

---

研究生教材

---

# 微机控制系统及其应用

(修订版)

---

武自芳 虞鹤松

---

西安交通大学出版社

---

## 内容提要

本书从应用角度出发,结合大量实例,采用软、硬件相结合的方法,系统地介绍了微机控制系统的组成、分类、接口技术及应用程序设计方法。并对 IPC 工业控制机、可编程控制器 PLC、嵌入式工业控制机 PC/104 等几种工业控制机进行了较系统的介绍。对当前在工业控制中应用较广泛的总线系统及通信手段进行了全面扼要的介绍。对新型控制技术集散控制系统及现场总线技术进行了简单的介绍,此外,对微机控制技术中广泛采用的可编程逻辑器件 PLD 的原理及应用也进行了介绍。为方便读者,在附录中还简要介绍了 MCS-51 单片机的组成及原理。

(陕)新登字 007 号

微机控制系统及其应用

(修订版)

武自芳 虞鹤松

责任编辑 潘瑞麟

\*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)3268316)

西安市德力彩印厂印装

各地新华书店经销

\*

开本 850×1168 1/32 印张:16.875 字数:428 千字

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~2000

ISBN 7-5605-1029-9/TP·185 定价:20.00 元

---

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话(029)3268357,3267874

## 《研究生教材》总序

研究生教育是为国家培养高层次人材的,它是我国高等教育的最高层次。研究生必须在本门学科中掌握坚实的基础理论和系统的专门知识,具有从事科学研究或承担专门技术工作的能力。这些要求具体体现在研究生的学位课程和学位论文中。

认真建设好研究生学位课程是搞好研究生教育的重要环节。为此,我们组织出版这套以公共课和一批新型单位课程为主的研究生教材,以满足当前研究生教学的需要。这套教材的作者都是多年从事教学、科研、具有丰富经验的教师。

这套教材首先着眼于研究生未来工作和高技术发展的需要,充分反映国内外最新学术动态,使研究学习之后能迅速接近当前科技发展的前沿,以适应“四化”建设的要求;其次,也注意到应有的基本理论和基本内容,以保持学位课程内容的相对稳定性和系统性,并具有足够的深广度。

这套研究生教材虽然从提出选题、拟定大纲、组织编写到编辑出版,都经过了认真的调查论证和细致的工作,但毕竟是第一次出版这样高层次的系列教材,水平和经验都感不足,缺点和错误在所难免。希望通过反复的教学实践,广泛听取校内外专家学者和使用者的意见,使其不断改进和完善。

西安交通大学研究生院  
西安交通大学出版社

# 目 录

## 第 1 章 计算机控制系统概述

- 1.1 自动控制系统的基本概念 ..... (1)
- 1.2 计算机控制系统的组成与分类 ..... (6)
- 1.3 微机控制系统的设计..... (15)
- 习题与思考题 ..... (21)

## 第 2 章 过程通道

- 2.1 过程通道中的普遍性问题..... (22)
- 2.2 模拟量输入通道..... (29)
- 2.3 A/D 转换器及接口技术 ..... (49)
- 2.4 V/F 转换器及接口技术 ..... (82)
- 2.5 模拟量输出通道..... (94)
- 2.6 开关量输入与开关量输出通道 ..... (112)
- 习题与思考题..... (120)

## 第 3 章 微机控制系统应用程序设计

- 3.1 编程方法概述 ..... (122)
- 3.2 过程监视程序 ..... (126)
- 3.3 数据处理程序 ..... (188)
- 3.4 控制算法程序 ..... (210)
- 3.5 控制装置执行机构的程序设计 ..... (229)
- 3.6 微机控制系统的抗干扰措施及自检程序 ..... (249)
- 习题与思考题..... (261)

## 第 4 章 可编程控制器 PLC

- 4.1 PLC 基本组成原理 ..... (263)
- 4.2 PLC 编程原理 ..... (277)

