



应用型本科规划教材

NUMERICAL CONTROL
AND NUMERICALLY CONTROLLED MACHINE TOOL

数控技术与数控机床

◆ 主 编 陈俊龙

副主编 张 伟 程国标 孙树峰



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

TG659

174

2007

应用型本科规划教材

数控技术与数控机床

主 编 陈俊龙

副主编 张 伟 程国标 孙树峰

浙江大學出版社

内 容 提 要

本书较全面且深入浅出地介绍了数控技术和数控机床的基本知识。

本书共六章。第1章数控技术概论;第2章数控机床的结构与传动;第3章数控加工与编程基础;第4章数控编程实例;第5章数控原理与数控系统;第6章数控机床的伺服驱动系统和检测装置。

本书可作为机械设计制造及其自动化专业及相近专业的应用型本科教学的专业课程教材,也可供有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术与数控机床 / 陈俊龙主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2007. 1

应用型本科规划教材

ISBN 978-7-308-05026-5

I. 数... II. 陈... III. 数控机床—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 134161 号

数控技术与数控机床

陈俊龙 主编

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 王 波

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.5

字 数 304 千

版 次 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 978-7-308-05026-5

定 价 19.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

应用型本科院校机械专业规划教材

编委会

主任 潘晓弘
副主任 刘 桦 陈俊龙 胡夏夏
委员 (以姓氏笔画为序)
马 光 文和平 孙树礼
朱根兴 张五莲 张 伟
张美琴 陈志平 胡国军
徐 立

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内涌现了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的全方位、持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用于研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展中的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须有利于进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对机械工程专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校机械工程类专业的教师共同开展了“应用型本科机械工程专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之

处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层次机械工程类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校机械工程专业规划教材”系列。

本套规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用型本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富的教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可,对于应用型本科院校机械工程类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任 潘晓弘

2007年1月

前 言

数控技术是现代重要的机电一体化高新技术,也是高精度、高生产率、高柔性、高自动化的数控设备和数控机床的核心技术。数控技术的发展和水平,在很大程度上标志综合国力的水平,也是实现制造系统自动化、柔性化、集成化和系统化的基础。

随着科技和经济的高速发展,我国的制造业和其他相关行业已越来越普遍地研制和使用数控设备和数控机床,因此,积极推进“数控技术与数控机床”这门专业课程的课程建设,对于本科机类专业的教学来说,显得尤为必要和迫切。

我们编写的《数控技术与数控机床》一书,针对独立学院和应用型本科院校学生的特点,力求使教材具有简洁精练、应用性和实践性强的特点。

第1章数控技术概论,阐述了数控技术的基本概念和工作原理,介绍了数控机床的组成、分类和特点;第2章数控机床的结构与传动,介绍了数控机床机械结构的特点以及主运动系统、进给系统和回转工作台等主要部件的结构、工作原理和特点。第3章数控加工与编程基础,介绍了数控加工的工艺分析、工艺路线设计、工序设计、数控编程的有关知识;第4章数控编程实例,以FANUC、HNC-21/22(华中世纪星)和SIEMENS三种最常用的数控系统为基础,介绍了各类机床的编程实例;第5章数控原理与数控系统,介绍了数控系统的软硬件结构、插补原理和刀补原理;第6章数控机床的伺服驱动系统和检测装置,介绍了数控机床的伺服系统和检测装置的基本概念、结构和工作原理。

本书由浙江大学宁波理工学院、中国计量学院、浙江工业大学之江学院、温州大学瓯江学院、浙江大学城市学院和杭州电子科技大学共同编写,由陈俊龙任主编,张伟、程国标和孙树峰任副主编。第1章由刘井玉编写,第2章由陈俊龙编写,第3章由张伟编写,第4章由孙树峰编写,第5章由程国标编写,第6章由吕震编写。

在此,我们向关心和支持本书成稿的同志们表示衷心感谢,同时也衷心感谢浙江大学出版社的有关同志对本书编写的深切关心和有力支持。

由于数控技术是一门发展迅速的高新技术,许多理论处于不断发展和完善的过程中,同时由于编者的水平有限,因此难免有不足和错误,敬请广大读者原谅并提出宝贵意见,以供再版时修正和完善。

