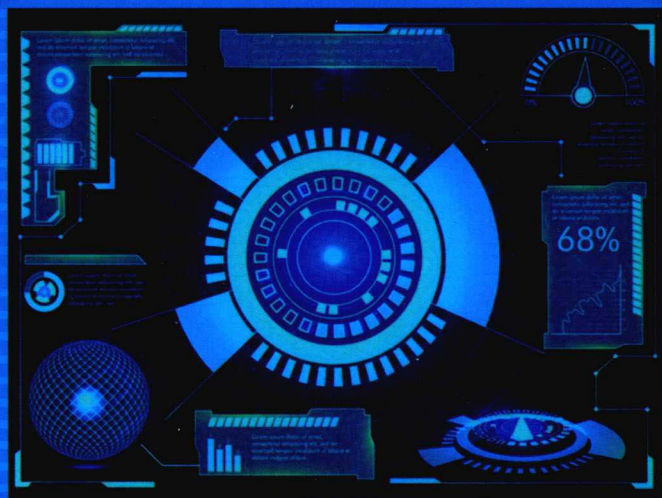


“十三五”普通高等教育规划教材

分散控制系统 与现场总线技术

梁庚 李文 李大中 白焰 编著



提供电子课件

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等教育规划教材

分散控制系统与现场总线技术

梁 庚 李 文 李大中 白 焰 编著



机械工业出版社

分散控制系统是一种全面融合了计算机技术、测量控制技术、网络数字通信技术、显示与人机界面技术而成的工业控制系统,具有控制分散、管理集中的特点,在工业控制技术中占据主导地位。作为工业控制的先进技术,现场总线与分散控制系统充分结合,对工业控制的发展具有深远的影响。

本书将分散控制系统与现场总线技术有机结合,从分散控制系统的系统结构、网络通信、控制设备、人机接口、控制组态、应用案例以及现场总线基础知识和典型的现场总线控制系统等多个方面进行了介绍。本书分为两个部分,第一部分为分散控制系统,包括分散控制系统概论、网络通信、现场级、控制级、监控级、控制算法、工程设计规范及评价与选择、工业生产应用案例;第二部分为现场总线控制系统,包括现场总线的基本概念、特点以及通信协议模型和系统构成、几种典型的现场总线技术。

本书可作为高等院校控制、信息类专业教材,也可作为工业控制技术人员参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

分散控制系统与现场总线技术/梁庚等编著. —北京:机械工业出版社,2018.9

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-61818-8

I. ①分… II. ①梁… III. ①分散控制系统-高等学校-教材 ②总线-自动控制系统-高等学校-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 025787 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:时 静 责任校对:张艳霞

责任印制:郜 敏

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2019 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·342 千字

0001-2500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-61818-8

定价:45.00 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)88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010)88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

分散控制系统 (Distributed Control System, DCS) 是以微处理器为基础, 全面融合计算机技术、测量控制技术、网络数字通信技术、显示与人机界面技术而成的现代控制系统。其主要特性在于分散控制和集中管理, 即对生产过程进行集中监视、操作和管理, 而控制任务则由不同的计算机控制装置去完成。因此也有人将 DCS 称为集散控制系统。分散控制系统是生产过程监视、控制技术发展和计算机与网络技术应用的产物, 但它更是在过程工业发展对新型控制系统的强烈需求下产生的。随着工业发展和技术的进步, DCS 系统自 20 世纪 70 年代由美国霍尼韦尔 (Honeywell) 公司推出 TDC-2000 系统开始至今, 40 余年间已经经历了四代产品。第一代 DCS 具有集中型计算机控制系统的优点, 采用了通信技术、CRT 显示技术与计算机技术和控制技术的融合, 实现了分散控制、集中管理的技术特色; 第二代 DCS 的特点是系统功能的扩大、增强以及数据通信系统的发展; 第三代 DCS 将局域网技术充分融入工业控制中; 第四代 DCS 则以信息技术 (IT) 为核心, 具有信息化、集成化、混合控制、分散性和开放性的特点。

经历了四代的技术发展, DCS 从幼稚走到成熟, 确立了工业控制的技术主导地位, 已经在工业生产过程控制中迅速普及, 广泛用于电力、石化、冶金、建材、制药等各行业, 成为过程控制系统的核心。分散控制系统的应用大幅度地提高了生产过程的安全性、经济性、稳定性和可靠性。

随着控制技术、计算机技术和通信技术的飞速发展, 数字化作为一种趋势正在从工业生产过程的决策层、管理层、监控层和控制层一直渗透到现场设备。现场总线的出现, 使数字通信技术迅速占领工业过程控制系统中模拟量信号的最后一块领地, 与 DCS 充分结合起来。现场总线具有现场级数字化、多节点串行通信以及全分散化控制的特点, 使 DCS 的功能更加强大, 显著简化了 DCS 现场级的系统结构, 并可实现设备的远程诊断和智能化管理。现场总线控制系统这一全数字化的、全开放式的、可互操作的新型控制系统, 代表了工业自动化领域中一个新纪元的开始, 并将对该领域的发展产生深远的影响。

