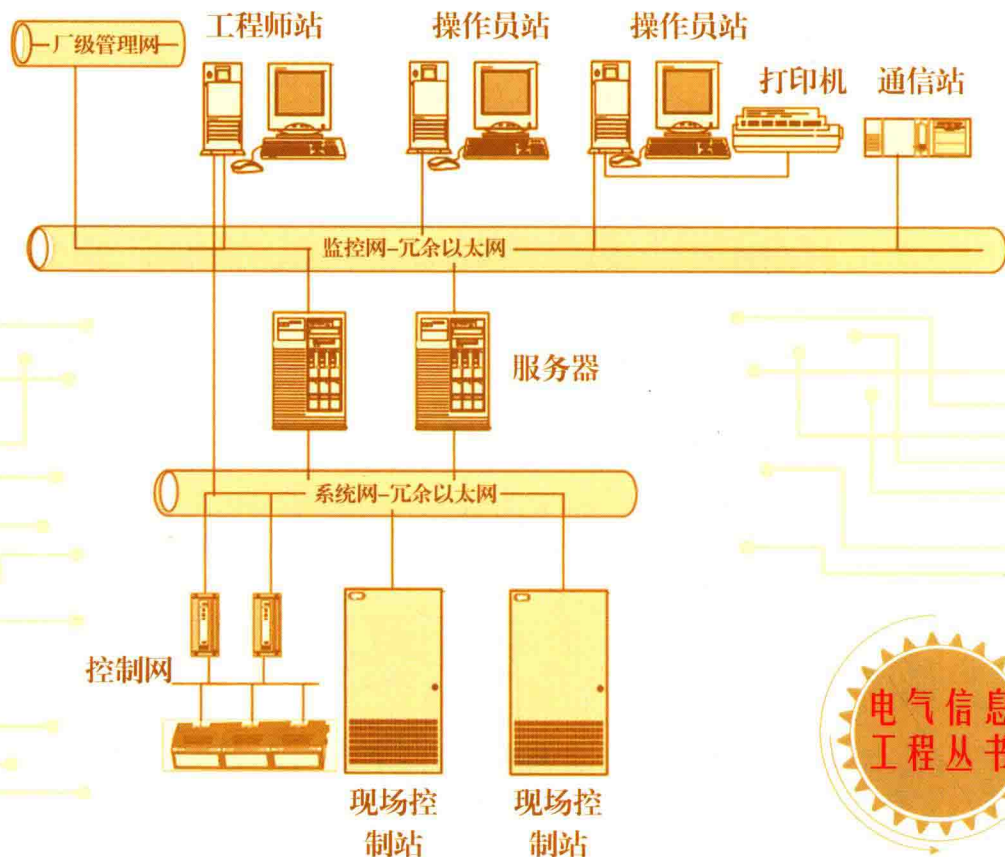




现场总线 及其应用技术

第 2 版

李正军 李潇然 编著



附赠电子教案

<http://www.cmpbook.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电气信息工程丛书

现场总线及其应用技术

第2版

李正军 李潇然 编著



机械工业出版社

本书从科研、教学和工程实际应用出发,理论联系实际,全面系统地介绍了现场总线技术、工业以太网及其应用系统设计,力求所讲内容具有较强的可移植性、先进性、系统性和应用性,起到举一反三的作用。

全书共 11 章,主要内容包括:现场总线与工业以太网概述、网络与通信基础、串行通信与 Modbus - RTU 通信协议、CAN 现场总线与 CANopen、LonWorks 智能控制网络、PROFIBUS 现场总线、基金会现场总线 FF、CC - Link 与 WorldFIP 现场总线、DeviceNet 现场总线、工业以太网及基于现场总线与工业以太网的新型 DCS 的设计。全书内容丰富,体系先进,结构合理,理论与实践相结合,尤其注重工程应用技术。

本书是在作者教学与科研实践经验的基础上,结合二十年现场总线技术的发展编写而成的,书中详细地介绍了作者在现场总线与工业以太网应用领域的最新科研成果,给出了大量的应用设计实例。

本书可作为高等院校自动化、电子与电气工程、计算机应用、信息工程及自动检测等专业的本科生或研究生教材,也可供从事现场总线与工业以太网控制系统设计的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现场总线及其应用技术/李正军,李潇然编著. —2 版. —北京:机械工业出版社,2016. 11

(电气信息工程丛书)

ISBN 978-7-111-55649-7

I. ①现… II. ①李… ②李… III. ①总线-技术 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 302717 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:时 静 责任编辑:时 静

责任校对:张艳霞 责任印制:李 洋

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2017 年 3 月第 2 版·第 1 次

184mm×260mm·36.5 印张·888 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-55649-7

定价:99.00 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) 88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第2版前言

本书是在《现场总线及其应用技术》第1版的基础上修订升级而成的。

现场总线技术经过二十多年的发展,现在已进入稳定发展期。近几年,工业以太网技术的研究与应用得到了迅速的发展。现场总线与工业以太网已经成为计算机测控系统设计中重要的工业控制网络。

本次修订过程中,首次采用了先进的 ARM Cortex - M3 和 M4 嵌入式控制器作为背景机,讲述现场总线与工业以太网控制系统的设计;删除了第1版中较为烦琐或过时的内容与程序清单;增加了对现场总线设备、现场总线仪表圆卡和套件、netX 网络控制器、OPC 技术、Web 技术、CAN 通信转换器的设计以及第1版中没有讲述的现场总线(CANopen、CC-Link 与 WorldFIP)和工业以太网(EtherCAT、SERCOS、Ethernet Powerlink 与 EPA)等内容的讲述,每章后增加了习题。为了教学与科研工程实践的需要,详细讲述了基于现场总线与工业以太网的新型 DCS 的设计。

