

现场总线技术在 智能断路器系统设计中的 应用

戴瑜兴 马 茜 主编

清华大学出版社

现场总线技术在 智能断路器系统设计中的 应用

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

研制、应用和推广智能型断路器及其相适应的现场总线技术是我国配电自动化发展的基础,也是我国现代化配电工业发展的需求。

本书每章都以实际项目为背景,详细而全面地论述了智能断路器中基于现场总线标准的通信接口电路的设计与开发的全过程。内容覆盖了 CAN、Profibus、DeviceNet、Modbus 总线的基本原理、遵循的规范和协议、通信控制芯片、接口电路设计及协议软件设计与测试。并针对多总线标准共存的情况,介绍了常用的两种解决方法:协议转换器和 OPC 技术。同样是在工程实例的背景下,介绍断路器的协议转换器和 OPC 技术的软硬件设计和实现。

本书突出了与实际项目相关的内容,书中的附录部分提供了部分与实际开发相关的技术资料。本书可作为高等院校计算机、工业自动化及仪表类专业本科生、研究生教学和毕业设计的参考书,也可作为从事现场总线系统设计与应用开发的技术人员的培训教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现场总线技术在智能断路器系统设计中的应用/戴瑜兴,马茜主编.--北京:清华大学出版社,2010.3

ISBN 978-7-302-21733-6

I. ①现… II. ①戴… ②马… III. ①总线—技术—应用—智能装置—断路器—系统设计 IV. ①TM56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 243792 号

责任编辑:邹开颜 赵从棉

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:24 插 页:2 字 数:528 千字

版 次:2010 年 3 月第 1 版 印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:026605-01

前言

计算机网络技术和现场总线技术的发展和运用,使具有通信功能的智能化、高性能、新型低压电气元件成为电气技术的发展方向,低压配电系统网络化成为发展趋势。低压配电系统的检测、控制部件往往和断路器相结合,通过对断路器的检测,能够得到低压配电系统的电压、电流、功率因数、有功功率和报警状态等参数,从而实现通过控制断路器的动作来控制整个低压配电系统。因此,断路器作为低压配电系统的最基本元件之一,它的网络化对实现低压配电系统的网络化具有非常重要的意义。研制、运用和推广智能型断路器及其相应的现场总线技术是我国配电自动化发展的基础,也是适应我国现代化配电工业发展的需求。

本书旨在介绍基于现场总线的智能断路器通信接口设备的软硬件设计,其内容为编者所在的课题组多年来从事现场总线在智能断路器中运用研究工作的总结,它来源于工业界直接联系的项目,具有推广和指导意义。编者写这本书的目的是希望能起到抛砖引玉的作用,与同行有机会商榷讨论,共同推动现场总线在智能断路器中的运用和发展。

本书适合作为高等院校计算机、工业自动化及仪表类专业本科生、研究生教学和毕业设计的参考书,也可作为从事现场总线系统设计及运用开发的技术人员的培训教材。

全书在编写时本着理论联系实际的原则,立足于基本原理和基本概念,着眼于实际运用和工程设计,力求通俗、易懂、系统、实用。从结构上看,全书共分为 8 章。第 1 章主要对智能型断路器和现场总线的概念、特点和发展现状进行概述,介绍了计算机网络、数据通信、开放式系统互连参考模型等与现场总线相关的基础知识,同时还介绍了智能断路器的原理、特点以及一些运用。第 2 章详细介绍了智能控制器的设计,都是基于 CAN 总线标准的,针对的是独立 CAN 控制芯片 SJA 1000 的智能控制器的设计。第 3 章介绍了基于 Profibus 总线标准的通信接口电路的设计与开发。第 4 章介绍了基于 DeviceNet 总线标准的通信接口电路的设计与开发。第 5 章介绍了基于 Modbus 总线标准的通信接口电路的设计与开发。第 6 章介绍了协议转换器的设计与开发,这里是以 DeviceNet-Modbus 协议转换器为例进行介绍的。第 7 章介绍了 OPC 技术在智能型断路器中的运用与开发。第 8 章介绍了智能型断路器的远程监控技术以及该系统的设计和实现方案。对于每种现场总线接口的介绍,基本上都是选用本设计团队所做的工程实例为背景,按照先介绍现场总线的基础知识,然后结合实例详细介绍其接口电路的软硬件设计这样一个思路进行的。



