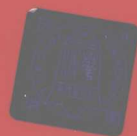


阳宪惠 主编 / 徐用懋 审

现场总线技术及其应用

(第2版)

清华大学出版社



内容简介

本书旨在介绍现场总线技术，全书共分10章，主要内容包括：现场总线技术概述、CAN总线、RS-485总线、Profibus、Lonworks、Modbus、HART、基金会现场总线、工业以太网、工业无线通信、现场总线应用案例等。本书可作为高等院校自动化专业及相关专业的教材，也可供从事现场总线技术的工程技术人员参考。

现场总线技术及其应用

(第2版)

阳宪惠 主编

徐用懋 审

图书在版编目(CIP)数据

现场总线技术及其应用 / 阳宪惠主编. — 北京：清华大学出版社，2008.10
ISBN 978-7-302-18393-2

I. ①现… II. ①阳… III. ①总线—应用 IV. ①TP393.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第151933号

责任编辑：王一波
封面设计：王一波
版式设计：王一波
校对：王一波
责任校对：王一波
责任印制：王一波

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
邮编：100084
电话：(010)62770175

http://www.tup.com.cn

社址：北京清华大学学研大厦A座

社址：北京清华大学学研大厦A座

社址：北京清华大学学研大厦A座

社址：北京清华大学学研大厦A座

社址：北京清华大学学研大厦A座

社址：北京清华大学学研大厦A座

社址：北京清华大学学研大厦A座

社址：北京清华大学学研大厦A座

社址：北京清华大学学研大厦A座

本书如存在文字不清、漏印、错印等，请向清华大学出版社出版部联系。

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书旨在介绍现场总线这一自动控制领域的新技术。全书力图展现现场总线的技术概貌,在介绍计算机网络、通信、开放系统互连参考模型等基础知识的基础上,针对 CAN、FF、PROFIBUS、LonWorks、工业以太网等多种已被列入 ISO、IEC 国际现场总线标准的现场总线技术,较全面地介绍了它们各自的技术特点、通信控制芯片、接口电路设计以及现场总线控制系统和网络系统的设计、应用等。

本书图文并茂,突出与应用技术相关的内容。可作为教材,也可作为技术开发、系统应用工作者的参考书。适合大专院校自动化、仪表专业师生、相关专业的工程技术人员、现场总线系统设计、应用技术人员阅读和参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

现场总线技术及其应用/阳宏惠主编. —2 版. —北京:清华大学出版社,2008.10
ISBN 978-7-302-16993-2

I. 现… II. 阳… III. 总线—技术 IV. TP33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 017161 号

责任编辑:王一玲

责任校对:时翠兰

责任印制:孟凡玉

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:北京四季青印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25.5 字 数:601 千字

版 次:2008 年 10 月第 2 版 印 次:2008 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.80 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:019478-01

前 言

信息技术的飞速发展,导致了自动化领域的深刻变革,正逐渐形成自动化领域的开放通信网络,形成全分布式网络化控制系统。现场总线作为这场深刻变革中的重要技术,已经成为自动控制领域备受关注的技术热点。

作者在追踪国际上现场总线技术发展、从事相关科研课题工作的过程中,收集整理了一些有关现场总线技术的资料。编写本书旨在向读者介绍现场总线开放系统与网络的基础知识、几种主要现场总线的通信协议、技术规范、通信控制芯片、应用电路与应用系统设计等项技术内容。

本书第1版在我国现场总线技术尚刚刚起步的1999年问世。承蒙读者厚爱,至今已11次印刷,发行3万多册。近年来由于现场总线技术本身的快速发展,技术内容在不断更新完善,出现了一些有发展前景的新技术内容,如实时以太网、汽车内部网、短程无线数据通信技术。对现场总线技术及其应用一书提出了新的要求,希望该书能适应技术发展,充实新的内容,促进了第2版的应运面世。希望本书能一如既往,对我国现场总线的技术开发与推广应用起到积极作用。

