

21 世纪高等学校机电类规划教材

JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI



工业和信息化部
“十二五”规划教材

机床 数控技术及编程

- ◆ 黄新燕 主编
- ◆ 曹春平 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等学校机电类规划教材

JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI



工

电

二五

机床 数控技术及编程

- ◆ 黄新燕 主编
- ◆ 曹春平 副主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

机床数控技术及编程 / 黄新燕主编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2015. 2
21世纪高等学校机电类规划教材
ISBN 978-7-115-38253-5

I. ①机… II. ①黄… III. ①数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第016877号

内 容 提 要

本书以现代数控机床为基础,较详细地介绍了机床数字控制的原理和最新技术。全书共分6章,主要包括数控机床控制刀具完成轮廓加工的轮廓插补原理、数控机床的加工程序的编制、计算机数字控制装置的类型以及控制软件、典型位置检测装置的工作原理和数控机床的常用伺服系统的工作原理。

本书内容全面、深入,各章既有联系性,又有一定的独立性。可作为工科高等院校数控技术应用类、模具设计与制造类、机械制造及自动化类等机械类专业的教材,也可供从事数控系统研发的技术人员或数控机床编程与操作人员参考。

-
- ◆ 主 编 黄新燕
副 主 编 曹春平
责任编辑 戴思俊
执行编辑 税梦玲
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16.5 2015年2月第1版
字数: 413千字 2015年2月河北第1次印刷

定价: 39.80元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

数控技术涵盖了机械制造、计算机技术、精密测量、信息处理、网络通信、光机电及自动控制等领域的最新成就。它是使生产和制造实现自动化、柔性化和集成化的基础技术。它的发展和应⤿用,开创了制造业的新时代,使世界制造业的水平发生了巨大变化。

本书从企业对数控技术人才的知识 and 基本技能的需求出发,构建教材的理论和知识体系以及实际技能的训练体系。本书的内容主要包括数控的基本概念和发展趋势、数控机床轮廓控制的典型方法、数控机床程序的组成和结构、如何用数控系统的功能字编制数控程序、典型零件数控程序的编制、计算机数控系统的硬件和软件结构、数控机床的典型位置检测装置、典型位置检测装置的工作原理、数控机床伺服系统的类型、不同类型伺服系统的结构和工作原理等。通过本课程的学习,将使学生具备数控技术的基础知识,掌握数控编程的基本技能,了解现代数字化控制的最新技术和方法。

本书既强调基础,又力求体现新知识、新技术,此外还注重实际能力的培养。在编写体例上采用新的形式,简约的文字表述,大量的实物图片,图文并茂,直观明了。注重理论和实践的结合,每一章开始提出本章的目标和学习任务,每一章的结束配套相应的思考题,这样的一种体系有助于学生进行自学和复习。

通过6章内容的学习和训练,学生不仅能够掌握数控技术的基础知识,而且能够掌握典型零件数控加工程序编制的方法,同时掌握典型伺服系统的组成和速度控制方法。

本书的参考学时为32~48学时,建议采用理论与实践相结合的教学模式,各章的参考学时见学时分配表。

学时分配表

章节	课程内容	课时分配	
		讲授	实践训练
第1章	概论	2	
第2章	数控系统的轮廓控制原理	6	
第3章	数控机床的程序编制	10	6
第4章	计算机数字控制装置	4	6
第5章	位置检测装置	4	
第6章	伺服驱动系统	8	2

