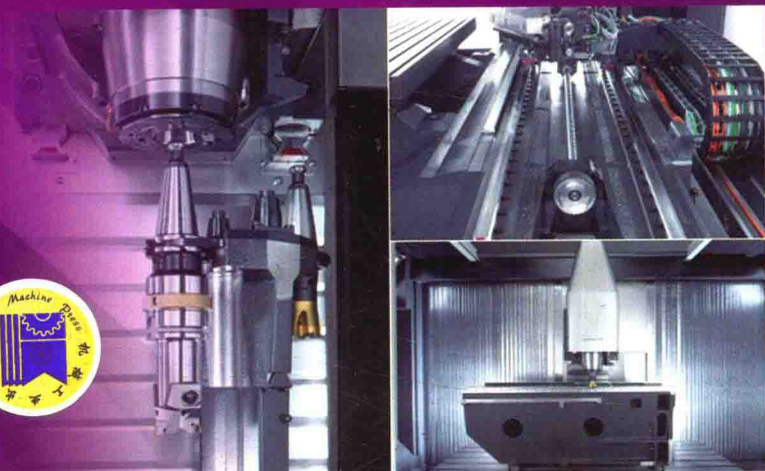




三菱电机自动化应用技术系列教材

数控机床 操作与编程

李小笠 徐有峰 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

CAOZUO YU BIANCI
SHUKONG JICHUANG

三菱电机自动化应用技术系列教材

数控机床操作与编程

李小笠 徐有峰 等编著



机械工业出版社

本书从数控加工的实用角度出发,以 MITSUBISHI CNC 控制器 M70 和 M80 系列为例,主要讲述数控技术概论、数控加工编程基础、数控编程常用指令、数控车床的编程与操作、加工中心编程与操作以及数控系统的操作与应用等内容。本书以项目驱动的形式讲述相关知识,精选了大量的典型编程实例,力求突出应用性、实用性,使理论教学与实践教学相结合,并试图引导教学过程按照实际生产过程来进行。本书每章均附有练习题,并给出了数控车床和加工中心的多套练习试卷,以便学生课后自行练习。

本书可以作为应用型本科数控技术及应用、机电一体化专业学生的教材,也可以作为高职高专以及职业技能培训的配套教材,还可以供企业从事数控技术开发及应用的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床操作与编程/李小笠,徐有峰等编著. —北京:机械工业出版社,2015.12

三菱电机自动化应用技术系列教材

ISBN 978-7-111-54802-7

I. ①数… II. ①李…②徐… III. ①数控机床-操作-职业教育-教材②数控机床-程序设计-职业教育-教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 214294 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:林春泉

封面设计:路恩中 责任校对:胡艳萍

责任印制:常天培

北京京丰印刷厂印刷

2016 年 11 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·12.25 印张·295 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-54802-7

定价:39.00 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

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

本书是“三菱电机自动化应用技术系列教材”之一，由南京工程学院工业中心组织编写。全书共6章。第1章主要讲述数控技术的基础知识；第2章讲述数控机床的相关知识，包括数控机床分类、机床坐标系以及机床各个组成部分；第3章主要介绍了编程的基本知识，包括编程方法、程序组成及格式等；第4章主要介绍了数控车床的加工过程、加工工艺基础以及手工编程知识，包括编程规范、指令引用以及编程方法等；第5章由浅入深地讲述了加工中心的编程和操作；第6章介绍了装有三菱 M70 和 M80 CNC 控制器的加工中心控制面板操作。全书综合性强，前后各章结合紧密。书中精选了大量的典型实例，可操作性很高。

本书的程序设计均以目前广泛使用的三菱 CNC 控制器 M70 和 M80 系列为例。全书详细讲解了数控车床和加工中心的各项指令格式、程序规范以及注意事项，使读者容易了解其指令用法，进而活用设计程序。全书以大量图形来配合讲解，同时辅以经过分类编排的编程实例，可以让读者快速上手。

此外，书后附有多套数控车和加工中心的练习试卷，便于读者学习后进行自我检验。本书的一大亮点还在于附录，给读者提供了程序设计时所需的大部分资料，减少程序设计时寻找资料的时间，从而高效率、高质量地完成数控编程和加工技术的学习。

本书主要基于数控编程应用，突出实践环节，便于读者尽快熟悉数控车床和加工中心的操作编程。本书是应用型本科数控技术以及机电一体化专业通用教材，也适合于高职高专数控专业和机电一体化专业，还可以作为数控加工技术人员的参考用书。

本书在编写过程中，引用和参考了大量的文献资料。限于篇幅，书后只列出了主要参考文献，如有遗漏，谨向作者致歉。

本书的编写执笔人如下：第1章、第2章、3章、6章以及附录由李小笠编写，第4、5章由徐有峰编写，练习试卷由孙强编写。全书由李小笠负责最后的统稿；郁汉琪教授负责全书的审定。本书的编写还得到了三菱电机 CNC 事业部牛泽贤司部长、手嶋健夫部长的关心和支持，以及出版社编辑的辛勤劳动，工业中心实训基地的相关老师进行了实际论证，在此一并表示衷心的感谢。

