

高职高专“十一五”规划教材
机械电子类系列

数控机床编程与操作

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG
YU CAOZUO

主编 ◆ 欧彦江



哈尔滨工程大学出版社

责任编辑 秦占友

封面设计



高职高专“十一五”规划教材
机械电子类系列

机械制图
机械制图习题
工程力学
机械设计基础
机械制造技术
数控加工工艺
数控机床编程与操作
车工技能实训
钳工技能实训
金属工艺学
工程材料及热处理
金属切削机床与刀具
冲压模具设计与制造
注塑成型工艺与模具设计
现代设备管理、故障诊断及维修技术
液压与气动技术
电工电子技术
PLC应用技术
电气运行与控制
传感器与检测技术
数控机床的使用与维护

ISBN 978-7-81133-703-7



9 787811 337037 >

定价: 21.00元

高职高专“十一五”规划教材

——机械电子类系列

数控机床编程与操作

主 编 欧彦江

编 委 欧彦江 倪亚辉 蒋勇敏

黄晓燕 宋 鸣 陈 春

屈 强 宋 扬 程迪伟

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是根据高职院校为培养生产第一线高技能技术人才的知识结构及培养目标要求,结合教学实践的效果,按照教育部对高职专业课程书的编写要求而编写的。

本书共分五章,内容包括数控机床的基本概念,发展历史,数控系统的软硬件结构,数控机床加工工艺及编程基础,数控车床编程,数控铣削加工技术,数控车削和铣削编程方法等,在内容的讲解上力求浅显易懂,并且总结了作者多年的教学经验。本书的各章后均附有习题,可以帮助读者更好地掌握每章的内容。

该书紧跟高职高专教材的发展步伐,强调学生实践能力、创造能力的培养,非常适合作为高职高专院校机械制造、模具设计与制造、数控加工、机电一体化、设备维修和 CAD/CAM 专业教材,还可供从事数控加工的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作 / 欧彦江主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2010.3

ISBN 978 - 7 - 81133 - 703 - 7

I. ①数… II. ①欧… III. ①数控机床—程序设计—
高等学校: 技术学校—教材②数控机床—操作—高等学校:
技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 041375 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 四川墨池印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 11
字 数 282 千字
版 次 2010 年 5 月第 1 版
印 次 2010 年 5 月第 1 次印刷
定 价 21.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

■ 版权所有 侵权必究 ■

前言...

近年来,随着我国制造业的快速发展,制造技术的迅速进步,对设备操作者提出了新的要求,新兴的制造业需要既有一定技术知识素质又能熟练操作的高素质劳动者。为使职业教育满足这种变化和要求,其中教材建设成为职业教育改革的重要和先导性内容。

为适应当前我国高职高专教育的发展要求,配合高职高专院校的教学和教材改革,我们组织专家、示范高职院校的骨干教师及相关行业的工程师,共同策划编写了一套符合当前职业教育精神的高质量、实用型教材。

该系列教材充分体现了高职高专教材的特点,力求以培养职业能力为本,以培养学生的实践能力和知识运用能力为核心,对基础理论和知识强调“够用和实用”,同时注意汲取其他教材的优点,总结各学校教学经验,并且注意适当融入学科的新进展、新成果。

该系列教材在编写中根据教材内容的要求,采取“基于工作任务导向”模式和“知识与能力结构”模式的编写格式,紧跟高职高专教材的发展步伐,强调学生实践能力、创造能力的培养,使学生在2~3年的时间内,通过学习掌握本专业所需的基本知识和基本技术技能。

该系列教材主要针对机械制造、模具设计与制造、数控加工、机电一体化、设备维修和CAD/CAM专业,涵盖了全部的专业基础课和大部分专业课。第一批共20本,将于2010年出版。

本书突出了职业教育的特色,主要从增强应用性着手。介绍了数控机床的基本概念、发展历史、数控系统的软硬件结构、数控的车削和铣削编程方法等内容。在内容的讲解上力求浅显易懂,并且总结了作者多年的教学经验。本书各章后均附有习题,可以帮助读者更好的掌握每章的内容。

