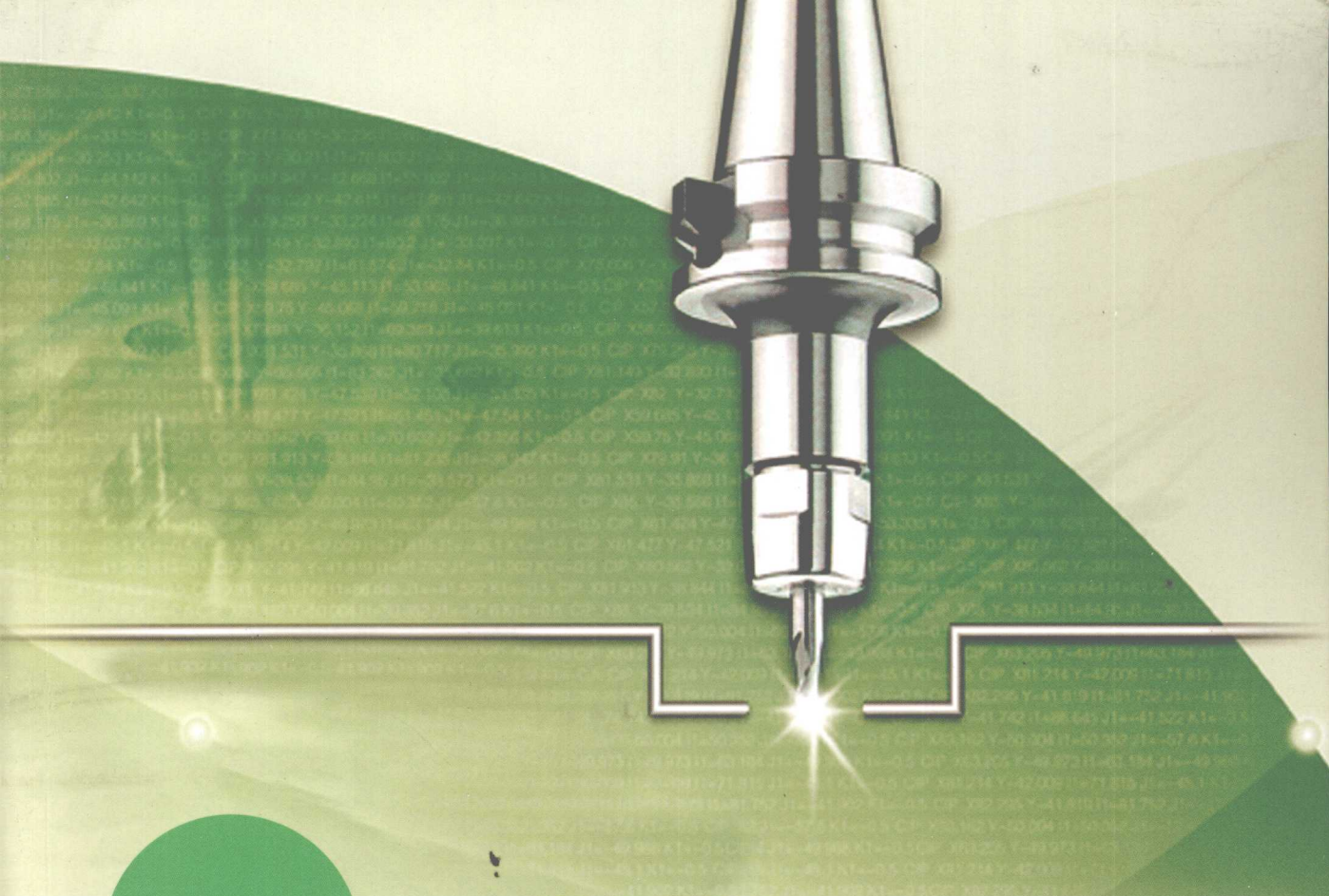




高技能人才培养
系列规划教材



庞恩泉 主编

数控加工技术 一体化教程

Shukongjiagongjishu
Yitihuaajiaocheng

山东大学出版社

高技能人才培养系列规划教材

数控加工技术一体化教程

主 编 庞恩泉

副主编 韩 刚 袁宗杰

段晶莹 史家迎

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术一体化教程/庞恩泉主编. — 济南: 山东大学出版社, 2009. 9
ISBN 978-7-5607-3945-8

