



高等院校“十二五”规划教材

数控原理与编程

主 编 郑淑芝

副主编 李虹霖 任利军 韩彦勇

上海科学技术出版社



提供电子课件下载

高等院校“十二五”规划教材

数控原理与编程

主 编 郑淑芝

副主编 李虹霖 任利军 韩彦勇

上海科学技术出版社

内容提要

全书共分为两篇,上篇数控编程与操作,共6章,主要讲述数控机床的基本概念和数控编程的基础知识,并以FANUC Oi系统为代表,讲述了数控车床、数控铣床及加工中心编程。以FANUC Oi系统标准面板为例介绍数控车床、数控铣床及加工中心的基本操作。下篇为数控原理与系统,共4章,主要讲述了计算机数控装置、伺服系统与检测装置、主轴驱动与进给运动位置控制、辅助功能与可编程控制器等内容。

本书可用做机制、机电相关专业应用型本科教材、高职数控及机电类相关专业教材,也可作为职工培训等教材或参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数控原理与编程 / 郑淑芝主编. —上海:上海科学技术出版社,2012.8

高等院校“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5478 - 1259 - 4

I. ①数… II. ①郑… III. ①数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第178300号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 16

字数: 370千字

2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 1259 - 4/TG · 58

定价: 34.80元

此书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向承印厂联系调换

前 言

数控技术在机床上的应用,使得机械制造这个传统的行业再铸辉煌。20世纪90年代数控机床在中国开始普及,也涌现了大批的数控技术人才。而数控技术应用人才依然十分紧缺,如何更好地培养数控应用型人才是历史赋予我们教育工作者的重任。应用型人才培养目标应该是具有扎实的基础理论知识,较强的创新能力、动手能力、专业修养和职业服务意识的基层工程师和工艺师。基于以上考虑,我们编写了《数控原理与编程》这本教材。

全书共分为两篇,上篇数控编程与操作,共6章,主要讲述数控机床的基本概念和数控编程的基础知识,并以FANUC 0i系统为代表,讲述了数控车床、数控铣床及加工中心编程。以FANUC 0i系统标准面板为例介绍数控车床、数控铣床及加工中心的基本操作。下篇为数控原理与系统,共4章,主要讲述了计算机数控装置、伺服系统与检测装置、主轴驱动与进给运动位置控制、辅助功能与可编程控制器等内容。

本书根据应用型人才培养目标的需要,加大了数控编程所占比例,适当削减了数控原理偏重理论的部分。其主要特点是数控编程指令采用了按使用普及度以及对加工质量的影响程度、对编程工作量的影响程度来分级。整合了不同系统相同的编程指令,突出了不同数控机床编程特点,可降低学习难度,提高学习兴趣。另外本书采用了较多的案例和适当增加了机床操作部分内容,注重为学生打好基础、拓宽知识面、加强与工程实际的联系。在“数控原理与系统”部分的主要编写特点是注重理清数控系统对机床控制的整体过程,使这部分内容整体布局更科学、更系统,知识点联系更紧密。

本书可用做机制、机电相关专业应用型本科教材、高职数控及机电类相关专业教材,也可作为职工培训等教材或参考资料。

本书由河北师范大学郑淑芝担任主编,负责统稿、定稿。由成都电子机械高等专科学校李虹霖、河北机电职业技术学院任利军、哈尔滨石油学院韩彦勇担任副主编。具体编写分工如下:河北建筑工程学院刘春东编写第1章1.1~1.5节;郑淑芝编写第2章、第9章;李虹霖编写第3章、第5章,其中第3章3.7节综合加工实例由石家庄理工职业学院李俊霞、李超娜编写;河北机电职业技术学院任利军、张涛分别编写第4章、第6章;四川建筑职业技术学院李丹编写第7章、第10章;韩彦勇编写第8章及第1章1.6节。

