

自动控制综合应用技术

——嵌入式控制器、PLC、变频器、
触摸屏、工控机、组态软件的综合应用

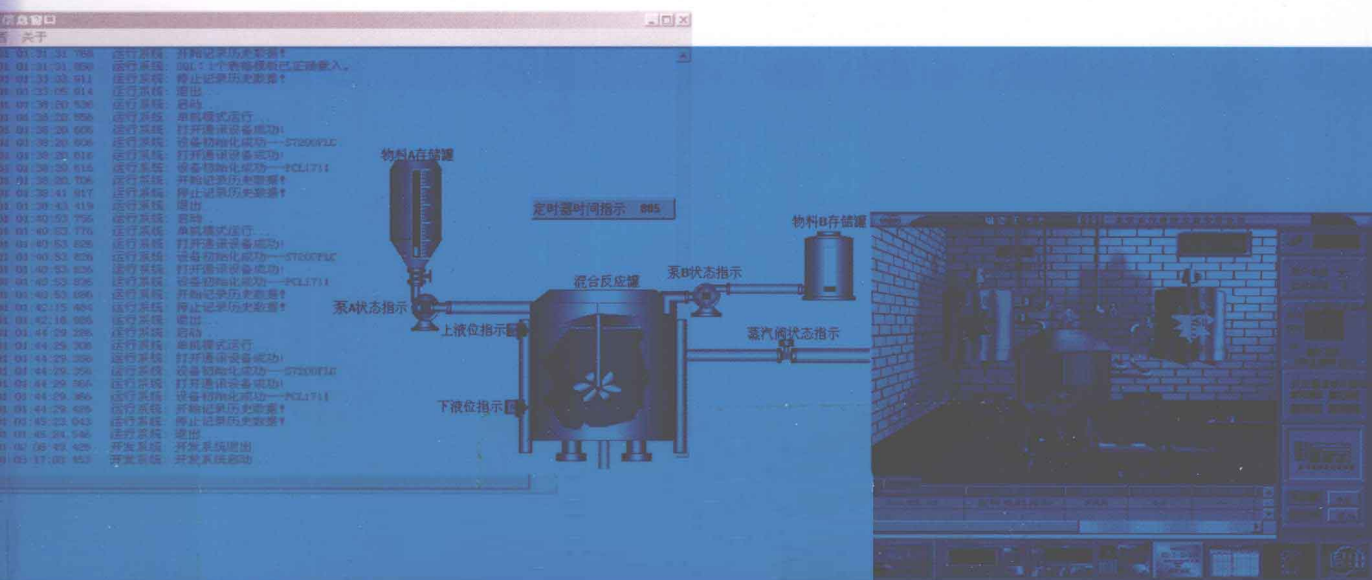
第2版

主 编 魏克新

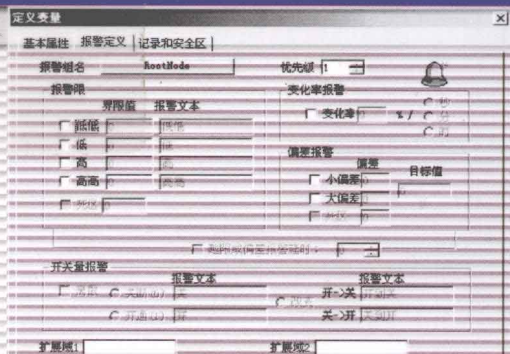
副主编 赵 钢

参 编 赵 影

黄孙伟 冷建伟 吴作明



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



自动控制综合应用技术

——嵌入式控制器、PLC、变频器、 触摸屏、工控机、组态软件的综合应用

第 2 版

主 编 魏克新
副主编 赵 钢
参 编 赵 影 黄孙伟
冷建伟 吴作明



机械工业出版社

前言

随着我国现代化建设的快速发展,自动化控制技术在各个领域的应用范围不断扩大,并正以日新月异的速度更新换代。然而,对于自动化、电气工程及其自动化、机电一体化等相关专业的学生而言,目前关于自动化综合应用技术的实用教程较少。其原因是多方面的,主要在于自动化技术发展速度快、且涉及知识面较为广泛。本书编者结合多年工程与教学实践经验,将各种通用的自动化技术与应用实践优化整合为一体,编写了这本面向自动化工程应用的实用教程。其目的在于顺应当今面向工程应用复合型人才培养的教育教学改革趋势,同时也满足了自动化及其相关专业人员对知识更新的需求。

《自动控制综合应用技术》是直接面向自动化工程应用的专业教材。该书将当前最新的自动化硬件技术和应用软件技术整合为一体,并结合实践环节训练,为读者搭建了一个面向自动化综合应用技术的快速集成平台。通过本书,可使读者对当前的自动化技术有一个较为全面的认识,同时提高自动化技术的应用能力。本书既适用于自动化、电气工程及其自动化、机电一体化等相关专业作为本、专科的专业教材,又适用于有一定自动化专业基础的读者了解和掌握新的自动化控制技术。

本次修订,在第1版使用反馈信息的基础上,删减了相关原理叙述及应用范围较窄的技术,如变频器原理、软 PLC 技术、基于 MATLAB 的半实物仿真等内容。使得本书更具通用性、实用性。

