

工业自动化仪表系列丛书

集散控制系统及其应用

张雪申 叶西宁 编著



机械工业出版社

本书是工业自动化仪表系列丛书之一。书中介绍了集散控制系统 (DCS) 的背景、功能及今后的发展趋势。重点介绍了 TPS、Experion PKS、DeltaV 和国产 Supcon Web Field ECS-100 集散控制系统的结构、原理, 软件系统, 通信网络, 系统组态及工业应用实例。根据工程实际的需要, 还介绍了集散控制系统的评价指标、系统设计与应用、调试运行和维护等方面的知识。最后介绍了现场总线的产生与发展, 典型现场总线的通信技术, 现场总线控制系统 (FCS) 的构成与组态以及 FCS 与 DCS 的系统集成。内容力求反映 DCS 和 FCS 的最新发展。

本书可供从事 DCS 和 FCS 应用开发工作的工程技术人员和大专院校相关专业的师生阅读、参考, 也可作为相关专业技术人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

集散控制系统及其应用 / 张雪申, 叶西宁编著. —北京: 机械工业出版社, 2006.1

(工业自动化仪表系列丛书)

ISBN 7-111-17939-0

I. 集 ... II. ①张 ... ②叶 ... III. 集散系统
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 137629 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: 张沪光 责任编辑: 赵玲丽 版式设计: 霍永明
责任校对: 王欣 封面设计: 姚毅 责任印制:
印刷厂印刷.

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

850mm × 1168mm $1/32$ · 11.375 印张 · 302 千字

0 001— 册

定价: 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294
封面无防伪标均为盗版

“工业自动化仪表系列丛书”
编辑委员会

主任委员：张继培

副主任委员：史美纪（常务） 吴钦炜

王璐璐 罗命钧 秦起佑

周 娟 张沪光 张永江

委 员：薛生虎 杜水友 梁国伟

蔡武昌 李竞武 林明邦

陈晓竹 戴景民 吴 哈

彭 瑜 张雪申 俞金寿

汪克成 刘建侯 徐建平

刘士荣

编写说明

工业自动化仪表是国民经济各部门重要的现代技术装备之一，广泛用于冶金、电力、石油、化工、轻工、纺织、交通、建筑、食品、医药、农业、环保以及日常生活等各个领域。

工业自动化仪表是对物质世界的信息进行自动测量与控制的基础手段和设备，是信息产业的源头和组成部分。

为了认真总结国内外工业自动化仪表的先进经验，提高我国工业自动化仪表的科技、生产、应用水平。经中国仪器仪表学会、上海工业自动化仪表研究所、机械工业信息研究院和中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会共同研究，决定组织编写、出版“工业自动化仪表系列丛书”。

目前，首先陆续出版以下 16 种：《温度测量技术及仪表》、《压力测量技术及仪表》、《流量测量技术及仪表》、《物位测量技术及仪表》、《机械量测量技术及仪表》、《物性分析技术及仪表》、《显示调节技术及仪表》、《可编程序控制器及其应用》、《控制阀选型和应用》（原名执行器）、《过程控制系统和应用》、《仪表可靠性工程和环境适应性技术》、《仪表本安防爆技术》、《集散控制系统及其应用》、《工业控制计算机系统及其应用》、《现场总线与工业以太网》、《流程分析技术及仪表》。

本系列丛书内容完整，系列齐全，基本上反映了工业自动化仪表技术与产品的全貌；文字力求深入浅出，通俗易懂。系列丛书既可作为从事工业自动化仪表专业的工程技术人员及广大用户的参考书籍，也可作为大专院校教材及科研、设计、制造、使用单位工程技术人员的培训教材。

编写出版“工业自动化仪表系列丛书”，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希望广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

“工业自动化仪表系列丛书”编辑委员会

前 言

本书为“工业自动化仪表系列丛书”之一。

自从美国 Honeywell 公司于 1975 年推出世界上第一套集散控制系统 (DCS) 以来, DCS 的发展已有 30 年的历史, 它由初生走向成熟, 并不断壮大, 近年来随着计算机技术、通信技术、图形显示技术、网络技术和现场总线技术的发展, DCS 越来越向着开放化、网络化、智能化方向发展, 为了适应 DCS 和现场总线技术的飞速发展, 及时把 DCS 的最新内容介绍给读者, 我们着手编写了本书。

