

高等学校网络教育规划教材



数控技术

王荪馨◎主编

西北工业大学出版社

数 控 技 术

主 编 王 荪 馨
副 主 编 张 燕 荣
主 审 关 雄 飞

西北工业大学出版社

【内容简介】 全书共8章,以数控技术的实际应用为基础,介绍数控设备的工作原理、控制原理,各组成部件的工作原理和组成,并介绍了常见数控设备的使用与维护。在编写中,注意反映数控技术的现状,特别是在此领域中的新技术和新发展,使该书具有一定的先进性;同时既注重基础理论,又能从实际出发,注重实用技术的培养。

本书可作为机械制造自动化专业、机电一体化专业及其他相关专业教材,也可供从事数控技术、机电一体化技术、自动化技术等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术 / 王荪馨主编. —西安:西北工业大学出版社,2014.12

ISBN 978-7-5612-4236-0

I. ①数… II. ①王… III. ①数控机床 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第004049号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpu.com

印刷者:兴平市博闻印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:12.875

字数:314千字

版次:2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

定价:29.00元

前 言

制造自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分,其核心技术是数控技术。近年来,随着我国“世界工厂”地位的建立,数控技术正在以前所未有的速度普及。制造业的迅猛发展,急需大批能够掌握现代数控技术的应用型高级技术人才。

为了适应我国高等职业技术教育的改革与发展,以及应用型技术人才培养的需要,我们总结多年教学与实践经验,编写了本书。

本书以数控技术的实际应用为基础,介绍数控设备的工作原理、控制原理,各组成部件的工作原理和组成,并介绍了常见数控设备的使用与维护。

全书共8章,其中第1,7章由西安理工大学高等技术学院张燕荣编写,第2,3,6章由西安理工大学高等技术学院王荪馨编写,第4,5章由陕西工业职业技术学院苏宏志编写,第8章由陕西航空职业技术学院马亚娟编写。本书由王荪馨任主编,完成全书统稿工作。张燕荣任副主编。西安理工大学高等技术学院关雄飞审阅了全书。

在本书编写过程中参阅了相关文献资料,在此,对其作者深表谢忱。

由于水平有限,且数控技术教学与实践结合的最佳途径尚在探索和发展之中,书中疏漏或不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床的组成及基本原理	1
1.2 数控机床的分类及加工对象	5
1.3 数控技术的发展前景	14
思考题与习题	20
第 2 章 数控机床编程基础	21
2.1 数控编程的基本概念	21
2.2 数控机床的坐标系	23
2.3 程序结构与程序段格式	27
2.4 数控系统的指令代码	30
思考题与习题	36
第 3 章 数控机床编程技术	37
3.1 坐标系相关指令	37
3.2 刀具运动相关 G 指令	40
3.3 数控车床的程序编制	42
3.4 数控铣床的程序编制	58
思考题与习题	73
第 4 章 计算机数控装置	75
4.1 计算机数控装置	75
4.2 数控系统插补算法	87
思考题与习题	99
第 5 章 伺服驱动系统	100
5.1 数控机床伺服系统概述	100
5.2 步进电动机伺服系统	102

5.3	直流电动机伺服系统	110
5.4	交流电动机伺服系统	115
	思考题与习题	120
第 6 章	数控机床位置检测装置	121
6.1	检测装置的要求与类型	121
6.2	脉冲编码器	123
6.3	旋转变压器	126
6.4	感应同步器	129
6.5	光栅	132
	思考题与习题	134
第 7 章	数控机床的机械结构	135
7.1	数控机床的机械结构	135
7.2	数控机床的总体布局形式	139
7.3	数控机床的主传动系统	143
7.4	进给系统的机械传动机构	149
7.5	数控机床的辅助装置	163
	思考题与习题	181
第 8 章	数控机床常见故障诊断与维护	182
8.1	数控机床的保养与维护	182
8.2	数控机床的故障诊断	185
8.3	数控机床的故障检查方法	191
8.4	数控机床常见故障的处理	193
8.5	数控机床的抗干扰性措施	197
	思考题与习题	199
参考文献	200

