



“十二五”国家重点图书出版规划项目  
智能电网研究与应用丛书

# 智能电网技术标准

Smart Grid Technical Standards

白晓民 张东霞 编著



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

智能电网研究与应用丛书

# 智能电网技术标准

Smart Grid Technical Standards

白晓民 张东霞 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书对智能电网技术标准进行全面系统的介绍,按照智能电网技术标准相关的问题分为10章,分别为标准化基本知识、智能电网概述、智能电网标准研究现状、智能电网概念模型与参考架构、标准化的系统工程方法、智能电网的主要标准、标准开发与管理工具、智能电网标准测试和应用、相关政策法规、展望。

本书可供智能电网技术标准开发人员、智能电网技术标准管理人员、智能电网工程设计人员及电力行业、能源行业工程技术人员和研究生、工程组织和管理决策人员阅读参考。智慧能源、能源互联网发展和智能电网多年的实践积累密切相关,本书也可为推进智慧能源、能源互联网技术标准体系建设和标准开发提供有价值的参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

智能电网技术标准 = Smart Grid Technical Standards/ 白晓民, 张东霞编著. —北京: 科学出版社, 2018.5

“十二五”国家重点图书出版规划项目

(智能电网研究与应用丛书)

ISBN 978-7-03-056649-2

I. ①智… II. ①白… ②张… III. ①智能控制-电网-技术标准  
IV. ①TM76-65

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第039900号

责任编辑: 范运年 崔元春/责任校对: 彭 涛

责任印制: 张克忠/封面设计: 陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

艺堂印刷(天津)有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018年5月第一版 开本: 720×1000 1/16

2018年5月第一次印刷 印张: 15 1/4

字数: 300 000

定价: 138.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



# 《智能电网研究与应用丛书》编委会

主编：周孝信

编委：(按姓氏拼音排序)

白晓民(中国电力科学研究院)

蔡旭(上海交通大学)

曹一家(湖南大学)

陈希(中国电力科学研究院)

程浩忠(上海交通大学)

程时杰(华中科技大学)

丁立健(国家自然科学基金委员会)

董新洲(清华大学)

董旭柱(南方电网科学研究院有限  
责任公司)

段献忠(华中科技大学)

郭剑波(中国电力科学研究院)

韩英铎(清华大学)

何湘宁(浙江大学)

胡学浩(中国电力科学研究院)

鞠平(河海大学)

李立涅(华南理工大学)

廖瑞金(重庆大学)

刘建明(国家电网公司)

卢强(清华大学)

梅生伟(清华大学)

穆钢(东北电力大学)

饶宏(南方电网科学研究院  
有限责任公司)

荣命哲(西安交通大学)

宋永华(浙江大学)

孙元章(武汉大学)

王成山(天津大学)

王锡凡(西安交通大学)

王益民(国家电网公司)

肖立业(中国科学院电工研究所)

薛禹胜(国家电网公司)

杨奇逊(华北电力大学)

杨勇平(华北电力大学)

余贻鑫(天津大学)

张保会(西安交通大学)

张伯明(清华大学)

赵争鸣(清华大学)

## 其他参编人员

黄毕尧 陆一鸣 崔全胜 马文媛 冯泽健

# 《智能电网研究与应用丛书》序

迄今为止，世界电网经历了“三代”的演变。第一代电网是第二次世界大战前以小机组、低电压、孤立电网为特征的电网兴起阶段；第二代电网是第二次世界大战后以大机组、超高压、互联大电网为特征的电网规模化阶段；第三代电网是第一、二代电网在新能源革命下的传承和发展，支持大规模新能源电力，大幅度降低互联大电网的安全风险，并广泛融合信息通信技术，是未来可持续发展的能源体系的重要组成部分，是电网发展的可持续化、智能化阶段。

同时，在新能源革命的条件下，电网的重要性日益突出，电网将成为全社会重要的能源配备和输送网络，与传统电网相比，未来电网应具备如下四个明显特征：一是具有接纳大规模可再生能源电力的能力；二是实现电力需求侧响应、分布式电源、储能与电网的有机融合，大幅度提高终端能源利用的效率；三是具有极高的供电可靠性，基本排除大面积停电的风险，包括自然灾害的冲击；四是与通信信息系统广泛结合，实现覆盖城乡的能源、电力、信息综合服务体系。