第2版全书共分10章。是以第1版内容为基础,进行修改、完善、扩充而形成的。第1~5、7、9、10章由阳宪惠编写;第6章由郑州大学侯维岩老师编写,第8章由航天金穗高技术公司徐琳华工程师等编写;重庆英特莱公司万定钦高工对5.8节进行了改编,清华大学杨佃福、邓丽曼、张文学等参加了《现场总线技术及其应用》第1版的编写工作。上述编著者近年来都在从事现场总线技术的研究开发工作,本书是编著者研究成果的集中体现。

本书在第1版和第2版编写的过程中,得到了徐用懋教授、魏庆福总工的悉心指导,徐用懋教授认真审阅了全文,提出了修改意见。在此,特向参加本书编写的单位和个人顺致诚挚的谢意。

由于编者水平有限,现场总线技术还在不断发展之中,本书编写上的缺点和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

阳宪惠
2007年8月于清华园

目 录

第 1 章 现场总线技术概述	1
1.1 现场总线简介	1
1.1.1 什么是现场总线	1
1.1.2 基于现场总线的数据通信系统	3
1.1.3 现场总线控制网络与网络化控制系统	4
1.1.4 现场总线系统适应了综合自动化的发展需要	5
1.1.5 早期的现场总线	6
1.2 现场总线系统的特点	8
1.2.1 现场总线系统的结构特点	8
1.2.2 现场总线系统的技术特点	8
1.2.3 现场总线系统的优势与劣势	9
1.3 以现场总线为基础的企业网络系统	10
1.3.1 企业网络系统的基本组成	10
1.3.2 现场总线系统在企业网络中的地位与作用	11
1.3.3 现场总线系统与上层网络的连接	12
1.4 现场总线技术的标准化	13
第 2 章 数据通信基础	15
2.1 基本术语	15
2.1.1 总线	15
2.1.2 数据通信系统	16
2.1.3 数据通信的发送与接收设备	16
2.1.4 传输介质	17
2.1.5 通信软件	17
2.2 通信系统的性能指标	18
2.2.1 有效性指标	18
2.2.2 可靠性指标	19
2.2.3 通信信道的频率特性	19
2.2.4 信号带宽与介质带宽	20
2.2.5 信噪比对信道容量的影响	21
2.3 数据编码	22

2.3.1	数据编码波形	22
2.3.2	模拟数据编码	25
2.4	数据传输方式	26
2.4.1	串行传输和并行传输	26
2.4.2	同步传输与异步传输	26
2.4.3	位同步、字符同步与帧同步	27
2.5	通信线路的工作方式	28
2.5.1	单工通信	28
2.5.2	半双工通信	28
2.5.3	全双工通信	28
2.6	信号的传输模式	29
2.6.1	基带传输	29
2.6.2	载波传输	29
2.6.3	宽带传输	29
2.7	传输差错及其检测	29
2.7.1	传输差错的类型	29
2.7.2	传输差错的检测	30
2.7.3	循环冗余校验的工作原理	31
2.8	传输差错的校正	33
2.8.1	自动重传	33
2.8.2	前向差错纠正	34
2.8.3	海明码的编码	35
2.8.4	海明码的错误检测与纠正	36
2.8.5	多比特错误的纠正	37
第3章	控制网络基础	38
3.1	控制网络与计算机网络	38
3.2	控制网络的特点	39
3.2.1	控制网络的节点	39
3.2.2	控制网络的任务与工作环境	40
3.2.3	控制网络的实时性要求	41
3.3	网络拓扑	41
3.3.1	环形拓扑	42
3.3.2	星形拓扑	42
3.3.3	总线拓扑	43
3.3.4	树形拓扑	43
3.4	网络的传输介质	43
3.4.1	双绞线	44

