

数控机床磨削加工 直接编程技术

孙德茂 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控机床磨削加工 直接编程技术

孙德茂 著



机械工业出版社

本书对数控机床磨削加工的直接编程技术进行了详细介绍,概述了数控编程的相关标准和工艺处理;翔实地介绍了数控磨床的 ISO 代码的编程指令和用户宏程序功能;全面地介绍了数控指令的加工应用和用户宏程序功能的编程实例,其中不少是来自生产中使用的加工程序。

本书以数控功能与加工实际紧密结合,内容翔实全面,有的还给出了算法,并有多处作者的独立见解和研究成果,是一本实用性较强的数控技术用书。可供从事数控磨削加工的编程员和操作人员、数控技术工作的工程技术人员使用,也可供高等技术院校相关专业师生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床磨削加工直接编程技术/孙德茂著. —北京:
机械工业出版社, 2006. 1
ISBN 7 - 111 - 18398 - 3

I. 数... II. 孙... III. 数控机床—磨削—程序设计
IV. ①TG659②TG580.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 004363 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: 张秀恩 (E-mail: xiuen@sina.com)

封面设计: 马精明 责任印制: 洪汉军

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2006 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm × 1092mm · 1/16 · 21.25 印张·513 千字

0 001—4 000 册

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

本社购书热线电话 (010) 68326294

Http://www.machineinfo.gov.cn/book/

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着现代制造技术的发展和数控机床的日渐普及，对数控机床的编程和操作方面的人才需求在大幅度增加，本书力图从数控系统的功能和数控机床的应用两个方面来满足用户的需求。

全书共分6章。第1章编程基础，概述了数控编程的相关标准及工艺处理，准确地介绍了相关知识。第2章基本编程指令，翔实地介绍了编程的基本指令，部分指令介绍了系统的算法。第3章简化编程和补偿功能，翔实地介绍了固定循环，轮廓直接编程，刀具补偿功能，比例缩放，坐标旋转功能和量仪测量功能。对刀具半径补偿功能提出了新的方法。第4章ISO代码指令编程应用，对外圆磨床和坐标磨床，全面地介绍了指令应用实例，对初学者讲述了程序的编写方法，提出了对程序的评价标准和优化。第5章用户宏程序功能，翔实全面地介绍了用户宏功能A、B，外部输出指令和跳跃工件测量，中断型用户宏程序功能。第6章用户宏程序功能的编程应用，全面介绍了宏程序在功能开发方面的应用，如磨削固定循环，几何轮廓直接编程（GDP）功能，非圆曲线轮廓加工，数控系统开发和测量功能等诸多方面的实例，有的可以直接使用。

本书第1章到第4章，可供数控编程的初学者及普通使用者使用。第5章及第6章，可供普通使用者提高及工程技术人员使用。

书中的疏漏和错误之处，敬请读者指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 编程基础	1
1.1 数控磨床的分类、组成和工作原理	1
1.1.1 数控磨床的分类	1
1.1.2 数控磨床的组成	1
1.1.3 数控磨床的工作原理	2
1.2 零件加工程序的编制方法	2
1.2.1 概述	2
1.2.2 直接编程	3
1.2.3 CAM 辅助编程	4
1.2.4 PC 辅助编程	4
1.3 坐标系及坐标方向	4
1.3.1 标准坐标系	5
1.3.2 坐标轴及方向的确定	5
1.3.3 电气坐标系	6
1.3.4 机床坐标系	6
1.3.5 工件坐标系	6
1.4 程序编制的工艺处理	7
1.4.1 确定机床和数控系统	7
1.4.2 工件的安装与夹具的确定	8
1.4.3 编程原点的设定	8
1.4.4 砂轮的确定	8
1.4.5 起刀点和对刀点的确定	8
1.5 编写数控加工技术文件	9
1.6 编写零件加工程序	10
第 2 章 基本编程指令	11
2.1 概述	11
2.2 准备功能 (G 功能)	12
2.2.1 0G 的准备功能	12
2.2.2 0GS 的准备功能	13
2.3 插补功能	15
2.3.1 插补原理	15
2.3.2 定位 (G00)	15
2.3.3 单方向定位 (0GS; G60)	16
2.3.4 直线插补 (G01) (含直线插补算法)	16