由于编写人员水平有限，书中还有很多不足或错误，欢迎读者批评指正（意见请发邮箱 lixiaoli@njit.edu.cn）。

编 者

2016 年 9 月

目 录

前言

第1章 数控技术概述	1
1.1 数控简介	1
1.1.1 什么是数控技术	1
1.1.2 数控零件加工流程	1
1.2 数控技术的发展	2
1.2.1 数控技术的发展历史	2
1.2.2 数控技术的发展方向	2
1.3 思考题	4
第2章 数控机床简介	5
2.1 数控机床的分类	5
2.1.1 按加工工艺方法分	5
2.1.2 按控制运动轨迹分	5
2.1.3 按伺服驱动系统分	6
2.2 数控机床坐标系	7
2.2.1 右手直角坐标系	8
2.2.2 位移控制坐标系	8
2.2.3 机床坐标系	9
2.2.4 工件坐标系	10
2.3 数控机床的构成	11
2.3.1 机床本体	11
2.3.2 伺服系统	12
2.3.3 数控系统	12
2.3.4 控制介质	12
2.3.5 辅助装置	13
2.4 数控机床的优点	13
2.5 典型数控系统简介	14
2.6 思考题	15
第3章 编程的基本知识	17
3.1 数控编程的概念	17
3.2 数控编程的方法	18
3.2.1 手工编程	18
3.2.2 自动编程	19
3.3 程序的组成	20
3.4 程序段的格式	22
3.5 常用的地址符	23
3.6 思考题	27

第4章 数控车床的编程与实例	28
4.1 概述	28
4.2 编程的基本原理	28
4.2.1 坐标系	28
4.2.2 程序结构	29
4.3 数控编程 G 指令功能表	30
4.3.1 坐标平面选择指令	32
4.3.2 绝对值编程指令 G90 与增量值 编程指令 G91	32
4.3.3 G28 经中间点自动复归机械 原点	33
4.3.4 恒速控制 G96、G97	33
4.3.5 主轴钳制速度设定 G92	33
4.3.6 定位（快速进给）：G00	33
4.3.7 直线插补 G01	34
4.3.8 圆弧插补 G02、G03	35
4.3.9 暂停指令 G04	36
4.3.10 固定导程螺纹切削 G33	37
4.3.11 刀具半径补偿 G40、G41、 G42	39
4.3.12 单一固定循环切削指令	41
4.3.13 复合固定循环切削指令	43
4.4 数控车床加工编程实例	51
4.5 思考题	57
第5章 加工中心的编程与实例	60
5.1 概述	60
5.2 编程的基本原理	60
5.2.1 坐标系	60
5.2.2 程序结构	61
5.3 数控编程 G 指令功能表	62
5.3.1 坐标平面选择指令	63
5.3.2 绝对值编程指令 G90 与增量值 编程指令 G91	63
5.3.3 G28 经中间点自动复归机械 原点	64
5.3.4 定位（快速进给）G00	64
5.3.5 直线插补 G01	64

5.3.6 圆弧插补 G02、G03	65	B.1 端铣刀使用注意事项	161
5.3.7 暂停指令 G04	67	B.2 端铣刀刃数及螺旋角选择	161
5.3.8 固定导程螺纹切削 G33	68	B.3 铣刀切削速度参考表	161
5.3.9 刀具补偿 G40、G41、G42、 G43、G44、G49	68	B.4 铣刀每刃进给量	162
5.3.10 工件坐标系设定 G54 ~ G59	71	B.5 HSS 二刃端铣刀切削速度表	162
5.3.11 恒速控制 G96、G97	71	附录 C 钻削相关知识	163
5.3.12 主轴钳制速度设定 G92	71	C.1 公制螺纹丝锥与钻头使用选择 对照表	163
5.3.13 固定循环	71	C.2 英制标准螺纹丝锥与钻头使用 选择对照表	164
5.3.14 特别固定循环	78	C.3 英制管螺纹与钻头尺寸选择表 (PS: 平行管牙丝锥)	164
5.3.15 子程序调用 M98、M99	83	C.4 英制管螺纹与钻头尺寸选择表 (PT: 锥形管牙丝锥)	165
5.3.16 镜像功能指令 G51.1、G50.1	83	C.5 螺纹护套使用钻头尺寸 (公制)	165
5.4 加工编程实例	84	C.6 螺纹护套使用钻头尺寸 (美英制)	166
5.5 思考题	102	C.7 高速钢(HSS)钻头切削条件表	167
第6章 数控加工中心的操作	105	C.8 HSS 倒角刀切削基本条件表	167
6.1 系统控制面板	105	C.9 钻头选择与使用切削速度参考	168
6.1.1 系统控制面板的按键说明	105	C.10 钻头直径与进刀量关系	169
6.1.2 各功能画面说明	109	C.11 钻头断裂与问题克服	169
6.1.3 启动画面显示信息说明	111	附录 D 铰削相关知识	170
6.1.4 触摸屏功能	113	D.1 铰刀加工异常原因与情况处理	170
6.2 操作控制面板	116	D.2 铰刀的加工预留量	171
6.2.1 手动操作方式	120	D.3 铰刀铰削进给率	172
6.2.2 自动运行方式	120	D.4 铰削不同材质工件的刀具材料 选择	172
6.2.3 机床的急停	121	数控车床工(中级)理论试卷 (A 卷)	173
6.3 配备 MITSUBISHI M80 数控系统的 加工中心操作介绍	121	数控车床工(中级)理论试卷 (B 卷)	176
6.3.1 机床准备	122	加工中心操作工中级工理论知识 试题	178
6.3.2 对刀	122	数控车床工(中级)理论试卷 (A 卷) 答案	183
6.3.3 设定参数	126	数控车床工(中级)理论试卷 (B 卷) 答案	184
6.3.4 自动加工	127	加工中心操作工中级工理论知识 试题答案	185
6.3.5 数据程序处理	130	参考文献	188
6.4 思考题	132		
第7章 数控编程实例	133		
7.1 数控车床编程实例	133		
7.2 数控铣床编程实例	146		
附录	159		
附录 A 切削加工的基本知识	159		
A.1 加工程序刀具代号	159		
A.2 切削计算公式	159		
A.3 材料重量计算公式(kg)	160		
A.4 HSS 材料刀具规格对照表	160		
附录 B 铣削相关知识	161		

