



普通高等教育“十一五”规划教材

测控系统 网络化技术及应用

◎ 于 洋 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”规划教材

测控系统网络化技术及应用

主编 于 洋
参编 陈 亮 刘 念 周 丹
主审 宋爱国



机械工业出版社

本书在介绍测控系统的概念、测控系统网络化发展趋势的基础上,综合检测技术、控制技术和计算机网络应用技术等相关知识,重点介绍了工业测控系统中的网络化技术、网络化实现方法及工程实例。本书共分7章,包括绪论、网络与数据通信基础、测控系统中常用的网络通信技术、网络化先进控制系统、典型网络化工控产品应用技术、组态软件在测控系统中的应用、网络化测控系统实例等。本书在介绍基本理论、概念和方法的基础上,重点突出实际工程上的应用,书中所举工程实例大多数来源于编者近年来承担的实际工程项目。

本书可作为大专院校测控技术与仪器、自动化类和仪器仪表类等相关专业的本科生和研究生的教学参考书或教材,也可供广大从事自动控制、检测技术与仪器仪表、计算机应用等方面的工程技术人员阅读。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 下载或发邮件到 Edmondyan@sina.com 或 Edmondyan@hotmail.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

测控系统网络化技术及应用/于洋主编.——北京:机械工业出版社,2009.7
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-111-27301-1

I. 测… II. 于… III. 自动检测系统—高等学校—教材 IV. TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第084882号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明 责任校对:陈立辉

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2009年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.5印张·356千字

标准书号:ISBN 978-7-111-27301-1

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379725

封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来,随着工业生产过程中测量与控制系统的多样化和计算机网络技术的飞速发展,传统工业生产过程中的测控系统正在向着网络化、信息化和智能化方向发展。测量是信息获取技术;控制是信息处理技术;而网络化是测控系统的实现技术。测控系统向着网络化发展,顺应了信息技术发展的要求,形成了各种各样的新型工业测控系统,在工业生产、航空航天和军事科技中发挥着极为重要的作用。

本书旨在面向从事工业生产过程测量和控制技术方面的专业人员,立足于培养实际工程应用能力,介绍工业测控系统中的网络化技术及网络化实现方法。本书是检测技术、控制技术和计算机网络化技术的综合,也是控制科学与工程学科和计算机应用技术学科内容的交叉和结合,在学术上也有一定指导意义。目前,介绍工业测量和控制技术的书籍很多,讲述计算机网络技术的书籍更是数不胜数,但二者真正综合起来为测控系统网络化的设计提供理论和实践指导的书籍却很少。

本书文字叙述通俗简练、重点突出,在内容和选材上注重系统性和实用性。本书共分为7章。第1章介绍测控系统的概念、特点、组成和网络化发展趋势;第2章主要介绍计算机网络与数据通信基础,第3章则结合实际测控系统,重点介绍常用网络通信技术;第4章主要介绍目前先进的计算机网络化测控系统,集散控制系统(DCS)和现场总线控制系统(FCS)。第5章介绍了目前主要应用于测控系统中的工控产品——嵌入式控制器和牛顿模块在网络化测控系统中的应用;第6章讲解了目前广泛应用于工业测控系统中的组态软件技术及应用;第7章在介绍实际工程项目开发步骤的基础上,以实际工程项目为例,介绍了5个网络化测控系统工程实例。

参编人员都具有多年计算机测控技术的教学和科研经验,书中的测控系统实例大多数为编者完成的实际科研项目。

本书由沈阳理工大学信息科学与工程学院于洋教授主编。于洋与周丹合作编写了第1章、与陈亮合作编写了第5章、与刘念合作编写了第4章并审定了全稿;陈亮编写第6、7章;刘念编写第2、3章和多媒体课件。本书由东南大学宋爱国主审。

在编写过程中得到了刘晓阳、富佳佳、石宁、薛婷婷等研究生及杨媛媛的帮助,在此表示感谢。

由于本书涉及的内容知识较广,加之编者水平有限,书中难免存在许多不妥与不足之处,诚请读者批评指正。读者可以将宝贵意见和建议发至编者电子邮箱 yusongh@sohu.com,读者也可通过此邮箱索取多媒体课件。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1	2.4.3 网络互联技术	44
1.1 测控系统的概念与类型	1	2.5 无线网络技术	46
1.1.1 测控系统的概念	1	2.5.1 无线网络的优势与发展	46
1.1.2 测控系统的类型	1	2.5.2 无线网络中的主要技术	47
1.2 工业过程控制系统概述	2	2.5.3 无线局域网	49
1.2.1 工业过程控制系统的发展	2	2.5.4 GSM 与 GPRS	50
1.2.2 工业过程控制系统实例	4	2.6 短距离无线数据通信网技术	53
1.2.3 过程计算机控制系统组成	6	2.6.1 HomeRF 技术简介	54
1.2.4 过程计算机控制系统的分类	8	2.6.2 蓝牙 (Bluetooth) 技术简介	54
1.3 仪器仪表与自动测试系统	11	2.6.3 Wi-Fi 技术	55
1.3.1 仪器仪表与自动测试系统的 发展	11	2.6.4 Zigbee 技术	55
1.3.2 智能仪器仪表	12	2.6.5 电子标签 (RFID) 技术	56
1.3.3 自动测试系统	14	2.7 无线传感器网络技术	57
1.4 测控系统网络化发展概述	15	2.7.1 无线传感器网络概述	57
1.4.1 测控系统的网络化发展趋势	15	2.7.2 WSN、Ad hoc 和无线宽带网的 不同	58
1.4.2 测控系统网络技术的特点	16	2.7.3 传感器网络体系结构与特征	59
1.4.3 网络化测控系统的体系结构	18	2.7.4 传感器网络协议栈	62
习题与思考题	19	2.7.5 传感器网络的关键技术	63
第2章 网络与数据通信基础	20	2.8 广域网技术与 Internet 应用技术	64
2.1 计算机网络基础	20	2.8.1 广域网的基本概念	64
2.1.1 计算机网络的定义与发展	20	2.8.2 常用 Internet 应用协议	65
2.1.2 计算机网络的拓扑结构	22	2.8.3 网络安全	66
2.1.3 计算机网络中的传输介质	24	习题与思考题	68
2.2 数据通信技术	26	第3章 测控系统中常用的网络 通信技术	69
2.2.1 数据通信的基本概念	26	3.1 测控系统网络通信技术特点	69
2.2.2 数据传输技术	27	3.1.1 实时性	69
2.2.3 信息交换技术	31	3.1.2 可靠性	70
2.2.4 差错检测与控制	33	3.1.3 稳定性	70
2.3 网络体系结构	34	3.2 测控系统中常用串行通信方法	70
2.3.1 网络体系结构的基本概念	34	3.2.1 RS-232 接口	70
2.3.2 OSI 参考模型与 TCP/IP 协议集	35	3.2.2 RS-422/RS-485 接口	73
2.4 局域网技术	41	3.2.3 USB 技术	74
2.4.1 局域网概述	41	3.2.4 串行通信应用举例	77
2.4.2 局域网访问控制方法	42	3.3 现场总线技术	81
		3.3.1 现场总线的定义	82

