

高职高专机电专业规划教材



数控加工编程技术

●主编 苗志毅 刘宏伟



河南科学技术出版社

高职高专机电专业规划教材

数控加工编程技术

主 编 苗志毅 刘宏伟

河南科学技术出版社

·郑州·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工编程技术/苗志毅, 刘宏伟主编. —郑州: 河南科学技术出版社, 2006. 9

(高职高专机电专业规划教材)

ISBN 7-5349-3468-0

I. 数… II. ①苗…②刘… III. 数控机床-程序设计-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 104515 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028

责任编辑: 董 涛

责任校对: 柯 姣

封面设计: 李 冉

版式设计: 栾亚平

印 刷: 河南第一新华印刷厂

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185mm×260mm 印张: 18.5 字数: 400 千字

版 次: 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1—3 500

定 价: 29.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系。

《高职高专机电专业规划教材》编审委员会名单

主任 李 华

副主任 (按姓氏笔画排序)

王林鸿 王朝庄 田 坤 苏海青 李学雷
杨星钊 张 勤 郝小会 侯继红 顾文明
陶 昆 彭志宏 薛培军

委 员 (按姓氏笔画排序)

王玉中 王丽霞 王林鸿 王朝庄 田 坤
史艳红 宁玉伟 刘好增 刘静香 苏海青
李 华 李传军 李学雷 杨星钊 肖 珑
吴振亭 张 勤 张洪峰 张淑贤 苗志毅
郝小会 侯继红 顾文明 陶 昆 常家东
康宝来 梁南丁 彭志宏 熊运昌 薛培军

序

高等职业技术教育是我国高等教育体系的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始,伴随我国高等教育的快速发展,高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内,我国高等职业技术教育的规模,无论是在校生数量还是院校的数量,都接近于占高等教育总规模的半壁江山。自 2002 年 10 月以后,教育部连续召开了三次全国高等职业教育产学研合作研讨会,明确指出高等职业技术教育要“以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的发展道路”,为高等职业技术教育的发展指明了方向。2005 年 11 月,全国职业教育工作会议召开,会议提出要大力发展中国特色的职业教育,国务院印发了《关于大力发展职业教育的决定》。根据会议的精神,到 2010 年,我国高等职业教育招生规模要占高等教育招生规模的一半以上。

高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路,调整经济结构和转变增长方式,提供高素质技能型人才的任 务。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业急需高素质高技能的专业人才。面对这一形势,高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要,不断更新教学内容,改进教学方法;大力推进精品专业、精品课程和教材建设;高度重视实践和实训环节教学;与企业紧密联系,加强学生的生产实习和社会实践,取得了许多成功的经验。近几年来,河南省的高职高专院校抓住机遇,主动面向社会,服务经济建设与社会发展,积极推进教学改革,加强教学基本建设,探索新的人才培养模式,取得了许多在全国具有重要影响的高等职业技术教育教学成果,许多高职高专院校在全国具有较高的知名度。

但是高等职业技术教育的发展并不平衡。由于发展速度快,一部分新创办的院校对高等职业技术教育的本质规律仍在认识过程中,对专业建设、教学内容改革还在逐步探索之中。因此,总结成功的经验,把高等职业技术教育发展的成果以教材的形式固化,在更多的院校得以推广,无疑是一件非常有意义的事情。服务于地方经济建设,人才培养模式多样化是高等职业技术教育的特征之一,编写符合地方人才培养特色要求的高职高专教材也是高等职业技术教育发展的需要。教育部在《关于申报“普通高等教育‘十一·五’国家级教材规划”选题的通知》中也明确提出了教材规划制定的四个原则,即:(1)坚持分类指导的原则。编写适应不同层次、不同类型院校的教材。(2)坚持多样性的原则。鼓励编写具有不同风格和特色的教材。(3)坚持新编与修订

