

“十三五”普通高等教育规划教材

# 数控应用技术

主编 张志义 李海连



含电子课件

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”普通高等教育规划教材

# 数控应用技术

主 编 张志义 李海连  
副主编 罗春阳 肖 鹏



机械工业出版社

本书详细介绍了机床数控技术的有关内容,突出了数控技术的先进性与综合性。全书理论联系实际,重在实用。

本书共分6章,内容包括绪论、数控机床的组成(机械结构、辅助装置、数控系统、位置检测装置和伺服系统)、数控机床的加工工艺基础、数控编程基础(数控车床编程和数控铣床编程)、轮廓加工的数学基础和CAD/CAM技术(UG CAM的应用),章后附有复习思考题。

本书可供从事数控机床编程和操作等相关工程技术人员使用,也可作为应用型机械类和近机械类相关专业本科教材使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控应用技术/张志义,李海连主编. —北京:机械工业出版社,2018.3

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-59552-6

I. ①数… II. ①张… ②李… III. ①数控机床-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第062158号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:时静 杨璇 责任校对:张艳霞

责任印制:张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2018年5月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·15印张·360千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-59552-6

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:(010)88379833

读者购书热线:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

随着现代工业的迅猛发展,数控加工设备的应用日趋普及,制造业越来越多采用数控技术以提高产品的精度和生产率,因此对数控加工的工艺安排、程序编制、加工操作及机床维护和保养等技术人员的要求也越来越高。为此,数控技术的教学和人才培养就应注重实用性和先进性。本书以介绍数控应用技术为主,同时穿插介绍了数控加工相关的工艺性知识和自动编程实例,使本书既具有相当的理论性又具有一定的实用性。本书可供从事数控机床编程和操作等相关工程技术人员使用,也可作为应用型机械类和近机械类相关专业本科教材使用。

数控技术的理论性较强,更是一门涉及机械、电气、传感器及计算机等多门学科的技术。它是由各种技术相互交叉、渗透、有机结合而成的一门综合性学科,具有很强的系统性和实用性。因此本书首先全面、系统地介绍了数控机床的产生与发展过程、数控机床的工作过程及各个组成部分的工作原理及其结构,使读者对其工作原理、结构组成及数控加工特点有较全面了解;接着针对数控机床加工工艺进行了介绍,结合编者多年的数控加工经验,选择较为实用的工艺内容进行讲解,使读者对刀具、切削用量选择及数控加工工艺卡的编制有一定的了解;然后针对数控车床和数控铣床进行了编程代码及编程技巧的详细讲解,并提供了大量编程实例以供读者理解和熟悉编程技巧;接着通过逐点比较法、数字积分法介绍了数控插补原理,使读者初步了解数控机床运动轨迹的插补控制过程;最后介绍了 CAD/CAM 的概念及编程步骤。随着计算机技术和先进制造技术的进步,现代加工向着无图样加工方向发展,其中 CAD/CAM/CAPP 等计算机辅助设计、制造、工艺已广泛应用到数控加工制造中。本书结合实例介绍了 UG 在自动编程方面的应用,使读者能了解现代编程技术和使用方法,能更有效地完成数控技术的学习。

参加本书编写的有张志义(1、2、3章),李海连(4、6章),肖鹏(5章及附录),罗春阳和孙长健参与了部分编写工作,张彭负责图形绘制,罗春阳和肖鹏对本书的加工程序进行验证,全书由张志义统稿。

本书在编写过程中参阅了国内外的教材、资料和文献,在此谨表谢意。由于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,恳请读者提出宝贵意见和建议。

编 者

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 前言                    | 1  |
| 第1章 绪论                | 1  |
| 1.1 数控机床的产生与发展        | 1  |
| 1.1.1 数控机床的产生与发展史     | 1  |
| 1.1.2 数控机床的特点         | 3  |
| 1.1.3 数控机床的适用范围       | 4  |
| 1.2 数控机床的基本组成与工作过程    | 4  |
| 1.2.1 数控机床的基本组成       | 4  |
| 1.2.2 数控机床的基本工作过程     | 6  |
| 1.3 数控机床的分类           | 6  |
| 1.3.1 按加工工艺方法分类       | 6  |
| 1.3.2 按控制方式分类         | 7  |
| 1.3.3 按伺服驱动的特点分类      | 8  |
| 1.3.4 按数控系统的功能水平分类    | 9  |
| 1.4 数控技术及其装备的发展趋势     | 10 |
| 复习思考题                 | 12 |
| 第2章 数控机床的组成           | 13 |
| 2.1 数控机床的机械结构         | 13 |
| 2.1.1 数控机床主传动的机械结构    | 13 |
| 2.1.2 数控机床进给传动的机械结构   | 20 |
| 2.2 数控机床的辅助装置         | 27 |
| 2.2.1 刀库与自动换刀装置       | 27 |
| 2.2.2 回转工作台           | 32 |
| 2.2.3 液压和气动系统         | 32 |
| 2.2.4 润滑和冷却系统         | 33 |
| 2.2.5 排屑装置            | 34 |
| 2.3 计算机数控系统           | 34 |
| 2.3.1 CNC 系统功能及基本工作过程 | 35 |
| 2.3.2 CNC 系统的硬件结构     | 37 |
| 2.3.3 CNC 系统的软件结构     | 41 |
| 2.3.4 可编程序控制器         | 42 |
| 2.4 位置检测装置            | 44 |
| 2.4.1 概述              | 44 |

