

数控机床的结构与传动

北京航空学院机械加工教研室 编

国际工业出版社

内 容 简 介

本书叙述了数字控制机床的主机(不包括控制机部分)各主要部件及元件的工作原理、结构以及机床主运动和进给运动的传动装置。着重介绍开环式数控机床。本书共分为六章：(一)数控机床概述；(二)数控机床的液压传动基础；(三)数控机床的主传动及自动换刀装置；(四)数控机床的伺服机构；(五)数控机床工作台的传动装置；(六)数控机床的床身及导轨。

本书可供数字控制机床的设计、制造、操作、维修工作人员以及高等院校有关专业的师生参考。

数控机床的结构与传动

北京航空学院机械加工教研室 编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 18⁷/₈ 428千字

1977年9月第一版 1977年9月第一次印刷 印数：00,001—29,000册

统一书号：15034·1560 定价：1.95元

(限国内发行)

前 言

我国数控机床研制工作，在毛主席无产阶级革命路线的指引下日益发展。由于数控机床具有提高劳动生产率和加工精度，缩短生产准备周期，减轻体力劳动强度，减少设备费用，降低生产成本等优点，已被广泛应用于机械制造、航空工业、造船和车辆工业、金属加工等部门。它适用于中小批量、多品种、复杂形状零件加工。

无产阶级文化大革命以来，工业战线上广大工人、革命干部和技术人员坚持“独立自主、自力更生”艰苦创业的革命精神，“抓革命、促生产”，不少工厂、科研单位和高等院校相继研制出许多不同类型的数控机床和自动换刀数控机床（即加工中心机床）。

为了配合我国数控机床的推广和应用，我们曾到有关工厂调查研究，向工人同志学习，并收集了有关数控机床的资料，编写了这本书，供从事数控机床方面工作人员和高等院校师生参考。

本书着重介绍国产开环式数控机床，对于闭环式机床中的电液伺服阀、光栅、感应同步器及旋转变压器等控制元件也做了简单介绍。

在编写本书过程中，我们曾得到一机部机械研究院、北京机床研究所、北京第一机床厂、北京第二机床厂、北京第三机床厂、北京第八机床厂和清华大学等单位的大力支持，在此，谨致以谢意！由于我们对数控机床的认识比较肤浅，加之业务水平有限，书中可能存在不少缺点和错误，热忱地欢迎广大读者、特别是从事数控机床生产、操作和维修的工人、技术人员提出批评指正。

目 录

第一章 数控机床概述.....	7
第一节 数控机床的简单介绍.....	7
第二节 数控机床的基本工作原理.....	8
一、控制介质.....	8
二、数控装置.....	13
三、伺服机构和进给传动元件.....	13
四、测量装置.....	15
五、机床.....	15
第三节 数控系统的分类.....	16
一、按控制刀具相对工件移动的轨迹.....	16
二、按被控制量有无检测反馈装置.....	17
第四节 数控机床的发展趋势.....	18
一、自动换刀(多工序)数控机床.....	18
二、“适应”数控机床.....	19
三、机床的计算机控制.....	20
第二章 数控机床的液压传动基础.....	22
第一节 液压传动概述.....	22
一、液压传动的特点.....	22
二、液压传动所采用的油液.....	24
三、数控机床液压传动的应用实例.....	25
第二节 各种液压元件的简单介绍.....	27
一、油泵.....	27
二、油缸.....	30
三、压力控制阀.....	35
四、方向控制阀.....	42
五、流量控制阀.....	48
第三节 数控机床液压系统的设计.....	50
一、液压系统设计的内容.....	50
二、液压系统原理图的制订.....	51
三、伺服拖动元件的选择.....	56
四、油泵的选择.....	60
五、油箱设计和管径计算.....	63
六、各种液压元件的选择.....	64
七、油泵电动机功率的计算.....	65
八、步进电机的选择.....	65
第四节 数控机床液压系统举例.....	66
一、液压系统的组成部分及其功能.....	66
二、液压系统各组成部分的工作原理.....	69
第三章 数控机床的主传动及自动换刀装置.....	72
第一节 数控机床的主传动.....	72
一、对主传动的要求.....	72
二、变速方法.....	72

第二节	主轴部件	82
一、	对主轴部件的要求	82
二、	典型主轴部件	82
三、	主轴上刀具的自动装卸	84
第三节	刀具自动夹紧及主轴准停装置	86
第四节	数控机床的自动换刀装置	91
一、	自动换刀装置的形式	92
二、	刀库	96
三、	刀具的交换装置	106
第五节	自动换刀装置控制回路的实例	122
一、	刀具号二~十进制编码	124
二、	刀具号寄存器	125
三、	刀具号一致判别回路	127
四、	顺序计数器	129
五、	主控制回路	130
第四章	数控机床的伺服机构	133
第一节	伺服机构的作用及要求	133
一、	伺服机构的作用	133
二、	伺服机构的要求	133
第二节	伺服机构的分类	134
一、	开环系统	134
二、	闭环系统	134
第三节	步进电机	135
一、	步进电机的工作原理	135
二、	步进电机的特性	137
三、	步进电机的结构	139
第四节	电液脉冲马达	141
一、	油马达(液动机)	141
二、	随动阀	144
三、	液压扭矩放大器的定态特性	145
四、	液压扭矩放大器的稳定性	150
五、	液压扭矩放大器随动阀参数的计算	156
六、	液压扭矩放大器的性能及随动阀的工艺	161
第五节	电液伺服阀	164
一、	QDY系列电液伺服阀的工作原理	164
二、	QDY系列电液伺服阀的性能	166
三、	电液伺服阀的使用	168
第六节	光栅	169
一、	光栅的工作原理	169
二、	光栅读数头的结构	171
第七节	感应同步器及旋转变压器	174
一、	旋转变压器的工作原理	174
二、	感应同步器的工作原理	176
三、	感应同步器装置的结构	179
第五章	数控机床工作台的传动装置	181
第一节	数控机床工作台传动装置的要求	181
第二节	丝杠螺母付	182
一、	丝杠螺母付的特点	182

