



交通版高等职业教育规划教材

数控技术

SHU KONG JI SHU

与编程操作

YU BIAN CHENG CAO ZUO

主编 潘 铭

主审 谢 荣



人民交通出版社

China Communications Press



交通版高等职业教育规划教材

数控技术与编程操作

Shukong Jishu Yu Biancheng Caozuo

潘 铭 主 编
谢 荣 主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是高职高专院校机械制造类专业数控技术理论与实训教学用书,共两篇十一章,主要包括数控机床的机械结构、工作台及自动换刀系统;加工控制原理;伺服系统及检测装置;数控车床、数控铣床编程与操作;数控车工、铣工中、高级零件工艺分析与编程加工;数控火焰切割机编程操作;自动焊接设备应用。

本书适合作为高职高专院校工科机械制造类专业理论与实训教材,也可作为企业数控制造参考书、数控制造培训或函授教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术与编程操作 / 潘铭主编. -- 北京: 人民
交通出版社, 2012.9

ISBN 978-7-111-09996-0

I. ①数… II. ①潘… III. ①数控机床—程序设计—
高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 187877 号

交通版高等职业教育规划教材

书 名: 数控技术与编程操作

著 作 者: 潘 铭

责任编辑: 钱悦良

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 21.25

字 数: 492 千

版 次: 2012 年 9 月 第 1 版

印 次: 2012 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09996-0

印 数: 0001-3000 册

定 价: 39.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前言

Preface

本书是根据高职高专院校培养高素质应用型技能人才要求及理论与实践一体化教学改革要求组织编写。本书体系设计合理,图文并茂,通俗易懂,符合高职高专院校学生认知特点,是数控技术理论与数控加工实训一体化教材。本书包括数控机床的机械结构、工作台及自动换刀系统;加工控制原理;伺服系统及检测装置;数控车床、数控铣床编程与操作;数控车工、铣工中、高级零件工艺分析与编程加工;数控火焰切割机编程操作;自动焊接设备应用。

本书在编写过程中力求突出以下几个特点:

(1) 本书融数控技术理论教学与数控车床、铣床编程操作、数控火焰切割实训教学为一体,是理论与实践一体化教材。

(2) 将企业加工技术渗透于本教材,具有鲜明的实践指导性。

(3) 本书包括数控车工、数控铣工中、高级零件工艺分析与编程加工,与职业资格鉴定相衔接,能作为数控加工职业资格鉴定培训指导用书,具有鲜明的职业技能鉴定指导性。

(4) 第二篇数控机床编程与操作,采用项目教材的形式编写,其内容的组织结构科学合理,符合学生的认知规律,应用于实训教学能展现良好的教学效果。

(5) 本书增加了数控火焰切割机编程操作、自动焊接设备应用内容,努力拓宽数控制造知识面。

本书由潘铭主编。刘馨璐、骆书芳、陈晓明、周洪志、周建桃参加编写。全书由谢荣主审。

由于编者水平所限,书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有意见或建议,恳请向编者(panming118@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目录 Contents

第一篇 数控机床结构与工作原理

第 1 章 数控机床概述	3
1.1 数控机床的基本工作原理	3
1.2 数控机床的分类	7
1.3 数控机床发展概况	12
习题	16
第 2 章 数控机床的机械结构	17
2.1 概述	17
2.2 数控机床的主传动系统	19
2.3 数控机床的进给运动系统	23
2.4 数控机床的导轨	29
习题	31
第 3 章 数控机床的工作台及自动换刀系统	32
3.1 分度工作台	32
3.2 数控回转工作台	34
3.3 数控机床的自动换刀系统	36
3.4 辅助装置	44
习题	46
第 4 章 数控系统的加工控制原理	47
4.1 数控机床坐标系的规定	47
4.2 计算机数控系统概述	50
4.3 计算机数控系统的硬件	54
4.4 CNC 装置的插补原理	58
4.5 刀具补偿	63
习题	66

