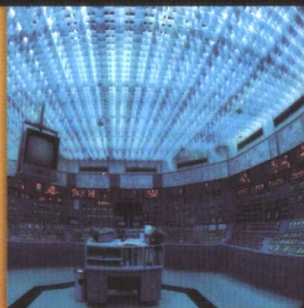


数控机床



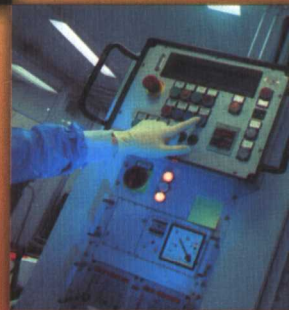
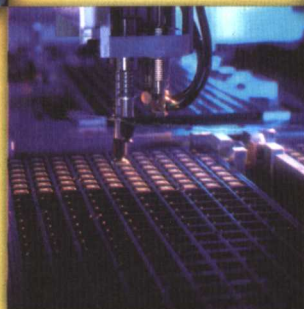
高等职业教育

数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材



主 编 李 立

副主编 张李铁



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材

数 控 机 床

主 编 李 立

副主编 张李铁

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一。其内容包括：数控机床概述、计算机数控系统、数控伺服系统及位置检测装置、数控机床的机械结构、典型数控机床、数控电火花线切割机床、数控机床的使用、保养和维修、数控机床的安装调试与验收等内容。

本书适合作为各类高等职业技术院校、部分普通高等院校二级学院数控技术应用专业应用性技能型人才培养用教材，也可作为中高级职业资格与就业培训的参考用书，还可供有关的数控加工技术人员参考。

图 书 在 版 编 目 (CIP) 数 据

数控机床/李立主编. —北京：高等教育出版社，
2005.6

ISBN 7-04-016344-6

I. 数... II. 李... III. 数控机床—高等学校：技
术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 062753 号

责任编辑 孙鸣雷 特约编辑 杨琳琳 封面设计 吴 昊 责任印制 潘文瑞

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-82028899	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	021-56965341		http://www.hep.com.cn
			http://www.hepsh.com

排 版 南京理工出版信息技术有限公司
印 刷 江苏南洋印务集团

开 本	787×1092 1/16	版 次	2005 年 7 月第 1 版
印 张	13.75	印 次	2005 年 7 月第 1 次
字 数	313 000	定 价	19.00 元

凡购买高等教育出版社图书，如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为实现党的十六大提出的全面建设小康社会的奋斗目标,落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,促进职业教育更好地适应社会主义现代化建设对生产、服务第一线技能型人才的需要,缓解劳动力市场上制造业和现代服务业技能型人才紧缺状况,教育部、劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部决定组织实施“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”(教职成[2003]5号,以下简称《工程》)。《工程》的目标是:“根据劳动力市场技能型人才的紧缺状况和相关行业人力资源需求预测,在数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理等四个专业领域,全国选择确定500多所职业院校作为技能型紧缺人才示范性培养培训基地;建立校企合作进行人才培养的新模式,有效加强相关职业院校与企事业单位的合作,不断加强基地建设,扩大基地培养培训能力,缓解劳动力市场上技能型人才的紧缺状况;发挥技能型紧缺人才培养培训基地在探索新的培养培训模式、优化教学与训练过程等方面的示范作用,提高职业教育对社会和企业需求的反应能力,促进整个职业教育事业的改革与发展。”

《工程》实施启动以来,各有关职业院校在职业教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践,取得了不少成果。为使这些研究成果能够得以固化并更好地推广,从而总体上提高职业教育人才培养的质量,我们组织了有关职业院校进行了多次研讨,根据“教育部办公厅、信息产业部办公厅关于确定职业院校开展数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训工作的通知”(教职成厅[2003]5号)中的两年制高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案,在了解相关企业需求的基础上,确立了“以就业为导向,以企业需求为依据”的宗旨,“以综合职业素质为基础,以能力为本位”的思路,“适应行业技术发展,以应用为目的”的体系,“以学生为主体,体现教学组织的科学性和灵活性”的风格,组织编写了一批“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列”教材。这些教材结合《工程》的指导思想与目标任务,反映了最新的教学改革方向,很值得广大职业院校借鉴。

