

中央电视台《集散型控制系统》电视讲座教材

集散型控制系统的设计与应用

王常力 廖道文 主编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书系统地讨论了集散型控制系统,又称分布式控制系统(DCS)的概念、体系结构和实际应用系统的设计方法。本书力图从实际应用和设计出发,重点讨论了 DCS 的国内、外发展现状,现场控制站的硬件、软件实现方法,操作员站和工程师站的软件体系,组态软件,并介绍了 DCS 的可靠性概念和工程化的设计方法。最后,本书介绍了 8 个具体的 DCS 工程应用实例。

本书由一批从事 DCS 的开发和推广应用的一线技术人员合著而成,主要内容是他们从事具体的 DCS 开发和应用经验的结晶,因此,具有较强的实际指导价值。

本书可以作为计算机控制专业的大学生、研究生的教材,更可以供从事 DCS 应用和开发工作的科研人员和工程设计人员作为学习参考。

(京)新登字 158 号

集散型控制系统的设计与应用

王常力 廖道文 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

新华书店总店科技发行所发行

开本: 787× 1092 1/16 印张: 27.25 字数: 640 千字

1993 年 6 月第 1 版 1993 年 6 月第 1 次印刷

印数: 00001—30000

ISBN 7-302-01276-8/TP·483

定价: 16.00 元

前 言

自从美国的 Honey Well 公司于 1975 年成功地推出了世界上第一套集散型控制系统(DCS, 又称分布式控制系统)以来, 经历了近二十年的时间, DCS 已走向成熟的第三代产品。DCS 以它的高可靠、高性能、分散控制、集中监视和管理的功能以及合理的价格而得到了工业界广大用户的特殊青睐。目前, 我国的主要行业, 如石化、电力、冶金等每年都要引进上百套的系统。而且, 我国政府部门对国产化的 DCS 也给予了很大的支持。现在, 有许多计算机力量较为雄厚的部门正积极地集中人力、财力对 DCS 进行引进、开发和推广, 已取得了初步成绩。

从世界上来看, DCS 是工业控制系统的一大趋势, 在我国, 这方面的工作还存在很大的差距。为了配合我国 DCS 的推广、应用工作, 由国务院电子振兴办公室领导了这次《集散型控制系统》电视讲座。此书将作为本次讲座的主要教材。

与以往别的教材不同, 此书的作者不是大学教师, 而是从事 DCS 开发和应用的一线技术人员。虽然和教师们比起来, 在章节的安排, 词句的组织上肯定会有许多的不足之处, 但是, 本书的内容均是作者们从事具体的 DCS 开发或应用工作经验的总结和写照。因此, 编者认为, 本书对真正从事 DCS 开发和推广应用的技术人员会具有实际的指导意义。

DCS 是一个庞大的计算机和控制系统的综合体系。因此, 在这样一本 60 余万字的著作中不可能对其进行详细论述。但本书编者试图在选材和内容组织上不以讨论理论知识为重点, 而是采用系统化、层次化的方法, 着重介绍 DCS 的体系结构和功能, 并突出其实用性, 力争使本书具有较强的实际指导价值。

本书的内容安排如下:

- DCS 的概念、设计思想、特点及国内发展情况;
- DCS 的体系、结构;
- DCS 的过程控制级、现场控制站、操作员站、工程师站的硬件组成结构;
- DCS 现场控制站的软件结构;
- DCS 操作员站的软件, 包括数据结构、I/O 驱动软件和控制计算软件;
- DCS 操作员站的软件体系, 包括操作系统、面向过程语言和多任务软件设计;
- DCS 的组态软件, 包括实时数据库、历史数据库、流程画面、回路组态软件的设计;
- DCS 的高级控制功能;
- DCS 的网络体系;
- DCS 可靠性概念和可靠性设计;
- DCS 的工程化设计, 包括对 DCS 的评价和工程化设计方法;
- DCS 的应用实例。

各章的主要撰写人有: 第 1、2 章及 3.2、3.3、3.4 及 11.1 节由航天部测控公司的廖道文、李杰、范佳平、郝大同和童峰等完成; 第 3.1、3.5 节和第 4、5、6 章由机电部六所的王常力完成; 第 7、8、9 章分别由机电部六所的林泉、邢嵘、陈锴和李东等完成; 第 10 章由

廖道文和王常力共同完成;第 11.2、11.3 节由西仪横河的吴寿龙完成;第 11.4 节由天津仪表八厂的马友来完成;第 11.5 节由天津无缝钢管公司的刘伟完成;第 11.6 节由天津碱厂的李九龙等完成;第 11.7 节由机电部六所的王力超和贾凌武完成;机电部六所的黄奇琦、邵柏庆和杨仕敏也参加了第 6 章的部分内容编写工作。机电部六所的张涛协助做了大量的稿件组织和绘图工作。机电部六所的王梅君和测控公司的范佳平等同志打印了主要稿件。

此书的撰稿者在百忙中抽出时间将他们在 DCS 开发与应用中的宝贵经验和知识奉献给读者,并给予编者以极大的支持,在此,我们表示衷心的感谢。

天津理工学院的赵镇教授和吴训一教授等审阅了全稿。还有许多同志为本书的出版提供了帮助,在此也表示感谢。

本书是在极短的时间内,由多位从事一线工作的技术人员和有关领导人员撰写而成,作者都很忙,都是利用业余时间完成的,错误和不足之处在所难免,敬请读者批评、指正。

编 者

1993 年 3 月于北京

目 录

第 1 章 集散型控制系统及其发展	1	3.1 概述	38
1.1 集散型控制系统的概念	2	3.2 DCS 的过程控制级	38
1.1.1 过程计算机控制系统的前期 发展历程(70 年代中期以前)	2	3.2.1 过程控制级的功能	38
1.1.2 集散型控制系统的概念	5	3.2.2 用于过程控制级的数字 调节器与 PLC	40
1.2 集散型控制系统的设计思想及特点	6	3.3 现场控制站的结构	41
1.3 集散型控制系统的发展概况	8	3.3.1 机柜	41
1.3.1 集散型控制系统的开创期 (70 年代中期)	8	3.3.2 电源	41
1.3.2 集散型控制系统的不断成长 与完善时期(80 年代中后期)	9	3.3.3 控制计算机	43
1.3.3 集散型控制系统的发展 趋势(90 年代)	10	3.3.4 现场控制站的可靠性与 可维护性	47
1.4 国外 DCS 产品一览	12	3.4 过程控制级中的智能调节器与可编 程序控制器(PLC)	50
1.5 国内集散型控制系统发展情况	15	3.4.1 智能调节器	50
第 2 章 集散型控制系统的体系结构	18	3.4.2 可编程序控制器(PLC)	50
2.1 集散型控制系统的体系结构概述	18	3.5 DCS 的操作员站和工程师站	54
2.1.1 中央计算机集中控制系统的 形成	18	3.5.1 中心计算机站(CENTRAL COMPUTER STATION)	54
2.1.2 集散型控制系统层次化体系 结构的形成	19	3.5.2 操作员站的功能	55
2.1.3 集散型控制系统功能分层体系 ...	21	3.5.3 操作员站的结构组成	64
2.2 集散型控制系统体系结构中各层 的功能	22	第 4 章 现场控制站软件系统	74
2.2.1 直接控制级	22	4.1 概述	74
2.2.2 过程管理级	23	4.1.1 现场控制站的功能	74
2.2.3 生产管理级	23	4.1.2 现场控制站的软件结构	74
2.2.4 工厂经营管理级	24	4.2 现场控制站的数据结构	75
2.3 集散型控制系统体系结构典型示例 ...	24	4.2.1 概述	75
2.3.1 TDC-3000 型集散控制系统	24	4.2.2 现场控制站的实时数据库的 主要数据类型和结构	76
2.3.2 Centum-XL	26	4.2.3 现场控制站数据库的存取功能 ...	84
2.3.3 I/A Series	28	4.3 现场控制站的输入、输出软件	85
2.3.4 INFI-90 系统	30	4.3.1 概述	85
2.3.5 MOD 300 集散型控制系统	32	4.3.2 输入处理模块	85
2.3.6 MAX1000 集散型控制系统	35	4.4 现场控制站的反馈控制软件	90
第 3 章 集散型控制系统的硬件结构	38	4.4.1 概述	90
		4.4.2 基本控制算法模块	92
		4.4.3 现场控制站控制算法的实现	103
		4.5 现场控制站的顺序控制功能	107

4.5.1 顺序控制的概念和组成元素.....	107	7.1 概述.....	213
4.5.2 DCS 顺序控制功能的实现	110	7.2 自适应控制技术.....	213
4.6 几点讨论.....	121	7.2.1 数学模型.....	214
第 5 章 DCS 操作员站的软件体系	123	7.2.2 状态反馈.....	215
5.1 概述.....	123	7.2.3 状态观测器.....	216
5.2 操作系统.....	124	7.2.4 状态估计.....	217
5.2.1 基本概念和术语.....	124	7.2.5 辨识与参数估计	218
5.2.2 实时多任务操作系统.....	126	7.2.6 自适应控制.....	221
5.3 面向过程语言	143	7.3 生产过程的优化控制与管理	229
5.3.1 概述	143	7.3.1 概述.....	229
5.3.2 高级编程语言及其特点.....	144	7.3.2 线性规划(Linear Program)	230
5.4 操作员站的系统软件体系结构.....	145	7.3.3 动态规划.....	231
5.4.1 操作员站的软件内容.....	145	7.3.4 基于知识的系统和方法	233
5.4.2 操作员站软件结构.....	146	7.3.5 CIMS/CIPS 的概念	236
第 6 章 集散型控制系统的组态软件	159	第 8 章 DCS 的网络体系	238
6.1 概述.....	159	8.1 概述.....	238
6.2 实时数据库生成系统.....	161	8.2 局域网技术.....	239
6.2.1 概述.....	161	8.2.1 局域网的定义与分类.....	239
6.2.2 实时数据库的内容.....	162	8.2.2 网络拓扑结构.....	240
6.2.3 数据库生成软件的功能.....	165	8.2.3 传输介质.....	240
6.2.4 数据库生成系统举例.....	167	8.2.4 传输技术.....	242
6.3 工业流程画面的生成.....	171	8.2.5 网络控制方法.....	244
6.3.1 概述.....	171	8.2.6 错误检测及纠错编码	245
6.3.2 流程画面生成的主要功能.....	173	8.3 OSI 参考模型	248
6.3.3 画面生成举例.....	174	8.3.1 OSI 参考模型结构	248
6.4 历史数据库趋势显示和 报表生成技术.....	187	8.3.2 OSI 参考模型的七层协议及 网间互联.....	252
6.4.1 概述.....	187	8.4 IEEE 标准	256
6.4.2 几种历史数据库、趋势显示 功能.....	187	8.4.1 IEEE 802 标准及与 OSI 协议 的关系.....	257
6.4.3 历史数据库的生成和 配置技术	192	8.4.2 介质存取控制层(MAC)	259
6.4.4 报表打印和生成技术.....	196	8.4.3 逻辑链路控制层(LLC)	260
6.5 控制回路的组态.....	202	8.4.4 网络寻址.....	261
6.5.1 概述.....	202	8.4.5 IEEE 802 的帧结构	262
6.5.2 组态原理	203	8.4.6 服务原语和参数	262
6.5.3 控制回路的组态方法	204	8.5 IEEE 802.2 逻辑链路控制协议	264
6.5.4 控制回路组态的例子.....	207	8.5.1 LLC 服务	264
第 7 章 DCS 的高级控制功能	213	8.5.2 MAC 服务	267
		8.5.3 LLC 链路控制协议的 实现机制.....	269
		8.5.4 LLC 协议格式	270

8.6 IEEE 802.3 CSMA/CD 介质存取控制协议.....	271	应达到的目的	316
8.6.1 IEEE 802.3 的主要内容	272	10.1.2 集散型控制系统工程化设计中应完成的工作	316
8.6.2 CSMA/CD	272	10.2 集散型控制系统的评估	317
8.6.3 IEEE 802.3 的 MAC 帧格式 ...	274	10.2.1 集散型控制系统评估的意义和一般准则	317
8.6.4 IEEE 802.3 的物理层规范	274	10.2.2 集散型控制系统评估人员的选择	318
8.6.5 以太网(Ethernet)	275	10.2.3 集散型控制系统评估的内容 ...	319
8.7 IEEE 802.4 令牌总线	276	10.2.4 集散型控制系统的评估方法及应用	323
8.7.1 IEEE 802.4 标准的主要内容 ...	276	10.3 集散型控制系统的工程化设计	325
8.7.2 令牌总线的基本概念.....	276	10.3.1 集散型控制系统工程化设计的步骤	325
8.7.3 成员控制技术.....	277	10.3.2 集散型控制系统应用工程的实施方法	330
8.7.4 故障控制技术.....	279	第 11 章 集散型控制系统的应用	334
8.7.5 优先级控制技术.....	280	11.1 DCS 在催化裂化装置中的应用	334
8.7.6 IEEE 802.4 的 MAC 帧格式 ...	281	11.1.1 友力-2000 系统硬件结构	334
8.7.7 IEEE 802.4 的服务规范	283	11.1.2 友力-2000 DCS 软件系统	340
8.7.8 IEEE 802.4 的物理层规范	284	11.1.3 控制实施	344
8.8 IEEE 802.5 令牌环	285	11.2 DCS 在氮肥厂中的应用	349
8.8.1 IEEE 802.5 标准的内容	285	11.2.1 工艺概况及控制、监视功能.....	349
8.8.2 令牌环的概念.....	286	11.2.2 控制系统配置	350
8.8.3 IEEE 802.5 的 MAC 帧格式 ...	286	11.2.3 合成氨的氮氢配比调节系统 ...	353
8.8.4 优先级控制技术.....	288	11.3 DCS 在某钢铁公司 14000m ³ /h 空分装置中的应用	360
8.8.5 令牌环的维护功能.....	288	11.3.1 工艺概述	360
8.8.6 IEEE 802.5 的 MAC 服务规范.....	290	11.3.2 本装置用 μ XL 实施的功能	360
8.8.7 IEEE 802.5 的物理层规范	290	11.3.3 硬件配置	362
8.9 制造自动化协议—MAP	291	11.3.4 主要控制回路介绍	362
8.9.1 MAP 在工业制造领域的应用 ...	291	11.4 DCS 在冶金系统中的应用	369
8.9.2 MAP 协议及结构	293	11.4.1 DCS 在电炉冶炼控制中的应用	369
8.10 DCS 网络产品比较	294	11.4.2 用 N-90 系统实现双交叉燃烧控制	378
第 9 章 DCS 的可靠性概念和可靠性设计	297	11.5 DCS 在工业窑炉上的应用	384
9.1 系统可靠性和可靠性指标.....	297	11.5.1 工业窑炉的参量和控制要求 ...	385
9.2 DCS 的可靠性分析	301	11.5.2 用 DCS-2001 集散系统构成工业窑炉控制系统	386
9.3 DCS 中各单元的可靠性设计	304	11.5.3 瓷窑控制系统的组态与生成 ...	389
9.4 DCS 系统级的可靠性设计	311		
9.5 DCS 软件的可靠性设计	312		
9.6 DCS 的可靠性评估	315		
第 10 章 集散型控制系统的工程化设计.....	316		
10.1 概述	316		
10.1.1 集散型控制系统工程化设计			

11.6 DCS 在天津碱厂的应用	395	自动控制	404
11.6.1 概述	395	11.7.3 集散型控制系统的实现	406
11.6.2 硬件配置及性能	396	11.7.4 主要控制技术关键	410
11.6.3 系统软件和应用软件	397	11.7.5 控制效果	411
11.6.4 纯碱生产与碳化过程简介	398	11.8 DCS 在葛洲坝泄水闸自动控制系统	
11.6.5 衡稳控制主要方案	399	中的应用	412
11.6.6 上位机优化控制	399	11.8.1 概述	412
11.7 DCS 在电力控制中的应用	403	11.8.2 系统的功能要求与实现方法 ...	413
11.7.1 DCD 在火力发电控制方面的		11.8.3 应用效果	420
应用	403	参考文献	420
11.7.2 30 万 kW 火力发电过程及其			

第 1 章 集散型控制系统及其发展

科学技术是第一生产力，是推动经济和社会发展的伟大革命力量。

现代科学技术领域中，计算机技术和自动化技术被认为是发展最快的两个分支，计算机控制技术是这两个分支相结合的产物，它是工业自动化的重要支柱。工业自动化的广泛应用能够提高工厂装备的技术水平、节约能源、降低消耗、促进生产的柔性化和集成化；提高产品质量、发展品种、提高劳动生产率以及产品的国际竞争能力；控制环境污染、改善劳动条件、保证生产安全可靠。因此，工业自动化成为适应国内外市场竞争的重要手段，是促进企业现代化大生产的有力工具。

工业自动化根据生产过程的特点又可分为过程控制自动化和制造工业自动化以及各种自动化测量系统。过程控制自动化是以流程工业、(如化工、石油、电力、造纸等)为对象；制造工业自动化是以离散型制造过程(如汽车、飞机、电子设备及机床等)为其对象；混合型制造业(又称间隙过程工业)自动化则以冶金、食品、玻璃、纸制品、半导体和纺织为对象，对于这些不同的工业对象发展相应的控制技术。流程工业的控制一般选用集散型计算机控制系统(DCCS)[通常简称为集散型控制系统(DCS)]，离散型制造业采用可编程控制器(PLC)更为合适，而间隙过程工业则以 DCS 和 PLC 混合使用最好。随着 DCS 和 PLC 相互渗透发展继而扩大自己的应用领域，将出现 DCS 和 PLC 融合于一体的集成过程控制系统。

自 50 年代第一台计算机应用于控制以来，开始由于计算机成本高，软件、硬件功能差，可靠性不高，所以工业控制计算机未能迅速推广应用。微计算机技术及超大规模集成电路技术和通信网络技术的发展，为计算机用于工业生产过程创造了良好的条件。工业控制逐步地从单机的监控、直接数字控制(DDC)发展到集散型控制系统和计算机集成制造系统(CIMS)。

集散型控制系统的出现是工业控制的一个里程碑。今天，DCS 已广泛应用于工业过程控制，并延伸到实验室自动化和大型研究试验以及离散制造业。而 CIMS 是在已有自动化技术基础上发展起来支持未来工厂自动化模式的新型工厂自动化系统，它把孤立的工厂局部自动化技术和子系统在新的管理模式与工艺指导下综合运用信息技术、自动化技术，并通过计算机及其支持软件而有机地综合起来，构成一个完整的系统，对生产过程的物质流与管理过程的信息流和决策过程的决策流进行有效的控制和协调，以适应新的竞争模式下市场对生产和管理过程提出的高质量、高速度、高灵活性和低成本的要求。

90 年代的集散型控制系统将以 CIMS 为目标，以新的控制方法、智能化仪表、专家系统和局域网络等新技术为用户实现过程控制自动化与信息管理自动化相结合的管控一体化的综合集成系统。

1.1 集散型控制系统的概念

1.1.1 过程计算机控制系统的前期发展历程(70年代中期以前)

过程计算机控制系统的发展是与计算机技术的发展密切相关的,它起始于50年代。60年代中至70年代为集中式计算机控制发展时期,70年代中期进入以采用4C技术(计算机、通讯、控制、CRT)为特征的集散型控制系统的发展时期。

1. 过程计算机控制的初创时期(50年代)

在应用到过程控制之前,计算机仅仅用在工厂、实验室或其它测试环境中进行数据采集和分析,因而此时的计算机只起到“离线”的应用。计算机放置的位置大都在一个专用的机房中,计算机系统只作为数值运算的工具,或进行数值统计,或进行数值分析,而计算机与过程装置之间没有任何物理上的连接。在后来的发展中,扩充了对控制器的设定值和执行器的位置值的计算。因而可以实施对过程的控制和调节,只是计算后的值被送给执行装置的操作仍由操作员人工操作来完成。1959年,美国TRW公司和TEXACO公司联合研制的TRW300计算机控制系统在美国德州阿塞港的炼油厂聚合装置上投运成功。它主要用于数据记录,带部分控制。随后在路易斯安娜州洛林的孟山都氨工厂使用,所采用的系统具有提高数据处理能力的过程优化功能,特别典型的是它采用了监督管理用的控制原理,这样计算机可产生模拟量控制器所遵循的设定点。

这一开创性的工作开辟了计算机应用的一个新领域。但是由于当时的计算机太大,速度太慢,价格昂贵而且不可靠,因此,这一时期的计算机只用于管理方式,给操作员以操作指导和给模拟仪表以设定点控制方式。

2. 集中式计算机控制系统发展时期(60年代—70年代中期)

在这之前,虽然计算机已应用于过程控制系统,但仍不能称之为过程计算机控制,其根本原因在于它不直接参与过程控制,充其量不过是一个离线数据分析的工具罢了。到了50年代后期,由于在计算机上提供了与过程装置之间的接口,人们开始试验用直接连接的方法,使计算机与变送器和执行器之间的信号双向传递都不用人工干涉,并获得了成功。到此计算机配备上变送器,执行器和信号连接装置就完全可以实现过程的检测、监视以及对过程的管理和控制了,然而由于计算机与过程装置之间的双向信号流动是通过硬性的物理连接装置,其中流动的信号都是电气信号,因此计算机不可能与现场装置离得太远,所以每台计算机所控制和管理的过程装置量很少,多数情况下的应用为单回路控制。1962年,英国帝国工业公司(ICI)安装了Ferranti Argus计算机控制系统,替代了全部模拟控制仪表,即模拟技术由数字技术来代替,而系统的功能却保持不变。这是集中式过程计算机控制系统应用的开端。集中式过程计算机控制系统的发展经历了直接数字控制系统(DDC)、集中型计算机控制系统和分层计算机控制系统。

(1) 直接数字控制(DDC)

直接数字控制是计算机控制技术的基础,已广泛地应用于工业过程控制。DDC技术主要组成是由一台数字计算机替代一组模拟控制器,其系统结构如图1.1所示。

DDC主要特点:计算机首先通过模数输入转换器(A/D),实时采集生产过程被控参

图 1.1 基本 DDC 系统结构

数的信息，然后按照控制算法运算后，其结果通过数模转换器(D/A)去控制执行器，构成一个闭环控制回路。

DDC 的第一个数字控制算法是 PID。

PID 控制算式：

$$U(k) = K_p e(k) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d e(t)}{dt} \quad (1.1)$$

式中 T 为采样周期， K_p 为比例增益， T_i 为积分时间， T_d 为微分时间， k 为选择的采样序号， $e(k)$ 为第 k 次采样的偏差， $U(k)$ 为 PID 算式的输出，表征着阀位。

亦可表示为增量形式：

$$U(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1.2)$$

式中 $K_i = K_p * T / T_i$ 积分系数 $K_d = K_p * T_d / T$ 微分系数

增量式控制的优点是：

计算机只输出增量，误差动作影响小。

算式中不需要累加，增量只与最近几次采样值有关。

对任何故障或者切换冲击小。

PID 控制在过程控制中已广泛应用，在化工和石油化工中大多数控回路采用 PID 就能工作得很好。但在有些情况下，则需要先进控制，实际上，DDC 的功能已扩展到前馈、解耦、超驰等复杂控制规律。

DDC 比起模拟仪表控制的主要优点在于所有 PID 和其它运算均在计算机中进行，保持了数字化的精度。其弊端在于当时的计算机运算速度不够快，不能在合理的时间内得出数据，因此快速过程不能很好地得以控制。

(2) 集中型计算机控制系统

集中型计算机控制系统的系统结构如图 1.2 所示。

它把几十个甚至几百个控制回路以及上千个过程变量的显示、操作和控制集中在单一计算机上来实现。即在一台计算机上实现下面的功能：过程监视、数据收集、数据处

图 1.2 集中型计算机控制系统结构

理、数据存储、报警和登录、过程控制等。此外，还可以实现生产调度和工厂管理的部分功能。

集中型计算机控制比起常规仪表控制系统有很大的优越性，控制功能齐全，而且可以实现模拟仪表难以实现甚至不能实现的功能和先进控制、联锁功能等复杂控制。由于单一计算机的高度集中，便于信息的分析和综合，容易实现整个系统的最优控制。对于控制回路的增删、控制方案的变化，可由软件来改变，提供了应用的灵活性。大量的模拟仪表盘可用一个操作站 CRT 显示来替代，改善了人机接口。

但是，集中型计算机控制应用存在三个主要问题：第一个问题是集中的脆弱性问题，单台计算机控制着几十个甚至几百个回路，把危险也集中了，一旦计算机发生故障，将导致生产过程的全面瘫痪。第二个问题是性能问题，由于生产装置的控制点和运算是很大的，用单台计算机其速度和容量不够，负荷过载；用多台计算机则要解决交换数据和控制信息的困难。第三个问题是开发周期和人力问题，随着计算机应用面的越来越广，人们越来越感到对计算机开发人员需求上的短缺。而且由于控制水平的不断提高，新的要求不断提出，使得软件越来越复杂，越来越庞大，造成开发周期的不断增加。这些问题的存在，使得当时的应用满足不了工业生产的迅速发展。

为了适应工业过程的需要，要使计算机自动化系统更可靠。一方面设计高可靠性的过程控制计算机，选用当时可靠性高的小规模集成电路和大规模集成电路，保证系统可使用率达到 99.95% (每年四小时故障时间)。计算机系统结构的模块化显著地缩短了修复和维护时间。另一方面，引入有效的双重计算机概念(双重系统具有冷热备份工作和双工工作两种方式)极大地提高了整个系统的可使用性。因此，集中型计算机控制系统设计得到了广泛的采用，特别是对于小型工厂或生产装置在今天还可应用。

(3) 分层计算机控制系统

集中型计算机控制系统暴露了集中控制的重大缺陷，促使控制系统向分散化发展。当时出现的过程现场控制与集中显示操作分离开来的分层计算机控制系统有两种模式：

计算机、调节器混合控制系统

在原始型分散控制中,各控制回路的每个模拟仪表(单回路)调节器是相互独立的。当某一回路出现故障时,不致影响其它回路的正常工作,系统可靠性高,但难以实现整个系统的最优控制。如果将计算机与模拟仪表结合起来,如图 1.3 所示的简单结构图,即现场的控制功能由传统的模拟仪表来实现,模拟仪表的信号也送入计算机,计算机显示过程参数,并根据对象的数学模型进行最优化设计,计算最优操作条件,最后以最优工艺参数给模拟仪表设定值。这是初期的计算机分散系统。

随着可编程调节器的发展,可编程调节器替代模拟仪表进而构成 SCADA(监督控制和数据采集)加可编程调节器的混合控制系统。对于老工厂技术改造,充分利用原有的仪表是可取的技术方案。

监督计算机控制系统 SCC (Supervisory Computer Control)

在二级系统中如果模拟仪表用另一台计算机来代替,实现 DDC,这就是监督计算机控制系统,系统结构如图 1.4 所示。

图 1.3 计算机、调节器混合控制系统

图 1.4 监督计算机控制系统

SCC 由二级计算机组成,第一级计算机与生产过程连接,并承担测量和控制任务,即完成 DDC 控制。因此,要求可靠性高,抗干扰性强,能独立工作(即自主性)。一般选用工业过程计算机作为 DDC 计算机。第二级计算机是按照生产过程工况,操作条件的变更信息和数学模型进行必要的转换,给第一级计算机提供最佳给定值和最优控制量等各种控制信息。

在第一级计算机和第二级计算机之间的数据通信,一般采用串行数据链路规程,传送速率都比较低。

我国一些小型过程计算机控制系统的第二级常以 IBM PC 为 SCC 计算机,第一级采用 STD 总线工业控制计算机来实现 DDC,两级之间采用串行通信,很适合我国的小型装置的应用。

1.1.2 集散型控制系统的概念

如上所述,管理的集中性和控制的分散性这一实际需要推动了集散型计算机控制系

统的发展。集散型计算机控制系统的结构是一个分布式系统，从整体逻辑结构上讲，是一个分支树结构，这与工业生产过程的行政管理结构相一致。按系统结构进行垂直分解，它分为过程控制级、控制管理级和生产管理级，各级既相互独立又相互联系，每一级又可按水平分解成若干子集。从功能分散看，纵向分散意味着不同级的设备有不同的功能，如实时控制、实时监视和生产过程管理等。横向分散则意味着在同级上的设备有类似的功能。按照这种思想来设计集散型控制系统的硬件和软件，就是要贯彻既集中又分散的原则。

集散型计算机控制系统又名分布式计算机控制系统，简称集散型控制系统(DCS)，目前它尚无确切的定义，其实质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新型控制技术。它是由计算机技术、信号处理技术、测量控制技术、通信网络技术和人机接口技术相互发展、渗透而产生的，既不同于分散的仪表控制系统，又不同于集中式计算机控制系统，它是吸收了两者的优点，在它们的基础上发展起来的一门系统工程技术，具有很强的生命力和显著的优越性。集散型控制系统概括起来由集中管理部分、分散控制监测部分和通信部分组成。集中管理部分又可分为工程师站、操作站和管理计算机。工程师站主要用于组态和维护，操作站则用于监视和操作，管理计算机用于全系统的信息管理和优化控制。分散控制监测部分按功能可分为控制站、监测站或现场控制站，它用于控制和监测。通信部分连接集散型控制系统的各个分布部分，完成数据、指令及其它信息的传递。集散型控制系统软件是由实时多任务操作系统、数据库管理系统、数据通信软件、组态软件和各种应用软件所组成。使用组态软件这一工具，就可生成用户所要求的实用系统。

集散型计算机控制系统具有通用性强、系统组态灵活、控制功能完善、数据处理方便、显示操作集中、人机界面友好、安装简单规范化、调试方便、运行安全可靠的特点。它能够适应工业生产过程的各种需要，提高生产自动化水平和管理水平，提高产品质量，降低能源消耗和原材料消耗，提高劳动生产率，保证生产安全，促进工业技术发展，创造最佳经济效益和社会效益。

1.2 集散型控制系统的设计思想及特点

集散型控制系统是采用标准化、模块化和系列化设计，由过程控制级、控制管理级和生产管理级所组成的一个以通信网络为纽带的集中显示操作管理，控制相对分散，具有灵活配置、组态方便的多级计算机网络系统结构。

1. 自主性

系统上各工作站是通过网络接口链接起来的，各工作站独立自主地完成合理分配给自己的规定任务，如数据采集、处理、计算、监视、操作和控制，等等。

系统各工作站都采用最新技术的微计算机，存储容量容易扩充，配套软件功能齐全，是一个能够独立运行的高可靠性子系统，而且可以随着微处理器的发展而更新换代。

系统操作方便、显示直观，提供了装置运行下的可监视性。

控制功能齐全，控制算法丰富，连续控制、顺序控制和批量控制集中于一体，还可实

现串级、前馈、解耦和自适应等先进控制，提高了系统的可控性。

控制功能分散，负荷分散，从而危险分散，提高了系统的可靠性。

2. 协调性

各工作站间通过通信网络传送各种信息协调地工作，以完成控制系统的总体功能和优化处理。

采用实时性的、安全可靠的工业控制局部网络，使整个系统信息共享，提高了畅通性。

采用 MAP/ TOP 标准通信网络协议，将集散型控制系统与信息管理系统连接起来，扩展成为综合工厂自动化系统。

3. 友好性

集散型控制系统软件是面向工业控制技术人员、工艺技术人员和生产操作人员设计的，其使用界面就要与之相适应。

实用而简捷的人机会话系统，CRT 彩色高分辨率交互图形显示，复合窗口技术，画面日趋丰富：综观，控制，调整，趋势，流程图，回路一览，报警一览，批量控制，计量报表，操作指导等画面，菜单功能更具实时性。平面密封式薄膜操作键盘、触摸式屏幕、鼠标器、跟踪球操作器等更便于操作。语音输入/输出使操作员与系统对话更方便。

提供的组态软件包括系统组态、过程控制组态、画面组态、报表组态是集散型控制系统的关键部分，用户的方案及显示方式由它来解释生成 DCS 内部可理解的目标数据，它是 DCS 的“原料”加工处理软件。使用组态软件可以生成相应的实用系统，易于用户制定新的控制系统，便于灵活扩充。

4. 适应性、灵活性和可扩充性

硬件和软件采用开放式、标准化和模块化设计，系统积木式结构，具有灵活的配置，可适应不同的用户的需要。可根据生产要求，改变系统的大小配置，在工厂改变生产工艺、生产流程时，只需要改变某些配置和控制方案。以上的变化都不需要修改或重新开发软件，只是使用组态软件，填写一些表格即可实现。

5. 在线性

通过人机接口和 I/O 接口，对过程对象的数据进行实时采集、分析、记录、监视、操作控制，并包括对系统结构和组态回路的在线修改、局部故障的在线维护等，提高了系统的可用性。

6. 可靠性

高可靠性、高效率和高可用性是集散型控制系统的生命力所在，制造厂商在确定系统结构的同时进行可靠性设计，采用可靠性保证技术。

- 系统结构采用容错设计，使得在任一单元失效的情况下，仍然保持系统的完整性。即使全局性通信或管理站失效，局部站仍能维持工作。

- 系统的所有硬件包括操作站、控制站、通信链路都采用双重化。

- 为提高软件的可靠性，采用程序分段与模块化设计、积木式结构，采用程序卷回或指令复执的容错设计。

- 结构、组装工艺精心的可靠性设计，严格挑选元器件，降额使用，加强质量控制，

尽可能地减少故障出现的概率。新一代的 DCS 采用专用集成电路(ASIC)和表面安装技术(SMT)。

· “电磁兼容性”设计, 所谓“电磁兼容性”是指系统的抗干扰能力与系统内外的干扰相适应, 并留有充分的余地, 以保证系统的可靠性。因此, 系统内外要采取各种抗干扰措施: 系统放置环境应远离磁场、超声波等辐射源的地方; 做好接地系统, 过程控制信号、测量和信号电缆一定要做好接地和屏蔽; 采用不间断供电设备, 带屏蔽的专用电缆供电; 控制站、监测站的输入输出信号都要经过隔离的, 接到安全栅再与装置的现场对象连接起来, 以保证系统的安全运行。

· 在线快速排除故障的设计, 采用硬件自诊断和故障部件的自动隔离、自动恢复与热机插拔的技术; 系统内发生异常, 通过硬件自诊断机能和测试机能检出后, 汇总到操作站, 然后通过 CRT 显示, 或者声响报警或打印机打出, 将故障信息通知操作员; 监测站、控制站各插件上都有状态信号灯, 指示故障插件。由于具有事故报警, 双重化措施, 在线故障处理、硬手操器备份等手段, 提高了系统的可靠性和安全性。

1.3 集散型控制系统的发展概况

70 年代中期, 微处理器高速发展, 微机价格下降。结合通信网络技术, 出现了若干微计算机通过网络连接起来, 构成一个大型计算机系统, 使得整个系统的任务可以分散进行, 实现了计算机系统的分散化, 从而大大降低了系统出现故障的风险。分散化思想的日益成熟, 计算机网络技术的发展, 推动了分布式处理系统的发展。

采用分布式系统结构有以下一些优点:

1. 数据可以“就地处理”, 不必送至远离它的计算机去处理, 减少了通信的开销, 缩短了处理时间, 还增加了数据的可靠性和安全性。
2. 由多台计算机系统组成, 系统易于采用冗余技术和各种容错技术, 使它具有较强的坚定性。
3. 可以较方便地用增加计算机的办法来扩大系统的能力, 因此有较大灵活性。
4. 可采用资源共享、并行处理或分别处理。

分布式系统当前的应用有: 管理信息系统(MIS)、办公自动化、国防、气象、地质、地震勘探等地理分散的应用领域的数据采集和信号处理。

分布式系统亦大量应用于工业控制领域, 从而促进了集散控制系统的发展。

1.3.1 集散型控制系统的开创期(70 年代中期)

1975 年 Honeywell 公司推出的 TDC2000 集散型控制系统是一个具有许多微处理器的分级控制系统, 以分散的控制设备来适应分散的过程对象, 并将它们通过数据高速公路与基于 CRT 的操作站相连接, 互相协调, 一起实施实时工业过程的控制和监视, 达到掌握全局的目的。实现了控制系统的功能分散、负荷分散, 从而危险也分散, 克服了集中型计算机控制系统的一个致命弱点。

在此期间, 世界各国也相继推出了自己的第一代集散型控制系统。比较著名的有美国

Foxboro 公司的 Spectrum 系统, 贝利公司的网络 90, 英国肯特公司的 P4000, 德国西门子的 Teleperm M, 日本东芝公司的 TOSDIC, 日立公司的 UUITROLB 以及横河公司的 CENTUM。其基本结构如图 1.5 所示。它主要由五大部分组成:

1. 现场控制站(过程控制单元)

它是由一个微处理器、存储器、I/O 输入输出板、A/D、D/A 转换器、内总线、电源和通信接口等组成, 它可以控制多个回路, 具有较强的运算能力和各种控制算法功能, 可自主地完成回路控制任务, 实现了分散控制。

2. 现场监测站(数据采集装置)

图 1.5 第一代集散型控制系统基本结构

它也是微计算机结构, 主要是采集非控制变量以进行数据处理, 并将某个采集的过程信息经高速数据公路送到监控计算机。

3. CRT 操作站

它是由微处理器、CRT、键盘、打印机等组成的人机系统, 实现集中显示、集中操作和集中管理。对全系统信息进行信息管理, 与现场控制相分离。

4. 数据公路

它是实现分散控制和集中管理的关键, 它是 CRT 操作站、现场控制站、现场监测站和监控计算机的纽带。它由通信电缆和通信软件所组成, 一般采用本厂家的通信协议(即专用协议)。

5. 监控计算机

它是集散型控制系统的主计算机, 一般采用小型计算机, 具有大规模的复杂的运算能力, 具有多输入多输出控制功能。它综合监视全系统的各个工作站, 管理全系统的所有信息, 可以建立复杂的数学模型, 可以高速地进行模型预测预报, 为实现复杂的控制策略提供了基础。此外还可实现全系统的最优控制和全工厂的优化管理。

这一时期的产品, 在技术上尚有明显的局限性。

1.3.2 集散型控制系统的不断成长与完善时期(80 年代中后期)

80 年代, 随着微处理器运算能力的增强, 超大规模集成电路集成度的提高和成本的不断降低, 给过程控制的发展带来新的面貌, 使得过去难以想象的功能付诸了实施, 推动着以微处理器为基础的过程控制设备和集散型控制系统、可编程控制器、可编程调节器和过程变送器等同步更新发展。

在这一时期, 集散型控制系统经历了两代产品。第一代 DCS 产品刚被第二代产品所代替, 紧接着又推出了第三代产品。今天, 几乎世界上著名的 DCS 厂家都有了自己的第三代产品。

1. DCS 发展的第二阶段(80 年代初中期)

第二代产品是在原来产品的基础上, 进一步提高可靠性, 扩展功能, 新开发多功能过程控制站、增强型操作站、光纤通信等更完善了 DCS。有的则重新设计, 更新换代。其基