第 5 章 数控机床伺服系统及检测装置	67
5.1 数控机床伺服系统的组成及分类	67
5.2 步进伺服系统	72
5.3 直流伺服系统	75
5.4 交流伺服系统	77
5.5 数控机床的位置检测装置	79
习题	87

第二篇 数控机床编程与操作

第 6 章 数控加工工艺设计	91
项目一 数控加工工艺性分析	91
项目二 数控车削加工工艺路线确定	93
项目三 数控铣削加工工艺路线确定	97
项目四 切削用量的选择	99
项目五 数控车床的装夹和定位	102
项目六 数控车削刀具	106
项目七 数控铣削刀具	108
第 7 章 数控车床程序编制	115
项目一 数控车床编程基本知识	115
项目二 基本指令编程	123
项目三 固定循环指令编程	126
项目四 复合循环指令编程	129
项目五 圆弧插补指令	134
项目六 切槽循环指令	137
项目七 刀具补偿功能	140
项目八 螺纹切削循环指令	145
项目九 子程序调用	148
项目十 尺寸精度控制措施	151
第 8 章 数控车床操作	155
项目一 广数 GSK980TD 模拟软件基本操作	155
项目二 手动操作	161
项目三 数控加工程序编辑与管理	165
项目四 对刀操作与自动加工	170
综合训练一	176
综合训练二	180

综合训练三	183
第 9 章 数控铣床程序编制	188
项目一 数控铣/加工中心的面板操作	188
项目二 平面铣削加工	191
项目三 沟槽铣削加工	198
项目四 型腔铣削加工	207
项目五 孔系加工	217
项目六 综合加工	228
第 10 章 数控火焰切割机编程操作	236
项目一 数控火焰切割机软件操作	236
项目二 移动割炬设置氧—乙炔切割参数	241
项目三 文件操作	247
项目四 钢板套料	255
项目五 综合训练 切割文件读入切割	258
第 11 章 焊接自动化技术概述	263
项目一 焊接自动化现状发展与关键技术	263
项目二 焊接自动化设备分类	267
项目三 高效熔焊新技术	271
项目四 焊接机器人技术	277
习题答案	283
参考文献	329

第一篇 数控机床结构与工作原理

第1章 数控机床概述

数字控制(Numerical Control, NC)是指用数字、文字和符号组成的数字指令来对某一工作过程进行可编程控制的自动化方法。数控技术(Numerical Control Technology)是采用数字控制的方法对一台或多台机械设备进行动作控制的技术。它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。数控技术也叫计算机数控技术(Computer Numerical Control, CNC),它是采用计算机实现数字程序控制的技术。

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是数字控制机床的简称,它将数控技术应用与机床,把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置,经运算处理由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,按图纸要求的形状和尺寸,自动地将零件加工出来。

数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床,代表了现代机床控制技术的发展方向,是一种典型的机电一体化产品。

1.1 数控机床的基本工作原理

1.1.1 数控机床的组成与基本工作原理

数控机床加工工件的过程如图 1-1 所示。

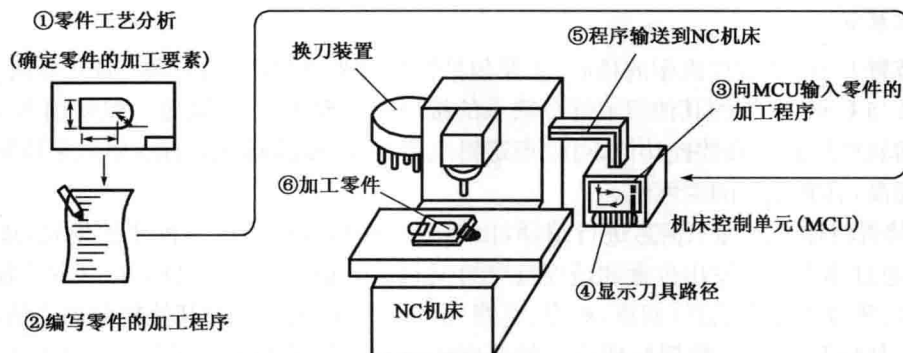


图 1-1 数控机床的加工过程

(1)数控机床工作时,必须先根据要加工零件的图样与工艺方案,用规定的格式编写零件加工程序,并存储在程序载体上;

