

工业控制与企业信息化技术丛书

现场总线控制系统 应用实例

韩兵 于飞 编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

工业控制与企业信息化技术丛书

现场总线控制系统应用实例

韩兵 于飞 编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

全书详细地描述了当前总线控制系统在不同领域的应用,以基金会现场总线、LonWorks 现场总线、Profibus 现场总线、CAN 现场总线、DeviceNet 现场总线、HART 现场总线、Modbus 现场总线、ASi 现场总线规范介绍为基础,对全球主要控制系统制造公司现场总线产品的技术特点、功能指标和应用范围做了介绍,系统地描述了现场总线控制系统的设计过程、开发步骤和不同规范现场总线的应用,给出了现场总线控制系统在不同工业和民用工程领域的应用实例。

本书可供相关专业的技术人员阅读,或作为现场总线系统技术开发、应用人员的培训教材和应用手册,也可作为大专院校计算机、自动化、过程控制和仪器仪表专业的师生教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现场总线控制系统应用实例/韩兵,于飞编. —北京:
化学工业出版社,2006.5
(工业控制与企业信息化技术丛书)
ISBN 7-5025-8787-X

I. 现… II. ①韩…②于… III. 总线-自动控制
系统 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 053035 号

工业控制与企业信息化技术丛书

现场总线控制系统应用实例

韩兵 于飞 编

责任编辑:宋辉 刘哲

责任校对:蒋宇

封面设计:于兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 410 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8787-X

定 价:36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

出版者的话

随着企业市场化程度、全球化程度的不断提高,企业,特别是工业企业,对信息化的要求也越来越高。企业作为国民经济的基本单元,其信息化程度是国家信息化建设的基础和关键,为此中央提出了“以信息化带动工业化”的战略方针。

企业信息化的实质是借助计算机、互联网等信息手段将企业的经营及管理流程数字化并加工成新的信息资源,提供给各层次的管理者及时掌握动态业务中的一切信息,以做出有利于生产要素组合优化的决策,使企业资源合理配置,从而使企业能够适应瞬息万变的市场经济竞争环境,求得最大的经济效益。

企业信息化正向普及化道路不断迈进。中国企业信息化进程调查结果表明,我国近50%的企业已经在实践中探索和应用信息化手段提升其管理和业务水平,还有30%的企业表示在未来一年内将启动自己的信息化项目。由此可以看出,信息化的工作已经在企业中广泛展开。在这个过程中,以信息化改造、提升传统产业是大多数工业企业的战略决策,为此企业自动化系统等基础建设是信息化改造的基本出发点。为了使更多的企业技术人员参与到信息化建设中来,我们编辑了一套《工业控制与企业信息化技术丛书》,以期能作为他们的有力参考。

本套丛书共5本,包括《现场总线控制系统应用实例》、《先进控制技术应用实例》、《ERP系统的需求量化分析及实现案例》、《紧急停车系统原理及应用实例》、《集散控制系统应用实例》。本套丛书从信息化的基本工作,即生产装置的自动控制出发,主要介绍了控制系统、网络布线、信息管理及其在工业企业中的应用实例。本套丛书强调实用原则,作者都是有工程实施经验的技术人员,书中所列实例大都来自生产一线,是宝贵的参考资料。

由于企业信息化所包含的内容较多,我们希望以后能够不断完善该丛书,使之成为企业信息化建设的比较完整的参考资料,奉献给读者。

2006年7月

前 言

以计算机 (Computer)、通信 (Communication) 和控制 (Control) 为代表的 3C 技术迅速发展, 使得网络集成信息自动化正在迅速应用到现场设备、控制、管理和市场的各个层次, 迅速进入工业制造、工业流程、环境工程、民用工程等应用领域。以嵌入式系统仪表和设备为基础的现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System) 正逐步取代传统的集散控制系统。

现场总线不但继续朝着开放统一的方向发展, 而且仍在产生新的技术和标准, 这必将为现场总线的发展提供源泉和动力。全球主要控制系统产品的制造公司几乎都制造和提供了相关现场总线标准的自动化产品。现场总线产品不但进入了中小生产企业, 为他们的发展提供了机遇, 而且在技术标准和安全性要求极高的核能领域, 也得到了成功的应用。

由于现场总线系统技术复杂、规范标准较多和应用对象广泛的特点, 给实际工程技术人员迅速学习掌握现场总线系统的知识、产品和建立实际系统带来很多不便。在单纯学习现场总线技术规范之后, 对实际选择相关现场总线系统和产品, 建立现场总线网络应用系统仍有困难。现有的现场总线系统应用实例资料涉及面较为单一, 技术标准、系统产品和实际应用实例之间没有建立必要的联系。这本书是根据我们跟踪了解国际国内现场总线实际应用的情况, 利用我们进行相关科研开发的总结和指导研究生研究的经验, 加上这几年为研究生和在职技术工程人员讲授现场总线控制系统课程和培训的结果, 总结编写的, 希望能给从事现场总线应用的工程技术人员提供帮助。

