

新编职业教育课程改革规划系列教材

机电模具类

数控加工工艺与编程

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

主编 熊英 范维庆 主审 郑华



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

新编职业教育课程改革规划系列教材(机电模具类)

数控加工工艺与编程

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

主 编 熊 英 范维庆

编写委员会名单

主 任:熊良猛 刘志刚

副主任:熊华云 黄科祥

编 委:(按姓氏笔画为序)

王道广	王新成	邓世祥	冯德学	刘先春	刘松林
刘大军	刘 军	杨胜先	杨伟桥	杨爱国	杨关全
杨汉全	杨书继	陈景春	陈 智	陈新华	陈国衡
张仕军	张小梅	张珍明	李 颖	李京平	李兆学
何世勇	邹鸿斌	邹友志	汪 彬	罗再芳	郑 华
范维庆	林 涛	周志文	徐明成	徐祥成	顾文波
柴彬堂	黄继平	黄成金	曹海源	章 毅	税清勇
程泽湘	蒋廷采	彭海涛	熊大友	燕 宏	

总策划编辑:杨远恒

责任编辑:王凤林



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

(类具對申財)林維民系收財革炳器器育維業即能錄

内 容 简 介

本书分为五个部分:第一部分介绍数控机床的发展、分类;第二部分介绍数控加工工艺分析、数控编程的相关知识;第三部分详细分析数控车削工艺,讲解数控车床编程及数控车床操作;第四部分详细分析数控铣削工艺,讲解数控铣床编程及数控铣床操作;第五部分介绍数控线切割机床分类、数控线切割编程及操作。

本书可作为高职、中职院校的机电专业、数控专业、模具设计与制造等专业的教材,对数控专业有关技术人员、机床操作人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/熊英,范维庆主编. —武汉:中国地质大学出版社,2007.12

ISBN 978-7-5625-2225-6

I. 数…

II. ①熊…②范…

III. 数控机床-加工工艺-程序设计-教材

IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 206401 号

数控加工工艺与编程

熊英 范维庆 主编

责任编辑:王凤林

责任校对:戴莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编:430074

电话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

http://www.cugp.cn

经 销:全国新华书店

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:288 千字 印张:11.25

版次:2007 年 12 月第 1 版

印次:2007 年 12 月第 1 次印刷

印刷:武汉市洪林印务有限公司

印 度:1—3 000 册

ISBN 978-7-5625-2225-6

定价:18.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE



关于新编职业教育课程改革规划系列教材(机电模具类)

编写说明

为了贯彻落实《中共中央国务院关于深化教育改革、全面推进素质教育的决定》和教育部《关于实施职业院校技能型紧缺人才培养培训工程的通知》等文件精神,根据《面向 21 世纪教育振兴行动计划》和教育部制定的教学指导方案的要求,中国地质大学出版社在全国范围内组织部分相关的高职、中职院校的骨干教师编写新编职业教育课程改革规划系列教材。

多年以来,我国职业教育机电、模具类专业以往的课程教材体系一直沿用的是机械制图、机械工程力学、金属工艺学、机械设计基础、电工基础、公差配合与技术测量等课程的设置方式,实行传统的学科本位教学模式,这种文化基础课、专业基础课和专业课严格区分的“三段式”教学模式重理论,轻实践;重知识,轻技能;课程之间缺乏联系,学科之间不便交融;课程门类繁多,内容较深,学生很难理解和掌握;培养出的学生难以适用于社会实践。为此,本系列教材编写以职业需求为出发点,以职业岗位(岗位群)的需要为依据,以现行职业教育课程、教材的弊端为突破口,借鉴各高、中职业院校的教学实际,广泛征求意见,确立了“以能力为本位”的指导思想,以“实用、够用”为培养原则,对课程内容进行了较大幅度的调整。如:《极限配合与技术测量》的公差配合部分的内容并入到《机械制图》中,把技术测量部分内容并入到《机械制造技术》课程之中;把工程力学、金属材料、机械设计基础等内容,合编成《机械基础》;把《电工基础》与《电子技术》合编成《电工与电子技术基础》,删去以前较复杂的理论,加强了实训部分;同时为了与岗位需求相适应,在《机械制图》中增加了计算机绘图等内容,并配有习题集。

本系列教材切实本着理论知识培养以“切实、够用”为基本原则,贯彻“知识与技能型”,着重培养学生的动手能力,实现职业技术岗位之间的“零距离”、“零适应期”的教学指导思想,使学生完全具备各个岗位的组织能力和各种操作能力,适用于机械加工技术专业及模具设计与制造专业的相关课程的教学需要。

希望各职业院校积极推广和选用本系列教材,并在使用过程中,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

