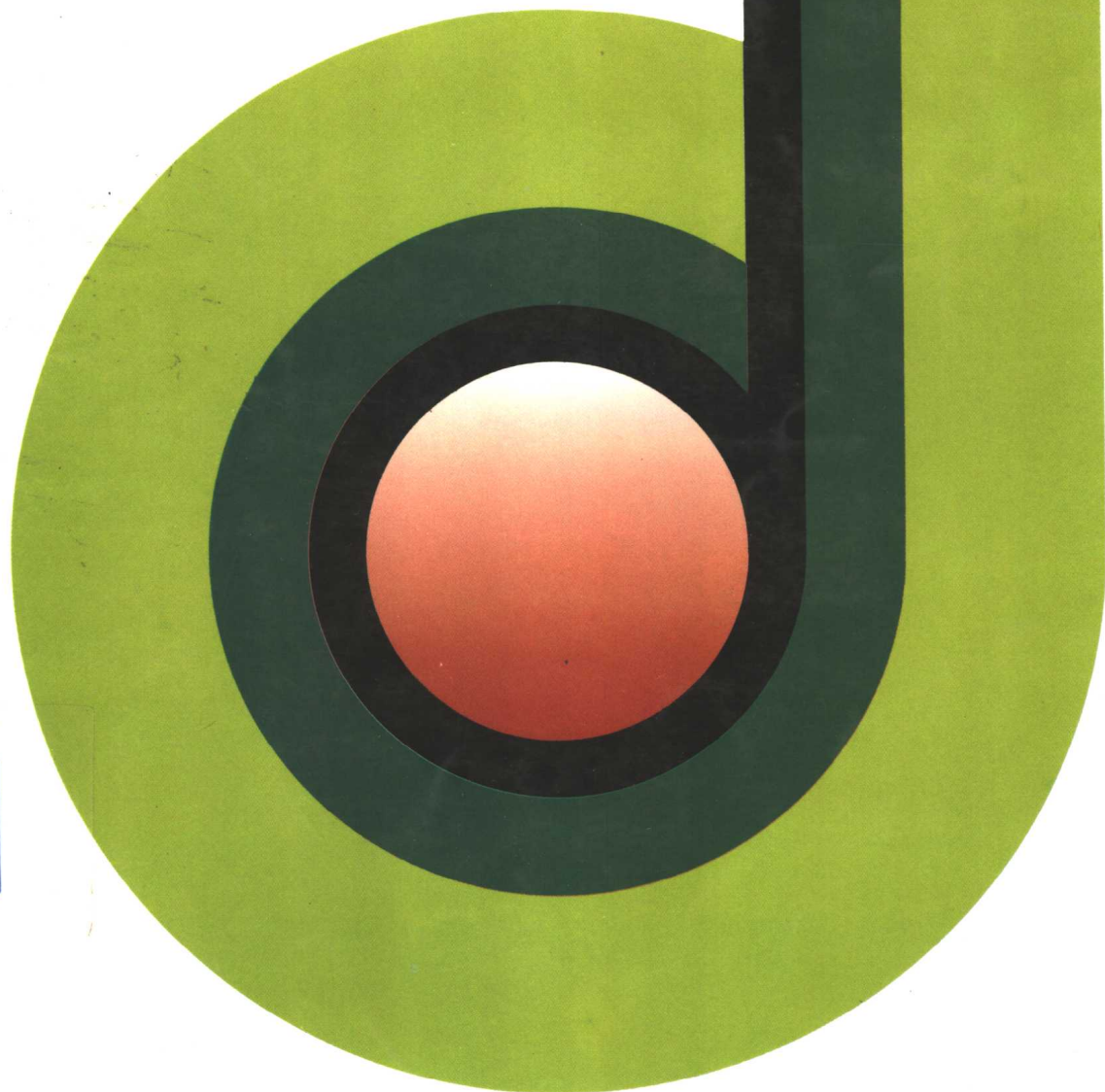


高等专科学学校机电一体化专业系列教材

机床 计算机数控 及其应用

湘潭机电高等专科学校 刘跃南 主 编
南京机械高等专科学校 雷学东 副主编



工业出版社

高等专科学校机电一体化专业系列教材

机床计算机数控及其应用

主 编 刘跃南

副主编 雷学东

参 编 于春生 刘文杰 黄麓升

主 审 王文生

机 械 工 业 出 版 社

本书由数控编程、数控原理与计算机数控系统、数控机床的机械结构和数控机床的应用与维修四部分组成。全书共分九章,内容包括:数控设备的基本概念、特点与分类,数控加工编程基础,数控加工程序编制,计算机数控系统结构,数控加工控制原理,数控机床的伺服驱动与检测,数控设备的机械系统结构及设计,数控机床实例,数控机床的应用与维修等。本书内容全面、系统,侧重介绍机床数控技术方面的基本内容和基本知识,力求讲清基本原理和基本概念,注重理论联系实际。为了便于学生自学及巩固所学内容,各章均附有思考题与习题。

本书为高等专科学校机械电子工程专业的基本教材,也可作为职业大学、业余大学、职工大学、电视大学及函授大学机械工程类专业的教材或教学参考书,同时可供机电工程有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机床计算机数控及其应用/刘跃南主编. - 北京:机械工业出版社, 1999.12 重印

