



应用型数控、模具专业基础课系列教材

数控技术

曹甜东 / 主编

Shukong
*
Jishu

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

应用型数控、模具专业基础课系列教材

数 控 技 术

主 编 曹甜东
副主编 唐燕华 洪福东
参 编 刘长青 李知贵

华中科技大学出版社

(中国·武汉)

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/曹甜东 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2005年9月
ISBN 978-7-5609-3505-8

I. 数… II. ①曹… ②唐… ③洪… III. 数字控制-技术 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第105849号

数控技术

曹甜东 主编

责任编辑:姚 幸

封面设计:刘 卉

责任校对:朱 霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×960mm 1/16

印张:20.25

字数:373 000

版次:2005年9月第1版

印次:2007年8月第2次印刷

定价:29.80元

ISBN 978-7-5609-3505-8/TG·69

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书结合当前数控机床的实际应用水平,从应用的角度系统地介绍了数控机床及相关的知识。书中首先介绍了数控机床应用的基本知识;然后介绍了数控机床的各个组成部分,包括计算机数控系统、伺服系统及位置检测装置、数控机床的机械结构等;围绕数控机床的应用,介绍了应用数控机床进行加工所需要的技术基础知识,各类数控机床的数控编程基本知识与方法;根据学院的实训条件,介绍并剖析了若干个应用实例;针对数控机床应用中的常用问题,介绍了数控机床的使用与维护常识;最后介绍了数控机床的发展趋势。

本书在内容的组织上采用了模块化结构,每一章基本是一个独立的模块,教学中可根据具体需要进行模块组合。本书既可以作为高等职业技术学院的数控技术专业 and 机电一体化专业的主干课教材,也可以作为模具设计与制造专业、焊接技术专业的专业教材,同时,还可以作为数控加工编程等的应用培训教材。

前 言

随着我国国民经济的水平不断提高和公民教育的投资迅速扩大,我国的高等教育正在由精英教育向大众教育方向发展。在这种背景下,教育部适时地提出了大力发展高等职业技术教育的思路,这在很大程度上缓解了教育市场的供需矛盾。但是,伴随着近年来高等职业教育的迅速发展,新的矛盾又产生了,其中教材建设与教学需求就是一对突出矛盾。许多学校学生已经开始上课,而教材还没有落实,教材建设明显滞后于教学需求,特别是专业课教材。为此,我们组织编写了数控、模具专业系列教材,本书是其中一本。

数控技术是用数字程序控制机械实现自动工作的技术。它广泛用于机械制造和自动化领域,较好地解决多品种、小批量和复杂零件加工以及生产过程自动化的问题。随着计算机、自动控制技术的飞速发展,数控技术已广泛地应用于数控机床、机器人以及各类机电一体化设备上。同时,随着社会经济的飞速发展,数控装置和数控机械在理论和应用方面也有了迅速的发展。

本书对教学内容作了精心安排。首先介绍数控机床的各个基本组成部分;然后用了较大的篇幅介绍数控加工技术及数控机床的应用;最后简单介绍了数控机床的发展趋势。全书力求把握适当的“度”,在知识点的选择上,尽可能减少了从事理论研究和机床设计才需要的知识。尽管如此,也还是不一定能满足绝大多数学校的教学要求,特别是应用实例,各校的实训条件不尽相同,很难都编入一本教材之中。本书在章节的安排上基本采用了模块化结构,各校可根据自己的实际情况进行模块组合。另外,与本书配套的《数控加工实训教材》也将出版,可供各校进行课程模块组合。

全书共分7章,由荆门职业技术学院曹甜东、唐燕华、洪福东、刘长青、李知贵编写。曹甜东担任主编。在编写中,参阅了有关教材和资料,并得到了许多同行专家、教授的支持和帮助,在此谨致谢意。

尽管作者投入了很大精力,力图使本书取材合理、内容正确,但还是难免有错误存在,敬请读者指正。

目 录

第1章 数控机床概述	(1)
1.1 数控机床的产生及作用	(1)
1.1.1 数控机床的发展过程	(1)
1.1.2 数控机床的作用	(2)
1.2 数控机床的组成	(3)
1.2.1 数控机床的工作步骤	(3)
1.2.2 数控机床的组成	(3)
1.3 数控机床的分类	(5)
1.3.1 按加工工艺方法分类	(5)
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	(6)
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	(9)
1.4.1 数控机床的加工特点	(9)
1.4.2 数控机床的使用特点	(10)
1.4.3 数控机床的应用范围	(11)
1.5 数控机床的发展趋势	(12)
复习思考题	(14)
第2章 计算机数控系统(CNC)	(16)
2.1 CNC系统的基本概念	(16)
2.1.1 CNC系统的组成及其工作过程	(16)
2.1.2 CNC系统的数据转换流程	(20)
2.1.3 CNC数控系统的特点	(22)
2.1.4 CNC系统可实现的功能	(23)
2.2 CNC系统的硬件结构	(25)
2.2.1 单微处理器结构	(25)
2.2.2 多微处理器结构	(27)
2.2.3 开放式CNC系统	(29)
2.3 CNC系统的软件结构	(31)