本书由南京理工大学机械工程学院黄新燕任主编,并编写第1~4章;曹春平任副主编,并编写第5章和第6章。本书的编写得到南京理工大学机电实验中心的帮助,在此表示感谢。

由于时间仓促,编者水平和经验有限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2014年9月

第 1 章 概论	1	3.1.1 数控程序编制的内容和步骤	66
1.1 基本概念	1	3.1.2 程序编制的方法	68
1.1.1 数控机床的产生	1	3.2 数控编程中的工艺处理	68
1.1.2 数控的基本概念	2	3.2.1 数控加工的工艺设计	69
1.1.3 数控机床的特点	2	3.2.2 数控加工的设计	70
1.2 数控机床的组成及分类	3	3.3 程序编制中的数学处理	74
1.2.1 数控机床的组成	3	3.3.1 数学处理的概念	74
1.2.2 数控机床的分类	5	3.3.2 线性逼近的计算方法	75
1.3 数控技术的发展	9	3.3.3 已知平面零件轮廓方程式的 数学处理	77
思考题和习题	12	3.4 数控机床的有关功能规定	86
第 2 章 数控系统的轮廓控制原理	13	3.4.1 数控标准	86
2.1 概述	13	3.4.2 程序编制的有关标准规定	87
2.2 脉冲增量插补算法	14	3.4.3 准备功能(G)和辅助 功能(M)	97
2.2.1 逐点比较法	14	3.5 数控车床程序编制方法及 实例	122
2.2.2 数字积分法	24	3.5.1 数控车床编程中的工艺 处理	123
2.3 数据采样插补法	43	3.5.2 数控车床编程实例	127
2.3.1 插补周期与位置控制周期	43	3.6 数控铣床程序编制方法及 实例	130
2.3.2 插补周期与精度、速度之间的 关系	44	3.6.1 数控铣削编程中的工艺 处理	130
2.3.3 数据采样法直线插补	44	3.6.2 数控铣床编程实例	134
2.3.4 数据采样法圆弧插补	46	思考题和习题	137
2.3.5 空间直线的数据采样法插补 流程	54	第 4 章 计算机数字控制装置	139
2.4 进给速度和加减速度控制	57	4.1 CNC 系统的组成及特点	139
2.4.1 进给速度控制	57	4.1.1 CNC 系统的定义与结构	139
2.4.2 加减速度控制	59		
思考题和习题	65		
第 3 章 数控机床的程序编制	66		
3.1 数控编程的基本知识	66		

4.1.2 CNC 数控系统的主要系统 软件	141	第 5 章 位置检测装置	195
4.1.3 计算机数控系统的特点	142	5.1 感应同步器	196
4.2 计算机数控系统硬件结构	143	5.1.1 结构特点	196
4.2.1 CNC 系统的硬件构成 特点	143	5.1.2 工作原理及应用	196
4.2.2 单微处理器结构	144	5.2 光栅	199
4.2.3 多微处理器结构	145	5.2.1 光栅的构造	200
4.2.4 开放式数控系统	149	5.2.2 工作原理	201
4.3 CNC 系统软件结构及控制	151	5.2.3 光栅信息处理及应用	202
4.3.1 CNC 系统的软硬件组合 类型	151	5.3 编码器	206
4.3.2 CNC 系统的控制软件结构 特点	152	5.3.1 接触式编码器	206
4.4 CNC 的输入及数据处理	155	5.3.2 光电式编码器	207
4.4.1 CNC 的输入	155	5.3.3 编码盘在数控机床中的 应用	209
4.4.2 输入数据处理	158	思考题和习题	210
4.5 刀具补偿原理	163	第 6 章 伺服驱动系统	211
4.5.1 刀具长度补偿	164	6.1 概述	211
4.5.2 刀具半径补偿原理	165	6.2 步进电动机及其驱动控制 系统	213
4.5.3 刀具半径补偿算法	171	6.2.1 步进电动机的工作原理	213
4.5.4 几种刀补特例	182	6.2.2 步进电动机的主要特性	216
4.6 CNC 系统中的可编程序 控制器	184	6.2.3 步进电动机的分类	217
4.6.1 可编程序控制器工作 原理	184	6.2.4 步进电动机的环形分 配器	219
4.6.2 PLC 的特点	187	6.2.5 光电隔离电路	222
4.6.3 PLC 在 CNC 系统中的 应用	187	6.2.6 功率放大电路	222
4.7 典型的 CNC 系统	189	6.2.7 步进电动机驱动电源的 选择	226
4.7.1 FANUC 公司的主要数控 系统	189	6.3 直流伺服电动机及其速度 控制	226
4.7.2 SIEMENS 公司的主要数 控系统	192	6.3.1 直流伺服电动机的结构与 分类	227
思考题和习题	194	6.3.2 直流伺服电动机的调速 原理与方法	227
		6.3.3 直流伺服电动机速度控制 单元的调速控制方式	228

6.4 交流伺服电动机及其速度控制系统	235	6.5.2 直线电动机的基本结构和分类	245
6.4.1 交流伺服电动机的分类与特点	235	6.5.3 直线电动机的基本工作原理	247
6.4.2 交流电动机控制方式	237	6.5.4 直线电动机在机床上的应用	248
6.4.3 交流伺服电动机的变频调速	238	6.6 位置控制	249
6.4.4 交流伺服电动机的矢量控制	241	6.6.1 相位比较伺服系统	249
6.5 直线电动机及其在数控机床中的应用简介	243	6.6.2 幅值比较伺服系统	253
6.5.1 直线电动机的特点	244	6.6.3 数字脉冲比较伺服系统	254
		6.6.4 全数字控制伺服系统	255
		思考题和习题	256

