

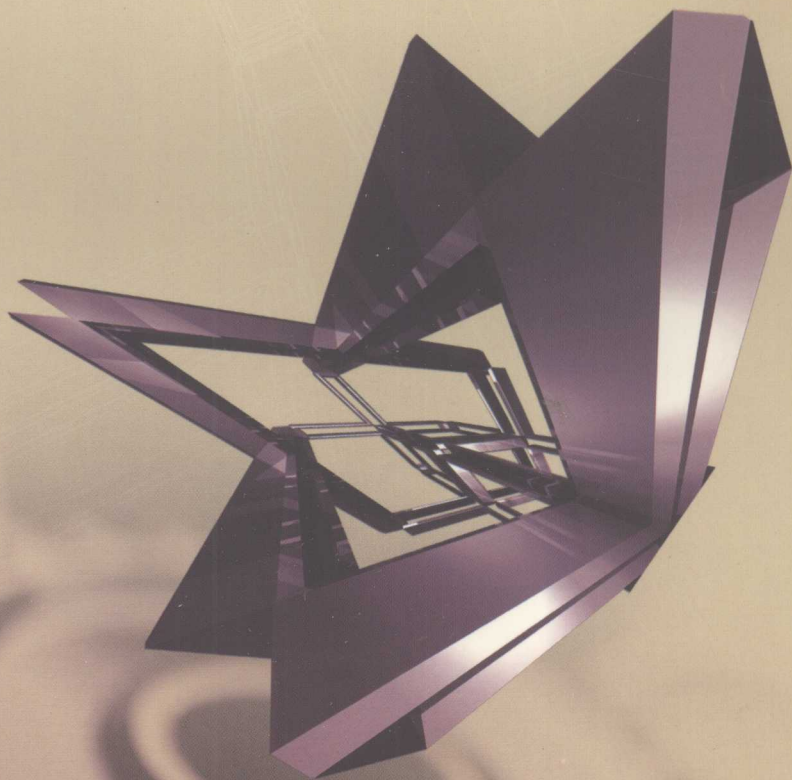


机械设计制造及其自动化专业系列教材

数控技术

主编 / 黄国权 主审 / 郭黎滨

**NUMERICAL
CONTROL
TECHNOLOGY**



哈尔滨工程大学出版社

●机械设计与制造及其自动化专业系列教材

数 控 技 术

主 编 黄国权

主 审 郭黎滨

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/黄国权主编.—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2004
ISBN 7-81073-586-1

I.数… II.黄… III.数控机床 IV.TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 066500 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了数控技术,数控机床的分类、特点,插补原理,计算机控制系统,伺服系统,数控编程基础,数控编程技术等内容。本书内容丰富、逻辑性强,结构严谨,体现了现代数控技术发展的成果。

本书特别适合机械设计制造及其自动化专业的高等学校本科生用作教材,还适合于从事现代制造技术及有关工程的技术人员阅读。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001
新华书店经销
哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 16.75 字数 410 千字

2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷

印数:1—3 000 册

定价:20.00 元

前 言

数控技术是现代先进制造技术的基础和核心。当今世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对发展经济的适应能力和竞争能力。数控机床是电子信息技术和传统机械加工技术结合的产物,它集现代精密机械、计算机、通讯、液压气动、光电等多学科技术为一体,具有高效率、高精度、高自动化和高柔性的特点,是当代机械制造业的重要装备。数控机床大大提高了机械加工的性能(可以精确加工传统机床无法加工的复杂零件),有效提高了加工质量和效率,实现了柔性自动化(相对于传统加工技术基础上大批量生产的刚性自动化),并向智能化、集成化方向发展。数控机床不但是机电工业的重要基础装备,也是汽车、航天、船舶、电子等产业进行现代化生产的主要手段。总之,大力发展以数控技术为核心的先进制造技术,已成为世界各发达国家加速经济发展,提高综合国力和国家地位的重要途径。

为了发展数控技术,培养数控技术人才,我们在总结多年教学经验的基础上,编写了这本《数控技术》。本书在编写过程中,在重视系统基础知识的同时,着重吸收国内外数控技术的新发展和新成果,力求做到内容的先进性、科学性和实用性,取材新颖、结构严谨、系统性强。

全书共分六章。第1章为绪论,简要介绍了数控技术和数控机床。第2章为插补原理,介绍基准脉冲插补法的逐点比较法、数字积分法(DDA法),数据采样插补法的时间分割插补法、扩展DDA数据采样插补法,曲面直接插补(SDI)法。第3章为计算机数控系统(CNC系统),介绍了CNC系统、CNC装置的硬件结构、CNC装置的软件结构、CNC装置的接口电路、数控机床用可编程控制器、开放式数控体系结构。第4章为伺服系统,介绍了检测装置、步进式伺服系统、直流伺服电机及其速度控制、交流伺服电机及其速度控制、位置控制。第5章为数控编程基础,介绍了数控编程的内容和步骤、数控加工工艺分析、数控编程中的指令代码。第6章为数控编程技术,介绍了点位/直线控制系统编程、轮廓控制系统编程、曲面轮廓加工、数控编程方法、数控程序的检验与仿真、典型系统的数控编程功能简介。

