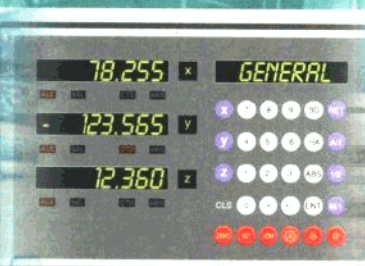




21世纪 21世纪高职高专系列教材

数控加工工艺 及编程

中国机械工业教育协会 组编



机械工业出版社
China Machine Press

21 世纪高职高专系列教材编委会名单

编委会主任 中国机械工业教育协会 郝广发

编委会副主任 (单位按笔画排)

山东工程学院 仪垂杰

大连理工大学 唐志宏

天津大学 周志刚

甘肃工业大学 路文江

江苏理工大学 杨继昌

成都航空职业技术学院 陈玉华

机械工业出版社 陈瑞藻 (常务)

沈阳工业大学 李荣德

河北工业大学 檀润华

武汉船舶职业技术学院 郭江平

金华职业技术学院 余党军

编委会委员 (单位按笔画排)

广东白云职业技术学院 谢瀚华

山东省职业技术教育师资培训中心 邹培明

上海电机技术高等专科学校 徐余法

天津中德职业技术学院 李大卫

天津理工学院职业技术学院 沙洪均

日照职业技术学院 李连业

北方交通大学职业技术学院 佟立本

辽宁工学院职业技术学院 李居参

包头职业技术学院 郑刚

北京科技大学职业技术学院 马德青

北京建设职工大学 常莲

北京海淀走读大学 成运花

江苏理工大学 吴向阳

合肥联合大学 杨久志

同济大学 孙章

机械工业出版社 李超群 余茂祚 (常务)

沈阳建筑工程学院 王宝金

佳木斯大学职业技术学院 王跃国

河北工业大学 范顺成

哈尔滨理工大学工业技术学院 线恒录

洛阳大学 吴锐

洛阳工学院职业技术学院 李德顺

南昌大学 肖玉梅

厦门大学 朱立秒

湖北工学院高等职业技术学院 吴振彪

彭城职业大学 陈嘉莉

燕山大学 刘德有

序

1999年6月中共中央国务院召开第三次全国教育工作会议,作出了“关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定”的重大决策,强调教育在综合国力的形成中处于基础地位,坚持实施科教兴国的战略。决定中明确提出要大力发展高等职业教育,培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力,适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此,教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议,进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务;以适应社会需要为目标;以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案;以“应用”为主旨和特征来构建课程和教学内容体系;高职高专的专业设置要体现地区、行业经济和社会发展的需要,即用人的需求;教材可以“一纲多本”,形成有特色的高职高专教材系列。

“教书育人,教材先行”,教育离不开教材。为了贯彻中共中央国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总体要求,中国机械工业教育协会、机械工业出版社组织全国部分有高职高专教学经验的职业技术学院、普通高等学校编写了这套《21世纪高职高专系列教材》。教材首批80余本(书目附书后)已陆续出版发行。

本套教材是根据高中毕业3年制(总学时1600~1800)、兼顾2年制(总学时1100~1200)的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论课以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点;专业课加强了针对性和实用性,强化了实践教学。为了扩大使用面,在内容的取舍上也考虑到电大、职大、业大、函大等教育的教学、自学需要。

每类专业的教材在内容安排和体系上是有机联系、相互衔接的,但每本教材又有各自的独立性。因此各地区院校可根据自己的教学特点进行选择使用。

为了提高质量,真正编写出有显著特色的21世纪高职高专系列教材,组织编写队伍时,采取专门办高职的院校与办高职的普通高等院校相互协作编写并交叉审稿,以便实践教学和理论教学能相互渗透。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一,在教材编辑出版方面有雄厚的实力和丰富的经验,出版了一大批适用于全国研究生、大学本科、专科、中专、职工培训等各种层次的成套系列教材,在国内享有很高的声誉。我们相信这套教材也一定能成为具有我国特色的、适合21世纪高职高专教育特点的系列教材。

中国机械工业教育协会

前 言

数控机床是一种技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备,是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。数控机床的数控加工技术的应用给现代制造业带来了巨大的效益。随着数控机床的发展与普及,现代化企业对于懂得数控加工技术、掌握数控加工工艺、能进行数控加工编程的技术人才的需求量必将不断增加,本教材正是为了适应这种需求,根据“21世纪高职高专系列教材编委会”的要求,为了实现对这种技术人才的培养而编写的。本教材内容以数控加工工艺及编程所涉及的问题为主线,在适当讲述传统制造工艺知识的基础上,突出数控加工工艺设计与编程,以讲清概念、强化应用为重点,强调实际应用。

本书根据中国机械工业教育协会关于“21世纪高职高专系列教材编写工作会议”的精神进行编写。沈阳工业大学王维编写了第1章、第3章,第2章由天津理工学院杨金利编写;第4章由沈阳航空工业学院杨玉海编写;第5章、第6章由河北工业大学刘瑞素、曲云霞和王阳编写;第7章由沈阳工业大学唐宗军编写。沈阳工业大学王维和唐宗军对全书进行了修改和统稿工作。

全书由河北工业大学副校长檀润华教授主审。本书在编写过程中得到了沈阳工业大学教务处和印刷厂的大力支持,更得到了许多同行专家的帮助。此外,还参考了一些兄弟院校、科研院所的教材或资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,经验不足,书中难免有许多错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第1章 数控加工概述 1