3.4.2	同轴电缆	44
3.4.3	光缆	45
3.4.4	无线传输	46
3.5	网络传输介质的访问控制方式	47
3.5.1	载波监听多路访问/冲突检测	47
3.5.2	令牌	48
3.5.3	时分复用	50
3.6	网络互连	51
3.6.1	网络互连的基本概念	51
3.6.2	网络互连规范	51
3.7	网络互连的通信参考模型	52
3.7.1	开放系统互连参考模型	52
3.7.2	OSI 参考模型的功能划分	53
3.7.3	几种典型控制网络的通信模型	54
3.8	网络互连设备	56
3.8.1	中继器	56
3.8.2	网桥	57
3.8.3	路由器	59
3.8.4	网关	60
第4章	CAN 总线与基于 CAN 的控制网络	61
4.1	CAN 通信技术简介	61
4.1.1	CAN 通信的特点	61
4.1.2	CAN 的通信参考模型	62
4.1.3	CAN 信号的位电平	63
4.1.4	CAN 总线与节点的电气连接	63
4.1.5	CAN 节点的电气参数	64
4.2	CAN 报文帧的类型与结构	67
4.2.1	CAN 报文帧的类型	67
4.2.2	数据帧	68
4.2.3	远程帧	71
4.2.4	出错帧	71
4.2.5	超载帧	72
4.2.6	帧间空间	72
4.3	CAN 通信中的几个问题	73
4.3.1	发送器与接收器	73
4.3.2	错误类型与出错界定	73
4.3.3	位定时与同步	75

4.4	CAN 通信控制器	76
4.4.1	CAN 通信控制器 82C200	77
4.4.2	SJA1000CAN 通信控制器	87
4.4.3	Intel 82527 CAN 通信控制器	91
4.4.4	带有 CAN 通信控制器的 CPU	92
4.5	CAN 应用节点的相关器件	96
4.5.1	CAN 总线收发器 82C250	96
4.5.2	CAN 总线 I/O 器件 82C150	98
4.6	基于 CAN 通信的时间触发协议	99
4.6.1	时间触发与通信确定性	99
4.6.2	TT-CAN	100
4.6.3	FTT-CAN	101
4.6.4	TTP/C	101
4.6.5	ByteFlight	102
4.6.6	FlexRay	102
4.6.7	几种时间触发协议的性能比较	103
4.7	CAN 的下层网段——LIN	104
4.7.1	LIN 的主要技术特点	104
4.7.2	LIN 的通信任务与报文帧类型	105
4.7.3	LIN 的报文通信	105
4.7.4	LIN 的应用	108
4.8	基于 CAN 的汽车控制网络——SAE J1939	108
4.8.1	SAE J1939 规范	108
4.8.2	SAE J1939 的物理连接与网络拓扑	109
4.8.3	SAE J1939 报文帧的格式与定义	110
4.8.4	ECU 的设计说明	112
4.8.5	SAE J1939 的多网段与网络管理	115
4.9	汽车电子网络的体系结构	116
4.9.1	网络化是汽车电子系统发展的趋势	116
4.9.2	汽车电子网络的分类	117
4.9.3	汽车电子混合网络	118
第 5 章	基金会现场总线 FF	119
5.1	FF 的主要技术特点	119
5.1.1	FF 是一项完整的控制网络技术	119
5.1.2	通信系统的主要组成部分及其相互关系	120
5.1.3	H1 协议数据的构成与层次	122
5.1.4	FF 通信中的虚拟通信关系	122