相结合的原则。鼓励根据学科的发展、社会对人才的需要和人才培养的实践编写新教材。(4) 坚持突出重点的原则。基础课、专业基础课是提高质量的关键,应当加强教材建设。根据这一精神,河南科学技术出版社抓住这一时机,组织编写高职高专机电类教材,对于高等职业技术教育将起到展示成果和实力,推动教学改革与教学基本建设,促进发展的重要作用。

这一系列教材共 16 种,涵盖了机电类专业的专业基础课和主干课,在编写过程中,贯彻了高等职业技术人才培养的基本要求,对传统的课程体系进行了有效的整合,突出了技能培养和理论知识的应用能力的培养,精简了理论内容;对专业技术内容进行了及时的更新,反映了技术发展的水平,同时结合行业的特色,缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离,具有鲜明的高等职业技术教育人才培养特色。参加系列教材编写的各位作者都是长期从事高职高专教学工作的教师,在教学实践中积累了丰富的经验,对高等职业技术人才的培养和机电类专业的课程体系、教学内容的改革具有深刻的理解,形成了自己的特色。这些经验和成果必定能在教材中得到反映。我们期待着有特色、高质量的高职高专机电类系列教材的诞生。相信经过不断的完善,这一系列教材将能够成为高职高专教材的精品。

李 华

2006 年 1 月 6 日

前 言

数控技术是制造业实现自动化、集成化的基础，是提高产品质量和劳动生产率的重要手段，是实现工业、国防现代化的重要途径，数控技术的发展水平是体现国家综合国力的重要标志。数控技术已成为我国制造业的关键技术，尤其是加入 WTO 之后，我国经济全面与国际接轨，中国正变成世界制造中心，大批跨国企业抢滩登陆，国内企业更是背水一战，积极参与国际竞争，制造业正进入一个空前蓬勃发展的新时期，对数控技术的需求更是空前高涨。根据教育部等部门的调查研究和分析预测，我国近几年数控技术应用型人才大量短缺。因此，培养适合制造业发展需求的大量数控技术应用型人才已成为高职高专教育的紧迫任务。本书正是为了适应数控技术应用型人才的培养要求而编写的。

本书由苗志毅任第一主编，刘宏伟任第二主编。第 1 章到第 3 章由南阳理工学院刘宏伟编写，第 4 章、第 5 章由鹤壁职业技术学院的朱海勇、李震、崔国英编写，第 6 章由许昌职业技术学院的李爱敏编写，第 9 章由郑州铁路职业技术学院的魏保立编写，第 7 章、第 8 章、第 10 章、第 11 章由河南职业技术学院的苗志毅编写。全书由苗志毅统稿。

全书从培养技术应用型人才的目的出发，注重实用性，强调理论联系实际。本书把数控加工工艺与编程紧密结合起来，编程实例丰富，并配有详细的程序说明，使读者能清晰地掌握编程的思路，便于灵活应用，举一反三。本书在编写过程中参考了大量同行的教材、资料与文献，在此对作者表示衷心的感谢。

本书可作为高职、高专、成人大专及本科院校的二级职业技术学院和民办高校数控技术应用、机电一体化、机械制造自动化等专业的教学用书，也可供有关专业的师生和从事相关工作的科技人员参考。

由于编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 5 月

目 录

第1章 概述	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.2 数控机床的组成及工作原理	2
1.3 数控机床的分类	4
1.4 数控机床的特点和应用范围	8
1.5 数控系统的主要功能	10
思考与练习	11
第2章 数控编程中的数学处理	13
2.1 数控编程中数值计算的内容	13
2.2 由直线和圆弧组成的零件轮廓的基点计算	14
2.3 直线逼近非圆曲线的节点计算	15
2.4 圆弧逼近非圆曲线的节点计算	17
2.5 列表曲线的数学处理方法简介	18
2.6 空间曲面的数学处理方法简介	19
思考与练习	20
第3章 数控编程基础	21
3.1 概述	21
3.2 数控编程基础	23
3.3 数控加工程序格式与标准数控代码	26
思考与练习	39
第4章 数控车床加工工艺	41
4.1 数控车削加工工艺概述	41
4.2 数控车削工具系统	43
4.3 数控车削加工工艺	47
4.4 典型零件的加工工艺分析	59