4.3	梯型图程序设计方法 .....	(292)
4.4	PLC 应用实例 .....	(301)
	习题与思考题.....	(321)
<b>第 5 章 工业控制计算机</b>		
5.1	概述 .....	(325)
5.2	IPC 机架结构及主机模块 .....	(329)
5.3	PCL-818 系列工控模块主要性能指标 .....	(331)
5.4	工业计算机控制系统应用示例 .....	(341)
5.5	可编程逻辑器件 PLD .....	(350)
	习题与思考题.....	(373)
<b>第 6 章 工业控制用总线及计算机通信基础</b>		
6.1	总线及其标准 .....	(376)
6.2	工业控制中的微机通信技术基础 .....	(395)
6.3	RS-232 ,RS-449 ,RS-422 ,RS-485 串行总线 接口标准 .....	(407)
6.4	嵌入式工业 PC 总线——PC/104 .....	(428)
6.5	工业控制用现场总线概述 .....	(440)
	习题与思考题.....	(453)
<b>第 7 章 集散控制系统</b>		
7.1	概述 .....	(454)
7.2	典型的集散控制系统举例 .....	(458)
7.3	现场总线控制系统 .....	(487)
	习题与思考题.....	(492)
<b>附录 I MCS-51 单片机简介</b>		
<b>附录 II 常用 EPROM 固化电压参考表</b>		
<b>参考文献</b>		

# 前 言

由于现代科学技术的发展,微型计算机的应用已深入到国民经济的各个领域,从家用电器、机电一体化产品到航空航天技术、人工智能、人体生物工程各个领域,微型计算机的应用都取得了巨大的社会效益和经济效益。在科学技术不断发展的今天,计算机的应用水平很大程度上决定了生产力的水平。对工科类研究生来说,掌握微型计算机控制系统的基本知识与应用开发技能,已是一项基本功。“微机控制系统及其应用”是研究生微机应用方面的提高课,旨在提高研究生设计、调试和应用微机控制系统的能力和水平。同时着眼于研究生未来的工作及高科技发展的需要,不仅顾及从事微机控制所需的基本理论和基本内容,而且尽量反映出在自动控制领域内最新的科学技术和学术动态,如现场总线技术、计算机通信技术及集散控制技术等。学习本课程,必须具备计算机的基础知识。作为教材的《微机控制系统及其应用》全书内容可分为如下几个部分:

第1~3章为微机控制技术的基础,主要介绍微机控制系统的组成及基本概念、过程通道在微机控制系统中的作用、控制程序设计的方法和技巧。

第4、5、7章主要介绍可编程序控制器 PLC,工业控制计算机 IPC 及集散控制系统 DCS 的工作原理、基本组成及应用范围、组态方法及编程;并对可编程逻辑器件 PLD 的组成及编程原理进行了简明扼要的介绍。

第6章作者对工业控制用总线,如 PC/104 总线、现场控制总线、RS-485 总线等进行了简要的介绍,同时介绍了计算机通信的基础知识。旨在使学生对控制领域中的新知识有所认识和提高,

研究生可根据需要选学不同的部分。

“微机控制系统及其应用”课是实践性较强的课程。为了加强实践知识和应用能力的培养,本门课对实践环节的安排较多。实验学习在总学时中(约90学时)占有一定的比重。

1991年5月,在西安交通大学举行的由清华大学、浙江大学、东南大学、华中理工大学和西安交通大学五所院校参加的研究生“微型计算机控制系统及其应用”类课程教学研讨会上,代表们认为本教材“内容上除基础内容外分专题讲授,学生可根据需要选学其中某些专题的做法较好,适合研究生选课的需要”。本书是在1993年版的基础上,根据科学技术发展的需要,进行了大量删改,70%以上的内容都进行了改动,不仅满足微机控制系统课程教学的需要,而且反映了学科发展的前沿技术。

本书由武自芳、虞鹤松同志主编,其中第1章及附录由薛均义同志编写;第2、3、6章由武自芳同志编写;第4、5章由虞鹤松同志编写;第7章由姚燕南同志编写。

张良祖、王鹏光等同志对本书的内容提出了不少意见和建议,作者深表感谢。

西安交通大学研究生院及凌永祥、姚天祥副院长对本课程的建设及教材的出版十分重视,给予热情的指导和有力的支持。本书承西安交通大学施仁教授审阅了全稿,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。作者还感谢西安交通大学出版社领导及有关同志的大力协助,使得本书能及时出版。

由于作者水平和经验所限,书中难免有不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编著者于西安交通大学

1997.11

# 第 1 章 计算机控制系统概述

电子计算机在生产、科研及国民经济领域中正发挥着越来越重要的作用,并影响着社会生产和生活的各个方面。特别是 70 年代初推出的微型计算机以其高性能、低价格、高可靠性使计算机在工业自动化领域中获得了广泛应用。如果没有计算机,一些尖端技术的发展和现代化控制系统的实现都是难以想象的。因而可以说计算机应用的深度、广度是衡量一个国家现代化水平的重要标志之一。

