



中等职业学校数控专业教学用书

数控编程

主 编	王贤平	
副主编	向山东	
参 编	张弘扬	罗 龙
	江 波	游贤容



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

数 控 编 程

主 编 王贤平
副主编 向山东
参 编 张弘扬 罗 龙
江 波 游贤容

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是根据《中等职业学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》编写的,充分体现中澳职教特色,内容全面、系统,力求体现先进性、应用性和实用性。理论知识以够用为度,应用实例紧密结合生产实际情况,力求拓展学生的知识面,增强学生的实际动手能力。本书内容分7章,讲述了数控车床的工作原理和构成、加工工艺基础知识、编程基础知识,数控车床、数控铣床、数控线切割的编程与操作,常见故障诊断及排除,其他数控系统及自动编程简介等内容。重点讲述了数控车床的编程与操作。

本书有大量详实的例子,可作为中等职业学校机械、机电类专业的数控技术应用专业,职业技术学院机电一体化、机械制造类专业教材;也可作为机械类工人岗位培训和自学用书及有关技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程/王贤平主编. —重庆:重庆大学出版社,
2006. 12

(中等职业教育数控技术应用系列教材)

ISBN 7-5624-3752-1

I. 数... II. 王... III. 数控机床—程序设计—专
业学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090895 号

数 控 编 程

shukong biancheng

主 编 王贤平

副主编 向山东

参 编 张弘扬 罗 龙

江 波 游贤容

责任编辑:谭 敏 曾春燕 版式设计:谭 敏

责任校对:夏 宇 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:337千

2006年12月第1版 2006年12月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-3752-1 定价:18.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

数控技术的广泛应用,给传统制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来了深刻的变化,也给传统的机电类专业人才的培养带来了新的挑战。根据教育部颁布的《中等职业学校数控技术应用专业领域技能型人才培养培训指导方案》开发编写了本专业系列教材。

本书是中等职业技术教育机电一体化、模具设计与制造、电气控制、数控机床应用及加工技术等专业的教学用书。在编写过程中,我们遵从“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”的编写原则,从中等职业教育的实际出发,以培养技术应用型人材为目的,在理论上以“必须、够用”为度,加强职业的针对性和技术的实用性,不过多地进行不必要的理论推导,而是以数控编程方法为主要内容。同时为了培养学生的创新、创业精神,本书对数控机床的维护,各种数控系统,CAD/CAM 图形交互式自动编程系统等也进行了简单介绍。

本书由王贤平担任主编,向山东担任副主编。第1,6章由王贤平编写,第2,5章由向山东编写,第7章由张弘扬编写,第4章由罗龙编写,第3章由王贤平、向山东、张弘扬编写,江波、游贤容参加了第6章的编写。

教材编写过程中,得到了重庆市工业学校、荣昌职中、重庆五一高级技工学校等领导的关心和大力支持,在此一并致谢。

由于编写时间仓促和水平所限,书中难免存在缺点和不当之处,敬请专家、同仁和广大读者批评指正。

编者

2006年7月

教师信息反馈表

为了更好地为教师服务,提高教学质量,我社将为您的教学提供电子和网络支持。请您填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回,我社将免费向您提供相关的电子教案、网络交流平台或网络化课程资源。

请按此裁下寄回我社或在网上下载此表格填好后通过E-mail发回

书名:			版次	
书号:				
所需要的教学资料:				
您的姓名:				
您所在的校(院)、系:	校(院)		系	
您所讲授的课程名称:				
学生人数:	_____人	_____年级	学时:	
您的联系地址:				
邮政编码:		联系电话	(家)	
			(手机)	
E-mail:(必填)				
您对本书的建议:			系主任签字	
			盖章	

请寄:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)
重庆大学出版社市场部

邮编:400030

电话:023-65111124

传真:023-65103686

网址:<http://www.cqup.com.cn>

E-mail:fxk@cqup.com.cn

目 录

第1章 数控机床概论	1
1.1 数控机床概述	1
1.2 数控机床的基本组成	2
1.3 数控机床的工作流程	4
1.4 数控机床的分类	5
1.5 数控机床的特点和应用范围	8
1.6 数控加工技术的发展趋势	10
本章小结	11
复习思考题	11
第2章 数控加工及程序编制基础	13
2.1 编程中的数学处理	13
2.2 数控机床的坐标系	19
2.3 数控加工刀具	22
2.4 数控加工的工艺分析	27
2.5 数控加工程序的格式及编制方法	34
本章小结	37
复习思考题	37
第3章 数控车床编程及加工实训	38
3.1 数控车床编程基础	38
3.2 数控车床编程的单一指令	43
3.3 数控车床编程的固定循环指令	60
3.4 数控车床编程的复合循环指令 G71/G72	71
3.5 数控车床的基本操作	77
3.6 数控车床编程实例及加工实训	82
本章小结	108

