

国家紧缺型技能人才培养标准教程·数控技术领域

数控车床编程与操作

主编 刘 立

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是集理论与实践为一体的一门专业课程教材，主要介绍了具有代表性同时在学校运用较为普遍的三种控制系统：国产华兴数控系统、日本 FANUC 数控系统以及德国 SIEMENS 数控系统的编程指令与操作方法；数控机床的故障诊断与维护以及宇航仿真软件的应用。针对职业教育的特点，本书将加工课题分为给定程序加工与编程加工，以训练和培养学生的各种加工操作和数控车床故障诊断及排除的基本能力。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车床编程与操作 / 刘立主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2006. 8

ISBN 7 - 5640 - 0778 - 8

I. 数… II. 刘… III. ①数控机床: 车床 - 程序设计 - 高等学校: 技术学校 - 教材②数控机床: 车床 - 操作 - 高等学校: 技术学校 - 教材
IV. TG519. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 081221 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 25

字 数 / 499 千字

版 次 / 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 33.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题，本社负责调换

前 言

随着我国工业化进程的加速、产业结构的调整和升级，数控技术在现代企业中广泛应用，使制造业朝着数字化的方向迈进。同时，经济发展对高素质技能人才的需求不断上升，当前急需一大批能够熟练掌握数控技术的应用型人才。

数控车床的编程与操作是数控、模具、机电类专业的一门重要职业技能课程。为了普及与提高数控加工技术，培养操作数控车床的技术人才，使之具备一定的数控加工基础知识，能独立阅读和编制零件加工程序，并掌握常用数控车床的操作与维护。根据国家教育部数控技术应用专业技能紧缺人才培养方案，以及劳动与社会保障部制定的有关国家职业标准及相关的职业技能鉴定规范，结合编者多年的教学和实践经验编写。编写了《数控车床编程与操作》一书。

《数控车床编程与操作》是集理论与实习为一体的一门专业课程教材。它主要介绍了具有代表性同时在学校运用较为普遍的三种控制系统：国产华兴数控系统、日本 FANUC 数控系统以及德国 SIEMENS 数控系统的编程指令与操作方法；介绍了数控机床的故障诊断与维护以及宇航仿真软件的应用。针对职业教育的特点，本书加工课题分为给定程序加工与编程加工，训练和培养学生的各种加工操作和数控车床故障诊断及排除的基本能力。既阐述基本原理，又注重理论与实际的结合；既能使学生对数控机床有全面的了解，又能突出以应用为主的特点。

本书可作为高等职业技术学院数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业和相关专业的教学用书，也可作为这些专业的学生参加数控加工国家职业技能鉴定考核培训的参考教材和数控车床技术工人的培训教材，同时也可供有关企业从事数控机床应用工程技术人员参考。

本书由江苏南京技师学院刘立主编和统稿。感谢南京技师学院梅建强、丁辉老师的参编与大力支持。由于编者水平有限，难免有不足之处，敬请各位读者 同仁提出宝贵意见。

编者

出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以数控技术为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任
务，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空
间，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

绪 言

一、数控加工在机械制造业中的地位和作用

现代数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测以及精密机械等高新技术的产物，是典型的机电一体化产品，是完全新型的自动化机床。

随着科学技术的迅速发展，机械产品性能、结构、形状和材料的不断改进，精度不断提高，生产类型由大批大量（如汽车）生产向多品种小批量生产转化。因此，对零件加工质量和精度的要求越来越高。由于产品变化频繁，目前在一般机械加工中，单件、小批量的产品约占七成以上。为有效地保证产品质量，提高劳动生产率和降低成本，对机床提出了高精度、高柔性（具有较好的通用性和较大的灵活性，以适应生产对象频繁变化的需要）与高度自动化的要求。要求机床不仅具有较好的通用性和灵活性，而且要求加工过程实现自动化。在大量的通用机械、汽车、拖拉机等工业生产部门中大多采用自动机床、组合机床和自动生产线，但这些设备的一次投资费用大，生产准备时间长，不适于频繁改型和多种产品的生产，同时也与精度要求高、零件形状复杂的宇航、船舶等其他国防工业产品的要求不相适应。如果采用仿形机床，首先需要制造靠模，不仅生产周期长，精度也将受到影响。数控机床就是在这种情况下发展起来的一种自动化机床。