2.3.5	圆弧插补 (G02、G03) (含圆弧插补算法)	19
2.3.6	螺旋线插补 (0GS; G02、G03)	30
2.3.7	等螺距螺纹切削 (0G; G32)	31
2.3.8	等螺距螺纹切削 (0GS; G33)	34
2.3.9	可变导程螺纹切削 (0G; G34)	35
2.3.10	连续螺纹切削	35
2.3.11	多线螺纹切削	35
2.3.12	极坐标插外 (0G; G112、G113)	36
2.3.13	圆柱插补 (0G; G107)	39
2.3.14	指数函数插补 (15M; G02.3、G03.3)	41
2.3.15	圆弧螺加工 B (15M; G02.1、G03.1)	44
2.3.16	渐开线插补 (15M; G02.2、G03.2)	45
2.3.17	倾斜轴控制	51
2.4	进给功能	52
2.4.1	快速进给速度	52
2.4.2	切削进给速度 (0G; G98、G99, 0GS; G94、G95、G93)	52
2.4.3	自动加减速	53
2.4.4	程序段拐角处的速度控制指令	54
2.4.5	0GS 程序段拐角处的速度控制指令 (G09、G61、G64、G63、G62、G04)	55
2.4.6	暂停 (G04)	57
2.5	自动返回参考点	57
2.5.1	自动返回参考点 (G28)	57
2.5.2	从参考点自动返回 (0GS; G29)	58
2.5.3	自动返回参考点校验 (G27)	59
2.5.4	自动返回第二、三、四参考点 (G30)	59
2.6	坐标系	59
2.6.1	机床坐标系 (G53)	59
2.6.2	工件坐标系设定 (0G; G50, 0GS; G92, G54 ~ G59)	60
2.6.3	工件坐标系偏移直接输入 (0G)	64
2.6.4	局部坐标系 (G52)	65
2.6.5	坐标平面选择 (G17、G18、G19)	65
2.7	坐标尺寸指令	66
2.7.1	0G 的绝对值指令和增量值指令	66
2.7.2	0GS 的绝对值指令 (G90) 和增量值指令 (G91)	67
2.7.3	0GS 的极坐标系指令 (G15、G16)	67
2.7.4	英制/米制转换 (G20、G21)	69
2.7.5	常用式小数点输入/计算器式小数点输入	69
2.7.6	0G 的直径编程和半径编程	70

2.8	主轴速度功能 (S 功能)	71
2.8.1	主轴速度指令 (S02、S05)	71
2.8.2	OG 的恒周速控制 (G96、G97)	72
2.9	刀具功能 (T 功能)	74
2.9.1	OG 的刀具选择指令	75
2.9.2	OGS 的刀具选择指令	75
2.9.3	OGS 的刀具选择方式	76
2.10	辅助功能 (M 功能)	76
2.11	程序的构成	79
2.11.1	程序纸带的构成	79
2.11.2	程序的构成	83
第3章	简化编程、补偿功能和测量功能	89
3.1	OG 的车削固定循环 (G90、G92、G94)	89
3.1.1	外圆、内孔车削循环 A (G90)	89
3.1.2	螺纹车削循环 (G92)	90
3.1.3	端面车削循环 B (G94)	91
3.1.4	固定循环的应用	92
3.2	OG 的磨削固定循环 (G71、G72、G73、G74)	94
3.2.1	纵磨循环 (G71)	94
3.2.2	带量仪的纵磨循环 (G72)	94
3.2.3	摆动磨削循环 (G73)	95
3.2.4	带量仪的摆动磨削循环 (G74)	96
3.3	OGS 的孔加工固定循环 (G73、G74、G76、G80 ~ G89)	97
3.3.1	固定循环概述	97
3.3.2	取消固定循环 (G80)	100
3.3.3	钻孔加工循环 (G81、G82、G73、G83)	100
3.3.4	攻螺纹循环 (G74、G84)	101
3.3.5	镗孔循环 (G85、G89、G86、G88、G76、G87)	102
3.3.6	指定固定循环时的注意事项	104
3.3.7	固定循环功能应用举例	105
3.4	OGS 的磨削固定循环 (G75、G77、G78、G79)	107
3.4.1	切入磨削循环 (G75)	107
3.4.2	带量仪的切入磨削循环 (G77)	109
3.4.3	连续进给平面磨削循环 (G78)	109
3.4.4	间断进给平面磨削循环 (G79)	111
3.4.5	砂轮连续修整时的磨损补偿功能	112
3.5	OG 的轮廓简化编程	112
3.5.1	倒角和圆角的简化编程	112
3.5.2	图样尺寸直接编程	114