本书由欧彦江担任主编,并负责全书统稿。同时参阅了以往其他版本的同类教材和有关工厂、科研院所的一些教材、文献资料,并得到了许多同行专家的支持和帮助,在此表示衷心感谢。其中四川同格实业有限公司屈强工程师、中国东方电气集团公司宋扬工程师、川大智胜公司程迪伟工程师提供了大量宝贵的意见和建议,并提供了部分材料,在此表示衷心的感谢。

感谢。

由于时间仓促，而作者水平有限，书中错误在所难免，希望广大师生在使用过程中提出宝贵意见，请将您的建议或意见发送至 19630807lql@163.com，与我们联系。并恳请全国各地的高职高专院校教师积极加入该系列规划教材的策划和编写队伍中来，以便我们在今后的工作中不断改进和完善，使这套教材成为高职高专院校的精品教材。我们的网站的 <http://www.dztf.com> 将尽可能为您提供免费的电子教案等教学资料下载。

编 者

2010 年 5 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 数字控制的相关概念	2
1.1.3 数控系统的发展	3
1.2 数控机床的分类	4
1.2.1 按加工工艺分类	4
1.2.2 按机床运动的控制轨迹分类	4
1.2.3 按伺服控制的方式分类	6
1.2.4 按数控系统的功能水平分类	7
1.3 数控机床的组成及工作原理	8
1.4 数控机床的特点及发展趋势	9
1.4.1 数控机床的特点	9
1.4.2 数控技术的发展趋势	10
习 题	12
第 2 章 数控机床基础	13
2.1 计算机数控系统	13
2.1.1 计算机数控系统构成	13
2.1.2 计算机数控系统硬件典型结构	14
2.1.3 计算机数控系统软件结构	16
2.1.4 运动轨迹插补原理	18
2.1.5 逐点比较法和数据采集法原理	19
2.2 数控机床伺服系统	23
2.2.1 伺服系统的基本组成	24
2.2.2 位置检测装置	24
2.2.3 步进电机伺服系统	27
2.2.4 直流伺服系统	31
2.2.5 交流伺服电动机	32
2.2.6 主轴伺服系统	34
2.3 数控机床机械结构	37

2.3.1	数控机床的结构要求	37
2.3.2	数控机床的主传动系统	39
2.3.3	数控机床的进给传动机构	48
2.3.4	数控机床的自动换刀装置	56
习 题		65
第 3 章	数控机床加工工艺及编程基础	66
3.1	编程概述	66
3.1.1	编程步骤简介	66
3.1.2	数控编程方法	67
3.2	数控编程中的数学处理	68
3.2.1	基点计算	68
3.2.2	节点的计算	68
3.3	坐标轴及运动方向	69
3.3.1	机床坐标系及坐标轴确定	69
3.3.2	机床原点与机床参考点	72
3.3.3	绝对坐标与增量坐标	73
3.3.4	对刀点、刀位点及对刀	74
3.4	常用编程指令	76
3.4.1	数控程序结构	76
3.4.2	准备功能 G 指令	78
3.4.3	辅助功能 M 指令及其他功能指令	84
习 题		88
第 4 章	数控车削编程与加工	89
4.1	数控车床的基本原理及组成	89
4.1.1	数控车床的应用及分类	89
4.1.2	数控车床的组成	90
4.2	数控车削工艺装备	91
4.2.1	常见数控车床工装方式	91
4.2.2	车削用刀具	92
4.3	数控车削中的工艺问题	95
4.3.1	零件表面数控车削加工方案的确定	95
4.3.2	数控车削加工工序的划分	96
4.3.3	确定走刀路线和工步顺序	96
4.3.4	切削用量和进给量	96