由于编者水平所限,书中难免有错误和不足,敬请各位读者批评指正,不吝赐教。

编 者

目 录

上篇 数控编程与操作

第 1 章 数控机床概述	3
1.1 数控机床基本概念与特点	3
1.1.1 基本概念	3
1.1.2 数控加工的特点	3
1.2 数控机床的工作原理	4
1.2.1 数控机床的组成	4
1.2.2 数控机床的工作过程	5
1.3 数控系统与数控机床的分类	5
1.3.1 数控系统分类	5
1.3.2 数控机床分类	6
1.4 数控机床的发展史	8
1.4.1 国外数控机床的发展史	8
1.4.2 国内数控机床发展史及现状	10
1.5 数控技术的发展方向	11
1.6 常用数控系统简介	12
1.6.1 FANUC 数控系统	12
1.6.2 西门子数控系统	14
1.6.3 三菱数控系统	16
1.6.4 国产数控系统	17
知识拓展	18
第 2 章 数控编程基础知识	20
2.1 数控编程概述	20
2.1.1 数控编程的基本概念	20
2.1.2 程序编制的内容	20
2.1.3 数控编程方法简介	21
2.2 数控编程几何基础	23
2.2.1 数控机床的坐标系及运动方向	23
2.2.2 数控编程的特征点	26
2.3 数控加工程序的结构与格式	27
2.3.1 零件加工程序的组成	27

2 数控原理与编程

2.3.2	程序正文结构	28
2.3.3	程序段格式	29
2.4	数控编程基本指令	29
2.4.1	准备功能指令(G指令)	29
2.4.2	辅助功能指令(M指令)	34
2.4.3	其他功能指令	34
2.4.4	基本指令编程实例	35
2.5	数控编程中的数值处理	36
2.5.1	基点坐标的计算	36
2.5.2	节点坐标的计算	37
2.5.3	其他计算	37
2.6	数控加工工艺基础知识	38
2.6.1	数控加工工艺分析的特点及内容	39
2.6.2	数控加工工艺分析与设计	39
2.6.3	走刀路线的设计	45
2.6.4	数控加工工艺文件的编制	49
	知识拓展	51
第3章	数控车床的程序编制	53
3.1	数控车床编程概述	53
3.1.1	数控车床的编程特点	53
3.1.2	数控车床的坐标系统	54
3.2	车床数控系统的功能	55
3.2.1	常用功能指令	55
3.2.2	坐标系设定功能	57
3.2.3	刀具功能	58
3.2.4	数控车床的刀具补偿	59
3.2.5	坐标值与尺寸单位设定功能	63
3.3	数控车床基本编程指令	64
3.3.1	G00、G01指令的简单应用	64
3.3.2	圆弧插补G02、G03的简单应用	65
3.3.3	暂停指令G04的简单应用	66
3.3.4	G01自动倒角、倒圆	66
3.4	螺纹车削编程指令	67
3.4.1	基本螺纹切削指令	67
3.4.2	单一螺纹切削循环指令	70
3.4.3	复合螺纹切削循环指令	70
3.5	数控车床中的固定循环	71
3.5.1	单一形状固定循环	71
3.5.2	内、外圆复合形状固定循环	75
3.5.3	槽加工固定循环	82

3.6	子程序编程	83
3.7	综合加工实例	85
	知识拓展	95
第4章	数控铣床及加工中心程序编制	99
4.1	数控铣削的编程特点	99
4.2	铣床及加工中心数控系统的功能	99
4.2.1	数控铣床常用功能指令	99
4.2.2	坐标系设定功能(G92)	101
4.2.3	平面选择指令(G17、G18、G19)	101
4.2.4	圆弧插补指令(G02、G03)	102
4.2.5	刀具补偿功能	103
4.2.6	坐标值与尺寸单位设定功能	107
4.2.7	数控铣床编程应注意的几个问题	107
4.3	简单轮廓铣削编程指令	108
4.3.1	外形轮廓编程	108
4.3.2	型腔轮廓编程	110
4.4	孔加工固定循环指令	112
4.4.1	固定循环编程指令	112
4.4.2	示例	117
4.5	工件上多个相同或相似形状简化编程指令	119
4.5.1	子程序	119
4.5.2	坐标变换功能指令	121
4.6	加工中心编程	124
4.6.1	加工中心编程概述	125
4.6.2	加工中心的换刀功能的实现	125
4.7	综合加工实例	129
4.7.1	角度卡板零件加工	129
4.7.2	内外形轮廓综合加工	133
	知识拓展	140
第5章	数控车床操作	142
5.1	数控车床操作面板简介	142
5.1.1	LCD/MDI操作面板	142
5.1.2	机床控制面板	143
5.2	机床的基本操作	145
5.2.1	数控车床的开/关机操作	145
5.2.2	机床的手动操作	146
5.3	数控车床对刀及工件坐标系设置	148
5.3.1	刀具几何偏置建立工件坐标系	148
5.3.2	G50指令建立工件坐标系	150
5.3.3	G54~G59指令建立和选择工件坐标系	152