1.1 数控加工工艺及其特点 2

1.1.1 数控加工工艺的主要内容 2

1.1.2 数控加工的特点 2

1.1.3 数控加工的适应性 4

1.2 数控机床 5

1.2.1 数控机床的组成 5

1.2.2 数控机床的基本结构特征 6

1.2.3 数控机床的分类 6

1.2.4 常见数控机床简介 8

1.2.5 数控机床的主要辅助装置 10

1.3 数控加工技术的发展 11

1.4 数控加工程序——数控机床与 数控加工的联系纽带 12

复习思考题 13

第2章 机械加工工艺基础 14

2.1 机械加工工艺过程的基本

概念 14

2.1.1 生产过程与工艺过程 14

2.1.2 工艺过程的组成 14

2.1.3 生产纲领 14

2.1.4 生产类型及其基本特点 14

2.1.5 工件的装夹方法 15

2.1.6 获得工件尺寸精度的方法 16

2.2 机床夹具概述 16

2.2.1 机床夹具的组成及作用 16

2.2.2 工件在夹具中的定位 17

2.2.3 工件在夹具中的夹紧 20

2.3 金属切削刀具 21

2.3.1 常用刀具种类 21

2.3.2 刀具的几何角度 23

2.3.3 刀具的耐用度和寿命 24

2.4 工件表面加工方法及加工方案

简介 25

2.4.1 经济加工精度和经济表面粗

糙度 25

2.4.2 典型表面加工方法及加工方案

简介 25

2.4.3 成形表面和复杂表面的加工 29

2.5 零件机械加工工艺规程 30

2.5.1 制订工艺规程的步骤 30

2.5.2 基准及其选择 33

2.5.3 机械加工工艺路线的拟定 34

2.5.4 加工余量及工艺尺寸的确定 36

复习思考题 38

第3章 数控加工工艺设计 39

3.1 数控加工内容的选择 39

3.2 数控加工工艺性分析 39

3.2.1 零件图尺寸的标注方法 39

3.2.2 构成零件轮廓的几何元素

条件 40

3.2.3 零件的结构工艺性 40

3.2.4 数控加工的定位基准 40

3.3 数控加工的工艺路线设计 41

3.3.1 工序的划分 41

3.3.2 工步的划分 42

3.3.3 加工顺序的安排 42

3.3.4 数控加工工序与普通工序的

衔接 43

3.4 数控加工工序的设计 43

3.4.1 进给路线的确定 43

3.4.2 工件的安装与夹具的选择 47

3.4.3 数控刀具的选择 48

3.4.4 切削用量的选择 51

3.4.5 对刀点与换刀点的确定 52

3.4.6 测量方法的确定	52
3.5 数控加工工艺文件	52
3.5.1 数控加工编程任务书	53
3.5.2 数控加工工序卡	53
3.5.3 数控机床调整单	53
3.5.4 数控加工刀具调整单	55
3.5.5 数控加工进给路线图	57
3.5.6 数控加工程序单	59
复习思考题	60
第4章 数控刀具系统及机床	
附件	61
4.1 数控刀具系统	61
4.1.1 数控加工刀具的种类及特点	61
4.1.2 机夹可转位刀片及代码	62
4.1.3 数控刀具刀柄的结构特点	63
4.1.4 数控刀具刀柄的选择方法及注意 事项	71
4.2 数控机床附件	75
4.2.1 数控机床附件的种类	75
4.2.2 数控机床附件的使用方法	75
复习思考题	84
第5章 数控编程的基本概念	85
5.1 坐标系与原点	85
5.1.1 机床坐标系	85
5.1.2 工作坐标系	86
5.1.3 附加坐标系	86
5.1.4 坐标系的原点	86
5.2 数控编程方法	87
5.2.1 手工编程	88
5.2.2 自动编程	88
5.2.3 CAD/CAM	90
5.3 数控代码	92
5.3.1 准备功能G代码	92
5.3.2 辅助功能M代码	94
5.3.3 其它代码	94
复习思考题	94

第6章 数控加工程序	95
6.1 数控程序的编制	95
6.1.1 数控编程步骤	95
6.1.2 数控程序结构	95
6.1.3 常用数控代码及程序编制	97
6.2 数控编程中的数值计算	100
6.2.1 非圆曲线的节点计算	100
6.2.2 列表曲线的数值计算	102
6.3 刀具补偿概念	103
6.3.1 刀具磨损失补偿	103
6.3.2 刀具半径补偿	104
6.3.3 刀具偏置补偿	107
6.4 手工编程技巧	110
6.4.1 衡量程序的标准	110
6.4.2 辅助编程功能的灵活应用	110
6.4.3 手工编程应注意的问题	112
复习思考题	115
第7章 数控编程实例	116
7.1 数控车床编程	116
7.1.1 数控车床编程基础	116
7.1.2 数控车床常用各种指令	117
7.1.3 数控车床编程实例	134
7.2 数控铣床编程	138
7.2.1 数控铣床编程基础	138
7.2.2 刀具补偿	139
7.2.3 数控铣床常用编程指令与编程 实例	141
7.3 加工中心编程	146
7.3.1 加工中心编程基础	146
7.3.2 基本编程与刀具补偿	149
7.3.3 加工中心常用编程功能与编程 实例	154
复习思考题	160
参考文献	163

第 1 章 数控加工概述

社会生产的各行各业,包括交通、冶炼、石油、化工、能源、航空航天、电子、仪表、信息、军事、医疗等,都离不开各种各样的机械装备,并且其生产能力、劳动效率、经济效益等还极大地依赖于这些装备的品种、数量与性能。随着社会生产和科学技术的不断发展,机械产品日趋精密复杂,而社会对机械产品的质量和生产率等提出了越来越高的要求。尤其在航空航天、军事、造船等领域所需求的零件,精度要求高、形状复杂,用普通机床加工困难、生产成本低且效率低,质量难以保证。此时,机械加工设备和机械加工工艺过程的自动化、柔性化与智能化则为解决上述问题提供了有效的途径。正是在这种情况下,一种具有高精度、高效率、灵活、通用性强的“柔性”自动化加工设备——数字程序控制机床(简称数控机床)应运而生。它是机械加工工艺过程自动化与智能化的基础。