第 1 章 数控技术概述

1.1 数控简介

1.1.1 什么是数控技术

数控是数字控制（Numerical Control）的简称，简称为 NC。它是指用数字、文字和符号组成的数字指令来控制一台或多台机械设备动作的技术，所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。数控的产生主要取决于数据载体和二进制形式数据运算的出现。

最初，有关加工的数值信息预先被记录在打孔纸带或磁带里，存入 NC 控制单元的内存中，经过 NC 数据处理回路将代码数据（Code Data）转换成脉冲指令（Pulse Data），作为伺服系统的输入信号，驱动机床进行工作。由于当时的计算机运算速度低，不能适应机床适时控制的要求，所以人们采用电子元件来构成专门的逻辑部件，也称为硬件连接数控（Hardware NC）。

到了 20 世纪 70 年代，计算机运算速度有了大幅提升，因此，逐步采用计算机作为数控系统的核心部件，此时的数控也被称为计算机数控（Computer Numerical Control），简称 CNC。这种技术用计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制功能。由于采用计算机替代原先用硬件逻辑电路组成的数控装置，使输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现均可通过计算机软件来完成。

1.1.2 数控零件加工流程

数控零件加工流程如下：

- 1) 依据零件图样确定工件装夹方式及加工所需的刀具。
- 2) 编制零件的加工程序作为数控机床的工作指令。
- 3) 将加工程序输入数控系统中，由控制系统将加工程序转化为指令脉冲，控制伺服系统，指示 CNC 机床执行加工，制造出产品。

数控零件的加工流程图如图 1-1 所示。

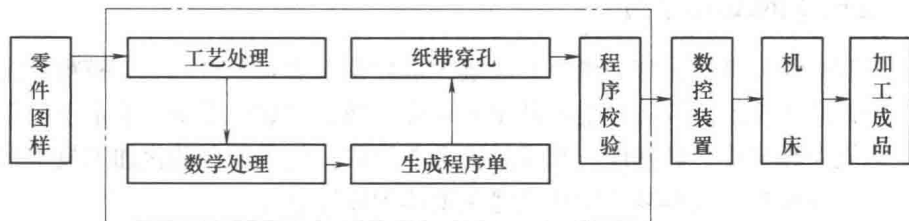


图 1-1 数控零件加工流程图

CNC 机床在程序输入完成后, 执行加工任务前一般需要经过程序预演与试加工, 以修正错误的程序段和各项误差。程序修正完成后即可进行正式的加工生产。

1.2 数控技术的发展

1.2.1 数控技术的发展历史

从 20 世纪 50 年代以来, 数控技术的发展已经走过了一段较长的发展历程, 尤其是数控技术的应用促进了金属工业的发展。近年来, 随着汽车工业、航空工业等精密工业的发展, 数控技术更是扮演了重要的角色。整个数控技术的发展历史归纳如下:

1. 数控阶段 (NC 阶段)

1) 1949 年, 美国 Parson 公司与麻省理工学院合作, 历时三年研制出能进行三轴控制的数控铣床样机, 命名为 “Numerical Control”。

2) 1953 年, 麻省理工学院开发出只需确定零件轮廓和指定切削路线, 即可生成 NC 程序的自动编程语言。

3) 1959 年, 美国 Keaney & Trecker 公司成功开发了带刀库、能自动进行换刀的数控机床, 称为加工中心 (Machining Center, 简称 MC), 使数控系统进入了第二代。

4) 1965 年, 出现了第三代的集成电路数控装置。它不仅体积小, 功率消耗少, 且可靠性得到提高, 价格进一步下降, 促进了数控机床品种和产量的发展。

2. 计算机数控阶段 (CNC 阶段)

1) 20 世纪 60 年代末, 出现了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数控系统时代。此后还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。

2) 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, Micro CPU NC), 这是第五代数控系统。

3) 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制程序的数控装置。数控装置越来越趋小型化, 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。

4) 20 世纪 90 年代后期, 出现了 PC + CNC 智能数控系统, 即以 PC 为控制系统的硬件部分, 在 PC 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。数控系统进入了基于 PC 时代。