2.3.1	CNC 系统软件概述	(31)
2.3.2	CNC 系统软件的结构特点	(32)
2.3.3	CNC 系统软件的结构模式	(34)
2.4	数控系统的插补原理	(38)
2.4.1	概述	(38)
2.4.2	逐点比较法插补	(40)
2.4.3	数字积分法插补	(47)
2.4.4	时间分割法插补	(53)
2.5	数控系统的刀具补偿原理	(54)
2.5.1	刀具半径补偿	(54)
2.5.2	刀具长度补偿	(58)
2.6	数控系统的位置控制	(60)
2.6.1	闭环位置控制的概念	(60)
2.6.2	闭环位置控制的实现	(61)
2.6.3	开环放大倍数与跟随误差	(62)
2.7	数控机床的辅助功能与可编程控制器	(65)
2.7.1	数控机床可编程控制器的分类与特点	(65)
2.7.2	可编程控制器与外部的信息交换	(68)
	复习思考题	(71)
第3章	伺服系统及位置检测装置	(72)
3.1	伺服驱动系统概述	(72)
3.1.1	伺服驱动系统的概念	(72)
3.1.2	伺服驱动系统的组成和工作原理	(74)
3.1.3	伺服驱动系统分类	(75)
3.2	伺服驱动电动机	(79)
3.2.1	步进电动机	(79)
3.2.2	直流伺服电动机	(82)
3.2.3	交流伺服电动机	(84)
3.2.4	直线电动机	(86)
3.3	位置检测装置	(87)
3.3.1	位置检测装置简介	(87)
3.3.2	磁尺位置检测装置	(88)
3.3.3	光栅位置检测装置	(90)
3.3.4	脉冲编码器	(94)

3.3.5 旋转变压器	(95)
3.3.6 感应同步器	(98)
3.3.7 测速发电机	(101)
复习思考题	(103)
第4章 数控机床的机械结构	(105)
4.1 数控机床的机械结构特点及要求	(105)
4.1.1 提高机床的静、动刚度	(105)
4.1.2 减少机床的热变形	(108)
4.1.3 降低运动副摩擦,提高传动精度	(109)
4.1.4 提高机床的寿命和精度	(109)
4.1.5 采用自动化装置,提高机床效率	(109)
4.1.6 提高安全防护等级	(110)
4.2 数控机床的主传动系统	(110)
4.2.1 数控机床主传动系统的特点	(110)
4.2.2 主传动的变速方式	(111)
4.2.3 数控机床的主轴部件	(114)
4.3 数控机床的进给传动系统	(120)
4.3.1 数控机床进给运动的特点	(120)
4.3.2 滚珠丝杠螺母副	(121)
4.3.3 数控机床的导轨	(128)
4.3.4 进给系统传动间隙的消除	(133)
4.4 数控机床的回转工作台和分度工作台	(137)
4.4.1 数控回转工作台	(137)
4.4.2 分度工作台	(139)
4.5 自动换刀装置	(143)
4.5.1 自动换刀装置的类型	(143)
4.5.2 数控车床(车削中心)的换刀方式	(144)
4.5.3 加工中心自动换刀系统	(147)
复习思考题	(159)
第5章 数控加工编程	(161)
5.1 数控加工的编程基础	(161)
5.1.1 数控加工编程的概念	(161)
5.1.2 数控编程的基础知识	(161)
5.1.3 数控加工工艺的特点	(168)

5.1.4	数控编程中的数学处理	(173)
5.2	数控车削编程	(179)
5.2.1	数控车削的编程特点	(179)
5.2.2	数控系统的主要编程指令	(183)
5.2.3	刀具补偿指令及其编程	(195)
5.2.4	固定循环	(199)
5.2.5	综合实例	(206)
5.3	数控铣削编程	(209)
5.3.1	数控铣床的编程特点	(209)
5.3.2	铣削加工时的刀具路径	(212)
5.3.3	刀具半径补偿	(213)
5.3.4	固定循环与子程序	(215)
5.3.5	综合实例	(219)
5.4	加工中心编程概述	(224)
5.4.1	加工中心编程概述	(224)
5.4.2	加工中心的基本指令	(228)
5.4.3	FANUC 数控系统宏指令编程	(231)
5.4.4	数控加工中心应用实例	(242)
5.5	自动编程简介	(249)
5.5.1	数控编程软件发展过程	(249)
5.5.2	CAD/CAM 集成数控编程系统简介	(250)
5.5.3	常见的CAD/CAM 软件	(253)
	复习思考题	(255)
第6章	数控机床使用基础	(259)
6.1	数控机床安装与调试	(259)
6.1.1	机床的基础处理和落位	(259)
6.1.2	数控机床部件组装	(259)
6.1.3	数控系统连接	(261)
6.2	数控机床的验收	(263)
6.2.1	机床外观的检查	(263)
6.2.2	机床性能与数控功能的验收	(263)
6.2.3	数控机床的试运行	(264)
6.2.4	机床精度的验收	(264)
6.3	数控机床操作基础	(270)