全书共分 5 章。第 1 章是对现场总线的概念、产生背景和模型的基本介绍。第 2 章简要介绍了现场总线的主要技术标准, 包括基金会现场总线、LonWorks 现场总线、Profibus 现场总线、CAN 现场总线、DeviceNet 现场总线、HART 现场总线、Modbus 现场总线、ASi 现场总线技术规范。第 3 章介绍了全球重要企业的现场总线系统和产品的主要系统结构、技术特点和应用范围, 包括相关产品的组态软件介绍, 进一步对现场总线系统的设计规划应用提供产品和技术依据。第 4 章是现场总线系统的设计规划与应用, 主要描述了现场总线控制系统设计的基本步骤和过程, 给出了设计规划和开发应用现场总线系统的方法和原则, 并以详细的技术应用实例说明不同公司产品、不同总线标准和不同应用对象的现场总线系统设计规划和实现的过程。第 5 章给出了不同生产过程、民用工程 and 不同现场总线标准的应用实例, 较为全面地描述了各个工业生产过程和民用工程应用的实际内容, 在每一个领域内都有一个比较详细的应用案例, 以便读者深入研究和实际对比。

参加本书编写的还有范园园、林明峰, 在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限, 时间仓促, 不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

编者

2006 年 5 月

目 录

第 1 章 现场总线概论	1
1.1 现场总线的简介	1
1.1.1 现场总线的基本概念	1
1.1.2 现场总线分布式网络系统	1
1.1.3 现场总线自动控制系统	2
1.2 现场总线的特点	2
1.2.1 现场总线系统的结构特点	2
1.2.2 现场总线系统的技术特点	3
1.2.3 现场总线系统的优势	3
1.3 现场总线的起源与发展趋势	4
1.3.1 现场总线标准的起源和发展	4
1.3.2 现场总线与仪器仪表的结合	4
1.3.3 现场总线开放统一和几种标准共存的发展方向	5
1.4 现场总线开放系统互连模型基础	7
1.4.1 开放系统互连参考模型的结构	7
1.4.2 开放系统互连参考模型的功能	8
1.4.3 现场总线通信协议模型	14
第 2 章 现场总线协议规范	15
2.1 FF 现场总线协议规范	15
2.1.1 FF 现场总线协议的主要技术特点	15
2.1.2 系统的主要组成部分及其相互关系	16
2.1.3 FF 现场总线网络通信协议	17
2.2 LonWorks 现场总线协议规范	18
2.2.1 LonWorks 现场总线协议的主要技术特点	19
2.2.2 系统的主要组成部分及其相互关系	19
2.2.3 LonWorks 现场总线通信协议	20
2.3 Profibus 现场总线协议规范	22
2.3.1 Profibus 现场总线协议的主要技术特点	22
2.3.2 系统的主要组成部分及其相互关系	24
2.3.3 Profibus 通信协议	24
2.4 CAN 现场总线协议规范	27
2.4.1 CAN 现场总线协议的主要技术特点	27
2.4.2 CAN 现场总线的分层结构	28
2.4.3 CAN 通信协议	29
2.5 DeviceNet 现场总线协议规范	30

2.5.1	DeviceNet 现场总线协议的主要技术特点	31
2.5.2	DeviceNet 现场总线的分层结构	31
2.5.3	DeviceNet 通信协议	32
2.6	HART 的现场总线协议规范	35
2.6.1	HART 现场总线协议的主要技术特点	35
2.6.2	HART 通信协议的特点与优势	36
2.6.3	HART 通信协议	37
2.7	Modbus 的现场总线协议规范	38
2.7.1	Modbus 现场总线协议的主要技术特点	38
2.7.2	Modbus 传输方式	39
2.7.3	Modbus 通信协议	40
2.8	ASi 的现场总线协议规范	42
2.8.1	ASi 现场总线协议的主要技术特点	43
2.8.2	ASi 访问方式	44
2.8.3	ASi 通信协议	45
第3章	全球重要企业的现场总线系统	47
3.1	罗克韦尔 (Rockwell) 现场总线控制系统	47
3.1.1	现场总线系统结构与功能	47
3.1.2	现场总线系统软件	49
3.1.3	现场总线系统设备	50
3.2	西门子 (Siemens) 现场总线控制系统	54
3.2.1	现场总线系统结构与功能	54
3.2.2	现场总线系统软件	55
3.2.3	现场总线系统设备	57
3.3	ABB 现场总线控制系统	60
3.3.1	现场总线系统结构与功能	60
3.3.2	现场总线系统软件	62
3.3.3	现场总线系统设备	62
3.4	施耐德 (Schneider) 现场总线控制系统	63
3.4.1	现场总线系统结构与功能	63
3.4.2	现场总线系统软件	65
3.4.3	现场总线系统设备	66
3.5	三菱 (Mitsubishi) 现场总线控制系统	67
3.5.1	现场总线系统结构与功能	67
3.5.2	现场总线系统软件	70
3.5.3	现场总线系统设备	71
3.6	欧姆龙 (Omron) 现场总线控制系统	72
3.6.1	现场总线系统结构与功能	72
3.6.2	现场总线系统软件	74
3.6.3	现场总线系统设备	75

