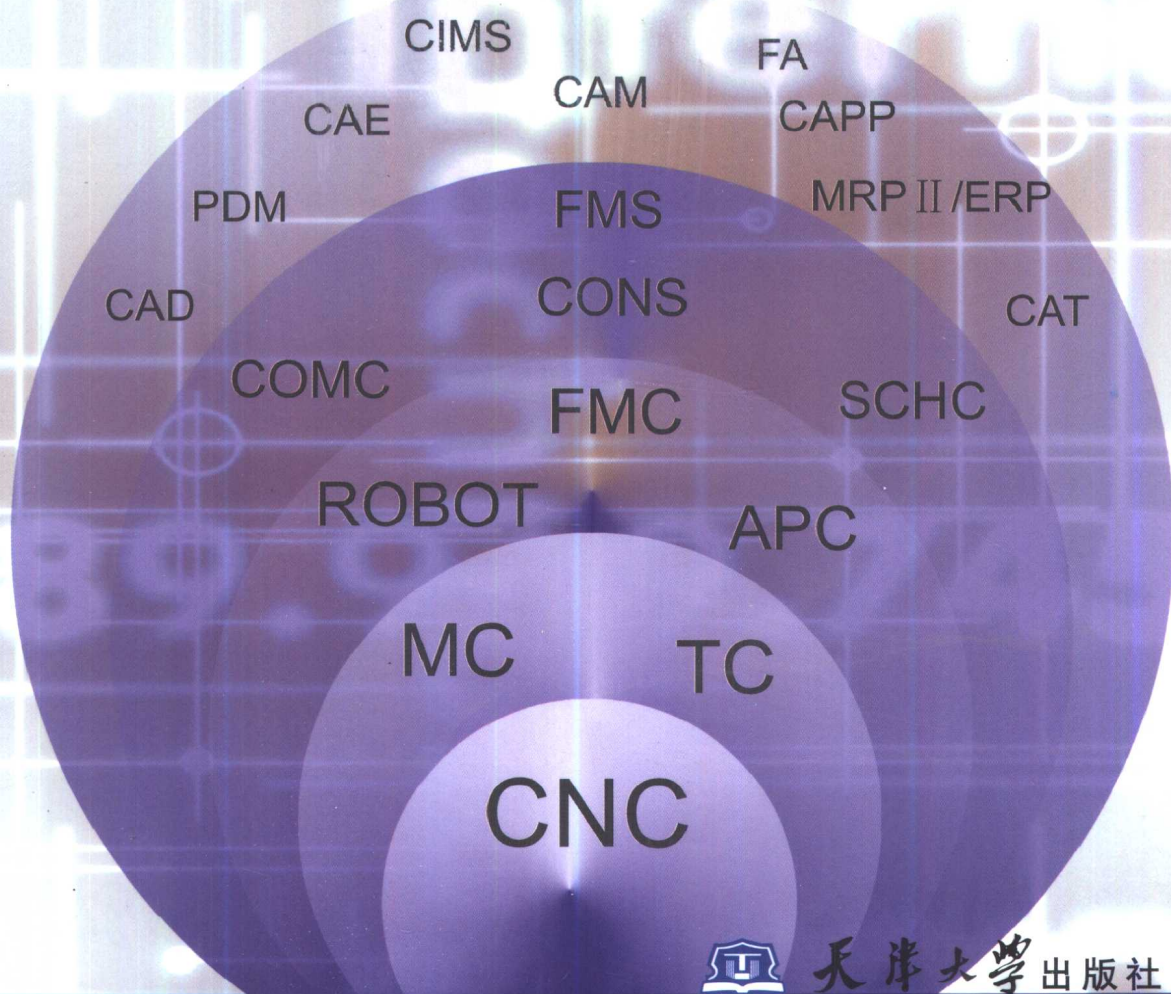


杜君文 邓广敏 主编
刘又午 主审

数控技术



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

数 控 技 术

杜君文 邓广敏 主编
刘又午 主审

天 津 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了数控技术的关键内容: 数控系统的硬软件构成及其特点, 插补和刀补的软件算法, 开放式数控系统的特点和优势; 伺服驱动及位置检测反馈技术, 典型的交、直流全闭环、半闭环伺服系统以及直线电机驱动和数字伺服系统等概念; 主传动和进给传动系统中的高刚度、低摩擦、无间隙精密机械技术; PC 可编程控制器完成 CNC 机床上的开关量控制和数控轨迹控制的协调; 数控加工编程的基本方法和数学处理原理, 以及数控技术向系统化、集成化发展的总趋势和数控技术对先进制造技术的重要支撑作用等。

本书可作为高等院校机械工程及自动化、机械设计制造及自动化、机电一体化等专业的技术基础课教材, 也可供从事数控机械设计、研究、开发、应用的科技人员参考。书中伺服驱动的一些技术数据和机械系统的许多图样可供学生设计参考; 改进的 DDA 插补算法和刀补算法、数控编程中的数学处理、PC 控制技术 etc 可供研究生选用。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/杜君文, 邓广敏主编. —天津: 天津大学出版社, 2002.2

ISBN 7-5618-0308-7

I. 数… II. ①杜…②邓… III. 数控机床—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 096689 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨风和

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内 (邮编: 300072)