美国麻省理工学院于 1952 年成功地研制出世界上第一台数控机床。1955 年用于制造航空零件的数控机床正式问世。此后其它一些工业国家,如德国、日本、英国、俄罗斯等相继开始开发、研制和应用数控机床。我国数控机床的研制是从 1958 年起步的,现在我国众多的机床厂家都能生产各类数控机床。数控机床在制造业中的应用也越来越广泛。

数字控制(Numerical Control,简称 NC)技术是 20 世纪中期发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信号进行控制的一种方法。

数控机床(Numerical Control Machine Tool)是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的机床,或者说是装备了数控系统的机床。它是一种技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备,是数控技术与机床相结合的产物。

早期的数控机床控制系统采用各种逻辑元件、记忆元件构成随机逻辑电路,属于固定接线的硬件结构,由硬件来实现数控功能,称为硬件数控,一般地用这种技术实现的数控机床称为 NC 机床。现代数控系统是采用微处理器中的系统程序(软件)来实现控制逻辑,实现部分或全部数控功能,并通过接口与外围设备联接,成为计算机数控(Computer Numerical Control)系统,简称 CNC 系统。具有 CNC 系统的机床称为 CNC 机床。如今人们提及数控机床一般是指 CNC 机床。有些数控机床具有刀库、自动换刀装置、自动交换工作台或回转工作台,能在一次装夹中对工件的多个表面进行多工序加工,如进行钻孔、铰孔、镗孔、攻螺纹、平面铣削、轮廓铣削等加工,这种新一代的数控机床称为加工中心(Machining Center),它代表着当今数控机床发展的主流。

数控加工工艺是伴随着数控机床的产生、发展而逐步完善的一种应用技术。

随着我国数控机床用户的不断增加,应用领域的不断扩大,努力提高数控加工技术水平,已成为推动我国数控技术在制造业中应用与发展的重要环节。数控加工技术水平的提高,除与数控机床的性能和功能紧密相关外,数控加工工艺与数控程序也起着相当重要的作用。在数控加工过程中,如果数控机床是硬件的话,数控工艺和数控程序则相当于软件,两者缺一不可。

1.1 数控加工工艺及其特点

1.1.1 数控加工工艺的主要内容

所谓数控加工工艺,就是用数控机床加工零件的一种方法。数控加工与普通机床加工在方法和内容上很相似,但加工过程的控制方式却大相径庭。以机械加工中小批零件为例,在通用机床上加工,就某工序而言,其工步的安排、机床运动的先后次序、进给路线及相关切削参数的选择等,虽然也有工艺文件说明,但操作上往往是由操作者自行考虑和确定的,而且是用手工方式进行控制的。在数控机床上加工时,将记录在控制介质上、描述加工过程所需的全部工艺信息,即原先在通用机床上加工时需要操作者考虑和决定的内容及动作的数码信息输入数控机床的数控装置,对输入信息进行运算和控制,并不断向伺服机构——使机床实现加工运动的机电功能转换部件发送脉冲信号,伺服机构对脉冲信号进行转换与放大处理,然后由传动机构驱动机床按所编程序进行运动,便可加工出我们所需要的零件。可见,实现数控加工,编程是关键。但必须有编程前的数控工艺做必要准备工作和编程后的善后处理工作。严格说来,数控编程也属于数控工艺的范畴。因此,数控加工工艺主要包括以下几方面的内容:

- 1) 选择并确定需要进行数控加工的零件及内容。
- 2) 进行数控加工工艺设计。
- 3) 对零件图形进行必要的数学处理。
- 4) 编写加工程序(自动编程时为源程序,由计算机自动生成目标程序——加工程序)。
- 5) 按程序单制作控制介质。
- 6) 对程序进行校验与修改。
- 7) 首件试加工与现场问题处理。
- 8) 数控加工工艺技术文件的编写与归档。

1.1.2 数控加工的特点

数控加工与通用机床加工相比,在许多方面遵循基本一致的原则,在使用方法上也有很多相似之处。但由于数控机床本身自动化程度较高,设备费用较高,设备功能较强,使数控加工相应形成了如下几个特点:

1. 数控加工的工艺内容十分明确而且具体 进行数控加工时,数控机床是接受数控系统的指令,完成各种运动实现加工的。因此,在编制加工程序之前,需要对影响加工过程的各种工艺因素,如切削用量、进给路线、刀具的几何形状,甚至工步的划分与安排等——作出定量描述,对每一个问题都要给出确切的答案和选择,而不能像用通用机床加工时,在大多数情况下对许多具体的工艺问题,由操作工人依据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定。也就是说,本来由操作工人在加工中灵活掌握并可通过适时调整来处理的许多工艺问题,在数控加工时就转变为编程人员必须事先具体设计和明确安排的内容。

2. 数控加工的工艺工作相当准确而且严密 数控加工不能像通用机床加工时可以根据加工过程中出现的问题由操作者自由地进行调整。比如加工内螺纹时,在普通机床上操作者可以随时根据孔中是否挤满了切屑而决定是否需要退一下刀或先清理一下切屑再干,而数控机床则不得而知。所以在数控加工的工艺设计中必须注意加工过程中的每一个细节,做到万无一失。尤其是在对图形进行数学处理、计算和编程时,一定要准确无误。在实际工作中,由

于一个字符、一个小数点或一个逗号的差错都有可能酿成重大机床事故和质量事故。因为数控机床比同类的普通机床价格高得多,其加工的也往往是一些形状比较复杂、价值也较高的工件,万一损坏机床或工件报废都会造成较大损失。

根据大量加工实例分析,数控工艺考虑不周和计算与编程时粗心大意是造成数控加工失误的主要原因。因此,要求编程人员除必须具备较扎实的工艺基本知识和较丰富的实际工作经验外,还必须具有耐心和严谨的工作作风。