4.3.5 关于车床的程序原点.....	97
4.4 数控车削编程.....	98
4.4.1 数控车床编程基础.....	98
4.4.2 数控车床基本编程指令.....	99
4.4.3 螺纹加工指令.....	102
4.4.4 车削循环指令 (G90、G94 /G71、G72、G73、G70)	108
4.4.5 切槽及切断操作.....	115
4.5 操作面板.....	117
4.5.1 数控系统操作面板.....	118
4.5.2 机床操作面板.....	119
4.6 对刀及刀位偏差的补偿.....	120
4.6.1 采用 G50 建立工件坐标系的对刀	121
4.6.2 采用 G54 ~ G59 建立工件坐标系的对刀	122
4.7 编程及加工实例.....	122
习 题.....	124
第 5 章 数控铣削加工技术.....	125
5.1 常用铣削刀具.....	125
5.1.1 数控铣削刀具需要满足的基本要求.....	125
5.1.2 数控铣刀的类型.....	125
5.2 数控铣削加工工艺分析.....	127
5.2.1 加工工序的划分.....	127
5.2.2 加工方案的选择.....	128
5.2.3 顺、逆铣及切削方向和方式的确定.....	130
5.2.4 选择走刀路线.....	131
5.3 数控铣床 (加工中心) 编程指令.....	134
5.3.1 F、S、T 功能.....	134
5.3.2 数控铣床手动换刀及加工中心自动换刀编程.....	135
5.3.3 基本指令.....	136
5.3.4 刀具补偿指令.....	139
5.3.5 孔加工固定循环指令.....	144
5.3.6 特殊功能实现.....	152
5.4 编程实例 (轮廓加工、型腔加工)	157
习 题.....	165
参考文献.....	166

第1章 绪 论

数控机床是当代最先进的制造工具之一，是推动制造技术进步的原动力。数控机床是 19 世纪后半叶发展起来的自动化制造工具，是以计算机为代表的现代技术与传统机床结合的产物，是各种现代先进制造系统（如 FMS、CIMS、RMS 等）的基础。

1.1 数控机床的产生与发展

1.1.1 数控机床的产生

制造业是生产物质财富的产业，机床是制造业的主要生产设备，制造业中的绝大多数零件都直接或间接的经过机床加工，因此机床（也称工作母机）是制造业的基础。机床的出现很早，可以上溯到公元前。但是直到工业革命，机床才得到飞速的发展。工业革命以来，人们在实现机械加工自动化的主要手段有自动机床、组合机床、专用机床以及专用自动生产线等。这些设备的使用大大提高了机械加工自动化的程度，提高了劳动生产率，促进了制造业的发展。但它也存在固有的缺点，比如：初始投资大、准备周期长、柔性差。所以这些方法手段主要适合大批量的生产。然而，随着科学技术的不断进步和社会生产的不断发展，市场竞争日趋激烈，产品更新换代周期缩短，小批量产品在生产中所占的比重越来越大，人们对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。特别在航空、航天、重型机床以及国防工业部门尤为突出。因此，迫切需要一种精度高、柔性好的加工设备来满足上述需求，这是机床数控技术产生和发展的内在动力。另一方面，电子技术和计算机技术的飞速发展则为 NC 机床的发展提供了坚实的技术基础。NC 技术正是在这种背景下诞生和发展起来的，它极其有效地满足了上述要求，为小批量、精密复杂的零件生产提供了自动化加工手段。

1948 年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制直升飞机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出采用数字脉冲控制机床的设想。1949 年，该公司与美国麻省理工学院（MIT）开始共同研究，并于 1952 年试制成功第一台三坐标数控铣床，其数控系统采用脉冲乘法器原理，全部由电子管元件组成，虽然体积庞大，功能简单，但却意义重大，标志着机械制造业进入了一个新的发展阶段。

1959 年，数控装置采用了晶体管元件和印刷电路板，出现带自动换刀装置的数控机床，称为加工中心（MC，Machining Center），使数控装置进入了第二代。

1965 年，出现了第三代的集成电路数控装置，不仅体积小，功率消耗少，且可靠性高，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；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,研制成功使用微处理器和半导体存贮器的微型计算机数控装置(简称 MNC),这是第五代数控系统。

20 世纪 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。

20 世纪 90 年代后期,出现了 PC+CNC 智能数控系统,即以 PC 机为控制系统的硬件部分,在 PC 机上安装 NC 软件系统,此种方式系统维护方便,易于实现网络化制造。

