

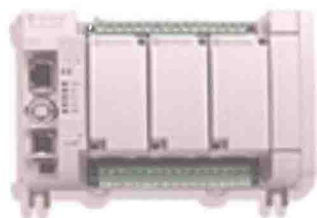


**Rockwell
Automation**

罗克韦尔自动化技术丛书

工业控制系统 及应用 ——PLC与组态软件

主编 王华忠



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

罗克韦尔自动化技术丛书

工业控制系统及应用 ——PLC 与组态软件

主编 王华忠



机械工业出版社

本书系统地介绍了工业控制系统的组成、结构、发展与应用,对典型的工业控制系统——集散控制系统和监控与数据采集(SCADA)系统进行了概述介绍与对比,以使读者了解工业控制系统的基础知识。系统地介绍了罗克韦尔自动化 Micro850 可编程为控制器软硬件。对可编程序控制器的工作原理、编程语言、应用系统设计技术、网络通信等进行了详细的介绍。对与 PLC 关联紧密的工控组态软件和终端设备进行了分析和介绍。同时结合案例分析了 Micro850PLC 在逻辑控制、过程控制与运动控制中的应用。最后详细地阐述了包含工控系统功能安全与信息安全需求的工业控制系统设计、开发与应用技术,并以此为基础剖析了大型城市污水处理厂的工控系统。

本书侧重于工业控制系统核心内容的全面介绍,重点介绍了 Micro850PLC 软硬件系统及其应用技术。在对工控系统核心知识介绍的基础上,结合工控系统应用案例的介绍来培养读者的工控系统设计、开发和应用能力,具有实用性、新颖性和完整性。

本书可作为自动化、测控技术及仪器、电气工程及其自动化等相关专业大学本科生、研究生的教材,也可作为工控企业、自动化工程公司和相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工业控制系统及应用:PLC 与组态软件/王华忠主
编. —北京:机械工业出版社,2016.3
(罗克韦尔自动化技术丛书)
ISBN 978-7-111-53130-2

I. ①工… II. ①王… III. ①plc 技术 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 038712 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:林春泉 责任编辑:林春泉
版式设计:霍永明 责任校对:程俊巧 胡艳萍
责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2016 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·23.25 印张·573 千字
0 001—3 000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-53130-2
定价:69.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

工业控制系统在石油、化工、电力、交通、冶金、市政等关键基础设施领域得到了广泛的应用，与企业管理系统构成了现代企业的综合自动化系统。在“工业4.0”及其他形式的信息物理融合系统中，工业控制系统处于最核心的地位。工业控制系统种类繁多，应用范围广，产品多样化且更新发展速度加快，造成一些用户对于工控系统有些无所适从，或者从某个行业或领域的应用来片面理解工控系统。近年来，除了传统的功能安全外，工控系统信息安全也成为工控系统相关各方最为关心的问题。本书有针对性地介绍了工业控制系统种类、组成、结构、发展与应用，以使读者能够准确全面地了解工业控制系统基础知识和发展趋势。作为系列教材之一，在介绍工业控制系统一般知识的基础上，本书侧重介绍了罗克韦尔自动化 Micro850PLC 与组态软件及有关控制系统设计与应用技术。

本书共分7章。其中，第1章是工业控制系统的概述性介绍，包括工业控制系统的组成、分类、发展及其体系结构。介绍了罗克韦尔自动化主要工业控制产品。此外，对安全仪表系统也进行了介绍。第2章对 Micro850 控制器硬件进行了介绍，包括主机、功能性插件和扩展模块和控制器通信接口，对 PowerFlex525 变频器也进行介绍。第3章介绍了可编程控制器编程语言国际标准 IEC61131-3。第4章介绍了 Micro850 指令系统。第5章通过结合大量工程案例对 PLC 程序设计技术进行了介绍，这是本书的重点章节。第6章介绍了工业人机界面与工控组态软件。第7章介绍了工业控制系统设计与应用技术，重点分析了大型城市污水处理厂工控系统的开发案例。对工控信息安全及其防护技术也进行了介绍。

本书由王忠华主编，孙自强、叶西宁、颜秉勇等老师参加了编写。本书的编写出版得到了教育部卓越工程师培养计划项目的支持，在此表示感谢！罗克韦尔自动化中国大学项目部为本书提供了丰富的素材和技术资料，对于本书的出版给予了大量的帮助，在此表示诚挚的谢意！感谢华东理工大学信息科学与工程学院自动化系何衍庆教授的支持和帮助。在本书的编写过程中还参考了不少书籍和资料，在此也向有关作者表示感谢。

本书是自动化、测仪、电气工程等专业本科生的专业课教材，也可作为工矿企业、科研单位、设计单元工程技术人员的参考书。

为便于教学，凡采用本书作为教材的，作者免费提供电子教案，可在出版社网站下载。

由于时间和编者的水平所限，疏漏在所难免，恳请读者提出批评建议，以便进一步修订完善，编者的 E-mail 是 hzwang@ecust.edu.cn。

编 者

2015 年 8 月于上海

目 录

前言

第1章 工业计算机控制系统..... 1

1.1 计算机控制基础 1

1.1.1 计算机控制的一般概念 1

1.1.2 计算机控制系统的组成 2

1.2 工业计算机控制系统的分类与发展 8

1.2.1 工业计算机控制系统的分类 8

1.2.2 控制装置(控制器)的类型 10

1.2.3 工业计算机控制系统的发展 15

1.3 工业控制系统 16

1.3.1 集散控制系统 16

1.3.2 监控与数据采集(SCADA)系统 17

1.3.3 现场总线控制系统 23

1.3.4 几种控制系统的比较 24

1.4 工业控制系统的体系结构 26

1.4.1 工业控制系统的体系结构及其发展 26

1.4.2 客户机/服务器结构 27

1.4.3 浏览器/服务器结构 27

1.4.4 两种系统结构的比较 28

1.5 可编程序控制器 29

1.5.1 可编程序控制器的产生与发展 29

1.5.2 可编程序控制器的工作原理 33

1.5.3 可编程序控制器的功能特点 35

1.5.4 可编程序控制器的应用 36

1.5.5 主要可编程序控制器的产品及其分类 37

1.6 罗克韦尔自动化工业控制系统 38

1.6.1 罗克韦尔自动化可编程序控制器 38

1.6.2 可编程自动化控制器 39

1.6.3 可编程安全控制器 42

1.6.4 PlantPAx 过程自动化系统 42

1.7 安全仪表系统(SIS) 46

1.7.1 功能安全及相关概念 46

1.7.2 安全仪表系统 48

1.7.3 安全生命周期 55

1.7.4 安全仪表产品类型 56

复习思考题 58

第2章 Micro850 控制器硬件 59

2.1 Micro850 控制器硬件特性 59

2.1.1 Micro800 系列控制器概述 59

2.1.2 Micro850 控制器硬件特性 63

2.2 Micro850 控制器功能性插件及其组态 68

2.2.1 Micro800 功能性插件模块 68

2.2.2 功能性插件组态 72

2.2.3 功能性插件错误处理 74

2.3 Micro850 控制器扩展模块及其组态 75

2.3.1 Micro800 扩展模块 75

2.3.2 Micro800 扩展模块组态 80

2.3.3 扩展 I/O 数据映射 83

2.3.4 功能性插件模块与扩展模块的比较 87

2.4 Micro800 系列控制器的网络通信 87

2.4.1 NetLinx 网络架构及 CIP 87

2.4.2 Micro800 控制器的网络结构 92

2.4.3 Micro800 控制器通信组态 96

2.5 PowerFlex 525 交流变频器 99

2.5.1 PowerFlex 525 变频器特性 99

2.5.2 PowerFlex 525 变频器的硬件接线 100

2.5.3 PowerFlex 525 集成式键盘操作 102

复习思考题 106

第3章 可编程序控制器编程语言及 IEC 61131-3 编程语言 107

3.1 IEC61131-3 编程语言标准的产生与特点 107

3.1.1 传统的 PLC 编程语言的不足 107

3.1.2 IEC 61131-3 编程语言标准

的产生	108	5.1.3 工程下载与调试	205
3.1.3 IEC 61131-3 编程语言标准		5.2 Micro850 编程语言	208
的特点	110	5.2.1 IEC 61131-3 编程语言标准	
3.2 IEC 61131-3 编程语言的基本		编程语言	208
内容	112	5.2.2 梯形图编程语言	209
3.2.1 语言元素	112	5.2.3 结构化文本语言	212
3.2.2 数据类型	118	5.2.4 功能块图	213
3.2.3 变量	123	5.2.5 顺序功能图	215
3.3 程序组织单元	128	5.2.6 指令表语言	221
3.3.1 程序组织单元及其组成	128	5.3 Micro850 程序设计技术	222
3.3.2 功能	130	5.3.1 Micro800 的程序执行	222
3.3.3 功能块	131	5.3.2 典型环节编程	225
3.3.4 程序	133	5.3.3 功能块的创建与使用	234
3.4 软件、通信和功能模型	134	5.3.4 经验设计法编程技术	239
3.4.1 软件模型	134	5.3.5 时间顺序逻辑程序设计方法	243
3.4.2 通信模型	137	5.3.6 逻辑顺序程序设计方法	246
复习思考题	138	5.3.7 Micro800 中断程序	250
第4章 Micro850 指令系统	140	5.3.8 PanelView 2711C 触摸屏	
4.1 Micro850 控制器的内存组织	140	编程	252
4.1.1 数据文件	140	5.4 Micro850 逻辑控制程序设计	258
4.1.2 程序文件	141	5.4.1 交通灯自定义功能块的创建	258
4.2 Micro850 控制器的梯形图指令	142	5.4.2 交通灯控制主程序的开发	260
4.2.1 梯形图指令元素	142	5.5 Micro850 过程控制程序设计	263
4.2.2 梯形图执行控制指令	146	5.5.1 Micro850IPID 功能块	263
4.3 Micro850 控制器的功能块指令	147	5.5.2 IPID 功能块应用示例	266
4.4 Micro850 控制器的功能指令	172	5.6 Micro850 运动控制程序设计	270
4.4.1 主要的功能指令	172	5.6.1 丝杆被控对象及其控制要求	270
4.4.2 Micro850 控制器运算符功能		5.6.2 控制系统结构与设备配置	270
指令	182	5.6.3 丝杆运动控制 PLC 程序	
4.5 高速计数器 (HSC) 功能块指令	185	设计	275
4.5.1 HSC 功能块	185	5.6.4 丝杆控制人机界面设计	277
4.5.2 HSC 状态设置	190	复习思考题	280
4.5.3 HSC 的应用	191	第6章 工业人机界面与工控组态	
4.6 用户中断指令	192	软件	283
复习思考题	195	6.1 工业人机界面	283
第5章 Micro850PLC 程序设计		6.2 组态软件概述	284
技术	196	6.2.1 组态软件的产生及发生	284
5.1 Micro850 CCW (一体化编程组		6.2.2 组态软件的功能需求	286
态软件) 及其使用	196	6.3 组态软件系统构成与技术特色	287
5.1.1 Micro850 CCW (一体化		6.3.1 组态软件的总体结构及相	
编程组态软件)	196	似性	287
5.1.2 创建工程	198	6.3.2 组态软件的功能部件	288
		6.3.3 组态软件的技术特色	295

6.3.4 组态软件的发展趋势	296	7.2.1 工业控制系统的需求分析与 总体设计	324
6.4 嵌入式组态软件	298	7.2.2 工业控制系统的类型确定与 设备选型	327
6.4.1 嵌入式组态软件的产生	298	7.2.3 工业控制系统应用软件的 开发	329
6.4.2 嵌入式组态软件的功能与 特点	298	7.3 工业控制系统的安全设计	330
6.4.3 嵌入式组态软件的构成	299	7.3.1 工业控制系统的安全性概述	330
6.5 罗克韦尔 FactoryTalk View Studio 组态软件	300	7.3.2 安全仪表系统的设计	332
6.5.1 FactoryTalk View Studio 的特点	300	7.3.3 工控系统信息安全防护技术	334
6.5.2 FactoryTalk View Studio 组件	301	7.4 工业控制系统的调试与运行	337
6.5.3 FactoryTalk View SE 应用程序	304	7.4.1 离线仿真调试	338
6.6 罗克韦尔 PanelView Plus 6 HMI 终端	307	7.4.2 在线调试和运行	339
6.6.1 PanelView Plus 6 终端概述	307	7.5 工业控制系统的电源、接地、防 雷和抗干扰设计	339
6.6.2 PanelView Plus 6 终端配置与 使用	311	7.5.1 电源系统的设计	339
6.7 用组态软件开发工控系统上位机的 人机界面	315	7.5.2 接地系统的设计和防雷设计	340
6.7.1 组态软件的选型	315	7.5.3 抗干扰设计	342
6.7.2 用组态软件设计工控系统人 机界面	317	7.5.4 环境适应性设计技术	345
6.7.3 数据报表开发	320	7.6 大型污水处理厂工业控制系统	346
6.7.4 人机界面的调试	320	7.6.1 污水处理工艺	346
复习思考题	321	7.6.2 污水处理厂工控系统的总 体设计	347
第7章 工业控制系统的设计与 应用	322	7.6.3 现场控制站控制功能的 设计	351
7.1 工业控制系统的设计原则	322	7.6.4 污水处理工控系统的程序 设计	353
7.1.1 工业控制系统的设计概述	322	7.6.5 系统调试与运行	360
7.1.2 工业控制系统的设计原则	322	复习思考题	362
7.2 工业控制系统的设计与开发步骤	324	参考文献	363

第 1 章 工业计算机控制系统

1.1 计算机控制基础

1.1.1 计算机控制的一般概念

计算机控制是关于计算机技术如何应用于工业、农业等生产和生活领域，提高其自动化程度的一门综合性学问。随着不断有新的应用领域出现，计算机控制的应用范围也在不断扩大。由于现代工业在人类文明进程中的巨大作用，因此计算机控制技术与工业生产相结合而产生的工业自动化是计算机控制最重要的一个应用领域。除了工业自动化，还有我们熟悉的商业自动化、办公自动化等。工业自动化系统与用于科学计算、一般数据处理等领域的计算机系统有较多的不同，其最大的不同之处在于计算机控制的对象是具体物理过程，因此会对物理过程产生影响和作用。计算机控制的好坏直接关系到被控物理过程的稳定性、设备和人员的安全等。按照目前最新的技术术语，工业自动化系统属于信息-物理融合系统（Cyber Physical System, CPS）。该术语更加明确地表明了工业自动化系统的本质特征。

工业自动化技术本身经历了一个发展过程，只是当计算机技术与自动化技术紧密结合后，工业自动化技术才经历了革命性的发展。现有的工业自动化技术是在常规仪表控制系统的基础上发展起来的。由于工业生产行业众多，因而存在化工过程自动化、农业自动化、矿山自动化、纺织自动化、冶金自动化、机械自动化等面向不同行业的自动化系统，但它们在本质上是具有相似性的。现以液位控制系统为例，加以说明。液位控制系统是一个基本的常规控制系统，其结构组成如图 1-1 所示。系统中的测量变送环节对被控对象进行检测，把被控量（如温度、压力、流量、液位、转速、位移等物理量）转换成电信号（电流或电压）再反馈到控制器中。控制器将此测量值与给定值进行比较，并按照一定的控制规律产生相应的控制信号驱动执行器工作，使被控量跟踪给定值，抑制干扰，从而实现自动控制的目的，其控制原理框图如图 1-2 所示。把图 1-2 中的控制器用计算机及其输入/输出通道（计算机控制装置）来代替，就构成了一个典型的计算机控制系统，其结构如图 1-3 所示。

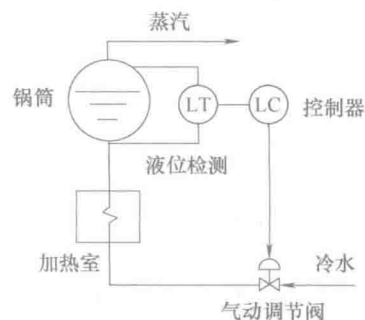


图 1-1 锅炉液位控制

这里，计算机采用的是数字信号传递，而一次仪表多采用模拟信号。因此，系统中需要有将模拟信号转换为数字信号的模-数（A-D）转换器和将数字信号转换为模拟信号的数-模（D-A）转换器。图 1-3 中的 A-D 转换器与 D-A 转换器就表征了计算机控制系统中这种典型的输入/输出通道。

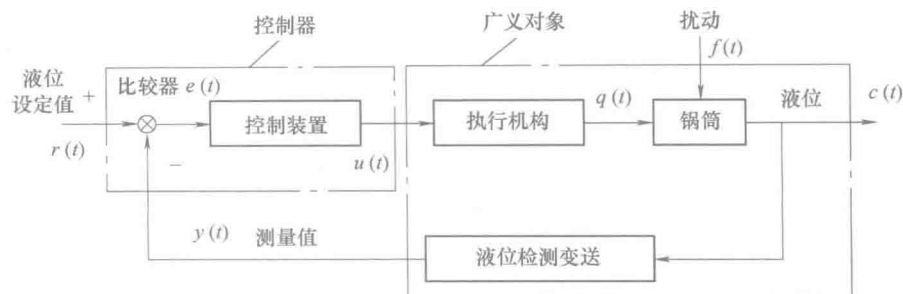


图 1-2 锅炉液位控制系统框图

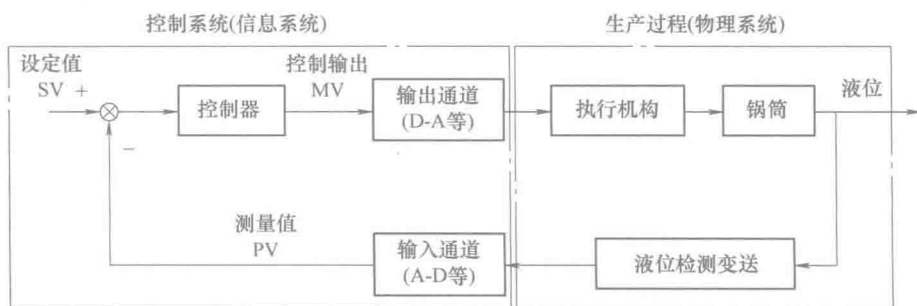


图 1-3 锅炉液位计算机控制系统原理图

1.1.2 计算机控制系统的组成

尽管计算机控制系统形式多样，设备种类千差万别，形状、大小各不相同，但一个完整的计算机控制系统总是由硬件和软件两大部分组成。当然还包括机柜、操作台等辅助设备。把计算机控制系统应用到实际的工业生产过程控制中，就构成了工业控制系统。传感器和执行器等现场仪表与装置是整个工业控制系统的重要组成部分，本书就不做介绍了。

1. 硬件组成

(1) 上位机系统

现代的计算机控制系统的上位机多数采用服务器、工作站或 PC 兼容计算机。在计算机控制系统产生早期使用的专用计算机已经不再采用。这些计算机的配置随着 IT 技术的发展而不断发展，硬件配置不断增强。目前，美国 DeltaV 集散系统、日本横河电机 Centum 集散系统、美国霍尼韦尔 PKS 等集散控制系统的上位机系统（服务器、工程师站、操作员站）都建议配置 DELL 的工作站或服务器。

不同厂家的计算机控制系统在上位机层次的硬件配置上已经几乎没有差别，且多数都是通用系统。读者对于通用计算机系统的组成及其原理较为熟悉，这里就不详细介绍了。

(2) 现场控制站/控制器

现场控制站虽然实现的功能比较接近，但却是不同类型的工业控制系统差别最大之处，现场控制站的差别也决定了相关的 I/O 及通信等存在的差异。现场控制站硬件一般由中央处理单元（CPU 模块）、输入/输出接口模块、通信模块、机架、扩展插槽和电源等模块组成，

如图 1-4 所示。

对于像 DCS 这样用于大型工业生产过程的控制器，通常还会采取冗余措施。这些冗余包括 CPU 模块冗余、电源模块冗余、通信模块冗余及 I/O 模块冗余等。

1) 中央处理单元 中央处理单元 (CPU 模块) 是现场控制站的控制中枢与核心部件，其性能决定了现场控制器的性能，每套现场控制站至少有一个 CPU 模块。和我们所见的通用计算机上的 CPU 不同，现场控制站的中央处理单元不仅包括 CPU 芯片，还包括总线接口、存储器接口及有关控制电路。控制器上通常还带有通信接口，典型的通信接口包括 USB、串行接口 (RS-232、RS-485 等) 及以太网。这些接口主要是用于编程或与其他控制器、上位机通信。

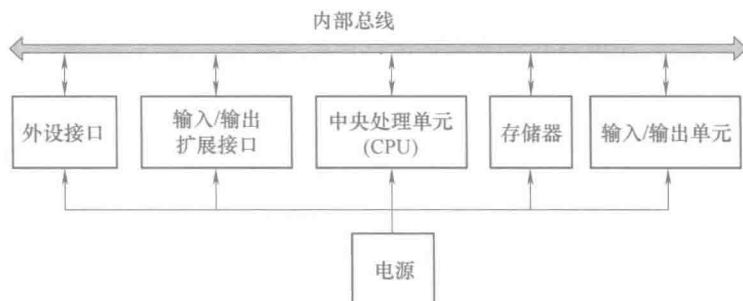


图 1-4 现场控制站的组成

CPU 模块是现场控制站的控制与信号处理中枢，主要用于实现逻辑运算、数字运算、响应外设请求，还协调控制系统内部各部分的工作，执行系统程序和用户程序。控制器的工作方式与控制器的类型和厂家有关。如对于可编程控制器，就采用扫描方式工作，每个扫描周期用扫描的方式采集由过程输入通道送来的状态或数据，并存入规定的寄存器中，再执行用户程序扫描，同时，诊断电源和 PLC 内部电路的工作状态，并给出故障显示和报警 (设置相应的内部寄存器参数数值)。CPU 速度和内存容量是 PLC 最重要的参数，它们决定着 PLC 的工作速度，I/O 数量、软元件容量及用户程序容量等。

控制器中的 CPU 多采用通用的微处理器，也有采用 ARM 系列处理器或单片机。如施耐德电气的 Quantum 系列、通用的 Rx7i、3i 系列 PLC 就采用 Intel Pentium 系列的 CPU 芯片。三菱电机 FX₂ 系列可编程控制器使用的微处理器是 16 位的 8096 单片机。通常情况下，即使最新一代的 CPU 模块，PLC 采用的 CPU 芯片至少也要落后通用计算机芯片一代，即使这样，这些 CPU 对于处理任务相对简单的控制程序来说已足够了。

与一般的计算机系统不同，现场控制站的 CPU 模块通常都带有存储器，其作用是存放系统程序、用户程序、逻辑变量和其他一些运行信息。控制器中的存储器主要有只读存储器 ROM 和随机存储器 RAM。ROM 存放控制器制造厂家写入的系统程序，并永远驻留在 ROM 中，控制器掉电后再上电，ROM 内容不变。RAM 为可读写的存储器，读出时其内容不被破坏，写入时，新写入的内容覆盖原有的内容。控制器中配备有掉电保护电路，当掉电后，锂电池为 RAM 供电，以防止掉电后重要信息的丢失。一般的控制器新买来的时候，锂电池的插头是断开的，用户如果要使用，需要把插头插上。除此之外，控制器还有 EPROM、EEPROM 存储器。通常调试完成后不需要修改的程序可以放在 EPROM 或 EEPROM 中。

控制器产品样本或使用说明书中给出的存储器容量一般是指用户存储器。存储器容量是控制器的一个重要性能指标。存储器容量大,可以存储更多的用户指令,能够实现对复杂过程的控制。

除了 CPU 自带的存储器,为了保存用户程序和数据,目前不少 PLC 还采用 SD 卡等外部存储介质。

2) 输入/输出接口单元(I/O) 输入/输出接口单元是控制器与工业过程现场设备之间的连接部件,是控制器的 CPU 单元接受外界输入信号和输出控制指令的必经通道。输入单元和各种传感器、电气元件触点等连接,把工业现场的各种测量信息送入到控制器中。输出单元与各种执行设备连接,应用程序的执行结果改变执行设备的状态,从而对被控过程施加调节作用。输入/输出单元直接与工业现场设备连接,因此要求它们有很好的信号适应能力和抗干扰能力。通常,I/O 单元会配置各种信号调理、隔离、锁存等电路,以确保信号采集的可靠性、准确性,保护工业控制系统不受外界干扰的影响。

由于工业现场信号种类的多样性和复杂性,控制器通常配置有各种类型的输入/输出单元(模块)。根据变量类型,I/O 单元可以分为模拟量输入模块、数字量输入模块、模拟量输出模块、数字量输出模块和脉冲量输入模块等。

数字量输入和输出模块的点数通常为 4、8、16、32、64。数字量输入、输出模块会把若干个点,如 8 点组成一组,即它们共用一个公共端。

模拟量输入和输出模块的点数通常为 2、4、8 等。有些模拟量输入支持单端输入与差动输入两种方式,对于一个差动输入为 8 路的模块,设置为单端输入时,可以接入 16 路模拟量信号。对于模拟量采样要求高的场合,有些模块具有通道隔离功能。

用户可以根据控制系统信号的类型和数量,并考虑一定 I/O 冗余量的情况下,来合理选择不同点数的模块组合,从而节约成本。

A. 数字量输入模块 通常可以按电压水平对数字量模块分类,主要有直流输入单元和交流输入单元。直流输入单元的工作电源主要有 24V 及 TTL 电平。交流输入模块的工作电源为 220V 或 110V,一般当现场节点与 I/O 端子距离远时采用。一般来说,如果现场的信号采集点与数字量输入模块的端子之间距离较近,就可以用 24V 直流输入模块。根据作者的工程经验,如果电缆走线干扰少,120m 之内完全可以用直流模块。数字量输入模块多采用光耦合电路,以提高系统的抗干扰能力。

在工业现场,特别是在过程工业中,对于数字输入信号,会采用中间继电器隔离,即数字量输入模块的信号都是从继电器的触点来。对于继电器输出模块,该输出信号都是通过中间继电器隔离和放大,才和外部电气设备连接。因而,在各种工业控制系统中,直流输入/输出模块广泛使用,交流输入/输出模块使用较少。

B. 数字量输出模块 按照现场执行机构使用的电源类型,可以把数字量输出模块分为直流输出(继电器和晶体管)和交流输出(继电器和晶闸管)。

继电器输出型模块有许多优点,如导通压降小,有隔离作用,价格相对较便宜,承受瞬时过电压和过电流的能力较强等。但其不能用于频繁通断的场合。对于频繁通断的感性负载,应选择晶体管或晶闸管输出类型。

开关量输出模块在使用时,一定要考虑每个输出点的容量(额定电压和电流)、输出负载类型等。如在温控中,若采用固态继电器,则一定要配晶体管输出模块。

C. 模拟量输入模块 模拟量信号是一种连续变化的物理量,如电流、电压、温度、压力、位移、速度等。在工业控制中,要对这些模拟量进行采集并送给控制器的 CPU 处理,必须先对这些模拟量进行模-数(A-D)转换。模拟量输入模块就是用来将模拟信号转换成控制器所能接收的数字信号的。生产过程的模拟信号是多种多样的,类型和参数大小也不相同,因此一般在现场先用变送器把它们变换成统一的标准信号(如4~20mA的直流电流信号),然后再送入模拟量输入模块将模拟量信号转换成数字量信号,以便控制器进行处理。模拟量输入模块一般由滤波、模-数(A-D)转换、光耦合器等部分组成。光耦合器有效防止了电磁干扰。对多通道的模拟量输入单元,通常设置多路转换开关进行通道的切换,且在输出端设置信号寄存器。

此外,由于工业现场大量使用热电偶、热电阻测温,因此控制设备厂家都生产相应的模块。热电偶模块具有冷端补偿电路,以消除冷端温度变化带来的测量误差。热电阻的接线方式有二线、三线和四线3种。通过合理的接线方式,可以减弱连接导线电阻变化的影响,提高测量精度。

选择模拟量输入模块时,除了要明确信号类型外,还要注意模块(通道)的精度、转换时间等是否满足实际数据采集系统的要求。

传感器/测量仪表有二线制和四线制之分,因而这些仪表与模拟量模块连接时,要注意仪表类型是否与模块匹配。通常,PLC中的模拟量模块同时支持二线制或四线制仪表。信号类型可以是电流信号,也可以是电压信号(有些产品要进行软硬件设置,接线方式会有不同)。对于采用二线制接法的,通常仪表的工作电源由模块供电。DCS的模拟量输入模块对于信号的限制要大。例如,某些型号模拟量输入只支持二线制仪表,即必须由该模块的端子为现场仪表供电,外部不能再接24V直流电源。而如果使用了四线制仪表,则必须选配支持四线制的模拟量输入模块。

D. 模拟量输出模块 现场的执行器,如电动调节阀、气动调节阀等都需要模拟量来控制,所以模拟量输出通道的任务就是将计算机计算的数字量转换为可以推动执行器动作的模拟量。模拟量输出模块一般由光耦合器、数-模(D-A)转换器和信号驱动等环节组成。

模拟量输出模块输出的模拟量可以是电压信号,也可以是电流信号。电压或电流信号的输出范围通常可调整,如电流输出,可以设置为0~20mA或4~20mA。不同厂家的设置方式不同,有些需要通过硬件进行设置,有些需要通过软件设置,而且电压输出或电流输出时,外部接线也不同,这需要特别注意。通常,模拟量输出模块的输出端要外接24V直流电源,以提高驱动外部执行器的能力。

3) 通信接口模块 通信接口模块包括与上位机通信接口及与现场总线设备通信接口两类。这些接口模块有些可以集成到CPU模块上,有些是独立的模块。如横河电机Centum VP等型号DCS的CPU模块上配置有两个以太网接口。对于PLC系统,CPU模块上通常还会配置有串行通信接口。这些接口通常能满足控制站编程及上位机通信的需求。但由于用户的需求不同,因此各个厂家,特别是PLC厂家,都会配置独立的以太网等通信模块。

对于现场控制站来说,由于目前广泛采用现场总线技术,因此现场控制站还支持各种类型的总线接口通信模块,典型的包括FF、Profibus-DP、ControlNet等。由于不同厂家通常支持不同的现场总线,因此总线模块的类型还与厂商或型号有关。如A-B公司就有DeviceNet和ControlNet模块,三菱电机有CC-Link模块,ABB有ARCNET网络接口和CANopen接口模

块等。

由于在大的工厂，通常除了 DCS，还存在多种类型的 PLC（这些控制系统通常随设备一起供货），为了全厂监控，要求 DCS 能与 PLC 通信，所以一般 DCS 上还会配置 Modbus 通信模块。

4) 智能模块与特殊功能模块 所谓智能模块就是由控制器制造商提供的一些满足复杂应用要求的功能模块。这里的智能表明该模块具有独立的 CPU 和存储单元，如专用温度控制模块或 PID 控制模块，它们可以检测现场信号，并根据用户的预先组态进行工作，把运行结果输出给现场执行设备。

特殊功能模块还有用于条形码识别的 ASCII/BASIC 模板，用于运行控制、机械加工的高速计数模板、单轴位置控制模板、双轴位置控制模板、凸轮定位器模板和称重模块等。

这些智能与特殊模块的使用，不仅可以有效地降低控制器处理特殊任务的负荷，也增强了对特殊任务的响应速度和执行能力，从而提高了现场控制站的整体性能。

5) 电源 所有的现场控制站都要独立可靠的供电。现场控制站的电源包括给控制站设备本身供电的电源及控制站 I/O 模块的供电电源两种。除了一体化的 PLC 等设备，一般的现场控制站都有独立的电源模块，这些电源模块为 CPU 等模块供电。有些产品需要为模块单独供电，有些只需要为电源模块供电，电源模块通过总线为 CPU 及其他模块供电。一般的 I/O 模块连接外部设备时都要再单独供电。

电源类型有交流电源（AC220V 或 AC110V）或直流电源（常用为 DC24V）。虽然有些电源模块可以为外部电路提供一定功率的 24V 的工作电源，但一般不建议这样用。

6) 底板、机架或框架 从结构上分，现场控制站可分为固定式和组合式（模块式）两种。固定式控制站包括 CPU、I/O、显示面板、内存块、电源等，这些元素组合成一个不可拆卸的整体。模块式控制站包括 CPU 模块、I/O 模块、电源模块、通信模块、底板或机架，这些模块可以按照一定规则组合配置。虽然不同产品的底板或机架形式不同，甚至叫法不一样，但它们的函数是基本相同的。不同厂家对模块在底板的安装顺序有不同的要求，如电源模块与 CPU 模块的位置通常是固定的，CPU 模块通常不能放在扩展机架上等。

在底板上通常还有用于本地扩展的接口，即扩展底板通过接口与主底板通信，从而确保现场控制器可以安装足够多的各种模块，具有较好的扩展性，适应系统规模从小到大的各种应用需求。

2. 软件组成

(1) 上位机系统软件

上位机系统的软件包括服务器、工作站上的系统软件和各种应用软件。早期除了部分 DCS 采用 UNIX 等作为操作系统，目前普遍采用 Windows 操作系统。

上位机系统等应用软件包括各种人机界面、控制器组态软件、通信配置软件、实时和历史数据库软件和其他高级应用软件（如资产管理等）。通常 DCS 只要安装产家提供的软件包就可以了，而 SCADA 等系统要根据系统功能要求配置相应的应用软件包。

(2) 现场控制站软件

现场控制站的软件包括 CPU 模块中的操作系统和用户编写的应用程序。由于现场控制站开放性较差，厂商只提供编程软件作为开发平台，对于其操作系统等细节厂家从不告知，因此用户对于其操作系统知识甚少。由于现场控制站要进行实时控制，且硬件资源有限，因

此其操作系统一般是支持多任务的嵌入式实时操作系统。这些操作系统的主要特点是将应用系统中的各种功能划成若干任务，并按其重要性赋予不同的优先级，各任务的运行进程及相互间的信息交换由实时多任务操作系统调度和协调。

施耐德电气的 Quantum 系列和罗克韦尔自动化公司的 ControlLogix 系列 PLC 的操作系统采用 VxWorks。VxWorks 操作系统是美国 WindRiver 公司于 1983 年设计开发的一种嵌入式实时操作系统。早在 Windows 风行之前，VxWorks 及 QNX 等就已是十分出色的实时多任务操作系统。VxWorks 具有可靠性高、实时性强、可裁减性等特点。并以其良好的持续发展能力、高性能的内核以及友好的用户开发环境，在嵌入式实时操作系统领域占据一席之地。在通信、军事、航空、航天等高精尖技术及实时性要求极高的领域广泛应用。美国的 F-16 和 FA-18 战斗机、B-2 隐形轰炸机和爱国者导弹甚至火星探测器上也使用了 VxWorks。

以可编程自动化控制器 PAC 为代表的现场控制站以开放性为其特色之一，因而多采用 Windows CE 作为操作系统。大量的消费类电子产品和智能终端设备也选用 Windows CE 作操作系统。此外，不少厂家对 Linux 进行裁剪，作为其开发的控制器的操作系统。

控制站上的应用软件是控制系统设计开发人员针对具体的应用系统要求而设计开发的。通常，控制器厂商会提供软件包以便于技术人员开发针对具体控制器的应用程序。目前，这类软件包主要基于 IEC61131-3 标准。有些厂商软件包支持该标准中的所有编程语言及规范，有些是部分支持。该软件包通常是一个集成环境，提供了系统配置、项目创建与管理、应用程序编辑、在线和离线调试、应用程序仿真、诊断及系统维护等功能。

为了便于应用程序开发，软件包提供了大量指令给用户调用，主要包括以下类别：

- 1) 运算指令：包括各种逻辑与算术运算。
- 2) 数据处理指令：包括传送、移位、字节交换、循环移位等。
- 3) 转换指令：包括数据类型转换、码类型转换以及数据和码之间的类型转换。
- 4) 程序控制指令：循环、结束、顺序、跳转、子程序调用等。
- 5) 其他特殊指令

除了上述指令，编程系统还提供了大量的功能块或程序，主要包括：

- 1) 通信功能块：包括以太网通信、串行通信及现场总线通信等功能块。
- 2) 控制功能块：包括 PID 及其变种等各种功能块。
- 3) 其他功能块：包括 I/O 处理、时钟、故障信息读取、系统信息读写等。

此外，用户还可以自定义各种功能块，以满足行业应用的需要，同时增加软件的可重用性，也有利于知识产权的保护。

3. 辅助设备

计算机控制系统除了上述硬件和软件外，还有机柜、操作台等辅助设备。机柜主要用于安装现场控制器、I/O 端子、隔离单元、电源等设备。而操作台主要用于操作和管理用。操作台一般由显示器、键盘、开关、按钮和指示灯等构成。操作员通过操作台可以了解与控制整个系统的运行状态，而且在紧急情况下，可以实施紧急停车等操作，确保安全生产。

现代计算机控制系统还会配置有视频监控系统，有些监控设备也会安装在操作台上或通过中控室的大屏幕显示，以加强对重要设备与生产过程的监控，进一步提高生产运行和管理水平。由于视频监控系统与工业生产控制的关联度较小，在实践中，视频监控系统的设

部署和维护都是独立于工控系统的。

1.2 工业计算机控制系统的分类与发展

1.2.1 工业计算机控制系统的分类

1. 数据采集系统 (DAS)

数据采集系统 (Data Acquisition System, DAS) 是计算机应用于生产过程控制最早、也是最基本的一种类型, 其原理如图 1-5 所示。生产过程中的大量参数经仪表发送和 A-D 通道或 DI 通道巡回采集后送入计算机, 由计算机对这些数据进行分析处理, 并按操作要求进行屏幕显示、制表打印和越限报警等。该系统可以代替大量的常规显示、记录和报警仪表, 对整个生产过程进行集中监视。因此, 该系统对于指导生产以及建立或改善生产过程的数学模型是有重要作用的。

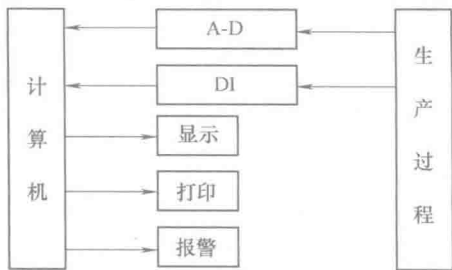


图 1-5 数据采集系统原理图

2. 操作指导控制 (OGC) 系统

操作指导控制 (Operation Guide Control, OGC) 系统是基于数据采集系统的一种开环系统, 如图 1-6 所示。计算机根据采集到的数据以及工艺要求进行最优化计算, 计算出的最优操作条件, 并不直接输出以控制生产过程, 而是显示或打印出来, 操作人员据此去改变各个控制器的给定值或操作执行器输出, 从而起到操作指导的作用。显然, 这属于计算机离线最优控制的一种形式。操作指导控制系统的优点是结构简单, 控制灵活和安全。缺点是要由人工操作, 速度受到限制, 不能同时控制多个回路。因此, 常常用于计算机控制系统操作的初级阶段, 或用于试验新的数学模型、调试新的控制程序等场合。

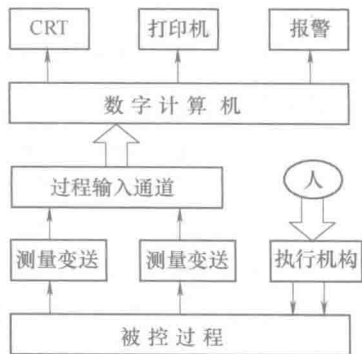


图 1-6 操作指导控制系统原理图

3. 直接数字控制 (DDC) 系统

直接数字控制 (Direct Digital Control, DDC) 系统是用一台计算机不仅完成对多个被控参数的数据采集, 而且能按一定的控制规律进行实时决策, 并通过过程输出通道发出控制信号, 实现对生产过程的闭环控制, 如图 1-7 所示。为了操作方便, DDC 系统还配置一个包括给定、显示、报警等功能的操作控制台。

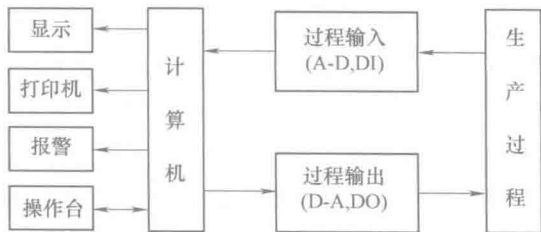


图 1-7 直接数字控制系统原理图

DDC 系统中的一台计算机不仅完全取代了多个模拟调节器, 而且在各个回路的

控制方案上,不改变硬件只通过改变程序就能有效地实现各种各样的复杂控制,因此 DDC 控制方式在理论上有其合理性和优越性。但是,由于这种控制方式属于集中控制与管理,因此风险的集中会对安全生产带来威胁,特别是早期的计算机可靠性较差,因而这种控制方式并没有大规模推广。

4. 计算机监督控制 (SCC) 系统

计算机监督控制 (Supervisory Computer Control, SCC) 系统是 OGC 系统与常规仪表控制系统或 DDC 系统综合而成的两级系统,如图 1-8 所示。SCC 系统有两种不同的结构形式,一种是 SCC + 模拟调节器系统 (也可称计算机设定值控制系统即 SPC 系统),另一种是 SCC + DDC 控制系统。其中,作为上位机的 SCC 计算机按照描述生产过程的数学模型,根据原始工艺数据与实时采集的现场变量计算出最佳动态给定值,送给作为下位机的模拟调节器或 DDC 计算机,由下位机控制生产过程。这样,系统就可以根据生产工况的变化,不断地修正给定值,使生产过程始终处于最优工况。显然,这属于计算机在线最优控制的一种实现形式。

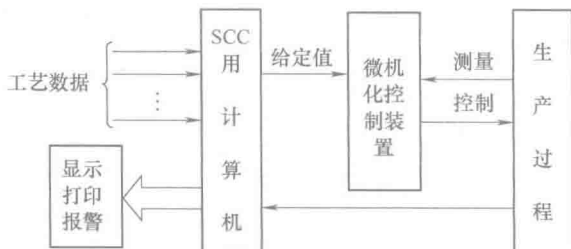


图 1-8 计算机监督控制系统原理图

另外,当上位机出现故障时,可由下位机独立完成控制。下位机直接参与生产过程控制,要求其实时性好、可靠性高和抗干扰能力强;而上位机承担高级控制与管理任务,应配置数据处理能力强、存储容量大的高档计算机。

5. 基于 PC (PC-Based) 的控制系统

PLC 作为传统主流控制器,具有抗恶劣环境、稳定性好、可靠性高、逻辑顺序控制能力强等优点,在自动化控制领域具有不可替代的优势。但 PLC 也有明显的不足:封闭式架构、封闭式软、硬件系统、产品兼容性差、编程语言不统一等。这些都造成了 PLC 的应用壁垒,也增加了用户维修的难度和集成成本。而脱胎于商用 PC 的工业控制计算机 IPC,具有价格相对低廉、结构简单、开放性好、软硬件资源丰富、环境适应能力强等特点。因此 IPC 除了可以用于监控系统做人机界面主机外,还可以分出部分资源来模拟 CPU 的功能,即同时具有实时控制功能。因而,首先产生了所谓软 PLC (SoftPLC,也称为软逻辑 SoftLogic) 的概念,其基本思想如图 1-9 所示。

软 PLC 利用 PC 的部分资源来模拟 PLC 的 CPU 的功能,从而在 PC 上运行 PLC 的程序。软 PLC 综合了计算机和 PLC 的开关量控制、模拟量控制、数学运算、数值处理、网络通信、PID 调节等功能,通过一个多任务控制内核,提供强大的指令集、快速而准确执行控制任务。随着对软 PLC 的认识深入及控制技术的发展,进一步产生了基于 PC (PC-Based) 的控制概念。目前,有两种基于 PC 的控制解

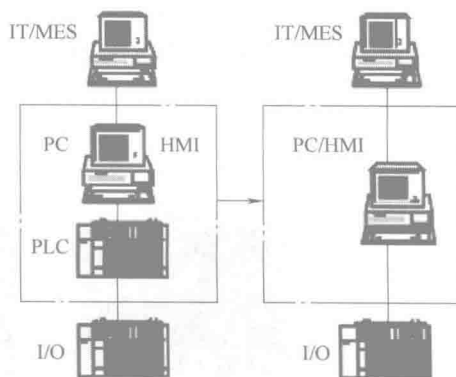


图 1-9 软 PLC 的基本原理
(从 PLC 控制到软 PLC 控制)

决方案，它们分别是软 PLC 解决方案和基于 PLC 技术的解决方案。后一种方案针对软 PLC 解决方案控制与监控功能集中而导致可靠性下降的问题，采用独立的硬件 CPU。这两种类型的基于 PC 的控制方法及相关的产品具有各自的特点和应用领域，随着这些技术与产品的不断成熟，它们的应用领域也在不断增加。

6. 集散控制系统 (DCS)

随着生产规模的扩大，不仅对控制系统的 I/O 处理能力要求更高，而且随着信息量的增多，对于集中管理的要求也越来越高，控制和管理的关系也日趋密切。对于大型企业生产的控制和管理，从可靠性要求看，不可能只用一台计算机来完成。另外一方面，计算机技术、通信技术和控制技术的发展，使得开发大型分布式计算机控制系统成为可能。终于通过通信网络连接管理计算机和现场控制站的集散控制系统 (Distributed Control System, DCS) 在 1975 年被研制出来。DCS 采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调的设计原则，自下而上可以分为若干级，如过程控制级、控制管理级、生产管理级和经营管理级等，满足了大规模工业生产过程对于工业控制系统的需求，成为主流的工业过程控制系统。

7. 计算机集成制造系统 (CIMS)

计算机集成制造系统是把企业内部各个环节，包括工程设计、在线和离线过程监控、产品销售、市场预测、订货和生产计划、新品开发、产品设计、经营管理和用户反馈信息等高度计算机化、自动化和智能化，形成的管控一体化系统，是随着计算机辅助设计与制造的发展而产生的，适用于多品种、小批量生产，实现整体效益的集成化和智能化制造系统。从功能层方面分析，CIMS 大致可以分为六层：生产/制造系统，硬事务处理系统，技术设计系统，软事务处理系统，信息服务系统，决策管理系统。从生产工艺方面分，CIMS 可大致分为离散型制造业、连续性制造业和混合型制造业三种；从体系结构来分，CIMS 也可以分成集中性、分散性和混合型三种类型。

1.2.2 控制装置 (控制器) 的类型

1. 可编程调节器

可编程调节器 (Programmable Controller, PC)，又称单回路调节器 (Single Loop Controller, SLC)、智能调节器、数字调节器等。它主要由微处理器单元、过程 I/O 单元、面板单元、通信单元、硬手操单元和编程单元等组成，在过程工业特别是单元级设备控制中广泛使用。常用的一些可编程调节器如图 1-10 所示。



图 1-10 典型的可编程调节器