

黄尚先 主编

现代机床 数控技术

机械工业出版社

现代机床数控技术

黄尚先 主编



机械工业出版社

本书以数控机床为对象,较系统较全面地介绍了数字控制(NC)和计算机数控系统(CNC系统)。内容包括:数控技术的基本概念、功能、指令、插补原理,CNC系统硬件与软件的组成和原理,伺服系统的组成和原理,常用驱动电动机和检测元件的结构和应用,数控机床的维修与保养等。内容构成上突出实用加工程序的编制与CNC系统硬、软件的组成和原理。

本书适于高等职业教育师生学习数控技术使用,可供从事机床数控技术的工程技术人员参考,又可作为CNC基础培训短训班的理论课教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代机床数控技术/黄尚先主编. —北京:机械工业出版社,1996.8

ISBN 7-111-05282-X

I. 现… II. 黄… III. 机床-数字控制-技术 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第12219号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑:温莉芳 版式设计:李松山 责任校对:肖新民

封面设计:姚毅

三河永和印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

1996年9月第1版第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ · 14.25印张 · 335千字

0 001—3500册

定价:25.00元



序

“双元制”职业教育在德国经济的高速发展中发挥了重要作用,促进国家战后迅速恢复并使经济突飞猛进地发展。德国把职业教育看成生产发展的主要柱石,经济腾飞的秘密武器。我国经济发展,取决于科技与教育,特别是职业技术教育的程度。因此,我国职业技术教育的迅速发展已势在必行,重视和发展职业技术教育是整个社会和经济发展与改革的必然结果。

天津中德技术培训中心(天津职工工业技术学院)是我国与德国政府间在职业教育领域中最大的合作项目。她的建立一方面为我国经济发展培养了高素质的技术工人和理论与实践结合的中级技术干部,另一方面借鉴和学习德国先进的职业教育经验并探讨适合我国职业教育发展的新途径。天津中德培训中心在德方专家亲自帮助和指导下,经过全体教师的共同努力,坚持中德两国教育人员合作,坚持与企业密切合作,坚持德国职业教育与我国实际相结合的办学模式,几年来,取得了可喜成绩,为企业培养了一批具有一定理论知识,又有较强的实践能力的高级技术工人与技术干部,并在企业中发挥了重要作用,深受企业欢迎。

天津中德技术培训中心广大教师在学习和借鉴德国职业教育中,不断积累先进教学经验,总结了一批理论与实践相结合的教材。《现代机床数控技术》一书就是其中的一本。该书是我校高级工程师黄尚先教师主编。该教师毕业于清华大学工业企业自动化专业,有三十多年的实践和教学经验,一直从事各类机床电气自动控制技术工作,尤其从事过光栅数控坐标镗床、加工中心镗铣床及数控强力成形磨床等数控机床技术研究、设计、试制及生产工作,担任过大专、师训、技工及数控技术短训班的教学工作。在教学过程中,查阅了大量的国内外有关数控技术资料,并结合德国的职业教育特色,撰写了本书。此书已做为我校高职班、数控机床应用技术专业的教材,也可供有关数控技术的教师、工程技术人员及学生参考。

孙宝源 1996.6

前 言

本书是编者在近三十年从事数控机床的试验研究、设计、调试和生产经验的基础上,又根据多年教授“CNC 技术”课程的讲义经总结、提炼而成。全书系统全面地介绍了数控系统的组成和工作原理,以及实用编程基础。为适应职业教育的特点,力求文字通俗易懂,注重物理概念,避免繁琐的数学推导或计算,内容构成上突出 CNC 系统硬、软件的组成原理及数控编程基础,尽量引入最新的资料,力求实用。每章结尾均附有习题供学生或读者复习时用。

本书作为机械制造专业和机电一体化专业大专班教材时,教学参考时数为 120 课时。根据各校自己的教学大纲,缩减些内容可安排 80 课时。若作为短训班的理论课教材,只讲第 1 章及第 2、第 4 章的部分内容,则可用 40~60 学时。

黄尚先编写了本书第 1 章的第 4、5 节,第 2 章的第 3、4 节,第 3 章的第 1~6 节,第 4 章的第 1、2 节,第 5 章的第 3、4、5 节。祁文钊编写了本书第 1 章的第 1、2、3 节,第 2 章的第 1、2 节,第 3 章的第 7、8 节,第 4 章的第 3、4 节,第 5 章的第 1、2 节。

全书由黄尚先主编、统稿,又根据主审意见进行了修改、定稿。

高级工程师林碧贞对本书第 1 章第 2 节和第 4 章进行了审阅,对书稿、插图的整理和校对作了大量的工作。

本书由机械部北京机床研究所高级工程师、国家级数控专家李佳特主审,提出了许多宝贵意见,在此表示由衷的感谢。 皋

在编写过程中,得到了天津职工工业技术学院院长孙宝源、副院长钱鸣皋、教务处长姚柳雄及机械工程系各领导和同志们以及天津职工经济技术大学杜秋岭校长的关心、支持与帮助,特向他们表示感谢。同时,对本书所列参考文献的各位主编和作者也一并表示诚挚的谢意。

由于我们水平有限,书中难免存在一些缺点甚至错误,恳切希望广大读者批评指教。

天津职工工业技术学院 黄尚先
(天津中德技术培训中心)