本书共11章。第1章介绍了现场总线与工业以太网的发展趋势、企业网络信息集成系统、现场总线设备、现场总线仪表圆卡和套件及国内外流行的现场总线与工业以太网;第2章介绍了网络与通信基础,包括 netX 网络控制器、OPC 技术和 Web 技术;第3章介绍了串行通信基础、RS-232 和 RS-485 串行通信接口、CRC 校验方法、Modbus 通信协议及 Modbus 的具体编程方法,以 PMM2000 电力网络仪表为例,详细讲述了 Modbus 通信协议及其应用;第4章详述了 CAN 控制器局域网的技术规范、带并行和串行接口的 CAN 通信控制器、CAN 收发器、CAN 智能测控节点的设计实例、CAN 通信转换器的设计、基于 PCI 总线的 CAN 智能通信适配器及设备驱动程序 WDM 的开发实例、CAN 总线在汽车电子系统中的应用及 CANopen;第5章详述了 LonWorks 智能控制网络,包括 LON 总线与 LonWorks 技术、神经元芯片及其应用 I/O、LonTalk 协议、面向对象的编程语言 Neuron C、LonMark 互操作性、LonWorks 开发工具、LonWorks 智能节点及 Host-Base 结构节点的开发实例、基于 PCI 总线的 LON 智能通信适配器的设计;第6章详述了 PROFIBUS 通信协议、PROFIBUS 通信控制器 SPC3 和 ASPC2 及网络接口卡、PROFIBUS-DP 从站智能节点的设计实例、PROFIBUS 开发包 EKIT-4 的应用,介绍了 PROFINet 技术和 PROFIBUS 控制系统的集成技术,最后讲述了基于嵌入式通信模块 COM-C 的 PROFIBUS-DP 主站系统设计;第7章介绍了 FF 基金会现场总线,包括 FF 的物理层和数据链路层、FF 现场总线访问子层 FAS、现场总线报文规范层 FMS、系统管理、设备描述、FF 通信适配器 FB3050、典型功能块及其应用;第8章讲述了 CC-Link 与 WorldFIP 现场总线;第9章详述了 DeviceNet 现场总线,包括 DeviceNet 的概述、DeviceNet 的物理层和通信协议、DeviceNet 的通信对象和设备描述、DeviceNet 节点的开发;第10章讲述了 EtherCAT、SERCOS、Ethernet Powerlink 和 EPA 工业以太网;第11章根据编者承担的国家重点科研公关课题的最新研究成果,详细讲述了基于现场总线与工业以太网的新型 DCS 的设计,包括新型 DCS 控制系统概述、现场控制站的组成、

新型 DCS 通信网络、新型 DCS 控制卡的硬件设计、新型 DCS 控制卡的软件设计、控制算法的设计和模拟量输入输出、热电偶输入、热电阻输入、数字量输入输出和脉冲量各种测控板卡的设计技术。

本书是作者科研实践和教学的总结，许多实例均是取自作者二十年来的现场总线与工业以太网科研攻关课题。对本书中所引用的参考文献的作者，在此一并向他们表示真诚的感谢。由于编者水平有限，加上时间仓促，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者不吝指正。

编 者

第 1 版前言

现场总线技术是自动化领域发展的热点，是用于现场仪表与控制系统和控制室之间的一种全分散、全数字化、智能、双向、互联、多变量、多点、多站的串行通信系统，被誉为自动化领域的局域网，它是计算机技术、通信技术、控制技术的集成。

现场总线控制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物理连接，而现场总线控制系统 FCS 是继基地式仪表控制系统、电动气动单元组合仪表模拟控制系统、直接数字控制系统 DDC、集散控制系统 DCS 之后的新一代智能控制系统。它把单个分散的测量控制设备变成网络节点，以现场总线为纽带，把每个网络节点连接成可以相互沟通信息、共同完成自控任务的网络系统和控制系统。现场总线中的传感器、变送器、执行机构均置入了微控制器，使它们具备了数字计算和数字通信的能力，信息的传输不依赖于控制室内的计算机或控制仪表，直接在现场中的各网络节点完成，实现了彻底的分散，有力地推动了测控系统向数字化、网络化、智能化方向发展。

本来发展现场总线的初衷是建立开放的控制通信网络，其通信协议理应趋于统一，但由于历史原因，已有众多公司与技术部门在开发现场总线与产品方面投入了大量的人力与财力，至今在不同领域形成的现场总线已有几十种，在特定的领域内已得到广泛的应用。然而，进入 IEC 标准的现场总线只有 8 种，本书着重介绍国内外常用的几种现场总线及其应用技术。本书的宗旨是实行资料开放和手册化，把现场总线的应用实例力求详尽地介绍给读者，关于计算机测控系统设计方面的技术，请读者参考已经由机械工业出版社出版的作者编著的另一部著作《计算机测控系统设计与应用》。