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| 2.4.2 | 典型位置检测装置介绍         | 45 |
| 2.5   | 伺服系统               | 48 |
| 2.5.1 | 概述                 | 48 |
| 2.5.2 | 步进伺服系统             | 53 |
| 2.5.3 | 直流伺服系统             | 56 |
| 2.5.4 | 交流伺服系统             | 57 |
| 2.5.5 | 位置控制原理             | 58 |
|       | 复习思考题              | 59 |
| 第3章   | 数控机床的加工工艺基础        | 61 |
| 3.1   | 数控加工的工艺特点          | 61 |
| 3.1.1 | 数控加工零件的工艺性分析       | 61 |
| 3.1.2 | 加工方法与加工方案的确定       | 63 |
| 3.1.3 | 数控加工工序划分           | 65 |
| 3.2   | 数控加工刀具             | 66 |
| 3.2.1 | 数控加工刀具的特点          | 67 |
| 3.2.2 | 数控加工刀具材料           | 67 |
| 3.3   | 数控加工工序的设计          | 67 |
| 3.3.1 | 走刀路线的确定            | 68 |
| 3.3.2 | 定位基准与夹紧方案的确定及夹具的选择 | 70 |
| 3.3.3 | 刀具的选择              | 70 |
| 3.3.4 | 切削用量的确定            | 71 |
| 3.4   | 数控加工工艺文件的编制        | 74 |
| 3.4.1 | 数控加工工序卡            | 74 |
| 3.4.2 | 数控加工刀具卡            | 75 |
| 3.4.3 | 数控加工走刀路线图          | 75 |
| 3.4.4 | 数控加工程序单            | 76 |
|       | 复习思考题              | 76 |
| 第4章   | 数控编程基础             | 77 |
| 4.1   | 数控编程基础知识           | 77 |
| 4.1.1 | 数控编程的一般步骤          | 77 |
| 4.1.2 | 数控编程的方法            | 79 |
| 4.1.3 | 程序结构与格式            | 80 |
| 4.1.4 | 功能字                | 82 |
| 4.1.5 | 坐标系                | 88 |
| 4.2   | 数控车床编程             | 91 |
| 4.2.1 | 数控车床编程特点           | 91 |
| 4.2.2 | 数控车床系统功能           | 91 |

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 4.2.3 | 数控车床坐标系统           | 93  |
| 4.2.4 | 数控车床常用编程指令         | 95  |
| 4.2.5 | 车削固定循环指令           | 107 |
| 4.2.6 | 数控车床子程序编程          | 114 |
| 4.2.7 | 车削加工编程实例           | 116 |
| 4.3   | 数控铣床(加工中心)编程       | 119 |
| 4.3.1 | 数控铣床(加工中心)的系统功能    | 120 |
| 4.3.2 | 数控铣床(加工中心)的坐标系统    | 121 |
| 4.3.3 | 数控铣床(加工中心)常用编程指令   | 122 |
| 4.3.4 | 固定循环指令             | 141 |
| 4.3.5 | 数控铣床(加工中心)子程序格式及应用 | 149 |
| 4.3.6 | 加工中心编程指令           | 150 |
| 4.3.7 | 数控参数编程             | 155 |
| 4.3.8 | 数控铣床(加工中心)编程实例     | 158 |
|       | 复习思考题              | 163 |
| 第5章   | 轮廓加工的数学基础          | 167 |
| 5.1   | 逐点比较法              | 168 |
| 5.1.1 | 逐点比较法插补直线          | 168 |
| 5.1.2 | 逐点比较法插补圆弧          | 171 |
| 5.1.3 | 逐点比较法的改进           | 173 |
| 5.2   | 数字积分法              | 176 |
| 5.2.1 | 数字积分法插补直线          | 177 |
| 5.2.2 | 数字积分法插补圆弧          | 179 |
|       | 复习思考题              | 181 |
| 第6章   | CAD/CAM 技术         | 182 |
| 6.1   | CAD/CAM 概述         | 182 |
| 6.2   | CAD/CAM 自动编程的特点    | 184 |
| 6.3   | UG CAM 自动编程一般步骤    | 185 |
| 6.3.1 | 进入 CAM 加工模块        | 186 |
| 6.3.2 | 工具栏介绍              | 186 |
| 6.3.3 | UG 生成数控程序的一般步骤     | 188 |
| 6.3.4 | 创建刀具               | 189 |
| 6.3.5 | 创建几何体              | 191 |
| 6.3.6 | 创建加工方法             | 195 |
| 6.3.7 | 创建程序组              | 198 |
| 6.3.8 | 刀轨校验               | 198 |
| 6.4   | CAM 加工操作实例         | 200 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 6.4.1 型腔类加工 .....                 | 200 |
| 6.4.2 刻字加工实例 .....                | 205 |
| 6.4.3 孔加工操作实例 .....               | 208 |
| 6.4.4 UG CAM 的后处理操作 .....         | 218 |
| 附录 .....                          | 225 |
| 附录 A 华中世纪星数控车床 G 准备功能表 .....      | 225 |
| 附录 B 西门子 802D 数控铣床 G 准备功能表 .....  | 226 |
| 附录 C 西门子 802S 数控车床 G 准备功能表 .....  | 227 |
| 附录 D FANUC0-MD 数控铣床 G 准备功能表 ..... | 228 |
| 参考文献 .....                        | 231 |