编者

2006年10月20日

目 录

第 1 章 概 论.....	1
1.1 数控技术的基本概念	1
1.1.1 数控技术和数控机床	1
1.1.2 数控机床的工作原理	1
1.2 数控机床的组成、分类及特点.....	2
1.2.1 数控机床的组成	2
1.2.2 数控机床的分类	3
1.2.3 数控机床的特点	6
1.3 数控机床的产生与发展	7
1.3.1 数控技术的产生与发展	7
1.3.2 数控技术的发展趋势	9
1.3.3 先进制造技术简介.....	11
1.4 我国数控技术人才现状概述.....	13
思考题与习题	14
第 2 章 数控机床的结构与传动	15
2.1 数控机床机械结构的特点和基本要求.....	15
2.1.1 数控机床机械结构的特点.....	15
2.1.2 数控机床机械结构的基本要求.....	16
2.2 数控机床的主运动系统.....	24
2.2.1 主运动的传动方式.....	24
2.2.2 主轴部件.....	25
2.2.3 主轴的准停装置.....	28
2.2.4 主轴的换刀装置、刀库和机械手	29
2.3 数控机床的进给传动系统.....	34
2.3.1 滚珠丝杠螺母副.....	34
2.3.2 静压蜗杆蜗轮条副.....	37
2.3.3 齿轮齿条副.....	38

2.3.4	进给系统齿轮间隙的消除	38
2.4	数控机床的导轨部件	41
2.4.1	塑料滑动导轨	41
2.4.2	滚动导轨	42
2.4.3	静压导轨	44
2.5	回转工作台	44
2.5.1	分度工作台	44
2.5.2	数控回转工作台	47
2.6	数控机床的辅助装置	49
2.6.1	液压和气动装置	49
2.6.2	排屑装置	50
	思考题与习题	51
第3章	数控加工与编程基础	52
3.1	数控加工工艺	52
3.1.1	数控加工工艺特点与内容	52
3.1.2	数控加工工艺分析	53
3.1.3	数控加工工艺路线设计	56
3.1.4	数控加工工序设计	59
3.2	数控加工编程的步骤与方法	65
3.2.1	数控编程概念	65
3.2.2	数控编程步骤	65
3.2.3	数控编程方法	66
3.3	数控程序的构成	67
3.3.1	数控程序结构	68
3.3.2	程序段格式	68
3.3.3	数控编程的基本指令	69
3.4	数控机床的坐标系统	72
3.4.1	标准坐标系与运动方向	72
3.4.2	机床坐标系与工件坐标系	74
3.4.3	绝对坐标编程与相对坐标编程	77
3.5	数控加工的刀具补偿	78
3.5.1	刀具半径补偿	78
3.5.2	刀具长度补偿	80
3.6	基本数值计算	81
3.6.1	选择编程原点与换算尺寸	81
3.6.2	基点和节点计算	82
3.6.3	刀位点轨迹的计算	83
3.6.4	辅助计算	84

3.6.5 数控编程的误差	84
思考题与习题	86
第4章 数控编程实例	87
4.1 数控机床编程的基本指令	87
4.1.1 数控车床编程的基本指令(以 FANUC 系统为例)	87
4.1.2 数控铣床编程的基本指令(以 FANUC 系统为例)	94
4.1.3 加工中心编程的基本指令及编程方法	99
4.2 数控车床编程	101
4.2.1 FANUC 0 系统数控车床编程	102
4.2.2 华中世纪星(HNC-21/22T)系统数控车床编程	108
4.3 数控铣床编程	114
4.3.1 FANUC 0-MD 系统数控铣床编程	114
4.3.2 华中世纪星(HNC-21/22M)系统数控铣床编程	118
4.4 加工中心编程	123
4.4.1 FANUC 0-MC 系统加工中心编程	124
4.4.2 SIEMENS 802D 系统加工中心编程	127
4.5 计算机辅助自动编程	128
4.5.1 概述	128
4.5.2 自动编程的基本原理	129
4.5.3 Unigraphics CAM 自动编程软件	130
4.5.4 Master CAM 自动编程软件	131
4.5.5 Cimatron 图形交互自动编程	132
思考题与习题	133
第5章 数控原理与数控装置	137
5.1 数控装置的基本结构与工作原理	137
5.1.1 数控装置的基本组成	137
5.1.2 数控装置的基本结构	138
5.1.3 数控装置的工作过程	141
5.2 插补原理	142
5.2.1 概述	142
5.2.2 脉冲增量插补	143
5.2.3 数据采样插补	154
5.3 刀具补偿原理	156
5.3.1 概述	156
5.3.2 刀具长度补偿	157
5.3.3 刀具半径补偿	157
5.4 辅助机能控制与 PLC	161