本书特别适合机械设计制造及其自动化专业的高等学校本科生用作教材,还适合于从事现代制造技术及有关工程的技术人员阅读。

全书由哈尔滨工程大学黄国权编写。哈尔滨工程大学郭黎滨教授审阅了全书,在此致以衷心的感谢。

由于编者的时间和水平有限,书中难免存在不足甚至错误,敬请读者批评指正。

编 者

2004年5月

目 录

1 绪 论	1
1.1 概 述	1
1.2 数控机床的工作原理与结构	2
1.3 数控机床的分类	4
1.4 数控机床的特点	7
1.5 数控技术的发展历史与发展趋势	8
复习题	12
2 插补原理	13
2.1 概 述	13
2.2 基准脉冲插补法	15
2.3 数据采样插补法	31
2.4 曲面直接插补(SDI)法	39
复习题	47
3 计算机数控系统(CNC 系统)	48
3.1 概 述	48
3.2 CNC 装置的硬件结构	58
3.3 CNC 装置的软件结构	64
3.4 CNC 装置的接口电路	85
3.5 数控机床用可编程控制器	98
3.6 开放式数控体系结构	101
复习题	106
4 伺服系统	107
4.1 概 述	107
4.2 检测装置	115
4.3 步进式伺服系统	129
4.4 直流伺服电机及其速度控制	138
4.5 交流伺服电机及其速度控制	150
4.6 位置控制	159
复习题	170
5 数控编程基础	172
5.1 概 述	172
5.2 数控加工工艺分析	180
5.3 数控编程中的指令代码	194
复习题	199

6 数控编程技术	200
6.1 点位/直线控制系统编程	200
6.2 轮廓控制系统编程	211
6.3 曲面轮廓加工概述	229
6.4 数控编程方法	239
6.5 语言编程技术概述	241
6.6 图形编程技术概述	246
6.7 数控程序的检验与仿真	251
6.8 典型系统的数控编程功能简介	254
复习题	258
附录一 准备功能 G 代码	259
附录二 辅助功能 M 代码	260
参考文献	261

1 绪 论

1.1 概 述

数控技术,是现代先进制造技术的基础和核心。当今世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对发展经济的适应能力和竞争能力。世界各工业发达国家通过发展数控技术,建立数控机床产业,促使机械加工业跨入一个新的发展阶段,从而给国民经济结构带来了巨大的变化。数控机床是电子信息技术和传统机械加工技术结合的产物,它集现代精密机械、计算机、通讯、液压气动、光电等多学科技术为一体,具有高效率、高精度、高自动化和高柔性的特点,是当代机械制造业的重要装备。数控机床大大提高了机械加工的性能(可以精确加工传统机床无法加工的复杂零件),有效提高了加工质量和效率,实现了柔性自动化(相对于传统加工技术基础上大批量生产的刚性自动化),并向智能化、集成化方向发展。数控机床不但是机电工业的重要基础装备,也是汽车、航天、船舶、电子等产业进行现代化生产的主要手段。总之,大力发展以数控技术为核心的先进制造技术,已成为世界各发达国家加速经济发展,提高综合国力和国家地位的重要途径。

1.1.1 数控技术的几个概念

数字控制 (Numerical Control, NC) 简称为数控,它是用数字化信号对设备运行及其加工过程进行控制的一种自动化技术。

根据 ISO 的定义:“数控系统是一种控制系统,它自动阅读输入载体上事先给定的数字,并将其译码,从而使机床移动和加工零件。”数控系统由程序、输入/输出设备、数控装置、可编程逻辑控制