全书共 9 章, 第 1 章概要介绍 DCS 出现的背景、组成、功能及今后的发展趋势。第 2~第 5 章介绍了目前市场上较流行的 DCS, 包括 Honeywell 公司的 TPS 系统和最新推出的 Experion PKS 系统、Emerson 公司的 DeltaV 系统以及浙大中控技术股份有限公司的 SUPCON Web Field ECS-100 等 4 种 DCS 的系统结构、工作原理及系统组态, 并结合实例介绍系统在工业生产中的应用。第 6~第 8 章根据工程实际的需要, 介绍了集散控制系统的评价指标、设计、应用、调试运行和维护等方面的知识。第 9 章介绍了现场总线的产生与发展, 典型现场总线的通信技术, FCS 的构成与组态以及 FCS 与 DCS 的系统集成。本书编写过程中注重理论联系实际, 力求反映 DCS 和 FCS 的最新发展, 希望能对 DCS 的推广应用有所帮助。

本书由华东理工大学张雪申、叶西宁编写。其中第 4 章和第 9 章由叶西宁编写, 其余由张雪申编写, 全书由张雪申统稿, 叶西宁绘图。本书编写过程中得到了夏春明博士和刘济博士的帮助, 在此深表谢意。

本书可供从事 DCS 和 FCS 应用开发工作的工程技术人员和

大专院校相关专业的师生阅读、参考，也可作为相关专业技术人员的培训教材。

由于作者水平有限，书中难免有不当和错误之处，恳请读者批评指正。

作 者

2005年8月

目 录

编写说明

前言

第 1 章 概论	1
1.1 集散控制系统出现的背景	1
1.2 集散控制系统的组成	2
1.2.1 分散过程监控装置	2
1.2.2 集中操作管理装置	3
1.2.3 通信系统	3
1.3 集散控制系统的基本功能	4
1.3.1 输入数据处理	4
1.3.2 输出处理	11
1.3.3 控制功能	11
1.3.4 通信功能	13
1.3.5 人一机接口功能	24
1.3.6 自诊断功能	25
1.3.7 冗余技术	25
1.4 集散控制系统的层次化结构	26
1.5 集散控制系统的优越性	27
1.6 集散控制系统的发展趋势	28
1.6.1 集散控制系统的发展	28
1.6.2 集散控制系统的展望	31
1.6.3 我国集散控制系统的发展概况	33
第 2 章 TPS 集散控制系统	35
2.1 系统概述	35
2.2 分散过程监控装置	45

2.2.1	多功能控制器和先进多功能控制器	45
2.2.2	PM 系列过程管理器.....	53
2.2.3	逻辑管理器 (LM)	71
2.2.4	故障安全控制管理器 (FSC)	73
2.3	集中操作管理装置	77
2.3.1	操作站	78
2.3.2	LCN 模块	93
2.4	通信系统	99
2.4.1	数据高速公路 (HW)	99
2.4.2	就地控制网络 (LCN)	100
2.4.3	万能控制网络 (UCN)	102
2.4.4	工厂信息网络 (PIN)	102
2.4.5	现场总线网络	102
2.5	TPS 系统软件组态	102
2.5.1	TPS 系统的软件	102
2.5.2	系统设备组态	104
2.5.3	控制功能组态	107
2.5.4	CL 编程与程序模块组态	111
2.5.5	操作画面组态	116
2.6	TPS 系统在生产过程中的应用	119
2.6.1	工艺简介.....	119
2.6.2	系统配置.....	120
2.6.3	系统组态.....	128
第 3 章	Experion PKS 集散控制系统	132
3.1	系统概述	132
3.2	分散过程监控装置	133
3.2.1	混合控制器	133
3.2.2	混合控制器的 I/O 系统	139
3.2.3	现场总线设备	141
3.2.4	数字视频管理站 (DVM)	142

