

国际工程科技发展战略高端论坛
International Top-level Forum on Engineering Science
and Technology Development Strategy

中國工程院
CHINESE ACADEMY OF ENGINEERING

智能电网的挑战 与研发机遇

CHALLENGES AND
R&D OPPORTUNITIES
OF SMART GRID

高等教育出版社

国际工程科技发展战略高端论坛

International Top-level Forum on Engineering
Science and Technology Development Strategy

中國工程院
CHINESE ACADEMY OF ENGINEERING

智能电网的挑战与研发机遇

ZHINENG DIANWANG DE TIAOZHAN YU YANFA JIYU

CHALLENGES AND R&D OPPORTUNITIES OF SMART GRID

高等教育出版社·北京

内容提要

电网必须改革,以整合可再生能源,改善效率与供电可靠性,并加强网络安全。这一使命将由智能电网来完成。当前,智能电网已成为我国的重要发展战略。但智能电网不是一个单纯的技术问题,涉及众多的基本理念。在智能电网发展的各个阶段,从基础科学和工程技术的研究直到开发、示范和运行都会出现障碍。为明确智能电网所面临的关键挑战与研发机遇,引领技术创新与产业发展,2015年在中国天津召开了国际工程科技发展战略高端论坛——智能电网的挑战与研发机遇研讨会。来自中国、美国、英国、德国、瑞典、日本、比利时、澳大利亚等国家的近20名知名专家学者作论坛主题报告,就智能电网的基本理念、挑战与研发机遇进行了深入的交流与研讨。本书涵盖了智能电网的基本理念、架构、发展概述和关键技术等领域的学术论文及与会专家的报告。

本书是中国工程院“国际工程科技发展战略高端论坛”系列丛书之一,是一本有重要参考价值的专著,可供智能电网等相关领域研究人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网的挑战与研发机遇:汉、英/中国工程院
编著. — 北京:高等教育出版社,2017.3
(国际工程科技发展战略高端论坛)
ISBN 978-7-04-047451-0

I. ①智… II. ①中… III. ①智能控制-电网-研究
-汉、英 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 027815 号

总策划 樊代明

策划编辑 王国祥 黄慧靖 责任编辑 黄慧靖 张冉
封面设计 顾斌 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 北京汇林印务有限公司
开本 850 mm × 1168 mm 1/16
印张 15.75
字数 300千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版次 2017年3月第1版
印次 2017年3月第1次印刷
定价 80.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究
物料号 47451-00

编辑委员会

主 任

余贻鑫

委 员

王成山 贾宏杰 吴建中

目 录

第一部分 综述

综述	3
----------	---

第二部分 参会专家名单

参会专家名单	7
--------------	---

第三部分 主题报告及报告人简介

智能电网基本理念阐释	余贻鑫 等	11
带智能外围设施的智能电网:能源互联网架构	Felix F. Wu 等	18
英国智能电网概述	Nick Jenkins 等	40
在协调电动汽车充电时将配电网限制条件与基于市场的控制相结合	Geert Deconinck 等	57
智能电网广域输电系统可视化	Thomas J. Overbye 等	81
分布式可再生能源的高成本效益电网接入方法	Till Luhmann 等	98
后记		241

CONTENTS

Part I Overview of the Forum

Overview of the Forum	111
-----------------------------	-----

Part II List of Experts Attending the Forum

List of Experts Attending the Forum	115
---	-----

Part III Keynote Speech and Speaker Introduction

Basic Ideas of the Smart Grid	Yixin Yu, et al.	119
Smart Grids with Intelligent Periphery: An Architecture for the Energy Internet	Felix F. Wu, et al.	129
An Overview of the Smart Grid in Great Britain	Nick Jenkins, et al.	156
Combining Market-Based Control with Distribution Grid Constraints when Coordinating Electric Vehicle Charging	Geert Deconinck, et al.	177
Smart Grid Wide-Area Transmission System Visualization	Thomas J. Overbye, et al.	207
An Approach for Cost-Efficient Grid Integration of Distributed Renewable Energy Sources	Till Luhmann, et al.	228