# 第1章 绪论

数控技术是 20 世纪先进制造技术的重大成就之一，是集成了计算机技术、自动控制技术、检测技术和机械制造技术的交叉和综合技术。本章重点对数控机床的产生与发展、数控机床的基本组成与工作过程、数控机床的分类、数控机床的特点及发展趋势等内容进行阐述。

## 1.1 数控机床的产生与发展

数控机床是在机械制造技术和自动控制技术的基础上发展起来的。1946 年，美国宾夕法尼亚大学研制出世界第一台电子计算机“ENIAC”，为产品制造由刚性自动化向柔性自动化方向发展奠定了基础。

### 1.1.1 数控机床的产生与发展史

现代科学技术和社会生产的不断发展，对机械加工提出了越来越高的要求。机械加工过程的自动化、智能化是实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能提高产品的质量、提高生产率、降低生产成本，还能大大减轻工人的劳动强度，改善工作环境。

在机械制造业中，并不是所有产品的零件都具有很大的批量，单件与小批量生产的零件（批量为 10~100 件）约占机械加工总量的 80% 以上。尤其是造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防等行业，其生产特点是加工批量小、改型频繁、零件形状复杂且精度要求高。采用专业化程度很高的自动化机床加工这类零件就显然很不合理，因为生产过程中需要经常改装与调整设备，对于专业生产线来说，这类改装与调整有时是不可能实现的。各类仿形加工机床虽已部分解决了小批量、复杂零件的加工问题，但在更换零件时必须制造靠模、调整机床，不但消耗大量的手工劳动，延长了生产准备周期，而且由于靠模误差的影响，零件精度很难达到较高的要求。

为解决上述这些问题，满足多品种、小批量的自动化生产要求，迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的自动化机床。

数字控制（Numerical Control，简称 NC 或数控）机床就是在这样的背景下诞生并发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾，为单件、小批量生产精密复杂零件提供了自动化加工手段。数控机床将加工过程所需的各种操作（如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给切削液等）步骤，以及刀具与工件之间的相对位移量等都数字化了的代码来表示，通过介质（如穿孔纸带或磁盘等）将数字信息送入专用的或通用的计算机，计算机对输入的信息进行处理与运算，发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件，使机床自动加工出所需要的工件。数控机床与其他自动机床的一个显著区别在于，当加工对象改变时，除了重新装夹工件和更换刀具外，只需更新程序即可，不需要对

机床进行任何调整。

采用数字控制技术进行机械加工的思想，最早是在 20 世纪 40 年代提出的。当时，美国的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司在制造飞机框架及直升机叶片轮廓检查用样板时，利用全数字电子计算机对轮廓路径进行数据处理，并考虑了刀具直径对加工路径的影响，提高了加工精度。1949 年帕森斯公司正式接受美国空军委托，在麻省理工学院伺服机构实验室的协助下，开始从事数控机床的研制工作。经过三年的研究，于 1952 年试制成功世界第一台数控机床试验性样机。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制铣床（图 1-1），是第一代数控机床。1955 年，该类机床进入实用化阶段，在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。

