



世纪中等职业教育系列教材
中等职业教育系列教材编委会专家审定

数控系统

主编 刘向东



北京邮电大学出版社



教育部推荐教材
高等学校计算机专业系列教材

数控系统

第2版

机械工业出版社

中等职业教育系列教材
中等职业教育系列教材编委会专家审定

数控系统

主 编 刘向东

北京邮电大学出版社
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

数控系统/刘向东主编. —北京:北京邮电大学出版社,2006

ISBN 7-5635-1312-4

I. 数... II. 刘... III. 数控机床—数控系统—专业学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 082659 号

书 名 数控系统
主 编 刘向东
责任编辑 周 堃 聂立芳
出版发行 北京邮电大学出版社
社 址 北京市海淀区西土城路 10 号 邮编 100876
经 销 各地新华书店
印 刷 北京市彩虹印刷有限责任公司
开 本 787 mm × 960 mm 1/16
印 张 11.5
字 数 236 千字
版 次 2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5635-1312-4/TP · 247
定 价 15.00 元

如有印刷问题请与北京邮电大学出版社联系
E-mail: publish@bupt.edu.cn

电话: (010)82551166 (010)62283578

Http://www.buptpress.com

版权所有

侵权必究

出版说明

本书是根据教育部最新颁发的数控技术应用专业的“数控系统教学基本要求”,参照有关行业职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准而编写。

本书针对中等职业教育的特点,内容编写上本着必需、够用的原则,并注重体现新技术、新工艺、新方法;将专业特点与职业特点紧密结合,为学生的终身学习打下良好的基础。

全书共八章,主要内容包括数控系统概述、计算机数控系统(CNC系统)、检测装置、伺服系统、插补原理、PLC与接口电路、经济型和开放式数控系统及数控系统的安装、调试与维护;并在各章后面均附有小结和习题,以方便学生自学和复习总结。

本书的编写适应了教改的需要,突出了中等职业教育特色,符合数控技术应用专业对高等素质劳动者和中初级专门人才的要求;不仅是中等职业学校数控技术应用专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

限于篇幅及编者水平,书中难免存在疏漏与错误,敬请读者予以批评指正。

编 者

目 录

第一章 数控系统概述	1
第一节 数控技术的基本原理	1
第二节 数控系统的分类	3
第三节 数控技术的发展	6
本章小结	8
复习思考题	9
第二章 计算机数控系统(CNC 系统)	10
第一节 概述	10
第二节 CNC 系统的硬件结构	15
第三节 CNC 系统的软件结构	20
本章小结	25
复习思考题	26
第三章 检测装置	27
第一节 概述	27
第二节 旋转变压器	28
第三节 感应同步器	32
第四节 光栅	37
第五节 磁栅	41
第六节 编码器	45
第七节 数显装置的使用	48
本章小结	54
复习思考题	55
第四章 伺服系统	57
第一节 概述	57
第二节 步进电动机及其控制系统	62
第三节 直流伺服电动机及其速度控制	78
第四节 交流伺服电动机及其速度控制	80

本章小结	87
复习思考题	88
第五章 插补原理	90
第一节 概述	90
第二节 逐点比较法	91
第三节 数字积分法	101
第四节 数据采样插补	106
本章小结	114
复习思考题	115
第六章 PLC 与接口电路	116
第一节 PLC 的组成及工作原理	116
第二节 数控系统中的 PLC	120
第三节 M、S、T 功能的实现	123
第四节 输入输出及其通信接口	127
本章小结	136
复习思考题	137
第七章 经济型和开放式数控系统	138
第一节 经济型数控系统概述	138
第二节 经济型数控系统的构成	140
第三节 经济型数控系统的接口技术	144
第四节 开放式数控系统概述	152
第五节 开放式数控系统的发展动向	155
本章小结	163
复习思考题	164
第八章 数控系统的安装、调试与维护	165
第一节 数控系统的安装	165
第二节 数控系统的调试	170
第三节 数控系统的维护	174
本章小结	177
复习思考题	178

第一章 数控系统概述

数控系统是现代数字控制技术的典型产品，是现代机械制造系统的重要基础设备之一。本章主要介绍数控技术的基本概念，数控系统的组成、工作原理、分类方法及发展方向。

第一节 数控技术的基本原理

随着科学技术和生产的发展，机械制造领域发生了深刻的变革。传统的普通加工设备已经难以满足市场对产品多样化的要求，难以适应市场竞争的高效率、高质量的需要。以微电子技术为基础，将传统的机械制造技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术以及网络通信技术有机地结合在一起，构成高度信息化、高度柔性、高度自动化的制造系统，能够满足当今市场竞争和工艺发展的需要。另一方面，现代微电子技术的飞速发展使得微电子器件的集成度和信息处理能力不断提高，价格不断降低，又进一步促进了微型计算机在机械制造领域的广泛应用。可以说，微机数字控制技术的应用是机械制造行业现代化的标志，在很大程度上决定了企业在市场竞争中的成败。

