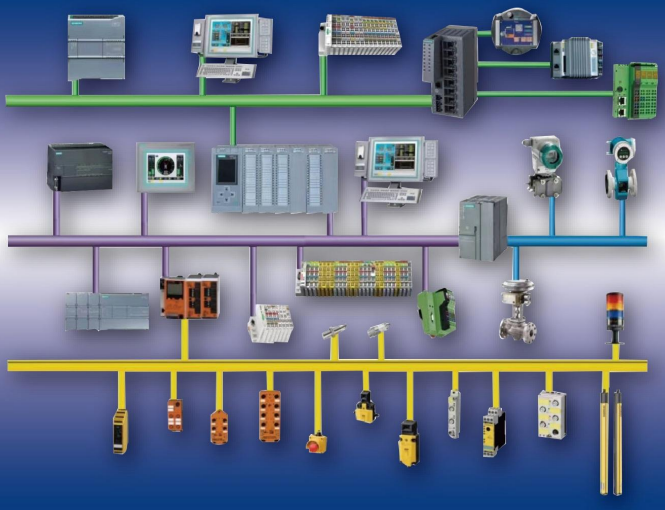
河南省“十四五”普通高等教育规划教材

现场总线技术及应用教程

（第3版）

王永华
江　豪　编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

内容简介

在工业自动化应用技术领域，市场占有率较高的传统现场总线技术和实时以太网技术分别是 PROFIBUS 和 PROFINET。本书以 PROFIBUS 和 PROFINET 为主线，详细讲解了现场总线技术和工业网络的基本概念、工作原理和工程应用。在书的开始，对控制系统以及现场总线技术的发展历程、现场总线技术中使用的工业网络和通信基础知识进行了概括性的介绍；随后重点讲解 PROFIBUS DP/PA 和 PROFINET 的基本原理和具体应用，并在此基础上剖析了 DP - V0/V1 和 PROFINET 的报文细节和帧结构，在重点章节中给出了应用实例；本书最后一章讲解了工业网络应用技术，这是基于作者团队近 20 年的工程实践而编写的。为方便高等院校作为教材使用，全书各章都配有大量的习题和思考题，附录 A 中还配有 7 个实验的指导书。附录 B 中提供了精心编排的 PROFIBUS 常用信息速查表。

本书可作为“现场总线技术及应用”或“工业控制网络技术及应用”课程的教材，使用对象主要是高等院校相关专业的本科生和研究生，以及企业和设计院所的相关工程技术人员。

相隔 12 年后出版的第 3 版既是技术进步的产物，也是作者经过多年教学实践后对相关工业网络知识传授方法的创新总结，更宝贵的是新版教材还集成了团队多年的相关工程经验，加以作者的专业技术知识和深厚的写作功底，相信本书会是一本值得使用的教材和参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

现场总线技术及应用教程 / 王永华，江豪编著. -- 3 版. -- 北京 ：北京航空航天大学出版社，2025.3

ISBN 978 - 7 - 5124 - 4258 - 0

Ⅰ. ①现… Ⅱ. ①王… ②江… Ⅲ. ①总线—技术—教材 Ⅳ. ①TP336

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 241069 号

版权所有，侵权必究。

现场总线技术及应用教程(第 3 版)

王永华　江　豪　编著

策划编辑　董　瑞　　责任编辑　董　瑞

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191)　http://www.buaapress.com.cn

发行部电话：(010)82317024　传真：(010)82328026

读者信箱：goodtextbook@126.com　　邮购电话：(010)82316936

涿州市铭瑞印刷有限公司印装　　各地书店经销

*

开本：787×1 092　1/16　印张：20.75　字数：544 千字

2025 年 3 月第 3 版　2025 年 3 月第 1 次印刷　印数：1 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 4258 - 0　定价：76.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题，请与本社发行部联系调换。联系电话：(010)82317024

前　言

时光如梭，转眼之间本书第 2 版出版发行已经十多年了。其间，现场总线技术的应用和发展日新月异，实时工业以太网技术已占据了主导地位。针对技术的飞速发展，本书必须与时俱进才能保持内容上和应用上的先进性。

现场总线这种“革命性”技术给工业自动化应用技术领域带来了深刻影响，而最新的 IEC 61158 中现场总线技术的类型已扩展到 Type28，实时以太网技术把这场革命再次推向了高潮。如何迎接这场革命，是广大工程技术人员不能回避的问题；对高等院校的老师来说，怎样把新知识及时传授给学生，也是必须要做好的事情。