复习思考题	109
第4章 数控铣床编程及加工实训	111
4.1 数控铣床编程基础	111
4.2 数控铣床编程指令	120
4.3 数控铣床的基本操作	141
4.4 数控铣床编程实例及加工实训	148
本章小结	153
复习思考题	154
第5章 数控线切割编程及加工实训	156
5.1 数控线切割机床简介	156
5.2 数控线切割加工程序编制	157
5.3 数控线切割加工机床操作及加工实训	161
本章小结	167
复习思考题	167
第6章 其他数控系统简介	168
6.1 FANUC 数控系统	168
6.2 SINUMERIK 数控系统	170
6.3 华中 HNC—21/22T 型数控系统简介	173
6.4 自动编程系统简介	176
本章小结	182
复习思考题	182
第7章 常见故障诊断及排除	183
7.1 数控机床的操作规程	183
7.2 数控机床的保养及维护	184
7.3 数控车床常见故障及排除	186
本章小结	195
复习思考题	195
附录	196
附录1 准备功能指令(G 指令)含义对照表	196
附录2 辅助功能指令(M 指令)含义对照表	199
参考文献	202

第 1 章 数控机床概论

1.1 数控机床概述

1.1.1 数控机床的产生与发展

20 世纪人类最伟大的发明之一——计算机的出现和应用,为人类提供了实现机械加工自动化的理想手段。当科技人员首次把计算机作为一种信息处理装置运用到机床中时,一种新的产品——数控机床就诞生了。特别是在近代工业生产中,机械加工的自动化是提高产品质量和生产效率的重要措施。大型企业采用凸轮、挡块、靠模板及电气元件等控制的自动机床、组合机床和专用机床进行大批量生产,取得了良好的经济效益。但在机械制造业中,单件及小批量生产的零件占机械加工总量的 80% 左右;随着科学技术和社会生产的飞速发展,零件形状复杂、改型频繁、精度要求提高的情况日显突出,使用那些“刚性”自动化设备来生产就显得不合理,有的根本就不可能实现。数控机床的诞生,较好的解决了精密、复杂、多品种、单件小批量机械零件加工自动化的问题。

数值控制简称数控(Numerical Control,简称 NC):是指用数字化信号对机床进行控制的一种方法。数控技术广泛应用于机械加工、化工生产、钢铁生产等各个领域。

数控机床(Numerical control machine tools):采用数字化信息处理控制的机床,或者说是装备了数控系统的机床,称为数字控制机床,简称数控机床。它是一种技术密集度和自动化程度都比较高的机电一体化加工装备。

1947 年,美国的 Parsons 公司为了提高生产飞机零件的靠模和机翼检查样板的精度及效率,提出了用穿孔卡来控制机床的设想;后与麻省理工学院合作,于 1952 年研制出了世界上第一台试验性的三坐标数控立铣床,控制装置由真空管组成。1954 年生产出了第一台工业用的数控机床。

半个世纪以来,随着自动控制技术、微电子技术、计算机技术、精密测量技术及机械制造技术的迅速发展,数控机床也得到了快速发展,产品不断更新换代,品种不断增多。就数控装置而言,大致经历了以下几个发展过程:第一代数控机床从 1952 年至 1959 年,采用电子管元件;第二代数控机床从 1959 年开始,采用晶体管元件;第三代数控机床从 1965 年开始,采用集成电路;第四代数控机床从 1970 年开始,采用大规模集成电路及小型通用计算机。第五代数控机床从 1974 年开始,采用微处理器或微型计算机。

1.1.2 数控机床与普通机床的区别

1) 数控机床具有手动加工、机动加工和程序控制自动加工功能,加工过程一般不需要人工干预。而普通机床只具有手动加工和机动加工功能,加工过程全部由人工干预。

2) 数控机床一般具有 CRT 屏幕显示功能,显示加工程序、工艺参数、加工时间、刀具运动

轨迹及工件图形等。数控机床还具有自动报警功能,根据报警信号或报警提示,可以迅速查找找到机床故障。而普通机床则不具备上述功能。

3)数控机床的主传动和进给传动采用直流或交流无级调速伺服电动机,不需要主轴变速箱和进给变速箱,因此传动链短。而普通机床主传动和进给传动一般采用三相交流异步电动机,由变速箱实现多级变速以满足工艺要求,机床传动链长。

