



国际电气工程先进技术译丛

ISTE WILEY

配电系统运营商的 高级智能电网

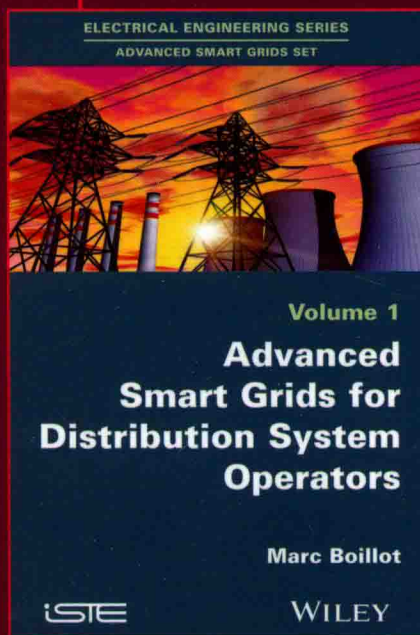
Advanced Smart Grids for Distribution System Operators

[法]马克·布瓦洛 (Marc Boillot) 著

薛建彬 刘欢 秦立静 等译



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

配电系统运营商的 高级智能电网

[法] 马克·布瓦洛 (Marc Boillot) 著
薛建彬 刘 欢 秦立静 等译



机械工业出版社

Copyright © 2014 ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.

All Right Reserved. This translation published under license. Authorized translation from English language edition, entitled Advanced Smart Grids for Distribution System Operators, ISBN: 978 - 1 - 84821 - 737 - 9, by Marc Boillot, 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.

本书中文简体字版由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 - 6390 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电系统运营商的高级智能电网/ (法) 马克·布瓦洛著; 薛建彬等译. —北京: 机械工业出版社, 2016. 12

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Advanced Smart Grids for Distribution System Operators

ISBN 978-7-111-55519-3

I. ①配… II. ①马… ② 薛… III. ①智能控制 - 电网 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 287411 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: 顾 谦 责任编辑: 顾 谦

责任校对: 刘 岚 封面设计: 马精明

责任印制: 李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 8.5 印张 · 149 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-55519-3

定价: 49.00 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

金 书 网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

随着现代信息和通信技术的飞速发展,日渐老化的传统电网结构并不能满足用户对电力供应的多样化需求。在今天,绿色环保节能减排已然成为全球关注的热点问题。智能电网被认为是提高能源效率和可再生能源使用率、减少温室气体排放和改变能源布局的必由之路,也是未来电网发展的必然趋势。智能电网已成为世界各国竞相发展的一个重点领域。本书以智能电网概念发展中配电系统运营商(DSO)的角色变化为主线,为读者呈现了一个全面的智能电网知识资源库。按照逻辑顺序,本书分为4个部分,首先对在电力系统中起着关键作用的DSO和现有配电网的设计与运行做了详细阐述,然后介绍了智能电网的功能、智能电表和柔性选项,第3部分介绍了世界各国的智能电网示范项目,最后展望未来,并对全书做了总结。

本书可作为智能电网领域相关研究和管理人员以及高年级师学生学习智能电网技术的参考用书,更是配电系统运营人员不可多得的实践指南。

译 者 序

智能电网建立在高速通信网络的基础上,通过先进的传感和测量技术、设备技术、控制方法以及决策支持系统技术的应用。智能电网的主要目标是实现电网的可靠、经济、高效、环境友好和安全运行的目标。智能电网将信息、计算机、传感器、自动化技术与电网基础设施有机融合,以建立安全可靠、经济高效、绿色环保、透明开放和友好互动的智能电网为发展目标。

作者在本书中详细介绍了配电系统运营商(DSO)在智能电网发展中的核心作用、DSO的核心业务及柔性选项,还就可再生能源(RES)、分布式和间歇式能源(风能、光伏)及各国智能电网试点项目的发展现状展开深入的探讨。由于智能电网的研究利用尚处于起步阶段,各国的国情和资源分布不同,发展方向和侧重点也不尽相同,通过对本书的学习,读者可以进一步掌握智能电网的相关基础理论知识,并了解全球智能电网的发展现状。

