

WILEY

智能电网 关键技术研究与应用丛书

# 智能电网标准 规范、需求与技术

Smart Grid Standards:  
Specifications, Requirements,  
and Technologies

[日本] 佐藤拓郎 (Takuro Sato)

[美国] 丹尼尔·M.卡门 (Daniel M.Kammen)

[中国] 段斌 (Bin Duan)

[斯洛伐克] 马丁·马库 (Martin Macuha)

[中国] 周振宇 (Zhenyu Zhou)

[中国] 伍军 (Jun Wu)

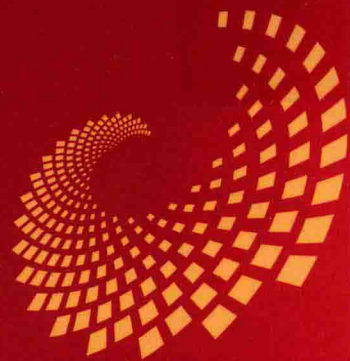
[巴基斯坦] 穆罕默德·塔里克 (Muhammad Tariq)

[芬兰] 所罗门·阿贝·阿斯范 (Solomon Abebe Asfaw)

著

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

周振宇 许晨 伍军 译



## ► 内容简介

本书是一本全面介绍智能电网标准的译著。全书涵盖了智能电网所涉及的相关技术内容和标准，包括智能电网发展政策、全球范围内关键项目取得的进展、各国和国际标准组织之间的合作，以及未来发展趋势等。全书共分为10章，探讨了可再生能源发电、电网、智慧储能和电动汽车、智慧能源消费、智能电网通信、智能电网防护与安全、智能电网的互操作性、多种可再生能源并网等内容。本书内容丰富，全面展示了智能电网的概念。本书适用于电力系统、电气工程等专业高年级本科生、研究生的智能电网课程，也可作为电力行业的研究人员或相关政策和标准制定人员的参考用书。

## ► 相关图书推荐

- 《开放电力市场下电动汽车并网技术》
- 《深入理解智能电网：基本原理、关键技术与解决方案》
- 《智能电网通信——使电网智能化成为可能》
- 《智能电网的基础设施与并网方案》
- 《智能电网的安全与隐私》
- 《智能电网的通信与网络》
- 《电网储能技术》



上架指导 工业技术/电气工程/智能电网

# WILEY

Copies of this book sold without a Wiley Sticker on the cover are unauthorized and illegal



机械工业出版社微信公众号

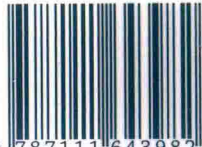


E视界  
传播电类内容  
提升专业知识



科技电眼  
行业新闻 科技资讯  
投资动向 一站购书

ISBN 978-7-111-64398-2



9 787111 643982 >

定价：139.00元

ISBN 978-7-111-64398-2

策划编辑◎刘星宁 / 封面设计◎鞠杨

智能电网关键技术研究与应用丛书

# 智能电网标准——规范、 需求与技术

[日本] 佐藤拓郎 (Takuro Sato)

[美国] 丹尼尔·M. 卡门 (Daniel M. Kammen)

[中国] 段斌 (Bin Duan)

[斯洛伐克] 马丁·马库 (Martin Macuha)

[中国] 周振宇 (Zhenyu Zhou)

[中国] 伍军 (Jun Wu)

[巴基斯坦] 穆罕默德·塔里克 (Muhammad Tariq)

[芬兰] 所罗门·阿贝·阿斯范 (Solomon Abebe Asfaw,

周振宇 许晨 伍军 译

著

机械工业出版社

本书是一本全面介绍智能电网标准的译著。全书涵盖了智能电网所涉及的相关技术内容和标准,包括智能电网发展政策、全球范围内的关键项目取得的进展、各国和国际标准组织之间的合作,以及未来发展趋势等。全书共分为10章,探讨了可再生能源发电、电网、智慧储能和电动汽车、智慧能源消费、智能电网通信、智能电网防护与安全、智能电网的互操作性、多种可再生能源并网等内容。本书内容丰富,全面展示了智能电网的概念。