本书共 8 章。第 1 章介绍了现场总线的发展趋势及国内外流行的现场总线；第 2 章介绍了数据通信基础与网络互联及现场总线通信模型；第 3 章介绍了串行通信基础、RS-232 和 RS-485 串行通信接口、CRC 校验方法、Modbus 通信协议及 Modbus 的具体编程方法；第 4 章详述了 CAN 控制器局域网的技术规范、CAN 通信控制器、CAN 收发器、内嵌 CAN 的微控制器、CAN 智能测控节点的设计实例、基于 PCI 总线的 CAN 智能通信适配器及设备驱动程序 WDM 的开发实例；第 5 章详述了 LonWorks 智能控制网络，包括 LON 总线与 LonWorks 技术、神经元芯片及应用 I/O、LonTalk 协议、面向对象的编程语言 Neuron C、LonMark 互操作性、LonWorks 开发工具、LonWorks 智能节点及 Host-Base 结构节点的开发实例、基于 PCI 总线的 LON 智能通信适配器的设计；第 6 章详述了 PROFIBUS 通信协议、PROFIBUS 通信控制器 SPC3 和 ASPC2 及网络接口卡、PROFIBUS-DP 从站智能节点的设计实例、PROFIBUS 开发包 EKIT-4 的应用，最后介绍了 PROFINet 技术和 PROFIBUS 控制系统的集成技术；第 7 章介绍了 FF 基金会现场总线，包括 FF 的物理层和数据链路层、FF 现场总线访问子层 FAS、现场总线报文规范层 FMS、系统管理、设备描述、FF 通信适配器 FB3050、典型功能块及其应用；第 8 章详述了 DeviceNet 现场总线，包括 DeviceNet 的概述、DeviceNet 的物理层和通信协议、DeviceNet 的通信对象和设备描述、DeviceNet 节点的开发，最后介绍了工业以太网技术。

本书是作者教学和科研实践的总结，许多实例均是取自作者近几年的现场总线科研攻关课题。在编写过程中得到了机械工业出版社的大力支持，同时得到了山东大学控制科学与工程学院的领导和同事们的支持。我的学生张强、王朝霞、罗永刚、韩英昆、梁玮、周旭、杨洪军、韩修恒、薛凌燕等同学协助我做了书稿的校对工作，并绘制了全部插图。对本书中所引用的参考文献的作者，在此一并向他们表示真诚的感谢。由于编者水平有限，加上时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者不吝指正。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 现场总线与工业以太网概述..... 1