3.7 中科博微现场总线控制系统	76
3.7.1 现场总线系统软件	76
3.7.2 现场总线系统设备	77
3.8 浙大中控现场总线控制系统	80
3.8.1 现场总线系统结构与功能	80
3.8.2 现场总线系统软件	81
3.8.3 现场总线系统设备	82
第4章 现场总线系统的设计规划与应用	85
4.1 企业网络系统的一般原理	85
4.1.1 企业网络系统的设计原则	86
4.1.2 企业网络系统的设计内容	87
4.1.3 企业网络的数据库系统	88
4.1.4 企业生产过程的集散控制系统 (DCS)	91
4.2 现场总线系统的一般设计应用过程	92
4.2.1 现场总线系统的设计原则	92
4.2.2 现场总线系统的网络与控制设计	93
4.2.3 现场总线软件设计开发与组态	95
4.2.4 现场总线系统的运行、维护和故障诊断	97
4.3 罗克韦尔现场总线锅炉控制系统设计应用	98
4.3.1 锅炉对象的系统描述	98
4.3.2 DeviceNet 控制设备描述	100
4.3.3 网络系统软件结构描述	101
4.3.4 系统硬件与功能配置	103
4.3.5 软件系统网络组态与通信配置	105
4.3.6 系统控制算法设计与程序结构	111
4.3.7 人机界面设计与实现	117
4.3.8 现场总线锅炉控制应用结果	122
4.4 西门子现场总线电厂输煤控制系统设计应用	125
4.4.1 生产过程对象的系统描述	125
4.4.2 网络系统功能描述	126
4.4.3 控制系统组成描述	127
4.4.4 西门子 Profibus 现场总线通信	133
4.4.5 组态软件与系统组态	137
4.4.6 西门子现场总线系统运行结果	141
4.5 HART 智能电动执行机构设计应用	141
4.5.1 HART 智能电动执行机构整体设计	141
4.5.2 HART 智能电动执行机构硬件设计	143
4.5.3 HART 智能电动执行机构软件设计	153
4.5.4 HART 电动执行机构实验测试	164
第5章 现场总线系统的应用实例	168

5.1 现场总线在流程工业的应用	168
5.1.1 现场总线在煤矿行业的解决方案与应用实例	168
5.1.2 现场总线在钢铁行业的应用实例	179
5.1.3 现场总线在石油与化工行业的应用	184
5.2 现场总线在工业制造中的应用	198
5.2.1 机器制造现场总线系统应用实例	198
5.2.2 现场总线在工业生产线的應用	207
5.3 现场总线在环境与民用工程中的应用	214
5.3.1 水与废水处理的现场总线系统	214
5.3.2 现场总线在楼宇和建筑行业的应用	227
5.4 现场总线在能源工程中的应用	232
5.4.1 现场总线在电厂的应用	232
5.4.2 现场总线在热能网行业的应用	240
参考文献	253

第 1 章

现场总线概论

以计算机 (Computer)、通信 (Communication) 和控制 (Control) 为代表的 3C 技术迅速发展, 使得网络集成信息自动化正在迅速应用到现场设备、控制、管理和市场的各个层次, 迅速进入工业制造、工业流程、环境工程、民用工程等广泛的应用领域。以嵌入式系统仪表和设备为基础的现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System) 正逐步取代传统的集散控制系统。

1.1 现场总线的简介

1.1.1 现场总线的基本概念

现场总线是应用在工业和工程现场, 在嵌入式测量仪表与控制设备之间实现双向串行多节点数字通信的网络系统。现场总线系统是具有开放连接和多点数字传输能力的底层控制网络。近几年来, 它迅速在制造工业、流程工业、交通工程、建筑工程和民用与环境工程等方面的自动化系统中实现了成功应用并向更广阔的应用范围发展。

现场总线技术把微控制器和通信控制器嵌入到传统的测量控制仪表, 这些仪表传感器可在本地进行传感器信号处理, 而执行器 (如调节阀) 有了数字 PID 的计算和数字通信能力, 采用双绞线作为串行数据通信总线, 把每个测量控制仪表、执行器、PLC 和上级计算机连接成网络系统, 构成了全分布式的网络控制系统。按现场总线通信协议, 位于工业或工程现场的每个嵌入式传感器、测量仪表、控制设备、专用数据存储设备和远程监控计算机都通过一条现场总线在任意单元之间进行数据传输与信息交换, 按实际应用需要实现不同地点不同回路的自动控制。现场总线把单个分散的测量控制设备变成网络节点, 由一条总线连接成可以相互交换信息、共同完成控制、优化和管理任务的管控一体化系统。它给工业和工程自动化领域带来的变化, 如同众多分散的计算机被以太网连接在一起, 使计算机的功能和作用发生了巨大的变化。现场总线使自动控制系统的结构大大简化, 分散化的设备都具有通信能力和控制信息处理能力, 提高了控制系统的可靠性和整体性能水平。

