



21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI

数控机床电气控制

SHUKONG JICHUANG

DIANQI KONGZHI

李任江 / 主 编 ●



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社





21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI

数控机床电气控制

SHUKONG JICHUANG

DIANQI KONGZHI

李任江 / 主 编 ●



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社 长春

内 容 提 要

本书主要介绍数控机床电气控制技术中的基础知识,系统阐述了机床常用低压电器及电气控制的基本环节,伺服控制基础知识及驱动元件,传感器及检测装置,数控机床进给伺服系统,数控机床主轴控制系统,数控机床PLC控制和典型数控系统等的原理及应用,以适应数控技术的发展要求。

本书以数控原理为基础,以培养实践技能为目标,力求使读者通过学习,掌握数控机床电气控制原理、结构和基本设计方法,并具有一定的设计创新能力。本书层次清晰,重点突出,内容丰富,应用性强,不仅适合作为高等职业教育、大中专及职大数控技术应用专业和机电一体化专业的教材,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制/李任江主编. —长春:东北师范大学出版社, 2006.7

ISBN 978 - 7 - 5602 - 4607 - 9

I. 数... II. 李... III. 数控机床-电气控制-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071810 号

☐责任编辑:王宏志 ☐封面设计:宋 超

☐责任校对:曲 颖 ☐责任印制:张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春市人民大街 5268 号 (130024)

电话:0431—5687213 5691263

传真:0431—5691969

网址: <http://www.nenup.com>

电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

广告许可证:吉工商广字 2200004001001 号

东北师范大学出版社激光照排中心制版

制版热线:0431-5680137 0431-5693036 转 2098

吉林省吉新月历制版印刷有限公司印装

长吉公路南线 1 公里处(130031)

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:12.5 字数:289 千

印数:0 001 — 3 000 册

定价:16.00 元

如发现印装质量问题,影响阅读,可直接与承印厂联系调换

本书编者

主 审 王 华

主 编 李任江

副主编 程 凯

编 者 李任江 程 凯 岳晓峰

王立威 刘大力

前 言

现代数控技术集机械制造技术、自动控制技术、液压气动技术、传感器检测技术、信息处理技术、电子技术和网络通讯技术于一体，是现代制造技术的基础。随着数控技术的不断发展，数控机床的应用范围越来越广，目前，数控技术已成为现代制造领域不可缺少的技术和手段，并已创造出巨大的经济效益和社会效益。

数控机床尤其是电气控制的技术发展日新月异，相关技术人才的培养，成为当前高等教育和职业教育的当务之急。为满足实际教学的需要，结合编者长期教学积累下来的实践经验，编写了这本教材。

本书以数控原理为理论基础，以机床常用低压电器及电气控制的基本环节，伺服控制基础知识及驱动元件，传感器及检测装置，数控机床进给伺服系统，数控机床主轴控制系统，数控机床PLC控制和典型数控系统为主线，力求使读者通过学习，了解和掌握数控机床电气控制结构、原理及设计方法，并具有一定的数控机床电气控制设计创新能力。

本书第1章由李任江编写，第2章由李任江、岳晓峰、王立威编写，第3章由李任江、刘大力编写，第4章由李任江、程凯编写，第5章由李任江编写，第6章由程凯编写，第7章由李任江、王立威编写，第8章由刘大力、程凯编写。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

本书在编写过程中参考了相关文献资料，在此特向这些文献资料的作者表示深深的谢意。

本书由长春工程学院王华教授主审。

编 者

2006年9月

目 录

第 1 章 概 述	1
1.1 数控技术概述	1
1.2 数控机床电气控制简介	5
第 2 章 机床常用低压电器及电气控制的基本环节	14
2.1 机床常用低压电器	14
2.2 机床电气原理图画法规则	34
2.3 电气控制的基本环节	39
第 3 章 伺服控制基础知识及驱动元件	50
3.1 自动控制基础	50
3.2 运算放大器的应用	52
3.3 电力半导体器件	58
第 4 章 传感器及检测装置	63
4.1 检测装置的要求与分类	63
4.2 旋转变压器	65
4.3 感应同步器	66
4.4 光 栅	69
4.5 磁 栅	76
4.6 编码器	81
第 5 章 数控机床进给驱动系统	86
5.1 概 述	86
5.2 步进电动机	92
5.3 伺服电动机	101
5.4 进给伺服驱动系统	108

