



教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

数控机床

SHUKONGJICHUANG

罗学科 主编

中央广播电视大学出版社

Central Radio & TV University Press

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

数 控 机 床

罗学科 主编

中央广播电视大学出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床 / 罗学科主编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2008. 1

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

ISBN 978 - 7 - 304 - 03995 - 0

I. 数… II. 罗… III. 数控机床 - 电视大学 - 教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 009867 号

版权所有, 翻印必究。

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

数 控 机 床

罗学科 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 发行部 010 - 58840200

总编室 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号 邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 何勇军

责任编辑: 闫海新

印刷: 北京集惠印刷有限责任公司

印数: 0001 ~ 6000

版本: 2008 年 1 月第 1 版

2008 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 12.25 字数: 276 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 03995 - 0

定价: 18.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

数控技术专业教学资源 建设咨询委员会

顾 问：于云秀 郝广发 严 冰

主 任：李林曙 孙长庆

成 员：（以姓氏笔画为序）

王 军	方院生	刘春佳	任 岩	冯雪飞
任庆国	何阳春	关德章	杜纯梓	吴炳岳
沈炳生	李长江	李 涛	季连海	周延军
陈 昊	聂荣华			

数控技术专业教学资源 建设委员会

主 任：陶水龙 刘亚琴

副主任：张超英 杨 琳 郭 鸿 章振周
 宁 晨 王兆山 李西平

成 员：（以姓氏笔画为序）

石 亮	田 虢	冯小平	孙海维	齐 宏
谷 良	杨海东	何勇军	冼健生	洪晓锋
高鸿庭	栾振涛	梁柳青	崔虹雯	郭士义
舒大松				

内 容 提 要

本书是为了满足中央广播电视大学数控技术专业教学的要求，也是为了更多的人全面了解和掌握数控机床的基本结构与工作原理而编写的。

全书共分为6章。本书以数控机床基本部件的工作原理和应用知识为基础，以数控车床、数控铣床、加工中心、电加工机床为典型数控机床，对其结构、应用等进行讲述，对数控机床的电气部分、日常维护、调试验收等内容从应用的角度进行了讲述，同时还介绍了三坐标测量仪、激光干涉仪、球杆仪的组成、工作原理及使用方法。

本书可作为数控技术专业的课程教材，也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

前 言

为了配合中央广播电视大学数控技术专业的教学,中央广播电视大学与机械工业教育发展中心合作共同组织编写了数控技术专业系列教材。该系列教材的编写遵循教育部等三部委联合发布的《关于开展数控技术专业技能型紧缺人才培养的通知》精神,结合“中央广播电视大学人才培养模式改革和开放教育试点”研究工作的开展,立足职业为导向、学生为中心,以基础理论教学“必需、够用”为度,突出职业技能教学的地位,旨在培养学生具有一定的工程技术应用的能力,以适应工作岗位的实际需求。

当今世界,工业发达的国家对机床工业高度重视,竞相发展机电一体化,高精、高效、高自动化先进机床,以加速工业和国民经济的发展。数控机床在20世纪80年代以后加速发展,早已成为四大国际机床展上各国机床制造商竞相展示先进技术、争夺用户、扩大市场的焦点。中国加入WTO后,正式参与世界市场激烈竞争,今后如何加强机床工业实力、加速数控机床产业发展,实是紧迫而又艰巨的任务。

“数控机床”是数控技术专业的必修课,对于培养该专业学生掌握数控技术的核心技术有极其重要的作用。本书内容图文并茂、实例丰富、着重于应用,理论部分突出简明性、系统性、实用性和先进性。本书以数控机床基本部件的工作原理和应用知识为基础,以数控车床、数控铣床、加工中心、电加工机床为典型数控机床,对其结构、应用等进行讲述,对数控机床的电气部分、日常维护、调试验收等内容从应用的角度进行了讲述,同时还介绍了三坐标测量仪、激光干涉仪、球杆仪的组成、工作原理及使用方法。

本书主要用做数控专业的课程教材,也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

本书编写组成员为北方工业大学机电工程学院的罗学科、谢富春、王莉、刘瑛,全书由罗学科统稿。

在本书的编写过程中,得到了中央广播电视大学李西平、宁晨、田毓老师的关心和大力支持,为本书的编写提供了许多宝贵意见,在此一并致谢。

数控技术在不断的发展之中,希望广大的使用者将该书的意见和信息反馈给我们,以便充实、提高。由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有错误和疏漏,恳请读者批评指正。