3. 数控加工的工序相对集中 一般来说,在普通机床上加工是根据机床的种类进行单工序加工。而在数控机床上加工往往是在工件的一次装夹中完成工件的钻、扩、铰、铣、镗、攻螺纹等多工序的加工。这种“多序合一”现象也属于“工序集中”的范畴,极端情况下,在一台加工中心上可以完成工件的全部加工内容。

由于数控加工的特点和数控机床本身的性能与功能,使数控加工体现出如下优点:

1. 柔性加工程度高 在数控机床上加工工件,主要取决于加工程序。它与普通机床不同,不必制造、更换许多工具、夹具等,一般不需要很复杂的工艺装备,也不需要经常重新调整机床,就可以通过编程把形状复杂和精度要求较高的工件加工出来。因此能大大缩短产品研制周期,给产品的改型、改进和新产品研制开发提供了捷径。

2. 自动化程度高,改善了劳动条件 数控加工过程是按输入程序自动完成的,一般情况下,操作者主要是进行程序的输入和编辑、工件的装卸、刀具的准备、加工状态的监测等工作,而不需要进行繁重的重复性的手工操作机床,体力劳动强度和紧张程度可大为减轻,相应地改善了劳动条件。

3. 加工精度较高 数控机床是高度综合的机电一体化产品,是由精密机械和自动化控制系统组成的。数控机床本身具有很高的定位精度,机床的传动系统与机床的结构具有很高的刚度和热稳定性。在设计传动结构时采取了减少误差的措施,并由数控进行补偿,所以数控机床有较高的加工精度。更重要的是数控加工精度不受工件形状及复杂程度的影响,这一点是普通机床无法与之相比的。

4. 加工质量稳定可靠 由于数控机床本身具有很高的重复定位精度,又是按所编程序自动完成加工的,消除了操作者的各种人为误差,所以提高了同批工件加工尺寸的一致性,使加工质量稳定,产品合格率高。一般来说,只要工艺设计和程序正确合理,并按操作规程精心操作,就可实现长期稳定生产。

5. 生产效率较高 由于数控机床具有良好的刚性,允许进行强力切削,主轴转速和进给量范围都较大,可以更合理地选择切削用量,而且空行程采用快速进给,从而节省了机动和空行程时间。数控机床加工时能在一次装夹中加工出很多待加工部件,既省去了通用机床加工时原有的不少辅助工序(如划线、检验等),也大大缩短了生产准备时间。由于数控加工一致性好,整批工件一般只进行首件检验即可,节省了测量和检测时间。因此其综合效率比通用机床加工会有明显提高。如果采用加工中心,实现自动换刀,工作台自动换位,一台机床上完成多序加工,缩短半成品周转时间,生产效率的提高更加明显。

6. 良好的经济效益 改变数控机床加工对象时,只需重新编写加工程序,不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要更新机床。节省了大量工艺装备费用,又因为加工精度高,质量稳定,减少了废品率,使生产成本下降,生产率又高,所以能够获得良好的经济效益。

7. 有利于生产管理的现代化 利用数控机床加工,可预先准确计算加工工时,所使用的工具、夹具、刀具可进行规范化、现代化管理。数控机床将数字信号和标准代码作为控制信息,易于实现加工信息的标准化管理。数控机床易于构成柔性制造系统(FMS),目前已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地相结合。数控机床及其加工技术是现代集成制造技术的基础。

虽然数控加工具有上述优点,但数控机床初期投资大,维修费用高,数控机床及数控加工技术对操作人员和管理人员的素质要求也较高。因此,应该合理地选择和使用数控机床,提高企业的经济效益和竞争力。

1.1.3 数控加工的适应性

数控机床是一种高度自动化的机床,有一般机床所不具备的许多优点,所以数控机床加工技术的应用范围在不断扩大,但数控机床这种高度机电一体化产品,技术含量高,成本高,使用与维修都有较高的要求。根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,一般可按适应程度将零件分为下列三类:

1. 最适应数控加工零件类

1) 形状复杂,加工精度要求高,用通用机床很难加工或虽然能加工但很难保证加工质量的零件。

2) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。

3) 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒形零件。

4) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铰、钻或攻螺纹等多工序的零件。

2. 较适应数控加工零件类

1) 在通用机床上加工时极易受人为因素干扰,零件价值又高,一旦失控便造成重大经济损失的零件。

2) 在通用机床上加工时必须制造复杂的专用工装的零件。

3) 需要多次更改设计后才能定型的零件。

4) 在通用机床上加工需要做长时间调整的零件。

5) 用通用机床加工时,生产率很低或体力劳动强度很大的零件。

3. 不适应数控加工零件类

1) 生产批量大的零件(当然不排除其中个别工序用数控机床加工)。

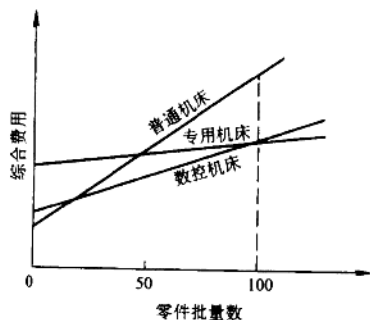


图 1-1 零件加工批量与综合费用的关系

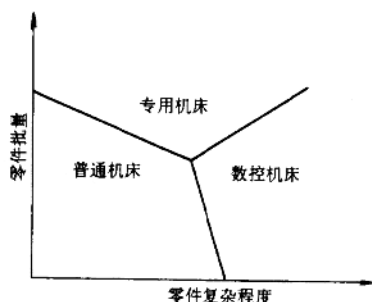


图 1-2 数控机床适用范围示意图

2) 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件。

3) 加工余量很不稳定的零件,且在数控机床上无在线检测系统用于自动调整零件坐标位置。

4) 必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

综上所述,建议:对于多品种小批量零件;结构较复杂,精度要求较高的零件;需要频繁改型的零件;价格昂贵,不允许报废的关键零件和需要最小生产周期的急需零件采用数控加工。

