



全国本科院校机械类 **创新型** 应用人才培养规划教材

数控技术及其应用

主编 贾伟杰



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类规划教材

数控技术及其应用

主 编 贾伟杰

副主编 曹甜东 卢正红 田 锐



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据应用型本科人才的培养要求编写,将数控技术及其应用的理论和实践知识有机结合,密切联系生产实际,以适应高等教育的教学模式。全书共9章,内容可以分为3个部分。第一部分为第1~4章,主要讲解数控机床控制原理和机械结构等理论知识;第二部分为第5~8章,主要讲解数控加工工艺、数控机床编程和操作等应用知识;第三部分为第9章,通过实训来锻炼学生的实际动手能力。本书在编写时适当简化理论知识的阐述,加强应用知识的讲解,注重培养学生的操作技能。

本书可作为应用型本科院校的机械类专业学生的数控课程教材,也可作为高职高专院校的机械类专业学生的教材,还可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及其应用/贾伟杰主编. —北京:北京大学出版社, 2016. 4

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-27034-9

I. ①数… II. ①贾… III. ①数控技术—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 076298 号

书 名 数控技术及其应用

SHUKONG JISHU JI QI YINGYONG

著作责任者 贾伟杰 主编

策划编辑 童君鑫

责任编辑 李娉婷

标准书号 ISBN 978-7-301-27034-9

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印刷者 北京溢漾印刷有限公司

经 销 者 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 425 千字

2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价 40.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

前 言

数控技术是采用数字控制的方法对某一工作过程实现自动控制的技术。数控机床是采用数控技术对机床的加工过程进行自动控制的机床。20 世纪 70 年代以来,随着微电子技术、计算机技术、传感器技术的发展,计算机数控技术获得了突飞猛进的发展,数控机床已经成为机械制造业的主流装备。现代数控机床是柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)中不可缺少的基础设备。

编者在编写本书时,立足于机械专业应用型人才的培养目标,以培养学生对数控技术的应用能力为主,培养适应社会需要的应用型高级技能人才,按照“必需、够用、实用”的原则,采用“精简、增加、整合”的方法优化理论教学内容,增加实践教学内容。本书编写具有如下特点。

(1) 不过多编写不必要的理论推导,以讲清概念、原理、结论为主。为了加强针对性和实用性,本书对数控加工工艺、数控机床(选用日本 FANUC 0i 数控系统)的编程与操作做了较详尽的讲解。

(2) 结合教学中的经验,保持理论与实践紧密结合。为了加强实践性教学环节,本书增加了应用方面的内容和实例,还在综合实训一章中安排了数控加工的 4 个实例,让学生在实际操作中提高动手能力和专业技能。

(3) 力求适用面宽,在全面阐述数控技术理论知识和应用知识的同时又注重难易程度的把握。

本书是按 64 学时编写的,内容基本上概括了数控技术理论和应用的各个方面,最后一章综合实训可单独安排一周的实训课程。如有的学校专业课程学时较少,可对各章节有选择的讲授,或启发式讲授后让学生自学。

本书由贾伟杰担任主编,曹甜东、卢正红、田锐担任副主编。在编写过程中,编者参阅了相关教材和资料,并得到了许多同行专家、教授的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏之处,敬请专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者
2015 年 10 月

目 录

第1章 概述 1

1.1 数控机床的产生及作用	2
1.1.1 数字控制和数控机床的基本概念	2
1.1.2 数控机床的产生和发展	2
1.1.3 数控机床的作用	3
1.2 数控机床的组成	3
1.2.1 数控机床的加工过程	3
1.2.2 数控机床的基本组成	4
1.3 数控机床的分类	5
1.3.1 按加工工艺方法分类	6
1.3.2 按运动控制的方式分类	6
1.3.3 按进给伺服系统的特点分类	7
1.3.4 按数控装置的功能水平分类	8
1.4 数控机床的特点及应用范围	8
1.4.1 数控机床的加工特点	8
1.4.2 数控机床的使用特点	9
1.4.3 数控机床的应用范围	10
1.5 数控机床的发展趋势	11
小结	15
习题	15

第2章 数控装置 17

2.1 数控装置的组成和工作过程	18
2.1.1 数控装置的组成	18
2.1.2 数控装置的硬件结构	18
2.1.3 数控装置软件的数据处理流程	20
2.1.4 数控装置的软件特点	24
2.2 数控装置的插补原理	26
2.2.1 逐点比较法插补	27