本书分为两个部分, 第一部分为分散控制系统。第 1 章为分散控制系统概论; 第 2 章介绍了分散控制系统的网络通信; 第 3 章详细介绍了分散控制系统的现场级; 第 4 章阐述了分散控制系统的控制级; 第 5 章介绍了分散控制系统的监控级; 第 6 章介绍了分散控制系统中的控制算法; 第 7 章给出了分散控制系统的工程设计规范及评价与选择的依据; 第 8 章介绍了分散控制系统在工业生产中的应用。

第二部分为现场总线控制系统。其中第 9 章介绍了现场总线的基本概念、特点以及通信协议模型和系统构成; 第 10 章介绍了几种典型的现场总线技术。

本书在编写过程中, 充分注意到了理论与实际相结合, 内容依托实际系统, 充分贴近读者, 既包含了必要的基本概念和基本理论, 又与工程实际相结合, 介绍了相关理论在实践中的应用。

梁庚编著了本书第1、3、8、10章，同时参与编著了第2、7、9章的部分内容；北京国电智深控制技术有限公司研发部李文高级工程师编著了第4~6章；华北电力大学（保定）李大中教授和华北电力大学白焰教授参与编著了第2、7、9章的部分内容。全书由梁庚统稿。本书在编写过程中参考了大量的相关书籍和文献资料，本书作者向这些文献资料的作者致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中必然存在错误和不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 分散控制系统概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 基地式仪表	1
1.1.2 单元组合仪表	3
1.1.3 组装式仪表	5
1.1.4 直接数字控制系统 (DDC 系统)	6
1.1.5 分散控制系统的产生和发展	7
1.1.6 仪控系统的发展过程总结	9
1.1.7 DCS 目前存在的问题和未来的发展	11
1.2 分散控制系统的体系结构	11
1.2.1 现场级	14
1.2.2 控制级	15
1.2.3 监控级	15
1.2.4 管理级	16
1.3 分散控制系统的特点	17
1.4 分散控制系统与工业 4.0	20
1.4.1 工业 4.0 简述	20
1.4.2 基于工业 4.0 的分散控制系统	21
1.5 习题	22
第 2 章 分散控制系统的网络通信	23
2.1 网络通信基础	23
2.1.1 网络通信原理	23
2.1.2 数据交换方式	27
2.1.3 通信介质	31
2.1.4 通信协议	34
2.2 分散控制系统中的网络通信	43
2.2.1 分散控制系统中的网络通信特点	43
2.2.2 分散控制系统中的网络通信系统结构	45
2.2.3 分散控制系统中的工业以太网	47
2.2.4 分散控制系统工业以太网的交换技术	49
2.2.5 分散控制系统中的现场总线通信技术	50

2.3 习题	52
第3章 分散控制系统的现场级	53
3.1 基于传统仪控系统的现场级	53
3.2 基于现场总线技术的现场级	54
3.3 习题	55
第4章 分散控制系统的控制级	56
4.1 过程控制站	56
4.1.1 过程控制站的基本结构	56
4.1.2 过程控制站的硬件系统	63
4.1.3 过程控制站的软件系统	78
4.2 数据采集站	86
4.3 习题	87
第5章 分散控制系统的监控级	88
5.1 运行员站	90
5.1.1 运行员站的结构	90
5.1.2 运行员站的功能	104
5.2 工程师站	107
5.2.1 工程师站的作用与构成	107
5.2.2 基于工程师站的组态设计	109
5.3 历史数据站	114
5.3.1 历史数据站的功能	114
5.3.2 历史数据的类型和特点	114
5.4 计算站	115
5.5 习题	116
第6章 分散控制系统中的控制算法	118
6.1 常用的模拟量控制算法	118
6.1.1 PID 控制	118
6.1.2 前馈控制	122
6.1.3 大延迟系统的控制	123
6.2 先进控制算法	125
6.2.1 预测控制	125
6.2.2 自适应控制	126
6.3 习题	133
第7章 分散控制系统的工程设计规范及评价与选择	134
7.1 分散控制系统的工程设计规范	134
7.1.1 DCS 工程设计总体要求	134
7.1.2 设计原则与职责分工	136
7.1.3 控制站(过程控制站)	137
7.1.4 操作员站	138