第 6 章 数控机床主轴控制系统	120
6.1 概 述	120
6.2 交流主轴电动机	122
6.3 交流主轴驱动系统	130
 第 7 章 数控机床 PLC 控制	139
7.1 PLC 概述	139
7.2 PLC 的组成及工作原理	142
7.3 FUNUC 系统 PMC 指令系统	148
7.4 FUNUC PMC 在数控机床中的应用	159
 第 8 章 典型数控系统	166
8.1 典型数控系统介绍	166
8.2 FUNUC Oi 数控系统	172
 附 录	183
参考文献	190

第 1 章

概 述

本章介绍了数控机床的发展概况和发展趋势，重点讲解数控机床电气控制系统的组成、分类、主要性能指标及发展概况等。通过本章学习，学生应重点掌握数控机床电气控制的基本概况及其技术发展特点。

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（computer 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）。

可见，数控机床是一种采用计算机，利用数字化信息进行控制的高效、自动化加工机床，是具有高附加值的技术密集型机电一体化设备。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机械制造业技术改造和技术更新的必由之路。

1.1 数控技术概述

1.1.1 数控技术的发展概况

从第一台数控机床诞生至今，50 多年以来，数控机床的核心——数控系统的发展经历了两个阶段和六代的发展。

1. 数控（NC）阶段（1952—1970 年）

早期的计算机运算速度低，这对当时的科学计算和数据处理影响不大，但不能适应机床实时控制的要求。于是，人们不得不采用数字逻辑电路，组成机床专用计算机。这

种数控装置称为硬件连接数控装置, 简称为数控 (NC)。随着电子元器件的飞速发展, 这个阶段又经历了三代: 1952 年开始的第一代——电子管计算机组成的数控装置, 1959 年开始的第二代——晶体管计算机组成的数控装置, 1965 年开始的第三代——小规模集成电路计算机组成的数控装置。

2. 计算机数控 (CNC) 阶段 (1970 年—现在)

1970 年研制成功了大规模集成电路, 并将其用于通用小型计算机。此时的小型计算机, 其运算速度比以往的计算机有了大幅度的提高, 比专用计算机成本低, 且可靠性高。于是, 小型计算机作为数控系统的核心部件, 数控机床进入了计算机数控 (CNC) 阶段。1971 年, 美国 INTEL 公司第一次将计算机的两个最核心的部件——运算器和控制器, 采用大规模集成电路制造技术将其集成在一块芯片上, 称为微处理器 (microprocessor), 又称为中央处理单元 (CPU)。1974 年, 微处理器应用于数控系统。

虽然早期的微处理器速度和功能对数控装置来说有局限性, 但可以通过多处理器结构来解决相应的问题。由于微处理器是通用计算机的核心部件, 故此时的数控系统仍称为计算机数控。到了 1990 年, PC 机 (个人计算机或称微机) 的性能已发展到很高的水平, 可满足数控系统核心部件的要求, 而且 PC 机的生产批量很大, 软件资源丰富, 价格便宜, 可靠性高, 数控系统从此进入了 PC (PC-Based) 阶段。

总之, 计算机数控阶段也经历了三代, 即 1970 年的第四代——小型计算机数控系统, 1974 年的第五代——微处理器组成的数控系统, 1990 年的第六代——基于 PC 的数控系统。

必须指出, 数控系统 50 多年来经历了两个阶段六代的发展, 只是发展到了第五代以后, 才从根本上解决了数控系统可靠性低, 价格昂贵, 应用很不方便等极为关键的问题。因此, 即使在工业发达国家, 数控机床大规模地应用和普及也是在 20 世纪 70 年代末 80 年代初的事情, 也就是说, 数控技术经过了近 30 年的发展才普及应用。