天津职工经济技术大学 祁文钊

1996.3 于天津

目 录

序	
前言	
第 1 章 数控技术的基本概念	1
1.1 定义	1
1.1.1 数字控制(数控)	1
1.1.2 数控机床	1
1.1.3 数控系统	1
1.2 数控机床的组成与工作原理	1
1.2.1 组成	1
1.2.2 各部分的作用与特点	2
1.2.3 工作原理	7
1.3 数控技术发展概况	8
1.3.1 五代数控系统简介	8
1.3.2 数控技术发展的新趋势	9
1.4 数控技术的分类和数控机床的选用	9
1.4.1 按刀具运动轨迹分类	9
1.4.2 按伺服控制方式分类	11
1.4.3 数控机床的选用	13
1.5 数控功能的基本概念	13
1.5.1 穿孔带和代码	13
1.5.2 程序段格式	17
1.5.3 坐标系、零点和参考点	23
1.5.4 插补	26
1.5.5 手动数据输入功能(MDI 功能)	40
1.5.6 刀具半径自动补偿功能 (G41,G42,G40)	46
1.5.7 刀具长度补偿功能 (G43,G44,G40)	47
1.5.8 暂停(延迟)功能(G04)	48
1.5.9 固定循环功能(G80~G89)	48
1.5.10 程序中停重新启动功能	49
1.5.11 圆周速度恒定控制功能 (G96,G97)	49
1.5.12 实际加工举例	50
复习题一	52
第 2 章 计算机数控系统	55
2.1 计算机数控系统(CNC 系统)的	
基本概念	55
2.1.1 CNC 系统的定义	55
2.1.2 CNC 系统的构成	55
2.1.3 CNC 系统的优点	56
2.2 微处理器数控系统(MNC 系统)	
硬件的组成	56
2.2.1 中央处理单元(CPU)和总线 (BUS)	56
2.2.2 存储器	60
2.2.3 输入和输出接口电路及外围 设备	72
2.3 CNC 系统软件	79
2.3.1 硬件与软件的关系	79
2.3.2 CNC 系统软件的组成	79
2.3.3 CNC 系统的软件特点和结构 分类	90
2.4 CNC 系统的工作过程	93
2.4.1 自动工作总体流程图	93
2.4.2 零件加工时控制程序的工作 过程	94
2.4.3 FANUC-7M 系统实例	95
复习题二	97
第 3 章 数控伺服系统	98
3.1 伺服技术概述	98
3.1.1 伺服技术发展概况	98
3.1.2 数控机床对伺服系统的要求	99
3.2 常见数控机床伺服系统	100
3.2.1 开环系统	100
3.2.2 闭环、半闭环系统	100
3.2.3 闭环、半闭环系统的工作原理	101
3.3 伺服电动机	114
3.3.1 伺服系统对驱动元件的要求	114
3.3.2 步进电动机	114
3.3.3 直流伺服电动机	117
3.3.4 交流伺服电动机	123
3.4 直流调速系统	129
3.4.1 机械特性与调速指标	129

3.4.2 他动直流电动机的调速方法	133	4.3 脉冲编码器	196
3.4.3 闭环调速系统的组成与静特性	135	4.3.1 分类和结构	196
3.4.4 双环调速系统	138	4.3.2 工作原理	197
3.5 半闭环直流伺服系统	143	4.3.3 主轴位置编码器	199
3.5.1 FANUC 伺服系统参数设定	143	4.3.4 手摇脉冲发生器	199
3.5.2 半闭环伺服系统各环节	144	4.3.5 绝对值脉冲编码器	199
3.6 脉宽调速系统	146	4.4 感应同步器	202
3.6.1 简单的不可逆 PWM 变换器	146	4.4.1 结构和分类	202
3.6.2 双极式 H 型 PWM 变换器	147	4.4.2 工作原理	204
3.6.3 单极式和受限单极式 PWM 变换器	149	4.4.3 安装与接长	205
3.6.4 双闭环脉宽调速系统的控制 电路	150	4.4.4 主要参数	208
3.6.5 PWM-M 系统与 SCR-M 系统 的比较	153	复习题四	208
3.7 交流调速	155	第 5 章 数控机床的维修与保养	210
3.7.1 交流异步电动机变频调速	155	5.1 预防性维护	210
3.7.2 正弦波脉宽调制 (SPWM 调制) 逆变器	164	5.1.1 人员培训	210
3.7.3 交流电动机矢量控制	175	5.1.2 设备日常保养	210
3.8 现代交流伺服系统	180	5.1.3 使用注意事项	211
3.8.1 交流伺服系统的分类	180	5.2 故障的判断和机械部分故障	212
3.8.2 永磁交流伺服系统	180	5.2.1 故障的判断	212
3.8.3 国内外永磁交流伺服系统的 系列简介	183	5.2.2 机械部分故障	212
复习题三	187	5.3 CNC 装置故障	213
第 4 章 检测装置	188	5.3.1 维修前的准备工作	213
4.1 检测装置概述	188	5.3.2 故障的常规处理	214
4.1.1 对检测装置的要求	188	5.3.3 故障的一般判断法	214
4.1.2 检测装置的分类	188	5.3.4 常见故障分析举例	215
4.2 光栅	189	5.4 伺服进给系统故障	216
4.2.1 光栅的分类和结构	189	5.4.1 软件报警形式	217
4.2.2 工作原理	191	5.4.2 硬件报警形式	217
4.2.3 信息处理及应用	192	5.4.3 无报警显示的故障	218
		5.5 主轴控制单元故障	219
		5.5.1 直流主轴控制系统	219
		5.5.2 交流主轴控制系统	219
		复习题五	220
		参考文献	221

第 1 章 数控技术的基本概念

1.1 定义

1.1.1 数字控制(数控)(Numerical Control 即 NC)

ISO 2806—1994《数控机械术语》将 NC 定义为:用数值数据进行控制,一个设备在运行过程中不断引入数值数据,从而对某一生产过程实现自动控制。采用数值的数据即为数值数据。而事实、概念或指令的形式化的表现形式称为数据,它适于由人或自动装置进行通信、解释或处理。按 GB 8129—87《机床数字控制 术语》,NC 定义为:用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。