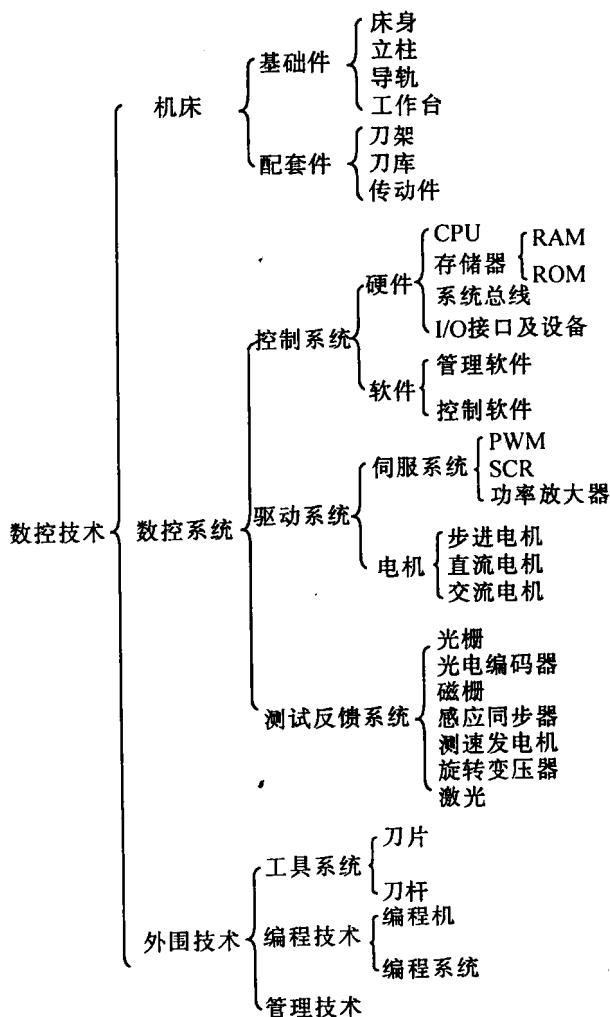


图 1-1 数控技术的组成

器及主轴、进给驱动装置组成,其中数控装置是核心部分。

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术。数控机床是采用数字化代码程序控制、能完成自动化加工的通用机床。

1.1.2 数控技术的组成

数控技术由机床、数控系统及外围技术三部分组成,如图 1-1 所示。

1.2 数控机床的工作原理与结构

1.2.1 数控机床的工作原理

1. 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理是:首先按照零件加工的技术要求和工艺要求编写零件加工程序;然后将加工程序输入到数控装置;最后通过数控装置控制主轴的运动、进给运动、更换刀具,以及工件的夹紧与松开、冷却润滑泵的开与关,使刀具、工件和其他辅助装置按加工程序规定的次序、轨迹和参数进行工作,从而加工出符合图纸要求的零件。

2. 数控机床的工作过程

数控机床的工作过程大致可分以下几步。

(1) 接收 NC 代码

由数控系统接收从计算机发来的数控程序(NC 代码)。NC 代码是由 NC 编程人员在 CAM 软件上生成或手工编制的,是一个文本数据,也就是说它的表达比较直观,可以较容易被编程人员直接理解,但却无法为硬件直接使用。

(2) “翻译”NC 代码

由数控系统将 NC 代码“翻译”为机器码。机器码是一种由“0”和“1”组成的二进制文件,对一般的编程人员而言,它是难以理解的,但却可以直接为硬件所理解和使用。

(3) 将机器码转为控制信号

由数控系统将机器码转换为控制 X, Y, Z 三个方向运动的电脉冲信号以及其他辅助处理信号。机器码中包含了 NC 程序的各种指令信息,包括主轴及工作台的平动或转动信息和其他辅助信息(如冷却液开关等),必须将这些信息进行分解并分别传送到相应的执行元器件中才能获得所需要的动作。根据 X, Y, Z 三个运动方向的电脉冲信号,由伺服系统(主要是伺服电机)执行相应的运动,并将伺服电机的转动转变为机床主轴和工作台的平动或转动,完成加工操作。

1.2.2 数控机床的结构

数控机床一般由输入/输出设备、CNC 装置(或称 CNC 单元)、伺服单元、驱动装置(或称执行机构)、可编程控制器 PLC 及电气回路、辅助装置、机床本体及测量装置组成。图 1-2 是数控机床的组成框图,其中除机床本体之外的部分统称为计算机数控(CNC)系统。

1. 机床本体

数控机床的机械结构的设计与制造要适应数控技术发展,应具有刚度大、精度高、抗振

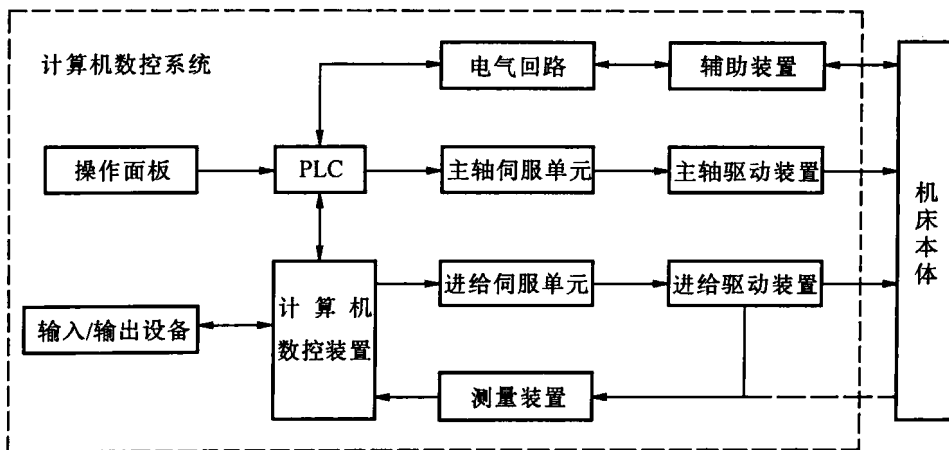


图 1-2 数控机床的组成框图

性强、热变形小等特点。由于普遍采用伺服电机无级调速技术,机床进给运动和主传动的变速机构被极大地简化甚至取消。广泛采用滚珠丝杠和滚动导轨等高效、高精度传动部件。采用机电一体化设计与布局,机床布局主要考虑有利于生产率的提高,而不像传统机床那样主要考虑方便操作。此外还采用了自动换刀装置、自动更换工件机构和数控夹具等。