计算机目前主要应用于科学计算、数据信息处理和实时控制三大领域。计算机控制系统是利用计算机来实现生产机械或过程自动控制的系统,是一种把计算机硬、软件技术与自动化技术相结合的一种应用技术。计算机控制系统属于离散控制系统,但连续控制系统的基本理论与实践经验仍是计算机控制系统的基础。连续系统中的很多分析方法,其结论仍可应用于离散系统。

本章主要对计算机控制系统的组成、分类、设计步骤作扼要介绍。

## 1.1 自动控制系统的基本概念

为了提高控制质量,系统常采用闭环负反馈结构,这种反馈控制系统的组成框图如图 1.1 所示。

在反馈控制系统中,通过检测装置(仪表)获取输出变量,将此值与给定值相比较后,由校正装置(控制器)按偏差进行某种控制

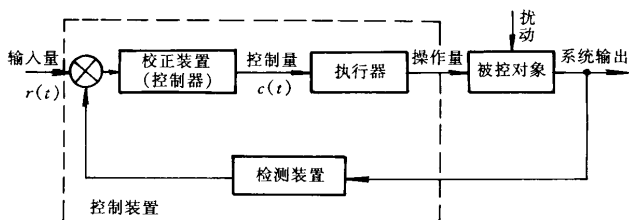


图 1.1 典型反馈控制系统结构框图

运算,最后由执行器将控制操作量作用于被控对象,以消除偏差。这种利用偏差,以减小或最终消除偏差的方法是反馈控制系统的基本控制原理。

在控制系统中如给定值是恒定不变的,则此系统称为定值控制系统。有的控制系统中给定值不为人们所预知,但要求系统输出量既能迅速地跟随给定值的变化,又能克服扰动量对系统的影响,这类系统称为随动系统。如果系统的控制变量,其变化规律为已知函数,并被事先确定,这类系统称为程序控制系统。

从广义来说,系统的给定信号和扰动都可以看作系统的外作用信号。给定信号决定着系统输出量的变化,而扰动信号是系统不希望有的外作用,它破坏给定信号对系统输出量的控制。但在实际系统中,扰动是不可避免的。如电源电压波动,负载大小的变化,温度、压力的变化等都是实际存在的扰动。通常说的系统的输入信号,一般是指给定信号。

系统在没有外作用时,处于平衡状态。当系统受到外作用时,其输出量会发生相应的变化。由于系统中总是包含有惯性及储能元件,因此输出量不可能立即变化,而必然有一个过渡过程。当外作用不同时,其过渡过程也不同。过渡过程又称为响应特性。在工程设计中常用的外作用函数有阶跃函数、斜坡函数、脉冲函数以

及正弦函数等。其中阶跃函数是实际工作条件下经常遇到的一种外作用函数。因此,在控制系统的分析设计中,以阶跃函数作为系统的外作用函数,观察此时系统的响应特性是评价系统控制质量的常用方法。图 1.2 是常用的各典型环节当输入为阶跃函数时,其输出响应特性曲线,而实际系统是一些典型环节的组合。衡量自控系统控制质量的主要指标是系统工作的稳定性、准确度(稳态精度)和快速性,即稳、准、快。

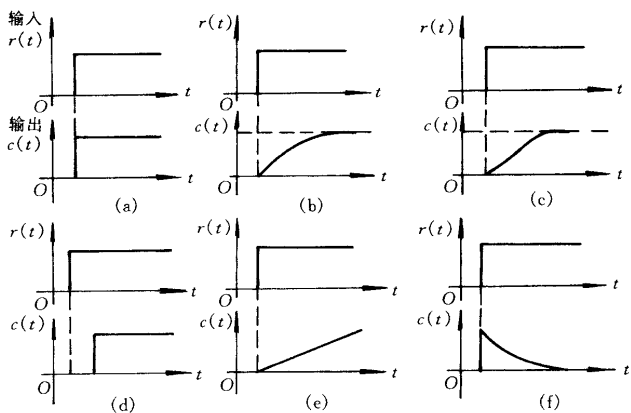


图 1.2 各典型环节的阶跃响应特性

(a)比例环节 (b)一阶惯性环节 (c)二阶惯性环节;  
(d)纯滞后环节 (e)积分环节 (f)微分环节

当阶跃信号作用于系统时,系统输出可能出现的过渡过程曲线如图 1.3 (a)所示。如果系统输出  $c(t)$  随着时间  $t$  趋向于稳定(曲线 1、2)则称这类系统是稳定的。反之  $c(t)$  随着时间而发散(曲线 3),则系统不可能达到平衡状态,这类系统称为不稳定系