(2)把程序载体上的程序通过输入输出设备输入到数控装置中去;

(3)数控装置将输入的程序经过运算处理后,向机床各个坐标的伺服单元发出信号;

(4)伺服单元根据数控装置发出的信号,通过伺服执行机构(如步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机),经传动装置(如滚珠丝杠螺母副等),驱动机床各运动部件,使机床按规定的动作顺序、速度和位移量进行工作,从而制造出符合图样要求的零件。



因此,数控机床一般由输入输出设备、数控装置、PLC、伺服系统、电气控制装置与辅助装置、测量装置及机床本体组成,如图 1-2 所示。下面分别说明各组成部分的基本工作原理。

1. 输入/输出设备

将数控指令输入给数控装置,根据程序载体的不同,相应有不同的输入装置。目前主要有键盘输入、磁盘输入,除这些以外,还有 CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的 DNC(直接数控)输入等形式。

现在,数控系统一般都配备了 CRT 显示器或点阵式液晶显示器,具有人机对话功能,操作人员可按照显示器上的提示,选择不同的菜单,输入有关的尺寸数字,就可自动生成加工程序。

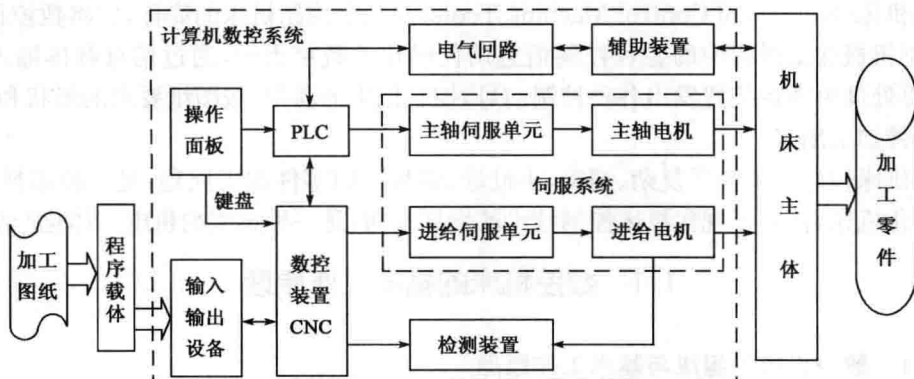


图 1-2 数控机床的组成

2. 数控装置

数控装置 CNC 是数控机床的核心,主要包括微处理器(CPU)、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统的其他组成部分联系的接口等。现代 CNC 装置一般使用多个 CPU,以程序化的软件形式实现数控功能,可处理逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高,具有真正的柔性化。

CNC 装置将输入的加工信息进行编译,由信息处理部分按照控制程序的规定,逐步存储并处理后,通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。CNC 装置的输入数据包括:零件的轮廓信息(起点、终点、直线、圆弧等)、加工速度及其他辅助加工信息(如换刀、变速、冷却液开关等),数据处理的目的是完成插补运算前的准备工作。数据处理程序还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。

3. PLC

PLC 是一种专门应用在工业环境下的,以微处理器为基础的通用型自动控制装置。由于最初它是为了解决生产设备的逻辑开关控制而设计,故称它为可编程逻辑控制器(PLC, Programmable Logic Controller),简称为可编程控制器。

如今,PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。CNC 和 PLC 协调配合,共同完成对数控机床的控制。用于数控机床的 PLC 一般分为两类:一类是 CNC 的生产厂家为实现数控机床的顺序控制,将 CNC 和 PLC 综合起来设计,称为内装型(或集成型)PLC,内装型 PLC 是