1.2.2 数控技术的发展方向

随着人工智能在计算机领域的渗透和发展, 数控系统引入了自适应、模糊系统和神经网络等控制机理, 数控系统的控制性能不断得到增强。新一代数控系统技术水平的提升, 促进了数控机床性能向高精度、高速度、高柔性化方向发展, 使柔性自动化加工技术水平不断提高。当前, 世界数控技术及其装备发展趋势主要体现在以下几个方面:

1. 性能发展方向

(1) 高速高精高效化

速度、精度和效率是机械制造技术的关键性能指标。由于采用了高速 CPU 芯片、RISC 芯片、多 CPU 控制系统以及带高分辨率绝对式检测元件的交流数字伺服系统,同时采取了改善机床动态、静态特性等有效措施,使机床的速度、精度和效率大大提高。

(2) 柔性化

柔性化包含两个方面:一是指数控系统本身的柔性。数控系统采用模块化设计,功能覆盖面大,可剪裁性强,便于满足不同用户的需求;二是群控系统的柔性。同一群控系统能依据不同生产流程的要求,使物料流和信息流自动进行动态调整,从而最大限度地发挥群控系统的效能。

(3) 工艺复合性和多轴化

以减少工序、辅助时间为主要目的的复合加工正朝着多轴、多系列控制功能方向发展。数控机床的工艺复合化是指工件在一台机床上一次装夹后,通过自动换刀、旋转主轴头或转台等各种措施,完成多工序、多表面的复合加工。

(4) 实时智能化

早期的实时系统通常针对相对简单的理想环境,其作用是如何调度任务,确保任务在规定时间内完成。而人工智能则试图用计算模型实现人类的各种智能行为。科学技术发展到今天,实时系统和人工智能相互结合。人工智能正向着具有实时响应的、更现实的领域发展,而实时系统也朝着具有智能行为的、更加复杂的应用发展,由此产生了实时智能控制这一新的领域。

2. 功能发展方向

(1) 用户界面图形化

用户界面是数控系统与使用者之间的对接口。由于不同用户对界面的要求不同,因而开发用户界面的工作量极大,使用户界面成为计算机软件研制中最困难的部分之一。图形用户界面极大地方便了非专业用户的使用,使人们可以通过窗口和菜单进行操作,便于蓝图编程和快速编程、三维彩色立体动态图形显示、图形模拟、图形动态跟踪和仿真、不同方向的视图和局部显示比例缩放功能的实现。

(2) 科学计算可视化

科学计算可视化可用于高效处理数据和解释数据,使信息交流不再局限于用文字和语言表达,而可以直接使用图形、图像、动画等可视信息。在数控技术领域,可视化技术可用于 CAD/CAM,如自动编程设计、参数自动设定、刀具补偿和刀具管理数据的动态处理与显示,以及加工过程的可视化仿真演示等。

(3) 插补和补偿方式多样化

多种插补方式,如直线插补、圆弧插补、圆柱插补、空间椭圆曲面插补、螺纹插补、极坐标插补、2D+2 螺旋插补、NANO 插补、NURBS 插补(非均匀有理 B 样条插补)、样条插补(A、B、C 样条)、多项式插补等。多种补偿功能,如间隙补偿、垂直度补偿、象限误差补偿、螺距和测量系统误差补偿、与速度相关的前馈补偿、温度补偿、带平滑接近和退出以及相反点计算的刀具半径补偿等。

3. 体系结构发展方向

(1) 集成化

采用高度集成化 CPU、RISC 芯片和大规模可编程序集成电路 FPGA、EPLD、CPLD,以

及专用集成电路 ASIC 芯片,可提高数控系统的集成度和软硬件运行速度。应用(FPD, Flat Panel Display)平板显示技术,可提高显示器性能。应用先进封装和互连技术,将半导体和表面安装技术融为一体。通过提高集成电路密度、减少互连长度和数量来降低产品价格,改进性能,减小组件尺寸,提高系统的可靠性。

(2) 模块化

根据不同功能需求,将基本模块,如 CPU、存储器、位置伺服、PLC、输入输出接口、通信等模块,制成标准的系列化产品,通过积木方式进行功能裁剪和模块数量的增减,构成不同档次的数控系统。

(3) 网络化

机床联网可进行远程控制和无人化操作。通过机床联网,可在任何一台机床上对其他机床进行编程、设定、操作、运行,不同机床的画面可同时显示在每一台机床的屏幕上。

1.3 思考题

1. 什么是数控技术?
2. NC 和 CNC 有何区别?
3. 用数控机床加工零件的过程是什么?