图 1-1 表示了普通机床与数控机床、专用机床的零件加工批量与综合费用的关系。

图 1-2 表示了零件复杂程度及批量大小与机床的选用关系。

1.2 数控机床

1.2.1 数控机床的组成

数控机床的种类很多,但任何一种数控机床都主要是由控制介质、数控系统、伺服系统、辅助控制装置及机床本体组成,如图 1-3 所示。

1. 控制介质 控制介质是指将零件加工信息传送到控制装置去的程序载体。控制介质有多种形式,它随着数控装置的类型不同而不同,常用的有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘等。近年来,穿孔纸带及穿孔卡已极少使用。此外,有的数控机床还采用数码拨盘或利用键盘直接将程序及数据输入。随着 CAD/CAM 技术的发展,有些 CNC 设备利用 CAD/CAM 软件先在其它计算机上编

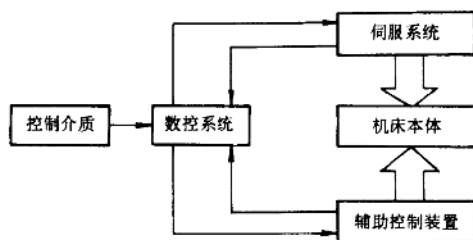


图 1-3 数控机床组成示意图

程,然后通过计算机与数控系统通信,将程序和数据直接传送给数控装置。

2. 数控系统 数控系统是数控机床的核心。现代数控系统通常是一台带有专门系统软件的专用微型计算机。它由输入装置、控制运算器和输出装置等构成。它接受控制介质上的数字化信息,经过控制软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令控制机床的各个部分,进行规定的、有序的动作。

不论国内外数控系统如何发展变化,用户最关心的就是其可靠性、功能和价格,而且要求性能价格比要优越。因此用户在选择数控系统特性时总要优先考虑以下几方面:

- 1) 分辨率。
- 2) 控制轴数及联动轴数。
- 3) 进给速率。
- 4) 各轴快速移动速度。
- 5) 标准(基本)功能项目。
- 6) 可选择的功能项目。

3. 伺服系统 伺服系统是数控机床的执行机构,是由驱动和执行两大部分组成。它接受数控装置的指令信息,并按指令信息的要求控制执行部件的进给速度、方向和位移。指令信息是以脉冲信息体现的,每一脉冲使机床移动部件产生的位移量叫脉冲当量(常用的脉冲当

量为 $0.001\text{mm} \sim 0.01\text{mm}$ 。

目前数控机床的伺服系统中，常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机，后两者均带有光电编码器等位置测量元件。

4. 辅助控制装置 辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的强电控制装置。它接受数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号，经必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件，以完成各种规定的动作。此外，有些开关信号经它送数控装置进行处理。

5. 机床本体 机床本体是数控机床的主体，是用于完成各种切削加工的机械部分，包括主运动部件、进给运动执行部件如工作台、滑板及其传动部件和床身立柱支承部件等。

1.2.2 数控机床的基本结构特征

由上述数控机床的组成可知，其与普通机床的最主要差别有两点：一是数控机床具有“指挥系统”——数控系统；二是数控机床具有执行运动的驱动系统——伺服系统。

其实，数控机床的本体也与普通机床大不相同，从外观上看，数控机床虽然也有普通机床都有的主轴、床身、立柱、工作台、刀架等机械部件，但在设计上已发生了重大变化，集中体现在：

1. 机床刚性大大提高，抗振性能大为改善 如采用加宽机床导轨面、改变立柱和床身内部布肋方式、动平衡等措施。

2. 机床热变形降低 一些重要部件采用强制冷却措施，如有的机床采取了切削液通过主轴外套筒的办法保证主轴处于良好的散热状态。

3. 机床传动结构简化，中间传动环节减少 如用一、二级齿轮传动或“无隙”齿轮传动代替多级齿轮传动，有些结构甚至取消齿轮传动。

4. 机床各运动副的摩擦因数较小 如用精密滚珠丝杠代替普通机床上常见的滑动丝杠，用塑料导轨或滚动导轨代替一般滑动导轨。

5. 机床功能部件增多 如用多刀架、复合刀具或多刀位装置代替单刀架，增加了自动换刀（换砂轮、换电极、换动力头等）装置，实现自动换刀工作台、自动上下料、自动检测等。

1.2.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，其分类方法尚无统一规定。一般可按如下几种方式分类。

1. 按控制系统的特点分类

(1) 点位控制 (Positioning Control) 数控机床 点位控制数控机床只控制移动刀具或部件从一点到另一点位置的精确定位，而不控制移动轨迹，在移动和定位过程中不进行任何加工。因此，为了尽可能减少移动刀具或部件的运动与定位时间，通常先以快速移动接近终点坐标，然后以低速准确移动到定位点，以保证定位精度。例如，数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机、数控折弯机等都是点位控制机床。图 1-4 为点位控制系统工作原理图。

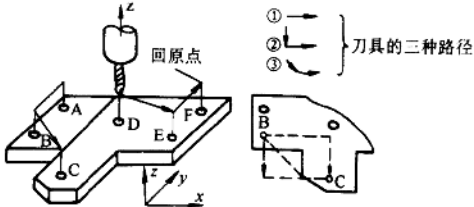


图 1-4 点位控制系统工作原理图

(2) 直线控制 (Straight-line Control) 数控机床 直线控制数控机床不仅能控制刀具或移动部件, 从一个位置到另一个位置的精确移动, 而且能以给定的速度, 实现平行于坐标轴方向的直线切削加工运动。也称点位直线控制机床。例如一些数控车床、数控磨床、数控镗铣床等都属于直线控制数控机床。图 1-5 为直线控制系统的加工原理图。