1.1 现场总线的现状与发展 1

1.1.1 现场总线的产生..... 1

1.1.2 现场总线的本质..... 2

1.1.3 现场总线的特点和优点 3

1.1.4 现场总线标准的制定 5

1.1.5 现场总线的现状..... 6

1.1.6 现场总线网络的实现 7

1.1.7 现场总线技术的发展趋势 8

1.2 工业以太网的产生与发展 9

1.2.1 以太网引入工业控制领域的 技术优势 9

1.2.2 工业以太网与实时以太网..... 11

1.2.3 IEC 61784-2 标准 11

1.2.4 工业以太网技术的发展现状 13

1.2.5 工业以太网技术的发展 趋势与前景 15

1.3 企业网络信息集成系统..... 18

1.3.1 企业网络信息集成系统的 层次结构..... 18

1.3.2 现场总线的作用 21

1.3.3 现场总线与上层网络的互联 22

1.3.4 现场总线网络集成应考虑 的因素 23

1.4 现场总线设备..... 23

1.4.1 现场总线设备的分类与特点 24

1.4.2 现场总线差压变送器 25

1.4.3 现场总线温度变送器 26

1.4.4 现场总线阀门定位器 27

1.4.5 现场总线电动执行器 28

1.4.6 现场总线-气压转换器 29

1.4.7 电流-现场总线转换器 29

1.4.8 现场总线-电流转换器 30

1.4.9 现场总线接口类设备 30

1.4.10 现场总线仪表圆卡 30

1.5 现场总线简介..... 31

1.5.1 基金会现场总线 (FF) 31

1.5.2 CAN 32

1.5.3 DeviceNet 32

1.5.4 LonWorks 34

1.5.5 PROFIBUS 35

1.5.6 HART 35

1.5.7 INTERBUS 36

1.5.8 CC-Link 37

1.5.9 ControlNet 41

1.5.10 WorldFIP 44

1.5.11 P-Net 45

1.5.12 SwiftNet 45

1.5.13 AS-i 45

1.5.14 RS-485 46

1.6 工业以太网简介..... 46

1.6.1 工业以太网的主要标准 46

1.6.2 IDA 47

1.6.3 Ethernet/IP 48

1.6.4 EtherCAT 49

1.6.5 Ethernet Powerlink 50

1.6.6 PROFINET 51

1.6.7 HSE 56

1.6.8 EPA 57

习题 57

第2章 网络与通信基础 58

2.1 数据通信基础..... 58

2.1.1 基本概念..... 58

2.1.2 通信系统的组成 60

2.1.3 数据编码..... 61

2.1.4 通信系统的性能指标 62

2.1.5 信号的传输模式 66

2.1.6 局域网及其拓扑结构	67	2.8 ARM 处理器	98
2.1.7 网络传输介质	68	2.8.1 ARM 处理器概述	98
2.1.8 介质访问控制方式	70	2.8.2 ARM 体系架构的版本	98
2.1.9 CRC 校验	71	2.8.3 ARM 处理器的分类	99
2.2 现场控制网络	72	2.9 网络操作系统与工控 组态软件	101
2.2.1 现场控制网络的节点	73	2.9.1 Windows 操作系统	101
2.2.2 现场控制网络的任务	74	2.9.2 Netware	101
2.2.3 现场控制网络的实时性	74	2.9.3 Windows CE	101
2.3 网络硬件	75	2.9.4 VxWorks	101
2.3.1 网络传输技术	75	2.9.5 μ C/OS-II	101
2.3.2 局域网	76	2.9.6 Linux	102
2.3.3 城域网	77	2.9.7 工控组态软件	102
2.3.4 广域网	77	2.10 OPC 技术	102
2.3.5 无线网	77	2.10.1 OPC 技术概述	102
2.3.6 互联网	77	2.10.2 OPC 关键技术	103
2.4 网络互联	78	2.10.3 OPC DA 规范	104
2.4.1 基本概念	78	2.10.4 工业控制领域中的 OPC 应用实例	106
2.4.2 网络互联规范	78	2.11 Web 技术	107
2.4.3 网络互联操作系统	78	2.11.1 Web 技术概述	107
2.4.4 现场控制网络互联	79	2.11.2 Web 服务端技术	108
2.5 网络互联设备	79	2.11.3 Web 客户端技术	109
2.5.1 中继器	79	2.11.4 SCADA 系统中的 Web 应用 方案设计	109
2.5.2 网桥	80	习题	110
2.5.3 网关	81	第3章 串行通信与 Modbus-RTU	
2.5.4 路由器	81	通信协议	112
2.6 通信参考模型	81	3.1 串行通信基础	112
2.6.1 OSI 参考模型	81	3.1.1 串行异步通信数据格式	112
2.6.2 TCP/IP 参考模型	85	3.1.2 连接握手	113
2.6.3 OSI 参考模型和 TCP/IP 参考 模型的比较	87	3.1.3 确认	113
2.6.4 现场总线的通信模型	88	3.1.4 中断	113
2.7 netX 网络控制器	90	3.1.5 轮询	114
2.7.1 netX 系列网络控制器	90	3.1.6 差错检验	114
2.7.2 netX 系列网络控制器的 软件结构	92	3.2 RS-232C 串行通信接口	115
2.7.3 netX 可用的协议堆栈	93	3.2.1 RS-232C 端子	115
2.7.4 基于 netX 网络控制器的 产品分类	94	3.2.2 通信接口的连接	116
2.7.5 开发工具和测试板	97	3.2.3 RS-232C 电平转换器	117
2.7.6 设计服务	97	3.3 RS-485 串行通信接口	117
2.7.7 价格模式	97	3.3.1 RS-485 接口标准	117

3.3.2 RS-485 收发器	118	4.3.1 MCP2515 概述	169
3.3.3 应用电路	119	4.3.2 MCP2515 的功能	170
3.3.4 RS-485 网络互联	119	4.4 CAN 总线收发器	171
3.4 USB 接口	121	4.4.1 CAN 总线收发器概述	171
3.4.1 USB 接口的定义	121	4.4.2 PCA82C250/251CAN 总线收发器	171
3.4.2 USB 接口的特点	122	4.4.3 TJA1050 CAN 总线收发器	174
3.4.3 USB 接口的应用	122	4.4.4 TJA1051 CAN 总线收发器	176
3.5 Modbus 通信协议	122	4.4.5 NCV7356 CAN 总线单线收发器	176
3.5.1 Modbus 通信协议概述	122	4.4.6 AMIS-30660 CAN 总线收发器	178
3.5.2 两种传输方式	123	4.4.7 AMIS-30663 CAN 总线收发器	179
3.5.3 Modbus 消息帧	124	4.4.8 AMIS-42700 双高速 CAN 总线收发器	180
3.5.4 错误检测方法	127	4.5 CAN 总线应用节点设计	181
3.5.5 Modbus 的编程方法	131	4.5.1 硬件电路设计	181
3.6 PMM2000 电力网络仪表及其应用	132	4.5.2 程序设计	182
3.6.1 PMM2000 电力网络仪表概述	132	4.6 基于 PCI 总线的 CAN 智能网络通信适配器的设计	194
3.6.2 PMM2000 电力网络仪表 Modbus-RTU 通信协议	133	4.6.1 SCADA 系统结构	194
3.6.3 PMM2000 电力网络仪表在数字化变电站中的应用	138	4.6.2 PCI 总线概述	196
习题	139	4.6.3 PCI 控制器 CY7C09449PV	198
第 4 章 CAN 现场总线与 CANopen	141	4.6.4 CAN 智能网络通信适配器的设计	202
4.1 CAN 的技术规范	141	4.7 CAN 智能节点的设计	214
4.1.1 CAN 的基本概念	142	4.7.1 CAN 智能测控节点的一般结构	214
4.1.2 CAN 的分层结构	143	4.7.2 FBCAN-8DI 八路数字量输入智能节点的设计	215
4.1.3 报文传送和帧结构	144	4.8 CAN 通信转换器的设计	217
4.1.4 错误类型和界定	150	4.8.1 CAN 通信转换器概述	217
4.1.5 位定时与同步的基本概念	151	4.8.2 CAN 通信转换器微控制器主电路的设计	218
4.1.6 CAN 总线的位数值表示与通信距离	153	4.8.3 CAN 通信转换器 UART 驱动电路的设计	219
4.2 CAN 通信控制器 SJA1000	153	4.8.4 CAN 通信转换器 CAN 总线隔离驱动电路的设计	219
4.2.1 SJA1000 内部结构	154	4.8.5 CAN 通信转换器 USB 接口电路的设计	220
4.2.2 SJA1000 引脚介绍	155	4.9 CAN 总线在汽车电子系统中的	
4.2.3 SJA1000 应用说明	156		
4.2.4 BasicCAN 功能说明	157		
4.2.5 PeliCAN 功能说明	163		
4.2.6 BasicCAN 和 PeliCAN 的公用寄存器	165		
4.3 带 SPI 接口的 CAN 通信控制器 MCP2515	169		

