



全国高等院校“十二五”特色精品课程建设成果

数控编程

(第2版)

◎主编 刘立丁辉



SHUKONG BIANCHENG

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



全国高等院校

课程建设成果

数控编程

(第2版)

◎主 编 刘立辉
◎副主编 梅建强 徐章辉

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

内 容 简 介

《数控编程》一书,是一门结合实践的专业课程教材。主要介绍具有代表性同时在学校运用较为普遍的日本 FANUC 数控系统及德国 SIEMENS 数控系统的编程指令。针对高等教育的特点,本书编程例题均按照实际加工的步骤做了详细说明,添加了程序段注释,使读者比较易于接受和掌握,既便于教师备课,也便于学生自己阅读。

本书可作为高等院校数控技术专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业用书,也可作为这些专业学生参加数控加工全国职业技能鉴定考核的培训教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控编程/刘立,丁辉主编. —2 版. —北京:北京理工大学出版社,2012. 8
ISBN 978-7-5640-6636-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 192651 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](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16.5

字 数 / 380 千字

版 次 / 2012 年 8 月第 2 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~1 500 册

定 价 / 42.00 元

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换



出版说明 >>>>>>

北京理工大学出版社为了顺应国家对机电专业技术人才的培养要求，满足企业对毕业生的技能需求，以服务教学、立足岗位、面向就业为方向，经过多年的大力发展，开发了30多个系列500多个品种的高等教育机电类产品，覆盖了机械设计与制造、材料成型与控制技术、数控技术、模具设计与制造、机电一体化技术、焊接技术及自动化等30多个制造类专业。

为了进一步服务全国机电类高等教育的发展，北京理工大学出版社特邀请一批国内知名行业专业、高等院校骨干教师、企业专家和相关作者，根据高等教育教材改革的发展趋势，从业已出版的机电类教材中，精心挑选一批质量高、销量好、院校覆盖面广的作品，集中研讨、分别针对每本书提出修改意见，修订出版了该高等院校“十二五”特色精品课程建设成果系列教材。

本系列教材立足于完整的专业课程体系，结构严整，同时又不失灵活性，配有大量的插图、表格和案例资料。作者结合已出版教材在各个院校的实际使用情况，本着“实用、适用、先进”的修订原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格，力求提高学生的实际操作能力，使学生更好地适应社会需求。

本系列教材在开发过程中，为了更适宜于教学，特开发配套立体资源包，包括如下内容：

- 教材使用说明；
- 电子教案，并附有课程说明、教学大纲、教学重难点及课时安排等；
- 教学课件，包括：PPT 课件及教学实训演示视频等；
- 教学拓展资源，包括：教学素材、教学案例及网络资源等；

- 教学题库及答案，包括：同步测试题及答案、阶段测试题及答案等；
- 教材交流支持平台。

北京理工大学出版社



Qianyan

前言

密

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，急需一批熟练掌握数控技术的应用型人才。

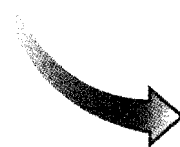
本书根据国家教育部数控技术应用专业技能紧缺人才培养方案、劳动与社会保障部制定的有关国家职业标准及相关职业技能鉴定规范，结合近年数控大赛命题与编者多年的教学和实践经验编写。目的在于普及与提高数控加工技术，培养数控机床编程人员，加强技术教育，培养跨世纪中、高级技能人才。

《数控编程》是一门结合实践的专业课程教材。主要介绍具有代表性、应用较为普遍的日本 FANUC 数控系统以及德国 SIEMENS 数控系统的编程指令，侧重于数控车床的编程。针对职业教育的特点，本书编程例题均按照实际加工步骤详细说明，注重理论与实际结合，突出以应用为主的特点，融入项目化课程改革和一体化教学的理念。书中例题均添加了程序段注释，比较易于接受和掌握，便于教师备课，也便于学生自己阅读。

本书可作为高等院校数控技术应用专业、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技术工人的培训教材。同时可供有关企业从事数控机床应用工程技术人员参考。

本书由南京技师学院刘立和丁辉主编和统稿，梅建强、徐炜副主编并参与审核。编写中参考了 FANUC 系统操作编程使用说明书、SIEMENS802S 操作、编程用户手册和南京宇航自动化技术研究所宇航仿真系统使用手册以及参考文献中诸多专业同仁的力作，在此深表感谢。书中如有谬误，恳请读者给予批评指正。