电 话 发行部: 022—27403647 邮购部: 022—27402742

印 刷 天津市宝坻县第二印刷厂

经 销 全国各地新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18

字 数 450 千

版 次 2002 年 2 月第 1 版

印 次 2002 年 2 月第 1 次

印 数 1—3000

定 价 26.00 元

前 言

当今,各种现代化企业均拥有众多的数字控制设备,充分开发应用它们的功能,将对国民经济的发展发挥巨大的作用。科技创新开发机电一体化的机电产品更是时代的迫切要求。为了适应数控技术和国民经济发展的需要,高等工科院校应该将“数控技术”这种多学科交叉、综合的高新技术纳入教学内容。本书正是遵循机械工程类专业教学指导委员会教材建设规划精神,组织多年从事“数控技术”教学、科研的同志编写的。在编写中力求反映现代企业普遍应用的数控技术和数控机床的基本知识、核心技术和最新成就,较全面、系统地阐述数控技术的丰富内涵。

全书共分七章,第一章介绍数控技术的产生和内涵,以及数控机床在先进制造技术中的地位 and 作用。第二章介绍数控编程的基础知识,FANUC 0M (0T) 系统编程实例和编程中流行的数学处理方法。第三章是计算机数字控制(CNC)系统的软硬件结构、插补算法和刀补算法。第四章是伺服系统,它包括常用的驱动元件及其速度控制方法、位置检测与反馈应用原理,典型伺服系统实例等。第五章是数控机床的机械系统,主要介绍主传动系统、进给传动系统、工作台、导轨、自动换刀装置等方面的精密机械技术。第六章是数控机床的PC控制技术,主要介绍数控机床上PC控制的内容、PC在数控机床上的应用实例,以及PC和NC(数控)协调完成数控机床自动工作循环的原理。第七章是数控技术的发展趋势。

本书可作为高等工科院校机械工程及自动化专业、机械设计制造及自动化专业、机电一体化专业的技术基础课,供从事数字控制机床设计、研究、开发、应用的科技人员参考。书中※部分亦可作为研究生选修课教学的内容。

本书由杜君文教授编写第一、三、四、五、六、七章,邓广敏副教授编写第二章。刘又午教授担任主审。

本书编写时参阅了有关院校、工厂、科研院所的一些教材、资料和文献,在此表示衷心感谢!

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2001 年 12 月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 数控技术的产生	(1)
第二节 数控技术的内涵	(5)
第三节 数控机床在先进制造技术中的地位和作用	(7)
第二章 数控加工编程技术	(12)
第一节 数控编程的基础知识	(12)
第二节 数控机床的坐标系	(19)
第三节 G 指令编程应用与举例	(21)
第四节 典型数控加工编程	(28)
※第五节 程序编制中的数学处理	(53)
第六节 自动编程	(67)
第三章 数控系统	(74)
第一节 概述	(74)
第二节 计算机数字控制(CNC)系统	(82)
第三节 CNC 系统的插补算法	(90)
第四节 CNC 系统的刀具补偿和加、减速控制	(118)
第四章 数控机床的伺服系统	(135)
第一节 概述	(135)
第二节 伺服系统的驱动元件	(138)
第三节 伺服系统的速度控制	(155)
第四节 伺服系统的位置检测反馈	(172)
第五节 典型的伺服系统	(183)
第六节 伺服系统的特性对数控机床加工精度的影响	(196)
第五章 数控机床的机械系统	(201)
第一节 数控机床的主传动系统	(201)
第二节 数控机床的伺服进给传动系统	(213)
第三节 回转工作台与导轨	(227)
第四节 自动换刀装置	(235)
第五节 伺服进给传动系统设计应用举例	(240)
第六节 数控机床的总体布局	(246)
第六章 数控机床上的 PC 控制技术	(249)
第一节 概述	(249)
第二节 数控机床上的接口信息与接口电路	(251)
第三节 梯形图	(254)
第四节 数控机床专用 FANUC PC 简介	(257)

第五节	PC 在数控机床上的应用举例	(266)
第七章	数控技术的发展趋势	(274)
第一节	数控技术向高速化、高精度、多轴控制和功能复合方向发展	(274)
第二节	柔性制造系统	(275)
第三节	向集成化、信息化发展的数控技术	(278)
参考文献		(281)

第一章 概述

第一节 数控技术的产生

一、数控技术的产生

1946 年世界上第一台电子计算机问世, 揭开了人类进入信息时代的序幕。1948 年美国帕森斯公司提出了采用电子计算机控制机床, 加工飞机螺旋桨叶片轮廓样板曲线的设想, 立即得到美国空军的支持和麻省理工学院伺服机构研究室的响应, 终于在 1952 年研制成功世界上第一台三坐标数控铣床。这便是用数字化信息控制机床的运动, 是复杂零件加工的数控技术的开始。人们把这种电子计算机以数字方式控制机床工作的技术称为数字控制技术, 简称数控 (缩写为 NC)。由于数控是与机床控制密切相关发展起来的, 因此, 通常讲的“数控”就是指“机床数控”, 用这种控制技术控制的机床称为“数控机床”, 人们习惯称为“NC 机床”, 甚至就叫“NC”。

二、数控机床的组成和工作原理

数控机床是由普通机床演变而来的, 如图 1-1 所示。它的控制采用计算机数字控制方式, 它各个坐标方向的运动均采用单独的伺服电动机驱动, 取代了普通机床上联系各坐标方向运动的复杂齿轮传动链。由图可以看出, 数控机床由信息输入、信息运算及控制、伺服驱动和位置检测反馈、机床本体、机电接口等五大部分组成。

