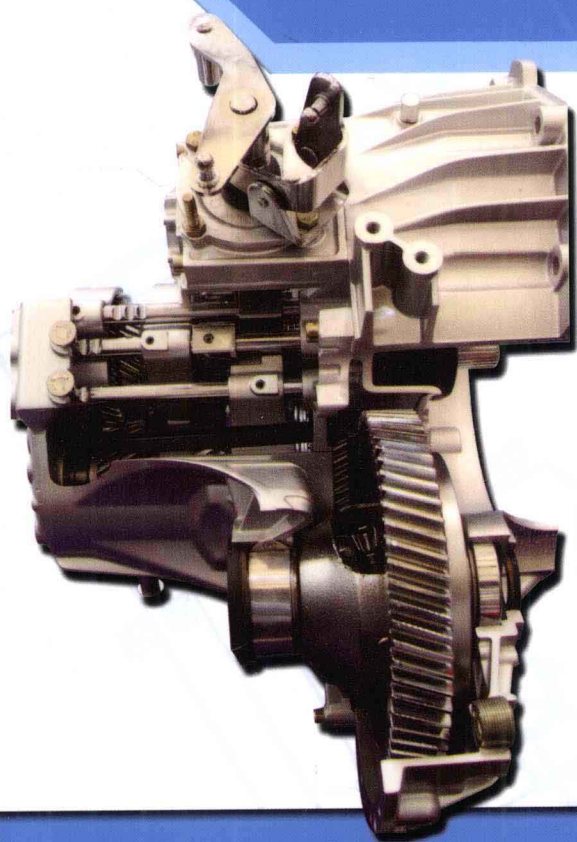


- ◎ 按**新教学大纲**的要求以课题形式进行编写，快速提升读者在数控编程、加工工艺分析、实际加工操作和安全维护等方面的能力
- ◎ 选用工厂**实用案例**易学易用，培养读者轻松掌握数控编程与加工的专业技能

数控编程与加工

一体化教程



主 编 朱建平
郁志纯
主 审 王建锋



清华大学出版社

数控编程与加工一体化教程

主 编 朱建平 郁志纯
主 审 王建锋

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是职业技术理论与实践一体化教学改革教材,分数控机床基础、数控车床的操作与编程、数控铣床的操作与编程、加工中心的操作与编程和安全与维护5个部分,共13个课题。全书以数控机床基础理论、编程知识和机床的操作为主线,介绍了FANUC、SINUMERIK等世界主流数控系统的操作方法,特别是对数控编程和数控机床对刀方法作了较详实的介绍。同时书中还增加了大量的数控加工编程实例,且各课题都设有自测与实训,供学生课后练习或进行实训。全书以培养技术应用型人才为目的,有较高的实用价值。

本书可作为高职高专机电类专业的数控编程与加工的教材,也可作为本科院校相关专业师生和工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工一体化教程/朱建平,郁志纯主编. —北京:清华大学出版社,2009.3

ISBN 978-7-302-19559-7

I. 数… II. ①朱… ②郁… III. ①数控机床-程序设计-职业教育-教材

②数控机床-加工-职业教育-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第016358号

责任编辑:张 莲 周中亮

封面设计:刘 超

版式设计:侯哲芬 杨 洋

责任校对:姜 彦

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:24 字 数:555千字

版 次:2009年3月第1版 印 次:2009年3月第1次印刷

印 数:1~5500

定 价:38.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:032475-01

前 言

本书是数控编程与加工一体化教程，是根据新教学大纲的要求，以课题形式编写的理论与实践一体化教材，编写宗旨是培养学生在数控编程、加工工艺分析和实际加工操作方面的能力。

本书以培养职业技术型人才为目的，介绍了数控机床基础、数控车床操作与编程、数控铣床操作与编程、加工中心操作与编程和安全维护等内容，将理论和实训融为一体，并配有自测与实训，形式新颖、举例丰富，实用性强。

全书共设十三个课题。课题一为数控机床基础，课题二为数控系统原理和坐标系，课题三为数控编程基础，课题四为数控车床的基本操作，课题五为数控车床对刀及偏置参数设置，课题六为数控车床编程，课题七为数控铣床的基本操作，课题八为数控铣床对刀及偏置参数设置，课题九为数控铣床编程，课题十为加工中心的基本操作，课题十一为加工中心对刀及参数设置，课题十二为加工中心编程，课题十三为数控机床的操作规程和机床维护。

