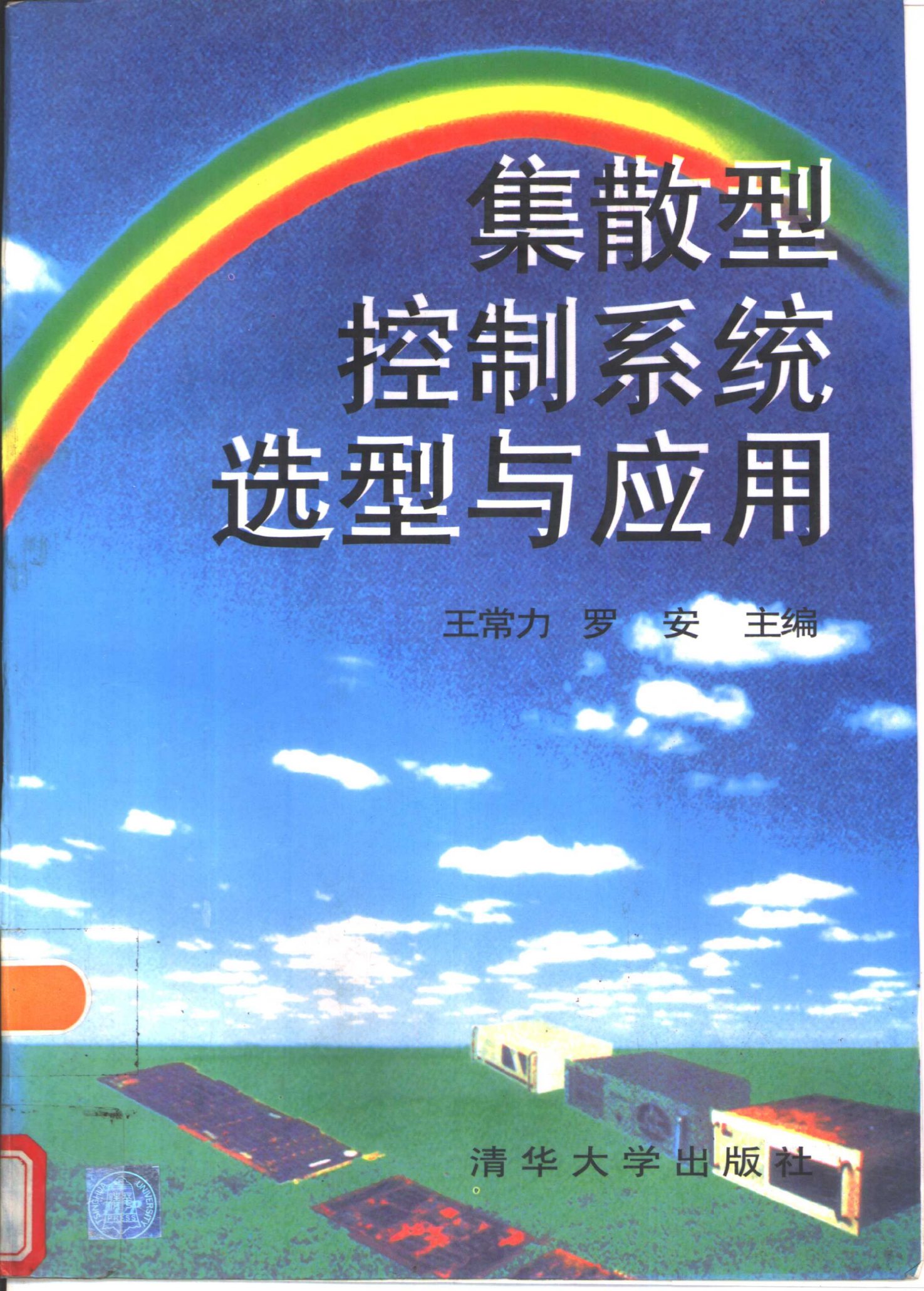




集散型 控制系统 选型与应用

王常力 罗 安 主编

清华大学出版社



集散型控制系统的选型与应用

王常力 罗安 主编

清华大学出版社

(京) 新登字 158 号

内 容 简 介

本书是在电子部六所华胜自动化事业部的全体同志共同努力下完成的, 作者长期从事集散型控制系统的开发和应用, 在电力、石化、建材、制药和冶金等行业承接并成功地完成了几十套 DCS 工程, 并认真地总结了工作中的经验和教训, 此书即是他们经验的结晶。

本书主编王常力博士另一本力作《集散型控制系统设计与应用》(清华大学出版社出版), 对 DCS 的组成原理和体系结构作了较详细的介绍。本书突出实用性, 结合大量实例详细地介绍 DCS 的选型设计应用方面应当注意的问题及 DCS 应用和实施步骤, 供实际应用人员在 DCS 选型和应用时参考。

本书综述了 DCS 的现状, 较详细介绍了 HS-2000 系统的技术内核, 通过五个典型的具体实例详细地介绍了 DCS 在火力发电、炼油、玻璃、化工和制药方面的应用情况。

本书可供各行业企业在应用 DCS 时作为选型和应用的手册, 也可作为培训教材。

版权所有, 翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签, 无标签者不得销售。

集散型控制系统的选型与应用

王常力 罗安 主编

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店北京科技发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 32 字数: 739 千字