一、数控技术

数字控制（Numerical Control）技术简称数控技术（NC 技术），是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行自动控制的一种方法。它的控制信息是数字量，而非模拟量。

数控系统是用数字控制技术实现自动控制的系统，即能阅读输入载体上事先给定的数字值并将其译码，从而使机床自动加工零件的一种控制系统。它有如下特点：

- （1）可用不同的字长表示不同精度的信息，表达信息准确；
- （2）可进行逻辑运算、数学运算和复杂的信息处理；
- （3）可用软件来改变信息处理的方式或过程，而不用改动电路或机械机构，使机械设备具有“柔性”。

由于数控系统具有上述优点，因此被广泛应用于机械运动的轨迹控制，如机床、绘图机、测量机的控制等。本书中的数控系统具体指的是应用于机床的数控系统。

数控机床就是采用了数控技术，装备了数控系统的机床，如数控车床、数控铣床、数控加工中心等。

数控系统对机床的控制包括顺序控制和数字控制两个方面。顺序控制是指对刀具交

换、主轴调速、冷却液开关、工作台的极限位置等开关量的控制。数字控制是指机床进给运动的控制，用于实现对工作台或刀架的位移、速度等数字量的控制。

二、数控系统的组成

数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动控制装置、机床电器控制装置四部分组成，机床本体为被控对象，如图 1-1 所示。

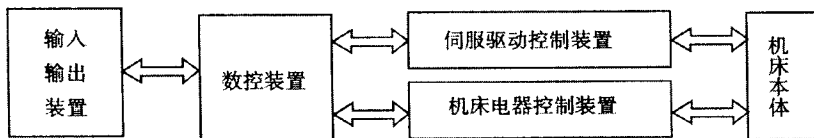


图 1-1 数控系统的组成

1. 输入/输出装置

数控系统是严格按照外部输入的程序来控制机床自动加工工件的。数控加工程序是用字母、数字和其他符号的编码指令表示的程序，它按零件加工顺序记载机床加工所需的各种信息，包括零件加工的轨迹信息（如几何形状、几何尺寸等）、工艺信息（如进给速度、主轴转速等）及开关命令（如自动换刀、冷却液开/关和工件装/卸等）。数控加工程序常常记录在穿孔纸带、磁带、磁盘等信息载体上。

输入装置将数控加工程序等信息传入数控装置。输出装置用来显示输入的内容和数控系统的工作状态，通过输出装置可以监控数控系统的运行。常用的输入/输出装置有光电阅读机、磁带录放机、磁盘驱动器、键盘和 CRT（阴极射线管）显示器等。

2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心，它的主要作用是根据输入的程序和数据，完成数值计算、逻辑判断、轨迹插补等任务，并输出相应的指令脉冲信号控制机床的运动。其形式可以由数字逻辑电路构成的专用硬件数控装置，也可以是计算机数控装置。

3. 伺服驱动控制装置

伺服驱动控制装置位于数控装置和机床本体之间。它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动，包括进给轴伺服驱动装置和主轴伺服驱动装置。进给轴伺服驱动装置由位置控制单元、速度控制单元、电动机和测量反馈单元等部分组成，它按照数控装置发出的位置控制命令和速度控制命令正确驱动机床受控部件的移动。主轴驱动装置主要由速度控制单元组成。伺服驱动控制装置的性能是决定机床加工精度的主要因素。

4. 机床电器控制装置

机床电器控制装置也位于数控装置和机床机械、液压部件之间。它主要完成机床主轴

的起停、变速、变向,刀具的选择交换,工件的装夹,冷却、液压、气动、润滑系统的控制功能和其他辅助功能。

第二节 数控系统的分类

数控机床品种规格很多,可以采用多种方法对数控系统进行分类。

一、按控制机床的运动轨迹分类

1. 点位控制数控系统

点位控制只要求控制机床运动部件由一个坐标点移动到另一个坐标点的准确定位,对于两点之间的运动轨迹的要求并不严格。在移动过程中,机床不进行任何加工。为了精确定位和提高效率,系统先快速移动,然后慢速趋近定位点,以保证定位精度。图 1-2 是点位控制的示意图。点位控制数控系统一般应用于数控钻床、数控镗床、数控冲床等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低,单纯用于点位控制的数控系统已不多见。