本书是江苏信息职业技术学院数控教研室全体老师努力的成果，由朱建平和郁志纯主编，王建锋主审。其中课题一、课题二、课题三由郁志纯编写；课题四、课题五、课题六由尤东升编写；课题七、课题八、课题十三由朱建平、蒋峰编写；课题九、课题十二由魏法明编写；课题十、课题十一由葛伟杰编写。全书由朱建平和郁志纯负责统稿和定稿。

在本书的编写过程中，得到了学院各级领导的关心和大力支持，同时，兄弟学院的同仁对本书的编写也提出了许多宝贵的意见和建议，在此一并谢过！

由于编者的水平和经验有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

基 础 篇

课题一 数控机床基础	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.2 数控机床的概念及组成	4
1.3 数控机床的种类与应用	6
1.4 数控机床加工的特点及应用	11
1.5 先进制造技术	12
1.6 自测与实训	16
课题二 数控系统原理和坐标系	17
2.1 计算机数控系统的工作流程	17
2.2 数控插补原理	18
2.3 数控机床坐标系的确定	19
2.4 机床坐标系与工件坐标系	22
2.5 绝对坐标系与增量坐标系	24
2.6 自测与实训	25
课题三 数控编程基础	26
3.1 数控编程概述	26
3.2 程序编制中的工艺分析	32
3.3 程序编制中的数值计算	49
3.4 编程格式	56
3.5 常用编程命令	70
3.6 自测与实训	79

数控车床篇

课题四 数控车床的基本操作	81
4.1 SIEMENS 802D 数控车床的基本结构	81
4.2 SIEMENS 802D 数控车床的面板	82
4.3 操作方式	86
4.4 自测与实训	106



课题五 数控车床对刀及偏置参数设置	107
5.1 SIEMENS 802D 数控车床对刀及偏置参数设置	107
5.1.1 坐标系的零点设定	107
5.1.2 SIEMENS 802D 数控车床的刀具设定方法	109
5.1.3 SIEMENS 802D 数控车床的对刀操作方法	111
5.1.4 SIEMENS 802D 数控车床的参数设置和修改	113
5.2 自测与实训	115
课题六 数控车床编程	116
6.1 SIEMENS 802D 数控车床编程	116
6.1.1 SIEMENS 802D 数控车床的刀具和刀具补偿	116
6.1.2 外圆切削循环指令	124
6.1.3 螺纹切削循环指令	136
6.1.4 程序跳转	141
6.1.5 子程序应用	144
6.1.6 计算参数 R	146
6.2 实训典型题型编程	147
6.3 自测与实训	153

数控铣床篇

课题七 数控铣床的基本操作	157
7.1 FANUC 0i-MC 数控铣床基本操作	157
7.1.1 数控铣床基本结构	157
7.1.2 面板	158
7.1.3 操作方式	162
7.1.4 程序编辑	166
7.1.5 自动操作	172
7.1.6 刀具的装卸	177
7.1.7 安全防护和报警处理	178
7.2 自测与实训	179
课题八 数控铣床对刀及偏置参数设置	180
8.1 数控铣床对刀及参数设置操作	180
8.1.1 数控铣床对刀和建立工件坐标系	180
8.1.2 刀具补偿值的设定	187
8.1.3 程序测试操作	188



8.1.4 切削加工.....	188
8.1.5 屏幕显示.....	189
8.1.6 数据输出.....	193
8.1.7 机床参数的设定.....	194
8.2 自测与实训.....	196
课题九 数控铣床编程	197
9.1 刀具半径补偿.....	197
9.2 子程序应用.....	206
9.3 坐标系命令.....	210
9.4 固定循环.....	214
9.5 参数编程.....	233
9.6 数控铣床编程实例.....	243
9.7 自测与实训.....	248