7.1.5	工程师工作站	140
7.1.6	通信系统	141
7.1.7	软件配备、应用软件、软件组态文件与软件组态	142
7.1.8	DCS 工程设计程序	143
7.1.9	DCS 控制室设计	144
7.1.10	DCS 供电、接地、防雷系统设计	144
7.1.11	DCS 验收测试、安装、联调与投运	145
7.2	分散控制系统的评价与选择	146
7.2.1	分散控制系统的评价	146
7.2.2	分散控制系统的选择	151
7.3	习题	154
第 8 章	分散控制系统在工业生产中的应用	155
8.1	EDPF-NT Plus 系统及其应用	155
8.1.1	EDPF-NT Plus 系统简介	155
8.1.2	EDPF-NT Plus 在电站超超临界机组控制中的应用	159
8.2	Symphony 系统及其应用	161
8.2.1	Symphony 系统简介	161
8.2.2	Symphony 系统在电站超临界机组控制中的应用	163
8.3	Ovation 系统及其应用	165
8.3.1	Ovation 系统简介	165
8.3.2	Ovation 系统在钢铁厂高炉控制系统中的应用	166
8.4	TELEPERM XP 系统及其应用	168
8.4.1	TELEPERM XP 系统简介	168
8.4.2	TELEPERM XP 在核电站控制中的应用	170
8.5	习题	172
第 9 章	现场总线控制系统	173
9.1	现场总线概述	173
9.1.1	现场总线的概念与含义	173
9.1.2	现场总线的特点	174
9.1.3	现场总线的核心与基础	175
9.1.4	现场总线的网络拓扑结构	175
9.2	现场总线数据通信协议模型	177
9.2.1	通信协议分层	177
9.2.2	物理层	178
9.2.3	数据链路层	179
9.2.4	应用层	179
9.2.5	用户层	179
9.3	现场总线控制系统的构成	179
9.3.1	具有两层结构的 FCS	179

9.3.2 具有3层结构的FCS	180
9.3.3 由DCS扩展而成的FCS	180
9.4 习题	181
第10章 几种典型的现场总线技术	182
10.1 FF 现场总线	182
10.1.1 FF 概述	182
10.1.2 FF 的通信系统	183
10.1.3 FF 的网络管理	184
10.1.4 FF 的系统管理	185
10.2 WorldFIP 现场总线	187
10.2.1 WorldFIP 概述	187
10.2.2 WorldFIP 的通信系统	188
10.2.3 WorldFIP 的网络管理	191
10.2.4 WorldFIP 的安全性	194
10.3 CAN 现场总线	195
10.3.1 CAN 总线概述	195
10.3.2 CAN 总线的通信系统	196
10.3.3 CAN 总线性能特点	197
10.4 PROFIBUS 现场总线	199
10.4.1 PROFIBUS 概述	199
10.4.2 PROFIBUS 的主要技术构成和特性	200
10.4.3 PROFIBUS-DP	202
10.4.4 PROFIBUS-PA	204
10.4.5 PROFIBUS-FMS	206
10.4.6 Profinet	207
10.5 DeviceNet 现场总线	210
10.5.1 DeviceNet 概述	210
10.5.2 DeviceNet 的通信技术	211
10.6 习题	214
参考文献	215

第 1 章 分散控制系统概论

控制技术是伴随着工业的发展而逐步发展起来的。工业生产的发展是控制技术发展的推动力和基础。工业的发展主要体现在两个方面,即规模和复杂度。从早期的工业 1.0 (即英国的“第一次工业革命”)到今天的工业 4.0,工业技术的发展是一个漫长的历史,其总的发展方向是工业现代化。工业现代化就是用电子计算机等新技术来装备工业的各个部门,用现代化的管理工具和管理方法来管理工业,使工业生产实现高度的自动化,使工业劳动生产率达到世界先进水平。当地的工业发展面临转型和升级,就是转变工业发展方式,加快向创新、绿色低碳、智能制造、服务化和内需主导等方面的转型,实现从传统工业化道路向新型工业化道路的转变,升级就是全面优化产业、技术、产品、组织以及布局等方面的结构,促进工业结构的整体优化和提升。在这一过程中,以计算机为基础而构成的控制、管理及决策系统无疑会起到非常重要的作用。分散控制系统 (Distributed Control System, DCS) 就是在这一背景下产生和发展起来的,并在当前正在进行的工业发展转型阶段中起着越来越重要的作用。

1.1 概述

分散控制系统属于仪表控制系统 (简称仪控系统) 的范畴。仪控系统的发展经历了早期的基地式仪表和单元组合仪表、中期的组装式仪表和直接数字控制系统 (Direct Digital Control, DDC) 以及现今广泛采用的 DCS 等几个发展历程。

1.1.1 基地式仪表

基地式仪表又称为直接作用式仪表,是将测量、显示和控制等各部分集中组装在一个表壳里,从而形成一个整体,并且可就地安装的一类仪表。基地式仪表可以构成单回路的简单控制系统。由于基地式仪表直接安装于被控的生产设备附近,故此得名。基地式仪表如图 1-1 所示。