【目标】

了解数控机床是一个典型的机电产品。它是由机床和数控系统两大部分组成的。机床是机械部件,数控系统是电气部件。掌握数控机床的组成、功能和未来的发展趋势,对数控系统有一个基本和全面的认识。

【学习任务】

通过本章的学习,你需要掌握以下的知识。

- 数控的概念
- 数控机床的组成
- 数控机床的分类
- 数控技术的发展

1.1 基本概念

1.1.1 数控机床的产生

社会生产与科学技术的迅速发展使机械产品日趋精密、复杂而且改型频繁。这不仅给机床设备提出了提高精度与效率的要求,也提出了增加通用性与灵活性的要求。特别是宇航、造船、武器生产等部门,它们需要加工的零件具有精度高、形状复杂、批量较小,经常变动的特点。使用普通机床去加工这类零件,不仅劳动强度大、生产效率低,还难以保证精度,有些零件甚至无法加工。

大批量的零件加工使用专用自动化单机、组合机床,以及由它们组成的自动化加工线,可以得到高的加工效率。但是,约占机械加工总量 80% 的单件、小批量零件的加工,不宜使用这类不易变更的“刚性”自动化设备,因此对机床自动化设备提出了“柔性”的要求,即要求它灵活、通用,能迅速地适应加工零件的频繁变化,而不需对设备进行专门的调整及更换专用的工夹具。

微电子技术、自动信息处理、数据处理以及电子计算机的发展,给自动化技术带来了新的概念,推动了机械制造装备的自动化。

第一台数控机床是为了适应航空工业制造复杂零件的需要而产生的。1948年,美国帕森斯(Parsons Co.)公司在研制加工直升飞机叶片轮廓检查用样板的机床时,提出了数控机床的初始设想。受空军委托,该公司与麻省理工学院(MIT)合作开始了三坐标铣床的数控化研究工作,1952年公开发布了世界上第一台直线插补连续控制的三坐标数控铣床样机的诞生。又

经过三年的改进并结合数控程序自动编制方法的研究,数控机床于1955年进入实用阶段。

1.1.2 数控的基本概念

数控(Numerical Control, NC)是数字控制的简称,是利用数字化信息来实现自动控制的方法。数控机床(Numerical Control Machine Tools)是指采用数字化信息控制的机床,数控技术不仅用于控制机床,还可用于控制其他设备。

国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing, IFIP)第五技术委员会对数控机床作了如下的定义:数控机床是一个装有程序控制系统的机床。该系统能够逻辑地处理具有使用号码,或其他符号编码指令规定的程序。

在机床控制中,“数字控制”和“顺序控制”是两种不同的概念,对于“顺序控制”来说,只能控制各种自动加工动作的先后顺序,而对运动部件的位移量不能进行控制。数字控制的过程是一个全自动化过程,使数控设备进行自动控制的那些指令是以数字和文字编码的方式记载在控制介质上,指令经过控制计算机处理和计算后,对各种动作的顺序,位移量以及速度等实现自动控制。

因此,数控机床是一种采用计算机技术,利用数字信息进行控制的高效、能自动化加工的机床。首先,它按照规定的数字化代码表达各种机械位移量、工艺参数、辅助功能(如刀具交换、冷却液开与关等),然后,通过逻辑处理与运算,数控系统发出各种控制指令,从而实现要求的机械动作,自动完成零件加工任务。当加工零件或加工工序变动时,只需改变其指令程序就可以实现新的加工。由此可见,数控机床是一种灵活性很强、技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备。

1.1.3 数控机床的特点

由数控机床产生的背景可知,数控机床在以下一些类型的零件的加工中更能显示出它的优越性:①批量小而又多次生产的零件;②几何形状复杂的零件;③在加工过程中必须进行多种加工的零件;④切削余量大的零件;⑤必须控制公差(即公差带范围小)的零件;⑥工艺设计会变化的零件;⑦加工过程中的错误会造成严重浪费的贵重零件;⑧需全部检测的零件等。概括起来,数控机床具有以下几方面的特点。

1. 加工精度高,产品质量稳定

普通机床是依靠人工控制切削用量,通过加工过程中不断地测量来保证加工精度。数控机床的切削用量是由加工程序指定,并且是按照程序自动进行加工的,避免了受人的经验不足、操作失误或每一次加工过程中参数控制的不一致的影响。现代数控系统还可以利用控制软件补偿机床本身的系统误差,利用自适应控制消除各种随机误差。因此,数控机床可以获得高的加工精度及重复精度,产品质量稳定。

