

SHUKONG JISHU YINGYONG JI
SHUKONG XITONG KAIFA

数控技术应用及 数控系统开发

主编 黄文生 张建生



National Defense Industry Press

国防工业出版社

59

6583

数控技术应用及 数控系统开发

主 编 黄文生 张建生
副主编 庄志红 徐红丽

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从数控系统原理、结构和开发的角度出发,系统论述了现代机床数控技术,内容包括数控插补原理、数控机床编程、数控系统构成及硬件软件设计、伺服控制系统和检测装置、数控机床的机械结构和数控新技术(如磁悬浮技术在高档数控中的应用)等。

本书取材新颖,注重内容的先进性、科学性、实用性和系统性,力求做到理论联系实际,面向应用,辅以相应的数控机床编程、操作实验,使读者能迅速掌握现代数控技术的原理并提高应用和自主开发的能力。

本书适合做电气工程及自动化、机械制造及其自动化、机械电子工程、自动化等专业的本科教材(或参考书),也可作为相应专业的专科教材和相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术应用及数控系统开发/黄文生,张建生主
编. —北京:国防工业出版社,2009. 12

ISBN 978-7-118-06701-9

I. ①数… II. ①黄… ②张… III. ①数控机床 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 004399 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 1/2 字数 328 千字
2009 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

数控技术是当今世界制造业中的现代机械系统、机器人、CAD/CAM、FMS 和 CIMS 等高新技术的基础,是机械工业自动化的重要手段。开发和应用数控系统成为我国全面赶超发达国家的一项重要任务,编写本书的宗旨是为从事数控应用及开发的相关专业的本、专科学生提供最新技术的教材,为从事数控技术的工程技术人员提供新型的参考用书,为培养高素质的数控系统开发和数控技术应用的人才服务。

本书针对过去的数控技术教材和图书偏应用缺开发,特别是缺少数控系统开发的系统性知识的不足,以现代机床数控系统为基础,着眼于国内外的最新技术成果,结合编著者多年来从事计算机数控技术的科研和教学的经验体会,较为系统全面地介绍数控系统的硬件和软件结构,使读者了解现代机床数控技术各个方面的内容,包括数控插补原理、数控机床编程、控制伺服系统和检测装置、高档数控机床的磁悬浮技术(如主动磁悬浮电主轴、主动磁悬浮导轨在高档数控中的应用)等。

本书力求做到理论联系实际,深入浅出,介绍数控新技术,同时面向应用,辅以相应的数控机床编程、操作实验教学环节,使读者能迅速掌握现代数控技术的原理并提高应用能力。

本书按实际的教学规律进行合理编排,第一章绪论,使读者对数控机床和数控技术有一个概念上的了解。第二章到第四章作为数控应用介绍数控技术的基本知识,读者通过这三章的学习,一方面对数控机床、数控技术的应用理解更加透彻;另一方面由于结合工程实际,反过来可以为数控系统的优化和改进提出更新更科学的设计思想,为后续学习数控系统开发打下了基础。第五章到第七章是全面介绍数控系统的硬件和软件结构及其新技术,通过这部分学习可对数控系统开发起到入门的作用。第八章是专门介绍数控机床上的关键技术,使读者了解一些前沿知识。

本书由常州工学院电子信息与电气工程学院黄文生、张建生、徐红丽和庄志红编著,黄文生、张建生任主编,庄志红、徐红丽任副主编,其中黄文生编写

第二、三、六章,张建生编写第四、五章,徐红丽编写第一、八章,庄志红编写第七章和附录。

本书的编写和出版,得到了院校领导和同事们的大力支持,并参考了诸多作者的著作和教材,在此一并表示诚挚的谢意。

限于编著者的水平,书中难免有错误和疏漏之处,殷切期望各位读者批评和指正。

编著者

2009年11月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 数控机床概述	1
一、数控机床的特点	1
二、数控机床的构成	3
三、数控机床的工作原理	5
第二节 数控机床的分类	6
一、按控制轨迹分类	6
二、按伺服系统分类	7
三、按功能和用途分类	9
第三节 数控技术的应用与发展	10
一、数控技术的应用	10
二、数控技术的发展趋势	12
习题与思考题	20
第二章 数控系统的插补工作原理	21
第一节 概述	21
一、插补的概念	21
二、插补的方法与特点	22
第二节 逐点比较法	23
一、逐点比较法直线插补	24
二、逐点比较法圆弧插补	25
第三节 数字积分法	27
一、数字积分法原理	27
二、DDA 直线插补	28
三、DDA 圆弧插补	28
第四节 数据采样法	30
一、数据采样插补的原理	30
二、时间分割直线插补	32
三、时间分割圆弧插补	32