1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 7-302-02233-X/TP·1083

印数: 0001—8000

定价: 35.00 元

前 言

集散型控制系统 (DCS) 自 1975 年问世以来, 经历了整二十年的时间。它已由过去只在少数大型企业的控制系统中应用, 发展到了电力、石油、化工、冶金、建材、制药等行业的最普通的控制工具。其原因一是各 DCS 制造厂家不断地提高了系统的可靠性、实用性、先进性和综合性, 几种控制系统的相互渗透 (PLC、DCS、IPC + 控制器) 和竞争及先进计算机技术和网络通信技术的采用, 使得 DCS 价格不断下降; 二是全球市场竞争迫使各企业必须不断应用先进的控制技术以提高产品的质量和产量, 降低成本和费用, 为 DCS 提供了广阔的市场需求。

几年来, 电子部六所华胜自动化事业部的同志们除了不断学习和总结国外优秀 DCS 的先进经验, 提高自己产品(HS2000)的性能和可靠性以外, 还在电力、石化、建材、制药和冶金等行业承接完成了几十套 DCS 工程。在工作中, 我们发现由于各行业接触 DCS 的时间和应用的经验不同, 很多企业的领导和技术人员经常向我们提出一些关于 DCS 的发展状况, DCS 的选型注意事项以及很多应用技术方面的问题。受他们的启发和期望, 我们翻阅了大量有关 DCS 现状和发展方向等方面的文章, 参考了很多著名 DCS 厂家的系统说明和介绍, 听取了很多行业在应用 DCS 方面具有丰富经验的专家的意见并认真地总结了我们在电力、石化、建材、制药和冶金等方面的应用经验和教训之后, 编写了本书。

国家“八五”期间, 前国务院电子办曾组织了“集散型控制系统”电视讲座, 本书编者之一王常力作为主讲教师参加了讲义《集散型控制系统设计与应用》的编写工作, 该书对 DCS 的组成原理和体系结构作了较详细的介绍。因此, 本书将不侧重介绍 DCS 的组成原理和发展历史, 而是突出实用性, 结合大量实例详细地介绍 DCS 的选型和设计应用方面应当注意的问题及 DCS 应用和实施步骤, 供实际应用人员在 DCS 选型和应用时参考。为了让广大读者了解 90 年代 DCS 的技术状况和发展趋势, 本书第一部分综述了 DCS 的现状; 第二部分较系统并详细地介绍了 HS2000 系统的技术和使用方面的内容, 目的是让广大 DCS 应用人员不仅要了解国外的 DCS, 也要知道我国自己 DCS 的水平, 同时也为那些立志开发 DCS 的同志提供一些技术参考; 第三部分则是通过五个典型的具体应用实例较详细地介绍了 DCS 在火力发电、炼油、玻璃、化工和制药方面的应用情况。

本书是整个电子部六所华胜自动化事业部的全体同志们共同努力的结晶, 也包含了很多我们用户大量的工作。第 1 章、第 2 章由罗安编写, 张鹏、张涛、李峥等同志参加了部分资料的整理。第 3 章、第 4 章由王常力编写。第 5、6、7 三章由王常力、罗安、邢嵘、李晓江、肖健、于坤、陶欣欣、童欣等同志根据邵柏庆、苏伟辉、刘晓华、黄奇琦、熊强、刘伟、贾凌武、康茂轩、朱毅明、余志胜、魏志山、刘康、谭红力、孙地诗、毕刚、刘波、虞音、穆京丽、许心超、王永宏、刘炬等同志所写的《HS2000 分布式控制系统设计规范》、《HS2000 系统软件技术手册》和《HS2000 系统硬件技术手册》等文件整理而成, 最后由王常力和罗安定稿。张鹏负责组织了第三部分的编写工作。第 8 章主要由张涛编写, 李云波、杨志为、孔华勇、卢炜等同志也参加了部分编写工作。第 9 章技术内容主要由天津炼油厂的汪玉忠同志编写, 杨昆、李奉武、郑泉等同志参加了部分编写和整理工作。第 10 章主要由李峥编写, 林荔、姚析、潘燕南、施波、房元祖、周学夫、董和娟等同志也参加了

AJS 92/05

部分编写工作。第 11 章技术内容由《化工自动化及仪表》杂志社主编左国庆编写，赵强、石红芳、董和娟等同志参加了部分编写和整理工作。第 11 章主要由王奕编写，张涛、石红芳、杨昆等同志参加了部分编写工作。杨胤做了本书稿的大量打印、编辑、校对、整理、排版、组织和外协工作。王常力和罗安负责审阅了全稿。

在编写本书的整个过程中，我们的心中一直充满着对很多人的无限的感激。首先是感激我们的广大用户和各行业的朋友，是他们的理解、合作、帮助和鼓励才使得我们不断地改进我们的系统，并积累了很多 DCS 工程实践经验：感谢电子部六所华胜自动化事业部的全体同仁，是他们的通力合作和拼搏进取，才有了我们不断升级的产品、我们的市场和应用工程经验。为了民族的 DCS 事业的崛起，他们放弃了出国或高收入的就业机会，牺牲了节假日和大部分的休息时间，用实际行动在证明一个事实：中国的 DCS 和民族工业大有希望！是他们给了我们编写本书的激情和动力。还要感谢电子部六所、彩虹集团及各级主管领导，他们给了电子部六所华胜自动化事业部这样一个促进事业发展的机制，并不断对我们的工作给予关怀、支持、鼓励和扶植，使我们有这样快的发展速度。