3.3.2 现场总线与 RS-232、RS-485 的本质区别	82	5.2.1 Dynamic C 语言概述	112
3.3.3 基金会现场总线	82	5.2.2 Dynamic C 的设置	113
3.3.4 ProfiBus 总线	83	5.2.3 基于 B/S 的 Dynamic C 程序设计 基本步骤	114
3.3.5 控制器局域网总线 CAN	84	5.2.4 嵌入式基本输入输出程序的编写 方法	115
3.3.6 ControlNet 总线	84	5.2.5 编写简单的 TCP/IP 程序	115
3.3.7 现场总线的应用	85	5.2.6 嵌入式系统多任务的处理	116
3.4 工业以太网	87	5.2.7 编写简单的 CGI 程序	117
3.4.1 工业以太网的定义	87	5.2.8 Dynamic C 同网页之间的连接	118
3.4.2 以太网与现场总线的整合	88	5.3 BL2000 以太网接口技术应用实例	118
3.4.3 常见工业以太网设备	89	5.3.1 头定义 (宏定义)	118
3.5 透明传输技术	90	5.3.2 函数与公共变量的定义	119
3.5.1 透明传输基本概念与发展趋势	90	5.3.3 CGI 映射函数	119
3.5.2 透明串口技术	91	5.3.4 配置装入 Flash 中的文件和 变量	120
3.5.3 以太网同计算机串口之间的 透明传输技术	91	5.3.5 主程序	120
3.5.4 GPRS 同计算机串口之间的 透明传输技术	92	5.4 牛顿-7000 工控模块介绍	122
3.5.5 其他透明传输技术	94	5.4.1 牛顿-7000 模块简介	122
习题与思考题	94	5.4.2 牛顿-7000 系统网络结构	124
第 4 章 网络化先进控制系统	95	5.5 牛顿-7000 系统主要组网技术	126
4.1 集散过程控制系统 (DCS)	95	5.5.1 牛顿-7520 和 7510 模块介绍	126
4.1.1 DCS 系统概述	95	5.5.2 无线 Modem 模块介绍	127
4.1.2 现场控制站	97	5.5.3 牛顿-7000 系统的 RS-485 网络	128
4.1.3 操作员站及工程师站	98	5.6 基于牛顿模块的电加热炉温度控制 实例	130
4.1.4 DCS 系统网络	99	5.6.1 牛顿-7021 和 7012 模块介绍	130
4.2 现场总线控制系统 (FCS)	100	5.6.2 电加热炉无线远程温度控制 实例	131
4.2.1 现场总线的概念	100	习题与思考题	133
4.2.2 现场总线的结构和技术特点	102	第 6 章 组态软件在测控系统中的 应用	134
4.2.3 现场总线的基本设备	104	6.1 组态软件的功能	134
4.2.4 现场总线的未来趋势	105	6.2 特点及发展趋势	135
4.2.5 以现场总线为基础的控制系 统	105	6.2.1 组态软件的特点	135
4.3 FCS 与 DCS 的分析比较	107	6.2.2 监控组态软件的发展趋势	135
习题与思考题	108	6.2.3 目前流行的组态软件综述	136
第 5 章 典型网络化工控产品应用 技术	109	6.3 组态王 (KINGVIEW) 软件概述	139
5.1 嵌入式控制器 BL2000	109	6.3.1 组态王软件的结构	139
5.1.1 BL2000 概述	109	6.3.2 组态王与下位机通信方法	140
5.1.2 BL2000 系统的特点	109	6.4 组态王软件设计	140
5.1.3 BL2000 子系统	110	6.4.1 组态王与模块通信方法	140
5.1.4 BL2000 的性能指标	110	6.4.2 组态王的动画图形界面设计	145
5.2 Dynamic C 语言	112		

6.4.3 组态王的报警、事件和趋势曲线.....	145	7.3.3 系统总体方案设计.....	197
6.4.4 组态王的配方和报表系统.....	151	7.3.4 系统硬件实现.....	198
6.4.5 组态王的数据库连接.....	161	7.3.5 系统软件实现.....	200
6.4.6 GPRS 虚拟串口	166	7.3.6 结论.....	205
6.5 基于组态王和牛顿模块的温度控制系统设计.....	169	7.4 实例 3: 基于无线数传的箱式变电站数据远程监测系统设计.....	206
6.5.1 硬件连接配置.....	169	7.4.1 项目的意义.....	206
6.5.2 定义相关变量.....	170	7.4.2 项目需求分析.....	206
6.5.3 显示界面设计.....	171	7.4.3 系统总体方案设计.....	206
6.5.4 程序设计.....	172	7.4.4 系统硬件实现.....	208
习题与思考题	173	7.4.5 系统软件实现.....	209
第 7 章 网络化测控系统实例	174	7.4.6 结论.....	209
7.1 应用系统工程开发步骤.....	174	7.5 实例 4: 基于 GPRS 的油井远程在线监控系统设计.....	209
7.1.1 系统研制流程.....	174	7.5.1 项目的意义.....	209
7.1.2 硬件设计规范.....	177	7.5.2 项目需求分析.....	210
7.1.3 软件设计规范.....	180	7.5.3 系统总体方案设计.....	211
7.2 实例 1: 基于 RS-485 网络抄表系统设计.....	183	7.5.4 系统软件实现.....	214
7.2.1 项目的意义.....	183	7.5.5 结论.....	218
7.2.2 项目需求分析.....	183	7.6 实例 5: 基于 PROFIBUS 的自来水厂分布式监控系统设计.....	218
7.2.3 系统总体方案设计.....	183	7.6.1 项目的意义.....	218
7.2.4 系统硬件实现.....	184	7.6.2 项目需求分析.....	219
7.2.5 系统软件实现.....	185	7.6.3 系统总体方案设计.....	219
7.2.6 结论.....	197	7.6.4 系统硬件实现.....	220
7.3 实例 2: 基于以太网的远程抄表系统设计.....	197	7.6.5 系统软件实现.....	221
7.3.1 项目的意义.....	197	7.6.6 结论.....	223
7.3.2 项目需求分析.....	197	习题与思考题	223
		参考文献	224