加工中心篇

课题十 加工中心的基本操作.....	253
10.1 DMC 64V Linear (SINUMERIK 810D 系统) 加工中心基本操作.....	253
10.1.1 DMC 64V Linear 加工中心基本结构.....	253
10.1.2 DMC 64V Linear 立式加工中心面板操作.....	256
10.1.3 SINUMERIK 810D 系统加工中心的基本操作方式.....	262
10.2 RFMV80 (FANUC 0i-MA 系统) 立式加工中心的基本操作	271
10.2.1 加工中心基本结构.....	271
10.2.2 操作面板讲解.....	272
10.2.3 FANUC 0i-MB 系统加工中心的基本操作	280
10.3 自测与实训.....	287
课题十一 加工中心对刀及参数设置	289
11.1 SINUMERIK 810D 系统对刀及参数设置.....	289
11.1.1 SINUMERIK 810D 系统坐标系的设定方法.....	289
11.1.2 刀具参数的设定.....	291
11.1.3 对刀操作方法.....	296
11.1.4 参数设置和修改.....	300
11.2 FANUC 0i-MB 系统对刀及参数设置.....	304
11.2.1 坐标系设定.....	304
11.2.2 刀具参数设定.....	306
11.2.3 对刀操作.....	307



11.2.4	参数设置和修改.....	313
11.3	自测与实训.....	314
课题十二	加工中心编程.....	315
12.1	换刀命令.....	315
12.2	刀具长度补偿.....	316
12.3	极坐标编程.....	317
12.4	镜像编程.....	322
12.5	图形缩放编程.....	324
12.6	加工中心编程实例.....	327
12.7	自测与实训.....	335

安全维护篇

课题十三	数控机床的操作规程和机床维护.....	339
13.1	操作规程.....	339
13.1.1	文明生产.....	339
13.1.2	安全操作规程.....	339
13.1.3	数控机床的维护保养.....	341
13.2	数控机床的故障诊断与排除.....	344
13.2.1	数控机床维修前的准备工作.....	344
13.2.2	数控机床常见故障分类.....	345
13.2.3	数控机床常见故障的处理.....	346
13.3	自测与实训.....	351
附录 A	SIEMENS 802D 数控车床操作说明.....	352
附录 B	FANUC 0i Mate C 数控车床操作说明.....	358
附录 C	FANUC 0i 数控系统报警出错代码含义检索表.....	362
参考文献		373

基础篇

课题一 数控机床基础



教学目标

1. 了解数控机床的产生和发展。
2. 了解数控机床的概念和组成。
3. 了解数控机床的种类与应用。
4. 了解数控机床加工的特点及应用。

1.1 数控机床的产生与发展

随着社会生产和科学技术的不断进步，各类工业新产品层出不穷。机械制造产业作为国民工业的基础，其产品更是日趋精密复杂，特别是宇航、航海、军事等领域所需的机械零件，精度要求更高、形状更为复杂且往往批量较小，加工这类产品需要经常改装或调整设备，普通机床或专业化程度高的自动化机床显然无法适应这些要求。同时，随着市场竞争的日益加剧，生产企业也迫切需要进一步提高生产效率，提高产品质量及降低生产成本。在这种背景下，一种新型的生产设备——数控机床就应运而生了，它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量及新型机械结构等多方面的技术成果，形成了今后机械工业的基础并指明了机械制造工业设备的发展方向。

1. 数控机床的产生

数控机床的研制最早是从美国开始的。1948年，美国帕森斯公司（Parsons Co.）在完成研制加工直升机浆叶轮廓用检查样板的加工机床任务时，提出了研制数控机床的初步设想。1949年，在美国空军后勤部的支持下，帕森斯公司正式接受委托，与麻省理工学院伺服机构实验室（Servo Mechanism Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology）合作，开始数控机床的研制工作。经过3年的研究，世界上第一台数控机床试验样机于1952年试制成功。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制系统铣床，其数控系统全部采用电子管元件，其数控装置体积比机床本体还要大。后来经过3年的改进和自动编程研究，该机床于1955年进入试用阶段。此后，其他一些国家（如德国、英国、日本、前苏联和瑞典等）也相继开展数控机床的研制开发和生产。1959年，美国克耐·杜列克公司（Keaney & Trecker）首次成功开发了加工中心（Machining Center），这是一种有自动换



刀装置和回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个平面进行多工序的加工。但是,直到 20 世纪 50 年代末,由于价格和其他因素的影响,数控机床仅限于航空、军事工业应用,品种也多为连续控制系统。直到 20 世纪 60 年代,由于晶体管的应用,数控系统进一步提高了可靠性且价格下降,一些民用工业开始发展数控机床,其中多数为钻床、冲床等点定位控制的机床。数控技术不仅在机床上得到实际应用,而且逐步推广到焊接机、火焰切割机等,使数控技术应用范围不断地得到扩展。

2. 数控机床的发展概况

自 1952 年美国研制成功第一台数控机床以来,随着电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量等技术的发展,数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代,先后经历了 5 个发展阶段。