本书受到兰州理工大学研究生重点学位课程项目的支持,兰州理工大学薛建彬、秦立静和甘肃农业大学信息科学技术学院刘欢共同完成了本书的翻译、审校等工作,陈一鸣、王丹、魏素盼、姬雨、李俞虹、廖晓明、张龙、朱恒、梁艳慧、马维俊、张玺君、王璐、张思展等人也参与了本书部分内容的翻译工作。

译者在翻译过程中,对原书存在的一些错误进行了注释,以便翻译得准确。如果书中仍然存在疏忽与错误之处,恳请读者批评指正。

译 者

2016 年 10 月

原 书 序

在很多国家，由于一些社会问题，例如供电系统的可靠性、网络及传输的安全性、能量的传输与分配，以及气候的变化和固定资产的老化，智能电网的概念正在变得越来越显著。这些问题可以通过一些具体目标来呈现，例如欧盟在2009年通过的“气候和能源方案”，其中包括到2020年，CO₂排放量较1990年减少20%，将可再生能源（RES）占总能源消耗的比例增加到20%并且将其能源效率提高20%。前两个目标是欧盟所有成员国的共同目标。为了适应可再生能源技术的更大调度而带来的一些变化，人们需要更加重视电力系统的发展状况。在世界范围内，其他国家及地区可以根据自身的需求和优先级设置自己的目标。综上所述，通过一些强有力的监管激励机制，RES在全球将会得到极大的发展，尤其是在风能和太阳能方面。插电式混合动力电动汽车（PHEV）在全球汽车工业领域也在冉冉升起。

绝大多数RES都和电网的输电和配电等级息息相关。为了适应RES的发展，电网系统正在经历着前所未有的巨变。然而，对于一些国家，例如法国，95%的这些资源都处于以下配电等级，即一般以一种径向模式运行（单方向潮流），虽然这种模式极少有甚至没有能量传输网络，但已经算是智能的（和嵌入式监测、控制和保护技术一起被视为整个电气系统的支柱），到目前为止，配电网的智能技术尤其缺乏关注。随着上述变化的发生，配电网和可再生资源的发展走在最前沿，PHEV及其终端用户都期望在这个新能源模式中扮演一个更积极的角色。他们正转型为产销者（生产者/消费者）。

面对这些变化，需要利用更多信息和通信技术的优势来开发并集成那些使能技术和基于新能源技术的能源服务。整个能源链显得尤为重要，其中包含：智能电表、需求响应、存储、智能变电站、自修复、先进的可观测性和跨网络数据处理能力，以及它们可能带来的增值功能的组合等。

尤其是配电公司和配电系统运营商（DSO），将在其网络范围内面临一些前所未有的挑战。此外，面对挑战，他们必须以更加积极的方式回应，使更多电网使用者关心供电的质量、能源供给新用途的快速发展以及老化电力资产的有效管理，这些情况经常发生在不稳定的监管环境中。

本书正是针对配电等级和智能电网概念发展中DSO的角色所发生的一些迅猛变化而撰写。本书在某些方面给人们提供了一种独特的行业视角，如必需的技术、运营和规划股份、一些全球智能电网试点项目价值链的实例以及智能电网课

程学习的一些原始观点和主要重点。本书囊括了配电网发展进程中有关智能电网的一些非常有用的知识,对于所有对智能电网这个课题感兴趣的读者来说,本书将会是一个很好的资源库。

希望本书可以获得企业和学术界的所有研究人员及工程师们的喜爱,你们都将会给智能配电网的未来发展做出不菲的贡献。

Miroslav Begovic

主席

美国电气电子工程师学会 (IEEE)

电力与能源协会 (PES)