3.6	OGS 的任意角度倒角与倒圆	118
3.7	ECS 的 GAP 几何轮廓自动编程	120
3.7.1	几何元素的定义	120
3.7.2	目标点的判别	121
3.7.3	程序段数据	122
3.7.4	GAP 编程举例	124
3.8	NUM 的 PGP 几何轮廓自动编程	126
3.8.1	几何元素的描述	126
3.8.2	特征点的判别	126
3.8.3	程序段格式	127
3.8.4	程序段数据	127
3.8.5	倒棱与过渡圆弧编程举例	129
3.8.6	PGP 编程举例	129
3.9	A_B 的 GTL 几何轮廓自动编程	130
3.9.1	一般规定	130
3.9.2	几何元素定义	131
3.9.3	GTL 编程举例	132
3.10	OG 的刀具补偿功能	133
3.10.1	刀具位置补偿	133
3.10.2	刀尖 R 半径补偿 (G40 ~ G42)	138
3.10.3	刀尖 R 半径补偿详述	144
3.10.4	补偿量的编程输入 (G10)	159
3.10.5	刀具位置偏置自动测量 (G36、G37)	160
3.11	OGS 的刀具补偿功能	162
3.11.1	刀具长度补偿 (G43、G44、G49)	162
3.11.2	刀具长度自动测量 (G37)	165
3.11.3	刀具半径补偿 C (G40 ~ G42)	166
3.11.4	补偿量的编程输入 (G10)	167
3.11.5	刀具半径补偿功能研究	167
3.11.6	法向跟踪控制功能 (G150、G151、G152)	175
3.12	OGS 的比例缩放功能 (G50、G51)	177
3.12.1	比例缩放功能	177
3.12.2	镜像加工	179
3.13	OGS 的坐标系旋转功能 (G68、G69)	180
3.13.1	坐标系旋转功能	180
3.13.2	坐标系旋转功能与其他功能的关系	182
3.14	测量功能	184
3.14.1	跳跃功能 (G31)	184
3.14.2	OG 的多级跳跃功能 (G31 Pn)	185

第4章 ISO 代码指令编程应用	186
4.1 零件加工程序的编写	186
4.2 零件加工程序的评价和优化	192
4.3 数控外圆磨床的加工编程	193
4.3.1 磨削方式	193
4.3.2 磨削条件设定	195
4.3.3 编程举例	196
4.4 数控内圆磨床的加工编程	199
4.5 数控立圆磨床的加工编程	200
4.6 数控平面磨床的加工编程	200
4.7 数控坐标磨床的加工编程	200
4.7.1 机床结构特点及磨削方式	200
4.7.2 常用磨削方法	201
4.7.3 工艺参数选择	204
4.7.4 编程举例	204
4.8 带回转轴轮廓的编程	206
4.9 非圆曲线轮廓的编程	208
4.10 列表曲线轮廓的编程	209
第5章 用户宏程序功能	210
5.1 概述	210
5.1.1 用户宏程序和用户宏指令	210
5.1.2 用户宏程序功能的发展	210
5.2 用户宏程序功能 A	211
5.2.1 用户宏指令	211
5.2.1.1 子程序调用 (M98)	211
5.2.1.2 用 M 代码进行子程序调用	211
5.2.1.3 用 T 代码进行子程序调用	211
5.2.1.4 宏程序模态调用 (G66、G67)	211
5.2.2 自变量指定	212
5.2.2.1 自变量指定的地址和变量的对应关系	212
5.2.2.2 G 代码组号和自变量号的对应关系	212
5.2.3 用户宏程序本体	213
5.2.3.1 用户宏程序本体的结构	213
5.2.3.2 变量的表示与引用	213
5.2.3.3 变量的种类	213
5.2.3.4 宏程序的运算与控制指令 (G65)	214
5.2.3.5 关于用户宏程序本体的注意事项	218
5.2.4 宏程序举例	218
5.2.4.1 螺栓孔循环	218