高等专科学校机电一体化专业系列教材

ISBN 7-111-05363-X

I. 机… II. 刘… III. 机床-计算机控制: 数字控制-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 69266 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 钱飒飒 尚文龙 版式设计: 张世琴 责任校对: 肖新民

封面设计: 姚 毅 责任印制: 路 琳

北京市密云县印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2000 年 6 月第 1 版第 4 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆· 17.75 印张· 431 千字

22 501—27 500 册

定价: 23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821,68326677-2527

序

随着微处理器和微型计算机的问世,电子计算机已深深介入机械制造的各个领域,诞生了一系列机、电、计算机一体化的新产品。为适应这个变化,迫切需要高等专科学校培养制造、调试、使用、维修机电一体化产品的技术人才。有鉴于此,不少高等专科学校在多年探索机制专业改造并取得经验的基础上正在创办机电工程(机电一体化)专业,以满足社会的需要,但各校对新开专业缺乏经验,缺少教材和师资,在此形势下,1995年3月,机械工业部教材编辑室在全国机械制造专业教材编审委员会和全国高等专科学校机械制造专业协会的协助下,于南京召开了高等专科学校机电一体化教学与教材研讨会,研讨了机械行业技术发展的大趋势,认为办好机、电、计算机紧密结合的新机电工程专业,培养制造、调试、使用、维修机电一体化产品的机电一体化人材是非常必要的。为给机电一体化专业奠定物质基础,会议决定立即组织第一批急需的机电一体化专业系列教材,初步确定了各教材的主编、协编和主审人员。1995年4月,机械工业部教材编辑室又在长沙召开了各课程编写大纲协调会,并进一步调整、落实了编审班子。会后各参编教师立即行动,认真撰写,在1995年9月威海召开的审稿会的基础上,历经了一年左右时间,这一套统编教材终于陆续交稿出版。

这批教材的出版是我们对机电工程(机电一体化)专业教学的一种尝试,希望它能满足各校的教学所需。这套教材在组织编写过程中得到了众多学校和老师的热心帮助,在这里特向吴善元、盛善权、黄鹤汀、易泓可等诸位老师表示衷心的感谢。

机械工业部教材编辑室

1995年11月

前 言

微电子技术的飞速发展,带动了机械加工技术的飞速发展。而在其发展过程中,最显著的特点是机械制造将越来越密切地依赖于电子技术、检测技术、自动控制技术、计算机技术、系统论、信息论等现代科学技术。这种飞速的发展对工程技术人员的素质提出了越来越高的要求,同时也对培养人材的高等工程教育提出了更高的要求。为适应这种发展,机械工业部教材编辑室和高等工程专科机械制造专业教材编审委员会在1994年12月至1995年5月的半年时间内,先后三次召开会议,研讨和协调机械电子工程专业人材培养方案、业务规格和基本要求,并组织 and 协调了教材编写大纲和编写人员,确定了“以机为主、机电结合、电为机用”的指导方针。本书正是根据以上会议讨论和确定的教学大纲,为高等工程专科机械电子工程等机械类专业而编写的,并被确定为机械工业部高等专科学校机械类“九五”规划教材之一。

本书由数控编程、数控原理与计算机数控系统、数控机床的机械结构和数控机床的应用与维修四部分组成。全书共分九章,内容包括:数控设备的基本概念、特点与分类,数控加工编程基础,数控加工程序编制,计算机数控系统结构,数控加工控制原理,数控机床的伺服驱动与检测,数控设备的机械系统结构及设计,数控机床实例,数控机床的应用与维修等。本书内容全面、系统,侧重介绍机床数控技术方面的基本内容和基本知识,力求讲清基本原理和基本概念,注重理论联系实际。为了便于学生自学及巩固所学内容,各章均附有思考题与习题。

本书由刘跃南任主编,雷学东任副主编。参加编写的有于春生、刘文杰和黄麓升。其中第一、七、九章及六、八章的部分内容由湘潭机电高等专科学校刘跃南编写,第二、三章由沈阳工业学院专科学校于春生编写,第四、五章由南京机械高等专科学校雷学东编写,第六章由承德石油高等专科学校刘文杰编写,第八章由湘潭机电高等专科学校黄麓升编写。全书由刘跃南负责统稿和定稿。

本书由华北航天工业学院王文生教授主审。

限于编者的水平和经验,本书难免有欠妥或错误之处,敬希读者批评指正。

编 者

1996年8月

目 录

序

前言

第一章 数控设备的基本知识	1
第一节 数控设备的产生和发展	1
第二节 数控设备的工作原理及组成	3
第三节 数控设备的分类	6
第四节 数控设备的特点和应用范围	9
第五节 数控机床的技术发展趋势	10
思考题与习题	13
第二章 数控加工编程基础	14
第一节 数控编程的基本内容	14
第二节 常用的数控标准	16
第三节 常用数控指令及编程方法	25
第四节 数控编程的工艺处理及工艺文件	33
第五节 程序编制中的数值计算	39
思考题与习题	47
第三章 数控加工的程序编制	48
第一节 数控车床的编程方法及实例	48
第二节 数控加工中心编程实例	55
第三节 数控自动编程	60
第四节 数控探针编程介绍	76
思考题与习题	79
第四章 计算机数控系统结构	81
第一节 CNC 系统的基本构成	81
第二节 CNC 装置的硬件结构	84
第三节 CNC 装置的软件结构	103
第四节 典型 CNC 装置简介	109
思考题与习题	114
第五章 数控加工控制原理	115
第一节 概述	115
第二节 输入	117
第三节 输入数据处理	120