第 1 章 绪 论

1.1 测控系统的概念与类型

1.1.1 测控系统的概念

进入现代工业社会以来，人们更加迫切地需要了解自己身边环境的变化情况，特别是在科学试验和工业生产过程中，一方面需要对描述被控对象特征的某些参数进行“检测”或“监测”，获得表征它们的有关信息，以便对被测对象进行定性了解和定量掌握；另一方面根据检测的结果采用一定的策略去“控制”描述被控对象特征的某些参数，稳定、快速、准确地达到人们预想的目标。用于监测过程的人工系统称为监测系统，用于控制过程的人工系统则称为控制系统。监测的目的是为了更好地控制，控制的结果需要监测的检验，这是一个反馈过程。这两类系统统称为测控系统。

就技术而言，测控系统是传感器技术、通信技术、计算机技术、控制技术、计算机网络技术等信息技术的综合；就组成形式而言，测控系统的构成通常是分布式计算机管理系统；就其应用而言，测控系统是现代化生产和管理的有力工具，广泛应用于国民经济的各个领域，如化工、冶金、纺织、能源、交通、电力、城市公共事业、医疗等领域，在科学研究、国防建设和空间技术中的应用更是屡见不鲜；就其理论基础而言，自动控制理论、信息论和系统论是测控系统的重要理论支撑。

测控系统与具体的对象和领域联系起来就形成了不同的学科。通常所指的测控系统主要指用于工业、国防、环境、医学等领域的各种自动监测系统、仪器仪表、过程控制系统等。

1.1.2 测控系统的类型

本书所指的测控系统，可能是只“测”不“控”系统即检测系统，也可能是既“测”又“控”的系统即测控系统，而只“控”不“测”的系统即控制系统也存在，但在实际生产过程中较少，因为检测是控制的前提和基础。不过，从功能上还是要分三种类型进行介绍。

1. 检测系统 单纯以“检测”为目的的系统，一般用来对被测对象中的一些物理量进行测量并获得相应的测量数据。图 1-1 为检测系统原理结构图，它由下列功能环节组成。

(1) 敏感元件 从被测对象感受信号，同时产生一个与被测物理量成某种函数关系的输出量。

(2) 变量转换环节 将敏感元件的输出变量做进一步变换，即变换成更适于处理的变量，并且要求它应当保存原始信号中所包含的全部信息。

(3) 变量控制环节 为了完成对检测系统提出的任务，要求用某种方式去控制以某种物理量表示的信号。这里所说的控制的意思是在保持变量物理性质不变的条件下，根据某种固定的规律，仅仅改变变量的数值。

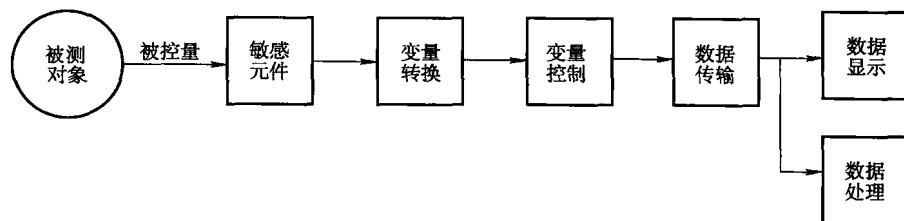


图 1-1 检测系统原理结构图

(4) 数据传输环节 当检测系统的几个功能环节被分隔开时，必须从一个地方向另一个地方传输数据。

(5) 数据显示环节 有关被测量的信息要想传给人以完成监视、控制或分析的目的，则必须将信息变成人的感官能接受的形式，完成这种转换机能的环节称为数据显示环节。例如：数字显示和打印记录。

(6) 数据处理环节 检测系统要对测量所得数据进行数据处理。数据处理工作由机器自动完成，不需要人工进行繁琐的运算。

若系统仅用于生产过程的监测，当安全参数达到极限值时产生显示及声、光报警等输出。此种系统一般称为监测系统；除监测以外，还参与一些开关量的控制，如：断电、闭锁等顺序控制，此种系统一般称为监控系统。

2. 控制系统 单纯以程序控制为目的的系统，其组成框图如图 1-2 所示。这是一种开环控制系统，程序控制

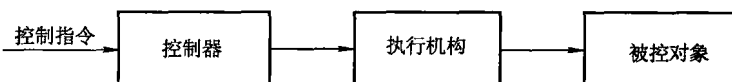


图 1-2 控制系统原理框图

的基本思想是将被控对象的动作次序和各类参数输入控制器，去指挥执行机构按照固定的程序，一步一步地控制被控对象的动作，动作的结果如何，却无从知道，因而控制精度不高。

3. 测控系统 指既“测”又“控”的系统。依据被控对象、被控参数的检测结果，按照人们预期的目标对被控对象实施控制，这里的控制除了指系统开关量的控制外，更主要指的是被控对象参数变量的控制。