5.2.4.2	方孔内腔加工	220
5.2.4.3	接口信号	222
5.2.4.4	从直角坐标系 (XYZ) 转换成极坐标系 ($r\theta Z$)	222
5.2.5	模式数据输入功能	223
5.2.5.1	模式名称显示	225
5.2.5.2	模式数据显示	227
5.3	用户宏程序功能 B	229
5.3.1	用户宏程序调用指令 (用户宏程序命令)	229
5.3.1.1	非模态调用 (单一调用) (G65)	229
5.3.1.2	模态调用 (G66、G67)	230
5.3.1.3	使用 G 代码的宏程序调用	232
5.3.1.4	使用 M 代码的宏程序调用	233
5.3.1.5	用 M 代码调用子程序	233
5.3.1.6	用 T 代码调用子程序	234
5.3.1.7	M98 (子程序调用) 和 G65 (用户宏程序调用) 之间的区别	234
5.3.1.8	多重调用	234
5.3.1.9	用户宏程序的嵌套和局部变量的级	235
5.3.2	用户宏程序本体	236
5.3.2.1	用户宏程序本体的格式	236
5.3.2.2	变量的表示与引用	237
5.3.2.3	变量类型	238
5.3.2.4	运算指令	252
5.3.2.5	控制指令	255
5.3.2.6	用户宏程序语句和 NC 语句	258
5.3.3	用户宏程序使用限制	261
5.3.4	外部输出指令	262
5.3.4.1	开始命令 POPEN	262
5.3.4.2	数据输出命令 BPRNT、DPRNT	262
5.3.4.3	结束命令 PCLOS	264
5.3.4.4	使用该功能时要求的设定	264
5.3.4.5	注意事项	264
5.3.4.6	编程举例	264
5.3.5	中断型用户宏程序	266
5.3.5.1	中断指令 (M96、M97)	266
5.3.5.2	中断类型	267
5.3.5.3	从宏程序中断返回	267
5.3.5.4	用户宏程序中断和模态信息	268
5.3.5.5	用户宏程序中断和位置信息	269
5.3.5.6	宏程序中断和宏程序模态调用	269

5.3.5.7	宏程序中中断和程序起动	269
5.3.5.8	宏程序中中断应用举例	269
第6章	用户宏程序功能的编程应用	271
6.1	OG 磨削固定循环功能的改进	271
6.1.1	纵向磨削循环的宏程序编程	271
6.1.2	带量仪的纵向磨削循环的宏程序编程	273
6.1.3	摆动磨削循环的宏程序编程	275
6.1.4	带量仪的摆动磨削循环的宏程序编程	277
6.2	砂轮修整后自动补偿的宏程序编程	279
6.2.1	修正工件坐标系偏移值	279
6.2.2	修正砂轮位置偏置值或砂轮半径补偿值	280
6.3	非圆曲线轮廓的宏程序编程	281
6.3.1	截面非圆曲线轮廓的宏程序编程	281
6.3.2	平面非圆曲线轮廓的宏程序编程	282
6.4	鼓形螺旋槽磨削的宏程序编程	286
6.5	几何轮廓直接编程 (GDP) 功能的宏程序编程	290
6.5.1	几何轮廓的分析	290
6.5.2	指令中使用的符号和含义	292
6.5.3	直线—直线 (含等边倒角、过渡圆弧) 的宏程序编程	293
6.5.4	直线—圆弧 (含过渡圆弧) 的宏程序编程	296
6.5.5	圆弧—直线 (含过渡圆弧) 的宏程序编程	302
6.5.6	圆弧—圆弧 (含过渡圆弧和切线) 的宏程序编程	306
6.5.7	应用举例	311
6.5.8	数据输入方式的改进	312
6.5.8.1	直线数据的输入	313
6.5.8.2	圆弧数据的输入	314
6.5.8.3	数据的还原、处理与整理	315
6.5.8.4	双元素输入与单元素输入指令汇总	317
6.5.8.5	公用变量初始化	318
6.5.8.6	编程举例	319
6.6	车削数控系统改造成单轴外圆磨削数控系统的宏程序编程	319
6.7	用宏程序功能编制零件测量数据的处理程序	324
6.7.1	测量数据处理程序的编制	324
6.7.2	编程举例	326

第 1 章 编程基础

1.1 数控磨床的分类、组成和工作原理

1.1.1 数控磨床的分类

磨床是精加工机床，由于它涉及的面广，因此种类繁多，结构各异。为叙述方便，仅从工件是否旋转来分类。

第 1 类，工件旋转类磨床。在加工中，工件作动力旋转。这类磨床，若主轴是卧式，有外圆磨床，内圆磨床，还有一些专门用途的磨床，如螺纹磨床、凸轮磨床、曲轴磨床、刀具磨床等。若主轴是立式，有立式磨床。专用磨床，如齿轮磨床等。

第 2 类，工件不旋转类磨床。在加工中，砂轮作动力旋转。这类磨床，若以加工平面为主，有平面磨床，还有一些专门用途的磨床，如导轨磨床等。若以加工孔及轮廓为主，有坐标磨床等。

即使是工件旋转类磨床，砂轮仍要旋转，以实现对其工件的切削加工。

数控磨床所用的数控系统，以 FANUC 0 系统为例，工件旋转类磨床所用系统为 0G，工件不旋转类磨床所用系统为 0GS。

其实质：

$0G = 0T + \text{磨削固定循环}$

$0GS = 0M + \text{磨削固定循环}$

有的厂家的数控系统，如日本三菱数控系统，车与磨是通用的。系统提供用户宏程序功能，机床厂和用户可自行编制磨削固定循环，组成磨削数控系统。

1.1.2 数控磨床的组成

数控机床是由数控系统和机床本体两大部分组成的。

数控系统主要由数控装置（包括内置 PLC）、进给伺服系统、主轴伺服系统等部分组成。进给伺服系统又由进给驱动单元、进给电动机和位置检测装置组成。主轴伺服系统由主轴驱动单元、主轴电动机和主轴编码器组成。

