

机电及电气类专业高职高专“十二五”规划教材

数控原理与系统

(第二版)



主编 苏宏志 主审 姚永刚



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

机电及电气类专业高职高专“十二五”规划教材

数控原理与系统

(第二版)

主 编 苏宏志

副主编 王荪馨

参 编 梁盈富

主 审 姚永刚

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书详细介绍了数控技术基础、计算机数控装置、数控机床常用检测装置、数控机床伺服驱动系统、插补原理与刀具补偿原理、PLC 与接口技术、典型数控系统及应用、开放式数控系统等内容。本书力求体现高职教育的特色,以培养学生能力为主线,用较大篇幅介绍了数控系统及各组成部分的应用实例,做到内容浅显、易懂和实用。

本书可作为高职院校数控技术、机电一体化等相关专业的教材,同时可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控原理与系统 / 苏宏志主编. —2 版. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2012.5

机电及电气类专业高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2782 - 3

I. ① 数… II. ① 苏… III. ① 数控系统—高等职业教育—教材 IV. ① TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 054524 号

策 划 马乐惠

责任编辑 张 媛 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2012 年 5 月第 2 版 2012 年 5 月第 5 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 12

字 数 275 千字

印 数 12 001~15 000 册

定 价 18.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2782 - 3 / TP · 1336

XDUP 3074002-5

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

当今，我国数控机床的拥有量位居世界之首，这标志着我国工业现代化生产进入了一个崭新的阶段。随着我国数控机床的广泛应用和不断普及，社会和企业不仅需要大量的数控机床操作人员，而且更需要既会操作又懂一定数控原理与系统的数控维修、调试专业人才。为此，在本书第一版出版发行五年之际，编者对第一版图书进行了较大幅度的修订。此次修订删减了大量数控原理的内容，将数控系统的应用作为重点，比较全面、系统地讲述了数控系统的基本组成，各部分的主要功能、特点、工作原理等。在修订过程中，编者也注意到该书的针对性，做到知识和技能“实用、够用、管用”，同时，仍保持原书以培养学生能力为主线，通俗易懂、实用性强的特点。

本书由陕西工业职业技术学院苏宏志副教授负责统稿，陕西工业职业技术学院梁盈富讲师对第 6 章内容进行了较大幅度的修订。在此衷心感谢广大读者对本书的厚爱，也感谢在修订过程中对本书提出宝贵意见的各位同行。

由于编者经验不足、能力有限，书中的疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 12 月

第一版前言

本书围绕数控机床的核心技术——数控系统，全面、系统地讲述了数控系统的基本组成、各部分的主要功能和特点、工作原理等。重点在数控系统的应用上，着重介绍了发那科(FANUC)公司、西门子(SIEMENS)公司、发格(FAGOR)公司以及国内华中数控集团等企业研制的数控系统的功能、特点及典型应用。此外，还介绍了开放式数控系统的概念与研究状况。教材的编写力求取材新颖，以培养学生能力为主线，通过大量实例介绍使本书达到理论浅显、通俗易懂、实用性强的特点，以满足机电类高等职业技术教育发展的需要。本书同时可作为高职高专、成人高校及其他本科院校举办的二级职业技术学院机电类专业教材，也可供从事数控技术应用的技术人员参考。

本书共分 8 章，第 1 章介绍了数控技术的基本概念以及数控系统的发展趋势；第 2 章介绍了数控装置的工作原理及其软/硬件结构；第 3 章介绍了常用检测装置的种类、工作原理、应用场合以及信号处理等；第 4 章介绍了伺服驱动的概念及步进驱动装置、交直流伺服驱动装置的基本原理和控制原理；第 5 章介绍了直线和圆弧常用的插补方法以及轮廓加工的补偿方法；第 6 章介绍了数控机床中的 PLC 控制功能，通过实例详细介绍了 M、S、T 功能的实现；第 7 章介绍了典型数控系统的组成；第 8 章介绍了开放式数控系统的基本知识。