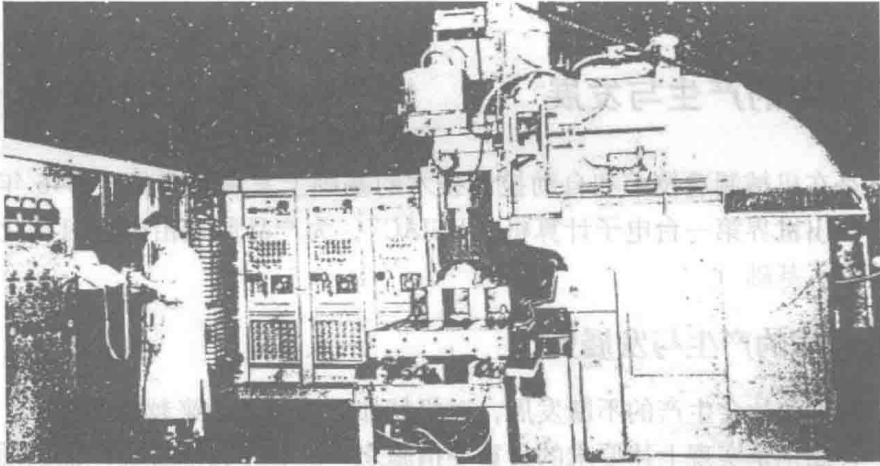


图 1-1 第一台三坐标数控铣床

1953 年，美国空军与麻省理工学院协作，开始从事计算机自动编程的研究，这就是创制 APT（Automatically Programmed Tools）自动编程的开始。

1955 年，美国空军花费巨额经费订购了大约 100 台数控机床。此后两年，数控机床在美国进入迅速发展阶段，市场上出现了商品化数控机床。1958 年，美国克耐·杜列克公司（Kearney & Trecker Co.）在世界上首先研制成功带自动换刀装置的数控机床，称为“加工中心”。

1959 年，计算机行业研制出晶体管元器件，随后数控装置中广泛采用晶体管和印制电路板，从而跨入第二代数控时代。同时美国航空工业协会（AIA）和麻省理工学院发展了 APT 程序语言。1960 年以后，点位控制机床在美国得到迅速发展，数控技术不仅在机床上得到了实际应用，而且逐步推广到冲压机、绕线机、焊接机、火焰切割机、包装机和坐标测量机等。在程序编制方面，已由手工编程逐步发展到采用计算机自动编程。除了 APT 数控语言外，又出现了许多自动编程语言。

从 1960 年开始，一些先进工业国家陆续开发、生产及使用了数控机床。

1965 年，出现了小规模集成电路。由于它体积小、功耗低，使数控系统的可靠性得以进一步提高，数控系统发展到第三代。

以上三代，都是采用专业控制计算机的硬逻辑数控系统。装有这类数控系统的机床为普通数控机床（简称 NC 机床）。

1967年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是最初的FMS(Flexible Manufacturing System, 柔性制造系统)。之后,美、欧、日也相继进行开发与应用。

随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降。小型计算机开始取代专用数控计算机,数控的许多功能由软件程序实现。这样组成的数控系统称为计算机数控系统(CNC)。1970年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了这种系统,称为第四代数控系统。而由计算机直接对许多机床进行控制的数控系统,称为直接数控系统(DNC)。

1970年前后,美国英特尔公司开发和使用微处理器。1974年美、日等国先后研制出以微处理器为核心的数控系统。随后,微处理器数控系统的数控机床得到了飞速发展和广泛应用,这就是第五代数控系统(MNC)。20世纪80年代初,国际上又出现了柔性制造单元FMC(Flexible Manufacturing Cell)。

FMC和FMS被认为是实现CIMS(Computer Integrated Manufacturing System, 计算机集成制造系统)的必经阶段和基础。

### 1.1.2 数控机床的特点

(1) 广泛的适应性 由于采用数字程序控制,当生产品种改变时,只要重新编制零件程序,就能够实现对新零件的自动化生产。这对当前市场竞争中产品不断更新换代的生产模式是十分重要的。它为多品种、中小批量零件的自动化加工提供极好的生产方式。

(2) 精度高、产品稳定 数控机床是按照预定程序自动工作的,一般情况下工作过程不需要人工干预,这就消除了操作者人为生产的误差。在设计制造机床主机时,通常采取了许多措施,使数控机床的机械部分达到较高的精度。数控装置的脉冲当量(或分辨率)目前可达 $0.01 \sim 0.0001 \text{ mm}$ ,同时可以通过实时检测反馈,修正误差或补偿来获得更高的精度。因此,数控机床可以获得比普通机床精度更高的加工精度。尤其是产品稳定(即零件加工的一致性)是过去任何机床所不及的,它与操作者的思想情绪和熟练程度几乎无关。由于零件加工的一致性,它给下一道工序的加工或总装工序的互换性都带来许多方便。

(3) 生产率高 数控机床能够减少零件加工所需的机动时间与辅助时间。数控机床的主轴转速和进给量的范围比通用机床的范围大,每一道工序都能选用最佳的切削用量,良好的机械结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,从而有效地节省了机动时间。数控机床移动部件在定位中均采用加速和减速措施,并可选用很高的空行程运动速度,缩短了定位和非切削时间。由于采用了自动换刀、自动交换工作台及自动松夹工件,并还可在同一台机床(加工中心)上同时进行车、铣、镗、钻、磨等各种粗精加工,即在一台机床上实现多道工序的连续加工。它不仅减少了辅助时间,并且由于集中了工序,既减少了零件周转和装夹次数,又减少了半成品零件的堆放面积,给生产调度管理带来极大的方便。另外由于一机多用,减少了设备数量和厂房占地面积。