I. 数…

II. 庞…

III. ①数控机床—程序设计—高等学校—教材

②数控机床—加工—高等学校—教材

IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 156489 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码: 250100)

山东省新华书店经销

山东省恒兴实业有限公司印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 25 印张 593 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定价: 45.00 元

版权所有, 盗印必究

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社营销部负责调换

前 言

为贯彻落实科学发展观和全国职业教育会议精神,围绕我国新型工业化对技能人才的要求,进一步深化职业教育教学改革,以“任务驱动”教学法为教学目标,我们编写了《数控加工技术一体化教程》。本书以国家职业标准为依据,以综合职业能力培养为目标,以典型工作任务为载体,以学生为中心,根据典型工作任务和工作过程设计教材内容,按照工作过程的顺序和学生自主学习的要求编写教材内容顺序。

“以项目为引导,以任务为驱动”的教学方式对学生综合能力的提高起着十分重要的作用。积极倡导“在学中做,在做中学”的教育理念,以具体的任务为学习动力或动机,以完成任务的过程为学习过程,以展示任务成果的方式来体现教学的成就,以“任务驱动”为主要形式的教学方法,走出了传统教学方法中注重学习的循序渐进和知识积累的老路子,其优势在于培养学生的创新能力和独立分析问题和解决问题的能力,提高高技能人才培养质量,加快高技能人才培养。

本书主要介绍了数控机床基础以及数控加工工艺、数控编程基础知识,突出数控车床、数控铣床和加工中心的编程与加工操作,侧重于数控加工技术综合实例。根据具体生产实际情况,列举了大量典型零件编程实例,有利于学生分析和解决具体工程实际问题能力的培养和提高。并将多年从事数控加工的教学体会和实践经验贯穿在内容中。本书图文并茂,理论联系实际,深入浅出,易于理解和掌握。精心设计的数控手工编程和宏程序的编程综合训练课题,可使读者经历数控加工完整的训练过程。

本书由山东劳动职业技术学院庞恩泉任主编,韩刚、袁宗杰、段晶莹、史家迎任副主编,基础篇由段晶莹编写,数控车篇由庞恩泉、袁宗杰、史家迎、杨建波等编写,数控铣/加工中心篇由庞恩泉、韩刚、段晶莹、马国伟、陈晓晖、庄友斌等编写,全书由庞恩泉统稿和定稿。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在一些不妥之处,敬请广大读者指正。

编 者

2009年8月

内容简介

本书为数控技术专业理论实训模块一体化规划教材。主要内容
包括:数控机床编程与操作基础部分、数控车篇、数控铣/加工中心
篇,其中数控车篇包括外轮廓加工、内轮廓加工、非圆曲线的加工、
综合加工实例等4个模块8个任务;数控铣/加工中心篇包括零件轮
廓的铣削加工、固定循环编程与加工、坐标变换编程、孔系零件的加
工、复杂曲面零件加工、高级综合训练等6个模块18个任务,在每个
模块后精心编写了思考与练习。

本书可作为高职高专机电类专业数控加工技术教材,可作为机
械设计制造及其自动化专业机电方向、数控方向、材料成型与模具制
造方向进行数控加工的教材,也可作为机电类专业课教师及从事数
控加工的工程技术人员的参考书。还可作为各类成人教育院校、技
师学院、高级技校的相关专业以及数控加工技术培训教材,或作为自
学用书。

目 录

基础篇	(1)
思考与练习	(27)
数控车篇	(29)
模块一 外轮廓加工	(29)
任务一 外圆、台阶及锥体的加工	(29)
任务二 端面与切槽(断)加工	(52)
任务三 螺纹加工	(65)
任务四 圆弧加工	(80)
思考与练习	(94)
模块二 内轮廓加工	(98)
思考与练习	(114)
模块三 非圆曲线的加工	(117)
任务一 椭圆的加工	(117)
任务二 正/余弦曲线的加工	(131)
思考与练习	(137)
模块四 技能鉴定点评	(139)
任务一 职业技能仿真试题解析	(139)
思考与练习	(157)
任务二 职业技能鉴定实操试题解析	(159)
思考与练习	(171)
数控铣(加工中心)篇	(173)
模块一 数控铣(加工中心)	(173)
任务一 数控铣(加工中心)及其操作面板	(173)
思考与练习	(182)
模块二 零件轮廓的铣削加工	(183)
任务一 平面外轮廓铣削加工	(183)
任务二 型腔零件铣削加工	(209)
任务三 薄壁零件铣削加工	(225)
思考与练习	(240)