5.2	H1 网段的物理连接	124
5.2.1	H1 的物理信号波形	124
5.2.2	H1 的信号编码	125
5.2.3	H1 网段的传输介质与拓扑结构	126
5.3	H1 网段的链路活动调度	128
5.3.1	链路活动调度器 LAS 及其功能	128
5.3.2	通信设备类型	129
5.3.3	链路活动调度器的工作过程	130
5.3.4	链路时间	131
5.4	H1 网段的网络管理	132
5.4.1	网络管理者与网络管理代理	132
5.4.2	网络管理代理的虚拟现场设备	133
5.4.3	通信实体	134
5.5	H1 网段的系统管理	135
5.5.1	系统管理概述	135
5.5.2	系统管理的作用	137
5.5.3	系统管理信息库 SMIB 及其访问	138
5.5.4	SMK 状态	139
5.5.5	系统管理服务 and 作用过程	140
5.5.6	地址与地址分配	143
5.6	FF 的功能块	145
5.6.1	功能块的内部结构与功能块连接	145
5.6.2	功能块中的用户应用块	147
5.6.3	功能块的块参数	149
5.6.4	功能块服务	153
5.6.5	功能块对象字典	154
5.6.6	功能块应用	156
5.7	设备描述与设备描述语言	156
5.7.1	设备描述	156
5.7.2	设备描述的参数分层	157
5.7.3	设备描述语言	157
5.7.4	DD 的开发	159
5.7.5	CFF 文件	161
5.8	FF 通信控制器与网卡	161
5.8.1	FF 的通信控制器 FB3050	161
5.8.2	基于 FB3050 的网卡设计	176
5.9	H1 的网段配置	179
5.9.1	H1 网段的构成	179

5.9.2	网段长度	181
5.9.3	H1 网段的接地、屏蔽与极性	183
第 6 章 PROFIBUS		185
6.1	PROFIBUS 概述	185
6.1.1	PROFIBUS 简介	185
6.1.2	PROFIBUS 的组成	187
6.1.3	PROFIBUS 的通信参考模型	188
6.1.4	PROFIBUS 的主站与从站	189
6.1.5	PROFIBUS 总线访问控制的特点	189
6.2	PROFIBUS 的通信协议	191
6.2.1	PROFIBUS 的物理层及其网络连接	191
6.2.2	PROFIBUS 的数据链路层	195
6.2.3	PROFIBUS 的 MAC 协议	198
6.3	PROFIBUS-DP	199
6.3.1	PROFIBUS-DP V0	200
6.3.2	PROFIBUS-DP 的 GSD 文件	202
6.3.3	PROFIBUS-DP V1	203
6.3.4	PROFIBUS-DP V2	205
6.4	PROFIBUS 站点的开发与实现	209
6.4.1	PROFIBUS 的站点实现	209
6.4.2	PROFIBUS 的从站实现方案	216
6.4.3	PROFIBUS 的主站实现方案	218
6.4.4	PROFIBUS 系统的初始化过程	218
6.4.5	PROFIBUS 系统实现中的常见错误	220
6.4.6	PROFIBUS 的网络监听器	222
6.5	PROFIBUS-PA	223
6.5.1	PROFIBUS-PA 的基本特点	224
6.5.2	PROFIBUS 的 DP/PA 连接接口	224
6.5.3	PROFIBUS-PA 总线的安装	226
第 7 章 工业以太网		229
7.1	工业以太网简介	229
7.1.1	工业以太网与以太网	229
7.1.2	工业以太网的特色技术	231
7.1.3	通信非确定性的缓解措施	233
7.2	以太网的物理连接与帧结构	234
7.2.1	以太网的物理连接	234

7.2.2	以太网的帧结构	235
7.2.3	以太网的通信帧结构与工业数据封装	236
7.3	TCP/IP 协议组	237
7.3.1	TCP/IP 协议组的构成	237
7.3.2	IP 协议	238
7.3.3	用户数据报协议	242
7.3.4	传输控制协议 TCP	242
7.3.5	简单网络管理协议 SNMP	244
7.4	实时以太网	245
7.4.1	几种实时以太网的通信参考模型	245
7.4.2	实时以太网的媒体访问控制	246
7.4.3	IEEE 1588 精确时间同步协议	247
7.5	PROFINET	250
7.5.1	PROFINET 的网络连接	250
7.5.2	IO 设备模型及其数据交换	251
7.5.3	组件模型及其数据交换	257
7.5.4	PROFINET 通信的实时性	259
7.5.5	PROFINET 与其他现场总线系统的集成	261
7.5.6	PROFINET 的 IP 地址管理与数据集成	262
7.6	EtherNet/IP	264
7.6.1	EtherNet/IP 的通信参考模型	264
7.6.2	CIP 的对象与标识	265
7.6.3	EtherNet/IP 的报文种类	266
7.6.4	EtherNet/IP 的技术特点	267
7.7	高速以太网 HSE	267
7.7.1	HSE 的系统结构	267
7.7.2	HSE 与现场设备间的通信	269
7.7.3	HSE 的柔性功能块	269
7.7.4	HSE 的链接设备	270
7.8	嵌入式以太网节点与基于 Web 的远程监控	270
7.8.1	嵌入式以太网节点	270
7.8.2	基于 Web 技术的远程监控	272
第 8 章	LonWorks 控制网络	277
8.1	LonWorks 技术概述及应用系统结构	277
8.1.1	LonWorks 控制网络的基本组成	278
8.1.2	LonWorks 节点	278
8.1.3	路由器	280