应用	220	5.6.4 显式报文	272
4.9.1 应用概述	220	5.7 LonWorks 开发工具	273
4.9.2 汽车 CAN 总线设计方案	220	5.7.1 LonBuilder 开发工具	273
4.10 CANopen	221	5.7.2 NodeBuilder 节点开发工具	276
4.10.1 CANopen 通信和设备模型	221	5.7.3 第三代 LNS 网络工具	276
4.10.2 CANopen 物理层	222	5.7.4 i. LON LonWorks 互联网 连接设备	277
4.10.3 CANopen 应用层	223	5.8 基于控制模块的 LonWorks 应用 节点开发	277
4.10.4 CANopen 设备子协议	226	5.8.1 控制模块	278
4.10.5 CANopen 设备与网络	228	5.8.2 基于控制模块的节点开 发实例	279
习题	230	5.9 基于 PCI 总线的 LON 网络智能 适配器	284
第 5 章 LonWorks 智能控制网络	231	5.9.1 系统功能	284
5.1 LonWorks 智能控制网络 概述	231	5.9.2 总体设计	284
5.2 神经元芯片	232	5.9.3 CPLD 译码	288
5.2.1 神经元芯片概述	232	5.10 Host - Base 结构节点的设计	289
5.2.2 神经元芯片 TMPN3150B1AF	234	5.10.1 Host - Base 结构节点的 硬件设计	289
5.2.3 网络通信端口	239	5.10.2 Host - Base 结构节点的 软件设计	291
5.2.4 收发器	241	习题	293
5.3 神经元芯片应用 I/O	250	第 6 章 PROFIBUS 现场总线	294
5.3.1 I/O 时序	251	6.1 PROFIBUS 概述	294
5.3.2 直接 I/O 对象	252	6.2 PROFIBUS 的协议结构	295
5.3.3 串行 I/O 对象	255	6.2.1 PROFIBUS - DP 的协议结构	297
5.3.4 定时器/计数器 I/O 对象	256	6.2.2 PROFIBUS - FMS 的 协议结构	297
5.4 LonWorks 智能控制网络的 组成	257	6.2.3 PROFIBUS - PA 的协议结构	297
5.4.1 LonWorks 智能控制网络结构	257	6.3 PROFIBUS - DP 现场总线 系统	297
5.4.2 LonWorks 的技术支持	259	6.3.1 PROFIBUS - DP 的三个版本	298
5.5 LonTalk 通信协议与 LonMark 对象	260	6.3.2 PROFIBUS - DP 系统组成和 总线访问控制	301
5.5.1 LonTalk 协议介绍	260	6.3.3 PROFIBUS - DP 系统工作 过程	304
5.5.2 LonTalk 提供的服务	262	6.4 PROFIBUS - DP 的通信模型	307
5.5.3 介质访问控制和 MAC 层协议	266	6.4.1 PROFIBUS - DP 的物理层	307
5.5.4 LonTalk 协议的链路层及 网络层	268	6.4.2 PROFIBUS - DP 的数据链 路层 (FDL)	309
5.5.5 LonTalk 高层协议	269		
5.5.6 LonMark 对象	270		
5.6 Neuron C——面向对象的 编程语言	271		
5.6.1 Neuron C 概述	271		
5.6.2 Neuron C 编程	271		
5.6.3 网络变量	272		

6.4.3	PROFIBUS - DP 的用户层	317	6.10.3	软件使用	358
6.4.4	PROFIBUS - DP 用户接口	318	6.11	PROFIBUS - DP 从站的 开发	360
6.5	PROFIBUS - DP 的总线设备 类型和数据通信	320	6.11.1	硬件电路	360
6.5.1	PROFIBUS - DP 总线设备与 数据通信概述	320	6.11.2	软件开发	361
6.5.2	DP 设备类型	322	6.12	PROFIBUS - DP 从站智能 节点的设计	361
6.5.3	DP 设备之间的数据通信	322	6.12.1	PROFIBUS - DP 从站智能测 控节点的一般结构	361
6.5.4	PROFIBUS - DP 循环	325	6.12.2	FBPRO - 8DO 八路数字量输出 智能节点的设计	362
6.5.5	采用交叉通信的数据交换	327	6.12.3	FBPRO - 8DO 从站的 GSD 文件	363
6.5.6	设备数据库文件 (GSD)	327	6.12.4	PROFIBUS - DP 上位机通信 程序设计	364
6.6	PROFIBUS 传输技术	328	6.12.5	PROFIBUS - DP 从站的 测试过程	369
6.6.1	DP/FMS 的 RS - 485 传输技术和 安装要点	328	6.13	PROFINet 技术	373
6.6.2	PA 的 IEC1158 - 2 传输技术和 安装要点	329	6.13.1	PROFINet 部件模型	373
6.6.3	光纤传输技术	330	6.13.2	PROFINet 运行期	375
6.7	PROFIBUS 总线存取协议	330	6.13.3	PROFINet 的网络结构	376
6.7.1	PROFIBUS - DP	331	6.13.4	PROFINet 与 OPC 的 数据交换	377
6.7.2	PROFIBUS - PA	333	6.14	PROFIBUS 控制系统的 集成技术	378
6.7.3	PROFIBUS - FMS	335	6.14.1	PROFIBUS 控制系统的构成	378
6.8	从站通信控制器 SPC3	336	6.14.2	PROFIBUS 控制系统的配置	378
6.8.1	ASICs 介绍	336	6.14.3	PROFIBUS 系统配置中的 设备选型	379
6.8.2	功能简介	336	6.15	基于嵌入式通信模块 COM - C 的 PROFIBUS - DP 主站系统 设计	388
6.8.3	引脚说明	337	6.15.1	PROFIBUS - DP 主站系统 设计方案	388
6.8.4	存储器分配	339	6.15.2	基于嵌入式通信模块 COM - C 的 DP 主站硬件设计	388
6.8.5	ASIC 接口	342	6.15.3	基于嵌入式通信模块 COM - C 的 DP 主站软件设计	389
6.8.6	PROFIBUS - DP 接口	348	6.15.4	PROFIBUS - DP 主站模块在新型 DCS 系统中的应用	391
6.8.7	通用处理器总线接口	349	习题		392
6.8.8	UART	351	第 7 章	基金会现场总线 FF	393
6.8.9	PROFIBUS 接口	351			
6.9	主站通信控制器 ASPC2 与 网络接口卡	352			
6.9.1	ASPC2 介绍	352			
6.9.2	CP5611 网络接口卡	353			
6.9.3	CP5613 网络接口卡	354			
6.9.4	CP5511/5512 网络接口卡	354			
6.10	PROFIBUS - DP 开发包 4	354			
6.10.1	开发包 4 (PACKAGE 4) 的 组成	355			
6.10.2	硬件安装	358			