本书由陕西工业职业技术学院苏宏志担任主编，并编写了第 4 章、第 5 章、第 7 章及第 8 章；西安理工大学高等技术学院王荪馨编写了第 3 章和第 6 章；陕西工业职业技术学院胡梅贻编写了第 1 章和第 2 章。本书由河南机电高等专科学校姚永刚担任主审。本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献，在此谨致谢意。

由于编者水平有限，经验不足，书中定有不少错误与不当之处，恳请读者予以批评指正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

第 1 章 数控技术基础.....	1
1.1 数控机床的组成及各部分功能	1
1.1.1 数控机床加工过程	1
1.1.2 数控机床的组成及各部分功能	1
1.2 数控机床的分类	3
1.2.1 按机床运动的控制轨迹进行分类	4
1.2.2 按伺服控制的方式进行分类	6
1.2.3 按数控系统的功能水平分类	8
1.2.4 按加工工艺及机床的用途分类	8
1.3 数控技术发展趋势	9
1.3.1 国内外数控系统发展概况	9
1.3.2 数控技术发展趋势	9
习题	11
第 2 章 计算机数控装置.....	12
2.1 概述	12
2.1.1 CNC 装置的工作过程	13
2.1.2 CNC 装置的主要功能和特点	14
2.2 CNC 装置的硬件结构	16
2.2.1 单微处理器 CNC 结构	16
2.2.2 多微处理器 CNC 结构	17
2.2.3 CNC 结构与典型数控系统	19
2.3 CNC 装置的软件结构	23
2.3.1 CNC 系统的软/硬件界面	23
2.3.2 CNC 系统的软件结构特点	24
2.3.3 CNC 系统软件的工作过程	26
2.4 CNC 系统的接口	30
2.4.1 键盘输入接口	30
2.4.2 显示器	32
2.4.3 串行接口	34
2.4.4 网络通信接口	34
2.4.5 机床开关量的 I/O 接口	34
习题	35
第 3 章 数控机床常用检测装置.....	36
3.1 概述	36

3.1.1 检测装置的性能指标与要求	36
3.1.2 检测装置的分类	36
3.2 感应同步器	38
3.2.1 感应同步器的结构	38
3.2.2 感应同步器的工作原理	38
3.2.3 感应同步器的典型应用	40
3.2.4 感应同步器的特点	42
3.2.5 感应同步器的安装	43
3.3 光栅位置检测装置	44
3.3.1 透射式光栅工作原理	44
3.3.2 光栅检测装置结构	46
3.3.3 光栅位移数字变换电路	46
3.3.4 光栅测量系统应用实例	47
3.4 光电脉冲编码器	49
3.4.1 光电脉冲编码器的结构	49
3.4.2 光电脉冲编码器的输出信号	50
3.4.3 光电脉冲编码器的应用	51
3.4.4 主轴位置编码器	52
3.5 旋转变压器	53
3.5.1 旋转变压器的结构	53
3.5.2 旋转变压器的工作方式	54
3.6 磁尺检测装置	55
3.6.1 磁尺结构与工作原理	55
3.6.2 磁尺检测装置的应用	57
习题	58
第4章 数控机床伺服驱动系统	59
4.1 概述	59
4.1.1 伺服驱动系统的概念	59
4.1.2 伺服系统的组成	60
4.2 步进电机及其控制系统	60
4.2.1 步进电机的分类	60
4.2.2 步进电机的工作原理及特点	61
4.2.3 步进电机的性能指标	64
4.2.4 步进电机的选用	66
4.2.5 步进电机的控制	68
4.3 直流伺服电动机及其速度控制	73
4.3.1 直流伺服电动机分类	73
4.3.2 永磁式直流伺服电动机	74
4.3.3 直流伺服电动机的速度控制方法	77