1. 信息输入

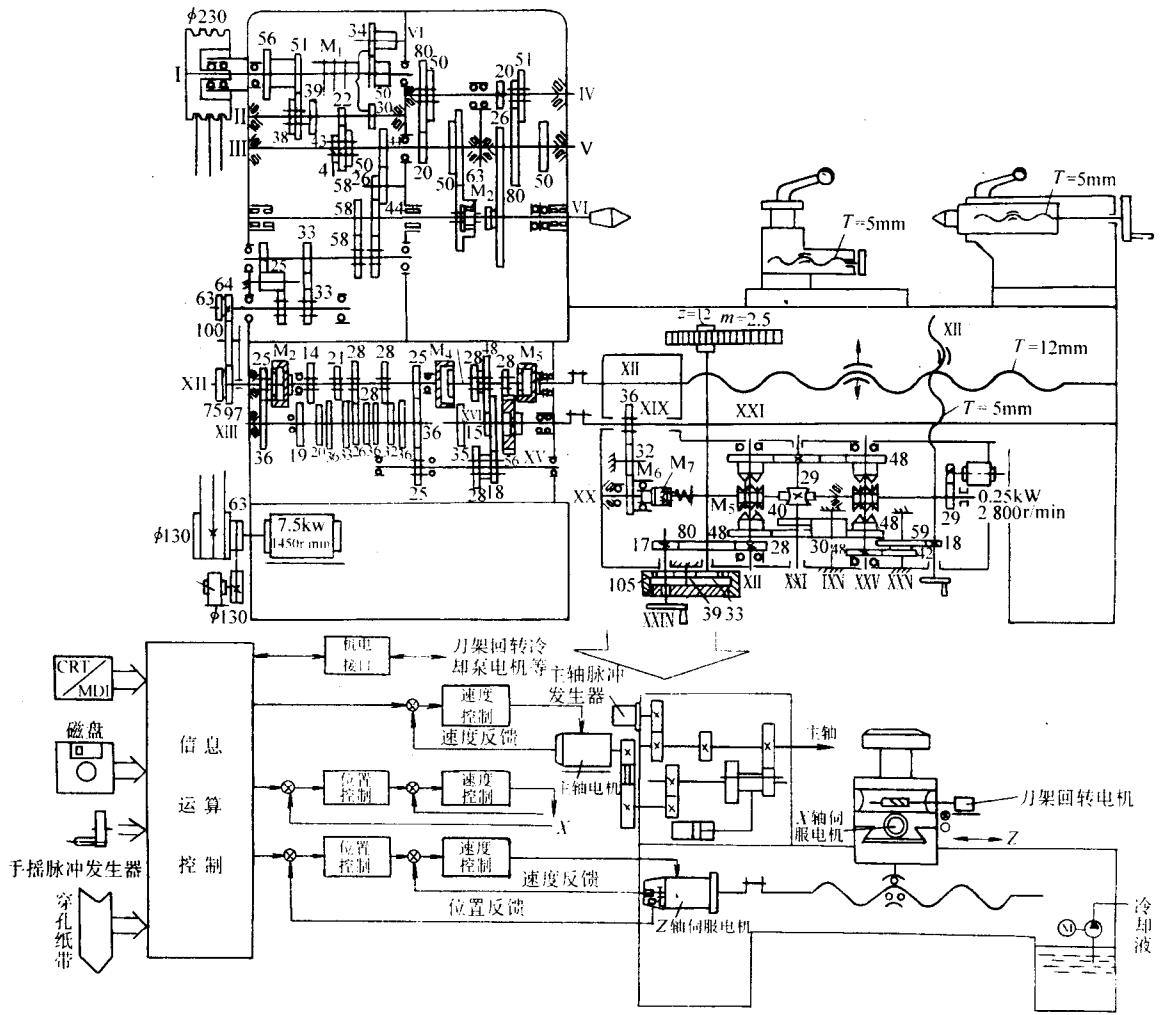
信息输入是将加工零件的程序、各种参数和数据通过输入设备送到运算及控制部分, 它相当于人的各种感觉器官, 输入方式有穿孔纸带、磁盘、按键 (MDI)、手摇脉冲发生器等。一般现场均采用按键方式; 复杂零件程序较长, 则采用磁盘 (磁带) 输入。纸带是一种比较传统的基本输入方式, 手摇脉冲发生器是一种手动调整运动的较好方式。每一种输入方式都由相应的硬件和软件支持来共同完成一种功能。

2. 信息运算及控制

信息运算及控制实际上是一种专用计算机, 一般由 CPU、存储器、总线、输入输出接口等构成。为了完成各种形状的零件加工, 系统软件必须具有曲线、曲面的插补功能, 即能进行轨迹插补运算和刀具补偿运算, 并根据曲线的不同情况, 计算每时每刻各个坐标方向的分量。用这些分量去驱动各坐标方向的伺服电动机作进给运动, 完成各个坐标的协调动作。这一部分是整个数控机床数控系统的核心, 决定了机床数控系统功能的强弱, 好似人的“大脑”。

3. 伺服驱动和位置检测反馈

伺服驱动部分接受计算机运算处理结果的信号, 经过驱动电路将信号进行转换、放大驱动各个坐标的伺服电动机, 并且随时检测运动末端件 (伺服电动机或工作台) 的实际运动情



(a)

