



高等院校网络教育系列教材

数控机床加工工艺 与操作技术

肖民 何云◎主编



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

高等院校网络教育系列教材

数控机床加工工艺与操作技术

肖 民 何 云 主编



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

数控机床加工工艺与操作技术/肖民,何云主编. —上海:
华东理工大学出版社,2012.3

高等院校网络教育系列教材

ISBN 978-7-5628-3198-3

I. ①数… II. ①肖… ②何… III. ①数控机床-加工-高等教育:网络教育-教材②数控机床-操作-高等教育:网络教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 008256 号

内容提要

数控机床是装备制造业和国防工业装备现代化的重要战略装备,是关系到国家战略地位、体现国家综合国力水平的重要标志。数控机床在机械制造业中得到日益广泛的应用,是因为它有效地解决了复杂、精密、小批、多变的零件加工问题,能满足高质量、高效益和多品种、小批量的柔性生产方式的要求,适应各种机械产品迅速更新换代的需要。数控机床已成为大、中型机械制造企业的主要技术装备。为了使广大操作者和相关技术人员掌握数控机床的加工工艺、编程与操作技能,特编写本书。

本书共 7 章,主要内容包括数控机床概论,数控机床刀具以及数控刀具材料,数控机床工件的定位与装夹,数控车、铣的加工工艺与程序编制,数控线切割的加工工艺与程序编制。

高等院校网络教育系列教材

数控机床加工工艺与操作技术

主 编 / 肖 民 何 云

责任编辑 / 徐知今

责任校对 / 金慧娟

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

传 真:(021)64252707

网 址:press.ecust.edu.cn

印 刷 / 常熟市华顺印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 14.25

字 数 / 362 千字

版 次 / 2012 年 3 月第 1 版

印 次 / 2012 年 3 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-3198-3/TH·86

定 价 / 36.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

序

网络教育是依托现代信息技术进行教育资源传播、组织教学的一种崭新形式,它突破了传统教育传递媒介上的局限性,实现了时空有限分离条件下的教与学,拓展了教育活动发生的时空范围。从1998年9月教育部正式批准清华大学等4所高校为国家现代远程教育第一批试点学校以来,我国网络教育历经了若干年发展期,目前全国已有68所普通高等学校和中央广播电视大学开展现代远程教育。网络教育的实施大大加快了我国高等教育的大众化进程,使之成为高等教育的一个重要组成部分;随着它的不断发展,也必将对我国终身教育体系的形成和学习型社会的构建起到极其重要的作用。

华东理工大学是国家“211工程”重点建设高校,是教育部批准成立的现代远程教育试点院校之一。华东理工大学网络教育学院凭借其优质的教育教学资源、良好的师资条件和社会声望,自创建以来得到了迅速的发展。但网络教育作为一种不同于传统教育的新型教育组织形式,如何有效地实现教育资源的传递,进一步提高教育教学效果,认真探索其内在的规律,是摆在我们面前的一个新的、亟待解决的课题。为此,我们与华东理工大学出版社合作,组织了一批多年来从事网络教育课程教学的教师,结合网络教育学习方式,陆续编撰出版一批包括图书、课程光盘等在内的远程教育系列教材,以期逐步建立以学科为先导的、适合网络教育学生使用的教材结构体系。

掌握学科领域的基本知识和技能,把握学科的基本知识结构,培养学生在实践中独立地发现问题和解决问题的能力是我们组织教材编写的一个主要目的。系列教材包括了计算机应用基础、大学英语等全国统考科目,也涉及了管理、法学、国际贸易、机械、化工等多学科领域。

根据网络教育学习方式的特点编写教材,既是网络教育得以持续健康发展的基础,也是一次全新的尝试。本套教材的编写凝聚了华东理工大学众多在学科研究和网络教育领域中有丰富实践经验的教师、教学策划人员的心血,希望它的出版能对广大网络教育学习者进一步提高学习效率予以帮助和启迪。

华东理工大学副校长

涂善东

前 言

数控机床是装备制造业和国防工业装备现代化的重要战略装备,是关系到国家战略地位、体现国家综合国力水平的重要标志。数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物,是技术密集度及自动化程度很高的典型机电一体化加工设备。数控机床与普通机床相比,不仅自动化程度和零件加工精度高,且可完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂曲面的零件加工。数控机床有效地解决了复杂、精密、小批、多变的零件加工问题,能满足高质量、高效益和多品种、小批量的柔性生产方式的要求,适应各种机械产品迅速更新换代的需要。数控机床已成为大、中型机械制造企业的主要技术装备。为达到数控机床以上所述的长处,还要求操作者在生产中能恰当、准确地使用该类加工装备,以保证数控机床的特性得以充分的施展。因此,亟需培养一大批熟悉并掌握数控加工工艺、编程、操作和维护的应用型高级技术人才。