统。不稳定的系统在工程实际中是不能应用的。

准确性是指控制系统的稳态精度。系统要求的输出值与系统稳态的实际输出值之差叫稳态误差。误差小表明稳态精度高。故准确性是评价系统控制质量的又一个重要性能指标。

对稳定的系统,在阶跃函数作用下,系统的响应特性曲线一般如图 1.3 (b)所示。在评价系统的动态性能时,规定了如下指标:

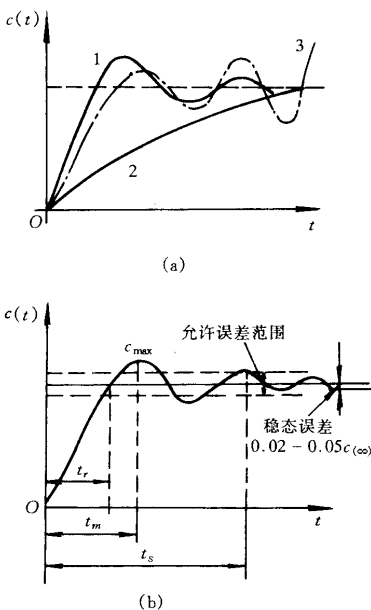


图 1.3 系统过渡过程和响应曲线

(a) 过渡过程曲线 (b) 阶跃响应

(1) 最大超调量或超调量  $\delta\%$  超调量是指在过渡过程中,

被控制量的最大值超过稳态值的百分数,即

$$\delta\% = \frac{c_{\max} - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (1.1)$$

式中  $c_{\max}$ ——过渡过程曲线第一次达到的最大输出值;  
 $c(\infty)$ ——过渡过程曲线的稳态值。

一般情况下,要求  $\delta\%$  值在  $3\% \sim 5\%$  之间,过渡过程曲线到达第一个峰值所需的时间,称为峰值时间  $t_m$ 。

(2) 上升时间  $t_r$  此时间是指曲线由零第一次上升到稳态值的时间。对于无振荡的系统,则将过渡过程曲线由稳态值的  $10\%$  上升到  $90\%$  的时间,称为上升时间。

(3) 过渡过程时间或调节时间  $t_s$  输出量  $c(t)$  与稳态值  $c(\infty)$  之间的偏差达到允许范围(一般取  $2\% \sim 5\%$ )并维持在此允许范围内所需的时间,称为过渡过程时间或调节时间。

(4) 振荡次数  $N$  振荡次数是指在调节时间  $t_s$  内,输出值偏离稳态值的振荡次数。

上述几项指标中,上升时间  $t_r$  及调节时间  $t_s$  标志着系统过渡过程的快速性,而超调量  $\delta\%$  及振荡次数  $N$  标志着过渡过程的稳定性。但应注意调节时间  $t_s$  同时也受系统稳定性的影响。而稳态误差是过渡过程结束后表征系统稳态精度的性能指标。

为了稳定系统,减小静差,并保证有良好的过渡过程特性,必须对系统进行校正。在生产过程控制中常用能实现比例、积分、微分控制作用的 PID 模拟调节器,用以改善系统的性能。在计算机控制系统中,也可以采用连续控制理论去设计计算机控制所用的控制算法。其中 PID 离散控制算法也是常用的较为有效的控制算法。这种用连续控制理论设计的控制算法,其控制效果最多可达到连续系统控制的效果。由于计算机可以进行多路控制,并还有其它逻辑控制等功能,因而从整体性能价格比看,这种以模拟控制算法为基础的离散化方法仍是非常有效及实用的。应注意这种离散化方法的前提条件是采样周期应比被控对象的时间常数小一

个数量级以上。否则误差太大,必须用数字控制的离散设计法,以保证系统的稳定及较高的控制质量。

对于单变量系统,常用的离散设计法主要有:

- (1) 解析法 靠变换传递函数来达到所期望的闭环特性;
- (2) 根轨迹法 在  $Z$  平面上,利用根轨迹法设计控制器;
- (3)  $W$  平面法 利用伯德图、奈魁斯特和尼柯尔斯图设计控制器。

对于多变量系统,通常采用状态空间或传递函数矩阵表示系统,用离散化方法将连续的状态空间模型或传递函数矩阵化为离散模型,设计相应的算法,如解耦控制、自适应控制、最优控制等各种算法。这些都是数字控制系统理论所论及的问题,在此不多介绍。

## 1.2 计算机控制系统的组成与分类

### 1.2.1 一般概念

将反馈控制系统中的比较器和控制器用计算机来代替,就组成了一个典型的计算机控制系统,如图 1.4 所示。

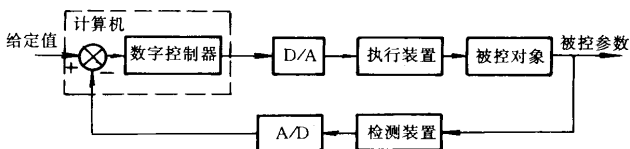


图 1.4 计算机控制系统基本框图

由于计算机只能对数字量进行比较运算,所以给定量和反馈量都应是数字量。反馈量要通过  $A/D$  转换将模拟量转换成数字量。计算机接收了给定量和反馈量后,让主机对偏差值进行算术

与逻辑运算,再输出运算结果,输出量应经 D/A 转换将数字量转换成模拟量输出到执行机构,调节相应的被控参数,从而达到控制目的。

上述过程应不断重复,以使整个系统能按一定的动态(过渡过程)指标进行工作。由于计算机具有逻辑判断、记忆、快速运算的功能,因此可以对被控量和设备本身所出现的异常状态及时进行监督,并迅速作出处理,这就是计算机控制系统最基本的功能。

### 1.2.2 计算机控制系统的组成

微型计算机控制系统是实时控制系统,它由硬件和软件两部分组成。

#### 1. 硬件部分

一般由被控对象(生产机械或生产过程)、过程通道、微型计算机主机及人机联系设备等部分组成,如图 1.5 所示。

(1) 微型计算机主机 由微处理器、内存储器及时钟电路组成的微型计算机主机是控制系统的核心。主机的任务主要是进行数据采集、数据处理、逻辑判断、控制量计算、越限报警等。同时主机还通过接口电路向系统的各个部分发出各种控制命令,指挥整个计算机控制系统有条不紊地协调工作。

考虑到实时控制的特点,选择主机时应注意其数据存取速度及运算速度,应满足在一个采样周期内能完成单路或多路数据采集、处理、运算及将输出量输出到执行机构等所需的时间。其信息处理能力要与控制系统的动态性能要求相适应。

目前,计算机控制系统中常用的微处理器有以下几种:

① 8 位微处理器 典型产品有 MCS-51 系列单片机、Intel 8085、M6800、 $\mu$ 80 等。

② 16 位微处理器 典型产品有 MCS-96 系列单片机、8086、80186、80286、68000、 $\mu$ 8000 等。

③ 32 位微处理器 典型产品有 80386、80486 等。

④ 64 位微处理器 典型产品有 Pentium 等。

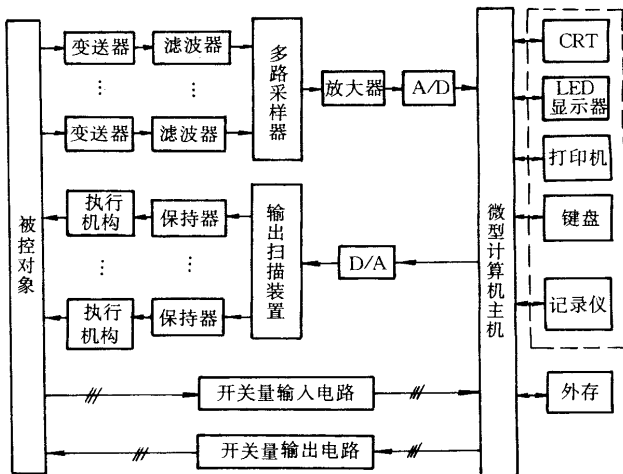


图 1.5 微型计算机控制系统组成框图

工业控制用计算机的内存贮器主要包括 ROM, EPROM, E<sup>2</sup>PROM 及激光盘 CD-ROM(用来存放固化的系统软件、应用软件及常用的表格数据)及 RAM(用来存放操作数、运算参数及运算结果等),为使控制用参数数据不致因掉电而丢失,通常 RAM 应加掉电保护装置。