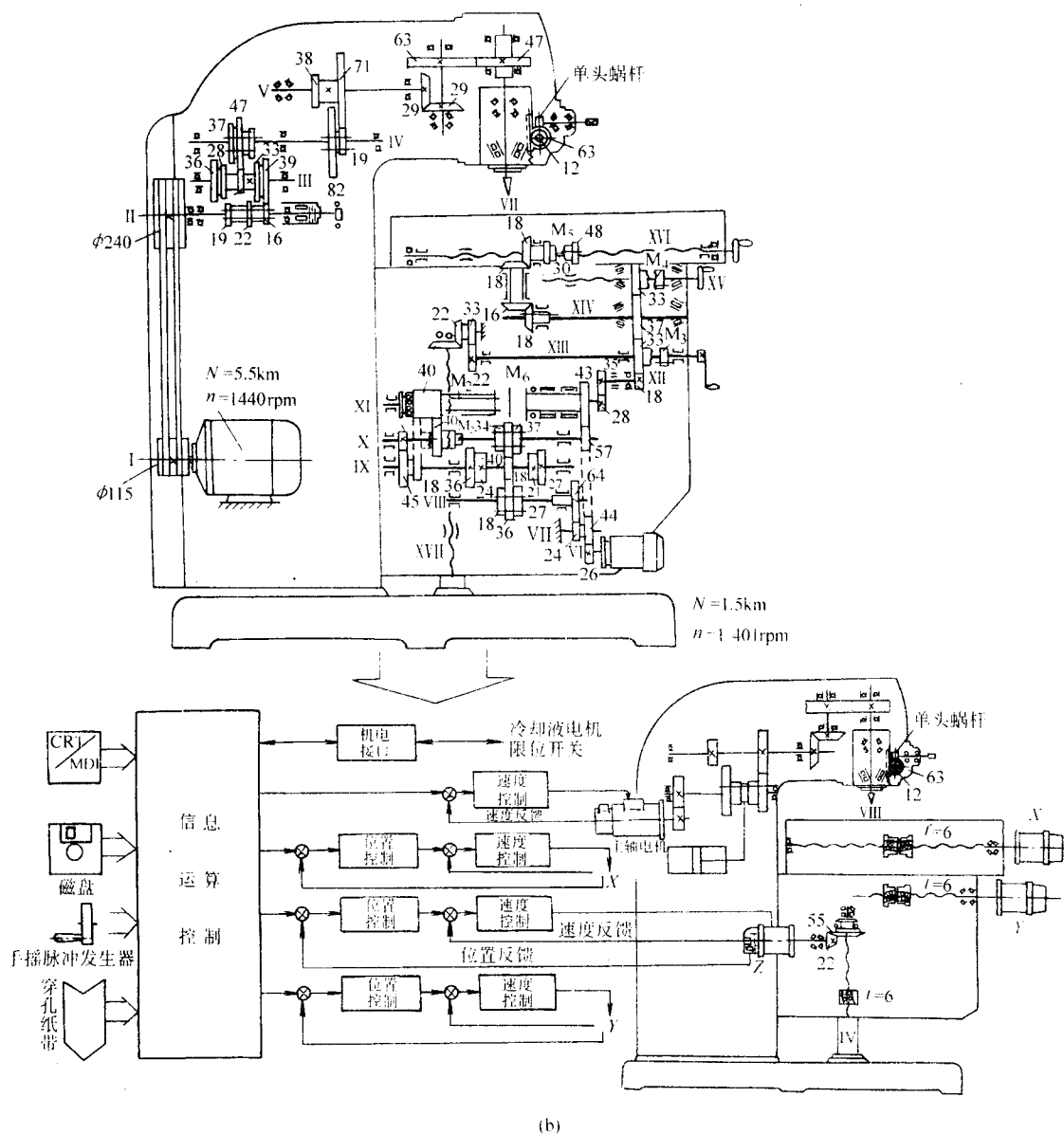


图 1-1 由普通机床演变为数控机床

况, 进行严格的速度和位置反馈控制。从接受计算机输出的微弱信号到驱动工作台(或刀架)做微小的位移(0.001 mm)这一过渡过程, 仅为几十毫秒至二百毫秒, 而且计算机输出的微弱信号为毫安、毫伏级。经放大后驱动工作台(或刀架)移动时, 信号达到伏特、安培级(即功率放大近百万倍)。这一部分影响数控机床的动态特性和轮廓加工精度。所以, 伺服驱动和位置检测反馈环节是数控机床的关键, 它好似人的强健“四肢”。

4. 机床本体

机床本体包括机床的主运动部件、进给运动部件和其他相关的底座、立柱、滑鞍、工作台(或刀架)等。数控机床是一种高度自动化的高效、高精度机床。它要求基础部件的刚度(静刚度和动刚度)要好, 精度保持性要好, 主运动、进给运动部件的运动精度要高, 当然相应的制造精度要求也很高。为了保证机床部件运动不滞后, 并获得精确移动位移(0.001 mm), 数控机床的进给传动系统一般都采用精密滚珠丝杠、精密滚动导轨副、摩擦特性良好的贴塑(滑动)导轨副, 以保证进给运动的灵敏和精确。所以高刚度、高精度的机床本体是保证数控机床高度自动化、高效、高精度加工的基础。它相当于人的强壮“躯体”。

5. 机电接口

数控机床除了实现加工零件轮廓轨迹控制外, 还有其他许多动作。如: 数控车床上刀架的自动回转, 加工中心上刀库的自动换刀, 冷却液开、停, 各坐标的行程限位, 各个运动的互锁、连锁, 机床的急停, 循环启动, 进给保持, 程序停止, 以及各种离合器的开、合, 电磁铁的通、断, 电磁阀的开、闭等等。这些属于开关量控制, 一般采用可编程控制器(简称PC), 也称顺序控制器来实现。

数控机床的工作原理是: 将加工零件的几何信息和工艺信息编制成程序, 由输入部分送入计算机, 经过计算机的处理、运算, 按各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路, 经过转换、放大去驱动伺服电动机, 带动各轴运动, 并进行反馈控制, 使各轴精确走到要求的位置。如此继续下去, 各个运动协调进行, 一直加工完零件的全部轮廓。