1.1.2 现场总线分布式网络系统

现场总线控制系统既是一个开放通信网络, 又是一种全分布控制系统。现场总线将智能设备连接到一条总线上, 把作为网络节点的智能设备连接为微计算机网络, 进一步建立了具有高度通信能力的自动化系统, 可以实现基本控制、补偿计算、参数修改、报警、显示、监

控、优化及管控一体化等的综合自动化功能。它是一种集智能传感器、仪表、控制器、计算机、数字通信、网络系统为主要内容的综合应用技术。

现场总线网络集成自动化系统是开放的系统，可以由不同设备制造商提供的遵守同一通信协议的各种测量控制设备共同组成。由于现场总线历史起源的原因，现存几种不同的现场总线协议。在它们尚未完全统一之前，可以在一个企业内部的现场层级形成不同通信协议的多个网段，这些网段间可以通过网桥连接而互通信息。

1.1.3 现场总线自动控制系统

由于现场总线领导了工业控制系统向分散化、网络化、智能化发展的方向，它一产生便成为全球工业自动化技术的新起点，受到全世界的自动化设备生产企业和用户的普遍关注。现场总线的出现使目前生产的自动化仪表、集散控制系统（DCS）、可编程控制器（PLC）、控制人机接口面板等产品在体系结构、技术功能等方面发生重大的变化，原有的模拟仪表将逐渐由智能化数字仪表取代，也有具备进行模拟信号传输和数字通信功能的混合型仪表，还有可以检测、运算、控制的多功能变送控制器；可以检测温度、压力、流量的多功能、多变量变送器；带控制模块和具有故障自检信息的执行器。它们极大地改变了原有生产过程设备的优化控制和维护管理方法。

现场总线是一种多网段、多种通信介质和多种通信速率的控制网络，它可与上层的企业内部网（Intranet）、因特网（Internet）相连，且大多位于生产控制和网络结构的底层，因而称之为现场总线。现场总线的应用使它从传统的工业控制领域向工程现场的各个方面发展，现在已进入到住宅小区的安全监控、智能大厦的景观灯光控制管理等方面。

现场控制层网段 Profibus 的 H1、H2、LonWorks 等，即为底层控制网络，它们与工厂现场设备直接连接，一方面将现场测量控制设备互连为通信网络，实现不同网段、不同现场通信设备间的信息共享；同时又将现场运行的各种信息传送到远离现场的控制室，并进一步实现与操作终端、上层控制管理网络的连接和信息共享。把一个现场设备的运行参数、状态以及故障信息等送往控制室的同时，又将各种控制、维护、组态命令，乃至现场设备的工作电源等送往各相关的现场设备，沟通了生产过程现场级控制设备之间及其与更高控制管理层之间的联系。由于现场总线所肩负的是测量控制的特殊任务，因而它具有自己的特点，即要求信息传输的实时性强、可靠性高，且多为短帧传送，传输速率一般在几 Kbps 至 10Mbps 之间。

1.2 现场总线的特点

1.2.1 现场总线系统的结构特点

现场总线系统由于采用了智能现场设备，能够把原先 DCS 系统中处于控制室的控制模块、各输入输出模块置入现场设备，加上现场设备具有通信能力，现场的测量变送仪表可以与阀门等执行机构直接传送信号，因而控制系统功能能够不依赖控制室的计算机或控制仪表，直接在现场完成，实现了彻底的分散控制。图 1.1 为现场总线控制系统与传统控制系统的结构对比。由于采用数字信号替代模拟信号，因而可实现一对电线上传输多个信号（包括

多个运行参数值、多个设备状态、故障信息), 同时又为多个设备提供电源; 现场设备以外不再需要模拟/数字、数字/模拟转换部件。这样就为简化系统结构、节约硬件设备、节约连接电缆与各种安装、维护费用创造了条件。