机床本体由机床机械部件、强电、液压、气动、润滑和冷却系统等组成。

数控系统一般由数控系统生产厂制造、机床制造厂将其连到机床上。数控系统控制机床的切削运动和顺序逻辑动作。控制机床的顺序逻辑动作是数控系统通过 PLC（可编程机床逻辑控制器）或称 PMC（可编程机床控制器）（多为内置），经机床制造厂编制机床的顺序逻辑控制程序，使之能执行顺序逻辑动作。另外，机床制造厂还需设置机床的固有参数，使通用的数控系统个性化，实现数控系统与机床的有机结合。

数控系统控制机床对工件的切削运动和特定的顺序动作，是数控系统运行由机床用户编

制的零件加工程序实现的。所以，零件加工程序也是数控机床不可缺少的重要组成部分。如果零件加工程序编不出来，则机床便无法工作。

数控磨床的组成框图如图 1-1 所示。

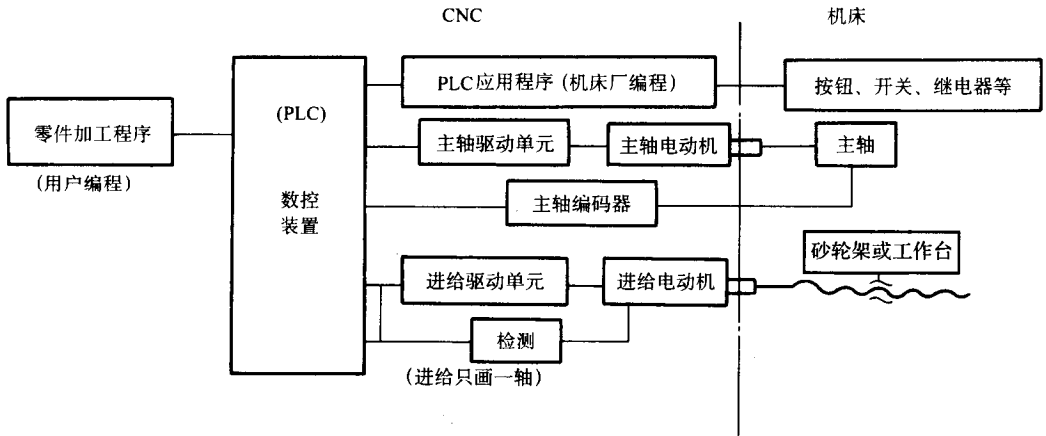


图 1-1 数控磨床的组成框图

对螺纹磨床，主轴上必须安装编码器，以保证在磨削螺纹时，主轴与进给轴同步。凸轮磨床必须有 C 轴，以保证角度与向径的几何关系。

工件旋转类磨床，砂轮也要旋转，以实现对接工件的切削加工。

1.1.3 数控磨床的工作原理

数控系统运行零件加工程序，以实现数控机床对零件的加工。

首先，数控系统将零件逐段译码，数据处理。数据处理又包括刀心轨迹计算和进给速度处理两部分。

系统将经过数据处理后的程序数据分成两部分。一部分是机床的顺序逻辑动作。这些数据送往 PLC，经处理后，控制机床的顺序动作。送往 PLC 的数据包括：

- (1) 辅助控制功能（M 功能） 控制主轴旋转和停止，冷却液的开和关，以及机床的其他开关动作，如卡盘和尾座的卡紧和松开、量仪的前进和后退等。
- (2) 主轴速度控制（S 功能） 指令主轴的转速。
- (3) 刀架选刀功能（T 功能） 指令所选刀具到达工作位置。

另一部分是机床的切削运动。程序数据经插补处理，位置控制，速度控制，驱动坐标轴进给电动机，使坐标轴作相应的运动，带动砂轮作切削运动。为保证运动的连续性，要求系统要有很强的实时性，以保证零件的加工质量。这是数控系统控制机床的重要部分。