第 1 代数控机床:1952—1959 年采用电子管元件构成的专用数控装置(Numerical Control, NC)。

第 2 代数控机床:从 1959 年开始采用晶体管电路的 NC 系统。

第 3 代数控机床:从 1965 年开始采用小、中规模集成电路的 NC 系统。

第 4 代数控机床:从 1970 年开始采用大规模集成电路的小型通用电子计算机控制的系统(Computer Numerical Control, CNC)。

第 5 代数控机床:从 1974 年开始采用微型计算机控制的系统(Microcomputer Numerical Control, MNC)。

近年来,微电子和计算机技术日益成熟,其成果正不断渗透到机械制造的各个领域,先后出现了计算机直接数控(DNC)系统、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)。这些高级的自动化生产系统均以数控机床为基础,它们代表着数控机床今后的发展趋势。

(1) 计算机直接数控系统

所谓计算机直接数控(Direct Numerical Control, DNC)系统,即使用一台计算机为数台数控机床进行自动编程,编程结果直接通过数据线输送到各台数控机床的控制箱。中央计算机具有足够的内存容量,因此可统一存储、管理与控制大量的零件程序。利用分时操作系统,中央计算机可以同时完成一群数控机床的管理与控制,因此也称它为计算机群控系统。

目前 DNC 系统中的各台数控机床都有各自独立的数控系统,并与中央计算机连成网络,实现分级控制,而不再考虑让一台计算机去分时完成所有数控装置的功能。

随着 DNC 技术的发展,中央计算机不仅用于编制零件的程序以控制数控机床的加工过程,而且进一步控制工件与刀具的输送,形成了一条由计算机控制的数控机床自动生产线,它为柔性制造系统的发展提供了有利条件。

(2) 柔性制造系统

柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)也叫做计算机群控自动线,它是将一群数控机床用自动传送系统连接起来,并置于一台计算机的统一控制之下,形成一个用于制造的整体。其特点是由一台主计算机对全系统的硬、软件进行管理,采用 DNC



方式控制两台或两台以上的数控加工中心机床, 对各台机床之间的工件进行调度和自动传送; 利用交换工作台或工业机器人等装置实现零件的自动上料和下料, 使机床每天 24 小时均能在无人或极少人的监督控制下进行生产。如日本 FANUC 公司有一条 FMS 由 60 台数控机床、52 个工业机器人、两台无人自动搬运车、一个自动化仓库组成, 这个系统每月能加工 10000 台伺服电机。

(3) 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS), 是指用最先进的计算机技术, 控制从定货、设计、工艺、制造到销售的全过程, 以实现信息系统一体化的高效率的柔性集成制造系统。它是在生产过程自动化 (例如计算机辅助设计、计算机辅助工艺规程设计、计算机辅助制造、柔性制造系统等) 的基础上, 结合其他管理信息系统的发展逐步完善的, 有各种类型计算机及其软件系统的分析、控制能力, 可把全厂的生产活动联系起来, 最终实现全厂性的综合自动化。

3. 我国数控机床发展概况

我国从 1958 年开始由北京机床研究所和清华大学等单位首先研制数控机床, 并试制成功第一台电子管数控机床。从 1965 年开始研制晶体管数控系统, 直到 20 世纪 60 年代末至 70 年代初, 研制的劈锥数控铣床、非圆插齿机等获得成功。与此同时, 还开展了数控铣床加工平面零件自动编程的研究。1972—1979 年是数控机床的生产和使用阶段, 例如清华大学成功研制了集成电路数控系统; 在车、铣、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域开始研究和应用数控技术; 数控加工中心机床研制成功; 数控升降台铣床和数控齿轮加工机床开始小批生产供应市场。从 20 世纪 80 年代开始, 随着改革开放政策的实施, 我国先后从日本、美国、德国等国家引进先进的数控技术。如北京机床研究所从日本 FANUC 公司引进 FANUC3、FANUC5、FANUC6、FANUC7 系列产品的制造技术; 上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统等。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上, 北京机床研究所又开发出 BSO3 经济型数控系统和 BSO4 全功能数控系统, 航空航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统等。到“八五”末期, 我国数控机床的品种已有 200 多个, 产量已经达到年产 10000 台的水平, 是 1980 年的 500 倍。我国数控机床在品种、性能以及控制水平上都有了新的飞跃, 数控技术已经进入了一个继往开来的发展阶段。