3.3	集中操作管理装置	142
3.3.1	操作员站	142
3.3.2	应用控制环境 (ACE)	148
3.3.3	过程服务器	149
3.3.4	eServer	149
3.3.5	手持无线移动设备	150
3.4	过程通信网络	150
3.4.1	过程控制网络	150
3.4.2	容错以太网 (FTE)	150
3.5	系统软件	151
3.5.1	控制组态软件	151
3.5.2	监控系统	157
3.5.3	实时数据库	159
3.5.4	OPC 功能组件	162
3.5.5	应用软件包和应用编程接口	164
3.5.6	诊断软件	166
3.6	分布式系统结构	166
3.7	Experion PKS 在生产过程中的应用	168
3.7.1	工艺简介	168
3.7.2	Experion PKS 系统配置	169
3.7.3	主要控制回路	171
第 4 章	DeltaV 集散控制系统	174
4.1	Delta V 系统概述	174
4.1.1	Delta V 系统的结构	174
4.1.2	Delta V 系统的技术特点	175
4.2	分散过程控制装置	177
4.2.1	Delta V 控制器	177
4.2.2	Delta V I/O 卡件	179
4.3	集中操作管理装置	181
4.3.1	Professional Plus 工作站	181

4.3.2	操作员工作站	183
4.3.3	应用工作站	184
4.4	Delta V 控制网络	186
4.4.1	现场总线.....	186
4.4.2	冗余控制网络	187
4.4.3	Delta V 与工厂管控网	187
4.5	Delta V 系统软件	189
4.5.1	组态软件.....	189
4.5.2	控制软件.....	192
4.5.3	操作管理软件	192
4.5.4	诊断软件.....	194
4.6	Delta V 在生产过程中的应用	195
4.6.1	工艺简介.....	195
4.6.2	控制方案.....	196
4.6.3	Delta V 系统配置.....	197
4.6.4	系统组态.....	199
第 5 章	WebField ECS-100 集散控制系统	201
5.1	系统概述	201
5.1.1	系统特点.....	201
5.1.2	系统结构.....	202
5.2	分散过程监控装置	203
5.2.1	控制站结构	203
5.2.2	控制站卡件	204
5.3	集中操作管理装置	209
5.4	通信系统	210
5.4.1	信息管理网	210
5.4.2	过程控制网 SCnet II	211
5.4.3	控制站内部网 SBUS	212
5.5	系统软件 SupView	214
5.5.1	软件特点.....	214

5.5.2	组态软件.....	214
5.5.3	实时监控软件	215
5.5.4	维护软件.....	216
5.6	WebField ECS-100 在生产过程中的应用	216
5.6.1	工艺简介.....	217
5.6.2	控制方案.....	218
5.6.3	SUPCON Web Field ECS-100 系统配置	220
5.6.4	系统组态.....	223
第 6 章	集散控制系统的可靠性	228
6.1	系统可靠性指标.....	228
6.1.1	可靠度 $R(t)$	228
6.1.2	失效率 $\lambda(t)$	230
6.1.3	平均故障间隔时间(MTBF)	232
6.1.4	平均故障修复时间(MTTR)	232
6.1.5	平均寿命 m	232
6.1.6	利用率 A	233
6.2	提高系统利用率的措施	234
6.2.1	提高元器件和设备的可靠性	234
6.2.2	提高系统对环境的适应能力	235
6.2.3	容错技术的应用	236
第 7 章	集散控制系统的评价与设计	244
7.1	集散控制系统的评价	244
7.1.1	技术性能的评价	244
7.1.2	使用性评价	248
7.1.3	可靠性与经济性评价	249
7.1.4	集散控制系统的选择	251
7.2	集散控制系统的设计	254
7.2.1	方案论证.....	254
7.2.2	方案设计.....	255
7.2.3	工程设计.....	256

第 8 章	集散控制系统的安装、调试与维护	264
8.1	集散控制系统的调试	264
8.1.1	工厂调试.....	264
8.1.2	现场调试.....	266
8.2	集散控制系统的安装	268
8.3	集散控制系统的验收	269
8.3.1	工厂验收.....	269
8.3.2	现场验收.....	270
8.4	集散控制系统的管理、维护及应用软件的 再开发	272
8.4.1	DCS 的管理	272
8.4.2	系统维护.....	272
8.4.3	系统应用软件的继续开发	272
第 9 章	现场总线控制系统	274
9.1	现场总线控制系统概述	274
9.1.1	现场总线控制系统的发展	274
9.1.2	现场总线控制系统的特点	276
9.1.3	现场总线国际标准	278
9.2	典型现场总线通信技术	287
9.2.1	开放系统互连 (OSI) 参考模型	287
9.2.2	基金会现场总线通信技术	290
9.2.3	Profibus 现场总线通信技术.....	297
9.2.4	CAN 现场总线通信技术	302
9.2.5	HART 通信技术	305
9.3	现场总线控制系统构成	309
9.3.1	FCS 的硬件构成	309
9.3.2	FCS 的软件构成	311
9.4	现场总线控制系统的组态	315
9.4.1	组态的基本概念	315
9.4.3	网络组态.....	320