基地式仪表具有如下特点。

(1) 综合与集中:基地式仪表把必要的功能部件全集中在一个仪表之内,只需配上调节阀便可构成一个调节系统。

(2) 基地式仪表系统结构简单、不需要变送器、使用维护方便、防爆。由于安装在现场,因而测量和输出的管线很短,减少了气动仪表传送滞后的缺点,有助于调节性能的改善。

(3) 基地式仪表的缺点是功能较简单、不便于组成复杂的调节系统、外壳尺寸大、精度稍低。由于不能实现多种参数的集中显示与控制,在一定程度上限制了基地式仪表的应用范围。



图 1-1 基地式仪表

基地式仪表特别适用于中小型企业里数量不多或分散的就地调节系统。在大型生产过程的某些辅助装置、次要的工艺系统以及某些子系统的局部控制中，为了避免集控装置的负担过重，增加系统的可靠性和安全性，也会用到基地式仪表。

基地式仪表包括传统的气动基地式仪表和后来发展起来的电动基地式仪表。气动基地式仪表如目前仍在广泛使用的 B 系列和 KF 系列气动基地式仪表。仪表发展早期还没有出现能与气动基地式仪表匹敌、并且能在恶劣环境下安装使用的电动基地式仪表。后来，电动基地式仪表出现了，并在工业生产中投入了使用。电动基地式仪表是随着智能变送器和现场总线技术发展而产生的。电动基地式仪表目前所指的就是带有 PID 功能的智能变送器，产品如 MOOR 公司的 XCT340 D-B 和 SMAR 公司的 LD301 等。

电动与气动基地式仪表相比，具有如下不同：

1. 精度

电动基地式仪表将生产过程中的物理量直接编码成数字量或将非电量转换出来的模拟量通过 A-D 转换器转换成数字量，然后经高性能微处理器和通信芯片，把控制室主系统所需信息传送过去。数字信号传输精度一般比模拟信号传输精度高 10 倍。气动基地式仪表采用气压信号传输，它属于模拟信号，但气动基地式仪表不受电磁干扰影响，故在强电磁场的环境下，气动基地式仪表的准确度不会受到影响。

2. 可靠性

气动基地式仪表以压缩空气为动力源，具有本质安全防爆特点。在结构上（例如 KF 系列气动基地式仪表）采用了紧固的密封式压铸箱体。测量单元采用了大力矩、平衡锤、温度补偿及可调阻尼等一系列有效措施。因此，气动基地式仪表在多尘、震动、湿热、高温、低温和腐蚀等恶劣环境条件下也能安全、稳定、可靠地运行，这是一般电动仪表难以做到的，电动基地式仪表能否做到还有待于生产实践的验证。但气动基地式仪表对气源质量要求高。往往由于气源净化不好而不能投入自动运行。

3. 价格

一般来说，气动基地式仪表（例如 KF 系列）要比电动基地式仪表的价格贵。早些时候，电动基地式仪表未实现国产化，尚需进口，而气动基地式仪表较早地实现了国产化。

4. 维护

气动基地式仪表主要是机械结构，一般仪表维修人员都能很容易找到故障部位和原因，并及时解决问题。而电动基地式仪表采用微处理器芯片，一般要求仪表维修人员有一定的计算机知识和较强的电动仪表维修技能。

5. 其他

电动基地式仪表的发展趋势是全部采用现场总线技术，将一些本属于控制室中控制器的功能下放到现场型仪表中，从而拓宽了其使用范围。不但简化了系统、节约了投资，而且利用了现场总线的双向通信功能，可由现场向控制室发出测量参数、维修预报以及故障诊断等信号。同时，也可在控制室对电动基地式仪表进行在线组态、设定、维护及调整。这些优点都是气动基地式仪表所无法比拟的。

目前，电动基地式仪表以其强大的优势，代表着自动化仪表的发展方向，并且已经成为气动基地式仪表的有力对手。但是，由于电动基地式仪表的现场级通信协议目前还呈现多标准状态，而且电动基地式仪表在恶劣环境条件下工作的可靠性能否达到或强于气动基地式仪

表还不能肯定，因此，气动基地式仪表还会与电动基地式仪表在较长时期共存下去。

1.1.2 单元组合仪表

单元组合仪表是指以统一的标准信号将参数的测量、变送、显示及控制等各种能够独立工作的单元仪表（简称单元，例如变送单元、显示单元、控制单元等）相互联系而组合起来的一种仪表，它按照自动调节系统中各组成部分的功能和现场使用要求，分成若干个独立的单元。各单元之间用标准信号联系，在使用时再按一定的要求将各单元组合在一起。根据不同功能和使用要求加以组合，单元仪表可构成各种单参数或多参数的自动控制系统。单元组合仪表与上文所述基地式仪表的显著差别在于基地式仪表的模块是集中安装和布置在表壳内，仪表系统本身不呈现模块化的结构，而单元组合仪表则呈现模块化结构，各个组成模块之间使用一定的信号进行通信。模块化带来的好处是系统的构造更为灵活、设备的维护更加便利、设备的可靠性更高。例如，在生产现场对于不同的被调参数只需要更换变送单元的测量仪表就可构成简单的调节系统，而无需改变调节单元。同时，如果单元组合仪表中某个组成模块出现故障，只需替换故障模块而无需更换整个系统。显然，单元组合仪表具有较大的灵活性和适用性。另外，单元组合仪表还具备了信号通信的特征，这是基地式仪表所不具有的。