数控机床的出现,极大地促进了机床行业的技术进步和行业发展。对于整个制造业来说,由于数控机床的大量使用,使得产品质量大幅度提高,新产品开发周期明显缩短。目前数控机床已经遍布军工、航空航天、汽车、造船、机车车辆、机床、建筑、通用机械、纺织、轻工、电子等几乎所有制造行业。

1.1.2 数字控制的相关概念

1. 数字控制(Numerical Control, 简称 NC)

数字控制简称数控,GB8129—1997 对数控的定义:用数值数据的控制装置,在运行过程中不断地引入数值数据,从而对某一生产过程实现自动控制。数字控制的定义并不唯一,很多的著作都会给出自认为合理的定义,但是究其根本也都是一样的,就是通过数字化的指令来控制相关设备。

2. 数控机床(NC Machine Tools)

数控机床是指操作命令以数值数据的形式描述,且工作过程按照规定的程序自动进行的机床。这里的“操作命令”是指控制机床产生各种动作的命令。如“主轴以 1 000 rpm 正转”,“刀具加工圆弧”等,将这些命令数字化,并且每个命令作为一程序,如果机床能够自动的依照这些程序来动作,那么这种机床就是数控机床。

或者数控机床也可以简单的认为是实现了数字控制的机床。

3. 数控系统(NC System)

数控系统可以理解为实现数字化控制所需要的一系列设备的总称。广义上来讲,我们通常将计算机数控装置、可编程序控制器(PLC)、进给驱动及主轴驱动装置等相关设备总称为数控系统。狭义上来讲,有时仅指其中的计算机数控装置。

4. 计算机数控系统和微处理器数控系统

计算机数控(Computerized NC, 简称 CNC)是用计算机控制加工功能,实现数值数据控制。

微处理器数控(Micro-computerized NC, 简称 MNC)是指用微处理器构成计算机数控装置,进行数值数据控制。

5. NC 与 CNC

NC 和 CNC 都是数控行业中常用的概念,经常容易混淆。从定义本身来说,它们的含义是有很大的不同的。NC 代表旧版的、最初的数控技术,属于硬件数控;CNC 代表新版的计算机数控技术,属于软件数控。

NC 系统(与 CNC 系统相比较)使用固定的逻辑单元操作程序,这些操作程序是内置的,

并且是永久嵌入控制单元内部的，这些操作程序不能由编程人员或机床操作人员更改。所有程序的修改必须脱离控制系统来做。通常 NC 系统要求必须用穿孔纸带来输入程序。

CNC 系统主要是使用计算机来操作程序。计算机含有存储各种程序的存储寄存器，这些程序可以用来处理逻辑操作，这就意味着零件编程人员或机床操作人员可以通过控制系统自身在机床上来编写或修改程序。灵活性是 CNC 系统的最大优势。

6. 数控、数控机床和数控系统的联系和区别

数控、数控机床和数控系统这三个概念既有联系又有区别，容易混淆。所谓数控，其本质是指一种技术，而数控机床就是采用了这种技术的机床，数控系统是使机床实现数控的核心设备系统。三者互相作用、互相关联才能实现数控机床的正常工作。

现在市面上的各个厂家在进行产品宣传的时候，根据具体的情况，有时候会宣传自己的机床产品，有时候又会重点宣传自己机床所采用的数控系统，这就会使得初学者对数控机床和数控系统两个概念分不清楚。其实，数控系统只是数控机床一个很重要的组成部分（甚至占有数控机床较大一部分的成本）。虽然重要，但它并不能代表数控机床。好的数控系统可以提高机床的功能，但数控机床最终的功能水平还取决于其他很多因素。现在比较好的数控机床品牌很多，而比较好的数控系统品牌并不多。所以，很多不同品牌的同类机床会选用同一品牌的数控系统，但是由于各机床品牌的技术特点不同，即使采用了同样的数控系统其功能也会有差别。

1.1.3 数控系统的发展

1. 数控系统的发展简史

诞生于 1946 年的世界上第一台电子计算机，是 20 世纪最伟大的发明之一，它不仅增强了人类改造世界的能力，而且标志着人类开始进入信息社会。在之后的岁月里，计算机应用到了人类社会的方方面面，给人类社会带来了巨大的变化。当然也给制造业带来了重大的变革。

