

工业自动化仪表系列丛书

现场总线与 工业以太网

凌志浩 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



工业自动化仪表系列丛书

现场总线与工业以太网

凌志浩 编著



机械工业出版社

现场总线作为目前自控领域的新技术,具有开放性、互操作性、全分布等优势。本书力图通过对现场总线基本原理、通信协议、网络结构 and 应用成果等方面的阐述,展现现场总线技术的基本概貌。

本书针对目前存在的多种现场总线的国际标准,较为全面地介绍了目前具有影响力的现场总线类型、技术特点、发展趋势及其应用成果等,覆盖了基金会现场总线、Profibus 现场总线、P-NET 现场总线、SwiftNet 现场总线、ControlNet 现场总线、Interbus 现场总线、WorldFIP 现场总线等内容,同时阐述了目前将工业以太网用于现场总线的一些技术和趋势。

本书可供从事工业自动化和仪器仪表领域的工程技术人员使用,也可以供高校自动化、测控技术与仪器、电气工程等专业的学生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现场总线与工业以太网/凌志浩编著. —北京:机械工业出版社, 2006.9

(工业自动化仪表系列丛书)

ISBN 7-111-20097-7

I. 现... II. 凌... III. ①总线—自动控制系统②工业企业—以太网网络 IV. ①TP273②TP393.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 124248 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: 王 玫 版式设计: 霍永明
责任校对: 唐海燕 封面设计: 姚 毅 责任印制: 李 妍

煤炭工业出版社印刷厂印刷

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

140mm × 203mm · 9.375 印张 · 247 千字

0 001—4000 册

定价: 20.00 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

编辑热线电话 (010) 88379767

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

张沪光 张永江

委 员：薛生虎 杜水友 梁国伟

蔡武昌 高克成 于世南

陈晓竹 李铁桥 周有海

吴 哈 彭 瑜 张雪申

俞金寿 汪克成 缪学勤

刘建侯 徐建平 凌志浩

肖 鹏

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 15 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》。

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

现场总线是自动化领域技术发展的热点之一，它的出现标志着工业控制技术领域又一个新时代的开始。现场总线不仅是当今控制技术、计算机技术和通信技术发展的结合点，也是过程控制技术、自动化仪表技术、计算机网络技术发展的交汇点，是信息技术和网络技术的发展在控制领域的集中体现，是信息技术、网络技术延伸到现场的必然结果。

现场总线是将自动化最底层的现场控制器和现场智能仪表设备互连的实时控制通信网络，它遵循 ISO/OSI 开放系统互连参考模型的全部或部分通信协议。而现场总线控制系统则是用开放的现场总线通信网络，实现将自动化最底层的现场控制器和现场智能仪表设备互连的实时网络控制系统。

现场总线技术使控制系统向着分散化、智能化、网络化方向发展，使控制技术与计算机及网络技术的结合更为紧密。基于开放通信协议标准的现场总线，为控制网络与信息网络的连接提供了方便，因而对控制网络与信息网络的融合和集成起到了积极的促进作用。

本书以国际标准的若干种现场总线为背景，介绍了有关现场总线产生的背景、基础、通信协议、网络体系结构以及产品和应用等方面的内容。全书分为 9 章，主要覆盖了基金会现场总线 (FF)、Profibus 现场总线、P-NET 现场总线、SwiftNet 现场总线、ControlNet 现场总线、Interbus 现场总线、WorldFIP 现场总线等内容；同时，也阐述了目前用于现场总线的工业以太网技术，并对其原理、实现技术和发展趋势作了分析和探讨。

本书主要针对目前被列为国际标准的现场总线进行叙述，书中内容较为完整和丰富。对从事自动化和仪器仪表领域的工程技

术人员有参考价值，也可供高等院校相关专业的学生作为教学参考书，以帮助他们了解现场总线技术、开阔眼界、增加知识面。本书是在对相关资料参考、引用和整理的基础上编著而成的，在此要感谢所引用资料或文献的公司和作者。

由于编者的学识和实践经验所限，时间仓促，掌握的资料也不够全面，对现场总线技术的研究开发还有待深入，加之现场总线技术的发展势头迅猛，新技术层出不穷，难免会出现以偏概全的现象，书中疏漏和错误在所难免，恳请读者和同行指正和赐教。

