



高职高专“十一五”规划教材

机械电子类

数控原理与应用

马靖然 主编



高职高专“十一五”规划教材·机电类

数控原理与应用

主 编 马靖然

副主编 申晓龙

主 审 陈继振

北 京
冶金工业出版社
2008

内 容 简 介

本书重点介绍了数控技术的基本概念与计算机数控系统的工作原理。全书共分 8 章, 主要内容包括: 数控技术的基本概念、计算机数控系统的组成、插补原理与补偿原理、检测装置、CNC 伺服驱动系统、通信及可编程控制器、数控系统的连接和数控系统的安装、调试与故障诊断等内容, 各章均配有习题。本书力求体现职业教育特色, 以较大篇幅介绍了数控系统及各组成部分应用的实例, 做到内容浅显、易懂、实用, 以培养学生能力为主线。

本书主要是作为高职、高专数控技术应用专业、数控机床维修专业、机电一体化专业教材, 也可作为各类数控培训班的培训教材, 还可作为数控专业的技术员、维修与调整工、数控机床维修人员的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控原理与应用/马靖然主编. —北京: 冶金工业出版社, 2008.6
ISBN 978-7-5024-4606-2

I. 数… II. 马… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 083642 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 马文欢

ISBN 978-7-5024-4606-2

北京天正元印务有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2008 年 6 月第 1 版, 2008 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12.5 印张; 277 千字; 192 页; 1-3000 册

27.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本教材是根据教育部最新制定的高等职业教育培养目标及规格的有关精神和有关课程教学大纲的基本要求,为适应高等职业教育的发展需要而组织编写的,是“十一五”职业教育机电类规划教材之一。

本教材以突出职业教育为特色,以增强实用性和加强能力与素质培养为目标,结合多年的实践和教学经验,按照数控技术及应用专业的教改思想,内容力求新颖,通过大量实例介绍,以培养学生能力为主线,达到理论浅显、通俗易懂、实用性强。

本教材共分 8 章,每章均配有习题。第 1 章介绍数控系统的工作原理、分类和数控技术发展状况;第 2 章介绍计算机数控系统工作原理和信息处理过程;第 3 章介绍插补原理与刀具半径补偿、长度补偿原理;第 4 章介绍各种检测装置的结构、工作原理及其简单应用;第 5 章介绍 CNC 系统的位置控制原理及各种典型伺服驱动系统;第 6 章介绍数控系统的通信接口与网络 and 可编程控制器;第 7 章介绍德国 SIEMENS 802S、日本 FANUC0i-MA 及德国 SIEMENS 810 数控系统的连接情况;第 8 章介绍数控系统的安装、调试及故障诊断方法。

本书由马靖然任主编,申晓龙任副主编,郭敏、史卫朝、陈新亚、周志海参加编写。全书由陈继振任主审。在本书的编写过程中,周文果女士给予了大力支持,在此表示深深的谢意。

本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、资料与文献,在此谨致谢意。

由于编者水平所限,书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目 录

第 1 章 数控系统概述	1	2.2.3 CNC 系统硬件结构主要 组成部分的功能	19
1.1 数控技术的基本概念	1	2.3 CNC 系统的软件结构	21
1.1.1 数控机床的加工过程	1	2.3.1 CNC 系统的软件功能	21
1.1.2 数字控制的基本原理	1	2.3.2 CNC 系统软件的内容	21
1.2 数控系统的基本组成及工作原理	2	2.3.3 CNC 系统软件的结构特点	22
1.2.1 数控系统的基本组成及 其各部分功能	2	2.4 CNC 系统的信息处理过程	23
1.2.2 数控系统的工作原理	4	2.4.1 CNC 系统的信息流程	23
1.3 数控系统的分类及特点	4	2.4.2 零件加工程序的输入	24
1.3.1 按运动轨迹分类	4	2.4.3 数控加工程序的译码	26
1.3.2 按伺服控制方式分类	5	2.4.4 数据处理	28
1.3.3 按数控装置分类	6	2.5 经济型数控系统	28
1.3.4 按数控系统的功能 水平分类	6	2.5.1 经济型数控系统的类型	29
1.4 开放式数控系统	7	2.5.2 经济型数控系统的特点	29
1.4.1 开放式 CNC 的定义	7	2.5.3 经济型数控系统的 主要性能	30
1.4.2 开放式 CNC 的特点	7	2.5.4 经济型数控系统的组成	30
1.4.3 开放式 CNC 的类型及组成	8	习题	31
1.5 数控系统的发展现状	10	第 3 章 插补原理与补偿原理	33
1.5.1 数控系统的发展经历	10	3.1 插补原理	33
1.5.2 数控系统的目前状况	10	3.1.1 插补的基本概念	33
1.5.3 数控系统的发展趋势	11	3.1.2 逐点比较法	33
习题	11	3.1.3 数字积分法	39
第 2 章 计算机数控系统	12	3.2 补偿原理	44
2.1 概述	12	3.2.1 刀具半径补偿原理	44
2.1.1 CNC 系统的组成	12	3.2.2 刀具长度补偿	50
2.1.2 CNC 机床的组成	13	3.3 进给速度和加减速控制	51
2.1.3 CNC 系统的工作过程	13	3.3.1 进给速度控制	51
2.1.4 CNC 系统的功能	14	3.3.2 自动加减速控制	54
2.2 CNC 装置的硬件结构	16	习题	56
2.2.1 单微处理器数控装置 的结构	16	第 4 章 检测装置	58
2.2.2 多微处理器数控装置 的结构	16	4.1 编码器	58
		4.1.1 编码器的分类	58