4. 数控机床的发展趋势

从数控机床的技术水平看, 高精度、高速度、高柔性、多功能和高自动化是数控机床的重要发展趋势。对单台主机不仅要求提高其柔性和自动化程度, 还要求具有更高层次的柔性制造系统和计算机集成系统的适应能力。我国国产数控设备的主轴转速已达 $10000\sim40000\text{r/min}$, 进给速度达到 $30\sim60\text{m/min}$, 换刀时间 $t<2.0\text{s}$, 表面粗糙度 $Ra<0.008\mu\text{m}$ 。

在数控系统方面, 目前世界上几个著名的数控装置生产厂家, 诸如日本的 FANUC 公司、德国的 SIEMENS 公司和美国的 A-B 公司, 其产品都在向系列化、模块化、高性能和成套性方向发展。它们的数控系统都采用了 16 位和 32 位微处理器, 标准总线及软件模块和硬件模块结构, 内存容量扩大到了 1MB 以上, 机床分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$, 高速进给速度可达 100m/min , 控制轴数可达 16 个, 并采用先进的电装工艺。



在驱动系统方面，交流驱动系统发展迅速。交流驱动已由模拟式向数字式方向发展，以运算放大器模拟器件为主的控制器正被以微处理器为主的数字集成元件所取代，从而克服了零点漂移、温度漂移等弱点。

1.2 数控机床的概念及组成

1. 数控机床的概念

数控技术是 20 世纪中期发展起来的机床控制技术。数字控制（Numerical Control，简称 NC）是一种自动控制技术，是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

数控机床（NC Machine）就是采用了数控技术的机床，或者说是装备了数控系统的机床。它是一种综合应用计算机技术、自动控制技术、精密测量技术、通信技术和精密机械技术等先进技术的典型的机电一体化产品。

国家信息处理联盟（International Federation of Information Processing，简称 IFIP）第五技术委员会对数控机床作了如下定义：数控机床是一种装有程序控制系统的机床，该系统能逻辑地处理具有特定代码和其他符号编码指令规定的程序。

2. 数控机床的组成

数控机床的种类很多，但任何一种数控机床都是由控制介质、数控系统、伺服系统、辅助控制系统和机床本体等若干基本部分组成，如图 1-1 所示。

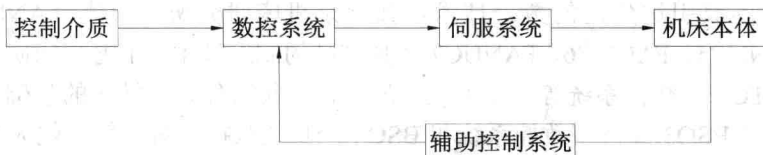


图 1-1 数控机床的组成

（1）控制介质

数控系统工作时，不需要操作工人直接操纵机床，但机床又必须执行人的意图，这就需要在人与机床之间建立某种联系，这种联系的中间媒介物即称为控制介质。在控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件位移信息，因此，控制介质就是将零件加工信息传送到数控装置去的信息载体。控制介质有多种形式，它随着数控装置类型的不同而不同，常用的有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘和 USB 接口介质等。控制介质上记载的加工信息要经过输入装置传送给数控装置，常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机、磁盘驱动器和 USB 接口等。

除了上述几种控制介质外，还有一部分数控机床采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接输入程序和数据。另外，随着 CAD/CAM 技术的发展，有些数控设备利用 CAD/CAM 软件在其他计算机上编程，然后通过计算机与数控系统通信（如局域网），将程序和数据直



接传送给数控装置。

(2) 数控系统

数控装置是一种控制系统，是数控机床的中心环节。它能自动阅读输入载体上事先给定的数字，并将其译码，从而使机床进给并加工零件。数控系统通常由输入装置、控制器、运算器和输出装置 4 部分组成，如图 1-2 所示。