CNC 装置的一部分;另一类是以独立专业化的 PLC 生产厂家的产品来实现顺序控制功能,称为独立型(或外装型)PLC。

4. 伺服系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分,用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统包括伺服单元和驱动装置(也称执行机构)两大部分。其中,伺服单元由主轴伺服单元和进给伺服单元组成。与伺服单元相对应,驱动装置由主轴驱动电机和进给驱动电机组成,常用的驱动装置是步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。

伺服系统的作用是接受来自数控装置的指令信息,经功率放大、整形处理后,转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控装置的最后环节,其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标,因此,对数控机床的伺服驱动装置,要求具有良好的快速反应性能,准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号,并能忠实地执行来自数控装置的指令,提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

5. 检测装置

检测元件也称反馈元件,通常安装在机床的工作台或丝杠上,相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛,它将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中,数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较,并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

按有无检测装置,CNC 系统可分为开环与闭环数控系统,而按检测装置的安装位置又可分为闭环与半闭环数控系统。

6. 机床本体

图 1-3 所示是加工中心的机床本体。它包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动地完成各种切削加工的机械部分。与传统的机床相比,数控机床本体具有如下结构特点:

(1)采用具有高刚度、高抗振性及较小热变形的机床新结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床本体的刚度和抗振性,使机床本体能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及采用热位移补偿等措施,可减少热变形对机床本体的影响。

(2)广泛采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置,使数控机床的传动链缩短,简化了机床机械传动系统的结构。

(3)采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和运动部件,如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

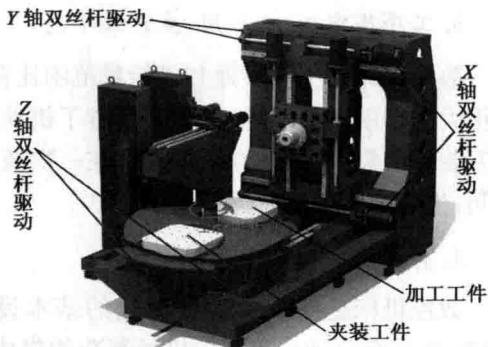


图 1-3 加工中心的机床本体



7. 辅助装置

辅助装置是保证充分发挥数控机床功能所必需的配套装置,常用的辅助装置包括:气动、液压装置,排屑装置,冷却、润滑装置,回转工作台和数控分度头,防护,照明等各种辅助装置。

1.1.2 数控机床加工特点

与通用机床和专用机床相比,数控机床加工具有以下主要特点:

1. 加工精度高,质量稳定

数控系统每输出一个脉冲,机床移动部件的位移量称为脉冲当量,数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm ,高精度的数控机床可达 0.0001mm ,其运动分辨率远高于普通机床。另外,数控机床具有位置检测装置,可将移动部件实际位移量或丝杠、伺服电动机的转角反馈到数控系统,并进行补偿。因此,可获得比机床本身精度还高的加工精度。数控机床加工零件的质量由机床保证,无人操作误差的影响,所以同一批零件的尺寸一致性好,质量稳定。

2. 适应性强

能完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂零件加工。例如,采用二轴联动或二轴以上联动的数控机床,可加工母线为曲线的旋转体曲面零件、凸轮零件和各种复杂空间曲面类零件。

当被加工零件改型设计后,在数控机床上只需变换零件的加工程序,调整刀具参数等,就能实现对改型设计后零件的加工,生产准备周期大大缩短。因此,数控机床可以很快地从加工一种零件转换为加工另一种改型设计后的零件,这就为单件、小批量新试制产品的加工,为产品结构的频繁更新提供了极大的方便。