思考与练习	68
第 5 章 数控车床编程 (FANUC 0i)	69
5.1 FANUC 0i 车床程序编制	69
5.2 数控车床编程综合实例 (FANUC 0i)	90
思考与练习	99
第 6 章 数控车床编程 (SINUMERIK 802D 系统)	100
6.1 SINUMERIK 802D 系统 NC 程序基本组成	100
6.2 SINUMERIK 802D 系统编程指令	101
6.3 SINUMERIK 802D 数控车床编程实例	135
思考与练习	146
第 7 章 数控铣削加工工艺	148
7.1 数控铣削加工工艺概述	148
7.2 数控铣床的工具系统	150
7.3 数控铣削加工工艺分析	153
7.4 典型零件的铣削加工工艺分析	161
思考与练习	164
第 8 章 数控铣床程序编制 (FANUC 0i MA)	166
8.1 FANUC 0i 铣床程序编制	166
8.2 数控铣床编程实例	191
思考与练习	200
第 9 章 数控铣床程序编制 (SINUMERIK 802D)	202
9.1 SINUMERIK 802D 铣床程序编制	202
9.2 数控铣床编程实例	238
思考与练习	250
第 10 章 加工中心编程实例	255
10.1 加工中心的主要特点及功能	255
10.2 加工中心编程实例	258
思考与练习	269
第 11 章 用户宏程序	270
11.1 概述	270
11.2 变量的运算和控制指令	270



11.3 宏程序调用	275
11.4 宏程序应用实例	277
思考与练习	283
参考文献	284

第 1 章

概 述

1.1 数控机床的产生与发展

数字控制(Numerical Control, NC)是用数字化信号进行控制的一种方法。数控技术是与机床的自动控制密切结合而发展起来的,如今数控技术已广泛应用于化工生产、石油精炼、造纸、钢铁生产等工艺流程控制及其他各个方面。

近代大工业生产中,机械加工工艺过程的自动化是提高产品质量和生产率的重要措施。许多企业采用凸轮、靠模及电气元器件控制的自动机床、组合机床和专用生产线进行批量生产,获得了很好的效益。但在机械制造业中,单件及小批量生产的零件约占机械加工零件的 80%,而且随着科学技术和社会生产的迅速发展,零件形状复杂、改型频繁、精度要求提高的情况日渐突出,使用那些“刚性”自动化设备来生产就显得很不合理,甚至不可实现。数控机床的诞生,较好地解决了精密、复杂、多品种、单件或小批量机械零件加工自动化的问题。数控机床(Numerical Control Machine Tools)是采用了数控技术,或者说是装备了数控系统的机床,是一种技术密集度和自动化程度都比较高的机电一体化加工装备。

1947年,美国的Parsons公司为了提高生产飞机零件的靠模和机翼检查样板的精度及效率,提出了用穿孔卡来控制机床的设想,后与MIT(麻省理工学院)合作,于1952年研制出了世界上第一台试验性的三坐标数控立铣床,控制装置由真空管组成。1954年美国本迪克斯公司生产出了第一台工业用的数控机床,1955年类似产品投产了100台。这些数控机床在复杂曲面零件加工中发挥了很大作用。

半个世纪以来,随着自动控制技术、微电子技术、计算机技术、精密测量技术及机械制造技术的迅速发展,数控机床也得到了快速发展,产品不断更新换代,品种不断增多。就数控装置而言,大致经历了以下几个发展过程:第一代数控装置由真空管组成,第二代采用晶体管和印刷电路,第三代采用小规模集成电路,并出现了直接数控(Direct Numerical Control, DNC)控制方式,第四代采用大规模集成电路及小型通用计算机控制,被称为计算机数控(Computerized Numerical Control, CNC),第五代采用微型计算机或微处理机控制(Microcomputer Numerical Control, MNC)。现在,大多采用多个微处理器组成的微型计算机作为数控装置的核心,数控装置的各项功能被分

