



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

微机数控 技术及应用

WEIJI SHUKONG JISHU JI YINGYONG

李华志 主 编
郑 理 王显涛 副主编



电子科技大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

微机数控技术及应用

李华志 主 编

郑 理 王显涛 副主编

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

微机数控技术及应用 / 李华志主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2007.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-81114-501-4

I. 微… II. 李… III. 数控机床—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第121855号

内 容 简 介

本书是根据高职高专培养技术应用性专门人才的教学需要编写的。全书系统、全面地介绍了数控原理、数控装置、伺服系统、开放式数控系统及应用、数控系统的调试与维修等方面的知识。全书系统性、综合性强,前后各章节联系紧密;书中精选大量典型实例、图片,便于学习。在内容组织和编排上从理论到实践,由浅入深,图文并茂,通俗易懂。本书在保证基础、加强应用的基础上,内容涉及面宽,岗位针对性强,注重应用,面向实践,同时体现新知识、新技术、新方法。

本教材可作为高职高专的数控技术、机电一体化、应用电子技术、计算机控制专业,成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院机电类的教学用书,可供高等职业教育技能型紧缺人才培养选用,也可作为从事数控技术研究与应用的工程技术人员的参考书。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

微机数控技术及应用

李华志 主 编

郑 理 王显涛 副主编

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

责任编辑: 朱 丹

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都经纬印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 15.25 字数 371 千字

版 次: 2007年8月第一版

印 次: 2007年8月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-501-4

定 价: 23.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

前 言

制造业自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分，其核心技术是数控技术。数控技术是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物，其发展和应用的水平标志着综合的国力，它的出现及所带来的巨大效益，已引起了世界各国科技及工业界的普遍重视。由于数控技术在当代工业发展中具有十分重要的作用，几十年来，数控技术在国内外得到迅猛发展，同时也成为高职高专数控技术专业教学的重要专业课程之一。

本教材是根据高职高专学校电子机械专业指导委员会的统编教材规划并结合数控技术、机电一体化、应用电子技术等专业教学计划和课程大纲编写的。该教材于 2006 年被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，应国家“十一五”规划教材的要求，根据“高职高专教育以技能型、应用型人才培养为主，重在实践”的原则对教材进行了改编。为突出实用性，本教材以我国制造业使用最多的数控系统（FANUC、SIEMENS、华中数控系统）为主进行介绍，编写时采用典型系统的实际接线图为例进行详细的分析，让学生掌握实用的知识，培养学生的工程素质，满足专业课程改革的要求。在教材里列举大量的典型实例，通过大量实例的训练，提高学生解决实际问题的能力。随着数控机床的大量使用和高性能数控系统的开发，对学生在数控机床的维护和维修方面的知识要求也相应提高。为满足高职高专学校培养面向生产第一线的应用型人才的需要，在本教材中介绍了数控机床的维护和维修方面的技巧和经验，以提高学生处理和解决问题的能力。

全书系统、全面地介绍了数控原理、数控装置、伺服系统、开放式数控系统及应用、数控系统的调试与维修等方面的知识。本书共分 7 章，第 1 章介绍数控技术的基本知识，包括系统的概念、组成、工作过程、分类及发展；第 2 章介绍微机数控的基本原理，论述了轮廓插补原理、数控系统的刀具补偿原理、数控系统的进给速度和加减速控制；第 3 章主要讲述数控装置的软、硬件结构，系统的可编程控制器、输入/输出及其通信接口；第 4 章介绍了伺服电动机、数控系统的检测元件、进给伺服系统、主轴驱动系统；第 5 章以我国制造业使用最多的数控系统 FANUC、SIEMENS、华中数控系统为主进行介绍；第 6 章介绍了现代数控技术——开放式数控系统及应用；第 7 章介绍数控系统的调试与维修。作为教材，为帮助学生能更好地理解教学内容，每章后附有小结和习题。书中打“*”号的章节，作为选修内容，各校可根据学校的教学需要，灵活选用。

本书由李华志主编，其中绪论、第 1、2、6 章由成都电子机械高等专科学校李华志编写，第 3、5 章由成都电子机械高等专科学校郑理编写，第 4、7 章由成都电子机械高等专科学校王显涛编写，全书由李华志负责统稿和定稿，郑理、王显涛任副主编，由电子科技大学黄大贵教授、淮安信息职业技术学院盛定高副教授主审。