就在计算机诞生后的第 6 年，即在 1952 年，计算机技术应用到了机床上，从而一种新型的用数字程序控制的机床应运而生。这种机床是一种综合运用了计算机技术、自动控制、精密测量和机械设计等新技术的机电一体化典型产品，它的名字就叫数控机床。数控机床是一种装有程序控制系统（数控系统）的自动化机床。从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统算起，数控系统到现在已走过了 50 多年的历程。随着计算机的不断发展、更新换代，数控系统也由当初的电子管式起步，不断的发展更新。大致划分一下，可以发现数控系统的发展经历了以下几个阶段：分立式晶体管式、小规模集成电路式、大规模集成电路式、超大规模集成电路及小型计算机式、微机式的数控系统。

前三阶段的数控装置属于采用专用控制计算机的硬件数控装置，一般称为 NC 数控系统。而到了 20 世纪 80 年代，计算机的功能进一步增强，体积进一步减小，这使得数控系统开始由硬件数控系统转变为软件数控系统，进而随着计算机技术的发展又开始向模块化系统、开放式系统转变。总之，受益于计算机技术的不断更新，数控技术不断发展，从而使得数控机床的功能越来越完善，使用越来越方便，可靠性越来越高，性能价格比也越来越高。到 1990 年，全世界数控系统专业生产厂家年产数控系统约 13 万台套。

2. 我国数控系统发展概况

从我国 1958 年开始研制第一台数控机床算起,整个发展过程大致可分为三大阶段:从 1958 年到 1979 年间为第一阶段,从 1979 年到 1989 年为第二阶段,从 1989 年至今为第三阶段。

第一阶段,由于我国基础理论研究滞后,相关工业基础薄弱,特别是电子技术落后,数控系统没有突破,虽然我国起步不晚,但发展不快。特别是在 20 世纪 60~70 年代,由于文革等因素,我国与发达国家差距开始拉大。虽然 70 年代国家组织数控机床攻关,取得一定成效,相继推出一些数控机床品种,但从整体来看,我国数控机床产业尚处于起步阶段。

第二阶段,我国先后从日、美、德、意、英、法、瑞士、匈、奥、韩国、台湾省共 11 国和地区引进数控机床先进技术和合作以及合资生产,解决了我国数控机床可靠性、稳定性问题,数控机床开始正式生产和使用,并逐步向前发展。

第三阶段,国家从科技攻关和技术改造两方面对数控机床产业进行了重点扶植,并加快了国产数控系统的开发,特别是进入 21 世纪以来,国家对数控机床行业的发展给予了大力的推动。普及型数控系统开发成功,为数控机床商品化和规模化生产奠定了基础,标志着我国数控机床开始从经济型向普及型转变。一些数控机床主机厂组建床身、箱体、主轴、轴套等成组单元,厂内组织专业化生产,生产水平进一步提高。CAD、CAPP、CAM 开始应用,开发能力、工艺水平和产品质量进一步提高,奠定产业化基础,数控机床进入了快速发展期。

1.2 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多,分类方法也各不相同。一般可根据功能和结构,按下面四种原则进行分类。

1.2.1 按加工工艺分类

1. 金属切削类

指采用车、铣、撞、铰、钻、磨、刨等加工方式的数控机床。这一类是最常见的一类数控机床。常见的数控加工中心也属于金属切削类数控机床。所谓数控加工中心就是在普通数控机床上加装刀库和自动换刀装置,如镗铣加工中心、车削中心、钻削中心等。加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。

2. 金属成型类(板材加工类)

指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床,常用于电气柜或造船业中。常见的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

3. 特种加工类

指采用特种加工方式的数控机床。主要有数控电火花线切割机、数控电火花成型机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

1.2.2 按机床运动的控制轨迹分类

1. 点位控制的数控机床

点位控制是指在加工过程中只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定

位, 在移动过程中不进行加工, 各坐标轴之间的运动是不相关的, 可以是几个坐标同时向目标点运动, 也可以是各坐标依次运动, 具体的方式是根据机床的设置而定的。

在实际加工中, 点到点的定位移动一般先快速移动, 然后慢速趋近定位点, 以保证定位精度。点位控制数控机床是一种功能非常单一的机床, 比较常见的主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等, 如图 1.1 所示为点位控制数控钻床加工示意图。