2. CNC 装置

CNC 装置是 CNC 系统的核心,主要包括微处理器 CPU、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统的其他组成部分联系的接口等。其功能是接受输入的加工信息,经过数控装置的系统软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理,向伺服系统发出相应的脉冲,并通过伺服系统控制机床运动部件按加工程序指令运动。数控机床的 CNC 系统完全由软件处理数字信息,因而具有真正的柔性化,可处理逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高。

3. 输入/输出设备

键盘、磁盘机等是数控机床的典型输入设备。除这些以外,还可以用串行通信的方式输入。数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器,显示的信息较丰富,并能显示图形。操作人员通过显示器获得必要的信息。

4. 伺服单元

伺服单元是 CNC 和机床本体进行联系的环节,接受来自 CNC 装置的运动指令,经变换和放大后,驱动伺服电机运转,实现刀架或工作台的运动。根据接收指令的不同,伺服单元有脉冲式和模拟式之分,而模拟式伺服单元按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

5. 驱动装置

驱动装置把经放大的指令信号变为机械运动,通过简单的机械连接部件驱动机床,使工作台精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动,最后加工出图纸所要求的零件。和伺服单元相对应,驱动装置有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。

伺服单元和驱动装置可合称为伺服驱动系统,它是机床工作的动力装置。CNC 装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施,所以,伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种

意义上说,数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置,而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

6. 可编程控制器

可编程控制器(Programmable Controller, PC)是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置,专为在工业环境下应用而设计的。由于最初研制这种装置的目的是为了解决生产设备的逻辑及开关控制,故把它称为可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)。当 PLC 用于控制机床顺序动作时,也可称之为编程机床控制器(Programmable Machine Controller, PMC)。PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。CNC 和 PLC 协调配合,共同完成对数控机床的控制。用于数控机床的 PLC 一般分为两类:一类是 CNC 的生产厂家为实现数控机床的顺序控制,而将 CNC 和 PLC 综合起来设计,称为内装型(或集成型)PLC,内装型 PLC 是 CNC 装置的一部分;另一类是以独立专业化的 PLC 生产厂家的产品来实现顺序控制功能,称为独立型(或外装型)PLC。

7. 测量装置

测量装置也称反馈元件,通常安装在机床的工作台或丝杠上,相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛。它把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置,供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号,以控制机床向消除该误差的方向移动。按有无检测装置, CNC 系统可分为开环数控系统和闭环数控系统;而按测量装置的安装位置,又可分为闭环数控系统和半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电机和丝杠的精度,闭环数控系统的控制精度取决于检测装置的精度。因此,测量装置是高性能数控机床的重要组成部分。此外,由测量装置和显示环节构成的数显装置,可以在线显示机床移动部件的坐标值,大大提高了工作效率和工件的加工精度。

1.3 数控机床的分类

数控机床可以从不同的角度进行分类,常用的分类方法有:按控制系统的特点分类、按进给伺服系统控制方式分类、按数控机床加工原理分类和按数控系统的功能水平分类。

1.3.1 按控制系统的特点分类

按数控机床运动轨迹的控制系统的特点,可将数控机床分为:点位控制、直线控制和轮廓控制三种类型。

1. 点位控制数控机床

这类数控机床主要特点是,只控制刀具(或工作台)从一点移动到另一点的准确定位,数控机床移动部件在移动中不进行加工,只要求以最快的速度从一点移动到另一点。至于点与点之间的移动轨迹(路径与方向)并无严格要求,各坐标轴之间的运动并不相关。例如,数控钻床、数控镗床、数控冲床等。

2. 直线控制数控机床

这类机床是在点位控制基础上,除控制点与点之间的准确定位外,而且还要求从一点到另一点之间按直线移动、按指定的进给速度做直线切削。例如,平面铣削的数控铣床、阶梯车削的数控车床、磨削加工的数控磨床,按指定的进给速度做直线切削。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其特点是能够同时对两个或两个以上运动坐标位移和速度进行连续相关控制。它不仅要控制起点、终点坐标的准确性,而且对每瞬时的位移和速度,也要进行严格的、不间断的控制,使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓的表面要求。在这类控制方式中,要求数控装置具有插补运算的功能,即根据加工程序输入的基本数据(如直线的起、终点坐标,圆弧的起、终点坐标和圆心坐标或半径),通过数控系统的插补运算器的数学处理,把直线或曲线形状的相关坐标点计算出来,并边计算、边根据结果控制两个或两个以上坐标轴协调运动。这类数控机床可以加工曲线和曲面。例如,具有两坐标或两坐标以上联动的数控铣床、数控车床、数控磨床和数控加工中心等。目前的大多数金属切削机床的数控系统都是轮廓控制系统。

对于轮廓控制的数控机床,根据同时控制坐标轴的数目还可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴或五轴联动。