由于编者水平和掌握的资料有限，书中难免存在不妥之处，恳请各兄弟学校的专家和同行批评指正。

编 者
2007 年 5 月

目 录

绪论	1
第 1 章 数控技术的基本知识	3
§1.1 数控系统的基本概念	3
§1.2 数控系统的组成及工作过程	3
1.2.1 数控系统的组成	3
1.2.2 数控系统的工作过程	5
§1.3 数控系统的分类	6
1.3.1 按控制的运动轨迹分类	6
1.3.2 按控制原理分类	7
1.3.3 按数控装置的功能水平分类	9
§1.4 数控系统的发展	9
1.4.1 高精、高速、高效的加工	10
1.4.2 高可靠性	10
1.4.3 网络数控	10
1.4.4 加强标准化和开放性	10
1.4.5 智能化	10
本章小结	11
习题 1	11
第 2 章 插补原理及速度控制	12
§2.1 轮廓插补原理	12
2.1.1 概述	12
2.1.2 脉冲增量插补	13
2.1.3 数据采样插补	31
2.1.4 平面高次曲线插补简介	37
§2.2 数控系统的刀具补偿原理	39
2.2.1 刀具长度补偿	40
2.2.2 刀具半径补偿	41
§2.3 数控系统的进给速度和加减速控制	48

2.3.1 进给速度控制	49
2.3.2 加/减速度控制	51
本章小结	55
习题 2	56
第 3 章 数控装置	57
§3.1 数控装置的硬件结构	58
3.1.1 单微处理器结构	58
3.1.2 多微处理器结构	60
3.1.3 微机数控的硬件实现	66
§3.2 数控系统的软件结构	75
3.2.1 前后台型结构	77
3.2.2 中断型结构	81
§3.3 数控系统的可编程控制器 (PLC)	82
3.3.1 PLC 的工作原理	83
3.3.2 数控机床的 PLC	85
3.3.3 PLC 的程序编制	93
§3.4 输入/输出及其通信接口	100
3.4.1 常用输入/输出设备及接口	100
3.4.2 通信及网络接口	104
本章小结	108
习题 3	109
第 4 章 伺服系统	110
§4.1 概述	110
§4.2 伺服电动机	111
4.2.1 步进电动机	111
4.2.2 直流伺服电动机	116
4.2.3 交流伺服电动机	119
4.2.4 直线电动机	122
§4.3 数控系统的检测元件	124
4.3.1 概述	124
4.3.2 光栅位置检测装置	125
4.3.3 感应同步器检测装置	130
4.3.4 磁尺位置检测装置	133
4.3.5 编码器检测装置	137

4.3.6 旋转变压器	141
§4.4 进给伺服系统	143
4.4.1 进给伺服系统的要求	144
4.4.2 步进电动机进给伺服系统	145
4.4.3 直流伺服电动机调速系统	150
4.4.4 交流进给伺服系统	155
4.4.5 位置控制原理	160
§4.5 主轴伺服系统	163
4.5.1 主轴伺服系统的要求	163
4.5.2 主轴伺服系统	163
4.5.3 主轴的换挡及控制	168
4.5.4 主轴定向功能	170
本章小结	173
习题 4	174
第 5 章 典型数控系统介绍	175
§5.1 FANUC 数控系统	175
5.1.1 FANUC 公司的主要数控系统介绍	175
5.1.2 FANUC 0 系列	176
5.1.3 FANUC 0i 系列	182
5.1.4 FANUC16i/18i/21i 系列	185
§5.2 SIEMENS 数控系统	186
5.2.1 SIEMENS 公司的主要数控系统介绍	187
5.2.2 SINUMERK 840D 数控系统的组成及其功能	187
§5.3 华中数控系统	195
5.3.1 HNC-21 / 22 系统的主要功能及特点	195
5.3.2 HNC-21 数控系统主要部件的连接	196
本章小结	205
习题 5	205
*第 6 章 开放式数控系统及应用	206
§6.1 开放式数控系统产生的背景	206
§6.2 开放式数控系统的基本特征	207
§6.3 开放式数控系统的体系结构	209
§6.4 开放式数控系统的关键技术	218
本章小结	219

习题 6	219
*第 7 章 数控系统的调试与维修	220
§7.1 数控系统的验收、安装及调试	220
7.1.1 数控机床的验收	220
7.1.2 数控机床的安装与调试	222
§7.2 数控系统的维修	224
7.2.1 数控机床维修的基本知识	225
7.2.2 数控机床的日常维护	226
7.2.3 数控机床的故障维修	227
7.2.4 数控机床常见故障处理	231
本章小结	234
习题 7	234
参考文献	235