从图 1-1 中可以看出数控机床比普通机床的传动简单, 传动件少, 但要求零部件的制造精度高、刚度高, 进给传动系统应轻快、灵敏, 并采用无间隙传动。从计算机的硬件体系结构看, 与一般计算机没有什么区别, 主要区别在于软件。这里的软件应能支持计算机完成零件形状轨迹的插补运算, 而对其科学计算和文字处理功能不作具体要求。普通计算机的外设多为打印机、绘图机等, 而在数控机床上的计算机输出微弱信号后, 要放大近百万倍才能驱动工作台移动, 而且这种过程的响应时间是在毫秒级, 最小位移量约为 0.001 mm 。

一般将信息输入、运算及控制, 伺服驱动中的位置控制, PC 控制合称为数控系统, 将它们安装在一个类似柜的装置中, 称为数控装置。伺服驱动(常指速度控制环)单元、伺服电机、机械传动环节合称为伺服系统。伺服电动机(带检测反馈元件)及伺服驱动单元常有配套产品在市场上供应。

三、数控机床的特点

①数控机床是一种高度自动化、高效率、高精度的机床。它按照被加工零件的数控加工程序进行自动加工。当加工对象(产品零件)改变时, 只要改变数控加工程序, 而不必改变凸轮、靠模、样板或钻、镗、磨等专用工艺装备。因此, 生产准备周期短, 有利于机械产品的更新换代, 是现代生产系统首选的柔性设备。数控机床占用工装夹具少, 可减少制品, 有利于提高企业的经济效益。

②数控机床加工零件的一致性高,加工精度高,加工质量稳定。数控机床按预定的零件加工程序自动加工,加工过程不需要人工干预。数控机床本身的刚度好,精度高,而且还可利用软件进行精度校正和补偿,因此可以获得比机床本身精度还要高的加工精度和重复精度。

③数控机床能够加工很多普通机床难以完成或者根本无法实现的复杂曲面零件。因此数控机床首先在航空、航天领域获得应用;在复杂型面的模具加工中、在蜗轮叶片及螺旋桨叶片的加工中也都得到了广泛的应用。

④数控机床的生产率高。在数控机床上可以采用较大的切削用量,有效地节省了机动时间,还具有自动变速、自动换刀、自动交换工件和其他辅助操作自动化等功能,使辅助时间缩短,而且无需工序间的检测和测量。故比普通机床的生产率提高3~4倍,甚至更高;尤其是对于某些复杂零件(如箱体)和劳动量大、易疲劳、易出差错的印刷电路板的加工,生产率可提高十几倍,且大大减轻了工人的劳动强度。

⑤一机多用,工序高度集中。一些数控机床将几种机床功能(钻、铣、镗)合一,加上自动交换刀具系统,形成加工中心。再配上分度转台或数控转台则可以实现在一次装夹的情况下几乎完成零件的全部加工。一台数控机床可以代替数台普通机床,这样可以减少装夹误差,节约工序之间的运输、测量、装夹等辅助时间,还可以节省机床的占地面积。

⑥数控机床是一种高新技术设备,它不仅价格较高,而且要求具有较高技术水平的人员来操作和维修,以利于充分发挥数控机床的优势。

第二节 数控技术的内涵

一、数控技术的原理

按照ISO标准的定义,数字控制是指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。

数字化是遵循ISO数控代码标准(图2-2)将零件的加工信息、数字量、文字、符号一律统一用二进制数字代码表示。如:N003 G17 G01 X321.246 Y258.832 S800 F700 T03 N003代表第三个程序段,在XY平面内执行直线轮廓切削,从现在的点到新的一点($X+321.246$ $Y+258.832$),主轴转速为800 r/min,进给速度为700 mm/min,采用03号刀具(设直径20 mm)。

这一程序段中所有的数字、文字、符号最终都按照ISO数控代码标准转化成二进制数字化信息送入计算机中。

数控机床的加工,是把刀具与工件的运动坐标分割成一些最小的单位量,即最小位移量(一般为0.001 mm),由数控系统按照零件程序的要求,使坐标移动若干个最小位移量,从而实现刀具与工件的相对运动,以完成零件的加工。

以图1-2为例,在XY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。

可以将曲线L分解成 ΔL_0 、 ΔL_1 、 ΔL_2 、……、 ΔL_i 等线段。

设切削 ΔL_i 的时间为 Δt_i ,则当 $\Delta t \rightarrow 0$,折线段之和接近曲线,即

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

如果在 Δt_i 时间内, X 坐标及 Y 坐标方向移动量分别是 Δx_i 、 Δy_i , 即

$$\Delta L_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$$

进给速度

$$V_i = \frac{\Delta L_i}{\Delta t_i} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_i}{\Delta t_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta t_i}\right)^2}$$

当 V 等于常数而保持不变时, 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 ΔV_{x_i} 与 ΔV_{y_i} 之间的比值 $\Delta V_{x_i} / \Delta V_{y_i}$ 也在不断变化。只要能连续地自动控制 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。假如空间曲线如图 1-3 所示, 则

$$V_i = \frac{\Delta L_i}{\Delta t_i} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_i}{\Delta t_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta t_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z_i}{\Delta t_i}\right)^2}$$