数字控制与顺序控制是两种不同的概念。所谓顺序控制是指控制计算机只能控制自动加工中各种动作的先后顺序,而对运动部件的位移量不能进行控制。它的位移量是靠预先调整好尺寸的挡块等方式来实现的,这与通过模拟量进行的程序控制也不同。而数字控制是指控制的过程是一个完全自动化的过程,实现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,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。比其它自动化设备所采用的凸轮、靠模、调整限位开关等要简便的多。

1.1.2 数控机床(NC Machine Tools)

若一种设备的操作命令以数值数据的形式来描述,工作过程按照规定的程序自动地进行,则这种设备就称为数控设备。数控机床、数控火焰切割机、数控绘图机、数控测量机、数控冲剪机等都属于这个范围的自动化设备。

使用数控技术的机床称为数控机床。如数控铣床、数控车床、加工中心等。

1.1.3 数控系统

数控设备的数据处理和控制系统以及伺服机构等统称为数控系统。它由程序、输入设备、输出设备、计算机数字控制装置、可编程控制器、主轴驱动装置和进给驱动装置(包括检测装置)等组成。

1.2 数控机床的组成与工作原理

1.2.1 组成

1. 数控设备的组成

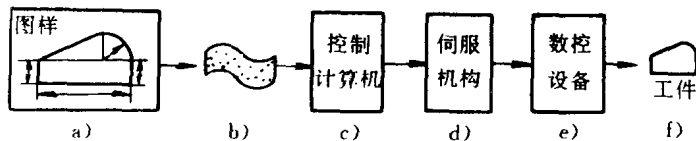


图 1-1 数控设备的一般形式

用图 1-1 来描述数控设备的一般形式。图 a 为工件的图样。图样上的数据大致分为两类:几何数据和工艺数据。这些数据是指示给数控设备命令的原始依据,简称指令。图 b 为控制介

质(或程序介质、输入介质、信息载体)。常用纸带、磁带、软磁盘作为记载指令的控制介质。控制介质是人与设备间建立联系的桥梁。图 c 为数据处理和控制的电路。一般是一台控制计算机,原始数据经过它处理后变成伺服机构能够接受的位置指令和速度指令。图 d 为伺服机构。“伺服”一词起源于希腊语“奴隶”。可以把控制计算机比拟为人的头脑,则伺服机构相当于人的手和足,要求伺服机构无条件地执行大脑的意志。伺服机构分为驱动环节和执行机构。图 e 为数控设备。图 f 为按图样加工后的物件。

2. 数控机床的组成

图 1-2 为数控机床组成框图。主要由控制介质、数控装置、伺服系统和机床四大部分组成。为提高机床的加工精度,加入一个测量装置(虚线部分),测量装置属于伺服系统中的一个环节。

此外,还有许多辅助装置,如电、液、气系统,冷却、排屑、润滑、防护、储运、照明等装置。较复杂的零件要在机外用编程机编程。还有用手动输入、上一级 DNC 传输等方式也可输入指令和程序。

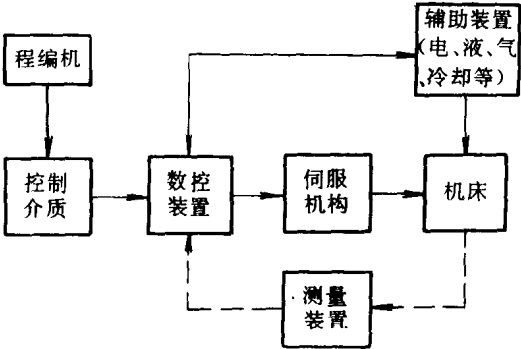


图 1-2 数控机床的组成

1. 2. 2 各部分的作用与特点

1. 控制介质

人与机床间建立某种联系的中间媒介物称为控制介质或信息载体、程序介质、输入介质等。如纸带、磁带和磁盘(后二种介质通过 RS-232C 接口或 RS-422 接口)。

在控制介质上存储着加工零件所需的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息。

常用的控制介质是八单位的标准穿孔带,常为纸质的,故又称为纸带。其尺寸如图 1-3 所示。每一行共有 9 个孔,其中 $\phi 1.17$ 的小孔为同步孔,或称中导孔、进给孔,每隔 2.54mm 就有一个同步孔,其余 8 个 $\phi 1.83$ 的大孔称为信息孔,孔的有无按一定标准排列。信息孔记载了加工零件所需的操作信息和位移信息。纸带宽 25.4mm,厚 0.108mm。

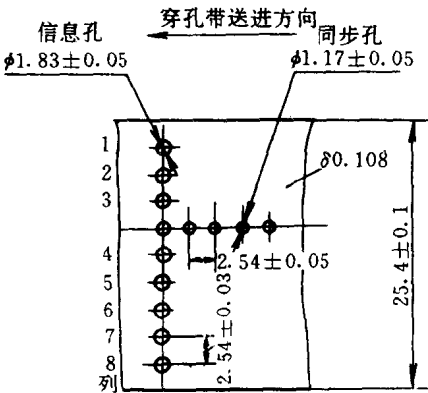


图 1-3 八单位标准穿孔带仰视图 (EIA-RS-237)

把穿孔带输入到数控装置的读带机,通常为光电式阅读机,其原理如图 1-4 中所示,它把纸带上的孔的不同排列逐行地转换为数控装置可以识别和处理的电信号,然后送到数控装置。光电阅读机可用红外光敏元件,其阅读速度为 200 行/s、250 行/s、300 行/s。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的中心环节,由输入装置、控制器、运算器和输出装置四大部分组成,如图 1-5 所示。

(1)输入装置 接受由穿孔带阅读机输出的信息,经过识别与译码之后分别送到各相应的寄存器,这些指令与数据将作为控制和运算的原始依据。

(2)控制器 接受输入装置的指令,根据指令控制运算器与输出装置以实现对机床的各种操作(如控制工作台沿某一坐标轴的运动,主轴变速或冷却液的开、停等)及控制整机的工作循环(如控制阅读机的启停、控制运算器的运算、控制输出等)。