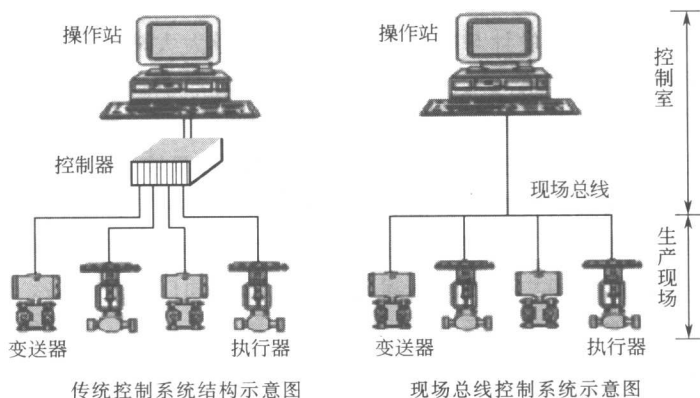


图 1.1 现场总线控制系统与传统控制系统结构的比较

1.2.2 现场总线系统的技术特点

(1) 系统体系的开放性 开放主要是指相关标准和规范的公开。任何设备制造企业和公司, 现场总线设备的用户都可以方便地得到现场总线有关标准协议文本。因此, 所有企业生产的现场总线设备, 一旦标有相应现场总线的标志如 FF, 就意味着对公开协议的一致遵从。一个开放系统是说明它可以在任何地方与遵守相同标准的其他设备或系统连接应用。通信协议一致公开, 各不同企业的设备之间可实现信息交换。现场总线开发者是要致力于建立统一的工厂底层网络的开放系统。用户可按自己的需要, 把来自不同供应商的产品组成大小随意的系统。通过现场总线构筑自动化领域的开放互连系统。

(2) 互可操作性与互用性 互可操作性是指实现互连设备和系统间的信息传送与交换; 而互用则意味着不同生产企业的性能类似的设备可实现相互替换。由于现场设备的智能化和功能自治, 它将传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成, 因此, 现场设备可以完成自动控制的基本功能, 并可随时将诊断设备运行状态的信息进行交换。这样就保证了系统的互可操作性和互用性。

(3) 系统结构的高度分散性 现场总线构成了一种新型的全分散性控制系统的体系结构。与现有的集散控制系统 DCS 集中与分散相结合的系统体系相比, 简化了系统结构并提高了可靠性。由于现场总线设置在生产过程现场, 企业网络底层的现场总线专为现场环境而设计, 支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等不同传输介质, 具有较强的抗干扰能力, 能采用两线制实现供电与通信, 并可满足本质安全防爆要求。这种对现场环境的适应性支持了高度分散的系统结构。

1.2.3 现场总线系统的优势

(1) 减少了常规信号变换和处理装置 由于现场总线系统中分散在现场的智能设备能直接执行多种传感控制报警和计算功能, 因而可减少变送器的数量, 不再需要单独的调节器、计算单元等, 也不再需要 DCS 系统的信号调理、转换、隔离等功能单元及其复杂接线, 还

可以用工控 PC 机作为操作站,从而减少了常规信号变换和处理装置,并可减少控制室的占地面积。

(2) 减少了系统电缆和安装费用 现场总线系统的接线十分简单,一对双绞线或一条电缆上通常可挂接多个设备,因而电缆、端子、槽盒、桥架的用量大大减少。由于现场总线设备有极性自动识别功能,连线设计与接头校对的工作量也大大减少。当需要增加现场控制设备时,无需增设新的电缆,可就近连接在原有的电缆上,既节省了投资,也减少了设计、安装的工作量。据有关典型试验工程的测算资料表明,可节约安装费用 60% 以上。

(3) 便于系统维护和进一步扩展 由于现场控制设备具有自诊断与简单故障处理的能力,并通过数字通信将相关的诊断维护信息送往控制室,用户可以查询所有设备的运行、诊断和维护信息。现场总线系统可以预测性提前报告故障,便于早期分析故障原因并快速排除,缩短了维护停工时间。用户可以根据需要自由选择不同厂商的设备,可避免因先期选择某一厂商的产品而使其他设备的选择范围受到限制的情况。这样,在系统集成过程中用户占主动地位,可以分批分期地实现系统的扩展。

(4) 提高了系统的准确性与可靠性 由于现场总线设备的智能化、数字化,与模拟信号相比,它从根本上提高了测量与控制的精确度,减少了传输误差。同时,由于系统的结构简化,设备与连线减少,现场仪表内部功能加强,减少了信号的往返传输,提高了系统的工作可靠性。此外,由于它的设备标准化,功能模块化,因而还具有设计简单、易于重构等优点。

1.3 现场总线的起源与发展趋势

1.3.1 现场总线标准的起源和发展

现场总线起源于欧洲,随后发展至北美。早在 1984 年,制定国际标准的权威机构之一,国际电工委员会 IEC (International Electro-technical Commission) 就开始着手制定现场总线的国际标准,但由于国际上几个跨国大公司为了各自的利益,阻碍和干扰了制定单一的现场总线国际标准。经过了 15 年,围绕着国际标准的现场总线竞争以妥协而告终。结果是出现了多种现场总线的国际标准,到目前为止,至少已有 14 种之多。目前新一轮围绕着市场的现场总线竞争正在进行。将以太网 (Ethernet) 应用于现场总线将是一个新的亮点,现在已经出现了多种基于实时以太网 RTE (Real Time Ethernet) 的现场总线,但还处在继续研发之中。

1.3.2 现场总线与仪器仪表的结合

最早的仪表和调节器是机械式的装置,如膨胀式温度计、弹簧管式压力计和瓦特蒸汽机的飞球式调速器等。进入 20 世纪后,工业生产的规模不断扩大,出现了将检测、显示和调节集中在一起的气动基地式仪表。为了减少人工巡回检测的工作量和不可靠性,出现了便于在控制室进行集中监控的气动单元组合仪表。随着工业生产的规模不断扩大,气动仪表的信号传输距离受到限制,而且气动仪表存在着体积太大的缺点,渐渐无法满足工业生产的需要,于是出现了电动仪表。为了不使控制室的面积过大而便于操作人员集中操作,后来又出现了电子仪表。电子仪表的出现使生产现场各处的测量参数采用统一的模拟信号表示,如

0.02~0.1MPa 的气压信号, 0~10mA、4~20mA 的直流电流信号, 1~5V 的直流电压信号等。这样可以把生产流程各处的状况信号集中到控制室进行观测, 将各电动单元仪表的信号按要求组合为集成的控制系统。

但是模拟信号传送必须采用一对一的连线, 即不同的传感器、仪表和设备必须有不同的专用模拟信号线, 不能将多个单元连到一条线路上。除了连线的复杂外, 模拟信号抗干扰的能力差, 提高传送速度和精度的成本非常高。

20 世纪 60 年代开始采用数字计算机进行监控和数据采集, 即 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), 数字计算机不但可以采集数据, 而且可经过运算来改变控制仪表的设定值, 使控制得以优化; 或者直接用计算机进行直接数字控制 DDC (Digital Direct Control)。但由于当时计算机的可靠性较差, 价格贵, 体积大, 功能也不强, 不适合工业现场复杂和恶劣环境的条件, 也还不存在应用冗余技术或多机并行处理技术, 一旦一台计算机发生故障, 整个工艺流程的生产控制回路就陷于瘫痪。这种以一台计算机控制整个生产过程的危险集中式结构不能在生产过程中推广使用。

进入 70 年代, 大规模集成电路的出现使微机处理器芯片的价格大幅度降低, 嵌入式微处理器应用在自动化领域内得到广泛的发展。1975 年美国的霍尼韦尔 (Honeywell) 公司首先推出了 TDC-2000 型集散控制系统, 层级管理是集中的, 而控制则是分散的。所谓 TDC 即是集中 (Total)、分散 (Distributed)、控制 (Control) 的缩写。后来这种系统进一步发展被称为集散型控制系统 DCS (Distributed Control System), 在大规模生产流程的自动控制中被广泛采用。DCS 在 20 世纪 80~90 年代达到了其鼎盛时期, 成为自动化领域中的一个里程碑。

进入 20 世纪 90 年代, 为了降低产品成本, 增加盈利, 工业生产的规模越来越大, 生产过程也日益强化, 同时人们对环境保护和生产安全的意识也更加提高, 各国对此也制定了与之有关的规程或法令。此外, 随着市场经济的国际化, 企业之间的竞争不可避免, 这就迫使企业的生产向着稳产、高效、优质、低耗、节能、环保与安全的方向发展。因此对生产过程进行检测与控制的点数与精度以及可靠性方面的要求也越来越高。以钢铁企业为例, 4000m³ 以上的大型炼铁高炉, 其检测点已在 5000 个以上; 而火电厂 300MW 机组的测点也在 5000 个左右, 600MW 机组的测点也到了 7000 个, 而且存在 800MW 或 900WM 机组; 又如乙烯装置也从过去的 30 万吨发展到现在的 90 万吨。随着检测点数的增加, 所需的控制电缆数势必随之增加, 以火力发电站 300MW 机组为例, 其所需的电缆长度已近 500km 以上, 在电站的锅炉房有限空间内, 已密布着各种水、蒸汽、空气与燃料的管道, 还要布置如此众多的电缆, 不仅给工程设计带来了困难, 而且给安装、调试与维修也带来了极大的不便, 而更重要的是如果不大量采用可编程逻辑控制器 PLC 的话, 如此大量的信息直接涌向 DCS 的入口, 不可避免地出现信号线过度集中的现象, 可靠性和抗干扰能力差将严重地威胁着 DCS 的正常运行。因此, 寻求现场仪表设备的数字化、智能化, 使大量的一般控制功能从 DCS 下放到现场传感器、仪表和执行器中去解决, 以减少主控制器的负担而增加系统的可靠性, 同时也减少了通往控制室的电缆数, 降低了成本并提高了系统性能。