配到各个微处理器，在主微处理器的统一控制和管理下，并行、协调地工作，使数控机床向高精度、高速度方向发展。

我国于1958年开始研制数控机床，“七五”期间取得了长足的发展。此后，采取自主开发中、高档数控系统与购买国外先进数控系统相结合的方针，加速了我国数控机床生产的发展和水平的提高。数控机床产品已覆盖了车、铣、镗、钻、磨、齿轮加工、线切割加工、电火花加工等各种加工领域，另外各种机电产品或设备如加工中心、弯管机、火焰切割机、三坐标测量机、工业机器人、绘图机以及激光快速成型机等均采用数控技术进行控制，数控机床产品已达300多种。

1.2 数控机床的组成及工作原理

数控机床是采用数控技术对工作台运动和切削加工过程进行控制的机床，是典型的机电一体化产品，是数控技术的最典型应用。

1.2.1 数控机床的组成

典型数控机床的组成如图1.1所示。由图可知，数控机床主要由零件加工程序、输入装置、数控装置、伺服驱动装置、辅助控制装置、检测反馈装置、机床本体等七部分组成，其中数控装置、伺服驱动装置、辅助控制装置、检测反馈装置又合称为数控系统。

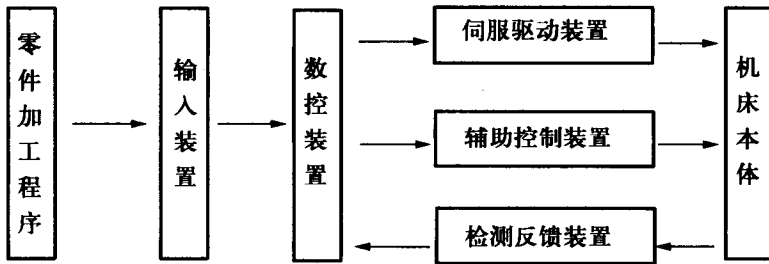


图 1.1 数控机床的组成

实际上，零件加工程序并非数控机床的物理组成部分，但从逻辑上讲，数控机床加工过程必须按数控加工程序的规定进行，数控加工程序是数控机床加工的一个重要环节，因此常将数控加工程序视为数控机床的一个组成部分。

1. 输入装置 数控机床的零件加工程序是通过程序输入装置输入数控机床的。输入装置与输入方法有关。

(1) 控制介质输入。所谓控制介质就是零件加工程序的存储介质即程序载体。通常程序载体有穿孔纸带、磁带、磁盘、光盘等，与之相应的输入装置为光电纸带阅读机、录音机、磁盘驱动器、光驱等。早期的数控机床常用穿孔纸带存储加工程序，即在特制的纸带上穿孔，孔的不同位置的组合构成不同的数字或数控代码。通过光电纸带阅读机将纸带上的零件加工程序转换为相应的二进制代码输入数控装置中的存储器。虽然现在很多数控机床上仍附有纸带阅读机和磁带录音机，但由于微型计算机的普