本书是一本详细讲解 PROFIBUS 技术的现场总线技术及应用教材，第 1 版出版后被 80 多所高等院校选为教材，并受到广大师生的好评。虽然有些院校受实验条件限制而不能很好地开设有关“现场总线技术”方面的课程，但仍有 70 多位老师和作者联系，就“现场总线技术”或“工业控制网络技术”方面的教学、实验室建设进行探讨。作为第一个“中国 PROFIBUS/PROFINET 技术培训中心”和“中国 IEC 61131-3 培训中心”，从 2007—2019 年，为国内（包括台湾地区）的数十家企业、公司和高等院校的 600 多位工程技术人员和老师提供了 PROFIBUS/PROFINET 技术和 IEC 61131-3 的培训服务。

第 3 版既是技术进步的产物，也是作者过去十余年现场总线技术教学和工程实践经验的总结。和第 2 版相比，第 3 版主要有以下几个方面的修订：

- 对全书进行了全面校勘，并更新了有关内容；
- 大幅度更新、整合、删减、增补了 PROFIBUS 技术和 PROFINET 技术相关知识，调整了讲解次序，使之更加符合知识传授规律；
- 删除了旧版中“AS-i 技术及应用”“标准工业控制编程语言 IEC 61131-3”两章；
- “现场总线技术应用综合举例”不再单独成章，而是把相关实例分别放到 PROFIBUS 和 PROFINET 的系统应用章节中。
- 增加了“工业网络技术及工程应用”一章，这是团队多年实际工程经验的总结。

本书结构

本书共三大部分，总共 7 章内容和三个附录。

第一部分：基础知识

本部分包括两章内容。第 1 章结合实例回顾和分析了自动化控制技术的发展历程，介绍了现场总线在工业控制网络结构中的位置和作用；详细介绍了现场总线国际标准 IEC 61158 的产生和发展情况，详细讲解了现场总线技术和工业网络的基本概念。第 2 章高度概括了在现场总线技术中所要用到的网络及通信的基础知识，这些内容即使已经学习过，但重新温习这部分知识对学习现场总线技术也是必要的。

第二部分：核心内容

本部分是本书的重心，包括 5 章内容，围绕 PROFIBUS 和 PROFINET 来讲解现场总线的原理及其应用技术。第 3 章详细介绍了 PROFIBUS 的基础知识、传输技术、安装技术和应

用实例;第 4 章讲解 PROFIBUS 的通信技术,详细剖析 DP-V0/V1 帧结构和报文内容,这是学习 PROFIBUS 深层次技术的宝典;第 5 章讲解了 PROFINET 基础知识、工作原理、安装技术,并给出了工程实例;第 6 章详细讲解了 PROFINET 实时通信技术,先对其物理层/链路层使用的以太网技术和网络层/传输层使用的因特网技术精华进行了概述性讲解,然后详细剖析了 PROFINET 的帧结构;第 7 章讲解了工业网络应用技术,这是我们团队近 20 年相关工程经验的结晶。

第三部分:重要附录

本部分包括三个附录。附录 A 设计了 7 个实验,它们是这门应用性很强的课程必须具备的内容,每个实验都包括实验目的、使用设备及装置、实验内容和实验报告要求等,该部分可为任课教师开设实验提供指导;附录 B 是 PROFIBUS 常用信息速查表,整理了 DP-V0/V1 的几乎所有有用的信息,是 PROFIBUS 学习和使用者的"简明手册";附录 C 是本书所使用的缩略语备查表。

另外,在每一章的最后都有"本章小结",以及丰富的"思考题与练习题"。

如何分配课时和授课内容

本书既可以作为相关专业研究生、本科生的教材,也可以作为电气工程师、自动化工程师、电工等有关技术人员的参考资料和培训教材。层次不同,所需要的授课内容、课时进度和实验项目也会不同,下表给出一些指导性的建议,供授课教师参考。表中的一个课时为 50 分钟,每个实验所使用的课时为两个,实验个数和实验内容请根据实际情况在附录 A 中选择,"思考题与练习题"也可进行适当筛选。