第四节 脉冲增量插补	130
第五节 数据采样插补	152
第六节 进给速度控制	158
思考题与习题	161
第六章 数控机床的伺服驱动与检测	162
第一节 概述	162
第二节 步进电动机的驱动与应用	163
第三节 交直流伺服电动机的驱动	175
第四节 常用位置检测装置	180
思考题与习题	189
第七章 数控设备的机械系统结构及设计	191
第一节 数控设备的机械系统结构要求及特点	191
第二节 齿轮传动副	193
第三节 滚珠丝杠副	197
第四节 导轨副	207
第五节 进给机械传动部分的计算	214
第六节 自动换刀装置	224
思考题与习题	236
第八章 数控机床实例简介	238
第一节 TH5632A 型立式加工中心	238
第二节 经济型数控车床	246
思考题与习题	256
第九章 数控机床的应用和维修	257
第一节 数控机床的选用	257
第二节 数控机床的安装与调试	260
第三节 数控机床的验收	262
第四节 数控机床的使用与维修	265
思考题与习题	276
参考文献	277

第一章 数控设备的基本知识

第一节 数控设备的产生和发展

一、数控技术与数控设备

数控技术是指用数字信号构成的控制程序对某一对象进行控制的一门技术，简称 NC (Numerical Control)。它所控制的—般是位移、角度、速度等机械量，也可是温度、压力、流量、颜色等物理量。这些量的大小不仅是可测得的，而且可经 A/D 或 D/A 转换，用数字信号表示。

数控设备则是采用了数控技术的机械设备，就是用数字信号对该设备（机床、切割机、绘图机、锻压机械等）自动工作过程进行控制。数控机床是数控设备的典型代表，其它数控设备包括数控气割机、数控弯管机、数控冲剪机、数控压力机、数控绘图机、数控测量机、数控雕刻机、电脑绣花机、衣料开片机等等。

现代数控设备综合应用了微电子、计算机、自动控制、精密检测、伺服驱动、机械设计、与制造技术等多方面的最新成果，是一种典型的机电一体化产品。

二、数控设备的产生和发展

1. 数控设备的产生

随着生产和科学技术的发展，机械产品日趋精密、复杂，而且改型频繁，因此，对制造机械产品的设备——机床提出三高（高性能、高精度和高自动化）的要求。在机械产品中，单件和小批量产品占到 70%~80%。由于这类产品生产批量小、品种多，而且当产品改型时，机床与工艺装备均需作较大的变换和调整，因此这类产品的生产不仅对机床提出“三高”要求，而且要求机床具有较强的适应产品变化的能力。长期以来，这类产品都在通用机床上加工，基本上是由人工操作，劳动强度大，而且难以提高生产效率和保证产品质量。要实现这类产品生产的自动化成为机械制造业中长期未能解决的难题。

数控机床就是为了解决单件、小批量、精度高、复杂型面零件加工的自动化要求而产生的。数控机床的研制始于 40 年代末的美国 PARSONS 公司和麻省理工学院(MIT)。1952 年研制出第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床。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新的阶段。

2. 数控设备的发展

从第一台数控机床问世至今的 40 多年中，随着微电子技术的不断发展，数控系统也在不断地更新换代，先后经历了电子管（1952 年）、晶体管（1959 年）、小规模集成电路（1965 年）、大规模集成电路及小型计算机（1970 年）和微处理机或微型计算机（1974 年）等五代数控系统。前三代数控系统是属于采用专用控制计算机的硬接线（硬线）数控系统，一般称为普通数控系统，简称 NC。70 年代初，随着计算机技术的发展，使小型计算机的价格急剧下降，采用小型计算机代替专用控制计算机的第四代数控系统，不仅在经济上更为合算，而且许多功能可用编制的专用程序来实现，将它存储在小型计算机的存储器中，构成所谓控制软

件,提高了系统的可靠性和功能特色。这种数控系统又称为软接线(软线)数控,即计算机数控系统,简称CNC(Computerized NC)。1974年制成以微处理机为核心的数控系统,称为第五代微型机数控系统,简称MNC(Microcomputerized NC)。

由于计算机数控系统(包括CNC和MNC)的控制功能大部分由软件技术来实现,因而使得硬件进一步得到简化,系统可靠性提高,功能更加灵活和完善。CNC和MNC的控制原理基本上相同,目前趋向采用成本低、功能强的MNC。