9.4.3	设备组态.....	320
9.4.4	控制策略组态	323
9.5	FCS 与 DCS 的集成技术.....	325
9.5.1	现场总线与 DCS 输入 /输出总线的集成.....	325
9.5.2	现场总线与 DCS 网络的集成	327
9.5.3	FCS 与 DCS 的集成	328
附录	常用英文缩略语	330
参考文献	346

第 1 章 概 论

1.1 集散控制系统出现的背景

集散控制系统 (Total Distributed Control System, DCS) 是 20 世纪 70 年代中期发展起来的以微处理器为基础的分散型计算机控制系统。它是控制技术 (Control)、计算机技术 (Computer)、通信技术 (Communication)、阴极射线管 (CRT) 图形显示技术和网络技术相结合的产物。该装置是利用计算机技术对生产过程进行集中监视、操作、管理和分散控制的一种全新的分布式计算机控制系统。

DCS 自 20 世纪 70 年代问世以来, 发展异常迅速, 目前, 它作为新一代工业自动化过程控制设备, 在世界范围内被广泛应用于石油、化工、冶金、纺织、电力、食品等工业, 我国在石油、冶金、化工与电力等行业也已普遍推广应用。随着现代化工业的飞跃发展、生产装置的规模不断扩大、生产技术及工艺过程愈趋复杂, 常规模拟仪表存在难以克服的弊病: 首先是控制功能过于单一, 难以实现某些复杂控制功能; 其次是难于集中操作和监视, 长达几十米的高密集排列仪表屏, 操作和调整都十分困难。

20 世纪 50 年代末期人们开始将电子计算机用于过程控制, 试图利用计算机能执行复杂运算、处理速度快和管理监视集中等特点, 来弥补常规仪表过于分散和控制功能单一的不足, 为工业过程控制开辟一条新的途径。经过多年的摸索和实践, 虽然取得了一定的成果, 但也暴露了它本身存在的严重弱点: 首先是危险高度集中, 在一个大型工厂中, 一台计算机要控制几十个, 甚至几百个回路, 当计算机的公共部分发生故障时, 轻则造成装置或整个工厂停车, 重则导致设备的损坏甚至发生火灾、爆炸等恶性

事故。其次是成本高，为了提高计算机的可靠性，一般都采用双机、双工运行或常规仪表备用，这样不仅维修工作量大，而且成本将成倍增加，如果工厂的生产规模不大，则经济性更差。

为继承常规模拟仪表及集中计算机系统的优点，并摒弃其不足，人们从事了新的探索。20 世纪 70 年代初由于微处理机技术的高速发展，过去由一台大型计算机完成的功能，可以由几十甚至几百台微处理机来完成，各微处理机之间又可以用计算机网络连接起来，构成一个完整的系统，正是在这一基础上出现了集散控制系统。人们按控制功能或按区域将微处理机进行分散配置，每个微处理机只需控制少数几个回路，使危险性大大分散。该系统又使用众多彩色图形显示器进行监视和操作，并运用通信手段，将各微机连接起来，它比常规模拟仪表有更强的通信、显示、控制功能，并且又比集中过程控制计算机安全可靠。这是一种分散型多微处理机综合过程控制系统，又称分散型综合控制系统，俗称集散控制系统，简称 DCS。