(4) 减轻劳动强度、改善生产条件 由于数控机床是按所编程序自动完成零件加工的,操作者一般只需装卸工件和更换刀具,按下循环起动按键后,由机床自动完成加工,因而大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件,减少了对熟练技术工人的需求,并可实现一个人管理多台机床加工。

(5) 能实现复杂零件的加工 普通机床难以实现或无法实现轨迹为二次以上的曲线或

曲面的运动,如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面。而数控机床由于采用了计算机插补技术和多坐标联动控制,可以实现几乎是任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面,适用于各种复杂曲面的零件加工。

(6) 有利于现代化生产管理 采用数控机床加工,能很方便地准确计算零件加工工时、生产周期和加工费用,并有效地简化了检验以及工装夹具和半成品的管理工作。利用数控机床的通信接口,采用数控信息与标准代码输入,可以与计算机联网,实现计算机辅助设计、制造及管理一体化,即成为实现 CIMS 技术的基础。

### 1.1.3 数控机床的适用范围

数控机床具有普通机床所不具备的许多优点,其应用范围也在不断扩大,但它并不能完全取代普通机床,还不能以经济的方式解决机械加工中所遇到的问题。数控机床最适合加工具有如下特点的零件。

- 1) 多品种、小批量生产的零件。
- 2) 形状结构比较复杂的零件。
- 3) 需要频繁改型的零件。
- 4) 价值昂贵、不允许报废的关键零件。
- 5) 设计制造周期短的急需零件。
- 6) 精度要求较高的批量零件。

## 1.2 数控机床的基本组成与工作过程

数控机床一般由数控系统、伺服系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成。下面将对数控机床的基本组成及工作过程进行介绍。

### 1.2.1 数控机床的基本组成

图 1-2 中实线部分是一种较典型的现代数控机床构成框图,加上虚线部分即可表示数控加工的基本工作过程。具体功能不同的数控机床,其组成部分略有不同。

(1) 数控系统 它是机床实现自动加工的核心,主要由操作系统、主控制系统、可编程序控制器和各类输入输出接口等组成。其中操作系统由显示器和操作键盘组成,显示器有数码管、CRT 和液晶等多种形式。主控制系统与计算机主板类似,主要由 CPU、存储器和控制器等部分组成。数控系统所控制的一般对象是位置、角度和速度等机械量以及温度、压力和流量等物理量,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运算模块就是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等信息处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号比较,从而控制机床各个坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常主要由可编程序控制器 PLC 来完成,其根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判断,从而控制机床各个部件有条不紊地按序工作。

(2) 伺服系统 它是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节,主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统则是伺服