在数控系统不断更新换代的同时,数控机床的品种得以不断地发展,几乎所有品种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)。随着CNC技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展,为单机数控化向计算机控制的多机制造系统自动化发展创造了必要的条件,在60年代末期出现了由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 NC),1967年出现了由多台数控机床联接成可调加工系统,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。80年代初又出现以1~3台加工中心或车削中心为主体,再配上工件自动装卸的可交换工作台及监控检验装置的柔性制造单元FMC(Flexible Manufacturing Cell)。近10多年来MC、FMC、FMS发展迅速,在1989年第八届欧洲国际机床展览会上,展出的FMS超过200条。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),以实现工厂自动化。目前,世界数控机床的年产量近15万台,产值超过200亿美元,数控机床总拥有量达100万台以上,品种已超过1500种,几乎覆盖全部机床的品种类别。表1-1是世界一些主要数控机床生产国家(地区)的历年产品增长情况。

表 1-1 1952~1992 年世界一些国家(地区)数控机床产量情况

(台)

年 \ 国 别	日本	美国	德国	原苏联	英国	法国	中国	韩国	中国 台湾省	印度
1952		第一台								
1956			第一台	第一台						
1958	第一台						第一台			
1964		1514								
1965	39	2095	162							
1970	1651	1901	762	1666	600	147				
1975	2188	4136			739	612			(1974) 第一台	
1980	22052	9984		8848	1240	1238	692			
1981	25926	8945		10100	1196	1238	891			
1982	24138	6066		10600	1510	1246	1269			
1983	26408	4781		11400	1825		1394			
1984	28036	5581	9966	13300	2630	1294	1620			
1985	44969	5518		17600			1959			
1986	38776	5901				1876	2393	2272	1894	
1987	35460	6049				2913	2604	1993	2357	200
1988	47650	7035	19364			3657	2681	2129	3354	280

(续)

年 \ 国 别	日本	美国	德国	原苏联	英国	法国	中国	韩国	中国 台湾省	印度
1989	58042	8184	21550		4259		2741	2766	5238	451
1990	61697	7927	22131		4471	5393	2632	3450	4371	525
1991	52380	9053	19145				4951	3592	4635	642
1992	32037	6663	14758				7450	2982	5385	506

我国数控机床的研制始于1958年。到60年代末70年代初,已经有了一些晶体管式的数控系统研制成功,并用于生产,如数控线切割机床、数控铣床等。但是数控机床的品种及数量都很少,数控系统的稳定性及可靠性不过关,没能在生产中广泛应用。这是我国数控机床发展的初级阶段。

80年代初开始,我国先后从日本、美国等国家引进一些数控系统和伺服技术,陆续发展了一批具有世界70年代末或80年代初期水平的数控系统。这些系统性能完善,稳定性和可靠性高,很快得到了用户的认可,结束了我国数控机床发展徘徊不前的局面,推动了我国数控机床的稳定发展,使我国的数控机床在质量及性能水平上有了一个飞跃。到1985年,我国的数控机床新品种累计达80多种,包括加工中心、数控车床、铣床、磨床等。数控机床进入实用阶段。

近10年(1986~1995)是我国数控机床大发展的时期。在这期间,国家安排了“数控机床引进技术消化吸收(数控机床一条龙)”、“柔性制造系统技术开发研究”、“计算机集成制造系统(CIMS工程)的研究”等重点科技攻关项目,并取得了重大进展。目前我国已有几十个厂家在从事不同层次的数控机床的生产与开发,形成了具有小批量生产能力的生产基地。数控机床的品种已超过500种,其中金属切削机床品种的数控化率达20%。

在数控机床全面发展的同时,数控技术在其它机械行业中得以迅速发展,数控绘图机、数控坐标测量机、数控激光与火焰切割机数控设备得到广泛的应用。

第二节 数控设备的工作原理及组成

一、数控设备的工作原理

数控设备(数控机床、数控切割机、数控绘图仪等)工作时,都是根据所输入的工作程序,由数控装置控制该设备的执行机构的运动轨迹,并使其满足给定的图样要求。执行机构的运动轨迹取决于所输入的工作程序,而输入的工作程序是根据图样要求编制的。

不同的数控设备,其执行机构以及由执行机构所完成的轨迹运动均有所不同,如数控机床的执行机构使刀具相对于工件运动完成零件的切削加工,达到零件图样的要求;数控气割机的执行机构带动切割枪嘴相对于板材运动,切割出图样所要求的板材;数控绘图仪的执行机构带动绘图笔相对于图纸运动,绘出所要求的图样。图1-1所示为数控机床加工零件的过程,其主要步骤是:

1. 工作程序编制

数控机床的工作程序编制就是零件加工程序编制。即加工前,首先根据被加工零件工作图中所规定的零件的形状、尺寸、材料及技术要求等,确定零件加工的工艺过程、工艺参数

(包括加工顺序、切削用量和位移数据), 然后根据程编手册规定的代码和程序格式编写零件加工程序单 (即程编卡片)。有的需要再由穿孔机制成穿孔带以备送入机床使用。

对于较简单的零件, 通常采用手工编程; 对于形状复杂的零件, 则要在编程机上进行自动编程或计算机编程。

2. 程序输入

零件加工程序通常由光电读带机读入数控装置。读入过程有两种不同的方式: 一种是边读入边加工, 此时, 光电读带机为间歇式工作; 另一种是一次将零件加工程序读入数控装置内部的存储器, 加工时再从存储器一段一段往外调出。