编 者

2007年10月

目 录

1 数控机床简介	(1)
1.1 概 述	(1)
1.1.1 数控机床的基本概念	(2)
1.1.2 数控机床的基本工作原理	(2)
1.1.3 数控机床的基本组成	(3)
1.2 数控机床的分类	(5)
1.2.1 按工艺用途分类	(5)
1.2.2 按功能水平分类	(5)
1.2.3 按伺服系统分类	(6)
1.2.4 按运动轨迹分类	(7)
1.3 数控机床的发展历程和发展方向	(8)
1.3.1 数控机床的发展历程	(8)
1.3.2 数控机床的发展方向	(9)
练习题	(12)
模拟自测题	(12)
2 数控机床的机械结构	(14)
2.1 数控机床机械结构的组成及特点	(14)
2.1.1 数控机床机械结构的主要组成	(15)
2.1.2 数控机床机械结构的主要特点	(16)
2.2 数控机床的主传动系统	(20)
2.2.1 数控机床主传动系统的特点	(20)
2.2.2 数控机床主传动系统的变速方式	(21)
2.2.3 数控机床的主轴部件	(22)

2 数 控 机 床

2.2.4 高速主轴单元	(24)
2.3 数控机床的进给传动系统	(25)
2.3.1 数控机床对进给系统的要求	(25)
2.3.2 传动齿轮副	(27)
2.3.3 滚珠丝杠螺母副	(28)
2.4 数控机床的导轨	(32)
2.4.1 数控机床对导轨的要求	(32)
2.4.2 数控机床导轨的类型与特点	(33)
2.5 数控机床的工作台	(35)
2.5.1 工作台	(35)
2.5.2 回转工作台	(35)
2.5.3 摆动工作台	(36)
2.5.4 直接驱动的回转工作台	(37)
2.6 数控机床的位置检测装置	(38)
2.6.1 检测装置的分类	(38)
2.6.2 光栅	(39)
2.6.3 旋转变压器	(41)
2.7 数控机床的自动换刀装置	(42)
2.7.1 刀库	(42)
2.7.2 数控车床的自动换刀装置	(46)
2.7.3 加工中心的自动换刀装置及刀库类型	(48)
2.8 数控机床的辅助装置	(50)
2.8.1 液压和气压装置	(50)
2.8.2 自动排屑装置	(52)
2.8.3 工件自动交换系统	(54)
练习题	(56)
模拟自测题	(56)

3 数控机床电气控制系统

(59)

3.1 概 述	(59)
3.1.1 数控系统的组成	(60)
3.1.2 数控系统的数据流	(61)
3.2 数控系统的功能和特点	(63)
3.2.1 数控系统的特点	(63)

3.2.2	数控系统的功能	(64)
3.2.3	数控系统的插补原理	(67)
3.2.4	典型数控系统	(68)
3.3	数控机床上的可编程控制器	(70)
3.3.1	数控机床 PLC 的控制对象	(70)
3.3.2	数控机床 PLC 的形式	(72)
3.4	伺服系统	(73)
3.4.1	数控机床对伺服系统的要求	(73)
3.4.2	伺服电机的特性与选型	(76)
	练习题	(84)
	模拟自测题	(84)
4	典型数控机床	(86)
4.1	数控车床	(87)
4.1.1	数控车床概述	(87)
4.1.2	数控车床的组成及布局	(90)
4.1.3	CJK6240 型数控车床的主要技术参数	(92)
4.2	数控铣床	(93)
4.2.1	数控铣床概述	(93)
4.2.2	数控铣床的组成及布局	(96)
4.2.3	XK5025 型数控铣床的主要技术参数	(99)
4.3	加工中心	(101)
4.3.1	加工中心概述	(101)
4.3.2	加工中心的组成及布局	(105)
4.3.3	FV-800 型加工中心的主要技术参数	(106)
4.4	并联机床	(108)
4.4.1	并联机床概述	(108)
4.4.2	并联机床的实例	(111)
4.5	数控电加工机床	(112)
4.5.1	概述	(112)
4.5.2	数控电火花加工机床	(114)
4.5.3	数控电火花线切割机床	(120)
	练习题	(125)
	模拟自测题	(126)