(3)运算器 接受控制器的指令,将输入装置送来的数据进行某种运算(这种运算是控制器的指令所要求的),并不断向输出装置送出运算结果。

(4)输出装置 根据控制器的指令将运算器送来的计算结果送到伺服系统,再经过功率放大驱动相应的坐标轴移动。

数控装置是一种专用控制计算机,它有两类:一类是仅用元件搭接而成,元件间连线被接死,其逻辑功能事先设计,该机只能完成固定的控制功能,这种数控装置称为硬线系统即 NC,如图 1-5 所示。另一类是现代数控装置,它是一种包含有存储程序的专用计算机在内的数字控制系统,由一台计算机来代替以前由数控装置硬线所完成的功能,称为 CNC,即有控制软件的软线系统。只要变更程序就可改变功能(不必变动元件及接线),控制不同型式的机床。

3. 伺服机构

把来自数控装置的脉冲信号或指令转换成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,以加工出符合图样要求的零件。

伺服机构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。

伺服机构包括驱动装置和执行机构两大部分。常用的执行元件有功率步进电动机、电液脉冲马达(由步进电动机、齿轮、螺杆和螺母、四通阀及液压马达组成)、宽调速直流电动机及交流伺服电动机等。驱动装置依执行元件的不同而异,但驱动元件常为晶闸管或大功率晶体管。

4. 机床主机

全机包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。它是数控机床的主体,是用于完成各种切削加工的机械部分。数控机床的主机结构有如下特点:

(1)机械传动结构大大简化,传动链较短,这是因为采用了高性能的主轴及伺服传动系统所致,省去了许多齿轮及传动轴。

(2)为适应数控机床连续地自动化加工,其机械结构应有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形还要小。

1)高刚度和高抗振性 机床在静态力作用下抵抗变形的能力称为静刚度,在动态力作用下(外加一定频率的激振力)抵抗变形的能力称为动刚度。提高机床构件的静刚度和固有频率可提高机床的动刚度及抗振性。如数控车床加大主轴支撑轴径,尽量缩短主轴端部受力悬伸段,以减少所受的弯矩,有利于提高主轴刚度。用斜床身能改善受力条件,减小床身在车削加工时所受的扭矩,可提高刚度。合理地设计构件的截面形状及尺寸,采用合理布置的肋板结构,使

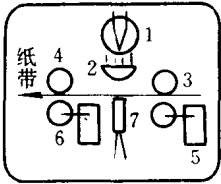


图 1-4 光电式阅读机

- 1—光源 2—透镜 3—制动柱
4—主动轮 5—制动电磁铁
6—走带电磁铁 7—光敏元件(9只)

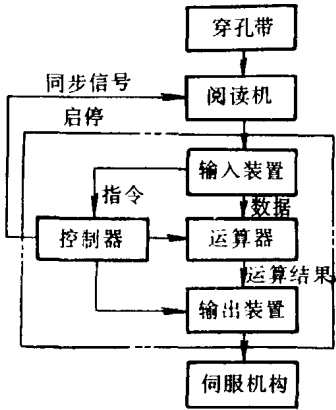


图 1-5 数控装置

其在较大质量下具有较高的静刚度和适当的固有频率。

2)改善机床结构的阻尼特性 大件内腔充填泥芯和混凝土等阻尼材料,在振动时利用相对摩擦来耗散振动能量。

在大件表面采用阻尼涂层,常用于钢板焊接的大件结构。

在焊接构件上采用间断焊缝以获得良好的阻尼特性,使动刚度大大增加(静刚度略有降低)。

采用新材料和钢板焊接结构。新材料如丙烯酸树脂混凝土做床身,其动刚度比铸铁高6倍。此外,陶瓷、人造花岗岩也引起人们的重视。钢板焊接结构容易采用最有利于提高刚度的隔板和肋板布置形式,能充分发挥壁板和肋板的承载及抵抗变形的作用,使焊接床身的刚度及固有频率增大。

3)减少机床热变形的影响

① 改进机床布局 and 结构设计,减少发热,将热源与主机分离,主轴则可用精密滚动轴承,并采用对轴承油雾润滑,还可用静压轴承。

a. 用热对称结构 如卧式加工中心用框式双立柱结构,主轴箱嵌入框式立柱内,且以立柱左右导轨两内侧定位,这样,热变形时主轴中心位置基本不变,可减少加工精度的影响。

b. 用热平衡措施 某些重型机床的立柱后侧壁包上一层隔热层(在立柱上包泡沫塑料,外包白铁皮),可以使厚、薄处的温度场均匀。

② 控制温升 如主轴、静压导轨、液压泵采取散热、风冷、液冷等控制温升的方法来吸收热源发出的热量。对切削部位采取强冷措施,如多喷嘴、大流量冷却液。

③ 热位移补偿 预测热变形规律,建立数学模型,存入计算机中进行实时补偿。如日本大阪机工(OKK)热变形自动补偿修正装置可作主轴轴向补偿及立柱热平衡补偿。

(3)更多地采用高效传动部件及低摩擦系数导轨。

1)滚珠丝杠副 是在丝杠和螺母之间以滚珠为滚动体的螺旋传动元件,由丝杠、螺母、滚珠和滚珠循环返回装置(回珠器)等组成。当丝杠和螺母相对运动时,滚珠沿着丝杠螺旋轨道面滚动,滚动数圈后离开丝杠滚动面,通过循环返回装置返回其入口处继续参加工作,如此往复