编者



目 录

绪 言	1
-----	---

第一部分 数控编程基础

第一章 数控基础与坐标系	6
--------------	---

§ 1-1-1 数控基础知识	6
----------------	---

§ 1-1-2 数控机床坐标系	11
-----------------	----

第二章 编程基础知识与通用编程指令	15
-------------------	----

§ 1-2-1 程序编制基础	15
----------------	----

§ 1-2-2 通用编程指令	23
----------------	----

第一部分小结	32
--------	----

思考题	32
-----	----

第二部分 数控车床的编程

第一章 德国 SIEMENS—802S/C 系统数控车床的编程	34
---------------------------------	----

§ 2-1-1 数控车床坐标系	34
-----------------	----

§ 2-1-2 SIEMENS 系统基本指令	38
------------------------	----

§ 2-1-3 圆弧、倒角、倒圆编程指令	42
----------------------	----

§ 2-1-4 循环编程指令	46
----------------	----

§ 2-1-5 刀具补偿功能	51
----------------	----

§ 2-1-6 螺纹编程指令及应用	54
-------------------	----

§ 2-1-7 R 参数变量编程及应用	59
---------------------	----

§ 2-1-8 简单编程实例	64
----------------	----

§ 2-1-9 综合编程实例	71
----------------	----

本章小结	99
------	----

思考题	99
-----	----

第二章 日本 FANUC 系统数控车床的编程	100
------------------------	-----

§ 2-2-1 基本指令与格式	100
-----------------	-----

§ 2-2-2 循环编程指令及应用	106
-------------------	-----

§ 2-2-3 螺纹编程指令及应用	119
-------------------	-----

§ 2-2-4 子程序和宏程序的编程	124
--------------------	-----

§ 2-2-5 工件坐标系与刀具补偿	130
--------------------	-----

§ 2-2-6 编程实例	135
--------------	-----

本章小结	151
------	-----

思考题	152
-----	-----

第三部分 数控铣床和加工中心的编程

第一章 FANUC 系统的编程 154

§ 3-1-1 基本指令与含义 154

§ 3-1-2 指令编程格式 158

§ 3-1-3 编程实例 169

本章小结 178

第二章 SIEMENS802S 系统的编程

..... 179

§ 3-2-1 SIEMENS802S 系统编程
基础 179

§ 3-2-2 常用编程指令 191

§ 3-2-3 其他功能的编程指令
..... 198

本章小结 214

附 录 215

附录 1 FANUC 系统 A 类指令总表
..... 215附录 2 SIEMENS-802S/C 总指
令表 217附录 3 数控车床操作工国家职业
标准 224附录 4 数控铣床操作工国家职业
标准 233附录 5 加工中心操作工国家职业
标准 243

参考文献 254



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，机械产品的性能、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都采用自动机床、组合机床和自动生产线，但这种设备的一次性投资费用大，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的特点，数控机床适用于高精度、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，综合应用了自动控制技术、精密测量技术、液压传动和机床结构等方面的最新成就。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。工业发达的国家中，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,在中批量生产甚至大批量生产中得到应用。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能力。

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:微处理器或微型计算机(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,世界数控机床的品种已超过 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、法国及俄罗斯国家中的数控公司以日本发展最快。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、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,联动坐标轴数在 10 轴以上;分辨率(最小设定单位)已普遍达到 0.01 ~ 0.001,少数机床已发展到 0.000 1 mm;快速行程提高到了 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 DNC(DirectNC)。

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

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 FMC (Flexible Manufacturing Cell)。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 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System), 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。数控系统发展方向考虑功能、价格和可靠性三大因素。

(1) 功能因素的发展方向: 总趋势是朝着高级的、无人化加工的方向发展。

高速、多微处理系统, 大容量存储器和可编程序控制器, 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 (语文、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: 一般用平均无故障时间进行衡量。国外规定为 30 000 h, 我国规定 $\geq 3\ 000$ 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 $0.005 \sim 0.1\text{ mm}$, 目前最高的尺寸精度可达 $\pm 0.0015\text{ mm}$, 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,这样大大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)系统连接,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。

不足之处就是数控机床价格昂贵,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与程序编制、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