2.2.2 数字积分法插补	33
2.2.3 时间分割法插补	40
2.3 数控装置的刀具半径补偿	40
2.3.1 刀具半径补偿的基本原理	40
2.3.2 刀具半径补偿的计算	42
2.3.3 C功能刀具半径补偿	43
2.3.4 C功能刀具半径补偿的实例	46
2.3.5 加工过程中的过切判别	46
2.4 数控装置的位置控制	47
2.4.1 闭环位置控制的概念	47
2.4.2 闭环位置控制的实现	48
2.4.3 开环放大倍数与跟随误差	49
小结	52
习题	52

第3章 伺服驱动系统及位置检测装置 54

3.1 伺服驱动系统概述	55
3.1.1 伺服驱动系统的概念	55
3.1.2 伺服驱动系统的组成和工作原理	56
3.1.3 伺服驱动系统分类	57
3.2 驱动电动机	60
3.2.1 步进电动机	61
3.2.2 直流伺服电动机	66
3.2.3 交流伺服电动机	68
3.2.4 直线电动机	72
3.3 常用位置检测装置	73
3.3.1 位置检测装置简介	73
3.3.2 磁尺位置检测装置	74
3.3.3 光栅位置检测装置	76



3.3.4 脉冲编码器	79	5.2.4 零件结构工艺性	138
3.3.5 旋转变压器	81	5.3 数控加工的工艺路线设计	139
3.3.6 感应同步器	83	5.3.1 数控加工工序的划分及顺序 安排	139
3.3.7 测速发电机	86	5.3.2 走刀路线的确定	140
小结	87	5.3.3 数控加工的工艺路线设计 实例	142
习题	88	5.4 数控加工的刀具和夹具	143
第4章 数控机床的机械结构	90	5.4.1 数控加工对刀具和夹具的 要求	143
4.1 数控机床的机械结构概述	91	5.4.2 数控车削的刀具和 夹具	144
4.2 数控机床的主传动系统	95	5.4.3 数控铣削的刀具和 夹具	147
4.2.1 数控机床主传动系统的 特点	95	5.4.4 数控加工中心的刀具和 夹具	150
4.2.2 主传动的变速方式	95	5.5 数控加工的切削参数	152
4.2.3 数控机床的主轴部件	99	5.6 数控加工的工艺文件	155
4.3 数控机床的进给传动系统	104	5.7 典型零件的数控加工工艺处理	157
4.3.1 数控机床进给运动的 特点	104	小结	160
4.3.2 滚珠丝杠螺母副	105	习题	161
4.3.3 数控机床的导轨	109	第6章 数控车床编程	162
4.3.4 进给系统传动间隙的 消除	113	6.1 数控车床的编程基础	163
4.4 数控机床的回转工作台和分度 工作台	115	6.1.1 数控机床坐标系	163
4.4.1 数控回转工作台	115	6.1.2 数控加工程序的结构	165
4.4.2 分度工作台	117	6.1.3 辅助功能 M 代码	167
4.5 自动换刀装置	119	6.1.4 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T	168
4.5.1 自动换刀装置的类型	119	6.2 数控车床基本编程指令	170
4.5.2 数控车床的自动换刀 装置	120	6.2.1 准备功能 G 代码	170
4.5.3 加工中心自动换刀装置	122	6.2.2 数控车床的主要编程 指令	171
小结	132	6.2.3 刀具补偿功能指令	179
习题	133	6.3 数控车床的固定循环指令	182
第5章 数控加工工艺	134	6.3.1 简单固定循环指令	182
5.1 数控加工工艺概述	135	6.3.2 复合固定循环指令	184
5.2 数控加工的零件工艺分析	136	6.4 数控车床编程实例	189
5.2.1 选择数控加工的零件	136	小结	194
5.2.2 选择数控加工的内容	136	习题	195
5.2.3 零件图上尺寸数据的标注 原则	137		