4.4 交流伺服电动机及其速度控制	78
4.4.1 交流伺服电动机概述	78
4.4.2 交流伺服电动机调速原理	80
4.4.3 变频调速技术	81
4.5 典型伺服电机简介	84
4.5.1 发那科(FANUC)公司的伺服电机	84
4.5.2 发格(FAGOR)公司的伺服电机	85
习题	86
第5章 插补原理与刀具补偿原理	87
5.1 概述	87
5.1.1 插补概念	87
5.1.2 插补的分类	87
5.2 逐点比较法插补	89
5.2.1 直线插补运算	89
5.2.2 不同象限的直线插补计算	90
5.2.3 逐点比较法的硬件和软件实现方法	91
5.2.4 圆弧插补计算原理	93
5.3 数字积分法	96
5.3.1 数字积分法插补原理	96
5.3.2 数字积分法直线插补	98
5.4 数据采样插补法	101
5.4.1 插补周期的选择	102
5.4.2 数据采样插补法原理	102
5.5 刀具半径补偿原理	105
5.5.1 概述	105
5.5.2 刀具半径补偿的工作过程和常用方法	106
5.5.3 程序段间转接情况分析	107
5.5.4 刀具半径补偿的实例	109
5.5.5 加工过程中的过切判别原理	110
习题	112
第6章 PLC 与接口技术	113
6.1 PLC 的概述	113
6.1.1 PLC 的特点	113
6.1.2 PLC 系统的组成	115
6.1.3 PLC 的工作原理	118
6.2 数控机床用 PLC	120
6.2.1 数控机床 PLC 的控制对象	120
6.2.2 数控机床的 PLC	121

6.3 PLC 的程序编制	121
6.3.1 梯形图及语句表	121
6.3.2 FANUC PLC 指令系统	123
6.3.3 FANUC PLC 指令系统的应用	127
6.4 输入/输出及通信接口	135
6.4.1 数控系统对输入/输出及通信接口的要求	135
6.4.2 数控系统的接口	135
6.4.3 常见数控系统的接口	135
6.4.4 CNC 的通信、网络功能不断扩大	139
习题	139
第 7 章 典型数控系统及应用	140
7.1 典型数控系统简介	140
7.2 FANUC 数控系统	141
7.2.1 FANUC 0 系列	142
7.2.2 FANUC 0i 系列	148
7.2.3 FANUC 16i/18i/21i 系列	155
7.3 SIEMENS 数控系统	157
7.3.1 840D 系统的主要功能与特点	158
7.3.2 840D 系统的基本构成	159
7.4 华中数控系统	163
7.4.1 华中数控系统的特点	164
7.4.2 华中数控系统典型系列	164
习题	168
第 8 章 开放式数控系统	169
8.1 开放式数控系统产生的背景	169
8.2 开放式数控系统的基本特征	170
8.3 开放式数控系统的发展动向	172
8.4 开放式数控系统的关键技术	179
参考文献	181

第 1 章 数控技术基础

1.1 数控机床的组成及各部分功能

1.1.1 数控机床加工过程

利用数控机床完成零件数控加工的过程主要分为以下几个步骤：

- (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，或用自动编程软件直接生成零件的加工程序文件。
- (3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入；由编程软件生成的程序，则通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元。
- (4) 将输入或传输到数控单元的加工程序进行试运行和刀具路径模拟等。
- (5) 通过对机床的正确操作并运行程序，完成零件的加工。

1.1.2 数控机床的组成及各部分功能

数控机床一般由输入/输出设备、计算机数控(CNC)装置(或称 CNC 单元)、伺服单元、驱动装置(或称执行机构)、可编程控制器(PLC)、电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量装置组成。图 1-1 是数控机床的组成框图。其中除机床本体之外的部分统称为计算机数控(CNC)系统。