第五节	刀具的半径补偿	34
一、	刀具半径补偿的概念	34
二、	B 功能刀具半径补偿计算	35
三、	C 功能刀具半径补偿	36
四、	程序段间转接情况	37
五、	转接交点矢量的计算	41
六、	C 功能刀具半径补偿的实例	43
习题与思考题		43
第三章	数控机床加工程序的编写	45
第一节	编程基础	45
一、	编程步骤	45
二、	编程代码与指令格式	49
第二节	加工程序的编写	57
一、	数控机床坐标系确定	57
二、	常用指令介绍	62
第三节	编程实例	64
一、	车加工编程实例	64
二、	铣加工编程实例	66
三、	磨加工编程实例	71
习题与思考题		72
第四章	数控加工程序的自动编制	73
第一节	自动编程概念	73
一、	计算机辅助编程简介	73
二、	计算机辅助编程的分类	74
第二节	APT 语言简介	75
一、	APT 语句简介	76
二、	APT 语句结构	77
三、	APT 语句的类型	78
四、	APT 语言的零件加工程序举例	79
第三节	CAD/CAM 自动编程	81
一、	图形交互式自动编程的基础	81
二、	CAD/CAM 软件编程功能简介	86
第四节	CAD/CAM 图形交互式自动编程软件 UG	87

一、UG 界面	87
二、三维造型	89
三、CAM 加工程序编制	90
四、三维建模及数控编程实例——手机外壳编程	92
习题与思考题	98
第五章 计算机数控装置原理	99
第一节 计算机数控装置基本原理	99
一、CNC 装置的功能	99
二、CNC 数控装置工作过程	99
第二节 CNC 数控装置的原理及结构	100
一、硬件及组成	100
二、软件功能及组成	102
第三节 显示及键盘工作原理	103
一、显示原理	103
二、键盘及工作原理	104
第四节 伺服电机升降速控制	106
第五节 刀架、刀库及机械手控制	107
一、车床数控刀架工作顺序	107
二、刀库的工作原理	108
三、数控系统的 M 功能	109
第六节 CNC 装置的输入、输出与通信	109
一、CNC 与外部设备间数据的传送要求	109
二、网络通信基础	110
三、CNC 装置的通信接口	117
第七节 内置式可编程控制器(PLC)	122
一、PLC 的工作原理	122
二、PLC 的性能指标	122
三、PLC 的类型	123
四、PLC 的基本结构	124
五、PLC 控制程序的编制	126
六、PLC 的指令和程序编写	127
习题与思考题	133
第六章 数控机床的位置检测	134
第一节 概述	134
一、位置检测的基本要求	134

二、位置检测的方法	135
第二节 正交信号的细分及判向	136
一、正交正弦波信号的细分	136
二、判向电路及可逆计数	136
第三节 感应同步器检测装置	138
第四节 光栅检测装置	140
一、光栅原理	140
二、莫尔条纹计数	141
第五节 编码器检测原理	142
第六节 磁栅检测原理	143
第七节 激光干涉检测装置	145
习题与思考题	146
第七章 数控机床的伺服驱动及控制	148
第一节 概述	148
第二节 伺服系统的基本性能指标	148
一、对性能指标的基本要求	148
二、对控制功能的基本要求	149
三、伺服系统的类型	150
第三节 步进电动机开环驱动控制	151
一、步进电动机原理	151
二、步进电动机的驱动	153
第四节 直流伺服电机的驱动控制	157
一、永磁直流伺服电机原理	157
二、脉宽调制器式驱动控制	158
第五节 交流伺服电机的驱动控制	160
一、永磁交流伺服电机的原理	160
二、交流伺服电机的速度控制	161
第六节 伺服系统的位置控制	162
一、数字比较伺服控制原理	162
二、相位比较伺服控制原理	163
三、幅值比较伺服控制原理	164
第七节 数控机床的可靠性	165
一、数控系统可靠性的基本概念	165
二、影响数控系统可靠性的基本因素	168
三、提高数控系统可靠性的措施	169
习题与思考题	173