4.1.2 增量式光电编码器	59	5.3 直流伺服驱动系统	89
4.1.3 绝对式光电编码器	59	5.3.1 直流伺服电动机工作原理	89
4.2 光栅	60	5.3.2 直流伺服电动机的 调速原理	90
4.2.1 光栅的种类	61	5.4 交流伺服驱动系统	92
4.2.2 光栅的结构和工作原理	61	5.4.1 交流伺服电动机	92
4.2.3 直线光栅尺检测装置的 辨向原理	62	5.4.2 交流伺服系统的控制原理	94
4.2.4 提高检测分辨精度的 细分电路	62	5.4.3 SIMODRIVE 611 交流 伺服驱动系统	98
4.3 旋转变压器和感应同步器	63	5.5 主轴驱动	102
4.3.1 旋转变压器	63	5.5.1 主轴驱动的特殊要求	102
4.3.2 感应同步器	66	5.5.2 主轴电动机	102
4.4 磁栅	68	5.5.3 主轴定向准停	104
4.4.1 磁栅的结构	68	习题	105
4.4.2 磁栅的工作原理	69	第 6 章 通信及可编程控制器	107
4.5 测速发电机	70	6.1 通信接口与网络	107
4.5.1 直流测速发电机	71	6.1.1 数控系统的通信设备 及接口	107
4.5.2 交流测速发电机	72	6.1.2 数据通信的基本概念	107
4.6 激光干涉仪	73	6.1.3 通信接口	109
4.6.1 激光干涉法测距原理	73	6.1.4 通信	111
4.6.2 激光干涉仪的优点	74	6.2 数控系统中的 PLC	112
4.7 检测装置在数控系统中的应用	74	6.2.1 PLC 的基本结构及 工作原理	112
4.7.1 编码器在数控系统中的 应用	74	6.2.2 数控机床中的 PLC	115
4.7.2 光栅测量系统应用实例	75	6.2.3 M、S、T 功能的实现	116
4.7.3 旋转变压器的应用	77	6.3 PLC 在 FANUC-0i 系统中的应用	119
4.7.4 感应同步器的安装与应用	77	6.3.1 PMC 的性能与规格	119
4.7.5 测速发电机应用	78	6.3.2 内装 I/O 卡与 I/O Link 地址分配	120
习题	79	6.3.3 FANUC 系统 PMC 的指令	121
第 5 章 CNC 伺服驱动系统	80	6.3.4 FANUC-0i 系统的 PMC 控制应用程序	122
5.1 位置控制原理	80	习题	132
5.1.1 位置控制原理	80	第 7 章 数控系统的连接	133
5.1.2 相位比较伺服系统	81	7.1 概述	133
5.1.3 幅值比较伺服系统	81	7.1.1 日本 FANUC 数控系统	133
5.1.4 数字式伺服系统	82		
5.2 步进电动机伺服驱动系统	83		
5.2.1 开环伺服系统的组成	83		
5.2.2 步进电动机	83		
5.2.3 步进电动机伺服系统 工作原理	85		