在这里我们特别感谢课题组的成员,他们为本书编写提供了素材。同时我们也感谢更多的研究者,他们的工作贯穿了全书,虽然我们不能够一一列举,但我们已尽力将他们的工作罗列到参考文献中。

本书由戴瑜兴、马茜主编。参与编写的工作人员有:武长坤、陈岚岚、李蕾、蒋近、王善伟、王紫湘、习升鸿、罗轶峰、曾哲、何孝发、文露、周琴、田莉、单志华、邬思琪、李二强、唐文亮。

由于编写时间仓促,书中的不足和疏漏在所难免,恳请同行专家和广大读者批评指正。

编 者

2009年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 现场总线技术概述	1
1.1.1 现场总线的概念	1
1.1.2 现场总线的结构特点和技术特点	2
1.1.3 现场总线的现状和发展趋势	4
1.1.4 现场总线的系列产品	5
1.2 控制网络与数据通信基础	8
1.2.1 ISO/OSI 参考模型	8
1.2.2 基于总线的数据通信	10
1.2.3 控制局域网络拓扑结构	13
1.2.4 介质访问控制技术	14
1.3 智能断路器技术概述	15
1.3.1 智能断路器概述	15
1.3.2 智能断路器的结构原理	16
1.3.3 智能型断路器的特点	17
1.4 现场总线在智能断路器中的应用	18
思考题与习题	18
第 2 章 基于 CAN 总线的低压智能断路器	19
2.1 CAN 总线技术原理	19
2.1.1 CAN 总线概述	19
2.1.2 CAN 总线上的数值逻辑以及速率与距离的关系	20
2.1.3 CAN 总线的技术特点	21
2.1.4 CAN 总线的应用范围及前景	22
2.2 CAN 协议规范	23

2.2.1	CAN 的分层结构	23
2.2.2	报文传送及其帧结构	27
2.2.3	CAN 的通信协议	30
2.2.4	错误类型和界定	31
2.2.5	报文滤波原理和报文校验	32
2.2.6	CAN 的标准接口	32
2.3	独立 CAN 控制器 SJA 1000	33
2.3.1	芯片 SJA 1000 的概述	33
2.3.2	SJA 1000 的特征	34
2.3.3	SJA 1000 结构图	34
2.3.4	SJA 1000 系统	35
2.4	CAN 总线收发器 TJA 1050	38
2.4.1	TJA 1050 的特征	38
2.4.2	TJA 1050 的工作模式	39
2.4.3	CAN 高速收发器的典型应用	40
2.5	基于 SJA 1000 CAN 总线的通信接口的设计	41
2.6	基于 CAN 总线的低压断路器设计举例	53
2.6.1	基于 CAN 总线的网络化低压断路器系统的结构	53
2.6.2	基于 CAN 总线的低压断路器的主要硬件模块设计	55
2.6.3	软件设计	66
2.6.4	程序系统调试及现场试验	77
	思考题与习题	82
第 3 章	基于 Profibus-DP 的断路器智能通信模块	83
3.1	Profibus 总线技术	83
3.1.1	Profibus 总线技术概述	83
3.1.2	Profibus 的基本特性	84
3.1.3	Profibus-DP	92
3.1.4	Profibus-PA	95
3.1.5	Profibus-FMS	96
3.1.6	Profibus 的特点	97
3.1.7	Profibus 接口模块的物理层和数据链路层	98
3.2	智能低压断路器通信模块总体设计方案	102
3.3	网络的通信速率和可靠性分析	103
3.4	Profibus-DP 从站通信接口的硬件电路设计与实现	105