正如前述, 20 世纪 80 年代以后, 随着计算机技术的飞速发展, 数控系统的性能和品质也得到了极大的提高, 这时的数控机床一般称为现代数控机床。现代数控机床与以往的数控机床在加工精度与加工速度方面有着天壤之别。加工精度从 20 世纪 50 年代的 0.01 mm 到现在的 0.001 μm , 提高了 10^4 数量级; 加工速度从每分钟几十毫米提高到每分钟几十米, 提高了 10^3 数量级。数控机床的发展是制造技术发展的结果, 也是机床自动化技术, 特别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而形成的机电一体化产品的结果。现代数控系统的技术几乎覆盖了自动控制技术、电子技术、数字技术、通信技术、机械制造技术等诸多领域。

1.1.2 数控技术的发展趋势

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, 同时也对数控机床的数控系统、伺服驱动系统及主机结构提出了更高的要求。尤其是随着柔性制造系统的迅猛发展及计算机集成制造系统的兴起和不断成熟, 对数控机床的可靠性、通信功能、人工智能和自适应控制技术

的应用提出了更高的要求。归纳起来,数控机床的发展体现在以下几个方面:

1. 高速度、高精度化

现代 CNC 系统多采用 32 位 CPU,并向 64 位 CPU 发展,并且采用多微处理器并行技术,使运算速度和数据处理能力得到很大提高,插补运算和快速进给功能大为增强。64 位简化指令集(RISC)微处理器高速系统的采用,使运算速度成倍增加,使复杂形状零件的高速、高精度加工成为可能。

与高性能 CNC 系统相配合,现代数控机床采用交流数字伺服驱动系统。伺服驱动系统的位置环、速度环和电流环都实现了数字化,并采用现代控制理论,实现了不受机械负荷变动影响的高速响应伺服驱动。

新型 CNC 系统和伺服驱动系统的采用,使数控机床的进给速度和分辨力均得到很大提高。在 100~240 m/min 的进给速度下其位移分辨力可达 1 μm ,在 24 m/min 的进给速度下其位移分辨力可达 0.1 μm ,在 2.4 m/min 的进给速度下其位移分辨力可达 0.01 μm 。

现代数控机床还充分利用 CNC 系统的补偿功能(如反向间隙补偿功能、螺距误差补偿功能及热补偿功能等)来提高其加工精度和动态性能。

2. 更高的可靠性

现代机床 CNC 系统的模块化、标准化、通用化和系列化,便于组织批量生产,有利于保证产品质量。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,从而提高了可靠性。

通过完善的故障诊断功能,实现对系统内软硬件及外部设备的故障诊断和报警:利用报警提示及时排除故障,利用容错技术对重要部件采用“冗余”设计来实现故障自恢复,利用监控检测技术对发生超程、刀具损坏、过热、干扰、断电等各种意外情况自动进行相应保护,从而保证数控机床可靠地工作。

3. 更完善的自动编程技术

多微处理器并行技术的采用,使数控编程从离线编程发展到在线编程,即所谓的“前台加工,后台编程”。通过会话自动编程系统,不仅实现了在线零件加工程序的编制,还可以根据机床性能、工件材料及零件加工要求自动选择刀具及最佳切削用量,生成工艺路线,并实现切削仿真,大大提高了对复杂型面编程的效率。

4. 更高的通信功能

为了适应自动化技术的不断发展,适应工厂自动化规模越来越大的要求,为了使数控机床更易于进入柔性制造系统和计算机集成制造系统的控制网络中,机床数控系统的接口数据交换能力和通信能力在不断加强。目前,已通过配置的 RS-232, RS-422 串行接口实现了对伺服、计算机的数据交换。通过网络接口可以方便地实现网络连接。如 SIEMENS 公司的 Sinu—meric850/880 系统设置有 SINECHI 网络接口和 MAP 网络接口(SINECHI2 接口),通过网络接口可将数据系统连接到 SIEMENS 的 SINECHI 网络和 MAP 工业局域网络中。FANUC 公司的 FANUC 15 系统也配置了类似的网络接口,为了便于接入工业局域网,还可配置 MAP3.0 接口板。