8.1.4	LonWorks Internet 连接设备	280
8.1.5	网络管理	281
8.1.6	LonWorks 技术的性能特点	282
8.2	LonWorks 网络中分散式通信控制处理器——神经元芯片	283
8.2.1	处理单元	284
8.2.2	存储器	284
8.2.3	输入输出	285
8.2.4	通信端口	287
8.2.5	时钟系统	289
8.2.6	睡眠-唤醒机制	289
8.2.7	Service Pin	289
8.2.8	Watchdog 定时器	290
8.3	通信	290
8.3.1	双绞线收发器	290
8.3.2	电力线收发器	295
8.3.3	其他类型介质	296
8.3.4	路由器	297
8.4	LonWorks 通信协议——LonTalk	301
8.4.1	LonTalk 协议概述	301
8.4.2	LonTalk 的物理层通信协议	304
8.4.3	LonTalk 协议的网络地址结构及对大网络的支持	305
8.4.4	LonTalk MAC 子层	306
8.4.5	LonTalk 协议的链路层	308
8.4.6	LonTalk 协议的网络层	308
8.4.7	LonTalk 协议的传输层和会话层	308
8.4.8	LonTalk 协议的表示层和应用层	309
8.4.9	LonTalk 协议的网络管理和网络诊断	309
8.4.10	LonTalk 协议的报文服务	309
8.4.11	LonTalk 网络认证	310
8.5	面向对象的编程语言——Neuron C	310
8.5.1	定时器	311
8.5.2	网络变量	311
8.5.3	显式报文	312
8.5.4	调度程序	315
8.5.5	附加功能	315
8.6	LonWorks 的互操作性	315
8.6.1	LonMark 协会	316
8.6.2	收发器和物理信道准则	316

8.6.3	应用程序准则	316
8.7	LonWorks 节点开发工具	320
8.7.1	LonBuilder 多节点开发工具	320
8.7.2	NodeBuilder 节点开发工具	321
8.8	LNS 网络操作系统	322
8.8.1	概述	322
8.8.2	LNS 网络工具	324
8.9	应用系统	325
8.9.1	LonWorks 技术在楼宇自动化抄表系统中的应用	325
8.9.2	LonWorks 技术在炼油厂原油罐区监控系统中的应用	327
8.9.3	LonWorks 在某铝电解厂槽控机中的应用	329
第 9 章	几种控制网络的特色技术	333
9.1	ControlNet	333
9.1.1	并行时间域多路存取	333
9.1.2	ControlNet 的帧结构	333
9.1.3	通信调度的时间分片方法	334
9.1.4	ControlNet 的虚拟令牌	336
9.1.5	ControlNet 的显性报文与隐性报文	336
9.2	WorldFIP	337
9.2.1	WorldFIP 技术简介	337
9.2.2	WorldFIP 通信	337
9.2.3	WorldFIP 的通信控制器	339
9.2.4	新一代 FIP	341
9.3	Interbus 的通信特色	341
9.3.1	Interbus 简介	341
9.3.2	识别周期与数据传输周期	342
9.3.3	Interbus 的数据环单总帧协议	342
9.3.4	Interbus 的总线适配控制板	344
9.4	ASI 控制网络	345
9.4.1	ASI 的网络构成	345
9.4.2	ASI 的主从通信	346
9.4.3	ASI 的报文格式	346
9.4.4	主节点的通信功能	347
9.4.5	从节点的通信接口	348
9.5	DeviceNet	350
9.5.1	DeviceNet 技术简介	350
9.5.2	DeviceNet 的通信参考模型	351