7.1.2 德国 SIEMENS 数控系统	134	习题	163
7.2 数控车床的 SIEMENS 802S 系统	135	第 8 章 数控系统的安装调试与故障诊断	164
7.2.1 CNC 控制模块	136	8.1 数控机床及系统的安装	164
7.2.2 步进电动机进给驱动模块	137	8.1.1 安装前的准备工作	164
7.2.3 电源(变压器)	139	8.1.2 数控机床的安装	165
7.2.4 系统的连接	139	8.1.3 数控系统的连接	165
7.2.5 参数设定	139	8.1.4 系统抗干扰	166
7.3 数控铣床的 FANUC 0i-MA 系统	142	8.1.5 检查	166
7.3.1 FANUC 0i-A 系统主要 功能及组成	142	8.2 数控系统的调试	167
7.3.2 CNC 控制模块	144	8.2.1 通电试运行	167
7.3.3 伺服模块	146	8.2.2 功能调试	168
7.3.4 电源模块	147	8.2.3 整机运行	169
7.3.5 主轴模块	149	8.2.4 检查验收	169
7.3.6 系统的连接	150	8.3 数控系统的故障诊断	177
7.3.7 参数设定	151	8.3.1 数控系统故障诊断的要求	177
7.4 加工中心的 SIEMENS 810 系统	154	8.3.2 数控系统故障诊断的 基本知识	178
7.4.1 SINUMERIK 810 系统 主要功能	154	8.3.3 数控系统常见故障	182
7.4.2 SINUMERIK 810 系统 的组成	155	8.3.4 数控系统故障诊断实例	184
7.4.3 伺服电动机进给驱动模块	158	习题	191
7.4.4 SIEMENS 810 系统的连接	160	参考文献	192
7.4.5 参数设定	162		

第 1 章 数控系统概述

1.1 数控技术的基本概念

数控机床(Numerical Control Machine Tool) 是机电一体化在机械加工领域中的典型产品。它是集微电子技术、自动化控制技术、电机技术、自动检测技术、计算机控制技术、传感器技术、机床、液压及气压传动技术和加工工艺等技术于一体的自动化设备, 具有高精度、高效率和高适应性的特点。在现代机械制造中, 数控机床适用于多品种、中小批量、复杂零件的加工。作为实现柔性制造系统 (Flexible Manufactory System, FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufactory System, CIMS) 和未来工厂自动化 (Factory Automation, FA) 的基础, 数控机床已成为现代制造技术中的关键设备。

1.1.1 数控机床的加工过程

利用数控机床完成零件数控加工的过程主要分为以下几个步骤。

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析, 确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单, 或用 CAD/CAM 自动编程软件直接生成零件的加工程序文件。
- (3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序, 可以通过数控机床的操作面板输入; 由编程软件生成的程序, 则通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元。
- (4) 将输入或传输到数控单元的加工程序进行试运行和刀具路径模拟等。
- (5) 运行程序, 完成零件的加工。

1.1.2 数字控制的基本原理

数字控制 (Numerical Control, NC) 技术, 是指利用数字化的代码构成的程序对控制对象的工作过程实现自动控制的技术。数控系统(Numerical Control System, NCS)是指利用数控技术实现自动控制的系统。数控系统中的控制信息是数字量(0, 1), 它与模拟控制相比具有许多优点, 如可用不同的字长表示不同精度的信息, 可对数字化信息进行逻辑运算和数学运算等复杂的信息处理工作, 特别是可用软件来改变信息处理的方式或过程, 具有很强的“柔性”。

数控系统的硬件基础是数字逻辑电路。最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的, 因而被称之为硬件数控系统。随着微型计算机的发展, 硬件数控系统已逐渐被淘汰, 取而代之的是当前广泛使用的计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)系统。CNC 系统是由计算机承担数控中的命令发生器和控制器的数控系统, 它采用存储程序的方式实现部分或全部基本数控功能, 从而具有真正的“柔性”, 并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息, 使数控系统的性能大大提高。

1.2 数控系统的基本组成及工作原理

随着计算机技术的发展,数控系统在经历了电子管、晶体管、集成电路和小型计算机等 4 个发展阶段后,最终进入第五代数控系统——CNC 系统,从而完成质的飞跃。

1.2.1 数控系统的基本组成及其各部分功能

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)、电气控制装置、辅助装置及测量装置组成。如图 1-1 所示是数控机床的组成框图,除机床本体外统称为 CNC 系统。