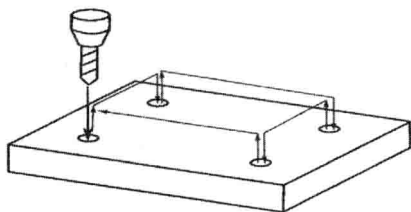


图 1.1 点位控制数控钻床加工示意图

2. 点位直线控制数控机床

点位直线控制数控机床比点位控制数控机床在功能上多了直线控制的功能。其除了控制点与点之间的准确定位外, 还能控制两相关点之间的移动速度和路线 (轨迹), 但其运动路线只是与机床坐标轴平行的直线, 或两轴同时移动时构成的斜线。在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削, 一般只能加工矩形、台阶形零件。直线控制数控机床也称为平行控制数控机床。

具有直线控制功能的机床主要有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。如图 1.2 所示为点位直线控制数控铣床加工示意图。

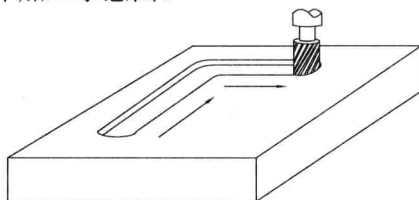


图 1.2 点位直线控制数控铣床加工示意图

3. 轮廓控制数控机床

我们加工中比较常见的加工是各种复杂轮廓的加工。那么能够进行轮廓加工的数控机床就称为轮廓控制数控机床, 也称连续控制数控机床。其能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的要求, 必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来, 从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合, 在运动过程中刀具对工件表面进行连续切削, 可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工。如图 1.3 所示为 2 坐标轮廓控制数控铣床加工示意图。

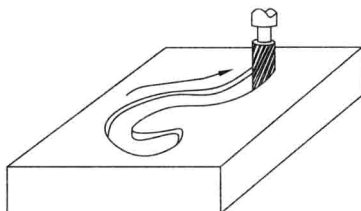


图 1.3 2 坐标轮廓控制数控铣床加工示意图

这类机床占据了我们常见数控机床的绝大多数，主要有各种数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等，其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。

1.2.3 按伺服控制的方式分类

1. 开环控制数控机床

这类机床的特点是其控制系统不带位置检测反馈装置，一般它的驱动电动机为步进电机，其控制系统的框图如图 1.4 所示，这种控制方式的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜。其数控系统发出的指令信号流是单向的，所以不存在控制系统的稳定性问题，但由于机械传动的误差不经过反馈校正，步进电机的失步、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。故开环系统仅适用于加工精度要求不高的中小型数控机床，在我国，一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。

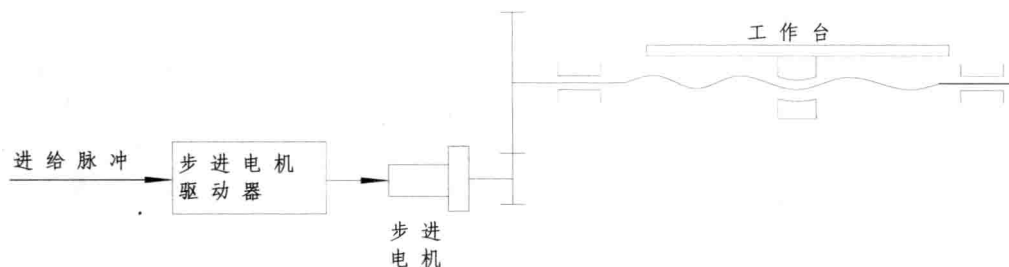


图 1.4 开环控制系统框图

2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点是采用直接安装在伺服电动机轴上或丝杠端部的转角检测元件（如编码器等）进行位置反馈，机床通过检测元件检测丝杠的转角间接的检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正，目前，通常将角位移测量元件和伺服电机设计成一个部件，使用起来十分方便。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内，因此可以获得较稳定的控制特性，而且调试也比较方便。虽然丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正，但是可采用软件定值补偿方法来适当提高其精度。目前，采用半闭环控制方式的数控机床应用十分广泛。其控制系统的框图如图 1.5 所示。