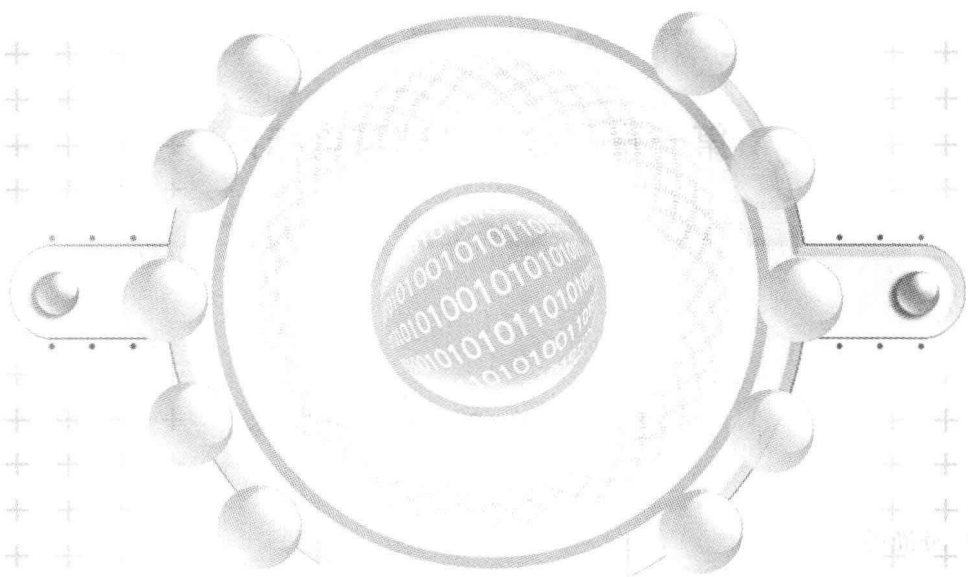
- (1) 能加工轮廓形状特别复杂或难以控制尺寸的零件。
- (2) 能加工超精零件。
- (3) 能加工普通机床不能(或不便)加工的多种零件。例如,用数学模型描述的复杂曲线类零件及三维空间曲面类零件。
- (4) 能加工经一次装夹定位后,需进行多道工序加工的零件。
- (5) 一台数控机床可同时加工两个或多个相同的零件,也可同时加工多工序的不同零件。
- (6) 数控机床加工的自动化程度很高。
- (7) 在数控机床上加工零件,能明显缩短加工的准备时间,降低生产费用。
- (8) 采用数控机床加工,能有效地减少加工中的辅助时间,较大地提高生产率。
- (9) 数控机床加工能修改加工程序,给新品的开发、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坏件。
- (4) 加工中,刀具的质量(主要是耐用度)特别差时。

五、学习本课程的方法

掌握数控编程,要结合机加工工艺。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:①及时复习,巩固相关知识。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选修课中的知识,是学好本课程的重要条件。②提高学习积极性,勤动脑,肯钻研,知难而上。③抓住实践机会,多动手、勤练习,丰富所学知识。



第一部分 数控编程基础

任务导入

就像写作文必须掌握字和词汇一样，编程也必须掌握构成程序的指令格式及含义；并且，由于编程描述的是零件加工路径，就好比开车路线一样，必须知道地图和行车路线才能按照目标进给，所以编程还必须掌握坐标系的知识。



学习目标

1. 掌握数控基础知识及数控机床坐标系。
2. 学习并掌握数控机床加工程序编制的基础知识、通用编程指令及指令编写格式。

第一章 数控基础与坐标系

§1-1-1 数控基础知识

任务描述

1. 能够解释数控、数控技术、数控机床的含义、数控加工工作实质及数控机床工作过程。
2. 能够阐述数控机床的组成及工作原理。
3. 了解数控机床的几种主要分类方法，能够阐述按伺服系统结构分类的几种结构特点。

相关知识

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）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，将通过计算机进行自动控制的技术通称为数控技术，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（NC）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，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。

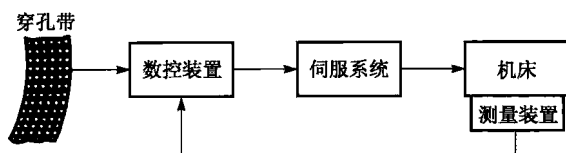


图 1-1-1 数控机床的组成

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，如图中的虚线部分，构成闭环控制。

(1) 控制介质。控制介质为穿孔纸带，也可以是磁带、磁盘或其他可存储物质。

(2) 数控装置。数控装置由微处理器计算机和小型计算机担任，称为计算机数控系统（CNC）。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、0.001 mm、0.000 5 mm 和 0.000 1 mm 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。