本书主要内容共7章,包括数控机床概论,数控机床刀具以及数控刀具材料,数控机床工件的定位与装夹,数控车、铣的加工工艺与程序编制,数控线切割的加工工艺与程序编制。全书简要介绍了数控机床的产生和发展过程,并描述了数控机床的组成、工作过程以及分类和特点。通过介绍典型的数控车床、数控铣床、加工中心和数控电火花加工机床的加工实例,以数控加工工艺与数控编程为主线,将切削加工基本理论知识,常用的加工方法、刀具和夹具等内容有机地结合为一体。本书内容力求精炼实用,并配有较多加工实例的图片和说明,通俗易懂,有利于初学者能够尽快地掌握数控机床技术。

由于时间仓促和编者水平有限,书中疏漏和谬误在所难免,恳请读者不吝指教,以便进一步修改。

编 者

2011年12月

目 录

1 数控机床概述	(1)
1.1 数控机床的产生、特点及应用范围	(1)
1.1.1 数控机床的产生	(1)
1.1.2 数控机床加工特点	(1)
1.1.3 适合数控机床加工的零件	(2)
1.2 数控机床的组成及主要类型	(2)
1.2.1 数控机床的组成	(2)
1.2.2 数控机床的分类	(4)
1.2.3 数控机床的发展趋势	(9)
思考题 1	(10)
2 数控机床刀具	(11)
2.1 数控刀具的种类及特点	(11)
2.1.1 数控刀具的种类	(11)
2.1.2 数控刀具的特点	(13)
2.2 数控刀具材料	(13)
2.2.1 数控刀具材料的基本性能	(13)
2.2.2 常用数控刀具材料及选用	(14)
2.3 数控可转位刀片及其代码	(21)
2.3.1 可转位刀具的优点	(21)
2.3.2 可转位刀片的代码及其标记方法	(21)
2.3.3 机夹式可转位刀具结构	(22)
2.3.4 可转位刀片的选择	(22)
2.4 数控机床自动换刀装置与工具系统	(23)
2.4.1 自动换刀装置的形式	(23)
2.4.2 数控工具系统	(26)
思考题 2	(31)
3 数控机床工件的定位与装夹	(32)
3.1 机床夹具概述	(32)
3.1.1 夹具的基本概念	(32)

3.1.2	工件的安装	(33)
3.1.3	基准及其分类	(34)
3.2	工件定位的基本原理	(35)
3.2.1	六点定位原理	(35)
3.2.2	六点定位原理的应用	(36)
3.2.3	定位方法及定位元件	(38)
3.3	工件的夹紧	(42)
3.3.1	夹紧装置的组成及基本要求	(42)
3.3.2	夹紧力三要素确定	(43)
3.4	数控机床常用夹具	(45)
3.4.1	数控加工夹具简介	(45)
3.4.2	组合夹具	(46)
	思考题 3	(50)
4	数控机床的工艺规程设计	(51)
4.1	数控加工工艺的基本概念	(51)
4.1.1	数控加工工艺基本特点与加工工艺过程	(51)
4.1.2	数控加工工艺内容和加工步骤	(55)
4.2	机械加工工艺规程设计	(56)
4.2.1	零件图工艺性分析	(56)
4.2.2	定位基准的选择	(61)
4.2.3	加工工艺路线的制订	(64)
4.3	数控机床的程序编制	(69)
4.3.1	程序编制的基本知识	(69)
4.3.2	程序编制的内容和步骤	(69)
4.3.3	程序编制的方法	(70)
4.3.4	数控机床坐标系	(71)
4.4	数控加工程序的结构和指令	(74)
4.4.1	程序的结构与格式	(75)
4.4.2	常用编程指令的应用	(77)
4.5	数控加工工艺设计	(80)
4.5.1	数控加工工艺设计的主要内容	(80)
4.5.2	数控加工工艺文件编制	(86)
	思考题 4	(87)

5 数控车削的加工工艺和编程	(89)
5.1 数控车削加工工艺概述	(89)
5.1.1 数控车床的类型	(89)
5.1.2 数控车削的特点及加工对象	(91)
5.2 数控车削加工工件的装夹及对刀	(94)
5.2.1 工件的装夹与夹具选择	(94)
5.2.2 数控车削的对刀	(96)
5.3 数控车削加工工艺的制订	(99)
5.3.1 数控车削加工工艺包括的内容	(99)
5.3.2 零件图的工艺分析	(100)
5.3.3 工序和装夹方法的确定	(100)
5.3.4 加工顺序和进给路线的确定	(101)
5.3.5 加工工序的设计	(105)
5.3.6 切削用量的选择	(112)
5.4 数控车床程序编制的基本方法	(115)
5.4.1 数控车床的编程特点	(115)
5.4.2 数控车床的程序功能	(116)
5.4.3 数控车床尺寸系统的编程	(118)
5.4.4 数控车床的基本指令编程	(118)
5.4.5 数控车床的循环指令编程	(124)
5.5 数控车床加工工艺及编程实例	(129)
思考题 5	(136)
6 数控铣与加工中心的加工工艺和编程	(138)
6.1 数控铣与加工中心的加工工艺概述	(138)
6.1.1 数控铣与加工中心简介	(138)
6.1.2 数控铣与加工中心的主要加工对象	(141)
6.1.3 数控铣与加工中心的工艺性分析	(144)
6.1.4 加工方法的选择及加工方案的确定	(145)
6.2 数控铣与加工中心的加工工艺制订	(146)
6.2.1 加工工序的设计	(147)
6.2.2 加工顺序和进给路线的确定	(148)
6.2.3 数控铣削刀具	(152)
6.2.4 切削用量的选择	(163)