5. 智能化

计算机软、硬件技术的发展及人工智能技术的发展促进了机床数控系统智能化的进

程。机床数控系统的智能化主要体现在:

(1) 将自适应控制应用于数控系统中, 构成自适应数控系统 (AC—NC system)。在自适应数控系统中, 把精细的程序控制和连续的适应调节结合起来, 使系统运行达到最优。其主要的追求目标是: 保护刀具和工件, 适应材料的变化; 改善尺寸控制, 提高加工精度, 保持稳定的质量; 寻求最高的生产率和最低的成本消耗; 简化零件程序的编制, 降低对操作人员经验和熟练程度的要求等。

(2) 故障诊断的智能化, 即数控系统内置实时诊断软件, 在数控机床整个工作过程中进行故障诊断并指导故障的排除。一旦发生故障, 除采用停机措施, 利用 CRT 进行故障报警, 提示故障发生的部位和原因外, 还可以利用“冗余”技术, 自动使故障模块脱机, 接通备用模块, 以满足无人化工作环境的要求。在故障诊断中, 除了采用专家系统外, 还将模糊数学、神经网络应用其中, 取得了良好的效果。

(3) 刀具寿命自动监控检测技术的应用, 即利用红外、声发射 (AE)、激光等检测手段, 对刀具和工件进行监控。发现工件超差, 刀具损坏, 及时报警, 自动进行补偿或更换备用刀具, 确保产品质量。

数控系统的智能化还包括零件加工程序编制的智能化, 这里不再赘述。

6. 数控系统的开放化

随着技术、市场、生产组织结构诸方面的快速变化, 对数控机床, 特别是数控系统提出了许多更新、更高的要求。

(1) 为了适应不断出现的新加工需求, 数控系统应具有更强的软、硬件重构能力, 而且重构成本要低, 周期要短。

(2) 为了适应未来车间面向任务和订单的生产组织模式, 使底层生产控制系统的集成更为简便、有效, 必须改变数控系统封闭型的设计模式。

(3) 为了适应机床制造厂家的不同需要, 数控系统应该具有高度的模块化, 可重新配置、修改、扩充和改装, 机床制造厂家和用户可以方便地将自己的成熟技术集成到数控系统中。

(4) 加强数控系统设计的规范化和标准化, 大幅度降低数控系统开发、维护、培训的成本和周期。

为了适应新需要, 寻求一种新的数控系统发展模式已成必然。美国、欧洲、日本针对数控系统面临的问题和数控系统开放化的必然趋势, 在自动化领域的开放式体系结构上做了不少开发研究工作。

美国政府为了增强其制造业的持久发展能力和国际市场的竞争力, 在 1989~1994 年间由国防部委托马丁—马瑞塔航天研究所 (Martin Marietta Astronautics) 开展 NCC 计划的研究。NCC 计划的主要技术课题是开放系统结构 (SOSAS) 和中性语言。可以说, NCC 计划标志着数控系统已经进入了开放化时代。美国三大汽车工业巨头 GM, Ford, Chrysler 与数控系统生产厂商合作, 开展 OMAC 项目的研究, 其目的是开展以 PC 为基础的开放式模块化数控系统, 实现开放性、模块化、可塑性和可维护性。

1991 年 10 月, 欧洲开始了 ESPRIT III 中的一项自动化系统中的开放式控制系统结构规范的研究计划, 即 OSACA 计划。

日本于 1994 年 12 月成立了通产省外围组织 IROFA（国际机器人及工厂自动化技术中心）下属的 NC 开放化政策委员会，有 11 家企业参加，以开放型 NC 装置的定义及参考模型(含接口等)的制作为主要研究课题。同年，由东芝机械、丰田工机、山崎、日本 IBM、三菱电机和 SML 发起成立了 OSE 研究会，其主要工作是制定开放式数控系统体系结构和安装规约，进行实验验证和标准化活动。