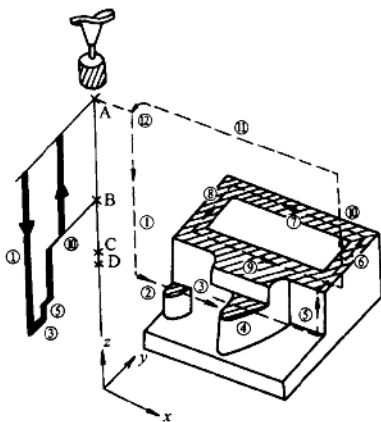


图 1-5 直线控制系统的加工原理图

(3) 轮廓控制 (Contour Control) 数控机床 轮廓控制数控机床是对两个或两个以上坐标轴同时进行控制。它不仅要控制机床移动部件的起点和终点坐标, 而且要控制加工过程中每一点的速度、方向和位移量, 即必须控制加工的轨迹, 加工出要求的轮廓。运动轨迹是任意斜率的直线、圆弧、螺旋线等。因此轮廓控制又称连续控制, 大多数数控机床具有轮廓控制功能。如数控车床、数控铣床、加工中心等。图 1-6 为轮廓控制系统工作示意图。

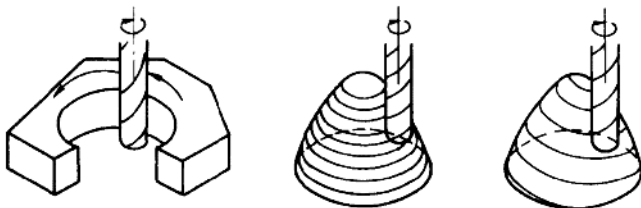


图 1-6 轮廓控制系统工作示意图

2. 按执行机构的控制方式分类

(1) 开环控制 (Open Loop Control) 数控机床 开环数控机床一般采用由功率步进电动机驱动的开环进给伺服系统, 即不带反馈装置的控制系統。其执行机构通常采用功率步进电动机或电液脉冲马达 (由步进电动机与液压扭矩放大器组成), 如图 1-7 所示。数控装置发出的脉冲指令通过环形分配器和驱动电路, 使步进电动机转过相应的步距角度, 再经过传动系统, 带动工作台或刀架移动。

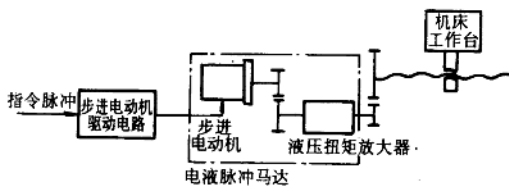


图 1-7 开环控制系统框图

(2) 闭环控制 (Closed Loop Control) 数控机床 闭环数控机床的进给伺服系统是按闭环原理工作的。图 1-8 所示为典型的闭环进给系统。将位置检测装置安装于机床运动部件上, 加工中将测量到的实际位置值反馈。数控装置将反馈信号与位移指令随时进行比较, 根据其差值与指令进给速度的要求, 按一定规律转换后, 得到进给伺服系统的速度指令。另外通过与伺服电动机刚性联接的测速元件, 随时实测驱动电动机的转速, 得到速度反馈信号, 将其与速度指令信号相比较, 以其比较的差值对伺服电动机的转速随时进行校正, 直至实现移动

部件工作台的最终精确定位。利用上述位置控制与速度控制两个回路,可获得比开环进给系统精度更高、速度更快等特性指标。

(3) 半闭环控制 (Semi-Closed Loop Control) 数控机床 半闭环数控机床,是将位置检测装置安装于驱动电动机轴端或安装于传动丝杠端部(如图 1-9 中虚线所示),间接地测量移动部件(工作台)的实际位置或位移,如图 1-9 所示。其精度高于开环系统,低于闭环系统。

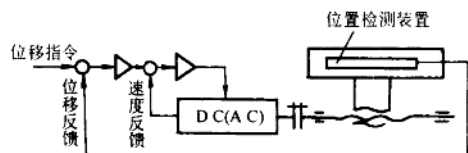


图 1-8 闭环控制系统框图

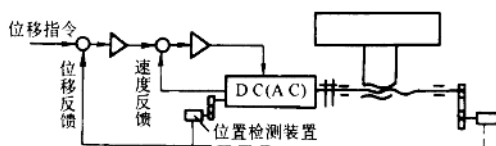


图 1-9 半闭环控制系统框图

3. 按数控机床的性能分类

(1) 低档数控机床 又称经济型数控机床。其特点是根据实际加工要求,合理地简化系统以降低机床价格。在我国,将由单片机或单板机与步进电动机构成的数控系统以及一些功能简单、价格低的系统称为经济型数控系统。主要用于车床、线切割机床以及旧机床的数控改造等。

低档数控机床的主 CPU 一般为 8 位或 16 位,用数码管或简单 CRT 显示。采用开环步进电动机驱动,脉冲当量 $0.01\text{mm} \sim 0.005\text{mm}$,快进速度 $4\text{m/min} \sim 10\text{m/min}$ 。

(2) 中档数控机床 其主 CPU 一般为 16 位或 32 位,具备较齐全的 CRT 显示,可以显示字符和图形,进行人机对话,自诊断等。伺服系统为半闭环直流或交流伺服系统,脉冲当量 $0.005\text{mm} \sim 0.001\text{mm}$,快进速度 $15\text{m/min} \sim 24\text{m/min}$ 。

(3) 高档数控机床 其主 CPU 一般为 32 位或 64 位,CRT 显示除具备中档的功能外,还具有三维图形显示等。伺服系统为闭环的直流或交流伺服系统,脉冲当量 $0.001\text{mm} \sim 0.0001\text{mm}$,快进速度 $15\text{m/min} \sim 100\text{m/min}$ 。

上述三种分类方法实际上主要是按数控机床所配备的数控系统的功能水平进行横向分类的。若从用户使用角度考虑,按机床加工特性或能完成的主要加工工序即按机床的工艺用途来分类可能更为合适。