第 7 章 数控铣床及加工中心编程 ··· 198

7.1 数控铣床及加工中心的编程基础 ·····	199
7.1.1 FANUC0i-M 系统概述 ·····	199
7.1.2 数控铣床的坐标系 ·····	200
7.1.3 数控铣削方式及其选用 ·····	201
7.1.4 有关坐标系的指令 ·····	203
7.1.5 进给控制指令 ·····	205
7.1.6 回参考点控制指令 ·····	207
7.2 数控铣削刀具补偿指令 ·····	208
7.2.1 刀具半径补偿指令 ·····	208
7.2.2 刀具长度补偿指令 ·····	210
7.3 子程序调用和简化编程指令 ·····	212
7.3.1 子程序调用 ·····	212
7.3.2 图形比例及镜像功能指令 ·····	213
7.3.3 坐标系旋转指令 ·····	214
7.4 孔加工固定循环指令 ·····	215
7.4.1 孔加工基本动作及作用平面 ·····	215
7.4.2 孔加工固定循环的指令格式 ·····	217
7.4.3 孔加工固定循环指令说明 ·····	218
7.4.4 固定循环编程实例 ·····	222
7.5 数控铣床及加工中心编程实例 ·····	224
小结 ·····	228
习题 ·····	228

第 8 章 数控机床的操作与安全

生产 ····· 231

8.1 FANUC 0i mate-TB 数控系统操作界面简介 ·····	232
8.1.1 CRT-MDI 控制面板介绍 ·····	232
8.1.2 机床操作面板介绍 ·····	233

8.2 手动操作 ·····	234
8.2.1 手动返回参考点 ·····	234
8.2.2 手动连续进给 ·····	235
8.2.3 手轮进给 ·····	236
8.3 自动运行操作 ·····	237
8.3.1 存储器运行 ·····	237
8.3.2 MDI 运行 ·····	238
8.3.3 DNC 运行 ·····	239
8.4 创建与编辑程序 ·····	240
8.4.1 创建新程序 ·····	240
8.4.2 字的插入、修改和删除 ·····	241
8.4.3 程序段删除 ·····	243
8.4.4 程序号检索 ·····	244
8.4.5 顺序号检索 ·····	244
8.4.6 程序的删除 ·····	245
8.5 工件坐标系设置 ·····	245
8.5.1 G54~G59 工作坐标系设置 ·····	246
8.5.2 刀具偏置设置 ·····	247
8.5.3 G50 坐标系设置 ·····	247
8.6 图形模拟 ·····	248
8.7 数控机床安全文明生产与维护保养 ·····	251
8.7.1 数控机床文明生产与安全操作规程 ·····	251
8.7.2 数控机床的日常维护与保养 ·····	253
小结 ·····	254
习题 ·····	255

第 9 章 综合实训 ····· 256

9.1 数控车削综合实例 1 ·····	257
9.2 数控车削综合实例 2 ·····	260
9.3 数控铣削综合实例 1 ·····	267
9.4 数控铣削综合实例 2 ·····	271
小结 ·····	278
习题 ·····	278

参考文献 ····· 282

第 1 章

概 述



内容提要

本章首先介绍数控机床的基本概念，然后讲解数控机床的组成和分类，最后阐述数控机床的加工特点和应用范围，以及数控机床的发展趋势，为后续章节的学习打下基础。



1.1 数控机床的产生及作用

1.1.1 数控技术和数控机床的基本概念

数字控制(Numerical Control, NC)简称数控,是指用数字化信号对控制对象进行控制的方法,也称数控技术。对数控机床来说,这个控制对象就是金属切削机床。实现数字控制任务的设备称为数控系统,装备了数控系统的机床就称为数控机床。数字控制是相对于模拟控制而言的,数字控制系统中的控制量是数字量,而模拟控制系统中的控制量是模拟量。数字控制与模拟控制相比有很多优点,如数字信号易于存储、加密、传输和再现,数字系统抗干扰性强、可靠性高、集成度高等。虽然机床实现数字控制的初衷是为了加工各种复杂形状的曲面,但是几十年来数控技术在应用和发展过程中表现出来的多方面的卓越性能,已经引起了制造技术革命性的变革。

在数控系统中,数控装置是实现数控技术的关键。数控装置完成数控程序的读入、解释,并根据数控程序的要求对机床进行运动控制和逻辑控制。在早期的数控装置中,所有这些工作都是由数字逻辑电路实现的,现在称为硬件数控。现代数控系统中,数控装置的工作都是由计算机系统来完成的。以计算机系统作为数控装置构成的数控系统称为计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)系统。CNC系统的数字信息处理功能主要由软件实现,因而十分灵活,并可以处理数字逻辑电路难以处理的复杂信息,使数控系统的功能大大提高。人们现在看到的数控系统几乎都是计算机数控系统。

数控技术最早是被应用到金属切削机床上的,所以说到数控技术总是和数控机床联系在一起,其实数控技术可以用于各种机械设备,如冶金机械、锻压机械、轻工机械、纺织机械、包装机械、医疗机械等。