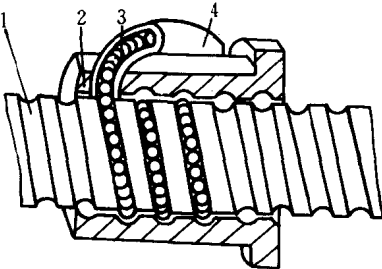


图 1-6 滚珠丝杠副结构

1—丝杠 2—滚珠螺母 3—滚珠
4—滚珠循环返回装置

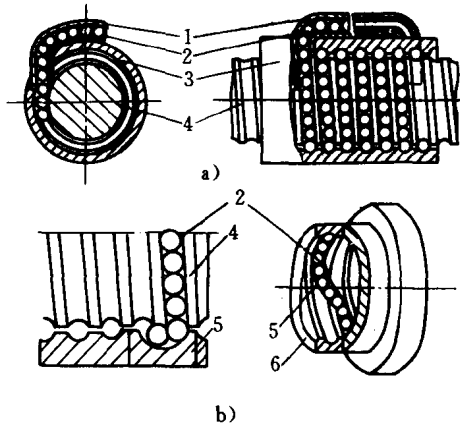


图 1-7 滚珠循环示意图

a)外循环插管式回珠器 b)内循环腰形反向回珠器
1—插管式回珠器 2—滚珠 3—外循环螺母
4—丝杠 5—腰形槽反向回珠器 6—内循环螺母

循环滚动,见图 1-6。

滚珠丝杠副有外循环和内循环两大类。外循环回珠器有螺旋槽式和插管式两种,现多用插管式(图 1-7a);内循环的回珠器有腰形槽嵌块式反向回珠器和圆柱凸键式反向回珠器两种。目前国内外生产厂用腰形槽嵌块式的较多(图 1-7b)。

按预加载荷形式分也有多种(图 1-8),常用双螺母垫片式预紧方式(图 1-8c)。

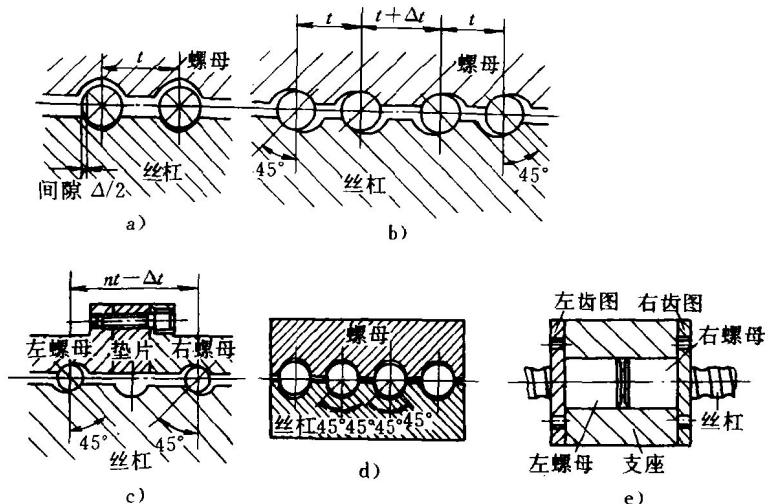


图 1-8 预加载荷方式

- a) 单螺母无预紧 b) 单螺母变位导程预紧 c) 双螺母垫片式预紧
d) 单螺母加大钢球径向预紧 e) 齿差可调预紧

滚珠丝杠副比滑动丝杠副有许多优点:传动效率可高达 90% 以上,比梯形滑动丝杠副高 2~4 倍;灵敏度高,传动平稳,磨损小,寿命长;可消除轴向间隙,提高轴向刚度。滚珠丝杠副广泛应用于各类中、小型数控机床的进给传动系统。在重型机床短行程(4~5m 以下)进给传动中也常用。

2) 静压蜗杆-蜗母条传动 在蜗杆-蜗母条的啮合齿面间注入压力油,以形成一定厚度的油膜,使两啮合面间成为液体摩擦。适用于重型机床的进给传动。蜗母条能无限接长,行程可很大,不象滚珠丝杠受限制。

3) 预加载荷双齿轮-齿条传动 用于长行程各类数控机床的进给传动。它是利用两个螺旋方向相反(左、右旋)的斜齿轮产生相反方向的微动,使之与床身齿条啮合的双齿轮产生相反方向的微量转动,以改变传动间隙。

4) 低摩擦系数的导轨

① 塑料滑动导轨 即铸铁-塑料或镶钢-塑料滑动导轨。导轨塑料常用聚四氟乙烯导轨软带,采用粘接方法,习惯上称为“贴塑导轨”,用于中小型数控机床,进给速度为 15m/min 以下;另一种导轨塑料是环氧型耐磨涂层,以环氧树脂和二硫化钼为基体,加入增塑剂,混合成液状或膏状为一组份和固化剂为另一组份的双组份塑料涂层。以德国的 SKC₃ 型最有名。我国类似的产品为 HNT。

SKC₃ 导轨涂料涂层有良好的可加工性,可进行车削、铣削、刨、钻、磨、刮削,其摩擦特性和耐磨特性均较好,抗压强度比聚四氟乙烯导轨软带要高,固化时体积不收缩,尺寸稳定,特别是可在调整好位置精度后注入涂料,省去许多加工工时,适用于重型机床和不能用导轨软带的复