5.4 数控车床刀具补偿设置	153
5.4.1 设定和显示刀具偏置量	153
5.4.2 刀具偏置量设置	154
5.4.3 刀具半径补偿设置	155
知识拓展	156
第6章 数控铣床及加工中心基本操作	157
6.1 操作面板简介	157
6.1.1 系统操作面板	157
6.1.2 机床控制面板	158
6.1.3 软键	160
6.2 机床的基本操作	160
6.2.1 数控系统启动和关闭	160
6.2.2 原点回归方法	161
6.2.3 手轮进给	161
6.2.4 手动进给	161
6.2.5 快速进给	161
6.2.6 主轴	162
6.2.7 切削液控制	162
6.2.8 自动门控制	162
6.2.9 超程释放	162
6.2.10 刀具号显示	163
6.3 对刀及工件坐标系建立	163
6.3.1 工件坐标系的建立	163
6.3.2 FANUC Oi-M 对刀	164
6.3.3 对刀方法简介	164
6.4 刀具补偿设定操作	165
知识拓展	166

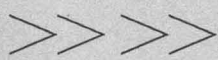
下篇 数控原理与系统

第7章 计算机数控装置	169
7.1 概述	169
7.1.1 CNC 装置的组成	169
7.1.2 CNC 装置的硬件体系结构	169
7.1.3 CNC 系统软件结构	171
7.1.4 零件加工程序的处理过程	172
7.2 数控加工程序的输入	173
7.2.1 输入工作方式	173
7.2.2 数据的存放方式	174

7.3 数控加工程序的预处理	175
7.3.1 数控加工程序的译码	175
7.3.2 刀具半径补偿原理	176
7.3.3 进给速度处理	179
7.4 轮廓插补原理	179
7.4.1 脉冲增量插补法	179
7.4.2 数据采样插补法	187
知识拓展	189
第8章 伺服系统与检测装置	191
8.1 伺服系统概述	191
8.1.1 对机床伺服系统的基本要求	192
8.1.2 伺服系统的分类	193
8.2 伺服电动机	194
8.2.1 步进电机	194
8.2.2 直流伺服电动机	197
8.2.3 交流伺服电动机	203
8.3 位置检测装置	206
8.3.1 概述	206
8.3.2 脉冲编码器	207
8.3.3 旋转变压器	210
8.3.4 光栅与磁栅	211
8.3.5 感应同步器	214
知识拓展	214
第9章 主轴的驱动与进给运动位置控制	216
9.1 主轴的驱动与控制	216
9.1.1 数控机床对主轴驱动系统的要求	216
9.1.2 主轴驱动特点	217
9.1.3 数控机床主轴驱动变频控制	217
9.1.4 分段无级调速的控制	218
9.1.5 主轴准停控制	221
9.1.6 常用的主轴驱动系统	221
9.2 进给运动的位置控制	222
9.2.1 开环进给系统性能分析	222
9.2.2 闭环进给位置控制系统的结构分析	223
9.2.3 电气传动部分对位置误差的影响	225
知识拓展	230
第10章 辅助功能与可编程控制器	231
10.1 可编程控制器的概念	231
10.2 可编程控制器的配置形式	231
10.3 可编程控制器的结构和工作原理	232