4)数控机床一般具有位移测量显示系统,在加工过程中不需要对工件尺寸进行人工测量。而普通机床在加工过程中,必须由人工不断地进行测量,以保证工件的加工精度。特别是在加工一些复杂曲面零件时,数控加工的优势更加明显,在普通机床上加工曲面时只能采用成型刀具,由于刀具位置有限,在加工多个圆弧时就很困难,而数控机床则很容易加工。

5)数控机床有利于实现机械加工的现代化管理,数控系统能准确计算并自动记录加工过程,便于半成品、成品加工统计资料的分析。能实现计算机对数控机床的集中控制与管理,其性能远高于普通机床,见表 1.1。

表 1.1 数控机床与普通机床的性能比较

序 号	主要性能	数控机床	普通机床
1	加工复杂零件的能力	高	低
2	加工对象发生改变时的柔性程度	高	低
3	零件的加工质量和加工精度	高	低
4	加工效率	高	低
5	设备的利用率	高	低
6	进行产品优化和 CAD 功能	高	低
7	产品的初期投入	高	低
8	对操作人员的技术要求	高	低
9	对生产计划和准备的要求	高	低
10	设备的使用费用(人力、原材料等)	低	高
11	维护和维修费用	高	低
12	对不合格产品进行再加工的费用	低	高

数控机床与普通机床最显著的区别是:当加工对象(工件)改变时,数控机床只需要改变加工程序(软件),而不需要对机床做较大的调整,即能加工出各种不同的工件。

1.2 数控机床的基本组成

1.2.1 数控机床的组成

数控机床主要由机床本体和计算机数控系统两大部分组成,而数控系统又包括输入/输出装置、数控装置、伺服系统(包括检测反馈装置)。因此也可以认为数控机床主要由机床本体、输入/输出装置、数控装置和伺服系统 4 部分组成,如图 1.1 所示。

1.2.2 机床本体

机床本体是数控机床的主体,由基础件(如床身、底座)和运动件(如工作台、床鞍、主轴箱等)组成,用于完成各种切削加工。它是在普通机床的基础上发展起来的,但传动系统、操作机构、刀具装置、外观造型及布局方面都有很大的变化和改进。它不仅要实现由数控装置控制的各种运动,而且还要承受包括切削力在内的各种力,因此机床本体必须保证有良好的几何精度、足够的刚度、小的热变形、低的摩擦阻力,才能有效地保证数控机床的加工精度。

所以,数控机床本体与普通机床相比,具有以下特点:

1) 采用了高性能主轴部件及传动系统,机械传动结构简化,传动链较短,传递效率高。采用高性能,宽调速范围的交、直流主轴电动机和伺服电动机,从而省略很多齿轮及传动轴,提高了传动精度和可靠性。

2) 机械结构具有较高刚度和耐磨性,热变形小。

3) 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠、静压导轨、滚动导轨等。其目的主要是使传动轻巧精密,消除爬行。数控机床要求能在高速下运行平稳,定位精度高,因此要求进给系统的机械传动装置和元件要具有灵敏度高、无间歇、摩擦阻力低、寿命高等特点。数控机床常用的传动部件有滚珠丝杠副、静压螺杆—螺母副和预加载荷双齿轮—齿条机构等。

例如数控车床采用滚珠丝杠传动使传动轻巧精密;用滚动导轨或贴塑导轨消除爬行;采用主轴电机和变速齿轮的变速机构,实现无级变速的同时还减少了变速齿轮的级数;机床的工作台装有位置和速度检测反馈装置;机床可配置有切屑处理装置及自动交换工作台等。

1.2.3 数控系统

数控系统是数控机床的核心,其中包括硬件装置和数控软件两大部分,由输入/输出设备、数控装置、伺服单元、驱动装置(或执行机构)、可编程控制器(PLC)及电气控制装置和检测反馈装置等组成。