单元组合式仪表是在我国 20 世纪 50 年代以后发展起来的，它们与复杂控制系统的推广应用相适应。用单元组合式仪表可以方便地组成简单与复杂的控制系统。这类仪表的广泛应用与系统结构的发展和需要是分不开的。单元组合仪表按其发展可分为 I、II 及 III 型。

单元组合仪表的用途非常广泛。它们的结构原理不同，单元类型也不相同，并随着元件、工艺的发展不断地改进仪表系列。几种常用的功能又可合并在一个单元内，形成有分有合的多品种仪表系列。单元组合仪表主要包括变送单元、转换单元、调节单元以及显示单元等，其模块化构成和相互关系如图 1-2 所示。

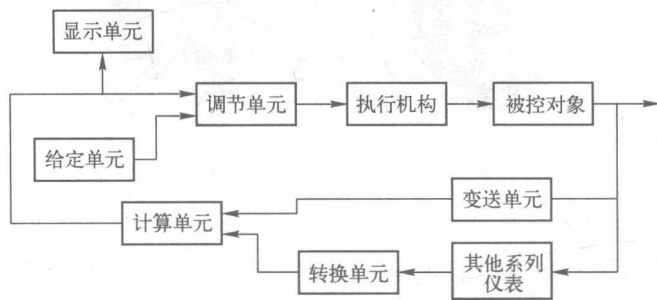


图 1-2 单元组合仪表模块化构成和相互关系

① 变送单元：又称变送器。它将各种生产过程中被测量参数（如温度、压力、流量、物位等）转换成标准气动（20~100 kPa）或电动信号，传送给其他单元。

② 转换单元：将电动调节仪表的标准信号（0~10 mA 或 4~20 mA）转换为气动仪表的标准信号，以组成电动、气动仪表混合使用的调节系统。

③ 调节单元：根据被调量与给定值的偏差，按一定调节规律运算（如比例、积分、微分或它们的组合等），输出一个调节信号给执行器，实现系统的自动调节。常用的调节器有比例调节器、微分调节器、积分调节器、比例积分调节器和 PID 调节器。

④ 显示单元：用于指示、记录或累积计算被测参数、给定值、调节器输出或阀门位置信号等。带有调节单元的显示单元具有控制中心的作用。有的显示单元具有报警功能。

⑤ 计算单元：对几个标准的信号进行加、减、乘、除及开方等数学运算，常用于被测参数综合计算和按计算值调节的系统中。

⑥ 给定单元：输出一个固定的或按时间程序变化的给定值给调节单元，实现系统的定值调节和程序调节。

按照组成单元之间传送信号的不同，单元组合仪表又分为气动式单元组合仪表和电动式单元组合仪表，其组成模块基本相同。

(1) 气动式单元组合仪表

气动式单元组合仪表是由若干种具有独立功能的标准单元组成的一套气动调节仪表，汉语拼音缩写为 QDZ。它用压缩空气作为能源，各单元间使用统一标准的（20~100 kPa）气压信号。气动单元组合仪表广泛应用于各种工业自动化过程，特别适用于易燃、易爆的场合，还常通过转换单元与电动单元组合仪表联用。

气动单元组合仪表的优点是：①利用力平衡原理，精度高，工作可靠；②按组合原理设计，在构成系统时有较大灵活性和通用性；③采用压缩空气作能源，能直接驱动气动执行器，工作平稳，具有防爆、防火、防核辐射等性能；④气路简单，价格低廉。气动单元组合仪表的缺点是：气源需要除油、除水、除尘的净化装置；信号传送速度慢；最大传送距离只有 300 m；与计算机连用不方便。