Copyright © 2015 John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Smart Grid Standards: Specifications, Requirements, and Technologies, ISBN 978 - 1 - 118 - 65369 - 2, by Takuro Sato, Daniel M. Kammen, Bin Duan, Martin Macuha, Zhenyu Zhou, Jun Wu, Muhammad Tariq, Solomon Abebe Asfaw, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder. Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有,翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2015-4281号。

## 图书在版编目(CIP)数据

智能电网标准:规范、需求与技术/(日)佐藤拓郎等著;周振宇,许晨,伍军译. —北京:机械工业出版社,2020.3

(智能电网关键技术研究与应用丛书)

书名原文:Smart Grid Standards: Specifications, Requirements, and Technologies  
ISBN 978-7-111-64398-2

I. ①智… II. ①佐… ②周… ③许… ④伍… III. ①智能控制-电网-标准 IV. ①TM76-65

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第285940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:刘星宁 责任编辑:朱林 刘星宁 责任校对:樊钟英

封面设计:鞠杨 责任印制:张博

三河市国英印务有限公司印刷

2020年4月第1版第1次印刷

169mm×239mm·20印张·435千字

标准书号:ISBN 978-7-111-64398-2

定价:139.00元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

机工教育服务网:www.cmpedu.com

## ▶ 作者简介

Takuro Sato分别于1973年和1994年获得新潟大学电子工程专业学士和博士学位。他曾在日本东京电气工业株式会社的研发实验室工作，主要从事脉冲编码调制传输系统和移动电话系统研究，并为1983~1997年CCITT SG17移动数据传输、1990~1995年美国电信行业协会(TIA) / TI宽带码分多址(W-CDMA)系统以及1995~1996年第三代合作伙伴计划(3GPP)的标准化工作做出贡献。于1995年在新潟理工学院信息与电子工程系担任教授。他在2000年成立公司Key Stream，为Wi-Fi系统提供大规模集成电路，并于2001年成立WiViCom，通过产学研合作提供无线系统设计。自2004年以来，他一直担任早稻田大学全球信息与电信研究院院长。目前主要研究下一代移动通信系统、智能电网/能源和社会信息基础设施网络。自2010年以来，他一直担任IEICE ICT-SG(日本电子信息通信学会智能电网信息通信技术专委会)的主席，是美国电气电子工程师学会(IEEE)会士。

## ► 本书特色

对于现存的众多智能电网标准，世界各国政府和工业组织已经了解并认可这些标准所发挥的关键作用。本书可以帮助智能电网专业人员对基本智能电网标准进行分类，并快速找到分析和实施智能电网系统所需的构建模块。根据电网要求，本书对不同标准进行系统地编排以方便查找。它还涵盖了广泛的智能电网领域，包括但不限于以下内容：

- 全面介绍智能电网标准及其面向开发人员、消费者和服务提供商的应用；
- 介绍智能电网的最新标准，包括NIST、IEC、ISO ZigBee、IEEE、HomePlug、SAE及其他国际和区域标准化组织的关键标准；
- 涵盖风能、太阳能光伏、燃料电池、抽水蓄能、核能发电，以及地热能和生物质能等其他替代能源的简短技术概述和标准；
- 为智慧储能和插电式电动汽车提供简短的技术概述和标准，包括分布式能源（DER）、储能和电动/插电式汽车；
- 探讨未来低碳电网的场景，描述新能源并网的潜力，以及智能电网的相应政策和运营挑战；
- 总结了本书中提到的所有标准。

针对智能电网标准这一需要综合论述的主题，本书是电网公司、信息和通信技术制造商、电信运营商、工程师和研究人员、电气工程专业的研究生以及政府和行业监管机构的理想选择。本书对检测实验室和认证机构也具有较高的参考价值。