遍使用，穿孔纸带和磁带控制介质的应用已越来越少。

(2) 手工输入。利用键盘输入控制机床运动和刀具运动的指令。具体说有三种情况：一是手动数据输入（Manual Data Input, MDI），通过数控系统操作面板上的相应按键，把数控程序指令逐条输入存储器中。这种方法一般只适用于一些较为简短的程序。另一种是在数控显示的程序编辑界面，通过数控系统操作面板上的相应按键，输入程序指令，存于内存中。后面有关章节中的手工编程主要就是采用这种输入方法。用这种方法还可以调出已存入的数控程序并对其进行编辑修改。第三种方法是，在具有对话功能的数控装置上，根据软件的逻辑格式和显示屏上的对话提示，选择不同的菜单，输入有关的数字和信息后，可自动生成控制程序存入内存。这种方法虽然是手工输入，但却是自动编程。图形交互自动编程是现在广泛采用的另一种自动编程方式：利用CAD软件的图形编辑功能将零件的几何图形绘制到计算机上，形成零件的图形文件，然后调用数控编程模块，采用人机交互的方式在计算机屏幕上指定被加工的部位，通过键盘手工输入相应的加工参数后，计算机自动编制出数控加工程序。

此外，还可通过对操作面板上的一些控制开关、按钮（例如数控车床上的速度倍率开关、手动进给按钮）等进行手动操作，来实现对数控机床的某些控制。

(3) 通信方式输入。即从自动编程机、计算机或网络上，将编制好的数控加工程序通过通信接口直接输入数控装置的存储器。

2. 数控装置 数控装置是数控机床的核心部件，由硬件和软件两大部分组成。硬件包括通用 I/O 接口、CPU、存储器、可编程控制器（Programmable Logic Controller, PLC）及数字通信接口等。采用单微处理器的数控装置硬件结构如图 1.2 所示。软件包括管理软件和控制软件。管理软件用来管理零件程序的输入、输出，显示零件程序、刀具位置、系统参数及报警，诊断数控装置是否正常并检查故障原因。控制软件则完

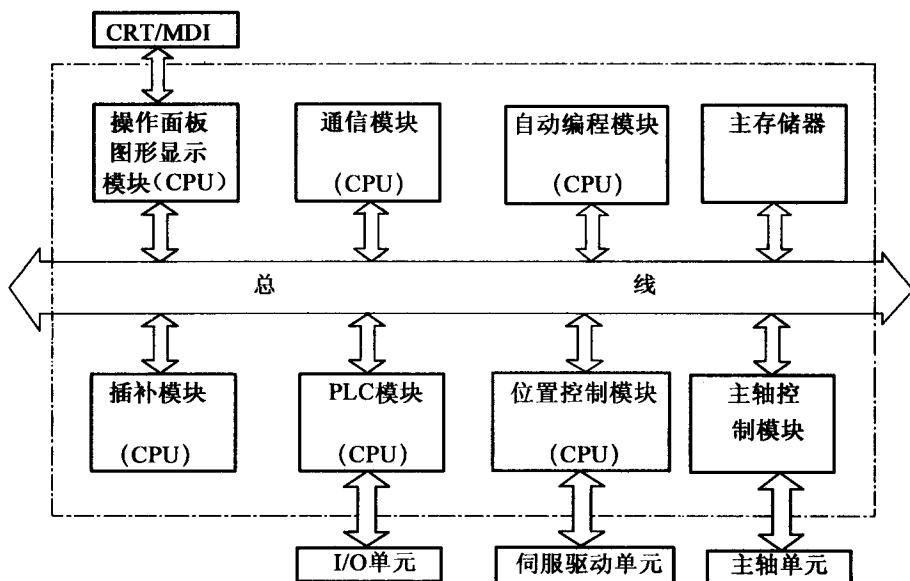


图 1.2 FANUC 15 数控装置硬件结构

成译码、插补运算、刀具补偿、位置控制等。

数控装置的主要功能是读入数值并存储、对程序进行译码及数据处理、插补运算、位置控制和 I/O 处理，产生控制指令控制机床各部件协调运动，按确定的顺序和设定的条件完成零件加工程序。

辅助控制装置是介于数控装置和机床的机械与液压部件之间的各种开关执行电器的控制装置，主要实现各种辅助功能控制，如机床的起停、换刀、冷却液开关等，目前多由数控装置内置的可编程控制器来实现。