3.4.1	智能控制器的微处理器选择	106
3.4.2	总线协议芯片 SPC3	107
3.4.3	RS-485 与 Profibus-DP 接口电路	110
3.4.4	Profibus-DP 的缓冲区结构	112
3.5	Profibus-DP 从站通信接口的软件设计与实现	113
3.5.1	Profibus-DP 通信软件的总体结构	113
3.5.2	Profibus-DP 通信主程序文件	113
3.5.3	中断模块文件	116
3.5.4	通信接口模块与用户模块通信软件设计	116
3.5.5	数据交换状态下用户模块与接口模块的通信流程	121
3.6	系统通信测试与结果分析	122
3.6.1	测试平台及步骤	122
3.6.2	测试结果与分析	122
3.6.3	结论	123
	思考题与习题	124
第 4 章	基于 DeviceNet 总线标准的通信接口	125
4.1	DeviceNet 概述	125
4.2	DeviceNet 协议规范	127
4.2.1	DeviceNet 的网络层次	127
4.2.2	DeviceNet 的信息格式	131
4.2.3	DeviceNet 的对象模型	134
4.2.4	DeviceNet 网络的通信模型	135
4.2.5	DeviceNet 设备描述及一致性说明	139
4.2.6	DeviceNet 节点开发的一般途径和步骤	141
4.3	通信适配器的硬件电路设计与实现	144
4.3.1	硬件电路的总体结构	144
4.3.2	微处理器 M16C1N	145
4.3.3	误接线保护电路(MWP)	146
4.3.4	状态指示器和配置开关	147
4.4	通信适配器的软件设计与实现	147
4.4.1	软件设计的整体思路	148
4.4.2	媒体访问标识符重复检测的实现	153
4.4.3	连接状态的分配和建立	155
4.4.4	显式信息连接的实现	158



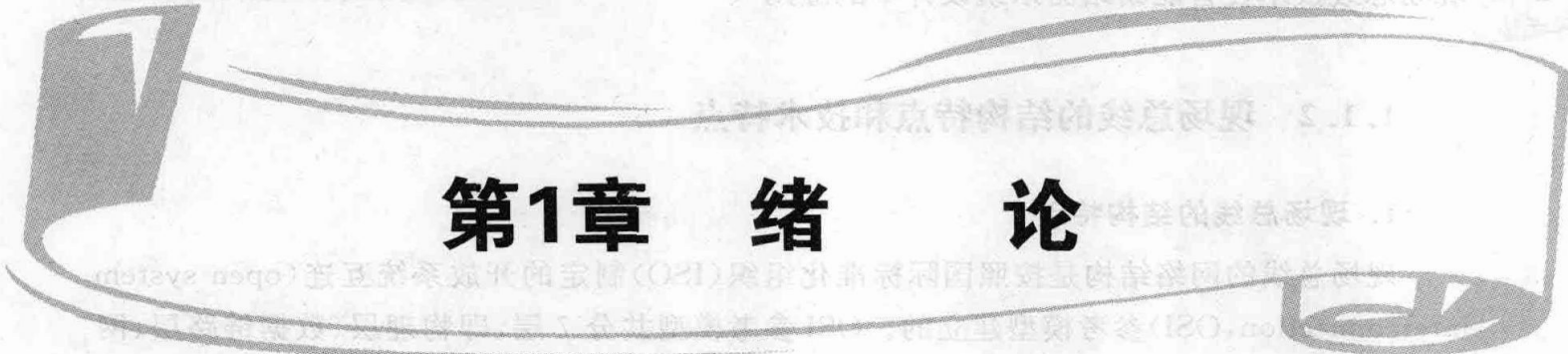
4.4.5	I/O 轮询信息连接的实现	161
4.4.6	多字节信息的分段和重组	162
4.4.7	设备错误状态管理	164
4.5	一致性测试及通信适配器运行结果分析	166
4.5.1	一致性测试	166
4.5.2	通信适配器网络运行结果分析	170
	思考题与习题	172
第 5 章	基于 Modbus 总线标准的通信接口	173
5.1	Modbus 协议	173
5.1.1	Modbus 协议简述	173
5.1.2	Modbus 串行链路层协议	177
5.2	嵌入式 Modbus 通信系统总体设计及其实现方案	189
5.2.1	基于 Modbus 智能控制器的串行通信网络	189
5.2.2	元器件选型	190
5.2.3	Modbus 通信卡软件设计方案	191
5.3	Modbus 通信卡的硬件设计及实现	191
5.3.1	MCU 子系统	192
5.3.2	数据采集子系统	194
5.3.3	串口通信子系统	196
5.4	Modbus 通信卡的软件设计及实现	198
5.4.1	Modbus 通信卡的任务	198
5.4.2	Modbus 通信系统上位机软件设计及实现	200
5.5	Modbus 通信系统调试及测试	202
5.5.1	PC 程序调试	202
5.5.2	Modbus 通信卡的调试	203
5.5.3	Modbus 通信系统的现场测试	204
	思考题与习题	205
第 6 章	DeviceNet-Modbus 现场总线协议转换器	206
6.1	开发协议转换器的必要性	206
6.2	DeviceNet 协议和 Modbus 协议转换原理	207
6.2.1	现场总线网络互联技术	207
6.2.2	DeviceNet 与 Modbus 协议实现方案	208
6.3	协议转换器的硬件电路设计及实现	209