二、丝杠螺母付的技术条件	183
三、丝杠螺母付的材料和热处理	185
第三节 滚珠丝杠螺母付	186
一、滚珠丝杠付的特点	187
二、滚珠丝杠付的参数	187
三、滚珠丝杠付的结构和调整	188
四、滚珠丝杠付的标记方法	191
五、滚珠丝杠付的质量与性能	194
六、滚珠丝杠付在机床上安装的方式	196
七、滚珠丝杠付的润滑和密封	197
八、滚珠丝杠付的设计计算	198
九、滚珠丝杠付的加工工艺	209
十、反向器回行道的几何设计	211
第四节 齿轮传动间隙的消除措施	213
一、圆柱齿轮传动	214
二、斜齿轮传动	216
三、锥齿轮传动	217
四、齿轮齿条传动	217
第五节 回转工作台	218
一、分度工作台	218
二、数控回转工作台	224
第六节 开环式数控机床工作台的传动装置	228
一、工作台传动装置的典型实例	228
二、工作台位移精度的误差分析	230
三、提高工作台位移精度的措施	231
四、进给输出控制回路的实例	233
五、螺距误差补偿控制回路的实例	236
六、反向间隙补偿控制回路的实例	238
七、返回零点控制的实例	241
第六章 床身及导轨	244
第一节 床身	244
一、床身等大件的要求	244
二、床身等大件的材料及时效处理	246
三、床身等大件的结构设计	248
第二节 滑动导轨	253
一、导轨概述	253
二、导轨的形式及应用	256
三、导轨间隙的调整	258
四、提高导轨耐磨性的措施	260
第三节 滚动导轨	265
一、滚动导轨的特点及结构形式	265
二、滚动导轨结构尺寸的决定	270
第四节 静压导轨	276
一、静压导轨概述	276
二、双边薄膜反馈闭式静压导轨的设计和计算	280
三、静压导轨的调试及液压系统中注意事项	291
第五节 导轨的润滑	293
一、导轨润滑的目的和润滑方式	293
二、设计导轨润滑系统时注意事项	294
主要参考文献	295

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的简单介绍

近年来，随着科学技术的迅速发展，机械产品的形状和结构不断地改进，这就要求机床设备具有较好的通用性和较大的灵活性，以适应生产对象频繁变化的需要。特别是对于宇宙航行、航空等部门中的加工批量不大、生产周期要求短、改型频繁、形状复杂、精度要求又很高的这一类零件的加工，如何提高劳动生产率、提高产品质量、降低产品成本及改善劳动条件已成为目前迫切需要解决的问题。

由于这类产品的批量不大时，采用自动化机床及自动线显然是不经济的，这是因为当产品改型后，原有的自动机床或自动线就不能用了或要进行重新调整，而这种重新调整工作量又是非常大的。

仿形机床虽然具有一定的通用性，部分地解决了单件、小批生产中的加工自动化问题。但在使用仿形机床时，仍需要对机床进行必要的调整和制造靠模等，它所费的手工劳动量还是很大的。如果加工零件的批量不大而形状又十分复杂时，制作这样的靠模也是不合算的。特别对于许多形状非常复杂的零件，用仿形机床根本无法加工出来或加工精度不能保证。因此，目前占机械加工总量80%以上的单件、小批生产还是停留在采用手工操作的通用机床进行加工。

大家都知道采用通用机床加工零件时，机床运动的开始、结束、先后次序以及工作部件的移动量等的控制都是由操作工人来完成的。其实，这些控制不一定要操作工人来完成，可以用自动控制系统和电子计算机来代替。数字控制机床（以下简称为数控机床）就是把加工零件的全部过程记载在控制介质（例如穿孔带、穿孔卡、磁带等）上，再由控制系统代替工人操作对机床进行控制。它是最近二十多年来综合地应用了计算技术、自动控制、精密测量及机床结构设计等各种技术的最新成就而发展起来的一种新型机床，它具有通用性、灵活性及高度自动化的特点。在这种机床上如果加工的零件改变时，除了重新装卡零件和更换刀具（在自动换刀的数控机床上，可以自动换刀）外，只需要更换一个新的控制介质，就可以自动地加工出所需要的新零件，而不需要对机床本身作任何调整。数控机床在它的自动加工循环中，不仅能对加工过程的先后顺序，以及其它辅助功能（如主轴转速和进给速度的改变及冷却润滑液的开闭等）进行控制外，还能对机床运动部件（如工作台或刀架等）的位移量及速度进行控制。

数控机床由于控制系统比较复杂，机床制造成本昂贵，目前，它适用于零件的加工精度要求较高、形状比较复杂的单件、小批生产中。这样可以省去或减少大量的样板和模具等工艺装备的制作，缩短生产准备周期，减轻操作工人的劳动强度，提高劳动生产率及降低生产成本等。随着数字控制技术的普及和机床制造成本的进一步降低，可以预见在不久的将来，它的使用范围会越来越广，将成为广泛实现单件、小批生产加工自动化的重要途