二轴联动同时控制两个坐标轴,以实现二维直线、斜线和圆弧等曲线的轨迹控制。

三轴联动同时控制 X, Y, Z 三个直线坐标轴联动,或控制 X, Y, Z 中的两个直线坐标轴和绕其中某一直线坐标轴旋转运动的坐标轴。例如,车削加工中心除了控制纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴外,还同时控制绕 Z 轴旋转的主轴(Y 轴)联动。

二轴半联动用于三轴以上机床的简化控制,其中两个轴为联动控制,而另一个轴做周期调整进给。

四轴或五轴联动的数控铣床或加工中心,在某些复杂曲面的加工中,为保证加工精度或提高加工效率,铣刀的侧面或端面应始终与曲面粘合,这就需要铣刀轴线位于曲线或曲面的切线或法线方向。为此,除需要 X, Y, Z 三个直线坐标轴联动外,还需要同时控制三个旋转坐标 A, B, C 中的一个或两个,使铣刀轴线围绕直线坐标轴摆动,形成四轴或五轴联动。

1.3.2 按伺服系统控制的方式分类

由数控装置发出脉冲或电压信号,通过伺服系统控制机床各运动部件运动。数控机床按伺服系统控制方式分类,可以分为三种形式:开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。

1. 开环控制系统

这类机床的伺服进给系统中没有位移检测反馈装置,控制系统采用步进电机,输入数据经过数控系统运算,输出指令脉冲经过环形分配器、功率放大器控制步进电机工作,然后通过机械传动系统转换成刀架或工作台的位移,如图 1-3 所示。这种控制系统由于没有检测反馈校正,对执行机构不检测,无反馈控制信号,因此称之为开环控制系统。开环控制系统的设备成本低,位移精度一般不高,工作速度受到步进电机的限制。但是,由于其控制方便、结构简单、价格便宜,因此,在我国广泛用于经济型数控机床或旧设备的数控改造中。

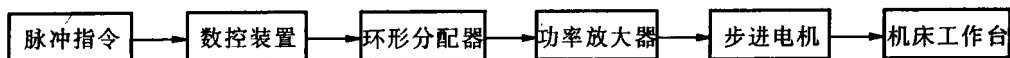


图 1-3 开环控制系统

2. 闭环控制系统

这类机床又称全闭环控制机床,其检测装置安装在机床刀架或工作台等执行部件上,用以直接检测这些执行部件的实际运行位置(直线位移),反馈给数控装置,将其与数控装置的指令位置(或位移)相比较,用比较的误差值控制伺服电机工作,直至到达实际位置,误差值消除,因此称之为闭环控制,如图 1-4 所示。闭环控制系统绝大多数采用伺服电机,有位置测量元件和位置比较电路,直接检测校正,位置控制精度很高。但是,由于它将丝杠螺母副及机床工作台这些大惯量环节放在闭环之内,因此,系统稳定性受到影响,调试困难,而且设备的结构复杂,成本高。

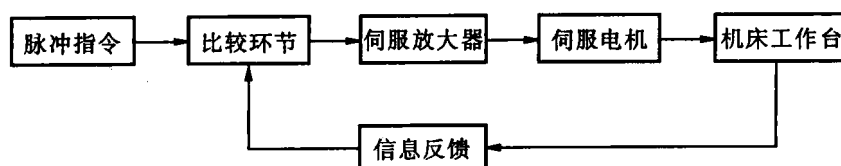


图 1-4 闭环控制系统

3. 半闭环控制系统

这类机床的位置检测元件安装在伺服电机上,通过测量伺服电机的角位移间接计算出机床工作台等执行部件的实际位置(或位移),反馈至位置比较电路,与指令中的位移值相比较,用比较的误差值控制伺服电机工作。这种用推算方法间接测量得到的工作台位移,不能补偿数控机床传动链零件的误差,因此称之为半闭环控制系统,如图 1-5 所示。由于它将丝杠螺母副及机床工作台等大惯量环节排除在闭环控制系统之外,不能补偿它们的运动误差,因此精度受到影响,但系统稳定性有所提高,调试比较方便。半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统,调试比闭环控制系统容易,设备的成本介于开环与闭环控制系统之间。

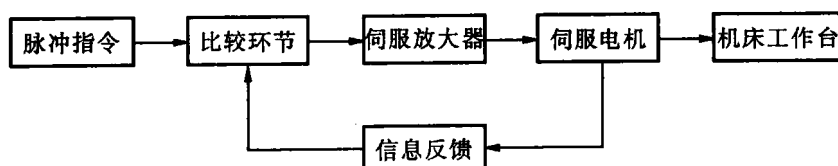


图 1-5 半闭环控制系统

1.3.3 按数控机床加工的原理分类

按数控机床加工原理,可把数控机床分为普通数控机床和特种加工数控机床。

1. 普通数控机床

如数控车床、数控铣床、加工中心、车削中心等各种普通数控机床,其加工原理是用切削刀具对零件进行切削加工。

2. 特种加工数控机床

如线切割数控机床,对硬度很高的工件进行切割加工;如电火花成形加工数控机床,采用电火花原理对工件进行型腔加工。

1.3.4 按数控系统功能的水平分类

按照数控系统的功能水平,数控机床可以分为经济型(低档或简易型)、普及型(中档型)和高档型三种类型。这种分类方法没有明确的定义和确切的分类界限,不同国家分类的含义也不同,且数控技术在不断发展,不同时期的含义也在不断发展变化。下面的论述仅作为功能水平分类的参考条件。