5 数控机床的性能测试与评价方法	(128)
5.1 数控机床的主要性能指标与验收	(128)
5.1.1 数控机床的精度检验	(129)
5.1.2 数控机床的性能检验	(133)
5.2 数控机床的生产管理	(134)
5.2.1 数控机床的日常管理	(134)
5.2.2 数控机床使用过程中的经济分析	(135)
5.3 激光干涉仪	(138)
5.3.1 激光干涉仪的工作原理	(138)
5.3.2 ML10 激光干涉仪的组成	(140)
5.3.3 典型的测量实例	(144)
5.4 三坐标测量机	(146)
5.4.1 三坐标测量机的原理	(146)
5.4.2 三坐标测量机的组成	(146)
5.4.3 三坐标测量机的类型	(148)
5.4.4 三坐标测量机的主机	(149)
5.4.5 三坐标测量机的控制系统	(151)
5.4.6 三坐标测量机的测头	(152)
5.4.7 三坐标测量机的测头附件	(155)
5.4.8 三坐标测量机的测量软件	(156)
5.5 球杆仪	(158)
5.5.1 球杆仪的工作原理	(159)
5.5.2 球杆仪的测量原理	(159)
练习题	(161)
模拟自测题	(163)
6 数控机床的选用与维护	(165)
6.1 数控机床的选用	(165)
6.2 数控机床的安装与调试	(168)
6.2.1 数控机床的安装	(168)
6.2.2 数控机床的调试	(169)
6.3 数控机床的使用和日常维护	(171)

6.3.1 数控机床的基本使用条件	(171)
6.3.2 数控机床的日常维护和保养	(172)
6.4 数控机床的故障诊断	(176)
6.4.1 数控机床的故障分类	(176)
6.4.2 数控机床故障诊断的一般步骤和常用方法	(178)
练习题	(181)
模拟自测题	(181)
参考文献	(182)

1 数控机床简介

学习目标

掌握数控机床的基本概念和基本组成。

掌握数控机床的基本工作原理。

掌握数控机床的分类形式。

了解数控机床的优点。

了解数控机床的产生和发展方向。

内容提要

本章概括阐述数控机床的基本概念、基本组成、基本工作原理、分类以及发展过程和趋势。

1.1 概 述

数控机床是因复杂轮廓的航空零件加工和成型模具制造的需要而研制的。第一台数控机床是由美国麻省理工学院和 Parsons 公司合作于 1952 年研制成功的,但这台数控机床仅是一台实验性样机。直到 1954 年 11 月,第一台工业用的数控机床才生产出来。此后,世界上其他一些国家也相继开始研制和应用数控机床。我国于 1958 年开始数控机床的研制工作。数控机床不断集成机械制造技术、微电子技术、计算机技术、成组技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术等最新成果而迅速发展和广泛应用。目前,数控机床已成为现代制造业的主流设备,是体现现代机床技术水平、现代机械制造业工艺水平的重要标志。

数控机床解决了在普通机床加工中存在的一系列缺点和不足,为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。数控机床加工零件的适应性强、灵活性好,加工出来的产品精度高、质量稳定。数控机床的使用不但能提高生产效率,经济效益明显,有利于生产管理的现代化,而且能改善工人的劳动条件,减轻工人的劳动强度。

1.1.1 数控机床的基本概念

1. 数字控制

数字控制 (Numerical Control, NC) 是 20 世纪中期发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信号进行控制的一种方法,简称数控。

2. 数控机床

数控机床 (Numerical Control Machine) 是指采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床,或者说是装备了数控系统的机床。

3. 数控系统

数控系统 (Numerical Control System) 是指一种自动输入载体上事先给定的数字量 (零件加工程序),并将其译码,再进行必要的信息处理和运算后,控制机床动作和加工零件的控制系统。

最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的专用硬件数控系统。随着微型计算机的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控系统。

4. 计算机数控系统

计算机数控系统 (Computer Numerical Control, CNC) 是由计算机承担数控中的命令发生器和控制器的数控系统。

由于计算机可完全由软件来确定数字信息的处理过程,从而具有真正的“柔性”,并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高。

5. 数控编程

数控机床是通过程序来控制的。从零件图样到将加工信息用规定代码,按一定的格式编写成零件加工程序单和制作控制介质的全部过程,称为数控加工的程序编制,简称数控编程。

1.1.2 数控机床的基本工作原理

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1.1 所示,主要内容如下。

(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;或用自动编程软件进行 CAD/CAM 工作,直接生成零件的加工程序文件。

- (3) 程序的输入或输出：手工编写的程序通过数控机床的操作面板输入；软件生成的程序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) 将输入到数控单元的加工程序进行试运行、刀具路径模拟等。
- (5) 通过对机床的正确操作，运行程序，完成零件的加工。