由于本书的编者平时工作都非常忙，本书是他们完全利用业余时间很短的时间内完成的。此外，DCS 本身还处在一个迅速发展阶段。所以，由于编者技术水平的限制和时间的关系，书中难免会有各种各样的问题和错误，诚恳地期待着各方面的专家和学者们的批评和指教。

王常力 罗安

1995 年 12 月



王常力 1963 年 12 月生，河北文安人。1984 年毕业于天津大学自动化系；1988 年在英国 Lancaster 大学留学，并取得博士学位；现任电子部第六研究所华胜自动化事业部的总经理。主持设计了 HS-DCS-1000 系统和 HS2000 系统。1988 年回国后一直致力于工业自动化系统产品化和国产化。著有《工业控制计算机系统设计与应用》、《集散型控制系统设计与应用》（与廖道文合著，中央电视台电视讲座教材）。在国际、国内知名报刊上发表文章 20 余篇。



罗 安 1946 年 11 月生，河北邢台人。1970 年毕业于哈尔滨工程学院电子工程系，现为电子部第六研究所副总工程师兼自动化工程事业部总工程师。1995 年被授予研究员级高级工程师职称。曾在多个国家科技攻关项目中担任主要设计人员，并主持过多个计算机监控系统的开发与实施，其中一些项目和系统获得了国家级和部级科技成果奖。现在主要从事计算机监控及自动化控制工程的开发、应用等工作。

目 录

第一部分 DCS 的选型应用

第1章 概述	1
1.1 DCS 的发展	1
1.2 DCS 的组成及体系结构	3
1.2.1 DCS 的基本组成部分	4
1.2.2 DCS 的基础硬件	11
1.2.3 DCS 的基础软件	12
1.3 当今流行的 DCS 一览	13
1.3.1 Honeywell 公司的 TDC3000	13
1.3.2 Bailey 的 INFI-90	15
1.3.3 Foxboro 的 I/AS	17
1.3.4 横河的 CENTUM	18
1.3.5 Westinghouse 的 WDPF	20
第2章 DCS 的最新发展状况	22
2.1 影响 DCS 发展的几个要素	22
2.1.1 用户要求的不断提高	23
2.1.2 各项应用技术的不断提高	24
2.2 DCS 受计算机发展的影响	28
2.2.1 DCS 中计算机产品的高档化	28
2.2.2 DCS 的进一步分散化	31
2.3 DCS 受软件技术的影响	32
2.3.1 通用化、标准化软件包在 DCS 中的采用	32
2.3.2 独立软件厂家 (ISV) 提供的 DCS 软件	34
2.3.3 面向目标语言的应用及影响	35
2.4 DCS 受网络体系发展的影响	36
2.4.1 DCS 的进一步开放	36
2.4.2 DCS 与 Client/Server 结构	37
2.5 DCS 的智能化和进一步分散化	39
2.5.1 现场总线技术介绍	39
2.5.2 智能化仪表及其通信技术	41
2.5.3 分散控制模块技术的发展	43
2.6 PLC 技术的发展及其对 DCS 的影响	44
2.7 管理和控制的一体化	45
2.8 几点总结	46
第3章 集散型控制系统的选型与工程化设计及实施	47
3.1 DCS 工程化设计与实施步骤	48
3.2 询价前的准备工作	49
3.2.1 项目人员的确定	49
3.2.2 确定系统所采用的实施方法	50
3.2.3 制定《系统功能规范书》	51
3.2.4 编制《询价书》	55
3.2.5 选择询价厂家	67
3.3 系统选型与合同签订	67
3.3.1 技术谈判	67
3.3.2 系统选型	69
3.3.3 合同签订	75

3.4 系统设计与生成	80
3.4.1 准备工作	81
3.4.2 设计联络会	88
3.4.3 工程设计文件的制定	90
3.4.4 用户培训	101
3.4.5 应用软件的组态	101
3.4.6 系统硬件成套过程	111
3.4.7 系统联调过程	112
3.4.8 出厂测试与验收	113
3.4.9 包装运输	113
3.4.10 整理项目档案	114
3.4.11 现场准备工作	115
3.5 现场安装和调试阶段	124
3.5.1 设备开箱验收	124
3.5.2 设备安装就位和加电测试	125
3.5.3 系统接线	125
3.5.4 现场调试	126
3.5.5 系统的测试验收	130
3.5.6 用户操作人员的培训	132
3.5.7 整理技术资料归档	132
3.6 小结	132
第4章 集散型控制系统和先进控制	134
4.1 控制系统的功能层次结构	134
4.2 先进控制	136
4.2.1 自适应控制	137
4.2.2 预测控制 MPC(MODEL PREDICTIVE CONTROL)	139
4.2.3 智能控制	141
4.3 先进控制的应用	148
4.3.1 钢铁工业的先进自动化控制	148
4.3.2 石油化工行业的先进控制	150
4.4 实施步骤	153
4.5 实施先进控制策略应该注意的问题	154

第二部分 HS2000 系统设计原则

第5章 HS2000 系统的体系结构	157
5.1 系统总貌	157
5.1.1 概要	157
5.1.2 系统构成	157
5.2 系统操作员站	161
5.2.1 概要	161
5.2.2 操作员站硬件结构	161
5.2.3 技术规范	162
5.3 系统工程师站	163
5.3.1 概要	163
5.3.2 工程师站硬件结构	163
5.3.3 技术规范	163
5.4 系统现场控制站	163
5.4.1 概要	163
5.4.2 现场控制站硬件结构	164
5.4.3 现场控制站技术性能规范	166
5.4.4 现场控制站硬件配置说明	175