发展智能电网是国家能源发展战略的重要组成部分。目前，国内已有不少科研单位和相关企业做了大量的研究工作，并且取得了非常显著的研究成果。在智能电网研究与应用的一些方面，我国已经走在了世界的前列。为促进智能电网研究和应用的健康持续发展，宣传智能电网领域的政策和规范，推广智能电网相关具体领域的优秀科研成果与技术，在科学出版社“中国科技文库”重大图书出版工程中隆重推出《智能电网研究与应用丛书》这一大型图书项目，本丛书同时入选“十二五”国家重点图书出版规划项目。

《智能电网研究与应用丛书》将围绕智能电网的相关科学问题与关键技术，以国家重大科研成就为基础，以奋斗在科研一线的专家、学者为依托，以科学出版社“三高三严”的优质出版为媒介，全面、深入地反映我国智能电网领域最新的研究和应用成果，突出国内科研的自主创新性，扩大我国电力科学的国内外影响力，并为智能电网的相关学科发展和人才培养提供必要的资源支撑。

我们相信，有广大智能电网领域的专家、学者的积极参与和大力支持，以及编委的共同努力，本丛书将为发展智能电网，推广相关技术，增强我国科研创新能力做出应有的贡献。



最后，我们衷心地感谢所有关心丛书并为丛书出版尽力的专家，感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和赞助，感谢广大读者对丛书的厚爱；希望通过大家的共同努力，早日建成我国第三代电网，尽早让我国的电网更清洁、更高效、更安全、更智能！

周孝信



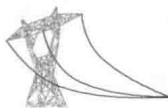
# 前 言

2008 年开始，智能电网成为电力系统的热门议题，得到了世界范围内电力企业和电力工作者的广泛重视，各国开展了大量的智能电网的理论技术研究、示范工程建设和系统实践工作。智能电网技术标准作为智能电网建设的必要基础，成为系统规划设计、工程建设、产品和系统开发、系统运行和控制等各个方面都要优先考虑的重要问题。电力和能源系统对新技术和新标准的需求从来没有减弱，标准一直是国家和大型现代化企业引领技术方向和支持产品开发的重要手段，也是各类中小企业和工程技术人员开发出符合市场需求和标准规范、有竞争力的产品的必要条件。智能电网技术标准研制作为引领技术方向、规范系统研究和开发、协调和促进系统建设的重要环节，成为聚集不同领域研究人员协同工作的首选研究方向。

IEC 智能电网战略工作组 SG3 在首次工作组会议讨论时将标准比喻成指导技术开发和系统建设的引路灯塔，认为围绕智能电网建设的需要，系统地总结相关标准，将对智能电网的研究和建设起到系统的指导和规范作用。为此，国际标准化组织 IEC 及 IEEE，欧洲、美国等各国和地区的标准化组织都将标准体系研究和智能电网发展路线图的编制，作为智能电网建设和技术标准制定的首要任务，在智能电网建设初期就组织各领域研究人员编制了智能电网相关的发展路线图和标准分析与规划研究报告。我国也高度重视智能电网的标准化工作，国家电网公司在 2009 年 5 月 21 日宣布全面开展坚强智能电网建设工作时，首先启动“智能电网技术标准体系规划”项目研究，组织上百名各专业研究人员对电力行业技术标准进行系统的梳理分析，确定智能电网急需的关键技术设备，找出标准空缺，编制智能电网标准体系规划；其次又逐步建立各领域和专业的标准体系，并制定和完善众多智能电网技术标准。这些研究成果为我们了解智能电网技术标准的体系架构、应遵循的核心标准、标准的现状和内容，以及存在的问题与标准空缺提供了全面系统的参考，是各领域研究人员了解智能电网系统总貌、开发制定相关技术标准和开展智能电网工作的基础性文件。