3. 工序集中,一机多用,生产效率高

数控机床的主轴转速和进给量范围比普通机床的范围大,良好的结构刚性允许数控机床采用大的切削用量,从而有效地节省了机动时间。对某些复杂零件的加工,如果采用带有自动换刀装置的数控加工中心,可实现在一次装夹下进行多工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产率的提高更为明显。

4. 有利于自动化生产和管理

数控机床是机械加工自动化的基本设备,以数控机床为基础建立起来的FMC、FMS、CIMS等综合自动化系统使机械制造的集成化、智能化和自动化得以实现。这是由于数控机床控制系统采用数字信息与标准化代码输入、并具有通信接口,容易实现数控机床之间的数据通信,最适宜计算机之间的连接,组成工业控制网络,实现自动化生产过程的计算、管理和控制。

5. 监控功能强,具有故障诊断的能力

CNC系统不仅控制机床的运动,而且可对机床进行全面监控。例如,可对一些引起故障的因素提前报警,进行故障诊断等,极大地提高了检修的效率。



6. 减轻工人劳动强度、改善劳动条件

1.1.3 数控机床的适用范围

数控机床是一种可编程的通用加工设备,但是因设备投资费用较高,还不能用数控机床完全替代其他类型的设备,因此,数控机床的选用有其一定的适用范围。图 1-4 可粗略地表示数控机床的适用范围。从图 1-4a)可看出,通用机床多适用于零件结构不太复杂、生产批量较小的场合;专用机床适用于生产批量很大的零件;数控机床对于形状复杂的零件尽管批量小也同样适用。随着数控机床的普及,数控机床的适用范围也愈来愈广,对一些形状不太复杂而重复工作量很大的零件,如印制电路板的钻孔加工等,由于数控机床生产率高,也已大量使用。因而,数控机床的适用范围已扩展到图 1-4a)中阴影所示的范围。

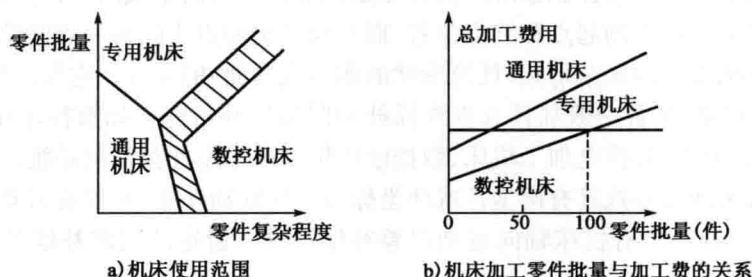


图 1-4 数控机床的适用范围

图 1-4b)表示当采用通用机床、专用机床及数控机床加工时,零件生产批量与零件总加工费用之间的关系。据有关资料统计,当生产批量在 100 件以下,用数控机床加工具有一定复杂程度零件时,加工费用最低,能获得较高的经济效益。

由此可见,数控机床最适宜加工以下类型的零件:

- (1) 生产批量小的零件;
- (2) 需要进行多次改型设计的零件;
- (3) 加工精度要求高、结构形状复杂的零件,如箱体类,曲线、曲面类零件;
- (4) 需要精确复制和尺寸一致性要求高的零件;
- (5) 价值昂贵的零件,这种零件虽然生产量不大,但是如果加工中因出现差错而报废,将产生巨大的经济损失。

1.2 数控机床的分类

1.2.1 按控制刀具与零件相对运动轨迹分类

1. 点位控制系统

它的特点是刀具相对工件的移动过程中,不进行切削加工,对定位过程中的运动轨迹没有严格要求,只要求从一坐标点到另一坐标点的精确定位。如数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机和数控测量机等都采用此类系统。如图 1-5a)所示。



2. 直线控制系统

这类控制系统的特点是除了控制起点与终点之间的准确位置外,而且要求刀具由一点到另一点之间的运动轨迹为一条直线,并能控制位移的速度,因为这类数控机床的刀具在移动过程中要进行切削加工。直线控制系统的刀具切削路径只沿着平行于某一坐标轴方向运动,或者沿着与坐标轴成一定角度的斜线方向进行直线切削加工。如图 1-5b)所示。采用这类控制系统的机床有数控车床、数控铣床等。