编委会

2007年6月

前言

根据“2003—2007 年全国教育振兴行动计划”,教育部、劳动与社会保障部、国防科工委、信息产业部联合提出在数控技术应用专业领域实施“职业院校制造业与现代制造业技能型紧缺人才培养工程”。本书是为了满足数控技术应用专业领域技能型紧缺型人才培养培训的需要,根据职业院校数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案的基本要求而编写的,以“应用”为主旨和特征构建教学内容体系,基础理论部分以“应用”为目的,以“必需、够用”为度,实际操作部分加强针对性和实用性,培养学生的技术应用能力,贯彻高技能人才培养理念。

本书将数控加工必备的数控加工工艺、数控编程与数控机床操作有机地联系在一起。考虑到国产数控系统的发展以及各职业院校使用数控系统的实际情况,本书以华中世纪星数控系统为例,通过大量实例分析应用,详细介绍数控机床的编程基础知识,并将工艺分析、编程技巧与操作技巧融合于实例之中,使学生的学习有理论、有实际。对于现今的其他数控系统如 FANUC、SIEMENS 也有所介绍,车床数控系统以华中世纪星为例、铣床以 FANUC 为例就是兼顾各不同使用场合。

本书分为五个部分,分别介绍数控机床的发展、分类,数控加工工艺分析、数控编程的相关知识,数控车削工艺、数控车床编程及数控车床操作,数控铣削工艺、数控铣床编程及数控铣床操作,数控线切割编程及操作。

本书由湖北省孝感工业学校熊英、安徽机械工业学校范维庆任主编。参加编写的有襄樊机电学校刘萍、四川省遂宁市民进中等专业学校吴泽军、荆州高级技工学校毛江华。

由于时间仓促,水平有限,书中难免有错误和欠妥之处,恳请同行专家和读者批评指正。

编者

2007 年 6 月

目 录

第 1 章 概 述	1
1.1 数控机床的产生及发展	1
1.2 数控机床的组成、工作原理与分类	2
1.3 数控机床的特点与应用	7
1.4 数控机床的发展趋势	8
第 2 章 数控编程基础	11
2.1 数控编程的概述	11
2.2 数控机床的坐标系	14
2.3 常用术语及指令代码	20
2.4 数控程序的格式及编程方法	26
2.5 数控程序编制中的数值计算	27
2.6 数控加工工艺分析	29
第 3 章 数控车床的编程与操作	38
3.1 车削加工原理	38
3.2 车刀的类型、结构及其几何参数	42
3.3 切削液的选择	47
3.4 数控车床的主要特点及参数	49
3.5 华中世纪星数控车床加工程序的编制	55
3.6 车削编程实例	84
第 4 章 数控铣床的编程与操作	101
4.1 数控铣床的主要功能和参数	101
4.2 数控铣削工艺	103
4.3 数控铣床加工程序编制	106
4.4 数控铣床编程实例	128
4.5 数控铣床的操作	132
第 5 章 数控电火花加工设备编程与操作	148
5.1 数控线切割机床简介	148
5.2 电火花线切割机床加工程序的编制	151
5.3 电火花线切割机床的操作	168
参考文献	172

第 1 章 概 述

1.1 数控机床的产生及发展

数控机床就是采用数字信息控制的机床。具体地说,凡是用代码化的数字信息将刀具移动轨迹的信息记录在程序介质上,然后送入数控系统经过译码、运算、控制机床的刀具与工件的相对运动,加工出所需工件的一类机床即称为数控机床。

1.1.1 数控机床的产生

随着生产和科学技术的发展,机械产品的结构日趋复杂,其精度日趋提高,性能不断改善。因此,对制造机械产品的生产设备——机床,必然会相应地提出高效率、高精度和高自动化的要求。

在机械产品中,单件与小批量产品占到 70%~80%。由于这类产品的生产批量小、品种多,而且当产品改型时,机床与工艺设备均需作较大的调整。因此,这类产品的生产不仅对机床提出了“三高”(高效率、高精度、高自动化)要求,而且还要求机床应具有较高的适应产品变化的能力。这类产品的零件一般都采用通用机床来加工,通用机床的自动化程度不高,基本上由人工操作,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些由曲线、曲面组成的复杂零件,只能借助划线和样板用手工操作的方法来加工,或者利用靠模和仿型机床来加工,其加工精度和生产效率都受到很大的限制。实现这类产品生产的自动化,已成为机械制造业长期致力于解决的难题。

数控机床正是为解决单件、小批量,特别是高精度、复杂型面零件加工的自动化生产要求应运而生的。1952 年美国 PARSONS 公司与麻省理工学院(MIT)合作研制了第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床,它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的技术成果,是一种新型的机床,可用于加工复杂曲面零件。该铣床的研制成功,是机械制造业中的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个崭新的阶段。