经历 8 年多的大规模智能电网实践，多国电力系统建设取得长足的进展。智能电网工作的开展大大提升了电网的设备技术水平和运行管理水平，改进了系统的运行经济性、运行效率和系统的可靠性。可以看到，我国电力行业近年来在特高压和坚强智能电网建设的科研和工程实践中取得大量创新性成果，电力系统规



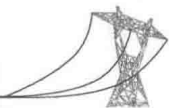


模位居世界第一，许多设备技术已经达到国际领先或国际先进水平。在智能电网技术标准研究和制定方面，我国的科研工作者从旁听学习到积极参与智能电网技术标准的讨论制定，再到牵头组织专业委员会和工作组、主持或主导一些国际标准的制定，将我国电网的理论实践展现给世界同行，在特高压、可再生能源及微电网技术等多个专业领域取得了重要进展，为使我国技术标准成为国际标准开拓出了新的局面。

2015年以来，随着智能电网建设的成功推进和系统研究的深入进展，世界范围的智能电网研究开始扩展到智慧能源、智慧城市等领域。IEC 将智能电网战略工作组 SG3 转变为智慧能源系统委员会 (IEC SyC1, Smart Energy System Committee)，这是 IEC 的第一个系统委员会，同时启动智慧城市、微电网、电动汽车等数个 IEC 系统评估组，预期在条件成熟时成立相应的专业系统委员会，推进标准化工作的系统化和深入化发展。我国的电力体制改革也从提出“能源生产与消费的 4 个革命”开始加快步伐，能源系统建设也进入了一个新的阶段。2015 年 3 月 15 日，中共中央国务院下发《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发〔2015〕9 号)，提出“三放开一独立三加强”，放开新增配售电市场的新电力体制改革方案。为了适应电力体制改革新要求，各类试点和示范工程项目在全国开展。国家发展和改革委员会、国家能源局分别在 2016 年 11 月 27 日、2017 年 11 月 21 日公布两批增量配电业务改革试点项目共计 194 个；国家能源局在 2017 年 6 月 28 日公布首批“互联网+”智慧能源（能源互联网）示范项目共计 55 个；国家能源局在 2017 年 1 月 25 日公布首批多能互补集成优化示范工程共计 23 项；国家发展与改革委员会、国家能源局在 2017 年 5 月 5 日公布了 28 个新能源微电网示范项目。这些试点和示范工程项目的建设、运行等对技术标准开发提出新的需求。国家将能源革命作为战略性任务，大力推进节能环保和提高能效技术。智能电网从电力系统的发电、输变电、配电与用电领域扩大到用户侧电力改革、能源的优化使用、电力和能源的市场化推动。这种重点的转移将进一步激发市场活力，带动整个电力工业和能源工业的科技进步。

近年来，能源互联网的进展尤为引人注目，借助互联网开放、互联、对等与分享的理念，新涌现的能源互联网方法和技术在智能电网与智慧能源、智慧园区与智慧城市，以及在实现分布式发电、配售电业务、多能互补集成优化等方面展现出前所未有的发展潜力。这些工作通常涉及跨领域技术和多方面协调，为满足新的系统建设需要，涉及大量法律法规、标准和规则的修改和制定。标准成为能源行业和企业核心技术开发及可持续发展的重要基础，不但继续发挥灯塔的引领作用，而且将继续在产品质量保证、优胜劣汰方面起作用，为系统的互联互通和安全高效运行等方面提供保证。

应该提到的是，国际标准制定达到标准定义中所说的“基于共识制定”不是



一个容易的过程，从标准立项、编写到修改、通过的整个流程中，充满了国家工业发展观点和地区、企业间的技术竞争，国家和行业的政治经济考虑和行业发展规划都会对我们参与国际标准的支撑和主导策略有着重要的影响，技术标准的制定不可避免地涉及各个利益主体的强力关注和介入。作者认为，参与竞争激烈的国际标准化工作，不单是依靠技术领先和外语交流能力就能有发言权，如何做到不断提高参与标准化工作的水平，做到不走弯路，需要深入理解国家行业的技术基础和发展战略，熟悉专业标准的内容和要点，把握国际技术和标准的发展方向和游戏规则。这样才能使我们在技术标准方面发挥更大的作用，掌握标准制定的主动权。