同时具有点位控制功能和直线控制功能的点位/直线控制系统,主要应用在数控镗铣床、加工中心机床上。

3. 轮廓控制系统

轮廓控制系统也称连续控制系统。其特点是能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点位置,而且要控制两点之间每一点的位置和速度,使机床加工出符合图纸要求的复杂形状(任意形状的曲线或曲面)的零件。它要求数控机床的辅助功能比较齐全。CNC 装置一般都具有直线插补和圆弧插补功能。如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控电加工机床、数控绘图机等都采用此类控制系统。

这类数控机床绝大多数具有两坐标或两坐标以上的联动功能,不仅有刀具半径补偿、刀具长度补偿功能,而且还具有机床轴向运动误差补偿,丝杠、齿轮的间隙补偿等一系列功能,如图 1-5c)所示。

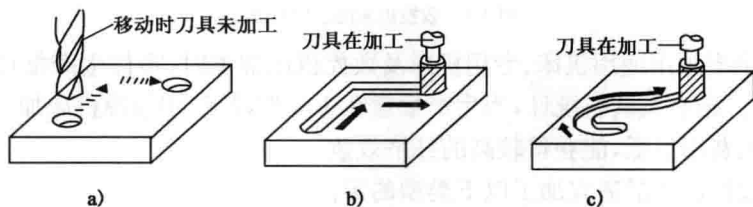


图 1-5 数控系统控制方式

1.2.2 按加工方式分类

按照机床加工方式的不同,可以把数控机床分为以下几类:

1. 普通数控机床

这类机床的工艺性能和通用机床相似,所不同的是它能加工复杂形状的零件,属于此类的数控机床有数控车床、钻床、铣床、镗床和磨床等,如图 1-6 所示。

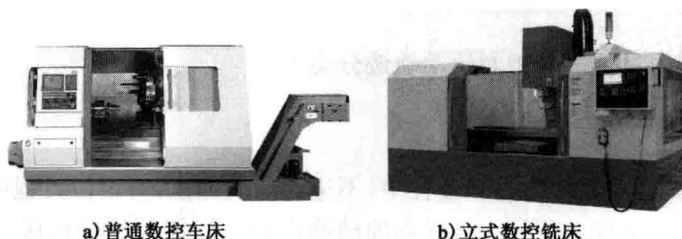


图 1-6 普通数控机床

2. 加工中心

如图 1-7 所示,加工中心是在普通数控机床的基础上增加了自动换刀装置及刀库,并带有自动分度回转工作台及其他辅助功能,从而使工件在一次装夹后,可以连续、自动完成多个平面或多个角度位置的铣、车、钻、扩、铰、镗、攻丝、铣削等工序的加工,工序高度集中。

加工中心能自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对于工件的运动轨迹。有的加工中心带有双工作台,一个工作台上的工件在加工的同时,另一个工件可在处于装卸位置的工作台上进行装卸,然后交换加工(装卸)位置,因而节省总加工时间。

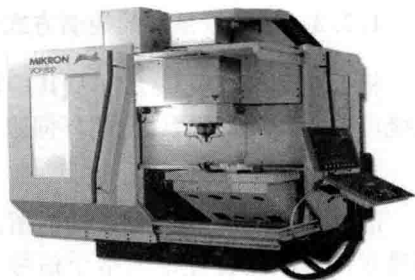
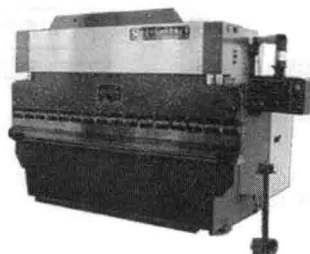