第 1 章 绪 论

【知识要点】

- (1) 数控机床的概念;
- (2) 数控机床的组成;
- (3) 数控机床的工作原理;
- (4) 数控机床的分类。

1.1 数控机床的组成及基本原理

【考试知识点】

- (1) 数控技术的概念;
- (2) 数控技术的发展历程;
- (3) 数控机床的组成;
- (4) 数控机床的工作原理。

1.1.1 数控技术的发展历程

随着科学技术和社会生产的不断发展,机械产品日趋精密、复杂,改型也日益频繁。在机械制造业中,单件、小批量生产的零件已占机械加工总量的 70%~80%。现代制造业对加工机械产品的生产设备的性能、精度、自动化程度等提出了越来越高的要求。

在汽车、拖拉机等大量生产的工业部门中,大都采用自动机床、组合机床和自动生产线。但这种设备的第一次投资费用大,生产准备时间长,这与改型频繁、精度要求高、零件形状复杂的舰船和宇航,以及其他国防工业的要求不相适应。如果采用仿形机床,则要制造靠模,不仅生产周期长,精度亦受限制。

第二次世界大战以后,美国为了加速飞机工业的发展,要求革新一种样板加工的设备。1948年,美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升飞机叶片轮廓检查用样板的机床时,提出了数控机床(NC Machine)的初始设想。它是一种灵活的、通用的、能够适于产品频繁变化的“柔性”自动化机床,极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批量生产,特别是复杂型面零件提供了自动化加工手段。

1952年,美国帕森斯公司和麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床。当时的数控装置采用电子管元件,体积庞大,价格昂贵,只在航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件。

1959年,制成了晶体管元件和印刷电路板,使数控装置进入了第二代,其体积缩小,成本有所下降;1960年以后,较为简单和经济的点位控制数控钻床和直线控制数控铣床得到较快发展,使数控机床在机械制造业各部门逐步获得推广。1965年,出现了第三代集成电路数控装置,不仅体积小,功率消耗少,且可靠性提高,价格进一步下降,促进了数控机床品种和产量的发展。

20世纪60年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(简称DNC,又称群控系统)和采用小型计算机控制的计算机数控系统(简称CNC),使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。1974年,研制成功了使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置(简称MNC),这是第五代数控系统。第五代与第三代相比,数控装置的功能扩大了1倍,而体积则缩小为原来的1/20,价格降低了3/4,可靠性也得到极大的提高。80年代初,随着计算机软、硬件技术的发展,出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置;数控装置愈趋小型化,可以直接安装在机床上;数控机床的自动化程度进一步提高,具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。90年代,数控机床得到了普遍应用,数控机床技术有了进一步发展,柔性单元、柔性系统、自动化工厂开始应用,标志着数控机床产业化进入成熟阶段。

1.1.2 数控机床的组成

数控机床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,是集机械、电气、液压、气动、微电子和信息等多项技术为一体的机电一体化产品,具有高精度、高效率、高自动化和高柔性化等优点。数控机床的技术水平高低,及其在制造设备中的数量与所占比例,是衡量一个国家国民经济发展和工业制造整体水平的重要标志之一。

数字控制技术(Numerical Control,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方法。

数控技术是综合了计算机、自动控制、电气传动、测量、监控、机械制造等技术学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术,是FMS,CIMS,FA的基础技术之一,是现代机械制造业的一项高新技术。

数控机床通常由以下5部分组成:数控装置、伺服驱动装置、机床本体、检测反馈装置和辅助控制装置,如图1-1所示。

1. 数控装置

数控装置是控制数控机床运动的中枢,其作用是接收输入介质的信息,将其代码加以识别、储存、运算,并输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统,对机床的各运动坐标进行速度和位置控制,进而控制机床进行规定的动作和顺序运动。

2. 伺服驱动装置

伺服驱动装置是数控系统的执行部分,它包括控制器(含功率放大器)和执行机构两大部

分。伺服系统由伺服电机和伺服驱动装置组成,数控装置发出的速度和位移指令控制执行部件按进给速度和进给方向位移,伺服驱动装置接收来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床的移动部件,以加工出符合图样要求的零件。

目前,数控机床大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。数控机床每个进给运动的执行部件都配备一套伺服系统。