(2) 过程通道 过程通道是计算机和被控对象之间交换信息的桥梁,通常由以下几部分组成。

① 模拟量输入通道 用来将被控对象的模拟量被控(或被测)参数转变为数字信号并送计算机,它由以下几部分组成。

\* 传感器(检测元件) 用来对被控参数瞬时值进行检测,将其变为电信号。

\* 变送器 用来将传感器得到的电信号转变为统一的直流电流(0~10mA 或 4~20mA)或直流电压(0~5V 或 1~5V)信号。

\* 多路采样器 亦称多路模拟开路或多路转换器,它用于对多路模拟量信号进行分时切换,即将时间上连续的模拟量信号转换为时间上离散的模拟量信号。

\* A/D 转换器 用于将时间上离散的模拟量信号转换成时间上离散的数字信号,并送入主机中处理。为减小被控参数值随时间变化对 A/D 转换器精度的影响,可在多路采样器之后加接采样保持器和信号放大器。其中放大器的作用是把输入的微弱信号(当没有变送器时)放大到 A/D 转换器所要求的输入电平,并在模拟量输入信号和 A/D 转换器间进行阻抗匹配和隔离。

② 模拟量输出通道 目前工业生产中使用的执行机构,其控制信号基本上是模拟的电压或电流信号。因此计算机输出的数字信号必须经 D/A 转换器变为模拟量后,方能去控制执行机构。对于气动或液动的执行机构,尚需经过电-气或电-液转换装置。当控制多个回路时,还需要使用多路输出装置进行切换。考虑到每个回路的输出信号在时间上是离散的,而执行机构要求的是连续的模拟量信号,所以多路输出的信号都应采用输出保持器加以保持后再去控制执行机构。

③ 开关量输入通道 用于将生产现场的各种继电器、限位开关等的状态(通或断)输入计算机。

④ 开关量输出通道 控制系统中继电器、接触器的闭合或断开,电机的启动、停止,指示灯和报警信号的通断,都可以用输出“0”和“1”状态来控制。完成这些功能的部件就组成了开关量输出通道。

由上可知,过程通道由各种硬件设备组成,它们起着信息变换和传递的作用,配合相应的输入、输出控制程序,使主机和被控对象间能进行信息交换,从而实现对生产机械、过程的控制。

(3) 人机联系设备 在微机控制系统中,一般应有一个控制

台(或操作面板),以便操作人员能和计算机系统“对话”,使操作人员及时了解生产、加工过程的状态,进行必要的人为干预,修改有关参数或紧急处理某些事件。为此,控制台应包括如下三部分。

① 作用开关 如电源、数据及地址的选择开关,自动-手动切换开关等。它们通过接口可与主机相连,以完成对主机启动、暂停,对系统的启停,对参数或数据修改,对工作方式、算法,控制方式进行选择等功能。

② 操作键盘(按键) 一般应包括数字键及功能键。数字键用来送入某些数据或参数。功能键能使主机进入功能键所代表的功能服务程序,如启动、复位、打印、显示等功能服务程序。

③ 显示屏(CRT)或数码显示器 简易的系统可采用LED显示器。较复杂的,功能要求齐全的则可采用CRT,以显示操作人员所要了解的内容或监视系统的工作进程及画面显示等。

④ 打印机及记录仪 用来打印和记录各种数据、参数及曲线。

微机控制系统的复杂程度及其硬件组成差别很大,可根据实际情况进行选择。目前,国内市场上具有各种通用功能并基于标准总线的插件板已是琳琅满目,最为流行的有基于STD标准总线和PC标准总线的工控机和各种插件板。

## 2. 软件部分

以软件的功能来分可分为系统软件和应用软件。微机的系统软件包括操作系统和支持软件。操作系统是计算机控制系统信息的指挥者和协调者,并具有数据处理、硬件管理等功能。而监控程序则是最初级的操作系统。支持软件包括程序设计语言,编译程序,服务、诊断程序等。以上系统软件一般由厂家提供。但对于小规模微机应用系统,其监控程序规模不大,则可由应用人员自行编制。

应用软件一般指由用户根据需要自己编制的控制程序、控制算法程序以及一些服务程序等。用户用何种语言编写应用程序,