1.1.2 数控机床的发展

从第一台数控机床问世到现在的半个世纪中,数控机床的品种得以不断发展,几乎所有的机床都实现了数控化。1956 年日本富士通公司研制成功数控转塔式冲床,美国帕克工具公司研制成功数控转塔钻床。1958 年美国 K&T 公司研制出带自动刀具交换装置的加工中心 MC(Machining Center)。20 世纪 60 年代末期,出现了一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统 DNC(Direct Numerical Control)。1967 年

出现了由多台数控机床连接而成的可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统 FMS(Flexible Manufacturing System)。1978 年以后加工中心迅速发展,各种加工中心相继问世。目前,已经出现了包括生产决策、产品设计及制造和管理等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)。

数控机床的应用领域已从航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等机械制造行业,出现了金属成型类数控机床,如数控折弯机、数控弯管机;特种加工数控机床,如数控线切割机、数控火焰切割机、数控激光切割机机床等。其它还有数控绘图机、数控三坐标测量机等。

综上所述,数控机床已经成为组成现代机械制造生产系统,实现设计、制造、检验与生产管理等全过程自动化的基本设备。

1.1.3 我国数控机床的发展简介

我国数控机床开发起步并不太晚,大约与日本、德国、前苏联同步。1958 年,北京第一机床厂与清华大学合作研制成功我国第一台数控铣床,但是,由于相关工业基础差,尤其是数控系统的支撑工业——电子工业薄弱,致使其发展速度缓慢。直到 1970 年,北京第一机床厂的 XK5040 型数控升降台铣床才作为商品小批量生产并推向市场,1975 年沈阳第一机床厂的 CSK6163 型数控车床面世才使数控机床真正实现商品化。在 1974—1976 年间,虽然开发了加工中心、数控镗床、数控磨床和数控钻床,但是由于系统不过关,多数机床没有在生产中发挥作用。

20 世纪 80 年代以来,在消化吸收国外先进技术的基础上,我国数控技术有了新的发展,数控机床才真正进入小批量生产的商品化时代。“七五”、“八五”期间的技术攻关,大大推动了我国数控机床的发展,目前我国已能生产 100 多种数控机床,并研制出了六轴五联动数控系统,可用于复杂型面的加工。尤其是近 10 多年来,我国已研制了具有自主知识产权的数控技术平台和数控系统,但绝大多数全功能数控机床主要还是采用国外的 CNC 系统。

从数控机床的整体来看,无论是可靠性、精度、生产效率,还是自动化程度,我国与世界工业化国家相比都还存在不小的差距,但这种差距正在缩小。随着我国国民经济的发展,企业设备改造和技术更新的深入开展,各行业对数控机床的需求量将大幅度增加,这将有助于促进数控机床的发展。

1.2 数控机床的组成、工作原理与分类

1.2.1 数控机床的工作原理及组成

数控机床加工零件的步骤为:①根据被加工零件的图样与工艺规程,用规定的代码和程序格式编写加工程序;②将所编程序指令输入机床数控装置;③数控装置将程序(代码)进行译码、运算之后,向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号,以驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助动作,最后加工出合格的零件。

数控机床通常由以下几部分组成,其原理框图如图 1-1 所示。

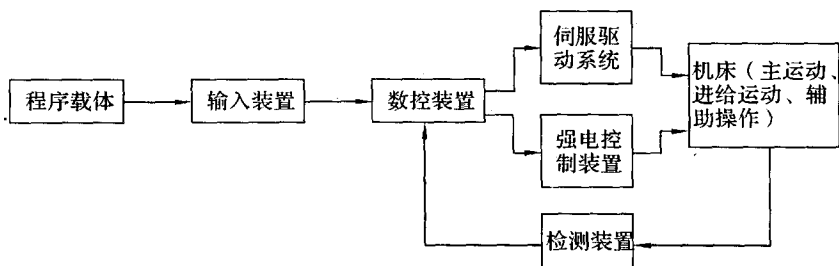


图 1-1 数控机床的组成

1. 程序载体

对数控机床进行控制,首先必须在人与机床之间建立某种联系,这种联系的中间媒介物质称为程序载体(或控制介质)。程序载体上存储着工件所需要的全部几何信息和工艺信息。这些信息是在对工件进行工艺分析的基础上确定的,包括工件在机床坐标系内的相对位置、刀具与工件相对运动参数、工件加工的工艺路线和顺序、主运动和进给运动的工艺参数以及各种辅助操作。用标准代码将这些信息按规定的格式编制成工件的加工程序单,再按程序单制作成穿孔纸带、磁带等多种程序载体,也常用手工直接输入方式将程序输入到数控系统中。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的程序上的数控代码变成相应的电脉冲信号,并将其传送并存入数控装置内。根据程序存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、录放机或软盘驱动器等。有些数控机床,不用任何程序载体,而是将数控程序内容通过数控装置上的键盘,通过手工方式(MDI)输入,或者是将数控程序由编程计算机用通讯方式传送到数控装置中。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它接受输入装置送来的脉冲信号,经过数控装置的系统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来控制机床的各个部分,进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是:由插补运算决定的各坐标轴(即进给运动的各执行部件)的进给位移量、进给方向和速度的指令,经伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动。