径之一。

数控机床已有二十多年的历史。在最初阶段,主要是采用对通用机床进行改装的办法,例如把普通车床、铣床、钻床及镗床等改装成数控车床、数控铣床、数控钻床及数控镗床等。但随着技术的发展,用通用机床改装为数控机床存在着一些严重的弱点,例如机床刚度不足,滑动面的摩擦阻力太大,传动元件中存在间隙等问题越来越突出地暴露出来。由于在数控机床上加工不能象在通用机床上加工时那样,可以用工人的手动操作来补偿上述因素对加工零件的精度影响,故对于数控机床几乎在任何方面都要求比通用机床设计得更完善,制造得更精密。因此,数控机床已由改装通用机床逐步发展到专门为满足数控要求而设计的新的数控机床。在这过程中,对机床的结构设计起了很大的推动作用,从通用机床的基型上逐渐发展了不少完全新颖的结构和元件。这些变动,大致表现在下列几个方面:

1. 采用了刚度和抗振性较好的机床新结构;
2. 采用了无间隙的齿轮传动付,以消除传动装置中反向时的空程死区;
3. 采用了传动效率很高的精密滚珠丝杠——螺母付等传动元件;
4. 采用了摩擦系数很低的滚动导轨或静压导轨,以提高机床运动的灵敏性;
5. 采用了增大功率的电机和先进刀具,以提高切削用量;
6. 采用了多主轴、多刀架的结构,以提高单位时间内的切削效率;
7. 采用了自动换刀和自动更换工件的装置,以减少停机时间;
8. 采用了自动排屑、自动润滑装置等。

第二节 数控机床的基本工作原理

数字控制系统的基本结构方框图,如图 1-1 所示。

数控机床一般包括以下四个基本组成部分:控制介质、数控装置(控制机)、伺服机构及机床。象这样一类的控制系统,通常称为开环控制系统。如果为了进一步提高机床的加工精度和生产率,在上述的控制系统中,再加进一个测量机床运动部件位移量的测量装置(如图 1-1 中虚线表示的部分),就变为闭环控制系统了。有关控制系统的各个组成部分的基本功能和特性,将分别简单介绍如下。

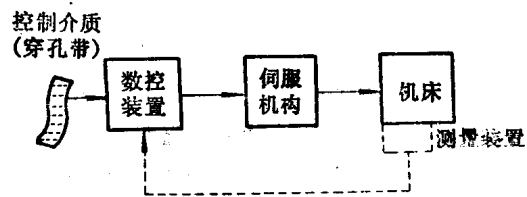


图1-1 数控系统方框图

一、控制介质

自动化的基本功能就是自动控制。控制任何一个过程,必须要在人和机器之间通过某种媒介物的联系,才能建立起来。同样,在数控机床的工作过程中,为了得到加工图纸上所规定的零件形状和加工精度,在加工过程中,机床所需要的全部操作程序和刀具相对于工件的运动,都是由我们预先按要求来决定,然后把这些所需要的全部控制指令存放在某一种存储介质上,这种存储介质称为“控制介质”。它把人和机器联系起来。这种控制介

质可以是穿孔带，也可以是穿孔卡、磁带或其它合适的形式。采用那一种控制介质，这取决于所用的数控装置的类型。

在数控机床上，目前采用得最普遍的一种控制介质是八单位（或八行孔）的标准穿孔带。这种八单位的标准穿孔带的尺寸和规格，如图 1-2 所示。

在零件机械加工过程中，控制机床的全部指令，是用信息代码的形式，按程序存放在控制介质（例如穿孔带）上的。信息代码是数控系统的一种“语言”。目前，世界各国常用的标准代码有两种：一种叫 EIA● 代码，另一种叫 ISO● 代码。我国过去试用 EIA 代码较多，但最近正在推广 ISO 代码（有利于与计算机配合使用）。在上述的标准代码中，各种不同的数字和操作指令都是用穿孔带上不同孔位组合来表示，见表 1-1 和表 1-2。

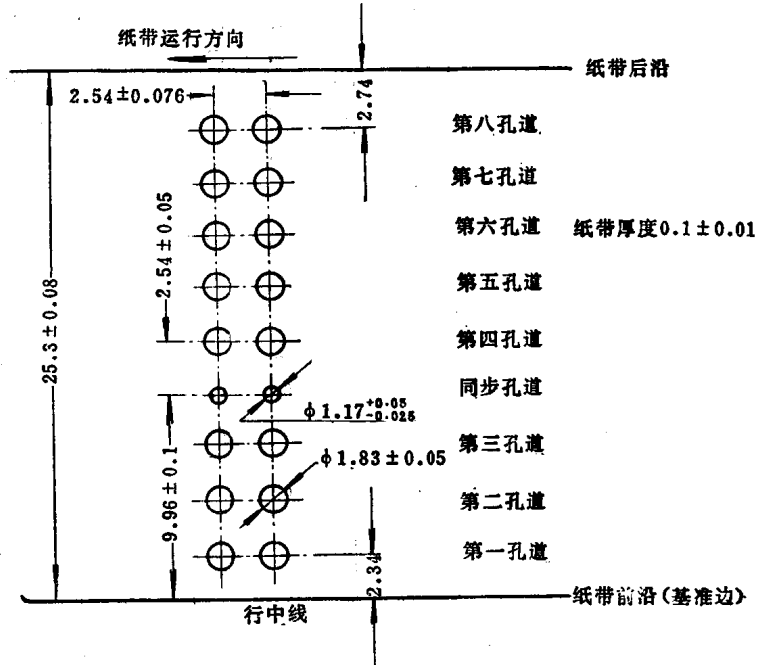


图1-2 标准穿孔带

如果我们要在一台数控铣床上加工一个如图 1-3 所示的零件，必须按下列步骤制作穿孔带。

1. 首先要了解零件的加工图纸，在保证加工精度的前提下，确定零件的装卡方法，选定对刀点、程序的起始点和加工路线，选好要用刀具的尺寸和切削用量。根据图纸上所表示零件的形状和尺寸进行分段，画出表示刀具中心轨迹移动和加工顺序的路线图。如图 1-3 所示。然后再算出每段程序所需要移动的坐标增量值。从图 1-3 中可以看出：刀具中心的加工路线为 0 → a → b → c → d → e → f → 0。