1. 经济型

这类机床的伺服进给驱动,一般是由步进电机实现的开环驱动,控制轴数为三轴或三轴以下,脉冲当量或进给分辨率为 $10 \sim 2 \mu\text{m}$,快速进给速度可达 10 m/min 。系统的微机系统多为 8 位单板机或单片机,用数码管显示,一般不具备通讯功能。这类机床结构一般比较简单,精度中等,能满足加工形状比较简单的直线、斜线、圆弧及螺纹加工,价格比较便宜。

2. 普及型或中档型

这类机床进给采用交流或直流伺服电机实现半闭环驱动,能实现四轴或四轴以下联动控制,进给分辨率为 $1 \mu\text{m}$,快速进给速度可达 $10 \sim 20 \text{ m/min}$ 。一般采用 16 或 32 位处理器,具有 RS-232C 通信接口,具有图形显示功能及面向用户的宏程序功能。此类数控机床的品种很多,几乎覆盖了各种机床类型,其发展趋势是趋向于简单、实用,不追求过多功能,保持价格适当且不断有所降低。

3. 高档型

指加工复杂形状的多轴联动数控铣床或加工中心,功能强、工序集中、自动化程度高、具有高柔性。一般采用 32 位以上微处理器,形成多 CPU 结构。采用数字化交流伺服电机形成闭环驱动,并开始使用直线伺服电机,具有主轴伺服功能,能实现五轴以上联动,最高分辨率可达 $0.1 \mu\text{m}$,最大快速驱动速度可达 100 m/min 以上;具有三维动画功能进行加工仿真检验和宜人的图形用户界面,同时还具有多功能智能监控系统和面向用户的宏程序功能,有很强的智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定,且能实现计算机联网和通讯。

1.4 数控机床的特点

与普通机床相比,数控机床具有以下特点。

1.4.1 适应性强

由于数控机床能实现多个坐标轴的联动,所以数控机床能完成复杂型面的加工,特别是对于可用数学方程式和坐标点表示的形状复杂的零件,加工非常方便。当加工对象改变时,除相应更换刀具和解决工件装夹方式外,数控机床只需更换零件加工的 NC 程序,不必用凸轮、靠模、样板或其他模具等专用工艺装备,且可采用成组技术的成套夹具。因此,生产准备周期短,特别适应于多品种、批量小、变化快的生产特征,有利于产品的迅速更新换代。所以,数控机床的适应性非常强。

1.4.2 加工精度高,加工质量稳定

数控机床有较高的加工精度,一般在 $0.005 \sim 0.1 \text{ mm}$ 之间,数控机床的加工精度不受零

件复杂程度的影响。机床加工精度在很大程度上取决于进给传动的位置精度。数控机床的进给传动为数字式伺服传动,它能保证运动参数(如位移、速度)的准确性。此外,传动链短,传动机构精密、高效,也极大地提高了传动的精度。因此,数控机床具有较高的加工精度。

数控加工过程,对于同一批零件,由于使用同一机床和刀具及同一加工程序,刀具的运动轨迹完全相同,数控机床自始至终都根据数控程序自动进行加工,可以避免人为的误差,这就保证了零件加工的一致性良好且质量稳定。

1.4.3 生产效率高

在数控机床上可以采用较大的切削用量,因而有效地节省了机动工时。由于它还具有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,从而使辅助时间大为缩短,而且无需工序间的检验与测量,所以,比普通机床的生产率高 3~4 倍甚至更高。

数控机床的主轴转速及进给范围都比普通机床大。目前,数控机床的最高进给速度可达到 100 m/min 以上,最小分辨率达 0.01 μm 。一般来说,数控机床的生产能力约为普通机床的三倍,甚至更高。数控机床的时间利用率高达 90%,而普通机床仅为 30%~50%。

数控机床特别是带自动换刀装置的数控加工中心,在一次装夹的情况下,几乎可以完成零件的全部加工工序,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、测量和装夹等辅助时间,还可以节省车间的占地面积,带来较高的经济效益。

1.4.4 减轻劳动强度

数控机床操作者主要利用操作面板对数控机床的自动加工进行操作,在输入程序并启动后,数控机床就自动地连续加工,直至零件加工完毕。这样就简化了工人的操作,使劳动强度大大降低。