绪 论

本课程的性质、任务和内容

“微机数控技术及应用”是集计算机技术、现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、机电技术于一体的一门交叉学科，是现代制造技术的基础，是高职高专、本科院校机械类、机电类、近机类、特别是数控技术专业学生必须掌握的一门实用技术。课程性质是以制造自动化的必备设备——数控机床等典型数控设备为主要研究对象，研究数字控制系统的工作原理、组成及应用。它的任务是使学生掌握本专业所必需的数控技术方面的知识和基本技能，为今后从事数控机床的使用和维修，数控机床的安装、调试、维护保养及设备改造打下良好的基础。

本课程首先讲述数控技术的基本知识，它包括数控系统的基本概念、数控系统的组成及工作过程、数控系统的分类及数控系统的发展等方面的知识。从轮廓插补原理、数控系统的刀具补偿原理、数控系统的进给速度和加减速控制方面论述微机数控的基本原理。数控装置方面主要讲述数控系统的软硬件结构、可编程控制器、输入/输出及其通信接口等内容。伺服系统这一章的内容主要包括伺服电动机、数控系统的检测元件、进给伺服系统、主轴驱动系统。该课程还包括典型数控系统介绍、开放式数控系统及应用、数控系统的调试与维修等基本知识。“微机数控技术及应用”课程不仅具有较强的理论性，同时具有较强的实用性，是一门理论性与实践性都很强的课程。

数控技术在制造业中的地位、作用和发展状况

制造业是各种产业的支柱工业，数控技术是制造工业现代化的重要基础，直接影响到一个国家的经济发展和综合国力，关系到一个国家的战略地位。发展数控技术是当前制造工业技术改造、技术更新的必由之路。数控技术和数控机床是实现柔性制造和计算机集成制造的最重要基础技术之一，也是制造系统最基本的加工单元。随着微电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量技术的不断发展和迅速应用，在制造业中，数控技术和数控机床不断更新换代，向高速度、多功能、智能化、开放型以及高可靠性等方面迅速发展。当前柔性自动化是世界机械电子工业发展的趋势。数控技术的应用已成为衡量一个国家工业化程度和技术水平的重要标志。

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段，它的广泛使用给机械制造业的生产方式、产业结构、管理方式带来了深刻的变化，它的关联效益和辐射能力更是难以估计；数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，现代的CAD/CAM、FMS、CIMS等，都是建立在数控技术基础之上。数控技术是国际商业贸易的重要构成，发达国家把数控机床视为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品，世界贸易额逐年增加。因此，数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力的重要基础性产业，其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志，实现加工机床及生产过

程数控化,是当今制造业的发展方向。专家曾预言:机械制造的竞争,其实质是数控的竞争。

有鉴于此,发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本由于数控技术高度发展使其制造业迅速崛起,美国要挽回其失去的地位,欧洲要适应市场竞争的需求,从而以数控技术为主要标志的现代制造技术成了美国、日本和欧洲等工业国家竞争的焦点之一。日本、美国、意大利、西班牙、印度等国,都采用了一些扶持本国数控产业发展的政策措施。中国政府正积极汲取各国的有效措施,大力发展中国的数控产业,把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。数控技术在制造业的扩展和延伸所产生的辐射作用和波及效果对机械制造业的产业结构、产品结构、专业化分工方式、机械加工方式及管理模式、社会的分工、企业的运行机制等正带来深刻的变化,对国民经济的发展起着重要的促进作用。

本课程的教学要求

1. 掌握数控、数控系统,数控机床等基本概念,了解数控系统的组成及工作过程,数控系统的分类及发展。

2. 熟练掌握轮廓的插补原理和计算方法,即脉冲增量插补、数据采样插补,了解平面高次曲线插补的基本方法,了解数控系统的进给速度和加减速控制方法,掌握数控机床刀具补偿运算。

3. 掌握数控装置的硬件结构及数控软件的特点和结构及 PLC 控制,了解数控装置的输入/输出及其通信接口。

4. 了解伺服系统的组成和分类,熟练掌握步进电机及其驱动装置,一般了解交流电机的速度控制,了解机床进给伺服系统,掌握步进电机、直/交流伺服电机的工作原理、特性、调速方法及应用,熟悉数控机床常用的位置检测元件,了解感应同步器、磁尺、旋转变压器的结构与工作原理和应用,掌握编码器、光栅的结构与工作原理和应用。