最早提出这种设计思想的是美国霍尼威尔（Honeywell）公司，并在 1975 年 12 月正式向市场推出了世界上第一个集散控制系统——TDC-2000 系统。

1.2 集散控制系统的组成

据不完全统计，迄今全世界已开发了各种类型的集散控制系统千余种。虽然由各个企业推出的系统各具特色，即使是同一企业在不同时期推出的产品，亦有不同程度的改进，但它们在系统组成和控制功能等方面，都有共同的特点。集散控制系统基本上由分散过程监控装置、集中操作管理装置和通信系统 3 大部分组成。其基本结构如图 1-1 所示。

1.2.1 分散过程监控装置

分散过程监控装置是集散控制系统与生产过程的界面，生产过程的各种过程变量或状态信息通过分散过程监控装置转换为操作监视的数据，而操作的各种信息则通过分散过程监控装置送到

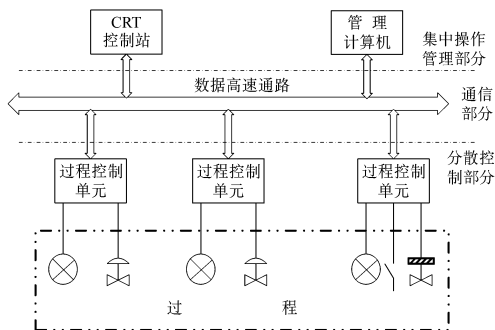


图 1-1 集散控制系统的基本结构

执行机构。在分散过程监控装置内，进行模拟量与数字量的相互转换，完成各种输入、输出的数据处理和控制算法的运算。

1.2.2 集中操作管理装置

集中操作管理装置是操作管理人员与集散控制系统的界面，生产过程的各种参数集中在操作站上显示，操作管理人员通过操作站了解生产过程的运行状况，通过它还可操纵生产过程、组态回路、调整回路参数、检测故障和存储过程数据。

1.2.3 通信系统

通信系统要完成分散过程监控装置与集中操作管理装置之间的数据通信。通信电缆一般采用双绞线、同轴电缆或光缆构成。它以 1Mbit/s 、 5Mbit/s 或更高的速率传输各种数据，传输距离大多为几千米。通信系统应具有高传输速率、低误码率、快速的实时响应能力，以及适应恶劣工业生产环境的能力。随着计算机技术和网络技术的不断发展，国际标准化组织制定了一系列标准，规定各种网络产品的规范，使 DCS 也打破了过去的“孤岛”现象，可通过标准的网络通信手段，与其他的过程控制系统、经营管理系统、生产调度系统互通信息，以完成更加复杂的功能。

1.3 集散控制系统的基本功能

当今国际市场上不同厂商的集散控制系统不计其数，它们在结构形式上各有千秋，功能上也有强有弱，但以下这些功能是必须具备的。

1.3.1 输入数据处理

对模拟量来说，一般要进行采样、增益最佳化、A/D转换、规格化、合理性检查、零偏校正、热电偶冷端补偿、线性化处理、超限判断、工程量变换、数字滤波、温度和压力校正、开方处理、上下限报警等处理。数字信号则进行状态报警及输出方式处理。对脉冲序列，需进行瞬时值变换及累积计算。

1. 数据的采样速率

按系统不同的要求，需要组态不同采样频率的扫描采样系统。从控制工程的角度，按香农定理规定，采样不失真的条件是采样频率不低于信号中所含最高频率的2倍。据此确定的经验数据是流量、压力、液位信号的采样周期分别为1~5s、3~10s、5~8s，温度、成分信号的采样周期为15~20s。在集散控制系统中，需采集处理大量数据，其采样频率就需根据采样点数及信号性质通盘考虑。通常应以各路信号中可能出现的最高采样频率 f_{\max} 为依据，再乘以模拟信号的路数(n)及安全系数(一般为5~10)，这样数据采集系统的采样频率为

$$f_s = (5 \sim 10) n f_{\max}$$

【例 1-1】 已知有一温度、压力、流量参数的数据采集系统，共100路。试估算该数据采集系统的采样频率。

解：按流量信号最小采样周期1s估算 f_{\max} 为

$$f_{\max} = \frac{1}{2} \times 1\text{Hz} = 0.5\text{Hz}$$

$$f_s = 5 \times 100 \times 0.5\text{Hz} = 250\text{Hz}$$

即该采集系统扫描速率应选250点/s，每一路的采样速率是2.5次/s，也就是说，对各路信号每隔0.4s检测一次。如果过程参