下面将通过工业过程控制系统和仪器仪表与自动测试系统的介绍，进一步说明测控系统的相关概念和内容。

1.2 工业过程控制系统概述

1.2.1 工业过程控制系统的发展

自动控制技术在工业、农业、国防和科学技术现代化中起着十分重要的作用，自动控制水平高低也是衡量一个国家科学技术先进与否的重要标志之一。随着国民经济和国防建设的发展，自动控制技术的应用日益广泛，其重要作用也越来越显著。

过程自动控制（简称过程控制）是自动控制技术在石油、化工、电力、冶金、机械、轻工、纺织等生产过程中的具体应用，是自动化技术的重要组成部分。进入 21 世纪，随着自

动化技术、计算机技术、通信技术的迅速发展，过程控制发生了深刻的变革，正在向着数字化、网络化和综合自动化方向发展，在实现各种最优控制和经济指标、保证生产的质量和产量、提高经济效益和劳动生产率、节约能源、改善劳动条件、保证生产安全、保护环境等方面发挥着越来越巨大的作用。

在过程控制发展的历程中，生产过程的需求、控制理论的开拓以及控制技术工具和手段的进展三者相互影响、相互促进，推动了过程控制不断地向前发展。纵观过程控制的发展历史，大致经历了以下几个阶段：

20 世纪 40 年代，大多数工业生产过程均处于手工操作状态，只有少量的检测仪表用于生产过程，操作人员主要根据观测到的反映生产过程的关键参数，用人工来改变操作条件，凭经验去控制生产过程。因此，劳动生产率很低且产品质量差，劳动强度大。

20 世纪 40 年代末至 50 年代，生产过程的控制有了长足的发展，部分生产过程实现了仪表化和局部自动化。在这期间，过程控制系统的结构多为单输入、单输出系统，即是以温度、压力、流量、液位等参数为被控变量的简单控制系统；过程检测、控制的技术工具普遍采用的是基地式仪表和部分单元组合仪表（气动Ⅰ型和气动Ⅱ型）；以反馈控制为代表的经典控制理论被广泛应用于系统的分析、设计中，控制的目的是保证生产的稳定和安全。

20 世纪 50 年代末至 60 年代，随着工业生产过程向着大型化、连续化方向发展，生产过程的复杂程度进一步提高，非线性、耦合性、时变性等特点十分突出。为提高控制质量和实现一些特殊的工艺要求，相继出现了串级、比值、均匀、前馈和选择性等多种复杂控制系统。以状态空间方法为基础，以极小值原理和动态规划等最优控制理论为基本特征的现代控制理论，将传统的单输入、单输出系统发展到多输入、多输出系统领域，为实现高水平的过程控制奠定了理论基础，对自动控制技术的发展起到了积极的推动作用。由于过程机理复杂及建模困难，现代控制理论在过程控制领域实际应用一时还难以实现。随着电子技术的迅速发展，控制技术工具不断完善，气动Ⅱ、Ⅲ型仪表已成为过程控制应用的主流产品；组装仪表的开发，将各个单元划分为更小的功能块，以适应比较复杂的模拟和逻辑规律相组合的控制系统需要。

20 世纪 60 年代末至 70 年代，先后出现了以电子管、晶体管、集成电路为核心的气动和电动单元组合式仪表两大系列，它们分别以压缩空气和直流电源作动力，用于对防爆要求较高的化工生产和其他行业，防爆等级为本质安全型，并以气压信号 $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$ ，直流电流信号 $0 \sim 10 \text{ mA}$ 、 $4 \sim 20 \text{ mA}$ ，直流电压信号 $0 \sim 5 \text{ V}$ 、 $1 \sim 5 \text{ V}$ 等作为仪表的标准信号，在仪表内部实行电压并联传输，外部实行电流串联恒流传输，以减小传输过程的干扰。电动单元仪表通常以双绞线为传输介质，信号被送到集中控制室（通常称为仪表室或机房）后，操作人员可以坐在控制室内观察生产流程中各处的生产参数并了解整个生产过程。由于单元组合仪表具有统一的输入输出信号标准，在此阶段自动化系统可以根据生产需要，将各种功能单元进行组合，完成各种复杂的系统。

20 世纪 80 年代初，计算机、微处理器和并行处理技术的发展，使得依靠一对一物理连接的模拟信号系统在速度和数量上越来越无法满足大型、复杂系统的要求，模拟信号的抗干扰能力也相对较差，人们开始使用数字信号代替模拟信号，并研制直接数字控制系统，用数字计算机来代替控制室的所有仪表，于是出现了集中式数字控制系统。这样，解决了信号传输及抗干扰问题。由于当时数字计算机的可靠性还不够高，一旦计算机出现某种故障，就会

造成系统崩溃、所有控制回路瘫痪、生产停产的严重局面。因此，工业生产很难接受这种危险高度集中的系统结构，集中控制系统的应用受到一定的限制。

随着计算机可靠性的提高和价格的下降，自控领域又出现了新型控制方案——集散控制系统，它由数字调节器、可编程序控制器（PLC）以及多台计算机构成，当一台计算机出现故障时，其他计算机立即接替该计算机的工作，使系统继续正常运行。在集散系统中系统的风险被分散到多台计算机承担，避免了集中控制系统的高风险，提高了系统的可靠性。因此，它被工业生产过程广泛接受，这就是今天正在被许多企业采用的 DCS 系统。在 DCS 系统中，测量仪表、变送器一般为模拟仪表，控制器多为数字式，因而它又是一种模拟数字混合系统。这种系统与模拟式仪表系统、集中式数字控制系统相比较，在功能、性能、可靠性上有很大的进步，可以实现现场装置级、车间级的优化控制。但是，在 DCS 系统形成的过程中，由于受早期计算机发展的影响，各厂家的产品自成封闭体系，即使同一种协议下仍然存在不同厂家的设备有不同的信号传输方式且不能互联的现象，因此实现互换与互操作有一定的局限性。