模块三 孔系零件铣削加工	(244)
任务一 钻、扩与铰孔加工	(244)
任务二 镗孔与攻螺纹加工	(265)
模块四 综合训练一	(280)
任务一 数控铣/加工中心综合训练(一)	(280)
任务二 数控铣/加工中心综合训练(二)	(311)
任务三 数控铣/加工中心综合训练(三)	(318)
思考与练习	(328)
模块五 复杂曲面零件加工	(331)
任务一 椭圆槽的加工	(331)
任务二 球面的加工	(341)
任务三 正余弦曲线的加工	(347)
思考与练习	(356)
模块六 综合训练二	(357)
任务一 数控铣/加工中心综合训练(一)	(357)
任务二 数控铣/加工中心综合训练(二)	(366)
任务三 数控铣/加工中心综合训练(三)	(377)
思考与练习	(386)
参考文献	(394)

基础篇

一、数控概念及数控机床的产生

(一) 数控概念

数控(NC)是数字控制(Numerical Control)的简称,是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作的控制方式。数控一般是采用通用或专用计算机实现数字程序控制,因此数控也称为计算机数控(Computer Numerical Control),简称“CNC”,国外一般都称为“CNC”,很少再用“NC”这个概念了。

数控机床是数字控制机床的简称,是一种装有程序控制系统的自动化机床。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,从而使机床动作并加工零件。

(二) 数控机床的产生

1. 数控机床的产生

随着社会生产和科学技术的不断进步,各类工业新产品层出不穷。机械制造产业作为国民工业的基础,其产品更是日趋精密复杂,特别是在航天、航海、军事等领域所需的机械零件,精度要求更高,形状更为复杂且往往批量较小,加工这类产品需要经常改装或调整设备;同时,随着市场竞争的日益加剧,企业生产也迫切需要进一步提高其生产效率,提高产品质量及降低生产成本。因此对加工机械产品的生产设备提出了三高(高性能、高精度和高自动化)的要求。

而通用机床是由人工操作,劳动强度大,而且难以提高生产效率和保证质量,实现这类产品生产的自动化成为了机械制造业中长期未能解决的难题。虽然仿形加工部分地解决了小批量、复杂零件的加工,但有两个缺点:一是必须制造相应的靠模或样件;二是靠模和样件的制造误差和磨损影响加工精度,很难达到高精度。解决高产优质的问题,也可采用专用机床、组合机床、专用自动化机床以及专用自动生产线和自动化车间进行生产。但是应用这些专用生产设备,生产周期长,产品改型不易,因而使新产品的开发周期增长,生产设备使用的柔性很差。精密复杂,加工批量小,改型频繁的零件,显然不能在专用机床或组合机床上加工。而借助靠模和仿形机床,或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工,加工精度和生产效率受到很大的限制,特别是对空间的复杂曲线曲面,在普通机床上根本无法实现。

数控机床的产生,有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批量生产,特别是复杂型面零件提供了自动化加工手段,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。

2. 数控机床的发展

为了解决零件复杂形状表面的加工问题,1952年,美国帕森斯公司和麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床。半个世纪以来,数控技术得到了迅猛的发展,加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了两个阶段和六个时代:

(1)数控(NC)阶段(1952~1970年) 早期的计算机运算速度低,不能适应机床实时控制的要求,人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这就是硬件连接数控,简称数控(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了三代,即1952年的第一代——电子管数控机床,1959年的第二代——晶体管数控机床,1965年的第三代——集成电路数控机床。

(2)计算机数控(CNC)阶段(1970年~现在) 1970年,通用小型计算机已出现并投入批量生产,人们将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了三代,即1970年的第四代——小型计算机数控机床,1974年的第五代——微型计算机数控系统,1990年的第六代——基于PC的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也随之不断更新,发展非常迅速,几乎每5年更新换代一次,其在制造领域的加工优势逐渐体现出来。

(三)数控机床的组成

数控机床的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。下面分别对各组成部分的基本工作原理进行概要说明。