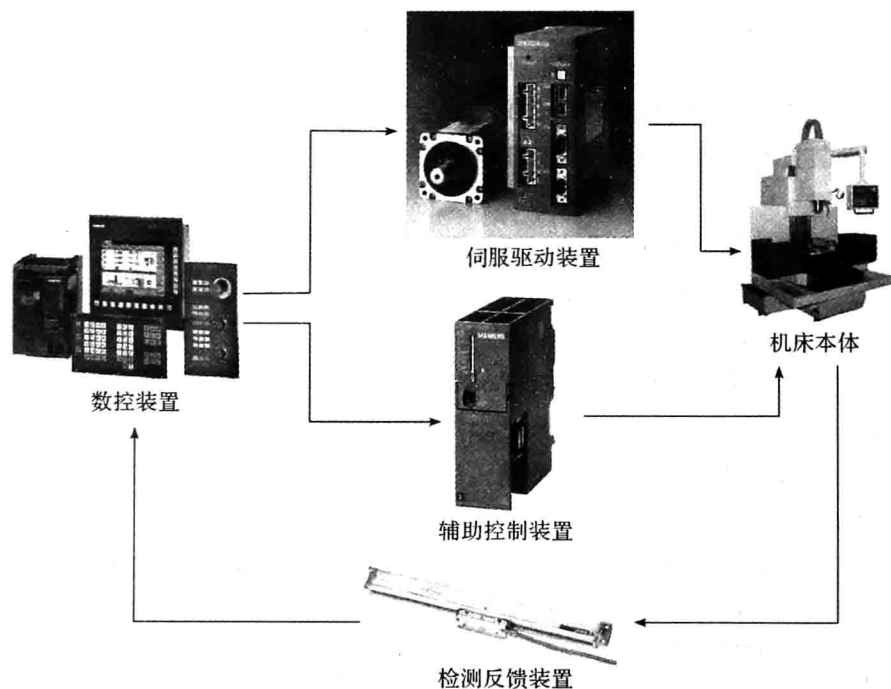


图 1-1 数控机床的组成

3. 机床本体

数控机床的机床本体由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。

与传统机床相比,数控机床的结构强度、刚度和抗振性以及外部造型、整体布局,传动系统等已发生了很大的变化,其目的是为了更大限度地满足数控设备的功能要求和充分发挥数控机床的效能。

4. 检测反馈装置

检测反馈装置的作用是检测机床运动部件各坐标轴的实际位移量,将其经反馈系统输入到机床的数控装置中,再由数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,通过伺服驱动装置控制机床按指令设定值运动。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过编译、逻辑判别和运算,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停,刀具的选择和交换,冷却、润

滑装置的启停,工件和机床部件的松开、夹紧,分度工作台转位分度等开关辅助动作。

现广泛采用可编程控制器(PLC)作数控机床的辅助控制装置。

1.1.3 数控机床的工作原理

1. 数控机床工作过程

数控机床进行零件加工时,首先应由工艺人员按照零件加工的技术要求和工艺要求,采用手工或自动编程的方式编写零件的加工程序,再将加工程序输入到数控装置,通过数控装置控制机床的主轴运动、进给运动、更换刀具,以及工件的夹紧与松开,冷却、润滑泵的开与关,使刀具、工件和其他辅助装置严格按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作,从而加工出符合图纸要求的零件。

因此,通常将数控机床的工作过程分为以下4个步骤(见图1-2):

(1)加工准备。在数控机床加工工件前,首先应分析零件图样及技术要求,拟定零件加工工艺方案,明确加工工艺参数。

(2)程序编制。确定工艺方案后,将机床运动部件的动作顺序、运行轨迹、切削用量等要素,按照编程规则,通过手工或自动编程,编制出零件的数控加工程序。

(3)程序调试。将编制好的数控加工程序输入机床,并采取空运行、首件试切等形式,对数控加工程序进行调试。

(4)零件加工。经过对数控加工程序的校验与调试,确定程序正确且能达到加工要求,即可按照所需批量进行生产加工。

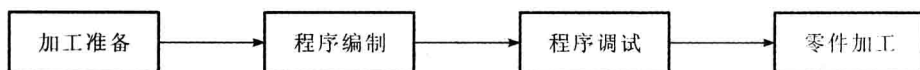


图1-2 数控机床工作过程

2. 数控机床的工作原理

数控机床运行时,首先应按照零件图样、加工轨迹、切削用量等要素编写数控加工程序,并将其输入数控装置。需要加工时,数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过译码、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