《自动控制综合应用技术》共分8章。第1章自动控制综合应用技术概述,介绍了自动控制技术的相关概念等;第2~6章分别介绍了各种工业控制技术,主要包括嵌入式控制器应用技术、可编程序控制器(PLC)应用技术、变频器应用技术、触摸屏应用技术、工业控制计算机应用技术等,编写内容涉及相关技术的概况、典型产品应用系统的组成与设计开发要点等;第7章介绍了工业组态软件应用技术,该部分概括分析了组态软件的通用技术、国内外的主流产品以及相关产品的应用设计等内容;第8章为工业控制综合自动化应用技术实验,该部分编排设计了基于“工业控制技术综合实验装置”的实训环节,其中既包括各种自动控制技术的基础实践环节训练、又包括复合多种控制技术的综合性实践环节训练。“工业控制技术综合实验装置”是本书配套的综合控制技术实训装置,编者结合多年工程与教学实践经验设计了多达近百个实验,读者可以在阅读该书的同时,结合各种实验设计,进一步理解和掌握各种自动控制新技术。该装置结构设计支持开放式实验教学与设计型实验开发,特别适合当今教育教学改革对创新能力培养的要求,可作为相关专业的课程设计、专业设计以及毕业设计的实践性综合平台;还可作为面向自动化应用技术,开放的技术培训与产品开发平台。

IV

本书由魏克新教授主编，其中第1、5、7章由赵钢副教授编写、第2章由冷建伟副教授编写、第3章由吴作明老师编写、第4章由赵影副教授编写、第6章由黄孙伟副教授编写、第8章由上述相关人员共同编写。

在此，感谢机械工业出版社相关人员对本书出版工作的大力支持。

由于编者水平所限，书中难免存在不足和缺点，恳请广大读者、使用本书的师生及业内人士批评指正！

请将意见和建议发至 zg_tj@yeah.net。

编者

2012年2月

目 录

第 1 章 自动控制综合应用技术概述	1
1.1 自动控制技术与工业自动化	1
1.2 计算机技术促进工业自动化技术发展	2
1.2.1 工业控制计算机	2
1.2.2 工业控制计算机应用系统	3
1.2.3 综合自动化是自动化发展的必然趋势	3
1.3 自动控制综合应用技术	4
1.3.1 工业控制技术手段的多样性与自动化技术创新	4
1.3.2 自动控制综合应用技术的主要内容与特点	5
第 2 章 嵌入式控制器应用技术	6
2.1 嵌入式控制器应用技术概述	6
2.1.1 嵌入式控制器技术基本概念	6
2.1.2 嵌入式控制器的特点与要求	6
2.1.3 嵌入式控制器系统的分类	7
2.1.4 嵌入式控制器系统的发展趋势	7
2.2 嵌入式微控制器技术分析	8
2.2.1 微控制器技术基本概念	8
2.2.2 微控制器的工作原理与结构	8
2.2.3 微控制器的特点	10
2.2.4 微控制器的分类	10
2.2.5 典型微控制器产品列举	11
2.3 P89LV51RD2 微控制器软硬件分析	13
2.3.1 P89LV51RD2 微控制器概述	13
2.3.2 P89LV51RD2 微控制器的结构框图与特性	13
2.3.3 P89LV51RD2 微控制器的引脚与引脚功能简要说明	14
2.3.4 特殊功能寄存器	16
2.3.5 存储器结构	16
2.3.6 Flash 存储器在应用中编程	18
2.3.7 定时器/计数器 0 和 1	20
2.3.8 P89LV51RD2 微控制器的其他功能	21
2.4 微控制器应用系统的分析与设计	22
2.4.1 寻址方式	22
2.4.2 MCS-51 系列微控制器指令系统的指令功能	23
2.4.3 微控制器应用系统设计的流程与步骤	26
2.4.4 微控制器开发工具分析	28
2.4.5 P89LV51RD2 微控制器应用系统设计	29
第 3 章 可编程序控制器应用技术	33
3.1 S7-200 PLC 编程技术	33
3.1.1 S7-200 PLC 的基本结构组成与应用特点	33
3.1.2 PLC 的初步编程指导	40
3.1.3 S7-200 PLC 编程应用环境	43
3.1.4 S7-200 PLC 典型指令的应用	57
3.1.5 S7-200 PLC 应用实例	59
3.2 S7-300 PLC 编程技术	67
3.2.1 S7-300 PLC 的基本结构组成与应用特点	67
3.2.2 S7-300 PLC 编程应用环境	69
3.3 可编程序控制器应用设计	96
3.3.1 PLC 的控制系统设计	96
3.3.2 控制系统设计的基本原则	97
3.3.3 控制系统设计的一般步骤	97
3.3.4 分析控制任务及选择控制器	97
3.3.5 PLC 的选型	97
3.3.6 控制系统设计	99
3.3.7 在线调试	100
第 4 章 变频器应用技术	101
4.1 变频器应用技术概述	101
4.1.1 变频器的应用与发展	101
4.1.2 变频器的基本结构	103
4.1.3 变频器的分类	105
4.2 变频器的基本接线	108
4.2.1 变频器的外接主电路结构	108
4.2.2 变频器的外接给定与输出控制	111
4.2.3 变频器的外接继电器控制电路	113