1.2 数控机床电气控制简介

1.2.1 数控机床电气控制系统组成

数控机床电气控制系统由数控装置（CNC）、进给伺服系统、主轴伺服系统、机床强电控制系统（包括可编程控制器控制系统和继电器接触器控制系统）等组成，如图 1-1 所示。

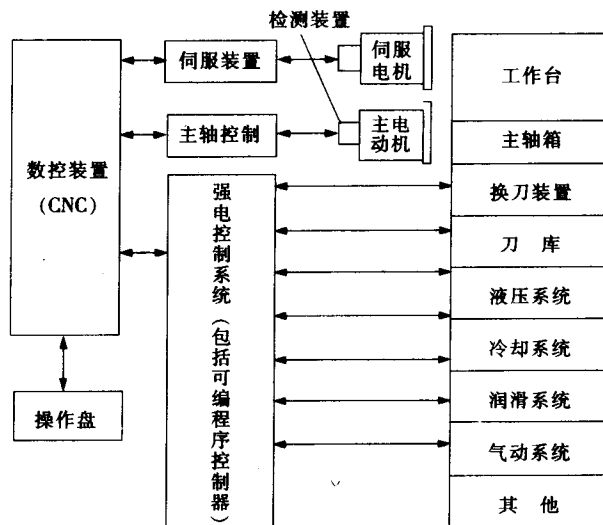


图 1-1 数控机床电气控制系统组成

数控系统（CNC）是数控机床的核心，是数控电气控制系统的控制中心，它能自动处理输入的数控加工程序并将数控加工程序的信息按两类控制分别输出，如图 1-2 所示：一类是坐标轴运动的位置控制，是由 CNC 控制的连续数字信息，送往伺服系统；另一类是数控机床运行过程的顺序控制，是由 PLC 实现的逻辑离散（开关量）信息，送往机床强电控制系统，最终实现 M（辅助）功能、S（主轴转速）功能和 T（刀具）功能，并对机床操作面板及各种开关进行控制，从而协调控制机床各部分运动，实现数控机床的加工过程。

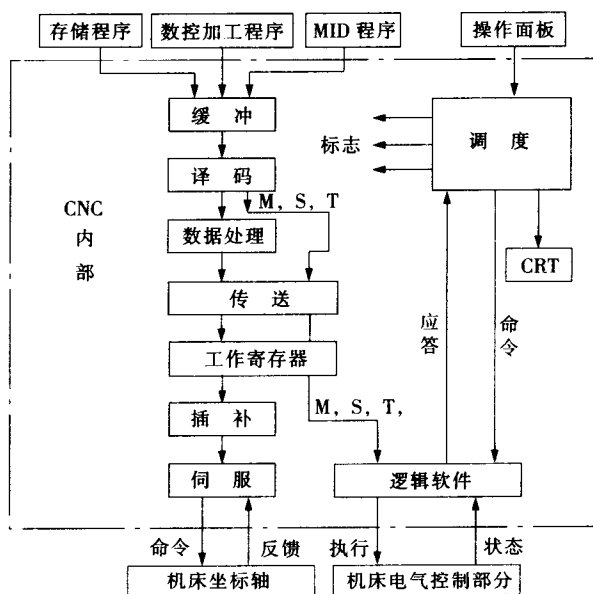


图 1-2 数控装置组成

伺服系统（SERVO）由伺服电动机（含检测装置）和伺服装置（或称伺服放大器）组成，分为进给伺服系统和主轴伺服系统。

进给伺服系统由进给轴伺服电机（一般内装速度和位置检测器件）和进给伺服装置组成。进给伺服系统驱动机床各坐标轴的切削进给，提供切削过程中所需要的转矩及运转速度。主轴伺服系统包括主轴电机（含速度检测器件）和主轴伺服装置，实现对主轴转速的调节控制，有的主轴伺服装置还含有主轴定向控制功能。