20 世纪末，信息技术飞速发展。现场总线控制系统的出现，引起过程控制系统体系结构和功能结构上的重大变革。它突破了 DCS 系统中通信由专用网络的封闭系统来实现所造成的缺陷，把基于封闭、专用的解决方案变成了基于公开化、标准化的解决方案，即可以将来自不同厂商而遵守同一协议规范的自动化设备通过现场总线网络连接成系统，实现自动化系统的各种功能。同时现场总线控制系统把 DCS 集中与分散相结合的集散系统结构变成了新型全分布式系统结构，把控制功能彻底下放到现场，依靠现场智能设备本身便可实现基本控制功能。

过程控制系统与其他自动控制系统相比，有以下几个特点：

(1) 生产过程的连续性 在过程控制中，大多数被控过程都是以长期的或间歇的形式进行。在密闭的设备中被控变量不断的受到各种扰动的影响。过程控制的主要目的是消除或减少扰动对被控变量的影响，使被控变量稳定在工艺要求的数值上，从而实现生产过程的优质、高产和低耗。

(2) 被控过程的复杂性 过程控制涉及范围广，既有石化过程的蒸馏塔、反应器，热工过程的换热器、锅炉，冶金过程的转炉、平炉，又有机械行业的加热炉等。被控对象相对较大，比较复杂。其动态特性多为大惯性、大滞后形式，且具有非线性、分布参数和时变特性，甚至有些过程特性至今尚未被人们所认识。

(3) 控制方案的多样性 由于被控制过程对象特性各异，工艺条件及要求也各不相同，因此，过程控制系统的控制方案非常丰富，既有常规 PID 控制、改进 PID 控制、串级控制、前馈-反馈控制、解耦控制，又有为满足特定要求而开发的比值控制、均匀控制、选择性控制、推断控制，还有许多新型控制系统，如模糊控制、预测控制、最优控制等。

1.2.2 工业过程控制系统实例

在工业生产过程中，各类工艺参数必须在预先规定的工作条件下进行操作才能保证生产安全、高效地进行。如：贮罐和容器（包括油罐、水箱、锅炉汽包等）的液位要求维持在规定的范围内；生化过程中发酵罐的温度、压力、pH 值等要符合工艺要求。但是在实际生产过程中，由于种种因素的影响，往往会使这些表征生产过程状态的参数偏离要求。若要做到

稳定操作，就必须对其进行必要的控制。利用自动控制装置构成的过程控制系统，可以在没有人直接参与的情况下，使这些工艺参数能自动按照预定的规律变化。

下面通过两个实例来了解什么是过程控制系统。

1. 锅炉汽包水位控制 锅炉是化工、炼油、发电等工业生产过程中的重要动力设备。它所产生的高压蒸汽既可作为风机、压缩机、大型泵类的动力源，又可作为蒸馏、化学反应、干燥和蒸发等过程的热源。

在锅炉正常运行中，汽包水位是一个重要的参数，它的高低直接影响着蒸汽的品质及锅炉的安全。如果水位过低，当负荷很大时，汽化速度很快，汽包内的液体将全部汽化，导致锅炉烧干甚至会引起爆炸；如果水位过高，会影响汽包的汽水分离，产生蒸汽带液现象，降低蒸汽的质量和产量，严重时损坏后续设备。图 1-3a 为锅炉汽包示意图。

要使锅炉水位保持在规定的数值上，必须是整体的耗汽量与锅炉给水能够相适应。如果锅炉给水量不变，那么蒸汽负荷突然增加或减小就会使水位下降或上升；反之，蒸汽负荷不变而给水压力变化，水位同样会偏离规定的数值。

要想实现对汽包水位的控制，首先应随时掌握水位的变化情况。通过液位变送器就可以及时了解水位的变化情况，同时把测得的水位信号转换成相应的标准信号送到控制器。控制器将接收到的测量信号与预先规定的水位高度进行比较。如果两个信号不相等，则表明实际水位与规定水位有偏差，此时控制器将根据偏差的大小向执行器输出一个控制信号，执行器即可根据控制信号来改变阀门的开度，从而使进入锅炉的水量发生变化，达到控制锅炉汽包水位的目的。图 1-3b 为锅炉汽包水位控制系统示意图。

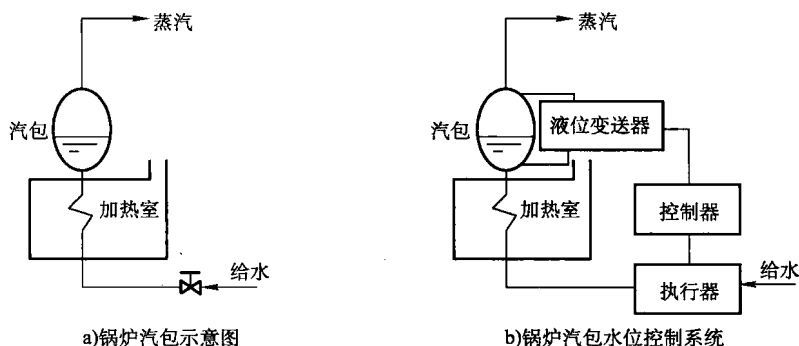


图 1-3 锅炉汽包水位控制系统

2. 发酵罐温度控制 发酵罐是间歇发酵过程中的重要设备，广泛应用于微生物制剂、食品加工等行业。发酵罐的温度是影响发酵过程的重要参数。因为微生物菌体本身对温度非常敏感，只有在适宜的温度下才能正常的生长代谢，而且涉及菌体生长和产物合成的酶也必须在一定的温度下才能具有高的活性。温度还会影响发酵产物的组成。因此，保持一定的温度就显得非常重要。

影响发酵过程的主要因素由微生物发酵热、电动机搅拌热、冷却水的流量和发酵罐本身的温度变化以及周围环境温度的改变等因素构成。一般采用通冷却水带走反应热的方式，使罐内温度保持工艺要求的数值。对于小型发酵罐，通常采用夹套冷却形式，如图 1-4a 所示。

可使用温度检测仪表（如热电偶、热电阻等）测量罐中的实际温度，将测得的数值送入

控制器，然后与工艺要求保持的温度数值进行比较。如果两个信号不相等，则由控制器的输出值控制冷水阀门的开闭程度，改变冷却水的流量，从而达到控制发酵罐温度的目的。图 1-4b 为发酵罐温度控制系统示意图。

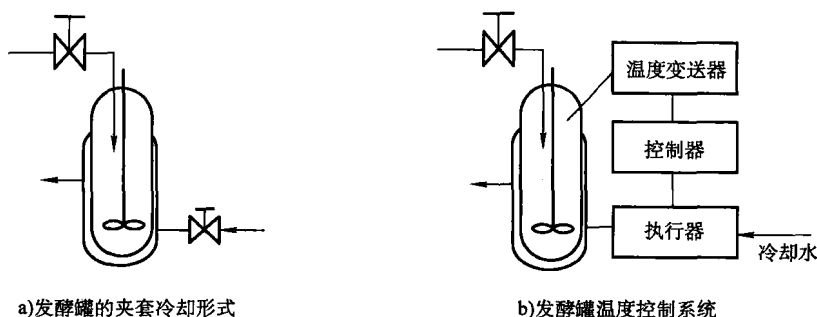


图 1-4 发酵罐温度控制系统示意图

在描述过程控制系统时常用以下几个重要术语：

(1) 被控过程（对象） 工艺参数需要控制的生产过程设备或机器等，如锅炉汽包、发酵罐等。

(2) 被控变量 被控对象中要求保持设定值的工艺参数，如汽包水位、发酵温度等。

(3) 操纵变量 受控制器操纵，用以克服扰动的影响使被控变量保持设定值的物料量或能量，如锅炉给水量、发酵罐冷却水量等。

(4) 扰动量 除操纵变量外，作用于被控对象并引起被控变量变化的因素，如蒸汽负荷的变化、冷却水温度变化等。

(5) 设定值 被控变量的预定值。

(6) 偏差 被控变量的设定值与实际值之差。在实际控制系统中，能够直接获取的信息是被控变量的测量值而不是实际值。因此，通常把设定值与测量值之差作为偏差。

(7) 检测元件（装置） 作用是检测被控对象的物理量。如果这个物理量是非电量，则一般再将其转换为电量。如测速发电机用于检测电动机轴的速度，并将电动机轴的速度转换为电压；热电偶用于检测温度并将温度转换为电压等。

(8) 控制器 作用是将设定值与测量信号进行比较，求出它们之间的偏差，然后按照预先选定的控制规律进行计算，并将计算结果作为控制信号送给执行装置。

(9) 执行器（装置） 作用是接收控制器的控制信号，直接推动被控对象，使被控变量发生变化，如气动薄膜调节阀、电动执行器、电动机等。

1.2.3 过程计算机控制系统组成

通过以上介绍的实例可以看出，一个过程控制系统一般由两部分组成：一部分是需要控制的现场设备或机器，即被控过程（对象）；另一部分是起控制作用的全套自动控制装置。在不同的系统中，结构完全不同的装置（元件）可能具有相同的作用。控制装置由具有一定功能的各种装置（元件）组成。这些装置应具备三种基本功能，即测量、比较计算和执行。

世界上第一台电子计算机于 1946 年问世。早期的电子计算机大都用于过程控制的巡回检测、数据处理和开发操作等，于 20 世纪 50 年代末实现了在线过程控制。起初的过程

控制有程序控制、比例积分控制、比例微分控制和前馈控制等。就其控制功能而言，多为常规仪表的数字化，控制形式由连续转为离散，控制规律无多大变化，控制效果改善不明显。由于计算机的造价高，限制了分散型计算机控制系统在工业生产过程自动化方面的推广应用。

1972 年出现了微型计算机，由于微型计算机具有体积小、集成度高、灵活性大的特点，可以很方便地采用各种不同的芯片来组成多种控制功能的微型计算机控制系统，这是常规仪表无法达到的。另外，它还具有可靠性高、平均无故障工作时间长、性能价格比高等优点，所以，以微型计算机为核心的各种计算机控制系统已得到并将继续得到更多、更快的发展。

以微型计算机为核心的过程控制系统种类繁多，而且规模也不同，但其基本组成是相似的。典型的过程计算机控制系统如图 1-5 所示。

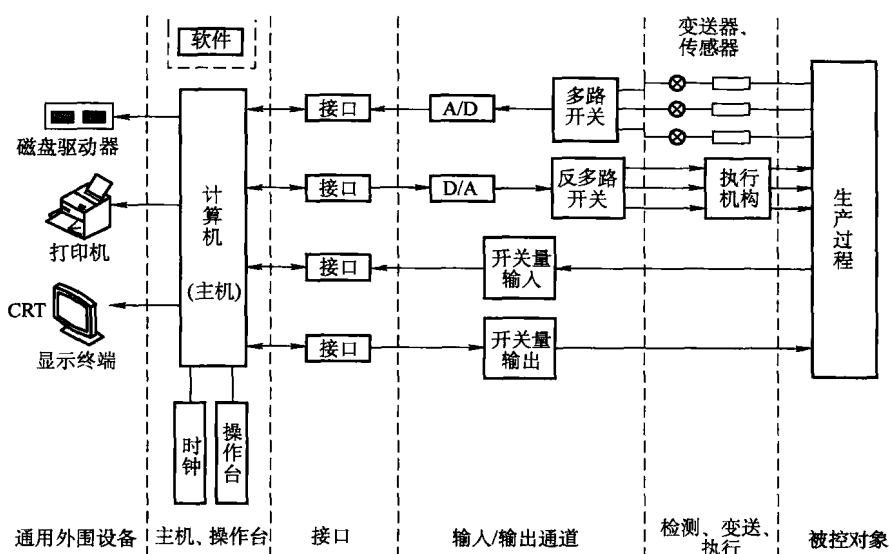


图 1-5 过程计算机控制系统

在图 1-5 中，被测参数经传感器、变送器转换成统一的标准信号，再经多路开关分时送到 A/D 转换器进行模拟/数字转换，转换后的数字量通过接口送入计算机，这是模拟量输入通道。在计算机内部，用软件对采集的数据进行处理和计算，输出的数字量通过 D/A 转换器转换成模拟量，然后由模拟量输出通道输出，经反向多路开关与相应的执行机构相连，以便对被测参数进行控制。

下面对过程计算机控制系统各部分的功能进行介绍。

1. 硬件部分 计算机控制系统的硬件包括主机、接口电路、过程输入/输出通道、外围设备、操作台等电路设备。

(1) 主机 它是过程计算机控制系统的核心，由中央处理器（CPU）和内存存储器（RAM 和 ROM）组成。主机根据输入通道送来的被控对象的状态参数，按照预先制定的控制算法编好的程序，自动进行信息处理、分析、计算，并给出相应的控制决策，然后通过输出通道发出控制信号，使被控对象按照预定的规律工作。

(2) 接口电路 它是主机与外围设备、输入/输出通道进行信息交换的桥梁。在过程计

算机控制系统中，主机接收数据或者向外发布命令和数据都是通过接口电路完成，主机与外围设备的协调工作，实现信息的传送。

(3) 过程输入/输出通道 它是主机和被控对象实现信息传送与交换的通道。过程输入/输出通道一般分为模拟量输入通道、模拟量输出通道、开关量输入通道、开关量输出通道。

(4) 外围设备 外围设备按功能可分为三类：输入设备、输出设备和外存储器。一个过程控制系统外围设备的配置，是根据系统的功能决定的。

常用的输入设备有键盘和扫描仪等。输入设备主要用于输入程序和数据等信息。

常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。输出设备主要用于把各种信息和数据以曲线、字符、数字等形式提供给操作人员，以便及时了解控制过程。

外围存储器有磁盘、磁带等，主要用来存储程序和数据。

(5) 操作台 操作台是过程控制系统人一机联系设备，专供操作人员使用。一般操作台有 CRT 显示器或 LED 数码显示器，用以显示系统运行的状态；配置有功能键，以便操作人员输入或修改控制参数和发送命令。

2. 软件部分 为使过程计算机控制系统正常运行并充分发挥硬件功能，完成预定的任务，必须有软件的支持才能实现。软件是指计算机中使用的所有程序的总称。软件通常又可分为系统软件和应用软件。

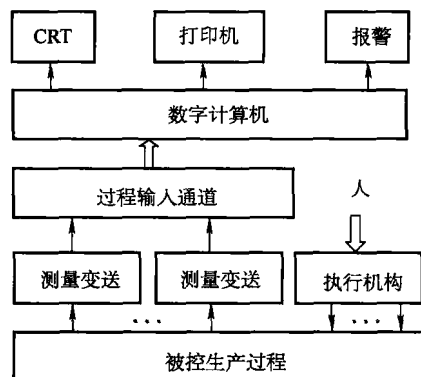
系统软件是用来使用和管理计算机的程序。过程计算机控制系统的系统软件应根据控制系统的规模和要求的功能选配。

应用软件是为了解决具体任务的用户程序，如在过程计算机控制系统中，各种数据采集程序、数字处理程序以及各种控制程序等。

1.2.4 过程计算机控制系统的分类

计算机应用于工业过程控制有各种各样的形式和结构，实现各种不同的功能。若只按照计算机参与控制的形式，计算机控制系统可分为开环控制与闭环控制两大类；若根据系统采用的控制规律，可分为顺序控制、常规控制（如 PID 控制）、高级控制（或称先进控制，如最优控制、自适应控制、预测控制等）、智能控制等若干类；若是根据系统的应用及结构特点，则可将计算机控制系统大致分为计算机巡回检测和操作指导系统、直接数字控制系统、监督控制系统、集散控制系统、现场总线控制系统以及生产集成控制系统等几类。

1. 计算机巡回和操作指导系统 生产过程中有大量的过程参数需要测量和监视，用计算机以巡回的方式周期性的检测这些参数，并完成必要的数据处理，这些是巡回检测系统的主要任务。这是计算机应用于工业生产最早和最简单的一类系统。若在此基础上，系统能根据反映生产过程工况的各种数据，有某种给定的性能指标与控制策略，通过对现场数据的处理、分析与计算，相应的给出操作指导信息以供操作人员作为参考，便称之为操作指导系统，其构成如图 1-6 所示。



从图 1-6 中可以看出，这种系统是一种开环系统。图 1-6 计算机巡回检测和操作指导系统

过程参数经测量变送器、过程输入通道，定时的被送入计算机，计算机根据一定的控制算法（数学模型），对来自现场的数据进行分析和处理后，通过如 CRT 显示图形或数据、打印机输出操作指导信息。

这种系统的优点是可以用于试验新方案、新系统。如在实施计算机闭环控制之前，先进行这种开环控制的试运行，可以考核计算机工作的正误，还可以用于试验新的数学模型和调试新的控制程序。其缺点是仍需要人工操作，速度受到限制，不能同时控制多个回路。

2. 计算机直接数字控制系统 在计算机直接数字控制 DDC (Direct Digital Control) 系统中，计算机通过过程输入通道（模拟量输入通道 AI 或开关量输入通道 DI）对多个被控生产过程进行巡回检测，根据给定值及控制规律计算出控制指令，经过程输出通道直接去控制执行机构，将各个被控变量保持在给定值上。计算机直接数字控制系统框图如图 1-7 所示。

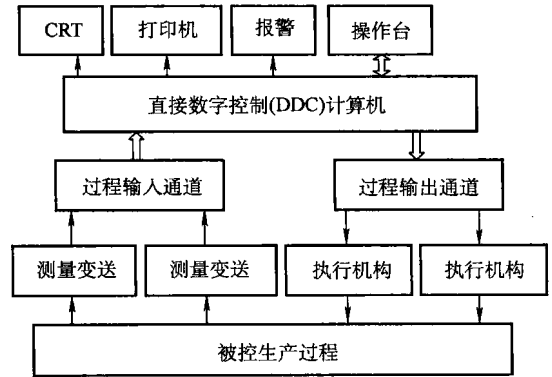


图 1-7 计算机直接数字控制系统框图

在这种系统中，计算机不仅完全取代了模拟调节器而直接参与闭环控制，而且只要通过改变程序即可实现一些较复杂的控制规律；它还可以与计算机监控系统结合起来构成分级控制系统，实现最优控制；同时也可作为计算机集成控制系统的最底层——直接过程控制层，与过程监督层、生产调度层、企业管理层、经营决策层等一起实现工厂综合自动化。计算机直接数字控制是计算机控制系统的一种典型的形式，在工业生产过程中得到了非常广泛的应用。

还有一种常见的系统是计算机顺序控制，即计算机按照预先确定的操作顺序和操作方法，根据生产工艺流程的进程（或在满足某些规定的条件时）依次输出操作信息。比如发电厂的锅炉、汽轮机、发电机的起动阶段和停止阶段，冶金工业中高炉炼铁、转炉炼钢以及各种轧制过程是十分复杂的顺序操作过程。

3. 计算机监督控制系统 监督计算机控制 SCC (Supervisory Computer Control) 系统中，通常采用两级控制形式，其框图如图 1-8 所示。所谓监督控制，指的是根据原始的生产工艺数据和现场采集到的生产状况信息，一方面按照描述被控过程的数学模型和某种最优目标函数，计算出被控过程的最优给定值，输出给下一级的 DDC 系统或模拟调节器；另一方面对生产状况进行分析，做出故障的诊断与预报。所以，SCC 系统并不直接控制执行机构，而是给出下一级的最优给定值，由它们去控制执行机构。当下一级采用 DDC 系统时，其计算机（称为下位机）完成前面所述的直接数字控制功能。SCC 计算机（称为上位机）则着重于满足某个最优性能指标（包括控制规律和在线优化条件等）的修正与实现，它可以看成是操作指导与 DDC 系统的综合与发展。

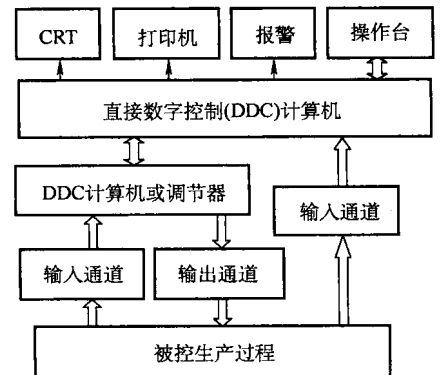


图 1-8 计算机监督控制示意图

SCC 控制系统的主要优点是：它在计算中是可以考虑许多常规调节器不能考虑的因素，

如环境温度和湿度对生产过程的影响；可以进行过程操作的在线优化，确保生产过程始终在最优状态下运行；可以实现先进复杂的控制规律，满足产品的高质量控制要求；可以进行故障的诊断与预报，可靠性好。值得注意的是，生产过程的数学模型往往是监督控制系统能否实现以及运行好坏的关键之一。目前，这种控制方式已越来越多的被应用于较为复杂的工业过程及设备的控制中。

由于计算机 DDC 系统中的计算机直接与生产过程相连并承担控制任务，一台计算机往往要控制几个或几十个回路，而工业现场环境恶劣，干扰多，所以一方面要求 DDC 计算机可靠性高、实时性好、抗干扰能力强、能独立工作；另一方面必须采取抗干扰措施来提高整个系统的可靠性，使之能适应各种工业环境，并合理设计应用软件。所以一般选用微型机和工控机作为 DDC 级的计算机。而 SCC 是承担先进控制、过程优化与部分管理的任务，信息存储量大，计算任务繁重，要求有较大的内存与外存和较为丰富的软件，故一般要选用高档微型机或小型机作为 SCC 级计算机。

4. 计算机集散控制系统 计算机集散控制系统 DCS (Distributed Control System)，又称为分布式或分散控制系统，近 20 年来发展十分迅速。它以微处理器为核心，实现地理上和功能上的控制，同时通过高速数据通道把各个分散点的信息集中起来，进行集中的监视和操作，并实现复杂的控制和优化。DCS 的设计原则是分散控制、集中操作、分级管理、分而自制和综合协调。

世界上许多国家（包括我国）和地区都已大批量开发和使用计算机集散控制系统。虽然它们种类各异，但其结构和功能大体相同，都是由微处理器为核心的基本数字控制器、高速数据通道、CRT 操作站和监督计算机等组成，其结构框图如图 1-9 所示。集散控制系统有许多优点，比较突出的一点是提高了系统的可靠性和灵活性。

在计算机控制应用于工业过程控制初期，由于计算机价格高，所以采用的是集中控制方式，以充分利用计算机。但这种控制方式任务过分集中，一旦计算机出现故障，就要影响全局。DCS 由若干台微机分别承担任务，从而代替了集中控制的方式，将危险性分散。并且 DCS 是积木式结构，构成灵活，易于扩展；系统可靠性高；采用 CRT 显示技术和智能操作台，操作、监视方便；采用数据通信技术，处理信息量大；与计算机集中控制方式相比，电缆和敷缆成本较低，便于施工。

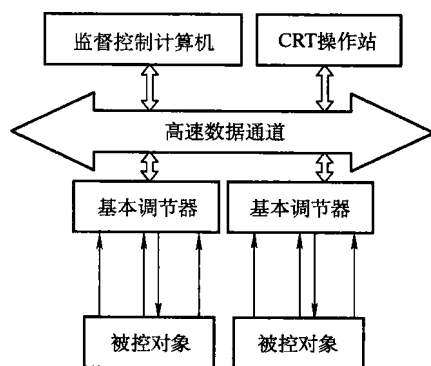


图 1-9 计算机集散控制系统结构框图

5. 现场总线控制系统 20 世纪 80 年代发展起来的 DCS 尽管给工业过程控制带来了许多好处，但由于它们采用了“操作站—控制站—现场仪表”的结构模式，所以系统成本较高，而且各厂家生产的 DCS 各有标准，不能互联。现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System) 是近几年才出现的新一代分布式控制系统结构。FCS 与 DCS 不同，它的结构模式为：“工作站—现场总线智能仪表”二层结构，FCS 用二层结构完成了 DCS 中的三层结构功能降低了成本，提高了可靠性，国际标准统一后，可实现真正的开放式互联系统结构，FCS 是很有前途的控制系统。