1. 输入/输出设备

数控机床必须接收由操纵人员输入的零件加工程序,才能按加工程序加工出所需要的零件。在向数控系统输入命令后的加工过程中,数控装置为操作人员显示必要的信息,如切削方向、坐标值、报警信号等。此外,输入的加工程序并非完全正确,时常需要进行编辑、修改和调试。上述操作人员与机床数控系统的信息交流过程,由数控系统中的输入/输出设备(交互设备)完成。而输入装置与输入方法有关,一般有以下几种:

(1) 控制介质输入

所谓控制介质就是数控信息的物质载体,通常有穿孔纸带、磁带、磁盘等;相应的输入装置是光电纸带阅读机、录音机、磁盘驱动器等。但由于微型计算机的普遍使用,这种方法已很少使用。

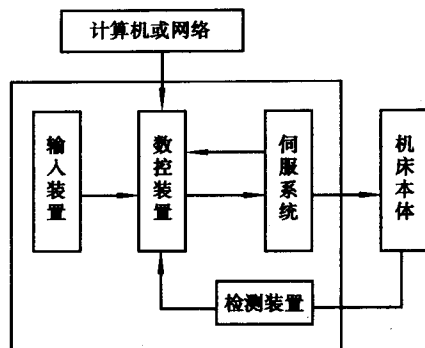


图 1.1 CNC 系统的组成

(2) 手工输入

键盘和显示屏是数控系统不可缺少的人机交互设备,操作人员可通过键盘及显示器输入程序、编辑修改程序和发送操作命令。手动数据输入 MDI (Manual Data Input) 是最重要的输入方式之一,键盘是 MDI 中最主要的输入设备。显示器为操作人员提供程序编辑或机床加工信息,较简单的显示器只有若干个数码管,所显示的字符信息量很有限,较高级的系统配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器,能显示字符、加工轨迹和图形等丰富的信息量。

(3) 用串行、通信方式输入

随着 CAD/CAM 和 CIMS 技术的发展,机床数控系统的计算机通信功能显得越来越重要。通过计算机或者网络,将编制好的加工程序通过通信接口直接输入数控装置的存储器中。

2. 数控装置

数控装置主要包括微处理器 CPU、存储器、局部总线、外围逻辑电路和通用 I/O 接口等。其作用就是根据输入的数据段,插补运算出理想的运动轨迹,输出到执行部件(伺服单元、驱动装置等),加工出所需要的零件。输入、轨迹插补、位置控制是数控装置的三项基本任务。由 CNC 的系统程序(亦称控制程序)组织完成,保证使整个数控系统有条不紊地进行工作。

数控装置的主要功能是读入数值、存储、运算处理,产生控制信息控制机床运动,按确定的顺序和设定的条件去实现程序控制。

3. 伺服系统

伺服系统包括驱动装置、执行机构及速度、位置检测反馈装置。伺服系统的作用是接收来自数控装置的进给指令,经变换和放大后通过驱动装置转换成机床工作台的位移运动,检测反馈装置将工作台位移量转换成电信号,并且反馈给数控装置,如果与指令值相比较有误差,则控制工作台向消除误差的方向移动。

伺服系统是数控装置和机床本体的联系环节,数控装置的指令主要靠伺服驱动系统付诸实施,所以,伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上讲,数控机床功能的强弱主要取决于数控装置,而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

数控系统按有无检测装置可分为开环、闭环系统。开环系统精度取决于步进电动机和丝杠精度,闭环系统精度取决于检测装置精度。

1.3 数控机床的工作流程

数控机床是用数字信息进行控制的机床。其工作流程就是根据被加工零件的要求用代码化的数字信息将刀具移动轨迹信息记录在程序介质上,然后送入数控系统经过译码和运算,控制机床刀具与工件的相对运动,从而加工出所需工件。数控加工基本工作流程见图 1.2 所示。

由图 1.2 可知,数控机床在加工前,首先要分析被加工零件的零件图,确定哪一些部位用数控加工,哪一些部位用普通机床加工;哪一些部位是重要表面,是必须首先保证的。第二就是拟订零件加工工艺方案,明确加工工艺参数。在这一步中,必须明确先加工哪个部位,后加工哪个部位,用什么刀具加工,采用怎样的加工路线,如何既保证加工质量,同时又保证有高的加工效率。这部分是数控加工的关键。第三,按编程规则编制数控加工程序。当加工零件的几何信息和工艺信息转换为数字化信息(程序)后,就可以用不同方法输入到机床的数控系统中,数控系统经过译码和运算,转化成机器所能识别的语言,从而控制机床刀具与工件的相对