1.1.2 数控机床的产生和发展

1952年,美国麻省理工学院为解决复杂零件的自动化加工问题,研制成功世界上第一台三坐标联动、利用脉冲乘法器原理的试验性数字控制系统,并把它装在一台立式铣床上。该系统的控制装置由大约2000个电子管组成,体积约有一间普通教室那么大。尽管现在看来这套控制系统体积庞大、功能简单,但它在制造技术的发展史上却有着划时代的意义,它标志着机床数字控制时代的开始。

数控技术是机械技术和电子技术相结合的产物,因此机械技术、电子技术特别是计算机技术的每一点进步都在推动数控技术向前发展。1959年,晶体管器件的出现使电子设备的体积大大减小,数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板,数控技术的发展进入第二代。1965年,出现了集成电路并被用于数控系统,它体积小、功耗低,使数控系统的可靠性得以进一步提高,被称为第三代数控系统。以上三代数控系统中,所有功能都是靠硬件实现的,灵活性差、可靠性难以进一步提高,现在称为硬件数控(Numerical Control, NC)。

1970年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了一台以通用小型计算机作为数控装置的数控系统。这样的数控系统的最大特征是,许多数控功能可以由软件来实现,系统变得灵活、通用性好,被称为第四代数控系统。第四代数控系统的意义在于开创了计

算机数控系统(Computerized Numerical Control, CNC)的新时代,但是由于成本等方面的原因,发展缓慢,实际应用不多。1974 年开始出现的以微处理器为核心的数控系统使计算机数控技术的发展突飞猛进,获得了广泛的应用,被誉为第五代数控系统。这主要是因为微处理器实现了计算机核心部件的高度集成,不但可靠性高、功能强、速度快,而且价格便宜,满足了数控系统的特殊要求。40 多年来,装备微处理器数控系统的数控机床得到了飞速发展和广泛应用。

20 世纪 80 年代,微处理器完成了由 16 位向 32 位的过渡,通用化的个人计算机(PC)发展迅速,开始在全世界范围内普及应用。PC 进入数控技术领域,产生了基于 PC 的数控系统,也称为第六代数控系统。PC 数控是自数控技术诞生以来最具深远意义的一次飞越。它和第五代数控系统的最大不同之处在于,PC 数控系统的硬件及软件平台是完全通用的,可以毫无障碍地借鉴 PC 的全部资源和最新发展成果,这使计算机数控技术的发展走上了更加坚实、宽广、快速的道路。

我国数控技术的发展起步于 20 世纪 50 年代,通过“六五”期间引进数控技术,“七五”期间组织消化吸收,“八五”期间进行科技攻关,我国数控技术和数控产业取得了相当大的成绩。特别是最近几年,国家实施了“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项,我国数控产业发展迅速,2014 年我国数控机床产量达 39.1 万台,高居世界第一。目前,我国可供市场的数控机床有 1500 多种,几乎覆盖了整个金属切削机床的品种类别和主要的锻压机械。尽管如此,现阶段国内高档数控系统的 90%,高档数控机床的 85%还有赖于从国外进口。由此可以看出国产数控机床特别是中高档数控机床仍然缺乏市场竞争力,究其原因主要在于国产数控机床的研究开发深度不够,制造水平依旧落后,数控系统生产应用推广不力及数控人才缺乏等。因此,要提高数控机床的整体技术水平还要开展大量的研究和开发工作。

1.1.3 数控机床的作用

数控机床与人工操作的普通机床相比,具有适应范围广、自动化程度高、柔性强、操作者劳动强度低、易于组成自动生产系统等优点。具体表现在以下几个方面:

- (1) 生产效益一般比通用机床提高 3~5 倍,多的可达 8~10 倍。
- (2) 减少刀具、夹具的存储和花费,减少零件的库存和搬运次数。
- (3) 减少工装和人为误差,提高零件加工精度,重复精度高,互换性好。
- (4) 缩短新产品的试制和生产周期(当改变零件设计时,只需改变零件程序即可),易于组织多品种生产,使企业能对市场需要迅速做出响应。
- (5) 能加工传统方法不能加工的大型复杂零件。
- (6) 有利于产品质量的控制,便于生产管理。
- (7) 减轻了劳动强度,改善了劳动条件,节省人力,降低了劳动成本。