4. 强电控制装置

强电控制装置的主要功能是接受数控装置控制的内置式可编程控制器(PLC)输出的主轴变速、换向、起动或停止,刀具的选择和更换,分度工作台的转位和锁紧,工件的夹紧或松开,切削液的开或关等辅助操作的信号。以功率放大直接驱动相应的执行元件,诸如接触器、电磁阀等,从而实现数控机床在加工过程中的全部自动操作。

5. 伺服控制系统

伺服控制系统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的定位运动。由于伺服控制系统是数控机床的最后控制环节,它的伺服精度和动态响应特性将直接影响数控机床的生产率、加工精度以及表面加工质量。

目前,常用的伺服驱动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等。由于交流伺服电动机具有良好的性能价格比,正逐渐成为首选的伺服驱动器件。除了三大类电动机以外,伺服控制系统还必须包括相应的驱动电路。

6. 检测装置

在半闭环和闭环伺服控制装置中,使用位置检测装置间接或直接测量执行部件的实际进给位移,并与指令位移进行比较,按闭环原理,将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。常用的位移检测元件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅及磁栅等。

7. 机床本体

数控机床本体是由主运动部件、进给运动执行部件、床身及工作台以及辅助运动部件、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。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。数控机床的组成与通用机床相似,但传动结构要求更为简单,在精度、刚度、抗振性等方面要求更高,而且其传动和变速系统便于实现自动化控制。

1.2.2 数控机床的分类

数控机床的种类很多,根据其加工工艺、控制原理、功能和组成,可以从几个不同的角度进行分类。

(一)按工艺用途分类

1. 一般数控机床

按工艺用途分类,它和通用机床的分类方法相似,可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床和数控齿轮加工机床等。它们和通用机床的工艺用途相似,但生产率和自动化程度比通用机床高,都适合加工单件、小批量、多品种和复杂形状的工件。

2. 数控加工中心

这类数控机床是在一般数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置,构成一种带自动换刀装置的数控机床。在一次装夹后,可以对工件的大部分表面进行加工,而且具有两种以上的切削功能。例如以钻削为主兼顾铣、镗的数控机床,称为钻削中心;以车削为主兼顾铣、钻的数控机床,称为车削中心;集铣、钻、镗、所有功能于一体的数控机床,称为加工中心。

(二)按控制运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床的运动部件只能够实现从一个位置到另一个位置的精确运动,在运动和定位过程中不进行任何加工工序。数控系统只需要控制行程起点和终点的坐标值,而不控制运动部件的运动轨迹,多用于数控钻床、数控镗床、数控电焊机等。图 1-2 所示为点位控制加工示意图。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床的特点是机床的运动部件不仅能实现一个坐标位置到另一个坐标位置的精确移动和定位,而且能实现平行于坐标轴的直线进给运动或控制两个坐标轴实现斜线的进给运动。用于数控镗床可以在一次安装中对棱柱形工件的平面与台阶进行加工,然后进行点位控制的钻孔、镗孔加工,有效提高了加工精度和生产率。直线控制还可以用于加工阶梯轴或盘类工件的数控车床。图 1-3 所示是直线控制加工示意图。

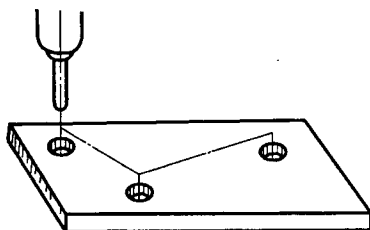


图 1-2 点位控制加工示意图

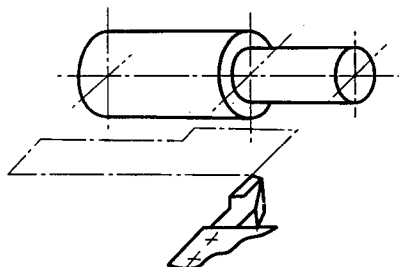


图 1-3 直线控制加工示意图

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制(又称连续控制)数控机床的特点是机床的运动部件能够实现两个或两个以上的坐标轴同时进行联动控制。它不仅要控制机床运动部件的起点与终点坐标位置,而且要控制整个加工过程每一点的速度和位移量,即要控制运动轨迹,用于加工平面内的直线、曲线表面或空间曲面。轮廓控制多用于数控铣床、数控车床、数控磨床等各类数控切削机床,取代了所有类型的仿形加工机床,提高了加工精度和生产率,并极大地缩短了生产准备时间。图 1-4 所示是轮廓控制加工示意图。