零件加工程序较短时, 也可用手动数据输入 MDI (Manual Data Input) 方式, 用键盘直接将程序输入数控装置。

3. 轨迹插补

加工程序输入到数控装置后, 在数控装置内部的控制软件支持下, 进行一系列的处理与计算 (如轨迹插补运算等)。同时, 将结果以脉冲信号的形式送往机床的伺服机构。

一个零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其它非圆弧曲线组成, 刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动, 即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段的轨迹的起点和终点的坐标值等有限数据。所谓轨迹插补, 就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”, 求出一系列中间点的坐标值, 并向相应坐标输出脉冲信号。

4. 伺服控制和机床加工

伺服控制的作用是根据不同的控制方式 (如开环、闭环等), 把来自数控装置插补输出的脉冲信号经过功率放大, 通过驱动元件 (如步进电动机, 直流伺服电动机等) 和机械传动机构, 使机床的执行机构 (运动部件) 带动刀具相对于工件按规定的轨迹和速度进行加工。

二、数控设备的结构与功能

数控设备的基本结构框图如图 1-2 所示。主要由输入输出设备、数控装置、伺服系统和受控设备四部分组成。

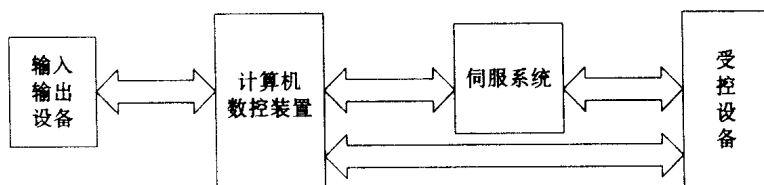


图 1-2 数控设备基本结构框图

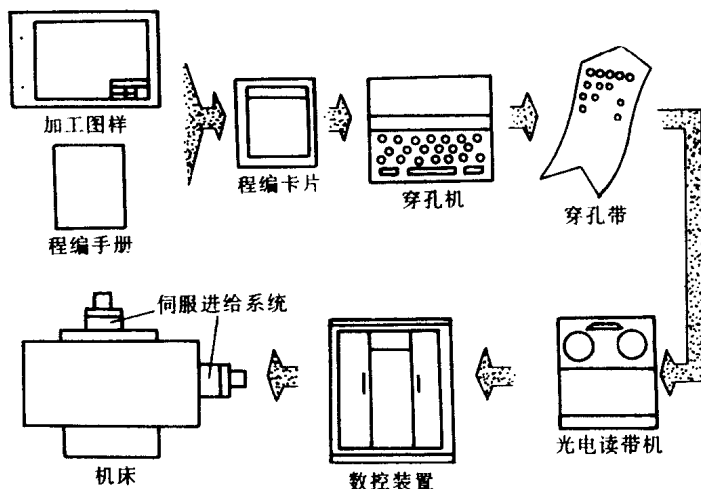


图 1-1 数控机床工作过程

1. 输入输出设备

输入输出设备的主要功能是：编制程序、输入程序和数据、打印和显示。这一部分的硬件，简单者可能只有键盘和发光二极管显示器；一般的可再加上纸带、光电读带机、磁带、磁盘输入机、人机对话编程操作键盘和 CRT 显示器；高级的可能还包含有一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

2. 数控装置

数控装置是数控设备的控制核心。它是根据输入的程序和数据，完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制、轨迹插补等功能。数控装置一般由专用计算机、输入输出接口以及机床控制器（可编程控制器）等部分组成。机床控制器主要用于实现对机床辅助功能 M、主轴选速功能 S 和换刀功能 T 的控制。

3. 伺服系统

伺服系统包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电动机、机械传动机构和执行机构。其主要功能是将数控装置插补产生的脉冲信号转化为受控设备的执行机构的位移（运动）。伺服电动机可以是步进电动机、直流伺服电动机或交流伺服电动机。

4. 受控设备

受控设备是被控制的对象，是数控设备的主体，一般都需要对它进行位移、角度和各种开关量的控制。受控设备包括机床行业的各种机床和其它行业的许多设备，如火焰切割机、电火花加工机、冲剪机、压力机、绘图机、测量机、弯管机、雕刻机等。在受控设备上一般装有检测装置，以便将位置和各种状态信号反馈给数控装置，实现闭环控制。

三、NC 与 CNC

数控装置已由硬接线数控 NC 发展到软接线数控（计算机数控）CNC。NC 装置的控制逻辑（数控功能），是由固定接线的硬件电路组成的专用计算机来实现的，制成后就不易改变，柔性差。CNC 装置是由硬件和软件组成。CNC 的硬件为一小型计算机，由软件来实现部分或全部数控功能，通过改变软件很容易更改或扩展其功能。与 NC 装置相比，CNC 装置还有如下主要优点：较易实现多轴联动的插补以及采用高精度的插补方法，提高了数控设备的工作精度；简化了硬件结构，有利于减少 NC 装置中焊点、插接点、连接线等出现的故障；简化了用户编制的工作程序，并可将用户工作程序一次输入存储器，避免了 NC 装置在工作程序输入（频繁开动光电输入机）造成的故障；易于设置各种诊断程序，进行故障预检和自动查找等。总之，CNC 装置不仅柔性增强，更为灵活与经济，而且提高了工作可靠性，其高性能价格比促进了数控设备的迅速发展。