本书的主要作者先后参与了国家电网公司智能电网技术标准研究及国际标准的制定工作，在争取智能电网新标准立项和主导具体标准制定中经历了复杂漫长的学习和工作过程，看到了标准领域的激烈观点之争和机构与个人的台前幕后表演，理解了国际上不同国家和地区的标准开发策略，得到了系统的锻炼和提高，取得了开展标准研究工作的宝贵经验。本书试图对智能电网的技术标准进行系统介绍，归纳总结国内外开展智能电网建设中智能电网标准研究的主要成果，将作者对智能电网的技术标准研究和开发工作的理解与读者进行分享。

本书第1章介绍标准研究的基本知识，从标准发展历史，标准的作用、种类和制定原则，到目前世界范围引领标准化工作的组织及组织结构等。第2章介绍国内外开展的智能电网研究和系统建设情况，智能电网概念的推出和智能电网技术改进和系统升级，使得标准体系研究和新标准制定成为引导智能电网发展建设的必要内容。第3章分别介绍国际标准化组织和国家或区域标准化组织在标准化领域的工作进展和主要研究成果。第4章系统描述智能电网的概念模型和标准体系参考架构，为智能电网的领域划分和领域间的关联，以及从设备技术层到商业运行层间的多层次划分和关联关系，各领域的研究和整体标准建立清晰的边界和关联影响的画面。第5章讲述智能电网标准化工作的系统工程方法，为开展复杂系统研究工作建立一套系统和规范化的方法，是保证系统功能开发和工程组织有效协调多方参与工作及多阶段进程控制所必须的。第6章对智能电网重要的核心标准和分领域主要技术标准分别进行介绍。核心标准是智能电网研究和各领域技术要遵循的标准，通常领域技术标准要满足核心标准的要求，以满足系统的整体互联互通和通用性需求，所选择的领域技术标准是在领域标准研究中占据主导作用的重要标准。第7章讲述智能电网标准管理技术和系统开发工具，为适应不同领域开发和系统集成需要，为标准研究人员提供标准需求分析、标准的规划制定、已有标准的查询与检索、标准的关联与生命周期管理。第8章主要介绍智能电网标准测试评估与应用。测试和认证是产品或系统应用的重要环节，按照智能电网标准开发出的产品应该经过严格的标准合格性和互操作测试过程，一致性认证直



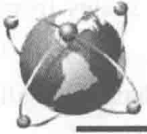
关系到产品执行标准的正确性和一致性，最终也影响标准的应用。在智能电网标准应用方面，主要介绍国内示范工程建设和标准开发，以及在智能电表、风机并网和电动汽车充放电设施建设、特高压和微网等方面的应用。第9章介绍影响标准制定的国家相关政策法规和国内外标准的发展。第10章给出标准研究的发展展望。

最后特别感谢中国电力科学研究院有限公司，国家电网有限公司科技部、国际部和中国电力企业联合会标准化管理中心对开展智能电网技术标准研究工作的大力支持，感谢中国电力科学研究院有限公司科技部、配电研究所、技术战略中心的各位专家和工程技术人员对推进和丰富智能电网技术标准所做出的贡献，特别要感谢刘永东、赵海翔等标准管理专家对作者团队参与国际国内标准制定和课题研究给予的充分信任、支持和帮助。

本书可供电力行业科研与工程技术人员及相关专业的学生参考。期望本书的出版能够为我国智能电网技术标准化工作的发展做出贡献；为政府制定政策和规则，以及企业、高校和科研单位研究开发产品和系统、制定标准提供帮助；为继续深入开展智能电网、智慧能源和能源互联网研究工作提供基础和参考依据。

白晓民

2017年9月30日



## Foreword

---

What is our world collective challenge? The long-term sustainability of food, water, and energy security should be universally ensured. The energy demand is climbing, while greenhouse-gas emissions must be curbed, Customers have high expectations of resiliency, lower cost, and a growing demand for new services secured and respecting privacy.