9.5.3	DeviceNet 的物理层和物理媒体	351
9.5.4	DeviceNet 的对象模型	352
9.5.5	DeviceNet 的连接与连接标识	352
9.5.6	DeviceNet 的通信方式	354
9.5.7	DeviceNet 的设备描述	355
9.6	几种总线技术简介	356
9.6.1	SwiftNet	356
9.6.2	HART	357
9.6.3	智能分布式系统 SDS	359
9.6.4	Seriplex 与 CEBUS	360
9.6.5	光总线	361
第 10 章	短程无线数据通信	363
10.1	无线数据通信的标准及其相关技术	363
10.1.1	关于短程无线数据通信	363
10.1.2	无线通信的一组术语	364
10.1.3	无线局域网标准	366
10.2	蓝牙无线微微网	367
10.2.1	蓝牙技术简介	367
10.2.2	蓝牙微微网与主从设备	368
10.2.3	蓝牙协议和应用行规	369
10.2.4	蓝牙设备的通信连接	369
10.2.5	蓝牙设备的状态与状态转移	371
10.2.6	蓝牙的安全管理	372
10.2.7	蓝牙基带控制器芯片 MT1020A	373
10.2.8	蓝牙应用系统	374
10.3	ZigBee 低速短程网	375
10.3.1	ZigBee 的技术特点	375
10.3.2	ZigBee 的通信参考模型	376
10.3.3	ZigBee 的设备类型	379
10.3.4	ZigBee 的网络拓扑	380
10.3.5	ZigBee 的设备地址、寻址与路由	381
10.3.6	ZigBee 的节能与安全	384
10.3.7	ZigBee 通信节点芯片 CC2430	385
10.3.8	ZigBee 的应用系统	388
结束语	控制网络技术的比较与选择	390
主要参考文献		391

第1章 现场总线技术概述

计算机网络、通信与控制技术的发展,导致自动化系统的深刻变革。信息技术正迅速渗透到生产现场的设备层,覆盖从生产车间到企业管理经营的各个方面,沟通从原料供应、生产制造到生产调度、资源规划乃至市场销售的各个环节,逐步形成以控制网络为基础的企业信息系统。现场总线(Fieldbus)就是顺应这一趋势发展起来的新技术。

1.1 现场总线简介

现场总线是当今自动化领域技术发展的热点之一,被誉为自动化领域的计算机局域网。它的出现,将对该领域的技术发展产生重要影响。

1.1.1 什么是现场总线

现场总线原本是指现场设备之间公用的信号传输线。以后又被定义为应用在生产现场,在测量控制设备之间实现双向串行多节点数字通信的技术。随着技术内容的不断发展和更新,现场总线已经成为控制网络技术的代名词。它在离散制造业、流程工业、交通、楼宇、国防、环境保护以及农、林、牧等各行各业的自动化系统中具有广泛的应用前景。

现场总线以测量控制设备作为网络节点,以双绞线等传输介质为纽带,把位于生产现场、具备了数字计算和数字通信能力的测量控制设备连接成网络系统,按公开、规范的通信协议,在多个测量控制设备之间、以及现场设备与远程监控计算机之间,实现数据传输与信息交换,形成适应各种应用需要的自动控制系统。网络把众多分散的计算机连接在一起,使计算机的功能发生了神奇的变化,把人类引入到信息时代。现场总线给自动化领域带来的变化,正如计算机网络给单台计算机带来的变化。它使自控设备连接为控制网络,并与计算机网络沟通连接,使控制网络成为信息网络的重要组成部分。