第八章 高档数控机床中的磁悬浮支承技术	174
第一节 数控机床主轴常用支承方式	174
一、 主轴常用滚动轴承的类型	174
二、 主轴轴承的选择	177
三、 主轴轴承的配置形式	177
第二节 磁悬浮电主轴原理	178
一、 径向磁轴承	179
二、 轴向磁轴承	180
三、 磁轴承控制工作原理	180
第三节 磁悬浮电主轴电气参数及控制要素	181
一、 有关电气参数的概念	181
二、 双电磁铁的动载能力	182
三、 双电磁铁的驱动	183
第四节 磁悬浮导轨及其控制要素	184
一、 磁悬浮导轨的特点	184
二、 磁悬浮导轨控制系统的组成	185
三、 磁悬浮导轨数字式 PID 的应用	186
四、 智能 PID 的应用	188
习题与思考题	189
附录 Master CAM 介绍	190
一、 Master CAM 功能说明	190
二、 CAD 造型及实例	205
三、 CAM 刀具轨迹生成与后置处理	211
参考文献	221

第一章 绪 论

第一节 数控机床概述

一、数控机床的特点

随着计算机技术和自动化技术的飞速发展,机械制造技术发生了深刻的变化。传统的普通加工设备已难以适应市场对产品多样化的要求,难以适应市场竞争的高效率、高质量的要求。而以现代制造技术为核心的数控机床,是以微电子技术为基础,将传统的机械制造技术与现代控制技术、计算机技术、传感检测技术、信息处理技术以及网络通信技术有机结合的具有高效率、高质量和高柔性的自动化新型机床。

简单说来所谓数控机床就是运用计算机对机床的机械加工过程进行数字化的自动控制。具体来说:数控机床是通过将机床的各种动作、工件的形状尺寸以及机床的其它功能编制程序,精确控制机床运动部件的位移量,并且按加工的动作顺序要求自动控制机床各个部件的动作(如:主轴转速、进给速度、换刀、工件夹紧放松、工件交换、冷却液开关等)来完成机械加工工作的。它是一种集中了传统的自动(专用)机床、精密机床和万能机床三者的优点,即综合了专用机床的高效率、精密机床的高精度、万能机床的高柔性的新型机床。以下从几个方面分析数控机床的突出优点:

(1)广泛的适应性 由于采用数字程序控制,当生产品种改变时,只要重新编制零件程序,输入新的加工程序就能够实现对新零件的自动化生产。这对当前市场竞争中产品不断更新换代的生产模式是十分重要的,它为解决多品种、中小批量零件的自动化加工提供了极好的生产方式。

(2)精度高、质量稳定 数控机床是按照预定程序自动工作的,一般情况下工作过程不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造机床主机时,通常采取了许多措施,使数控机床的机械部分达到较高的精度。数控装置的脉冲当量(或分辨力)目前可达 $(0.01\sim0.0001)\text{mm}$,同时可以通过实时检测反馈修正误差或补偿来获得更高的精度。因此,数控机床可以获得比机床本身精度更高的加工精度。尤其是产品稳定性(即零件加工的一致性)是过去任何机床所不及的,它与操作者的思想情绪和熟练程度几乎无关。也由于零件加工的一致性,它给下道工序的加工或总装工序的互换性都带来许多方便。

(3)生产效率高 数控机床能够减少零件加工所需的机动时间与辅助时间。数控机床的主轴转速和进给量的范围比通用机床的范围大,每一道工序都能选用最佳的切削用量,良好的机械结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,从而有效地节省了机动时间;移动部件在定位中均采用加速和减速措施,并可选用很高的空行程运动速度,缩短了辅助时间;采用自动换刀、自动交换工作台和机动装夹工件,并还可在同一台机床(加

工中心)上同时进行车、铣、镗、钻、磨等各种粗精加工,即在一台机床上实现多道工序的连续加工。数控机床不仅减少了辅助工时和机动时间,并且由于集中了工序,既减少了零件周转和装夹次数,又减少了半成品零件的堆放面积,给生产调度管理带来极大的方便。另外,也由于一机多用,减少了设备台数和厂房占地面积。

(4)减轻劳动强度,改善生产条件 由于数控机床是按所编程序自动完成零件加工的,操作者一般只需装卸工件和更换刀具,按下自动循环按键后,由机床自动完成加工。因而大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件,减少了对熟练技术工人的需求,并可实现一人管理多台机床。