4. 按数控机床的工艺用途分类 数控机床是在传统的普通机床的基础上发展起来的,各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床,按其工艺用途可分为:1) 数控车床;2) 数控铣床;3) 数控镗床;4) 加工中心;5) 数控磨床;6) 数控钻床;7) 数控拉床;8) 数控刨床;9) 数控齿轮加工机床;10) 数控线切割机床;11) 数控电火花成形机床;12) 数控板材成型加工机床;13) 数控管料成形加工机床;14) 数控激光加工机床;15) 数控超声波加工机床;16) 其它数控机床。

1.2.4 常见数控机床简介

1. 数控车床 图 1-10 所示为一台数控车

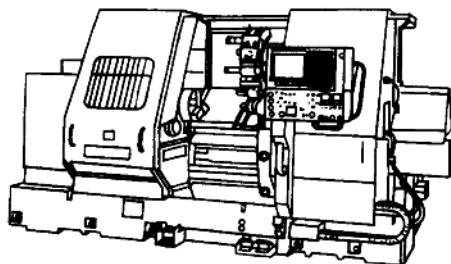


图 1-10 数控车床

床的外观图。数控车床一般具有两轴联动功能,Z轴是与主轴方向平行的运动轴,X轴是在水平面内与主轴方向垂直的运动轴。在车铣加工中心上还多了一个C轴,用于实现工件的分度功能,在刀架中可安放铣刀,对工件进行铣削加工。

2. 数控铣床 世界上第一台数控机床就是数控铣床,它适于加工三维复杂曲面,在汽车、航空航天、模具等行业被广泛采用。图 1-11 为数控铣床,随着时代的发展,数控铣床趋于加工中心。

可是,目前由于有较低的价格、方便灵活的操作性能、较短的准备工作时间等原因,数控铣床仍被广泛应用,它可分为数控立式铣床、数控卧式铣床、数控仿形铣床等。

3. 加工中心 加工中心是数控机床发展到一定阶段的产物。一般认为带有自动刀具交换装置(ATC)的数控机床即是加工中心。实际上,数控加工中心是“具有自动刀具交换装置,并能进行多种工序加工的数控机床”。在其上可在工件一次装夹中进行铣、镗、钻、扩、铰、攻螺纹等多工序的加工。一般提到的加工中心常常是指能完成上述工序内容的镗铣加工中心,它又可分为立式加工中心和卧式加工中心,立式加工中心的主轴是垂直的,卧式加工中心的主轴是水平方向的,如图 1-12 所示。

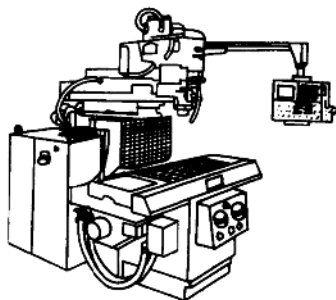
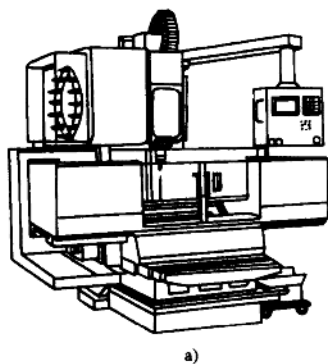
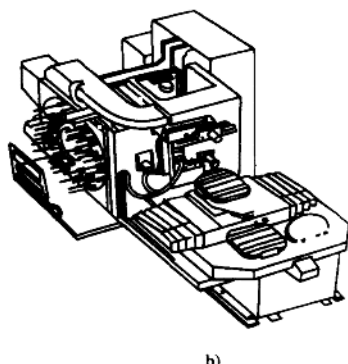


图 1-11 数控铣床



a)



b)

图 1-12 加工中心

a) 立式加工中心 b) 卧式加工中心

在加工中心上,一个工件可以通过夹具安放在回转工作台或交换托盘上,通过工作台的旋转可以加工多面体,通过托盘的交换可更换加工的工件,提高了加工效率。

4. 数控磨床 数控磨床主要用于加工高硬度、高精度表面。可分为数控平面磨床(见图 1-13)、数控内圆磨床、数控轮廓磨床等。随着自动砂轮补偿技术、自动砂轮修整技术和磨削固定循环技术的发展,数控磨床的功能越来越强。

5. 数控钻床 如图 1-14 所示,是数控钻床的例子。它主要完成钻孔、攻螺纹功能,同时也可以完成简单的铣削功能,刀库可存放多种刀具。数控钻床可分为数控立式钻床和数控卧式钻床。

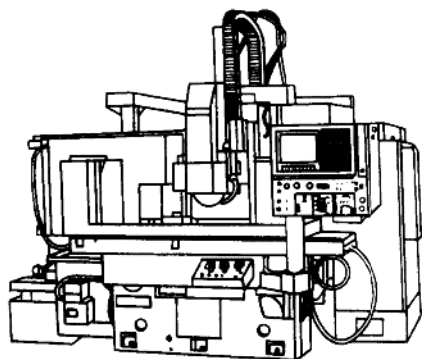


图 1-13 数控平面磨床

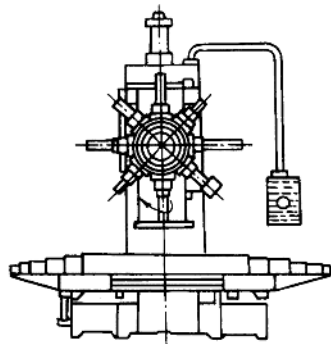


图 1-14 数控钻床

6. 数控电火花成形机床 图 1-15 所示为数控电火花成形机床, 属于一种特种加工机床。其工作原理是利用两个不同极性的电极在绝缘液体中产生放电现象, 去除材料进而完成加工。非常适用于形状复杂的模具及难加工材料的加工。