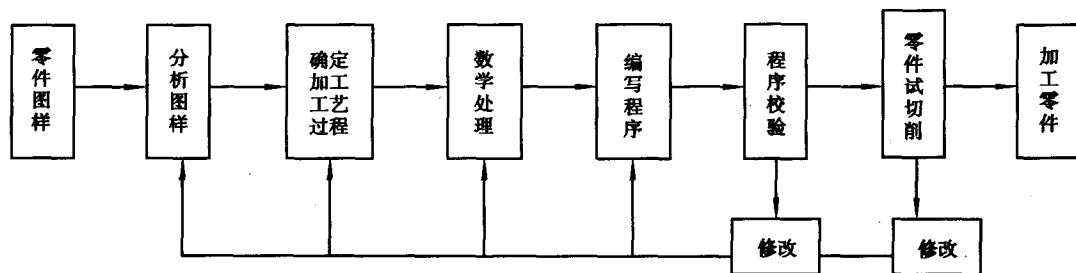


图 1.2 数控机床加工工件的基本过程

运动,加工出工件。在加工工件前,需对加工程序进行校验,经检查无误即可启动机床,运行数控加工程序,数控装置会自动完成数控加工程序发出的各种控制指令。如果不出现故障,直到加工程序运行结束,零件加工完毕为止。数控加工的控制过程与计算机控制打印机打印过程,特别是与计算机控制绘图机绘图的过程非常相似。

1.4 数控机床的分类

1.4.1 按加工工艺方式分类

- 1) 普通机床类。属于此类的有数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床等。
- 2) 数控加工中心类。有立式加工中心、卧式加工中心、车削加工中心、铣削加工中心等。
- 3) 特种加工机床类。有数控电火花、数控线切割、激光加工机床等。

1.4.2 按控制系统功能特点分类

1) 点位控制(Point to Point Control, PTP)

这种类型的机床只能控制刀具、工作台等移动部件的目的位置,即只可实现刀具、工作台等移动部件从一个位置到另一个位置的精确定位,而对移动轨迹没有严格要求,并且在移动和定位过程中不进行任何加工,如图 1.3 所示。

数控钻床、冲压机、点焊机、弯管机等机床的运动控制方式就属于此类。为了精确定位和提高定位速度,机床启动后,移动部件首先高速运行,然后减速以实现慢速接近定位点并最后准确定位。3 个以上的多位置(点)先后定位,应选择刀具运动次序(加工次序),以保证加工质量、提高刀具寿命,并缩短运动路线,节省时间。需要注意的是,选择运动次序时,要防止刀架或刀具在运动过程中与工件、夹具或机床部件相碰,如图 1.3 所示。

2) 点位直线控制(Straight line control or Paraxial control)

点位直线控制简称直线控制。该类型的数控机床控制系统,不仅可以控制刀具或工作台由一个位置点到另一个位置点的精确移动,还可以控制他们以给定的速度沿着平行于某一坐标轴方向移动和在移动过程中进行加工;该类系统也可控制刀具或工作台同时在两个轴向以相同的速度移动,从而沿着与坐标轴成 45° 的斜线进行加工,如图 1.4 所示。应用这类控制系统的有数控车床、数控钻床和数控铣床等。

3) 轮廓控制(Contour control)

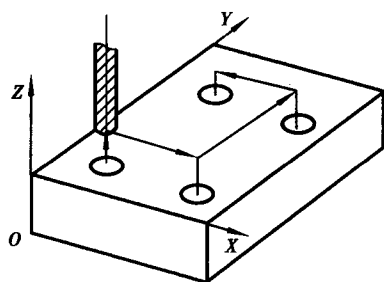


图 1.3 点位控制

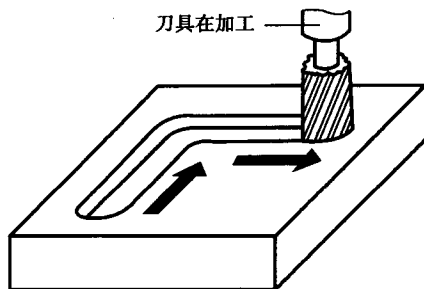


图 1.4 点位直线控制

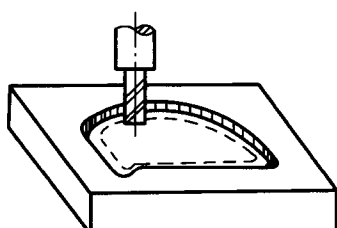


图 1.5 直线控制

轮廓控制也称连续控制。这类机床的控制系统可使刀具或工作台在几个坐标轴方向以各轴向的速度同时协调联动,不仅能控制运动部件的起点与终点,还可以控制其运动轨迹及轨迹上每一点的速度和位移,如图 1.5 所示。应用这类控制系统的有数控铣床、数控车床、数控齿轮加工机床和加工中心等。能进行轮廓控制的数控机床,一般也能进行点位控制和点位直线控制。