此系列教材出版后,我们还将不定期地举行相关课程的研讨与培训活动,并聘请相关企业共同探讨人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革,为各院校提供一个加强校企合作、交流的互动平台。

“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材”适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2005年5月

前 言

本书是根据教育部等国家部委组织实施的“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”中有关数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案的精神,按照高等职业技术教育技能应用型人才的培养目标和基本要求编写的“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材”之一。

本教材主要面向数控加工工艺编程人员及数控机床操作人员。内容包括:数控机床的工作原理、组成、分类及发展,计算机数控系统,数控伺服系统及位置检测装置,数控机床的机械结构,典型数控车床、数控铣床、加工中心的结构及面板操作,数控电火花线切割机床结构及操作,数控机床的使用、保养和维修,数控机床的安装调试与验收等。

在教材的编写上,作者从培养高职技能型人才的目标出发,着力突出技能培养,注重解决实际操作问题。对理论知识的介绍遵循“必须、够用”的原则。对插补原理、数控系统原理、数控伺服系统及位置检测装置工作原理的阐述力求简单明了,通俗易懂;对典型数控机床的面板操作,数控机床的日常保养与维护、数控机床的安装调试与验收等内容的介绍结合实际,作到规范适用。

本书理论教学学时为 56 学时,建议各章学时分配如下表所示。其中实训部分可集中进行,也可在相关章节理论教学后进行。

章 序	学 时	学 时 分 配	
		理论学时	实训学时
第 1 章 数控机床概述	6	4	2
第 2 章 计算机数控系统	8	6	2
第 3 章 数控伺服系统及位置检测装置	6	4	2
第 4 章 数控机床的机械结构	14	10	4
第 5 章 典型数控机床	20	14	6
第 6 章 数控电火花线切割机床	8	6	2
第 7 章 数控机床的使用、保养和维修	8	6	2
第 8 章 数控机床的安装调试与验收	10	6	2
合 计 学 时	78	56	22

本书由李立主编、张李铁副主编,栾学钢教授主审。邵永录、李军、孔敏、关金贵、陶太锁参加本书编写。全书由吉林工业职业技术学院李立统稿。

在本书编写过程中,吉林工业职业技术学院的领导和教师给予了大力支持和帮助,南京第二机床厂技术科提供了宝贵资料,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免有欠妥和疏漏之处,敬请同行和读者批评指正。

编 者

2005 年 6 月

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话:(010)82028899 转 6897 (010)82086060

传 真:(010)82086060

E - mail : dd@hep. com. cn

通信地址:北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮 编:100011

购书请拨打读者服务部电话:(010)64054588

目 录

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控机床的组成及工作过程	1
1.2 数控机床的特点及应用	4
1.3 数控机床的分类	5
1.4 数控机床的主要性能指标	11
1.5 数控机床的坐标系	13
1.6 数控机床的发展过程与发展趋势	15
思考题	20
第 2 章 计算机数控系统	21
2.1 CNC 系统的组成及功能	21
2.2 数控系统的插补原理	27
2.3 数控系统的刀具补偿原理	33
2.4 PLC 与辅助功能	39
2.5 典型 CNC 系统简介	42
思考题	45
第 3 章 数控伺服系统及位置检测装置	46
3.1 数控伺服系统	46
3.2 位置检测装置	52
思考题	57
第 4 章 数控机床的机械结构	58
4.1 数控机床机械结构的特点和要求	58
4.2 数控机床的主传动系统	60
4.3 数控机床进给运动传动部件	71
4.4 自动换刀装置	85
4.5 辅助装置	102