第6章 HS2000 分布式控制系统软件体系	180
6.1 概述	180
6.2 基本原理	181
6.2.1 HS2000 系统结构	181
6.2.2 组态原理	182
6.2.3 组态软件的构成	183
6.2.4 应用系统组态步骤	185
6.2.5 HS2000 系统工程师站组态软件生成的各种文件	186
6.2.6 组态基本操作	187
6.2.7 高效、可靠的实时监控软件	188
6.2.8 现场控制站软件	194
6.3 系统管理组态	196
6.3.1 系统管理功能概述	196
6.3.2 系统管理组态说明	196
6.4 引用生成	197
6.4.1 引用生成组态原理	197
6.4.2 引用生成组态操作说明	198
6.5 数据库生成系统	200
6.5.1 工作原理	200
6.5.2 数据库生成操作	201
6.5.3 数据库编辑组态说明	204
6.6 控制回路组态	212
6.6.1 控制回路组态的工作原理	212
6.6.2 控制回路组态语言——功能块语言介绍	212
6.6.3 算法块定义	214
6.6.4 功能块图生成操作	235
6.7 梯形图生成系统	240
6.7.1 工作原理	240
6.7.2 梯形图组态操作说明	243
6.8 计算公式生成系统(结构化文本语言之一)	248
6.8.1 结构化文本语言组态工作原理	248
6.8.2 计算公式生成操作	249
6.9 历史数据库生成系统	253
6.9.1 历史数据库的工作原理	253
6.9.2 历史数据库编辑操作说明	254
6.10 图形生成系统	259
6.10.1 工作原理	259
6.10.2 图形生成画面的组成及说明	260
6.10.3 绘制背景图(图形生成)操作	261
6.10.4 设置动态点操作	267
6.10.5 图形连入系统	270
6.10.6 系统切换	271
6.11 报表生成	271
6.11.1 报表生成工作原理	271
6.11.2 报表编辑操作	271
6.11.3 动态点设置	273
第7章 HS2000 系统的可靠性措施	276
7.1 概述	276
7.2 HS2000 系统的可靠性设计	277
7.3 HS2000 系统的可靠性制造	279
7.4 HS2000 系统的可靠性应用	280

第三部分 DCS 应用实例

第8章 DCS 在火电系统中的应用	281
8.1 概述.....	281
8.2 热电厂热工控制系统工艺流程简介.....	282
8.2.1 热工控制系统的装置及工艺流程.....	282
8.2.2 热电厂热工控制系统对控制的要求.....	284
8.3 DCS 在火电机组控制中的应用.....	306
8.3.1 应用 DCS 对火电系统进行控制的工作内容.....	306
8.3.2 DCS 应用设计文件.....	308
第9章 DCS 在常减压蒸馏装置上的应用	344
9.1 前言.....	344
9.2 工艺流程介绍.....	345
9.2.1 生产原理.....	345
9.2.2 工艺流程.....	346
9.3 自动控制方案.....	347
9.3.1 概述.....	347
9.3.2 常压加热炉串级-前馈控制.....	349
9.3.3 过汽化率的计算及控制.....	350
9.3.4 加热炉热效率的计算及控制.....	351
9.3.5 加热炉分支出口温度平衡控制.....	353
9.3.6 自动提降处理量.....	354
9.3.7 自动改变加工方案.....	354
9.3.8 减压侧线粘度实时计算.....	355
9.3.9 液位与四路进料均匀调节的改进.....	356
9.3.10 常压塔顶和侧线的预估控制.....	356
9.4 对 DCS 的要求.....	359
9.4.1 概述.....	359
9.4.2 DCS 总体技术要求.....	360
9.4.3 DCS 硬件配置.....	362
9.4.4 DCS 系统功能.....	363
9.4.5 项目管理和技术服务.....	363
9.4.6 软件组态和数据库生成工作.....	364
9.4.7 交货及保证期限.....	365
9.4.8 其它.....	365
9.5 DCS 的安装与调试.....	365
9.5.1 DCS 的安装.....	365
9.5.2 DCS 的调试.....	368
9.6 DCS 与防爆仪表、智能仪表和其它.....	369
9.6.1 DCS 与防爆仪表.....	369
9.6.2 DCS 与安全栅和现场仪表的阻抗匹配.....	371
9.6.3 DCS 与智能变送器的通信.....	371
9.6.4 DCS 与 CIPS.....	372
第10章 DCS 在建材行业中的应用	373
10.1 DCS 在浮法玻璃生产线上的应用概述.....	373
10.1.1 我国浮法玻璃生产线使用 DCS 简况.....	373
10.1.2 DCS 在浮法玻璃生产线三大热工设备上的应用.....	375
10.2 浮法玻璃生产线工艺流程简介.....	377
10.2.1 浮法玻璃生产线的工艺流程.....	377
10.2.2 浮法玻璃生产线对控制系统的要求.....	387
10.3 DCS 在浮法玻璃生产线上的具体应用.....	400