## 译者序

随着经济社会的快速发展和自然环境的不断变化,电网安全稳定运行的客观环境面临着许多挑战。为了实现电网的可靠性、安全性和高效性等,需要在高速双向通信网络的基础上,利用先进的传感和测量技术、信息通信技术、决策支持系统技术等,实现电网的智能化,即“智能电网”。美国 IBM 公司在 2006 年首次提出“智能电网”解决方案,其在中国发布的《建设智能电网,创新运营管理——中国电力发展的新思路》中提供了一个对电力生产和输送等环节优化管理的框架。2010 年,国家电网公司制定了《关于加快推进坚强智能电网建设的意见》,确定了建设智能电网的基本原则和总体目标。智能电网作为我国重要的能源输送和配置平台,在建设、生产和运营的过程中都将为经济发展、能源利用和环境保护等方面带来巨大的效益。更为重要的是,行业中的专业人士在设计和实施智能电网时,需要在现有的各种标准中找到相应的构建模块。本书正是为此类需求而编写的。可以预见,已分类的、便于查找的智能电网标准将在智能电网的建设中发挥重要的作用。

本书从世界各国政府和工业组织已发布且认可的智能电网标准出发,以系统的方式对现存的智能电网标准进行整理。本书描述了智能电网相关概念,涵盖了智能电网相关组织和美国、欧盟、日本、韩国、中国智能电网发展现状;从可再生能源与智能电网的关系、可再生能源系统的挑战,以及相关的标准等方面详细阐述了可再生能源发电;介绍了电网相关内容,包括电网系统、电网重要标准概述、能量管理系统和多层数据模型;为智慧储能、智慧能源消费和智能电网通信提供了技术概述和标准;探讨了可再生能源并网和未来低碳电网的情景,以及智能电网相应政策和挑战。本书是一本在智能电网相关标准方面有着重大影响的巨著,可以为智能电网专业人员、电网公司和认证机构等提供智能电网标准方面的帮助,是测试型实验室不可或缺的读物。此外,对于尝试了解和学习智能电网的读者而言,本书也是一本实用的参考资料,在此向各位读者郑重推荐。

感谢机械工业出版社引进如此高品质的图书,让国内的从业人员可以从中受益。在本书的翻译过程中,得到了诺贝尔和平奖获得者、加州大学伯克利分校可再生能源实验室主任 Daniel M. Kammen 教授的指导,在此表示衷心的感谢。Kammen 教授不厌其烦地就书中的许多细节问题为译者解答,令译者受益匪浅。机械工业出版社的编辑为本书的出版做了大量细致且艰苦的工作,谨向他们表示诚挚的谢意。感谢一些学生和志愿者为翻译本书的初稿所做的辛勤工作和努力。

对译者而言,在翻译的过程中,深深地感受到了本书内容中涵盖智能电网领域的广度和深度,由于译者自身对许多知识和技术的了解水平有限,在翻译的过程中难免出现不够清楚或者不够准确的表述。若读者发现翻译不当之处,敬请批评指正。本书



的翻译工作分工如下：周振宇负责第1章、第6章、第8章、第9章及第10章；许晨负责第2章、第4章及第5章；伍军负责第3章和第7章。

最后，深深地感谢在翻译过程中给予我们关心、理解、支持和帮助的家人、朋友和同事。

译者

# 原书前言

售 烟

气候变化的不利影响和可持续发展战略需要改变目前的发电、输电、配电和用电的方式。智能电网的研究是实现这一目标的关键途径。在本书中，我们简单地将智能电网视为多种技术和政策交融的枢纽，这使得未来的电网更加高效、可靠和清洁。如今，各种标准发展组织（SDO）和行业正在努力研究与智能电网相关的标准和技术；同时，世界各国政府正在逐步颁布面向电网现代化的行政指令。本书概述了全球在智能电网标准制定方面的进展及其未来发展趋势、智能电网发展政策以及主要国家发起的关键项目，以及国家、地区和国际标准制定组织之间的合作。