7.1 基金会现场总线 FF	393	8.2 WorldFIP 现场总线	446
7.1.1 基金会现场总线 FF 的 主要技术	393	8.2.1 WorldFIP 现场总线概述	446
7.1.2 通信系统的组成及其 相互关系	395	8.2.2 WorldFIP 现场总线技术的 体系结构	448
7.1.3 基金会现场总线的通信模型	397	8.2.3 WorldFIP 现场总线技术的 硬件体系	450
7.1.4 物理层	398	8.2.4 WorldFIP 现场总线技术的 软件体系	451
7.1.5 数据链路层	401	8.2.5 WorldFIP 现场总线技术 开发工具	451
7.1.6 现场总线访问子层	403	习题	453
7.1.7 现场总线报文规范层	407	第9章 DeviceNet 现场总线	454
7.1.8 网络管理	410	9.1 DeviceNet 概述	454
7.1.9 系统管理	411	9.1.1 DeviceNet 的特性	455
7.1.10 FF 通信控制器	413	9.1.2 对象模型	455
7.2 FF 功能块参数	416	9.1.3 DeviceNet 网络及对象模型	457
7.2.1 功能块及参数概述	416	9.2 DeviceNet 连接	459
7.2.2 控制变量的计算	418	9.2.1 DeviceNet 关于 CAN 标识符的使用	459
7.2.3 块模式参数	419	9.2.2 建立连接	460
7.2.4 量程标定参数	420	9.3 DeviceNet 报文协议	461
7.2.5 错误状态和警报	421	9.3.1 显式报文	461
7.3 FF 的功能块库	422	9.3.2 输入输出报文	463
7.3.1 转换块和资源块	422	9.3.3 分段/重组	463
7.3.2 功能块	422	9.3.4 重复 MAC ID 检测协议	464
7.4 FF 的典型功能块	424	9.3.5 设备监测脉冲报文及设备 关闭报文	465
7.4.1 模拟输入功能块 AI	424	9.4 DeviceNet 通信对象分类	465
7.4.2 模拟输出功能块 AO	427	9.5 网络访问状态机制	466
7.4.3 开关量输入功能块 DI	430	9.5.1 网络访问事件矩阵	467
7.4.4 开关量输出功能块 DO	431	9.5.2 重复 MAC ID 检测	468
7.4.5 PID 控制算法功能块 PID	433	9.5.3 预定义主/从连接组	468
7.5 功能块在串级控制设计中的 应用	438	9.6 指示器和配置开关	470
7.5.1 炉温控制系统	438	9.6.1 指示器	470
7.5.2 串级控制功能块连接	439	9.6.2 配置开关	471
7.5.3 功能块参数设置	439	9.6.3 指示器和配置开关的 物理标准	471
习题	440	9.6.4 DeviceNet 连接器图标	472
第8章 CC-Link 与 WorldFIP 现场总线	441	9.7 DeviceNet 的物理层和 传输介质	472
8.1 CC-Link 现场总线	441	9.7.1 DeviceNet 物理层的结构	472
8.1.1 CC-Link 结构及系统配置	441		
8.1.2 CC-Link 通信规范	441		
8.1.3 CC-Link 通信协议	442		
8.1.4 CC-Link 产品的开发	444		