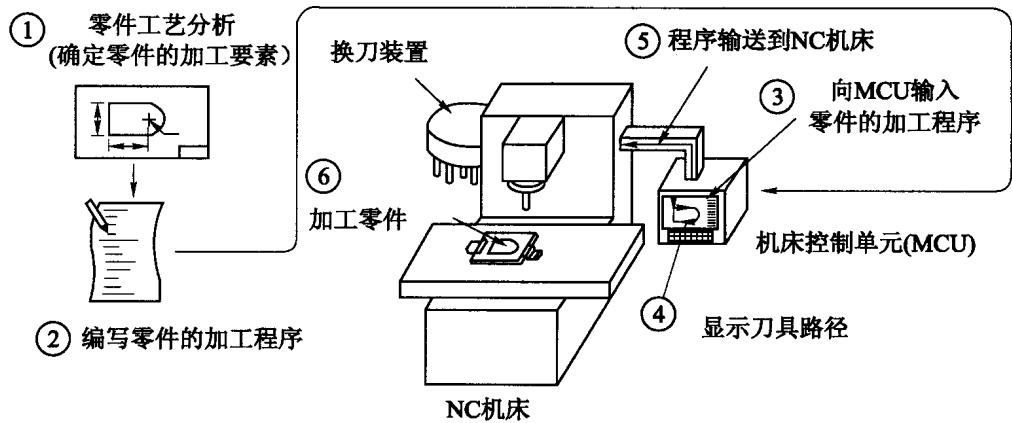


图 1.1 数控加工的过程

要在数控机床上完成零件加工，首先应把加工零件所需的所有机床动作的几何信息和工艺信息以程序的形式记录到某种存储介质上，由输入部分送入数控装置中，数控装置对程序进行处理和运算，发出控制信号指挥机床的伺服系统驱动机床动作，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作，从而加工出零件的全部轮廓。当改变加工零件时，在数控机床上只要改变加工程序，就可继续加工新零件。

1.1.3 数控机床的基本组成

数控机床一般由控制介质、数控系统、伺服系统、机床本体、反馈装置和各类辅助装置组成，如图 1.2 所示。

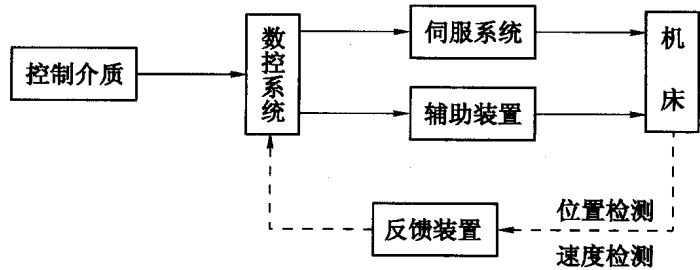


图 1.2 数控机床的基本组成

1. 控制介质

控制介质是将零件加工信息传送到数控装置中去的信息载体，是人与数控机床之间联系的中间媒介物质，反映了数控加工中的全部信息。数控加工程序要制备成控制介质，利用数控系统的输入装置输入到数控装置。控制介质有多种形式，它随着数控系统类型的不同而不同，常见的介质有穿孔纸带、穿孔卡、磁盘、磁带等；常见的输入装置有光电纸带阅读机、磁带录音机、磁盘驱动器等。数控加工程序也可以利用键盘以手动的方式输入数控装置。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写好数控加工程序，然后数控装置可以从串行通信接口接受程序，也可从网络通过调制解调器（Modem）接受程序。

2. 数控系统

数控系统是机床实现自动加工的核心，是整个数控机床的灵魂所在，主要由输入装置、监视器、主控制系统、可编程控制器、各种输入/输出接口等组成。主控制系统主要由 CPU、存储器、控制器等组成，是数控系统的核心，一般称它为数控装置（CNC 装置）。数控系统的主要控制对象是位置、角度、速度等机械量以及温度、压力、流量等物理量，其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中，主控制器内的插补模块就是根据所读入的零件程序，通过译码、编译等处理后，进行相应的刀具轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号的比较，从而控制机床各坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常由可编程控制器 PLC 来完成，它根据机床加工过程中各个动作要求进行协调，按各检测信号进行逻辑判别，从而控制机床各个部件有条不紊地按顺序工作。

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节，主要由伺服电机、伺服驱动控制器组成。伺服电机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令，再经过驱动系统的功率放大后，驱动电机运转，通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