第2章 数控机床简介

2.1 数控机床的分类

无论数控机床是用于车削、铣削、钻削还是镗孔、研磨……，基本都可以按照以下类型进行划分。

2.1.1 按加工工艺方法分

1. 金属切削类数控机床

金属切削机床是采用切削的方法把金属毛坯加工成机器零件的机器。像传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工等都属于金属切削加工，与之对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上有差异，具体的控制方式也各不相同，但机床的动作和运动都是数字化控制，具有较高的生产率和自动化程度。

2. 特种加工类数控机床

特种加工也称“非传统加工”或“现代加工”，泛指用电能、热能、光能、电化学能、化学能、声能及特殊机械能等能量达到去除或增加材料的加工方法，从而实现材料被去除、变形、改变性能或被镀覆等。特种加工数控机床包括数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

3. 板材加工类数控机床

主要是对金属板进行加工，相应的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。

2.1.2 按控制运动轨迹分

1. 点位控制数控机床 (Point to Point Control)

点位控制又称为定位控制 (Positioning Control)，即在工件上确定一个或多个点，使刀具经过点到点的移动到达目标点，在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值，不控制点和点之间的运动轨迹，因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动，也可以各个坐标单独依次运动，如图 2-1 所示。这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控压力机、数控点焊机等。

2. 直线控制数控机床 (Straight Cutting Control)

刀具可由一轴或两轴以上同时控制，完成直线切削。由于刀具移动的同时需要完成实际的切削工作，因此必须给定

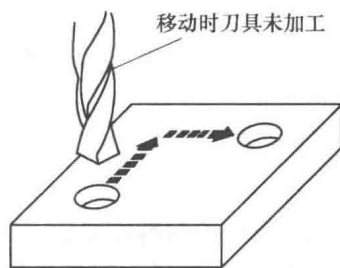


图 2-1 数控钻床加工示意图
(点位控制数控机床)

进给速度，如图 2-2 所示。这种类型的控制多用于数控铣床、数控镗床等。

3. 轮廓控制数控机床 (Contouring Cutting Control)

这类控制又称为连续性控制 (Continuously Control)。它可以同时控制两轴或数轴移动，而将工件加工成要求的各种变化曲线和各种斜度所构成的轮廓形状。它不仅能控制机床移动部件的起点和终点坐标，而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移，如图 2-3 所示。常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。

轮廓控制系统的结构要比点位、直线控制系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度和位移控制。

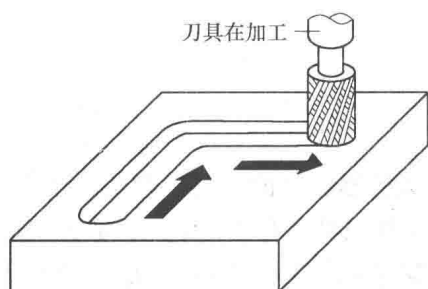


图 2-2 数控铣床加工示意图
(直线控制数控机床)

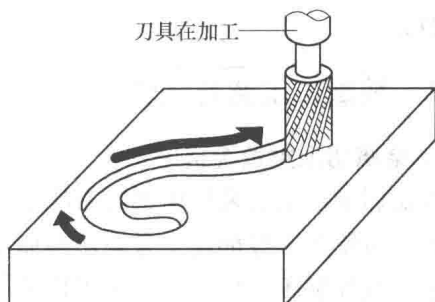


图 2-3 数控铣床加工示意图
(轮廓控制数控机床)

2.1.3 按伺服驱动系统分

1. 开环控制数控机床

具有此类控制的数控机床在其控制系统内没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。

如图 2-4 所示是开环控制数控机床的系统框图。工作台在接受控制指令后移动到一定位置上，但最终工作台所在的位置是否是预先设定的位置，则无法确定。因此，这类控制的加工精度，必须依靠机床本身的精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床。

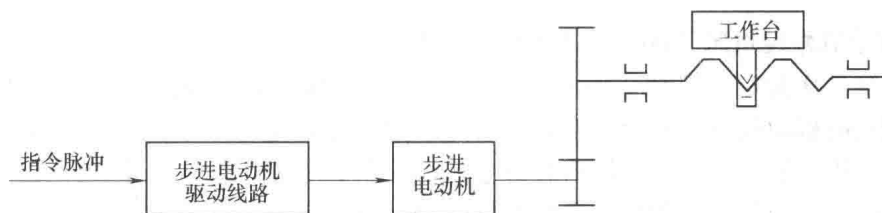


图 2-4 开环控制数控机床的系统框图

2. 闭环控制数控机床

如图 2-5 所示，将测量的实际量与输入的指令值比较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。

闭环系统与开环系统的区别在于增设了位置测量反馈系统。前者可以由位置测量反馈系

统来达到所需的定位精度，而后者则只有依靠机床本身的精度。闭环系统的定位精度高，但调试和维修都会增加难度，系统复杂，成本高。

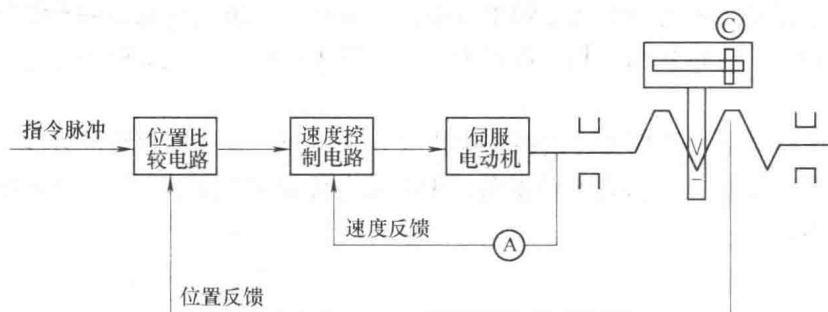


图 2-5 闭环控制数控机床的系统框图

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上安装角位移检测装置（如光电编码器等），通过检测丝杠的转角间接地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。