7. 数控线切割机床 数控线切割机床如图 1-16 所示, 其工作原理与电火花成形机床一样, 其电极是电极丝, 加工液一般采用去离子水。

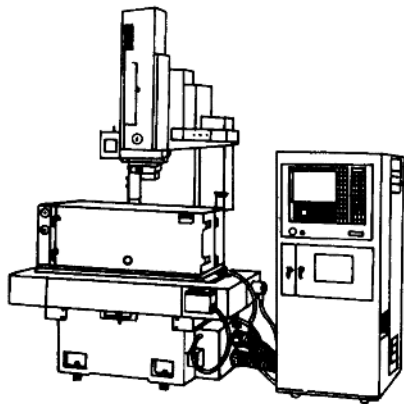


图 1-15 数控电火花成形机床

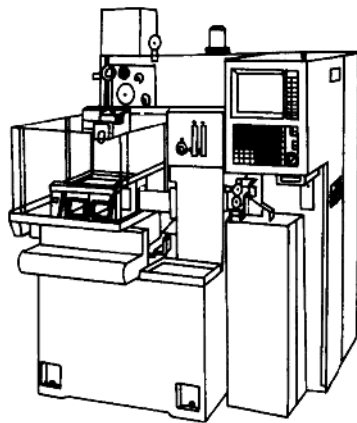


图 1-16 数控线切割机床

1.2.5 数控机床的主要辅助装置

数控机床辅助装置的作用是配合机床完成对零件的辅助加工。它通常也是一个完整的机器或装置, 如切削液或油液处理系统中的冷却过滤装置, 油液分离装置, 吸尘吸雾装置, 润滑装置及辅助主机实现传动和控制的气、液动装置等, 虽然在某些自动化或非数控精密机床上已配备使用了这些装置, 但是数控机床要求配备的装置的质量、性能更为优化。例如从油质、水质、配方及元器件的挑选开始, 一直到过滤、降温、动作等各个环节均从严要求。

除上述通用辅助装置外, 从目前数控机床技术现状看, 还有以下经常配备的几类辅助装置: 1) 对刀仪; 2) 自动编程机; 3) 自动排屑器; 4) 物料储运及上下料装置; 5) 交流稳压

电源（在电网电压波动很大的情况下这是必须考虑的）。随着数控机床技术的不断发展，其辅助装置也会逐步变化扩展。

1.3 数控加工技术的发展

1. 高速化 数控系统采用高速的 32 位以上的微处理器，使其输入、译码、计算、输出等环节都在高速下完成，并可提高数控系统的分辨率及实现连续小程序段的高速加工。

目前采用 64 位微处理器的新型数控系统，更增强了插补运算功能、快速进给功能，可进行更高速的加工，并实现了多轴控制功能，一般控制轴数为 3~15 轴，最多 24 轴，同时控制轴数可达 3~6 轴。

2. 高精度化 以加工中心为例，其主要精度指标——直线坐标的定位精度和重复定位精度都有了明显的提高：定位精度由 $\pm 5\mu\text{m}/\text{m}$ 提高到 $\pm (0.15\sim 3)\mu\text{m}/\text{m}$ ，重复定位精度由 $\pm 2\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 1\mu\text{m}$ 。为了提高加工精度，对数控机床本身除了在结构总体设计、主轴箱、进给系统中采用低热胀系数材料、通入恒温油等措施外，还在控制方面采取了一系列措施。

3. 多功能 新型数控机床具有多种监控、检测及补偿功能，具有更强的通信功能、图像编程和显示功能，比如刀具磨损的检测、系统的精度及热变形的检测等，还具有刀具寿命管理、刀具长度偏置、刀具半径补偿、刀尖补偿、螺距补偿等功能。更先进的数控机床有自动编程能力，通过键盘和图像显示可进行人机对话，可根据图样自动编程并通过远距离串行接口输入给机床，使之实现自动加工。

4. 智能化 在现代数控系统中，引进了自适应控制这种智能化技术。自适应控制（Adaptive Control 简称 AC）技术是能调节在加工过程中所测得的工作状态特征，且能使切削加工过程达到并维持最佳状态的技术。在工艺系统中，大约有 30 余种变量直接或间接影响加工效果，如工件毛坯余量不均、材料硬度不一致、刀具磨损、工件变形、机床热变形、切削液的粘度、刀具与工件材料化学亲和力的大小等因素。这些变量一般事先难以预知，编制加工程序时常依据经验数据。实际加工中，很难选择最佳参数进行切削。而自适应控制技术则能根据切削条件的实时变化，自动调整并保持最佳工作状态，从而得到高的加工精度、较小的表面粗糙度值，并提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。

现代数控系统智能化的发展，主要体现在：1) 工件自动定心、自动检测；2) 刀具破损检测及自动更换备用刀具；3) 刀具寿命及刀具保存情况管理；4) 负载监控；5) 数据管理；6) 维修管理；7) 利用前馈控制实时补偿矢量的功能；8) 根据加工时的热变形，对滚珠丝杠等的伸缩进行实时补偿功能等。

5. 高可靠性 为了提高数控系统和数控机床的可靠性，人们采取了以下一些措施：

(1) 提高数控系统的硬件质量 选用高质量的集成电路芯片、印制电路板和其它元器件，建立并实施从元器件筛选、稳定产品的制造和装配工艺到性能测试等一系列完整的质量保证体系。

(2) 实现模块化、标准化和通用化 性能越来越完善，功能愈来愈丰富的现代数控系统有利地促进了其硬件、软件实现“三化”：模块化、标准化和通用化，包括数控机床的主轴部件、变速箱立柱、工作台、刀架、刀库等都可模块化生产。“三化”的实现，不仅便于组织开发、生产和应用，而且也提高了机床的质量和运行的可靠性，并便于用户的维修和保养。

(3) 配备先进的检测、监控装置 红外线、声发射、温度测量、功率测量、激光检测等