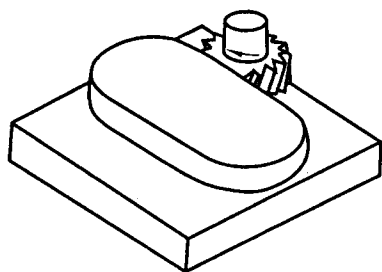


图 1-4 轮廓控制加工示意图

(三)按控制方式分类

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床采用开环进给伺服系统,开环控制系统如图 1-5 所示。这类控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令脉冲,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经传动机构带动工作台移动。这类系统信息流是单向的,即进给脉冲发出去以后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制。

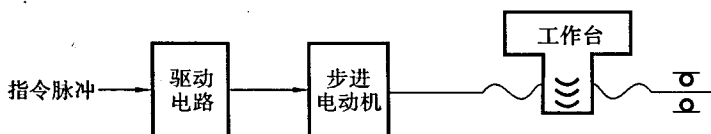


图 1-5 开环控制系统

开环控制系统的优点是结构简单、成本较低、技术容易掌握。其缺点是由于受步进电动机的点距精度和传动机构的传动精度的影响,难以实现高精度的位置控制,进给速度也受到步进电动机工作频率的限制。因此,开环控制系统一般适用于中、小型控制系统的经济型数控机床,特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

2. 闭环数控机床

闭环数控机床的进给伺服系统是按闭环原理工作的。闭环控制系统如图 1-6 所示。这

类控制系统带有直线位移检测装置,直接对工作台的实际位移量进行检测。伺服驱动部件通常采用直流伺服电动机和交流伺服电动机。图中的 A 为速度测量元件, C 为位置测量元件。当位移指令值发出到位置比较电路时,若工作台没有移动,则没有反馈。指令值使得伺服电动机转动,通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路,通过 C 将工作台实际位移量反馈回去,在位置比较电路中位移指令值进行比较,用比较后得出的差值进行位置控制,直到差值为零时为止。这类控制系统,因为把机床工作台纳入了控制环节,故称为闭环控制系统。该系统的优点是可以消除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高。其缺点是由于工作台惯性大,对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨副的灵敏性等都提出了严格的要求,否则对系统稳定性会带来不利影响。同时调试和维修都较困难,系统复杂,成本高,一般适用于精度要求高的数控机床,如数控精密镗铣床。

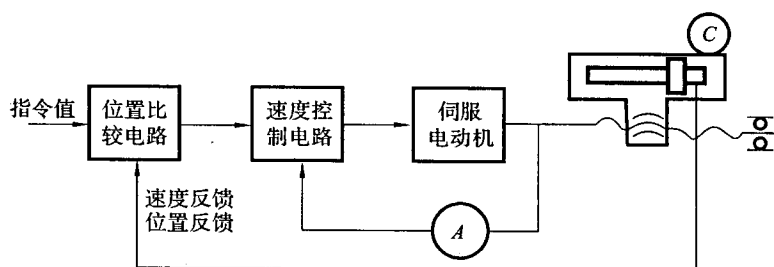


图 1-6 闭环控制系统

3. 半闭环数控机床

半闭环控制系统如图 1-7 所示。这类控制系统与闭环控制系统的区别在于采用角位移检测元件,检测反馈信号不是来自工作台,而是来自与电动机相联系的角位移检测元件 B 。通过测速发电机 A 和光电编码盘(或旋转变压器) B 间接检测出伺服电动机的转角,推算出工作台的实际位移量,将此值与指令值进行比较,用其差值来实现控制。从图 1-7 可以看出,由于工作台没有包括在控制回路中,因而称之为半闭环控制。这类控制系统的伺服驱动部件通常采用宽调速直流伺服电动机,目前已将角位移检测元件与电动机设计成一个部件,使系统结构简单、方便。半闭环控制系统的性能介于开环与闭环之间,其精度没有闭环控制系统高,调试却比闭环控制系统方便,因而得到广泛应用。

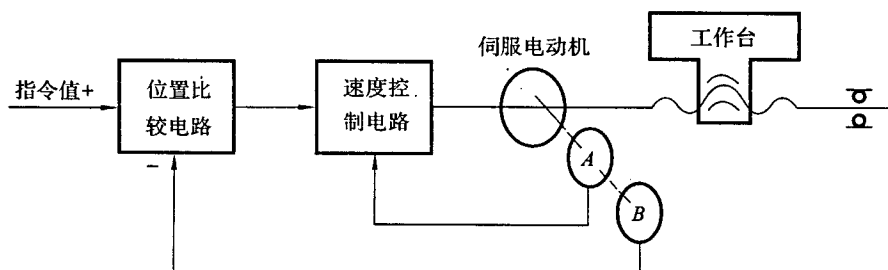


图 1-7 半闭环控制系统

1.3 数控机床的特点与应用

1.3.1 数控机床的特点

1. 加工精度高

数控机床具有很高的刚度和稳定性,其本身精度比较高(一般数控机床的定位精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$,重复定位精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$),还可以利用软件进行精度校正和补偿。同时,在加工过程中工人不参与操作,工件的加工精度全部由数控机床保证,消除了操作者人为误差。因此,工件不但加工精度高,而且尺寸一致性好,加工质量稳定。