6.3.1	硬件电路结构	209
6.3.2	硬件电路各组成部分的设计说明	210
6.4	协议转换器的软件设计及实现	213
6.4.1	软件整体设计思路及主程序设计	213
6.4.2	系统初始化	214
6.4.3	重复 MAC ID 检测算法	217
6.4.4	连接的建立	218
6.4.5	DeviceNet 报文的接收	220
6.4.6	DeviceNet 报文的处理	222
6.4.7	DeviceNet 报文的发送	223
6.4.8	Modbus 报文的发送和接收	224
6.4.9	DeviceNet-Modbus 协议转换的实现	224
6.5	协议转换器的一致性测试	227
6.5.1	DeviceNet 产品的一致性测试	227
6.5.2	协议转换器一致性测试的结果	231
	思考题与习题	231
第 7 章	OPC 技术应用	232
7.1	OPC 技术	232
7.1.1	OPC 技术的产生背景及研究现状	232
7.1.2	OPC 技术基础	234
7.1.3	OPC 规范标准	241
7.1.4	OPC 结构及特点	245
7.2	OPC 数据传输的实现	247
7.2.1	同步数据访问方法的实现	248
7.2.2	异步数据访问方法的实现	250
7.2.3	数据订阅方法的实现	263
7.3	OPC 客户端的开发	267
7.3.1	OPC 客户端采用的技术	267
7.3.2	OPC 客户端的总体设计	268
7.3.3	OPC 客户端接收器模块的实现	269
7.3.4	OPC 客户端连接模块的实现	274
7.3.5	OPC 客户端文档/视图结构模块的实现	275
7.4	OPC 服务器的开发	278
7.4.1	OPC 服务器采用的技术	278



7.4.2	开发 OPC 服务器的方法	280
7.4.3	OPC 服务器的总体设计	281
7.4.4	服务器对象的实现	286
7.4.5	组对象的实现	292
7.4.6	项对象的实现	297
7.4.7	I/O DLL 驱动的实现	297
7.4.8	数据采集部分的实现	298
7.4.9	OPC 服务器自注册功能的实现	301
7.4.10	基于 Modbus 协议的 OPC 服务器应用实例	304
7.5	调试结果及其分析	305
7.5.1	对 Server 对象的测试	305
7.5.2	对 Group 对象的测试	307
7.5.3	多个 OPC 客户端与 OPC 服务器相互通信的测试	308
7.6	OPC 技术的应用	309
7.6.1	OPC 客户端与 OPC 服务器的通信过程	309
7.6.2	OPC 技术在以太网监控系统中的应用	314
	思考题与习题	319
第 8 章	智能断路器的远程监控系统	320
8.1	断路器远程监控实现的技术基础	320
8.1.1	G 语言编程与虚拟仪器	320
8.1.2	LabVIEW 编程特色	321
8.1.3	设备驱动程序的开发技术	322
8.1.4	串口通信模块	323
8.2	远程监控系统总体设计及硬件组成	324
8.2.1	远程监控系统的总体设计思想	325
8.2.2	系统原理框架设计及芯片选型	326
8.2.3	智能断路器通信模块的硬件设计	326
8.2.4	硬件抗干扰措施	330
8.3	软件设计及实现	331
8.3.1	模块化的软件设计思想	331
8.3.2	主控计算机程序设计	331
8.3.3	CAN 总线节点通信程序设计	334
8.3.4	Modbus 总线从站通信程序设计	338
8.4	通信测试与结果分析	344