6.3.1 数控机床的使用要点	(270)
6.3.2 数控系统(铣床)操作面板介绍	(276)
6.3.3 数控系统(车床)操作面板介绍	(281)
复习思考题	(282)
第7章 数控机床维护与维修基础	(283)
7.1 数控机床维修的概述	(283)
7.1.1 数控机床维修的必要性	(283)
7.1.2 对数控机床维修人员的基本要求	(284)
7.1.3 数控机床维修安全规程	(285)
7.2 数控机床常规维护	(285)
7.2.1 概述	(285)
7.2.2 数控机床日常维护	(286)
7.2.3 数控机床故障维修	(287)
7.3 数控机床常见故障现象与排除	(292)
7.3.1 主传动链故障诊断及排除	(292)
7.3.2 滚珠丝杠螺母副故障诊断及排除	(294)
7.3.3 导轨副故障诊断及排除	(296)
7.3.4 其他外围机械故障诊断及排除	(297)
复习思考题	(299)
附录A 常用数控系统指令表	(300)
附录B 数控机床常见故障实例	(303)

第1章 数控机床概述

1.1 数控机床的产生及作用

1.1.1 数控机床的发展过程

机床是制造业的主要生产设备,许多产品的零件都直接或间接地经过机床加工。对于大批量生产的产品,如汽车、电动机等的零件,为了提高生产率和加工精度,往往采用组合机床等专用机床,以及由这类机床组成的生产线进行加工;对于单件或小批量生产的产品,它们的零件一般采用通用机床加工。使用专用机床,生产准备周期长、费用高、产品不易更新;使用通用机床,由于其生产效率和加工质量完全取决于操作者的技术水平,因此很难得到优质产品。随着社会的进步,人们对各类产品的要求越来越高,像汽车这样大批量生产的产品,也要求其个性化,因此就不能采用传统的刚性生产线,要考虑到适当的柔性。一些小批量生产的产品,其复杂度要求和精度要求也使通用机床难以胜任。相比之下,数控机床恰恰满足了这些要求。

1952年,美国Parson公司与麻省理工学院(MIT)合作,研制出世界上第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床。它采用以脉冲乘法器原理为基础的试验性数字控制系统。当时采用的电子元器件是电子管。这是世界上公认的第一台数控机床。该铣床的研制成功,是机械制造行业中的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个崭新的阶段。

1959年,电子行业成功研制了晶体管元器件,因而在数控系统中广泛采用了晶体管和印刷电路板,从此数控系统跨入了第二代。1959年3月,由美国克耐·杜利克公司(Keaney & Trecker Corp)发明了带有自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”。

从1960年开始,出现了小规模集成电路。由于它的体积小、功耗低,使数控系统的性能得到进一步提高,数控系统发展到第三代。

以上三代都是采用专用控制电路的硬件逻辑数控系统(NC)。

1967年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是最初的柔性制造系统FMS(Flexible Manufacturing System)。之后,美、日及欧洲等国也

相继进行开发和应用。随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降。小型计算机开始取代专用控制电路的硬件逻辑数控系统(NC),数控系统的许多功能由软件程序实现。具有计算机作控制单元的数控系统(CNC),称为第四代。在1970年的美国芝加哥国际展览会上,首次展出了这种系统。

1970年前后,美国英特尔公司研制成功了微处理器。1974年,美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统。20多年来,微处理机数控系统的数控机床得到飞速发展和广泛应用,这就是第五代用微型计算机控制的数控系统(MNC)。后来,人们将MNC统称为CNC。

20世纪80年代初,国际上又出现了柔性制造单元FMC(Flexible Manufacturing Cell)。

FMC和FMS被认为是实现计算机集成制造系统CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)的必经阶段。