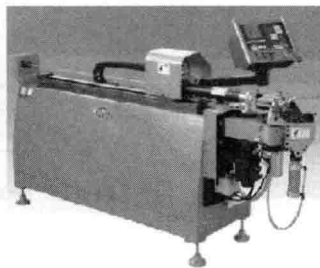
图 1-7 立式加工中心

3. 金属成型数控机床

如图 1-8 所示,该类机床包括数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机、数控转塔式冲等。



a) 数控液压板料折弯机



b) 数控弯管机

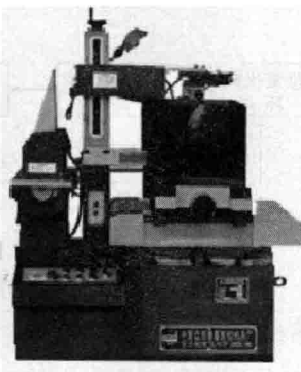
图 1-8 金属成型数控机床

4. 数控特种加工机床

如图 1-9 所示,数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等均属于此类。



a) 数控线切割机床



b) 数控电火花加工机床

图 1-9 数控特种加工机床

5. 其他类型的数控机床

如图 1-10 所示的数控三坐标测量机,还有数控火焰切割机等。

1.2.3 按伺服系统的控制方式分类

根据有无检测反馈元件及其检测装置,数控机床的伺服系统可分为开环伺服系统、闭环伺服系统和半闭环伺服系统。

1. 开环伺服系统

图 1-11 为开环控制系统的框图。这种控制方式不带位置测量元件。数控装置根据指令信号发出指令脉冲,使伺服驱动元件转过一定的角度,并通过传动部件,使执行机构(如工作台)移动或转动。

它的特点是系统简单,调试维修方便,工作稳定,成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性,因此控制精度较低。多用于经济型数控机床,以及对旧机床的改造。

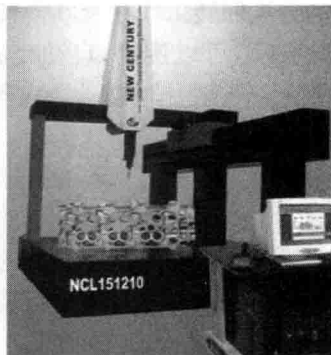


图 1-10 数控三坐标测量机



图 1-11 开环控制系统框图

2. 闭环伺服系统

图 1-12 为闭环控制系统框图。闭环控制系统是一种自动控制系统,其中包含功率放大和反馈,使输出变量的值响应输入变量的值。在闭环控制系统中,位置测量元件装在数控机床的工作台上,测出工作台的实际位移量后,反馈到数控装置的比较器中与指令信号进行比较,并用比较后的差值进行控制。闭环伺服系统的优点是精度高、速度快。主要用在精度要求较高的数控镗铣床、数控超精车床、数控超精镗床等机床上。

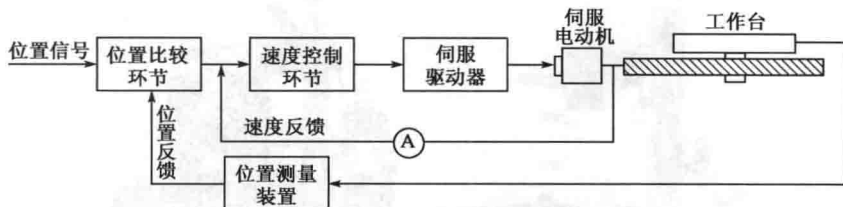


图 1-12 闭环控制系统框图

3. 半闭环伺服系统

图 1-13 为半闭环控制系统框图。半闭环伺服系统介于开环和闭环之间,这种控制系统不是直接测量工作台位移量,而是通过角位移测量元件测量伺服机构中电动机或丝杠的转角,来间接测量工作台的位移。这种系统中由于滚珠丝杠螺母副和工作台均在反馈环路之外,其