4. 反馈装置

该装置由测量部件和响应的测量电路组成，其作用是检测速度和位移，并将信息反馈给数控装置，构成闭环控制系统。没有测量反馈装置的系统称为开环控制系统。

常用的测量部件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。

5. 机床本体

机床本体是数控机床的机械结构实体，是用于完成各种切割加工的机械部分，包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。机床是被控制的对象，其运动的位移和速度以及各种开关量是被控制的。数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面较普通机床都发生了很大变化。

6. 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置 ATC（Automatic Tool Changer）、自动交换工作台机构 APC（Automatic Pallet Changer）、工件夹紧放松机构、液压控制系统、润滑装置、切削液装

置、排屑装置、过载和保护装置等。

1.2 数控机床的分类

机床数控系统的种类很多,为了便于了解和研究,可从不同的角度对其进行分类。

1.2.1 按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

这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。切削类数控机床发展最早,目前种类繁多,功能差异也较大。

2. 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床是指采用挤、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、数控旋压机等。这类机床起步晚,但目前发展很快。

3. 数控特种加工机床

如数控激光切割机床、数控线切割机床、数控电火花加工、火焰切割机等。

4. 其他类型的数控机床

如三坐标测量仪、数控对刀仪、数控绘图仪等。

1.2.2 按功能水平分类

数控机床按所使用的数控系统的配置及功能分,可分为高级型、普通型和经济型数控机床。对每一种数控机床的分类主要看其技术参数、功能指标和关键部件的功能水平。数控机床的分类见表 1.1。

表 1.1 数控机床的分类

类 型	主控机	进给	联动轴数	进给分辨率	进给速度/ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	自动化程度
高级型	32 位微处理器	交流伺服驱动	5 轴以上	$0.1 \mu\text{m}$	≥ 24	具有通信、联网、 监控管理功能
普通型	16 位或 32 位微处理器	交流或直流伺服驱动	4 轴及以下	$1 \mu\text{m}$	≤ 24	具有人机对话接口
经济型	单板机、单片机	步进电机	3 轴及以下	$10 \mu\text{m}$	6 ~ 8	功能较简单

1.2.3 按伺服系统分类

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床的进给伺服驱动是开环的，即没有检测反馈装置，其驱动电机一般为步进电机。这种控制方式的数控机床的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜，但由于机械传动的误差不经过反馈校正，所以位移精度不高。

2. 闭环控制数控机床

这类机床带有反馈装置。闭环控制数控机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的，其驱动电机可采用直流或交流两种伺服电动机，并需要配置位置反馈和速度反馈，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，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，进而带动位移部件以消除位移误差。闭环控制数控机床按位置反馈装置的安装部位和所使用的反馈装置的不同，又可分为全闭环控制数控机床和半闭环控制数控机床。

(1) 全闭环控制数控机床

如图 1.3 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机到机床床鞍整个机械传动链中的传动误差，从而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、刚性和间隙均为非线性，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又非常大，这给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、数控精密磨床等。

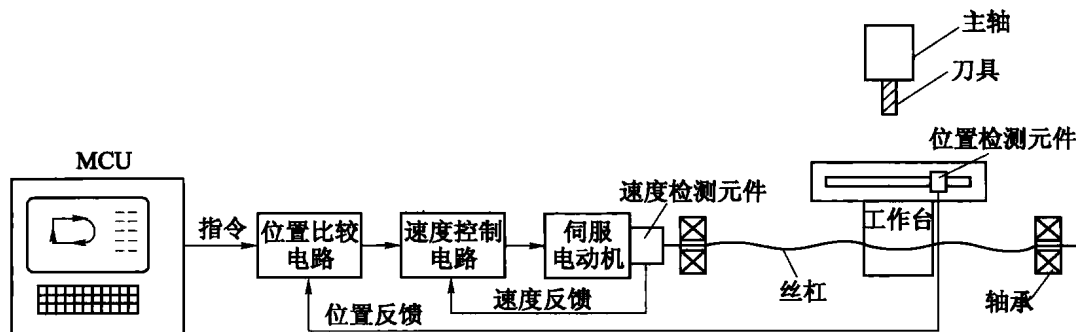


图 1.3 全闭环控制系统框图

(2) 半闭环控制数控机床

如图 1.4 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），直接安装在伺服电机或丝杠端部。由于大部分机械传动环节都包括在系统闭环环路内，因此可获得较稳