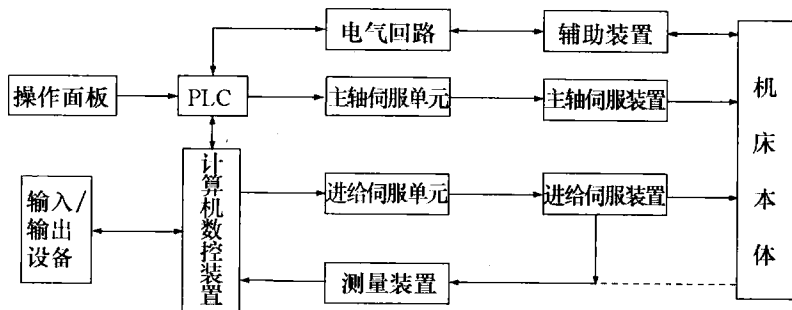


图 1-1 数控机床的组成

1.2.1.1 CNC 装置

CNC 装置是数控机床的运算和控制系统,一般由输入接口、存储器、控制器、运算器和输出接口等组成,如图 1-2 所示。

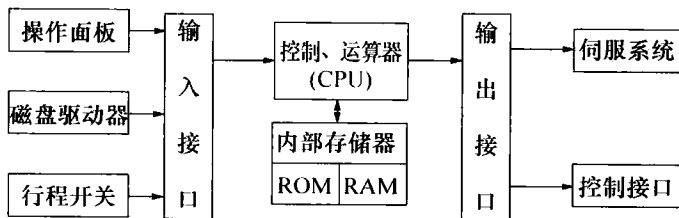


图 1-2 数控装置原理

(1) 输入接口。负责接收输入介质或操作面板上的信息,并将信息代码加以识别,经译码后送入相应的存储器,作为控制和运算的原始依据。

(2) 控制器。根据输入的指令控制运算器和输出接口,使机床按规定的要求协调地进行工作。

(3) 运算器。接收控制器的指令,对输入数据进行运算,并将控制信号以脉冲形式送至输出接口。

(4) 输出接口。根据控制器的指令,接收运算器的控制信号,经过功率放大驱动伺服系统,使机床按规定要求运动。

(5) 存储器。CNC 装置的存储器分为只读存储器 (ROM) 和读写存储器 (RAM)。ROM 用于存放系统控制程序；RAM 用于存放零件的加工程序和系统运行时的中间结果。

数控机床的功能强弱主要由数控装置来决定，所以它是数控机床的核心部分。

1.2.1.2 输入/输出设备

键盘和磁盘机是数控机床的典型输入设备，还可以用串行通信的方式进行信息的输入。

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，并能显示图形信息。

1.2.1.3 伺服单元

伺服单元是联系 CNC 装置和机床本体的中间环节，它将来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同，伺服单元分为脉冲式和模拟式两种，而模拟式伺服单元按电源种类的不同又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。

1.2.1.4 驱动装置

驱动装置把经过放大的指令信号转变为机械运动，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作严格的相对运动，最后加工出图纸所要求的零件。与伺服单元相对应，驱动装置有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

伺服单元与驱动装置合称为伺服驱动系统，它是机床工作的动力装置。伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分，数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

1.2.1.5 可编程控制器

可编程控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 是一种以微处理器为基础的通用型自动控制装置，是专为在工业环境下应用而设计的。当 PLC 用于控制机床顺序动作时，称为可编程机床控制器 (Programmable Machine Controller, PMC)。

PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。数控系统和 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：一类是数控系统的生产厂家为实现数控机床的顺序控制，而将数控系统和 PLC 综合起来设计，称为内装型(或集成型) PLC；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。

1.2.1.6 测量装置

测量装置通常安装在机床的工作台或丝杠上，将机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给数控装置，供数控装置与指令值相比较产生误差信号，以控制机床向消除该误差的方向移动。按有无检测装置分，数控系统可分为开环数控系统与闭环数控系统；按测量装置的安装位置不同又可分为全闭环数控系统与半闭环数控系统。测量装置是数控机床的重要组成部分。

1.2.1.7 机床本体

由于切削用量大、连续加工发热量大等因素对加工精度有一定影响，数控机床的设计

要求比普通机床更严格,制造要求更精密。因此,机床本体采用了许多新的加强刚性、减小热变形和提高精度等方面的措施。

1.2.2 数控系统的工作原理

在数控机床上加工零件时,先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具参数,再通过人工编程或利用计算机编程软件编制数控加工程序,然后通过手动数据输入(MDI)方式或外部计算机通讯(DNC)方式将数控加工程序输入数控系统,经数控系统处理与计算后,发出相应的指令,通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动,从而进行零件的切削加工。