逐段处理，直至完成了一个完整的加工。运行框图如图 1-2 所示。

1.2 零件加工程序的编制方法

1.2.1 概述

数控机床是按照零件加工程序对工件进行加工的。一个好的加工程序不仅能保证加工出

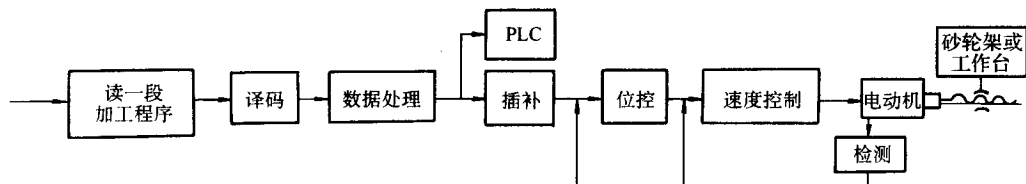


图 1-2 数控磨床工作原理框图

符合要求的工件，还应能充分发挥数控机床的功能，使其安全、可靠、高效地运行。

零件加工程序是数控系统的一个重要组成部分。据国外统计，在数控机床停机的原因中，有 20%~30% 是由于编不出加工程序。为提高数控机床的利用率，编程员应努力提高编程能力，迅速编制出优良的零件加工程序。

不同的数控系统，甚至不同的数控机床，它们的零件加工程序的指令是不同的。编程时必须按照数控机床的规定进行编程。

按照图样及工艺编制零件加工程序，有直接编程（DP）和辅助编程（AP）两种^①，如图 1-3 所示。

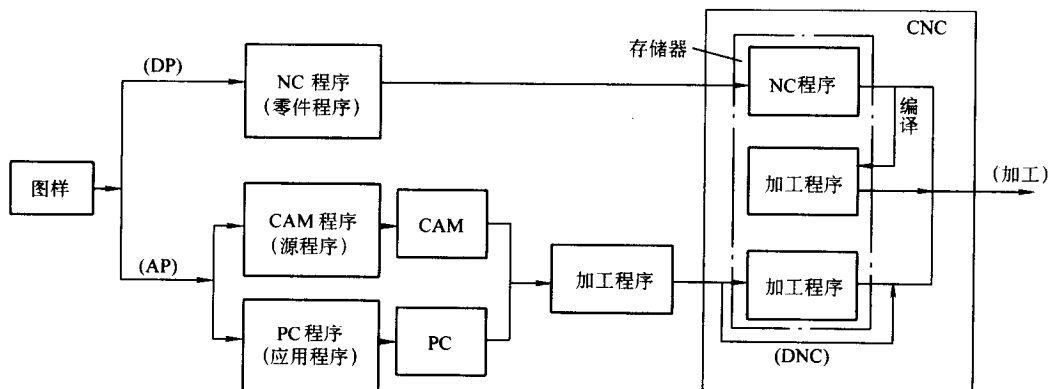


图 1-3 程序编制框图

本书主要以 FANUC - BESK 0 为例，介绍磨削加工的直接编程技术。因各系统的功能差别较大，机床更是性能各异，在实际编程时，要以机床的说明书为准。

1.2.2 直接编程

直接编程是指编程员直接用数控机床提供的指令编写出零件数控程序及相关技术文件。由于直接编程能充分发挥数控系统的功能及编程员的工艺和加工经验，不必再用其他编程设备，随着数控系统编程功能的不断增强，直接编程有着广阔的应用前景。

直接编程按其数据输入及处理方式，可分为三类：

第 1 类，用 ISO（国际标准化组织）代码编程。一个代码代表一个意义或砂轮的一步运

^① 原称手工编程和自动编程。实际上，随着数控系统功能的提高和计算机的普及，手工编程的几个步骤，例如数值计算、编写加工程序单、制作穿孔纸带等，基本上不用手工进行了，而且，早已实现了无纸带加工。因此，按对象区分为直接编程和辅助编程。——作者注

动, 或代表一组意义或一组运动。按其性质, 可分为基本代码编程和简化编程。简化分为两方面, 一方面简化是一个指令代表几步甚至几十步的运动, 如固定循环, 宏指令等。另一方面简化是简化数值点的计算。如蓝图直接编程功能, 意大利 ECS 公司的 GAP 编程, 以及美国 A-B 公司的 GTL 编程, 法国 NUM 的 PGP 编程。另外, 由于数控系统开发了样条插补功能, 可以直接处理离散点。有的系统开发了抛物线插补功能, 使非圆曲线加工编程变得简捷, 直接编程能力在不断提高。

第 2 类, 用户宏程序编程。系统提供了变量、数据计算、程序控制等功能, 用户自己用这些功能去编程, 完成一个功能或一组功能的加工。用户宏程序功能使平面非圆曲线, 柱面曲线, 空间解析曲线及曲面的编程变得简捷。用户宏程序还可以编制其他功能, 如测量功能、控制功能等。