10.3.1	可编程控制器的结构	232
10.3.2	可编程控制器的工作原理	234
10.4	数控机床的可编程控制器控制对象及处理信息	236
10.4.1	数控机床的可编程控制器控制对象	236
10.4.2	数控机床的 PLC 与外部的信息交换	236
10.4.3	数控机床中的可编程控制器功能	237
10.5	MST 功能的实现	238
10.5.1	PLC 的程序编制	238
10.5.2	FANUCPMC-L 型可编程控制器指令	239
10.5.3	数控机床 M 代码的 PMC 控制	240
10.5.4	S 功能信号	242
10.5.5	T 功能的实现	243
	知识拓展	244
	参考文献	245

上篇



数控编程与操作

SHANG PIAN

SHU KONG BIAN CHENG YU CAO ZUO

- 第 1 章 数控机床概述
- 第 2 章 数控编程基础知识
- 第 3 章 数控车床的程序编制
- 第 4 章 数控铣床及加工中心程序编制
- 第 5 章 数控车床操作
- 第 6 章 数控铣床及加工中心基本操作

第 1 章 数控机床概述

■ 学习目标

掌握数控机床基本概念、组成、加工特点及分类；了解数控机床的发展现状以及未来发展趋势；了解国内外常见数控系统；重点掌握 FANUC 系统的分类和应用场合。

1.1 数控机床基本概念与特点

1.1.1 基本概念

数字控制(numerical control, NC),简称数控。数控技术是指利用数字、文字和符号组成的数字指令对控制对象进行动作控制的技术。数控一般是采用通用或专用计算机实现动作控制,因此数控也称为计算机数控(computerized numerical control, CNC)。

数控系统是指实现数控技术的机电控制设备。

数控机床是一种装有程序控制系统的自动化机床。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,从而使机床动作并加工零件。

1.1.2 数控加工的特点

数控机床对零件的加工过程,是严格按照加工程序所规定的参数及动作执行的。它是一种高效能自动或半自动机床,与普通机床相比,具有以下明显特点:

1) 自动化程度高 数控机床集中了机、电、气、液以及数控等多领域相关技术,零件加工过程按照输入的程序自动完成。目前,柔性制造系统、远程控制系统等相继出现在数控加工过程中,又进一步提高了数控机床的自动化程度。

2) 灵活性好,适应性强 随着工业的发展,产品需求逐渐趋向多样化。对数控机床来说,不必改变机床的机械部分和控制部分的硬件,只需改变输入程序就能短时间内加工出新产品。因而采用数控机床加工,准备周期短、灵活性好、适应性强,为多品种小批量生产和新产品研制提供了便利条件。

3) 加工精度高,质量稳定可靠 数控加工过程自动完成,不需要人为干预,消除了人为产生的误差。不但能保证单件产品达到较高的加工精度,而且能保证加工精度的一致性,从而能保证成批产品的质量稳定、可靠。

4) 生产效率高,经济效益好 数控机床的切削参数所选范围较大,每道工序都能以最佳的切削参数完成加工,生产效率高。另外,还可以大幅减少生产准备、工件装夹、换刀等辅助时间,使生产效率提高更加明显。数控机床相比普通机床,生产效率可提高 2~3 倍,复杂零件可提高十几倍甚至几十倍。

5) 降低操作者的劳动强度,改善劳动条件 数控机床由程序控制自动加工,操作者只需输入并调试程序,装卸工件及更换刀具并监督机床的运行,降低了操作者的劳动强度和紧张程度,劳动条件也得到了相应的改善。

6) 具有故障自动监控和诊断能力 CNC 系统一般具有软件查找故障功能,通过诊断程序自动查找并显示出来,极大地提高了检修效率。

7) 有利于生产管理现代化 采用数控机床加工能方便、精确地计算零件的加工时间,能准确计算生产和加工费用。所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。目前,数控机床逐渐与 CAD/CAM、柔性制造系统(flexible manufacture system, FMS)、网络等有机地结合起来,构成由计算机控制和管理的生产系统,实现制造和生产管理的现代化。

当然,数控机床除了具有上述优势外,也存在一些不足,主要表现在:

- (1) 机床设备费用昂贵,很多中小企业难以承受;
- (2) 控制系统复杂、故障率高、调试及维修困难,并且对维修人员水平要求较高;
- (3) 操作人员综合素质要求高,要具有设计、工艺、加工等方面的基础知识。

随着数控机床应用的普及,数控系统及机床的售后服务、技术支持、操作人员的培训等环节越来越得到人们的重视。要想真正地降低企业成本、提高经济效益和企业竞争力,就必须充分发挥数控机床的优势,并努力解决数控机床存在的不足。

1.2 数控机床的工作原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床是机电一体化的典型产品,其基本组成部分包括控制介质、数控装置、伺服系统、检测反馈装置及机床本体,如图 1.1 所示。

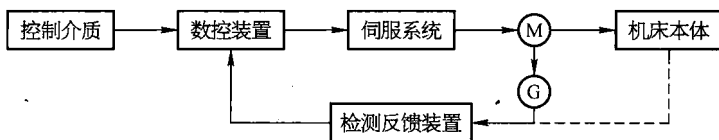


图 1.1 数控机床的基本组成

1) 控制介质 控制介质用于记载机床零件加工的全部信息,如加工程序、工艺参数、切削参数等,是机床的信息输入通道。早期的控制介质有穿孔纸带、磁带等,目前大多采用磁盘。也有一些数控机床利用操作面板上的键盘手动数据输入(MDI)或通过串行接口将计算机上编写的加工程序输入到数控装置中。

2) 数控装置 数控装置由 CPU、存储器、总线、I/O 接口及相应软件构成,是数控机床的核心。其基本任务是将控制介质输入的各种加工信息进行译码、运算和逻辑处理后,发出伺服系统能够接收的指令信号,控制伺服系统完成预定的加工动作。数控装置具备的主要功能有:

- (1) 多轴联动控制;
- (2) 实现直线、圆弧、抛物线等多种函数的插补;
- (3) 输入、存储、编辑和修改加工程序;
- (4) 数控加工信息的转换,包括 ISO/EIA 代码转换、米/英制转换、坐标转换、绝对值/增量值转换等;
- (5) 补偿功能,包括刀具半径补偿、刀具长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿等;
- (6) 实现固定循环、重复加工、镜像加工、凹凸模加工等多种加工方式选择;

(7) 故障显示及诊断功能。

3) 伺服系统 伺服系统由伺服驱动电机和伺服驱动装置组成,是数控系统的执行部件。将数控装置发来的信号经过调节、转换、放大后,驱动伺服电机,控制机床执行部件,完成零件的自动加工。伺服驱动装置分为主轴驱动单元(主要是速度控制)、进给驱动单元(包括速度控制和位置控制)、主轴电机和进给电机等。数控机床的伺服系统分为步进电机伺服系统、直流伺服系统和交流伺服系统,交流伺服系统正在逐步取代直流伺服系统。

通常数控系统由数控装置和伺服系统组成。

4) 检测反馈装置 检测反馈装置是闭环(半闭环)数控机床的重要组成部分,由检测元件和相应的硬件电路组成,其功能是检测执行部件的实际移动位移和速度,并将信息直接反馈给数控装置。

5) 机床本体 也称主机,包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件,如底座、立柱、滑鞍、工作台(刀架)、导轨等,另外还包括冷却、自动排屑、润滑、防护、对刀仪等配套设施。随着数控技术的发展,对机床结构的技术性能要求越来越高,和普通机床相比,在总体布局、外观造型、传动系统结构、刀具系统及操作性能等方面都有了显著的不同。为了保证数控机床的高精度、高效以及高自动化加工,机床的机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能。

1.2.2 数控机床的工作过程

数控机床的工作过程就是将加工零件的几何信息和工艺信息进行数字化处理的过程。首先由编程人员按照零件的几何形状和加工工艺要求将加工过程编成加工程序,并将加工程序输入到数控装置中,数控装置对输入的加工程序进行数据处理、运算,输出各种信息和指令,控制机床的启停、主轴变速、进给方向、速度和位移量,以及其他如刀具选择和变换、零件的装卸、冷却润滑的开关等动作,使刀具与零件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作。数控机床的运行处于不断的计算、输出、反馈等控制过程中,以保证刀具和零件之间相对位置的精确性,从而加工出符合要求的零件。其工作过程如图 1.2 所示。