10.3.1 概述	400
10.3.2 DCS 应用设计文件	401
第 11 章 DCS 在化工行业中的应用	422
11.1 概述	422
11.2 化工过程控制概要	423
11.2.1 化工过程	423
11.2.2 化工过程控制方案的研究开发概述	424
11.2.3 化学反应器的自动控制	425
11.3 集散型控制系统(DCS)在大型合成氨厂的应用	429
11.3.1 合成氨厂计算机应用的历史和现状	429
11.3.2 工艺流程简介	431
11.3.3 原料气制造自控系统	432
11.4 氨合成工序自控系统	449
11.4.1 工艺流程	449
11.4.2 氢氮比控制系统	451
11.4.3 合成氨弛放气控制系统	455
11.4.4 氨合成塔触媒层温度控制系统	459
11.5 四套节能控制系统的综合控制	460
第 12 章 DCS 在制药行业的应用	462
12.1 概述	462
12.2 青霉素发酵的工业过程	463
12.2.1 青霉素发酵的生产工艺	463
12.3 青霉素发酵过程中的各个控制环节	469
12.3.1 对种子罐的控制	469
12.3.2 对发酵罐的控制	474
12.3.3 交替补料	480
12.3.4 青霉素发酵过程对控制系统的要求	481
12.4 DCS 在青霉素发酵系统中的应用	482
12.4.1 应用 DCS 对青霉素发酵系统实行控制的工作内容	482
12.4.2 DCS 应用设计文件	482
12.4.3 系统现场调试注意事项	494
12.5 结束语	495
参考文献	496

第一部分 DCS 的选型应用

第1章 概 述

1.1 DCS 的发展

自1946年第一台电子管式的电子数字计算机问世以来,已过了半个世纪。这五十年可以说是被称为第二次工业革命的信息革命从孕育、发展直到蓬勃成长的一段时期。在人类历史上,总有一些看似普通的事件被以后的历史证明是引发人类社会发生巨大变革的起因。正如火的受控使用引发了农业革命,蒸汽动力的发现和蒸汽机的发明引发了第一次工业革命一样,电子数字计算机——这一以人类智力的扩充、增强和延伸为主要目标的机器——则宣布了信息革命的开端。而这次信息革命的发展速度,对人类社会各方面影响之深远,则都是前所未有的。

电子数字计算机在其出现之前,已经有很多以代替人类脑力劳动为目标的出色发明,例如古老的算盘,近代的计算尺直到电子数字计算机之前的机械式计算机。这些发明尽管出色,但都没有引起人类社会革命性的变化。只有在以数字化的处理(而非模拟方式)和自动的程序执行这二大原理为主要特点的电子数字计算机问世之后,才真正宣布了信息革命的开端。

在电子数字计算机出现的初期,其主要用途是数值计算,这是因为数值计算所处理的对象就是数字,对于电子数字计算机来说是最合适不过的。而后,由于文字和其它各种信息的数字化技术逐步成熟,电子数字计算机的应用逐步扩展到信息的处理和各种事物处理。近年来,在工业生产过程中出现的各种过程信息,主要是各种反映生产过程状态的物理量,如温度、压力、电流、电压等,随着这些信息的数字化技术逐步发展成熟,电子数字计算机的应用领域又扩展到了工业过程及生产制造领域。很明显,电子数字计算机的应用是和数字化技术密切相关的,数字化技术深入到哪个领域,电子数字计算机的应用就会扩展到哪里。近几年对声音、图象的数字化技术发展就带来了当前尽人皆知的电子数字计算机的最新应用——多媒体处理。

电子数字计算机在工业过程及生产制造领域的应用可以细分为很多类,而且站在不同的角度,分类的方法也有所不同,主要的分类方法有以下几种。

1 以控制算法划分

可以分为逻辑控制、数值控制和混合控制三种。逻辑控制是以逻辑状态的判别为基础的,其过程的输入是一些表示过程状态的开关量,这些量在计算机中进行各种逻辑条件的判别与逻辑运算,如逻辑与、逻辑或、逻辑非,其运算结果及控制输出也是一些控制过程状态的开关量,目前广泛使用的可编程逻辑控制器(PLC)就是一种典型的逻辑控制计算机。

数值控制是以数值的运算为基础的,其输入是各种现场测量值,经过计算机的数值计算,得到数值的控制结果并输出。数值控制需要依据被控过程的动态特性及传递函数,得出控制算法的“数学模型”,其用途主要是对连续过程进行调节与控制。混合控制则综合了逻辑控制和数值控制的算法,其输入、输出量既包括状态,也包括数值,而计算机的处理也包含了逻辑运算和数值计算这两方面的内容。

2 以控制方式划分

可以分为开环控制、闭环控制和监督控制三种。开环控制是一种预定程序的控制方法,它根据预先确定的控制步骤一步一步地实施控制,而被控过程的状态并不直接影响控制程序的执行。闭环控制则要根据被控过程的状态决定控制计算机的内容和实施控制的时机,计算机需要不断检测被控制过程的实时状态,并根据这些状态及控制算法得出控制输出,对被控过程实施控制。而监督控制则需要有人工的介入,计算机的任何控制输出都是由人来决定和实施的,计算机并不直接对被控过程实施控制。监督控制一般用于对那些得不出明确控制程序或控制算法的过程,这些过程可能涉及的情况比较复杂,以计算机的能力目前尚不能自动作出控制结果,因此必须由人来做出判断和裁决。