2. 生产效率高

数控机床加工中通常使用较简单的通用夹具,减少了生产准备时间和工件装夹时间。在加工过程中,由于数控机床的重复精度高,简化了检验工作,省去了对工件进行多次测量、检验的时间。数控机床的机械结构刚性较大,可以使用较大的切削用量获得较高的生产率。数控机床可以采用最佳切削参数和最佳走刀路线,因此,缩短了加工时间。据统计,普通数控机床的生产率较普通机床的生产率高2~3倍,尤其是某些复杂零件的加工,生产率可提高十几倍甚至几十倍。随着数控机床的高速化发展趋势,生产效率将不断提高。

3. 适应性和灵活性好

由于市场不断出现多样化、单件、小批量的产品需求,数控机床通过改变程序,就可以加工新品种的零件。因此,可以快速、灵活地满足产品变更的需求。

4. 操作者的劳动强度降低且劳动条件得到改善

数控机床是具有很高自动化程度的全新型机床。它的控制系统不仅能控制机床各种动作的先后顺序,还能控制机床运动部件的运动速度,以及刀具相对工件的运动轨迹。另外,如自动换刀、启停冷却液、自动变速等大部分操作也都不需人工完成,因而大大减轻了工人的劳动强度。

数控机床一般都配有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,操作者的劳动条件可得到很大改善。

5. 生产管理现代化水平提高

在数控机床上加工,能准确计算零件加工时间,加强了零件加工的计划性,便于实现优化调度。检验工作的简化,对工夹具、半成品的管理的减轻,因误操作出废品及损坏刀具的可能性的减少,这些都有利于生产过程的科学管理和信息化管理。

6. 使用成本和维护技术要求高

数控机床的初次投资及维修等费用较高,对管理及操作人员的素质要求也较高,合理地选择及使用数控机床,可以降低企业的生产成本,提高经济效益和竞争能力。

目前,选用数控机床时主要考虑三种因素,即:单件、中小批量的生产;形状比较复杂、精度要求高的零件的加工;更新频繁、生产周期要求短的零件的加工。

1.2 数控机床的组成及分类

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控系统、伺服系统和机床本体四个部分组成,如图 1.1 所示,图中实线所示为开环控制的数控机床框图。

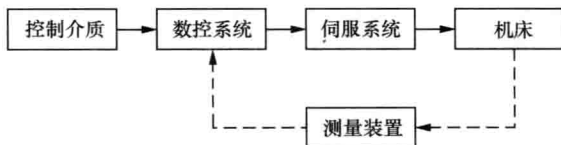


图 1.1 数控机床的组成

为了提高机床的加工精度,在上述系统中再加入一个测量装置(即图 1.1 中的虚线部分),这样就构成了闭环控制的数控机床。

开环控制系统的工作过程为:首先,将控制机床工作台运动的位移量、位移速度、位移方向、位移轨迹等参量通过控制介质输入给机床数控装置,数控装置依据这些参量指令计算出进给脉冲序列;然后,经伺服系统转换放大,控制工作台按所要求的速度、轨迹、方向和距离移动。若为闭环系统,测量装置反馈检测机床工作台的实际位移值,反馈量与输入量在数控装置中进行比较,若有差值,说明二者间有误差,则数控装置控制机床向着消除误差的方向运动,最终按照要求的形状与尺寸完成零件的切削加工。

1. 控制介质

数控机床工作时,不需要工人去摇手柄操作机床,但又要自动地执行人们的意图,这就必须在人和数控机床之间建立某种联系,这种联系的媒介物称为控制介质(或称程序介质、信息载体)。

在通用机床上加工零件时,由工人按图纸和工艺要求进行加工。在数控机床上加工时,则要把加工零件所需的全部动作及刀具相对于工件的位置等内容,用数控装置所能接受的数字和文字代码来表示,并把这些代码储存在控制介质上。

早期数控系统采用的控制介质是标准穿孔纸带。随着计算机技术的发展,控制介质分别以穿孔卡、磁带、磁盘、光盘和 U 盘的形式呈现。至于采用哪一种,则取决于数控装置的配置。