5. 了解国内外常见的几种数控系统 FANUC 数控系统、SIEMENS 数控系统、华中数控的功能和特性。

6. 了解开放式数控系统产生的背景、基本特征、体系结构及关键技术。

7. 了解数控系统的调试与维修的基本方法。

第1章 数控技术的基本知识

§ 1.1 数控系统的基本概念

数字控制 (Numerical Control——NC), 简称为数控, 是一种自动控制技术, 是用数字化信号对机床的运动及加工过程进行控制的一种方法。数控机床就是采用了数控技术的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。

国际信息处理联盟 (International Federation of Information Processing——IFIP) 第5技术委员会, 对数控机床作了如下定义: 数控机床是一个装有程序控制系统的机床。该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。

定义中所提的程序控制系统, 就是所说的数控系统。数控系统 (Numerical Control System) 是一种控制系统, 它自动阅读输入载体上事先给定的数字量, 并将其译码, 从而使机床动作和加工零件。数控机床是一种高度机电一体化的产品。

自从1952年美国麻省理工学院伺服机构实验室研制出第一台三坐标数控铣床以来, 数控系统在制造业, 特别是在航天航空工业中被广泛地应用。数控技术无论在硬件或软件方面, 进展速度都很快。目前, 在市场上已见不到普通的数控 (NC) 机床, 即硬件数控机床, 取而代之的是计算机数控机床。计算机数控 (Computerized Numerical Control——CNC) 是一种数控系统, 在此系统中采用存储程序的专用计算机实现部分或全部基本数控功能。目前所说的数控, 一般均指计算机数控。

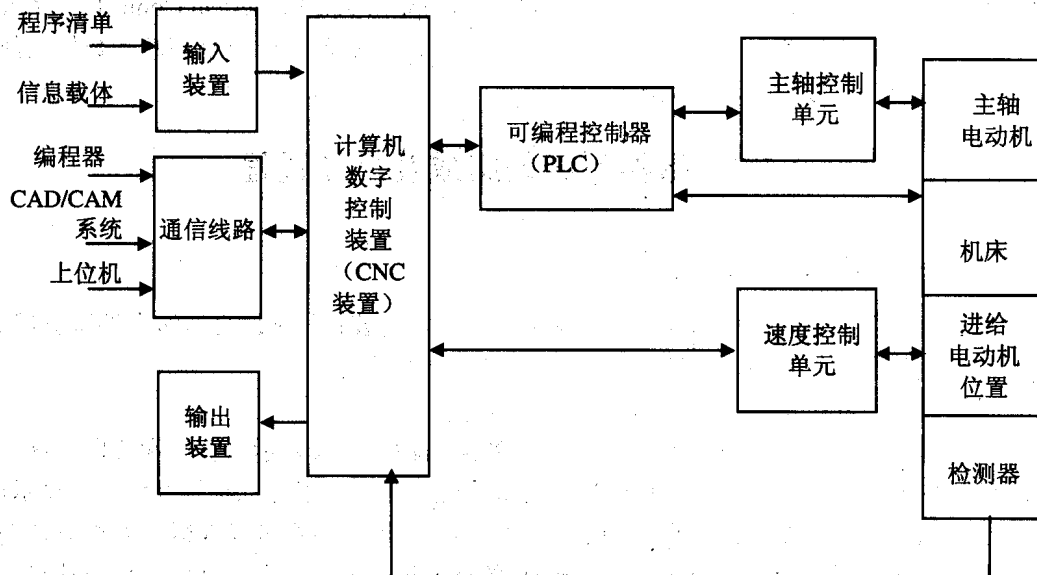
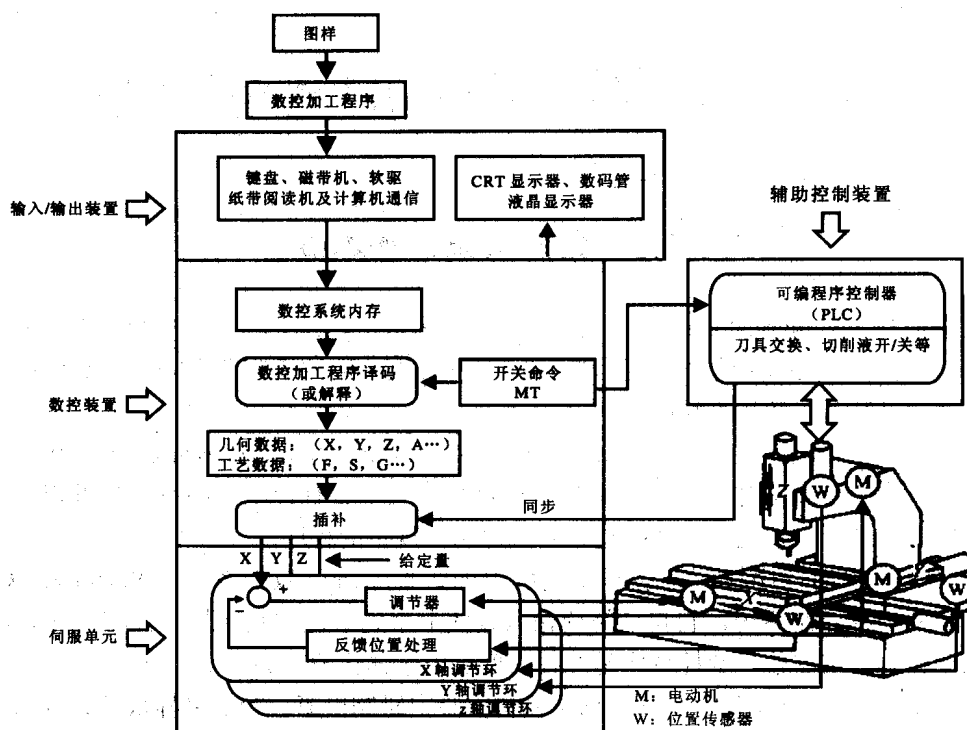
§ 1.2 数控系统的组成及工作过程