现场总线技术是在20世纪80年代中期发展起来的。随着微处理器与计算机功能的不断增强,价格急剧降低,计算机与计算机网络系统得到迅速发展。而处于企业生产过程底层的测控自动化系统,由于设备之间采用传统的一对一连线,用电压、电流的模拟信号进行测量控制,或采用自成体系的封闭式的集散系统,难以实现设备之间以及系统与外界之间的信息交换,使自动化系统成为“信息孤岛”。要实现整个企业的信息集成,要实施综合自动化,就要构建运行在生产现场、性能可靠、造价低廉的工厂底层网络,完成现场自动化设备之间的多点数字通信,实现底层现场设备之间、以及生产现场与外界的信息交换。现场总线就是在这种实际需求的驱动下应运而生的。它作为现场设备之间互连的控制网络,沟通了生产过程现场控制设备之间及其与更高控制管理层网络之间的联系,为彻底打

破自动化系统的信息孤岛僵局创造了条件。

现场总线系统既是一个开放的数据通信系统、网络系统,又是一个可以由现场设备实现完整控制功能的全分布控制系统。它作为现场设备之间信息沟通交换的联系纽带,把挂接在总线上、作为网络节点的设备连接为实现各种测量控制功能的自动化系统,实现如PID控制、补偿计算、参数修改、报警、显示、监控、优化及控管一体化的综合自动化功能。这是一项以数字通信、计算机网络、自动控制为主要内容的综合技术。

现场总线控制系统 FCS(Fieldbus Control System)属于网络化控制系统 NCS(Networked Control System)。这是继基地式气动仪表控制系统、电动单元组合式模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统、集散控制系统 DCS 后的新一代控制系统。

20 世纪 50 年代以前,由于当时的生产规模较小,检测控制仪表尚处于发展的初级阶段,所采用的是直接安装在生产设备上、只具备简单测控功能的基地式气动仪表,其信号仅在本仪表内起作用,一般不能传送给别的仪表或系统,即各测控点只能成为封闭状态,无法与外界沟通信息,操作人员只能通过生产现场的巡视,了解生产过程的状况。

随着生产规模的扩大,操作人员需要综合掌握多点的运行参数与信息,需要同时按多点的信息实行操作控制,于是出现了气动、电动系列的单元组合式仪表,出现了集中控制室。生产现场各处的参数通过统一的模拟信号,如 $0.002\sim 0.01\text{MPa}$ 的气压信号, $0\sim 10\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 的直流电流信号, $1\sim 5\text{V}$ 直流电压信号等,送往集中控制室,在控制盘上连接。操作人员可以坐在控制室纵观生产流程各处的状况,可以把各单元仪表的信号按需要组合成复杂控制系统。

由于模拟信号的传递需要一对一的物理连接,信号变化缓慢,提高计算速度与精度的开销、难度都较大,信号传输的抗干扰能力也较差,人们开始寻求用数字信号取代模拟信号,出现了直接数字控制。由于当时的数字计算机技术尚不发达,价格昂贵,人们企图用一台计算机取代控制室的几乎所有仪表盘,出现了集中式数字控制系统。但由于当时数字计算机的可靠性还较差,一旦计算机出现某种故障,就会造成所有控制回路瘫痪、生产停产的严重局面,这种危险集中的系统结构很难为生产过程所接受。

随着计算机可靠性的提高,价格的大幅度下降,出现了数字调节器、可编程控制器 PLC、以及由多个计算机递阶构成的集中分散相结合的集散控制系统,这就是今天正在被许多企业采用的 DCS 系统。在 DCS 系统中,测量变送仪表一般为模拟仪表,它属于模拟数字混合系统。这种系统在功能、性能上较模拟仪表、集中式数字控制系统有了很大进步,可在此基础上实现装置级、车间级的优化控制。但是,在 DCS 系统形成的过程中,由于受计算机系统早期存在的系统封闭缺陷的影响,各厂家的产品自成系统,不同厂家的设备不能互连在一起,难以实现互换与互操作,组成更大范围信息共享的网络系统存在很多困难。

