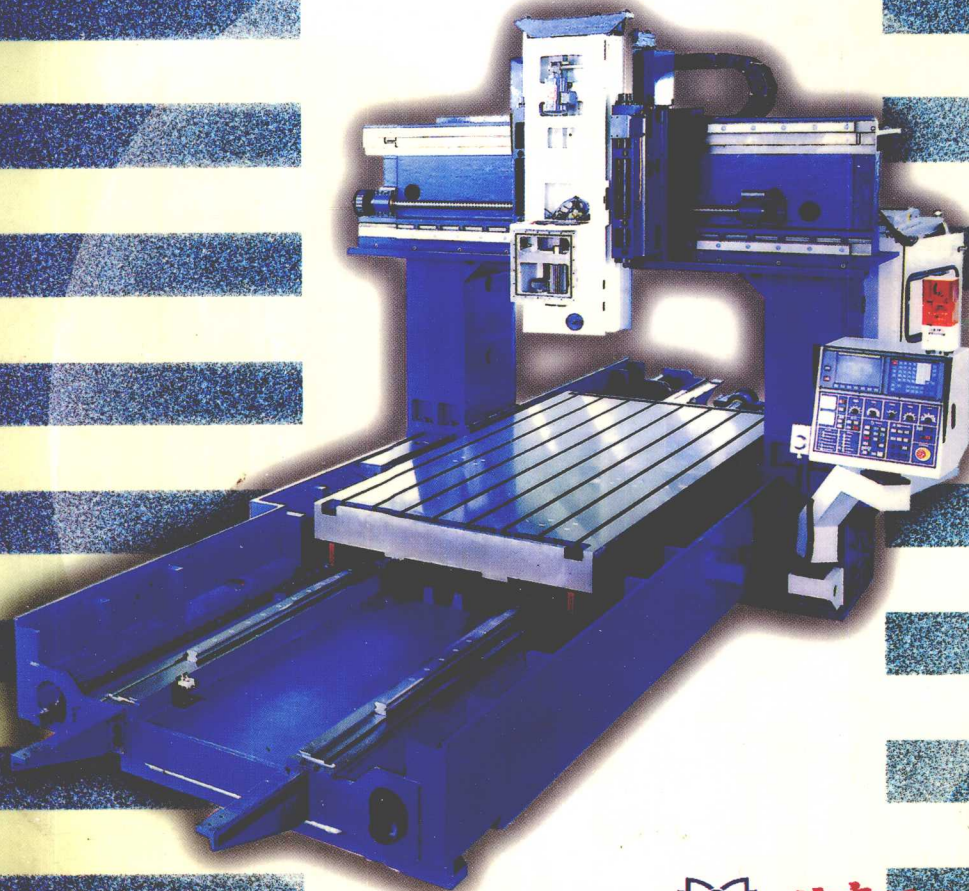


机床计算机 数控技术

(第二版)

任玉田 焦振学 王宏甫 编著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机床计算机数控技术

(第二版)

任玉田 焦振学 王宏甫 编著

北京理工大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书讲述了机床计算机数控的基本原理,CNC装置的硬件、接口及软件,插补原理与速度控制,伺服系统及位置控制,加工程序编制等,并列举了两个具有实际参考价值的经济型 CNC 系统设计实例。还对我国自行研制的高档 CNC 系统“蓝天 1 号”作了简单介绍。在书后的附录中列出了常用的数控术语。该书内容丰富、系统,不仅适合高等院校机械工程与自动化专业的教学用书,而且对有关科技人员也具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

机床计算机数控技术/任玉田等编著. —2 版. —北京:北京理工大学出版社, 2002.8
高等学校教材

ISBN 7-81045-153-7

I. 机… II. 任… III. 机床-计算机控制: 数字控制-技术 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 11831 号

北京理工大学出版社出版发行
(北京市海淀区中关村南大街 5 号)

邮政编码 100081 电话(010)68912824

各地新华书店经售

北京房山先锋印刷厂印刷

*

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 435 千字

2002 年 8 月第 2 版 2002 年 8 月第 6 次印刷

印数:15001—19000 册 定价:24.00 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

修 订 前 言

《机床计算机数控技术》一书于1996年9月出版后,又重印多次,总印数达15 000册。全国不少的高等、大专院校及培训班都选此书作为教材。编著者对广大读者对该书的关心和信任表示深切的谢意。

考虑到技术的不断进步与更新,高等院校教学改革的不深化,教学质量的不断提高,编著者结合多年的教学、科研实践,对原书做了修改和补充。与原书相比,所做的主要修改如下:

对原书第一章、第二章的内容重新进行了编纂,还在第一章中增加了有关FMC、FMS、CIMS的内容。将原书第六章可编程序控制器的内容经过提炼和删改后,作为一节放到第三章。对原第三章有关CNC装置硬、软件结构的内容做了进一步充实。原书第四章“插补原理与速度控制”改为“插补、刀具补偿与速度控制”。对该章进行了重新选材和编写,并增加了有关程序设计的内容。原书第五章“伺服系统与位置控制”改为“伺服驱动系统”,对该章的交、直流伺服电动机及其速度控制的内容做了进一步充实,并增加了“主轴驱动”一节。原书的第七章变为第六章,在这一章中,除了列举了两个具有实际参考价值的经济型CNC系统设计实例外,还对有自主设计版权的高档CNC系统“蓝天1号”进行了简单介绍。

全书的修改由任玉田完成。经过修改后,使该书内容更加充实、更能满足不断提高的教学需要,更具有参考价值。

由于编著者水平有限,经验不足,修改后书中难免存在疏漏乃至错误,恳请读者批准指正。

编著者
2002年6月

前 言

机床数控技术是 20 世纪 70 年代发展起来的一种机床自动控制技术。20 多年来,随着电子元器件、计算机、传感与检测、自动控制及机械制造等技术的不断进步,机床数控技术得到了迅速的发展。数控机床是典型机电一体化产品,是高新技术的重要组成部分。采用数控机床,提高机械工业的数控化率,是当前机械制造业技术改造、技术更新的必由之路。现代数控机床已成为柔性制造单元(FMC),柔性制造系统(FMS)乃至计算机集成制造系统(CIMS)和无人化自动工厂(FA)中不可缺少的基础设备。

为了普及和提高我国的机床数控技术,我们编著了《机床计算机数控技术》一书。该书对机床计算机数控的基本原理、装置及其接口,插补原理与速度控制,伺服系统及位置控制,可编程序控制器,加工程序编制等现代机床计算机数控技术做了系统、深入浅出地叙述。在书的最后列举了两个具有实际参考价值的经济型计算机数控系统设计实例。在附录中还列出了部分常用数控术语及 C 刀具补偿功能的有关计算公式。书中内容丰富,翔实,不仅适合高等院校机械工程专业教学用书,而且对有关科技人员也具有参考价值。

本书由任玉田主编,并编写了第一章、第三章和第七章;第二章、第五章、第六章由焦振学编写;第四章由王宏甫编写;附录由焦振学、任玉田编写。此外,焦振学还参加了统稿工作。

全书由韩梦玮教授主审,他对本书提出了许多宝贵意见,在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,经验不足,书中难免存在错误疏漏之处,恳请读者批评指正。

编著者

1996 年 5 月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 数控机床	(1)
一、数控机床的组成	(1)
二、数控机床的优点	(4)
第二节 数控机床的分类	(4)
一、按照能够控制刀具与工件间相对运动的轨迹分类	(5)
二、按照伺服系统的控制方式分类	(5)
三、按照加工方式分类	(6)
四、按照 CNC 装置的功能水平分类	(7)
第三节 数控机床的产生与发展	(7)
一、数控机床的出现与发展	(7)
二、我国数控机床的发展概况	(8)
三、数控机床的发展趋势	(8)
第四节 FMC、FMS 及 CIMS	(9)
一、柔性制造单元 FMC (Flexible Manufacturing Cell)	(9)
二、柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System)	(10)
三、计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)	(12)
习题	(14)
第二章 数控加工程序编制	(15)
第一节 数控加工程序编制基础	(15)
一、数控编程的内容与步骤	(15)
二、数控编程的方法	(16)
三、与数控编程有关的标准	(17)
第二节 手工编程	(30)
一、手工编程的工艺处理	(30)
二、手工编程的数学处理	(33)
三、常用的基本指令	(36)
四、编程举例	(38)
第三节 数控加工自动编程简介	(52)
一、概述	(52)
二、语言自动编程系统简介	(53)
习题	(56)
第三章 CNC 装置及其接口	(58)