6.3 数控铣与加工中心的编程基础	(165)
6.3.1 编程的基本概念	(165)
6.3.2 数控铣床的坐标系统	(167)
6.3.3 FANUC 系统常用基本指令	(171)
6.4 数控铣与加工中心的编程实例	(180)
思考题 6	(185)
7 数控线切割加工工艺与编程	(187)
7.1 数控线切割加工概述	(187)
7.1.1 数控线切割加工原理	(187)
7.1.2 数控线切割加工特点	(188)
7.1.3 数控线切割加工的应用	(188)
7.2 数控电火花线切割工艺与工装基础	(189)
7.2.1 线切割加工的主要工艺指标	(189)
7.2.2 影响线切割工艺指标的若干因素	(189)
7.2.3 电火花线切割典型夹具、附件及工件装夹	(193)
7.3 数控线切割加工工艺的制订	(195)
7.3.1 数控线切割的工艺基础	(195)
7.3.2 数控线切割加工工艺分析	(201)
7.4 线切割机床的程序编制	(204)
7.4.1 3B 格式程序编制	(204)
7.4.2 4B 格式程序编制	(209)
7.4.3 ISO 格式程序编制	(210)
7.5 综合编程实例	(213)
思考题 7	(217)
参考文献	(218)

1.1 数控机床的产生、特点及应用范围

1.1.1 数控机床的产生

传统的工业自动化设备主要是自动机床、组合机床和专用自动生产线,这些“刚性”的自动化设备,非常适合在大批量生产中使用。但是,机械制造工业中并不是所有的产品零件都具有很大的批量,单件和小批量(10~100)的零件往往占机械加工零件总量的一半以上。尤其在市场竞争与科技进步日新月异的形势下,批量小、改型快、结构复杂的产品所占的比重越来越大。数控机床正是在这种背景下诞生与发展起来的。

数字控制机床是用数字代码形式的信息(程序指令),控制刀具按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工的机床,简称数控机床。数控机床具有广泛的适应性,加工对象改变时只需要改变输入的程序指令;加工性能比一般自动机床高,可以精确加工复杂型面,因而适合于加工中小批量、改型频繁、精度要求高、形状又较复杂的工件,并能获得良好的经济效果。

1948年,美国帕森斯公司接受美国空军委托,研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样,精度要求高,一般加工设备难以适应,于是提出计算机控制机床的设想。1949年,该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下,开始数控机床研究,并于1952年试制成功第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控铣床,取名叫做“Numerical Control”,不久即开始正式生产。从此以后,众多厂家都开始了数控机床的研制开发工作。随着数控技术的发展,开发出的数控系统机床品种日益增多,有车床、铣床、镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床和电火花加工机床等。此外还有能自动换刀、一次装卡进行多工序加工的加工中心、车削中心等。

早期的数控机床的NC装置由各种逻辑元件、记忆元件组成随机逻辑电路,是固定接线的硬件结构,由硬件来实现数控功能,称作硬件数控,由这种技术实现的数控机床一般称作NC机床。现代数控系统是采用微处理器或专用微机的数控系统,由事先存放在存储器里的系统程序(软件)来执行控制逻辑,实现部分或全部数控功能,并通过接口与外围设备进行连接,这样的机床一般称为CNC机床,现在CNC已经全面替代了NC。

1.1.2 数控机床加工特点

(1) 自动化程度高,可以减轻操作者的体力劳动强度。数控加工过程是按输入的程序自动完成的,操作者只需起始对刀、装卸工件、更换刀具,在加工过程中,操作者主要是观察和监督机床运行。但是,由于数控机床的技术含量高,操作者的脑力劳动成分也相应提高。

(2) 加工零件精度高、质量稳定。数控机床的定位精度和重复定位精度都很高,较容易保

证同一批零件尺寸的一致性,只要工艺设计和程序正确合理,加之精心操作,就可以保证零件获得较高的加工精度,也便于对加工过程实行质量控制。

(3) 生产效率高。数控机床加工能在一次装夹中加工多个加工表面,一般只检测首件,所以可以省去普通机床加工时的不少中间工序,如画线、尺寸检测等,减少了辅助时间,而且由于数控加工出的零件质量稳定,为后续工序带来方便,其综合效率明显提高。