本书并不是一份提供智能电网技术描述文档，而是各个研究领域的工作者之间合作的结果，他们的研究兴趣包括环境和可持续性、能源技术、发电、电力电子以及信息和通信技术。因此，本书的主要目的是汇集智能电网的各个方面，例如电网自动化、清洁能源技术方面的进展，在互操作性、潜在技术方面的挑战，克服这些挑战的政策，以及在智能家居和需求响应措施领域的进展。我们希望本书能够更全面地展示智能电网概念。此外，本书特别适用于工程专业本科生和研究生的智能电网课程。对于在物理学、政策学和工程科学领域广泛开展工作的研究人员而言，它也可作为研究智能电网的简明参考。

作者

## 致 谢

智能电网集成了应对与发电、输电、配电和用电相关的各种挑战所需的关键技术。如今，各种标准发展组织（SDO）和行业正致力于研究与智能电网相关的标准和规范，同时世界各国政府正在逐步颁布面向电网现代化的行政指令。本书概述了全球在智能电网标准制定方面的进展及其未来发展趋势、智能电网发展政策以及主要国家发起的关键项目，以及国家、地区和国际标准制定组织之间的合作。

本书是各个研究领域的工作者之间合作的结果。他们的研究兴趣包括环境、能源技术、发电、电力电子以及信息和通信技术。我们希望本书能够更全面地展示智能电网的概念，对于在该领域工作的工程师、研究人员、商业人士和政策制定者都有所帮助。

我们真诚地感谢 JohnWiley & Sons 的责任编辑侯明新先生，他从手稿准备的开始到结束都给予了大量的支持和帮助。

我们还要感谢来自世界各地的匿名审稿人，包括美国、欧盟、亚洲和中东地区的审稿人，他们在评审过程中提出了宝贵意见和建议。

特别感谢一些学生和志愿者为编写本书的初稿所做的辛勤工作和努力，包括 Yi Jiang 博士、Yanwei Li 博士、Keping Yu 博士、Song Liu 教授和 Jiran Cai 先生。此外，Solomon Abebe Asfaw 也非常感谢在撰写本书时从 Philomathia 基金会获得的项目支持。

我们还要感谢国际电工委员会（IEC）允许我们采用其国际标准 IEC 60870 - 5 - 101 版本 2.0 (2006)、IEC 60870 - 6 - 503 版本 2.0 (2002)、IEC 61970 - 1 版本 1.0 (2005)、IEC 61968 - 1 版本 1.0 (2003)、ISO/IEC 15045 - 1 版本 1.0 (2004)、ISO/IEC 18012 - 1 版本 1.0 (2004) 以及《IEC 智能电网标准化路线图版本 1.0》(2010) 中的内容。

感谢 JohnWiley & Sons 的项目编辑 Clarissa Lim 女士专业的编辑和对稿件的校对工作。她专业的知识和丰富的经验极大地提高了本书的质量和增值。我们还要感谢 John Wiley & Sons 的项目编辑 Shelley Chow 女士在图书项目立项阶段给予的帮助。

最后，我们要特别感谢支持和关心我们的家人。

**Takuro Sato**

## 作者简介

Takuro Sato 分别于 1973 年和 1994 年获得新潟大学电子工程专业学士和博士学位。他曾在日本东京电气工业株式会社的研发实验室工作，主要从事脉冲编码调制传输系统和移动电话系统研究，并为 1983~1997 年 CCITT SG17 移动数据传输、1990~1995 年美国电信行业协会 (TIA)/TI 宽带码分多址 (W-CDMA) 系统以及 1995~1996 年第三代合作伙伴计划 (3GPP) 的标准化工作做出贡献。于 1995 年在新潟理工学院信息与电子工程系担任教授。他在 2000 年成立公司 Key Stream，为 Wi-Fi 系统提供大规模集成电路，并于 2001 年成立 WiViCom，通过产学研合作提供无线系统设计。自 2004 年以来，他一直担任早稻田大学全球信息与电信研究院院长。目前主要研究下一代移动通信系统、智能电网/能源和社会信息基础设施网络。自 2010 年以来，他一直担任 IEICE ICT-SG (日本电子信息通信学会智能电网信息技术专委会) 的主席，是美国电气电子工程师学会 (IEEE) 会士。