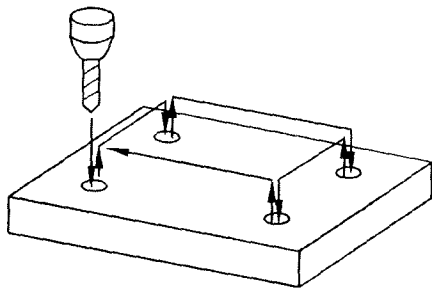


图 1-2 点位控制

2. 直线控制数控系统

直线控制数控系统除了控制点与点之间的准确定位外,还要求两点之间按直线运动进行切削加工,其运动轨迹一般是与机床坐标轴平行的直线,也可以是与坐标轴成 45° 的斜线。在运动过程中的速度是可以控制的。图 1-3 是直线控制示意图。直线控制数控系统一般应用于数控车床、数控铣床、数控磨床等。同样,单纯用于直线控制的数控系统也不多见。

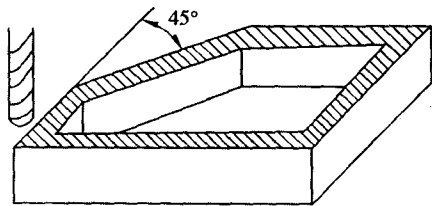


图 1-3 直线控制

3. 轮廓控制数控系统

轮廓控制数控系统能同时对两个或两个以上运动坐标的位移和速度进行连续控制。它具有插补功能,通过插补实现对位移和速度的严格不间断控制;还具有轮廓控制功能,即可以加工曲线或者曲面零件。图 1-4 是轮廓控制示意图。轮廓控制数控系统的辅助功能比前两种都多,常用于加工曲面的数控车床、两坐标或两坐标以上的数控铣床和数

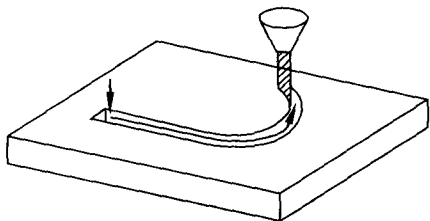


图 1-4 轮廓控制

控加工中心等。

二、按伺服控制的方式分类

1. 开环数控系统

如图 1-5 所示, 开环数控系统没有检测反馈装置, 伺服驱动部件一般为步进电动机。

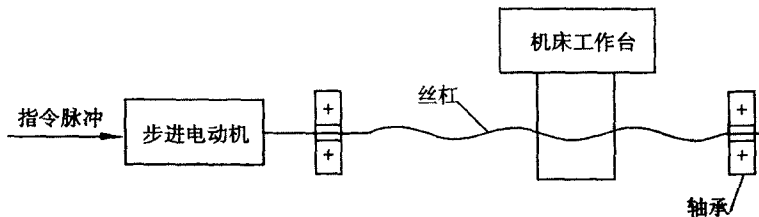


图 1-5 开环数控系统

步进电动机的特征是数控系统每发出一个指令脉冲, 电动机就旋转一个步距角, 通过丝杠转动使机床运动一个脉冲当量的距离。数控系统的指令信息流程是单向的, 对机床移动部件的实际位移不作检验和反馈, 故称为开环数控系统。

开环数控系统的特点是: 结构简单, 成本较低, 技术容易掌握, 机床加工精度不高。开环数控系统适用于中、小型的经济型数控机床, 特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

2. 全闭环数控系统

如图 1-6 所示, 全闭环数控系统装有检测反馈装置, 用直流或交流电动机作为执行元件。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, 并将其与数控装置计算出的指令位置相比较, 用差值进行控制, 使驱动工作台朝着误差减小的方向运动。根据自动控制理论, 反馈通道包围的前向通道中的各种环节所造成的误差都能被反馈所抑制, 因此, 这类数控系统可以获得很高的精度。