目 录

思考题.....	106
第 5 章 典型数控机床.....	108
5.1 数控车床	108
5.2 数控铣床	122
5.3 加工中心	135
思考题.....	150
第 6 章 数控电火花线切割机床.....	151
6.1 电火花线切割机床的工作原理、特点、分类及应用	151
6.2 数控电火花线切割机床	153
6.3 DK7740 数控电火花线切割机床的操作	165
6.4 YH 线切割自动编程控制系统	170
思考题.....	181
第 7 章 数控机床的使用、保养和维修	182
7.1 数控机床的选择与使用	182
7.2 数控机床的维修与保养	188
思考题.....	197
第 8 章 数控机床安装调试与验收.....	199
8.1 数控机床的安装	199
8.2 数控机床的调试	201
8.3 数控机床的检测与验收	203
思考题.....	207
参考文献.....	208

第 1 章 数控机床概述

学习目标与要求:

1. 掌握数控机床的组成及工作过程;
2. 掌握数控机床的分类方法,理解开环、闭环及半闭环系统的特点;
3. 理解数控机床的性能指标要求;
4. 了解数控机床的发展过程及发展趋势;
5. 了解数控机床的应用特点。

1.1 数控机床的组成及工作过程

一、数控机床的基本概念

1. 数控与数控技术

数控是数字控制(numerical Control, NC)的简称,是利用离散的数字信号对信息进行传输、运算和处理。数控技术是利用数字控制原理对某一工作过程进行自动控制的技术。它已广泛应用于航空航天、军事、电子信息、通讯、家电、汽车、机械加工等领域,是一门正在高速发展的高新技术。

2. 数控加工与数控机床

数控加工泛指在数控机床(设备)上进行零件加工的工艺过程。数控机床是一类装有数字程序控制系统的自动加工机床。它与普通机床相比,具有适应范围广、自动化程度高、柔性大、劳动强度低、易于组成自动生产系统等优点。数控机床与普通机床的主要区别是数控机床具有数字程序控制系统(简称数控系统),系统运用数字控制技术实现机床自动控制,主要实现运动轨迹(刀具与工件间相对运动)行程量控制及机床运动开关量(主轴转速、转向、刀具选择、切削液开闭等)逻辑控制。

二、数控机床的组成

数控机床主要由信息载体、输入输出装置、数控系统、可编程逻辑控制系统、伺服驱动系统、位置检测系统、机床主体等部分组成,其基本组成结构如图 1-1 所示。

1. 输入输出装置

输入装置的作用是将记录在信息载体(如磁盘)上的数控加工程序读入数控系统的

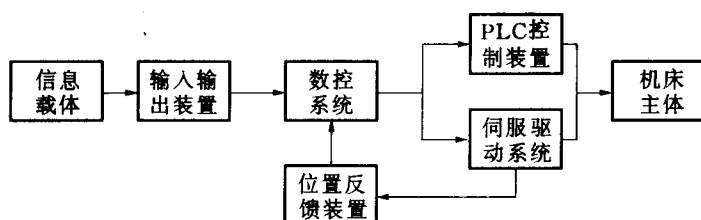


图 1-1 数控机床的组成结构

内存储器。目前广泛应用的输入方式是利用数控机床上的通讯接口通过计算机进行数据传输,也可利用网络技术进行远程数据传输。对于简单数控加工程序可采用手动数据输入方式(MDI方式),利用数控系统控制面板上的输入键直接将零件加工程序输入数控系统的内存储器。

输出装置的作用是为操作人员提供必要的加工信息,如程序代码、切削用量、刀具位置、各种故障信息和操作提示等。常用的输出装置有显示器和打印机等,可对输出信息进行显示和打印。