1.3.3 现场总线开放统一和几种标准共存的发展方向

1983 年现场总线的概念首先在欧洲被提出。1984 年国际电工委员会 (IEC) 开始制定

现场总线的国际标准，稍后成立了推广及试用的组织 IFC。1989 年 Profibus 成为德国国家标准。1990 年 FIP 成为法国国家标准。1992 年 ISP (Interoperable System Protocol) 可互操作系统协议成立，它基于 Profibus，全世界有 100 多家公司和企业参加。1993 年又成立 ISPF，即 ISP 基金会，以支持实施 ISP 组织，由当时的美国 Fisher-Rosemount 公司牵头。1993 年 IEC 61158-2 物理层规范通过表决成为国际标准，但关键的链路层协议因与 Profibus 存在分歧而未获通过。1993 年 World FIP (World Factory Instrumentation Protocol，世界工厂仪表协议) 成立，它基于法国的标准 FIP，也有 100 多家公司参加，由美国的 Honeywell 公司牵头。1994 年 6 月 ISP 与 World FIP 认为两大组织有必要相互融合，于是合并成为现场总线基金会 (Fieldbus Foundation)，简称 FF。FF 表示一个现场总线组织和一种现场总线协议标准。World FIP 的北美部分参加了 FF，World FIP 的欧洲部分仍保持独立。FF 的成立并没有顺利地产生现场总线的国际标准，1996 年 12 月 30 日~1998 年 9 月 30 日期间，矛盾仍然严重，再经过 4 次投票表决，结果仍然是没有通过唯一的现场总线国际标准。

1995 年 9 月 15 日 IEC 执委会作出决议，修改现有技术标准构筑容纳不同的协议框架，并且至少容纳包括一种其他协议，从而为多种现场总线国际标准存在铺平了道路。1999 年底表决的结果，包括 8 种类型在内的 IEC 61158 现场总线国际标准终于获得了通过。现有的现场总线国际标准有以下几种。

① IEC 61158 (IEC/TC65/SC65C) 的 10 种类型：

- IEC 技术报告 (相当于 FF 的低速部分 H1，由美国 Rosemount 等公司支持)；
- ControlNet 由美国 Rockwell (罗克韦尔) 等公司支持；
- Profibus 由德国 Siemens 等公司支持；
- P-Net 由丹麦 Process Data 等公司支持；
- FF 的 HSE (High Speed Ethernet) 由美国 Emerson 等公司支持；
- Swift Net 由美国波音等公司支持；
- World FIP 法国 Alstom 等公司支持；
- Interbus 由德国 Phoenix Contact 等公司支持；
- FF 的应用层 (Application Layer)；
- Profinet 德国 Siemens 等公司支持。

可以看出，IEC 61158 实际上包括了 FF，ControlNet，Profibus，P-Net，Swift Net，World FIP，Interbus 与 Profinet 共 8 种现场总线。

② IEC 62026 (IEC/TP17/SC17B) 包括了 4 种现场总线国际标准：

- ASi (Actuator Sensor-interface) 执行器传感器接口，由德国 Festo 与 Btf 等公司支持；
- DeviceNet 由美国 Rockwell 等公司支持；
- SDS (Smart Distributed System) 灵巧式分散型系统，由美国 Honeywell 等公司支持；
- Seripex (串联多路控制总线)。

③ ISO 11898 与 ISO 11519 包括 CAN (Control Aero Network 控制器局域网络，由德国 Bosch 等公司支持)；CAN 11898 (1Mbit/s)，CAN 11519 (125Kbit/s)。

另外还有美国标准现场总线 LonWorks。因此，目前现场总线的国际标准至少有 14 种，而且还有可能增加。

1.4 现场总线开放系统互连模型基础

1.4.1 开放系统互连参考模型的结构

OSI 参考模型是设计和描述网络通信的基本框架，应用最多的是描述网络环境。它不仅促进了数字通信技术的发展，而且还导致了整个计算机网络发生根本性变革。OSI 参考模型提供了概念性和功能性结构，该模型将开放系统或计算机网络的通信功能划分为相互独立的七层。生产企业可以根据 OSI 模型的标准设计自己的产品，在导入新技术或提出新的业务要求时，可以把由通信功能扩充、技术更新带来的影响仅限于直接有关的层内，模型层次是不变化的。

OSI 参考模型分层的原则是将相似的功能集中在同一层内，功能差别较大时则分层处理，每层只对相邻的上、下层定义接口。

(1) OSI 参考分层模型 OSI 参考模型是计算机网络体系结构发展的产物，它的基本内容是开放系统通信功能的分层结构。这个模型把开放系统的通信功能划分为七个层次。从邻接物理媒体的层次开始，分别赋予 1、2、…、7 的顺序编号，相应地称之为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。OSI 参考模型如图 1.2 所示。

OSI 参考模型每一层的功能是独立的，它利用下一层提供的服务并为上一层提供服务，而与其他层的具体实况无关。这里所谓的“服务”就是下一层向上一层提供的通信功能和层之间的会话规定，一般用通信服务原语实现。两个开放系统中的同等层之间的通信规则和约定称为协议。通常，第 1~3 层功能称为低层功能 (LIF)，即通信传送功能，这是网络与终端均需具备的功能。第 4~7 层功能称为高层功能 (HIF)，即通信处理功能，通常需由终端来提供。

(2) OSI 参考模型层次 物理层 (第 1 层)。物理层并不是物理媒体本身，它只是开放系统中利用物理媒体实现物理连接的功能描述和执行连接的规程。物理层提供用于建立、保持和断开物理连接中机械的、电气的、功能的和过程的条件。简而言之，物理层提供有关同步和比特流在物理媒体上的传输手段，其典型的协议有 EIA 232 D、EIA 485、IEC1158-2 等。