(4) 便于新产品研制和改型。数控加工一般不需要很多复杂的工艺装备,通过编制加工程序就可把形状复杂和精度要求较高的零件加工出来,当产品改型、更改设计时,只要改变程序,而不需要重新设计工装。所以,数控加工能大大缩短产品研制周期,为新产品的研制开发、产品的改进、改型提供了捷径。

(5) 可向更高级的制造系统发展。数控机床及其加工技术是计算机辅助制造的基础。

(6) 初始投资较大。这是由于数控机床设备费用高,首次加工准备周期较长,维修成本高等因素造成的。

(7) 维修要求高。数控机床是技术密集型的机电一体化典型产品,需要维修人员既懂机械,又懂微电子维修方面的知识,同时还要配备较好的维修装备。

1.1.3 适合数控机床加工的零件

(1) 最适合多品种、中小批量零件。随着数控机床制造成本的逐步下降,现在不管是国内还是国外,加工大批量零件的情况也已经出现。加工很小批量和单件生产时,如能缩短程序的调试时间和工装的准备时间也是可以选用的。

(2) 精度要求高的零件。由于数控机床的刚性好、制造精度高、对刀精确,能方便地进行尺寸补偿,所以能加工尺寸精度要求高的零件。

(3) 表面粗糙度小的零件。在工件和刀具的材料、精加工余量及刀具角度一定的情况下,表面粗糙度取决于切削速度和进给速度。普通机床是恒定转速,所以加工件直径不同切削速度就不同;而数控车床具有恒线速切削功能,车端面、不同直径外圆时可以保持相同的线速度,保证表面粗糙度较小且一致。在加工表面粗糙度不同的表面时,粗糙度小的表面选用小的进给速度,粗糙度大的表面选用大一些的进给速度,可变性很好,这点在普通机床很难做到。

(4) 轮廓形状复杂的零件。任意平面曲线都可以用直线或圆弧来逼近,数控机床具有圆弧插补功能,可以加工各种复杂轮廓的零件。

1.2 数控机床的组成及主要类型

1.2.1 数控机床的组成

数控技术可以应用于各种加工机床,例如数控车床、数控铣床、加工中心、数控冲床、数控电火花、线切割、激光加工机床等。虽然数控机床的种类繁多,但它们的组成部分基本相同。主要由输入装置、数控装置、进给伺服驱动系统、检测反馈系统和机床本体(组成机床本体的各机械部件)组成,如图 1-1、图 1-2 所示。

1. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控

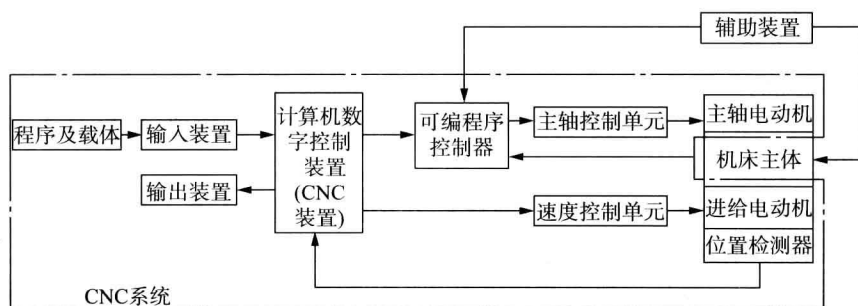


图 1-1 数控机床组成示意图

制存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控系统;数控加工程序还可由编程计算机用 RS-232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工(数控系统内存较小时),另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成,刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动,即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据,不能满足实际加工要求,因此要进行轨迹插补,也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,并向相应坐标输出脉冲信号,控制各坐标轴(即进给运动的各执行元件)的进给速度、进给方向和进给位移量等。

3. 进给伺服驱动系统

进给伺服驱动系统由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机组成。进给伺服驱动的作用是把来自数控装置的位置控制移动指令转变成机床工作部件的运动,使工作台按规定轨迹移动或精确定位,加工出符合图样要求的工件,即把数控装置送来的微弱指令信号,放大成能驱动伺服电动机的大功率信号。

常用的伺服电动机分为步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。根据接收指令的不同,伺服电动机驱动有脉冲式和模拟式,而模拟式伺服驱动方式按驱动电动机的电源种类,可分为直流伺服驱动和交流伺服驱动。步进电动机采用脉冲驱动方式,交、直流伺服电动