CAD/CAM 技术的发展以及计算机网络技术的发展催生了计算机集成制造系统,可以直接借助网络这个载体来实现中央计算机和数控装置之间的信息的传输。

2. 数控系统

数控系统通常由数控装置和可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)组成。

数控装置是数控机床的中枢,是推动数控技术发展的关键环节。数控装置接收输入介质的信息,并将代码加以识别、储存、运算,输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统,进而控制机床动作。在普通数控机床中,数控装置一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。在计算机数控机床中,数控装置由硬件和软件两大部分组成。数控装置所需具备的主要功能有以下几种。

- ① 多坐标控制(多轴联动)。
- ② 实现多种函数的插补(如直线、圆弧、抛物线、螺旋线等)。
- ③ 多种程序输入功能(人机对话、手动数据输入、由上级计算机及其他计算机输入设备的程序输入以及程序的编辑和修改)。
- ④ 信息转换功能: EIA/ISO 代码转换,英制/公制转换,绝对值/增量值转换等。
- ⑤ 补偿功能: 刀具半径补偿,刀具长度补偿,传动间隙补偿,螺距误差补偿等。
- ⑥ 多种加工方式选择,还可以实现各种加工循环,重复加工,凹凸模加工和镜像加工等。
- ⑦ 故障自诊断和监控。
- ⑧ 多种形式的显示功能: 显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形。
- ⑨ 输入输出接口、通信和联网功能。

在数控系统中,除了进行轮廓轨迹控制和点位控制外,还应控制一些开关量,如主轴的启动与停止、冷却液的开与关、刀具的更换、工作台的夹紧与松开等辅助功能,主要由可编程序逻辑控制器来完成。它除了负责将零件加工程序中的 M 代码、S 代码、T 代码等顺序动作信息转换成对应的控制信号,控制机床完成相应的开关动作,还能接受机床操作面板的指令,直接控制机床的动作。

3. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的指令转换为机床移动部件的运动,使工作台(或溜板)精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出符合图纸要求的零件。因此伺服系统的性能是决定数控机床的加工精度、表面质量和生产率的主要因素之一。

伺服系统包括主轴驱动单元(主要是速度控制)、进给驱动单元(主要有速度控制和位置控制)、主轴电动机和进给电动机。在进给伺服系统中,相对于每个脉冲信号,机床移动部件的位

移量叫作脉冲当量(用 δ 来表示)。常用的脉冲当量为 0.01mm/脉冲、0.005mm/脉冲及 0.001mm/脉冲。一般来说,数控机床的伺服系统要求有好的快速响应性能,以及能灵敏而准确地跟踪指令的功能。

在数控机床的伺服系统中,常用的伺服驱动元件有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。随着交流电动机调速技术的逐步完善,交流伺服电动机应用越来越普遍。

4. 机床

由于数控机床切削用量大、连续加工发热多等因素会影响工件精度,此外,在加工中不能像在通用机床上那样可以随时由人工进行干预。因此,机床本体的设计要求比通用机床更严格,制造要求更精密。在数控机床设计时,多采用新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施,使得数控机床的外部造型、整体布局、传动系统以及刀具系统等方面都有了改进。数控机床的机床本体结构概括起来有下面几个特点。

① 传动链短。数控机床采用了高性能的主轴及进给伺服系统,简化了它的机械传动结构。

② 动态特性好。为了适应连续的自动化加工,机床的动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能都较高。

③ 传动效率高。采用一些高效传动件。如滚珠丝杆螺母副、直线滚动导轨等。

另外,为了保证数控机床的功能得到充分发挥,数控机床还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明等系列装置)和辅助设备(对刀仪等)。

1.2.2 数控机床的分类

目前,数控机床品种齐全,规格繁多,据不完全统计已有 400 多个品种规格。为了研究数控机床,可以按照多种原则来进行分类。但归纳起来,通常按 4 种原则来分类。

1. 按工艺方法分类

(1) 金属切削数控机床

金属切削数控机床依据功能可以分为普通数控机床、数控加工中心和多坐标数控机床。

数控的车、铣、镗、钻、磨床等这类机床实现的工艺和普通机床相似,不同之处是这类数控机床能加工复杂形状的零件。

此外,还有加工中心。它是在一般数控机床上加装一个刀库(可容纳 10~100 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、镗铣类加工中心、车削中心,习惯上简称为加工中心(Machining Center, MC)。

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完成铣(车)、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。因此,和一般的数控机床相比,加工中心具有下列优点。

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。

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。习惯上称此类机床为车削中心(Turning Center, TC)。