数控机床综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等方面的技术成果，具有高柔性、高精度与高度自动化等特点，适用于高精度、零件形状复杂的单件、小批量生产的自动化机床，是一种用计算机组成的计算装置控制的、高效的自动化机床。1952年第一台数控机床问世，到现在几乎所有品种的机床都实现了数控化，是实现设计（CAD）、制造（CAM）、检验（CAT）与生产管理等全部生产过程自动化的基本设备。因此，采用数控加工手段，解决了机械制造中常规加工技术难以解决甚至无法解决的单件、小批量，特别是复杂型面零件的加工，为社会提供了高质量、多品种及高可靠性的机械产品。

数控机床的出现以及它所带来的巨大效益，引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。几十年来，数控机床在品种、数量、加工范围和加工精度等方面有了惊人的发展，随着电子元件的发展，数控装置经历了使用电子管、分立元件、集成电路的过程。特别是使用了小型计算机和微处理机以来，数控机床的性能价格比日趋合理，可靠性日益提高。在工业发达的国家，数控机床在工业、国防等领域的应用已相当普遍，已由开始阶段的解决单件、小批量

复杂形状的零件加工，发展到为减轻劳动强度、提高劳动生产率、保证质量、降低成本等的中批量甚至大批量生产中的应用。现在认为，即使是对批量在 500 ~ 5 000 件之间的不复杂的零件用数控机床加工也是经济的。随着经济发展和科学的进步，我国在数控机床方面的开发、研制、生产等将得到迅速发展。发展数控机床是当前机械制造业技术改造的必由之路，是未来工厂自动化的基础。

数控车床是车削加工功能较全的数控机床。它可以把车削、铣削、螺纹加工、钻削等功能集中在一台设备上，使其具有多种工艺手段。数控车床设有旋转刀架或旋转刀盘，在加工过程中由程序自动选用刀具和更换刀位。采用数控车床进行加工可以大大提高产品质量，保证加工零件的精度，减轻劳动强度，为新产品的研制和改型换代节省大量的时间和费用，提高企业产品的竞争力。

二、数控加工的发展

1. 数控机床的发展

世界上第一台数控机床由美国帕森斯公司与麻省理工学院合作研制，1952 年公开展示。数控机床的发展先后经历了五代。

第一代：电子管（1952 年）。

第二代：晶体管（1959 年）。

第三代：小规模集成电路（1965 年）。

第四代：大规模集成电路及小型计算机（1970 年）。

第五代：微处理机或微型计算机（1974 年）。

前三代系统采用专用电子线路实现的硬件式数控系统，一般称为普通数控系统，简称 NC。

第四代和第五代系统是采用微处理器及大规模或超大规模集成电路组成的软件式数控系统，称为现代数控系统，简称 CNC（第四代）和 MNC（第五代）。由于现代数控系统的控制功能大部分由软件技术来实现，功能更加灵活和完善。目前现代数控系统几乎完全取代了以往的普通数控系统。

数控机床的品种也得以不断地发展。目前，世界数控机床的种类已超过 1 500 种，年产量近 15 万台，产值超过 200 亿美元，数控机床总拥有量达到 100 万台以上。

2. 有代表性的数控公司

目前，美国、日本、德国、法国及俄罗斯等国家中以日本发展得最快。具有代表性的数控公司（或厂家）有日本的法拉克公司、德国的西门子公司、美国的 A - B 公司、西班牙的法格公司和法国的 NUM 公司等。

3. 数控机床及自动化生产系统的发展

从普通数控机床（特别是数控车床），到加工中心机床，现已发展到了较为成熟的柔性制造单元（简称 FMC）和柔性制造系统（简称 FMS），超级数控机床——计算机集成制造系

统（简称 CIMS）。数控系统（计算机）已发展到 64 位机和多 CPU 系统；可控坐标轴数达 20 轴以上，联动坐标轴数 10 轴以上；分辨率（最小设定单位）已普遍达到 0.01 ~ 0.001 mm，少数机床已发展到 0.000 1 mm；快速行程速度提高到了 240 m/min。