2014 年 10 月

原 书 前 言

智能电网是在电力网络中叠加信息与通信网络的系统。

其目的是将加固传统电网的投资降到最低的同时，将间歇性可再生能源（RES）（例如太阳能光伏和风能）以及电能的应用（例如电动汽车）在最安全的条件下整合在一起。

由于以上原因，配电系统运营商（DSO）将通过整合多种技术来开发智能电网，例如传感器、智能电表、信息传输与交换的加强链、实时分析、决策支持软件、自动化和远程控制功能等。

15 年来，DSO 在中压配电网做出了重要的投资，从而大大改善了服务质量，并且为用户降低了平均停机时间。这些投资也可能使可再生能源占总能源的份额得到提升，尤其是一些间歇性可再生能源。

未来几年人们所面临的挑战将是如何使低压配电网现代化，正如先前在中压配电网中所完成的工作一样。

Marc Boillot

2014 年 10 月

原书致谢

作者对完成本书给予过帮助的所有人致以感谢。

感谢 Nouredine Hadjsaid 和 Jean - Claude Sabonnadière, 以及他们的鼓励与支持, 没有他们, 就没有本书。

感谢 Alain Doulet, 他的配电网历史方面的知识、智能电网方面的才能以及预见未来的能力给予了我很大的帮助。

感谢 ERDF 所有的同事, 尤其感谢那些来自智能电网、Linky、策略和国际工程 (Smart Grids, Linky, Strategy and International projects) 团队的同事, 以及来自技术部和 IT 部的同事, 最后还有参与智能电网项目建设的各个地区。

感谢所有致力于智能电网全球化来自欧洲、美国和亚洲各地的学者们。

感谢 G3 - PLC 联盟的同行和朋友们, 正是因为大家的共同努力, 才使标准化工作逐步走向成功, 并且将 G3 - PLC 推广到 DSO 及全世界的潜在用户。

缩 略 语

6LowPAN	Network Layer Protocol of the OSI model OSI 模型的网络层协议
ACER	Agency for Cooperation of Energy Regulators 能源监管机构的合作机构
AD	Active Demand 旺盛需求
ADEME	Agence de l' Environnement et de la Maitrise de l' Energie (French agency for the environment and control of energy) 法国环境和能源控制机构
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line 非对称数字用户线路
ADVANCED	Active Demand Value and Consumers Experience Discovery 旺盛需求价值和消费者体验发现
AENS	Average Energy Not Supplied 平均缺供电量
AMI	Advanced Metering Infrastructure 高级计量设施
AMM	Automated Meter Management 自动计量管理
AMR	Automated Meter Reading 自动抄表
ARIB	frequency band (155 ~ 403kHz) for PLC communication in Japan 日本 PLC 通信频带 (155 ~ 403kHz)
ASK	Amplitude - Shift Keying 振幅键控
ASUI	Average Service Unavailability Index 平均供电不可用率指数
ATEE	Association Technique Energie Environment (French technical association for energy and the environment) 能源环境技术协会 (法国能源和环境技术协会)
BAU	Business As Usual 一切照常
BEMS	Building Energy Management System 建筑能源管理系统
CAES	Compressed Air Energy Storage 压缩空气储能
CAPEX	CAPital EXpenditure 基建费用
CEATEC	Combined Exhibition of Advanced Technologies trade show in Japan 日本高新技术博览会
CEM	Clean Energy Ministerial 清洁能源部长级会议
CEMS	Community Energy Management System 社区能源管理系统