Daniel M. Kammen 是加州大学伯克利分校核工程系高曼公共政策学院能源与资源集约管理学的特聘教授，是可再生能源实验室 (RAEL) 和运输可持续性研究中心 (TSRC) 的主任。在 2010~2011 年，担任可再生能源与能效首席技术专家。他已发表 300 多篇同行评审论文、50 份政府报告，出席美国众议院和参议院听证会 40 多次。他现在是美国国务院美洲能源和气候伙伴关系 (ECPA) 的研究员、政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 的首席科学家，曾获得 2007 年诺贝尔和平奖。

段斌分别于 1992 年和 2004 年获得北京航空航天大学 and 湘潭大学的硕士和博士学位。现任湘潭大学信息工程学院教授、副院长，并于 2012 年在美国弗吉尼亚大学担任客座教授。他是智能电网领域国家自然科学基金 (NSFC) 多个项目的带头人，中国国家 863 计划基金项目副主任，中国教育部教育管理信息中心校园卡标准化研究所副所长。研究领域包括信息安全、智能电网和软件工程。出版了两本著作，获得 5 项专利，并在中国顶级期刊和相关 SCI/EI 国际期刊以及会议上发表大量论文。他是中国电工学会的高级会员，也是 IEEE 会员。

Martin Macuha 分别于 2007 年和 2011 年获得斯洛伐克理工大学和早稻田大学电信专业硕士学位和无线通信专业博士学位。他于 2007 年加入 Orange Slovakia，于 2008 年成为早稻田大学研究生，2011 年成为早稻田大学研究员，自 2012 年起，在日本东京的 Orange Labs 工作。研究领域包括无线技术、智能电网通信网络、异构网络和分布式系统。



周振宇分别于2008年和2011年在早稻田大学获得无线通信专业硕士学位和博士学位。2011~2012年,他担任日本东京KDDI技术部的首席研究员;2012年起,担任华北电力大学电气与电子工程学院副教授,智能网络技术研究所副所长;2019年起,担任华北电力大学电气与电子工程学院教授、博士生导师,学院科研助管。研究领域包括无线通信系统、无线传感器网络、需求响应以及智能电网的数据挖掘。已发表30多篇同行评议论文,已获得两项专利。他是IEEE和IEICE会员。

伍军出生于中国湖南。他于2011年9月在日本早稻田大学全球信息与电信研究院(GITS)获得博士学位。2011年12月至2012年,他担任日本国家先进工业科学与技术研究所(AIST)安全系统研究所(RISEC)的特别研究员。他目前是上海交通大学的助理教授,研究领域包括智能电网中传感器网络安全和传感器网络应用。他是IEEE会员。

Muhammad Tariq于2009年获得汉阳大学的硕士学位,并获得日本政府(MEXT)奖学金,并于2012年获得早稻田大学的博士学位。目前,他是巴基斯坦白沙瓦FAST-NUCES电气工程系的助理教授,巴基斯坦高等教育委员会(HEC)在电气工程领域的博士生导师。研究领域包括无线自组织和传感器网络系统,以及智能电网中的有线和无线系统。他在IEEE VTC 2010中荣获学生论文奖,并在JSST 2011中荣获杰出演讲奖,在2008~2009届会议上荣获韩国IT部颁发的Brain Korea 21(BK21)研究基金。已发表25篇论文,包括SCI索引和同行评审论文以及本地和国际会议论文集。他是IEEE、IEICE、日本模拟技术学会(JSST)和巴基斯坦工程委员会(PEC)会员。