编著者

2006年3月于华东理工大学

目 录

编写说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 现场总线的产生	1
1.2 现场总线及其现场总线控制系统	3
1.2.1 现场总线的概念	3
1.2.2 现场总线与局域网的区别	5
1.2.3 现场总线控制系统体系结构	5
1.2.4 现场总线控制系统的特点	7
1.3 现场总线技术的进展和标准现状	7
1.3.1 现场总线技术的进展	9
1.3.2 现场总线标准	13
1.4 其他具有代表性的现场总线	21
1.4.1 CAN 总线	22
1.4.2 LonWorks 总线	22
1.4.3 HART 总线	23
1.4.4 ModBus 总线	23
1.4.5 CC-Link 总线	24
1.5 现场总线技术的研究	25
第 2 章 基金会现场总线	27
2.1 基金会现场总线概述	27
2.2 网络组成原理	33
2.2.1 基金会现场总线的物理层	33
2.2.2 数据链路层	34
2.2.3 现场总线访问子层	36

2.2.4	现场总线报文规范	38
2.3	功能块	40
2.3.1	功能块的内部结构与功能块连接	41
2.3.2	功能块应用进程中的用户应用块	42
2.3.3	功能块服务	44
2.3.4	现场总线设备的功能块应用进程	45
2.4	通信模式与通信协议	46
2.4.1	通信系统的主要组成部分及其相互关系	46
2.4.2	通信接口电路介绍	48
2.4.3	协议数据的构成与层次	51
2.5	典型产品介绍	52
2.5.1	FB3050	52
2.5.2	FF 现场仪表	55
2.6	典型应用示例	57
2.6.1	世界第一套投入商业运行的 FF 现场总线 系统	57
2.6.2	美国阿拉斯加 West Sak ARCO 油田	57
2.6.3	基于 FF 现场总线的分布式温度测量系统	59
2.7	应用前景展望	62
第 3 章	Profibus 现场总线	63
3.1	Profibus 现场总线概述	63
3.1.1	Profibus 现场总线的产生与体系结构	63
3.1.2	Profibus “工具箱”	65
3.2	传输技术	67
3.2.1	RS-485 传输技术	69
3.2.2	符合 MBP 的传输	69
3.2.3	光纤传输技术	70
3.3	通信协议	71
3.4	行规	73
3.4.1	通用应用行规	73

3.4.2	特殊应用行规	78
3.4.3	系统行规	85
3.5	设备管理	88
3.5.1	GSD	90
3.5.2	实现	91
3.6	PROFINet	94
3.6.1	PROFINet 工程模型	95
3.6.2	PROFINet 通信模型	96
3.6.3	PROFINet 转移模型	96
3.6.4	XML	97
3.6.5	OPC 和 OPC DX	97
3.7	Profibus 现场总线技术的应用	98
3.7.1	Profibus 在自动化立体仓库系统中的 应用	99
3.7.2	Profibus 总线接口在智能仪表中的应用	103
3.8	Profibus 现场总线技术在中国的发展	105
3.9	前景展望	106
第 4 章	P-NET 现场总线	108
4.1	P-NET 现场总线概述	108
4.1.1	P-NET 协议中的有关术语	108
4.1.2	P-NET 的特点	110
4.2	P-NET 现场总线的硬件结构及基本原理	112
4.2.1	P-NET 的总体架构——多网络结构	112
4.2.2	P-NET 现场总线的结构及其各层完成的 功能	114
4.2.3	P-NET 协议的节点形式	116
4.3	P-NET 通信协议及通信模式	117
4.3.1	P-NET 通信协议总线访问机制	117
4.3.2	P-NET 通信协议的地址域类型	119
4.3.3	P-NET 通信协议的优点	120

4.4	P-NET 通信软件 VIGO 软件	121
4.4.1	VIGO 简介	121
4.4.2	VIGO 用户接口	124
4.5	P-NET 及其应用	128
4.5.1	P-NET 的智能模块	128
4.5.2	运行模式	129
4.5.3	系统集成的解决方案	131
4.5.4	应用范围、产品以及支持厂商	133
4.5.5	典型应用示例	133
第 5 章	SwiftNet 现场总线	136
5.1	SwiftNet 现场总线概述	136
5.2	SwiftNet 现场总线的结构	137
5.3	SwiftNet 的性质和特征	138
5.3.1	SwiftNet 的性质	138
5.3.2	SwiftNet 的特征	139
5.4	SwiftNet 总线技术	139
5.4.1	物理层概述	139
5.4.2	数据链路层	140
5.4.3	应用层概述	142
5.5	SwiftNet 的主要应用	143
第 6 章	ControlNet 现场总线概述	144
6.1	ControlNet 现场总线的技术概况	144
6.1.1	ControlNet 的网络结构	144
6.1.2	DeviceNet 的技术特点	147
6.2	ControlNet 的网络通信模式及信息交换	149
6.2.1	ControlNet 的网络通信模式	150
6.2.2	ControlNet 的信息交换	151
6.3	ControlNet 的传输技术	154
6.3.1	ControlNet 的网络介质	154
6.3.2	ControlNet 网络物理组成	155