思考题与习题.....	162
第6章 数控机床的伺服驱动系统和检测装置.....	163
6.1 数控机床的伺服驱动系统	163
6.1.1 伺服驱动系统的技术要求	163
6.1.2 伺服驱动系统的分类	164
6.2 伺服驱动电机	165
6.2.1 步进电机	165
6.2.2 直流伺服电机	168
6.2.3 交流伺服电机	172
6.3 位置检测装置	174
6.3.1 位置检测装置的要求与分类	174
6.3.2 旋转变压器	174
6.3.3 感应同步器	176
6.3.4 光栅检测装置	178
6.3.5 磁尺检测装置	181
6.3.6 脉冲编码器	184
思考题与习题.....	186
参考文献.....	188

第 1 章 概 论

本章学习要点：

1. 掌握数控机床的基本概念和工作原理,熟悉数控机床的组成、分类及特点。
2. 了解数控机床的产生背景与发展过程,以及发达国家和我国的数控技术现状、数控技术的发展趋势。
3. 熟悉先进制造技术的主要内容和特点,了解数控技术在先进制造技术中的地位以及我国数控技术人才的现状。

1.1 数控技术的基本概念

1.1.1 数控技术和数控机床

数控技术,简称数控(Numerical Control),是指利用数字化的信息对机床各部件的运动及加工过程进行控制的一种技术。

数控机床即是用数控技术实施加工控制的机床。数控机床是典型的数控设备,它的产生和发展是数控技术产生和发展的重要标志。

1.1.2 数控机床的工作原理

机床依靠各个部件的相对运动实现零件的加工。在普通机床上,加工过程主要由人来控制,如手摇进刀。而在数控机床上,机床各部件的相对运动和动作以数字指令方式控制,零件的加工过程自动完成。

数控机床的加工过程如图 1-1 所示。首先要将被加工零件在图纸上的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序,然后将加工程序输入数控装置,按照程序的要求,经过数控系统信息处理、分配,使各坐标移动若干个最小位移量,实现刀具与工件的相对运动,完成零件的加工。

机床的数字控制是由数控系统完成的。数控系统的结构如图 1-2 所示,主要包括数控装置、伺服驱动装置、可编程控制器和检测装置等。数控装置能接收零件图纸加工要求的信息,进行插补运算,实时地向各坐标轴发出控制指令。伺服驱动装置能快速响应数控装置发出的指令,驱动机床各坐标轴运动,同时能提供足够的功率和扭矩。检测装置将坐标位移的实际值检测出来,反馈给数控装置的调节电路中的比较器,如果有差值就发出运动控制信号,从