1.2 数控机床的组成

1.2.1 数控机床的加工过程

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1.1 所示,主要内容如下:

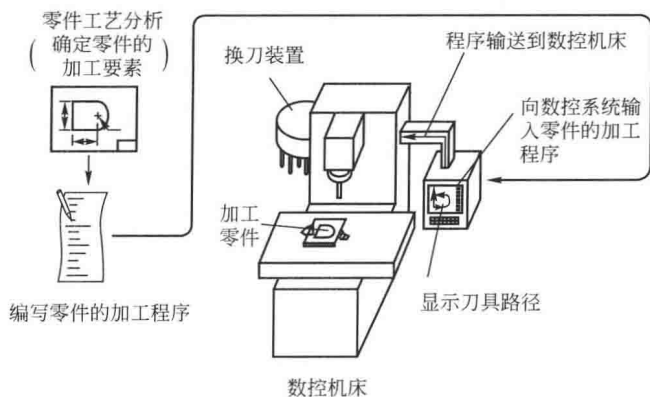


图 1.1 数控机床加工过程

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析, 确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单, 或用自动编程软件 CAD/CAM 进行辅助编程, 直接生成零件的加工程序文件。
- (3) 程序的输入, 手工编写的程序通过数控机床的操作面板输入; 软件生成的程序通过存储卡或计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控装置。
- (4) 将输入数控装置的加工程序, 通过试运行、刀具路径模拟等方法进行校核。
- (5) 通过对机床的正确操作, 运行程序, 完成零件的加工。

1.2.2 数控机床的基本组成

数控机床的基本组成包括输入装置、数控装置、伺服驱动系统和反馈系统、辅助控制装置及机床本体, 如图 1.2 所示。

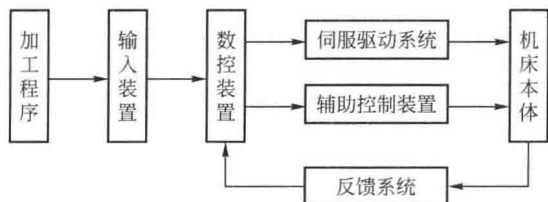


图 1.2 数控机床的基本组成

1. 输入装置

数控机床是按照零件加工程序运行的, 加工程序是数控机床自动加工零件的工作指令。零件加工程序包括机床上刀具和零件的相对运动轨迹、工艺参数(进给量、主轴转速等)和辅助运动等加工所需的全部信息。

编制程序的工作可由人工进行, 或者在外部计算机上由自动编程系统来完成, 也可以在数控机床的数控装置上直接编程。

输入装置的作用是将程序输入数控装置内。根据程序存储介质的不同, 输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。加工程序也可以通过键盘, 用手工方式(MDI)直接输入数控装置, 或者将加工程序由编程计算机用通信方式传送到数控装置中。

2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心, 它接收输入装置送来的加工程序, 经过数控装置软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后, 输出各种信号和指令来控制机床的各个部分, 进

行规定的、有序的操作。这些控制信号中最基本的信号是：由插补运算决定的各坐标轴（即进给运动的各执行部件）的进给位移量、进给方向和速度的指令；主运动部件的变速、换向和起停信号；选择和交换刀具的指令信号；控制冷却和润滑的起、停，机床部件的松开、夹紧及分度工作台的转位等辅助指令信号。

3. 伺服驱动系统及反馈系统

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置（电动机）组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令来控制执行部件的进给速度、方向和位移。每个进给运动的执行部件，都配有一套伺服驱动系统。

反馈系统将数控机床各坐标轴的位移检测出来并反馈到机床的数控装置中，数控装置对反馈回来的实际位移值与设定值进行比较，并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

相对于数控装置发出的每个进给脉冲信号，机床的进给运动部件都有一个相应的位移量，此位移量称为脉冲当量，也称为最小设定单位，其值越小，加工精度越高。根据精度的不同，数控机床常用的脉冲当量为 0.01mm、0.005mm 和 0.001mm。

伺服驱动系统的伺服精度和动态响应将直接影响数控机床的加工精度、表面粗糙度及生产效率，是数控机床的关键部件。

4. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置发出的主轴换向、变速、起停，刀具选择和交换，以及操作其他辅助装置等指令信号，经过必要的编译、逻辑判断和运算，再经功率放大后直接驱动相应的电器，从而驱动机床的机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。此外，机床上的限位开关等开关信号也由辅助控制装置进行处理。