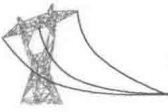
China has achieved a fantastic amount in a very short space of time. Anyone who now visits China sees the mega-cities and the urbanisation and the high-speed rail links, etc. China has been developing its Smart Grid and Smart Energy , promoting integration of massive renewable generation, microgrids and the integration of diverse utility infrastructures (water, gas, electricity, cooling and heating).

At any scale of Smart Grid, we need to keep in mind that the major challenge of integrating large numbers of intelligent nodes interacting with the real life, highly distributed, coupled, and operating in quasi real time, is the exploding complexity. It is reaching an unprecedented level for the science and the industry. The need for Standards emerges unanimously as the key enabler, allowing to define boundaries (Reference Architecture) to segregate subsystems and therefore master the complexity. Standards also allow to develop a gigantic world market for interoperable or even interchangeable products and solutions developed by industrial players competing sustainably on the long term for innovation to increase performance and lower costs.

Standards are not “Standard”: they are not necessarily all dealing with the same concepts and at the same level. This is why such a book helps to navigate and find its way in a rather confusing landscape.

Standards are mostly developed on a volunteer basis. Much beyond the technical quality of the writing, the value of a Standard is the amount of consensus it embeds. This is why it is so important for the industry to understand what exists, what could be done, where and how, in order to make risk informed decisions and be properly represented and active. The industry gets the Standards it deserves!

I have a lot of respect and gratitude for the authors of this book who have been involved from day one in major worldwide efforts at the International Electrotechnical



Commission ([www.IEC.ch](http://www.IEC.ch)). They are proactively contributing to the vision and inception of current ground breaking developments on Smart Grid at all scales from Microgrids to Smart Energy.

This signature book is a landmark providing a very comprehensive introduction to all the concepts to be mastered, as well as the fundamental keys of System Engineering which are paramount to more and more cross cutting developments. This book is presenting a compendium of standards to help the practitioners developing projects, as well as all the keys to understand the Standards development processes and how to make the best use of them!

Richard Schomberg

IEC Ambassador for Smart Energy

IEC Chair of the System Committee on Smart Energy



# 目 录

《智能电网研究与应用丛书》序

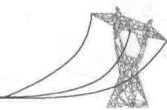
前言

Foreword

第 1 章 标准化基本知识	1
1.1 标准发展沿革	1
1.2 标准的作用	3
1.2.1 技术标准的宏观经济效应	3
1.2.2 技术标准的微观效应	7
1.2.3 技术标准对技术创新的影响	8
1.3 标准的种类	10
1.3.1 标准效力分类	10
1.3.2 标准制定者分类	11
1.4 标准制定的核心原则	13
1.5 智能电网相关的主要标准化组织	14
1.5.1 国际标准化组织	14
1.5.2 区域性标准化组织	23
1.5.3 产业联盟/团体标准组织	24
1.6 标准制定的一般流程	26
1.6.1 国际标准制定的一般流程	26
1.6.2 我国的标准制定的一般流程	30
第 2 章 智能电网概述	33
2.1 智能电网概念	33
2.2 智能电网的特性	34
2.2.1 灵活性	34
2.2.2 可观测性和可控性	34
2.2.3 互操作性	35
2.3 智能电网关键技术	35
2.3.1 可再生能源和分布式能源并网技术	36
2.3.2 先进的输电技术	36
2.3.3 广域监控技术	36