数控机床加工中,为保证运动部件按照零件轮廓运行,并保障加工精度,运动部件的运动以机床的最小位移量为单位进行控制。

由于零件的轮廓图形由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成,编写零件加工程序时只需按照各线段轨迹的起点和终点等节点数据进行程序编制。由于现代数控设备的最小位移量通常为 $0.01\sim 0.001\text{mm}$,而轨迹相对较长,这样若只控制起、终点的位置不能满足控制要求。因此运行中在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,即轨迹插补,求出一系列中间点的坐标值,并向相应坐标输出脉冲信号,控制各坐标轴(即进给运动各执行部件)的进给速度、进给方向和进给位移量等。插补过程如图1-3所示。

数控机床执行数控加工程序,需要以下几个步骤。

- (1) 将编制好的数控加工程序输入机床；
- (2) 数控装置逐段对数控加工程序进行译码、插补前预处理及插补运算后，输出指令信号；
- (3) 伺服系统对数控装置发出的指令信号进行转换与放大，驱动机床的运动部件运动；
- (4) 检测反馈装置检测运动部件的位移量并将其反馈给数控装置；
- (5) 数控装置对位移检测值与指令值进行比较，将差值与下一次插补的计算结果进行累加后输出。
- (6) 数控装置循环执行(2)~(4)步的过程，直到程序结束。

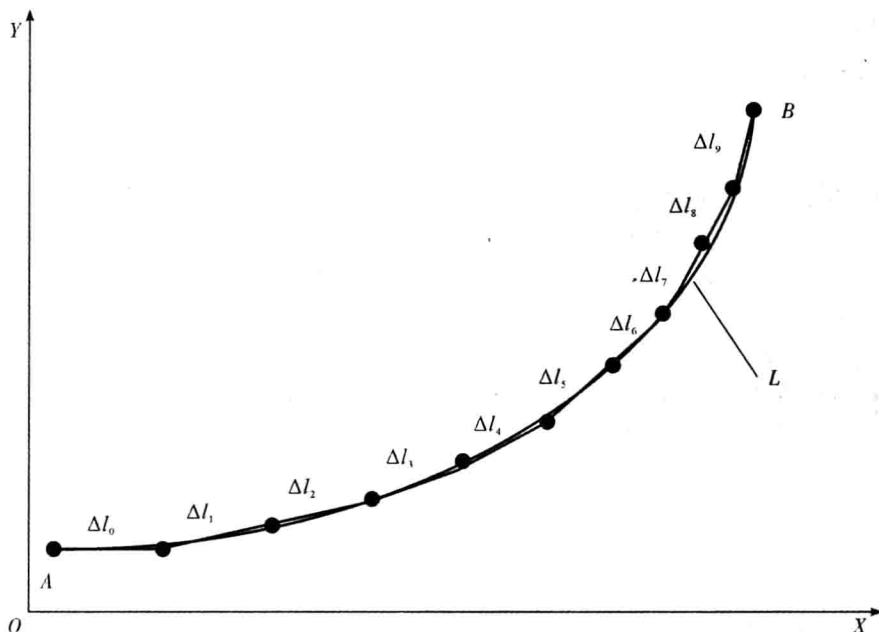


图 1-3 数控机床工作原理

1.2 数控机床的分类及加工对象

【考试知识点】

- (1) 数控机床的分类方式；
- (2) 数控机床按工艺用途分的种类；
- (3) 数控机床的特点；
- (4) 数控机床的适宜加工对象。

1.2.1 数控机床的分类

随着制造要求的提高，大部分机床都出现了相应的数控设备，并且还出现了一些特殊类型的数控设备，据统计，目前数控机床的品种规格已有 500 多种。数控机床通常从以下不同角度进行分类。

1. 按工艺用途分类

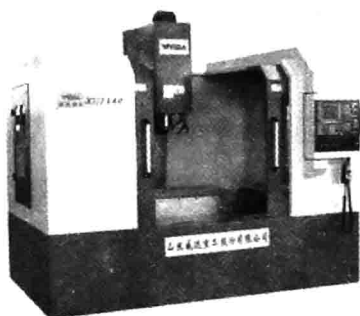
按数控机床的工艺用途不同,可分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床、特种加工类数控机床与非加工类数控设备 4 类。

(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、铣床、钻床、磨床、齿轮加工机、加工中心等,如图 1-4 所示。这些机床的工艺范围与传统机床相差不多,但机床的动作与运动都是数字化控制,具有较高的生产率和自动化程度,适用于单件、小批量与多品种的零件加工。特别是加工中心,它是一种带有自动换刀装置,能进行铣、钻、镗削加工的复合型数控机床。