有些复杂形状的零件,用三坐标的数控机床还是无法加工,如螺旋桨、飞机上的曲面零件的加工等,需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需形状。于是出现了多坐标的数控机床,其特点是数控装置控制的轴数较多,机床结构也比较复杂,其坐标轴数通常取决于加工零件的工艺要求。现在常用的是4、5、6坐标的数控机床。图1.2为五轴联动的数控加工示意图。这时, x 、 y 、 z 三个坐标与转台的回转、刀具的摆动可以同时联动,加工机翼、叶轮等类零件。

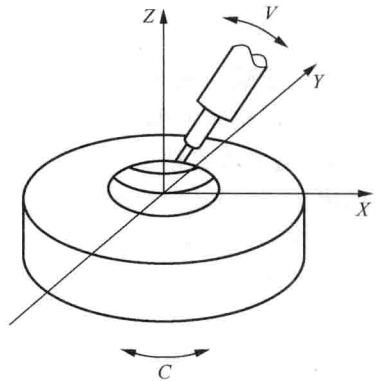


图 1.2 五坐标加工

(2) 金属成形数控机床

金属成形数控机床指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床,如数控压力机、折弯机、弯管机、旋压机等。

(3) 特种加工数控机床

特种加工数控机床主要指数控线切割机、电火花成形机、火焰切割机、激光加工机和快速成形机等。

2. 按控制系统对运动轨迹的控制方式分类

按照数控系统能够控制的刀具与工件间相对运动的轨迹,可将数控机床分为点位控制数控机床、点位直线控制数控机床、轮廓控制数控机床等(见图1.3)。

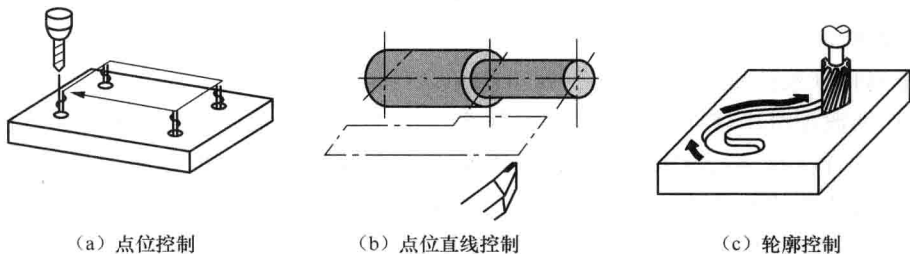


图 1.3 按照控制系统对运动轨迹的控制方式分类

(1) 点位控制数控机床

这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置(点)精确地移动到另一个位置(点),即仅控制行程终点的坐标值,而且在移动过程中不进行任何切削加工,至于相关两点之间的移动速度及路线则取决于生产率。为了在精确定位的基础上获得尽可能高的生产率,相关两点之间的移动通常是首先以快速运动方式移动到接近新点的位置,然后降速1~3级,使刀具慢速趋近定位点,确保刀具定位精度。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等,其对应的数控装置称为点位控制数控装置。

(2) 点位直线控制数控机床

这类机床工作时,不仅要控制相关两点之间的位置(即距离),还要控制相关两点之间的移

动速度和路线(即轨迹)。其路线一般都由和各坐标轴平行或成 45° 的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于:当机床的移动部件移动时,可以沿一个坐标轴的方向(一般也可以沿 45° 斜线,但不能沿任意斜率的直线)进行切削加工,这类机床虽然有 2~3 个可控轴,但可同时控制的轴只有一个。其辅助功能比点位控制的数控机床多,例如,增加了主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能。

这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控加工中心等,其对应的数控装置称为点位直线控制数控装置。

(3) 轮廓控制数控机床

这类机床的控制装置能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点,还要控制整个加工过程中每点的速度和位置,使机床加工出符合图纸要求的复杂形状的零件。

按照联动(同时控制)轴数分,有 2 轴联动、2.5 轴联动、3 轴联动、4 轴联动和 5 轴联动数控机床。2.5 轴联动是三个主要控制轴(x, y, z)中,任意两个轴联动,另一个是点位或直线控制。

这种技术的辅助功能亦比较齐全。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和电加工机床等,其对应的数控装置称为轮廓控制数控装置(或连续控制数控装置)。

3. 按伺服系统的控制方式分类

数控机床按照对被控制量有无检测反馈装置可以分为开环和闭环两种。在闭环系统中,根据测量装置安放的位置又可以将其分为全闭环和半闭环两种。在开环系统的基础上,还发展了一种开环补偿型数控系统。