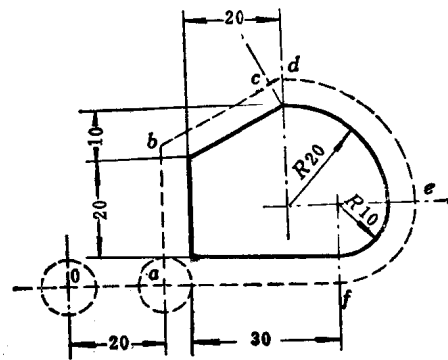


图1-3 零件图和刀具轨迹路线

2. 将上述计算得到的各段程序的坐标增量值，选定的工艺参数及各种操作程序，依次以数控装置所采用的信息指令的形式编制程序单。

3. 根据程序单制作穿孔带。设这台数控机床的脉冲当量为 0.01 毫米/单位脉冲，穿孔带的某一个程序段的打孔情况，如图 1-4 所示。

- EIA全文为Electronic Industries Association(电子工业协会)。
- ISO全文为International Organization for Standardization(国际标准化组织)。

表1-1 EIA标准代码表

穿孔带代码								数字或代码	符 号	
8	7	6	5	4	0	3	2			1
		○			○			○	0	数字 0
					○				1	数字 1
					○		○	○	2	数字 2
			○		○			○	3	数字 3
			○		○		○	○	4	数字 4
			○		○	○	○	○	5	数字 5
			○		○	○	○	○	6	数字 6
				○	○		○	○	7	数字 7
			○	○	○			○	8	数字 8
				○	○			○	9	数字 9
○	○	○			○			○	A	绕着 x 轴的角度座标
○	○	○	○		○			○	B	绕着 y 轴的角度座标
○	○	○	○		○			○	C	绕着 z 轴的角度座标
○	○	○	○		○	○		○	D	第三进给速度功能
○	○	○	○		○	○		○	E	第二进给速度功能
○	○	○	○		○	○	○	○	F	进给速度功能
○	○	○	○		○	○	○	○	G	准备功能
○	○	○	○		○			○	H	输入(或引入)
○	○	○	○		○			○	I	不用
○	○	○	○		○			○	J	没有被指定
○	○	○	○		○			○	K	没有被指定
○	○	○	○		○			○	L	不用
○	○	○	○		○	○		○	M	辅助功能
○	○	○	○		○	○		○	N	序号
○	○	○	○		○	○		○	O	不用
○	○	○	○		○	○		○	P	平行于 x 轴的第三座标
○	○	○	○		○	○		○	Q	平行于 y 轴的第三座标
○	○	○	○		○	○		○	R	平行于 z 轴的第三座标
○	○	○	○		○			○	S	主轴转速功能
○	○	○	○		○			○	T	刀具功能
○	○	○	○		○	○		○	U	平行于 x 轴的第二座标
○	○	○	○		○	○		○	V	平行于 y 轴的第二座标
○	○	○	○		○	○		○	W	平行于 z 轴的第二座标
○	○	○	○		○			○	X	x 轴方向的主运动座标
○	○	○	○		○			○	Y	y 轴方向的主运动座标
○	○	○	○		○			○	Z	z 轴方向的主运动座标
○	○	○	○		○			○	.	小数点
○	○	○	○		○			○	+	加
○	○	○	○		○			○	-	减
○	○	○	○		○			○	*	乘
○	○	○	○		○			○	/	省略/除
○	○	○	○		○			○	,	逗号
○	○	○	○		○			○	=	等号
○	○	○	○		○			○	(括号开
○	○	○	○		○			○)	括号闭
○	○	○	○		○			○	\$	单元符号
○	○	○	○		○			○	:	选择(或计划)倒带停止
○	○	○	○		○			○	Stop	纸带倒带停止
○	○	○	○		○			○	Tab	制表(或分隔符号)
○	○	○	○		○			○	CR	程序段结束
○	○	○	○		○			○	Delete	注销
○	○	○	○		○			○	Space	空格

表1-2 ISO标准代码表

穿孔带代码								数字或代码	符 号	
8	7	6	5	4	0	3	2			1
		○	○		○			○	0	数字 0
		○	○		○				1	数字 1
○		○	○		○				2	数字 2
		○	○		○				3	数字 3
○		○	○		○			○	4	数字 4
		○	○		○				5	数字 5
		○	○		○			○	6	数字 6
○		○	○		○				7	数字 7
		○	○		○			○	8	数字 8
		○	○		○				9	数字 9
		○	○		○			○	A	绕着 x 轴的角度座标
		○	○		○				B	绕着 y 轴的角度座标
		○	○		○			○	C	绕着 z 轴的角度座标
○		○	○		○				D	第三进给速度功能
		○	○		○			○	E	第二进给速度功能
○		○	○		○				F	进给速度功能
		○	○		○			○	G	准备功能
		○	○		○				H	输入(或引入)
		○	○		○			○	I	不用
○		○	○		○				J	没有被指定
		○	○		○			○	K	没有被指定
		○	○		○				L	不用
○		○	○		○			○	M	辅助功能
		○	○		○				N	序号
		○	○		○			○	O	不用
○		○	○		○				P	平行于 x 轴的第三座标
		○	○		○			○	Q	平行于 y 轴的第三座标
○		○	○		○				R	平行于 z 轴的第三座标
		○	○		○			○	S	主轴转速
○		○	○		○				T	刀具功能
		○	○		○			○	U	平行于 x 轴的第二座标
		○	○		○				V	平行于 y 轴的第二座标
○		○	○		○			○	W	平行于 z 轴的第二座标
		○	○		○				X	x 轴方向的主运动座标
○		○	○		○			○	Y	y 轴方向的主运动座标
		○	○		○				Z	z 轴方向的主运动座标
		○	○		○			○	.	小数点
		○	○		○				+	加
		○	○		○			○	-	减
○		○	○		○				*	乘
		○	○		○			○	/	省略/除
		○	○		○				,	逗号
		○	○		○			○	=	等号
○		○	○		○				(括号开
		○	○		○			○)	括号闭
		○	○		○				\$	单元符号
○		○	○		○				:	选择(或计划)倒带停止
		○	○		○			○	Stop	纸带倒带停止
		○	○		○			○	Tab	制表(或分隔符号)
○		○	○		○			○	CR 或 EOB	程序段结束
		○	○		○				Delete	注销
○		○	○		○			○	Space	空格