NC 装置被 CNC 装置所代替是一个总的趋势，即所谓“硬件软化”。但是现有计算机软件的执行速度不如硬件电路快，对要求执行速度较快的某些功能，例如快速连续插补功能等，靠软件插补就难以满足要求，而是采取软件和硬件相结合的方法来实现的。近年来随着超大规模集成电路技术的发展，利用硬件电路速度快的优点，把一些常用软件（如乘法、除法、插补运算等子程序）用硬件模块来实现，可成百倍地提高运算和处理速度，即所谓的“软件硬化”。“硬件软化”和“软件硬化”这两种趋势，相互渗透，彼此补充，使数控装置的功能不断扩大，性能和可靠性不断提高。

第三节 数控设备的分类

数控设备五花八门,品种繁多,各行业都有自己的数控设备和分类方法。在机床行业,数控机床的品种已达 500 多种,通常从如下不同角度进行分类。

一、按工艺用途分类

1. 普通数控机床

为了不同的工艺需要,与传统的通用机床一样,有数控车、铣、钻、镗及磨床等,而且每一类又有很多品种,例如数控铣床就有立铣、卧铣、工具铣及龙门铣等,这类机床的工艺性能与通用机床相似,所不同的是它能自动地加工精度更高、形状更复杂的零件。

2. 数控加工中心

数控加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。典型的机床有镗铣加工中心和车削加工中心。

数控加工中心又称为多工序数控机床。在加工中心上,可使零件一次装夹后,进行多种工艺、多道工序的集中连续加工,这就大大减少了机床台数。由于减少了装卸工件、更换和调整刀具的辅助时间,从而提高了机床效率,同时由于减少了多次安装造成的定位误差,从而提高了各加工面间的位置精度;因此,近年来加工中心得以迅速发展。

3. 多坐标数控机床

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、飞机机翼曲面等复杂零件的加工,需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需的曲面形状。于是出现了多坐标联动的数控机床,其特点是数控装置能同时控制的轴数较多,机床结构也较复杂,坐标轴数的多少取决于加工零件的复杂程度和工艺要求,现在常用的有 4、5、6 坐标联动的数控机床。

4. 数控特种加工机床

数控特种加工机床包括数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切割机床等。

二、按控制运动的方式分类

1. 点位控制数控机床

这类机床只控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位,在移动过程中不进行加工,对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可以沿多个坐标同时移动,也可以沿各个坐标先后移动。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度,一般先快速移动,当接近终点位置时,再减速缓慢靠近趋近终点,以保证定位精度。

采用点位控制的机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

2. 直线控制数控机床

这类机床不仅要控制点的准确定位,而且要控制刀具(或工作台)以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工。机床应具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具的选择以及循环进给加工等辅助功能。这种控制常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

3. 轮廓控制数控机床

这类机床能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。其数控装置一般要求具有直线和圆弧插补功

能、主轴转速控制功能及较齐全的辅助功能。这类机床用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂形状的零件。

轮廓控制数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

三、按伺服系统分类

1. 开环控制系统

开环控制系统框图见图 1-3。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。

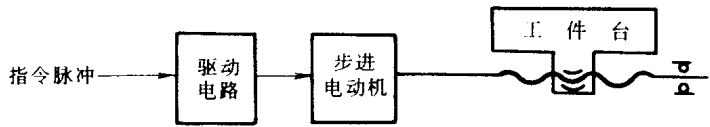


图 1-3 开环控制系统框图

开环控制系统的特点是结构较简单、成本较低、技术容易掌握，但由于受步进电动机的步距精度和传动机构的传动精度的影响，难于实现高精度的位置控制，进给速度也受步进电动机工作频率的限制。一般适用于中、小型经济型数控机床，特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

2. 闭环控制系统

闭环控制系统框图见图 1-4。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或交流伺服电动机。图中 A 为速度测量元件，C 为位置测量元件。当位移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，在位置比较电路中与位移指令值进行比较，用比较后得出的差值进行位置控制，直至差值为零时为止。这类控制系统，因为把机床工作台纳入了控制环节，故称闭环控制系统。该系统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。但由于工作台惯量大，对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨副的灵敏性等提出了严格的要求，否则对系统稳定性会带来不利影响。

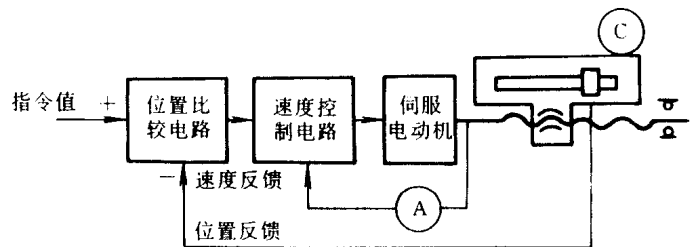


图 1-4 闭环控制系统框图

闭环控制系统的特点是定位精度高，但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设备，如数控精密镗铣床。

3. 半闭环控制系统

半闭环控制系统框图见图 1-5。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,用差值来实现控制。从图 1-5 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和闭环之间,精度没有闭环高,调试却比闭环方便,因而得到广泛应用。