(1) 开环控制数控机床

在开环控制中,机床没有检测反馈装置(见图 1.4)。其工作过程是:输入的数据经过数控装置运算分配出指令脉冲,通过伺服机构(伺服元件常为步进电机)使被控工作台移动。由于数控装置发出的信息流是单向的,机床加工精度不高,其精度主要取决于伺服系统的性能。

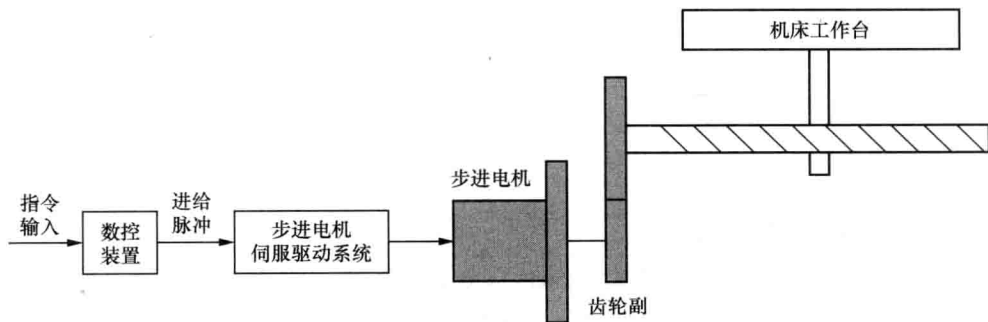


图 1.4 开环控制系统框图

因此,该类机床工作比较稳定、反应迅速、调试方便、维修简单,但由于其控制精度受到限制,因此它适用于一般要求的中、小型数控机床。

(2) 半闭环控制数控机床

由于开环控制精度达不到精密机床和大型机床的要求,所以必须检测它的实际工作位置,为此,在数控机床上增加检测反馈装置,在加工中时刻检测机床移动部件的位置,使之和数控装置所要求的位置相符合,以期达到很高的加工精度。

半闭环控制系统的组成如图 1.5 所示。这种控制方式对工作台的实际位置不进行检查测量,而是通过与伺服电动机有联系的检测元件,如测速发电机、光电编码盘或旋转变压器等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,用此值与指令值进行比较,用差值来实现控制。从图 1.5 可以看出,由于工作台没有完全包括在控制回路内,因而称之为半闭环控制。这种控制方式介于开环与闭环之间,精度没有闭环高,调试却比闭环方便。

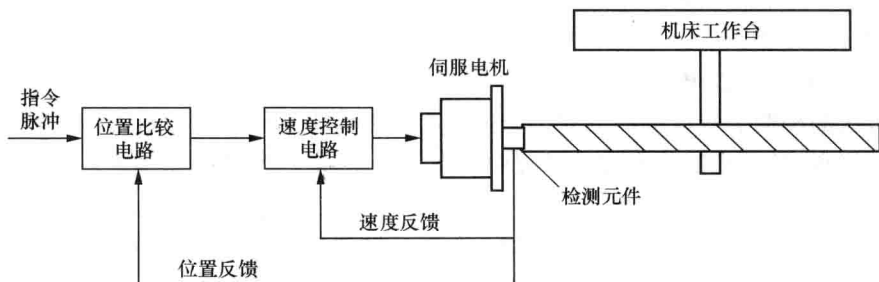


图 1.5 半闭环控制系统框图

(3) 闭环控制数控机床

闭环控制系统框图如图 1.6 所示。当指令值发送到位置比较电路时,若工作台没有移动,则没有反馈量,指令值使得伺服电机转动。通过检测元件将速度反馈信号送到速度控制电路,通过光栅等将工作台实际位移量反馈回去,在位置比较电路中,与指令值进行比较,用比较的差值进行控制,直至差值消除为止,最终实现工作台的精确定位。这类机床的优点是精度高、速度快,但是调试和维修比较复杂。

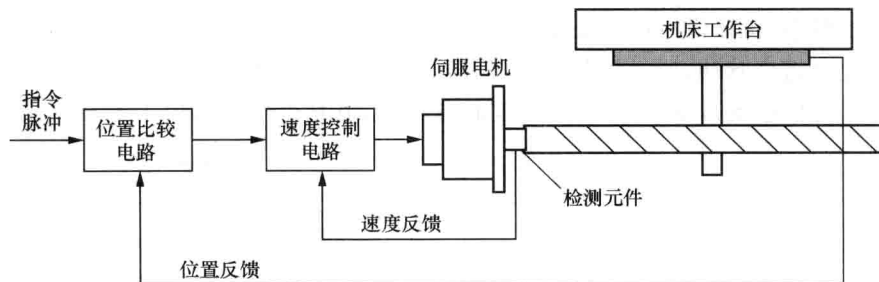


图 1.6 闭环控制系统框图

4. 按数控系统的功能水平分类

按照数控系统的功能水平分,数控机床可以分为经济型、中档型和高档型三种类型。这种分类方法目前并无明确的定义和确切的分类界限,不同国家分类的含义也不同,不同时期的含义也在不断发展变化。