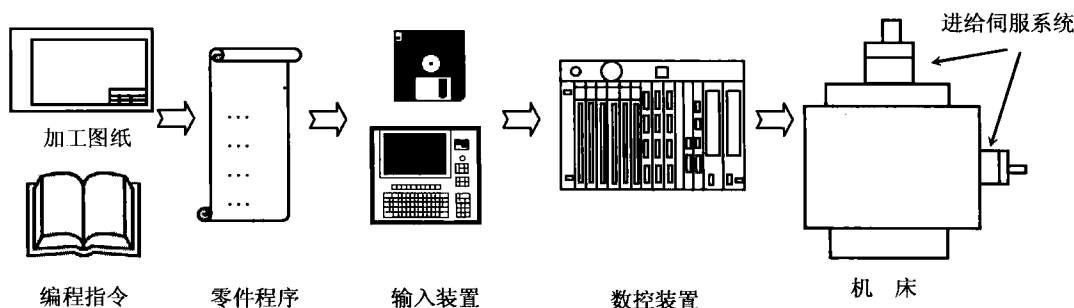


图 1-3 数控系统的工作原理

1.3 数控系统的分类及特点

数控系统的品种规格很多,分类方法也各不相同。一般根据功能和结构的不同,对数控系统有如下 4 种分类方式。

1.3.1 按运动轨迹分类

按运动轨迹,数控系统可分为点位、直线和轮廓控制系统。

1.3.1.1 点位控制数控系统

点位控制系统的数控机床是指机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确移动,在移动和定位过程中不进行任何加工,机床移动部件的运动路线并不影响加工的孔距精度。数控系统只需控制行程终点的坐标值,而不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间的运动不需要保持严格的传动联系。为了尽可能地减少移动部件的运动与定位时间,通常先快速移动接近终点坐标,然后以低速准确移动到定位点,以保证有良好的定位精度。如图 1-4 所示,刀具从 A 点到 B 点可以走①、②、③中的任意一条路径。这类控制方式仅用于数控钻床、数控点焊机、数控镗床和数控冲床等。

1.3.1.2 直线控制数控系统

直线控制数控机床不仅要求控制点的准确定位,而且要沿直线轨迹(一般与某一坐标轴平行或成 45° 角)以一定速度移动,移动过程中可进行切削加工。机床具有主轴转速的选择

与控制、切削速度和刀具的选择及循环加工等辅助功能,如图 1-5 所示。这类控制方式仅用于简易数控车床、数控铣床等。

1.3.1.3 轮廓控制数控系统

轮廓控制数控机床也称为连续控制数控机床,其控制特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制。在这类控制方式中,要求数控装置具有插补运算功能,即根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求轮廓相符,如图 1-6 所示。按照联动轴数,可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、多轴联动数控系统。

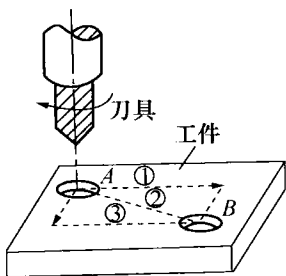


图 1-4 点位控制方式的加工

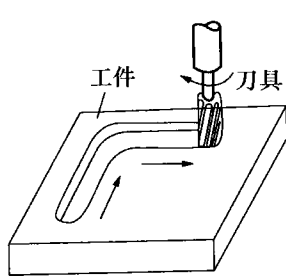


图 1-5 直线控制方式的加工

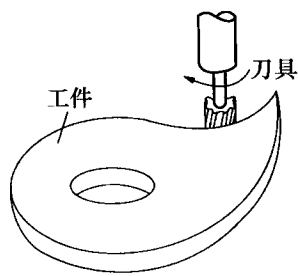


图 1-6 轮廓控制方式的加工

1.3.2 按伺服控制方式分类

1.3.2.1 开环控制型数控系统

这类数控系统不带位置检测反馈装置,以步进电动机作为驱动元件,如图 1-7 所示。数控装置输出的指令脉冲经驱动电路进行功率放大,转换为控制步进电动机各定子绕组依次通电/断电的电流脉冲信号,驱动步进电动机转动,再经机床传动机构(齿轮/同步带、滚珠丝杠等)带动工作台移动。这种方式控制简单,价格比较低廉,被广泛应用于经济型数控系统中。

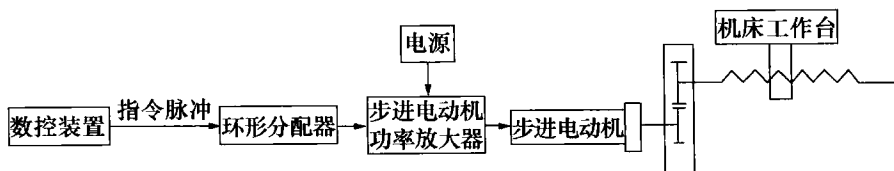


图 1-7 开环控制数控系统

1.3.2.2 全闭环控制型数控系统

这类数控系统带有位置检测反馈装置,位置检测元件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(直线位移),并将其与数控装置计算出的指令位置进行比较,利用差值进行控制,如图 1-8 所示。这类控制方式可以消除包括机械传动链在内的传动误差,因而位置控制精度很高。

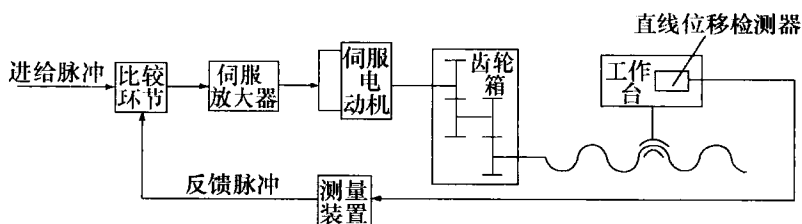


图 1-8 全闭环控制数控系统

1.3.2.3 半闭环控制型数控系统

这类数控系统将位置检测元件安装在电动机轴端或丝杠轴端，通过角位移的测量间接计算出机床工作台的实际运行位置，并将其与 CNC 装置计算出的指令位置(或位移)相比较，用差值进行控制，构成半闭环，如图 1-9 所示。由于闭环的环路内不包括丝杠、螺母副及机床工作台，由这些环节造成的误差不能由环路矫正，因此其控制精度不如全闭环控制型数控系统高。在实际应用中，这种方式被广泛采用。