计算机群控系统，即直接数控系统（DNC）：20 世纪 60 年代末期出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统，即直接数控系统（Direct Numerical Control, DNC）。

柔性制造系统 FMS：1967 年出现了由多台数控机床联接成可调加工系统，这就是最初的柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS）。

柔性制造单元（FMC）：20 世纪 80 年代初又出现以 1 ~ 3 台加工中心或车削中心为主体，再配上工件自动装卸的可交换工作台及监控检验装置的柔性制造单元（Flexible Manufacturing Cell, FMC）。1989 年第八届欧洲国际机床展览会上，展出的 FMS 超过 200 条。

计算机集成制造系统（CIMS）：目前，已经出现了包括生产决策、产品设计及制造和管理等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS），以实现工厂自动化（无人工厂）。

4. 我国数控机床的发展

我国数控机床的研制始于 1958 年，由北京机床研究所和清华大学研制的电子管式开环步进驱动数控机床开始。1966 年我国诞生了第一台用直线—圆弧插补的晶体管数控系统。1972 年，集成数字电路的数控系统在清华大学研制成功，数控技术开始推广应用，其中以数控线切割机床发展最快。1980 年以来，通过研究和引进技术，我国数控机床发展很快，现已掌握了 5 ~ 6 轴联动、螺距误差补偿、图形显示和高精度伺服系统等多项关键技术。

5. 数控系统的发展

我国数控系统比较典型的有中华、航天、蓝天及华中等品牌。数控系统发展方向可按功能、价格和可靠性三大因素区分。

（1）功能因素的发展方向

数控系统发展的总趋势是朝着高级的、无人化加工的方向发展，即高速、多微处理系统，大容量存储器 and 可编程序控制器，彩色动态（模拟或跟踪）显示二维及三维图形，简化编程并提高系统的柔性和精度，配备多种遥控接口和智能（语言、语音及蓝图编程等）接口，产品整个形成过程的全面自动化。

（2）价格因素的发展方向

一是高功能要求在中、低档的数控系统中实现，提高中、低档数控系统的性能价格比；二是在向高档型数控系统发展的同时，向功能简化和针对性强的经济型发展。

（3）可靠性因素的衡量

数控机床的可靠性一般用平均无故障时间进行衡量，国外规定无故障时间为 30 000 h，我国规定无故障时间不少于 3 000 h。影响我国数控系统可靠性的因素大多是元器件质量

不高。

数控机床能自动加工出各种不同形状、尺寸及精度的零件，是因为能按照事先编制包括加工轨迹和路线以及所有工艺参数和其他有关技术要求在内的加工程序，并经机床数控装置“接受”和“处理”后，对整个加工过程进行自动控制。

三、数控加工的特点

同常规加工相比，数控加工具有如下的特点。

① 自动化程度高。在数控机床上加工零件时，除了手工装卸工件外，全部加工过程都由机床自动完成。在柔性制造系统上，上下料、检测、诊断、对刀、传输、调度、管理等也都由机床自动完成，这样减轻了操作者的劳动强度，改善了劳动条件。

② 加工精度高，加工质量稳定。数控加工的尺寸精度通常在 $0.005 \sim 0.1 \text{ mm}$ 之间，目前最高的尺寸精度可达 $\pm 1.5 \mu\text{m}$ ，不受零件形状复杂程度的影响，加工中消除了操作者的人为误差，提高了同批零件尺寸的一致性，使产品质量保持稳定。

③ 对加工对象的适应性强。数控机床上实现自动加工的控制信息是加工程序。当加工对象改变时，除了相应更换刀具和解决工件装夹方式外，只要重新编写并输入该零件的加工程序，便可自动加工出新的零件，不必对机床作任何复杂的调整，这样缩短了生产准备周期，给新产品的研制开发以及产品的改进、改型提供了捷径。

④ 生产效率高。数控机床的加工效率高，一方面是自动化程度高，在一次装夹中能完成较多表面的加工，省去了画线、多次装夹、检测等工序；另一方面是数控机床的运动速度高，空行程时间短。目前，数控车床的主轴转速已达到 $5\,000 \sim 7\,000 \text{ r/min}$ 。

⑤ 易于建立计算机通信网络。由于数控机床是使用数字信息，易于与计算机辅助设计和制造（CAD/CAM）系统联接，形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化系统。