第一节 CNC 装置的硬件结构	(58)
一、单微处理器结构 CNC 装置	(58)
二、多微处理器结构 CNC 装置	(61)
第二节 CNC 装置的软件结构	(62)
一、CNC 装置的控制流程	(63)
二、CNC 装置的多任务并行处理	(66)
三、CNC 装置软件的结构	(67)
四、常用的软件设计技术	(73)
第三节 可编程控制器 (PLC)	(74)
一、PLC 的定义与分类	(74)
二、PLC 的原理和特点	(75)
三、PLC 在数控机床中的应用	(81)
四、PLC 在机械制造中应用简述	(85)
第四节 CNC 装置的接口电路	(86)
一、机床 I/O 接口	(87)
二、标准输入输出设备接口	(91)
三、串行数据通信及接口	(107)
习题	(117)
第四章 插补、刀具补偿与速度控制	(119)
第一节 插补原理与程序设计	(119)
一、插补及其算法	(119)
二、脉冲增量插补	(120)
三、数字增量插补	(137)
第二节 刀具半径补偿	(143)
一、刀具补偿的基本概念	(143)
二、B 功能刀具半径补偿计算	(143)
三、C 功能刀具半径补偿	(145)
第三节 进给速度和加减速控制	(162)
一、开环 CNC 系统的进给速度及加减速控制	(162)
二、闭环 (或半闭环) CNC 系统的加减速控制	(163)
习题	(170)
第五章 伺服驱动系统	(171)
第一节 概述	(171)
一、数控机床伺服系统的分类	(171)
二、数控机床对伺服系统的要求	(172)
第二节 检测装置	(172)
一、感应同步器	(173)
二、光栅	(177)
三、编码器	(181)

第三节 步进电动机及其驱动系统	(184)
一、步进电动机	(184)
二、步进电动机驱动电源	(192)
第四节 直流伺服电动机及其速度控制	(199)
一、直流伺服电动机	(199)
二、直流伺服电动机的速度控制	(202)
第五节 交流伺服电动机及其速度控制	(207)
一、交流伺服电动机	(207)
二、同步交流伺服电动机的变频调速	(209)
第六节 主轴驱动	(210)
一、直流主轴电动机及其速度控制	(211)
二、交流主轴电动机及其速度控制	(212)
第七节 位置控制	(218)
一、脉冲比较伺服系统	(218)
二、相位比较伺服系统	(219)
三、幅值比较伺服系统	(220)
习题	(222)
第六章 CNC 系统实例简介	(224)
第一节 经济型 CNC 系统	(224)
一、概述	(224)
二、系统功能设计	(225)
三、面板按键及其管理	(228)
四、零件程序的输入与编辑	(230)
五、系统的预处理功能	(239)
六、插补与速度控制	(244)
第二节 高性能经济型 CNC 系统	(246)
一、概述	(246)
二、系统硬件设计	(247)
三、系统软件设计	(252)
四、数字增量插补法在开环 CNC 系统中的应用	(266)
五、C 功能刀具半径补偿的实现	(268)
第三节 高档 CNC 系统简介	(275)
一、系统的主要特点和性能指标	(276)
二、系统的体系结构	(277)
三、系统的应用范围	(278)
习题	(278)
附录：部分常用的数控术语	(280)
参考书目	(285)

第一章 概 述

先进制造技术是改造传统制造业的有效手段。先进制造技术的核心技术是数字化制造技术。数字化制造技术由数字化技术和制造技术融合而成,包括上层技术、下层技术和信息技术。下层技术的主体是数控技术和计算机数控技术。数控,即数字控制(Numerical Control,简称为 NC)。数控技术,即 NC 技术,是指用数字化信息(数字量及字符)发出指令并实现自动控制的技术。计算机数控(Computerized Numerical Control,简称为 CNC)是指用计算机实现部分或全部基本数控功能。

采用数字控制技术的自动控制系统即是数字控制系统,采用计算机数控技术的自动控制系统则为计算机数控系统,其被控对象可以是各种生产过程或设备。如果被控对象是机床,则称为数控机床(计算机数控机床)。

数控机床是具有高附加值的技术密集型产品,该产品集机械制造、计算机、微电子、现代控制及精密测量等多种技术于一体,实现了高度的机电一体化。

数控机床使传统的机械加工工艺发生了质的变化,它已是现代工业生产必不可少的设备。采用数控机床,提高机械工业的数控化率是当前机械制造业技术改造、技术更新的必由之路。

第一节 数控机床

一、数控机床的组成

数控机床即是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。现代数控机床都采用计算机(微型计算机)作为控制系统,其组成如图 1-1 所示。由图可见,数控机床由 CNC 系统、机床主机及辅助装置组成。

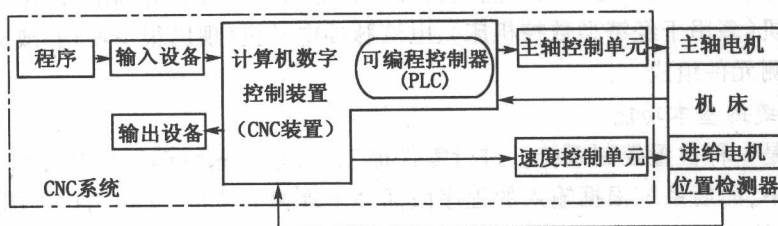


图 1-1 数控机床组成框图

(一) CNC 系统

1. CNC 系统的组成

CNC 系统由程序、输入、输出设备、CNC 装置及主轴、进给驱动装置组成。其核心部分是 CNC 装置,它由三部分组成:

(1) 计算机。其硬件包括 CPU、存储器、总线键盘、阴极射线管(CRT)显示器或液晶显示器(LCD),输入输出接口电路及位置控制电路等。高档 CNC 装置常采用多微处理器结构,各微处

理器协同工作,共同完成数控功能。其软件由管理软件和控制软件组成。管理软件主要包括输入、I/O 处理、显示、诊断等程序;控制软件包括译码、刀具补偿、速度处理、插补计算、位置控制等程序。

(2) 可编程序控制器(PLC)。用以接收来自零件加工程序的开关功能信息(M、S、T)、机床操作面板上的开关量信号及机床侧的开关量信号,进行逻辑处理,完成输出控制功能,实现各功能及操作方式的联锁。即按照预先规定的逻辑顺序对诸如机床电气设备的起停,主轴的转速、转向及起停,刀具的更换,工件的夹紧、松开,液压、气动、冷却、润滑系统的运行,倍率开关进行控制,并实现各种状态指示,故障报警以及通信,附加轴控制。

(3) 接口。CNC 装置具有丰富的接口,包括:

① 与上位机的通信接口。主要采用串行通信和网络通信,常用的标准有 EIA RS - 232C、20 mA 电流环、EIA RS - 422、EIA RS - 485 等。

② 与各种输入、输出设备(如键盘、各种显示器、手摇脉冲发生器、磁盘驱动器、磁带机、纸带阅读机、纸带穿孔机、电传机等)的接口。

③ 与机床之间信号往来的 I/O 接口。

数控机床是按照预先编写好的零件加工程序进行自动加工的。零件加工程序是 CNC 系统的重要组成部分。

输入输出设备主要用于零件加工程序的编制、存储、打印、显示等。简单的输入输出设备只包括键盘、米字管和数码管等。一般的输入输出设备除了人机对话编程键盘和 CRT(或 LCD)外,还包括纸带、磁带或磁盘输入机、穿孔机和电传机等。高级的输入输出设备还包括自动编程机乃至 CAD/CAM 系统

主轴驱动装置用于控制主轴的旋转运动,实现在宽范围内速度连续可调,并在每种速度下都能提供切削所需要的功率。进给驱动装置用于控制机床各坐标轴的切削进给运动,提供切削过程中所需要的转矩,并可以任意调节运动速度。再配以位置控制系统,可实现对工作台(或刀具)位置的精确控制。驱动装置由驱动部件和速度控制单元组成。对于主轴驱动装置,驱动部件由直流或交流主轴电动机和速度检测元件组成。对于进给驱动装置,驱动部件可由功率步进电动机(多用于经济型数控机床)、电液脉冲电动机(现已很少使用)或交、直流伺服电动机与速度检测元件组成。

2. CNC 系统的基本功能

CNC 系统是一种位置控制系统。进行零件加工时,总是先将编写好的零件加工程序输入到系统的内存中,而后系统根据输入的程序段插补出理想的轨迹,并控制执行部件加工出合格的零件。可见,输入、插补、伺服控制是 CNC 系统的三个基本功能。

(1) 输入。CNC 系统的输入指零件加工程序及各种参数的输入。

(2) 插补。插补即是根据给定的数学函数,诸如线性函数、圆函数或高次函数,在理想的轨迹或轮廓上的已知点之间,确定一些中间点的一种方法。通常在给定直线或圆弧的起点和终点之间进行数据点的密化。

CNC 系统的插补功能主要由软件完成、目前主要有以下两种插补方法:

① 脉冲增量法。脉冲增量法的特点是每次插补运算结束产生一个进给脉冲。输出脉冲的最大速率取决于执行一次插补运算所需要的时间。这种方法适用于步进电动机驱动的闭环 CNC 系统,进给速度比较低。

② 数字增量法。整个控制系统通过计算机形成闭环。计算机定时采样反馈的实际位置,将采样结果与插补生成的指令数据进行比较,求得误差信号,进而得出轴进给速度指令。这种方法适用于直流或交流伺服电动机驱动的位置采样控制系统。

(3) 伺服控制。将计算机送出的位置进给脉冲或进给速度指令,经变换和放大后转化为伺服电动机(步进电动机或交、直流伺服电动机)的转动,从而带动机床工作台移动。

3. CNC 系统的基本工作过程

CNC 系统的主要任务是对刀具和工件的相对运动进行控制,完成各种曲线轮廓的加工。不论进行哪种曲线的加工,CNC 系统的基本工作过程是



图 1-2 CNC 系统工作过程框图

一样的(见图 1-2),即首先读取零件加工程序(输入);再按程序段进行译码,将零件加工程序转换为 CNC 装置能够接受的代码,并以一定的数据格式存放在指定的内存存储器中;接下来进行预处理,包括刀具补偿处理(将零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹)和速度处理(各运动坐标分速度的计算及限速处理);然后进行插补计算和位置控制。应该指出,为了完成数控加工,CNC 系统还必须具有显示、输入/输出(I/O)处理及诊断等功能。