1.2.1 数控系统的组成

数控系统一般由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动装置和辅助控制装置四部分组成, 有些数控系统还配有位置检测装置, 如图1-1、图1-2所示。

1. 输入/输出装置

输入/输出装置主要实现程序编制、程序和数据的输入以及显示、存储和打印。这一部分的硬件配置视需要而定, 功能简单的机床可能只配有键盘和发光二极管 (LED) 显示器; 功能普通的机床则可能加上纸带阅读机和纸带穿孔机、磁带和磁盘读入器、人机对话编程操作键盘和视频信号显示器 (CRT); 功能较高的可能还包含有一套自动编程机或计算机辅助设计 / 计算机辅助制造 (CAD / CAM) 系统。



2. 数控装置

数控装置是数控系统的核心，由它完成有关信息的处理和控制在，并协调整个系统工作。它通常由一台通用或专用计算机构成。功能是接受输入装置输入的加工信息，经过数控装

置中的系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，发出相应的各种信号和指令给伺服系统，通过伺服系统控制机床的各个运动部件按规定要求动作。

3. 伺服系统

伺服系统是接受数控装置的指令，驱动机床执行机构运动的驱动部件（加主轴驱动、进给驱动）。它包括伺服控制电路、功率放大线路和伺服电机等。伺服电机常用的有步进电动机、电液马达、直流伺服电动机和交流伺服电动机。一般来说，数控机床的伺服驱动，要求有好的快速响应性能，能灵敏而准确地跟踪由数控装置发出的指令信号。

4. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制装置，可通过可编程程序控制器（PLC）来实现对机床辅助功能 M、主轴速度功能 S 和换刀功能 T 的逻辑控制。

5. 位置检测装置

位置检测装置与伺服装置配套组成半闭环和闭环伺服驱动系统。位置检测装置通过直接或间接测量将执行部件的实际进给位移检测出来，反馈到数控装置并与指令位移进行比较，将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动，以提高系统精度。

1.2.2 数控系统的工作过程

CNC 系统的主要任务是对刀具和工件之间的相对运动进行控制。

1. 正常工作前的准备工作

在接通电源后，CNC 装置将对数控系统各组成部分的工作状态进行检查和诊断，并设置初态。

对第一次使用的数控装置，还需要进行机床参数设置。如指定系统控制的坐标轴；指定坐标计量单位和分辨率；指定系统中配置可编程控制器的状态；指定系统中检测器件的配置；工作台各轴行程正负向极限的设置等。通过机床参数的设置，使 CNC 装置适应具体数控机床的硬件构成环境。