3. 伺服驱动装置 伺服驱动系统由驱动装置，执行机构及位置、速度检测反馈装置三个部分组成。伺服电机是伺服系统的执行机构，驱动装置则是伺服电机的动力源。来自数控装置的控制指令脉冲经伺服驱动装置进行功率放大，驱动伺服电机，进而通过机械传动装置带动机床主轴、工作台或刀架等机床运动部件运动。该装置的输入为电信号，输出为机床的位移、速度和力。

4. 机床本体 机床本体是实现切削加工的主体，对加工过程起支承作用。数控机床的精度、精度保持性、刚性、抗震性、低速运动平稳性、热稳定性等主要性能均取决于机床本体。数控机床的机械部件包括主运动部件、进给运动执行部件（如工作台、拖板及其传动部件）以及床身、立柱等支承部件，此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库、刀具交换装置等部件。数控机床的机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构要求更为简单，在精度、刚度、抗震性等方面要求更高，而且其传动和变速系统要便于实现自动控制。

1.2.2 数控机床的工作原理

在数控机床上加工零件时，首先根据零件图样的要求，结合所采用的数控机床的功能、性能和特点，确定合理的加工工艺，编出相应的数控加工程序，并采用适当的方式将程序输入数控装置。在数控机床加工过程中，数控装置对数控加工程序进行编译、运算和处理，输出坐标控制指令到伺服驱动系统，输出顺序逻辑控制指令到 PLC，通过伺服驱动系统和 PLC 驱动机床刀架或工作台按照数控加工程序规定的轨迹和工艺参数运动，从而加工出符合图纸要求的零件。

1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，分类方法不一。根据数控机床的功能和组成，可以从以下几个不同的角度进行分类。

1.3.1 按数控机床的加工工艺分类

1. 普通数控机床 根据数控机床的加工工艺不同，并与传统机床的称谓相对应，可将数控机床分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床等。

2. 加工中心 将多种加工工艺内容集中在同一台机床上实现，并具有刀库和自动换刀装置，可在工件一次装卡后连续自动地完成铣削、钻削、镗削、铰孔、扩孔、攻



丝等多道工序的加工, 这样的数控机床叫加工中心 (Machining Center, MC)。常见的加工中心有车削加工中心和钻铣镗加工中心。

3. 特种加工机床 特种加工机床有数控电火花、数控线切割、激光快速成型机、数控等离子切割、火焰切割等。

4. 其他 还有采用数控技术的其他设备, 如三坐标测量机、工业机器人、数控绘图仪等。

1.3.2 按控制系统的功能特点分类

按数控机床运动轨迹的控制方式可将数控机床分成点位控制、点位直线控制和轮廓控制三类。

1. 点位控制 (Point to Point Control, PTP) 点位控制的数控机床的特点是, 只要求控制刀具相对于工件在机床加工平面内从某一加工点运动到另一加工点的精确坐标位置, 而对两点之间的运动轨迹原则上不加以控制, 且在运动过程中不作任何加工, 如图 1.3 所示。典型的点位控制数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。这类机床无需插补器, 其基本指标是定位精度、定位时间和移动速度, 对运动轨迹无精度要求。为了精确定位和提高定位速度, 运动开始时, 移动部件首先高速运动, 在到达定位终点前减速以便慢速接近定位点并最终准确定位。

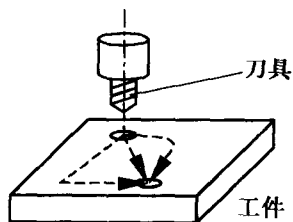


图 1.3 点位控制示意图

2. 点位直线控制 (Straight Line Control or Paraxial Control) 点位直线控制的数控机床又简称直线控制的数控机床。这类数控机床不仅可以控制刀具或工作台由一个位置点到另一个位置点的精确坐标位置, 还可以控制它们以给定的速度沿着平行于某一坐标轴方向作直线运动并在移动的过程中进行加工, 如图 1.4 所示。这类数控系统也可控制刀具或工作台两个坐标同时以相同的速度运动, 从而加工出与坐标轴成 45° 的斜线。典型的点位直线控制的数控机床如简单的具有外圆、端面及 45° 锥面加工的数控车床。