(二) 主机

数控机床是一种高度自动化的机床,零件加工完全按照预定零件加工程序自动进行。数控机床应能同时进行粗、精加工,即可以进行大切削量的粗加工,以获得高效率,也可以进行半精加工和精加工,以获得高的加工精度。这就要求数控机床具有大功率和高精度。数控机床的主轴转速和进给速度远高于同规格的普通机床。高速度是数控机床的一大特点。高速化的趋势在中、小型数控机床上尤为明显。数控机床应能在高负荷下长时间无故障工作,因而应具有高可靠性。可靠性对于组成柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)的数控机床尤其重要。

为了满足数控机床高自动化、高效率、高精度、高速度、高可靠性的要求,与普通机床相比,数控机床的机械结构具有以下一些特点:

1. 高刚度和高抗振性

机床静刚度直接影响工件的加工精度及其生产率。机床构件的静刚度和固有频率是影响机床动刚度的主要因素。可见提高机床静刚度和固有频率是提高机床动刚度和抗振性的一种有效方法。为此在数控机床主机的设计中,常采用以下措施:

(1) 通过结构的巧妙设计和布局的合理安排来减小结构所承受的弯曲负载和转矩负载。如机床立柱常采用框式结构,立柱上的主轴常采用嵌入式结构,车床主轴尽量增大支承轴径,尽量缩短受力悬伸段。

(2) 为了在较小的质量下得到较高的静刚度和适当的固有频率,经常采用合理布置的筋板结构。

(3) 为了减少有关零部件(如铣镗类数控机床的立柱)的静力变形,常通过加配重和液压平衡系统来平衡负荷。

(4) 通过在大件内腔充填泥芯和混凝土等阻尼材料,在大件表面上加阻尼涂层,焊接构件采用间断焊缝等来改善结构的阻尼特性,增大动刚度。

(5) 采用钢板焊接结构、聚合物混凝土制作机床大件,以提高机床刚度。

2. 小的机床热变形

机床的热学特性是影响加工精度的主要因素之一。对于数控机床,热变形对加工精度的影响很难由操作者来修正。因此减小数控机床的热变形尤其重要。在数控机床的设计中,为了减小热变形,常采取以下措施:

采用热对称结构及热平衡措施。对于机床发热部件(如主轴箱、静压导轨液压油等)采取散热、风冷、液冷等控制温升。对切削部位采取强冷措施,如采用多喷嘴,大流量冷却液,并对冷却液采取大容量循环散热或采用冷却装置制冷。专门采用热位移补偿,即预测热变形规律,建立数学模型,存入计算机,来进行实时补偿。

3. 高效率、无间隙、低摩擦传动

数控机床在高速下运行应该平稳,并且具有高定位精度,因此要求进给系统中的机械传动装置和元件具有高灵敏度、低摩擦阻力、无间隙以及高寿命等特点。为此,数控机床的导轨多采用塑料滑动导轨、滚动导轨或静压导轨等。在进给系统中,常采用滚珠丝杠副、静压蜗杆-蜗母条及预加载双齿轮-齿条结构。

4. 简化的机械传动结构

由于高性能、宽调速范围的交、直流主轴电动机和伺服电动机的采用,使主轴箱、进给变速箱及其传动系统大为简化,缩短了传动链,提高了传动精度和可靠性。

为了保证数控机床正常运行,还必须配备必要的辅助装置,包括液压、气动装置,交换工作台,数控转台,数控分度头,排屑装置,刀具及其监控检测装置等。

二、数控机床的优点

数控机床是一种高效能自动加工机床,是一种典型的机电一体化产品。与普通机床相比,数控机床具有如下一些优点:

- (1) 易于加工异型复杂零件。
- (2) 可以实现一机多用,多机看管。
- (3) 可以大大减少专用工装卡具,并有利于提高刀具使用寿命。
- (4) 易于保证加工质量,一致性好。
- (5) 工件加工周期短,效率高。
- (6) 可以大大减少在制品数量。
- (7) 具有广泛的适应性和较大的灵活性。
- (8) 可实现精确的成本计算和生产进度安排。
- (9) 可以大大减轻工人劳动强度,减少所需工人数量。
- (10) 可实现软件误差补偿和优化控制。
- (11) 是实现柔性自动加工的重要设备,是发展柔性生产和计算机辅助制造(CAM)的基础。

第二节 数控机床的分类

数控机床的种类很多,为了便于了解和研究,可以从不同的角度对其进行分类。

一、按照能够控制刀具与工件间相对运动的轨迹分类

按照这种分类方法,可以把数控机床分为两大类:

1. 点位控制(Point to Point Control)或位置控制(Positioning Control)数控机床

这类数控机床只能控制工作台(或刀具)从一个位置(点)精确地移动到另一个位置(点),在移动过程中不进行加工,各个运动轴可以同时移动,也可以依次运动。数控镗床、钻床、冲床都属此类。

2. 轮廓控制(Contouring Control)数控机床

这类数控机床的控制系统能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制,不仅控制轮廓的起点和终点,而且还要控制轨迹上每一点的速度和位置。属于这类数控机床的有车床、铣床、磨床、加工中心和电加工机床等。

二、按照伺服系统的控制方式分类

按照伺服系统的不同控制方式,可以把数控机床分为以下几类:

1. 开环控制(Open loop Control)数控机床

这类数控机床不带位置检测反馈装置。CNC 装置输出的指令脉冲经驱动电路的功率放大,驱动步进电动机转动,再经传动机构带动工作台移动,见图 1-3。

开环控制的数控机床工作比较稳定,反应快,调试方便,维修简单,但控制精度比较低,这类数控机床多为经济型。

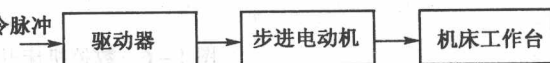


图 1-3 数控机床开环控制框图

2. 闭环控制(Closed loop Control)数控机床

这类数控机床带有位置检测反馈装置。位置检测装置安装在机床工作台上,用以检测机床工作台的实际运行位置,并与 CNC 装置的指令位置进行比较,用差值进行控制,其控制框图如图 1-4 所示。

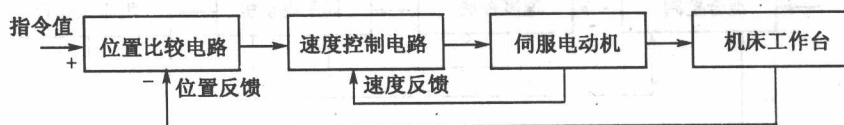


图 1-4 数控机床闭环控制框图

闭环控制数控机床由于能够减小,乃至消除由于传动部件制造、装配所带来的误差,因而可以获得很高的加工精度。但应该注意,环内包含的机械传动环节比较多,如丝杠螺母副,工作台等。丝杠与螺母间,工作台与导轨间的摩擦特性,各部件的刚性都是可变的,这些都直接影响伺服系统的调节参数,而且有一些是非线性参数。如果设计、调整得不好,将会造成系统的不稳定。因此,这类数控机床伺服系统的设计和调试都具有较大的难度,不是精度要求很高的数控机床一般不采用这种控制方式。

3. 半闭环控制(Semi-closed loop Control)数控机床

将检测元件安装在电机的端头或丝杠的端头,则为半闭环控制数控机床,见图 1-5。由

于闭环的环路内不包括丝杠、螺母副及工作台,所以可以获得比较稳定的控制特性。其控制精度虽不如闭环控制数控机床,但调试比较方便,因而被广泛采用。

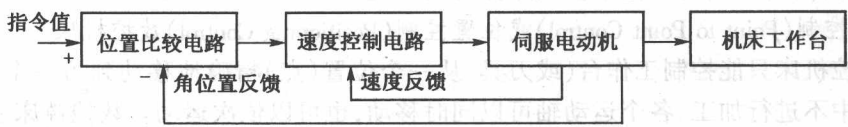


图 1-5 数控机床半闭环控制框图

4. 开环补偿型控制(Open loop Control with Compensation)数控机床

这类数控机床是在开环控制的基础上,附加一补偿(校正)环节。这样既保留了开环控制的优点,又能较好地解决丢步或过冲问题,使开环控制的控制精度得以提高。开环补偿型控制框图见图 1-6。

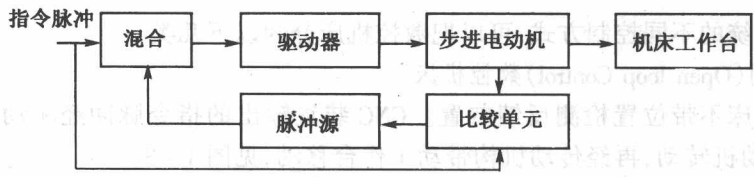


图 1-6 数控机床开环补偿型控制框图

5. 半闭环补偿型控制(Semi-closed loop Control with Compensation)数控机床

这种数控机床多为既要求具有较高的进给速度和返回速度,又要求具有高精度的大型数控机床。它采用半闭环进行基本驱动,以获得高速度。再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环。用全闭环和半闭环的差值进行控制,以获得高精度。其控制框图如图 1-7 所示。