新型的现场总线系统克服了 DCS 系统中采用专用网络所造成的缺陷,把基于封闭、专用的解决方案变成了基于公开化标准化的解决方案,即可以把来自不同厂商而遵守同一协议规范的自动化设备,通过现场总线网络连接成系统,实现综合自动化的各种功能;同时把 DCS 的模拟数字混合系统结构,变成了新型的全分布式网络系统结构。这里的全分布是指把控制功能彻底下放到现场,在生产现场实现 PID 等基本控制功能。

现场总线系统的现场设备在不同程度上都具有数字计算和数字通信能力。这一方面

提高了信号的测量、控制和传输精度,同时为丰富控制信息的内容、实现其远程传送创造了条件。借助现场设备的计算、通信能力,在现场就可进行多种复杂的控制计算,形成真正分散在现场的完整的控制系统,提高了控制系统运行的可靠性。还可借助现场总线控制网络以及与之有通信连接的其他网络,实现异地远程自动控制,如操作远在数百公里之外的电气开关等。还可提供传统仪表所不能提供的如设备资源、阀门开关动作次数、故障诊断等信息,便于操作管理人员更好、更深入地了解生产现场和自控设备的运行状态。

1.1.2 基于现场总线的数据通信系统

基于现场总线的数据通信系统由数据的发送设备、接收设备、作为传输介质的现场总线、传输报文、通信协议等几部分组成。图 1.1 为基于现场总线的数据通信系统的一个简单示例。图中,温度变送器要将生产现场运行的温度测量值传输到监控计算机。这里传输的报文内容为温度测量值,现场温度变送器为发送设备,计算机为接收设备,现场总线为传输介质,通信协议则是事先以软件形式存在于计算机和温度变送器内的一组程序。因此这里的数据通信系统实际上是一个以总线为连接纽带的硬软件结合体。

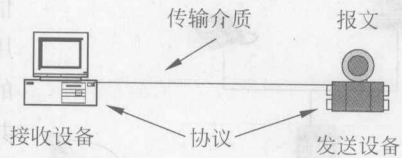


图 1.1 基于现场总线的数据通信系统示例

在基于现场总线的数据通信系统中,所传输的数据是与生产过程密切相关的数值、状态、指令等。如用数字 1 表示管道中阀门的开启,用数字 0 表示阀门的关闭;用数字 1 表示生产过程处于报警状态,数字 0 表示生产过程处于正常状态。表示温度、压力、流量、液位等的数值、控制系统的给定值、PID 参数等都是典型的报文数据。

传统的测量控制系统,从输入设备到控制器,从控制器到输出设备,均采用设备间一对一的连线,即点到点布线,通过电压、电流等模拟信号传送参数值。现场总线系统则采用串行数据通信方式实现众多节点的数据通信,不必在每对通信节点间建立直达线路,而是采用网络的连接形式构建数据通道。串行数据通信最大的优点是经济。两根导线上挂接多个传感器、执行器,具有安装简单、通信方便的优点。这两根实现串行数据通信的导线就称之为总线。采用总线式串行通信为提供更为丰富的控制信息内容创造了条件。总线上除了传输测量控制的状态与数值信息外,还可提供模拟仪表接线所不能提供的参数调整、故障诊断、阀门开关的动作次数等信息,便于操作管理人员更好、更深入地了解生产现场和自控设备的运行状态。

在现场总线系统中,人们通常按通信帧的长短,把数据传输总线分为传感器总线、设备总线和现场总线。传感器总线的通信帧长度只有几个或十几个数据位,属于位级的数据总线,比如后面章节中要讨论的 ASI(Actuator Sensor Interface)总线。设备总线的通信帧长度一般为几个到几十字节,属于字节级的总线。本书中字节一般指具有 8 个数据位的字节。后面章节中要讨论的 CAN(Control Area Network)总线就属于设备总线。现场总线属于数据块级的总线,其通信帧的长度可达几百个字节。当需要传输的数据包更长时,可支持分包传送。现场总线中传输的与控制直接相关的数据帧的长度一般只有几个或几十字节,如后面章节中要讨论的 Foundation Fieldbus、ControlNet、PROFIBUS