2.3.4	配电网管理技术	37
2.3.5	AMI	37
2.3.6	用户侧技术	37
2.3.7	需求响应技术	37
2.3.8	电动汽车技术	38
2.3.9	储能系统及其应用技术	38
2.3.10	信息通信技术	38
2.3.11	其他支撑性技术	38
2.4	智能电网对标准的需求	39
2.4.1	智能电网市场空间巨大	39
2.4.2	智能电网建设需满足互操作	39
2.5	智能电网标准的意义	40
<b>第3章</b>	<b>智能电网标准研究现状</b>	<b>41</b>
3.1	国际标准组织研究进展	41
3.1.1	IEC	41
3.1.2	ISO 和 ITU-T	56
3.2	国家/区域标准化组织及其研究进展	57
3.2.1	美国	57
3.2.2	欧洲	61
3.2.3	中国	62
3.2.4	企业联盟	63
3.3	智能电网标准化路线图对比分析	64
3.3.1	编制思路和目的	64
3.3.2	内容	64
3.3.3	参与和管理机制	64
3.3.4	体系结构	64
3.3.5	采用的研究方法和思路	65
3.3.6	标准化管理	65
3.4	智能电网标准开发的 IEC 观点	66
3.4.1	电网发展和技术进步需要新的标准	66
3.4.2	互操作技术是标准研究的主线	66
3.4.3	标准化工作需要系统工程方法的指导	66
3.4.4	标准的内外部需求与自由和创新	67
3.4.5	如何开发新的标准	67
3.4.6	从建立系统的标准框架入手	68
3.4.7	强调 CIM 在进一步制定智能电网国际标准中的主导作用	68



第 4 章 智能电网概念模型与参考架构	69
4.1 体系架构设计的目标和原理	69
4.2 NIST 智能电网概念模型	70
4.2.1 总体概念模型	70
4.2.2 发电域模型	72
4.2.3 输电域模型	73
4.2.4 配电域模型	74
4.2.5 用户域模型	76
4.2.6 市场域模型	77
4.2.7 运行域模型	78
4.2.8 服务域模型	80
4.3 智能电网互操作	81
4.3.1 互操作对象和概念	81
4.3.2 GWAC 协议栈	83
4.3.3 协议栈简化	84
4.4 智能电网参考架构	85
4.4.1 参考架构的原则	85
4.4.2 智能电网参考架构的智能电网平面	87
4.4.3 智能电网架构模型	88
4.4.4 智能电网参考架构在智能电网标准化中的应用	89
第 5 章 标准化的系统工程方法	92
5.1 智能电网实现体系	92
5.1.1 智能电网互操作标准体系	92
5.1.2 智能电网系统的金字塔架构	92
5.1.3 智能电网系统业务需求和功能需求	94
5.1.4 阶段化智能电网系统开发流程	95
5.1.5 并行化智能电网系统开发流程	96
5.2 方法学总体框架	97
5.3 智能电网系统用例	99
5.3.1 用例概念	99
5.3.2 用例举例	101
第 6 章 智能电网的主要标准	110
6.1 重要标准	110
6.1.1 IEC 推荐的核心标准	110
6.1.2 国家电网公司推荐的核心标准	124
6.2 功能系统的标准	132





6.2.1	清洁能源发电领域	132
6.2.2	输电领域	138
6.2.3	配电领域	143
6.2.4	用电	149
6.3	支撑系统标准	154
6.3.1	通信	154
6.3.2	信息	156
6.3.3	安全	157
6.4	典型工业联盟标准	159
6.4.1	OPCUA	159
6.4.2	BACnet	162
6.4.3	SEP 2.0	164
6.4.4	OPENADR	167
6.4.5	EI	168
<b>第 7 章</b>	<b>标准开发与管理工具</b>	<b>171</b>
7.1	名词术语标准管理工具	171
7.1.1	国家电工术语数据库	171
7.1.2	IEC 术语数据库	171
7.2	映射图	175
7.3	智能电网标准管理和公共服务平台	178
7.3.1	平台功能	178
7.3.2	平台技术架构	179
7.3.3	平台关键技术	179
<b>第 8 章</b>	<b>智能电网标准测试和应用</b>	<b>183</b>
8.1	IEC 合格评定体系	183
8.1.1	简介	183
8.1.2	IEC 合格评定体系在我国的应用	185
8.1.3	智能电网参与 IEC 合格评定的意义	186
8.2	NIST 智能电网互操作测试和认证	186
8.2.1	简介	186
8.2.2	SGTCC 主要经验和成效	187
8.2.3	给我国智能电网发展的借鉴意义	190
8.3	国内智能电网标准的测试机构及范围	190
8.4	国内智能电网标准综合应用	193
8.4.1	智能电网综合标准化试点工作	193
8.4.2	智能电网综合示范工程	193