适用层次	第 1 章	第 2 章	第 3 章	第 4 章	第 5 章	第 6 章	第 7 章	实验	总课时
研究生	1	1	2	2	2	2		6	16
本科生	2	2	3	4	3	4	2	12	32
PROFIBUS 技术培训	1	1	6	6				10	24
PROFINET 技术培训	1	1			6	6		10	24

致　谢

首先感谢英国 Manchester Metropolitan University 工程与技术系首席讲师、英国 PROFIBUS 资格中心(PROFIBUS COMPETENCY CENTRE,PCC)Andy Verwer 先生,经过他的允许,本书 PROFIBUS 章节的部分内容是在其培训课程散页讲稿的基础上,经过修改、补充后编写的。2003 年 9 月—2004 年 8 月期间,Andy 为我在英国 PCC 的学习和工作提供了良好的条件和环境。

感谢全国工业过程测量和控制标准化技术委员会工业通信(现场总线)及系统分技术委员会(TC124/SC4)GB/Z《工业通信网络　现场总线规范 类型 10:PROFINET IO 规范》国家标准起草工作组,作为专家组成员之一,我有幸参加了 PROFINET IO 国家标准的起草和转化工作。正是这些相关的第一手资料,才使得本书第 5 章和第 6 章得以顺利完成。

在写作时,本书部分章节个别段落的内容参考了一些已出版的文献,这些文献已在书后的

参考文献中一一列出，在此我向这些文献的作者表示衷心的感谢！

最后我要真诚地感谢我的家人，他们给予我的最无私的爱是我永远前进的强大动力，一想起这些，我就不敢有丝毫的懈怠，而会更加刻苦勤奋地学习和工作。

团队的江豪教授完成了本书第7章的编写工作；河南中烟黄金叶生产制造中心的李秀芳高级工程师提供了行业应用实例；团队研究生完成了部分实验验证工作。

我编著的另一本书《现代电气控制及PLC应用技术(第6版)》在300多所高等院校作为教材使用，该教材于2021年获得河南省首届优秀教材特等奖。我相信以自己多年的写作功底和对现场总线、实时以太网及其前沿技术的深入理解和把握，以及全面的工程应用经验为基础而编写完成的《现场总线技术及应用教程》(第3版)一书，会是一本值得大家使用的教材和参考资料，同时也能为PROFIBUS、PROFINET和工业网络等技术在我国的推广做出应有的贡献。

对于其他电类课程的实验教学环节，在市场上都能找到成套的实验设备和装置，大家买来即可使用。现场总线技术和实时以太网技术的课程则不同，其技术新，实验所用设备及装置比较琐碎，市场上没有合适的成套设备和装置供用户使用。所以对于筹建现场总线技术及应用(或工业控制网络技术)实验室的学校或单位，如果需要，我可提供具体的指导和帮助。

本书花费了我很多时间和心血，虽然经过认真仔细地修改、校对，但由于学术上的局限性和写作过程中的疏漏，肯定还会有不准确的地方出现，欢迎广大的读者指出，以便重印时改正；也欢迎发送邮件就PROFIBUS、PROFINET和工业网络方面的技术问题进行交流和探讨。