Solomon Abebe Asfaw分别获得巴赫达尔大学和挪威科技大学物理学学士学位与硕士学位;获得本-古里安大学第二硕士学位与博士学位,专攻能源系统建模。他是以色列大学杰出博士生2010年度沃尔夫奖的获得者,目前是加州大学伯克利分校的博士后研究员。研究领域包括高间歇性可再生能源(太阳能和风能)渗透下,电网、储能的设计、调度和规划等。他在同行评议期刊、著作及会议论文集中发表多篇文章。

# 目 录

译者序	
原书前言	
致谢	
作者简介	
<b>第1章 智能电网概述</b>	<b>1</b>
1.1 简介	1
1.2 智能电网相关组织概述	2
1.2.1 智能电网标准发展组织	3
1.2.2 面向智能电网的技术联盟、论坛和专家组	6
1.2.3 其他政治、市场及贸易组织、论坛和联盟	8
1.3 美国智能电网发展现状	10
1.3.1 战略发展规划	11
1.3.2 政策和执法	12
1.3.3 政府和公司试点项目	13
1.4 欧盟智能电网发展现状	13
1.4.1 欧盟的活动	13
1.4.2 欧盟成员国的活动	15
1.5 日本智能电网发展现状	17
1.6 韩国智能电网发展现状	18
1.7 中国智能电网发展现状	19
1.8 小结	20
参考文献	20
<b>第2章 可再生能源发电</b>	<b>24</b>
2.1 简介	24
2.2 可再生能源系统与智能电网	25
2.2.1 水力发电	25
2.2.2 太阳能	29
2.2.3 风能	35
2.2.4 燃料电池	40
2.2.5 地热能	43



2.2.6 生物质能 .....	46
2.3 可再生能源系统面临的挑战 .....	51
2.3.1 成本过高 .....	51
2.3.2 可再生能源集成并网 .....	51
2.3.3 供电可靠性 .....	51
2.3.4 输电 .....	51
2.3.5 配电 .....	52
2.4 小结 .....	52
参考文献 .....	52
<b>第3章 电网</b> .....	<b>55</b>
3.1 电网系统 .....	56
3.2 电网重要标准概述 .....	57
3.3 智能电网通信 .....	57
3.3.1 变电站通信: IEC 61850 标准 .....	57
3.3.2 远程控制通信: IEC 60870-5 标准 .....	62
3.3.3 控制中心通信: IEC 60870-6 标准 .....	65
3.4 能量管理系统 .....	69
3.4.1 应用程序接口: IEC 61970 标准 .....	69
3.4.2 软件应用程序间集成: IEC 61968 标准 .....	74
3.5 远程保护设备 .....	82
3.5.1 IEC 60834 概述 .....	82
3.5.2 远程保护指令方案的类型 .....	83
3.5.3 指令型远程保护系统的要求 .....	83
3.5.4 远程保护系统的性能要求 .....	84
3.5.5 远程保护系统性能测试 .....	84
参考文献 .....	85
<b>第4章 智慧储能和电动汽车</b> .....	<b>89</b>
4.1 简介 .....	89
4.2 电能存储 .....	90
4.2.1 电能存储概述 .....	90
4.2.2 电能存储技术及应用 .....	90
4.2.3 标准化项目和工作 .....	93
4.3 分布式能源 .....	95
4.3.1 分布式能源概述 .....	95
4.3.2 技术和应用 .....	96