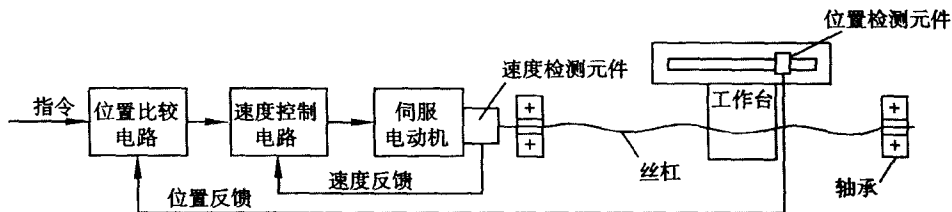


图 1-6 全闭环数控系统

全闭环数控系统的特点是: 精度高, 速度快, 系统复杂, 调试维修较困难, 成本高。用于高精度和超高精度数控设备, 如数控精密镗床。

3. 半闭环数控系统

如图 1-7 所示, 半闭环数控系统也带有位置检测反馈装置, 但检测元件被安装在电动机轴端或丝杠端, 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, 并将其与数控装置计算出的指令位置相比较, 用差值进行控制。由于闭环的环路内不包含丝杠、机床工作台等, 这些环节造成的误差不能被反馈信号所补偿, 因而综合精度不如全闭环数控系统。

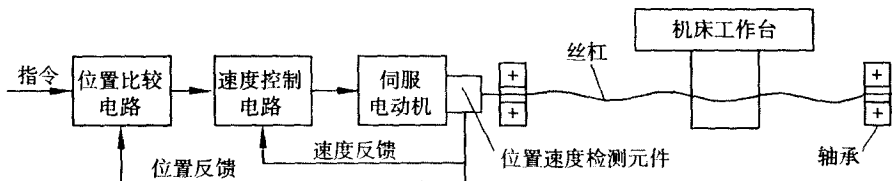


图 1-7 半闭环数控系统

半闭环数控系统的特点是：结构简单，系统不易受机械传动装置干扰，工作稳定性好，精度虽没有全闭环数控系统高，但调试却相对方便。中等精度以上的数控机床大多数采用半闭环数控系统，如数控加工中心。

三、按数控装置分类

1. 硬件数控系统（NC 系统）

硬件数控系统是早期的数控系统。这种数控系统的输入、译码、插补运算、输出等功能均由专用的数字逻辑电路来实现。一般来说，不同的数控机床需要设计不同的硬件逻辑电路，因此系统的通用性和灵活性较差。

2. 计算机数控系统（CNC 系统）

20 世纪 70 年代中期，随着微电子技术的发展，芯片的集成度越来越高，利用大规模及超大规模集成电路组成计算机数控系统成为可能。计算机数控系统采用小型或微型计算机作为控制单元，其主要功能几乎全由软件来实现。对于不同的系统，编制不同的软件就可以实现不同的控制功能，而硬件几乎可以通用，这就为硬件的大批量生产提供了条件。数控系统硬件的批量生产有利于保证质量、降低成本、缩短周期、迅速推广和扩展应用，所以现代数控系统无一例外都是计算机数控系统。

四、按功能水平分类

1. 高档数控系统

这类系统的特点是：分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$ ；进给速度可达 $15 \sim 100\text{m/min}$ ；伺服系统采用全闭环控制，能达到五轴以上的联动轴数；具有 MAP 通信接口及其他接口；具有三维图形显示；有较强功能的内装 PLC，并具有轴控制的扩展功能；选用 64 位 CPU 及具有精

简指令集的中央处理器。

2. 中档数控系统

这类系统的特点是：分辨率为 $1\mu\text{m}$ ；进给速度可达 $15 \sim 24\text{m/min}$ ；伺服进给采用半闭环控制，联动轴数可达四轴；可以具有 RS-232 接口或 DNC 通信接口；有内装 PLC；具有较齐全的 CRT 功能，有图形、字符及人机对话与自诊断功能；采用 16 位或 32 位 CPU 作为中央处理器。

3. 低档数控系统

这种系统也称为经济型数控系统。其特点是：分辨率可达 $10\mu\text{m}$ ；进给速度为 $4 \sim 15\text{m/min}$ ；伺服进给采用开环控制方式、步进电动机进给系统，联动轴数不超过三轴；无通信功能；只有简单的数码管显示或 CRT 显示字符；无内装 PLC；采用 8 位 CPU 作为中央处理器。

第三节 数控技术的发展

一、数控技术的产生和数控机床的发展

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 年代提出的。当时，美国北密执安州的飞机工业承包商帕尔森兹公司在制造飞机框架和直升飞机的机翼叶片时，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加工路径的影响，使得加工精度达到较高程度。

1952 年，美国麻省理工学院成功地研制出一套三坐标联动、利用脉冲乘法器原理的试验性数字控制系统，并把它装在一台立式铣床上，当时用的电子器件是电子管，这就是第一代，也是世界上第一台数控机床。