由于可编程逻辑控制器（PLC）具有响应快、性能可靠、易于使用、可编程序等特点，并可直接驱动机床电器，现已广泛应用于数控机床的辅助控制装置中。

数控机床用的 PLC 主要有独立式和内置式两类。独立式 PLC 对于 CNC 装置来说是一种外部设备。内置式 PLC 是 CNC 装置的组成部分，即在 CNC 装置中带有 PLC 的功能。现代 CNC 装置越来越多地采用内置式 PLC。

5. 机床本体

机床本体由主传动装置、进给传动装置、床身与工作台，以及辅助运动部件、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。数控机床的组成与普通机床相似，但传动结构更为简单，在精度、刚度、抗振性等方面要求更高，而且其传动和变速系统便于实现自动化控制。

1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，通常按下面 4 种方法进行分类。



1.3.1 按加工工艺方法分类

1. 一般数控机床

与传统的机械加工车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控齿轮加工机床等，而且每一类又有很多品种，如数控铣床就有数控立铣、数控卧铣、数控工具铣及数控龙门铣等。尽管这些数控机床加工工艺方法存在很大差别，具体的控制方式也各不相同，但它们都具有很好的精度一致性、较高的生产率和自动化程度，都适合加工单件、小批量和复杂零件。

2. 数控加工中心

这类数控机床是在一般数控机床的基础上加装一个刀库和自动换刀装置，构成一种具备自动换刀功能的数控机床。典型的数控加工中心有镗铣加工中心和车削加工中心。

数控加工中心又称为多工序数控机床。在加工中心上，零件一次装夹后，可进行多种工艺、多道工序的集中连续加工，这就大大减少了机床台数。由于装卸零件、更换和调整刀具的辅助时间缩减，从而提高了加工效率，同时由于克服了多次安装的定位误差，减少了机床台数，所以提高了生产效率和加工自动化的程度。因此，近年来数控加工中心得以迅速发展和应用。

3. 数控特种加工机床

数控特种加工机床包括数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切割机床等。

1.3.2 按运动控制的方式分类

1. 点位控制的数控机床

点位控制的数控机床只要求获得准确的加工坐标点的位置，在移动过程中不进行加工，对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求，可以沿多个坐标同时移动，也可以沿各个坐标先后移动。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度，一般采取先快速移动，当接近终点位置时，再降速缓慢靠近终点的方式，以保证定位精度。

采用点位控制的机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

2. 点位直线控制的数控机床

点位直线控制的数控机床除了要求控制位移终点位置外，还能实现坐标轴的直线切削加工，并且可以设定直线加工的进给速度。因此，这类机床应具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具的选择，以及循环进给加工等辅助功能。这种控制方式常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

3. 轮廓控制的数控机床

轮廓控制的数控机床能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制，这类机床不仅能够控制机床移动部件的起点与终点坐标值，而且能控制整个加工过程中每一点的速度与位移量。其数控装置一般要求具有直线和圆弧插补功能、主轴转速控制功能及较齐全的辅助功能。这类机床用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂零件。轮廓控制的数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

1.3.3 按进给伺服系统的特点分类

1. 开环控制的数控机床

开环控制的数控机床采用开环进给伺服系统，图 1.3 所示是典型的开环控制的结构。这类控制没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式步进电动机。数控装置每发出一个进给指令脉冲，经驱动电路功率放大后，驱动步进电动机旋转一个角度，再经传动机构带动工作台移动。这类系统信息流是单向的，即进给脉冲发出去以后，实际移动值不反馈回来，所以称这种控制为开环控制。受步进电动机的步距精度和工作频率及传动精度影响，开环系统的速度和精度都较低，但由于开环控制结构简单、调试方便、容易维修、成本较低，仍被广泛应用于经济型数控机床上。

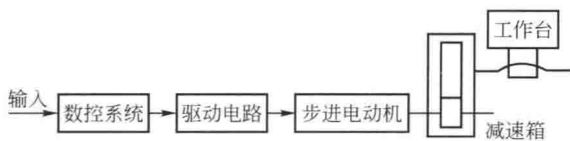


图 1.3 开环控制的结构

2. 闭环控制的数控机床

图 1.4 所示为闭环控制系统。这类控制系统带有直线位移检测元件和速度检测元件。直线位移检测元件直接对工作台的实际位移量进行检测，将检测的信息反馈到数控装置中，与所要求的位置进行比较，用比较的差值进行控制，直到差值消除为止。可见，闭环控制系统可以消除机械传动部件的各种误差和零件加工过程中产生的干扰，从而使加工精度大大提高。速度检测元件检测伺服电动机的速度并转换成电信号送到速度控制电路中，进行反馈校正，保证电动机转速保持恒定。常用速度检测元件是测速发电机。