2. 零件加工控制信息的输入

CNC 系统具备了正常工作条件后，开始进行零件加工程序的输入。

根据管理形式不同，编程工作可以在专门的编程场所进行，也可在机床前进行。对前一种情况，可采用手工编程或者自动编程，产生的零件加工程序可采用信息载体（如纸带、磁盘），再通过输入装置输入到 CNC 装置或者采用通信方式直接传到 CNC 装置。对后一种情况，操作员直接用 CNC 装置本身的编辑器进行零件加工程序的编写和修改。

值得注意的是：加工前还要输入实际使用刀具的刀具参数、工件坐标系原点相对机床坐标系原点的坐标值。

3. 数控加工程序的译码和预处理

加工控制信息输入后，启动加工运行。此时 CNC 装置在系统控制程序的作用下，对其进行预处理，即进行译码和预计算（如刀补计算、坐标变换等）。

进行译码时，将其区分成几何的、工艺的数据和开关功能。几何数据是刀具相对工件的运动路径数据，如有关 G 功能和坐标字等，利用这些数据可加工出要求的工件几何形状。工艺数据是主轴转速（S 功能）和进给速度（F 功能）等功能参考。开关功能是对机床电器的开关命令（辅助 M 功能和刀具选择 T 功能），例如主轴启 / 停、刀具选择和交换、冷却

液的启 / 停等。

当编程时,一般不考虑刀具的实际几何数据,CNC 装置根据工件的几何数据和在加工前输入的实际刀具参数,进行刀具长度补偿和刀具半径补偿计算,简称刀补计算。为方便编程,CNC 系统中存在着多种坐标系,故 CNC 装置还要进行相应的坐标变换计算。

4. 插补计算

一个程序段的加工控制信息预处理完毕后,才能运行该数控加工程序进行插补处理。根据该程序段已知的几何数据、相应工艺数据中的速度信息,计算出该曲线段起、终点之间的一系列中间点,分别向各个坐标轴发出方向、大小和速度都确定的、协调的运动序列命令。一般按照插补结果,插补算法被分为脉冲增量插补法和数字增量插补法。前者的插补结果是分配给各个轴的进给脉冲序列,后者的插补结果是分配给各个轴的插补数据序列。

5. 位置控制

各个轴的伺服系统将插补结果作为各个轴位置调节器的指令值,机床上位置检测元件测得的位移作为实际位置值。位置调节器将两者进行比较,经过调节,输出相应的位置和速度控制信号,控制各轴伺服系统驱动机床各轴运动。通过各个轴运动的合成,产生数控加工程序所要求的工件轮廓和尺寸。

CNC 装置发出的开关命令送给 PLC,在系统程序的控制下,在各加工程序段插补处理开始前或完成后,开关命令和由机床反馈的回答信号一起被处理和转换为机床开关设备的控制命令,实现程序段所规定的 T 功能、M 功能和 S 功能。

CNC 系统在进行一个程序段的插补计算和位置控制的同时,又对下一程序段作译码和预处理,为逐段运行数控加工程序作准备。一个程序段加工完后,再进行下一程序段的插补计算和位置控制……直至整个零件加工程序执行完毕。操作人员取出加工好的工件,再装上一个工件毛坯,启动机床继续加工。

另外,在机床的自动运行过程中,CNC 系统要随时监视数控机床的工作状态,通过显示系统及时向操作者提供系统工作状态和故障情况。数控系统还要对机床操作面板进行监控,及时处理有关信号。

§ 1.3 数控系统的分类

目前,数控系统品种齐全,规格繁多,根据数控系统的基本原理,可按下列原则分类。

1.3.1 按控制的运动轨迹分类

1. 点位控制系统

点位控制系统又称为点到点控制系统。它只控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位,在移动过程中不进行控制和加工,对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度,一般先快速移动,然后进行 1~3 级减速,使之慢速趋近定位点,减少定位误差。这类系统的设备有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等,如图 1-3 所示。

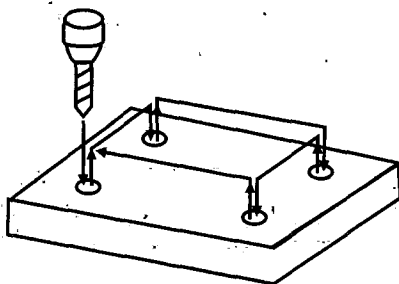


图 1-3 点位控制数控机床

2. 直线控制系统

直线控制系统能控制两点之间工具移动的轨迹是沿着平行于某一坐标轴方向（也包括45°斜线）的直线，且在移动中工具能以给定的速度进行加工。采用此类控制方式的设备有数控车床、数控镗铣床等，如图 1-4 所示。