第 3 类, 会话编程, 它用图形进行数据输入, 经数控系统内部编译处理后, 生成 ISO 代码加工程序。日本 MAZAK 公司的数控系统及 FANUC 系统等都有此功能。

1.2.3 CAM 辅助编程

CAM 又称计算机辅助制造。它能够生成零件加工程序, 但编程机要求的数据, 又称源程序, 仍需程序员编入。零件源程序, 编程机经前置处理, 后置处理, 生成零件加工程序。由于它的强大的数据处理功能, 被广泛地应用在自由曲面的三轴至五轴的数控编程中。但由于它的后置处理功能相对较低, 不能充分发挥数控系统的功能, 加工程序冗长, 有时所编程序仍需人工做修改, 影响了它的应用效果。由于数控系统功能的提高, 现已基本具备 CAM 辅助编程中的平面 (2D) 编程功能, 有的车削数控系统的编程功能已经可以和 CAM 相媲美。

CAM 辅助编程就其源程序的生成方法, 可分为:

(1) APT 语言编程 用 APT 语言对工件、刀具的几何形状及刀具相对工件的运动进行描述, 产生刀位文件, 再经后置处理, 生成数控加工程序。

(2) 图形输入编程 以图形交互方式生成工件的几何形状及刀具相对工件的运动, 再生成数控加工程序。现在这种方式应用较多。

(3) CAD/CAM 编程系统 以计算机辅助设计 (CAD) 建立的几何模型为基础, 再以计算机辅助制造 (CAM) 为手段, 生成数控加工程序。

1.2.4 PC 辅助编程

数控系统的编程功能基本上是数控系统制造厂家为数控机床用户提供的编程功能, CAM 辅助编程也是 CAM 制造者为数控机床用户提供的编程工具, 他们为机床用户提供的功能, 有时不能满足机床用户的需要, 或并不是最适合机床用户的具体需要, 这时, 就需要程序员利用 PC, 自己动手开发, 以弥补数控系统和 CAM 功能的不足, 这是程序员施展能力的舞台。因此, 程序员要熟悉计算机编程语言, 充分发挥 PC 的功能, 以展示自己的聪明才智。

1.3 坐标系及坐标方向

以数字量描述坐标, 需要建立坐标系。数控机床用户、数控机床制造厂及数控系统生产

厂要统一，则必须有一个统一的坐标系标准。

1.3.1 标准坐标系

国际标准化组织（ISO）对数控机床的坐标和方向制订了统一的标准（ISO 841:1974），我国也等同采用了这个标准，制定了 JB/T 3051—1991 数控机床坐标和运动方向的命名。

标准规定标准坐标系为右手直角笛卡儿坐标系[⊙]。规定基本的直线运动坐标轴用 X 、 Y 、 Z 表示，围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示。规定空间直角坐标系 X 、 Y 、 Z 三者的关系及其方向由右手定则判定，姆指、食指、中指分别表示 X 、 Y 、 Z 轴及其方向， A 、 B 、 C 的正方向分别用右手螺旋法则判定，即姆指分别代表 X 、 Y 、 Z 的正向，则其余 4 指握拳代表回转轴正向。工件固定，砂轮移动时采用上面规定的法则；如果工件移动，砂轮固定时，正方向反向，并加 “'” 表示， $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 变为 $+X'$ 、 $+Y'$ 、 $+Z'$ ，如图 1-4 所示。