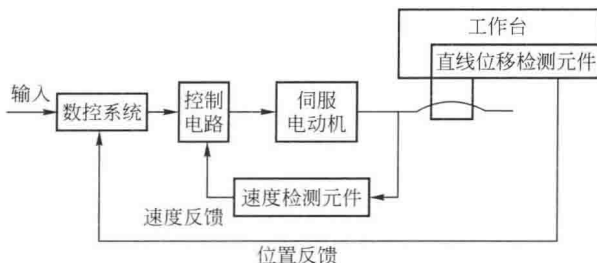


图 1.4 闭环控制系统框图

闭环控制的特点是加工精度高、移动速度快。这类数控机床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元件，电动机的控制电路比较复杂，检测元件价格昂贵，因而调试和维修比较复杂，且成本高。

3. 半闭环控制的数控机床

半闭环控制系统如图 1.5 所示。这类控制系统与闭环控制系统的区别在于采用了角位移检测元件，反馈信号不是

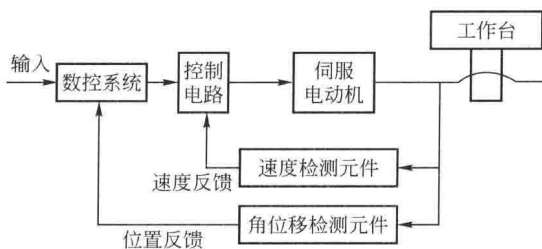


图 1.5 半闭环控制系统框图

来自工作台，而是来自与电动机相联系的角位移检测元件。由于反馈环内没有包含工作台，故称为半闭环控制系统。半闭环控制精度较闭环控制差，但稳定性好、成本较低，调试维修也较容易，兼顾了开环控制和闭环控制两者的特点，因此应用比较普遍。

1.3.4 按数控装置的功能水平分类

按数控装置的功能水平可把数控机床分为高、中、低(经济型)档三类。这种分类方式在我国用得很多。高、中、低三档的界限是相对的，不同时期的划分标准不同。就目前的发展水平来看，可以根据表 1-1 中的功能及指标，将各种类型的数控产品分为高、中、低档三类。其中高、中档一般称为全功能数控或标准型数控。在我国还有经济型数控的提法，经济型数控属于低档数控，是指由单板机或单片机和步进电动机组成的数控系统及其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控主要用于车床、线切割机床及旧机床改造等。

表 1-1 不同档次数控功能及指标

功 能	高 档	中 档	低 档
系统分辨率/ μm	0.1	1	10
进给速度/(m/min)	24~100	15~24	8~15
伺服进给类型	闭环及直、交流伺服	半闭环及直、交流伺服	开环及步进电动机
联动轴数	5 轴或 5 轴以上	2~4 轴	2~3 轴
通信功能	RS-232C、DNC、MAP	RS-232C 或 DNC	无
显示功能	CRT，可显示三维图形，自诊断	CRT，可显示图形，人机对话	数码管
PLC	强功能内装 PLC	内装 PLC	无
主 CPU	32 位、64 位	16 位	8 位

1.4 数控机床的特点及应用范围

1.4.1 数控机床的加工特点

1. 加工精度高

数控机床是按指令进行加工的。目前数控机床的刀具或工作台最小移动量(脉冲当量)

普遍达到了 0.001mm,而且进给传动链的反向间隙与丝杆螺距误差等均可由数控系统进行补偿,因此,数控机床能达到很高的加工精度。对于中小型数控机床,定位精度普遍可达 0.03mm,重复定位精度为 0.01mm。此外,数控机床传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,数控机床的自动加工方式避免了人为的干扰因素,所以,加工同一批零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

2. 生产效率高

零件加工所需的时间主要包括加工时间和辅助时间两部分。由于数控机床结构刚度好,允许进行大切削量的强力切削;数控机床主轴转速和进给量的变化范围比普通机床大,因此每一道工序都可选用最佳的切削量,这就提高了数控机床的切削效率,节省了切削时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快(一般在 15 m/min 以上,有些甚至达到 240 m/min),零件装夹时间短,对刀、换刀快,更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,节省了零件安装时间。数控机床加工质量稳定,一般只做首件零件检验和工序间关键尺寸的抽样检验,因此节省了停机检验时间。数控机床加工零件一般不需制作专用工装夹具,节省了工艺装备的设计、制造等准备工作的时间。在数控加工中心上加工零件时,一台机床可实现多道工序的加工,生产效率的提高更为明显。与普通机床相比,数控机床的生产率可提高 2~3 倍,有些可提高几十倍。