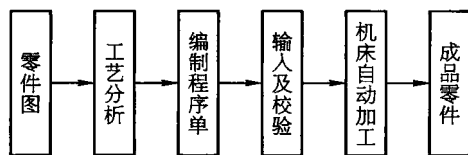


图 1.2 数控机床加工零件的一般工作过程

1.3 数控系统与数控机床的分类

1.3.1 数控系统分类

1) NC 数控(NC)是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量与与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。NC 是数控技术发展最初阶段,现在已经很少再用 NC 这个概念了。

2) CNC 计算机数控(CNC)技术,是采用计算机实现数字程序控制的技术。这种技术用

计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制功能。由于采用计算机替代原先用硬件逻辑电路组成的数控装置,使输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现,均可通过计算机软件来完成。

3) DNC 分布式数控(distributed numerical control, DNC)意为直接数字控制或分布数字控制。DNC 是实现 CAD/CAM 和计算机辅助生产管理系统集成的纽带,是机械加工自动化的又一种形式。DNC 最早的含义是直接数字控制,其研究开始于 20 世纪 60 年代。它是指将若干台数控设备直接连接在一台中央计算机上,由中央计算机负责 NC 程序的管理和传送。当时研究的目的主要是解决早期数控设备因使用纸带输入数控加工程序而引起的一系列问题和早期数控设备的高计算成本等问题。

按 DNC 系统的内涵不同,可分为直接 DNC、分布式 DNC、柔性 DNC、网络 DNC、集成 DNC 和智能 DNC 等。

(1) 直接 DNC 系统,也就是直接数字控制(direct numerical control)DNC,是早期的 DNC 概念,其主要功能是将计算机与数控机床直接连接,只是实现 NC 程序的下传到数控机床以完成零件的加工。

(2) 分布式 DNC 系统是随着网络和计算机技术的发展而赋予了 DNC 新的内涵。不但能够实现 NC 程序的双向传输,而且具有系统信息采集、状态监视和系统控制等功能。

(3) 柔性 DNC 系统。随着 DNC 的发展,DNC 和 FMS 的界限越来越模糊,此时的 DNC 已成为 FMS 中必不可少的一部分。

(4) 网络 DNC 系统是为了适应敏捷制造、全球制造、分布式制造和远程制造而发展起来的一种 DNC 系统。这种 DNC 系统的特点是更强调网络与分布式数据库方面的功能与虚拟集成。

(5) 集成 DNC 系统是以数控技术、计算机技术、控制技术、通信技术和网络技术等技术为基础,把与制造过程有关的设备与上层控制计算机集成起来,从而实现制造车间制造设备的集成控制管理以及制造设备之间、制造设备与上层计算机之间的信息交换。

(6) 智能 DNC 系统是随着人工智能技术的发展及其在制造领域的应用而出现的,目的是克服基于知识的人工智能的缺点。计算智能主要包括模糊技术、人工神经网络、遗传算法等。这些智能技术的运用,必将促进智能制造技术的发展以及新的智能 DNC 的出现。

1.3.2 数控机床分类

随着数控机床的发展,数控机床的种类和规格很多,可以按照不同的方式进行分类。

1) 按机床运动控制轨迹分类

(1) 点位控制数控机床。这类数控机床只能控制刀具进给的起点和终点位置,对于两点间的运动轨迹不作要求,通常由系统设定,在刀具移动过程中,不进行任何加工,如图 1.3a 所示。为了减少运动部件的运动、定位时间和定位精度,要求刀具高速运行,接近目标点时,采用分级或连续降速,低速趋近目标点,从而减小由于刀具惯性而引起的定位误差。这类数控机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床、数控电焊机、三坐标测量机和印制电路板钻床等。