2. 加工对象的适应性强

数控机床上改变加工零件时,只需重新编制(更换)程序,输入新的程序就能实现对新的零件加工,这就为复杂结构的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利。对那些普通手工操作的通用机床很难加工或无法加工的精密零件,数控机床也能实现自动加工。

3. 自动化程度高,劳动强度低

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的。操作者除了安放穿孔纸带可操作键盘、装卸工件、关键工序的中间检测以及观察机床运行之外,不需要进行繁杂的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大大减轻。加上数控机床一般具有良好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,操作者的劳动条件也大为改善。

4. 生产效率高

零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比通用机床大,因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床的结构刚性好,因此允许进行大切削用量的强力切削,这就提高了数控机床的切削效率,节省了机动时间。数控机床的移动部件的空行程速度快,工件装夹时间短,辅助时间比通用机床少。

5. 良好的经济效益

数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个零件上的设备折旧费高,但在单件、小批量生产情况下,使用数控机床加工,可节省划线工时,减少调整、加工、检验时间,节省了直接生产费用。使用数控机床加工零件一般不需要制作专用夹具,节省了工艺装备费用。数控机床加工精度稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。此外,数控机床可实现一机多用,节省了厂房面积和建厂投资。因此,使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

6. 有利于现代化管理

采用数控机床加工,能准确地计算出零件加工工时和费用,并有效地简化了检验工夹具、半成品的管理工作,这些特点都有利于现代化的生产管理。

数控机床使用数字信息与标准代码输入,最适宜与数字计算机联接,成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础。

1.3.2 数控机床的应用

数控机床有通用机床所不具备的许多优点,数控机床的应用范围正在不断扩大,但它并

不能完全取代通用机床,也不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的零件:①多品种、小批量生产的零件;②形状结构比较复杂的零件;③需要频繁改型的零件;④价值昂贵、不允许报废的零件;⑤设计制造周期短的急需零件;⑥批量较大精度要求较高的零件。

根据国外数控机床的应用实践,数控加工范围可用图 1-8 粗略表示。

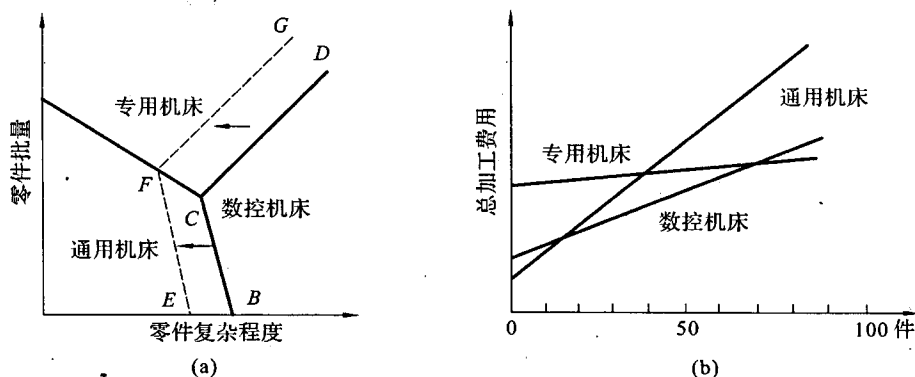


图 1-8 数控机床的加工范围

图 1-8(a)所示为随零件复杂程度和生产批量的不同,三种机床的应用范围的变化。当零件不太复杂,生产批量又较小时宜采用通用机床;当生产批量很大时,宜采用专用机床;而随着零件复杂程度的提高,数控机床愈显得适用。目前,随着数控机床的普及,应用范围正由 BCD 线向 EFG 线复杂性较低的范围扩大。

图 1-8(b)所示为通用机床、专用机床和数控机床零件加工批量与生产成本的关系。从图中看出,在多品种、中小批量生产情况下,采用数控机床总费用更为合适。

1.4 数控机床的发展趋势

数控机床是综合应用现代最新科技成果发展起来的新型机械加工设备。半个世纪以来,数控机床在品种、数量、加工范围与加工精度等方面有了很大的发展,大规模集成电路和微型计算机的发展和完善,使数控系统的价格逐年下降,而精度和可靠性却有很大提高。

近年来,随着电子技术、计算机技术、信息技术以及激光技术的发展并应用于数控机床领域,数控机床的发展进入了一个崭新的时代。数控机床正朝着高可靠性、高柔性化、高精度化、高速度化、多功能复合化、制造系统自动化方向发展。