杂配合型面。这类涂层导轨采用涂刮或注入膏状塑料的方法,国内习惯上称为“涂塑导轨”或“注塑导轨”(图 1-9、图 1-10)。

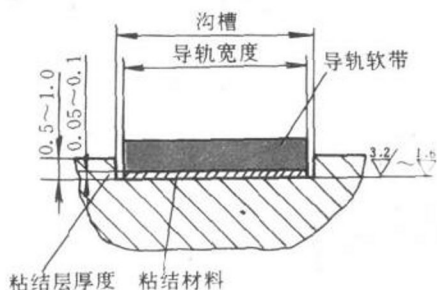


图 1-9 软带导轨的粘接

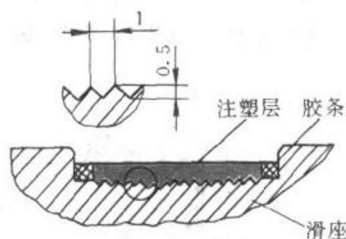


图 1-10 注塑导轨

② 滚动导轨 摩擦系数低(0.003 左右),动态、静态摩擦系数小,几乎不受运动速度变化的影响,定位精度高,灵敏度高,应用也较为普遍。它有两种类型:

第一种是滚动导轨块。滚动体为滚珠或滚柱,滚动体在滚动导轨内作循环运动。适用于中等载荷的导轨,导轨块装在运动部件上,每一导轨应至少用两块或更多块。与之相配的导轨多用镶钢淬火导轨(图 1-11)。

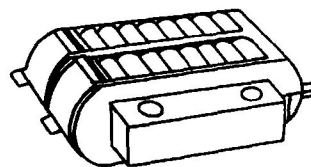


图 1-11 滚柱式滚动导轨块

第二种是直线滚动导轨。它突出的优点是无间隙,能施加预紧力。其外形与结构见图 1-12 和图 1-13,它由导轨体、滑块、滚珠、保持器、端盖等组成。使用时,导轨 1 固定在不动的部件

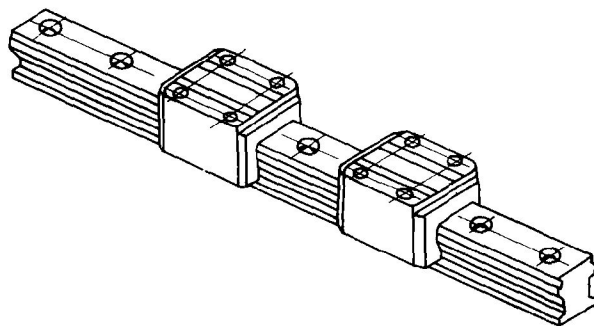


图 1-12 直线滚动导轨(单元式)

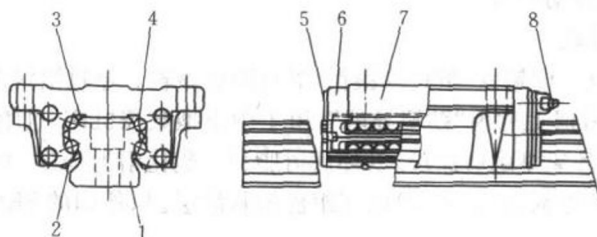


图 1-13 直线滚动导轨的结构(HSR 型)

1—导轨体 2—侧面密封垫 3—保持器 4—承载球列
5—端部密封垫 6—端盖 7—滑块 8—润滑油杯

上,滑块 7 固定在运动部件上。当滑块沿导轨体移动时,滚珠 4 在导轨体和滑块之间的圆弧直槽内滚动,通过端盖 6 内的滚道,从工作载荷区到非工作载荷区,然后再滚动回工作载荷区,不断循环,从而把导轨体 1 和滑块 7 之间的移动变成了滚珠的滚动。为防止灰尘和脏物进入导轨滚道,滑块两端及下部均装有塑料密封垫 5、2。滑块上还有润滑油注油杯 8。

日本 THK 公司生产的 LM 系列最佳。它有下列特点:

a. 具有自调整能力 安装基面许用误差大,只需铣、刨加工便可,不必精磨即可满足 LM 导轨的要求。制造精度高,能大幅度提高机床的定位精度。

b. 可高速运行 导轨软带和耐磨涂层塑料导轨移动速度在 15m/min 以下,而 LM 导轨可达 60m/min 以上。润滑方法简单,只在端部润滑油杯内定期(相当于运行 100km 时)注入锂系列皂基 2 号润滑脂或 ISO VG32~68 透平润滑油即可,且耗油量仅为滑动导轨的 1/17。

c. 能长时间保持高精度 经 LM 导轨改造的机床,每天两班工作制,使用十几年,仍能达到原设计精度。

d. 可预加载荷提高刚度 选用不同直径的钢球,使导轨滚道间成过盈配合,以提高直线滚动导轨的刚度。

③ 静压导轨 在两个相对运动的导轨面间通入压力油,使运动部件浮起,工作过程中,导轨面上油腔中的油压能随着外加载荷的变化自动调节,以平衡外加载荷,保证导轨面间始终处于纯液体摩擦状态。

静压导轨摩擦系数极小(约 0.0005),功耗小,导轨不会磨损,精度保持性好,寿命长,承载大,刚性高,平稳,无爬行。但结构复杂,需要一个有良好过滤效果的液压装置,制造成本高。静压导轨用在大型、重型数控机床上。

1.2.3 工作原理

数控机床的工作原理和怎样加工机械零件,通过图 1-14 可以说明。

数控机床的加工是把刀具对工件的运动坐标分割成一些最小的单位量,即最小位移量。由数控系统按着零件加工程序的要求,使坐标移动若干个最小位移量,从而来实现刀具对工件的相对运动,以完成零件的加工。

在图 1-14 中的平面上,要加工任意曲线 L 的零件,要求刀具 T 沿工件形状的曲线轨迹运动,进行切削加工。

现将曲线 L 分解成 $\Delta L_0, \Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_i$ 等线段,设切削 ΔL_i 的时间为 Δt_i ,则当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时各折线段之和接近于曲线 L ,即