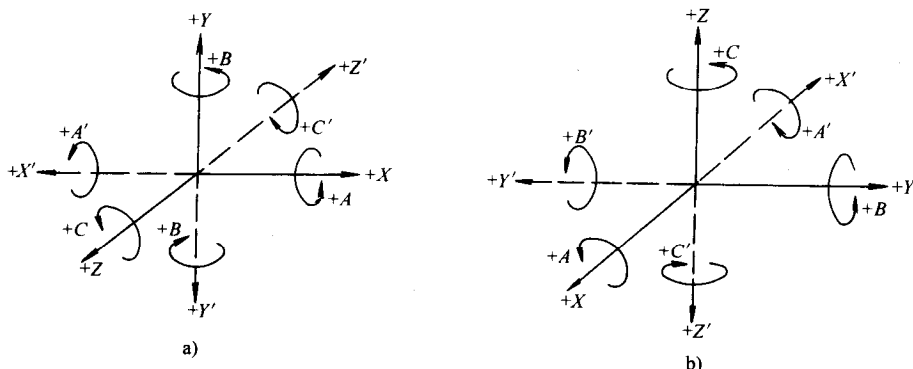


图 1-4 右手直角笛卡儿坐标系
a) Z 轴为卧式时 b) Z 轴为立式时

这样规定之后，程序员在编程时不必考虑具体的机床是工件不动，还是工件移动的情况，永远假定工件不动，砂轮移动来决定机床坐标的正方向。

1.3.2 坐标轴及方向的确定

标准规定：机床某部件运动的正方向，是增大工件和砂轮之间距离的方向。现将与磨床有关的规定摘录如下：

(1) Z 轴 Z 轴是由传递切削力的主轴决定的。对于车床、外圆磨床和其他成形表面的机床是主轴带动工件旋转，与主轴平行的坐标轴即为 Z 轴。对于铣、钻、镗、平面磨床和坐标磨床，主轴带动砂轮旋转，与主轴平行的坐标轴即为 Z 轴。在钻、镗加工中，钻入和镗入工件的方向为 Z 轴的负方向，而退出的方向则为正方向。

(2) X 轴 对于工件旋转的机床，如车床、外圆磨床等， X 轴的方向是在工件的径向上，且平行于横滑板，以砂轮离开工件旋转中心的方向为 X 轴的正方向。 X 轴一般是水平

⊙ 并联机床（又称六条腿机床）并未按标准坐标系设计。——作者注

的，与工件装夹基面平行。对于刀具旋转的机床，如铣床、镗床、钻床、平面磨床、坐标磨床等，如 Z 轴是垂直的，当面朝刀具主轴向立柱看时， X 轴的正方向指向右。如 Z 轴是水平的，当从主轴向工件方向看时， X 轴的正方向指向右。

(3) Y 轴 Y 轴垂直于 X 、 Z 轴，根据 X 和 Z 轴的正向，按右手直角笛卡儿坐标系判断。

(4) 回转运动 A 、 B 、 C 轴 表示其轴线相应地平行于 X 、 Y 、 Z 坐标的回转运动。

(5) 附加坐标轴 如果在 X 、 Y 、 Z 主要轴之外，还有平行于它们的直线运动坐标轴，可分别指定为 U 、 V 、 W 。如果还有第三组运动，则分别指定为 P 、 Q 、 R 。并按接近主要轴的远近依次指定。如六角车床，横刀架离主轴较近，指定为 Z ，而六角刀架离主轴较远，指定为 W 。回转坐标轴在 A 、 B 、 C 之外，还可指定 D 、 E 轴。

(6) 主轴旋转运动方向 主轴的顺时针旋转方向（正转）是按照右旋螺纹旋入工件的方向。

1.3.3 电气坐标系

电气坐标系是与标准坐标系平行的坐标系，是数控系统在处理编程数据时的坐标系。在数控系统中坐标轴所用的位置检测元件确定之后，检测元件的零点即是电气坐标系的原点。

1.3.4 机床坐标系

机床坐标系也是与标准坐标系平行的坐标系。它是在电气坐标原点的基础上，沿电气坐标轴偏移一个距离。这个偏移距离，由机床制造者调试后将其设置在数控装置的参数中。如果数控系统采用相对位置检测元件时，在机床通电后，需做手动返回参考点操作，以建立机床坐标系。机床参考点是机床上的一个固定点，它是机床补偿功能和行程软限位的基准点，机床使用者不要随意更动。

机床坐标系在编程时是以砂轮基准点来体现的。在机床坐标轴返回到参考点时，机床处在机床零点上，砂轮基准点与机床零点重合，此时机床坐标系坐标轴的位置显示值为0。砂轮基准点（简称基准点）可以选在砂轮中心上，如凸轮磨床等；也可以选在砂轮边缘，如外圆磨床、平面磨床等；也可选在主轴中心线上，如坐标磨床等。由机床使用者确定，如图1-5所示。编程员和操作者必须约定其中的一种，它的位置将影响工件坐标系零点偏移值和砂轮偏移值。

1.3.5 工件坐标系

工件坐标系是以机床坐标系为基准平移而成的。工件坐标原点，又称加工原点，与编程原点重合。这个偏移量由机床操作者调试后，设置在工件坐标系设定指令中或坐标偏移存储器中。编程员在工件坐标系内编程，编程时，不必考虑工件在机床中的实际位置。

工件坐标系的建立，是设定工件坐标系原点与机床坐标原点的距离关系。实际上，是测量工件坐标系原点与机床在参考点上时的刀具基准点之间的距离。在外圆磨床和立圆磨床中， X 轴的工件坐标原点一般选在主轴中心线上， Z 轴选在工件右端面上或上端面上；平面磨床， Y 轴工件坐标原点要选在工件顶面；坐标磨床 Z 轴工件坐标原点要选在工件顶面，以保证加工中的安全，如图1-6所示。