1. 高可靠性

数控机床的可靠性是数控机床产品质量的一项关键性指标。数控机床能否发挥其高柔性、高精度、高效率并获得良好的经济效益,关键取决于其可靠性。近些年来,已在数控机床产品中应用了可靠性技术,并取得了明显的进展。

衡量可靠性的重要量化指标是平均无故障工作时间(MTBF)。作为数控机床的大脑——数控系统的 MTBF 值已由 20 世纪 70 年代的大于 3 000h、80 年代的大于 10 000h,提

高到 90 年代初的大于 30 000h,根据日本近期介绍,日本 FANUC 公司的 CNC 系统已达到 MTBF 约 125 个月。

数控机床整机的可靠性水平也有显著提高。整机的 MTBF 值已由 20 世纪 80 年代初期的 100~200h 提高到现在的 500~800h。

目前,很多企业正在对可靠性设计技术、可靠性实验技术、可靠性评价技术、可靠性增长技术及可靠性管理与可靠性保证体系等进行深入研究和广泛应用,以期使数控机床的整机可靠性提高到一个新的水平,从而在市场竞争中取胜。

2. 高柔性化

柔性是数控机床最主要的特点,也能在数控机床的各种发展趋势中体现所有新开发技术的主导思想。

柔性是指机床适应加工对象变化的能力。传统的自动化设备和生产线,由于是机械或刚性连接和控制的,故当被加工对象变化时,调整困难,甚至是不可能的,有时只能全部更新、更换。数控机床的出现,开创了柔性自动化加工的新纪元,对于满足加工对象的变化,已具有很强的适应能力。目前,在进一步提高单机柔性化的同时,正努力向单元柔性化和系统柔性化发展。体现系统柔性化的 FMC 和 FMS 发展迅速。美国 FMC 安装的平均增长率达到 72.85%,日本 FMS 安装的平均增长率为 24.26%。据 1994 年 1 月调查,日本的 FMS 拥有量为 2 194 台,FMC 拥有量为 11 506 台。

近些年来,不仅中、小批量的生产方式在努力提高柔性化能力,就是大批量生产方式中,也积极向柔性化方向转向。如出现了 PLC 控制的可调组合机床、数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心、数控三坐标动力单元等具有柔性的高效加工设备和介于传统自动与 FMS 之间的柔性自动线(FTL)。1991 年日本和德国的组合机和自动线产量的数控化率已达到 39%和 29%。

3. 高精度化

高精度化一直是数控机床技术发展追求的目标。它包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度两方面,近 10 年来已取得明显效果。

几何精度中最重要的是定位精度。到 20 世纪 80 年代末期,国外一般的加工中心的全程定位精度已达到 $\pm 0.005 \sim \pm 0.008\text{mm}$ 。90 年代初中期全程定位精度达到 $\pm 0.002 \sim \pm 0.005\text{mm}$ 的加工中心已越来越多。定位精度、机床的结构特性及热稳定性的提高,使得数控机床加工精度得到了大幅度的提高。例如加工中心的加工精度从过去的 $\pm 0.01\text{mm}$ 提高到了 $\pm 0.005\text{mm}$,个别的加工精度已达到 $\pm 0.0015\text{mm}$ 。

纳米技术的应用,使得数控机床的精度又发生了一次革命。从 2001 年 1 月的第七届中国国际机床展览会上可以看到,纳米级超精密数控机床的反馈系统分辨率为 2.5nm ,机械进给系统可实现 5nm 的微小移动,主轴的回转精度为 $0.03\mu\text{m}$,粗糙度 $Ra < 0.008\mu\text{m}$ 。

4. 高速度化

提高生产率是机床技术发展追求的基本目标之一。实现这个目标的最主要、最直接的方法就是提高切削速度和减少辅助时间。

提高主轴转速是提高切削速度的最有效的方法,近 10 多年来,主轴转速已翻了几番。20 世纪 80 年代中期,中等规格的加工中心主轴的最高转速为 $4\,000 \sim 6\,000\text{r/min}$,90 年代初期提高到 $8\,000 \sim 12\,000\text{r/min}$ 。数控机床的主轴转速从 $1\,000 \sim 2\,000\text{r/min}$ 提高到 $5\,000$

~7 000 r/min,数控高速磨削的砂轮线速度从 50~60m/s 提高到 100~200m/s。

减少非切削时间,主要体现在提高快速移动速度和缩短换刀时间与工作台交换时间上。目前,快速移动速度已从 8~12m/min 提高到现在的 18~24m/min, 30~40m/min 的移动速度也稳定用于生产,最高移动速度达到 100m/min,因而大大减少了非切削时间。

在缩短换刀时间和工作台交换时间方面也取得了较大的进展。数控车床刀架的转位时间已从过去的 1~3s 减少到 0.4~0.6s。加工中心由于刀库换刀结构的改进,使换刀时间从 5~10s 减少到 1~3s。而工作台交换时间也由 12~20s 减少到 6~10s,有的减少到 2.5s 以内。