CENELEC - A	frequency band A (35 ~ 91kHz) for PLC communication in Europe 欧洲 PLC 通信频带 (35 ~ 91kHz)
CEO	Chief Executive Officer 首席执行官
CIGRE	Confrence Internationale des Grands Reseaux d' Electricite (International Conference on Large Electricity Networks 国际大电网会议)
CHP	Combined Heat and Power 热电联产
CO ₂	carbon dioxide 二氧化碳
CSI	Commercially Sensitive Information 商业敏感信息
DBPSK	Differential Binary PSK 差分二进制 PSK
DC	Data Concentrators 数据集中器
DCPS	Digital Controlled Primary Substations 数字控制主变电站
DPCR	Distribution Price Control Review 配电电价控制审查
DER	Distributed Energy Resources 分布式能源
DG	Distributed power Generation 分布式发电
DGCIS	Direction Generale de la Competitivite, de l' Industrie et des Services; this Direction has been transformed in September 2014, into DGE Direction Generale des Entreprise (French business executive) Direction Generale de la Competitivite, de l' Industrie et des Services; 2014 年 9 月已转变为 DGE Direction Generale des Entreprise (法国业务执行体)
DMS	Distribution Management System 配电管理系统
DOE/EIA	Department of Energy/Energy Information Administration 美国能源部/能源信息管理局
DSM	Demand - Side Management 需求侧管理
DSO	Distribution System Operators 配电系统运营商
DQPSK	Differential Quadrature DPSK 差分正交 DPSK
EC	European Commission 欧盟委员会
EET	Extreme Energy Transition 极限能量转换
EJP	Effacement "Jours de Pointe" (load management) Effacement "Jours de Pointe" (负荷管理)
EDF	Electricite de France (French electricity company) Electricite de France (法国电力集团)
EDSO	European Distribution System Operators 欧洲配电系统运营商
ENTSO - E	European Network of Transmission System Operator - Electricity

	欧洲输电系统运营商网络—电力
ENTSO - G	European Network of Transmission System Operator - Gas 欧洲 输电系统运营商网络—燃气
ENWL	Electricity North West Limited 英国西北电力有限公司
EPRI	Electricity Power Research Institute 美国电力研究协会
ERDF	Electricite Reseau Distribution France (French electricity distri- bution network) Electricite Reseau Distribution France (法国 配电网)
EU	European Union 欧盟
EU FP7	EU' s Seventh Framework Programme for Research EU 第七科 研框架计划
EV	Electric Vehicle 电动汽车
EWE	Energieversorgung Weser - Ems AG 能源供应 Weser - Ems AG
FCC	frequency band (150 ~ 487. 5 kHz) for PLC communication in the USA and other countries 美国和其他国家的 PLC 通信频 带 (150 ~ 487. 5kHz)
FEMS	Factory Energy Management System 工厂能源管理系统
FSK	Frequency - Shift Keying 频移键控
GHG	GreenHouse Gas 温室气体
GIS	Geographical Information System 地理信息系统
GPRS	General Packet Radio Service 通用分组无线服务
GSM	Global System for Mobile Communication 全球移动通信系统
GW	Giga Watt 吉瓦
HEMS	Home Energy Management System 家庭能源管理系统
HV	High Voltage 高压
ICT	Information and Communication Technologies 信息和通信技术
IEA	International Energy Agency 国际能源署
IEOD	Information Exchange and Operating Devices 信息交换和操作 装置
IEC	International Electrotechnical Commission 国际电工委员会
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers 美国电气电子 工程师学会
IFFT	Inverse Fast Fourier Transformation 快速傅里叶逆变换
IS	Information Systems 信息系统