1.4.5 易于建立计算机通讯网络

数控机床是使用数字信息作为控制信息,易于与 CAD 系统连接,形成 CAD/CAM 一体化系统,是 FMS、CIMS 等现代制造技术的基础。

1.5 数控技术的发展历史与发展趋势

1.5.1 数控机床的发展历史

随着微电子技术、自动信息处理、数据处理以及电子计算机的发展,给自动化带来新的概念,推动了机械制造自动化的发展。

采用数字控制技术进行机械加工的思想,最早是在 20 世纪 40 年代初提出的。当时,美国北密执安的一个小型飞机工业承包商——帕森斯公司,在制造飞机框架及直升机叶轮轮廓用样板时,利用全数字电子计算机对轮廓路径进行数据处理,并考虑了刀具直径对路径的影响,提高了加工精度。1949 年,帕森斯公司正式接受美空军委托,在麻省理工学院伺服机构实验室的协助下,开始从事数控机床的研制工作。经过三年时间的研究,于 1952 年试制

成功世界上第一台数控机床试验性样机。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制铣床,这便是数控机床的第一代。

1953年,美空军与麻省理工学院协作,考虑从事计算机自动编程的研究,这就是创制自动编程系统的开始。1955年研制成功APT(Automatically Programmed Tools)是自动编程系统的开始。

1954年11月,第一台工业用的数控机床由美国本迪克斯公司(Bendix Corporation)生产制造。1955年,美空军花费巨额经费订购了大约100台数控机床,此后两年,数控机床在美国进入迅速发展阶段,市场上出现了商品化的数控机床。1959年,美国克耐·杜列克(Keaney & Treker Corp)公司在世界上首先研制成功带有自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”。

1959年,计算机行业研制出晶体管元器件,因而数控装置中广泛采用晶体管和印制电路板,从而跨入第二代数控时代。同时,美国航空工业协会和麻省理工学院发展了APT程序语言。

1960年以后,数控技术进入了迅速发展阶段。一些工业国家,如日本、德国、英国、中国,陆续地研制、开发、生产及使用数控机床,数控技术逐步推广到其他机械上应用。例如,绕线机、焊接机、切割机、包装机和坐标测量机等。与此同时,在程序编制方面,已由手工编程逐步发展到由计算机自动编程。除了APT数控语言外,又发展了许多自动编程语言。

1965年,出现了小规模集成电路。由于它体积小、功耗低,使数控系统的可靠性得以进一步提高,数控系统发展到第三代。

以上三代,都是采用专用控制计算机的硬件逻辑数控系统。装有这类数控系统的机床为普通数控机床(简称NC机床)。

1967年,英国首先把几台数控机床连成具有柔性的加工系统,开始研制最初的柔性制造系统FMS(Flexible Manufacturing System),之后,美、欧、日也陆续开发和应用。20世纪80年代初,国际上出现柔性制造单元FMC(Flexible Manufacturing Cell),这时FMS已日臻完善。

随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降。小型计算机开始取代专用数控计算机,数控的许多功能由软件程序实现。这样组成的数控系统称为计算机数控系统。1970年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了采用小型计算机的计算机数控装置,称为CNC(Computerized Numerical Control),及由计算机直接进行多机床控制的系统,称为DNC(Direct Numerical Control)。这种系统,称为第四代数控系统。

1970年前后,美国英特尔公司开发和使用微处理器。1974年,美、日等国首先研制出以微处理器为核心的微型计算机数控系统。这就是第五代数控系统。

1980年以后,在数控装置中采用超大规模集成电路、大容量磁泡存储器的数控系统,功能更加完善,人机会话、动态图形显示、实时软件精度补偿等技术使数控系统升级加速,以适应现代制造技术对设备提出的新要求。

近20年来,随着微电子技术及相关技术的发展,特别是微处理器技术的应用,使数控机床的性能价格比有了极大的提高,实际应用普及率越来越高,使得数控技术成为现代机械制造技术的基础。

1.5.2 数控技术的发展趋势

1. 数控系统

推动数控技术发展的关键因素之一是数控系统。当今占绝对优势的微处理器数控系统

的发展极为迅速,而且势头不减。

(1)新一代数控系统采用开放式体系结构

进入 20 世纪 90 年代以来,由于计算机技术的飞速发展,推动了数控技术更快地更新换代。世界上许多数控系统生产厂家,利用 PC 机丰富的软硬件资源,开发开放式体系结构的新一代数控系统。开放式体系结构使数控系统具有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性,并向智能化、网络化方向大大发展。近几年,许多国家纷纷研究开发这种系统,如美国科学制造中心(NCIMS)与空军共同领导的“下一代工作站/机床控制器体系结构(NGC)”,欧共体的“自动化系统中开放式体系结构(OSACA)”,日本的“OSEC 计划”等。开发研究成果已得到应用,如 Cincinnati Milacron 公司从 1995 年开始在其生产的加工中心、数控铣床、数控车床等产品中采用了开放式体系结构的 A2100 系统。

(2)新一代数控系统控制性能大大提高

数控系统在控制性能上向智能化发展。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好,并具有故障诊断专家系统使自诊断和故障监控功能更趋完善。伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置,能自动识别负载并自动优化调整参数。直线电机驱动系统已实用化。