1. 加工程序载体

数控机床工作时,不需要工人直接去操作机床,要对数控机床进行控制,必须编制加工程序。零件加工程序中,包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(进给量主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码,存储在一种程序载体上,如穿孔纸带、盒式磁带、软磁盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到CNC单元。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用CNC形式,这种CNC装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控(Software NC)。CNC系统是一种位置控制系统,它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件加工出所需要的零件。因此,数控装置主要由输入、处理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理地组织,使整个系统协调地进行工作。

(1)输入装置 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、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,现仍有不少系统还保留有光电阅读机的纸带输入形式。

①纸带输入方式 可用纸带光电阅读机读入零件程序,直接控制机床运动,也可以将纸带内容读入存储器,用存储器中储存的零件程序控制机床运动。

②MDI手动数据输入方式 操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令,它适用于比较短的程序。

在控制装置编辑状态(EDIT)下,用软件输入加工程序,并存入控制装置的存储器中,

这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。

在具有会话编程功能的数控装置上,可按照显示器上提示的问题,选择不同的菜单,用人机对话的方法,输入有关的尺寸数字,就可自动生成加工程序。

③采用 DNC 直接数控输入方式 把零件程序保存在上级计算机中,CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 方式多用于采用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件并直接生成零件程序的情况。

(2)信息处理 输入装置将加工信息传给 CNC 单元,编译成计算机能识别的信息,由信息处理部分按照控制程序的规定,逐步存储并进行处理后,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 系统的输入数据包括: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)输出装置 输出装置与伺服机构相联。输出装置根据控制器的命令接受运算器的输出脉冲,并把它送到各坐标的伺服控制系统,经过功率放大,驱动伺服系统,从而控制机床按规定要求运动。

3. 伺服系统和测量反馈系统

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。伺服系统的作用是把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机床的最后环节,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。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件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。

4. 机床主体

机床主机是数控机床的主体。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,数控机床主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主机的刚度和抗振性,使机床主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主机的影响。

(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。

5. 数控机床的辅助装置

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。

二、数控机床的分类

(一)按加工方式分类

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

这类机床是在一般数控机床的基础上发展起来的。它是在一般数控机床上加装一个刀库(可容纳 10~100 多把刀具)和自动换刀装置而构成的一种带自动换刀装置的数控机床(又称多工序数控机床或镗铣类加工中心,习惯上简称为加工中心——Machining Center),这使数控机床更进一步地向自动化和高效化方向发展。

数控加工中心和一般数控机床的区别是:工件经一次装夹后,数控装置就能控制机床自动地更换刀具,连续地对工件各加工面自动地完成铣(车)、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。这类机床大多是以镗铣为主的,主要用来加工箱体零件。它和一般的数控机床相比具有如下优点:

(1)减少机床台数,便于管理,对于多工序的零件只要一台机床就能完成全部加工,并可以减少半成品的库存量。

(2)由于工件只要一次装夹,因此减少了由于多次安装造成的定位误差,可以依靠机床精度来保证加工质量。

(3)工序集中,减少了辅助时间,提高了生产率。

(4)由于零件在一台机床上一次装夹就能完成多道工序加工,所以大大减少了专用工夹具的数量,进一步缩短了生产准备时间。

由于数控加工中心机床的优点很多,深受用户欢迎,因此在数控机床生产中占有很重要的地位。

另外还有一类加工中心,是在车床基础上发展起来的,以轴类零件为主要加工对象。除可进行车削、镗削外,还可以进行端面和周面上任意部位的钻削、铣削和攻丝加工。这类加工中心也设有刀库,可安装 4~12 把刀具,习惯上称此类机床为车削中心(TC;Turning Center, TC)。

(二)按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床有数控车床(NC Lathe)(见图 1-1)、数控铣床(NC Milling Machine)(见图 1-2)、加工中心(Machining Center)(见图 1-3)、数控钻床(NC Drilling Machine)、数控镗床(NC Boring Machine)、数控齿轮加工机床(NC Gear Holling Machine)、数控平面磨床(NC Surface Grinding Machine)等。加工中心 MC 是带有刀库和自动换刀装置的数控

机床。

2. 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床有数控折弯机(见图 1-4)、数控弯管机和数控压力机等。