9.7.2 物理层	473	第 11 章 基于现场总线与工业以太网的	
9.7.3 传输介质	474	新型 DCS 的设计	512
9.7.4 网络电源配置	476	11.1 新型 DCS 概述	512
9.8 设备描述	476	11.1.1 通信网络的要求	512
9.8.1 对象模型	477	11.1.2 控制功能的要求	513
9.8.2 I/O 数据格式	478	11.1.3 系统可靠性的要求	513
9.8.3 设备配置	478	11.1.4 其他方面的要求	514
9.8.4 扩展的设备描述	478	11.2 现场控制站的组成	514
9.8.5 设备描述编码机制	479	11.2.1 2 个控制站的 DCS 结构	514
9.9 DeviceNet 节点的开发	480	11.2.2 DCS 测控板卡的类型	515
9.9.1 DeviceNet 节点的开发步骤	480	11.3 新型 DCS 通信网络	516
9.9.2 设备描述的规划	483	11.3.1 以太网实际连接网络	517
9.9.3 设备配置和电子数据		11.3.2 双 CAN 网络	517
文档 (EDS)	484	11.4 新型 DCS 控制卡的硬件	
习题	488	设计	518
第 10 章 工业以太网	489	11.4.1 控制卡的硬件组成	519
10.1 EtherCAT	489	11.4.2 W5100 网络接口芯片	521
10.1.1 EtherCAT 协议概述	489	11.4.3 双机冗余电路的设计	522
10.1.2 EtherCAT 系统组成	490	11.4.4 存储器扩展电路的设计	524
10.1.3 EtherCAT 应用层协议	492	11.5 新型 DCS 控制卡的	
10.1.4 EtherCAT 从站控制芯片	494	软件设计	525
10.1.5 EtherCAT 硬件设计	495	11.5.1 控制卡软件的框架设计	525
10.1.6 EtherCAT 伺服驱动器控制		11.5.2 双机热备程序的设计	526
应用协议	495	11.5.3 CAN 通信程序的设计	529
10.2 SERCOS	496	11.5.4 以太网通信程序的设计	531
10.2.1 SERCOS 概述	496	11.6 控制算法的设计	533
10.2.2 SERCOS 协议	497	11.6.1 控制算法的解析与运行	533
10.2.3 SERCOS III 的接口实现	497	11.6.2 控制算法的存储与恢复	536
10.2.4 SERCOS 工业应用	498	11.7 8 通道模拟量输入板卡 (8AI) 的	
10.3 Ethernet Powerlink	498	设计	537
10.3.1 POWERLINK 的原理	498	11.7.1 8 通道模拟量输入板卡的	
10.3.2 POWERLINK 网络拓扑结构	500	功能概述	537
10.3.3 POWERLINK 的实现方案	500	11.7.2 8 通道模拟量输入板卡的	
10.3.4 POWERLINK 的应用层	502	硬件组成	538
10.3.5 POWERLINK 在运动控制和过程		11.7.3 8 通道模拟量输入板卡微控制器	
控制的应用案例	503	主电路的设计	539
10.4 EPA	503	11.7.4 8 通道模拟量输入板卡的测量	
10.4.1 EPA 概述	503	与断线检测电路设计	540
10.4.2 EPA 技术原理	505	11.7.5 8 通道模拟量输入板卡信号调理	
10.4.3 基于 EPA 的技术开发	508	与通道切换电路的设计	541
习题	511	11.7.6 8 通道模拟量输入板卡的	

程序设计	542	(16DI) 的设计	555
11.8 8 通道热电偶输入板卡		11.11.1 16 通道数字量输入板卡的	
(8TC) 的设计	542	功能概述	555
11.8.1 8 通道热电偶输入板卡的		11.11.2 16 通道数字量输入板卡的	
功能概述	542	硬件组成	556
11.8.2 8 通道热电偶输入板卡的		11.11.3 16 通道数字量输入板卡信号	
硬件组成	543	预处理电路的设计	556
11.8.3 8 通道热电偶输入板卡的测量		11.11.4 16 通道数字量输入板卡信号	
与断线检测电路设计	544	检测电路的设计	557
11.8.4 8 通道热电偶输入板卡的		11.11.5 16 通道数字量输入板卡的	
程序设计	547	程序设计	559
11.9 8 通道热电阻输入板卡		11.12 16 通道数字量输出板卡	
(8RTD) 的设计	547	(16DO) 的设计	559
11.9.1 8 通道热电阻输入板卡的		11.12.1 16 通道数字量输出板卡的	
功能概述	547	功能概述	559
11.9.2 8 通道热电阻输入板卡的		11.12.2 16 通道数字量输出板卡的	
硬件组成	548	硬件组成	559
11.9.3 8 通道热电阻输入板卡的测量		11.12.3 16 通道数字量输出板卡开漏极	
与断线检测电路设计	549	输出电路的设计	560
11.9.4 8 通道热电阻输入板卡的		11.12.4 16 通道数字量输出板卡输出	
程序设计	551	自检电路的设计	562
11.10 4 通道模拟量输出板卡		11.12.5 16 通道数字量输出板卡外配	
(4AO) 的设计	551	电压检测电路的设计	563
11.10.1 4 通道模拟量输出板卡的		11.12.6 16 通道数字量输出板卡的	
功能概述	551	程序设计	564
11.10.2 4 通道模拟量输出板卡的		11.13 8 通道脉冲量输入板卡	
硬件组成	552	(8PI) 的设计	564
11.10.3 4 通道模拟量输出板卡的 PWM		11.13.1 8 通道脉冲量输入板卡的	
输出与断线检测电路设计 ..	553	功能概述	564
11.10.4 4 通道模拟量输出板卡自检		11.13.2 8 通道脉冲量输入板卡的	
电路设计	554	硬件组成	564
11.10.5 4 通道模拟量板卡输出		11.13.3 8 通道脉冲量输入板卡的	
算法设计	554	程序设计	565
11.10.6 4 通道模拟量板卡的		习题	565
程序设计	555	参考文献	567
11.11 16 通道数字量输入板卡			