4.3 变频器的功能设置与应用功能	115	6.2.2 工业控制计算机的特点	175
4.3.1 变频器的功能预置	115	6.2.3 工业控制计算机应用系统	176
4.3.2 变频器的基本功能	115	6.2.4 工业控制计算机系统在电网谐波 分析仪中的应用	177
4.4 变频器的应用设计	118	6.3 工业控制计算机接口部件	178
4.4.1 有效转矩线与主要内容	118	6.3.1 主要生产厂商典型板卡	178
4.4.2 负载类型与变频器的选择	120	6.3.2 ISA 总线板卡实例	179
4.4.3 应用举例	123	6.3.3 研华公司 PCI-1711 PCI 总线 板卡	196
第5章 触摸屏应用技术	129	6.4 工业控制计算机应用系统设计	202
5.1 触摸屏应用技术概述	129	6.4.1 工业控制软件系统概述	202
5.1.1 触摸屏技术发展概况	129	6.4.2 DOS 系统软件设计	202
5.1.2 触摸屏基本功能	129	6.4.3 Windows 系统软件设计	204
5.1.3 触摸屏的分类与主要性能指标	129	6.4.4 基于 MATLAB/Simulink 的半实物 仿真系统设计	208
5.1.4 触摸屏的基本原理与结构组成	130	6.4.5 基于组态软件的软件设计方法	214
5.1.5 触摸屏典型生产厂商产品列举	131	6.5 工业控制计算机应用系统设计	216
5.1.6 未来触摸屏的发展趋势	133	6.5.1 工业控制计算机应用系统设计 概述	216
5.1.7 触摸屏技术的一般应用步骤	134	6.5.2 工业控制计算机应用系统设计 方法	217
5.2 MT500 系列触摸屏的硬件	134	6.5.3 工业控制计算机应用系统设计 实例	221
5.2.1 MT500 系列触摸屏的规格与主要 功能	134	第7章 工业组态软件应用技术	225
5.2.2 MT500 系列触摸屏系统的连线	134	7.1 工业组态软件技术概述	225
5.2.3 MT500 系列触摸屏的安装与 设置	135	7.1.1 工业组态软件概念	225
5.2.4 MT500 系列触摸屏的特点	136	7.1.2 工业组态软件产生的背景与在 我国的发展状况	225
5.3 EasyView500 软件应用技术基础	136	7.1.3 组态软件的基本结构特点	226
5.3.1 EasyManager 功能	136	7.1.4 组态软件的功能特点与发展 方向	226
5.3.2 PLCAddressView 功能	138	7.1.5 几种典型组态软件介绍	228
5.3.3 EasyBuilder 界面	140	7.1.6 组态软件在自动监控系统中所处 的地位	229
5.3.4 在线模拟	142	7.2 组态王 (KingView) 软件应用技术	229
5.3.5 离线模拟与直接在线模拟	143	7.2.1 组态王软件应用技术概述	229
5.3.6 工程压缩与工程解压缩	143	7.2.2 组态王软件应用技术	231
5.4 EasyView500 软件应用工程组态	144	7.3 组态软件的应用	283
5.4.1 窗口的类型与设置	144	7.3.1 通用组态软件的应用	283
5.4.2 EB500 功能元件的应用	148	7.3.2 组态王软件应用工程	284
5.4.3 系统参数设置	159	7.3.3 基于 S7-200PLC 与组态王技术的 监控系统示例	292
5.4.4 典型 PLC 与 MT500 触摸屏的应用 连接	163	7.3.4 基于研华公司 PC 总线数据采集板	
第6章 工业控制计算机应用技术	167		
6.1 工业控制计算机应用技术概述	167		
6.1.1 工业控制计算机技术发展概况	167		
6.1.2 工业控制计算机的总线技术	168		
6.1.3 工业控制计算机通用性能	170		
6.2 工业控制计算机应用技术	174		
6.2.1 工业控制计算机的构成	174		

卡与组态王软件的数据采集系统 示例	295	实验	323
第 8 章 工业控制综合自动化应用技术		8.5 触摸屏应用技术实验	324
实验	302	8.5.1 触摸屏应用软件认知实验	325
8.1 工业控制技术综合实验装置	302	8.5.2 触摸屏与 PLC 通信实验	329
8.1.1 实验装置概述	302	8.5.3 基于触摸屏、PLC 与变频器技术 的综合控制实验	332
8.1.2 实验装置的配备	302	8.6 工业控制计算机应用技术实验	334
8.1.3 实验项目简介	304	8.6.1 典型 PC 数据采集板卡测试技术 实验	334
8.1.4 实验装置组件介绍	305	8.6.2 基于 PC 板卡的简单逻辑 C 语言 控制实验	335
8.2 嵌入式微控制器应用技术实验	311	8.6.3 基于 PC 板卡的简单逻辑 VB 程序 控制实验	338
8.2.1 交通灯控制系统	311	8.7 通用组态软件应用技术实验	341
8.2.2 多种液体自动混合系统	313	8.7.1 组态王组态软件认知实验	341
8.3 可编程序控制器应用技术实验	316	8.7.2 组态王与 PLC 通信实验	346
8.3.1 电动门控制程序设计实验	316	8.7.3 基于组态王、PLC 与变频器技术 的综合控制实验	348
8.3.2 S7-200 PLC 模拟量控制应用 实验	318	参考文献	351
8.4 变频器应用技术实验	320		
8.4.1 变频器的面板（数字操作器） 操作实验	320		
8.4.2 变频器的外接端子多段速控制			

第 1 章 自动控制综合应用技术概述

在工程和科学技术的发展过程中，自动控制技术起着重要的作用，自动控制综合应用技术致力于现代自动化最新应用技术知识的整合及综合应用，适应了自动化技术飞速发展对知识更新的要求。

1.1 自动控制技术与工业自动化

自动控制技术在工业领域中的应用即工业控制自动化应用技术。它是 20 世纪现代制造领域中最重要技术之一，主要解决生产效率与一致性问题。虽然自动控制系统本身并不直接创造效益，但它对企业生产过程有明显的提升作用。自动控制技术的广泛应用提高了工业生产产品的质量、数量和生产设备的效率，并改善了劳动条件，先进的控制技术手段还极大地提高了人们对社会生产的预测及决策能力。

工业自动化是一种运用控制理论、仪器仪表、计算机和其他信息技术，对工业生产过程实现检测、控制、优化、调度、管理和决策，达到增加产量、提高质量、降低消耗、确保安全等目的的综合性技术，主要包括工业自动化硬件、软件和系统三大部分。简言之，工业自动化是自动化技术、电子技术、仪器仪表等技术的综合集成技术。

自动控制技术应用系统是指能够对被控对象的工作状态进行自动控制的系统。它一般由控制装置和被控对象构成，如图 1-1 所示。

其中，控制装置可由各种嵌入式控制器、可编程序控制器、工业控制计算机、分布式控制系统、回路调节器、变频器以及其他控制技术（如现场总线技术、无线通信技术）构成；控制对象包括各种电动机、生产单元、生产过程等；过程通道完成控制装置与控制对象之间的信号（也包括相应的反馈信号部分）匹配。