数据链路层 (第 2 层)。数据链路层用于建立、维持和拆除链路连接，实现无差错传输的功能。在点到点或点到多点的链路上，保证信息的可靠传递。该层对连接相邻的通路进行差错控制、数据成帧、同步等控制。检测差错一般采用循环冗余校验 (CRC)，纠正差错采用计时器恢复和自动请求重发 (ARQ) 等技术。其典型的协议有 OSI 标准协议集中的高级数据链路控制协议 HDLC。

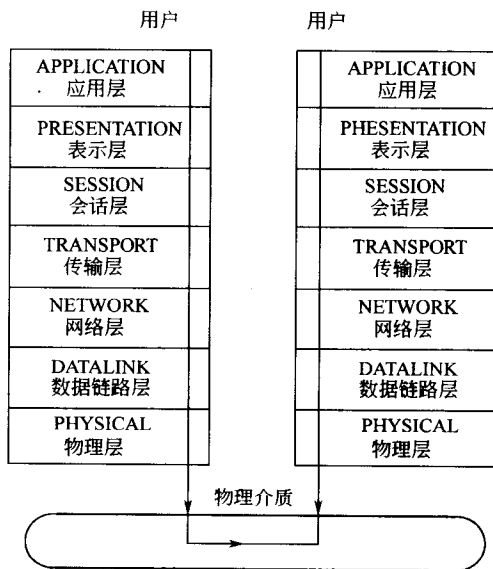


图 1.2 OSI 参考模型

网络层（第3层）。网络层规定了网络连接的建立、维持和拆除的协议。它的主要功能是利用数据链路层所提供的相邻节点间的无差错数据传输功能，通过路由选择和中继功能，实现两个系统之间的连接。在计算机网络系统中，网络层还具有多路复用的功能。

传输层（第4层）。传输层完成开放系统之间的数据传送控制。主要功能是开放系统之间数据的收发确认。同时，还用于弥补各种通信网络的质量差异，对经过下三层之后仍然存在的传输差错进行恢复，进一步提高可靠性。另外，还通过复用、分段和组合、连接和分离、分流和合流等技术措施，提高吞吐量和服务质量。

会话层（第5层）。会话层依靠传输层以下的通信功能使数据传送功能在开放系统间有效地进行。其主要功能是根据在应用进程之间的约定，按照正确的顺序收发数据，进行各种形式的对话。控制方式可以归纳为以下两类。一是为了在会话应用中易于实现接收处理和发送处理的逐次交替变换，设置某一时刻只有一端发送数据，因此需要有交替改变发信端的传送控制。二是在类似文件传送等单方向传送大量数据的情况下，为了防备应用处理中出现意外，在传送数据的过程中需要给数据打上标记，当出现意外时，可以由打标记处重发。例如可以将长文件分页发送，当收到上页的接收确认后，再发下页的内容。

表示层（第6层）。表示层的主要功能是把应用层提供的信息变换为能够共同理解的形式，提供字符代码、数据格式、控制信息格式、加密等的统一表示。表示层仅对应用层信息内容的形式进行变换，而不改变其内容本身。

应用层（第7层）。应用层是 OSI 参考模型的最高层。其功能是实现应用进程（如用户程序、终端操作员等）之间的信息交换。同时，还具有一系列业务处理所需要的服务功能。

1.4.2 开放系统互连参考模型的功能

（1）物理层协议 该层建立在通信介质连接的两个物理设备之上，为链路层提供透明位流传输所必须遵循的规则，有时也被称为物理接口。接口两边的设备，在 ISO 术语中被叫做 DTE（数据终端设备）和 DCE（数据通信设备），物理层协议主要提供在 DTE 和 DCE 之间的接口。

物理层要在 DTE 与 DCE 之间完成物理连接和传送通路的建立、维持和释放等操作。它在物理上连接的两个数据链路实体之间提供透明的位流传送。物理连接可能是永久性的，也可动态连接和释放。物理连接允许进行全双工或半双工的位流传送。在传送过程中，它可对传送通路的工作情况进行监督，一旦出现故障立即通知 DTE 和 DCE。物理层有 4 个重要特性。

① 物理层的机械特性规定了物理连接时所使用的可接插连接器的形状尺寸、连接器中引脚的数量与排列情况等。

② 物理层的电气特性规定了在物理连接器上传输二进制比特流时线路上信号电平的高低、阻抗及阻抗匹配、传输速率与距离限制。早期的标准定义了物理连接边界点上的电气特性，而较新的标准定义了发送器和接收器的电气特性，同时给出互连电缆的有关规定。新的标准更利于发送和接收电路的集成化工作。

③ 物理层的功能特性规定了物理接口上各条信号线的功能分配和确切定义。物理接口信号线一般分为数据线、控制线、定时线和地线等。

④ 物理层的规程特性定义了利用信号线进行二进制比特流传输的一组操作过程，包括