数控机床的不足之处就是价格昂贵，加工成本高，技术复杂，对工艺和编程要求较高，加工中难以调整，维修困难。需要切实解决好加工工艺、程序编制、刀具的供应、编程与操作人员的培训等问题。

四、数控机床的应用范围

1. 适宜数控机床加工的范围

- ① 能加工轮廓形状特别复杂或难以控制尺寸的零件。
- ② 能加工超精零件。
- ③ 能加工普通机床不能（或不便）加工的多种零件。例如，用数学模型描述的复杂曲线类零件及三维空间曲面类零件。
- ④ 能加工经一次装夹定位后，需进行多道工序加工的零件。
- ⑤ 一台数控机床可同时加工两个或多个相同的零件，也可同时加工多工序的不同零件。
- ⑥ 数控机床加工的自动化程度很高。

- ⑦ 在数控机床上加工零件，能明显缩短加工的准备时间，降低生产费用。
- ⑧ 采用数控机床加工，能有效地减少加工中的辅助时间，较大地提高生产率。
- ⑨ 数控机床加工能修改加工程序，给新品的开发、原产品的改进与改型提供了方便。

2. 不适宜数控机床加工的范围

- ① 加工轮廓简单，精度要求低或生产批量又特别大的零件。
- ② 装夹困难或必须依靠人工找正、定位才能保证其加工精度的单件零件。
- ③ 加工余量特别大，或材质及余量都不均匀的坯件。
- ④ 加工中，刀具的质量（主要是耐用度）特别差时。

五、本课程的性质和任务

本书编写的目的在于普及与提高数控加工技术，培养操作数控车床的技术人才，使之具备一定的数控加工基础知识，能阅读和编制零件加工程序，并掌握常用数控车床的操作与维护；加强职业技术教育，培养跨世纪中、高级技能人才。

本书是集理论与实践为一体的一门专业课程教材，主要介绍了具有代表性同时在学校运用较为普遍的三种控制系统——国产华兴数控系统、日本 FANUC 数控系统以及德国 SIEMENS 数控系统的编程指令与操作方法；数控车床的故障诊断与维护以及宇航仿真软件的应用。针对职业教育的特点，本书将加工课题分为给定程序加工与编程加工，以训练和培养学习者的各种加工操作和数控车床故障诊断及排除的基本能力。

六、本课程的学习方法

掌握数控车床编程与操作，要结合车加工工艺。在学习中，只有做到边学理论边练习，勤于思考，不断培养、提高分析和解决问题的能力，才能收到比较满意的效果。具体要求做到：及时复习，巩固相关知识。要想成为一名数控车床操作工，首先应是一名合格的普通车床操作工。数控加工是以普通加工为基础的，学习这门新技术需要掌握大量专业基础课和专业课中的基本知识，因此，学好数学、机械制图和车工工艺学等若干基础课中的知识，是学好本课程的重要条件。提高学习积极性，勤动脑，肯钻研，知难而上；抓住实践机会，多动手，勤练习，丰富知识面。

第一部分 数控车床基础知识

第 1 章

数 控 基 础

§ 1-1 数控基础知识

一、数控与数控加工概念

1. 数控的定义

数控即数字控制 (Numerical Control, NC), 是数字程序控制的简称。

2. 数控加工工作实质

数控的实质是通过特定处理方式的数字信息 (不连续变化的数字量) 自动控制机械装置动作。

3. 数控技术

数控中的控制信息是数字化信号, 通过计算机进行自动控制的技术统称为数控技术, 简称为数控。这里所讲的数控, 特指用于机床加工中的数控 (即机床数控)。

4. 数字控制机床

简称数控机床。以前采用的控制系统为专用的控制计算机, 而现在大多采用通用计算机或微型计算机加软件作为控制系统, 称为计算机数控系统, 用 CNC 表示。

5. 数控机床工作过程

机床数控是指通过加工程序编制工作, 将其控制指令以数字信号的方式记录在信息介质上, 经输入计算机处理后, 对机床各种动作的顺序、位移量和速度实现自动控制的一门技术。其控制对象是专门针对机床和机床加工的。