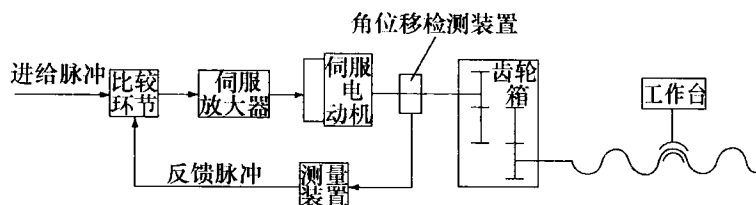


图 1-9 半闭环控制数控系统

1.3.3 按数控装置分类

1.3.3.1 通用型数控系统

这类数控系统通常以 PC 作为 CNC 装置的支撑平台，各数控机床制造厂家根据用户需求，有针对性地研制开发数控软件和控制卡等，构成相应的 CNC 装置。其通用性强，使用灵活，便于升级，且抗干扰能力强，如我国的华中 II 型、华中世纪星等数控系统。

1.3.3.2 专用型数控系统

这类数控系统技术成熟，是由系统制造厂家专门开发制造的，专用性强、结构合理、控制功能齐全、稳定性好，但其硬件通用性差，如德国 SIEMENS 系统、日本 FANUC 系统等。

1.3.4 按数控系统的功能水平分类

按照功能水平，可以将数控系统分为低(经济型)、中(普及型)、高(全功能型)3 类。这种分类方法的界线是相对的，不同时期的划分标准会有所不同。就目前的发展水平来看，不同档次数控系统的功能和指标见表 1-1。

表 1-1 不同档次数控系统的功能和指标

功 能	低档(经济型)	中档(普及型)	高 档
系统分辨率 μm	10	1	0.1
G00 速度 m/min	3~10	10~20	20~100
伺服系统	开环	半闭环	半闭环或全闭环
进给驱动元件	步进电动机	伺服电动机	伺服电动机
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴以上
显示功能	LED 数码管	CRT 显示	CRT: 三维图形, 自诊断
内装 PLC	无	有	功能强大的内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机或单板机	单微处理器或多微处理器	分布式多微处理器
通信接口	无	RS-232	RS-232, 网络接口

1.4 开放式数控系统

当今, 随着计算机技术的高速发展, 数控技术正在发生根本性变革, 由专用型封闭模式向通用型开放模式发展。开放式体系结构使数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性。为适应数控系统进线、联网、普及型个性化、多品种、小批量、柔性化的要求, 世界各国正积极设计生产开放式的数控系统。

1.4.1 开放式 CNC 的定义

开放式数控系统的概念出现于 20 世纪 90 年代初, 欧美各国为了适应机床制造业在技术、市场和生产组织结构等多方面的变化而提出的, 其目的是建立一种崭新的控制系统设计框架, 使系统向模块化、平台化、标准化和系列化方向发展, 在联合的前提下提高产品的竞争能力。

按照 IEEE 的定义, 一个开放式数控系统应提供这样的能力: 来自不同卖主的种种平台上运行的应用都能够在系统上完全实现, 并能和其他系统应用互操作, 且具有一致性的用户界面。开放式数控系统是指 PC-NC, 即在加工机械专用的 CNC 中引入 PC 所具有的开放性: 一是时间的开放性, 二是空间的开放性。时间的开放性是针对软硬件平台及其规范而言的, 以保证平台具有适应新技术的发展, 并能够接受新设备的能力。时间的开放性又有可扩展性和可移植性两个方面。空间的开放性是针对系统接口及其规范化而言的, 它又可分为互操作性和互换性。

1.4.2 开放式 CNC 的特点

1.4.2.1 开放式 CNC 的基本特征

开放式数控系统是一个模块化的体系结构, 由系统平台和面向应用的功能模块所构成, 既有接口的开放性, 又有自身功能的开放性, 具有以下基本特征。

(1) 可交互操作性。通过提供标准化接口通讯和交互机制, 使不同功能模块能以标准的应用程序接口运行于系统平台上, 并获得平等的互操作能力, 协调工作。

(2) 可移植性。不同应用程序模块可运行于不同生产商提供的系统平台, 系统软件也

可运行于不同特性的硬件平台之上。系统的功能软件与设备无关,即应用统一的数据格式、控制机制,并且通过一致的设备接口,使各功能模块能运行于不同的硬件平台上。

(3) 可扩展性。提供标准化环境的基础平台,允许不同功能的模块介入,CNC 用户或二次开发者能有效地将自己的软件集成到 CNC 系统中,形成自己的专用系统,其特征是通过特定功能模块的装载和卸载为用户系统增添和减少功能。