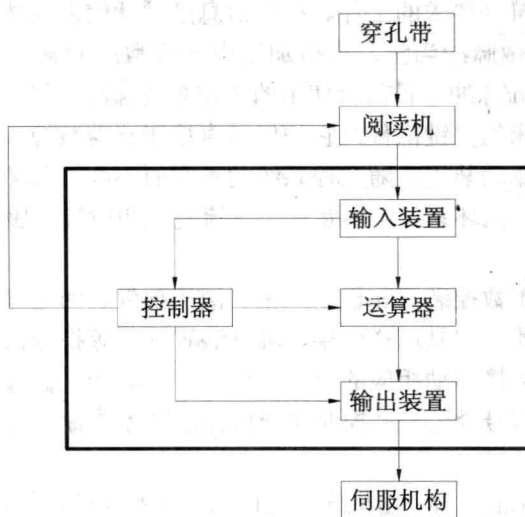


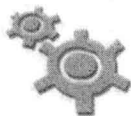
图 1-2 数控装置结构

输入装置接受由穿孔带阅读机输出的代码，经识别与译码之后分别输入到各个相应的寄存器，这些指令与数据将作为控制与运算的原始数据。控制器接受输入装置的指令，根据指令控制运算器与输入装置，以实现机床的各种操作（如控制工作台沿某一坐标轴的运动、主轴变速和冷却液的开关等）以及控制整机的工作循环（如控制阅读机的启动或停止、控制运算器的运算和控制输出信号等）。

运算器接受控制器的指令，将输入装置送来的数据进行某种运算，并不断向输出装置送出运算结果，使伺服系统执行所要求的运动。对于加工复杂零件的轮廓控制系统，运算器的重要功能是进行插补运算。所谓插补运算就是将每个程序段输入的工件轮廓上的某起始点和终点的坐标数据送入运算器，经过运算之后在起点和终点之间进行“数据密化”，并按控制器的指令向输出装置送出计算结果。

输出装置根据控制器的指令将运算器送来的计算结果输送到伺服系统，经过功率放大驱动相应的坐标轴，使机床完成刀具相对工件的运动。

目前均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元（CPU）又称微处理器，是一种大规模集成电路。它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片中。在微型计算机中，输入与输出电路采用大规模集成电路，即所谓的 I/O 接口。微型计算机拥有较大容量的寄存器，并采用高密度的存储介质，如半导体存储器和磁盘存储器等。存储器可分为只读存储器（ROM）和随机存取存储器（RAM）两种类型，前者用于存放系统的控制程序，后者存放系统运行时的工作参数或用户的零件加工程序。微型计算机数控装置的工作



作原理与上述硬件数控装置的工作原理相同,只是前者采用通用的硬件,不同的功能通过改变软件来实现,因此更为灵活与经济。

(3) 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,它是数控系统的执行部分。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求带动机床本体的移动部件运动或使执行部分动作,以加工出符合要求的工件。指令信息是脉冲信息的体现,每个脉冲使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量。机械加工中一般常用的脉冲当量为 0.01mm/脉冲、0.005mm/脉冲、0.001mm/脉冲,目前所使用的数控系统脉冲当量一般为 0.001mm/脉冲。

伺服系统是数控机床的关键部件,它的好坏直接影响着数控加工的速度、位置、精度等。伺服机构中常用的驱动装置,随数控系统的不同而不同。开环系统的伺服机构常用步进电机和电液脉冲马达;闭环系统常用宽调速直流电机和电液伺服驱动装置等。

(4) 辅助控制系统

辅助控制系统是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的强电控制装置。它接受数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号,经过必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,以完成各种规定的动作。此外,有些开关信号经过辅助控制系统传输给数控装置进行处理。

(5) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,由机床的基础大件(如床身、底座)和各种运动部件(如工作台、床鞍、主轴等)所组成。它是完成各种切削加工的机械部分,是在普通机床的基础上改进而成的。其具有以下特点:

- 数控机床采用了高性能的主轴与伺服传动系统、机械传动装置。
- 数控机床机械结构具有较高的刚度、阻尼精度和耐磨性。
- 更多采用了高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨。

与传统的手动机床相比,数控机床的外部造型、整体布局,传动系统与刀具系统的部件结构及操作机构等方面都发生了很多变化。这些变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点,因此,必须建立数控机床设计的新概念。

1.3 数控机床的种类与应用

当前数控机床的品种很多,结构、功能各不相同,通常可以按下述方法进行分类。

1. 按机床运动轨迹进行分类

按机床运动轨迹不同,可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床

点位控制(Positioning Control)又称为点到点控制(Point to Point Control)。刀具从某一位置向另一位置移动时,不管中间的移动轨迹如何,只要刀具最后能正确到达目标位置,就称为点位控制。