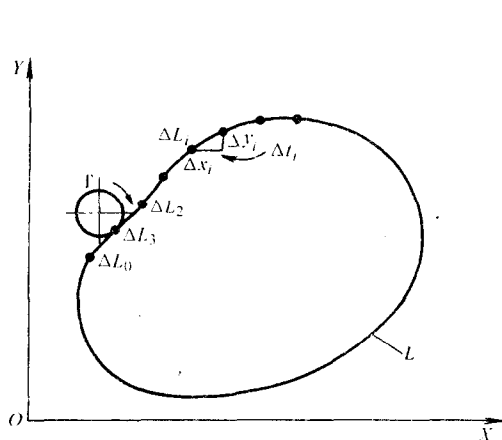


图 1-2 平面曲线数控加工原理

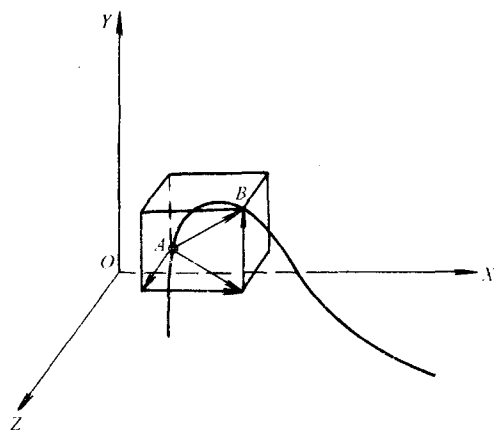


图 1-3 空间曲线数控加工原理

二、机床数控技术的内涵

本书介绍的内容主要应用于机床的数控技术。实际上从图 1-1 中可以概括地看出, 它包括: 保证能够加工各种形状的机器零件的轨迹控制技术; 高性能驱动各坐标的伺服驱动技术; 数控机床上除轨迹控制以外的各种开关量的控制技术 (最后也是以数字化信号实现控制的); 将上述各项统一协调的控制技术。此外精密机械技术是体现上述各项结果的重要保证; 复杂零件的编程技术是充分发挥数控技术优势的必要手段。而其中加工各种机器零件形状的控制技术 (即插补技术) 是最重要的。它根据零件曲线、曲面的不同形状的不同位置, 分解出各个坐标轴的分量, 以此分量去驱动各坐标轴的运动。这正是数控机床将普通机床靠齿轮联系的、复杂的、内链传动链分解成每个坐标轴 (用单独伺服电动机驱动) 的运动以后, 再由计算机完成分解后各轴的运动协调控制。另外, 还有数控机床上刀架的自动转位, 加工中心刀库的自动换刀, 各坐标的行程限位, 各个运动的互锁、联锁, 机床的启动、急停, 循环启动, 进给保持, 程序停止, 各种离合器开、合, 电磁阀的通、断, 冷却液的开、启和关、闭等等都与轨迹控制融为一体, 最后形成自然流畅、功能完善的数控加工系统。

可见控制一词含义十分丰富,它包括作用于系统的各种有目的的动作和对整个系统的管理、指挥、操纵、驾驭、支配、调节、协调、监督等等。

第三节 数控机床在先进制造技术中的地位和作用

一、数控机床的发展

数控机床自 20 世纪中期诞生以来,它的数控系统随着电子器件的更新换代也不断发展。特别是超大规模集成电路技术和微处理器引入数控系统,以及直流和交流伺服驱动技术的成熟,大大地推动了数控机床的发展。今天数控机床已发展成为一种高度机电一体化的典型产品,成为现代生产系统的基本单元,成为支撑先进制造技术的基础核心设备。

1. 数控铣床

数控铣床是发展最早的一种数控机床,以主轴位于垂直方向的立式铣床居多,主轴上装刀具,刀具作旋转的主运动,工件装于工作台上,工作台作进给运动。当工作台完成纵向、横向和垂直三个方向的进给运动,主轴只作旋转运动时,机床属升降台式铣床;为了提高刚度,目前多采用主轴既旋转,又随主轴箱作垂直升降的进给运动,工作台作纵、横两向的进给运动,这时机床称为工作台不升降铣床。在数控铣床上可以完成各类复杂平面、曲面和壳体类零件的加工,如各种模具、样板、凸轮、箱体等等。

在工作台不升降的立式数控铣床上加工平面凸轮零件时,只需要工作台沿纵、横两个坐标轴协调运动,刀具仅作旋转的主运动。这种加工过程属于两坐标联动控制(图 1-4 (a))。当加工圆锥台零件时,依靠工作台纵、横两个坐标协调运动完成圆周曲线的一圈加工后,再沿锥台高度方向将刀具提升一个高度(ΔZ),接着改变圆的半径(X 、 Y 坐标的合成值),当 ΔZ 很小很小,零件表面即很平滑,称为 $2\frac{1}{2}$ 坐标控制(图 1-4 (b))。如果要在圆锥体上加工一条螺旋槽,除要求刀具旋转外,三个进给坐标每时每刻都必须进行协调运动,称为三坐标联动控制(图 1-4 (c))。按照 ISO 标准规定,数控铣床的坐标系(图 2-5)为: Z 轴与主轴同方向, X 坐标为水平方向,且一般为运动行程较长者;按右手直角坐标系(图 2-3 (a))确定 Y 。为了保证足够的工件安装空间,取刀具远离工件的方向为 Z 的正方向,在立式三坐标数控铣床上增加一绕 X 轴(或 Y 轴)的回转坐标即构成四坐标(图 2-5)数控铣床,如同时加上绕 X 、 Y 轴的回旋坐标运动,即构成五坐标数控铣床(图 2-5)。