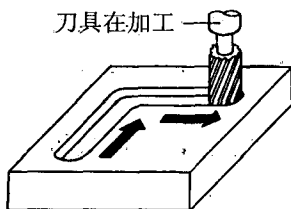


图 1-4 直线控制数控机床

3. 连续控制系统

连续控制系统又称为轮廓控制系统。这类系统能同时控制两个或两个以上坐标轴，对位移和速度进行严格的不间断控制。它具有插补功能、轮廓控制功能，即可以加工曲线或者曲面零件。采用此类控制方式的设备有数控铣床、加工中心、电加工机床等。现代数控机床绝大部分都具有三坐标或三坐标以上联动的功能，如图 1-5 所示。

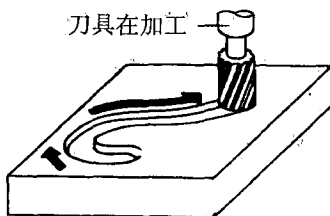


图 1-5 连续控制数控机床

1.3.2 按控制原理分类

1. 开环伺服系统

开环伺服系统通常不带有位置检测元件，伺服驱动元件多为步进电动机，输入的数据

经过数控系统的运算分配输出指令脉冲。指令脉冲控制步进电动机转动，再经过传动机构，使执行部件移动或转动。这种控制方式对执行机构的工作情况是不进行检测的，指令发出去不再反馈回来，称为开环控制，如图 1-6 所示。

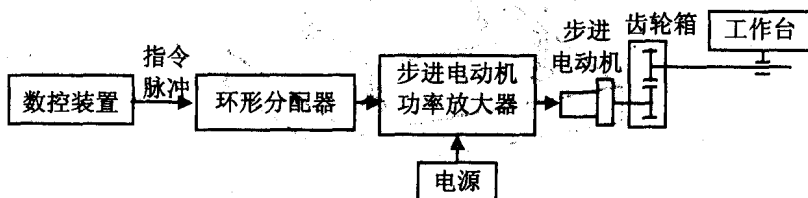


图 1-6 开环伺服系统

这种控制方式调试方便，维修简单，成本低，但控制的精度和速度受到限制，一般适用于精度要求不高的中、小型数控设备。

2. 闭环伺服系统

闭环伺服控制方式必须具备检测元件的条件，其控制系统如图 1-7 所示。检测元件直接安装在工作台上。当指令值发送到位置比较电路时，此时若工作台没有移动，没有反馈量，指令值使得伺服电动机转动，并带动工作台移动，此时检测元件将工作台实际位移量反馈回去，在位置比较电路中指令值进行比较，用比较后得到的差值进行控制，直至差值消除为止，这就叫做闭环控制。

这种控制方式的优点是精度高、速度快，但调试和维修比较复杂、成本高，一般用于运动速度和精度要求较高的大、中型数控设备。

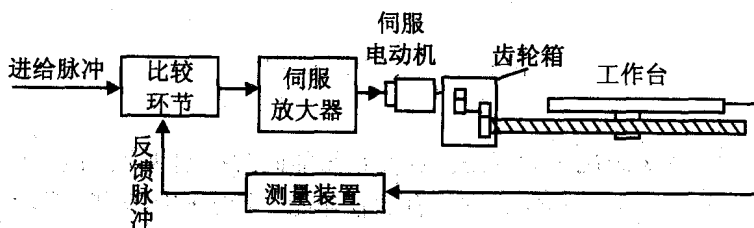


图 1-7 闭环伺服系统

3. 半闭环伺服系统

半闭环伺服系统如图 1-8 所示。这种控制方式对工作台的实际位置不进行检测，而是通过与伺服电动机有联系的检测元件间接测量出伺服电动机的转角，进而推算出工作台的实际位移量，用此值与指令值进行比较，用差值实现控制。从图 1-8 可以看出，由于工作台没有完全包括在控制回路内，带动工作台移动的滚珠丝杠误差不能补偿，因而称之为半闭环伺服系统。

半闭环伺服系统介于开环和闭环之间，精度比开环高，调试却比闭环容易，成本也较低，是广泛使用的一种数控系统。