① 作者电子信箱：wyh@zzuli.edu.cn。

② 工业控制网络工程中心网站：zzictec.zzuli.edu.cn。

③ 郑州天启自动化系统有限公司网站：tianqiauto.com。

王永华

2024年10月

目　录

第 1 章　现场总线技术概述 …… 1

1.1　工业自动化技术及控制系统的发展历程 …… 1

1.1.1　工业生产过程类型划分 …… 1

1.1.2　工业自动化技术及控制系统发展历程 …… 1

1.2　DCS、PLC 和 FCS 三大控制系统的基本要点和区别 …… 5

1.2.1　三大控制系统的基本要点 …… 6

1.2.2　FCS 与 DCS 的区别 …… 6

1.2.3　PLC、DCS 和 FCS 之间的融合 …… 7

1.3　现场总线的基本概念 …… 7

1.3.1　现场总线技术的产生背景 …… 7

1.3.2　现场总线定义 …… 8

1.3.3　现场总线特点 …… 9

1.3.4　现场总线优点 …… 10

1.4　现场总线国际标准 …… 11

1.4.1　前 3 版标准 …… 11

1.4.2　第 4 版/第 5 版标准 …… 12

1.5　工业网络 …… 14

1.5.1　工业网络定义 …… 14

1.5.2　工业网络结构 …… 15

1.5.3　工业网络各层的组成和作用 …… 16

1.5.4　工业以太网 …… 18

1.5.5　实时工业以太网 …… 19

本章小结 …… 19

思考题与练习题 …… 20

第 2 章　工业网络技术基础 …… 21

2.1　工业网络通信基础 …… 21

2.1.1　工业数据通信概述 …… 21

2.1.2　数据通信基本概念 …… 22

2.1.3　数据编码 …… 23

2.1.4　数据传输 …… 26

2.1.5　差错控制 …… 29

2.2　工业网络物理结构 …… 31

2.2.1 网络传输介质 …… 32
2.2.2 工业网络的主要拓扑结构 …… 33
2.2.3 介质访问控制方式 …… 34
2.3 开放系统互联参考模型及网络互联 …… 36
2.3.1 OSI 参考模型 …… 36
2.3.2 网络互联 …… 41
本章小结 …… 44
思考题与练习题 …… 44
第 3 章 PROFIBUS 系统及应用 …… 45
3.1 PROFIBUS 概述 …… 45
3.1.1 PROFIBUS 的发展 …… 45
3.1.2 PROFIBUS 家族成员 …… 45
3.2 PROFIBUS 基础 …… 47
3.2.1 设备类型 …… 47
3.2.2 网络结构与规模 …… 47
3.2.3 设备地址 …… 48
3.2.4 PROFIBUS 系统工作原理 …… 48
3.3 PROFIBUS DP 安装技术 …… 49
3.3.1 DP 网络接线 …… 50
3.3.2 DP 网络布局及终端电阻使用举例 …… 55
3.3.3 总线系统现场安装规范 …… 56
3.4 PROFIBUS PA 安装技术 …… 58
3.4.1 PA 网段结构 …… 58
3.4.2 PA 网段接线及布局 …… 59
3.4.3 PROFIBUS PA 网段设计举例 …… 63
3.4.4 危险区域安装技术 …… 65
3.5 PROFIBUS 设备集成工具 …… 69
3.5.1 PROFIBUS 的 GSD 文件 …… 69
3.5.2 设备管理工具的发展 …… 70
3.6 组态一个简单的 PROFIBUS DP/PA 系统 …… 72
3.6.1 系统组成及架构 …… 72
3.6.2 组态过程 …… 73
3.6.3 系统运行 …… 76
3.7 PROFIBUS 系统工程应用举例 …… 78
3.7.1 制冷站监控系统改造 …… 78
3.7.2 PROFIBUS PA 控制系统实验演示装置 …… 79
本章小结 …… 85

思考题与练习题 …… 86
第4章　PROFIBUS技术详解 …… 89
4.1　PROFIBUS通信协议结构 …… 89
4.1.1　现场总线通信协议模型 …… 89
4.1.2　PROFIBUS协议结构 …… 91
4.1.3　PROFIBUS技术组成模块 …… 91
4.2　PROFIBUS传输技术 …… 92
4.2.1　RS485和RS485-IS …… 93
4.2.2　MBP和MBP-IS …… 94
4.2.3　光　纤 …… 96
4.3　数据链路层 …… 97
4.3.1　数据传输服务 …… 97
4.3.2　链路层的帧结构 …… 97
4.4　应用层 …… 99
4.4.1　应用关系 …… 99
4.4.2　PROFIBUS版本的发展 …… 101
4.5　行　规 …… 102
4.5.1　应用行规和系统行规 …… 102
4.5.2　故障安全行规PROFISafe …… 103
4.5.3　PA行规 …… 104
4.6　主站和从站的工作过程 …… 109
4.6.1　主站工作模式 …… 109
4.6.2　主站工作过程 …… 110
4.6.3　从站工作过程 …… 110
4.7　主要报文类型和结构 …… 111
4.7.1　主要报文类型 …… 111
4.7.2　帧格式 …… 113
4.8　DP-V0报文详解 …… 115
4.8.1　参数化请求及响应报文 …… 115
4.8.2　组态请求及响应报文 …… 117
4.8.3　诊断请求及响应报文 …… 120
4.8.4　数据交换报文 …… 124
4.8.5　全局控制报文 …… 126
4.9　DP-V1报文详解 …… 128
4.9.1　参数化报文 …… 128
4.9.2　组态报文 …… 130
4.9.3　诊断报文 …… 130