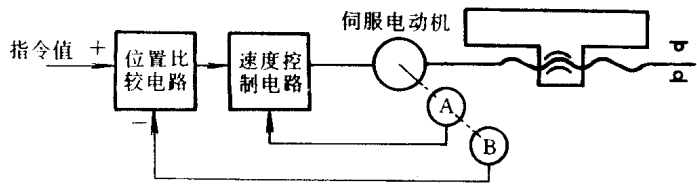


图 1-5 半闭环控制系统框图

4. 混合控制系统

将以上三类控制系统的特点有选择地集中起来,组成混合控制系统,特别适用于大型数控机床,因为大型数控机床需要较高的进给速度和返回速度,又需要相当高的精度,如果只采用全闭环控制,机床传动链和工作台全部置于控制环中,因素十分复杂,难于调试得稳定。混合控制系统又分为两种形式:

(1) 开环补偿型 图 1-6 为开环补偿型控制方式。其特点是基本控制选用步进电动机的开环伺服机构,附加一个校正伺服电路。通过装在工作台上直线位移测量元件的反馈信号来校正机械系统的误差。

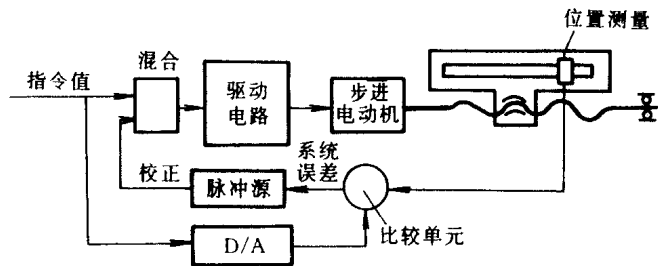


图 1-6 开环补偿型控制

(2) 半闭环补偿型 图 1-7 为半闭环补偿型控制方式。其特点是用半闭环进行基本驱动以取得高速度控制,再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环,然后用全闭环和半闭环的差进行控制,以获得高精度。其中 A 是速度测量元件(测速发电机),B 是角度测量元件,C 是直线位移测量元件。

四、按数控装置的功能水平

分类

按数控装置的功能水平通常把数控机床分为低、中、高档三类。这种分类方式,在我国用得很多。低、中、高三档的界限是相对的,不同时期,划分标准会有不同。就目前的发展水平来看,可以根据表 1-2 的一些功能及指标,将各种类型的数控产品分为低、

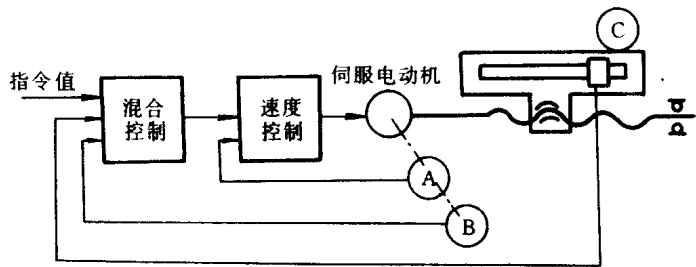


图 1-7 半闭环补偿型控制

中、高档三类。其中高、中档一般称为全功能数控或标准型数控。在我国还有经济型数控的提法。经济型数控属于低档数控,是指由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统和其它功能简单、价格低的数控系统。经济型数控主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-2 不同档次数控功能及指标表

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10 μ m	1 μ m	0.1 μ m
进给速度	8~15m/min	15~24m/min	24~100m/min
伺服进给类型	开环及步进电动机系统	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS-232C 或 DNC	RS-232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT: 图形、人机对话	CRT: 三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU

第四节 数控设备的特点和应用范围

一、数控设备的特点

数控设备（特别是采用 CNC 装置的数控设备）在各行业中得到了日益广泛的应用，是因为它具有如下特点：

1. 适应性强

适应性即所谓的柔性，是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控设备上进行产品加工，当产品（生产对象）改变时，仅仅需要改变数控设备的输入程序（即工作程序，又称用户软件）就能适应新产品的生产需要，而不需改变机械部分和控制部分的硬件，而且生产过程是自动完成的。这一特点不仅满足了当前产品更新快的市场竞争需要，而且较好地解决了单件、小批量、多变产品的自动化生产问题。适应性强是数控设备最突出的优点，也是数控设备得以产生和迅速发展的主要原因。

2. 能实现复杂的运动

普通机械设备难以实现或无法实现轨迹为三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；而数控设备则可以实现几乎是任意轨迹运动和加工任何形状的空间曲面，适用于复杂异形零件的加工。

3. 精度高，质量稳定

数控设备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。在设计制造设备主机时，通常采取了许多措施，使数控设备的机械部分达到较高的精度。数控装置的脉冲当量（或分辨率）目前可达 0.01~0.0001mm，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，数控设备可以获得比设备本身精度更高的加工精度。尤其提高了同批零件生产的一致性，使产品质量稳定。

4. 生产率高

数控设备比普通设备生产率高出许多倍。尤其对某些复杂零件的加工，生产率可提高十几倍甚至几十倍。生产率高的原因是：

- 1) 数控设备（如数控机床）上可采用较大的切削用量，有效地减少了加工中的切削工时。
- 2) 具有自动换速、自动换刀和其它辅助操作自动化等功能，而且无需工序间的检验与测量，使辅助时间大为缩短。

3) 工序集中、一机多用的数控加工中心,在一次装夹后几乎可以完成零件的全部加工,这样不仅可减少装夹误差,还可减少半成品的周转(包括运输、测量等)时间,生产率的提高更为明显。

5. 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控设备的工作是按预先编制好的加工程序自动连续完成的,操作者除输入加工程序或操作键盘、装卸工件、关键工序的中间测量及观看设备的运行之外,不需进行繁重的重复手工操作,劳动条件和劳动强度大为改善。

6. 有利于生产管理

采用数控设备能准确地计算产品生产的工时,并有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作。数控设备采用数控信息的标准代码输入,这样有利于与计算机联接,构成由计算机控制和管理的小批量生产系统,实现制造和生产管理的自动化。

二、数控设备的应用范围

数控设备与普通设备比较具有许多优点,应用范围还在不断扩大。但是,数控设备初始投资费用较高,技术复杂,对操作维修人员和管理人员的素质要求也较高。在实际选用时,一定要充分考虑其技术经济效益。一般说来,数控机床特别适应于加工零件较复杂、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,数控加工适用范围可用图 1-8 粗略表示。

图 1-8a 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,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。

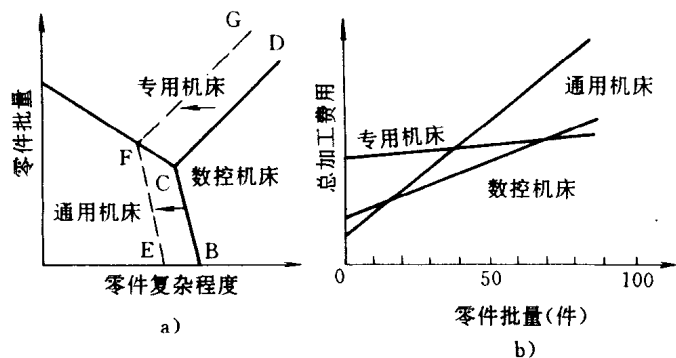


图 1-8 数控加工的应用范围

图 1-8b 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理。

第五节 数控机床的技术发展趋势

数控设备性能日臻完善,应用领域日益扩大,成为 80 年代以来新一代设备发展的主流。而作为数控设备中的典型代表——数控机床,无论是在生产、使用中,还是在国际贸易中,已成为衡量一个国家工业化水平和综合实力的重要标志。同时,制造技术、微电子技术、计算机技术等相关技术的不断进步,又推动和促进了数控设备的发展。当今,数控机床正不断吸收最新技术成就,朝着高可靠性、高柔性化、高精度化、高速度化、多功能复合化、制造系统自动化及设计 CAD 化和宜人化等方向发展。

一、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性能、高精度、高效率,并获得良好的效益,关键取决于可靠性。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。

衡量可靠性的重要的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 70 年代的大于 3000h、80 年代的大于 10000h,提高到 90 年代初的大于 30000h。据日本近期介绍,日本 FANUC 公司的 CNC 系统已达到 $MTBF \approx 125$ 个月。

数控机床整机的可靠性水平也有显著的提高。整机的 MTBF 值由 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、可靠性试验技术、可靠性评价技术、可靠性增长技术以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,以期望使数控机床整机可靠性提高到一个新水平,增强市场的竞争能力。

二、高柔性化

柔性是数控机床最主要的特点,也是在数控机床的各种发展趋势中,隐含在所有新开发技术中的主导思想。

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,当被加工对象变化时,调整很困难,甚至是不可能的,有时只得全部更新、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 的安装平均增长率达到 72.85%,日本 FMS 的安装平均增长率为 24.26%。据 1994 年 1 月调查,日本 FMS 拥有量为 2194 条, FMC 拥有量为 11506 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,就是在大批量生产方式中,也积极向柔性化方面转向。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线与 FMS 之间的柔性自动线(FTL)。1991 年日本和德国的组合机床和自动线产量的数控化率已达到 39%和 29%。

三、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。普通级中等规格加工中心的定位精度已从 80 年代初期的 $\pm 12\mu\text{m}/300\text{mm}$,提高到 90 年代初期的 $\pm 2\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}/\text{全程}$ 。如日本 Kitamura 公司的 Sonicmill-2 型立式加工中心,主轴转速 20000r/min,快进速度 24m/min,其定位精度为 $\pm 3\mu\text{m}/\text{全程}$ 。美国 Boston Digital 公司的 Vector 系列立式加工中心,主轴转速 10000r/min,双向定位精度为 $2\mu\text{m}$ 。

提高数控机床的加工精度,一般是通过减少数控系统误差、提高数控机床基础大件结构特性和热稳定性、采用补偿技术和辅助措施来达到的。在减小 CNC 系统误差方面,通常采取提高数控系统分辨率、使 CNC 控制单元精细化,提高位置检测精度以及在位置伺服系统中为改善伺服系统的响应特性,采用前馈与非线性控制等方法。在采用补偿技术方面,采用齿隙