图 1-3 所示为气动式单元组合仪表。

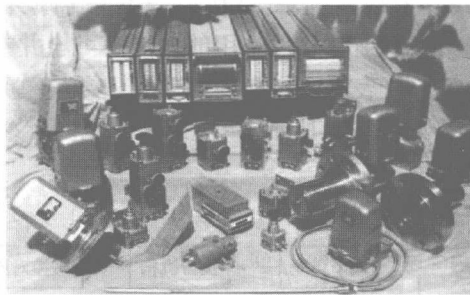


图 1-3 气动式单元组合仪表

(2) 电动式单元组合仪表

电动式单元组合仪表是指由若干种具有独立功能的标准单元组成的一套电动调节仪表，汉语拼音缩写为 DDZ。标准单元是按仪表在自动检测系统和自动调节系统中的作用划分的，各单元间使用统一标准的直流电流（或电压）信号。根据生产工艺要求，这些单元可组成不同复杂程度的自动检测系统和自动调节系统。用集成电路作基本元件的电动单元组合仪表采用直流低电压 24 V 集中供电，并与备用蓄电池构成无停电装置，能保证仪表的可靠性和安全性。现场仪表用直流 4~20 mA，控制室仪表用直流 1~5 V 作为统一信号。它是电流传输、电压并联接收的信息系统。电动单元组合仪表广泛应用于石油、化工、冶金、电力以及轻工等工业部门，用于单参数、串级和多参数等自动调节。在电子技术的不同发展阶段，电动单元组合仪表又有不同的型式。中国在 20 世纪 60 年代前后研制的电动单元组合仪表采用电子管和磁放大器为主要放大元件，称为 DDZ-I 型仪表。采用晶体管作为主要放大元件，

称为 DDZ-Ⅱ型仪表。20 世纪 70 年代逐渐采用集成电路，称为 DDZ-Ⅲ型仪表。整套仪表的功能大大扩大，性能显著提高。电动单元组合仪表主要采用晶体管和集成电路等电子技术。电动单元组合仪表结构虽比气动的复杂，但其运算精度高、动作反应迅速且传输距离远，故适用于大多数控制系统。随着微处理器技术的发展，单元内部可以采用微处理器，使单元的功能进一步提高。

图 1-4 所示为电动式单元组合仪表。



图 1-4 电动式单元组合仪表

1.1.3 组装式仪表

组装式仪表是一种大型柜式的调节仪表，是模拟式控制仪表的一种，可满足大型企业综合自动化的需要。它按照控制系统中的各种功能划分组件，各组件可在机架上插装，可以方便地组合成整套控制系统。

组装式仪表的基本构成元件为集成运算放大器，其功能组件有模拟量组件（线性集成电路）和数字量组件（TTL 数字集成电路）两类。模拟量组件有信号转换、计算、给定、调节、显示操作、电源和附件等组件。数字量组件有电平转换、采样、译码、寄存、逻辑选择、数字显示操作和附件等组件。组装式仪表的结构特点是将基于操作盘的显示、操作功能和基于控制柜的调节、运算与控制功能分开了。

组装式仪表的特点是：

- ① 组件数量可按需要插装，几个控制系统可合在一个机柜内，易于改换控制系统的构成。
- ② 调节功能齐全，与计算机联用方便，适用于多参数综合自动控制系统。
- ③ 具有自动切换、程序控制和逻辑控制等功能，能适应大型设备自动启停等要求。
- ④ 除自动控制外，还有自动保护功能，可对工艺事故、仪表事故、电源故障和误操作等做出判断并进行连锁保护。
- ⑤ 按用户要求设计组装，按系统成套提供。组装式仪表机柜上方是电源组件，中间是各功能组件，下面连接电缆。显示操作组件各有单独的外壳，可安装在用户的控制台上。

图 1-5 所示为组装式仪表的形态。

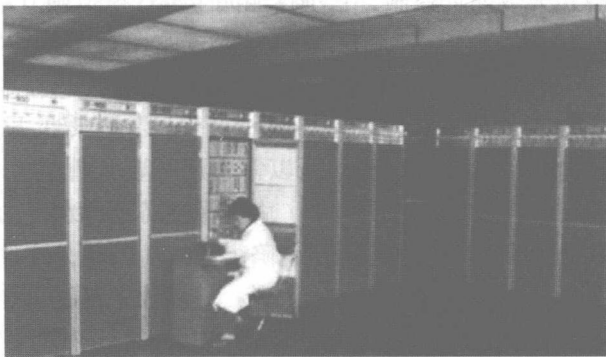


图 1-5 组装式仪表

从基地式仪表到组装式仪表系统的发展过程可以看出，仪表系统的模块化特征越来越显著，系统规模越来越大，模块的组织也越来越有序，但其模块间传输和处理的信号仍然是模拟量信号。

1.1.4 直接数字控制系统（DDC 系统）

直接数字控制（Direct Digital Control，DDC）是计算机用于工业生产过程控制的最典型的一种系统。（DDC 系统）是伴随计算机技术应用于工业控制而出现的。DDC 出现以前的仪表控制系统是模拟量的处理系统，控制器也是模拟形式的（由电阻、电容和电感等元件搭建的），控制程序修改时非常不便。到了 20 世纪 60 年代，计算机技术和电子技术得到较快发展，计算机技术与工业控制技术逐渐融合，计算机逐渐应用到控制技术中。使用计算机作为控制器，具有编程灵活、系统可扩展及可维护性强等诸多优点。现在，DDC 系统已广泛应用于材料热加工、化工、机械和冶金等部门。

DDC 系统是一种闭环控制系统，由一台计算机通过多点巡回检测装置对过程参数进行采样，并将采样值与存于存储器中的设定值进行比较，再根据两者的差值和相应的控制算法进行分析和计算，以形成所要求的控制信息，然后将其传送给执行机构，用分时处理方式完成对多个单回路的各种控制（如比例积分微分、前馈、非线性和自适应等控制）。直接数字控制系统具有在线实时控制、分时方式控制和灵活性、多功能性等特点。直接数字控制系统的结构图如图 1-6 所示。