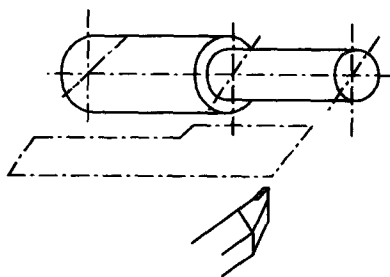


图 1.4 点位直线控制切削加工

3. 轮廓控制 (Contour Control) 轮廓控制也称连续控制。这类机床的特点是, 不仅要求刀具相对于工件在机床加工空间内从一点运动到另一点的精确坐标位置, 而且要求对两点之间的运动轨迹及轨迹上每一点的运动速度进行精确控制, 且能够边移动边加工, 如图 1.5 所示。典型的连续控制数控机床有数控车床、数控铣

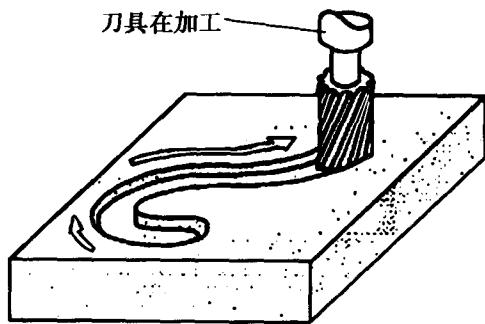


图 1.5 轮廓控制数控机床的加工示意图

床、加工中心等。这类机床用于加工二维平面轮廓或三维空间轮廓。这类机床的数控系统带有插补器，以精确实现各种曲线或曲面。能进行连续控制的数控机床，一般也能进行点位控制和点位直线控制。

1.3.3 按伺服系统的功能特点分类

按所采用的伺服系统控制方式的不同，可将数控机床分成开环、闭环、半闭环控制三类。

1. 开环控制数控机床 开环控制系统是指不带位置反馈装置的数控机床，其伺服系统由步进驱动和步进电机组成，如图 1.6 所示。机床的工作精度取决于步进电机的传动精度及变速机构、丝杠等机械传动部件的精度。

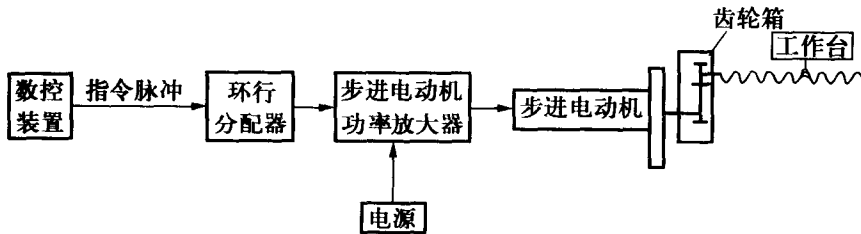


图 1.6 开环控制数控机床示意图

开环控制的数控机床具有结构简单、系统稳定、容易调试、成本低等优点。但是系统对移动部件的误差没有补偿和校正，所以精度低。部件的移动速度和位移量由输入脉冲的频率和脉冲数决定。这种控制方式一般适用于经济型数控机床和旧机床数控化改造。

2. 闭环控制数控机床 闭环控制数控机床有位置和速度的检测装置，并且直线位移检测装置直接装在机床移动部件（如工作台）上，将测量的结果直接反馈到数控装置中，与输入指令进行比较控制，使移动部件按照指令要求运动，最终实现精确定位，如图 1.7 所示。因为把机床工作台纳入了位置控制环，故称为闭环控制系统。