3 以控制对象划分

从被控过程的性质看,基本上可以分为连续过程、离散过程和以批次为基础的过程三种。连续过程是一种不间断的生产过程,其产品形态往往是流体,对这种过程的控制目标主要是产品的产量和质量,对连续过程的控制常常使用闭环的方式,其控制算法也是以数值控制为主。离散过程是一种单件形态产品的生产过程,这种生产过程往往分成许多道工序,对离散过程的控制就是要对每道工序进行控制,使工件在生产线上经过各道工序的加工逐步从原料变成半成品、成品。对离散过程的控制方式多为开环形式,而控制算法多为逻辑控制。批次的过程则兼有连续控制和离散控制的特点,它是以一个批次的生产为基础,在一个批次内的生产以连续过程为主,而批次的转换则以离散过程为主,对于批次的过程处理往往还附带有生产管理方面的功能,如产品的数量、原料、能源消耗的统计,成本的核算,等等。

4 以控制功能划分

基本上可分为直接数字控制(DDC)和设定值控制(SCC)两种。DDC和SCC都是闭环控制系统,但控制层次有所不同,DDC是指计算机根据过程输入,通过控制算法得到控制输出后直接通过计算机与过程现场的输出接口进行输出,以对被控过程实施控制的计算机控制系统,一般用于较小的单回路控制。SCC则是由计算机根据过程输入,通过控制算法得到一个指导性的设定值,由此设定值来规定回路控制的目标值,再由回路控制设备实施具体的控制输出。回路控制设备可以是自动化仪表,也可以是DDC级的计算机,SCC一般完成较大范围的控制协调,控制优化功能,属于高层控制的范围。

5 以系统结构划分

无论哪种计算机控制,在控制系统本身,都可分为集中结构(CCS)和分散结构(DCS)两种。所谓集中结构,是指由单一的计算机完成控制系统的所有功能和对所有被控对象实施控制的一种系统结构,显然,这种结构对计算机的要求极高,首先它必须有足够的处理能力和极高的可靠性,以保证功能的实现和系统的安全。集中系统的好处是系统的整体性、协调性好,由于是集中的方式,所有现场状态集中在一个计算机中处理,因此中央计算机

可以根据全面情况进行控制计算和判别,在控制方式、控制时机的选择上可以进行统一的调度和安排。而 DCS 则在系统的处理能力和系统安全性方面明显优于集中系统,这是由于 DCS 使用了多台计算机分担了控制的功能和范围,使处理能力大大提高,并将危险性分散。DCS 由于以上优点,现在已成为计算机控制系统的主流结构,但 DCS 面临的关键问题是系统的整体协调性的解决,由于一个系统中有多台计算机在工作,各个计算机如何协调工作,特别在涉及到全局性的控制问题时如何实现,是 DCS 要解决的主要问题。经过多年的发展,DCS 目前都采用了多层次的结构,即将系统分为现场控制层、协调控制层、管理控制层,等等。这些层次各完成不同的功能,如现场控制层主要完成 DDC 的功能,协调控制层完成 SCC 的功能,而管理控制层完成范围更广泛、更高层的管理控制功能等。在同一层次中,各个计算机的地位、功能是等同的,它们分别完成整个控制范围中的某一部分,而它们之间的协调,一部分靠与同层次中其它计算机的数据通信实现,而主要则依赖于上一层次的计算机,这样可以较好地满足计算机控制系统的可靠性、可用性及整体协调性等要求。

在实际应用中不同用途的计算机控制系统还有很多差异。如对现场过程量的 I/O,就可以分为近程 I/O 和远程 I/O 两种。近程 I/O 是将过程量直接通过信号电缆引入计算机,而远程 I/O 则必须通过远程终端单元(RTU)实现现场 I/O,在 RTU 和计算机之间通过远程的通信线路实现连接和信息的交换。又如近年来现场控制测量仪表的智能化技术发展很快,智能化仪表实际上就是传统仪表和小规模的 DDC 计算机结合而成的产品。智能化仪表的出现使得计算机控制系统的现场控制层更加分散,更加深入到生产设备,因此整个系统的结构也发生了相应的变化,特别是现场总线技术逐步成熟后,计算机控制系统的分散化,智能化更成为一种必然的发展趋势。

本书将从 DCS 入手,详细介绍计算机控制系统的功能、具体产品以及实际系统的实现方法,也根据当前技术的发展讨论计算机控制系统的发展趋势。

1.2 DCS 的组成及体系结构

DCS 即所谓分布式控制系统,在其它一些资料中称之为集散系统,是相对于集中式控制系统而言的一种新型计算机控制系统,它是在集中式控制系统的基础上发展、演变而来的。在这里我们不对 DCS 的结构作学术式的探讨,即先不去管它应该是什么样的结构,而是从实际出发,根据现有的、应用比较广泛的若干种 DCS 的结构进行总结归纳,从而说明 DCS 实际是一种什么样的结构,进而根据其实际应用的情况分析、比较 DCS 的各种特点。

在生产过程自动化领域中,集中式控制系统是指那种将过程数据输入输出(PIO)、实时数据库的管理、实时数据的处理与保存、历史数据库的管理、历史数据处理与保存、人机界面的处理(MMI),报警与日志记录、报表直至系统本身的监督管理等所有功能集中在一台计算机中的那种系统。集中式控制系统的优点是结构简单、清晰,集中式的数据库很容易管理,并容易保证数据的一致性。但其缺点很多:①各种功能集中在一台计算机中,使得软件系统相当庞大,各种功能要由很多实时的任务去完成,而任务数量的增加导致系统开销增大,计算机运行效率下降;②由于集中式的系统需要庞大而复杂的软件体系,使得