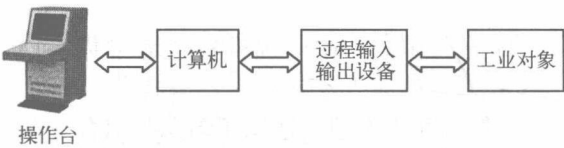


图 1-6 直接数字控制系统的结构

直接数字控制系统是按分时方式进行控制的，即按照固定的采样周期时间对所有的被控制回路逐个进行采样，并依次计算和形成控制输出，以实现一个计算机对多个被控回路的控制。计算机对每个回路的操作分为采样、计算和输出三个步骤。为了增加控制回路（采样时间不变）或缩短采样周期（控制回路数一定），以满足实时性要求，通常将这 3 个步骤在时间上交错地安排。

DDC 系统中的计算机完成闭环控制，它不仅能完全取代模拟调节器，实现多回路的 PID（比例-积分-微分）调节，而且不需改变硬件，只通过改变程序就能实现各种较复杂的控制，如前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制和模糊控制等。

DDC 系统存在的主要问题是可靠性较差。DDC 产生时，计算机开始用于生产过程的直接数字控制。由于当时的计算机造价很高，所以常常用一台计算机控制全厂所有的生产过程。这样，就造成了整个系统控制任务的集中。由于受当时硬件水平的限制，计算机的可靠性比较低，一旦计算机发生故障，全厂的生产就陷于瘫痪。因此，这种大规模集中式的直接数字控制系统基本上宣告失败。但人们从中认识到，直接数字控制系统确有许多模拟控制系统无法比拟的优点，只要解决了系统的可靠性问题，计算机用于闭环控制是大有希望的。这个可靠性低的问题在后来发展起来的分散控制系统中得到了解决。

1.1.5 分散控制系统的产生和发展

20 世纪 60 年代中期, 控制系统工程师分析了集中控制失败的原因。如何把因计算机的故障造成的危害减小、使危险分散以及解决可靠性方面的问题成为应用计算机控制系统首先要解决的问题。由此产生了分散控制系统的概念, 也就是像模拟控制系统那样, 把控制功能分散在不同的计算机中完成, 并且采用通信技术实现各部分之间的联系和协调。这样相当于将传统的基于模拟量控制的组合式(组装式)仪表和 DDC 有机结合起来, 发挥各自的优点而又补充了各自的不足。

分散控制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。在系统基本功能方面, 它与集中式控制系统的区别不大, 但在系统功能的实现方法上却完全不同。它的主要特点是整个控制系统不再是仅有一台控制计算机(控制器), 而是由多台控制计算机(控制器)和一些智能仪表、智能部件、输入输出(I/O)模块等构成多个控制子系统, 从而实现了分散控制; DCS 的控制对象范围和控制规模比集中式计算机控制系统的要广得多。

分散控制系统的发展大致可以分为 4 个阶段。

(1) 第一阶段: 20 世纪 70 年代中叶到 70 年代末。这一阶段是 DCS 的产生和发展时期。计算机技术(Computer)、控制技术(Control)、通信技术(Communication)和显示技术(Chart)的出现与发展奠定了 DCS 产生和发展的基础。美国霍尼韦尔公司经过多年的研制开发, 于 1975 年首先推出型号为 TDC2000 的分散控制系统, 标志着第一代 DCS 的诞生。当时的 DCS 还在初创阶段, 产品还是分散控制系统的雏形, 但系统已经包括了 DCS 的三大组成部分, 即分散过程控制装置、操作管理装置和数据通信系统。它也具有 DCS 的基本特点, 即管理集中和控制分散。

第一代 DCS 产品还包括: 美国的泰勒(TAYLOR)公司的 MOD3、美国的福克斯波罗(FOXBORO)公司的 SPECTRUM、日本横河的 CENTUM 及英国肯特(Kent)公司的 P4000 等。

(2) 第二阶段: 20 世纪 80 年代后。DCS 的发展进入了第二个发展阶段。这一阶段的时代特点是半导体技术、显示技术、控制技术、网络技术和软件技术等高新技术得到迅猛发展。DCS 也得到了飞速的发展。第二代分散控制系统的主要特点是系统的功能扩大或者增强。例如, 控制算法的扩充; 常规控制与逻辑控制、批量控制相结合; 过程操作管理范围的扩大: 显示屏分辨率的提高、色彩的增加; 多微处理器技术的应用等。另一个明显的变化是数据通信系统的发展, 从主从式的星形网络通信转变为对等式的总线网络通信或环网通信。在第二代分散控制系统中, 通信系统已采用局域网络, 因此, 系统的通信范围扩大。同时, 数据的传送速率也大大提高。但是, 各 DCS 生产厂家的通信系统和通信协议不同, 不同的 DCS 之间进行通信存在一定的困难。在这个时期, 各制造厂的分散控制系统产品有了较大的改进, 在各行各业中的应用越来越多, 基于企业的 DCS 的产品和系统的研发逐渐增多。这个时期典型的分散控制系统产品有霍尼韦尔的 TDC3000、TAYLOR 公司的 M300、Bailey 公司的 Network90、西屋公司的 WDPF、ABB 公司的 MASTER、西门子公司公司的 TELEPERM 以及美国利诺的 MAX1000 等。