(4) 可互换性。不同性能、不同执行能力的功能模块互相代替。构成系统的各硬件、功能软件的选用不受单一供应商的控制,可根据功能、可靠性、性能要求相互替换,不影响系统整体的协调运行。

(5) 可伸缩性。CNC 系统的功能、规模可以灵活设置,方便修改。控制系统的大小(硬件或元件模块)可根据具体应用增减。

1.4.2.2 开放式数控系统的优势

开放式数控系统构建于一个开放的平台上,具有模块化结构,允许用户根据需要进行选配与集成,迅速适应不同的应用需求,与传统的封闭式专用数控系统相比,具有以下优点。

(1) 具有强大的适应性和灵活配置能力,能适应多种设备,灵活配置与集成。

(2) 控制软件具有及时扩展和连接功能,可顺应新技术的发展,加入各种新功能。可通过预留插入用户专用软件的接口的方式或提供用户 API 和编程规范,供用户编制自己的专用模块的方式,简便地实现系统的扩展。

(3) 能适应计算机技术和信息技术的快速发展和更新换代,能有效保护用户原有资源。

(4) 操作简单,维护方便。在 PC 机上经简单编程即可实现运动控制,而不需要专门的数控软件。

(5) 遵循统一的标准体系结构规范,模块之间具有兼容性、互换性和互操作性。

(6) 技术更新,功能更加强大,可以实现多种运动轨迹的控制,是传统数控系统的换代产品。

(7) 结构形式模块化,可以方便地相互组合,建立适用不同场合、不同功能需求的控制系统,可以明显缩短新产品的研制开发周期,用户可以根据需要开发自己的功能模块。

(8) 将 PC 机的信息处理能力和开放式的特点与运动控制器的运动轨迹控制能力有机地结合在一起,信息处理能力强、开放程度高、运动轨迹控制准确、通用性好。

1.4.3 开放式 CNC 的类型及组成

1.4.3.1 基于 PC 的开放式数控系统的类型

基于 PC 的开放式数控系统能充分地利用计算机的软硬件资源,可使用通用的高级语言方便地编制程序,用户可将标准化的外设、应用软件进行灵活地组合和使用,使用计算机同时也便于实现网络化,基于 PC 的开放式数控系统大致可分为以下几种类型。

(1) PC 嵌入 NC 型。该类型系统是将 PC 装入到 NC 内部,PC 与 NC 之间用专用的总线连接。系统数据传输快,响应迅速,同时,原 NC 系统可不加修改就得以利用。其缺点是不能直接利用通用 PC,开放性受到限制,通用 PC 强大的功能和丰富的软硬件资源不能得到有效的利用。这种数控系统尽管具有一定的开放性,但由于它的 NC 部分仍然是传统

的数控系统，其体系结构还是不开放的。

(2) NC 嵌入 PC 型。该类型系统是将 NC 卡(运动控制卡)插入通用 PC 的扩展槽中组成的。它能够充分地保证系统性能，软件的通用性强，并且编程处理灵活。这是目前采用较多的一种结构形式，这种结构形式采用“PC+运动控制器”形式建造数控系统的硬件平台，其中以工业 PC 为主控计算机，组件采用商用标准化模块，总线采用 PC 总线形式，同时以多轴运动控制器作为系统从机，进而构成主从分布式的结构体系。

(3) 全软件 NC 型。该类型系统是指 CNC 的全部功能均由 PC 实现，并通过装在 PC 上扩展槽的伺服接口卡对伺服驱动等进行控制，其软件的通用性好，编程处理灵活。这种 CNC 装置的主体是 PC，充分利用 PC 不断提高的计算速度、不断扩大的存储量和性能不断优化了的操作系统，实现机床控制中的运动轨迹控制和开关量的逻辑控制。软件化数控系统把运动控制器以应用软件的形式实现，除了支持数控上层软件的用户定制外，其更深入的开放性还体现在支持运动控制策略的用户定制。软件数控系统更加向计算机技术靠拢，并力图使数控技术成为先进制造上层应用的标准的设备驱动代理。这种结构形式的数控系统，其主要功能部件均表现为应用软件的形式，这是实现形式上的一种技术变革。