5. 复合化

复合化包括工序复合化和功能复合化。数控机床的发展也模糊了粗、精加工工序的概念。加工中心(包括车削中心、磨削中心、电加工中心等)的出现,又把车、铣、镗、钻、磨等类的工序集中到一台机床来完成,打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程。一台具有自动换刀装置、自动交换工作台和自动转换立、卧主轴头的镗铣加工中心,不仅一次装夹便可以完成镗、铣、钻、铰、攻螺纹和检验等工序,而且还可以完成箱体件五个面的粗、精加工的全部工序。

近年来,又相继出现了许多跨度更大的、功能集中的复合型数控机床,如美国 CIN-NATIMILACRON 公司的车、铣、镗型多用途制造中心,意大利 SAFOP 公司的车、铣、镗、磨复合机床,瑞士 RASKIN 公司的冲孔、成型与激光切割复合机床,WHITNEY 公司等离子加工与冲压复合机床等。

6. 制造系统自动化

自 20 世纪 80 年代中期以来,以数控机床为主体的加工自动化已从“点”(单台数控机床)发展到“线”的自动化(FMS、FTL)和“面”的自动化(柔性制造车间)。结合信息管理系统的自动化,逐步形成整个工厂“体”的自动化。在国外已出现了 FA(自动化工厂)和 CIM(计算机集成制造)工厂的雏形实体。尽管这种高自动化的技术不够完备,投资过大,回收期较长,但数控机床的高自动化已经向 FMC、FMS 系统集成方向发展,其仍是机械制造业发展的主流。

制造系统的自动化除了进一步提高其自动编程、自动换刀、自动上料下料、自动加工等自动化程度外,在自动检测、自动监控、自动诊断、自动对刀、自动传输、自动调度、自动管理等方面也进一步得到发展,同时也提高了其标准化和进给的适应能力,实现“无人化”管理正常生产的目标。

练习与思考

1. 数控机床有何特点? 适合加工何种类型的零件?
2. 数控机床由哪几部分组成? 各有什么作用?
3. 数控机床可分为哪些种类?
4. 数控机床伺服系统分哪几种? 各有何特点?
5. 何为点位控制、直线控制、轮廓控制? 三者有何区别?

第 2 章 数控编程基础

2.1 数控编程的概述

我们知道,在普通机床上加工零件时,一般是由工艺人员按照设计图样事先制定好零件的加工工艺规程。在工艺规程中制定出零件的加工工序、切削用量、机床的规格及刀具、夹具等内容。操作人员按工艺规程的各个步骤操作机床,加工出图样给定的零件,也就是说零件的加工过程是由人来完成,例如开车、停车、改变主轴转速、改变进给速度和方向、切削液开与关等都是由工人手工操纵的。数控机床和普通机床不同,整个加工过程中不需要人的操作,数控机床的动作是由数控程序控制的。

2.1.1 数控编程的概念

数控机床是按照事先编制好的加工程序,自动地对被加工零件进行加工。我们把零件的加工工艺路线、工艺参数、刀具的运动轨迹、位移量、切削参数(主轴转数、进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(换刀、主轴正转、反转、切削液开、关等),按照数控机床规定的指令代码及程序格式编写成加工程序单,再把程序单中的内容记录在控制介质上(如穿孔纸带、磁带、磁盘等),然后输入到数控机床的数控装置中,从而指挥机床加工零件。这种从零件图的分析到制成控制介质的全部过程叫数控程序的编制。从以上分析可以看出,数控机床与普通机床加工零件的区别在于数控机床是按照程序自动加工零件,而普通机床要由人来操作,我们只要改变控制机床动作的程序就可以达到加工不同零件的目的。因此,数控机床特别适用于加工小批量且形状复杂、要求精度高的零件。

由于数控机床要按照程序来加工零件,零件程序编制好以后,通常要把它记录在控制介质上,这主要是为了保存程序和便于程序的输入。也可以直接通过机床的操作面板来手动输入零件的加工程序,并把程序保存在数控装置的内存中,这称为手动输入方式即 MDI。常用的控制介质有穿孔纸带、数据磁带、软磁盘等。

1. 穿孔纸带

穿孔纸带是过去数控机床上常用的控制介质,它是把数控程序按一定的规则制成穿孔纸带,数控机床通过纸带阅读装置把纸带上的代码转换成数控装置可以识别的电信号,经过识别和译码以后分别输送到相应的寄存器,这些指令作为控制与运算的原始依据,控制器根据指令控制运算及输出装置,达到对机床控制的目的。常用的是八单位标准穿孔纸带。

2. 数据磁带

数据磁带是将编制好的程序录制在数据磁带上,在加工零件时,再将程序从数据磁带上读入数控系统,从而控制机床动作。