(2) 直线控制数控机床。这类数控机床在控制刀具运动起点和终点位置的同时,还要保证刀具在两点之间沿着直线运动规律运行,而且刀具在移动过程中往往要进行切削加工,如图 1.3b 所示。这类数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控镗床等。

现代组合机床采用数控技术,驱动各种动力头、多轴箱轴向进给钻、镗、铣等加工,也算是一种直线控制数控机床。

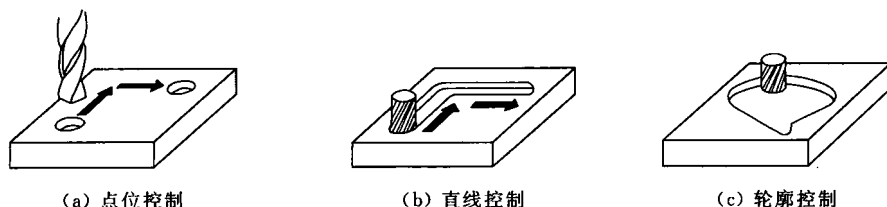


图 1.3 机床控制运动轨迹

(3) 轮廓控制数控机床。这类数控机床在控制刀具进给运动的起点和终点位置的同时,还能够控制刀具在两点之间按指定的曲线规律进行切削加工。常用曲线规律包括直线、圆弧、二次曲线或样条曲线等,如图 1.3c 所示。这类数控机床包括数控铣床、可加工复杂回转面的数控车床、加工中心等。现代数控机床绝大部分都能够控制一种以上的曲线运动规律。

2) 按伺服系统的类型分类

(1) 开环伺服系统数控机床。这类数控机床没有位置检测反馈装置,其精度主要取决于伺服单元和伺服电动机的精度。通常用步进电机作为执行机构。输入的程序经过数控装置运算处理后,发出脉冲指令信号,驱动步进电机转过一个步距角,再通过机械传动机构转换为工作台的直线移动,移动部件的移动速度和位移量由输入脉冲的频率和脉冲个数决定。

这类数控机床的优点是结构简单、性能稳定、调试方便、易于维护和维修,但是精度低,适用于精度要求不高的经济型、中小型数控机床。

(2) 闭环伺服系统数控机床。这类数控机床上装有位置检测反馈装置,安装在最终运动部件(如工作台)上,对运动部件的位移量进行测量,将测量到的位移反馈到数控装置的比较器中,与输入指令位移量进行比较,用差值控制运动部件运动,进行误差修正,直到差值为零为止,使运动部件严格按照实际需要的位移量运动。

这类数控机床的主要优点是将机械传动链的全部环节都包括在闭环环路之内,因而从理论上说,可以消除由于传动部件制造误差给工件加工带来的影响,从而获得很高的加工精度。但是,由于很多机械传动环节都包括在闭环环路之内,各部件的摩擦特性、刚性以及间隙等都是非线性量,直接影响伺服系统的调节参数,系统的设计和调整都比较困难,容易造成系统的不稳定。另外,这类数控机床结构比较复杂,成本较高。

鉴于这类数控机床具有的特点,主要用于精度要求很高的数控机床,如镗铣床、超精密车床、精密磨床、加工中心等。

(3) 半闭环伺服系统数控机床。这类数控机床的位置检测反馈装置安装在电动机主轴或丝杠的端部,通过测量电动机主轴或丝杠的旋转角度间接地检测出运动部件的实际位移,反馈给数控装置进行比较。

由于这种闭环环路内包括丝杠、螺母副及工作台等机械传动环节,因此,可获得比较稳定的控制特性。同时,由于采用了高分辨率的测量元件,又可以获得比较满意的精度和速度。目前,大多数数控机床均采用半闭环伺服系统,如数控车床、数控铣床等。

3) 按系统功能水平分类 按功能水平又可以将数控机床分为高级型、普及型和经济型三种。这种分类方法没有明确的定义和确切的界限。通常采用下列指标作为评价数控系统档次的参考条件:中央处理单元(CPU)、分辨率和进给速度、联动轴数、显示功能等,见表 1.1。