二、数控机床的组成及工作原理

1. 数控机床的组成

数控机床主要由三大部分组成, 除了控制介质 (加工程序) 和机床主体外, 还包括对

数控机床进行指挥、控制的数控装置和驱动机床执行机构实施运动的伺服机构，如图 1-1-1 所示。

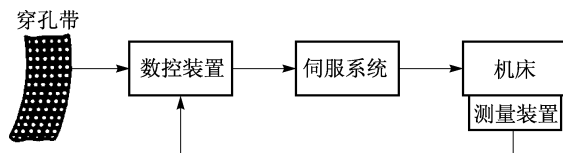


图 1-1-1 数控机床的组成

图 1-1-1 中的实线部分，为开环控制。为了提高机床加工精度，加入一个测量反馈装置，见图 1-1-1 中的双点划线部分，构成闭环控制。

(1) 控制介质

穿孔纸带，也可以是磁带、磁盘或其他可存储物质。

(2) 数控装置

由微处理器计算机和小型计算机担任。用存放在计算机存储器里的系统程序实现数控机床的控制。由输入输出设备、接口电路、计算机系统储存器和中央处理器（CPU）组成。系统程序存储在计算机的内存中，零件加工程序由控制介质通过常规输入设备读入内存。

(3) 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的插补脉冲信号转换为机床移动部件的移动。相对于数控系统发出的每一个脉冲信号，机床移动部件的位移量称为脉冲当量，常用的有 0.01 mm，1 μm，0.5 μm 和 0.1 μm 等。伺服系统主要由调节放大单元、执行单元、检测单元和控制对象组成。

(4) 机床主机

数控机床主机要求更完善，更精密和坚固，有足够的精度稳定性。

2. 数控机床的工作原理

先把加工零件所需的所有机床动作以程序的形式记录下来，登载到某种存储物上（该存储物就称为控制介质），输入到数控装置中，由数控装置处理程序，发出控制信号指挥机床的伺服系统驱动机床，协调指挥机床的动作，完成零件加工，如图 1-1-2 所示。

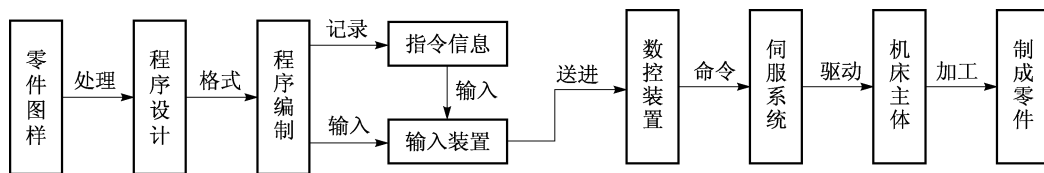


图 1-1-2 数控机床的工作过程

- ① 根据零件图样上给出的形状、尺寸、材料及技术要求等内容，进行各项准备工作。
- ② 按数控装置所规定的程序格式编制出加工程序。
- ③ 将加工程序以代码形式完整地记录在信息介质（如穿孔带或磁盘等）上。
- ④ 通过阅读机把信息介质上的代码转换为电信号，并送入数控装置。如为手工输入，则可以通过数控装置操作面板上的微机键盘，将加工程序的内容直接输送给数控装置。
- ⑤ 数控装置将所接受的信号进行一系列处理后，再将其处理的结果以脉冲信号形式向伺服系统发出执行的命令。
- ⑥ 伺服系统接到执行信号指令后，立即通过电动机驱动机床进给机构，严格按照指令的要求位移，使机床自动完成加工。

三、数控机床的分类

从不同的技术或经济指标出发，可对数控机床进行各种不同的分类，如按机床的工艺用途、控制运动的轨迹、伺服系统的类型、控制的坐标轴数及机床数控系统的性能价格比等都可进行分类。由于国内外尚无统一的分类方法，以下仅着重介绍国内常用的几种分类。

1. 按控制运动的轨迹分类

(1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床的机械运动实行点到点的准确定位控制，而对其点到点之间的运动轨迹不作要求，这是因为刀具在其定位运动的过程中不进行切削，而以快速进给到定位位置（即不与工件接触），如图 1-1-3 所示。