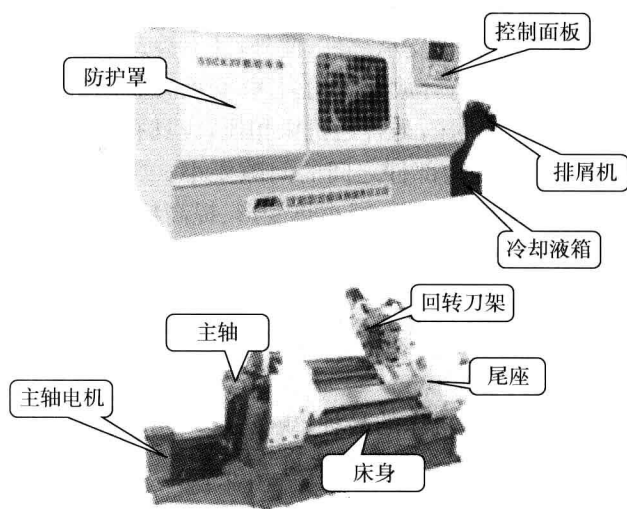


图 1-2 数控机床的构造

机采用模拟驱动方式。

4. 检测反馈系统

检测反馈系统的作用是通过测量装置将机床移动的实际位置、速度参数检测出来,转换成电信号,并反馈到 CNC 装置中,使 CNC 能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致,并发出相应指令,纠正所产生的误差。

测量装置安装在数控机床的工作台或丝杠上,按有无检测装置,CNC 系统可分为开环数控和闭环数控系统,而按测量装置安装的位置不同可分为闭环与半闭环数控系统。开环数控系统无测量装置,其控制精度取决于步进电机和丝杠的精度,闭环数控系统的精度取决于测量装置的精度。因此,检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。

5. 机床本体

数控机床的机械部件包括:主运动部件,进给运动执行部件,如工作台、拖板及其传动部件,床身、立柱等支承部件;此外,还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床,还有存放刀具的刀库,交换刀具的机械手等部件。数控机床是高精度和高生产率的自动化加工机床,与普通机床相比,应具有更好的抗震性和刚度,要求相对运动面的摩擦因数要小,进给传动部件之间的间隙要小。所以其设计要求比通用机床更严格,加工制造要求精密,并采用加强刚性、减小热变形、提高精度的设计措施。辅助控制装置包括刀库的转位换刀、液压泵、冷却泵等控制接口电路。

1.2.2 数控机床的分类

目前数控机床的品种、规格繁多,功能各异,通常可按下列几种方法进行分类。

1. 按加工方式和工艺用途分类

(1) 普通数控机床

普通数控机床一般指在加工工艺过程中的一个工序上实现数字控制的自动化机床,如数控铣床、数控车床、数控钻床、数控磨床与数控齿轮加工机床等。普通数控机床在自动化程度上还不够完善,刀具的更换与零件的装夹仍需人工来完成。

(2) 加工中心

加工中心是一种带有刀库和自动换刀装置的数控机床,它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合在一起,零件在一次装夹后,可以对其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰及攻螺纹等多工序加工。由于加工中心能有效地避免因多次安装造成的定位误差,所以它适用于产品更换频繁、零件形状复杂、精度要求高、生产批量不大而生产周期短的产品。

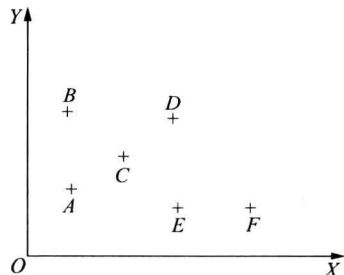


图 1-3 点位控制钻孔加工示意图

2. 按运动方式分类

根据数控机床刀具与工件相对运动轨迹的类型,可将数控机床划分为点位控制、直线控制和轮廓控制三种类型。

(1) 点位控制数控机床

如图 1-3 所示,点位控制是指数控系统只控制刀具或工作台从一点移至另一点的准确定位,然后进行定点加工,而点与点之间的路径不需控制。采用这类控制的有数控钻床、数控镗床和数控坐标镗床等。

(2) 点位直线控制数控机床

直线控制的数控机床是指控制机床工作台或刀具(刀架)以要求的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工(一般还包括 45° 的斜线)的机床。如数控车床、某些数控镗床和加工中心等,都具有直线控制功能。这一类数控机床不仅要求具有准确的定位功能,而且还要控制位移的速度。由于在移动过程中进行切削加工,所以对于不同的刀具和工件,需要选用不同的切削用量。一般情况下这些数控机床有两个至三个可控制的轴,但同时控制轴只有一个。为了能在刀具磨损或更换刀具后仍可加工出合格的零件,这类机床的数控系统常常要求它具有刀具半径和刀具长度补偿功能,以及主轴转速的控制功能等。如图 1-4 所示是直线控制切削加工示意图。