4.3.3	相关标准化进程和项目	97
4.4	电动汽车	99
4.4.1	电动汽车概述	99
4.4.2	电动汽车的发展历史	100
4.4.3	电动汽车的类型	101
4.4.4	电动汽车的电池	102
4.4.5	电动汽车并网技术的机遇与挑战	104
4.4.6	电动汽车的标准化	106
4.5	小结	112
	参考文献	113
<b>第5章</b>	<b>智慧能源消费</b>	<b>116</b>
5.1	简介	116
5.2	需求响应	116
5.2.1	需求响应技术概述	116
5.2.2	需求响应技术与障碍	117
5.2.3	需求响应相关标准化工作	118
5.3	高级计量体系标准	120
5.3.1	AMI 系统	121
5.3.2	IEC 62056 和 ANSI C12 标准	122
5.3.3	计量标准化项目和相关工作	125
5.4	智能家居与楼宇自动化标准	127
5.4.1	ISO/IEC 信息技术——家庭电子系统 (HES)	132
5.4.2	ZigBee/HomePlug SEP 2.0	135
5.4.3	OpenHAN 2.0	143
5.4.4	Z-Wave	147
5.4.5	ECHONET	149
5.4.6	ZigBee 家庭自动化 (ZHA) 公共应用程序配置文件	150
5.4.7	BACnet	153
5.4.8	LONWORKS	154
5.4.9	INSTEON	156
5.4.10	KNX	156
5.4.11	ONE-NET	158
5.4.12	智能家居与楼宇自动化标准的比较	159
5.5	小结	161



参考文献	161
<b>第6章 智能电网通信</b>	<b>165</b>
6.1 简介	165
6.1.1 智能电网通信要求	166
6.1.2 标准列表	167
6.2 智能电网的通信系统架构	171
6.2.1 智能电网中的互联网协议	172
6.3 有线通信	173
6.3.1 电力线通信	173
6.3.2 光纤通信	177
6.3.3 数字用户线和以太网	180
6.4 无线通信	180
6.4.1 概述	180
6.4.2 无线超短距离通信	183
6.4.3 无线个域网和未授权频谱中的相关技术	185
6.4.4 授权频谱中的蜂窝网络和 WiMAX 技术	193
6.4.5 卫星通信	197
6.5 小结	199
参考文献	200
<b>第7章 智能电网防护与安全</b>	<b>204</b>
7.1 简介	204
7.2 智能电网的威胁性和脆弱性	205
7.2.1 网络脆弱性	205
7.2.2 通信错误	206
7.3 智能电网通信网络标准	206
7.3.1 无线网络标准	206
7.3.2 有线网络标准及其安全扩展	206
7.4 智能电网无线网络防护机制	207
7.4.1 无线标准化智能电网防护机制概述	207
7.4.2 设备接入	207
7.4.3 保护正常通信	210
7.5 智能电网中有线网络的防护/安全机制	212
7.5.1 有线智能电网安全技术概述	212
7.5.2 通信基础设施的基本安全机制	214
7.5.3 安全扩展原则	214



7.5.4	安全拓展中的安全措施	214
7.6	功能性安全的典型标准	217
7.6.1	IEC 62351 标准	217
7.6.2	IEC 61508 标准	219
7.7	讨论	221
7.7.1	安全与防护	221
7.7.2	防护等级	222
7.7.3	安全等级	222
7.7.4	开放性问题	222
7.8	小结	224
	参考文献	224
<b>第8章</b>	<b>互操作性</b>	<b>227</b>
8.1	简介	227
8.1.1	互操作性和互换性	227
8.1.2	网络互操作性的挑战	228
8.1.3	增加互操作性的应用程序	228
8.2	互操作性标准	229
8.3	NIST 确定的标准清单	233
8.4	NIST 互操作性	233
8.5	智能电网概念参考模型	234
8.6	标准化确定的不同优先领域	235
8.6.1	广域态势感知	235
8.6.2	需求响应和消费者能源效率	236
8.6.3	智能储能	236
8.6.4	电力交通	236
8.6.5	网络安全	236
8.6.6	网络通信	237
8.6.7	AMI	237
8.6.8	配电网管理	237
8.7	优先行动计划	238
8.8	不同层次的互操作性	239
8.9	小结	240
	参考文献	241
<b>第9章</b>	<b>多种可再生能源并网</b>	<b>242</b>
9.1	简介	242