6.3.3	ControlNet 网络物理特性	156
6.4	ControlNet 现场总线产品结构及相关设备	157
6.4.1	Rockwell 公司的 ControlNet 现场总线产品 结构	157
6.4.2	新的控制网产品	159
6.5	ControlNet 现场总线技术的应用	160
6.5.1	基于 ControlNet 现场总线的过程控制 系统	161
6.5.2	ControlNet 大豆分离蛋白质生产线控制 系统	164
第 7 章	Interbus 现场总线	170
7.1	Interbus 总线概述	170
7.1.1	Interbus 的特点	171
7.1.2	Interbus 网络组成原理及功能块介绍	173
7.1.3	Interbus 通信协议和通信模式	174
7.2	运行环境	177
7.2.1	Interbus 传感器/执行器总线	177
7.2.2	基于连接两个器件间的点对点逻辑	178
7.2.3	PMS 服务	178
7.2.4	用户界面	178
7.2.5	有关技术支持	178
7.3	Interbus 与 Ethernet 结合构成完整的工业控制 通信网络	187
7.3.1	工业控制系统对通信方法的要求	187
7.3.2	Interbus 和 Ethernet 技术的特点和比较	189
7.3.3	Ethernet 工业现场安装管理系统 Factory Line	191
7.3.4	Interbus + Ethernet 的实际应用	191
7.4	典型产品技术介绍	192
7.4.1	系统部件	192

7.4.2	Phoenix Contact 的模块	196
7.5	Interbus 的应用	198
7.5.1	Internet 工业现场总线在大型煤码头中的应用	199
7.5.2	Interbus 在自动化物流系统中的应用	203
第 8 章	WorldFIP 现场总线	207
8.1	WorldFIP 概述	207
8.1.1	WorldFIP 的技术特点	208
8.1.2	WorldFIP 现场总线的发展	211
8.1.3	WorldFIP 一般结构	211
8.1.4	WorldFIP 现场总线技术特点	213
8.1.5	WorldFIP 协议模型	214
8.2	WorldFIP 的应用	220
8.2.1	WorldFIP 的应用前景分析	220
8.2.2	WorldFIP 的产品	221
8.2.3	WorldFIP 的应用领域	221
8.2.4	应用实例	221
第 9 章	工业以太网	233
9.1	工业以太网概述	233
9.1.1	概述	233
9.1.2	以太网已成为工业控制网络的发展方向	235
9.1.3	工业以太网的特点与要求	238
9.2	工业以太网系统结构	240
9.2.1	以太网的帧格式	241
9.2.2	以太网的工作原理	242
9.2.3	Ethernet/IP 协议简介	244
9.3	工业以太网的关键技术	250
9.3.1	通信确定性和实时性技术	250
9.3.2	系统稳定性技术	252
9.3.3	系统互操作性技术 OPC	253

9.3.4	网络安全技术	255
9.3.5	总线供电技术	256
9.3.6	本质安全与安全防爆技术	257
9.4	典型工业以太网.....	258
9.4.1	Modbus-IDA 工业以太网	260
9.4.2	Ethernet/IP 工业以太网	263
9.4.3	FF HSE 工业以太网	265
9.4.4	ProfiNet 工业以太网	266
9.4.5	EPA	268
9.4.6	EtherCAT	276
9.4.7	Powerlink	276
9.4.8	VNET/IP 和 TCnet	277
9.5	工业以太网典型产品	278
9.6	工业以太网应用展望	279
参考文献	281

第 1 章 绪 论

现场总线是自动化领域技术发展的热点之一，它的出现标志着工业控制技术领域又一个新时代的开始。现场总线控制系统必将逐步取代传统的独立控制系统、集中采集控制系统等，成为本世纪自动控制系统的主流。

1.1 现场总线的产生

3C (Computer、Communication、Control) 技术的发展、微机化仪器仪表的成熟和广泛应用，彻底动摇了自 20 世纪 60 年代至今一直占据过程控制领域的 4~20mA 信号标准的地位，并有了用现场网络的数字通信把各种各样的微机化设备集成到一起的现场总线概念。20 世纪 80 年代初就有国外机构提出现场总线，但研究工作进展缓慢，未形成大的影响和标准。1984 年，美国仪器仪表学会 ISA 下属的标准实施 (Standard and Practice) 第 50 组 (简称 ISA/SP50) 开始制订现场总线标准。1992 年，国际电工委员会 IEC 批准了 SP 50 物理层标准。1986 年，德国开始制定过程现场总线 (Process Field Bus) 标准，简称 ProfiBus。1992 年，由 Siemens、Foxboro、Rosemount、Fisher、Yokogawa、ABB 等公司成立 ISP (Interoperable System Project, 可互操作系统规划) 组织，以德国 ProfiBus 为基础制定现场总线标准。1993 年，成立 ISP 基金会 (ISPF)。其间，还有一些影响颇大的公司和机构牵头成立现场总线组织 World Fip、HCF 等。