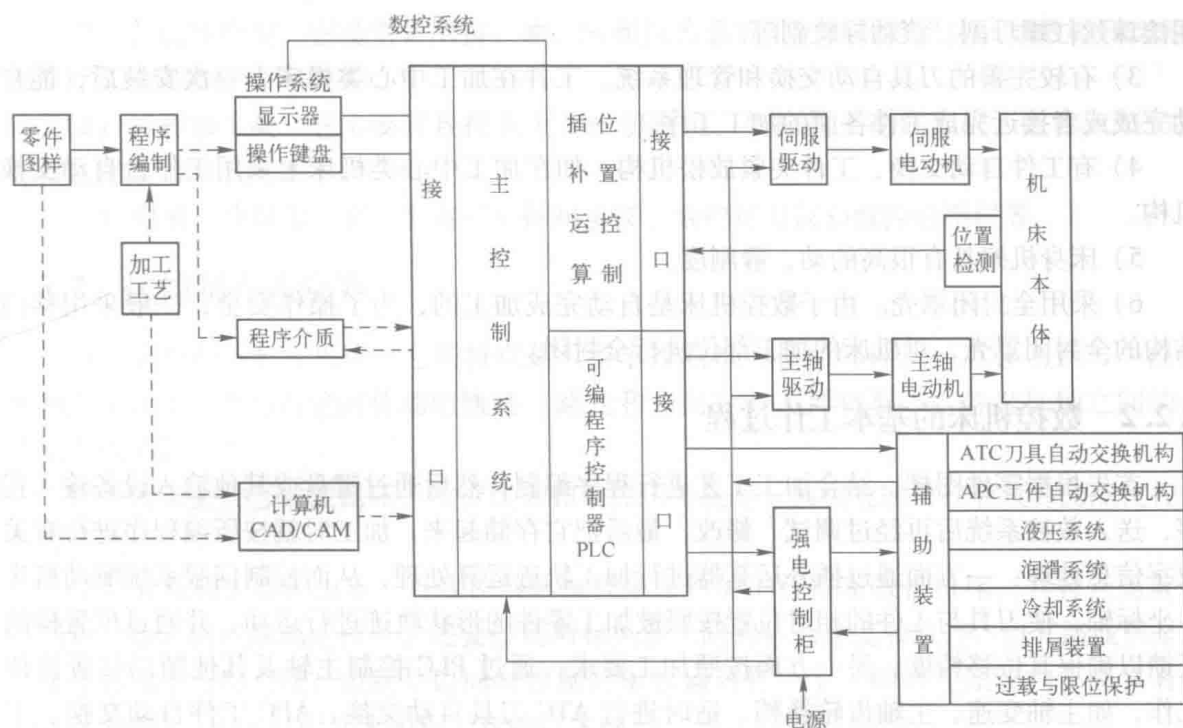


图 1-2 数控机床的主要组成部分与基本工作过程示意图

电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令，再经驱动控制系统功率放大后，驱动电动机运转，从而通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

(3) 强电控制柜 它主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件，除了提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源以及各种短路、过载、欠电压等电气保护外，主要在可编程序控制器 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元器件之间起桥梁作用，即控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等，主要起到扩展接点数和扩大触点容量等作用。另外，它也与机床操作面板的有关手控按钮连接。强电控制柜由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。它与一般的机床电气设备类似，但为了提高对弱电控制系统的抗干扰性，要求各类频繁起动或切换的电动机、接触器等电磁感应器件中均必须并接 RC 阻容吸收器，对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

(4) 辅助装置 它主要包括 ATC 刀具自动交换机构、APC 工件自动交换机构、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压系统、润滑系统、冷却系统、排屑装置和过载与限位保护等部分。机床加工功能与类型不同，所包含的部分也不同。

(5) 机床本体 它是数控机床机械结构实体。它传统的普通机床相比，同样由主传动机构、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成，但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、刀具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化。这些变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点，归纳起来有以下几点。

- 1) 采用高性能主传动及主轴部件，具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。
- 2) 进给传动采用高效传动件，具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点，一般采

用滚珠丝杠螺母副、滚动导轨副等。

3) 有较完善的刀具自动交换和管理系统。工件在加工中心类机床上一次安装后,能自动完成或者接近完成工件各面的加工工序。

4) 有工件自动交换、工件夹紧放松机构,如在加工中心类机床上采用工作台自动交换机构。

5) 床身机架具有很高的动、静刚度。

6) 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工的,为了操作安全,一般采用移门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部位进行全封闭。

### 1.2.2 数控机床的基本工作过程

首先根据零件图样,结合加工工艺进行程序编制,然后通过键盘或其他输入设备输入程序,送入数控系统后再经过调试、修改,最后把它存储起来。加工时就按所编程序进行有关数字信息处理:一方面通过插补运算器进行加工轨迹运算处理,从而控制伺服系统驱动机床各坐标轴,使刀具与工件的相对位置按照被加工零件的形状轨迹进行运动,并通过位置检测反馈以确保其位移精度;另一方面按照加工要求,通过 PLC 控制主轴及其他辅助装置协调工作,如主轴变速、主轴齿轮换档、适时进行 ATC 刀具自动交换、APC 工件自动交换、工件夹紧与放松、润滑系统的开停、切削液的开关,必要时过载与限位保护起作用,控制机床运动迅速停止。

数控机床通过程序调试、试切削后,进入正常批量加工时,操作者一般只要进行工件上下料装卸,再按下程序自动循环按钮,机床就能自动完成整个加工过程。

零件加工程序编制分为手动编程和自动编程。手动编程是指编程员根据零件图样和工艺,采用数控编程指令(目前一般都采用 ISO 数控标准代码)和指定格式进行程序编写,然后通过操作键盘送入数控系统内,再进行调试、修改等。对于自动编程,目前已较多采用了计算机 CAD/CAM 图形交互式自动编程,通过计算机处理后,自动生成数控程序,可以通过接口直接输入数控系统内。

## 1.3 数控机床的分类

数控机床的品种规格繁多,分类方法不一。一般可以按下面四种原则来进行分类。

### 1.3.1 按加工工艺方法分类

据不完全统计,目前数控机床的品种规格已达 500 多种,按其工艺方法可以划分为四大类。

(1) 金属切削类 它是指采用车、铣、镗、铰、钻、磨和刨等各种切削工艺的数控机床。它又可以分为以下两类。

1) 普通型数控机床,如数控车床、数控铣床和数控磨床等。

2) 加工中心。它的主要特点是具有自动换刀机构的刀库,工件经过一次装夹后,通过自动更换各种刀具,在同一台机床上对工件各加工面连续进行铣(车)、镗、钻、铰和攻螺纹等多种工序的加工,如镗铣加工中心、车削加工中心和钻削加工中心等。