(5)能实现复杂零件的加工 普通机床难以实现或无法实现轨迹为二次以上的曲线或曲面的运动,如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面加工。而数控机床由于采用了计算机插补技术和多坐标联动控制,可以实现几乎是任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面,适用于各种复杂形面的零件加工。

(6)有利于现代化生产管理 采用数控机床加工,能很方便地准确计算零件加工工时、生产周期和加工费用,并有效地简化了检验,以及工装夹具和半成品的管理工作。利用数控机床的通信接口,采用数控信息与标准代码输入,适宜于与计算机联网,实现计算机辅助设计、制造及管理一体化。

数控机床与“刚性自动化”机床相比,最明显的区别是具有广泛的适应性,也称作很强的加工柔性,也就是说对于各种不同零件的加工,只要通过在软件上修改就可实现在同一台数控机床上加工,不必从机械结构等硬件上作变动,即通过编制零件加工程序就能适应于自动加工各种形面、尺寸的零件。所以说它是解决多品种、中小批量机械加工自动化的根本出路。机械加工中70%~80%是中小批量零件,它是机械工业生产的主体。尤其是在当今技术飞跃发展的时代,机电产品日新月异。为加速产品的更新换代,实现中小批量机械加工自动化是关键的一步。这也是历来机械加工中的一大难题。由于微电子技术的迅速发展,计算机数控化使这个问题逐步得到了较满意的解决。

数控机床与普通机床相比具有许多优点,应用范围还在不断扩大。但是数控设备的初始投资费用较高,技术复杂,对编程、维修人员的素质要求也比较高。在实际选用中,需要充分考虑其技术经济效益。一般来说,数控机床特别适用于加工零件较复杂,精度要求高和产品更新频繁,生产周期要求短的场所。

根据国外数控机床应用实践,通常数控机床的适用范围可简单用图 1-1 来表示。

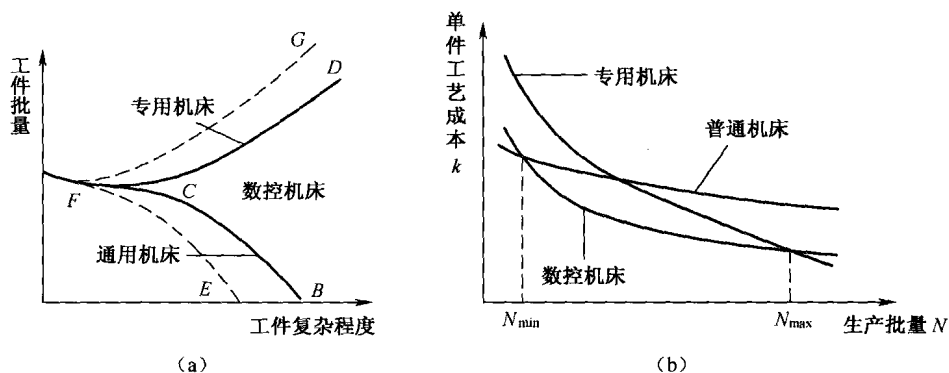


图 1-1 数控机床的适用范围示意图

图 1-1(a)所示是随零件复杂程度和生产批量的不同,三种机床应用范围的变化情况。当零件不太复杂,生产批量又较小时,应采用通用机床;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 1-1(b)所示为通用机床、专用机床和数控机床加工零件时平均单件工艺成本与生产批量的关系曲线图。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理,其中最小经济批量 $N_{\min}$ 与最大经济批量 $N_{\max}$ 是其适用范围。

另外就数控机床的应用特点还有:

- (1)采用数控加工方法将为产品质量的稳定性提供可靠的保证。
- (2)数控机床的高柔性,使新产品开发周期短,可加速企业产品的更新换代。
- (3)对技术工人的要求不同。数控机床的使用对机床操作工的技能要求较低,但对数控编程和维修人员的技术素质要求较高。

二、数控机床的构成

数控机床一般由数控系统、伺服系统(包括伺服电动机和检测反馈装置)、主传动系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成。图 1-2 中实线部分是一种较典型的现代数控机床构成框图,加上虚线部分即可表示数控加工的基本工作过程。对具体各类不同功能的数控机床,其组成部分应略有不同。