如图 2-6 所示是半闭环控制数控机床的系统框图。通过测速元件 A 和光电编码盘 B 可间接检测出伺服电动机的转速，从而推算出工作台的实际位移量，将此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。由于工作台没有包括在控制回路中，因而被称为半闭环控制数控机床。

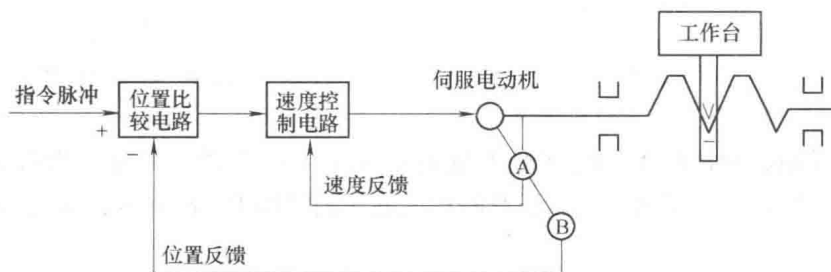


图 2-6 半闭环控制数控机床的系统框图

半闭环控制数控系统的精度没有闭环高，但调试更方便，并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体，使结构更加紧凑。

4. 混合控制机床

将以上三类数控机床的特点结合起来，就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适合大型或重型数控机床，因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度，其传动链惯量与力矩大，如果只采用全闭环控制，机床传动链和工作台全部置于控制闭环中，闭环调试比较复杂。

2.2 数控机床坐标系

数控机床根据几何坐标来确定其刀具运动路径，因此坐标系统对程序设计尤为重要。

2.2.1 右手直角坐标系

右手直角坐标系也称为笛卡儿三轴坐标系。它由空间三条互相垂直的直线所构成，三条直线分别为 X 轴、 Y 轴和 Z 轴，其交点称为零点，以 $X=0$ 、 $Y=0$ 和 $Z=0$ 表示，如图 2-7 所示。

右手直角坐标系可以用拇指、食指和中指来表示空间三条互相垂直的直线，其中拇指方向代表 X 轴正向，食指方向代表 Y 轴正向，中指方向代表 Z 轴正向，如图 2-8 所示。三根指头的交点即是零点。

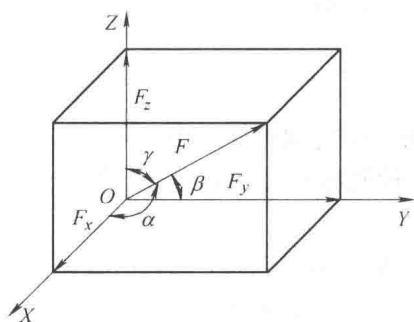


图 2-7 三轴坐标系

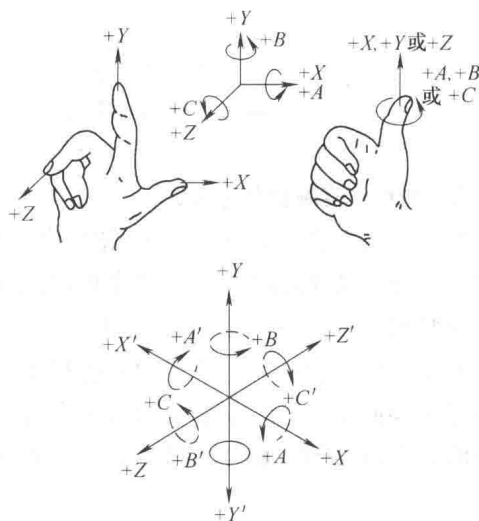


图 2-8 右手坐标系

如果有旋转轴，规定绕 X 、 Y 、 Z 轴的旋转轴为 A 、 B 、 C 轴，其方向为右旋螺纹方向。旋转轴的零点一般定在水平面上。若还有附加的旋转轴时用 D 、 E 表示，这与直线轴没有固定关系。

CNC 加工程序如果利用右手直角坐标系来建立，则刀具每一位移点的坐标值，必须要根据坐标系的零点（即工件的坐标零点）来建立。当然，也可以不考虑坐标零点，而采用刀具每次实际位移量来设计程序。

2.2.2 位移控制坐标系

数控机床的位移控制程序指令均采用下面两种坐标系，即

1. 绝对坐标系 (Absolute System)

以零点 $(0, 0, 0)$ 为各轴向位移点的计算基准，工作台每次根据零点来进行定位，所有移动指令均来自与零点的绝对距离，如图 2-9a 所示。A、B 两点的坐标均以固定的坐标原点 O 进行计算，坐标值分别为 $X_A = 10$ ， $Y_A = 10$ ， $X_B = 50$ ， $Y_B = 40$ 。

2. 增量坐标系 (Incremented System)

增量坐标系也称为相对坐标系。若刀具（或机床）运动轨迹的坐标值是以相对于前一位置（或起点）来计算的，即为增量坐标。该坐标系即为增量坐标系。通常用符号 U 、 V 、 W 分别表示增量坐标系中与 X 、 Y 、 Z 平行且同向的坐标轴。图 2-9b 中，B 点相对于 A 点的