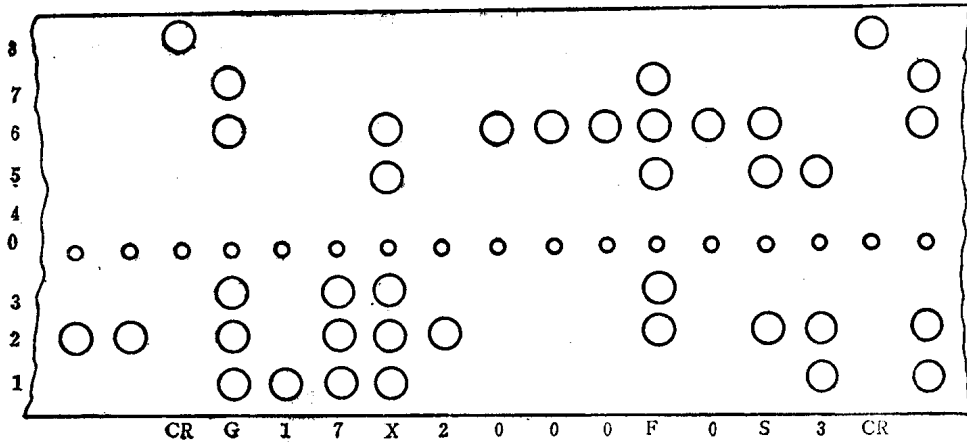


图1-4 穿孔带程序段示例

由图 1-4 可见，这段程序相当于铣刀对工作台，从对刀点 0 沿 X 座标方向移动 20 毫米到加工起点 a 。在这程序段前后，都穿有文字代码 CR 的孔。CR 的全称是程序段结束代码，用以表示指令信息的段落。在这段程序中，G17 代码表示加工是在 XY 座标平面中进行；X 2000 表示工作台往 X 轴的正方向移动 20 毫米，在数控装置指令的穿孔带上，一般不用小数点，小数点究竟在数字的那个位置，是由数控装置来确定（本例是在倒数第 2 位与第 3 位之间）；FO 代表快速进给，S3 代表主轴转速，它们的数值都是由机床的传动系统来规定。

必须说明，加工时穿孔带是一段程序一段程序地向数控装置输入的。在机床加工过程中，穿孔带输入下一段程序（几排孔或十几排孔），到达 CR 信息代码时，穿孔带的读带机就自动停止。数控装置接受了穿孔带的指令，首先是将指令储存起来，然后作必要的运算。当机床完成了前一程序段所要求的动作后，接着就按这一程序的指令动作，这时数控装置又输入下一程序的指令。由于数控装置运算的速度很快，机床按每一程序进行工作的时间较长，故穿孔带每一程序的移动虽然是间断的，但机床的运动却是不停顿地连续进行。

如上所说，穿孔带每一程序的指令是通过读带机输送到数控装置上去的。读带机通常有光电式和机械式两种，它们的功能都是一样的，只不过光电读带机的阅读速度较机械读带机快些。

光电读带机的工作原理，如图 1-5 所示。光电读带机与数控装置用电的转换插头联系起来。启动数控装置后，数控装置将发出命令，使读带机自动启动和停止，每次只阅读穿孔带上一个程序段。

穿孔带是由读带机上的主动轮 4 带动，使穿孔带从光电读带机的镜头 2 下自动通过。当电磁铁 6 吸合时，左压紧轮将穿孔带压向主动轮 4，由于主动轮 4 由一个单相电动机带动旋转（图中没有示出），故穿孔带被向左传送。当电磁铁 6 断电，而电磁铁 5 吸合时，右压紧轮将穿孔带压向停车棒 3，将穿孔带夹住，从而使穿孔

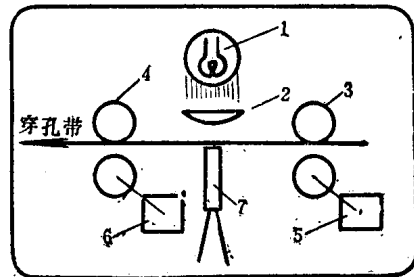


图1-5 光电读带机示意图

带停止。当再次使穿孔带移动时，则电磁铁 5 断电，而电磁铁 6 又吸合，重复上述过程。镜头 2 为一透镜，它将光源 1 的光线聚成一条窄光柱或平行光柱，在穿孔带下安装有受光体 7，它是一种光敏元件（通常有光敏二极管及光电池两种）。光敏元件有这样一个特性，当它不受光时阻抗很大；当它接受一定的光通量时阻抗很小。我们将这种光敏元件接到放大电路的输入端。由于八单位光电读带机中，在透镜 2 位置处穿孔带下方对应的一排孔位都有一个光敏元件（即共有 8 个信号孔及 1 个同步孔，共有 9 个光敏元件），故当穿孔带从光敏元件上通过时，穿孔带上有孔或无孔的变化就会使光敏元件有受光或不受光的变化，在放大电路中就能变成电信号的高电位或低电位的变化，这样的电信号被数控装置接受后，就按照这些信号的要求产生一系列的运算和控制。因为在 8 单位穿孔带中，每一排孔只表示一个代码，因此，这一排信号要求在同一瞬时内读入，采用一个比信号孔要小一点的同步孔就可以达到这个要求。