(2) 金属成形类 它是指采用挤、冲、压和拉等成形工艺的数控机床,如数控压力机、数控折弯机和数控弯管机等。

(3) 特种加工类 它主要有数控电火花线切割机、数控电火花成型机、数控火焰切割机和数控激光加工机等。

(4) 测量、绘图类 它主要有三坐标测量仪、数控对刀仪和数控绘图仪等。

### 1.3.2 按控制方式分类

(1) 点位控制数控机床 它的特点是只要求控制机床移动部件从一点移动到另一点的准确定位,至于点与点之间移动的轨迹(路径和方向)并不严格要求,各坐标轴之间的运动是不相关的。

这类机床主要有数控钻床、数控镗床和数控压力机等,其相应的数控装置称为点位控制数控系统。

(2) 直线控制数控机床 直线控制数控机床也称为平行控制数控机床,其特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和轨迹,但其路线只是与机床坐标轴平行的直线,也就是说同时控制的坐标轴只有一个(即数控系统内不必具有插补运算功能),一般只能加工矩形、台阶形零件。

这类机床主要有数控车床、数控铣床和数控磨床等,其相应的数控装置称为直线控制数控系统。

(3) 轮廓控制数控机床 轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其控制特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制。在这类控制方式中,要求数控装置具有插补运算的功能。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床和加工中心等,其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。它按所控制的联动坐标轴数不同,可分为以下几种主要形式。

1) 两轴联动。它主要用于数控车床加工曲线旋转面或数控铣床等高加工曲线轮廓面(图1-3a)。

2) 两轴半联动。它主要用于三轴以上控制的机床,其中两个轴联动,而另一个轴做周期进给,如用球头铣刀加工三维空间曲面(图1-3c)。

3) 三轴联动。它一般指 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三个直线坐标轴联动,多用于数控铣床、加工中心等,如用球头铣刀加工三维空间曲面(图1-3b)。

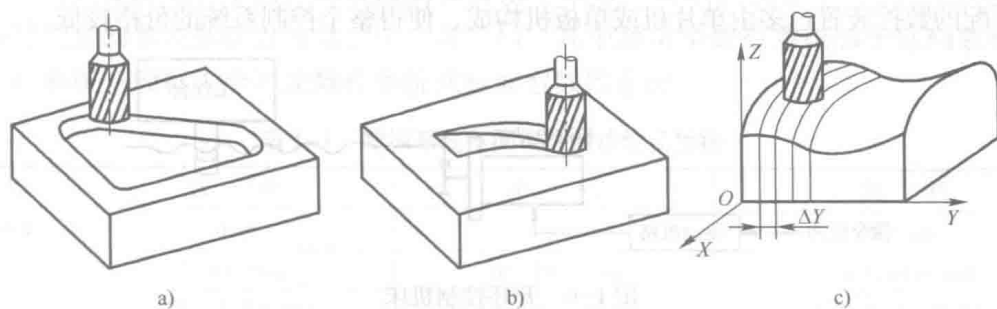


图1-3 铣削的联动轴数

a) 两轴联动 b) 三轴联动 c) 两轴半联动

4) 四轴联动。可同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动。图 1-4 所示数控机床为同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

5) 五轴联动。除了同时控制  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴联动以外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  旋转坐标轴中的两个坐标轴，即同时控制五个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，如图 1-5 所示。例如控制工件同时绕着  $X$  轴和  $Z$  轴两个方向旋转（即  $A$ 、 $C$  轴向回转），使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲面成法线方向，以保证被加工曲面的圆滑性，提高其加工精度和减小表面粗糙度等。

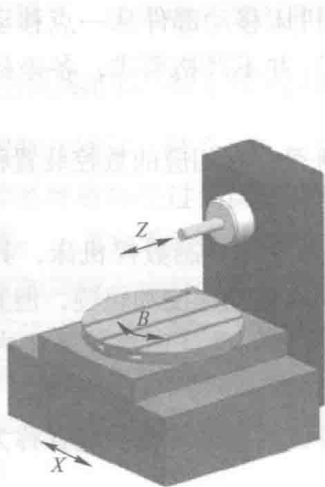


图 1-4 四轴联动的数控机床

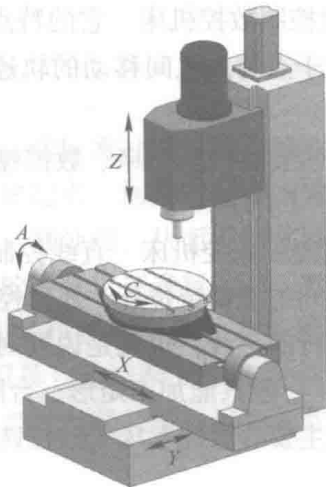


图 1-5 五轴联动的数控机床

### 1.3.3 按伺服驱动的特点分类

(1) 开环控制机床（图 1-6） 这类机床的伺服系统是开环的，即没有检测反馈装置，其驱动电动机只能采用步进电动机。该类电动机的主要特征是控制电路每变换一次指令脉冲信号，电动机就转动一个步距角，并且电动机本身就有自锁能力。数控系统输出的进给指令信号通过环形分配器来控制驱动电路，它以变换脉冲个数来控制坐标位移量，以变换脉冲频率来控制位移速度，以变换脉冲的分配顺序来控制位移方向。因此该控制方式的最大特点是：控制方便，结构简单，价格便宜。由于机械传动误差不经过反馈校正，位移精度一般不高。世界上早期的数控机床均采用该种控制方式。目前由于驱动电路的改进和发展，仍有较多系统采用该种控制方式。一般经济型数控机床或旧设备数控改造中均广泛采用该种方式。另外该类控制方式所配的数控装置也多由单片机或单板机构成，使得整个控制系统的价格较低。