1.4.3.2 开放式 CNC 的基本结构及组成

(1) PC-NC 开放式数控系统的结构如图 1-10 所示。

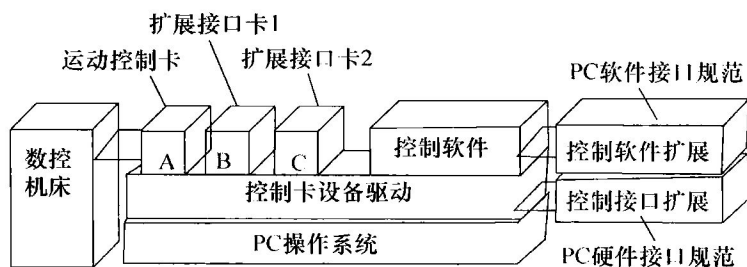


图 1-10 PC-NC 开放式数控系统的结构

(2) PC-NC 开放式数控系统的组成如图 1-11 所示。

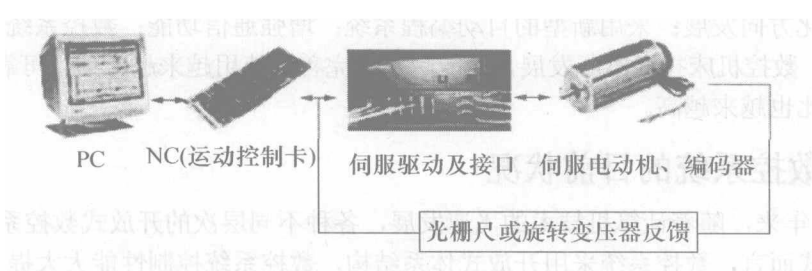


图 1-11 PC-NC 开放式数控系统的组成

PC-NC 开放式数控系统的硬件系统主要由工业控制计算机、运动控制卡、驱动及放大部件、交流伺服电动机、位置检测部件和接口控制电路等组成。其中，工业控制计算机为信息管理部分，运动控制卡为运动驱动与算法控制部分。软件系统可采用在 Windows 2000

操作系统下,以 Visual Basic 或 Visual C++等为开发工具采用面向对象的编程方法,对开放式数控系统软件进行开发,实现数控系统的基本功能。

运动控制卡主要承担实时性任务,如伺服控制、路径规划、可编程逻辑控制;工业控制计算机主要完成系统管理、数控编程、数控仿真、图形插补、人机界面处理和网络功能等非实时任务。工业控制计算机的控制内核是整个数控系统的核心,它通过调用对应于运动控制卡中各种变量和功能的应用程序接口与运动控制卡交换信息,并负责整个系统的协调工作。

在经历了引进和消化吸收两个发展阶段后,我国在数控技术领域取得了突破性的进展,已经实现了自行开发具有自己软硬件版权的数控系统,同时,数控系统的开放性研究工作也正在进行。比较典型的有华中理工大学的华中 I 型 CNC 系统,北京航空航天大学中华 I 型 CNC 系统,中国科学院沈阳计算技术研究所的蓝天系列高档 CNC 系统、西安交通大学五轴五联动 CNC 系统等。

1.5 数控系统的发展现状

数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业的渗透形成的机电一体化产品,其技术范围覆盖很多领域,如机械制造技术;信息处理、加工、传输技术;自动控制技术;伺服驱动技术;传感器技术;软件技术等。计算机对传统机械制造产业的渗透,完全改变了制造业。制造业不但成为工业化的象征,而且由于信息技术的渗透,使制造业犹如朝阳产业,具有广阔的发展天地。

1.5.1 数控系统的发展经历

从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统,数控系统由当初的电子管式起步,经历了以下几个发展阶段:电子管式—分立式晶体管式—小规模集成电路式—大规模集成电路式—小型计算机式—超大规模集成电路—微机式的数控系统。到 20 世纪 80 年代,数控系统总体发展趋势是:数控装置由 NC 向 CNC 发展;广泛采用 32 位 CPU 组成多微处理器系统;提高系统的集成度,缩小体积,采用模块化结构,便于裁剪、扩展和功能升级,满足不同类型数控机床的需要;驱动装置向交流、数字化方向发展;CNC 装置向人工智能化方向发展;采用新型的自动编程系统;增强通信功能;数控系统可靠性不断提高。总之,数控机床技术不断发展,功能越来越完善,使用越来越方便,可靠性越来越高,性能价格比也越来越高。

1.5.2 数控系统的目前状况

近 10 年来,随着计算机技术的飞速发展,各种不同层次的开放式数控系统应运而生。就结构形式而言,数控系统采用开放式体系结构,数控系统控制性能大大提高,当今世界上的数控系统大致可分为如下 4 种类型。

- (1) 传统数控系统。
- (2) “PC 嵌入 NC”结构的开放式数控系统。
- (3) “NC 嵌入 PC”结构的开放式数控系统。
- (4) SOFT 型开放式数控系统。