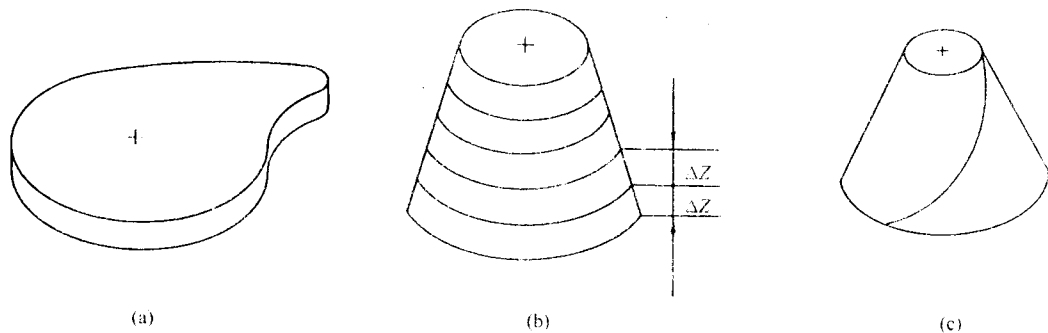


图 1-4 联动坐标的实例

随着数控机床的发展，世界上许多国家研制了数控镗铣床，它不仅能完成铣削工作，而且能进行镗孔，这有利于保证孔轴线与孔端面的垂直度。

2. 加工中心

为了进一步提高数控机床的自动化程度，人们在数控机床上增加刀库和换刀机械手，统称为自动交换刀具装置（ATC），构成加工中心（Machining Center 简称 MC）。目前加工中心（图 1-5）多以钻、镗、铣功能复合型为主。工件一次装夹后，能完成铣、钻、镗、攻丝等多道工序加工；如果带有分度工作台，则在一次安装后还能完成多个侧面上的加工工序，实现了工序高度集中；如果配置数控转台后，还能在圆柱表面上铣削出凸轮曲线槽。加工中心除具有钻、镗、铣功能外，还有立式和卧式之分，而且它的精度较高，自动化程度高，生产率高，所以在现代化生产中得到了广泛的应用。应用加工中心这一概念，还派生了自动交换砂轮的磨削中心；在冲压加工中自动交换模具的板材加工中心，在电火花加工中自动交换电极等等。

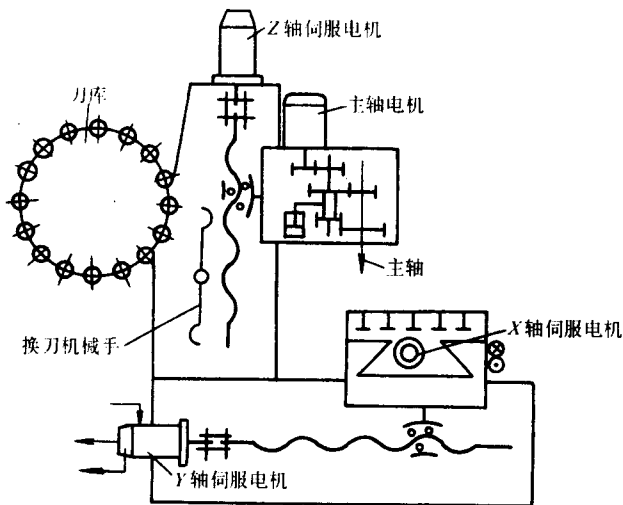


图 1-5 加工中心传动示意图

3. 数控车床

数控车床是目前使用较广泛的数控机床之一，主要用在加工轴类和盘类回转体零件的内、外圆柱面、锥面、圆弧、螺纹面，并能进行切槽、钻、扩、铰等工作，特别适用于形状复杂的零件加工。

一般数控车床的主轴由直流或交流调速电动机驱动，主轴作主运动，刀架的纵、横向分别由伺服电动机驱动。为了车削螺纹，在主传动系统里装有主轴脉冲发生器，以检测主轴的转速，保证车削螺纹时，主轴（工件）一转，Z 轴（刀具）移动一个加工螺纹程的导程。

普通数控车床的主轴是卧式（即水平方向）的，刀架运动的纵方向即为 Z 方向，刀架的横向（即工件的径向）即为 X 方向，当刀架沿 Z 向和 X 向协调运动时（图 2-4），可形成各种复杂的平面曲线，以这条曲线绕轴线回转时，可形成各种复杂的回转体。一般数控车床只需要两坐标联动。同样数控立式车床也是刀架沿着工件的轴向和径向运动实现两坐标联动的。

同样,在数控车床上,增加刀库和C轴控制,使它除了能车削、镗削外,还能进行端面 and 圆周面上任意部位的钻、铣、攻丝;而且在具有插补的情况下,还可铣削曲面,这样就构成了车削中心(图1-6)。车削中心除了车削外,还复合了铣、钻、镗、攻丝等功能。车削中心也是一种高度自动化、功能复合、工序高度集中的高效机床,同样在现代生产中得到了广泛的应用。

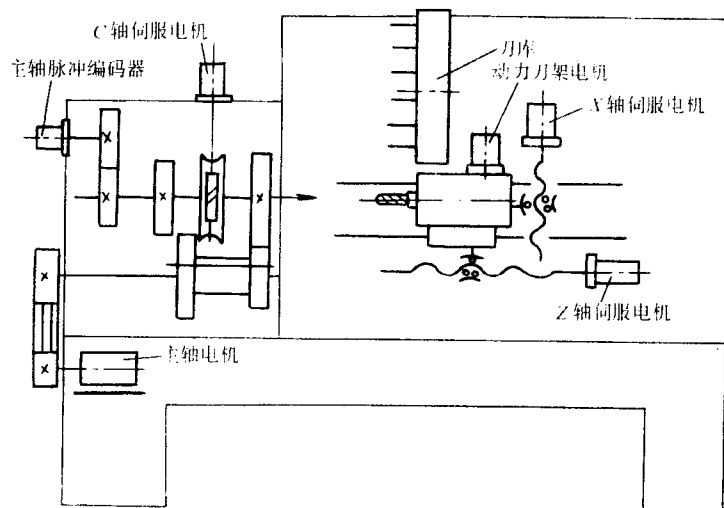


图 1-6 车削中心示意图

4. 其他数控机床

随着电子工业和计算机工业的迅猛发展,电路板的钻孔量激增。为适应这种加工动作简单,孔数多,劳动量大的需要,发展了高速数控钻床。高速数控钻床钻孔直径多为0.1~0.5 mm的小孔、盲孔、深孔(20:1)。主轴转速达50 000~120 000 r/min,工作台移动速度高,一般采用4~6个主轴头同时加工,生产率极高,定位精度达到 ± 0.003 mm,重复定位精度达0.002 mm。