3. 数控特种加工机床

数控特种加工机床有数控线切割机床(见图 1-5)、数控电火花加工机床(见图 1-6)、数控激光加工机床等。

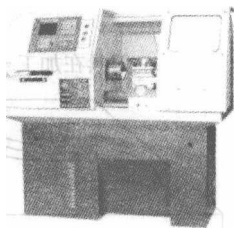


图 1-1 数控车床

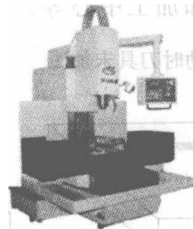


图 1-2 数控铣床

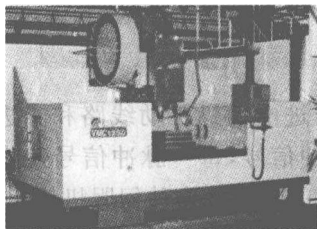


图 1-3 立式加工中心

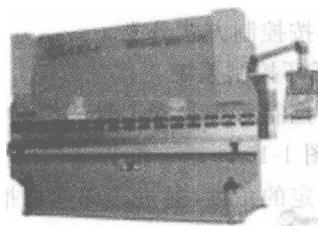


图 1-4 数控折弯机图

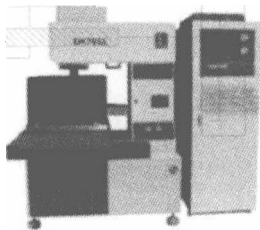


图 1-5 数控线切割机床

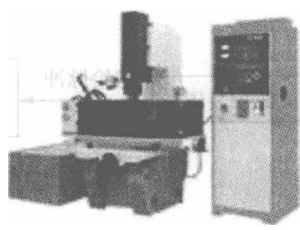


图 1-6 数控电火花加工机床

(三)按运动方式分类

1. 点位控制(Positioning Control)数控机床

点位控制数控机床是指数控系统只控制刀具或机床工作台,从一点准确地移动到另一点,而点与点之间运动的轨迹不需要严格控制的系统,如图 1-7 所示。为了减少移动部件的运动与定位时间,一般先快速移动到终点附近位置,然后以低速准确移动到终点定位位置,以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削。采用这类控制的有数控钻床、数控冲床和数控坐标镗床等。

2. 点位直线(Straight-Line Control)控制数控机床

点位直线控制是指数控系统除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外,还要控制在这两点之间以指定的进给速度进行直线切削,如图 1-8 所示。采用这类控制的有数控

铣床、数控车床和数控磨床等。

3. 轮廓控制(Contour Control)数控机床

轮廓控制亦称连续轨迹控制,能够连续控制两个或两个以上坐标方向的联合运动。如图 1-9 所示。为了使刀具按规定的轨迹加工工件的曲线轮廓,数控装置具有插补运算的功能,使刀具的运动轨迹以最小的误差逼近规定的轮廓曲线,并协调各坐标方向的运动速度,以便在切削过程中始终保持规定的进给速度。采用这类控制的有数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。

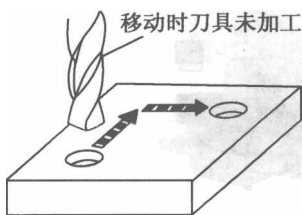


图 1-7 点位控制数控机床

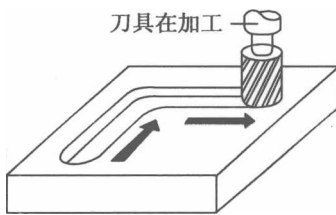


图 1-8 点位直线控制数控机床

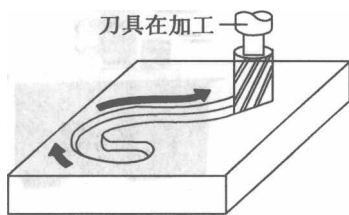


图 1-9 轮廓控制数控机床

(四)按控制方式分类

1. 开环控制系统

开环控制系统是指不带反馈装置的控制系统,由步进电动机驱动线路和步进电动机组成,如图 1-10 所示。数控装置经过控制运算发出脉冲信号,每一脉冲信号使步进电动机转动一定的角度,通过滚珠丝杠推动工作台移动一定的距离。这种伺服机构比较简单,工作稳定,容易掌握使用,但精度和速度的提高受到限制。