8.4.1 Modbus 通信功能测试	344
8.4.2 CAN 通信功能测试	345
8.4.3 上位机软件测试	346
8.4.4 整体测试结果及分析	347
8.4.5 系统误差分析	347
思考题与习题	348
附录 A	349
附录 B	351
附录 C	357
附录 D	363
附录 E	365
附录 F	372
参考文献	375



第1章 绪 论

1.1.2 现场总线的结构特点和技术特点

1. 现场总线的结构特点

现场总线的网络结构是按照国际标准化组织(ISO)制定的开放系统互连(open system interconnection, OSI)参考模型建立的。OSI 参考模型共分 7 层,即物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层,该标准规定了每一层的功能以及对上一层所提供的服务。从 OSI 模型的角度来看,现场总线将上述 7 层简化成 3 层,分别由 OSI 参考模式的第 1 层(物理层)、第 2 层(数据链路层)和第 7 层(应用层)组成,如图 1.1 所示。

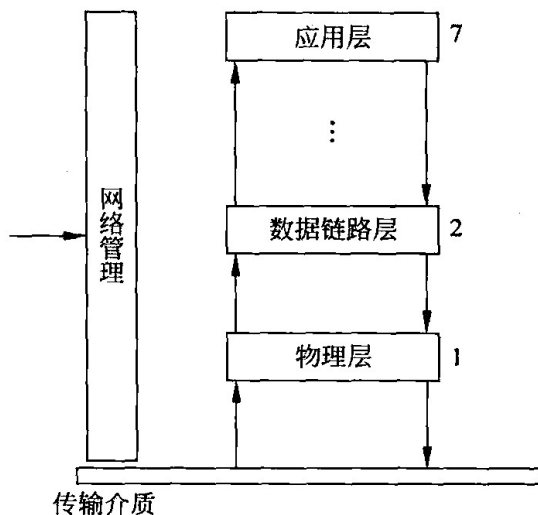


图 1.1 现场总线的结构

现场总线的主要特点是使底层的控制部件、设备更加智能化,把在传统的集散控制系统(distributed control system, DCS)中的控制功能下移到现场仪表。在此,现场总线的网络通信起了重要的作用。现场总线结构模型现统一为 4 层,即物理层、数据链路层、应用层和用户层。省略了一般网络结构的 3~6 层(网络层、传输层、会话层和表示层)。

现场总线系统打破了传统控制系统的结构形式。传统模拟控制系统采用一对一的设备联机方式,按控制回路分别进行连接,位于现场的测量变送器与位于控制室的控制器之间,控制器与位于现场的执行器、开关、马达之间均为一对一的物理连接。

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,使现场的测量变送仪表可以向阀门等执行机构直接传送信号,从而控制系统功能能够不依赖控制室的计算机或控制仪表而直接在现场完成,实现了彻底的分散控制。

由于现场总线采用数字信号替代模拟信号,因而可实现在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的功能。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,节约硬件设备费用,节约连接电缆费用与各种安装、维护费用创造了条件。

2. 现场总线的技术特点

现场总线系统在技术上具有以下特点。

(1) 系统的开放性。开放是指对相关标准的一致性和公开性,强调对标准的共识与遵从。一个开放系统,是指它可以与世界上任何遵守相同标准的其他设备或系统连接。通信协议的一致性和公开性,使得各不同厂家的设备之间可实现信息交换。现场总线的开发者就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和考虑,把来自不同供货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) 互操作性与互用性。互操作性是指实现互连设备间、系统间的信息传送与沟通。互用性则意味着不同生产厂家的性能类似的设备可实现相互替换。现场设备的智能化与功能自治性将传感测量、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,仅靠现场设备即可完成自动控制的基本功能,并可随时诊断设备的运行状态。