二、数控装置

数控装置是数控机床的运算和控制系统。它的作用是接受读带机送来的数据和指令后，再进行大量的运算和控制，然后将运算的结果送到相应的伺服驱动装置上去，用以操纵机床的运动。

最简单的数控装置的逻辑方框图，如图 1-6 所示。图中虚线内所包括的部分为数控装置。下面将简单地介绍它的工作原理。

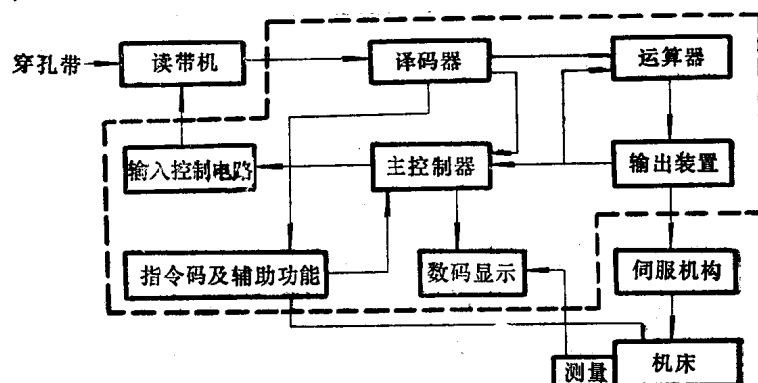


图1-6 数控装置的逻辑方框图

当按下数控装置的启动按钮后，输入控制电路发出命令使读带机工作，穿孔带从读带机上自动走过，读带机将穿孔带上的代码信号送到译码器，译码器将译出的数码送到运算器，将译出的控制数码送到指令码寄存器、辅助功能寄存器及主控制器。主控制器是数控装置的“心脏”部分，它控制运算器的运算过程，控制输出装置的方向及座标的转换，控制脉冲的输出，同时通过输入控制电路控制读带机的启动和停止。机床主轴转速的更换、冷却润滑液的开闭、刀具更换等辅助指令都是由辅助功能寄存器，通过主控制器来操纵的。机床各座标运动的数值，可通过测量机构送到数码显示器中表示出来。

三、伺服机构和进给传动元件

在数控机床中，伺服机构的作用是接受来自数控装置的进给信号，经功率放大后，通

过机床的进给传动元件（如传动齿轮减速箱和滚珠丝杠——螺母付等），再驱动机床工作台进行精确定位或按照规定轨迹作严格的相对运动，最后加工出符合图纸要求的零件。

电液脉冲马达是开环数控机床常用的一种伺服机构，它的结构示意图，如图 1-7 所示。它由步进电机、减速齿轮付、带有精密丝杠螺母付的液压随动阀以及油马达（亦称液动机）等组成。步进电机在这里相当于一个数字模拟转换装置，每当从数控装置接受一个进给脉冲信号后，它就转动一定的角度（步距），故步进电机也称作脉冲马达。步进电机每一步的转角是根据电机本身的结构和采用的控制方式不同而异，如每步转角为 3° 、 1.5° 等。当它从数控装置接受的脉冲信号越多，其转角也越大；当它从数控装置接受的脉冲信号频率越高时，其输出轴的转速也越快。

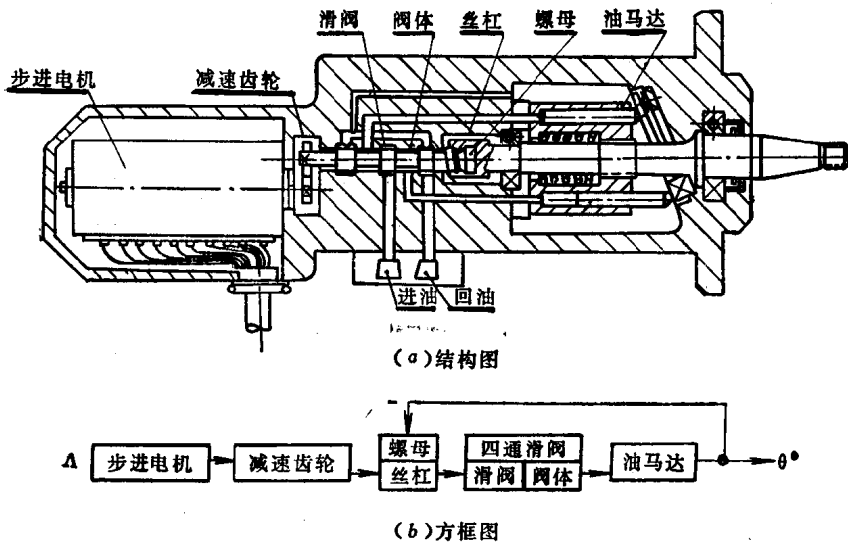


图1-7 电液脉冲马达

步进电机虽然具有一定的输出扭矩，但往往还不足用来直接驱动机床的工作台，因此，需要用液压随动阀和油马达组成的液压扭矩放大器将其放大。即当步进电机转动一个角度（例如 1.5° 时），通过齿轮传动使扭矩放大器的输入轴也转过一定角度（例如 1.2° ），通过液压放大而用油马达来拖动机床工作台运动，此时油马达输出轴的转角与扭矩放大器的输入轴转角相同，（也是 1.2° ），故液压扭矩放大器在这种控制方式中，实际上也是一个液压随动系统，它的输出转角与步进电机的转角成一定的比例，其值系取决于减速齿轮付的传动比。

