工外圆;最后再将件1和件2用螺纹配合起来一起加工整个配合件的外轮廓。

(2) 位置点。

1) 换刀点:零件原点设置在零件右端面,为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰,换刀点可设置在(X100, Z100)。

2) 起刀点:由于加工内孔,为了减少循环加工的次数,件1的外圆起刀点可设置在(X52, Z2),内轮廓起刀点可设置在(X24, Z2);件2的外圆起刀点可设置在(X52, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

- 1) 精车件1右端面。
- 2) 粗、精车件1右端内轮廓。
- 3) 精车件1左端面。
- 4) 粗、精车件1左端外轮廓。
- 5) 手动精车件2左端面。
- 6) 粗、精车件2左端外轮廓。

7) 粗、精加工（件 1 和件 2）右端外轮廓至尺寸要求。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 7-9 所示。

表 7-9 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
T0101	90°外圆车刀（粗）	2	800	200
	90°外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0202	90°内孔车刀（粗）	1	600	120
	90°内孔车刀（精）	0.4	1 000	80
T0303	外切槽刀		400	50
T0404	外螺纹车刀		500	
T0505	内螺纹车刀		500	
T0606	菱形外圆车刀	1	800	120

7.5.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 7-10 所示。

表 7-10 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm，25~50mm，50~75mm （0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm，R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm（0.01mm）	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°，45°	各 1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	1	
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
内孔车刀	φ20mm 不通孔、φ20mm 通孔	各 1	

(续)

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
外切槽刀	刀宽 4mm	1	
麻花钻	中心钻， $\phi 10\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 24\text{mm}$	各 1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

7.5.4 程序清单与注释

参考程序及注释如下：

O7211		工件 1 右端内轮廓加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转，转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号外圆车刀，选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z0	刀具快速移动到加工起点
N50	G01 X24 F60	车端面
N60	Z2	
N70	G00 X52	精刀具快速移动到单一循环加工起点
N80	G90 X48 Z-30 F200	粗车外圆
N90	X46	粗车外圆
N100	G00 X100 Z100	回换刀点
N110	M05	主轴停止
N120	M00	程序暂停，可以测量工件的尺寸并对其进行补偿
N130	T0202	换 2 号镗孔刀，选择 2 号刀补
N140	M03 S600	主轴正转，转速为 600r/min
N150	G00 X24 Z5	刀具移动到复合固定循环起点
N160	G71 U1 R0.5	粗车内孔复合固定循环指令，并指定粗切量为 1mm
N170	G71 P180 Q250 U-0.4 W0.1 F120	指定内孔粗车循环所属的首末程序段，精车余量和粗车进给速度
N180	G41 G00 X38	精加工轮廓的起始点 ns
N190	G01 Z0 F80	设置精加工进给速度为 80mm/min
N200	G01 X36 Z-1	

(续)

O7211		工件 1 右端内轮廓加工程序
N210	Z-6	
N220	X32	
N230	X28.5 Z-8	
N240	Z-20	
N250	G40 G01 X26	精加工轮廓的终点 nf
N260	G00 X24 Z2 S1000	刀具移动到复合固定循环起点, 设置精车转速为 1000r/min
N270	G70 P180 Q250	调用精车循环
N280	G00 X100 Z100	回到换刀点
N290	M05	主轴停止
N300	M00	程序暂停, 可以测量工件的尺寸并对其进行补偿
N310	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N320	T0505	换 5 号内螺纹车刀, 选择 5 号刀补
N330	G00 X24 Z2	
N340	Z-3	刀具移动到螺纹复合固定循环起点,
N350	G76 P010160 Q100 R-0.05	采用螺纹切削复合循环加工内螺纹
N360	G76 X30 Z-18 P812 Q500 F1.5	
N370	G00 Z100	
N380	X100	返回起始点
N390	M05	主轴停止
N400	M30	程序结束并返回程序开头
O7212		工件 1 左端外轮廓加工程序
N10	G98 G50	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800 r/min
N30	T0101	换 1 号外圆刀, 选择 1 号刀补
N40	G42 G00 X52 Z5	刀具移动到单一复合固定循环起点
N50	G71 U2 R1	粗车内孔复合固定循环指令, 并指定粗切量为 2mm
N60	G71 P70 Q100 U0.5 W0.5 F200	指定内孔粗车循环所属的首末程序段, 精车余量和粗车进给速度, 其转速由前面的程序段已指定
N70	G00 X36	精加工轮廓的起始点
N80	G01 Z-26 F100	设置精加工进给速度为 100mm/min

(续)