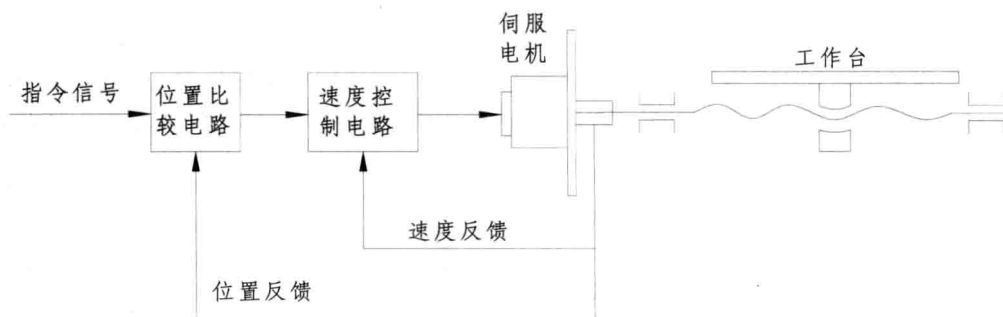


图 1.5 半闭环控制系统框图

3. 闭环控制数控机床

这类数控机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的，其驱动电动机可采用直流或交流两种伺服电机，位置反馈装置采用直线位移检测元件（如光栅尺等），安装在机床的移动部件上，直接检测机床移动部件的直线位移量，通过反馈可以消除从电动机到机床移动部件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，这为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都相当复杂。因此，这种闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控超精车床、数控精密磨床等。其控制系统的框图如图 1.6 所示。

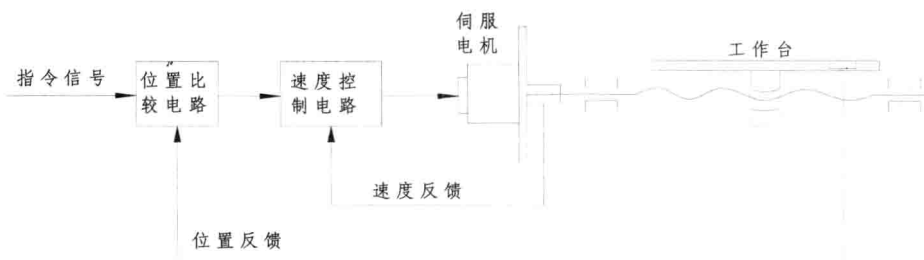


图 1.6 闭环控制系统框图

4. 混合控制数控机床

将上述三类控制方式的特点结合起来，就可以组成混合控制数控机床的方案。如前所述，由于开环控制方式稳定性好、成本低、精度差，全闭环精度高、稳定性差，而半闭环介于两者之间，所以采用混合控制方式，可以较好地将其特点结合起来，以满足一些大型或重型机床的要求。混合控制方式中采用较多的有开环补偿型和半闭环补偿型两种方式。

1.2.4 按数控系统的功能水平分类

数控机床按数控系统的功能水平通常可以分为低、中、高三档，其中低档数控机床又称为经济型数控机床，中档数控机床也称为普及型数控机床。这种分类方式在我国用的较多。低、中、高三档的界限是相对的，不同时期，划分标准也会不同。就目前的发展水平看，可以根据表 1.1 的一些功能及指标作为划分依据。

表 1.1 不同档次数控机床的性能及指标

项目	低档	中档	高档
分辨率和进给速度	10 μm 、8~15 m/min	1 μm 、15~24 m/min	0.1 μm 、15~100 m/min
伺服进给类型	开环、步进电机系统	半闭环直流或交流伺服系统	闭环直流或交流伺服系统
联动轴数	2 轴	3~5 轴	3~5 轴
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速、C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP 通信接口、联网功能
显示功能	数码管显示、CRT 字符	CRT 显示字符、图形	三维图形显示、图形编程
内装 PLC	无	有	有
主 CPU	8bit CPU	16 或 32bit CPU	64bit CPU