系统的软件可靠性下降,实际运行情况表明,集中式系统在现场运行时出现的故障有 70% 以上是由于设计不良或存在缺陷的软件造成的,因此尽管很多集中式系统为了保证硬件可靠性而精心设计了双重冗余与备份,但仍然避免不了故障的出现,甚至加了冗余的系统故障率反而高于没有冗余的系统,究其原因,均是软件引起的问题;③系统的可扩性差。限于计算机硬件的配置与能力,一个系统在建立时基本上就已经确定了其最终能力。如果能预见到其规模的扩充,只有预留计算机的处理能力,这将造成很大的投资上的浪费;④集中式的系统将所有的功能、所有的处理集中在一台计算机上,大大增加计算机失效或故障对整个系统造成的危害性,所有实时信息、历史数据和处理功能集于一身,一旦出现问题,造成的后果都是全局性的。

鉴于集中式控制系统存在的种种问题,人们开始针对这些问题寻求解决方案,其中有几点思路是非常具有建设性的,事实上这也成了日后 DCS 设计的基本原则:

- 1 针对过程量的输入、输出处理过于集中的问题,设想使用多台计算机共同完成所有过程量的输入、输出。每台计算机只处理一部分实时数据,而每台计算机的失效只会影响到自己所处理的那一部分实时数据,不至于造成整个系统失去实时数据。

- 2 用不同的计算机去处理不同的功能,使每台计算机的处理尽量单一化,以提高每台计算机的运行效率,而且单一化的处理在软件结构上容易做得简单,提高了软件的可靠性。

- 3 用计算机网络解决系统的扩充与升级的问题。与计算机的内部总线相比,计算机网络具有设备相对简单、可扩性强、初期投资较小的特点,只要选型得当,一个网络的架构可以具有极大的伸缩性,从而使系统的规模可以在很大程度上实现扩充而并不增加很多费用,换句话说,就是系统的成本可以随着规模的扩充基本上呈线性增长的趋势。

- 4 网络中的各台计算机处于平等地位,在运行中互相之间不存在依赖关系,以保证任一计算机的失效只影响自身。

事实上,被控过程本身具有层次性和可分割性,上述设想是符合被控过程自身的内在规律的,因此基于上述设想的 DCS 出现后,很快地得到了广泛的承认和普遍的应用,并且在短短二十几年中取得了相当大的进展。

这里我们不难看出,DCS 的关键是计算机的网络技术,我们可以认为 DCS 的结构其实质就是一个网络结构。如何充分利用网络资源,如何通过网络协调 DCS 中各台计算机的运行,如何在多台计算机共同完成系统功能的过程中保证所处理信息的实时性、完整性和一致性,则成为了 DCS 设计中的关键问题。

下面,我们简要介绍 DCS 的基本构成和各个组成部分。

1.2.1 DCS 的基本组成部分

DCS 自 70 年代问世以来,很多公司各自推出了多种不同设计、风格各异的 DCS,即使是同一厂家,其早期产品和近期产品也有不少的差异。但是,尽管种种 DCS 千差万别,其核心结构却基本上是一致的,我们可以简单地将其归纳为“三点一线”式的结构。“一线”是指 DCS 的骨架计算机网络,“三点”则是指连接在网络上的三种不同类型的节点。这三种不同类型的节点是:面向被控过程现场的现场 I/O 控制站;面向操作人员的操作站;面向 DCS 监督管理人员的工程师站。

一般情况下,一个 DCS 中只需配备一台工程师站,而现场 I/O 控制站和操作员站的数量则需要根据实际要求配置。这三种节点通过系统网络互相连接并互相交换信息,协调各方面的工作,共同完成 DCS 的整体功能。

1.2.1.1 DCS 的系统网络 SNET

用于 DCS 的计算机网络在很多方面的要求不同于通用的计算机网络。首先,它是一个实时网络,也就是说,网络需要根据现场通信实时性的要求,在确定的时限内完成信息的传送。这里所说的“确定”的时限,是指无论在何种情况下,信息传送都能在这个时限内完成,而这个时限则是根据被控制过程的实时性要求确定的。

根据网络的拓扑结构,大致可以分为星形、总线形和环型三种。星形网由于其必须设置一中央节点,各个节点之间的通信必须经由中央节点进行,这种变相的集中系统不符合 DCS 的设计原则,因此星形网基本上不被各 DCS 厂家采用。目前应用最广的网络结构是环形网和总线型网。在这两种结构的网络中,各个节点可以说是平等的,任意两个节点之间的通信可以直接通过网络进行,而不需其它节点的介入。

从信息传送的实时性讲,星形网应该是最好的,因为这种拓扑结构没有共用传输介质的问题。DCS 之所以不采用这种结构,仅仅是由于其中中央节点的存在使危险性集中了的缘故,另外两种拓扑结构不存在这个问题,但它们存在着另一个问题,就是共用传输介质的问题,这是影响网络传输实时性的关键。