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} \Delta L_i = L$$

如在 Δt_i 时间内,在 X 坐标和 Y 坐标方向的移动量分别为 ΔX_i 和 ΔY_i ,则

$$\Delta L_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}$$

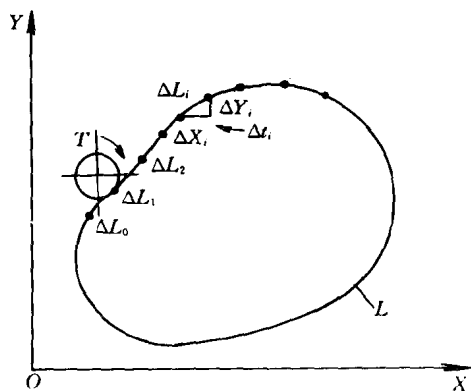


图 1-14 数控机床的工作原理

$$\text{进给速度} \quad v_i = \frac{\Delta L_i}{\Delta t} = \sqrt{\left(\frac{\Delta X_i}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Y_i}{\Delta t}\right)^2} = \sqrt{\Delta v_{X_i}^2 + \Delta v_{Y_i}^2}$$

在 $v_i = \text{常数}$ 保持不变时,称为恒定进给速度。

由于 ΔL_i 的斜率是不断变化的,因此进给速度在 X 方向及 Y 方向的分量 Δu_{X_i} 和 Δu_{Y_i} 之间的比值 $\Delta u_{Y_i}/\Delta u_{X_i}$ 是在不断变化的。只要能连续自动地控制 X 、 Y 两个坐标方向运动速度的比值,就可以实现曲线零件的数控加工。

数控装置自动阅读输入载体上事先给定的数字值,将其译码,即接受零件图样加工要求的信息,可以用一给定的数学函数(如线性、圆或高次函数)来模拟线段 ΔL_i ,数控装置则按照此数学模型实时地向各坐标轴发出速度控制指令(如 Δu_{X_i} , Δu_{Y_i} , ... 等)及切削用量,伺服机构将上述控制指令转换、放大,通过驱动元件(即执行机构)带动机床传动部件(如滚珠丝杠等)运动,实现刀具相对工件的运动加工。

所以,只要具备了数控装置、伺服机构、机床主机以及相应的辅助设备,就可以组成一台数控机床,完成各种零件的数控加工。

1.3 数控技术发展概况

1.3.1 五代数控系统简介

第一代数控机床产生于 1952 年,是由美国空军委托帕森斯公司(Parsons. Co.)和麻省理工学院伺服机构研究所(Servo Mechanismus Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology)历经三年研制成功的。是世界上第一台数控立式铣床,其数控装置全部采用电子管元件,插补器为数字脉冲乘法器原理。我国 1958 年起步,清华大学研制出了电子管式的数控铣床。

1959 年采用了晶体管元件和印制电路板,跨入了第二代数控系统。北京第一机床厂 1964 年生产的晶体管型的数控系统用于铣床上。

1965 年出现了小规模集成电路,由于体积小、功耗低,进一步提高了数控系统的可靠性,发展到第三代数控系统。北京机床研究所、北京第二机床厂、汉川机床厂、青海第一机床厂等单位分别于 1975 年前后研制了“加工中心”镗铣床,吸取 FANUC-260 系统的经验,采用 J-K 触发器、TTL 电路。

上述三代都是用专用控制计算机的硬接线数控系统,称为硬线系统即 NC 系统,其逻辑功能事先设计好,元件间接线不能更动,只能完成固定的控制功能。

1970 年在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了用小型计算机来取代专用控制计算机的数控系统,许多功能靠编制专用程序存入计算机的存储器中,构成所谓“控制软件”加以实现,提高了系统的可靠性和功能特性,称为第四代数控系统,即 CNC 系统。只要变更程序就可以改变功能,可控制不同型式机床,通用性强。

1974 年美、日等国数控系统生产厂家,首先研制出以微处理器为核心的数控系统,1975 年以后,大部分数控装置都已采用了微处理器,使数控装置的体积显著减小,功能更为完善,价格也相应减少,可靠性显著提高,这都是大规模集成电路的优点,这就是第五代数控系统。如这种系统可工作 4000h 无故障,FANUC 宣称已达到 23000h 甚至 36000h 无故障,而 NC 系统平均为 136h,小型机的 CNC 系统为 984h。一般说来,由于采用先进技术,电子元器件的集成度每提高一倍,批量增加一倍,售价和成本相应降低 1/3 以上。如日本发那科公司(FANUC Ltd)1980

年一年的产量就比 1974 年以前十年生产量的总和还多。以微处理器技术为特征的数控系统称为第五代数控系统即 MNC 系统。1980 年以后,北京机床研究所引进日本 FANUC 7、5、3 系统;国内采用 3M、3T 系统的厂家增多,使中国的数控机床水平达到了国际 70 年代的水平。天津第一机床厂、第四机床厂用北京机床研究所的系统生产的加工中心,天津市机床厂用日本 Mate-p-B 与单板机控制的双微机控制型 MKL7132 型强力成形磨床都达到了国际 80 年代初期的水平。沈阳中捷友谊厂、北京第一机床厂、北京第二机床厂、济南机床厂、上海机床厂、汉川机床厂、青海第一机床厂等厂家都是国内有名的数控机床厂。

1.3.2 数控技术发展的新趋势

计算技术、成组技术和系统工程等技术在各工业部门的应用推动了机械工业从传统的概念和方法中解脱出来,向着综合自动化的方向变革。

在产品设计方面,采用计算机辅助设计(CAD)技术,可以提高设计质量,缩短设计周期,发现和修正设计中的错误。

在加工制造方面,采用计算机辅助制造(CAM)技术,使计算机参与从零件材料到加工和装配、检验直至成品出库的整个过程。最初人们考虑的是在一台设备上如何提高自动化程度。如增加控制坐标轴的个数,在多头龙门铣床上可控制的轴数达 24 轴。又如在一台设备上实现多工序自动控制。随后就出现了“加工中心”(MC),在一台机床上可实现车、铣、钻、镗、攻螺纹等多种功能。