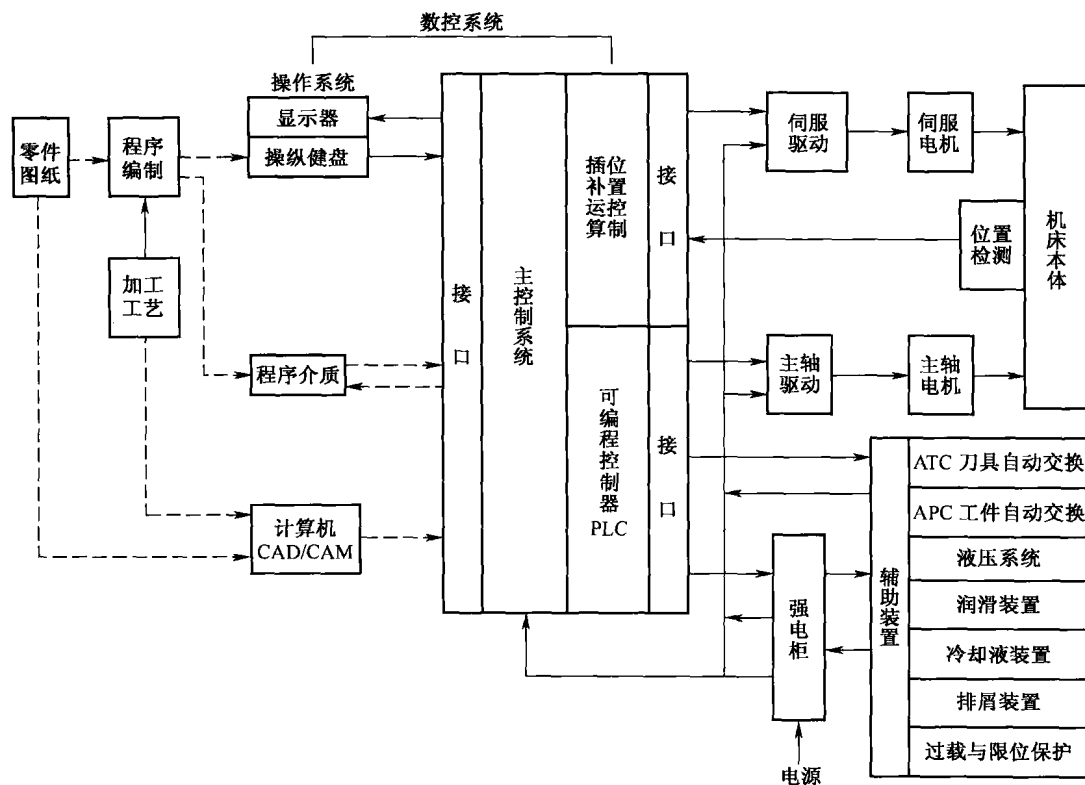


图 1-2 数控机床的主要组成部分与基本工作过程的示意框图

1. 数控系统

它是机床实现自动加工的核心。主要由操作系统、主控制系统、可编程控制器、各类输入输出接口等组成。其中操作系统由显示器和操纵键盘组成,显示器有数码管、CRT、液晶等多种形式。主控制系统与计算机主板有所类同,主要由 CPU、存储器、控制器等部分组成。数控系统所控制的一般对象是位置、角度、速度等机械量和温度、压力、流量等物理量,其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类,其中主控制器内的插补运算模块就是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等信息处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号比较,从而控制机床各个坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常主要由可编程控制器(PLC)来完成,它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,从而控制机床各个部件有条不紊地按序工作。

2. 伺服系统

它是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令,再经驱动控制系统功率放大后,驱动电动机运转,从而通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

3. 主传动系统

它是机床切削加工时传递扭矩的主要部件之一。一般分为齿轮有级变速和电气无级调速两种类型。但较高档的数控机床都要求实现无级调速,以满足各种加工工艺的要求。它主要由主轴驱动控制系统、主轴电动机以及主轴机械传动机构等组成。

4. 强电控制柜

它主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件,除了提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源,以及各种短路、过载、欠压等电气保护外,主要在可编程控制器(PLC)的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元器件之间起桥梁联结作用,即控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等。主要起到扩展接点数和扩大触点容量等作用。另外它也与机床操作台的有关手控按钮连接。强电控制柜主要由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。它与一般的普通机床电气类似,但为了提高对弱电控制系统的抗干扰性,要求各类频繁启动或切换的电动机、接触器等电磁感应器件中均必须并接 RC 阻容吸收器;对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