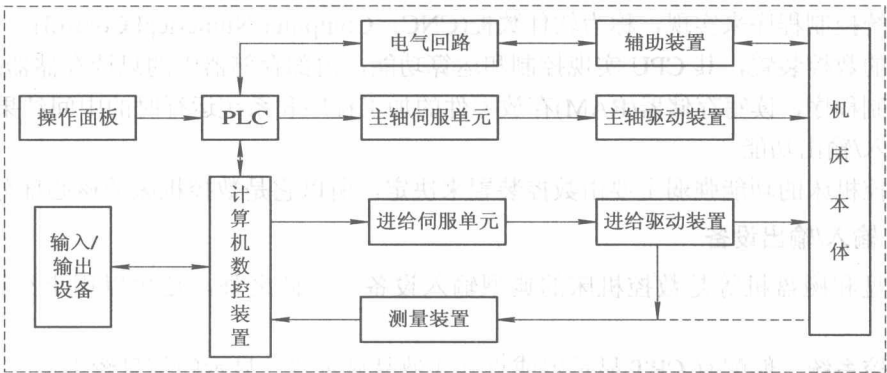


图 1-1 数控机床的组成框图

1. 机床本体

CNC 机床由于切削用量大，连续加工发热量大等因素对加工精度有一定影响，加之在加工中是自动控制，不能像在普通机床上那样由人工进行调整和补偿，所以其设计要求比普通机床更严格，制造要求更精密。因此，机床本体采用了许多新的加强刚性、减小热变形和提高精度等方面的措施。

2. CNC 装置

数控装置是数控机床的运算和控制系统，一般由输入接口、存储器、控制器、运算器和输出接口等组成，如图 1-2 所示。

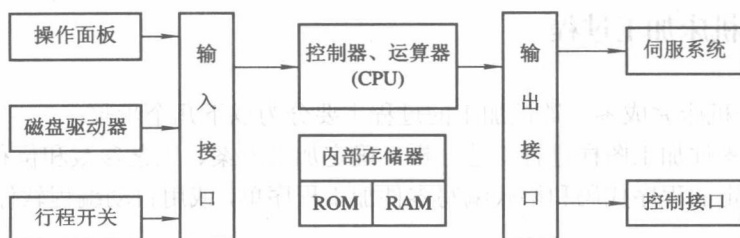


图 1-2 数控装置原理图

输入接口接收输入介质或操作面板上的信息，并将信息代码加以识别，经译码后送入相应的存储器，作为控制和运算的原始依据。

控制器根据输入的指令控制运算器和输出接口，使机床按规定要求协调地进行工作。

运算器接收控制器的指令，及时地对输入数据进行运算，并按控制器的控制信号不断地向输出接口输出脉冲信号。

输出接口则根据控制器的指令，接收运算器的输出脉冲信号，经过对信号功率进行放大，驱动伺服系统，使机床按规定要求运动。

数控装置中的译码、处理、计算和控制的步骤都是预先安排好的。这种安排可以用专用计算机的硬件结构来实现，称为硬件数控(NC, Numerical Control)，也可用通用微型计算机的系统控制程序来实现，称为软件数控(CNC, Computer Numerical Control)。用微型计算机构成的数控装置，其 CPU 实现控制和运算功能，内部存储器中的只读存储器(ROM)存放系统控制程序，读写存储器(RAM)存放零件的加工程序和系统运行时的中间结果，I/O 接口实现输入/输出功能。

数控机床的功能强弱主要由数控装置来决定，所以它是数控机床的核心部分。

3. 输入/输出设备

键盘和磁盘机等是数控机床的典型输入设备。除此之外，还可以用串行通信的方式输入。

数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示的信息较丰富，并能显示图形信息。操作人员可以通过显示器获得必要的信息。

4. 伺服单元

伺服单元是 CNC 和机床本体的联系环节，它把来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同，伺服单元分为脉冲式和模拟式两种，而模拟式伺服单元按电源种类的不同又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

5. 驱动装置

驱动装置把经过放大的指令信号转变为机械运动，通过简单的机械连接部件驱动机床，使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动，最后加工出图纸所要求的零件。和伺服单元相对应，驱动装置有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。