为了实现传输介质共享,对于多个节点传送信息的请求必须采用分时的方法,以避免信息在网络上的碰撞。目前各种网络解决碰撞的技术不外两种,一种是以令牌的方式划分各个节点的时间片,使每一瞬间只有一个节点使用物理传输介质,即所谓 Token Ring(对于环形网)或 Token Passing(对总线形网)方式。令牌实际是一个标识信号,它规定了要使用物理传输介质的节点标识,只有符合标识的节点(节点的标识号在系统中是唯一的)才能使用网络。这样就避免了某个节点传送信息时被其它节点干扰,当传送信息的节点完成传送之后,即刻释放网络,并产生一个令牌,将网络让给其它节点。这种令牌方式的网络要求各个节点用网络的时间是限定时间,即每个令牌从得到到释放的时间是确定的,这样才能保证通信的实时性,对于较多的数据传送请示,就有可能被分割成多个令牌周期分几次完成传送。另一种解决碰撞的技术是载波侦听与碰撞检测技术,即 CSMA/CD 方式,这种方式不规定时间片,需要使用网络的节点首先需要对网络线进行侦听,测试网络是否忙,如果忙就等待,直到网络空闲。如果两个节点同时向网络发送数据,就会造成两个节点的数据传送同时出错的情况,这时,各个需要使用网络的节点就需要延迟一个随机的时间,然后再去试图占用网络。这种网络运行机制并不具备“在确定时限内完成信息传送”的特点,因此在 DCS 中很少用 CSMA/CD 方式的网络作为 SNET 而多采用 TOKEN 方式的网络。但是在更高一层的管理网络中,CSMA/CD 方式的网络使用比较普通,这是由于当网络上节点较多时, TOKEN 方式的网络开销比较大,使得网络节点的增加受到一定限制,同时在传送数据包的长度较大时, TOKEN 网完成一次传送的时间会拉得很长,而在高层管理网中往往节点数量较多,被传送的数据包较大,而且在这种场合实时性的要求相对没有那么严格,主要需考虑的是可以方便地增加实时性要求不太高的网络节点,在这些方面 CSMA/CD 网显然更具有优越性。

1.2.1.2 现场 I/O 控制站

现场 I/O 控制站是完成对过程现场 I/O 处理并实现直接数字控制(DDC)的网络节点,主要功能有三个:①将各种现场发生的过程量(流量、压力、液位、温度、电流、电压、功率以及各种状态等)进行数字化,并将这些数字化后的量存在存储器中,形成一个与现场过程量一致的、能一一对应的、并按实际运行情况实时地改变和更新的现场过程量的实时映象;②将本站采集到的实时数据通过网络送到操作员站、工程师站及其它现场 I/O 控制站,以便实现全系统范围内的监督和控制,同时现场 I/O 控制站还可接收由操作员站、工程师站下发的信息,以实现到现场的人工控制或对本站的参数设定;③在本站实现局部自动控制、回路的计算及闭环控制、顺序控制等,这些算法一般是一些经典的算法,也可下装非标准算法、复杂算法。

要实现上述三项功能,首先要实现现场过程量的 I/O。由于计算机的处理是以二进制数字为基础的,因此第一步是实现现场过程量的数字化处理,这是实现其它功能的基础。对于状态量数字化的过程比较简单,一般都是用电气接点表示各种状态,通过数字量的输入、输出即可实现数字量和状态之间的转换。而对于其它物理量,就需要一些特殊的转换方法。从总体看,物理量基本上可分为两种,一种是物理量的瞬时值(流量、压力、液位、温度、电流、电压、功率等),另一种是累计值(流量的累计,电能的累计等)。瞬时值可以通过模拟数字变换(A/D 或 D/A)实现数字化,这种变换是通过检测元件或执行元件,将物理量用电信号(如电流、电压)表示出来,然后通过计算机内部的 A/D 变换器将电信号变成数字量或由 D/A 变换器将数字量变成电信号。而累计量可以用两种方法实现变换,一种是利用瞬时值,通过计算机内部的积分运算计算出累计值,如流量的累计,可利用孔板式流量计取得流量瞬时值(m^3/s),分时段进行积分,变成立方值。时段分得越细,其结果精度越高,如图 1.2.1 所示。

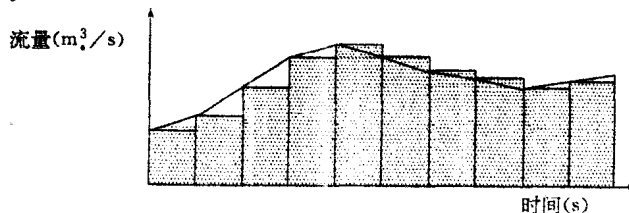


图 1.2.1 对流量的积分运算

图中每个竖直条为一个时段,阴影部分的面积即为物理量的累计值,由图中可以看出,每个时段的累计与实际量是有误差的,这个误差随着时段的变小而减少,在积分时间较长时,由于正负误差的抵销,其精度不断提高,而逐渐接近实际值。

取得累计值的第二个方法是使用称为“脉冲量”输入的方法,即使用具有累计功能的检测元件,并将累计的结果以脉冲的方式送给计算机处理,例如采用齿轮式流量计,由于齿轮每转动一定角度就表示有相应数量的液体通过,只要在齿轮上附一个脉冲发送装置,由计算机对脉冲进行计数,即可得到流量的累计值。当然,用这种方法得到的累计值只是一个脉冲数量,还必须乘上一个“脉冲当量”(每个脉冲所代表的液体体积),方可得到实际的流量累计。

由于各种物理量的检测元件或执行元件所使用的原理和方法不同,数字化后的物理量