5. 辅助装置

它主要包括 ATC 刀具自动交换机构、APC 工件自动交换机构、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、冷却液装置、排屑装置、过载与限位保护功能等部分。但根据机床加工功能与类型不同,所包含的部分也不同。

6. 机床本体

它指的是数控机床机械结构实体。它与传统的普通机床相比较,同样由主传动机构、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成,但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、刀具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点。归纳起来有以下几点:

(1)采用高性能主传动系统及主轴部件。具有传递功率大、刚度高、抗震性好及热变形小等优点。

(2)进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点,一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

(3)有较完善的刀具自动交换和管理系统。工件在加工中心类机床上一次安装后,能自动地完成或者接近完成工件各面的加工工序。

(4)有工件自动交换、工件夹紧与放松机构。如在加工中心类机床上采用工作台自动交换机构。

(5)床身机架具有很高的动、静刚度。

(6)采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工,为了操作安全等,一般采用移门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部位进行全封闭。

三、数控机床的工作原理

首先实现数控程序的编制。即根据零件图的设计要求,编制数控加工程序,如确定加工路线、工序内容、切削用量、行程等,再按编程手册的有关规定编制数控加工程序单。然后通过键盘或其他输入设备输入,送入数控系统后再经过调试、修改,最后把它储存起来。加工时就按所编程序进行有关数字信息处理,一方面通过插补运算器进行加工轨迹运算处理,从而控制伺服系统驱动机床各坐标轴,保证刀具与工件的相对位置按照被加工零件的形状轨迹进行运动,并通过位置检测反馈以确保其位移精度。另一方面按照加工要求等,通过 PLC 控制主轴及其它辅助装置协调工作,如主轴变速、主轴齿轮换挡、适时进行 ATC 刀具自动交换、APC 工件自动交换、工件夹紧与放松、润滑系统定时开停、冷却液按要求开关,必要时过载或限位保护起作用,控制机床运动迅速停止。

数控机床通过程序调试、试切削后,进入正常批量加工时,操作者一般只要进行工件上下料装卸,再按一下程序自动循环按钮,机床就能自动完成整个加工过程。

零件程序编制分为手动编程和自动编程。手动编程是指程序员根据加工图纸和工艺,采用数控程序指令(目前一般都采用 ISO 数控标准代码)和指定格式进行程序编写。然后通过操作键盘送入数控系统内,再进行调试、修改等。对于自动编程目前已较多地采用了计算机 CAD/CAM 图形交互式自动编程,通过计算机有关处理后,自动生成的数控程序,可通过接口直接输入数控系统内。图 1-2 框图中所示的程序介质目前主要有三种:

(1)纸带 需要利用纸带穿孔机和光电阅读机进行程序纸带制作和输送。

(2)磁带 即采用录音机进行程序输入、输出。

(3)软盘 即计算机软盘,需借助于软驱进行程序输入、输出。

这里需要特别说明的是,由于目前一般都采用微处理机数控系统,系统内存容量已大大增加,数控系统内存 ROM 中本身就有编程软件,实现了在线编程,并且零件程序也能较多地直接保存在数控系统内存 RAM 中,对于程序存储介质的使用,主要是指某一数控机床所加工的零件品种较多时,为了工厂均衡生产的需要,把某些暂时不用的零件程序保存在程序介质中,等以后要用时再输入,即程序介质只起到外存储器的作用。它与以前硬线联结的 NC 数控机床对程序介质的使用要求是有本质区别的,即要求数控机床与程序介质同步运行来加工零件。

第二节 数控机床的分类

数控机床的品种规格繁多,要了解各类数控机床,可以从不同的角度对其进行分类。根据数控机床的功能和结构组成,一般可以按下面三种方法来进行分类。

一、按控制轨迹分类

1. 点位控制数控机床(Point to Point Control NC Machine)

点位控制系统只控制机床移动部件的终点位置,而不管点与点之间移动的轨迹(路径和方向)如何,可以一个坐标移动,也可以二坐标同时移动,在移动过程中不进行切削。如图 1-3 所示,起点到终点的运动轨迹可以是图中①或②、③、④、⑤中的任意一种。为了实现既快又精确的定位,两点间位置的移动一般先以最快速度移动,到即将接近新的位置点时再通过 1~3 级降速,使之慢速趋近定位点,以保证其定位精度。常用的移动方法有分级降速、连续降速或单向定位等。这类机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等,其相应的数控系统称为点位控制数控系统。