O7212		工件 1 左端外轮廓加工程序
N90	X48 Z-36	
N100	Z-58	
N110	G70 P70 Q100 S1200	精加工, 转速为 1 200r/min
N120	G73 U16 R10	粗车复合固定循环加工二次曲线
N130	G73 P140 Q210 U0.4 W0 F200 S800	指定循环所属的首末程序段, 设置精车余量和粗车进给速度, 其转速由前面的程序段已指定
N140	G42 G00 X0	精加工轮廓的起始点
N150	G01Z0 F100	精加工时的进给量为 100
N160	#101=0	定义变量#101 为 Z 坐标, 并赋初值
N170	#102=SQRT[-18*#101]	定义变量#102 为 X 坐标, 并根据椭圆方程 $Z = -\frac{X^2}{18} \text{ 即 } X = \sqrt{-18*Z} \text{ 计算出 X 值}$
N180	#103=#102*2	X 坐标应该是直径值
N190	G01 X #103 Z #101	用 G01 直线插补拟合椭圆
N200	#101=#101-0.1	设置 Z 向步进量
N210	IF[#101 GE -18] GOTO 170	当 Z 坐标 ≥ 0 时, 跳转至 N330 执行循环
N220	G70 P140 Q210	调用精车循环并设定精车进给量
N230	G40 G00 X100 Z100	返回换刀点, 并取消刀补
N240	T0303	换 3 号外圆切槽刀, 选择 3 号刀补
N250	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N260	G00 X50 Z-47.28	快速移动至切槽的起始点
N270	G01 X30 F60	第一刀直线切槽
N280	G00 X50	
N290	Z-44	
N300	G01 X30 Z-47.28	第二刀右边斜面
N310	G00 X50	
N320	Z-49.28	
N330	G01 X30	第三刀直线切槽
N340	G00 X50	
N350	Z-52.55	
N360	G01 X30 Z-49.28	第四刀左边斜面
N370	G00 X100	回换刀点

(续)

O7212		工件 1 左端外轮廓加工程序
N380	Z100	换 2 号镗孔刀, 选择 2 号刀补
N390	G00 X100	回换刀点
N400	Z100	换 2 号镗孔刀, 选择 2 号刀补
N410	M05	主轴停止
N420	M30	程序结束并返回程序开头
O7221		工件 2 左端外轮廓加工程序
N10	G98 G50	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	T0101	换 1 号外圆刀, 选择 1 号刀补
N40	G00 X52 Z5	刀具移动到单一复合固定循环起点
N50	G90 X48 Z-48 F200	固定循环指令加工圆柱表面
N60	X44 Z-18	固定循环模式调用, 下同
N70	X40	
N80	X36	
N90	X35	
N100	X31 Z-16	
N110	X29.8 F100	
N120	G00 X100 Z100	回到换刀点
N130	T0303	换 3 号外圆切槽刀, 选择 3 号刀补
N140	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N150	G00 X38 Z-16	快速移动至切槽的起始点
N160	G01 X26 F60	直线切槽
N170	G00 X100	
N180	Z100	回到换刀点
N190	T0404	换 6 号外螺纹车刀, 选择 6 号刀补
N200	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N210	G00 X35 Z5	快速移动至切螺纹的起始点
N220	G92 X28.9 Z-14 F1.5	G92 分四次车削螺纹
N230	X28.4	
N240	X28.15	返回到换刀点

(续)

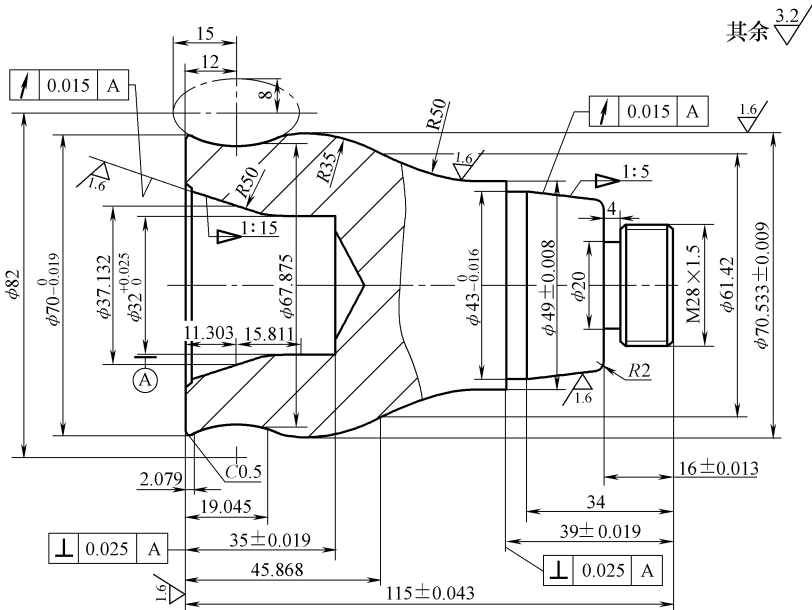
O7221		工件 2 左端外轮廓加工程序
N250	X28.05	主轴停止
N260	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N270	M05	主轴停止
N280	M30	程序结束并返回程序开头
O7203		工件配合后外轮廓加工程序
N10	G98 G50	程序初始化
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800 r/min
N30	T0606	换 6 号外圆刀, 选择 6 号刀补
N40	G00 X52 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G73 U8 R8	粗车复合固定循环
N60	G73 P70 Q140 U0.4 W0 F200 S800	指定循环所属的首末程序段, 设置精车余量和粗车进给速度, 其转速由前面的程序段已指定
N70	G00 X38	精加工轮廓的起始点
N80	G01Z0 F80	精加工进给速度为 100mm/min
N90	G03 X48 Z-5 R5	
N100	G01 X44	
N110	G02 X33.76 Z-19.13 R6	
N120	G03 X33.76 Z-60.87 R40	
N130	G02 X44 Z-72 R6	
N140	G01 X50	精加工程序结束
N150	G00 X100 Z100	返回换刀点
N160	M05	主轴停止, 检测, 补偿
N170	M00	程序停止
N180	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N190	T0101	
N200	G42 G00 X14 Z2	刀具移动到复合固定循环起点, 并掉用圆弧半径右补偿进行精加工轮廓
N210	G70 P70 Q140	调用精车循环
N220	G40 G00 X100 Z100	回到换刀点, 取消圆弧半径补偿
N230	M05	主轴停止
N240	M30	程序结束并返回程序开头

7.5.5 实例小结

本例继续介绍了成形面类零件加工的加工工艺及编程，主要难点在于件 1 的 $\phi 30\text{mm}$ 的槽和圆弧面的加工。此外，由于组合件的各项配合精度要求受工件形位精度和尺寸精度影响，因此，在加工过程中，工件在夹具中的定位与精确找正也显得尤为重要。

7.6 成形面类零件加工 3

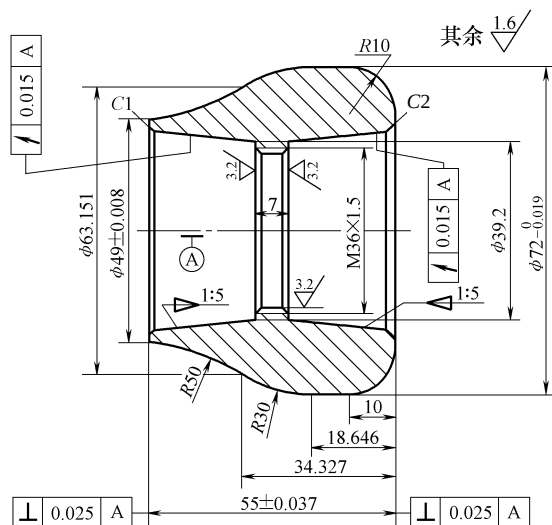
组合件 3 如图 7-7 所示，组合件共由 4 个工件组成，毛坯材料为 45 钢，均为半成品。件 1 的毛坯尺寸为 $\phi 74\text{mm} \times 117\text{mm}$ ，左端预钻孔 $\phi 25\text{mm}$ ，孔深 35mm；件 2 的毛坯尺寸为 $\phi 74\text{mm} \times 57\text{mm}$ ，并钻 $\phi 25\text{mm}$ 的通孔；件 3 的毛坯尺寸为 $\phi 58\text{mm} \times 77\text{mm}$ ，并钻 $\phi 25\text{mm}$ 的通孔；件 4 的毛坯尺寸为 $\phi 58\text{mm} \times 77\text{mm}$ ，左端预钻孔 $\phi 25\text{mm}$ ，孔深 30mm。试分析其加工工艺，并编写其数控车加工程序。



- 技术要求:
- 1. 未注倒角 $C1$, 锐角倒钝 $C0.3$;
 - 2. 配合面配作。

件 1

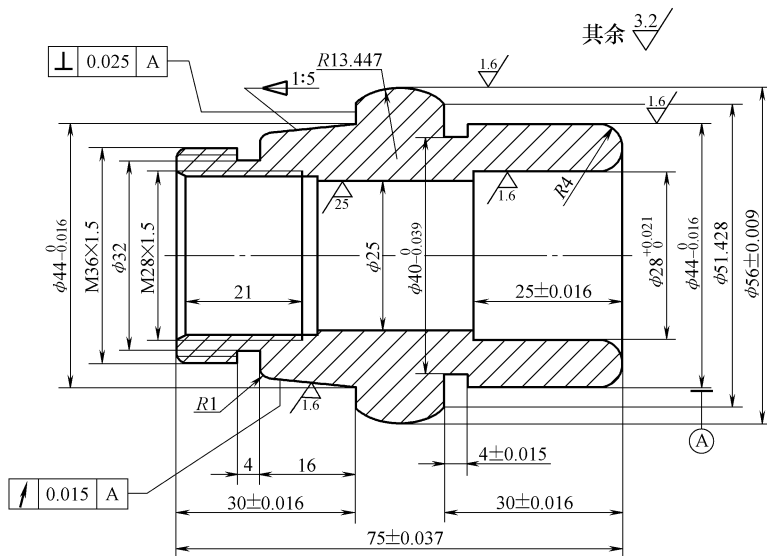
图 7-7 成形面类组合件图 3



技术要求:

1. 未注倒角C0.5,锐角倒钝C0.3;
2. 配合面配作。

件 2

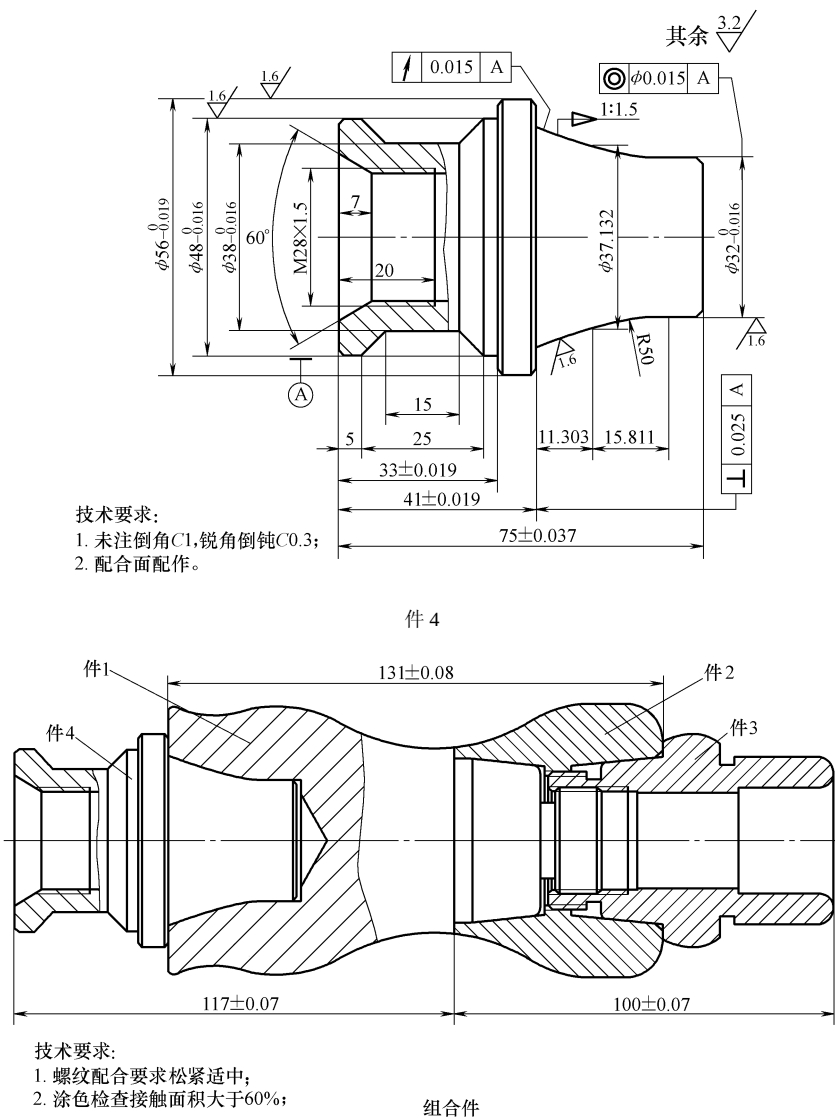


技术要求:

1. 未注倒角C1,锐角倒钝C0.3;
2. 配合面配作。

件 3

图 7-7 成形面类组合件 3 (续)



7.6.1 学习目标与注意事项

1. 学习目标

- 1) 掌握配合件的加工方法。
- 2) 掌握循环指令的格式和用法。

2. 注意事项

1) 在加工前要明确件1与件2各端面的加工次序。在确定加工次序时,要考虑各单件的加工精度,组合件的配合精度及工件加工过程中的装夹与校正等各方面因素。

2) 配合件的各项配合精度要求主要受工件形位精度和尺寸精度影响。因此,在数控加工中,工件在夹具中的定位与精确找正显得尤为重要。

3) 对于保证圆锥面的配合要求,内外圆锥面在精加工过程中,应采用刀尖圆弧半径补偿进行编程和加工。

7.6.2 工艺分析

1. 加工难点分析

此套工件为四件配,四件是分开的,加工好后要达到相应的配合要求。四件工件的直径方向的尺寸公差都要求在0.02mm以内,要求较高。件1、件2和件3的组合装配为此套件加工的重难点,件1和件2配合后的外圆长度要求较高,其配合之后的长度公差为上下0.08mm,这对加工要求很高。件1与件2配合后的外圆轮廓,直径较大,加工余量比较大,加工时间比较长。外螺纹按图样公差要求加工,内螺纹加工是与外螺纹配制而成,满足配合要求即可。内孔圆弧和锥度按图样要求加工,外圆弧和锥度是配合而成,满足配合要求即可。

2. 分析加工方案

(1) 装夹方案 该组合件均采用自定心卡盘进行定位与装夹。工件装夹时夹紧力要适中,既要防止工件的变形与夹伤,又要防止工件在加工过程中产生松动。因此,选择使用软爪装夹。卡盘加紧为液压加紧,从节省时间、节约成本的角度考虑,在工艺安排上,首先根据毛坯直径大小来划分工序,然后再确定加工工艺。

(2) 位置点

1) 换刀点:零件原点设置在零件右端面,为了防止换刀时刀具与零件或尾架相碰,换刀点可设置在(X100, Z100)。

2) 起刀点:由于加工内孔,为了减少循环加工的次数,件1的外圆起刀点可设置在(X62, Z2)的位置,内轮廓起刀点可设置在(X20, Z2)的位置上;件2的外圆起刀点可设置在(X62, Z2)。

(3) 确定加工工艺路线

1) 粗、精加工件1左端面及内孔,保证内孔尺寸符合要求。

2) 粗、精加工件3右端外圆及内孔,保证外圆、内孔尺寸符合要求。

3) 粗、精加工件1右端面及外圆轮廓,保证总长、外圆尺寸、槽宽及外螺纹符合要求。

- 4) 粗、精加工件 2 左端面及内孔，保证内孔尺寸符合要求。
- 5) 粗、精加工件 2 右端面及内孔，保证总长、内孔尺寸、内螺纹符合要求。
- 6) 粗、精加工件 3 左端面、外圆轮廓及内孔，保证外圆、总长、内孔尺寸、槽宽及内、外螺纹符合要求。
- 7) 件 3 不取下，直接把件 1 与件 2 拧上，粗、精加工组合件外圆轮廓，保证尺寸符合要求。
- 8) 粗、精加工件 4 左端面及内孔，保证总长、外圆尺寸，内螺纹符合要求。
- 9) 粗、精加工件 4 右端面及外圆轮廓，保证总长、外圆尺寸符合要求。

3. 选择刀具与切削用量

刀具与切削用量如表 7-11 所示。

表 7-11 刀具与切削用量

刀 具 号	刀 具 名 称	背吃刀量/mm	转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
T0101	90°外圆车刀（粗）	2	800	200
	90°外圆车刀（精）	0.5	1 200	100
T0202	90°内孔车刀（粗）	1	600	120
	90°内孔车刀（精）	0.4	1 000	80
T0303	外切槽刀（刀宽 3mm）		400	50
T0404	外螺纹车刀		500	
T0505	内螺纹车刀		500	
T0606	菱形外圆刀（粗）		800	150
	菱形外圆刀（精）		1 200	80

7.6.3 工具、量具、刀具清单

工具、量具、刀具清单如表 7-12 所示。

表 7-12 工具、量具、刀具清单

名 称	规 格（精度）	数 量	备 注
游标卡尺	0~150mm（0.02mm）	1	
千分尺	0~25mm，25~50mm，50~75mm （0.01mm）	各 1	
万能量角器	0~320°（2′）	1	
螺纹塞规	M30×1.5-6H	1	
百分表	0~10mm（0.01mm）	1	

(续)

名 称	规 格 (精度)	数 量	备 注
磁性表座		1	
半径样板	R7~R14.5mm, R15~R25mm	1	
内径量表	18~35mm (0.01mm)	1	
塞尺	0.02~1mm	1 副	
外圆车刀	93°, 45°	各 1	
可转位外圆车刀	R 型、V 型、T 型、S 型刀片	各 1	选用
外螺纹车刀	三角形螺纹	1	
内螺纹车刀	三角形螺纹	各 1	
内孔车刀	φ20mm 不通孔、φ20mm 通孔	各 1	
外切槽刀	刀宽 3mm	1	
麻花钻	中心钻, φ10mm、φ20mm、φ24mm	各 1	
辅具	莫氏钻套、钻夹头、活络顶尖	各 1	
其他	铜棒、铜皮、毛刷等常用工具		选用
	计算机、计算器、编程用书等		

7.6.4 程序清单与注释

参考程序及代码如下：

O7601		工件 1 左端内孔加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0202	程序初始化, 换 2 号刀, 选择 2 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	G00 X76 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U1 R0.5	内孔粗车复合固定循环, 背吃刀量 1mm, 退刀量 0.5mm
N50	G71 P60 Q110 U-0.5 W0.1 F120	指定循环所属的首末程序段 N60~N110, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 120mm/min
N60	G41 G00 X46.658	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	X44.026 Z-0.949	
N90	X37.132 Z-11.303	
N100	G02 X32 Z-15.811 R50	

(续)

O7601		工件 1 左端内孔加工程序
N110	G40 G01 X23	退出已加工表面, 精加程序结束 nf
N120	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N130	M05	主轴停止
N140	M00	程序停止
N150	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N160	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N170	G00 X76 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N180	G70 P60 Q110 F80	调用精车循环, 进给速度 80mm/min
N190	G00 X100 Z100	回到换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M30	程序结束并返回程序开头
O7602		工件 3 右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	G00 X60 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q120 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N120, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X36	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	G03 X44 Z-4 R4	
N90	G01 Z-30	
N100	X51.428	
N110	G03 X51.428 Z-45 R13.447	
N120	G40 G01 X60	退出已加工表面, 精加程序结束 nf
N130	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N140	M05	主轴停止
N150	M00	程序停止
N160	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N170	T0101	换 1 号精车刀, 选择 1 号刀补

(续)

O7602		工件 3 右端加工程序
N180	G00 X60 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N190	G70 P60 Q120 F100	调用精车循环, 进给速度 100mm/min
N200	G00 X100 Z100	回到换刀点
N210	T0202	换 2 号内孔刀, 选择 2 号刀补
N220	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N230	G00 X23 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N240	G71 U1 R0.5	内孔粗车复合固定循环, 背吃刀量 1mm, 退刀量 0.5mm
N250	G71 P260 Q300 U-0.5 W0.1 F120	指定循环所属的首末程序段 N240~N280, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 120mm/min
N260	G41 G00 X36	精加工轮廓的起始点 ns
N270	G01 Z0	
N280	G02 X28 Z-4 R4	
N290	G01 Z-25	
N300	G40 G01 X24	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N310	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N320	M05	主轴停止
N330	M00	程序停止
N340	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N350	T0202	换 2 号内孔精车刀, 选择 2 号刀补
N360	G00 X23 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N370	G70 P260 Q300 F80	调用精车循环, 进给速度 80mm/min
N380	G00 X100 Z100	回到换刀点
N390	M05	主轴停止
N400	M30	程序结束并返回程序开头
O7603		工件 1 右端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800 r/min
N30	G00 X76 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm

(续)

O7603		工件 1 右端加工程序
N50	G71 P60 Q140 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N140, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X24	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	G01 X27.8 Z-2	
N90	G01 Z-16	
N100	X32.521	
N110	G03 X36.443 W-1.608 R2	
N120	G01 X43 Z34	
N130	Z-39	
N140	G01 X50	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N150	G40 G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N160	M05	主轴停止
N170	M00	程序停止
N180	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N190	T0101	换 1 号精车刀, 选择 1 号刀补
N200	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N210	G70 P60 Q140 F100	调用精车循环, 进给速度 100mm/min
N220	G00 X100 Z100	回到换刀点
N230	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补
N240	M03 S400	设置切槽时的转速为 400 r/min
N250	G00 X43 Z-16	快速移动到切槽的起始点
N260	G01 X20 F60	切槽
N270	G00 X35	
N280	X100 Z100	回到换刀点
N290	T0404	换 4 号外螺纹车刀, 选择 4 号刀补
N300	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500 r/min
N310	G00 X35 Z3	快速移动到切螺纹的起始点
N320	G92 X27.2 Z-13 F1.5	G92 第一次车螺纹, 背吃刀量 0.8mm
N330	X26.6	G92 第二次车螺纹, 背吃刀量 0.6mm

(续)

O7603		工件 1 右端加工程序
N340	X26.2	G92 第三次车螺纹, 背吃刀量 0.4mm
N350	X26.04	G92 第四次车螺纹, 背吃刀量 0.16mm
N360	X26.04	光刀
N370	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N380	M05	主轴停止
N390	M30	主程序结束并返回程序开头
O7604		工件 2 左端内孔加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0202	程序初始化, 换 2 号刀, 选择 2 号刀补
N20	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N30	G00 X76 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U1 R0.5	内孔粗车复合固定循环, 背吃刀量 1mm, 退刀量 0.5mm
N50	G71 P60 Q100 U-0.5 W0.1 F120	指定循环所属的首末程序段 N60~N100, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 120mm/min
N60	G41 G00 X50.8	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	X47.4 Z-1.7	
N90	X39.2 Z-24	
N100	G40 G01 X23	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N110	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N120	M05	主轴停止
N130	M00	程序停止
N140	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N150	T0202	换 2 号精车刀, 选择 2 号刀补
N160	G00 X76 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N170	G70 P60 Q100 F80	调用精车循环, 进给速度 80mm/min
N180	G00 X100 Z100	回到换刀点
N190	M05	主轴停止
N200	M30	程序结束并返回程序开头

(续)

O7605							工件 2 右端内孔加工程序
N10	G98	G40	G00	X100	Z100	T0202	程序初始化，换 2 号刀，选择 2 号刀补
N20	M03	S600					主轴正转，转速为 600r/min
N30	G00	X76	Z2				刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71	U1	R0.5				内孔粗车复合固定循环，背吃刀量 1mm，退刀量 0.5mm
N50	G71	P60	Q120	U-0.5	W0.1	F120	指定循环所属的首末程序段 N60~N120，X 轴加工留精车余量 0.5mm，Z 轴留精车余量 0.1mm，进给速度 120mm/min
N60	G41	G00	X52.8				精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01	Z0					
N80		X46	Z-3.4				
N90		X39.2	Z-24				
N100		X34.5					
N110		Z-34					
N120	G40	G01	X23				退出已加工表面，精加工程序结束 nf
N130	G00	X100	Z100				快速返回换刀点
N140	M05						主轴停止
N150	M00						程序停止
N160	M03	S1000					设置精车转速为 1 000r/min
N170	T0202						换 2 号精车刀，选择 2 号刀补
N180	G00	X76	Z2				刀具移动到复合固定循环起点
N190	G70	P60	Q120	F80			调用精车循环，进给速度 80mm/min
N200	G00	X100	Z100				回到换刀点
N210	T0505						换 5 号内螺纹车刀，选择 5 号刀补
N220	M03	S600					设置切螺纹时的转速为 600 r/min
N230	G00	X30	Z3				
N240		Z-21					
N250	G92	X34.2	Z-31	F1.5			G92 第一次车螺纹，背吃刀量 0.8mm
N260		X35.6					G92 第二次车螺纹，背吃刀量 0.6mm
N270		X35.2					G92 第三次车螺纹，背吃刀量 0.4mm
N280		X36.04					G92 第四次车螺纹，背吃刀量 0.16mm
N290		X36.04					光刀

(续)

O7605		工件 2 右端内孔加工程序
N300	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N310	M05	主轴停止
N320	M30	主程序结束并返回程序开头
O7606		工件 3 左端加工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800 r/min
N30	G00 X60 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q130 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N130, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X32	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	X35.8 Z-2	
N90	Z-14	
N100	X17.980	
N110	G03 X35.960 W-0.804 R1	
N120	G01 X44 Z-30	
N130	G01 X52	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N140	G40 G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N150	M05	主轴停止
N160	M00	程序停止
N170	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N180	T0101	换 1 号精车刀, 选择 1 号刀补
N190	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N200	G70 P60 Q130 F100	调用精车循环, 进给速度 100mm/min
N210	G00 X100 Z100	回到换刀点
N220	T0303	换 3 号切槽刀, 选择 3 号刀补
N230	M03 S400	设置切槽时的转速为 400r/min
N240	G00 X40 Z-30	快速移动至切槽的起始点