第1章 现场总线与工业以太网概述

1.1 现场总线的现状与发展

现场总线是用于现场仪表与控制系统和控制室之间的一种全分散、全数字化、智能、双向、互联、多变量、多点、多站的通信网络。另外,按照 IEC 对现场总线(Fieldbus)一词的定义,现场总线是一种应用于生产现场,在现场设备之间、现场设备与控制装置之间实行双向、串行、多节点数字通信的技术。这是由 IEC/TC65 负责测量和控制系统数据通信部分国际标准化工作的 SC65/WG6 定义的。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。它作为工业数据通信网络的基础,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。它不仅是一个基层网络,而且还是一种开放式、新型全分布式控制系统。这项以智能传感、控制、计算机和数据通信为主要内容的综合技术,已受到世界范围的关注而成为自动化技术发展的热点,并将引起自动化系统结构与设备的深刻变革。

1.1.1 现场总线的产生

在过程控制领域中,从 20 世纪 50 年代至今一直都在使用着一种信号标准,那就是 4 ~ 20 mA 的模拟信号标准。20 世纪 70 年代,数字式计算机引入到测控系统中,而此时的计算机提供的是集中式控制处理。20 世纪 80 年代微处理器在控制领域得到应用,微处理器被嵌入到各种仪器设备中,形成了分布式控制系统(DCS)。在分布式控制系统中,各微处理器被指定一组特定任务,通信则由一个带有附属“网关”的专有网络提供,网关的程序大部分是由用户编写的。

随着微处理器的发展和广泛应用,产生了以 IC 代替常规电子线路,以微处理器为核心,实施信息采集、显示、处理、传输及优化控制等功能的智能设备。一些具有专家辅助推断分析与决策能力的数字式智能化仪表产品,其本身具备了诸如自动量程转换、自动调零、自校正和自诊断等功能,还能提供故障诊断、历史信息报告、状态报告和趋势图等功能。通信技术的发展,促使传送数字化信息的网络技术开始广泛应用。与此同时,基于质量分析的维护管理、与安全相关系统的测试的记录、环境监测需求的增加,都要求仪表能在当地处理信息,并在必要时允许被管理和访问,这些也使现场仪表与上级控制系统的通信量大增。另外,从实际应用的角度,控制界也不断在控制精度、可操作性、可维护性、可移植性等方面提出新需求。由此,导致了现场总线的产生。

现场总线就是用于现场智能化装置与控制室自动化系统之间的一个标准化的数字式通信链路,可进行全数字化、双向、多站总线式的信息数字通信,实现相互操作以及数

据共享。现场总线的主要目的是用于控制、报警和事件报告等工作。现场总线通信协议的基本要求是响应速度和操作的可预测性的最优化。现场总线是一个低层次的网络协议，在其之上还允许有上级的监控和管理网络，负责文件传送等工作。现场总线为引入智能现场仪表提供了一个开放平台，基于现场总线的分布式控制系统（FCS），将是继 DCS 后的又一代控制系统。

1.1.2 现场总线的本质

由于标准实质上并未统一，所以对现场总线也有不同的定义。但现场总线的本质含义主要表现在以下 6 个方面。

1. 现场通信网络

用于过程以及制造自动化的现场设备或现场仪表互连的通信网络。

2. 现场设备互连

现场设备或现场仪表是指传感器、变送器和执行器等，这些设备通过一对传输线互连，传输线可以使用双绞线、同轴电缆、光纤和电源线等，并可根据需要因地制宜地选择不同类型的传输介质。

3. 互操作性

现场设备或现场仪表种类繁多，没有任何一家制造商可以提供工厂所需的全部现场设备，所以，互相连接不同制造商的产品是不可避免的。用户不希望为选用不同的产品而在硬件或软件上花很大气力，而希望选用各制造商性能价格比最优的产品，并将其集成在一起，实现“即接即用”；用户希望对不同品牌的现场设备统一组态，构成所需要的控制回路。这些就是现场总线设备互操作性的含义。现场设备互连是基本的要求，只有实现互操作性，用户才能自由地集成 FCS。

4. 分散功能块

FCS 废弃了 DCS 的输入/输出单元和控制站，把 DCS 控制站的功能块分散地分配给现场仪表，从而构成虚拟控制站。例如，流量变送器不仅具有流量信号变换、补偿和累加输入模块，而且有 PID 控制和运算功能块。调节阀的基本功能是信号驱动和执行，还内含输出特性补偿模块，也可以有 PID 控制和运算模块，甚至有阀门特性自检验和自诊断功能。由于功能块分散在多台现场仪表中，并可统一组态，供用户灵活选用各种功能块，构成所需的控制系统，从而实现彻底的分散控制。

5. 通信线供电

通信线供电方式允许现场仪表直接从通信线上摄取能量，对于要求本征安全的低功耗现场仪表，可采用这种供电方式。众所周知，化工、炼油等企业的生产现场有可燃性物质，所有现场设备都必须严格遵循安全防爆标准。现场总线设备也不例外。

6. 开放式互连网络

现场总线为开放式互连网络，它既可与同层网络互连，也可与不同层网络互连，还可以实现网络数据库的共享。不同制造商的网络互连十分简便，用户不必在硬件或软件上花太多气力。通过网络对现场设备和功能块统一组态，把不同厂商的网络及设备融为一体，构成统一的 FCS。