1.4.3 按伺服系统控制原理分类

这种分类方法是根据伺服系统测量反馈形式来分的。

1) 开环控制方式

开环控制方式是指伺服系统中不带测量反馈装置的控制方式。开环控制的伺服系统主要使用步进电动机。它是根据输入的数据指令,经过控制运算发出脉冲信号,输送到伺服驱动装置使伺服驱动装置转过相应的角度,然后经过减速齿轮和丝杠螺母机构,转换为移动部件的直线位移,如图 1.6 所示。

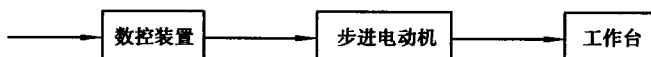


图 1.6 开环控制方式

由于开环控制方式不具有反馈装置,所以对移动部件实际位移量不进行检测,也不能进行误差校正,因此系统精度较低($\pm 0.02 \text{ mm}$)。开环控制系统具有结构简单、工作稳定、使用维修方便及成本低等优点,多用于经济型数控机床中。

2) 半闭环控制方式

半闭环控制方式是将检测装置安装在伺服系统上的控制方式。其基本原理是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。由于半闭环控制方式将移动部件的传动丝杠螺母机构不包括在闭环之内,所以传动丝杠螺母机构的误差仍然会影响移动部件的位移精度,从而影响加工精度。

半闭环控制方式具有结构简单、调试方便、稳定性好、易于维护等特点,因此目前应用比较

广泛,一般用于中等速度和中等精度的数控机床,如图 1.7 所示。



图 1.7 半闭环控制方式

3) 闭环控制方式

闭环控制方式是将检测装置安装在机床移动部件上的控制方式,其基本原理是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,从而达到精确定位。

闭环控制方式的运动精度和定位精度,主要取决于检测装置的精度。但由于机床床身和运动部件也在位置检测装置的检测反馈环中,因此对机床结构的固有频率、结构阻尼、传动间隙、导轨爬行等方面的要求也较为严格,否则会增加数控机床调试的困难,甚至会使伺服系统产生振荡而使机床无法正常进行加工。

闭环控制系统具有定位精度高(一般可达 $\pm 0.01 \text{ mm}$,最高可达 $\pm 0.001 \text{ mm}$)、移动速度快的特点,一般应用在高精度的全功能数控机床上。由于系统增加了检测、比较和反馈装置,所以结构复杂,调试维修比较困难,成本增加,如图 1.8 所示。

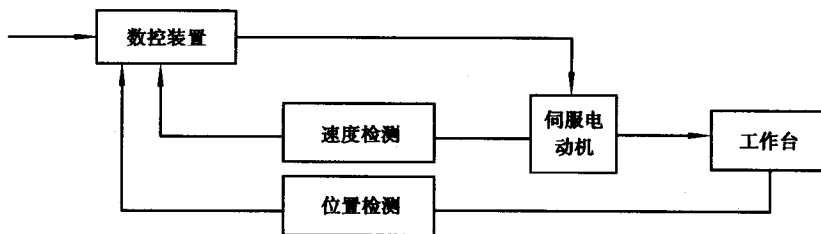


图 1.8 闭环控制方式

对数控机床加工功能、加工精度、生产率和成本等要求不同,所选用的伺服系统控制方式也会不同。表 1.2 为几种控制方式的比较。

表 1.2 几种控制方式的比较

数控机床	控制方式	加工功能	加工精度	成本
经济型数控机床	开环控制方式	单一	低	低
中等速度和中等精度的数控机床	半闭环控制方式	较多	较高	较高
全功能数控机床	闭环控制方式	齐全	高	高

同时在选择数控机床时,以下问题也需要考虑:

- ①数控机床的初始投资费用。
- ②对操作、维护及管理人員的素质要求。
- ③维护和维修费用以及维护的技术难度。

1.4.4 按功能水平分类

这种分类方法目前还没有明确的定义和标准。一般采用的分类标准的主要依据是:CPU 性能、分辨率、进给速度、联动轴数、伺服水平和通信功能等。

1) 经济型数控机床

由单片机与步进电动机组成的数控系统称为经济型数控系统。伺服系统大多使用步进电动机驱动,采用开环控制方式,这类机床功能简单、针对性强、精度较低,主要用于车床、钻床、线切割等经济型数控机床和普通机床的改造、升级。一般采用数码管或简单的 CRT 字符显示,基本具备了计算机控制数控机床的主要功能。

2) 全功能型数控机床

全功能型数控机床一般采用 16 位 CPU 或者更高性能的 CPU,联动轴数在 5 轴以下,使用交、直流伺服电动机,在计算机中采用 2~4 个微处理器进行控制,全功能型数控机床允许最大速度一般为 8~24 m/min,脉冲当量为 0.01~0.001 mm/脉冲,采用交、直流伺服电动机,广泛用于加工形状复杂或精度要求较高的工件。

3) 精密型数控机床

精密型数控机床采用闭环控制,它不仅具有全功能型数控机床的全都功能,而且机械系统的动态响应较快。这类数控系统一般采用 32 位 CPU 或者更高性能的 CPU,现在有些 CNC 装置已采用 64 位的 CPU,联动轴数在 5 轴以上,其脉冲当量一般小于 0.001 mm/脉冲,适用于精密和超精密加工。这类系统有 RS422A 或支持 MAP(自动化协议)的高性能通信接口,具有联网功能。

1.4.5 按可控制联动的坐标轴分类

所谓数控机床可控制联动的坐标轴,是指数控装置控制几个伺服电动机,同时驱动机床移动部件运动的坐标轴数目。

1) 两坐标联动 数控机床能同时控制两个坐标轴联动。如数控车床,其数控装置同时控制 X 和 Z 方向运动,可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。

2) 三坐标联动 数控机床能同时控制 3 个坐标轴联动。如数控铣床,可用于加工曲面零件。

3) 两轴半坐标联动 数控机床本身有 3 个坐标能作 3 个方向的运动,但控制装置只能同时控制两个坐标,而第 3 个坐标只能作等距周期移动,可加工空间曲面。

4) 多坐标联动 数控机床能同时控制 4 个及 4 个以上坐标轴联动,多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂,主要应用于加工形状复杂的零件。

1.5 数控机床的特点和应用范围

1.5.1 数控机床加工特点

与普通机床相比,数控机床是一种机电一体化的高效自动机床,它具有以下加工特点:

1) 能加工复杂型面



由于数控机床能够实现多轴联动,可加工出普通机床无法完成的空间曲线和曲面。因此在航空、航天领域和对复杂型面的模具加工中得到了广泛应用。加工的零件越复杂就越能体现数控机床加工的优越性。

2) 具有广泛的适应性和较高的灵活性

数控机床只需更改加工程序和重新调整刀具,就能满足多品种、中小批量和复杂型面零件的加工要求,生产准备周期短。在一些情况下,甚至只要修改程序中部分程序段或利用某些特殊指令就可实现加工(例如利用缩放功能指令就可加工形状相同尺寸不同的零件)。这为单件、小批量多品种生产,产品改型和新产品试制提供了极大的方便,大大缩短生产准备及试制周期。

3) 加工精度高,质量稳定

由于数控机床采用了数字伺服系统,数控装置每输出一个脉冲,通过伺服执行机构使机床移动部件产生相应的位移量(称为脉冲当量),可达到 $0.01 \sim 0.001 \text{ mm}$;机床传动丝杠采用间隙补偿,螺距误差及其他传动误差可由闭环系统加以控制。因此数控机床能达到较高的加工精度。另外,数控机床结构刚性和热稳定性都较好,制造精度能保证;其自动加工方式避免了操作者人为的操作误差,加工质量稳定,合格率高,同批加工的零件几何尺寸一致性好。

4) 加工生产率高

容易选择较大及合理的切削用量,可以减少许多机动时间。此外,数控机床加工可免去划线工序,节省加工过程的中间检验时间。空行程速度远高于普通机床,由此也能省出大量的辅助时间。同时实现多道工序连续加工;也可实现多机看管。由于采取了加速、减速措施,使机床移动部件能快速移动和定位,大大节省了加工过程中的空行程时间。因此加工效率高。