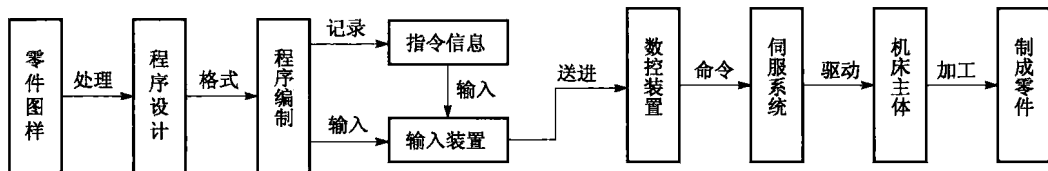


图 1-1-2 数控机床的工作过程

(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变为电信号，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，立即通过执行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。

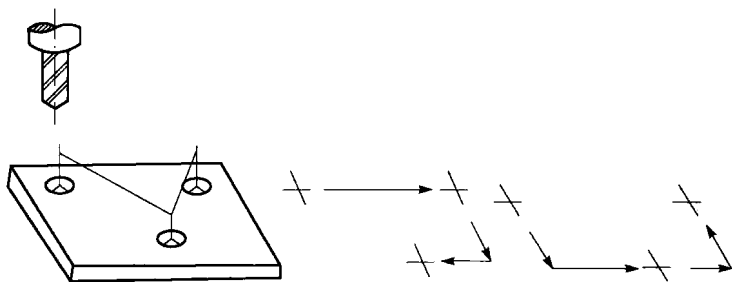


图 1-1-3 点位控制示意图

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做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。

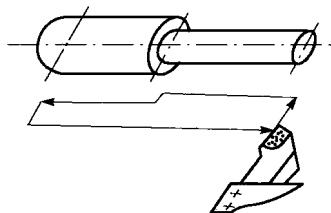


图 1-1-4 直线控制示意图

(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都属于这类机床。

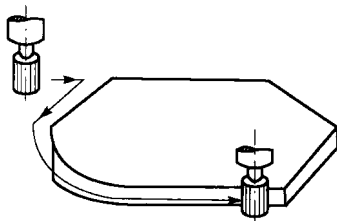


图 1-1-5 连续控制示意图

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。此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。

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。

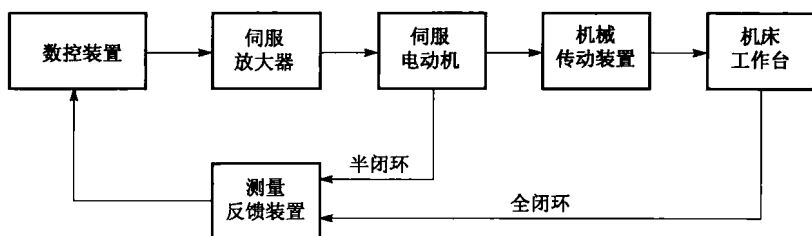


图 1-1-6 闭环伺服系统控制原理框图

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。此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如图 1-1-7 所示进行比较。

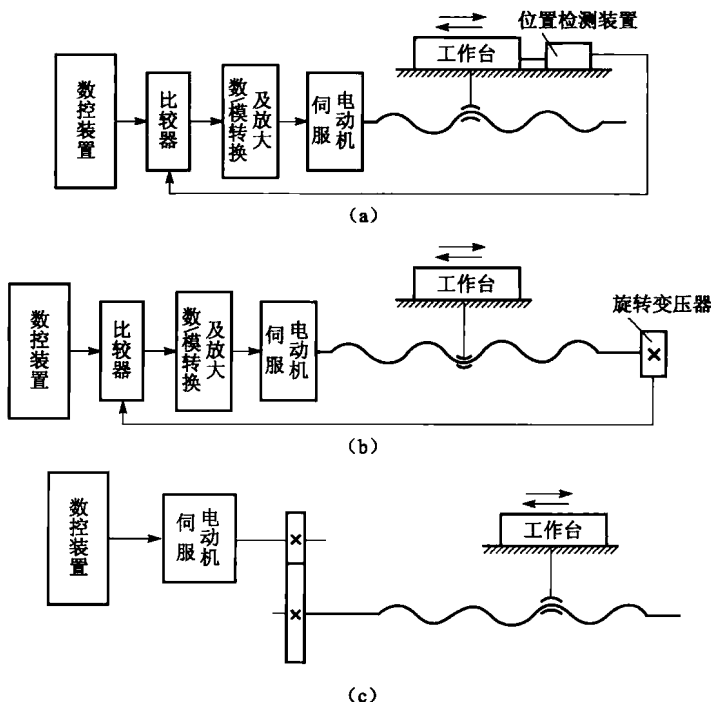


图 1-1-7 三种伺服结构的比较

(a) 全闭环；(b) 半闭环；(c) 开环