(续)

O7606		工件 3 左端加工程序
N250	G01 X32 F60	切槽
N260	G00 X40	
N270	X100 Z100	回到换刀点
N280	T0505	换 5 号外螺纹车刀, 选择 5 号刀补
N290	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N300	G00 X25 Z3	快速移动至切螺纹的起始点
N310	G92 X27.2 Z-13 F1.5	G92 第一次车螺纹, 背吃刀量 0.8mm
N320	X26.6	G92 第二次车螺纹, 背吃刀量 0.6mm
N330	X26.2	G92 第三次车螺纹, 背吃刀量 0.4mm
N340	X26.04	G92 第四次车螺纹, 背吃刀量 0.16mm
N350	X26.04	光刀
N360	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N370	T0202	换 2 号刀, 选择 2 号刀补
N380	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N390	G00 X23 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N400	G90 X25 Z-25	单一固定循环指令内孔圆柱表面
N410	X26	单一固定循环模态调用, 下同
N420	X26.5	
N430	G00 X100 Z100	回到换刀点
N440	T0505	换 5 号内螺纹车刀, 选择 5 号刀补
N450	M03 S600	设置切螺纹时的转速为 600r/min
N460	G00 X40 Z3	
N470	G92 X26.2 Z-23 F1.5	G92 第一次车螺纹, 背吃刀量 0.8mm
N480	X27.6	G92 第二次车螺纹, 背吃刀量 0.6mm
N490	X27.2	G92 第三次车螺纹, 背吃刀量 0.4mm
N500	X28.04	G92 第四次车螺纹, 背吃刀量 0.16mm
N510	X28.04	光刀
N520	G00 X100 Z100	返回加工起始点
N530	M05	主轴停止
N540	M30	主程序结束并返回程序开头

(续)

O7607		件 3 不取下, 直接把件 1 与件 2 拧上加工外圆
N10	G98 G40 X100 Z100	程序初始化, 快速返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	T0606	换 6 号刀, 选择 6 号刀补
N40	G00 X76 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G73 U13 R13	粗车复合固定循环指令, 设置走刀次数为 5 次
N60	G73 P70 Q240 U0.5 F150	指定循环所属的首末程序段 N70~N240, 设置精车余量和粗车进给速度
N70	G42 G00 X69	精加工程序起点
N80	G01 Z0 F80	设置精加工进给量为 80
N90	X70 Z-0.5	
N100	Z-2.079	
N110	#101=9.921	定义变量#101 为 Z 坐标, 并赋初值, 赋值的大小与工件椭圆起始点的坐标有关
N120	#102=SQRT[8*8-#101*#101]*15/8	定义变量#102 为 X 坐标, 并根据椭圆方程 $\frac{X^2}{15^2} + \frac{Z^2}{8^2} = 1$ 即 $X = \frac{15}{8} \sqrt{8^2 - Z^2}$ 计算出 X 值
N130	#103=#101-12	调整 Z 坐标
N140	#104=#102*2	X 坐标应该是直径值
N150	G01 X[#102-#104] Z[#103]	调整坐标, 用 G01 直线插补拟合椭圆
N160	#101=#101-0.01	设置 Z 向步进量
N170	IF[#101 GE -7.054] GOTO120	当 Z 坐标 ≥ -7.054 时, 跳转至 N120 执行循环
N180	G01 X67.875 Z-19.045	
N190	G03 X61.42 Z-45.868 R35	
N200	G02 X63.151 Z-96.673 R50	
N210	G03 X72 W-15.681 R30	
N220	G01 W-8.646	
N230	G03 X52 W-10 R10	
N240	G40 G01 X70	精加工程序结束 nf
N250	G00 X100 Z100	回换刀点
N260	M05	主轴停止
N270	M00	程序停止
N280	M03 S1200	设置精车转速为 1200r/min

(续)

O7607		件 3 不取下, 直接把件 1 与件 2 拧上加工外圆
N290	T0606	换 6 号精车刀, 选择 6 号刀补
N300	G00 X76 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N310	G70 P70 Q240	调用精车循环
N320	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N330	M05	主轴停止
N340	M30	主程序结束并返回程序开头
O7608		工件 4 左端内孔加工程序
N10	G98 G40 X100 Z100	程序初始化, 快速返回换刀点
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	T0606	换 6 号刀, 选择 6 号刀补
N40	G00 X60 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N50	G73 U11 R6	粗车复合固定循环指令, 设置走刀次数为 6 次
N60	G73 P70 Q180 U0.5 F150	指定循环所属的首末程序段 N70~N180, 设置精车余量和粗车进给速度
N70	G42 G00 X44	精加工程序起点
N80	G01 Z0 F80	设置精加工进给量为 80
N90	X48 Z-2	
N100	Z-5	
N110	X38 Z-10	
N120	Z-25	
N130	X48 Z-30	
N140	Z-33	
N150	X54	
N160	X56 Z-34	
N170	Z-38	
N180	G40 G01 X60	精加工程序结束 nf
N190	G00 X100 Z100	回换刀点
N200	M05	主轴停止
N210	M00	程序停止
N220	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N230	T0606	换 6 号精车刀, 选择 6 号刀补