由于计算机处理数据的速度比机床加工速度快,因而用一台计算机控制多台数控设备,称之为群控系统(DNC),即直接数控系统。

自适应系统能对机床加工过程中的各种随机变量连续地进行监控,并使之保持在预定的最佳切削条件下切削加工,称之为 AC 系统(Adapt Control System)

毛坯的供应、半成品的输送、工具的准备和调配、生产计划的安排、零件制成品的储存、检验、装配等假如均依靠人工进行,势必影响数控设备的利用率,也影响生产过程的灵活性。在 60 年代初期,由美国 K&T 公司首先使用“FMS”一词,即柔性制造系统来命名一条数控自动化加工线,该线能完成多品种、中小批量的加工任务。FMS 系统适应性更强,生产率更高,加工范围可随时调整,柔性更大。FMS 包括两种信息:一为物质流,它包括各制造单元、工夹具、无人送料车、自动化仓库等,另一为信息流,包括工厂主计算机、中央管理、物流控制、信息网络等。

一般说来,通用机床的利用率只有 30%,数控机床的利用率达 55%,而柔性制造系统的利用率高达 75%,到 1986 年全世界已有 370 个 FMS 在运行。1984 年北京机床研究所制成 FMC-1 和 FMC-2 型柔性加工单元,后与 FANUC 合作建成了第一条 JCS-FMC-1 型柔性制造系统。

最新发展的是以数控机床为基本单元的计算机集成制造系统,即 CIMS 系统(Computer-integrated Manufacturing System)。它综合利用了 CAD/CAM、FMS、DNC 及工厂自动化系统,实现了无人管理。到 1986 年,美国有近 10%的企业在不同程度上实现了 CIMS。

1.4 数控技术的分类和数控机床的选用

按数控系统的基本原理可分类如下。

1.4.1 按刀具运动轨迹分类

1. 点位控制(Positioning Control)

只要求控制刀具从一点移到另一点的准确位置,而对运动轨迹不加控制,移动过程中,不产生切削动作。如数控坐标镗床、钻床及冲床(图 1-15)。

2. 直线控制(S' traight-line Control)

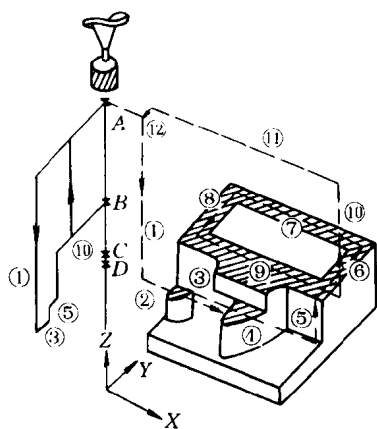


图 1-16 点位直线控制系统的加工原理

②④⑦⑨段与 X 轴平行 ⑥⑧段与 Y 轴平行

①③⑤⑩段与 Z 轴平行

除了控制点与点之间的准确位置外,还要保证被控制的两点之间移动的轨迹是一条直线,而且移动的速度是按着给定的速度进行控制的。一般是进行平行于坐标轴的切削运动,可称为点位直线控制系统,如图 1-16 所示。有些数控机床有 X、Y 间 45°斜线切削功能,但不能以任意斜率进行直线切削,如镗铣床、某些加工中心等。

(2)二维、二维半和三维控制 不同的零件形状要求不同的控制方法,如图 1-18a 所示的阶梯轴,仅要求沿一个坐

除了控制点与点之间的准确位置

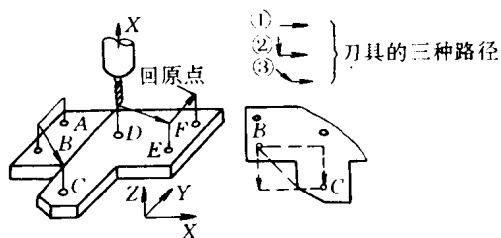


图 1-15 数控钻床的工作原理

3. 连续控制(轮廓控制)(Contour Control)

(1)对二个或二

个以上坐标方向的

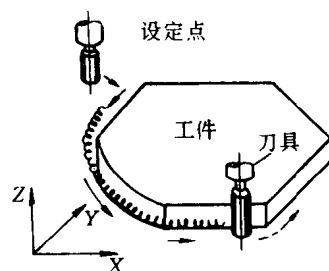


图 1-17 两坐标轮廓控制系统的工作原理

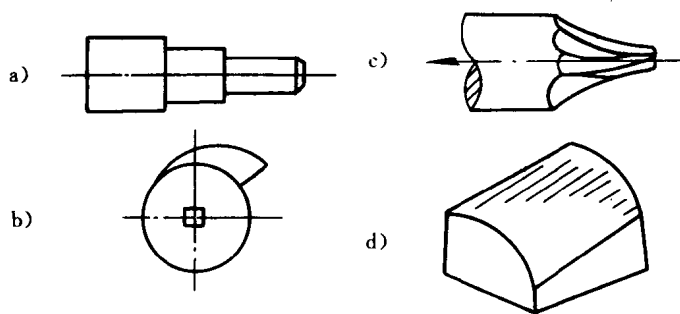


图 1-18 不同形状的零件

a)轴联动 b)、c)二轴联动 d)三轴联动

标轴进给就能满足加工要求,这用直线控制 Z 向或 X 向就够了。

如果加工平面凸轮、手把或成形铣刀(图 1-18b、c)须在两个方向控制进给才能加工出指定的形状(X、Y 向或 X、Z 向)。

若加工图 1-18d 所示的曲面工件或图 1-19 所示的球面工件,则应在三个坐标方向同时控制进给(X、Y、Z)才能满足加工要求,称为三维控制。