3. 对加工对象的适应性强

在数控机床上改变加工零件后,只需要重新编制(更换)程序,输入新的程序就能实现对新零件的加工,这就为复杂结构零件的单件、小批量生产及试制新产品提供了极大的便利。对于那些普通机床很难加工或无法加工的精密、复杂表面(如螺旋表面),数控机床也能实现自动加工。

4. 自动化程度高,劳动强度低

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了输入加工程序、装卸零件、关键工序的中间检测及观察机床运行之外,不需要进行繁杂的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均大为减轻,加上数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,操作者的劳动条件也大为改善。

5. 良好的经济效益

数控机床虽然价格昂贵,分摊到每个零件上的设备折旧费较高,但在单件、小批量生产情况下使用数控机床加工,可节省划线工时,减少调整、加工和检验时间,节省直接生产费用;同时还节省了工艺装备费用;数控机床加工精度稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。此外,数控机床可实现一机多用,节省厂房面积,节省建厂投资。因此,使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

1.4.2 数控机床的使用特点

1. 数控机床对操作、维修人员的要求

数控机床采用计算机控制,机床精度很高,其操作和维修均较复杂,故要求操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和技术素质。



数控机床按程序进行加工。编制的加工程序直接关系到数控机床功能的开发和使用,同时也直接影响到数控机床的加工精度,因此编制程序时既要有一定的工艺方法,又要有一定的技巧。数控机床的操作人员除了具有一定的工艺知识和普通机床的操作经验之外,还应对数控机床的结构特点、工作原理及程序编制进行专门的技术理论培训和操作训练,经考核合格者才能上机操作,以防止使用数控机床时发生人为的事故。经过培训的操作人员才能正确编制或快速理解程序,并对数控加工中出现的各种情况做出正确的综合判断和处理。

正确的维护和有效的维修是提高数控机床效率的基本保证。数控机床的维修人员应有较高理论知识和维修技术,其中机修人员要懂得一些数控机床电气维护知识,电修人员要了解数控机床的结构和程序编制方法。维修人员有比较宽的机、电、液专业知识面,才能综合分析、判断故障根源,实现高效维修,以便尽可能地缩短故障停机时间。因此,数控机床维修人员和操作人员一样,必须进行专门的培训;不但要对从事数控加工的人员和维修人员进行培训,而且应对与数控机床有关的工作人员进行数控加工技术知识的普及。

2. 数控机床对夹具和刀具的要求

当生产单件产品时,一般采用通用夹具。如果批量生产产品,为了节省加工工时,应使用专用夹具。数控机床的夹具应定位可靠,能自动夹紧或松开工件,还应具有良好的排屑、冷却结构。

数控机床的刀具应该具有以下特点:

- (1) 较高的精度、耐用度和几何尺寸稳定、变化小。
- (2) 刀具能实现机外预调、快速换刀。
- (3) 刀具应具有柄部标准系列。
- (4) 很好地控制切屑的折断、卷曲和排出。
- (5) 具有良好的可冷却性能。

1.4.3 数控机床的应用范围

数控机床有一般机床所不具备的许多优点,数控机床应用范围正在不断扩大,但它不能完全代替普通机床,也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的零件。

- (1) 多品种、小批量生产的零件。
- (2) 形状结构比较复杂的零件。
- (3) 需要频繁改型的零件。
- (4) 价值昂贵、不允许报废的关键零件。
- (5) 设计、制造周期短的急需零件。
- (6) 批量较大、精度要求较高的零件。

根据国外数控机床的应用实践,数控机床加工的适用范围可用图 1.6 粗略表示。

图 1.6(a)所示为随零件复杂程度和生产批量的不同,三种机床的应用范围。当零件不太复杂,生产批量又较小时,宜采用通用机床;当生产批量很大时,宜采用专用机床;随着零件复杂程度的提高,数控机床愈显适用。目前,随着数控机床的普及,其应用范围正由 BCD 线向 EFG 线(即复杂性较低的)范围扩大。