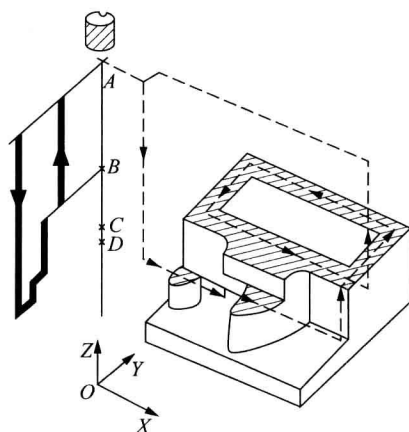


图 1-4 直线控制切削加工示意图

现代组合机床采用数控技术,驱动各种动力头、实现多轴箱轴向进给钻、镗、铣等加工,也算是一种直线控制数控机床。直线控制也称为单轴数控。

(3) 轮廓控制数控机床

可以加工斜线、曲线、曲面的数控机床。如数控车床、数控铣床、加工中心等,它们都具有同时控制两个或两个以上坐标进行联动(即进行插补)的数控机床。该类机床在加工过程中,每时每刻都对各坐标的位移和速度进行严格和不间断的控制,故称具有这种控制功能的机床为轮廓控制数控机床。图 1-5 所示是轮廓控制铣削加工示意图。

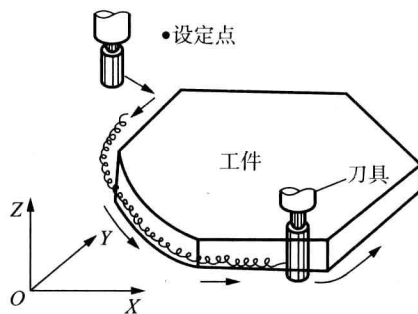


图 1-5 轮廓控制铣削加工示意图

轮廓控制整个加工过程中每一点的速度和位移是由轮廓控制中的插补功能来实现的。插补的任务就是对轮廓的起点到终点之间再密集地计算出有限个坐标点,刀具沿着这些坐标点移动,逼近轮廓。直线和圆弧是构成工件轮廓形状的基本结构要素。因此大多数数控装置都具有直线和圆弧的插补功能。

3. 按进给伺服系统控制方式分类

由数控装置发出脉冲或电压信号,通过伺服系统控制机床各运动部件运动。数控机床按进给伺服系统控制方式分类有三种形式:开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。

(1) 开环控制系统

这类数控机床没有位置检测反馈装置,数控装置发出的指令信号流程是单向的,其精度主要取决于驱动元器件和电动机(步进电动机)的性能。这种数控机床调试简单,系统也较容易稳定,精度较低,成本低廉,多见于经济型的中小型数控机床和旧设备的技术改造中。图 1-6 所示为开环控制系统框图。由图可见,指令信息单方向传送,并且指令发出后,不再反馈,故称开环控制。

(2) 闭环控制系统

如图 1-7 所示,闭环控制系统是在机床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置,将检测到的实际位移反馈到数控装置的比较器中,与输入的原指令位移值进行比较,用比较后的

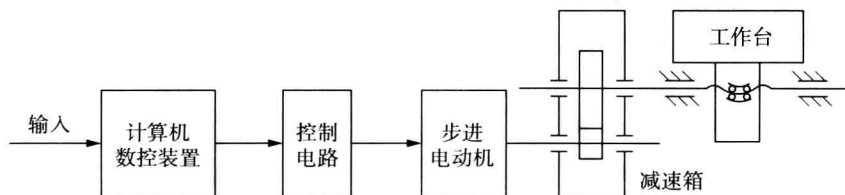


图 1-6 开环控制系统框图

差值控制移动部件作补充位移,直到差值消除时才停止移动,以此达到精确定位的控制系统。闭环控制系统的控制精度高,但要求机床的刚性好,对机床的加工、装配要求高,调试较复杂,而且设备的成本高,常用于高精度和大型数控机床。

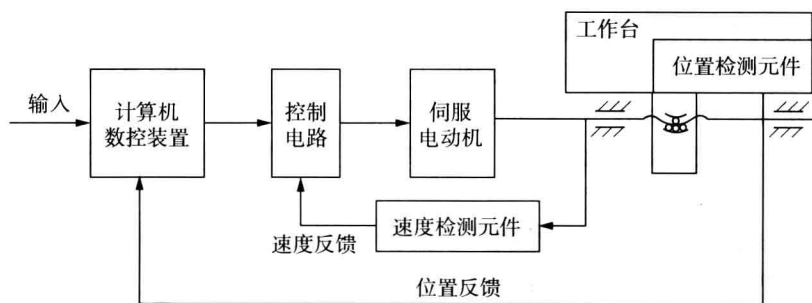


图 1-7 闭环控制系统框图

(3) 半闭环控制系统

如图 1-8 所示,半闭环控制系统是在开环控制系统的伺服机构中装有角位移检测装置,通过检测伺服机构的滚珠丝杠转角间接检测移动部件的位移,然后反馈到数控装置的比较器中,与输入原指令位移值进行比较,用比较后的差值进行控制,使移动部件补充位移,直到差值消除为止的控制系统。半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统,调试比闭环控制系统容易,设备的成本介于开环与闭环控制系统之间,为大多数中小型数控机床所采用。