1959 年，计算机行业研制出了晶体管器件，晶体管和印制电路板逐步被广泛应用于数控系统中。1959 年 3 月，由克耐·杜列克公司发明了带有自动换刀装置的数控机床，称为“加工中心”。数控系统发展到第二代。

从 1960 年开始，其他一些工业国家，如德国、日本都陆续开发、生产及使用了数控机床。

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。

以上三代都属于普通数控机床（NC 机床），它们均是采用专用控制计算机的硬逻辑数控系统。

1967 年，英国首先把几台数控机床的硬逻辑连接成具有柔性的加工系统，这就是最初的柔性制造系统 FMS（Flexible Manufacturing System）。之后，美、欧、日也相继进行开发

和应用。

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,数控系统的许多功能都可由软件程序实现。1970年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了计算机数控系统(CNC系统),称为第四代数控系统。

1970年后,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数控系统。近20年来,具有微处理器数控系统的数控机床得到了飞速发展和广泛的应用,这就是第五代数控系统。

20世纪80年代初,国际上又出现了柔性制造单元FMC(Flexible Manufacturing Cell)。FMC和FMS被认为是实现计算机集成制造系统CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)的必经阶段和基础。

二、我国数控机床的发展

我国从1958年开始研究数控技术,到20世纪60年代中期进入研制、开发阶段。

1965年,我国开始研制晶体管数控系统,并在20世纪60年代末至70年代初研制成功X53K—1G数控铣床、CJK—18数控系统和数控非圆齿轮插齿机。

从20世纪70年代开始,数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工和电加工等领域全面展开,数控加工中心在上海、北京研制成功。但由于电子元器件的质量和制造工艺水平低,致使数控系统的可靠性、稳定性问题没有得到解决,因此未能广泛推广。这一时期,数控线切割机床由于结构简单、使用方便、价格低廉,在模具加工中得到了推广。

20世纪80年代,我国先后从日本、美国等国家引进了部分数控装置和伺服系统技术。在引进、消化吸收的基础上,跟踪国外先进技术的发展,开发出了一些高档的数控系统,如多轴联动数控系统、分辨率为 $0.02\mu\text{m}$ 的高精度数控系统、灵敏数字仿形系统、为柔性单元配套的数控系统等。为了适应机械工业生产不同层次的需要,我国开发出了多种经济型数控系统,并得到了广泛的应用。现在,我国已经建立了中、低档数控机床为主的产业体系,20世纪90年代主要发展高档数控机床。

三、数控技术的发展趋势

随着计算机技术、测试技术、微电子技术,材料和机械结构各个方面的高速发展,国内外对数控技术的研究不断取得成果,并出现了新的发展趋势。

(1) 主控机向着多位的微处理器化发展。即越来越多的数控机床采用32位或64位微机,从而提高了数控系统的运算处理速度和能力。一般的数控系统都有远距离通信接口,高档系统还有分布式数字控制(DNC)接口,便于实现数据通信、联网与控制。

(2) 数控装置向着集成化和智能化的方向发展。新一代数控系统大量采用大规模及超大规模集成电路、表面安装技术,使整个系统小型化、经济、可靠,还引进了专家系统和知识库,增加了人工智能的功能,从而提高了排除故障的能力和加工精度。

(3) 数控系统采用了模块化结构。模块化和总线结构更加通用、方便,便于各种功能的综合和扩展。

(4) 数控编程图形化和自动化。无论是脱机编程,还是联机编程,其编程系统的功能更加强大。图形输入、轨迹生成与动态模拟等方法的采用,测量、编程、加工一体化的实现使数控编程更为方便、高效。

(5) 数控系统更加可靠。由于从数控系统的可靠性设计开始,实施了一整套的质量保证体系,采用了集成化结构、超大规模集成电路、表面安装工艺新技术等,使现代数控系统平均无故障时间已经达到了3万小时,可靠性大为提高。

(6) 数控机床加工过程中进行检测和监控越来越普遍。如采用红外线、超声波、激光检测装置,对刀具和工件进行在线检测等。若发现工件超差、刀具磨损、破损可及时报警。

(7) 自适应控制技术广泛应用。自适应控制的数控机床能随着加工过程中条件的变化自动调节工作参数,如伺服系统的参数、切削用量等,使加工过程达到或接近最佳状态。

本章小结

本章介绍了数控技术的一些基本概念,着重介绍了数控系统的基本组成和各组成部分的作用、数控系统的分类和适用场合,同时也概括介绍了数控系统的发展历史和发展趋势。通过本章的学习,应明确几点:

(1) 数控技术是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行自动控制的一种方法。用数字控制技术实现自动控制的系统称为数控系统。数控系统对机床的控制包括顺序控制和数字控制两个方面。

(2) 数控系统由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动控制装置、机床电器控制装置四部分组成。输入/输出装置主要用于输入数据和程序、显示及打印。数控装置是数控系统的核心,它的主要作用是根据输入的程序和数据,完成数值计算、逻辑判断、轨迹插补等任务,并输出相应的指令脉冲信号控制机床运动。伺服驱动控制装置的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。机床电器控制装置主要是对开关量进行处理,完成机床主轴的起/停、变速、变向,刀具的选择交换,工件的装夹和其他辅助功能。

(3) 数控系统可以按多种方式分类。按控制机床的运动轨迹分类,可以分为点位控制数控系统、直线控制数控系统和轮廓控制数控系统;按伺服控制方式分类,可以分为开环数控系统、半闭环数控系统和全闭环数控系统;按数控装置分类,可以分为硬件数控系统、计算机数控系统(CNC系统);按功能水平分类,可以分为高档数控系统、中档数控系统和低档数控系统。

(4) 数控系统的发展经历了电子管、晶体管、小规模集成电路、小型计算机和微处理

器五个阶段。目前,数控系统正朝着高可靠性、高精度、高速度、模块化、集成化、自动化和智能化方向发展。数控系统的应用也越来越广泛。

复习思考题

1. 什么是数控技术?什么是数控系统?数控系统有何特点?
2. 数控系统由哪几部分组成?它们的作用各是什么?
3. 点位控制、直线控制、轮廓控制的数控系统的主要区别是什么?
4. 开环、全闭环、半闭环数控系统的各组成部分有何区别?各适用于什么场合?
5. NC 系统和 CNC 系统的主要区别是什么?
6. 数控系统的发展方向主要有哪些?

第二章 计算机数控系统 (CNC 系统)

数控装置是数控系统的核心,采用计算机数控装置的数控系统称为计算机数控系统(CNC 系统)。现代数控系统无一例外的均为 CNC 系统。本章将对 CNC 系统的组成、功能、工作过程、硬件结构和软件结构进行比较全面的介绍。

第一节 概述

一、CNC 系统的组成

CNC 系统由硬件和软件共同完成数控任务。通过系统控制软件配合系统硬件,组织和管理数控系统的输入、数据处理、插补和输出,控制执行部件,使数控机床按照操作者的要求进行自动加工。CNC 系统的硬件包括中央处理单元 CPU、存储器 (ROM/RAM)、输入输出设备 (I/O)、操作面板、显示器和键盘、纸带穿孔机、可编程控制器等。CNC 系统通常由常驻在内部的数控系统软件实现部分或全部数控功能,从而对机床运动进行实时控制。只要改变计算机数控系统的控制软件就能实现一种全新的控制方式。软件和硬件的相互配合使得 CNC 系统的组织形式更加灵活,工作更加可靠,因此得到越来越广泛的应用。CNC 系统的结构框图如图 2-1 所示,采用可编程逻辑控制器 (PLC) 取代了机床电器控制装置。

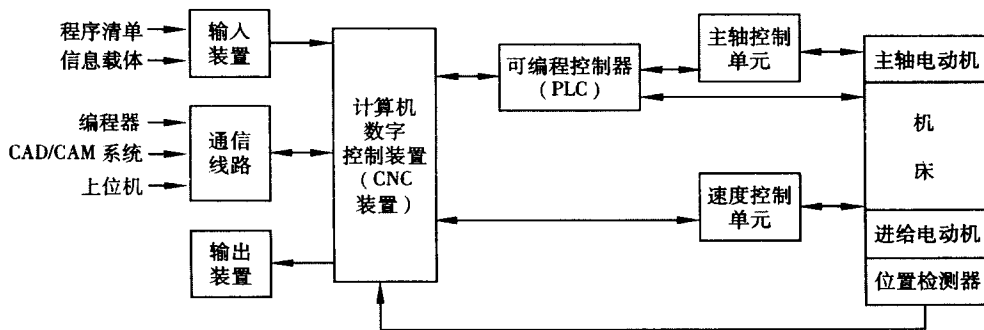


图 2-1 CNC 系统的结构框图

二、CNC 系统的功能

数控系统的功能通常包括基本功能和选择功能。基本功能是数控系统必备的功能,选