ISGAN	International Smart Grid Action Network 国际智能电网行动网络
ITU	International Telecommunication Union 国际电信联盟
JRC	Joint Research Center 日本联合研究中心
KEPCO	Korea Electric Power Corporation 韩国电力公司
KPI	Key Performance Indicator 关键绩效指标
KSGI	Korea Smart Grid Institute 韩国智能电网协会
LAN	Local Area Network 局域网
LRE	Linky Radio Emitter Linky 无线发射器
LQS	Low Quality of Supply – customers 低质量的供电用户
LV	Low Voltage 低压
MAC	Media Access Control layer of the OSI model OSI 模型的媒体接入控制层
MEMS	MicroElectroMagnetic Systems 微电磁式系统
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry 日本经济贸易产业省
MV	Medium Voltage 中压
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization 新能源产业技术综合开发机构
NOC	Network Operation Center 电网运行中心
NPV	Net Present Value 净现值
OECD	Organisation for Economic Co – operation and Development 经济合作与发展组织
OH	Off – peak Hours 离峰时间
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing 正交频分复用
O&M	Operation and Maintenance 运行和维护
OPEX	Operation Expenditure 运营支出
PDN	Public Distribution Network 公共配电网
PH	Peak Hours 高峰时间
PHEV	Plug – in Hybrid Electric Vehicle 插电式混合动力汽车
PHY	physical layer of the OSI model OSI 模型的物理层
PLC	Power Line Carrier 电力线载波
PSK	Phase – Shift Keying 相移键控
PV	PhotoVoltaic 太阳能光伏
R&D	Research and Development 研究与开发

XII 配电系统运营商的高级智能电网

RCD	Remote Control Device 遥控设备
REDOX	reduction and oxidation reactions electro – chemical batteries 电 化学电池氧化反应
REMS	Retail Energy Management System 零售能源管理系统
RES	Renewable Energy Sources 可再生能源
RF	Radio Frequency 射频
ROUTE B	route for communications downstream the meter 电能表下行通 信路由
RPS	Renewable Portfolio Standards 可再生能源配制标准
RTU	Remote Terminal Unit 遥控终端单元
RTE	Rseau de Transport d'Electricite (Electricity transport network) Rseau de Transport d'Electricite (输电网)
RWE	Rheinisch – Westfälisches Elektrizitätswerk AG
SAIDI	System Average Interruption Duration Index 系统平均中断持 续时间指数
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index 系统平均中断频 率指数
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition 监控和数据采集
SCE	Southern California Edison 南加州爱迪生电力公司
SFSK	Spread Frequency Shift Keying 扩展频移键控
SG	Steady Growth 稳步增长
SGCC	State Grid Corporation of China 中国国家电网公司
SME	Small and Medium Enterprises 中小型企业
SMI	Small and Medium Industries 中小型产业
SNMP	Simple Network Management Protocol 简单网络管理协议
SNR	Signal – to – Noise Ratio 信噪比
STN	Switched Telephone Network 电话交换网
TIC	Tele – Information Client 远程用户信息端
TFTP	Trivial File Transfer Protocol 简单文件传输协议
TSO	Transmission System Operators 输电系统运营商
USP	Unique Software Package 特有软件包
VPP	Virtual Power Plant 虚拟发电厂
WAN	Wide Area Network 广域网

目 录

译者序	
原书序	
原书前言	
原书致谢	
缩略语	

第0章 欢迎来到“高级智能电网”	1
第1章 变化环境中的配电系统运营商	3
1.1 能源政策推动能源转型	3
1.2 科技革命的新纪元	8
第2章 现有配电网：设计与运行	10
2.1 智能电网仍是电网	10
2.2 DSO 是电力系统的核心参与者	11
2.3 必须掌握的技术和监管条件	12
2.4 电网设计概述	15
2.4.1 能量变压器	16
2.4.2 布线与架构	17
2.4.3 保障装置	19
2.4.4 传感器、数字设备和软件	20
2.4.5 移动通信对于配电网运行的重要性	20
2.5 区分电网架构的要素	21
2.5.1 电压等级	22
2.5.2 MV 电网中性点接地方式	23
2.5.3 自动化、冗余以及可靠性之间的平衡	24
2.5.4 服务区域的密度和布局	25
2.5.5 建筑设计的变化	25
2.6 电网安全与规划	26
2.6.1 配电网的发展	26
2.6.2 配电网的运行	27
2.6.3 运行安全研究	27