增量坐标分别为 $U=40$, $V=30$ 。

在加工编程过程中,绝对值和增量值可以同时使用。在绝对坐标系中,若有定位误差,并不影响下一位置点的定位。但在增量坐标系中,前一位置点的误差会影响到以后各点的定位,因此,在使用增量坐标系时必须特别留意。

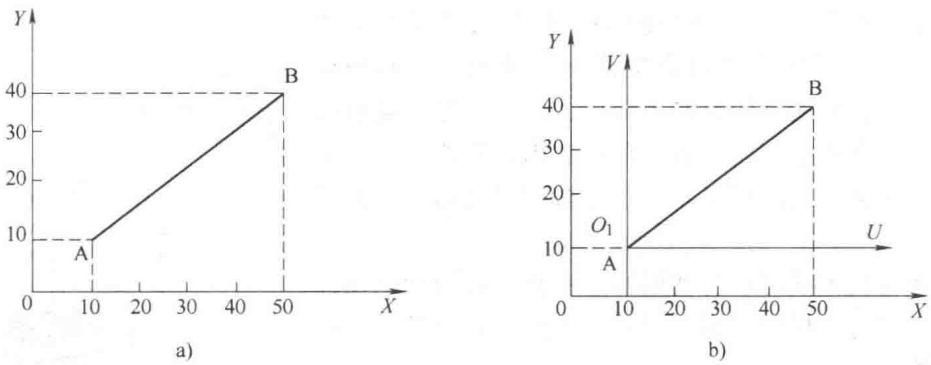


图 2-9 位移控制坐标系
a) 绝对坐标系 b) 增量坐标系

增量坐标与绝对坐标的使用并没有一定的规律可循,一般以加工要求来决定。比如,加工的各个点与一基准原点有相对关系时,宜采用绝对坐标系,尤其在斜线等运动指令中,因三角关系所求得各轴向的坐标值,均采用四舍五入的方法,如果采用增量坐标系,点积累的越多,造成的误差也越大。

原则上可以根据加工图上的尺寸标注方法与程序设计需要来衡量到底使用哪种坐标系合适,如图 2-10 所示。

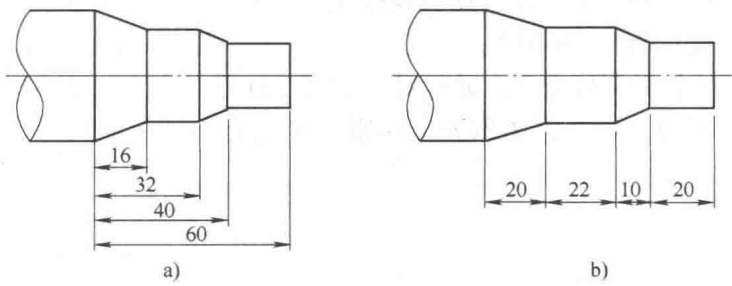


图 2-10 绝对值和增量值的工件标注
a) 绝对值标注 b) 增量值标注

2.2.3 机床坐标系

机床坐标原点是指在机床上设置的一个固定点,即机床坐标系的原点 (Machine Origin 或 Home Position, 用 M 表示)。它在机床装配、调试时就已确定,是数控机床进行加工运动的基准参考点。立式数控铣床的机床原点为主轴中心线与工作台台面的交点,数控车床的机床原点通常在主轴装法兰盘的端面中心点上,如图 2-11 所示。

大多数情况下,当刀具和工件装夹好以后,机床的原点已经不可能再返回。因此,需要设定一个参考点,这就称为机床参考点 (Reference Point, 用 R 表示)。机床参考点 R 是由机床制造厂家定义的点, R 和 M 的位置关系固定,其位置参数存放在数控系统中。当数控

系统启动后,都要执行返回参考点 R ,由此建立各种坐标系。

机床参考点 R 的位置是在每个轴上用挡块和限位开关精确地预先确定好,参考点 R 多位于加工区域的边缘,一般来说,加工中心的参考点为机床的自动换刀位置。

在绝对行程测量的控制系统中,参考点是没有必要的。因为每一个瞬间都可以直接读出运动轴的准确坐标值。但在相对行程测量的控制系统中,设置参考点是有必要的。它可用来确定起始位置。由此看出,参考点是用来对测量系统定标,用以校正、监督床鞍和刀具运动的测量系统。

多数数控机床都可以自动返回参考点。若因断电使控制系统失去现有坐标值,则可返回参考点,并重新获得准确的位置值。

2.2.4 工件坐标系

开始编写加工程序前,必须指定一个原点,使工件坐标信息可以相对它确定。在加工程序中可以用路径功能和坐标确定工件轮廓。这个坐标系称为工件坐标系。其原点就是工件原点(Part Origin),也称编程零点。与机床坐标系不同,工件坐标系是编程者自己设定的。