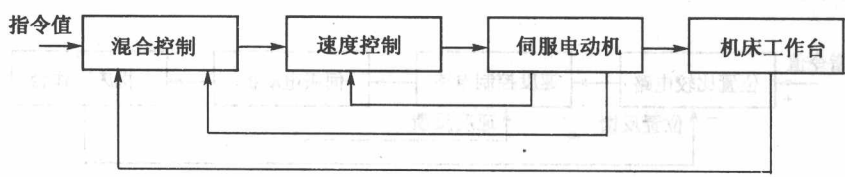


图 1-7 数控机床半闭环补偿型控制框图

三、按照加工方式分类

按其加工方式的不同、可以把数控机床分为以下几类:

1. 金属切削类

属于此类的有数控车床、钻床、铣床、镗床、磨床和加工中心等。

2. 金属成型类

该类包括数控折弯机、弯管机、回转头压力机等。

3. 特种加工类

数控特种加工机床包括数控线切割机、电火花加工机床及激光切割机等。

4. 其他类

如数控火焰切割机床、三坐标测量机等。

四、按照 CNC 装置的功能水平分类

按照 CNC 装置的功能水平可大致把数控机床分为高、中、低(经济型)三档。应该说,三个档次的数控机床之间没有严格的界限。而且不同的时期,划分的标准也不相同。就目前的发展水平,大体上可从分辨率、进给速度、伺服系统、同时控制轴数(联动轴数)、通信功能、显示功能、有无 PLC 及主 CPU 等几方面加以区分,指标限定如表 1-1 所示。表中所列各项指标、数据仅供参考。

表 1-1 按 CNC 装置功能水平分类表

功 能	高 档	中 档	低 档
分辨率/ μm	0.1	1	10
进给速度/ $(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$	15~100	15~24	<15
伺服系统	交、直流伺服电动机驱动的,闭环、半闭环控制伺服系统		步进电动机驱动的开环控制伺服系统
同时控制轴数	3~5 轴		2 轴(3 轴直线)
通信功能	带 MAP(或相当)网卡,可以进网	RS-232C、RS-422 或 DNC 通信接口	无或 RS-232C 通信接口
显示功能	可以进行三维图形显示	CRT(LCD)字符、图形显示	LED 显示或 CRT 字符显示
有无 PLC	有		无
主 CPU	16 位、32 位、64 位,主流为 32 位		8 位,也有 16 位

第三节 数控机床的产生与发展

一、数控机床的出现与发展

第二次世界大战后,美国为了革新飞机制造业中用于仿形机床上的靠模和样件加工的设备,开始研制新型机床。1952 年,美国帕森斯公司(Parsons Co.)与麻省理工学院伺服机构实验室(Serve Mechanisms laboratory of The Massachusetts Institute of Technology)合作、研制成功一台三坐标数控立铣床,其插补装置采用脉冲乘法器,整个控制装置由真空管组成,这就是第一代数控系统。从那时起的半个世纪以来,随着自动控制技术、微电子技术、计算机技术、精密测量技术及机械制造技术的发展,数控机床得到了迅速发展,不断地更新换代。

1959 年晶体管元件问世,数控系统中广泛采用晶体管和印制板电路,从此数控系统跨入第二代。

1965年,出现了小规模集成电路,由于其体积小,功耗低,使数控系统的可靠性得到进一步提高,数控系统从而发展到第三代。

以上三代数控机床的控制系统均为硬接线数控系统,称为普通数控系统,即 NC(Numerical Control)系统。

由于当时控制计算机的价格十分昂贵,为了提高系统的性能价格比,出现了用一台计算机负责多台机床插补运算的直接数控(Direct Numerical Control)系统,即 DNC 系统。由于计算机负担较重,系统的可靠性、实用性较差。

随着计算机技术的发展,出现了以小型计算机代替专用硬接线装置,以控制软件实现部分或全部数控功能的计算机数控(CNC)系统,使数控机床进入第四代。

1970年前后,美国英特尔(Intel)公司首先开发和使用四位微处理器,1974年美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统。由于中、大规模集成电路的集成度和可靠性高、价格低廉,所以微处理器数控系统得到了广泛的应用。这就是微机数控(Micro-Computer Numerical Control)系统,即 MNC 系统。从而使数控机床进入第五代。

现代数控机床,为了进一步扩展功能,增强实时控制能力和可靠性,常采用多微处理器结构。由多个微处理器构成功能模块,各功能模块之间的互联与通信,或采用共享总线结构,或采用共享存储器结构。

二、我国数控机床的发展概况

我国的机床数控行业起步于1958年。到20世纪60年代末70年代初,已经研制出一些晶体管式的数控系统,并用于生产。但由于历史的原因,一直没有取得实质性的成果。数控机床的品种和数量都较少,稳定性和可靠性也比较差,只在一些复杂、特殊零件的加工中使用。