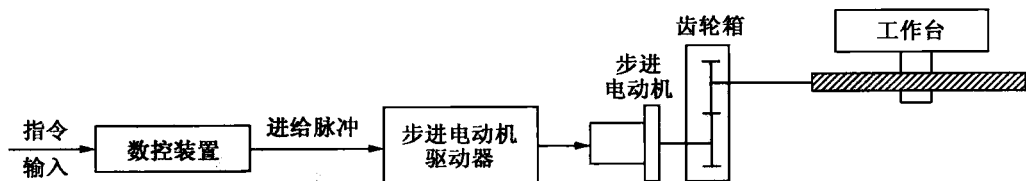


图 1-10 开环控制系统框图

2. 闭环控制系统

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,达到精确定位的控制系统,如图 1-11 所示。闭环控制系统的定位精度高于半闭环控制,但结构比较复杂,调试维修的难度较大,常用于高精度和大型数控机床。

3. 半闭环控制系统

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,如图 1-12 所示。这种伺服机构所能达到的精度、速度和动态特性优于开环伺服机构,为大多数中小型数控机床所采用。

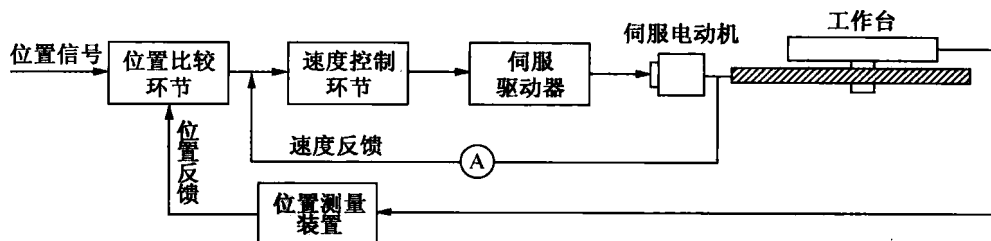


图 1-11 闭环控制系统框图

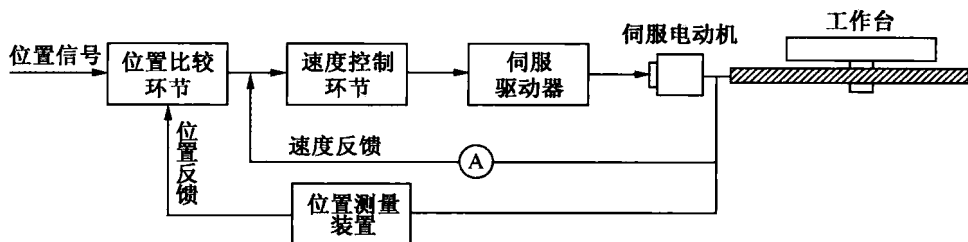


图 1-12 半闭环控制系统框图

(五)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,按照联动轴数可以分为:

1. 两轴联动

能同时控制两个坐标轴联动,适于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。

2. 两轴半联动

如图 1-13 所示,在两轴的基础上增加了 Z 轴的移动,当机床坐标系的 X 轴和 Y 轴固定时, Z 轴可以作周期性进给。两轴半联动加工可以实现分层加工。

3. 三轴联动

能同时控制三个坐标轴的联动,用于一般曲面的加工,一般的型腔模具均可以用三轴加工完成,如图 1-14 所示。

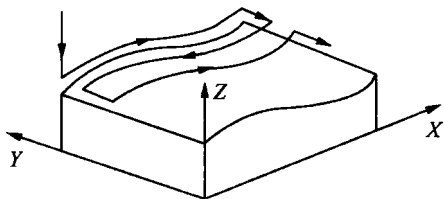


图 1-13 两轴半联动

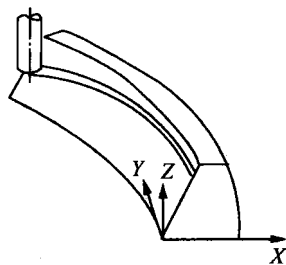


图 1-14 三轴联动

4. 多坐标联动

能同时控制四个以上坐标轴的联动。多坐标数控机床的结构复杂,精度要求高、程序编制复杂,适于加工形状复杂的零件,如叶轮叶片类零件。

通常三轴机床可以实现二轴、二轴半、三轴加工；五轴机床也可以只用到三轴联动加工，而其他两轴不联动。如图 1-15 所示为五轴数控机床。

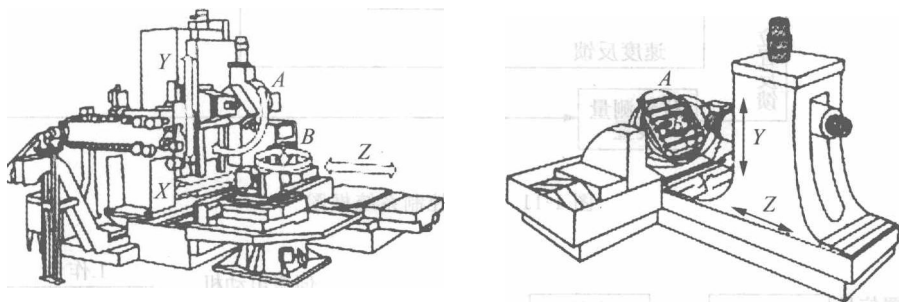


图 1-15 五轴数控机床

(六)按功能水平分类

数控机床按数控系统的功能水平可分为低、中、高三档。这种分类方式，在我国用的很多。低、中、高档的界限是相对的，不同时期的划分标准有所不同，就目前的发展水平来看，大体可以从以下几个方面区分，如表 1-1 所示。

表 1-1 数控系统功能水平分类

项 目	低 档	中 档	高 档
分辨率和进给速度	10 μ m, 8~15m/min	1 μ m, 15~24m/min	0.1 μ m, 15~100m/min
伺服进给类型	开环、步进电动机系统	半闭环、直流或交流伺服系统	闭环、直流或交流伺服系统
联动轴数	2 轴	3~5 轴	3~5 轴
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速、C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP 通信接口、联网功能
显示功能	数码管显示、CRT 字符	CRT 显示字符、图形	三维图形显示、图形编程
内装 PLC	无	有	有
主 CPU	8bitCPU	16 或 32bitCPU	64bitCPU

三、数控加工技术的发展趋势

数控机床的出现不但给传统制造业带来了革命性的变化，使制造业成为工业化的象征，而且随着数控技术的发展和应用领域的扩大，它对国计民生的一些重要行业（IT、汽车、轻工、医疗等）的发展起着越来越重要的作用，因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。当前世界上数控机床的发展呈如下趋势：

(一)高速度高精度化

速度和精度是数控机床的两个重要技术指标，它直接关系到加工效率和产品质量。对于数控机床，高速度化首先要求计算机数控系统在读入加工指令数据后，能高速度处理并计算出伺服电机的位移量，并要求伺服电机高速度地作出反应。现代数控系统已经逐步由

16 位 CPU 过渡到 32 位 CPU。日本产的 FANUC15 系统开发出 64 位 CPU 系统,能达到最小移动单位 $0.1\mu\text{m}$ 时,最大进给速度为 $100\text{m}/\text{min}$ 。FANUC16 和 FANUC18 采用简化与减少控制基本指令的 RISC(Reduced Instruction Set Computer)精简指令计算机,能进行更高速度的数据处理,使一个程序段的处理时间缩短到 0.5ms ,连续 1mm 移动指令的最大进给速度可达到 $120\text{m}/\text{min}$ 。此外,要实现生产系统的高速度化,还必须谋求主轴转速、进给率、刀具交换、托盘交换等各种关键部件也要实现高速度化。

提高数控机床的加工精度,一般是通过减少数控系统的误差和采用补偿技术来达到。在减少数控系统误差方面,一般采取三种方法:①提高数控系统的分辨率,以微小程序段实现连续进给;②提高位置检测精度。日本交流伺服电动机已装上每转可产生 100 万个脉冲的内藏位置检测器,其位置检测精度可达到 $0.01\text{mm}/\text{脉冲}$;③位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制。在采用补偿技术方面,除采用间隙补偿、丝杠螺距补偿和刀具补偿等技术外,还采用了热变形补偿技术。

(二)多功能化

一机多能的数控机床,可以最大限度地提高设备的利用率。如数控加工中心(Machining Center, MC)配有机械手和刀具库,工件一经装夹,数控系统就能控制机床自动地更换刀具,连续对工件的各个加工面自动地完成铣削、镗削、铰孔、扩孔及攻螺纹等多工序加工,从而避免多次装夹所造成的定位误差。这样减少了设备台数、工夹具和操作人员,节省了占地面积和辅助时间。为了提高效率,新型数控机床在控制系统和机床结构上也有所改革。例如,采取多系统混合控制方式,用不同的切削方式(车、钻、铣、攻螺纹等)同时加工零件的不同部位等。现代数控系统控制轴数多达 15 轴,同时联动的轴数已达到 6 轴。