伺服单元与驱动装置可合称为伺服驱动系统，它是机床工作的动力装置。CNC 装置的指令要靠伺服驱动系统传递给机床机械部件，所以，伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说，数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置，而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

6. 可编程控制器

可编程控制器(PC, Programmable Controller)是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置，是专为在工业环境下应用而设计的。由于最初研制这种装置的目的是为了解决生产设备的逻辑及开关控制，故把它称为可编程逻辑控制器(PLC, Programmable Logic Controller)。当 PLC 用于控制机床顺序动作时，也可称之为编程机床控制器(PMC, Programmable Machine Controller)。

PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。CNC 和 PLC 协调配合，共同完成对数控机床的控制。用于数控机床的 PLC 一般分为两类：一类是 CNC 的生产厂家为实现数控机床的顺序控制，而将 CNC 和 PLC 综合起来设计的 PLC，称为内装型(或集成型)PLC，内装型 PLC 是 CNC 装置的一部分；另一类是以独立专业化的 PLC 生产厂家的产品来实现顺序控制功能的，称为独立型(或外装型)PLC。

7. 测量装置

测量装置也称反馈元件，通常安装在机床的工作台或丝杠上，相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛，它把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置，供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号，以控制机床向消除该误差的方向移动。按有无检测装置，CNC 系统可分为开环数控系统与闭环数控系统，而按测量装置的安装位置不同又可分为全闭环数控系统与半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电机和丝杠的精度，闭环数控系统的控制精度取决于检测装置的精度。因此，测量装置是高性能数控机床的重要组成部分。此外，由测量装置和显示环节构成的数显装置，可以在线显示机床移动部件的坐标值，大大提高了工作效率和工件的加工精度。

1.2 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多，分类方法也各不相同。一般根据功能和结构的不同，有下面 4 种分类方式。

1.2.1 按机床运动的控制轨迹进行分类

1. 点位控制数控机床

点位控制只要求控制机床对移动部件从一点移动到另一点进行准确定位,对于点与点之间的运动轨迹的要求并不严格,在移动过程中不进行加工,各坐标轴之间的运动是不相关的。为了实现既快又精确的定位,移动部件一般先快速移动,然后慢慢趋近定位点,以保证定位精度。图 1-3 所示为点位控制的运动轨迹。

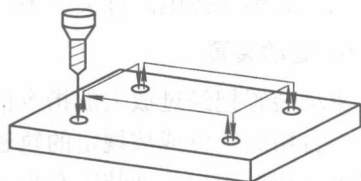


图 1-3 数控机床的点位控制的运动轨迹

具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控镗床和数控冲床等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低,单纯用于点位控制的数控系统已不多见。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床也称为平行控制数控机床,其特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和路线(轨迹),但其运动路线只是与机床坐标轴平行,也就是说同时控制的坐标轴只有一个(即数控系统内不必有插补运算功能),在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削。这类数控机床一般只能加工矩形和台阶形零件。

具有直线控制功能的机床主要有比较简单的数控车床、数控铣床和数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。现在,单纯用于直线控制的数控机床也不多见。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床,其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合被加工工件轮廓的要求,必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此在这类控制方式中,就要求数控装置具有插补运算功能。所谓插补就是根据程序输入的基本数据(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),通过数控系统内插补运算器的数学处理,把直线或圆弧的形状描述出来,也就是一边计算,一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。在运动过程中刀具对工件表面连续进行切削,可以对工件进行各种直线、圆弧、曲线的加工。轮廓控制的加工轨迹如图 1-4 所示。

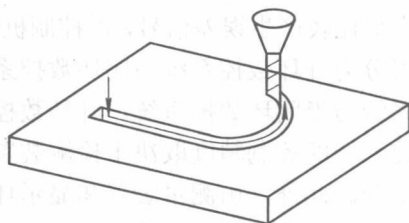


图 1-4 数控机床的轮廓控制的加工轨迹

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床和加工中心等,其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。根据它所控制的联动坐标轴数的不同,又可以分为下面几种形式。

(1) 二轴联动：主要用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床加工曲线柱面，如图 1-4 所示。

(2) 二轴半联动：主要用于三轴以上机床的控制，其中两根轴可以联动，而另外一根轴可以作周期性进给。如图 1-5 所示就是采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

(3) 三轴联动：一般分为两类，一类是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，比较多地用于数控铣床和加工中心等，如图 1-6 所示为用球头铣刀铣削三维空间曲面。另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 其中两个直线坐标外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心，它除了纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴联动外，还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

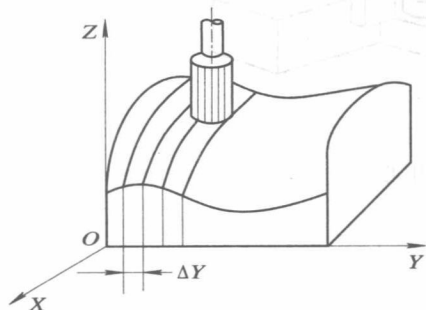


图 1-5 二轴半联动的曲面加工

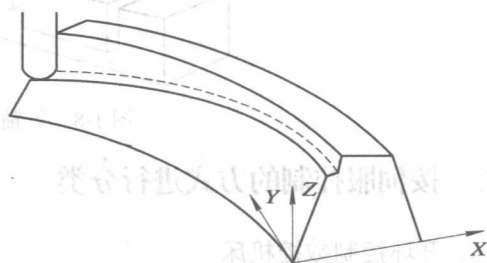


图 1-6 三轴联动的曲面加工

(4) 四轴联动：同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动。图 1-7 所示为同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

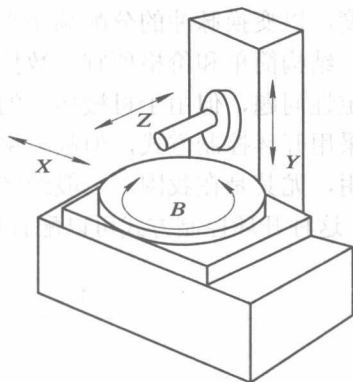


图 1-7 四轴联动的数控机床

(5) 五轴联动：除同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标轴，形成同时控制五个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，如图 1-8 所示。例如控制刀具同时绕 X 轴和 Y 轴两个方向摆动，使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲面成法线方向，以保证被加工曲面的光滑性，提高其加工精度和加工效率，减小被加工表面的粗糙度。

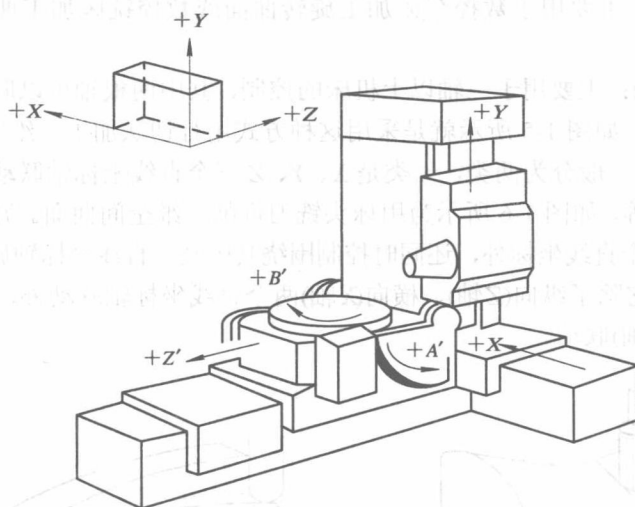


图 1-8 五轴联动的加工中心

1.2.2 按伺服控制的方式进行分类

1. 开环控制数控机床

这类机床的进给伺服驱动是开环的，即没有检测反馈装置，一般它的驱动电动机为步进电机。步进电机的主要特征是控制电路每变换一次指令脉冲信号，电动机就转动一个步距角，并且电动机本身具有自锁能力。其控制系统的框图如图 1-9 所示，数控系统输出的进给指令信号通过脉冲分配器来控制驱动电路，它以变换脉冲的个数来控制坐标位移量，以变换脉冲的频率来控制位移速度，以变换脉冲的分配顺序来控制位移的方向。因此这种控制方式的最大特点是控制方便、结构简单和价格便宜。数控系统发出的指令信号流是单向的，所以不存在控制系统的稳定性问题，但由于机械传动的误差不经过反馈校正，使位移精度不高。早期的数控机床均采用开环控制方式，但故障率比较高，目前由于驱动电路的改进，这类机床仍有较多的应用，尤其是在我国，一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。另外，这种开环控制方式可以配置单片机或单板机作为数控装置，使得整个系统的价格大大降低。

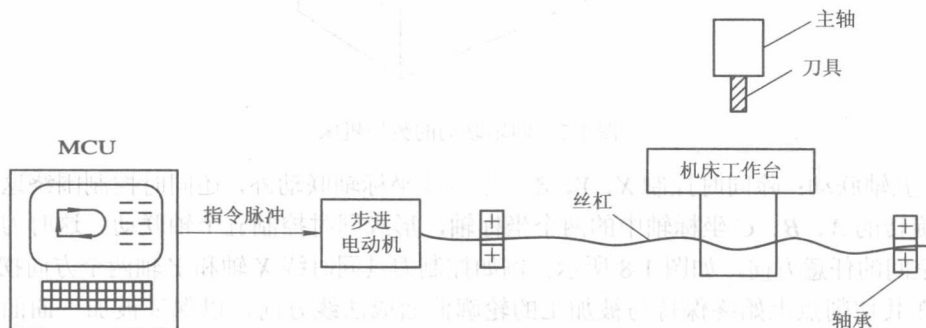


图 1-9 开环控制系统框图

2. 闭环控制机床

闭环数控机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的，其驱动电动机可采用直流或交流两种伺服电机，并需要配置位置反馈装置和速度反馈装置，在加工中随时检测移动部件的实际位移量，并及时反馈给数控系统中的比较器，它与插补运算所得到的指令信号进行比较，其差值又作为伺服驱动的控制信号，控制位移部件以消除位移误差。

按位置反馈检测元件的安装部位和所使用的反馈装置的不同，闭环反馈控制方式又分为全闭环和半闭环两种控制方式。

1) 全闭环控制

如图 1-10 所示，其位置反馈装置采用直线位移检测元件(目前一般采用光栅尺)，安装在机床的床鞍部位，即直接检测机床坐标的直线位移量，通过反馈可以消除从电动机到机床床鞍的整个机械传动链中的传动误差，得到很高的机床静态定位精度。但是，由于在整个控制环内，许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙等影响均为非线性的，并且整个机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相比差距又非常大，这为整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难，系统的设计和调整也都相当复杂。因此，这种全闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床和数控精密磨床等。

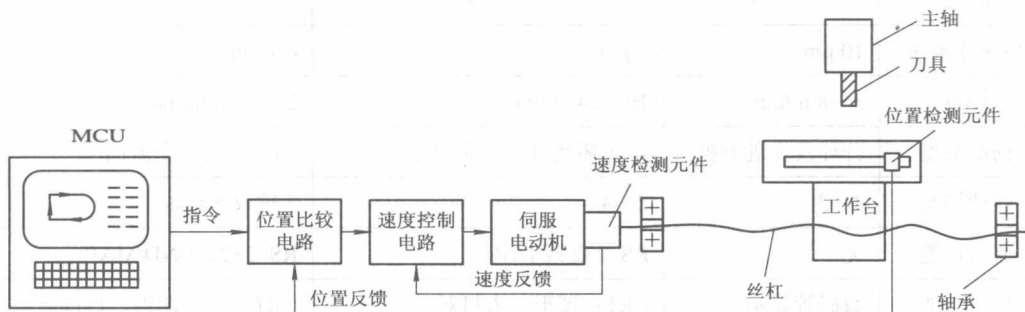


图 1-10 全闭环控制系统框图

2) 半闭环控制

如图 1-11 所示，其位置反馈采用转角检测元件(目前主要采用编码器等)，直接安装在伺服电动机或丝杠端部。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内，因此可获得较稳定的控制特性。丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正，但是可采用软件定值补偿方法来适当提高其精度。目前，大部分数控机床采用半闭环控制方式。

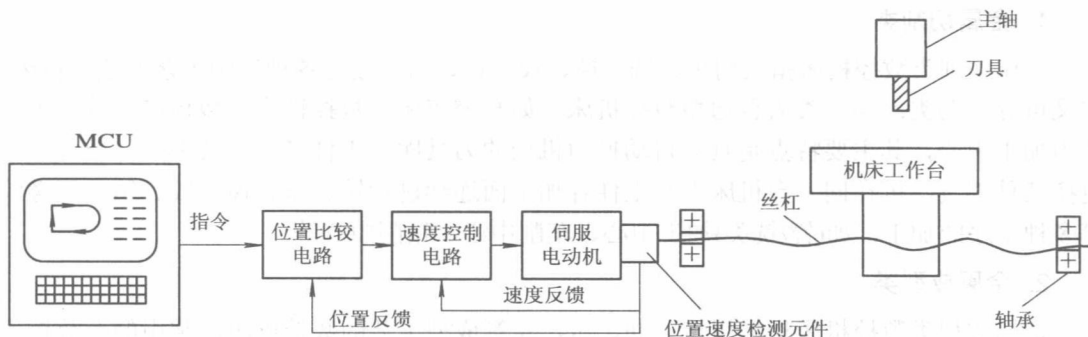


图 1-11 半闭环控制系统框图

3) 混合控制数控机床

将上述控制方式的特点有选择地集中，可以组成混合控制的方案。如前所述，由于开环控制方式稳定性好、成本低、精度差，而全闭环稳定性差，为了互相弥补，以满足某些机床的控制要求，可采用混合控制方式。采用较多的混合控制方式有开环补偿型和半闭环补偿型两种方式。

1.2.3 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平不同，通常把数控系统分为低、中、高三类。这种分类方式在我国用得较多。低、中、高三档的界限是相对的，不同时期划分的标准也会不同。就目前的发展水平看，可以根据表 1-1 的一些功能及指标，将各种类型的数控系统分为低、中、高档三类。其中，中、高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，是指由单片机和步进电动机组成的数控系统，或指其它功能简单、价格低的数控系统。经济型数控主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10 μm	1 μm	0.1 μm
G00	3~8 m/min	10~24 m/min	24~100 m/min
伺服类型	开环及步进电机	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3	2~4	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS-232 或 DNC	RS-232、DND/MAP
显示功能	数码管显示	CRT：图形、人机对话	CRT：三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	功能强大的内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机或单板机	单微处理器或多微处理器	分布式多微处理器

1.2.4 按加工工艺及机床的用途分类

1. 金属切削类

金属切削类数控机床指采用车、铣、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。它又可分为两类：第一类为普通型数控机床，如数控车床、数控铣床、数控磨床等；第二类为加工中心，其主要特点是具有自动换刀机构的刀具库，工件经一次装夹后，通过自动更换各种刀具，可在同一台机床上对工件各加工面连续进行铣、车、镗、铰、钻、攻螺纹等多种工序的加工，如(镗/铣类)加工中心、车削中心、钻削中心等。

2. 金属成型类

金属成型类数控机床指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床，常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机和数控旋压机等。