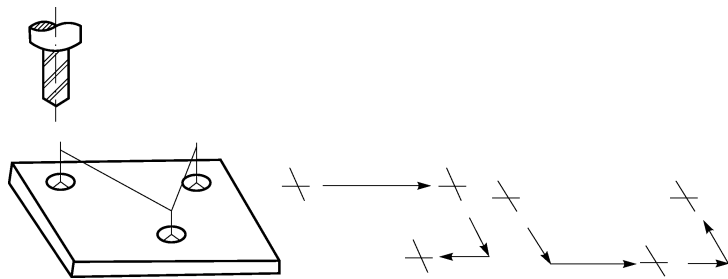


图 1-1-3 点位控制示意图

数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床、数控元件插装机及数控测量机等均属于点位控制数控机床。

(2) 直线控制数控机床

这类机床的机械运动方式除了要控制刀具相对于工件（或工作台）的起点和终点的准确位置外，还要控制每一程序段的起点与终点间的位移过程，即使刀具以给定的进给速度作平行于某一坐标轴方向的直线运动，如图 1-1-4 所示。属于直线控制数控机床的有数控车床和数控磨床等。

(3) 连续控制数控机床

连续控制数控机床又称为轮廓控制数控机床，它能够同时对两个或两个以上的坐标进行控制，从而按给定的规律和速度进行准确的轮廓控制，使其运动轨迹成为所需要的直线、曲线或曲面，如图1-1-5所示。数控车床、铣床、凸轮磨床、齿轮加工机床及线切割机床等属于这类机床。