总之,新一代数控系统技术水平的大大提高,促进了数控机床性能向高精度、高速度、高柔性化方向发展,使柔性自动化加工技术水平不断提高。

2. 机床结构

(1)提高机床支承部件及结合部的刚度

提高机床支承部件及结合部的刚度,对提高数控机床的动态特性有重要作用,人们正在对支承件的材料、布局结构形式及结合方式作进一步探索。

(2)向高速度发展

近些年来,数控机床及加工中心的主轴转速普遍提高,现有加工中心主轴转速一般为 15 000 ~ 30 000 r/min,这导致主轴轴承材料、结构、润滑、冷却方式等方面的研究上有新的突破。进给速度目前已达 30 ~ 60 m/min,快速进给速度达 120 m/min,仍有进一步增高的势头。

(3)向高精度发展

提高数控机床及加工中心加工精度的方法,是提高精度诊断技术、提高圆弧插补补偿精度和定位精度。提高数控系统的分辨率可提高机床的位置精度。目前世界很多国家都在进行机床热变形、机床运动及负载变形误差的软件补偿技术研究,有的可使此类误差消除 60%,大大提高了加工精度。目前在工厂一般环境下,数控机床加工精度在 IT7 级和 IT6 级左右,镗孔加工精度可达 IT4 级左右。

(4)不断扩大数控机床及加工中心的工艺范围

例如,有的加工中心除了传统的钻、铣、镗加工之外,还具有磨削、测量等功能。为扩大工艺范围,往往配备一些特殊功能附件,如零件自动测量装置、刀具破损监测装置等。

3. 伺服驱动系统

当代数控机床的伺服系统趋向于采用数字式交流伺服与主驱动(或伺服),把微电子技术与计算机引进电机控制,使交流伺服电机的位置、速度及电流调节逐步实现数字化,进一步提高控制精度、速度及柔性,进给速度提高到了 60 ~ 100 m/min。在必须采用直线伺服电

机驱动,实现所谓的“零传动”的直线伺服进给方式上,主轴驱动采用高速大功率电主轴,即将电机转子直接套装在机床主轴上。在数字控制基础上,能采用软件控制,可以实现复杂的控制算法,且有前馈控制功能和学习控制功能及各种软件补偿功能。

采用高分辨率位置检测装置,如高分辨率脉冲编码器,不仅可以提高位移检测分辨率,还可以通过微分形成速度信号,同时实现速度检测功能。

4. 数控装置向高速、高效、高精度、高可靠性发展

要提高加工效率,首先必须提高切削和进给速度,同时,还要缩短加工时间;要确保加工质量,必须提高机床部件运动轨迹的精度,而可靠性则是上述目标的基本保证。为此,必须要有高性能的数控装置作保证。

机床向高速化方向发展,充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。

5. 模块化、智能化、柔性化和集成化

为了适应数控机床多品种小批量的特点,机床结构要模块化,数控功能要专门化,机床性能价格比显著提高并加快优化。智能化是近几年来特别明显的发展趋势。

智能化的内容包括在数控系统中的各个方面:

- (1)追求加工效率和加工质量方面的智能化,如自适应控制、工艺参数自动生成;
- (2)提高驱动性能及使用连接方便方面的智能化,如前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等;
- (3)简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程,智能化的人机界面等;
- (4)智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

数控机床向柔性自动化系统发展的趋势是:从点(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、线(FMC, FMS, FTL, FML),向面(工段车间独立制造岛、FA)、体(CIMS、分布式网络集成制造系统)的方向发展;另一方面向注重应用性和经济性方向发展。柔性自动化技术,是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段,是各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。其重点是以提高系统的可靠性、实用化为前提,以易于联网和集成为目标,注重加强单元技术的开拓、完善;CNC 单机向高精度、高速度和高柔性方向发展;数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与 CAD, CAM, CAPP, MIS 联结,向信息集成方向发展;网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

6. 机床的操作与编程

新一代数控机床要由用户控制界面,使得机床操作与编程更为方便;应实现人机交互式宏程序设计、三维图形仿真实验,而且进一步实现“前台加工,后台程序编制”的所谓前后台功能,进一步提高数控机床的利用率。此外实物示教编程,高效地 CAD/CAPP/CAM 集成化自动编程。还应引进图像识别、声控识别等模式识别技术,使系统能自己辨认图像,按照自然语言进行加工等。

(1)简化编程,提高柔性和精度是当前数控软件的开发重点课题之一。有些数控系统具备控制和编程功能,系统内包含大量固定循环、子程序和工艺数据,并能自动计算交点、切点等数据,使程序编制和校验很方便。有的还有宏程序的设计功能,以及会话式自动编程、蓝图编程等功能,从语言编程发展到图形编程。

(2)为适应 CIMS 及 CAD/CAM 一体化技术的发展需要,数控编程系统出现了向集成化(数控编程在 CAD/CAM 系统中的集成)和智能化(将人的知识加入集成化的 CAD/CAM 系统