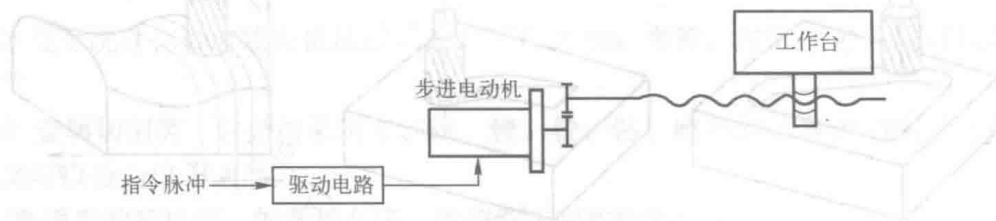


图 1-6 开环控制机床

(2) 闭环控制机床 按位置反馈检测元件的安装部位不同，又分为全闭环和半闭环两种控制方式。

1) 全闭环控制。如图 1-7 所示，其位置反馈采用直线位移检测元件，安装在机床床鞍部位上，即直接检测机床的直线位移量，通过反馈可以消除从电动机到机床工作台整个机械传动链中的传动误差，得到很高的机床静态定位精度。但是，整个闭环系统的稳定性校正很困难，系统的设计和调整也都相当复杂。全闭环控制系统的控制精度高，但是要求机床的刚性好，对机床的加工、装配要求高，调试复杂，而且设备的成本高。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和数控精密磨床等。

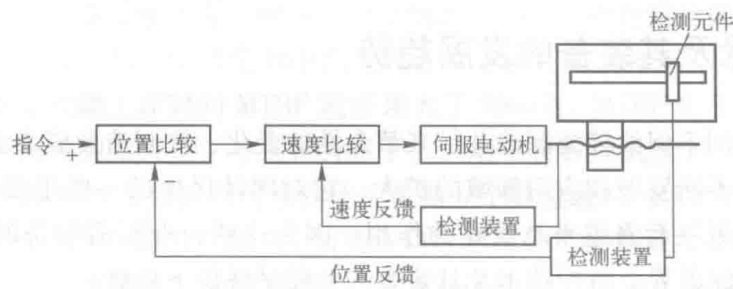


图 1-7 全闭环控制机床

2) 半闭环控制。如图 1-8 所示，其位置反馈采用转角检测元件，直接安装在伺服电动机或丝杠端部。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。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的方法来适当提高其精度。这种控制系统的控制精度高于开环控制系统，调试比全闭环控制系统容易，设备成本介于开环与全闭环控制系统之间。目前，大部分数控机床采用这种半闭环控制方式。

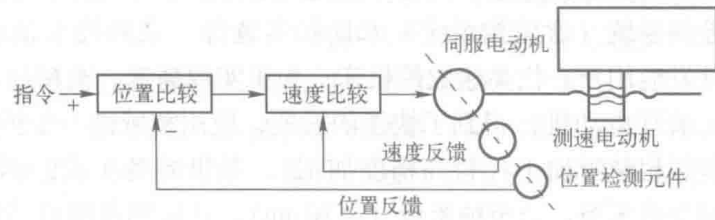


图 1-8 半闭环控制机床

### 1.3.4 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高三档。三档的界限是相对的，不同时期，划分标准也会不同。就目前的发展水平来看，可以根据表 1-1 的一些功能及指标，将各种类型的数控系统分为低、中、高三档。其中经济型数控系统属于低档数控系统，中高档数控系统一般称为全功能数控系统或标准型数控系统。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标

| 功 能    | 低 档         | 中 档            | 高 档                |
|--------|-------------|----------------|--------------------|
| 系统分辨率  | 10 μm       | 1 μm           | 0.1 μm             |
| G00 速度 | 3 ~ 8 m/min | 10 ~ 24 m/min  | 24 ~ 100 m/min     |
| 伺服系统   | 开环及步进电动机    | 半闭环及交、直流伺服     | 半闭环及交、直流伺服         |
| 联动轴数   | 2 ~ 3 轴     | 2 ~ 4 轴        | 5 轴或 5 轴以上         |
| 通信功能   | 无           | RS - 232 或 DNC | RS - 232、DNC 或 MAP |