机床强电控制系统除了对机床辅助运动和辅助动作（包括电动系统、液压系统、气动系统、冷却箱及润滑油箱等）的控制外，还包括对保护开关、各种行程极限开关和操作盘上所有元件（包括各种按键、操作指示灯、波段开关）的检测和控制。在机床强电控制系统中，可编程控制器（PLC）可替代机床上传统的强电控制系统中大部分机床电器，从而实现对润滑、冷却、气动、液压和主轴换刀等系统的逻辑控制。

1.2.2 数控机床电气控制系统分类

数控机床电气控制系统的种类很多，虽然控制对象不同，但原理基本相似。

1. 按运动轨迹分类

(1) 点位控制系统

点位控制系统只是精确地控制刀具相对工件从一个坐标点移动到另一个坐标点，移动过程中不进行任何切削加工，点与点之间移动轨迹、速度和路线决定了生产率的高低。为了提高加工效率，保证定位精度，系统采用“快速趋近，减速定位”的方法实现控制。这类数控机床有数控钻床、数控镗床和数控冲床等。数控钻床点位控制如图 1-3 所示，A 孔和 B 孔的钻孔加工，可以按两种路线加工。

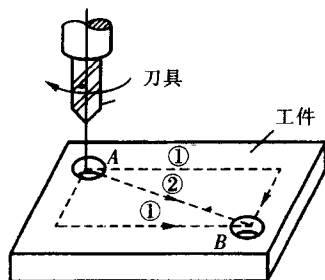


图 1-3 数控钻床点位控制

(2) 直线控制系统

直线控制系统不仅要求具有准确的定位功能，而且要控制两点之间刀具移动的轨迹是一条直线，且在移动过程中刀具能以给定的进给速度进行切削加工。

直线控制系统的刀具运动轨迹一般是平行于各坐标轴的直线。特殊情况下，如果同时驱动两套运动部件，其合成运动的轨迹是与坐标轴成一定夹角的斜线。这类数控机床有数控车床、数控镗铣床等。数控铣床直线控制如图 1-4 所示。

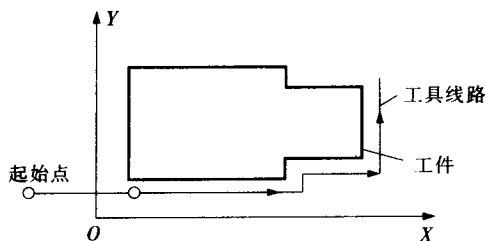


图 1-4 数控铣床直线控制

(3) 轮廓控制系统

轮廓控制系统能同时控制两个或两个以上的坐标轴，需要进行复杂的插补运算，即根据给定的运动代码指令和进给速度，计算刀具相对工件的运动轨迹，实现连续控制。这类数控机床有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、数控加工中心等。数控线切割机床轮廓控制如图 1-5 所示。

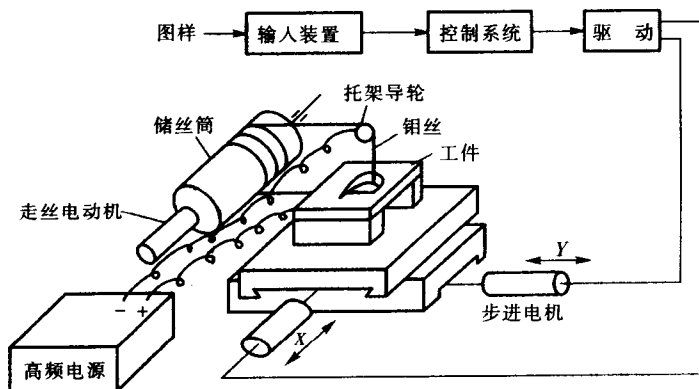


图 1-5 数控线切割机床轮廓控制

2. 按伺服系统分类

数控系统根据输入的程序指令及数据，经插补运算得到位置控制指令，并通过进给伺服系统完成各坐标轴的位置控制。伺服系统按控制方式来分，有开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。目前，数控机床上用得最多的是半闭环控制系统和闭环控制系统两种。