电液脉冲马达的旋转运动，再经过机床的传动元件带动工作合作精确的定位或严格的进给运动。在开环系统中，一般采用消除间隙的齿轮传动付和滚珠丝杠——螺母传动付。它们不仅是传递动力的元件，同时也是传递尺寸（即位移量）的元件，因此，要求它们具有较高的结构刚度和制造精度，而且在传动付中间不允许有间隙存在。

数控装置每发出一个脉冲信号，反应到机床工作台的位移量，我们称为脉冲当量（单位为毫米/每个脉冲），由上面所举的例子来说，其脉冲当量为 0.01 毫米/每个脉冲。每台数控机床的脉冲当量为一定值，在设计机床时早已规定好。

这种开环控制方式，具有结构简单，系统调试方便，工作可靠，成本比较低等一系列

的优点，所以近年来在国内、外获得较广泛的采用。

四、测量装置

上面所介绍的是开环控制系统，对于高精度和大型的数控机床而言，无论在精度方面，还是在控制速度方面，都不能得到较好的满足。这是由于数控机床传动元件的传动误差总是不能完全消除，因而影响工作台的准确位移；或是由于大型机床工作台的惯性大，过高的进给速度亦会影响工作台准确定位的缘故。因此，还必须采用闭环控制系统。闭环控制系统的特点，就是在控制回路中具有一个反馈测量装置。所谓“闭环系统”就是用数控装置来的指令值与位置测量装置的反馈信号（即工作台位移实际值）相比较，并用比较后的差值进行控制，直到差值等于零为止。因此，这种控制方式能保证机床工作台的位移值与数控装置发出的脉冲值相一致，而不受机床传动元件传动误差等影响。

闭环系统按照指令和反馈比较方式的不同可分为两类：一为脉冲计数的闭环系统，另一为相位控制的闭环系统。

脉冲计数的闭环系统，一般适用于高精度的点位控制的数控机床，例如座标镗床、刻线机及座标测量机等。在这类控制系统中，采用得比较普遍的一种测量装置就是光栅。用光栅作反馈测量时，通过光栅测量装置中的光敏元件接受信号，再经过信号处理，就可以按脉冲计数的方式来测量机床工作台的实际位移量，用以和指令脉冲数比较。采用这种测量装置的控制系统的抗干扰的性能较差，对测量装置的安装和工作环境的要求都比较高。

在相位控制的闭环系统中，感应同步器是采用得比较普遍的一种测量装置。用感应同步器作反馈测量时，感应同步器感应电压的相位严格地随机床运动部件的位移值而周期地变化，用以表示机床运动部件的实际位移与指令信号的相位作比较。这种测量装置制造并不十分困难，测量精度也较高。故不仅在点位控制系统中，而且在轮廓控制系统中都有应用。它对于工作环境的要求，也不象光栅那样高，制造成本也比较低。此外，由于它在控制系统中，采用相位比较方式进行工作，故抗干扰性能较好，工作可靠性高。因此，目前在闭环系统中得到了较为广泛的应用。

五、机 床

数控装置通过伺服机构和机床进给传动元件，最终控制机床运动部件（工作台或刀架）作准确的位移。图 1-8 所示为 XK5040 型数控立式铣床图。数控装置分别通过各自的伺服机构和机床进给传动元件，控制机床不同的运动部件运动：即工作台作 X 方向运动；滑鞍作 Y 方向运动；升降台作 Z 方向运动；工作台上安装的回转工作台绕 Z 轴的转动。由于该机床有四个座标采用了数字控制，故又称为四座标数控铣床。

数控机床的座标数是由加工零件的复杂程度来确定，例如对于轮廓外形加工（图 1-9）的数控铣床，可用工作台作 X 方向的控制和滑鞍作 Y 方向的控制来加工。对于这类机床的升降台仅作手动调整 Z 方向位置用，故这类机床则称为两座标数控铣床。