数控冲压机床包括步冲式数控压力机、数控回转头压力机、数控弯管机、数控折弯机等。以激光作工具的数控激光切割机、数控激光热处理机(实现局部金属相变)、激光焊接机等等。以电火花腐蚀为基本原理的数控电火花机床和数控线切割机床;还有数控绘图机、数控三坐标测量机等等。

5. 产量和数控化率

20世纪后半期,数控机床不仅品种多,而且产量迅速发展,表1-1列举了世界一些工业国家的NC机床产量情况。同期世界数控机床拥有量达100万台,品种约1 500种,数控机床的年总产量近15万台。

美国在1983年的机床拥有量比1973年下降了23.1%,而同期数控机床拥有量增长了2.6倍。日本1983年生产数控机床占机床品种数的65%、数控机床的产量(台数)占机床总产量的28.3%,数控机床的产值为机床总产值的70.9%。美国1989年机床拥有量为2 326 781台,其中数控机床为2 223 566台;日本1987年机床拥有量为792 975台,其中数控机床为70 255台。到1994年,日本机床拥有量的数控化率达20.9%,美国、意大利均达

10%以上。

表 1-1 世界一些工业国家 NC 机床产量情况 (台)

国家 年份	日 本	美 国	德 国	前苏联	英 国	法 国	中 国	韩 国	印 度
1952		第一台							
1956			第一台	第一台					
1958	第一台						第一台		
1964		1 514							
1965	39	2 095	162						
1970	1 651	1 901	762	1 666	600	147			
1975	2 188	4 136			739	612			
1980	22 052	9 984		8 848	1 240	1 238	692		
1981	25 926	8 945		10 100	1 196	1 238	891		
1982	24 318	6 066		10 600	1 510	1 246	1 269		
1983	26 408	4 781		11 400	1 825		1 394		
1984	28 036	5 581	9 966	13 300	2 630	1 294	1 620		
1985	44 969	5 518		17 600			1 959		
1986	38 776	5 901				1 876	2 393	2 272	
1987	35 460	6 049				2 913	2 604	1 993	200
1988	47 650	7 035	19 364			3 657	2 681	2 129	280
1989	58 042	8 184	21 550		4 259		2 741	2 766	451
1990	61 697	7 927	22 131		4 471	5 393	2 632	3 450	525
1991	52 380	9 053	19 145				4 051	3 592	642
1992	32 037	6 663	14 758				7 450	2 982	506
1993							9 478		
1994							6 223		
1995	43 998	17 052	23 688				7 291		
1996	50 316	17 021	24 802				8 100		
1997	59 568	19 414	22 960				9 051		

1995 年我国机床拥有量达 383.51 万台，其中金属切削机床 298.39 万台，占 77.80%；成型机床 85.12 万台，占 22.20%。机床拥有量的数控化率为 1.9%，金属切削加工机床数控化率达 2.15%，成型机床数控化率达 1.02%。

二、数控机床对先进制造技术的作用

数控机床加工零件的精度高，加工一致性好，能保证产品的高品质。数控机床是一种高精度、高度自动化的高效机床。它本身的精度一般都很高，接近甚至达到过去坐标镗床的水平，所以加工零件的精度，特别是位置精度很高。由于采用程序加工，所以加工零件的一致性好，这对于现代化生产产品零部件的标准化、系列化并使它们达到良好的互换性具有至关重要的意义。零部件高精度是产品高质量的根本保证。

数控机床上将复杂的内链传动链解耦，代之以软件控制数控机床进行两坐标联动、三坐标联动、四坐标联动、五坐标联动加工。特别是一些产品和汽车覆盖件模具，采用数控加工后，模具的精度大大提高，使家电产品和汽车外形更加美观，更易体现个性化，从而极大地促进了汽车工业和家电工业的发展。一些飞行器和舰、船的螺旋桨叶片采用数控加工后，精度大大提高，从而使整机的性能得到改善。

数控机床是现代化生产的高度自动化、高效率生产设备，是一种高度自动化的机床，特别是加工中心和车削中心的出现，使刀具实现了自动交换，工作台自动转位实现了在一次安装中完成多侧面上的孔、面加工。这种工序高度集中，不仅极大地提高了加工生产率，而且因减少了工件在工序间转换的安装误差，所以在现代生产中的箱体类零件和印刷电路板的孔加工都广泛采用这种加工中心和高速数控钻床。

数控机床是一种柔性极好的技术装备。数控机床加工零件是按程序进行的，当加工对象（产品）变换时，只需重新编制一套加工程序即可（原来的程序存储备用），这比存储工装夹具方便得多。而不必像组合机床那样需要针对新加工零件重新设计组合机床，致使生产准备时间过长。所以 20 世纪末期，企业在添置更新设备时，都优先选购数控机床。

数控机床是信息集成、系统自动化的基础设备。自 20 世纪 50 年代数控机床的出现，揭开了 CAD、CAM 的序幕，它逐步成为 CAD/NCP/CAM（计算机辅助设计/数控编程/计算机辅助制造）信息集成的重要环节，是现代柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）的基本组成设备。同时一个国家拥有数控机床的数量和它在机床拥有量中的数控化率，也是这个国家制造业水平高低的重要体现。