(三)智能化

数控机床应用高技术的重要目标是智能化。所谓智能化数控系统,是指具有拟人智能特征,智能数控系统通过对影响加工精度和效率的物理量进行检测、建模、提取特征、自动感知加工系统的内部状态及外部环境,快速作出实现最佳目标的智能决策,对进给速度、切削深度、坐标移动、主轴转速等工艺参数进行实时控制,使机床的加工过程处于最佳状态。智能化技术主要体现在以下几个方面:

1. 引进自适应控制技术

自适应控制技术(Adaptive Control, AC)的目的是要求在随机的加工过程中,通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性,按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数,以达到或接近最佳工作状态。通常数控机床是按照预先编好的程序进行控制,但随机因素,如毛坯余量和硬度的不均匀、刀具的磨损等难以预测。为了确保质量,势必在编程时采用较保守的切削用量,从而降低了加工效率。AC 系统可对机床主轴转矩、切削力、切削温度、刀具磨损等参数值进行自动测量,并由 CPU 进行比较运算后发出修改主轴转速和进给量大小的信号,确保 AC 处于最佳的切削用量状态,从而在保证质量条件下使加工成本最低或生产率最高。AC 系统主要在宇航等工业部门用于特种材料的加工。

2. 附加人机会话自动编程功能

可以把自动编程机具有的功能,装入数控系统,使零件的程序编制工作可以在数控系统上在线进行,用人机对话方式,通过 CRT 彩色显示和手动操作键盘的配合,实现程序

的输入、编辑和修改,并在数控系统中建立切削用量专家系统,从而达到提高编程效率和降低操作人员技术水平的要求。

3. 具有设备故障自诊断功能

数控系统出了故障,控制系统能够进行自诊断,并自动采取排除故障的措施,以适应长时间无人操作环境的要求。

4. 应用图像识别和声控技术

由机床自己辨别图样,并自动地进行数控加工的智能化技术和根据人的语言声音对数控机床进行自动控制的智能化技术。

(四)小型化

蓬勃发展的机电一体化设备,对数控系统提出了小型化的要求,体积小型化便于将机、电装置揉合为一体。日本新开发的 FS16 和 FS18 都采用了三维安装方法,使电子元器件得以高密度地安装,大大地缩小了系统的占有空间。此外,他们还采用了新型 TFT 彩色液晶薄型显示器,使数控系统进一步小型化,这样可更方便地将他们装到机械设备上。

(五)高可靠性

数控系统比较贵重,用户期望发挥投资效益,因此要求设备具有高可靠性。特别是对在长时间无人操作环境下运行的数控系统,可靠性成为人们最为关注的问题。提高可靠性,通常可采取如下一些措施:

1. 提高线路集成度

采用大规模或超大规模的集成电路、专用芯片及混合式集成电路,以减少元器件的数量,精简外部连线和减低功耗。

2. 建立由设计、试制到生产的一整套质量保证体系

例如,采取防电源干扰,输入/输出光电隔离;使数控系统模块化、通用化及标准化,以便于组织批量生产及维修;在安装制造时注意严格筛选元器件;对系统可靠性进行全面的检查考核等。通过这些手段,保证产品质量。

3. 增强故障自诊断功能和保护功能

由于元器件失效、编程及人为操作错误等原因,数控机床完全可能出现故障。数控机床一般具有故障自诊断功能,能够对硬件和软件进行故障诊断,自动显示出故障的部位及类型,以便快速排除故障。新型数控机床还具有故障预报、自恢复功能、监控与保护功能。例如,有的系统设有刀具破损检测、行程范围保护和断电保护等功能,以避免损坏机床及报废工件。由于采取了各种有效的可靠性措施,现代数控机床的平均无故障时间(MT-BF)可达到 10000~36000h。

(六)制造系统自动化

1. 柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell)

FMC 在早期是作为简单和初级的柔性制造技术而发展起来的。它在 MC 的基础上增加了托盘自动交换装置或机器人、刀具和工件的自动测量装置、加工过程的监控功能等,它和 MC 相比具有更高的制造柔性和生产效率。图 1-16 为配有托盘交换系统构成的 FMC。托盘上装夹有工件,在加工过程中,它与工件一起流动,类似通常的随行夹具。环形工作台用于工件的输送与中间存储,托盘座在环形导轨上由内侧的环链拖动而回转,每个托盘座上有地址识别码。当一个工件加工完毕,数控机床发出信号,由托盘交换装置将