点位控制机床的特点是只控制移动部件由一个位置到另一个位置的精确定位，而对它们的运动过程中的轨迹没有严格要求，在移动和定位过程中不进行任何加工。因此，为了尽可能地减少移动部件的运动时间和定位时间，两相关点之间的移动先以快速移动到接近新点位的位置，然后进行连续降速或分级降速，使之慢速趋近定位点，以保证其定位精度。点位控制加工示意图如图 1-3 所示。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控点焊机和数控折弯机等，其相应的数控装置称为点位控制数控装置。

(2) 直线控制数控机床

直线控制 (Straight Cut Control) 又称平行切削控制 (Parallel Cut Control)。这类控制除了控制点到点的准确位置之外，还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线，而且对移动的速度也有控制，因为这一类机床在两点之间移动时要进行切削加工。

直线控制数控机床的特点是刀具相对于工件的运动不仅要控制两相关点的准确位置 (距离)，还要控制两相关点之间移动的速度和轨迹，其轨迹一般由与各轴线平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于当机床移动部件移动时，可以沿一个坐标轴的方向进行切削加工，而且其辅助功能比点位控制的数控机床多。直线控制加工示意图如图 1-4 所示。

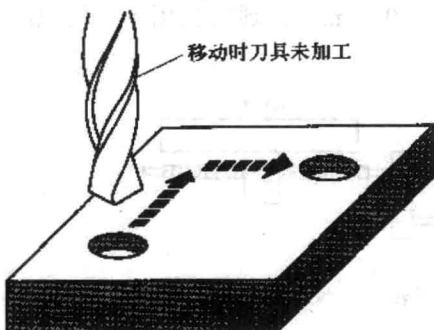


图 1-3 点位控制加工示意图

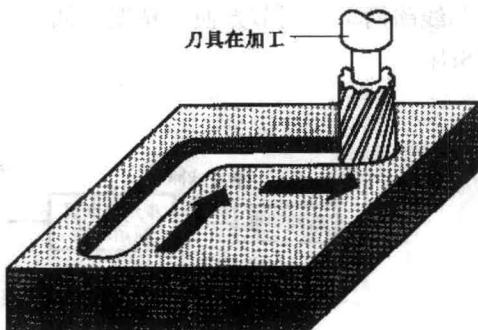


图 1-4 直线控制加工示意图

这类机床主要有数控坐标车床、数控磨床和数控镗铣床等，其相应的数控装置称为直线控制数控装置。

(3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制又称连续控制，大多数数控机床具有轮廓控制功能。轮廓控制数控机床的特点是能同时控制两个以上的轴联动，具有插补功能。它不仅要控制加工过程中的每一点的位置和刀具移动速度，还要加工出任意形状的曲线或曲面。轮廓控制加工示意图如图 1-5 所示。

属于轮廓控制机床的有数控坐标车床、数控铣床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓控制装置。轮廓控制装置比点位、直线控制装置结构复杂得多，功能齐全得多。

2. 按伺服系统类型进行分类

按伺服系统类型不同，可分为开环控制数控机床、闭环控制数控机床和半闭环控制数



控机床。

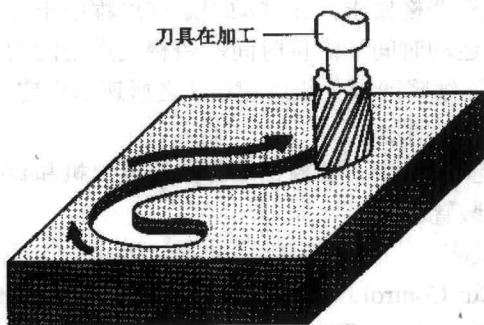


图 1-5 轮廓控制加工示意图

(1) 开环控制数控机床

开环控制 (Open loop Control) 数控机床通常不带位置检测元件, 伺服驱动元件一般为步进电动机。数控装置每发出一个进给脉冲后, 脉冲便经过放大, 并驱动步进电动机转动一个固定角度, 再通过机械传动驱动工作台运动。开环伺服系统如图 1-6 所示。这种系统没有被控对象的反馈值, 系统的精度完全取决于步进电动机的步距精度和机械传动的精度, 其控制线路简单, 调节方便, 精度较低 (一般可达 $\pm 0.02\text{mm}$), 通常应用于小型或经济型数控机床。