5) 减轻工人的劳动强度、改善工人的劳动条件

数控加工基本上是自动运行的。工件在加工过程中一般不需要工人的人工干预。特别是在柔性制造系统(FMS)中,由于工业机器人、机械手的使用,使自动化程度大大提高,这就使工人的劳动条件大为改善。

6) 可获良好的经济效益

虽然分摊在每个零件上的设备费(包括折旧费、维修费、动力消耗费等)较高,但生产效率高,单件、小批量生产时节省辅助时间(例如画线、机床调整、加工检验等),产品合格率高,组织生产过程在制品数量少等诸多有利方面,可使生产成本降低。

7) 有利于实现机械加工的现代化管理

数控系统能准确计算并自动记录加工过程,便于半成品、成品加工统计资料的分析。能实现计算机对数控机床的集中控制与管理,特别是在数控机床上使用计算机控制后,为计算机辅助设计与制造以及实现生产过程的计算机管理和控制奠定了基础。

1.5.2 数控机床的应用

数控机床的性能特点决定了它的应用范围。一般而言数控机床主要应用在以下几个方面:

1) 加工精度要求高,形状、结构复杂,尤其是具有复杂曲线、曲面轮廓的零件,或具有不开敞内腔的盒型或壳体零件。这些零件用通用机床很难加工,很难检测,质量也难保证。

2) 必须在一次装夹中完成铣、钻、铰、镗或攻丝等多道工序的零件。

3) 需大批量生产的零件。其主要目的是降低工人的劳动强度,保证批量零件质量的稳定性。

4) 用于改型比较、供性能或功能测试的零件(它们要求尺寸一致性好)。多品种、多规格、单件小批量生产的零件。

5) 生产周期短的急需零件。

6) 价格昂贵,毛坯获得困难,不允许报废的零件。这类零件在普通机床上加工时,有一定难度,受机床的调整、操作人员的精神、工作状态等多种因素影响,容易产生次品或废品。为可靠起见,可选择在数控机床上进行加工。

7) 在通用机床上加工生产率低,劳动强度大,质量难稳定控制的零件。

数控机床具有一般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,并在机械行业中被广泛应用,但是它并不能完全代替普通机床、组合机床和专用机床,而且数控机床不是在任何情况下都能以最经济的方式解决机械加工中的问题。

1.6 数控加工技术的发展趋势

数控机床是综合应用了当代最新科技成果发展起来的新型机械加工机床。随着计算机、自动控制、精密检测及机械制造技术等的高速发展,机床数控技术也得到了巨大的进步。总体上看,数控机床正朝着高速化、高精度、高性能、高可靠性、集成化、网络化方向发展。主要表现在:

1) 高速度、高精度和高效率

速度、精度和效率是机械制造技术的关键性能指标。由于采用了高速 CPU, RISC 芯片,使用有多个 CPU 的控制系统以及高分辨率绝对式检测元件交流数字伺服系统,同时采取改善机床动态特性和静态特性的有效措施,数控机床高速度、高精度和高效率功能会不断提高。

2) 人工智能化控制

人工智能试图用计算机建立人类各种智能行为的模型,并且可望取得突破性进展。实时系统与人工智能相结合,产生了实时智能控制的新领域,现在实时智能控制正沿着自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制和前馈控制等几个主要方向发展。如智能化数字伺服驱动装置,通过识别负载并自动调整参数,使驱动系统获得最佳运行。又如将加工的一般规律、特殊规律和加工经验存入系统,以工艺参数所形成的数据库作为支撑,建立具有人工智能的专家系统。现在已经开发出模糊逻辑控制和带自学功能的人工神经网络电火花加工数控系统。

3) 柔性化和自动化

在数控单机柔性化程度不断提高的同时,单元柔性化和系统柔性化已经成为重要的发展趋势。数控加工编程、检测、监控和管理的自动化控制水平,以空前的速度迅速翻新,同时其标准化、通用化和“进线”适应能力得到有效的增强,“无人化”管理生产的模式开始趋于完善。

4) 复合化和多轴化

可以有效地减少工序和辅助时间的复合加工,朝着多轴、多系列控制功能的方向发展。数控技术的进步提供了多轴和多轴控制,如 FANUC15 系统可控轴数和联动轴数为 2~15 轴,西门子 880 系统控制轴数可达 24 轴。