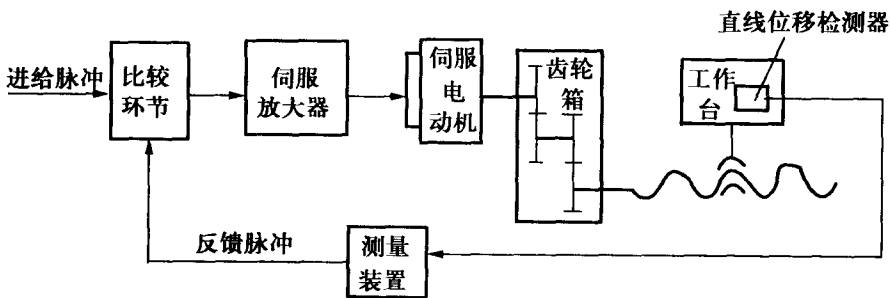


图 1.7 闭环控制数控机床示意图

闭环控制数控机床的伺服系统由交流或直流伺服驱动和交流或直流伺服电机组成。与伺服电机同轴刚性连接的测速器件，随时检测电机转速并反馈至数控系统，与速度



指令信号进行比较,控制电机的转速。该系统定位精度高、调节速度快。但该系统调试困难,系统复杂且成本高,故适用于精度要求很高的数控机床,如精密数控镗铣床、超精密数控车床等。

3. 半闭环控制数控机床 半闭环控制数控机床也有位置和速度的检测装置,只是其角位移检测装置装在交流或直流伺服电机的输出轴上,通过检测角位移间接地检测移动部件的位移,并反馈到数控系统中。由于惯性较大的机床移动部件不包括在控制环中,因而称作半闭环控制系统,如图 1.8 所示。

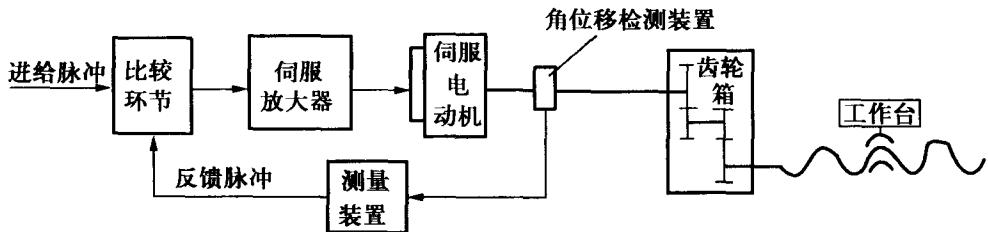


图 1.8 半闭环控制数控机床示意图

由于系统闭环环路内不包括机械传动环节,可获得稳定的控制特性。另外,机械传动环节的误差可用误差补偿的办法消除,因此可获得满意的精度。半闭环控制数控机床精度较高,安装调试方便,故应用比较广泛。

1.3.4 按数控机床功能强弱分类

按数控机床功能强弱可将数控机床分为经济型数控机床、全功能型数控机床和高档数控机床,见表 1.1。

表 1.1 按数控机床功能强弱分类表

功能	经济型	全功能型	高档
分辨率 (μm)	10	1	0.1
进给速度 (m/min)	8 ~ 15	15 ~ 24	15 ~ 100
驱动进给类型	开环	半闭环或闭环的直流或交流伺服系统	
联动轴数 (轴)	2 ~ 3	2 ~ 4	3 ~ 5 以上
通信功能	一般无	RS-232 或 DNC 接口	可有 MAP 通信接口 ^① , 有联网能力
显示功能	LED 或简单的 CRT	较齐全的 CRT 显示 ^②	还有三维图形显示
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC
主 CPU	8 位、16 位	32 位或 32 位以上的多 CPU	

注: ①MAP——Manufacturing Automation Protocol, 制造自动化协议。

②指具有字符、图形、人机对话、自诊断等功能的 CRT 显示。