(续)

O7608		工件 4 左端内孔加工程序
N240	G00 X76 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N250	G70 P70 Q180	调用精车循环
N260	G00 X100 Z100	返回到加工起始点
N270	T0202	换 2 号内孔刀, 选择 2 号刀补
N280	M03 S600	主轴正转, 转速为 600r/min
N290	G00 X23 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N300	G71 U1 R0.5	内孔粗车复合固定循环, 背吃刀量 1mm, 退刀量 0.5mm
N310	G71 P320 Q360 U-0.5 W0.1 F120	指定循环所属的首末程序段 N320~N360, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 120mm/min
N320	G41 G00 X34.583	精加工轮廓的起始点 ns
N330	G01 Z0	
N340	X26.5 Z-7	
N350	Z-25	
N360	G40 G01 X24	退出已加工表面, 精加程序结束 nf
N370	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N380	M05	主轴停止
N390	M00	程序停止
N400	M03 S1000	设置精车转速为 1 000r/min
N410	T0202	换 2 号内孔精车刀, 选择 2 号刀补
N420	G00 X23 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N430	G70 P320 Q360 F80	调用精车循环, 进给速度 80mm/min
N440	G00 X100 Z100	回到换刀点
N450	T0505	换 5 号内螺纹车刀, 选择 5 号刀补
N460	M03 S500	设置切螺纹时的转速为 500r/min
N470	G00 X25 Z5	刀具移动至加工起始位置
N480	Z-4	移动到螺纹加工起始点
N490	G76 P010160 Q100 R-0.05	采用螺纹切削复合循环加工内螺纹。精加工重复一次, 牙型角 60°
N500	G76 X28 Z-23 R0 P975 Q400 F1.5	内螺纹的大径为 28mm, Z 向的终点坐标-23mm, 直螺纹, 牙深 0.975mm, 第一刀切深为 0.4mm。导程 1.5mm

(续)

O7608		工件 4 左端内孔加工程序
N510	G00 Z100	退刀
N520	X100	返回换刀点
N530	M05	主轴停止
N540	M30	主程序结束并返回程序开头
O7609		工件 4 右端加外圆工程序
N10	G98 G40 G00 X100 Z100 T0101	程序初始化, 换 1 号刀, 选择 1 号刀补
N20	M03 S800	主轴正转, 转速为 800r/min
N30	G00 X60 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N40	G71 U2 R1	粗车复合固定循环, 背吃刀量 2mm, 退刀量 1mm
N50	G71 P60 Q150 U0.5 W0.1 F200	指定循环所属的首末程序段 N60~N150, X 轴加工留精车余量 0.5mm, Z 轴留精车余量 0.1mm, 进给速度 200mm/min
N60	G42 G00 X30	精加工轮廓的起始点 ns
N70	G01 Z0	
N80	X32 Z-1	
N90	Z-6.886	
N100	G02 X37.132 W-15.811 R50	
N110	G01 X42.434 W-11.303	
N120	X54	
N130	G01 X56 W-1	
N140	Z-38	
N150	G40 G01 X60	退出已加工表面, 精加工程序结束 nf
N160	G00 X100 Z100	快速返回换刀点
N170	M05	主轴停止
N180	M00	程序停止
N190	M03 S1200	设置精车转速为 1 200r/min
N200	T0101	换 1 号精车刀, 选择 1 号刀补
N210	G00 X62 Z2	刀具移动到复合固定循环起点
N220	G70 P60 Q150 F100	调用精车循环, 进给速度 100mm/min
N230	G00 X100 Z100	回到换刀点

(续)

O7609		工件 4 右端加外圆程序
N240	M05	主轴停止
N250	M30	主程序结束并返回程序开头

7.6.5 实例小结

本例继续介绍了成形面类零件加工的加工工艺及编程，相比前面的实例，本例结构最为复杂，由四个工件组成，其中件 1、件 2 和件 3 的组合装配为此套件加工的重难点，需要采用自定心卡盘进行定位与装夹。此外，为了保证圆锥面的配合要求，内外圆锥面在精加工过程中应采用刀尖圆弧半径补偿进行编程和加工。

参 考 文 献

- [1] 沈建峰, 金玉峰. 数控编程 200 例[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 徐冬元, 朱和军. 数控加工工艺与编程实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [3] 黄华. 数控车削编程与加工技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [4] 徐建亮. 数控车削编程与考级 (SINUMERIK 802S/802C 系统) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [5] 向成刚, 侯先勤, 吕燕. FANUC 数控车床编程与实训[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

● ISBN 978-7-111-33818-5

封面设计/电脑制作:
姚毅

- ▲ 基础知识够用引导入门
- ▲ 归纳车加工常用技巧与经验
- ▲ 经典分析26个车加工编程实例

已出版

典型零件数控铣加工生产实例

ISBN 978-7-111-33622-8

定价: 36.00元

上架指导: 工业技术/机械工程/数控技术

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)68326294

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

ISBN 978-7-111-33818-5



9 787111 338185 >