早期的数控机床采用电液伺服驱动的较多。当前，数控机床一般采用全电气伺服驱动系统，分为步进电机、直流电动机及交流电动机三大类，其中，步进电机用在一些要求不高的经济型数控机床上，直流伺服电机从 20 世纪 70 年代到 80 年代中期在数控机床中占据主导地位，目前大多数进给伺服系统采用的是交流伺服电机。

(1) 开环控制系统

开环控制系统没有检测反馈装置，以步进电机作为驱动元件，由步进驱动装置和步进电机组成，如图 1-6 所示。

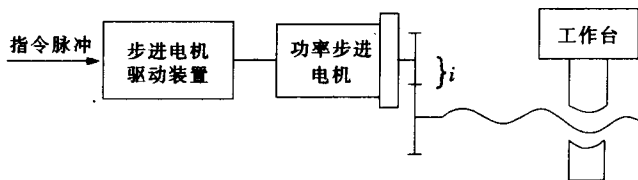


图 1-6 开环控制系统

在开环控制系统中，CNC 装置输出的指令脉冲经驱动电路进行功率放大，控制步进电机转动，再经机床传动机构带动工作台移动。这类系统结构简单，价格低廉，调试和维修都比较方便，但无位置闭环控制，精度主要取决于步进电机及传动机构的精度，因而精度较差。

(2) 半闭环控制系统

半闭环控制系统位置检测装置安装在电动机或丝杠轴端，通过角位移的测量，间接测量机床工作台的实际位置，并与 CNC 装置的指令值进行比较，用差值进行控制。半闭环控制系统以交、直流伺服电机作为驱动元件，由位置比较、速度控制、伺服电机等组成，如图 1-7 所示。

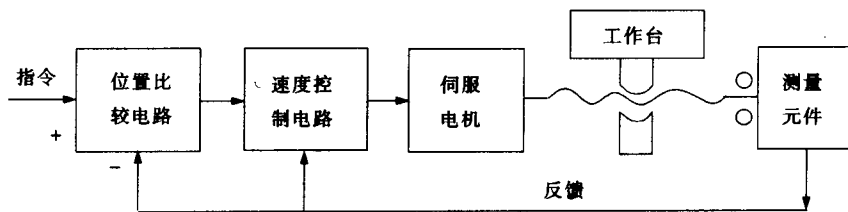


图 1-7 半闭环控制系统

半闭环控制系统只检测电机的旋转角度而不检测机械间隙等,所以整个位置系统位置环增益可以较大,且调试比较容易,稳定性较好。对部分环节造成的误差可以控制,精度比开环高,传动链上有规律的误差(如间隙及螺距误差等)可由数控系统加以补偿。但是传动机构的误差过大或其误差不稳定时,则数控系统难以补偿。

(3) 闭环控制系统

闭环控制系统位置检测装置安装在机床工作台上,直接测量工作台的实际位移,并与 CNC 装置的指令值进行比较,用差值进行控制。闭环控制系统以交流和直流伺服电机作为驱动元件,用于高精度设备的控制,如图 1-8 所示。

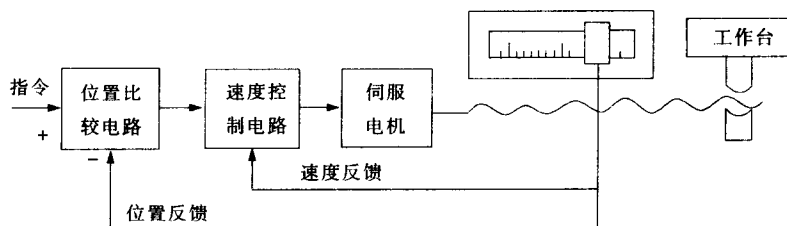


图 1-8 闭环控制系统

闭环控制系统直接从机床的移动部件上获取位置实际移动值,通过反馈控制,可调节全部传动环节造成的误差,其精度很高,检测装置的精度对系统的精度影响大。但由于在位置环中存在着延迟、间隙等非线性环节,因此影响系统的稳定性,调试较困难。