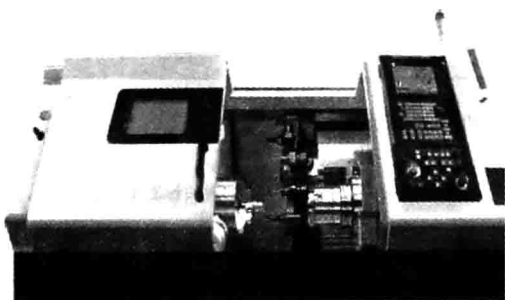
加工中心又分为车削中心、镗铣中心等,还有在加工中心上增加交换工作台的双工作台加工中心,以及采用主轴或工作台进行立、卧转换的五面体加工中心。



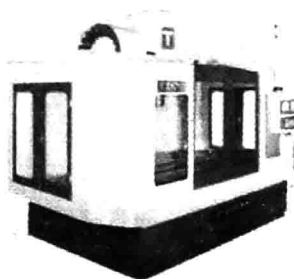
(a)



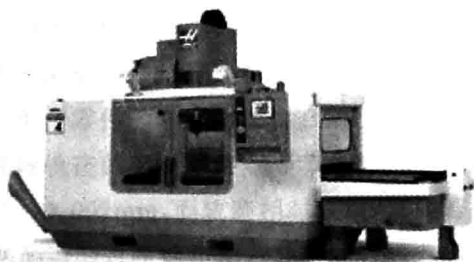
(b)



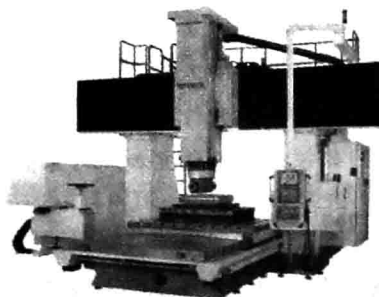
(c)



(d)



(e)



(f)

图 1-4 金属切削类数控机床

(a)数控车床; (b)数控铣床; (c)车削中心; (d)加工中心; (e)双工作台加工中心; (f)五面体加工中心

(2)金属成形类数控机床。金属成形类数控机床指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床,常用的有数控弯管机、数控压力机、数控冲剪机、数控折弯机、数控旋压机等,如图1-5所示。



图1-5 金属成形类数控机床
(a)数控弯管机; (b)数控折弯机

(3)特种加工类数控机床。特种加工类数控机床主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控激光与火焰切割机等,如图1-6所示。

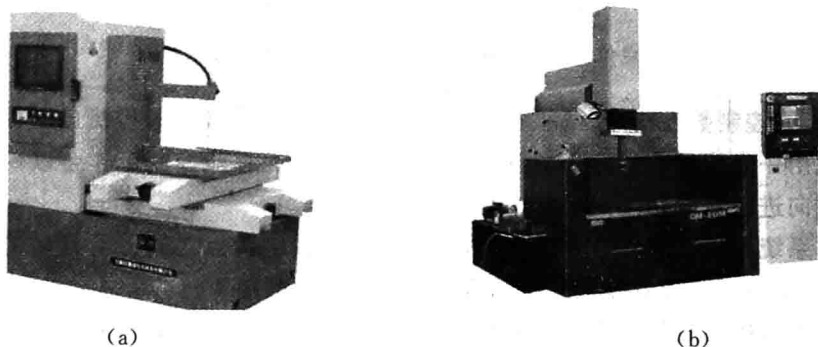


图1-6 特种加工类数控机床
(a)数控电火花线切割机; (b)数控电火花成形机

(4)非加工类数控设备。非加工类数控设备主要有数控绘图机、数控坐标测量机、数控对刀仪、工业机器人等,如图1-7所示。

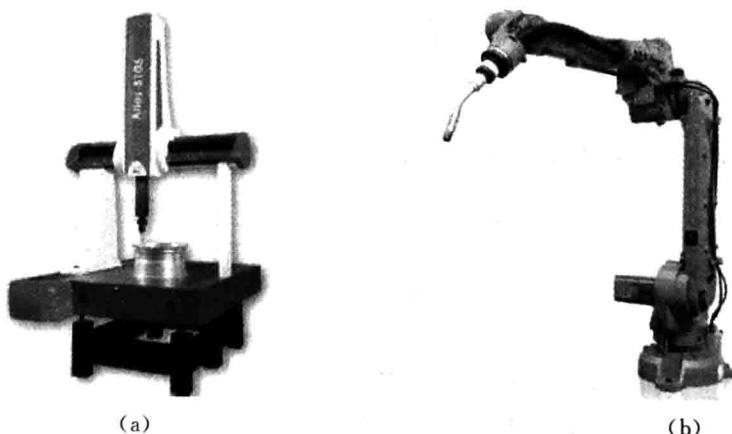


图1-7 非加工类数控设备
(a)数控三坐标测量机; (b)工业机器人

2. 按运动轨迹控制方式分类

(1) 点位控制数控机床。如图 1-8(a) 所示, 点位控制数控机床只能控制机床移动部件实现由一个位置到另一个位置的精确定位, 在移动和定位过程中不进行任何加工。

点位控制系统精确地控制刀具相对工件从一个坐标点移动到另一个坐标点, 移动过程中不进行任何切削加工, 因此点与点之间的移动轨迹、速度和路线决定了生产率的高低。为了提高加工效率, 保证定位精度, 系统采用“快速趋近, 减速定位”的方法实现控制。这类数控机床有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。

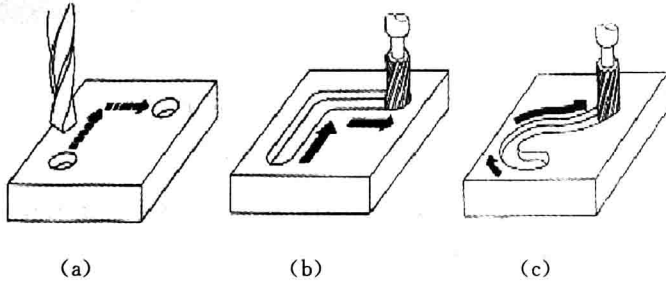


图 1-8 控运动轨迹控制方式分类

(a) 点位控制; (b) 点位直线控制; (c) 轮廓控制

(2) 点位直线控制数控机床。如图 1-8(b) 所示, 点位直线控制数控机床不仅能控制机床移动部件实现由一个位置到另一个位置的精确移动定位, 而且能控制工作台以一定的速度沿平行坐标轴方向进行直线切削加工。

直线控制系统不仅要求具有准确的定位功能, 还要控制两点之间刀具移动的轨迹是一条直线, 而且在移动过程中刀具能以给定的进给速度进行切削加工。

直线控制系统的刀具运动轨迹一般是平行于各坐标轴的直线; 如果同时驱动两套运动部件, 其合成运动的轨迹, 按照两运动方向的速度比, 形成与坐标轴成一定夹角的斜线。这类数控机床有某些数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床。如图 1-8(c) 所示, 轮廓控制数控机床不仅可完成点位及点位直线控制数控机床的加工功能, 而且能够对两个或两个以上坐标轴进行插补, 因而具有各种轮廓切削加工功能。常用的数控车床、数控铣床、数控磨床都是典型的轮廓控制数控机床。轮廓控制系统的结构要比点位直线控制系统更为复杂, 在加工过程中需要不断进行插补运算, 然后进行相应的速度与位移控制。

3. 按进给伺服系统的控制方式分类

(1) 开环数控机床。其控制系统不带反馈装置, 通常使用功率步进电动机为伺服执行机构, 如图 1-9 所示。

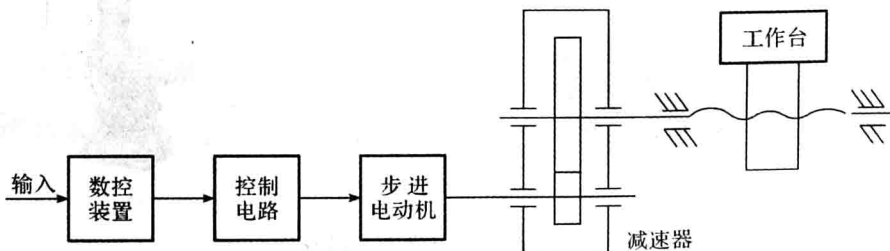


图 1-9 开环控制系统框图

在开环控制系统中,CNC装置输出的指令脉冲经驱动电路进行功率放大,控制步进电机转动,再经机床传动机构带动工作台移动。

这类系统结构简单、价格低廉,调试和维修都比较方便,但无位置闭环控制,不能进行误差校正,步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度,因而精度较差。开环控制系统精度主要取决于步进电机及传动机构的精度,因此仅适用于加工精度要求不很高的中小型数控机床,特别是经济型数控机床。

(2)半闭环控制数控机床。半闭环控制数控机床的特点是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角度检测装置(如光电编码器等),通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移,然后反馈到数控装置中去,并与CNC装置的指令值进行比较,用差值进行控制,对误差进行修正。如图1-10所示,半闭环控制系统以交、直流伺服电机作为驱动元件,由位置比较、速度控制、伺服电机等组成。

半闭环数控系统的调试比较方便,并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体,使结构更加紧凑。这类控制可以获得比开环系统更高的精度,调试比较方便,因而得到广泛应用。

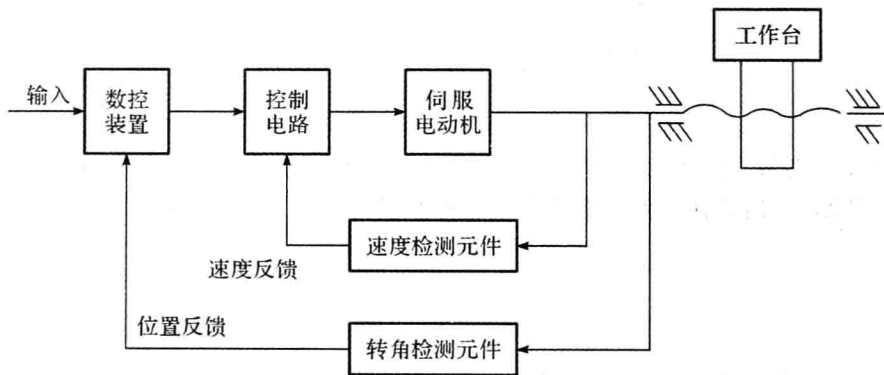


图 1-10 半闭环控制系统框图

(3)闭环控制数控机床。闭环控制数控机床的特点是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置,将测量的实际位移值反馈到数控装置中,与输入CNC装置的指令位移值进行比较,用差值对机床进行控制,使移动部件产生相应的运动,其控制框图如图1-11所示。

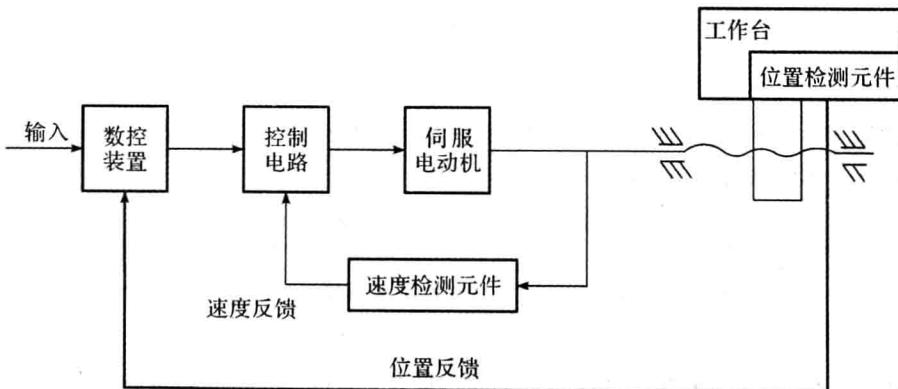


图 1-11 闭环控制系统框图

闭环控制系统以交直流伺服电机作为驱动元件,用于精度要求高的数控机床,如数控精密镗铣床。

(4)混合控制数控机床。将以上3类数控机床的特点结合起来,就形成了混合控制数控机床。混合控制系统特别适用于大型或重型数控机床。

混合控制系统又分为以下两种形式。

1)开环补偿型。图1-12所示为开环补偿型控制方式。其特点是基本控制选用步进电动机的开环伺服机构,另外附加一个校正电路。通过装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

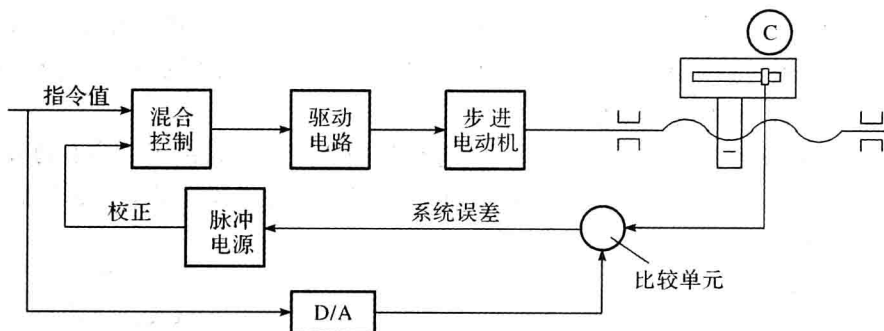


图1-12 开环补偿型控制系统

2)半闭环补偿型。图1-13所示为半闭环补偿型控制方式。其特点是用半闭环控制方式取得高速度控制,再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正,以获得高速度与高精度的统一。

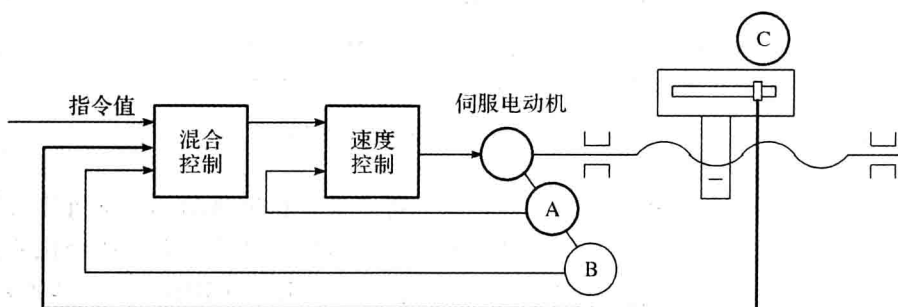


图1-13 半闭环补偿型控制系统

4. 按所用数控系统的档次分类

按所用数控系统的档次通常把数控机床分为低、中、高档3类(见表1-1)。中、高档数控机床一般称为全功能数控或标准型数控。

表1-1 数控机床分类

档次 功能	低档数控机床	中档数控机床	高档数控机床
进给当量和进给速度	进给当量为 $10\mu\text{m}$, 进给速度在 $8\sim 15\text{m}/\text{min}$	进给当量为 $1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\sim 24\text{m}/\text{min}$	进给当量为 $0.1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\sim 100\text{m}/\text{min}$

续表

档次 功能	低档数控机床	中档数控机床	高档数控机床
伺服进给系统	开环、步进电动机	半闭环直流伺服系统或交流伺服系统	闭环伺服系统、电机主轴、直线电机
联动轴数	2~3轴	3~4轴	3轴以上
通信功能	无	RS232 或 DNC 接口	RS232, RS485, DNC, MAP 接口
显示功能	数码管显示或简单的 CRT 字符显示	功能较齐全的 CRT 显示或液晶显示	功能齐全的 CRT(三维动态图形显示)
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC, 有轴控制的扩展功能
主 CPU	8 位 CPU 或 16 位 CPU	由 16 位向 32 位过渡	32 位 CPU 向 64 位 CPU 发展

5. 按可联动的坐标轴分类

数控机床的联动数是指机床数控装置的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。目前有两轴联动(数控车床、数控线切割机床)、两轴半联动(数控铣床)、三轴联动(数控铣床)、四轴联动、五轴联动(加工中心)。

(1)两轴联动。如图 1-14 所示,这种方式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。

(2)两轴半联动。这种方式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。图 1-15 所示为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,一类就是 X, Y, Z 3 个直线坐标轴联动,比较多地用于数控铣床、加工中心等,如图 1-16 所示用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制 X, Y, Z 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。

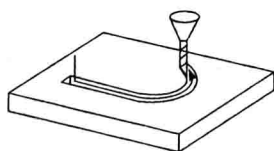


图 1-14 两轴联动

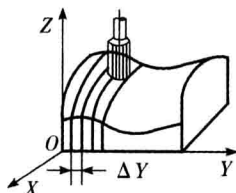


图 1-15 两轴半联动

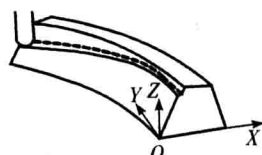


图 1-16 三轴联动

(4)四轴联动。同时控制 X, Y, Z 3 个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动,图 1-17 所示为同时控制 X, Y, Z 3 个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

(5)五轴联动。除同时控制 X, Y, Z 3 个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕着这些直线坐标轴旋转 A, B, C 地坐标轴中的两个坐标轴,形成同时控制的 5 个轴联动,这时刀具可以被