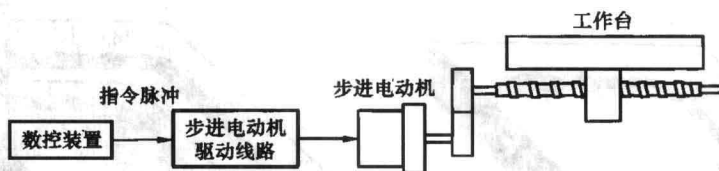


图 1-6 开环伺服系统

(2) 闭环控制数控机床

闭环控制 (Closed loop Control) 数控机床通常带位置检测元件, 随时可以检测出工作台的实际位移并反馈给数控装置, 与设定的指令值进行比较后, 利用其差值控制伺服电动机, 直至差值为零。这类机床一般采用直流伺服电动机或交流伺服电动机驱动。位置检测元件常有直线光栅、磁栅、同步感应器等。闭环伺服系统如图 1-7 所示。

由闭环伺服系统的工作原理可以看出, 系统精度主要取决于位置检测装置的精度, 从理论上讲, 它完全可以消除由于传动部件制造中存在的误差给工件加工带来的影响, 所以这种系统可以得到很高的加工精度。闭环伺服系统的设计和调整都有很大的难度, 直线位移检测元件的价格比较昂贵, 主要用于一些精度要求较高的镗铣床、超精车床和加工中心。

(3) 半闭环控制数控机床

半闭环控制 (Semi-Closed loop Control) 数控机床通常将位置检测元件安装在伺服电动机的轴上或滚珠丝杠的端部, 不直接反馈机床的位移量, 而是检测伺服系统的转角, 将此信号反馈给数控装置进行指令比较, 用差值控制伺服电动机。半闭环伺服系统如图 1-8



所示。

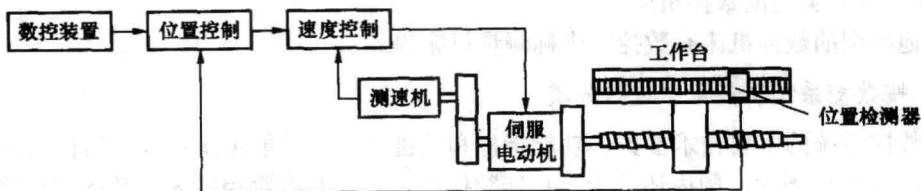


图 1-7 闭环伺服系统

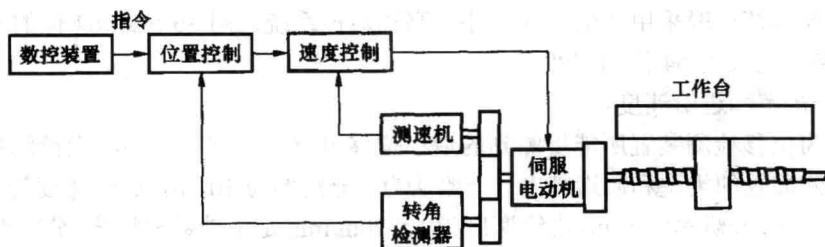


图 1-8 半闭环伺服系统

因为半闭环伺服系统的反馈信号取自电动机轴的回转，因此系统中的机械传动装置处于反馈回路之外，其刚度、间隙等非线性因素对系统稳定性没有影响，调试方便。同样，机床的定位精度主要取决于机械传动装置的精度，但是现在的数控装置均有螺距误差补偿和间隙补偿功能，不需要将传动装置各种零件的精度提得很高，通过补偿就能将精度提高到绝大多数用户都能接受的程度。再加上直线位移检测装置比角位移检测装置昂贵得多，因此，除了对定位精度要求特别高或行程特别长，不能采用滚珠丝杠的大型机床外，绝大多数数控机床均采用半闭环伺服系统。

3. 按工艺用途进行分类

按工艺用途不同，可分为金属切削类数控机床、金属成型类数控机床、数控特种加工机床和其他类型的数控机床。

(1) 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心。切削类机床发展最早，目前种类繁多，功能差异也较大，加工中心能实现自动换刀。这类机床都有一个刀库，可容纳 10~100 把刀具。其特点是：工件一次装夹可完成多道工序。为了进一步提高生产效率，有的加工中心使用双工作台，一面加工，一面装卸，工作台可以自动交换。

(2) 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床包括数控折弯机、数控组合冲床和数控回转头压力机等。这类机床起步晚，但目前发展很快。

(3) 数控特种加工机床

数控特种加工机床有线切割机床、数控电火花加工机床、火焰切割机和数控激光机切