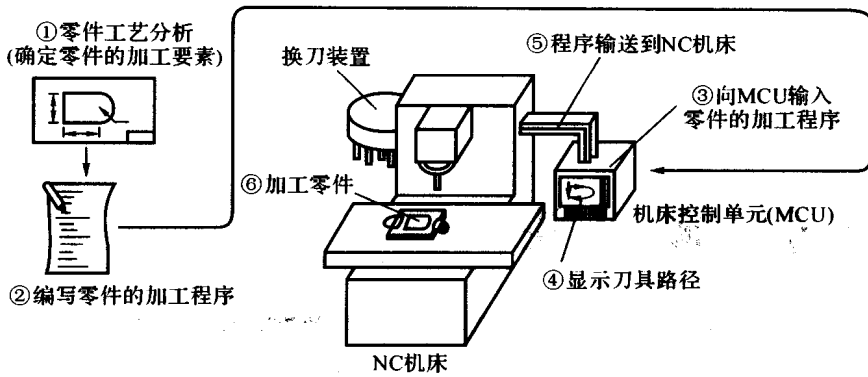


图 1-1 数控加工过程示意

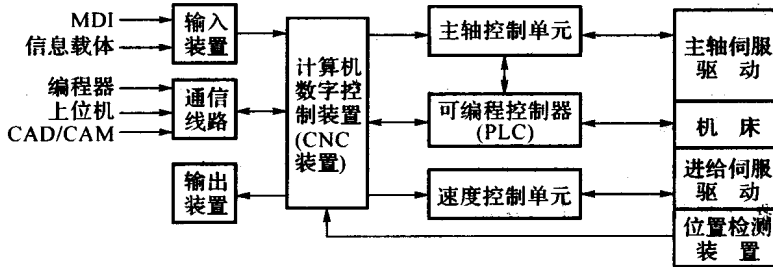


图 1-2 数控系统的组成框图

而实现偏差控制。

在数控机床上除了控制主轴或刀具的加工运动外,还有许多动作,如主轴的起停、刀具更换、冷却液开关、电磁铁的吸合、各种运动的互锁、运动行程的限位、急停、报警、程序启动等。这些开关量控制一般由可编程控制器(Programmable Controller, PC 或 PLC)来完成。

1.2 数控机床的组成、分类及特点

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由输入输出装置、数控装置(CNC装置)、伺服系统、检测反馈装置和机床本体组成,如图 1-3 所示。

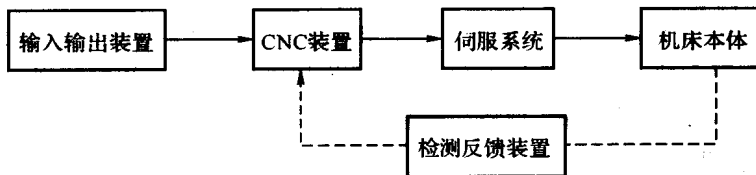


图 1-3 数控机床的组成

1. 输入输出装置

输入输出装置主要实现程序的编制和修改、程序和数据的输入及显示、存储和打印等

功能。

输入装置包括光电阅读机、磁带机、软盘驱动器和键盘等。早期的程序输入方式为穿孔纸带、磁带等。目前较多采用的是磁盘、手摇脉冲发生器及通信接口等方式。手摇脉冲发生器输入通常在调整机床和对刀时使用。通过数控装置的通信接口,数控程序可由上位机输入。在生产现场,特别是对一些简单的零件程序,也可采用按键、配合显示器(CRT)的手动数据输入(MDI)方式。

输出装置包括打印机、存储器和显示器等。

2. 数控装置

数控装置是由中央处理单元(CPU)、存储器、总线和相应的软件构成的专用计算机,这部分是数控机床的核心,整个数控机床的功能强弱主要由这部分决定。它具备的主要功能包括:

- (1) 多轴联动、多坐标控制;
- (2) 实现多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线、螺旋线、极坐标、样条等);
- (3) 多种程序的输入、编辑功能(人机对话、手动数据输入、上位机程序传入等);
- (4) 信息转换功能,包括 EIA/ISO 代码转换,公制/英制转换、坐标转换、绝对值/增量值转换等;
- (5) 补偿功能,包括刀具半径补偿、刀具长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿等;
- (6) 多种加工方式选择(各种加工循环、重复加工、镜像加工等);
- (7) 故障自诊断功能;
- (8) 辅助功能,如主轴的起停、转向,冷却液的开关,换刀等;
- (9) 显示功能,如 CRT 可以显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形等;
- (10) 通信和联网功能。