2. 数控系统

数控系统是数控机床的核心。其主要作用是对输入的零件加工程序的命令进行信息处理后,输出控制命令到相应的执行部件(如伺服系统、驱动装置、PLC等),完成零件加工程序所要求的工作。数控系统由硬件和软件组成。现代数控系统普遍采用通用计算机作为其主要硬件部分,包括CPU、存储器、系统总线和输入输出接口等。软件部分主要是主控制系统软件,其控制方式有数据运算处理控制(机床运动行程量控制)和时序逻辑控制(机床运动开关量控制)两大类,主控制器内的插补运算模块根据读入的零件加工程序,通过译码、编译等信息处理后,进行相应的轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统位置、速度反馈信号比较,进而控制机床各个坐标轴的移动。时序逻辑控制主要由可编程控制器PLC完成,它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,从而控制机床有条不紊地按序工作。

3. 可编程逻辑控制系统

可编程逻辑控制系统的主要功能是接受可编程控制器PLC输出的主轴变速和换向,启动或停止,刀具选择和更换,分度工作台转位和锁紧,工件夹紧或松夹,切削液的开启或关闭等辅助操作信号,经功率放大后直接驱动相应的执行元件,完成数控加工自动操作。

4. 伺服驱动系统

伺服驱动系统的作用是接受来自数控系统的位置控制信息,将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确定位运动,完成数控机床最后的控制环节,因此,其伺服精度和动态响应特性将直接影响数控机床的加工精度和表面加工质量。伺服驱动系统包括主轴伺服和进给伺服两个单元。主轴伺服单元接受来自PLC的转向和转速指令,经过功率放大后驱动主轴电

动机转动。进给伺服单元在每个插补周期内接受数控系统的位移指令,经过功率放大后驱动进给电动机转动,同时完成速度控制和反馈控制。伺服驱动系统的执行器件有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

5. 位置检测系统

位置检测系统的作用是通过传感器检测伺服电动机的转角位移或数控机床工作台的直线位移,并转换成电信号反馈给伺服系统,由伺服系统中的位置比较环节对控制位移量与实际位移量进行比较,根据比较的差值调整控制信号,提高控制精度。

6. 机床主体

机床主体指的是数控机床的机械结构部分,是实现零件加工的执行部件。它主要由主运动部件(主轴)、进给运动部件(工作台、拖板及传动机构)、支撑件(立柱、床身等)、特殊装置、刀库和辅助装置(冷却、润滑、排屑、转位、夹紧装置等)等组成。数控机床的机械结构部分与普通机床相似,但传动结构和变速系统较为简单,在精度、刚度、抗振性等方面要求较高,因而采取了一些特殊结构,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

三、数控机床的工作过程

数控机床加工工件的过程如图 1-2 所示。首先要根据零件图纸制订出加工工艺方案。其中包括零件的定位与装夹方法的确定、工位工步划分、各工步走刀路线的划分、刀具及切削用量的选择。

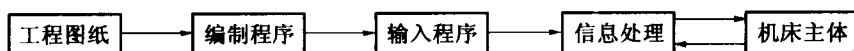


图 1-2 数控机床的主要工作过程

在制订出加工工艺方案后,再按照数控程序代码标准和具体机床的编程手册,将选择的工艺方法和切削参数编制成数控程序。数控程序是按规定的语法和词法,由一系列字符和数字组成的信息,其功能类似于计算机的批处理功能。编制程序可手工编制,也可利用 CAD/CAM 软件自动生成。

可以将编制好的程序记录在存储介质上,通过计算机将程序输入给数控系统,也可用手动数据输入方式(MDI 方式),用键盘直接将指令输入数控系统。

数控系统对信息代码进行处理和运算,把结果以数字信号的形式分配给机床各坐标的伺服机构。通过伺服机构(如步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机),经传动装置(如滚珠丝杠螺旋副等),驱动机床各运动部件,使机床按规定的顺序、速度和位移量进行工作,从而制造出符合设计要求的零件。