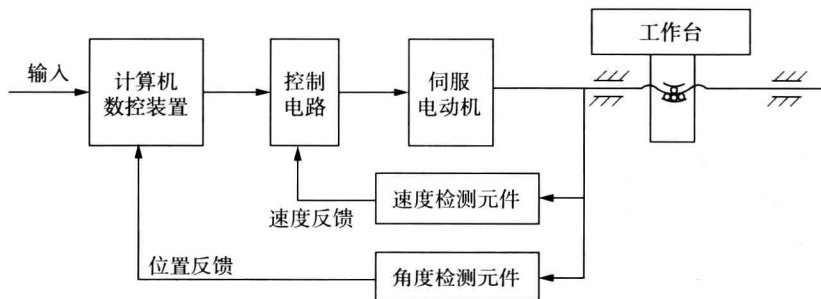


图 1-8 半闭环控制系统框图

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使用于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。混合控制系统又分为两种型式:

① 开环补偿型 其特点是基本控制选用步进电动机的开环伺服机构,另外附加一个校正电路。通过装在工作台上的直线位移量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

② 半闭环补偿型 其特点是用半闭环控制方式取得高速度控制,再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正,以获得高速度与高精度的统一。

4. 按联动轴数分类

数控系统控制几个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动,称为坐标联动,数控机床能同时控制两个坐标轴联动,适用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。按照联动轴数可以分为:

(1) 两轴联动数控机床

数控机床能同时控制两个坐标轴联动,适用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。如图 1-9 为两轴联动数控铣床铣削的平面轮廓。

(2) 两轴半联动数控机床

在三坐标数控铣床上加工圆锥台零件时,一般都是两坐标(X, Y)联动加工一圈,再沿另一坐标(Z)提升一个高度,如此继续下去,即可加工出一个锥台来,因为这里的 Z 坐标没有参加联动,故一般称这种情况为两轴半联动。属两轴半联动坐标控制的加工还有用“行切法”加工(见第 6 章),空间轮廓三坐标(X, Y, Z)轴中任意两轴作插补运动,第三轴作周期性进给实现加工控制。

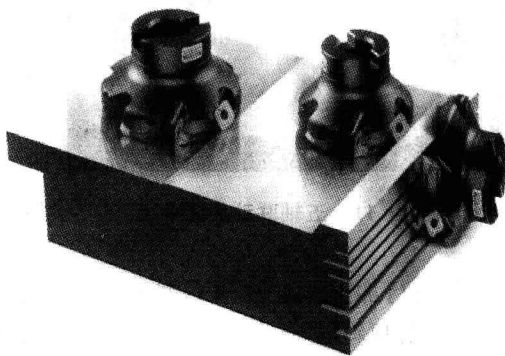


图 1-9 两轴联动铣削的平面轮廓

(3) 三轴联动数控机床

X, Y, Z 三轴可同时插补联动,称为三轴联动数控机床。当采用球头刀加工时,只要 ΔX (ΔY) 足够小时,加工表面的表面粗糙度足以满足要求;在三坐标联动控制的数控铣床上,可以在锥体上加工出螺旋线来,当然,也可以加工出内循环滚珠丝杠螺母回珠器的回珠槽(空间曲线)来。

(4) 四轴联动数控机床

除了三轴(X, Y, Z)同时插补联动外,还有一个绕 X 轴的回转(也称摆动)坐标的联动,该类机床称为四轴联动数控机床。

(5) 五轴联动数控机床

除了 X, Y, Z 三轴的联动外还有刀具旋转、工作台的旋转。五轴联动数控机床是为适应多面体和曲面零件加工而出现的。如图 1-10 所示,叶轮类零件是五坐标加工的典型零件之一。五轴机床的种类有摇篮式、立式、卧式、NC 工作台+NC 分度头、NC 工作台+ $90^\circ B$ 轴、NC 工作台+ $45^\circ B$ 轴、NC 工作台+A 轴、两轴 NC 主轴等。随着机床复合化技术的新发展,在数控车床的基础上,又很快生产出了能进行铣削加工的车铣中心。五轴联动数控机床的加工效率相当于两台三轴机床,有时甚至可以完全省去某些大型