3. 伺服系统及检测反馈装置

伺服系统是接受数控装置的指令,驱动机床执行机构运动的驱动部件。伺服驱动装置分为主轴驱动单元、进给驱动单元、回转工作台、刀库伺服控制装置以及它们相应的伺服驱动电机等。检测反馈装置由测量部件和相应的测量电路组成,用于检测伺服电机或机床执行部件的速度或位移。数控机床的伺服系统,要求具有很好的快速响应性能,以及能够灵敏而准确地跟踪指令的功能。所以,伺服系统及检测反馈装置是数控机床的关键环节。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的主体,它包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件,如底座、立柱、工作台、滑鞍、导轨等。数控机床的主运动和进给运动都由单独的伺服电机驱动,因此,它的传动链短,结构比较简单。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工要求,机床的机械机构应具有较高的动态特性、动态刚度、耐磨性以及抗热变形的性能。为了保证数控机床功能的充分发挥,机床上还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明等一系列装置)和辅助装置(如对刀仪、编程机等)。

1.2.2 数控机床的分类

如今数控机床已发展成品种齐全、规格繁多的满足现代化生产的主流机床。可以从不同的角度对数控机床进行分类和评价。通常人们按如下方法分类。

1. 按运动控制的特点分类

(1) 点位控制数控机床

点位控制是指刀具从某一位置移到下一个位置的过程中,不考虑其运动轨迹,只要求刀具能最终准确到达目标位置,刀具在移动中不切削。为了提高效率和确保较高的定位精度,一般采用刀具先快速移动,当刀具接近目标位置时,再采用低速趋近目标点。

一些孔加工数控机床,如数控钻床、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机等都属于点位控制机床。

(2) 直线控制数控机床

直线控制的数控机床是指能控制机床工作台或刀具以要求的进给速度,沿平行于坐标轴(或与坐标轴成 45° 的斜线)的方向进行直线移动和切削加工的机床。这类机床不仅要求具有准确定位的功能,而且还要控制移动的速度。通常还具有刀具半径补偿和长度补偿功能。典型的机床有简易数控车床和简易数控铣床等,它们一般具有两到三个可控制轴,但同时可控制轴数只有一个。

(3) 轮廓控制数控机床

这类机床的数控装置能够同时控制两个或两个以上的轴,对位置和速度进行严格的不间断控制。其大部分都具有两坐标或两坐标以上联动、刀具半径补偿、刀具长度补偿、机床轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿、齿侧间隙误差补偿等一系列功能。该类机床可加工曲面、叶轮等复杂形状零件。典型的有数控车床、数控铣床、加工中心等。

轮廓控制的数控机床按照可联动(同时控制)轴数分为:两坐标联动控制、2.5坐标联动控制、三坐标联动控制、四坐标联动控制、五坐标联动控制等。多坐标(三坐标以上)控制与编程技术是高技术领域开发研究的课题,随着现代制造技术领域产品的复杂程度和加工精度的不断提高,多坐标联动控制技术及其加工编程技术的应用也越来越普遍。

2. 按伺服系统的类型分类

(1) 开环控制的数控机床

如图 1-4 所示,这类数控机床没有位置检测反馈装置,数控装置发出的指令信号流程是单向的,其精度主要取决于驱动元件和电机(步进电机)的性能。这类数控机床调试简单,系统也比较容易稳定,精度较低,成本低廉,多见于经济型的中小型数控机床和旧设备的技术改造中。

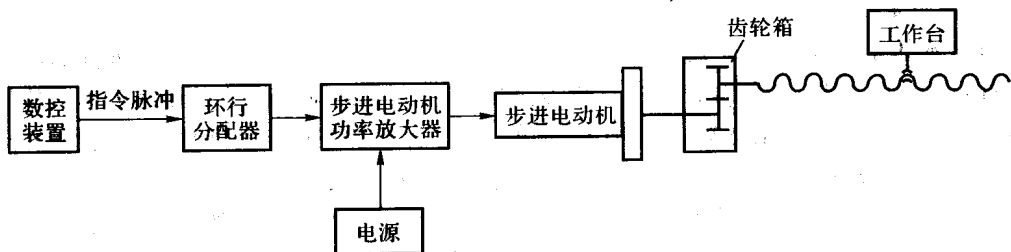


图 1-4 开环控制的数控机床系统框图

(2) 闭环控制的数控机床

如图 1-5 所示,这类数控机床带有检测装置,它随时接受在工作台端测得的实际位置反馈信号,将其与数控装置发来的指令位置信号相比较,由其差值控制进给轴运动。这种具有