(1) 经济型数控机床

这类机床的伺服进给驱动一般是由步进电机实现的开环驱动,采用 8 位或 16 位单片机作为数控装置,具有简单的 RS232 通信功能,能满足形状比较简单的直线、圆弧及螺纹的加工。一般控制轴数在 3 轴以下,脉冲当量(分辨率)多为 $10\mu\text{m}$,快速进给速度在 $10\text{m}/\text{min}$ 以下。

(2) 中档型数控机床

中档型数控机床也称标准型数控机床,采用交流或直流伺服电机实现半闭环驱动,能实现

4 轴或 5 轴以下联动控制,脉冲当量为 $1\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 24\text{m}/\text{min}$,一般采用 16 位或更高性能的 CPU,具有 RS232C 通信接口、DNC 接口和内装 PLC,具有图形显示功能及面向用户的宏程序功能。

(3) 高档型数控机床

高档型数控机床指加工复杂形状的多轴联动数控机床或加工中心,其功能强、工序集中、自动化程度高、柔性高。一般采用 32 位或更高性能的微处理器,形成多 CPU 结构。采用数字化交流伺服电机形成闭环驱动,并开始使用直线伺服电机,具有主轴伺服功能,能实现 5 轴以上联动。脉冲当量(分辨率)为 $1\sim 0.1\mu\text{m}$,进给速度可达 $100\text{m}/\text{min}$ 以上。具有人性化的图形用户界面,有三维动画功能,能进行加工仿真检验。同时还具有多功能智能监控系统和面向用户的宏程序功能,还有很强的智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定,且具有制造自动化协议(Manufacturing Automation Protocol, MAP)等高性能通信接口,能实现计算机联网和通信。

1.3 数控技术的发展

从 1952 年至今,数控机床按照数控装置的发展,经历了几代变化。随着科学技术的发展,制造技术的进步,以及社会对产品质量和品牌多样化的要求越来越强烈,要求数控机床成为一种高效率、高质量、高柔性和低成本的新一代制造设备。同时,为了满足制造业向更高层次发展,为柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)以及计算机集成制造系统(CIMS)提供基础设备,数控系统正朝着智能化、高速化、高精度、高可靠性、功能复合化、开放性和标准化及网络化等方向发展。

1. 智能化

数控系统应用高技术的重要目标是智能化。在新一代的数控系统中,由于采用“进化计算”(Evolutionary Computation)、“模糊系统”(Fuzzy System)和“神经网络”(Neural Network)等控制技术,其性能大大提高。智能化技术主要体现在以下几个方面。

(1) 自适应控制技术的运用

在数控机床进行加工的过程中,有许多参数的变化会对加工效果产生直接或间接的影响。例如,毛坯余量不均匀,材料硬度不一致,刀具磨损或破损,工件变形,机床热变形等,这些参数的变化是事先难以预测的。编制加工程序时往往采用的是经验数据,而这些经验数据在实际加工时难以适应加工过程的变化,使得加工不是处于最佳状态。现代数控机床采用了自适应控制(Adaptive Control, AC)技术。AC 技术可对机床主轴转矩、切削力、切削温度、刀具磨损等参数值进行自动测量,能根据切削条件变化而自动调整并保持最优工作状态,从而使加工成本降低,加工精度以及零件表面质量提高,还可以自动选择最佳切削用量,使切削效率和刀具寿命大大提高。

(2) 故障自诊断、自修复功能

在系统整个工作状态中,利用数控系统内装程序随时对数控系统本身以及与其相连的各种设备进行自诊断、自检查。一旦出现故障立即采取停机等措施,并进行故障报警,提示发生故障的部位和原因等,并利用“冗余”技术,自动使故障模块脱机,接通备用模块。

(3) 刀具寿命自动检测和自动换刀功能

利用红外、声发射、激光等检测手段,对刀具和工件进行检测。发现工件超差、刀具磨损和