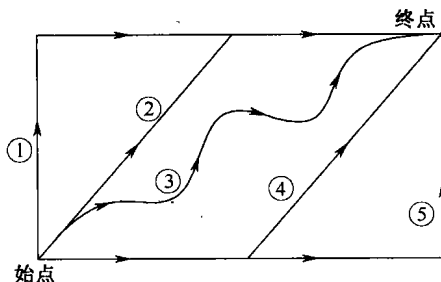


图 1-3 点位运动

2. 直线控制数控机床(Strait Cut Control NC Machine)

直线控制也称为平行控制,其特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和路线(即轨迹),但其路线只是与机床坐标轴平行的直线,也就是说同时控制的坐标轴只有一个(即数控系统内不必具有插补运算功能),在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削,一般只能加工矩形或台阶形零件。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床等,其相应的数控装置称为直线控制数控系统。

3. 轮廓控制数控机床(Contouring Control NC Machine)

轮廓控制也称为连续控制,其控制特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的表面要求,必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此在这类控制方式中,就要求数控装置具有插补运算的功能,即根据程序输入的基本数据(如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径),通过数控系统内插补运算器的数学处理,把直线或曲线的形状描述出来。并一边运算,一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求轮廓相符。在运动过程中刀具对工件表面连续进行切削,可以进行各种斜线、圆弧、曲线的加工。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机、数控缓进给成型磨床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。它按所控制的联动坐标轴数不同,又可分为下面几种主要形式:

(1) 二轴联动 主要用于数控车床加工曲线旋转面或数控铣床等加工曲线柱面(图1-4(a))。

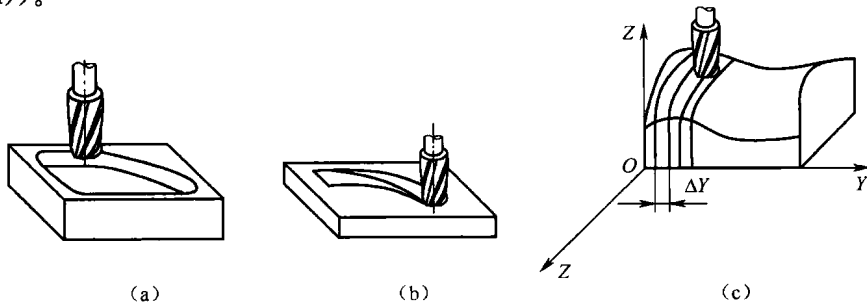


图 1-4 不同形面铣削的联动轴数
(a)二轴联动;(b)三轴联动;(c)二轴半联动。

(2) 二轴半联动 主要用于三轴以上控制的机床,其中两个轴互为联动,而另一个轴作周期进给,如在数控铣床上用球头铣刀采用行切法加工三维空间曲面(图 1-4(c))。

(3) 三轴联动 一般分为两类,一类就是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动,比较多地用于数控铣床、加工中心等,如用球头铣刀铣切三维空间曲面(图 1-4(b))。另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 其中两个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心,它除了纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴联动外,还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)联动。

(4) 四轴联动 即同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动,如图 1-5 为同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与一个工作台回转轴联动的数控机床。

(5) 五轴联动 除了同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标,即形成同时控制五个轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向,如图 1-6 所示。比如控制切削刀具同时绕着 X 轴和 Y 轴两个方向摆动,使得刀具在其切削点上始终保持与被加工的轮廓曲面成法线方向,以保证被加工曲面的圆滑性,提高其加工精度和降低其粗糙度等。

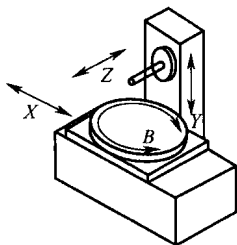


图 1-5 四轴联动的数控机床

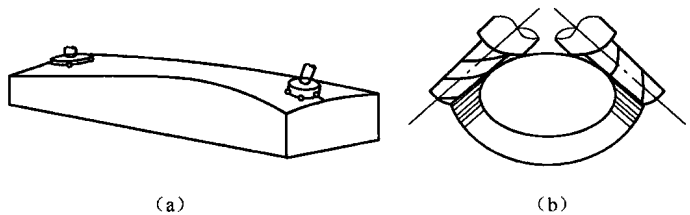


图 1-6 五轴联动的数控加工

二、按伺服系统分类

伺服系统包括驱动机构和机床移动部件,它是数控机床的执行部分,按控制原理可分为以下三类: