

数 字 控 制 机 床

天 津 大 学 刘 又 午 主 编

机 械 工 业 出 版 社

数 字 控 制 机 床

天津大学 刘又午 主编



机 械 工 业 出 版 社

数 字 控 制 机 床

天津大学 刘又午 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20 \frac{3}{4}$ · 字数 505 千字

1983年7月北京第一版 · 1983年7月北京第一次印刷

印数 0,001—9,000 · 定价2.60元

*

统一书号: 15033 · 5444

前 言

《数字控制机床》一书，系根据高等学校专业课程设置的意见，作为选修课“数字控制机床”的教材而编写的。本课程无统一教学大纲，教学内容和学习要求比较灵活。已出版的有关数控机床书籍多以数字控制系统为主。为贯彻双百方针，出版不同风格的教材，本书以数控机床主机为主，以数控机床伺服系统为重点，供机制专业开设“数字控制机床”课程选用。

本课程是在已经学过“金属切削机床设计”、“金属切削机床液压传动”、“控制工程基础”以及“机床电气自动控制”等课程的基础上开设的。凡与上列课程重复内容，除有密切联系必须涉及者外，本书皆未编入。全书共分八章，有关数控主机方面包括：总体布局、主传动系统、伺服系统、执行机构和自动换刀装置；有关数控系统方面包括：数字控制系统和位置检测装置；另外，简介了程序编制的原理和方法，摘录了数控机床常用的 ISO 标准和 TSG 工具系统。

本书由天津大学刘又午主编。第一、三章和附录一由刘又午编写，第二、七章由齐永顺编写，第四章由汪元辉编写，第五章由刘又午、汪元辉合写，第八章和附录二由王延超编写，第六章由天津第一机床厂尹种芳编写。

本书由陕西机械学院龚宗智主审，张治中、王辉夫、只辉、应锦春和林奎明参加了审稿。本书责任编辑为机械工业部教材编辑室高文龙。本书编写过程中，得到了陕西机械学院北京研究生部朱骥北、北京机床研究所李福生等、北京航空学院、北京第一、第二、第三机床厂等有关同志的支持与帮助，一并表示衷心的感谢。

本书也可供从事金属切削机床设计与制造方面工作的技术人员参考。

限于编者水平，必有不少错误、不妥之处，敬请读者不吝赐教，无比感谢。

目 录

第一章 数字控制机床概述	1	一、装卡方法和对刀点	52
§ 1-1 数控机床简介	1	二、确定加工路线	53
一、数控与程控	1	三、选择刀具和确定切削用量	53
二、发展简史	1	四、程序编制中工艺指令的处理	54
三、数控机床是自动生产系统的一个 关键环节	2	五、程序编制中的误差问题	55
四、数控机床的现状	3	§ 3-2 数值计算	56
§ 1-2 工作原理和类型	5	一、采用一次插补加工平面曲线轮廓 零件的数值计算	57
一、数控机床工作原理	5	二、采用直线—圆弧插补加工平面曲线 轮廓零件的数值计算	59
二、数控机床的分类	6	三、三坐标立体型面零件的数值计算	60
三、几种数控机床的介绍	7	四、尖角过渡的数值计算	61
§ 1-3 数控机床的发展趋势	9	五、切入程序的数值计算	64
一、小型计算机数控 (CNC)	9	§ 3-3 程序编制实例	65
二、计算机直接数控 (DNC)	10	一、B ₁ K211A型数控系统的程序编制说明	66
三、简易数控	11	二、加工实例	67
四、适应控制机床 (AC)	11	§ 3-4 自动编程简介	71
五、计算机控制生产系统	13	一、自动编程的概念	72
第二章 数字控制系统	16	二、零件源程序示例	74
§ 2-1 概述	16	三、关于数控语言	75
一、数控系统的控制对象	16	四、关于编译程序	77
二、数控系统	16	第四章 数控机床的总体布局 and 主 传动系统	79
三、数控系统的组成	17	§ 4-1 数控机床的总体布局	79
§ 2-2 点位控制系统	18	一、影响数控机床总体布局的工艺因素	79
一、定位精度及定位时间	18	二、运动的分配与相应的部件布置	82
二、坐标原点及坐标值的规定	19	三、数控机床总体布局应注意的问题	84
三、信息处理	20	§ 4-2 数控机床的主传动系统	93
§ 2-3 直线控制系统	21	一、主传动方式	95
§ 2-4 连续控制系统	24	二、主轴转速的自动选择	97
一、数字脉冲乘法器	24	三、主轴部件	102
二、数字微分分析器	27	四、刀具自动夹紧及主轴准停装置	103
三、逐点比较法	32	第五章 数控机床的伺服系统	108
四、进给速度控制	42	§ 5-1 伺服系统概述	108
§ 2-5 伺服线路	46	一、伺服系统的特点和要求	108
一、脉冲—相位闭环伺服线路	46	二、数控机床伺服系统的分类	112
二、双反馈伺服线路	50	三、伺服马达概述	115
第三章 程序编制	52		
§ 3-1 程序编制中的工艺处理	52		

§ 5-2 伺服电机	116	四、结构设计	225
一、直流伺服电机基本特性	116	§ 6-3 回转工作台	228
二、小惯量直流电机	121	一、数控回转工作台	229
三、大惯量直流电机	123	二、分度工作台	233
四、交流伺服电机	126	§ 6-4 摆角机构	242
§ 5-3 步进电机	127	一、摆角机构的用途和类型	242
一、步进电机的工作原理	127	二、摆心位置对摆角机构传动和结构的 影响	244
二、步进电机的结构	129	三、摆心位置对机床参数的影响	244
三、步进电机的主要特性	130	四、摆心位置对程序编制和加工质量的 影响	247
§ 5-4 电液步进马达	133	§ 6-5 齿轮齿条机构	249
一、随动滑阀和液压马达	133	一、工作原理	249
二、电液步进马达	141	二、反向间隙和预载力的调整	250
三、步进液压缸	149	三、消除间隙板上轮廓曲线的绘制	253
§ 5-5 电液伺服阀	150	第七章 位置检测装置	254
一、工作原理	150	§ 7-1 概述	254
二、特性分析	152	§ 7-2 同步分解器位置检测装置	254
三、性能指标	156	一、同步分解器的结构	254
§ 5-6 伺服传动链设计	158	二、基本工作原理	255
一、机械传动系的动态特性	158	§ 7-3 感应同步器位置检测装置	256
二、伺服驱动系与机械传动系的匹配	162	一、感应同步器的种类及结构	256
三、齿轮传动装置的速比和级数拟定 原则	171	二、信息处理	258
四、间隙的消除措施	175	§ 7-4 光栅位置检测装置	261
§ 5-7 伺服系统的设计举例	179	一、光栅的结构	261
一、由电液伺服阀和液压缸组成的位置 伺服系统	179	二、莫尔条纹	263
二、由电液伺服阀和液压马达组成的 位置伺服系统	187	三、读数头	266
§ 5-8 伺服特性对加工的影响	193	四、信息处理	269
一、伺服系统中的一些力学特性	193	五、光栅的安装与调整	271
二、伺服特性对加工的影响	194	§ 7-5 磁栅位置检测装置	272
第六章 伺服执行机构	201	一、基本原理	272
§ 6-1 滚珠丝杠螺母副	201	二、磁栅的结构	272
一、工作原理和特点	201	三、磁栅的种类	273
二、结构和类型	202	四、磁头	273
三、主要技术参数	206	五、信息处理	275
四、设计计算和步骤	208	§ 7-6 位置检测装置的选择	277
五、支承方式和制动方式	213	第八章 数控机床的自动换刀装置	278
六、润滑与防护	214	§ 8-1 自动换刀装置的原理和形式	278
§ 6-2 静压丝杠螺母副	215	一、多主轴的转塔头	278
一、工作特点和应用	215	二、只有刀库的自动换刀装置	279
二、工作原理和结构类型	218	三、具有刀库和机械手的自动换刀装置	279
三、设计计算和计算实例	220	四、具有刀库、机械手和多主轴转塔头 (通常是双主轴转塔头) 的自动	

换刀装置	282	§ 2 代码	302
五、自动更换主轴箱的连续加工中心		§ 3 程序格式	304
机床	282	一、程序格式示例	304
六、自动更换刀库的加工中心机床	282	二、准备功能	306
§ 8-2 刀库	284	三、进给和主轴转速功能	308
一、刀库的储存量	284	四 辅助功能	309
二、刀库的形式	284	五、程序格式的类型	311
三、刀库设计应考虑的问题	286	六、程序格式的说明	312
§ 8-3 机械手	287	§ 4 坐标轴和运动方向命名	314
一、机械手的形式与种类	287	一、机床坐标轴和运动方向的规定	314
二、机械手的典型结构示例	289	二、各类机床简图	316
§ 8-4 自动换刀时刀具的选择方式	298	附录二 数控机床的工具系统	319
一、顺序选择	298	一、刀柄的标准	319
二、任意选择	298	二、TSG 工具系统各种接长杆的结构及	
附录一 机床数控的通用标准	302	尺寸规格	321
§ 1 穿孔带	302	参考文献	324

第一章 数字控制机床概述

§ 1-1 数控机床简介

数字控制机床, 简称数控机床 (NC, *Numerical Control*), 是三十年来综合应用了计算技术、自动控制、精密测量和机床设计等先进技术而发展起来的一种新型机床; 是实现机床自动化, 乃至革新整个生产过程的一个重要方向。

一、数控与程控

机床自动控制主要包括以下三个方面: 首先是动作顺序的程序控制; 其次是主轴转速、进给速度、更换刀具和开闭冷却液等辅助功能控制; 最重要的是对有关部件的位移量和相对位置关系的坐标控制。不仅能进行程序控制和辅助功能控制, 而且能进行坐标控制, 并以数字指令信息形式控制的机床, 即为数控机床。在程序控制机床上, 只能自动控制各动作的先后顺序, 各运动部件的位移量还需依靠挡铁和行程开关等进行控制。程控机床与数控机床的区别在于: 不能进行坐标控制, 控制指令采用模拟量形式。

二、发展简史

二十世纪四十年代以来, 由于航空和航天技术的飞速发展, 对于各种飞行器的加工提出了更好更快的要求。这些零件形状大都相当复杂, 材料多为难加工的合金。为提高强度、减轻重量, 常用整体材料, 铣空成蜂窝等结构。用传统的机床和工艺方法进行加工, 不能保证精度, 也很难提高生产率。1952年, 美国帕森斯公司和麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床, 这是一台三坐标, 采用脉冲乘法器原理的直线插补连续控制铣床。其数控装置采用电子管元件。最早研制数控机床的目的, 是为了解决零件复杂形状表面加工问题。数字电子计算机的发明和发展, 使数字控制机床的设想成为现实。数控机床为机床自动控制开辟了一个崭新的技术领域, 产生了深远的影响。三十年来, 数控机床的品种已经从铣床、镗床逐步发展到车床、钻床、磨床、自动换刀机床、测量机和绘图机等。数控机床的应用范围也从航空军事部门逐步扩大到汽车、建筑、机床、造船以及广大的机械制造行业。数控机床在提高生产率方面具有显著的效果, 据不完全统计: 数控车床比普通车床生产率可提高 3~12 倍; 数控铣床和自动换刀数控机床与普通机床相比, 生产率皆可提高 10 倍以上。1958 年, 自动换刀数控机床 (即加工中心, MC, *Machining Center*) 的出现, 标志着数控机床发展到一个更重要的阶段。计算机直接进行多机床控制系统 (DNC, *Direct Numerical Control*) 和自动实现最优控制的适应控制 (AC, *Adaptive Control*) 的出现; 小型计算机数控机床 (CNC, *Computerized Numerical Control*), 计算机辅助制造 (CAM, *Computer-Aided Manufacturing*), 以及最近出现的柔性制造系统 (FMS, *Flexible Manufacturing System*) 等, 进一步说明: 数控机床已经或即将成为组成现代机械制造生产过程的基本环节。

三、数控机床是自动生产系统的一个关键环节

数控机床的意义绝不仅是生产率的提高，而是与现代科学技术的发展紧密联系和适应的。正如能量科学、材料科学和信息科学是现代科学三大支柱一样，现代机械制造厂明确存在着能量流、物质流和信息流。无论是能量的传输和分配，还是工件、工卡量具和切屑等的准备、装卸、加工、运输、检验和处理等都要依靠信息指令进行控制。至于产品设计、生产计划、组织管理等也必须在信息指令的统一指挥下进行。机械制造厂是一个典型的大系统，对设计、制造、计划和管理等方面进行全面自动的优化控制是必然的发展方向。而数控机床则正是这个信息流的关键一环。所以，在研究和评价数控机床时，必须与整个生产过程联系起来。

为了说明机械加工生产过程已经发生的深刻变化，以及机械加工自动化的现代意义，在图 1-1 中，形象地描述了机械加工自动化的几个阶段。图 1-1 a 中，机床操作、成品检验、毛坯和工件运输完全由手工操作。图 1-1 b 中，机床实现了半自动化，生产率得到提高，而运输和测量劳动量增大了。图 1-1 c 中，采用了自动机床，毛坯和工件运输也实现了自动化，测量成为关键。图 1-1 d 中，实现了自动测量，人的作用只是根据测量结果进行调整。图 1-1 e 中，在加工过程中，自动测量工件并进行反馈控制，仅当出现故障时，才需人去排除。

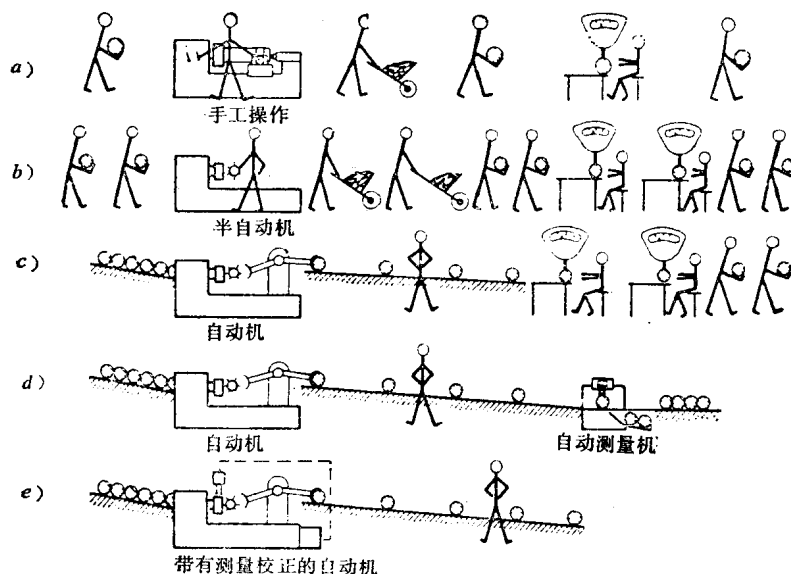


图1-1 机械加工自动化的几个阶段

在工业化初期，自动化的主要目的是提高生产率，多出快出产品。在现代，自动化必须为一个综合的目标服务。首先应在提高产量的同时，提高质量，上述图 1-1 e 正是说明这一点，采用自动测量和反馈控制的直接效果，首先表现在主动质量控制，减少了废品，提高了精度。其次是改善劳动条件，对操作人员有危险、污染、噪声以至夜间工作等岗位，都要逐步考虑实现自动化操作。近几十年来，世界范围内，工作时间缩短，熟练工人日渐缺乏，尤其是美国和西欧工业发达国家，劳动力比较贵，采用自动化装置代替工人工作，还是有利可图的。综合以上各点，机械加工自动化，采用数控机床的目的，必须是取得最

好的技术经济效果；而且不能局限于一道工序或一台机床，应该就整个生产过程做全面统一的经济分析。

对自动化进行经济分析时，一个关键问题就是生产批量。在大批大量生产中，采用自动机床、组合机床、专用工艺装备，并组成自动生产线和自动生产车间等已是行之有效，普遍采用的方法。而在占机械加工总量70~80%的单件小批生产中，生产过程自动化还是一个没有很好解决的问题。发展趋势是单件小批生产所占比重越来越大。国外对于通用机床，也采取按用户特殊要求订货的方式。现代机床的经济寿命，已从1930年的25年下降为7年。甚至公认属于大量生产的汽车，也可接受特殊订货。由于数控机床具有较好的通用性和较大的灵活性，特别适用于生产对象经常改变的情况，因而是实现小批单件生产自动化的重要途径。

四、数控机床的现状

数控机床发展的初期，数控装置可靠性差和价格高昂曾经是阻碍新技术发展的主要原因。技术关键在于电子元件。随着电子工业的发展，数控装置不断更新，发展异常迅速，大约5年左右更新一次。1952年制成的第一代数控装置采用电子管元件。1959年就采用了晶体管，发展为第二代数控。1965年改用集成电路，使第三代数控达到了新的水平。1970年进一步采用小型计算机。1975年以后，大部分数控装置几乎都采用了微处理器。这样，首先使得数控装置的可靠性得到了很好的解决，可运转500~1000小时无故障，日本已提出可靠性指标：两年允许一次故障。

同时，数控装置的价格也大大下降了。以日本富士通公司生产的车床数控装置为例：如以1967~1972年生产的FANUC240A型数控装置的售价指数为100%，则1972~1976年生产的FANUC20A为60%，而1976年以后采用微处理器的计算机数控装置FANUC-5T则为40%。即在4~5年内，售价降低了60%。

由于数控装置可靠性大大提高，售价大幅度下降，配套元件系列完整，除专业的数控机床生产厂外，一般机床厂皆可制造。而数控机床的适用范围则进一步得到扩大。数控车床最为普遍。外圆和端面，一般的轴类和端盖类零件都可在数控车床上加工。装配件间的连接螺钉孔已经不再配钻，而直接标注公差，孔距精度要求常在0.01~0.015mm之间，镗模难以保证。自动换刀数控机床可以达到一般坐标镗床的加工精度，可以工件为中心，集中多工序自动加工，所以得到广泛的应用。立式自动换刀数控机床也相当普及。从使用行业来看，数控机床早就不再局限于军工部门或大型企业使用，很小的企业也采用数控机床。从生产批量来看，批量较大的企业已经陆续采用数控机床；从发展上看，在大批大量生产中，以数控机床逐步取代部分专用机床也是可能的。

为说明数控机床发展情况，表1-1列出各主要工业国家数控机床年产量及在机床总产量中所占百分比（数控化率）。1980年，日本生产数控机床19800余台，其中4000台为自动换刀数控机床，其中一半以上向美国出口。据估计：从产量上看，数控化率有可能达到30%。因为数控机床产值较高，如果从产值上看数控化率，问题就更明显了。表1-2列出美国和日本近数年的数控机床产值情况。1980年从产值上看，日本的数控化率已达50%，其它工业发达国家已接近30%。

目前各国数控机床拥有量，及其在全部机床拥有量中所占比重也有逐渐增大的趋势，

表 1-1

年 份	美 国		日 本		英 国		西 德	
	台 数	%	台 数	%	台 数	%	台 数	%
1954~1958	194							
1965	2100	1.10	39	0.04			162	
1970	1819		1651	0.64	600		762	
1973	2865	0.96	2765	1.30				
1974	4210	1.25	3040	1.80				
1975	4017	1.43	2188	2.48				
1976			3312	2.79				

表 1-2

国 别	项 目	1973年	1974年	1975年	1976年
美 国	数控机床产值, 百万日元	76188	106033	138628	
	数控化率, %	15.2	17.7	21.0	
日 本	数控机床产值, 百万日元	47505	58471	39856	50850
	数控化率, %	15.6	16.3	17.3	22.4

表 1-3

国 别	机 床 总 拥 有 量		数 控 机 床 拥 有 量	
	数量, 台	统计年份	数量, 台	统计年份
美 国	3,800,000	1973	26,895	1973
日 本	1,500,000	1973	3,500	1970
英 国	856,000	1973	4,700	1971
西 德	1,300,000	1973	2,900	1971

参见表 1-3。世界上的数控机床拥有量, 1975 年为 6.5 万台, 1977 年为 7.6 万台, 1979 年为 10 万台, 1980 年估计为 12~13 万台。

数控技术引入机床行业, 现代机床在数量和质量上都发生了深刻变化。随着数控装置的不断革新, 庞大的数控柜正在消失。由于实现了机电一体化, 数控系统可以做为一块集成电路板插入机床电气柜。传统机床完全可以采用某些数控系统和元件, 达到技术上可行、经济上合理。无论从形式上还是实质上, 数控机床与一般机床的界限都正在消失。

数控化的现代机床是现代机械制造工业的基础。CAM 和 FMS 的设想, 目前虽然实现的不多; 而在全面优化的条件下, 逐步以自动机械代替人的劳动, 这个大方向是无可怀疑的。在实现这个理想的进程中, 数控装置的方向是组件化, 数控机床的方向是模块化。这种形式的数控装置和机床, 将能适应各类行业、各种批量的生产, 取得最好的技术经济效果。

我国发展数控机床, 起步并不晚, 1958 年就研制成功了三坐标数控铣床。二十多年来, 经过几次大上大下, 数控机床的研制工作一直没有停顿。但由于工业基础薄弱, 研制的数控机床可靠性差, 价格高, 使用率低, 生产管理水平又不适应, 所以难于大规模推广应用。即使如此, 我们已发展了 60~70 个品种, 其中 30 种在生产中得到使用, 如线切割机和非圆插齿机等都受到用户的欢迎。我们也建立了一批配套件生产点。从技术水平上, 我们

已研制了 5 坐标数控螺旋桨铣床、自动换刀数控机床、CNC 系统和自动编程系统等。同时，我们也训练了一批技术干部队伍。数控机床代表着机械制造业现代科学技术发展的方向，在国民经济调整时期，我们也要抓紧做好这一技术储备工作，让它在祖国四个现代化建设中，发挥更大的作用。

§ 1-2 工作原理和类型

一、数控机床工作原理

在数控机床上加工零件时，首先应根据零件的形状和尺寸进行分段，然后根据工艺要求确定加工程序、坐标移动增量，并确定相应的进给速度、主运动速度等参数，最后将上述程序和数据以文字和数字代码形式打在穿孔带上，这就是程序编制的过程。将穿孔带输入数控装置，通过译码器将穿孔带上的程序数据逐段传给数控装置有关部分，数控装置一边进行计算，一边将进给脉冲分配给机床各个坐标的伺服系统。伺服系统根据数控装置发出的信息指令，驱动机床有关部件，使刀具和工件严格执行穿孔带各段程序规定的相对运动，从而使机床精确地加工出符合图纸要求的零件。

数控机床一般可分为以下四个基本组成部分，即：程序编制、数控装置、伺服系统和机床。（见图 1-2）程序编制就是根据图纸作成穿孔带，可以手工编制，也可以自动编制。程序编制虽然不是数控机床的一个具体部件，但其重要性远远超出了一个部件的作用。尤其对于复杂零件加工，程序编制往往成为能否有效地使用数控机床的关键，所以应该把它视为数控机床的一个基本组成部分。数控装置是数控机床的运算和控制系统。它阅读穿孔带上记载的数据和指令，进行运算，然后将程序控制和功能控制的指令传送给机床的有关操纵系统，而将坐标控制的指令经过伺服系统传给机床执行部分。伺服系统是数控机床在机床结构方面有别于一般机床的一个特殊部分。由上述几部分组成的系统即所谓开环控制系统。如果要进一步提高机床的加工精度和生产率，可以在上述系统中，再增加一套位移测量装置。将机床运动部件的实际位移量测量出来，反馈给数控装置，即组成闭环控制系统。测量装置一般可视为伺服系统的一个部分。

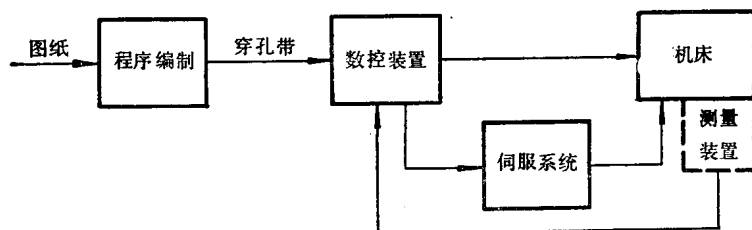


图1-2 数控机床的组成部分

数控机床是用数字量作为指令进行控制的机床。数控装置每发出一个进给脉冲，机床运动部件相应的位移量称为脉冲当量。脉冲当量是数控机床的一个基本技术参数，现有一般数控机床的脉冲当量约为 $0.002 \sim 0.01 \text{ mm/p}^{\oplus}$ 。

[⊕] p 表示脉冲 (pulse)，下同。

数控机床与一般机床在结构上是有原则区别的。在发展数控机床的开始阶段,人们把比较多的注意力集中在数控装置上面,忽视了对数控机床主机结构的研究,时常把通用机床改装为数控机床。实践证明,这些改装的数控机床存在一系列严重的弱点:例如机床刚度不足,传动副中相对运动面间摩擦过大,传动间隙过大,不适应自动化加工的特殊要求等。采用数控技术后,对机床结构的技术性能不是要求低了,而是要求更高了。因为在通用机床上,工人手动操作进行加工时,上述那些弱点都是可以靠人的主观能动性加以补救的。而在数控机床上,操作过程的自动化,对零件的加工精度要求,皆需由机床本身予以保证。所以,数控机床几乎在各方面,都要比通用机床设计得更完善,制造得更精密。因此,新型数控机床都是根据数控技术的要求专门设计的。在发展数控机床的过程中,对机床的结构设计也起了很大的推动作用,创造了不少新的元件和结构。

数控机床结构的主要特点表现为以下几个方面:

(一) 采用刚性和抗振性较好的机床新结构。首先是改进床身、立柱和横梁等机床基础件的刚性和抗振性:包括基础件结构的合理设计、筋板的合理布置、动刚度的提高和内应力的消除等。其次是提高主轴刚度和精度:包括采用高精度主轴轴承、适当加大主轴前后支承的间距、提高主轴箱刚度和采用冷却装置,控制主轴温度等。

(二) 采用高质量的伺服系统。首先要选用合适的伺服马达,使它具有较好的速度特性、负载特性和其他动态特性。其次要采用无间隙传动的伺服传动链,提高各传动元件的刚度。采用高精度、高效率的丝杠—螺母副,采用摩擦系数较低的滚动导轨、静压导轨或其它形式导轨。选择变速比时,应考虑归算到伺服马达输出轴上的惯量。同时应考虑到床身、导轨和滑枕等的结构合理性,以保证运动部件的运动精度。

(三) 提高机床生产率。采用较大功率的电机和先进刀具,以提高切削用量;并可采用多主轴、多刀架的结构,以提高切削效率,减少机加工时间。

(四) 提高机床的自动化程度,减少辅助时间。采用自动换刀和自动更换工件的装置,机外对刀、预调刀具的方法,以减少停机时间;采用自动排屑、自动润滑等措施,以保证数控机床自动化操作的顺利实现。还应考虑数控机床用于自动生产线时提出的技术要求。

二、数控机床的分类

因为数控机床是从解决航空工业复杂零件加工问题而发展起来的,所以最初主要生产数控铣床和数控钻床。近年来,数控车床有了迅速发展,在美国和日本等主要工业发达国家,其产量已超过其它数控机床。在磨床方面,由于砂轮磨损和主轴热变形等问题,数控技术的应用受到限制。近年来,由于自动测量和自动补偿等技术的发展,不仅出现了数控外圆磨床、数控平面磨床,也出现了数控凸轮磨床和坐标磨床。数控卧式镗床和数控坐标镗床也得到较快的发展。采用数控技术自动定位后,可以把工人从紧张的劳动中解放出来,而且避免了差错,保证了可靠性。其他要求相对运动轨迹为复杂曲线的,如非圆插齿机、线切割机等都已普遍采用数控技术。

特别值得提出的是自动换刀数控机床,它是在数控技术基础上发展起来的一种高度自动化的新型数控机床。在这类机床上,工件经一次装卡后,数控系统能控制机床自动更换刀具,对工件的各个加工面,连续地自动地完成铣削、钻削、镗削、铰孔、扩孔、攻丝等多工序加工。为了实现多工序加工要求,这类机床一般应具有一个分度工作台;有时为了缩

短装卸工件时间，还可附加一个多工位工作台。另外，还要增加一套自动换刀装置，主要由刀库、选刀机构和机械手三部分组成。自动换刀数控机床至少应能数控三个坐标，并能预选主运动和进给运动速度。

自动换刀数控机床一般都是在某一种机床的基型上发展起来的。从现有的自动换刀数控机床来看，有从车床、无升降台式铣床、立钻、卧镗、坐标镗床、龙门铣床、立车、组合机床和磨床等机床基型上发展起来的。这类机床具有以下优点：首先，提高了设备的利用率和劳动生产率。一般机床的净切削时间是机床开动时间的 15~20%，数控机床是 65~70%，而自动换刀数控机床可达 75~85%，所以自动换刀数控机床平均切削效率比通用机床高 4 倍左右。其次，由于工序的集中和自动加工，避免了人为的操作误差，提高了加工质量；同时避免了零件在各道工序间的转换，既减少了在制品的库存量，又减少了车间的生产面积，还简化了生产管理。而且，还可以进一步节省工艺装备，缩短新产品试制周期。这类机床比较适用于产品更换频繁，零件形状比较复杂，精度要求较高，生产批量不大而生产周期较短的工厂企业。因其价格较贵、维修较难，应用范围受到局限。

数控机床经过二十多年的发展，品种日益繁多，几乎所有主要型式的通用机床都有数控化的变型机床出现。这些机床通常可按以下三种方式进行分类：

(一) 按控制刀具相对工件移动的轨迹

可分为点位控制系统、直线控制系统和连续控制系统；

(二) 按数控装置与机床的关系

可分为内插补控制系统和外插补控制系统；

(三) 按被调量有无检测及反馈

可分为开环控制系统、闭环控制系统以及半闭环系统等。

各类系统的特点，详见有关章节。

三、几种数控机床的介绍

(一) XK5040 型数控立式升降台铣床

本机床适于加工各种复杂曲线的凸轮、样板、靠模、模具、弧形槽等平面或立体零件；尤其适于在经常变换品种的生产部门，如机械制造业中的工具车间等单位使用。机床外形见图 1-3。机床工作台尺寸为 $400 \times 1600 \text{mm}^2$ 。在 X、Y、Z 三个坐标方向的行程分别为 900、400、300mm。主轴转速为 40~2000 rpm，分为 18 级。工作进给速度为 10~1200 mm/min。加工精度为 $\pm 0.05 \text{mm}$ 。表面光洁度可达 $\nabla 6$ 。

机床为三坐标铣床。插补原理是逐点比较法。可进行直线及圆弧插补，同时可数控两个坐标。脉冲当量为 0.005 mm/p。采用 ISO 代码，八单位标准纸带。伺服系统采用功率步进电机直接驱动进给丝杠。

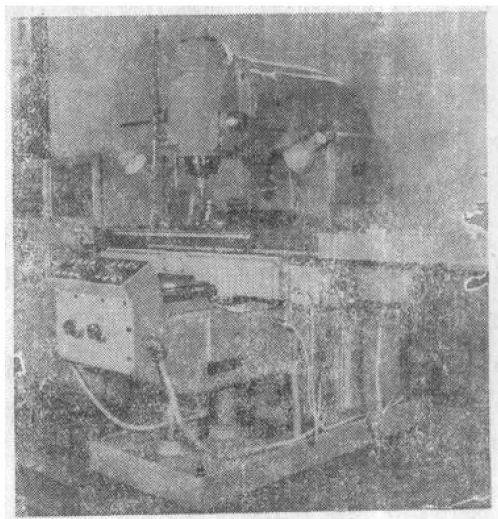


图1-3 XK5040型数控立铣

X 、 Y 坐标方向功率步进电机转矩为 $10\text{N}\cdot\text{m}$ ， Z 坐标方向为 $30\text{N}\cdot\text{m}$ 。数控装置并可进行刀具偏移补偿 $0\sim 50\text{mm}$ ，间隙补偿 $0\sim 0.075\text{mm}$ 。

(二) XKH2510 型四坐标数控龙门铣床

机床外形见图 1-4。机床主要结构特点是具有一个可摆动 $\pm 15^\circ$ 的主轴，可数控坐标为 4 个，可同时联动只有 3 个。机床可用于航空工业部门，加工具有空间扭曲面和空间孔穴的钛合金及铝合金零件。工作台尺寸为 $1000\times 3000\text{mm}^2$ ，主轴端面至工作台面最小距离为 150mm ，主轴端面至摆角回转中心距离为 195mm 。 X 、 Y 、 Z 三坐标方向工作行程分别为 2500 、 1000 、 500mm 。主轴转速分 16 级， $30\sim 1500\text{rpm}$ 。工作进给范围是 $6\sim 1000\text{mm}/\text{min}$ 。加工精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ，表面光洁度 $\nabla 5$ 。数控装置采用一次脉冲乘法器。脉冲当量为 $0.01\text{mm}/\text{p}$ ，主轴摆动的角脉冲当量为 $8''/\text{p}$ 。系统采用 EIA 代码，八单位标准纸带。伺服系统为开环控制，使用输出转矩为 $70\text{N}\cdot\text{m}$ 的电液步进马达。工作台采用静压丝杠、静压导轨，主轴箱采用气静压导轨。主轴为喷雾润滑，刀具可以液压自动卡紧。

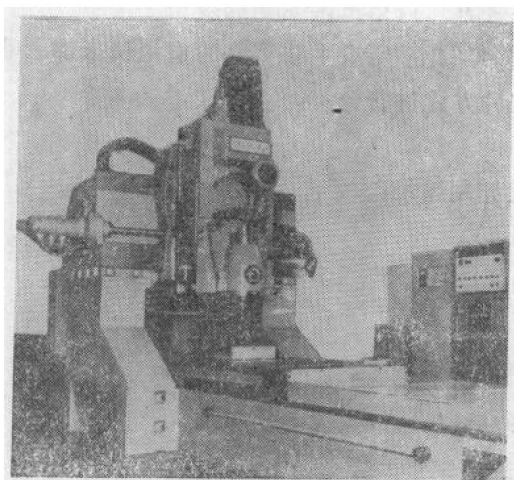


图1-4 XKH2510型数控龙门铣床

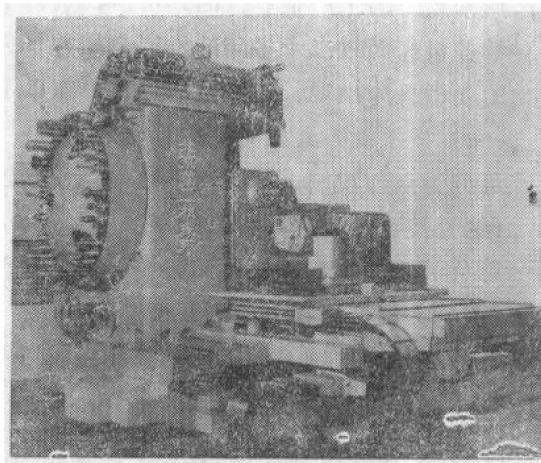


图1-5 THK6380型自动换刀数控镗铣床

(三) THK6380 型自动换刀数控卧式镗铣床

本机床适用于单件、小批量多品种箱体零件的加工，它能在一次装卡中自动完成镗、铣、钻、扩、铰、攻丝和铣 45° 斜面等工序。机床外形示于图 1-5。机床工作台面积为 $800\times 1250\text{mm}^2$ 。回转工作台直径 900mm 。 X 、 Y 、 Z 三个坐标方向工作行程分别为 1000 、 880 、 700mm 。回转工作台可分度 8 个位置，相隔 45° 。主轴转速为 $28\sim 1450\text{rpm}$ ，分 18 级。工作进给为 $5\sim 1250\text{mm}/\text{min}$ 。伺服系统为电液步进马达驱动的开环控制。自动换刀装置部分：刀库容量 40 把，可任意选刀，刀具最大直径 120mm ，最大长度 400mm ，最大重量 12kg ，换刀时间约为 15s 。机床直线坐标定位精度 $\pm 0.02/300\text{mm}$ ，回转工作台定位精度 $\pm 15''$ 。镗孔圆度偏差小于 0.05mm ，表面光洁度 $\nabla 6$ 。刀库采用转盘式结构，通过前后机械手及搬运机构进行自动换刀。回转工作台采用圆柱销定位。床身采用镶钢导轨。主轴箱有自动温度控制装置。

(四) CSK6163 型数控车床

本机床适用于单件及中小批量生产，加工多品种、几何形状比较复杂、精度要求比较

高的轴类和盘类零件，可完成直线、圆弧、直螺纹和锥螺纹的自动加工。机床外形见图1-6。床身上的最大工件回转直径 630mm，最大工件长度 1500mm。刀架上最大工件回转直径340mm。主轴转速为30~1000rpm，分16级。进给量为0.01~20.47mm/r[●]。机床加工在直径上可保证二级精度，圆度偏差小于0.008mm，圆柱度偏差小于0.015/300mm。表面光洁度▽6。插补原理为逐点比较法，可两坐标联动加工直线或圆弧。径向坐标脉冲当量为0.005mm/p，轴向坐标脉冲当量为0.01mm/p。代码可用EIA或ISO。伺服系统为开环控制，采用电液步进马达。主传动为半分离传动。采用了液压卡盘和液压尾座。本机床在生产第一线经过一年的生产考验，加工了30余种、3000多个工件，说明机床性能稳定、工作可靠。

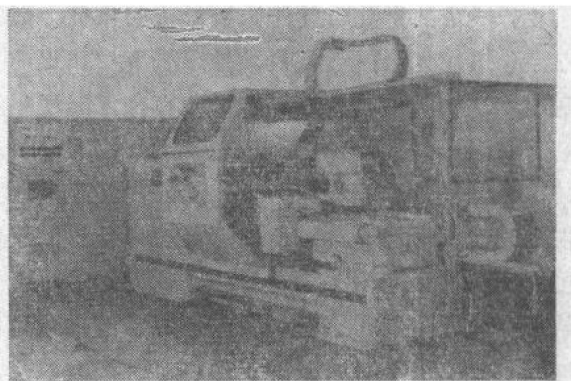


图1-6 CSK6163型数控车床

§ 1-3 数控机床的发展趋势

一、小型计算机数控 (CNC)

为了降低数控装置的成本，提高其工作性能，国外早就着手研究利用可以成批生产的小型通用电子计算机代替传统的数控装置。美国数字设备公司于1968年研制成功，日本、法国、西德等国陆续生产和使用小型计算机数控。其方框图见图1-7。

为了使小型计算机能起到现有数控装置中的逻辑电路所具有的作用，必须预先为小型计算机编制程序，并把它储存到内存存储器中去。这种程序称为“系统程序”，一经输入，它就确定了小型计算机的控制逻辑。然后再把根据具体零件决定的“零件程序”以穿孔带的形式输入计算机。数控装置和机床即可进行工作。系统程序与零件程序不同，前者决定小型计算机中固定的工作逻辑，后者决定机床运动的指令。由于小型计算机可以在线进行大量计算，所以加工具体零件所需的穿孔带长度即可显著缩短。

小型计算机所具有的数控功能，是由系统程序决定的，改变系统程序，即可改变数控功能。所以，小型计算机数控具有很大的通用性。既可用于车床，又可用于铣床或其他各类机床；既可进行一般数控，又可进行适应控制。它还可能具有传统的数控装置所不具备的复杂功能，并可满足用户提出的特殊要求。因为只要改变一下系统程序，上述各种要求

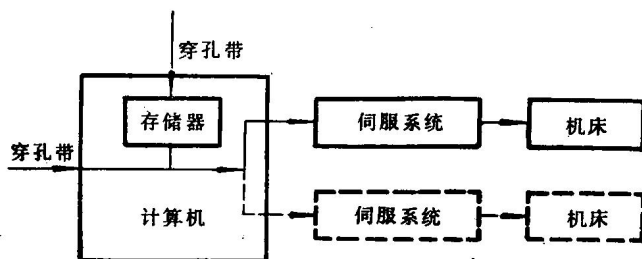


图1-7 小型计算机数控方框图

● mm/r 表示进给量：毫米每转。

即可满足。

一般常把穿孔带看作数控机床的象征，而实践说明，穿孔带具有很多本质性的缺陷。除去穿孔带和光电阅读机是数控装置发生错误的主要来源之外，穿孔带一经制成，如不重新制作，就很难更改。这样，即使在加工过程中发现穿孔带的程序设计不合理，也无能为力，只有勉强用它进行加工，浪费了数控机床的生产能力。这也是要用小型计算机代替传统的数控装置的一个重要原因。因为一般数控装置的控制逻辑是由固定接线的硬件结构实现的，很难改变。而小型计算机的系统程序是存贮于内存贮器中的，很容易及时修改。而且，还可以把零件程序输入到计算机的内存贮器中；加工过程中不再通过光电阅读机，而是直接从内存贮器中取出加工指令。穿孔带的作用可以降低，甚至被取代。小型计算机引入数控机床，提高了数控装置的工作可靠性，同时也提高了修改程序时的灵活性。

采用小型计算机数控是人们早就向往的，但以前因计算机价格昂贵，使人不敢问津。随着计算机成本的成倍下降，情况迅速发生了变化；把微处理器用于计算机数控系统以后，整机成本更为降低。日本富士通公司研制的 5M、5T、5D 和 7M、7T 等系统，以及最近研制的 6 系统，都是采用微处理器的 CNC 系统。除多坐标数控铣床和自动换刀数控机床外，CNC 系统已经取代了传统的由硬件组成的数控装置。

二、计算机直接数控 (DNC)

计算机直接数控是将大型通用计算机输出的数据，直接输给机床的控制系统来控制一群机床，因此，也称为“群控”，或“多机床控制”。根据其控制装置、机床与计算机结合方式的不同，可分为以下两类：

(一) 间接型计算机直接数控

这种结合方式，是直接数控系统中最简单的一种形式。在这种系统中，将来自计算机存储的程序，通过连接装置，分别直接送到机床群中每台机床的普通数控装置中去，而不需要再经过纸带阅读机。系统方框图见图 1-8。

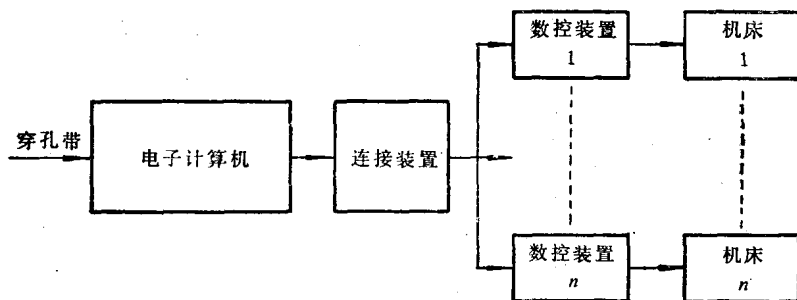


图1-8 间接型计算机直接数控方框图

(二) 直接型计算机直接数控

在这种结合方式中，机床群中每台机床上只装有伺服控制电路和操作盘（机床控制装置），不再装数控装置。数控功能集中到一个分时多路数控装置内，再与计算机的中央处理装置连接起来。图 1-9 为这种方式的方框图。

前一种结合方式，数控机床和电子计算机都设置在车间内。后一种结合方式的分时多路数控装置可安装在环境条件较好的控制室内，工作可靠性可以大大提高。同时，每台机