我国从1958年开始,一直到20世纪60年代中期处于数控技术研究时期。一些高等院校、科研单位研制出试验性样机,并着手研究电子管数控系统。1965年,国内开始研制晶体管数控系统。20世纪60年代末至70年代初研制成功X53K-1G立式数控铣床、CJK-18数控系统和数控非圆齿轮插齿机。20世纪80年代,我国从日本FANUC公司引进了一些数控技术,并进行了商品化生产。这些系统可靠性稳定,功能齐全,推动了我国数控机床稳定的发展,使我国的数控机床在性能和质量上产生了一个质的飞跃。

现在,我国已经建立了以中、低档数控机床为主的产业体系。20世纪90年代主要发展高档数控机床。

1.1.2 数控机床的作用

数控机床,顾名思义,是一类由数字程序实现控制的机床。它以电子信息技术为基础,集传统的机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体的数控机床。它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 数控机床的工作步骤

采用数控机床加工零件的步骤如下。

- (1) 根据零件的图样与工艺规程,用规定的代码和程序格式编写加工程序。
- (2) 将所编程序输入机床数控装置。
- (3) 数控装置将程序(代码)进行译码、运算之后,向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号,驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助动作,最后加工出合格的零件。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床的基本组成包括加工程序、输入装置、数控系统、伺服驱动系统、辅助控制装置、反馈系统以及机床本体,如图1-1所示。

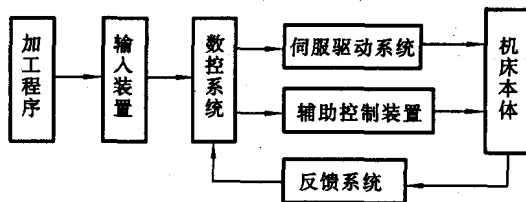


图1-1 数控机床的基本组成

1. 加工程序

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。在零件加工程序中,包括了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,或者由在数控机床以外的自动编程计算机系统来完成,比较先进的数控机床可以在它的数控装置上直接编程。

加工程序存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔带、磁卡、磁盘等。采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码传送并存入数控装置内。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)直接输入数控系统,或者将加工程序由编程计算机用通信方式传送到数控系统中。

3. 数控系统

数控系统是数控机床的核心,它接受输入装置送来的加工程序,经过数控的系统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、换向和启停信号;选择和交换刀具的刀具指令信号;控制冷却和润滑的启、停,机床部件的松开、夹紧以及分度工作台的转位等辅助指令信号。

4. 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。它根据数控系统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。每个作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系统中,数控系统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。

相对于数控系统发出的每个进给脉冲信号,机床移动部件的位移量称为最小设定单位,也称为脉冲当量,根据不同的数控机床,常用的脉冲当量为0.01 mm,0.005 mm及0.001 mm。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控系统发出的主轴换向、变速、启停,刀具的选择和交换,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经处理后送数控系统进行处理。

由于可编程逻辑控制器(PLC)具有响应快、性能可靠、易于使用、可编程和修改程序等特点,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。

6. 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、抗振动等方面要求更高,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,通常按下面四种方法进行分类。

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,例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,构成一种带自动换刀装置的数控机床。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. 多坐标数控机床

有些复杂形状的零件,例如舰船螺旋桨、飞机发动机叶片等用三坐标数控机床无法加工其曲面,于是出现了多坐标轴联动的数控机床,其特点是数控系统能同时控制的轴数较多,机床结构也较复杂。坐标轴数的多少取决于加工零件的工艺要求。

4. 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,一般采用先快速移动,当接近终点位置时,再减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1-2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伺服步进电动机。数控系统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以及传动精度影响,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。

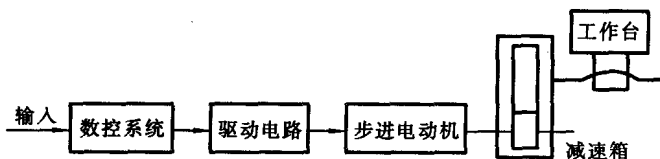


图 1-2 开环控制的结构

2. 闭环控制的数控机床

如图 1-3 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系统中,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变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。伺服驱动部件通常采用直流伺服电动机和交流伺服电动机。常用速度检测元件是测速发电机。

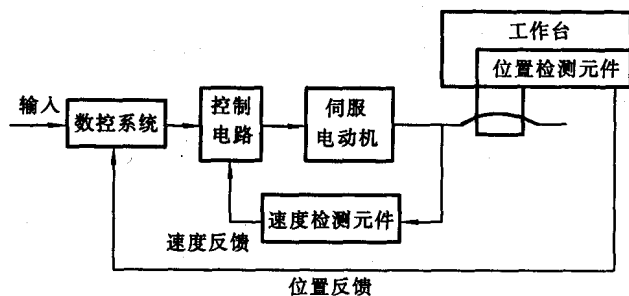


图 1-3 闭环控制系统框图

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 1-4 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,故称半闭环控制系统。半闭环控制精