现场总线的国际标准虽然从 1984 年开始就着手制订，先后曾经过 9 次投票表决，其中 2 次遭到否决，但经过有关各方的共同努力和协商妥协，终于在 1999 年年底的投票表决中，使 8 种现场总线协议的 IEC61158 国际标准被正式获得通过。为了反映

工业网络通信技术的最新发展，2003年4月，由IEC/SC6SC/MT9小组负责修订的IEC61158 Ed.3（现场总线标准第3版）正式成为国际标准，在新版本标准中规定了10种类型的现场总线。

纵观控制系统的发展历史人们不难发现，每一代新控制系统的推出都是针对老一代控制系统存在的缺陷而给出的解决方案，最终在用户需求和市场竞争两大外因推动下占领市场的主导地位，现场总线和现场总线控制系统的产生也不例外。

控制系统的发展阶段如下：

1. 模拟仪表控制系统

模拟仪表控制系统于20世纪60~70年代占主导地位。其显著缺点是：模拟信号精度低，易受干扰。

2. 集中式数字控制系统

集中式数字控制系统于20世纪70~80年代占主导地位。采用单片机、PLC、SLC或微机作为控制器，控制器内部传输的是数字信号，因此克服了模拟仪表控制系统中模拟信号精度低的缺陷，提高了系统的抗干扰能力。集中式数字控制系统的优点是易于根据全局情况进行控制计算和判断，在控制方式、控制时机的选择上可以统一调度和安排；不足的是，对控制器本身的要求很高，必须具有足够的处理能力和极高的可靠性，当系统任务增加时，控制器的效率和可靠性将急剧下降。

3. 集散控制系统

集散控制系统（Distributed Control System, DCS）于20世纪80~90年代占主导地位。其核心思想是集中管理、分散控制，即管理与控制相分离，上位机用于集中监视管理功能，若干台下位机下放分散到现场实现分布式控制，各上下位机之间用控制网络互连以实现相互之间的信息传递。因此，这种分布式的控制系统体系结构有力克服了集中式数字控制系统中对控制器处理能力和可靠性要求高的缺陷。在集散控制系统中，分布式控制思想的实现正是得益于网络技术和应用。遗憾的是，不同的

DCS 厂家为了达到垄断经营的目的而对其控制通信网络采用各自专用的封闭形式，不同厂家的 DCS 系统之间以及 DCS 与上层 Intranet、Internet 信息网之间难以实现网络互连和信息共享，因此集散控制系统从这个角度而言实质是一种封闭专用的、不具有互操作性的分布式控制系统，且 DCS 造价也昂贵。在这种情况下，用户对网络控制系统提出了开放性和降低成本的迫切要求。

4. 现场总线控制系统

现场总线控制系统（FCS，Fieldbus Control System）正是顺应以上潮流而诞生，它用现场总线这一开放的、具有可互操作的网络将现场各控制器以及仪表设备互连，构成现场总线控制系统，同时将控制功能彻底下放到现场，降低了安装成本和维护费用。因此，FCS 实质上是一种开放的、具有可互操作性的、彻底分散的分布式控制系统。

现场总线控制系统作为新一代控制系统，一方面突破了 DCS 系统采用专用通信网络的局限，采用了基于公开化、标准化的解决方案，克服了封闭系统所造成的缺陷；另一方面，把 DCS 的集中与分散相结合的集散系统结构，变成了新型全分布式结构，把控制功能彻底下放到现场。与传统的控制系统相比，它具有体系结构开放、系统集成灵活方便、硬件智能化、传输数字化、控制计算高品质化的特点。可以说，开放性、分散性与数字通信是现场总线系统最显著的特征。

现场总线技术是当今自动化领域技术发展的热点课题，并受到业界、学术界和用户的广泛关注。它的出现，给工业控制技术领域带来了又一次革命，以现场总线为基础的全数字控制系统——现场总线控制系统将会成为 21 世纪自动控制系统的主流。

1.2 现场总线及其现场总线控制系统

1.2.1 现场总线的概念

按 IEC 和现场总线基金会的定义，现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网