对于复杂零件的加工，往往采用多座标的数控机床，图 1-10 所示为五座标数控机床的示意图。

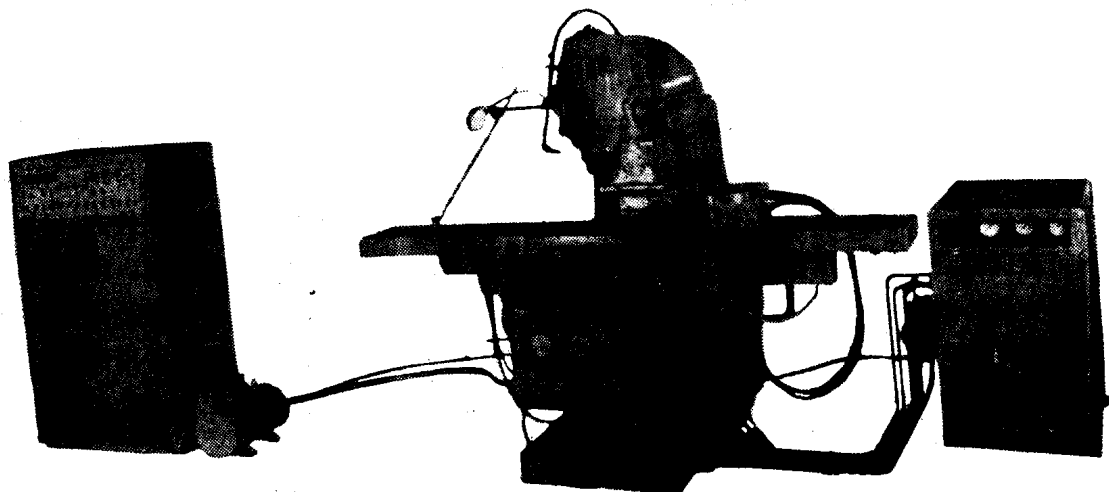


图1-8 XK5040型数控立式铣床

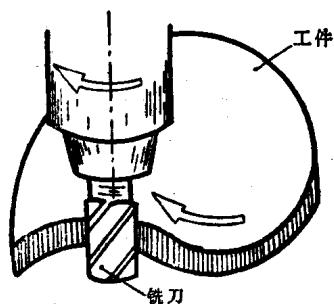


图1-9 轮廓外形加工示意图

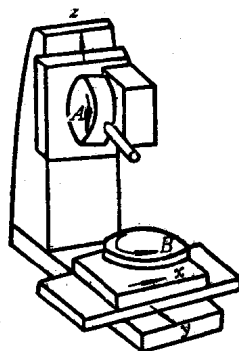


图1-10 五坐标数控机床示意图

第三节 数控系统的分类

数控系统虽然很多，但可以按照下列原则进行分类。

一、按控制刀具相对工件移动的轨迹

数控系统按照控制刀具相对工件移动的轨迹来分，基本上可以分成下列三类。

1. 点位控制系统

点位控制系统的特点是，只要求获得准确的坐标点位置，至于从这一点移到那一点所经过的轨迹则不加控制（此时刀具不进行切削），如图 1-11 所示。采用这类控制系统的机床有钻床（图 1-12）、坐标镗床及冲床等。

2. 直线控制系统

直线控制系统的特点是除了要控制位移终点的位置外，还要保证被控制的两个坐标点之间位移的轨迹是一条平行于各坐标轴的直线（有时为与坐标轴成 45° 的直线），并且通过数控装置可以选择进给速度（此时刀具进行切削），如图 1-13 所示。采用这类控制系统的机床有车床、铣床及磨床等。

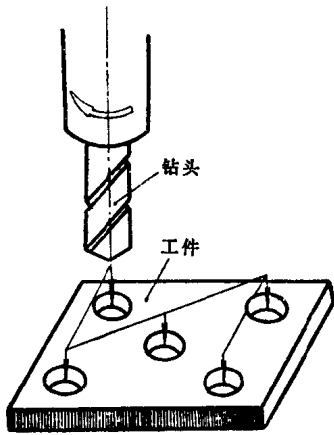


图1-11 点位加工(钻孔)示意图

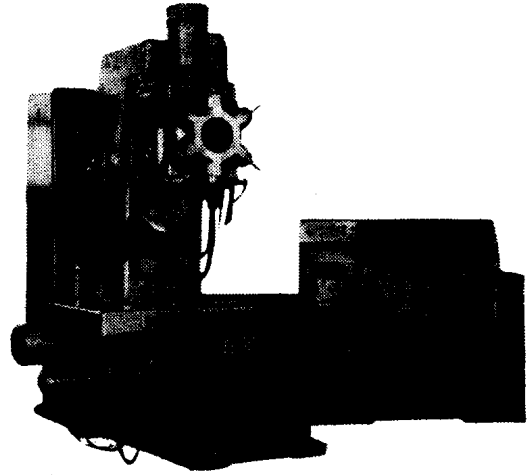


图1-12 点位控制的数控钻床

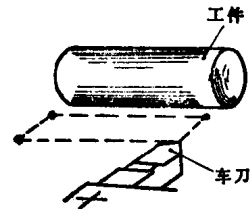
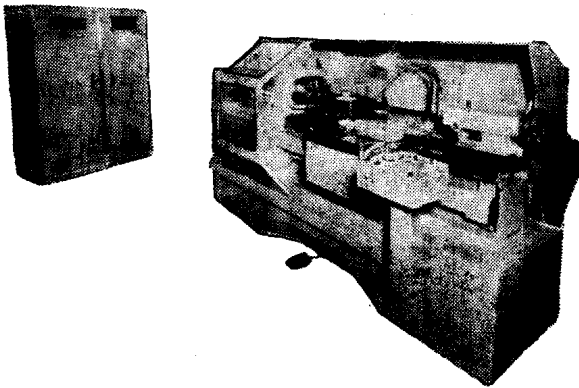


图1-13 直线控制的数控车床

3. 轮廓控制系统

轮廓控制系统亦称连续控制系统，它的特点是能够对两个或两个以上的座标方向的运动同时进行严格的连续控制，它不仅控制每个座标的行程位置，并且还要控制每个座标的运动速度。采用这类控制系统的机床有铣床、车床、磨床及齿轮加工机床等。

二、按被控制量有无检测反馈装置

数控系统按照被控制量有无检测反馈装置来分，基本上可分为开环和闭环两类。

1. 闭环控制系统

图 1-14 所示为闭环系统控制工作台移动方框图。数控装置根据输入数据，发出指令信

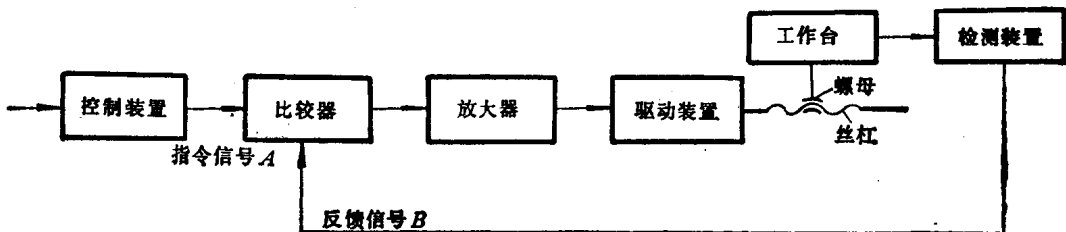


图1-14 闭环系统控制方框图