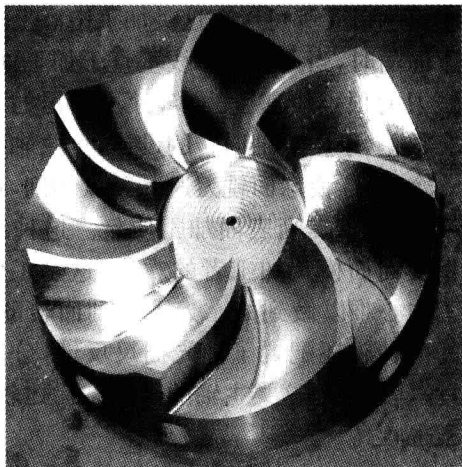


图 1-10 五轴联动加工的叶轮类零件

自动化生产线的投资,大大节约了占地空间和工作在不同制造单元之间的周转运输时间及费用。

(6) 加工中心

加工中心是一种高度自动化的多功能数控机床。工件在加工中心上经一次装夹后,能对两个以上的表面完成多种工序的加工,并且有多种换刀或选刀功能,从而实现工件一次装夹后即可进行铣削、钻削、镗削、铰削和攻丝等加工,实现多种工序集中在一台设备上完成,使其同时具有多种工艺手段。

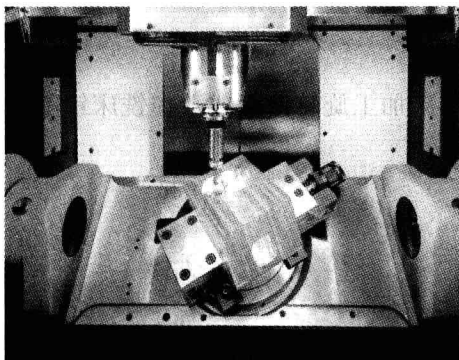


图 1-11 五轴联动加工中心

五轴联动加工中心有高效率、高精度的特点,工件一次装夹就可完成五面体的加工。若配以五轴联动的高档数控系统,还可以对复杂的空间曲面进行高精度加工,更能够适应像汽车零部件、飞机结构件等现代模具的加工。立式五轴加工中心的回转轴有两种方式,一种是工作台回转轴,设置在床身上的工作台可以环绕 X 轴回转,定义为 A 轴,A 轴一般工作范围 $+30^{\circ}$ 至 -120° 。工作台的中间还设有一个回转台,在图 1-11 所示的位置上环绕 Z 轴回转,定义为 C 轴,C 轴都是 360° 回转。这样通过 A 轴与 C 轴的组合,固定在工作台上的工件除了底面之外,其余的五个面都可以由立式主轴进行加工。

A 轴和 C 轴最小分度值一般为 0.001° ,这样又可以把工件细分成任意角度,加工出倾斜面、倾斜孔等。A 轴和 C 轴如与 X、Y、Z 三直线轴实现联动,就可加工出复杂的空间曲面,当然这需要高档的数控系统、伺服系统以及软件的支持。这种设置方式的优点是主轴的结构比较简单,主轴刚性非常好,制造成本比较低。但一般工作台不能设计太大,承重也较小,特别是当 A 轴回转大于等于 90° 时,工件切削时会对工作台带来很大的承载力矩。

另一种是依靠立式主轴头的回转。主轴前端是一个回转头,能自行环绕 Z 轴 360° ,成为 C 轴,回转头上还有带可环绕 X 轴旋转的 A 轴,一般可达 $\pm 90^{\circ}$ 以上,实现上述同样的功能。这种设置方式的优点是主轴加工非常灵活,工作台也可以设计得非常大,客机庞大的机身、巨大的发动机壳都可以在这类加工中心上加工。这种设计还有一大优点:我们在使用球面铣刀加工曲面时,当刀具中心线垂直于加工面时,由于球面铣刀的顶点线速度为零,顶点切出的工件表面质量会很差,采用主轴回转的设计,令主轴相对工件转过一个角度,使球面铣刀避开顶点切削,保证有一定的线速度,可提高表面加工质量。这种结构非常受高精度曲面模具加工者的欢迎,这是工作台回转式加工中心难以做到的。为了达到回转的高精度,高档的回转轴还配置了圆光栅尺反馈,分度精度都在几秒以内,当然这类主轴的回转结构比较复杂,制造成本也较高。

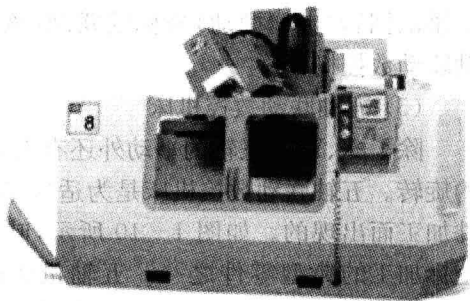


图 1-12 美国哈斯五轴加工中心 VR-8

图 1-12 为美国哈斯公司生产的 VR 系列五轴压型立式加工中心,该加工中心行程为 64 英寸 $\times$ 40 英寸 $\times$ 30 英寸。每个 VR 配备有独特的双轴主轴,该主轴具有全封闭的万向节设备,保护齿轮不受切屑和冷却液的影响。对于复杂的