(3) 第三阶段: 20 世纪 90 年代后, 分散控制系统的发展到了第三阶段。以美国 FOXBORO 公司推出的 I/A SERIES 系统为标志, 它的主要改变是在局域网络方面, I/A SERIES

系统采用了 10M 宽带网与 5M 的载带网，符合 ISO/OSI 互联参考模型。因此，符合 ISO/OSI 标准的各制造厂商产品可以相互连接、相互通信并进行数据交换，第三方的应用软件也能在系统中应用，从而使分散控制系统进入了更高的阶段。

第三代分散控制系统网络通信功能大大增强，通信协议标准化程度显著提高，不同制造厂商的产品能进行数据通信，解决了第二代分散控制系统在应用过程中出现的自动化孤岛等问题。此外，从系统的软件和控制功能来看，系统所提供的控制功能也有了增强。控制模式也不再是常规控制、逻辑控制与批量控制的一般综合，而增加了应用现代控制理论的各种高等控制算法，就有了一定的算法智能。同时，由于第三方应用软件可更加方便地集成到 DCS 系统中来，也为用户提供了更广阔的应用空间。第三个发展阶段末期，DCS 已基本全面取代了常规仪表控制和集中式计算机监控系统，走向了成熟应用的阶段，确立了工业控制中的主导地位。

同时，这一阶段出现了 DCS 厂商的并购和重组浪潮，如 BAILEY 被 ABB 并购；FOXBORO 重组到 INVENSYS；西屋合并到 EMERSON 等。

(4) 第四阶段：20 世纪末到 21 世纪初期，进入了 DCS 发展的第四个阶段。在这一阶段，一些新的工业技术和计算机技术如现场总线技术、高速以太网技术、PLC 技术、嵌入式技术、软件标准化组件技术、实时数据库技术以及人工智能技术等出现并蓬勃发展起来，极大地推动了 DCS 的进一步发展，并快速融入 DCS 新产品中。其典型代表包括：Honeywell 公司的 EPERION PKS（过程知识系统）、EMERSON 公司的 OVATION、ABB 公司的 SYMPHONY 以及西门子公司基于 PCS7 技术的 SPPA-T3000 系统。

前几个阶段的 DCS 的类型主要通过被控对象的特点划分为不同的类型，如直接数字控制站、顺序控制站以及批量控制站等。但第四代 DCS 由于其运算能力大大提高，一台过程控制站可同时实现模拟量控制和数字量控制，为工业生产综合自动化技术的实现奠定了基础。

第四代 DCS 的标准化程度也大大提高了。硬件上广泛采用基于以太网的通信网络，同时支持多种网络协议，支持多种 PLC、RTU、智能控制单元和现场总线仪表；软件上几乎全部采用 IEC61131-3 标准进行组态软件设计，支持多种第三方先进控制产品如 SCADA、MES 和 BATCH 等，上位机监控也广泛采用软件组件技术。同时，与 PLC 技术深度融合，DCS 系统还直接采用成熟的 PLC 作为控制站。多数第四代 DCS 都可以集成中小型 PLC 作为底层控制单元。今天的小型 and 微型 PLC 不仅具备了过去大型 PLC 的所有基本逻辑运算功能，而且能实现高级运算、通信以及运动控制。

第四代 DCS 在现场级还与现场总线技术逐渐融合。所有的第四代 DCS 都包含了各种形式的现场总线接口，可以支持多种标准的现场总线仪表、执行机构等。此外，各 DCS 还改变了原来机柜/架式安装 I/O 模块、相对集中的控制站结构，取而代之的是进一步分散的 I/O 模块（导轨安装）、小型化的 I/O 组件（可以现场安装）或中小型的 PLC。

第四代 DCS 的软硬件集成度进一步提高。各系统纷纷采用现成的软件技术和硬件技术，采用灵活的规模配置，明显地降低了系统的成本与价格。可以说，现在采用先进的 DCS 实现工业自动化控制比原来采用常规的仪器仪表进行简单控制，用户投资增加不多，但是实现的功能却明显加强。就控制站而言，原来一个物理信号处理平均 1500 元，而现在已经降到 800 元甚至更低的水平。过去国外 DCS 只适合于大中型的系统应用，在小型应用中成本很