在上述的工作过程中,数控机床使用者完成的工作主要是加工工艺方案的制定和数控编程,及将程序输入给数控系统,其他步骤都是由数控系统和机床主体自动完成的。

1.2 数控机床的特点及应用

一、数控机床的特点

1. 数控机床的结构特点

数控机床与普通机床在总体结构上基本相似,由床身、箱体、导轨、主轴、进给机构及辅助机构组成。由于其加工的特殊性,数控机床在机械结构上具有如下特点:

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

(2) 采用具有高刚度、高抗震性及较小热变形的特殊结构,使机床精度、静刚度、动刚度、热刚度大大提高,从而满足大余量切削和精密加工切削需要。

(3) 采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和传动构件,如滚珠丝杠螺母副、贴塑滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等传动构件。

(4) 加工中心具有完善的刀具自动交换装置。

(5) 采用移动门结构的全封闭外罩壳,保证了加工操作的安全性。

(6) 具有气动、液压、排屑、冷却、润滑等辅助装置。

2. 数控机床的加工特点

数控机床是通过数字指令来自动完成机床各个坐标的协调运动,正确控制机床运动部件的位移量,并且按加工的动作顺序要求自动控制机床各个部件的动作,具有专用机床的高效率、精密机床的高精度、万能机床的高柔性,其加工特点如下:

(1) 机床加工精度高,质量稳定

数控机床在结构设计上采用了有针对性的特殊结构设计,使其机械部分达到了较高的精度。配备的数控装置的脉冲当量可达 $0.01\sim 0.0001\text{ mm}$ 。可见,数控机床本身的设计精度很高。此外,数控机床还采用实时检测反馈系统,通过修正误差或补偿可以获得比机床本身精度还要高的加工精度与重复加工精度。由于数控机床是按照预定的数控程序自动工作的,减少了人为因素对加工精度的影响,因此零件加工的一致性好,精度高,产品质量稳定。

(2) 生产准备周期短,生产效率高

在数控机床上加工零件,大部分准备工作是编制数控程序,而不是准备靠模、钻镗模、专用夹具等工艺装备,而且编程工作可以离线独立完成,这样就大大缩短了生产准备时间。数控机床的主轴转速和进给量的范围一般比同规格通用机床的范围大,良好的机床刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了机动时间。此外,有些数控机床由于采用了自动换刀、自动交换工作台等控制,可在同一台机床上进行车、铣、钻、镗等粗精加工,工序集中,减少了工件周转和装夹次数,大大节省了辅助

操作时间,提高了生产效率。

(3) 适应性强,能实现复杂零件的加工

由于采用数字程序控制,当产品品种改变时,只要重新编制零件的加工程序,就能够实现对新零件的自动化生产,有利于产品的更新换代,为解决多品种、中小批量自动化生产提供了极好的生产方式。数控机床由于采取了计算机插补技术和多坐标联动控制,可以实现普通机床难以或无法完成的二次以上的曲线运动,可以实现螺旋桨、汽轮机叶片等具有复杂空间曲面的零件加工。

(4) 大大降低了操作者的体力劳动强度

由于数控机床是按所编程序自动完成零件的加工的,加工过程中需人工完成的主要工作只是编写、输入、调试数控程序、装卸工件和更换刀具等,因而大大降低了操作者的体力劳动强度。但要想操作好数控机床,充分发挥机床的功能,操作者要付出更多的脑力劳动。

(5) 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和加工费用,并减少检验工序及工夹具的使用,简化半成品的管理工作。利用通信接口,数控机床可以与计算机连接,组成工业控制网络,从而实现计算机辅助设计、制造及管理一体化,成为柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的基本单元。

(6) 技术含量高,单位加工成本高

数控机床是典型的机电一体化产品,其组成部分大多属于高科技范畴,因此对使用者和维护人员都有很高的要求。由于机床价格较高,维修难度大,加工中的调整又相对复杂,其单位加工成本较高。