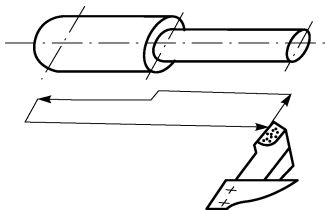


图 1-1-4 直线控制示意图

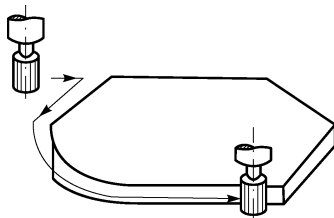


图 1-1-5 连续控制示意图

2. 按伺服系统的类型分类

按机床进给伺服系统不同的控制方式，可分为开环控制数控机床、半闭环控制数控机床和全闭环控制数控机床。

(1) 开环控制数控机床

采用开环伺服系统（又称为步进电机驱动系统），没有位置检测反馈装置，如图1-1-7(c)所示。

控制精度主要取决于伺服系统的传动链及步进电机本身，故控制精度不高。但结构简单，反应迅速，工作稳定、可靠，调试及维修均很方便，价格低。

(2) 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的控制原理如图1-1-6所示。

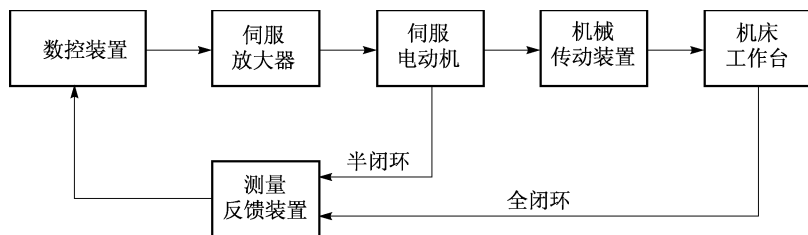


图 1-1-6 闭环伺服系统控制原理框图

有位置检测元件为测量反馈装置，部分位置随动控制环路，但不把机械传动装置包括在内，故称为“半闭环”。控制精度比开环高。

(3) 全闭环控制数控机床

控制精度很高，全部位置随动控制环路（如图 1-1-6 所示），自动检测并补偿所有的位移误差。但调试、维修工作均较困难，价格也较高。

根据三种伺服结构的不同，可以就图 1-1-7 进行比较。

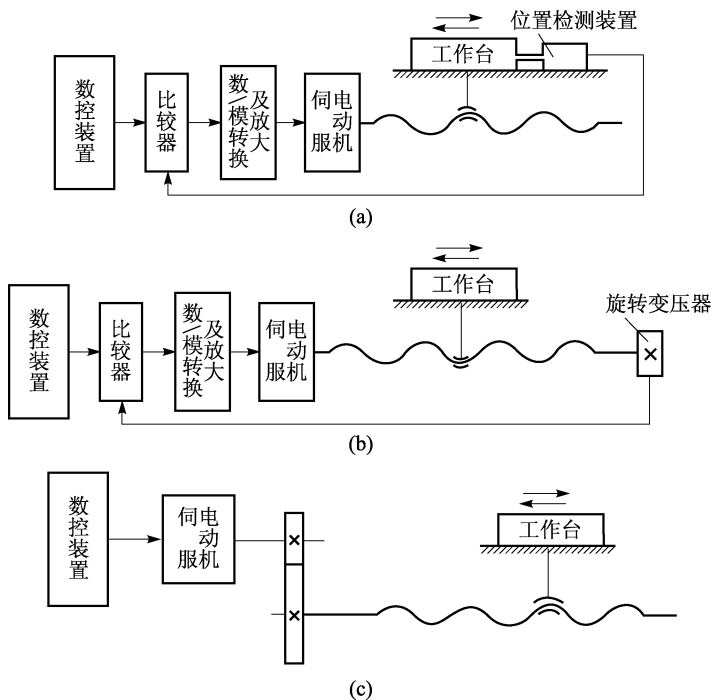


图 1-1-7 三种伺服结构的比较
(a) 全闭环；(b) 半闭环；(c) 开环

3. 按控制的坐标轴数（联动轴数）分类

(1) 两坐标数控机床

两坐标数控机床，指可以控制两个坐标轴加工曲线轮廓零件的机床。如同时控制 x 和 z 坐标轴的数控车床， z 和 y 坐标轴的数控线切割机床、简易数控铣床等。

(2) 三坐标数控机床

联动控制的坐标轴均为三轴的轮廓控制机床，可用于加工不太复杂的空间曲面。最典型的是数控立式升降台铣床。

(3) 两轴半坐标数控机床

俗称为两个半坐标数控机床。有三个可以控制的坐标轴，但能同时进行联动控制的坐标轴只能是其中的任意两个，第三个不能联动控制的坐标轴，仅能作等距的周期移动。属于这类机床的主要有经济型数控铣床和数控钻床等。

(4) 多坐标数控机床

可以联动控制的坐标轴均为四轴或四轴以上，一般需要配合自动编程机。

数控加工技术的发展，依赖于加工中执行加工任务并保证加工精度的数控机床及负责指挥、监督并控制加工准确进行的数控系统的共同发展。

4. 其他分类方法

(1) 按加工工艺范围分类

与普通机床分类方法一样。

(2) 按机床结构分类

按机床中有无自动换刀装置分类，可分为：普通数控机床和加工中心。在加工中心上有
多位工件自动交换装置时，该类机床也被称为是柔性加工单元。

(3) 按数控系统分类

可分为：经济型数控机床、中档数控机床和高档数控机床。

§ 1-2 数控机床坐标系

在数控机床上加工零件时，刀具与零件的相对运动必须在确定的坐标系中才能按规定的程序进行加工。数控机床坐标系是为了确定工件在机床中的位置、机床运动部件的特殊位置（如换刀点、参考点等）以及运动范围（如行程范围）等而建立的几何坐标系。我国机械工业部于1982年颁布了JB 3051—1982数字控制机床坐标和运动方向的命名标准，目前我国执行的行业数控标准JB/T 3051—1999《数控机床——坐标和运动方向的命名》，与国际标准ISO841等效。

一、坐标系的规定及判断

为了便于编程时描述机床的运动，简化程序的编制方法，保证记录数据的互换性，数控机床的坐标和运动方向均已标准化，其命名原则和规定如下。

1. 坐标系的确定原则

(1) 刀具相对于静止工件而运动的原则

假定工件不动，只有刀具相对于工件作进给运动，以刀具运动的正方向来确定机床坐标轴的正方向。这一原则使编程人员能在不知道是刀具移近工件还是工件移近刀具的情况下，就可依据零件图样，确定机床的加工过程。

(2) 标准坐标系的规定

在数控机床上，机床的动作是由数控装置来控制的，为了确定机床上的成形运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的方向和运动的距离，这就需要一个坐标系才能实现，这个坐标系就称为机床坐标系。标准的机床坐标系是一个右手笛卡儿直角坐标系，如图1-1-8所