反馈控制的系统,在电气技术上称为闭环控制系统。由于这种位置检测信号取自机床工作台(传动系统最末端执行件),因此可以消除整个传动系统的全部误差,系统精度高。但由于很多机械传动环节包括在闭环控制的环路内,各部件的摩擦特性、刚性及间隙等非线性因素直接影响系统的设计和调节,系统制造调试难度大,成本高。闭环系统主要用于一些精度很高的数控铣床、超精车床、超精磨床、大型数控机床等。

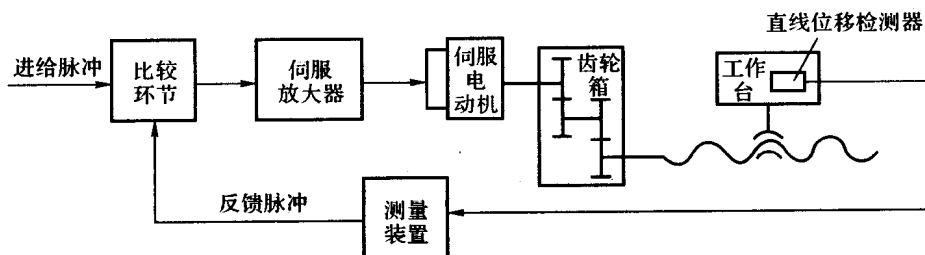


图 1-5 闭环控制的数控机床系统框图

(3)半闭环控制的数控机床

如图 1-6 所示,这类机床的检测元件不是装在传动系统的末端,而是装在电机轴或丝杠轴的端部,工作台的实际位置是通过测得的电机轴的角位移间接计算出来的,因而控制精度没有闭环系统高。这类控制系统的控制环内不包括机械传动环节,因此可以获得稳定的控制特性。目前,大多数中、小型数控机床都采用这种控制方式。

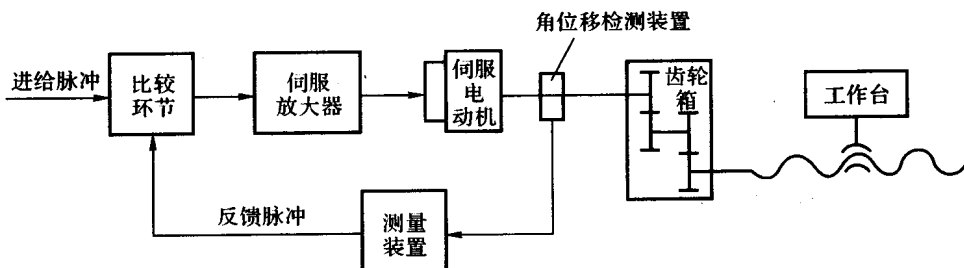


图 1-6 半闭环控制的数控机床系统框图

(4)混合控制数控机床

将以上三种数控机床的特点结合起来,就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适用于大型或重型数控机床,因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度和相当高的精度,其传动链惯量与力矩大,如果只采用全闭环控制,机床传动链和工作台全部置于控制闭环中,闭环调试比较复杂。混合控制方式又分两种形式:

1)开环补偿型。图 1-7 所示为开环补偿型控制方式,它的基本控制选用步进电机的开环伺服机构,另外还附加一个校正电路,用装在工作台的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

2)半闭环补偿型。图 1-8 所示为半闭环补偿型控制方式,它是用半闭环控制方式取得高精度控制,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。图中 A 是速度测量元件(如测速发电机),B 为角度测量元件,C 是直线位移测量元件。