1.2.3 数控机床电气控制的主要性能指标

1. 数控机床的运动性能指标

(1) 数控机床的可控轴数和联动轴数

数控机床的可控轴数是指数控机床数控装置能够控制的坐标轴数量。数控机床可控轴数与数控装置的运算处理能力、运算速度及内存容量等有关。国外先进数控装置的可控轴数已经达到了 24 轴,目前我国数控装置可控轴数最多可达 6 轴。

数控机床的联动轴数,是指机床数控装置可同时进行运动控制的坐标轴数。目前有 2 轴联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等。3 轴联动数控机床能三坐标联动,可以加工空间复杂曲面。4 轴联动和 5 轴联动数控机床可以加工飞行器叶轮、螺旋桨等零件。

(2) 主轴转速

数控机床主轴一般均采用直流或交流调速主轴电动机驱动,选用高速轴承支承,保证主轴具有较宽的调速范围和足够高的回转精度、刚度及抗震性。目前,数控机床主轴转速已普遍达到 5 000~10 000 r/min,甚至更高。主轴的高转速有利于对各种小孔进行加工,提高零件加工精度和表面质量。

(3) 进给速度

数控机床的进给速度是影响零件加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素,它受数控装置的运算速度、机床运动特性、刚度等因素的限制。

(4) 坐标行程

一般数控机床坐标轴 X , Y , Z 的行程大小, 构成数控机床的空间加工范围, 即加工零件的大小。坐标行程是直接体现机床加工能力的指标参数。

(5) 刀库容量和换刀时间

刀库容量和换刀时间对数控机床的生产率有着直接的影响。刀库容量是指刀库能存放加工所需要刀具的数量。中小型数控加工中心多为 16~60 把刀具, 大型加工中心可达 100 把刀具。

换刀时间是指带有自动交换刀具系统的数控机床, 将主轴上使用的刀具与装在刀库上的下一工序需用的刀具进行交换所需要的时间。目前国内数控机床的换刀时间为 10~16 s, 国外先进数控机床换刀时间一般为 4~5 s。

2. 数控机床的精度指标

(1) 定位精度

定位精度是指数控机床工作台等移动部件移动到指令位置的准确程度, 即实际移动位置与指令要求位置的一致性, 移动部件实际位置与指令位置之间的误差称为定位误差。被控制机床坐标的误差 (即定位误差) 包括驱动此坐标轴控制系统 (伺服系统、检测系统、进给系统等) 的误差, 也包括移动部件导轨的几何误差等。定位误差将直接影响零件加工的位置精度。

(2) 重复定位精度

重复定位精度是指在同一条件下, 用相同的方法, 重复进行同一动作时, 控制对象到达同一指令位置的一致程度, 即在同一台数控机床上, 应用相同程序相同代码加工一批零件, 所得到的连续结果的一致程度, 也称为精密度。重复定位精度受伺服系统特性和进给系统的间隙、刚性以及摩擦特性等因素影响。

(3) 分辨率与脉冲当量

分辨率是指两个相邻的分散细节之间可以分辨的最小间隔。对数控机床电气控制系统而言, 分辨率是可以控制的最小位移增量, 其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。数控装置发出一个脉冲信号, 机床移动部件的位移量叫做脉冲当量。脉冲当量是设计数控机床原始数据之一, 目前普通精度级的数控机床的脉冲当量一般采用 0.001 mm/脉冲, 精密或超精密数控机床的脉冲当量采用 0.000 1 mm/脉冲。脉冲当量越小, 数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

1.2.4 数控机床电气控制发展概况

数控机床电气控制系统的发展与数控系统、伺服系统、可编程序控制器的发展密切相关。

1. 数控系统的发展状况

随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展, 数控系统的功能不断增多, 柔性不断增强, 性能价格比不断提高。当前数控系统正朝着以下几个方向发展:

(1) 高速度、高精度、高可靠性

随着微处理器位数和运算速度的提高, 数控系统的处理能力和处理速度也在大幅度提高, 使伺服电动机能够高速、准确地运转。另外, 主轴转速、刀具交换、工作台交换