二、数控机床的应用

数控机床是一种可编程的通用加工设备,与普通机床、组合机床、专用机床相比,具有适应面广,加工精度高,生产效率高等特点。适合加工以下类型的零件:

- (1) 生产批量小,结构复杂的零件,如模具类;
- (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,二次以上曲面类;
- (4) 需要精确复制和尺寸一致性要求高的零件,如筛板塔的塔板;
- (5) 价值昂贵的零件。这种零件虽然生产量不大,但是如果出现废品,将造成很大的经济损失。

随着数控机床成本的不断下降,它的适应范围将越来越广,从发展角度看将逐步取代普通机床和“刚性制造系统”。

1.3 数控机床的分类

数控机床种类繁多,根据功能和组成的不同,可以从多种角度对数控机床进行分类。

一、按工艺用途分类

数控机床按其加工用途和功能特点可分为四类。

1. 金属切削类

常用的有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控齿轮加工机床及加工中心等。加工中心是一种带有自动换刀装置的数控机床,它的出现突破了一台机床只能进行一种工艺加工的传统模式。它是以工件为中心,实现工件在一次装夹后自动地完成多种工序的加工。常见的有以加工箱体类零件为主的钻铣类加工中心和几乎能够完成各种回转体类零件所需加工工序的车铣中心。

2. 数控金属成型类

常用的有数控弯管机、数控压力机、数控折弯机、数控冲剪机、数控旋压机等。

3. 特种加工类

主要有数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光加工机床等。

4. 测量绘图类

主要有数控绘图仪、数控坐标测量仪、数控对刀仪等。

二、按机床控制功能分类

1. 点位控制数控机床

这类数控机床控制系统的特点是只控制刀具相对于工件定位点的位置精度,不控制点与点之间的运动轨迹,在移动过程中刀具不进行切削。为既能保证定位精度又可提高生产效率,机床工作台移动时采用机床设定的最高速度快速移动接近给点,在接近终点前进行分级或连续降速,慢速趋近定位点,减少因运动部件惯性引起的定位误差。这类机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机及数控测量机等。图 1-3 所示为点位控制数控钻床加工示意图。

2. 点位直线控制数控机床

这类数控机床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,还控制刀具由一点到另一点之间的运动轨迹及移动的速度。机床的刀具在移动过程中要进行切削加工。点位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。这类控制系统的机床主要有简易数控车床、数控铣床、数控磨床等。图 1-4 所示为点位直线控制数控铣床加工示意图。

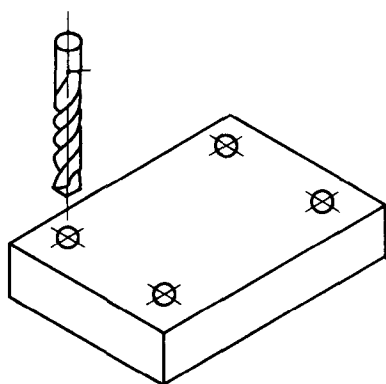


图 1-3 点位控制加工示意图

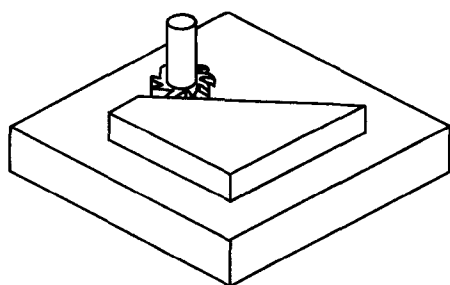


图 1-4 点位直线控制加工示意图

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制又称连续控制。它的特点是能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行连续控制,不仅能够精确控制起点和终点坐标位置,而且能够对运动轨迹和运行速度进行严格的连续控制。这类数控机床的数控系统具有很强的插补功能和刀具补偿功能,它使刀具严格地按加工表面的轮廓形状连续地运动,并在移动时进行切削加工,可以加工任意斜率的直线、圆弧及其他函数曲线。采用这类控制系统的机床有数控铣床、数控车床、数控磨床、加工中心及数控绘图仪等。图 1-5 所示为轮廓控制数控铣床加工示意图。

三、按可控制坐标轴数分

按照机床可连续控制的坐标轴数(可联动轴数),数控机床又可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动数控机床。

二轴联动可同时控制 X 、 Y 、 Z 三轴中二轴联动,加工曲线柱面,如图 1-5 所示。

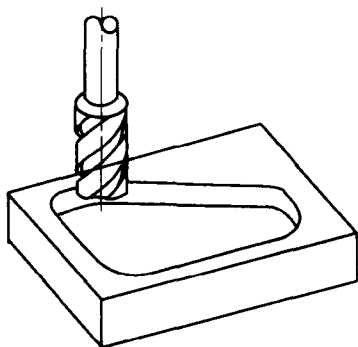


图 1-5 二轴联动加工示意图

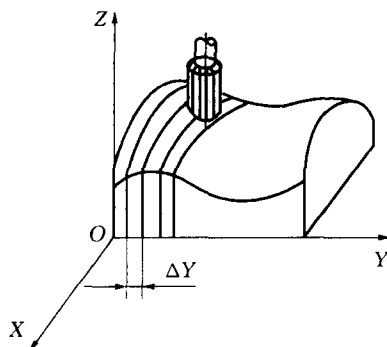


图 1-6 二轴半联动加工示意图

二轴半联动指其中二轴联动,第三轴作周期进给,采用行切法加工三维空间曲面,如图 1-6 所示。

三轴联动可同时控制 X 、 Y 、 Z 三轴联动,或控制 X 、 Y 、 Z 三轴中二轴联动再加控制某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴(A 轴、 B 轴或 C 轴)。可作三维立体加工,如图 1-7 所示。

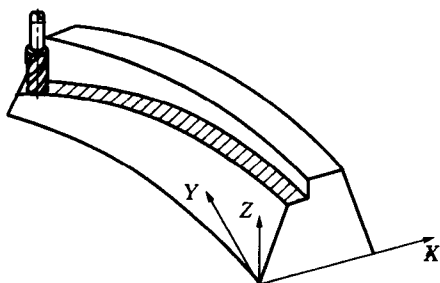


图 1-7 三轴联动加工示意图

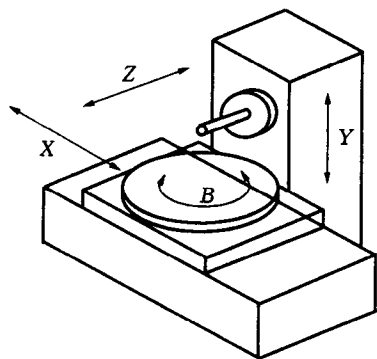


图 1-8 四轴联动加工示意图

四轴联动可同时控制 X 、 Y 、 Z 三轴联动,加上控制一个旋转坐标轴(A 轴、 B 轴或 C 轴),如图 1-8 所示。

五轴联动可同时控制 X 、 Y 、 Z 三轴联动,加上控制两个旋转坐标轴(A 轴、 B 轴或 C 轴),如图 1-9 所示。

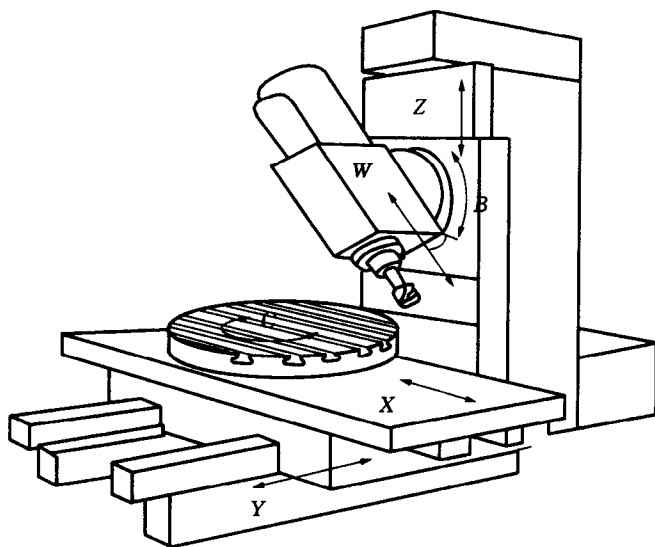


图 1-9 五轴联动加工示意图

四、按伺服系统控制方式分类

1. 开环控制数控机床

这类机床的数控系统不带位置检测装置。数控系统根据控制介质上的指令信号,经控

制运算发出指令脉冲,使伺服驱动元件(步进电机)转过一定的角度,并通过传动齿轮或滚珠丝杠螺母副使工作台移动或转动,图 1-10 所示为开环控制系统的原理图。这种机床数控系统的特点是系统简单,调试维修方便,工作稳定,成本较低。其精度主要取决于伺服元件及传动机构的精度、刚度和动态特性,因此控制精度较低。目前国内多用于经济型数控机床,以及对旧机床的改造。

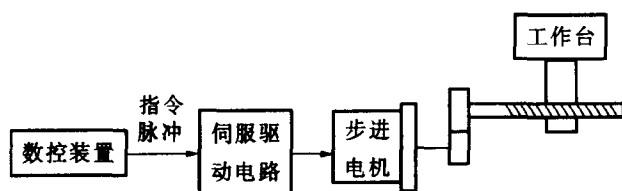


图 1-10 开环控制系统原理图

2. 闭环控制数控机床

这类机床的数控系统带有位置检测装置及反馈系统,检测装置安装在工作台上。图 1-11 所示为闭环控制系统的原理图。数控系统发出指令脉冲后,使伺服驱动电机转动,通过齿轮、滚珠丝杠螺母副等传动元件带动机床工作台移动。装在机床工作台上的位置测量元件测出工作台的实际移动量后,反馈到数控装置的比较器中与指令脉冲信号进行比较,并用比较后的差值进行控制。若两者存在差值,则差值经放大器放大后,再控制伺服驱动电机转动,驱动工作台向减少误差的方向移动。不断地输入信号,不断地比较,不断地向减少误差方向移动,直至差值为零时,工作台才停止移动。由于将机械传动部分全部包括在闭环之内,从理论上讲,闭环控制精度主要取决于测量元件的精度,而与传动系统误差无关,因而定位精度高,速度快。但闭环控制系统技术要求高,成本较高,调试和维修比较复杂,此外机床的结构、传动装置及传动间隙等非线性因素都会影响其控制精度,严重时系统会发生振动,稳定性降低。闭环控制系统主要应用在精度要求较高的数控铣床、数控超精车床、数控精密加工中心等机床上。

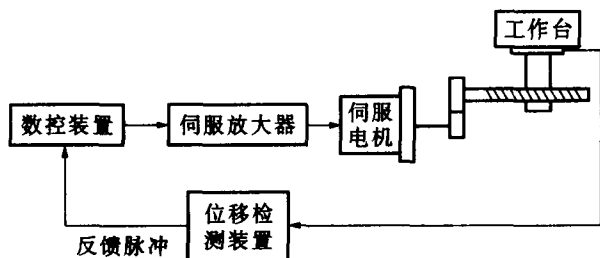


图 1-11 闭环控制系统原理图

3. 半闭环控制数控机床

这类机床的数控系统与闭环控制系统相似,也带有位置检测装置及反馈系统,不同的是半闭环控制系统采用的是角位移检测装置,安装在伺服电机或丝杠端部,间接测量工作台的实际位移。图 1-12 所示为半闭环控制系统的原理图。由于丝杠、工作台等惯性较大的运动