如图2-12所示,在数控车床工件坐标系中, X 向起点一般选在工件的回转中心,而 Z 向起点一般选在完工工件的右端面(O 点)或左端面(O' 点)。

在加工时,工件装夹到机床上,通过对刀求得工件原点和机床原点间的距离。这个距离称为工件原点偏置量,如图2-13所示。

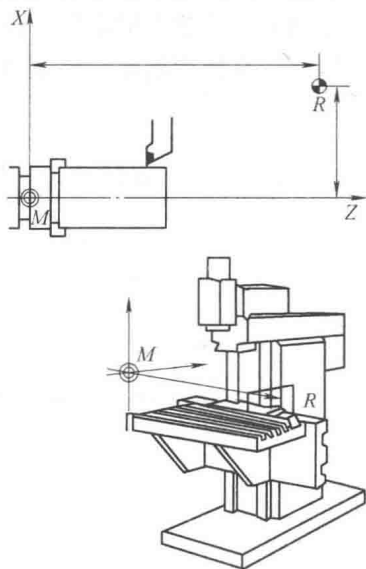


图2-11 数控车床和立式数控铣床的机床原点及参考点

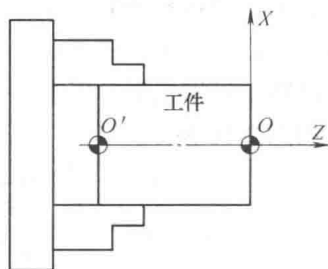


图2-12 工件坐标系

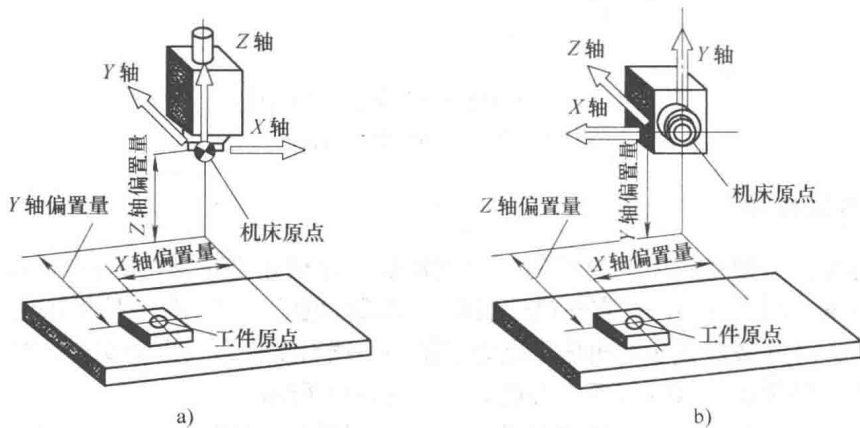


图2-13 机床坐标系与工件坐标系之间的关系

a) 立式加工中心坐标系 b) 卧式加工中心坐标系

2.3 数控机床的构成

数控机床一般由机床本体、数控系统、伺服系统、检测反馈系统、输入/输出设备等组成，如图 2-14 所示。

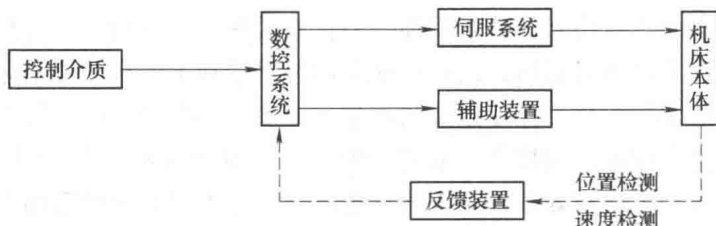


图 2-14 数控机床的组成框图

2.3.1 机床本体

机床本体包括主运动系统，进给运动系统，基础支承部件以及冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心，机床本体还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件，如图 2-15 所示为 JCS-018 立式镗铣加工中心。

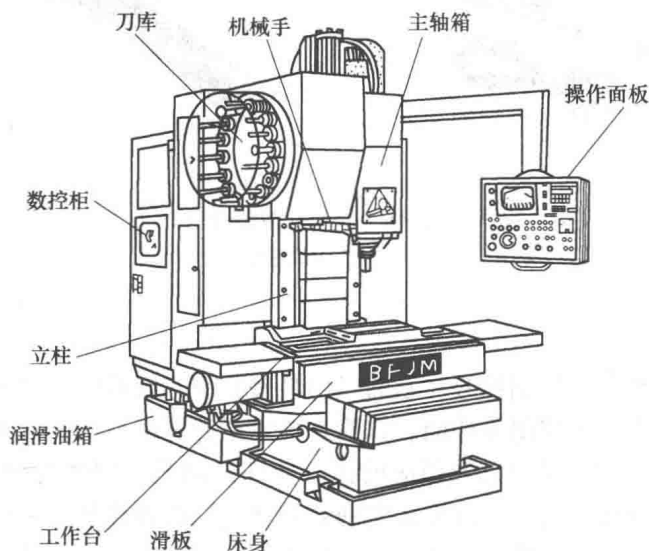


图 2-15 JCS-018 立式镗铣加工中心

1. 主运动系统

包括动力源、传动件及主运动执行件，即主轴等。其功能是将驱动装置的运动及动力传递给执行件，实现主切削运动。

2. 进给运动系统

包括动力源、传动件以及进给运动执行件（工作台、刀架）等，其功能是将伺服驱动装置的运行与动力传递给执行件，实现进给切削运动。

3. 基础支承部件

基础支承部件是指床身、立柱、导轨、滑座、工作台等。它支承机床的各主要部件，并