(3) 系统结构的高度分散性。现场总线已构成了一种新的全分散性控制系统的体系结构,从根本上改变了现行 DCS 集中与分散相结合的集散控制系统体系,简化了系统结构,提高了可靠性。

(4) 对现场环境的适应性。工作在生产现场前端,作为工厂网络底层的现场总线,是专为现场环境而设计的,可支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等,具有较强的抗干扰能力,可采用两线制实现供电与通信,并可满足本征安全防爆要求。

(5) 一对 N 型结构。一对传输线, N 台仪表,双向传输多个信号。这种一对 N 型结构使得接线简单,工程周期短,安装费用低,维护方便。如果要增加现场仪表或现场设备,只需并行挂到电缆上,无需架设新的电线。

(6) 可控状态。操作员在控制室既可以了解现场设备或现场仪表的工作状况,也能对其进行参数调整,还可以预测和寻找事故。现场设备始终处于操作员的远程监视与可控状态下,提高了系统的可靠性、可控性和可维护性。

(7) 互换性。用户可以自由选择不同制造商所提供的性价比最优的现场设备或现场仪表,并将不同品牌的仪表进行互换。即使某台仪表发生故障,换上其他品牌的同类仪表,系统仍能照常工作,实现即接即用。

(8) 统一组态。由于现场设备或现场仪表都引入了功能块的概念,所有制造商都使用相同的功能块,并统一组态方法。这样就使组态非常简单,用户不需要因为现场设备或现场



地位,也使工业以太网技术的研究成为热点。

2. 现场总线的发展趋势

虽然现场总线的标准统一还有种种问题,但现场总线的发展却已经成为了工业自动化领域广为关注的焦点。它的产生促进了现场设备的数字化和网络化,并使现场控制功能更加强大。为了更好地适应工业控制过程,现场总线技术的发展方向体现在以下几个方面。

- 基于现场总线的一次仪表和二次仪表的研制:如采用开放式混合通信协议,HART 协议(highway addressable remote transducer,可寻址远程传感器高速通道的开放通信协议)的优点为可以在局部进行系统升级,并且只涉及需用 HART 智能仪表装置的系统部分。
- 基于现场总线网络设备的软硬件开发:系统的开放性和通信问题是分散控制系统的突出问题,它需要解决不同厂家软、硬件产品能否集中到一个系统的问题,所以在进行网络设备研制时必须遵循某一现场总线接口的统一标准。
- 开放的组态技术研究:目前现场总线系统的组态是比较复杂的,需要组态的参数多,各参数之间的关系比较复杂,如果不是对现场总线非常熟悉,很难将系统设置到最佳状态。所以,研究开放的组态技术也是现场总线的发展趋势。
- 基于现场总线技术的全开放控制系统:自动化系统与设备将朝着现场总线体系结构的方向发展,并且涉及的应用领域十分广阔,几乎覆盖了所有的工程控制领域。
- 控制网络与数据网络的结合:如远程监控系统就是该体系在生产控制领域内的应用之一。现场总线系统接入 Internet 或以太网,在一定的条件下便可通过网络监视并控制这些生产系统和现场设备的运行状况和各种参数。通过网络实现对远程被控对象的监控,可以节省大量的人力、物力和财力。

1.1.4 现场总线的系列产品

现场总线技术自从 20 世纪 80 年代后期诞生以来,经历了 20 多年的发展,国际上出现了一些有代表性的现场总线标准和系列的产品,较流行的有以下几种。

1. 控制器局域网

控制器局域网(controller area network,CAN)最早由德国的博世公司推出,用于汽车内部测量和执行部件之间的数据通信。其总线规范现已被 ISO 国际标准组织制订为国际标准,得到了摩托罗拉、英特尔、飞利浦等许多世界大公司的支持,广泛应用在离散控制领域。CAN 协议也是建立在国际标准组织的开放系统互连模型基础上的。不过,其模型结构只有 3 层,只取 OSI 的物理层、数据链路层和应用层。其信号传输介质为双绞线,通