2.6.4 蒙特卡洛法	27
2.6.5 应用蒙特卡洛法得到的一些结果	28
2.7 配电网的渐进式现代化——以法国为例	28
2.7.1 电网的标准化（1950 ~ 1965 年）及扩展（1965 ~ 1985 年）	29
2.7.2 为每个用户实现最低的服务质量等级	29
2.7.3 根据需求有针对性地改善服务质量	30
2.7.4 逐渐降低电网对气候灾害的敏感度	31

第 3 章 高级智能电网的主要驱动及功能 32

3.1 配电网演变的驱动	32
3.1.1 RES 的大规模整合	32
3.1.2 电动车和充电设施的发展	33
3.1.3 新市场机制的实现（调峰、发电容量市场等）	34
3.1.4 参与新应用的发展有助于提升能效	35
3.1.5 城市改建以及智能城市的兴起有利于资源优化	36
3.1.6 能源存储解决方案的集成	36
3.2 高级智能电网的主要功能	39
3.2.1 DSO 的动态电网管理	39
3.2.2 基于关键功能构建目标模型	40
3.2.3 提升日常电网运行效率	41
3.2.4 确保电网安全、系统控制和供电质量	43
3.2.5 改善市场功能和用户服务	44
3.2.6 欧洲的电网代码	44

第 4 章 计量：DSO 的核心业务 46

4.1 智能电表是发展智能电网的重要工具	46
4.2 持续改进与创新的方法	46
4.2.1 大众市场用户从手动抄表到远程抄表	46
4.2.2 工业用户端的智能电表和远程抄表的 20 年	47
4.3 AMI 计量系统	47
4.4 Linky 智能计量系统	51
4.4.1 项目的范围	51
4.4.2 体系结构和技术的选择	51
4.4.3 系统运行的要点	54
4.4.4 Linky 系统的可扩展性和安全性	57
4.4.5 技术经济分析	57
4.5 G3 - PLC 技术	58
4.5.1 PLC 的通信原理	58
4.5.2 物理层 PLC 调制技术的不同类型	58
4.5.3 G3 - PLC 技术的特点	60

4.5.4 G3 - PLC 是一个成熟的标准	63
4.6 智能电表对高级智能电网发展的贡献	64
4.6.1 法国: Linky 服务于配电网	64
第5章 柔性选项	69
5.1 柔性是 DSO 的补充工具	69
5.1.1 简介	69
5.1.2 DSO 在柔性方面的需求	69
5.1.3 柔性的价值	71
5.1.4 Alliander 智能电网成本效益分析 (来源: Alliander)	71
5.1.5 可启用的两种方式	73
5.1.6 优先顺序的分析	73
5.1.7 DSO 和 TSO 之间的信息交互机制	74
5.1.8 一些国际商业案例的经验教训	74
5.2 终端用户参与柔性服务	75
5.2.1 简介	75
5.2.2 智能电表的各种下行工具及服务	76
5.2.3 终端用户的必要参与	79
5.2.4 国际基准和经验教训	80
5.3 数据管理是成功的关键因素	81
5.3.1 DSO 拥有丰富的数据管理经验	81
5.3.2 DSO 是市场的推动者	82
第6章 试点项目及应用案例	84
6.1 全球动态区域差异性	84
6.2 北美	85
6.2.1 智能电网发展的驱动力	85
6.2.2 主要实验方法	85
6.3 亚洲	86
6.3.1 智能电网发展的驱动力	86
6.3.2 主要实验方法	87
6.4 欧洲	88
6.4.1 智能电网发展的驱动力	88
6.4.2 主要实验方法	90
6.5 欧洲 Grid4EU 计划, 促进并加速经验共享	90
6.5.1 大型示范项目汇集六大欧洲 DSO	90
6.5.2 示例 1 (德国—RWE) MV 电网运行自动化及确定二次变电站中的 分布式智能比率	92
6.5.3 示例 2 (瑞典—Vattenfall): 一种 LV 运行工具, 可识别 LV 故障	92
6.5.4 示例 3 (西班牙—Iberdrola) MV 和 LV 故障检测, 发生事故时	