直到20世纪80年代初,我国先后从日本、德国、美国等国家引进一些先进的 CNC 装置及主轴、进给伺服系统的生产技术,并陆续投入了生产。这些 CNC 系统性能比较完善,稳定性和可靠性都比较好,在数控机床上采用后,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,使我国数控机床在质量、性能及水平上有了一个飞跃。到1985年,我国数控机床的品种累计达80多种,数控机床进入了实用阶段。

1986年至1990年(“七五”)期间是我国数控机床大发展的时期。在此期间,通过实施国家重点科技攻关项目“柔性制造技术及设备开发研究”及重点科技开发项目“数控机床引进技术消化吸收(数控机床一条龙)”,推动了我国数控机床的发展。

1991年以来,一方面从日、德、美等国购进 CNC 系统,另一方面在积极开发、设计、制造具有自主知识产权的中、高档 CNC 系统,并且取得了可喜的成果。我国的数控产品已覆盖了车、铣(包括仿型铣)、镗铣、钻、磨、加工中心及齿轮机床、折弯机、火焰切割机、柔性制造单元等,品种达300多种。中、低档 CNC 系统已达到小批量生产能力。

三、数控机床的发展趋势

随着科学技术的发展,机械产品的形状和结构不断改进,对零件加工质量的要求也越来越高。随着社会对产品多样化需求的增强,产品品种增多,产品更新换代加速。这使得数控机床在生产中得到广泛的应用,并不断地发展。尤其是随着柔性制造系统的迅猛发展和计算机集成制造系统的兴起和不断成熟,对机床 CNC 系统提出更高的要求。现代数控机床正在向更高

速度、更高精度、更高可靠性及更完善的功能方向发展。

1. 向高速度、高精度发展

现代机床 CNC 系统多采用 32 位 CPU 和多微处理器并行技术,使运算速度得到了很大提高。与高性能 CNC 系统相配合,现代数控机床采用了交流数字伺服系统。伺服电动机的位置、速度及电流环都实现了数字化,并采用了现代控制理论,实现了不受机械负荷变动影响的高速响应伺服驱动。由于新型 CNC 系统及伺服系统的采用,使数控机床的进给速度和分辨率得到很大的提高。

现代数控机床充分利用 CNC 系统的补偿功能来提高其加工精度和动态性能。数控机床的补偿功能包括反向间隙补偿功能,螺距误差补偿功能及热补偿功能等。

2. 可靠性的提高

由于现代机床 CNC 系统的模块化、通用化和标准化,便于组织批量生产,故可保证产品质量。现代 CNC 系统大量采用大规模或超大规模集成电路,采用专用芯片及混合式集成电路,提高了集成度,减少了元器件数量,降低了功耗,提高了可靠性。

3. 实现长时间、连续地自动加工

在现代数控机床上,装有各种类型监控、检测装置,实现了工件的自动检测和刀具的监控,从而提高了数控机床的自动化程度,保证了数控机床长时间工作时的产品质量。

4. 采用自动程序编制技术

现代机床 CNC 系统利用其自身很强的存储及运算能力,把很多自动编程功能植入 CNC 系统。在一些新型的 CNC 系统中,还装入了小型工艺数据库,使得 CNC 系统不仅具有在线零件程序编制功能,而且可以在零件程序编制过程中,根据机床性能、工件材料及零件加工要求,自动选择最佳刀具及切削用量。有的 CNC 系统还具有自适应控制功能。

5. 具有更高的通信功能

为了适应自动化技术的进一步发展,适应工厂自动化规模越来越大的要求,为了满足不同厂家不同类型数控机床的联网需要,现代机床 CNC 系统的通信功能不断加强。不少 CNC 系统采用了 MAP 工业控制网络或类似网络,现已实现 MAP 3.0 版本,可以很方便地进入柔性制造系统和计算机集成制造系统。

第四节 FMC、FMS 及 CIMS

一、柔性制造单元 FMC(Flexible Manufacturing Cell)

在数控机床的发展中,值得一提的是加工中心的出现。加工中心是一台具有自动换刀的数控机床,它能实现工件一次装夹进行多工序的加工。由于加工中心能把许多工序甚至许多不同的工艺过程都集中起来完成,并且可以使加工自动而连续地进行,所以不仅大大地提高了生产率,而且也提高了加工精度。

柔性制造单元是在加工中心的基础上发展起来的。它增加了托盘自动交换装置或机器人,刀具和工件自动测量装置,加工过程监测装置。与加工中心相比,它具有更高的生产率,更好的柔性。

柔性制造单元所进行的所有操作都是由单元计算机来控制的,但被加工工件、刀库中的刀