常规的自动控制应用按被控变量的时间特性可分为两大类：一类是连续量的控制系统，这类控制系统在时间特性上表现

为连续量，以反馈控制、最优控制为典型代表，如速度、温度、压力等定值控制系统以及随动系统就属于这一类，该类系统也称为过程自动化控制系统；另一类是断续量的控制系统，这类控制系统在时间特性上表现为离散量，以顺序控制为典型代表，如时间顺序控制、逻辑顺序控制以及条件顺序控制等就属于这类控制，该类系统也称为机械自动化控制系统。

随着科学技术的发展，特别是控制理论与微处理器技术的发展，各种自动控制技术和装置得到迅猛的发展，小到智能仪表，大到分布式控制系统以及现代集成制造系统，都属于自

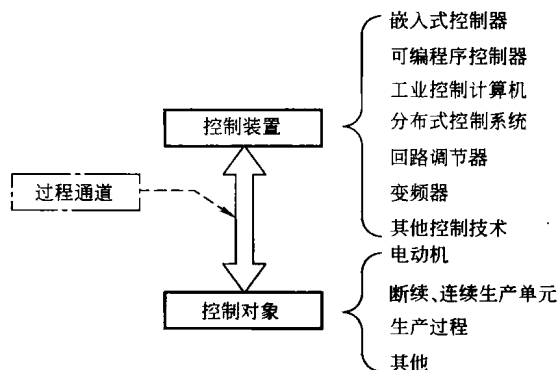


图 1-1 自动控制应用系统图示

动控制应用系统范畴。显然，常规的自动控制应用系统的概念以及分类无法以一概全。

目前，在工业企业自动化技术应用中，自动控制系统广义上按功能可分为三个层次（见图 1-2），分别是基础自动化、过程自动化和管理自动化，核心是基础自动化和过程自动化。其中，基础自动化部分涵盖了常规意义上的自动控制系统的內容，过程自动化部分是基于信息化技术的自动化，管理自动化则是最上层的融合了控制技术、管理技术的综合自动化技术。

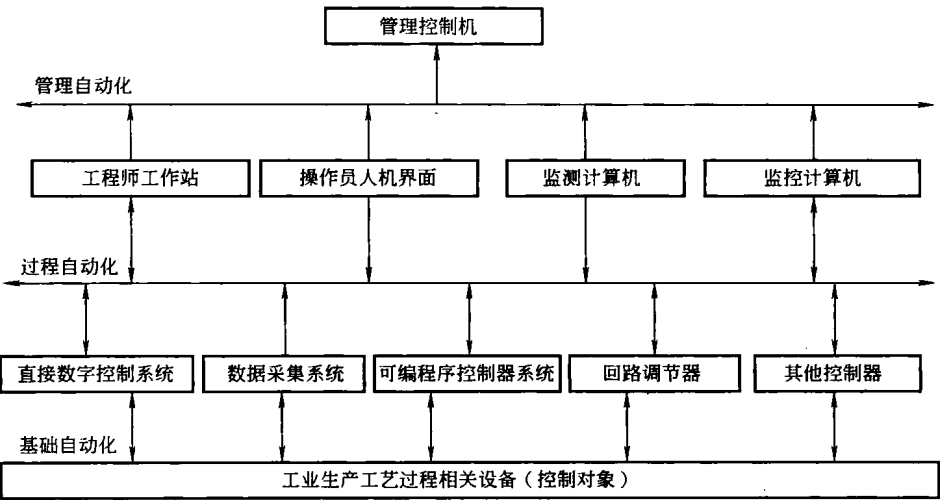


图 1-2 自动化应用系统功能结构图示

本书内容基本涵盖了目前基础自动化和过程自动化中的典型自动控制技术手段或装置，如可编程序控制器技术、工业控制计算机技术、嵌入式控制器技术、变频器技术、触摸屏技术、组态软件技术等內容。本书特别适合于有一定自动化技术基础的读者快速整合知识与提高应用技术技能。

1.2 计算机技术促进工业自动化技术发展

现代化的工厂设备、主要设备性能的提高，生产工艺更趋复杂，加之控制理论的发展，都要求有更完善的自动控制手段和装置，以实现复杂的控制过程，例如完成前馈及非线性控制等；微电子技术的飞速发展与普及应用、数字系统装置逐渐成熟等因素，迅猛地促进了工业控制计算机技术的发展。

工业控制计算机的出现和发展是工业自动化生产发展的需要，也是工业自动化技术发展的趋势，同样，计算机技术的发展进一步提升了工业自动化技术的发展水平。

1.2.1 工业控制计算机

广义而言，工业控制计算机可定义为内嵌中央处理器及其附属功能部件，按生产过程的控制特点和要求设计，用以实现工业生产过程控制用的计算机，其组成一般包括软件和硬件两部分。

按其结构和功能，它可以简单地分为通用控制计算机和专用控制计算机。通用控制计算机包括诸如各类嵌入式控制器（微控制器、数字信号处理器等）、可编程序控制器、工业控制计算机、分布式控制系统等；专用控制计算机包括如回路调节器、变频器、软起动器等。

一般通用控制计算机需接外部器件构成应用控制系统，而专用控制计算机则可直接用于对控制对象的控制，如变频器用于交流电动机的调速控制、软起动器用于大功率交流电动机的起动控制等。

1.2.2 工业控制计算机应用系统

工业控制计算机系统可定义为以控制计算机为核心、以网络传输为基础（媒介）的实时检测与控制系统。系统主要组成有现场传感器、信号传输、信号处理、接口模板、控制主机、网络设备、监控主机和相应软件系统等部分。计算机控制各种现场信号的数据采集、处理，并完成状态变量或过程变量的控制，以形成自动检测与控制。

工业控制计算机系统的分类有多种分法，按计算机参与控制的方式，可分为检测与数据处理、直接数字控制、计算机监控、分级分布控制、集成自动化控制等；按调节规律，可分为程序控制、顺序控制、PID 控制、前馈控制、最优控制、自适应控制、自学习控制、智能控制；按生产过程的连续性，可分为连续生产过程的计算机控制、离散生产制造过程计算机控制、混合生产过程计算机控制；按系统构成本身，可分为单机型和多机型两种，多机型又可划分为集中型和分散型等。

计算机技术进入工业控制领域后，为工业生产的过程控制与管理决策相结合创造了条件，从而使工业自动化从就地控制、集中控制的基础上向综合自动化、集成化生产自动化发展。

本书涉及的嵌入式控制器、可编程序控制器、工业控制计算机、变频器等都可构造独立的计算机应用系统，也可以结合人机界面技术综合应用，构造相对复杂的上、下位计算机控制应用系统。

1.2.3 综合自动化是自动化发展的必然趋势

传统的工业自动化主要是对设备和生产过程的控制，如今，除了复杂生产过程仍然是人们研究和应用的重要对象以外，工业自动化已经扩展到企业产品的设计过程、管理过程以及企业间的资源分配和优化，如现代物流、供需链管理、电子商务等。对自动化技术的要求，除了技术指标本身以外，也扩展到对整个企业的竞争力的提高。综合自动化技术正是顺应了这一需求应运而生。

综合自动化系统又称为现代集成制造技术（Contemporary Integrated Manufacturing Systems, CIMS）。其中，“现代”的意思包含信息化、智能化和计算机化，“集成”包含信息集成与功能集成两种含义。

综合自动化系统是采用计算机网络技术、通信技术、测控技术、信息管理技术、办公自动化技术以及多媒体技术等，使用数字化、集成化、网络化、自动化的生产和管理设备，将企业管理信息系统和集散型计算机测控系统进行一体化集成设计，实现企业生产、经营、管理的高度自动化。简言之，综合自动化系统把生产设备生产线的控制、生产过程产品的技术参数的检测和生产经营管理的信息管理有机地集成为一体，实现生产、经营、管理三者之间

的零时延的信息交换,极大地提高生产经营和管理的效率,是提高企业安全、高效、经济运行的最新技术手段。

随着社会、科技、经济的不断发展,综合自动化技术的应用范围也在不断拓展,目前综合自动化在制造业领域得到迅猛的发展。

制造系统根据产品生产模式的不同,可分为离散型制造系统和连续型制造系统,因而制造业综合自动化也划分为离散制造工业综合自动化和流程(或过程)工业综合自动化两种类型。

离散制造工业综合自动化系统是面向诸如机床制造、飞机制造、汽车制造等装配加工型的企业生产全过程,它是将计算机技术、数据库技术、通信技术等现代信息技术与生产技术相结合的一项高新技术。它的功能覆盖企业的生产工程(产品设计、结构分析等)、计划(生产、作业、库存计划等)、生产(零件与刀具生产、装配、搬运和仓储等)、支持(设备工程与维护、人员管理、加工制造、信息与资源管理直至销售和售后服务等)等各项生产经营活动,能使企业管理人员对企业现状一目了然,实施高效的管理。

流程工业与离散制造工业不同,流程工业生产过程的物流和能量流是连续的,产品相对稳定,生产周期长,工艺流程基本不变。通过调整在线的工艺参数使生产具有一定范围的柔性;生产过程涉及各种物理及化学过程,具有机理复杂、数据信息量大、处理难度大的特点。流程工业包括了石化、冶金、电力、轻工、制药、造纸、环保等行业。流程工业综合自动化是将先进的工艺装备技术、现代管理技术、先进控制与优化技术和计算机网络技术结合起来,将企业的生产过程控制、优化、运行、计划与管理作为一个整体进行控制与管理,提供整套解决方案,实现企业的优化运行、优化控制、优化管理和科学决策,从而成为提高企业竞争力的核心技术。

在现代综合自动化技术领域,随着数字处理技术的日臻完善,现代数据传输技术的发展使得数据传输速率和带宽不断向上突破,配合多媒体计算机技术的不断完善和网络技术的不断成熟,为综合自动化技术的发展提供了必需的技术基础。显然,本书涉及的内容也属于综合自动化应用技术,属于自动化技术基础单元。

1.3 自动控制综合应用技术

自动控制综合应用技术是基于各种自动化控制手段或装置的综合应用,是有别于综合自动化技术的概念,注重各种技术的单机应用以及综合应用。目的在于为综合自动化技术的学习打下一定的技术基础。

1.3.1 工业控制技术手段的多样性与自动化技术创新

目前,各种自动化技术手段并行发展、相互融合,为工业控制提供了多种可行的技术途径。可编程序控制器技术、工业控制计算机技术、分布式控制系统、数控系统以及各种嵌入式控制器系统虽然设计的初衷不一,各有特点及适宜的应用范围,但彼此在技术上学人之长、补己之短的融合与集成是大势所趋,是工业控制与自动化技术发展的必然。工业控制与自动化本身和相关技术日新月异的发展,也为自动化应用系统的集成创新打下了一定的基础,自动化系统集成也是工业控制与自动化创新的重要形式。

自动化技术是与时俱进的动态发展的学科，表现在自动化水平不断提高以及自动控制领域的智能化、集成化日益发展。自动化技术是融合了控制理论与微电子等技术的综合学科，表现在工业控制与自动化的发展不仅与信息化、数字化、智能化、网络化的技术潮流相关，也和微电子技术、控制技术、计算机技术、网络与通信技术、人机界面技术的发展密切相关，互为因果，互为补充和促进。

本书的编写正是顺应了自动化相关技术的综合应用需求，顺应了自动化技术的快速发展对知识融合、集成的需求。

1.3.2 自动控制综合应用技术的主要内容与特点

自动控制综合应用技术主要内容包括嵌入式控制器应用技术、可编程序控制器应用技术、变频器应用技术、触摸屏应用技术、工业控制计算机应用技术以及通用工业组态软件等内容。

嵌入式控制器应用技术分析了嵌入式控制器系统的特点、嵌入式控制器的分类、嵌入式控制器系统的发展趋势，并以典型嵌入式微控制器为例介绍了应用系统的分析与设计；可编程序控制器应用技术分析了可编程序控制器的通用技术，并以西门子 S7-200、S7-300 可编程序控制器为例介绍了可编程序控制器应用分析与设计；变频器应用技术分析了通用变频器技术，并以台达变频器为例介绍了变频器的面板操作、外部分段操作以及模拟量控制等；触摸屏应用技术分析了触摸屏技术发展概况、触摸屏性能指标等通用技术，并以 MT500 系列触摸屏应用为例介绍了 MT500 系列触摸屏应用设计的主要问题；工业控制计算机应用技术分析了工业控制计算机的通用技术，并以典型工业控制计算机及其过程通道应用为例，分析了 PC 总线数据采集板卡的相关应用设计；通用组态软件应用技术在分析介绍了组态软件相关概念、组态软件基本结构等通用技术的基础上，以 KingView 软件为例分析了组态软件的典型功能及应用分析。

本书各章节内容既能自成一体构成各自独立的计算机应用系统，又能集成体现各种控制技术的融合与综合应用，全书内容为读者构建了通用的自动化综合应用技术的学习平台。

第2章 嵌入式控制器应用技术

2.1 嵌入式控制器应用技术概述

嵌入式控制器是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物。计算机有大型机、中型机、小型机和微型机，但是随着大规模集成电路制造技术的发展，微型计算机技术水平和技术指标已经达到和超过大、中、小型计算机。以应用为核心进行计算机的划分就更具有科学性和实用性。

2.1.1 嵌入式控制器技术基本概念

嵌入式控制器的定义：以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

嵌入式控制器在应用数量上远远超过了各种通用计算机，一台通用计算机的外部设备中就包含了多个嵌入式控制器，键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、调制解调器（Modem）、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数码相机、通用串行总线（USB）集线器等均是由嵌入式控制器控制的。在制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费类产品等方面均是嵌入式控制器的应用领域。

2.1.2 嵌入式控制器的特点与要求

和通用计算机不同，嵌入式控制器要针对用户的具体需求，对芯片配置进行裁剪和添加才能达到理想的性能，力争在同样的硅片面积上实现更高的性能，这样才能在针对控制器的具体应用选择面前更具有竞争力。但由于受用户订货量的制约，因此不同的控制器面向的用户是不一样的，可能是一般用户、行业用户或单一用户。嵌入式控制器无论从硬件和软件上，都和通用计算机有所不同。

1. 嵌入式控制器软件的特征

嵌入式控制器的应用软件是实现嵌入式控制器系统功能的关键，对嵌入式控制器系统软件和应用软件的要求也和通用计算机有所不同。

（1）软件要求固态化存储 为了提高执行速度和系统可靠性，嵌入式控制器系统中的软件一般都固化在存储器芯片或嵌入式控制器本身中，而不是存储于磁盘等载体中。

（2）软件代码高质量、高可靠性 尽管半导体技术的发展使嵌入式处理器的速度不断提高，片上存储器容量不断增加，但在大多数应用中，存储空间仍然是宝贵的，还存在实时性的要求。为此，要求程序编写和编译工具的质量要高，以减少程序二进制代码长度、提高执行速度。

（3）系统软件的高实时性是基本要求 在多任务嵌入式控制器系统中，对重要性各不相同的任务进行统筹兼顾的合理调度，是保证每个任务及时执行的关键，单纯通过提高控制

器速度是无法完成和没有效率的，这种任务调度只能由优化编写的系统软件来完成，因此系统软件的高实时性是基本要求。

(4) 多任务嵌入式控制器 多任务嵌入式控制器系统是知识集成的平台和走向工业化道路的基础。

2. 嵌入式控制器系统的特点

嵌入式控制器系统和一般的 PC 系统不同，针对不同的具体应用而设计的嵌入式控制器系统之间差别很大。一般的嵌入式控制器系统功能单一、简单，且在兼容性方面要求不高，但在体积、成本方面限制较多。嵌入式控制器系统和通用型计算机系统相比具有以下特点：

1) 嵌入式控制器系统通常面向特定的应用，嵌入式控制器系统的设计和开发必须考虑特定环境和系统要求。这与通用型计算机系统的设计有很大的不同。

2) 嵌入式控制器系统是将先进的计算机技术、半导体和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物。这一点就决定了它的设计和开发要将软件和硬件相结合，特别是对计算机系统的底层技术整合，而且还要与特定行业以及特定应用领域相结合。这些都决定了嵌入式控制器系统是一个发散的、技术密集的系统。

3) 嵌入式控制器系统的硬件和软件都必须是高效率的设计、量体裁衣、去除冗余，力争在相同的资源条件下实现更高的性能，只有这样，才能完成特定系统的要求。

4) 嵌入式控制器系统将软、硬件和具体应用及行业的特点有机地结合在一起。使它的升级换代成为一体，所以嵌入式控制器系统的产品生命周期一般比计算机系统长。

5) 为了提高系统的执行速度和可靠性，嵌入式控制器系统的软件一般固化在存储器芯片或控制器中，而不是存储在外加的磁盘载体中。

2.1.3 嵌入式控制器系统的分类

根据不同的分类标准，嵌入式控制器系统有不同的分类方法。从软件方面，主要依据操作系统的类型来划分，目前嵌入式控制器系统主要分为两大类：实时系统和分时系统。其中，实时系统又分为硬实时系统和软实时系统。从硬件方面划分，嵌入式控制器系统，可分为嵌入式微处理器（Embedded Micro Processor Unit, EMPU）、嵌入式微控制器（Embedded Microcontroller Unit, EMCU）、嵌入式数字信号处理器（Embedded Digital Signal Processor, EDSP）和嵌入式片上系统（Embedded System On Chip, ESOC）等。

当然，除了上述分类之外，还有许多其他分类方法，比如从应用方面可分为工业应用嵌入式控制器系统和消费类电子产品用嵌入式控制器系统等。

本章 2.2 节主要对嵌入式微控制器进行详细讲解。

2.1.4 嵌入式控制器系统的发展趋势

嵌入式控制器系统的出现至今已经有 30 多年的历史，近几年来，计算机、通信、消费电子类产品的一体化趋势日益明显，嵌入式技术已成为一个研究的热点和消费热点。进入 21 世纪以来，嵌入式技术逐渐成熟并全面展开，已成为通信和消费电子类产品的共同发展方向。目前嵌入式产品形态丰富多样，产品市场潜力巨大，已经在个人数字助理（PDA）、机顶盒、手机、数码相机、数字电视等领域蓬勃发展。嵌入式微控制器系统的软硬件开发，已被公认为是一个具有良好发展潜力的行业。在芝加哥举办的嵌入式微控制器系统会议上，

与会专家一致认为, 21 世纪嵌入式控制器系统将无所不在, 它将为人类生产和生活带来革命性的发展, 实现“PC Everywhere (个人计算机无处不在)”的生活梦想。

(1) 在通信领域, 无线通信产品将成为嵌入式软件的重要应用领域。一方面, 已有的无线通信产品将借助芯片技术和嵌入式软件来提高性能, 另一方面当前许多嵌入式产品都将增加无线通信功能。因此, 未来几年, 蓝牙等相关技术会与嵌入式软件相互促进, 共同发展, 使更多的产品具有通信功能, 使更多的通信产品能更好地为用户服务。

(2) 在广播电视领域, 嵌入式的数字技术正在全面取代模拟技术。数字电视借助嵌入式控制器技术, 将传统的模拟电视信号经过量化和编码转换成二进制数的数字信号, 实现了信号的处理、传输、存储, 以及监测和控制。数字电视系统已在全球大多数国家进入了商品化试播阶段。

(3) 在个人领域中, 嵌入式产品将作为移动的数据处理和通信软件等的主要产品。由于嵌入式设备具有自然的人机交互界面, 以图形用户接口 (GUI) 屏幕为中心的多媒体界面给人以很大的亲和力。手写文字输入、语音拨号上网、收发电子邮件以及彩色图形、图像已取得初步成效。

(4) 嵌入式产品与互联网应用相互促进, 快速发展, 嵌入式产品将成为互联网的主要终端之一, 网上将出现大量的服务于嵌入式产品的软件, 并有专门服务于嵌入式产品的内容。

嵌入式操作系统是在多种硬件平台上发展起来的。随着嵌入式控制器系统的广泛应用, 信息交换、资源共享机会增多, 相关的标准问题也将日渐突出, 如何建立相关标准成为一个重要的问题。

2.2 嵌入式微控制器技术分析

2.2.1 微控制器技术基本概念

微控制器是在一块芯片上集成了中央处理器 (CPU)、存储器 (RAM、ROM)、定时器/计数器和各种输入/输出 (I/O) 接口等。它还可包含模-数 (A-D) 和数-模 (D-A) 转换器、直接存储器传输 (DMA) 通道、浮点运算等特殊功能部件。

微控制器应用系统由硬件系统和软件系统组成。以微控制器为核心, 加上外部专用电路和系统软件, 形成计算机的应用系统。

2.2.2 微控制器的工作原理与结构

微控制器的结构是哈佛结构, 即程序存储器和数据存储器分开设置。由于其特殊的结构设计, 就使得微控制器的工作原理和应用与一般意义上的微型计算机有所不同, 微控制器主要侧重于工业的实际应用。所具有的 I/O 接口电路、位控制功能和特殊寄存器可进行寻址操作等, 为实际应用提供了很大的方便。本节以 MCS-80C51 为例, 介绍微控制器的工作原理和结构。

MCS-80C51 微控制器的结构如图 2-1 所示。它的内部由如下 8 个主要部分组成:

- 1) 8 位微处理器 (CPU);

2) 4KB 的片内程序存储器 (ROM);

3) 128B 数据存储器 (RAM);

4) 21 个特殊功能寄存器 (SFR);

5) 2 个 16 位定时器/计数器;

6) 1 个全双工串行通信接口;

7) 4 个 8 位输入/输出接口;

8) 5 个中断源。

(1) 中央处理器 (CPU)

MCS-80C51 微控制器以中央处理器 (CPU) 为核心, 由运算器和控制器组成。

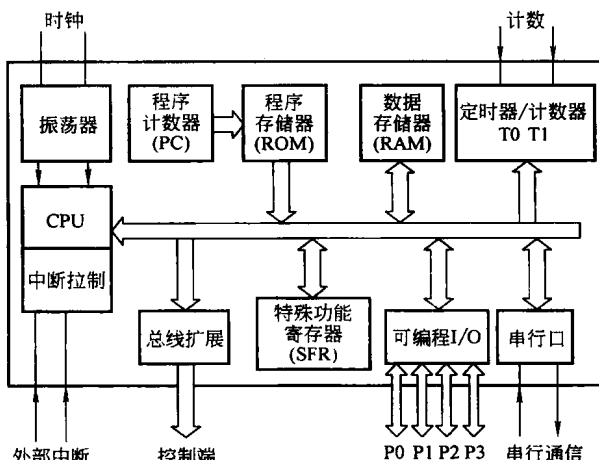


图 2-1 微控制器内部结构框图

1) 运算器: 运算器以算术逻辑

单元 (ALU) 为核心, 包括累加器 A、程序状态字 (PSW) 寄存器、寄存器 B 等部件。ALU 在控制器的作用下, 进行各种算术运算和逻辑运算, 如加法、减法、加 1、减 1 等操作。

2) 控制器: 控制器包括程序计数器 (PC)、指令寄存器、指令译码器、振荡器、定时电路及控制电路等部件, 能根据不同的指令产生相应的操作时序和控制信号, 控制微控制器各部分的运行。PC 是一个 16 位计数器, 具有自动加 1 功能。CPU 每执行一条指令, 则 PC 自动加 1, 并指向要执行的下一条指令的地址, 最大寻址范围为 64KB。可以通过控制转移指令改变 PC 值, 实现程序的转移。MCS-80C51 的 CPU 是专门面向数据采集、测量和面向工业控制, 并具有嵌入式应用特点而设计的、有很强控制功能的指令系统。

(2) 程序存储器 (ROM) MCS-80C51 微控制器片内只读存储器 (ROM) 用作程序存储器, 用于存放已编好的程序、数据表格等。

(3) 数据存储器 (RAM) 片内读/写存储器又称随机存取存储器 (RAM), 可用于存放输入、输出数据和中间计算结果, 同时还作为数据堆栈区。当存储器的容量不够时, 可以外部扩展, 数据存储器 (RAM) 的寻址范围为 00H ~ 7FH。

(4) 特殊功能寄存器 (SFR) SFR 位于 80H ~ FFH 中, 是微控制器的重要控制、指挥单元。CPU 对所有片内功能单元的操作、控制都是通过对 SFR 访问实现的。

(5) 定时器/计数器 MCS-80C51 有两个 16 位定时器/计数器, 分别为 T0 和 T1。定时器/计数器可以作为内部定时器或外部脉冲计数器使用。作为内部定时器时, 是靠对时钟振荡器的 12 分频脉冲计数方式实现定时的; 作为计数器时, 外部脉冲通过引脚 T0 (P3.4)、T1 (P3.5) 输入。

(6) 串行通信接口 MCS-80C51 的串行通信接口是一个带有移位寄存器工作方式的通用异步收发器 (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART)。因此, MCS-80C51 的串行通信接口不仅可用作串行通信, 还可以用于移位寄存器方式的串行外部扩展。

(7) 输入/输出 (I/O) 接口 MCS-80C51 有 4 个 8 位 I/O 接口, 分别为 P0、P1、P2、P3 口, 均可以并行 I/O 8 位数据。

(8) 中断源 MCS-80C51 的中断系统中有 5 个中断源, 即 2 个外部中断源、2 个定时

器/计数器 T0、T1 溢出中断源和 1 个串行通信发送/接收完毕的中断源。5 个中断源有高级、低级两种优先状态。

2.2.3 微控制器的特点

MCS-80C51 微控制器的特点如下：

(1) 面向控制，控制功能强，运行速度快 其结构组成与指令系统都着重满足工业控制要求。指令系统中均有极丰富的条件分支转移指令、I/O 接口的逻辑操作及位处理功能。一般来说，微控制器的逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微处理器。

(2) 体积小、重量轻、功耗低 由于微控制器包含了运算器等基本功能部件，具有较高的集成度，因此由微控制器组成的应用系统结构简单、体积小、功能全、电源单一、功耗低。

(3) 可靠性高，抗干扰能力强 芯片本身是按工业控制环境要求设计的，其抗工业噪声干扰优于一般的通用 CPU。

(4) 功能强 微控制器具有判断和处理能力，可以直接对 I/O 接口进行各种操作（输入/输出、位操作以及算术逻辑操作等），运算速度高，实时控制功能强。

(5) 使用方便 由于微控制器内部功能强，系统扩展方便，因此应用系统的硬件设计非常简单。

(6) 价格低、性能价格比较高、易于产品化 微控制器具有功能强、价格便宜、插接件少、安装调试简单等特点，使微控制器应用系统的性能价格比较高。

(7) 易扩展 片内存储器容量较小，一般 ROM 少于 8KB，RAM 少于 256B，但可在外部扩展，通常 ROM、RAM 可分别扩展至 64KB。芯片内具有计算机正常工作所需的器件，片内有总线、并行及串行 I/O 接口，可以方便地构成各种规模的应用系统。

(8) 开发应用方便，研制周期短 片内具有计算机正常运行所必需的部件，芯片外部有许多供扩展用三总线及并行、串行 I/O 引脚，很容易构成各种规模的计算机应用系统。

2.2.4 微控制器的分类

1. 按适用范围分类

按适用范围划分为通用型与专用型微控制器。

通用型微控制器把可开发资源（如 ROM、I/O 接口等）全部提供给使用者，如 MCS-80C51 属通用型，它并不是为某一种专门用途设计的微控制器；专用型微控制器是针对某类产品甚至某个产品需要而设计、生产的微控制器，如为满足电子体温计的要求，在片内集成有热敏电阻、A-D 转换器接口和段式液晶驱动器接口的温度计量控制用微控制器以及录音机机芯微控制器等。

(1) 通用微控制器 通用微控制器是由专门微控制器芯片厂商生产的供广大用户选择使用的、具有基本功能的芯片，性能全面，适应性强，能够满足多种控制的需要。但使用时，用户必须进行二次开发设计，根据需要以通用微控制器为核心配以其他外部电路、芯片，构成控制系统，同时编写控制程序。

(2) 专用微控制器 专用微控制器是专门针对某种特定产品设计制造的特殊用途的微控制器，不再需要二次设计，也不能进行功能开发，一般由厂商与芯片制造商合作设计生