4.9.4 非循环通信 MS1 报文 …… 135
4.9.5 非循环通信 MS2 报文 …… 140
4.10 总线和信息的循环时间及估计 …… 145
4.10.1 有关总线时间的一些术语 …… 145
4.10.2 循环时间及估计 …… 146
本章小结 …… 146
思考题与练习题 …… 147
第 5 章 PROFINET 系统及应用 …… 150
5.1 PROFINET 基础 …… 150
5.1.1 概 述 …… 150
5.1.2 PROFINET 和 PROFIBUS 的主要区别 …… 151
5.1.3 PRFOFINET 能做什么? …… 152
5.1.4 PROFINET 设备类型及一致性分类 …… 153
5.2 PROFINET 系统工作原理 …… 154
5.2.1 实时控制系统的循环数据交换原理 …… 154
5.2.2 等时同步系统的实时通信原理 …… 155
5.2.3 PROFINET 网络结构 …… 159
5.3 PROFINET 安装技术 …… 160
5.3.1 电气网络传输介质和连接 …… 160
5.3.2 光缆及其连接 …… 165
5.3.3 网络部件 …… 166
5.4 PROFINET 网络组态基础 …… 168
5.4.1 GSD 文件 …… 168
5.4.2 数据刷新时间和传输周期 …… 170
5.4.3 从系统组态到运行的工作过程 …… 171
5.5 组态一个简单 PROFINET 网络 …… 173
5.5.1 系统组成及架构 …… 173
5.5.2 组态过程 …… 174
5.5.3 系统运行 …… 181
5.6 烟厂制丝线 PROFINET 控制系统 …… 183
5.6.1 工艺流程 …… 183
5.6.2 系统功能 …… 185
5.6.3 系统总体集成 …… 186
本章小结 …… 188
思考题与练习题 …… 189
第 6 章 PROFINET 技术详解 …… 190
6.1 PROFINET 的设备模型 …… 190

6.2　应用关系和通信关系 …… 192
6.2.1　应用关系 …… 192
6.2.2　通信关系 …… 193
6.3　PROFINET 通信协议模型 …… 195
6.4　以太网和 IEEE 802.3 …… 197
6.4.1　以太网的产生 …… 197
6.4.2　以太网物理层 …… 197
6.4.3　以太网数据链路层 …… 200
6.5　因特网与 TCP/UDP/IP 协议 …… 205
6.5.1　概　述 …… 205
6.5.2　TCP/IP 各层的功能 …… 207
6.6　PROFINET 通信通道及使用的协议 …… 213
6.7　PROFINET 帧结构详解 …… 215
6.7.1　帧的主要类型 …… 215
6.7.2　系统启动及建立连接 …… 219
6.7.3　数据交换 …… 237
6.7.4　报警处理 …… 241
6.7.5　网络诊断和管理 …… 246
本章小结 …… 248
思考题与练习题 …… 249
第 7 章　工业网络技术及工程应用 …… 250
7.1　工业网络技术 …… 250
7.1.1　工业网络类型 …… 250
7.1.2　工业以太网优势 …… 250
7.1.3　4G/5G 通信 …… 251
7.1.4　无线网络 …… 252
7.1.5　串行通信与抗干扰技术 …… 254
7.1.6　工业网络安全 …… 255
7.2　常用通信协议 …… 257
7.2.1　PLC 通信协议 …… 257
7.2.2　OPC 通信技术 …… 258
7.2.3　Modbus 通信 …… 261
7.2.4　CAN 通信 …… 264
7.2.5　MQTT 通信 …… 266
7.2.6　Web Bridge 通信 …… 268
7.2.7　FTP 通信 …… 269
7.2.8　数据库通信 …… 271

7.3 纺纱生产过程 MES 系统 …… 272
7.3.1 纺纱生产过程简介 …… 272
7.3.2 数据集成总体技术方案 …… 273
7.3.3 纺纱车间设备联网 …… 274
7.3.4 纺纱生产数字化系统 …… 280
本章小结 …… 290
思考题与练习题 …… 291
附录 A 实验指导书 …… 292
附录 B PROFIBUS 常用信息速查表 …… 301
附录 C 常用缩略语备查表 …… 312
参考文献 …… 318