第一部分

综 述

综 述

作为能源革命的重要组成部分,智能电网已成为全球解决 21 世纪能源和环境问题的重大战略,借以实现产业革命和促进全球经济的大发展。但智能电网不是一个单纯的技术问题,涉及众多的基本理念。在智能电网发展的各个阶段,从基础科学和工程技术的研究直到开发、示范和运行都会出现障碍。为明确智能电网所面临的关键挑战与研发机遇,引领技术创新与产业发展,2015 年 9 月 16 日至 17 日,在天津召开了以“智能电网的挑战与研发机遇”为主题的国际工程科技发展战略高端论坛。

本次论坛活动由中国工程院主办,中国工程院能源与矿业工程学部、天津大学承办,中国工程院院士、天津大学教授余贻鑫任组委会主席。来自中国、美国、英国、德国、瑞典、日本、比利时、澳大利亚等国家的近 20 名知名专家学者参加会议并作论坛主题报告,200 余名来自国内外高校与企业的相关人员参加会议,就智能电网的基本理念、挑战与研发机遇进行了深入的交流与研讨,为推进智能电网的科学建设与发展提出了宝贵的意见和建议。本次论坛对促进相关领域专家之间的密切合作、提高智能电网研究与试点工作的科学性和经济性具有重要的现实意义。

第二部分

参会专家名单

参会专家名单

参会领导与专家

- 李家俊 天津大学校长
- 彭苏萍 中国工程院院士,中国工程院能源与矿业工程学部主任
- 李立涅 中国工程院院士,中国工程院能源与矿业工程学部副主任
- 韩英铎 中国工程院院士,清华大学教授
- 杨奇逊 中国工程院院士,华北电力大学教授
- 王振海 中国工程院一局副局长
- 李 刚 天津市科协副巡视员兼科技馆馆长
- 钱朝阳 国网天津市电力公司总经理
- 赵洪磊 国网天津市电力公司总工程师
- 王爱红 中国工程院一局能源与矿业工程学部办公室处长

报告专家

- 余贻鑫 中国工程院院士,天津大学教授
- Felix F. Wu 美国加州大学伯克利分校教授
- 栾文鹏 中国电力科学研究院
- 曹军威 清华大学教授
- 沈兵兵 国网电力科学研究院高工
- Bernhard Thies 德国电工电子与信息技术标准化委员会主席
- Doug Houseman 美国 EnerNex 公司副总裁
- Geert Deconinck 比利时鲁汶大学教授
- Jianhui Wang 美国阿贡国家实验室项目经理, *IEEE Transactions on Smart Grid* 期刊主编
- Jianzhong Wu 英国卡迪夫大学教授
- Jinyue Yan 瑞典吕勒欧工业大学教授, *Applied Energy* 期刊主编
- Rikiya Abe 日本东京大学教授

Steve Pullins 美国能源部 GridIntellect 项目负责人

Thomas J. Overbye 美国伊利诺伊大学香槟分校电气与计算机工程学院教授

Till Luhmann 德国 BTC 公司企业发展部负责人

Zhaoyang Dong 澳大利亚悉尼大学电气与信息学院院长

第三部分

主题报告及报告人简介

智能电网基本理念阐释

余贻鑫 刘艳丽 秦超

天津大学智能电网教育部重点实验室

近年来,电力系统正面临着越来越多的挑战,其中包括全球暖化、能源压力和生态文明意识的提升,以及数字化社会对供电可靠性和电能质量的严格要求。为此,需要开展“智能电网”的研究和实践。从电网的角度看,智能电网的原动力至少包含下述4个方面:实现大系统的(以抵御事故扰动为目的)安全稳定运行,降低大规模停电的风险和增强灾难性事件后的快速恢复能力;分布式电源(distributed energy resource, DER)的大量接入和充分利用;高级市场化和需求侧管理;数字化社会对电网的供电可靠性和电能质量的高要求。而从广义层面来看,由于技术涉猎广泛,智能电网的一个关键目标是要催生新的技术和商业模式,实现产业革命。智能电网涉及许多重要的理念,厘清这些理念有助于科学高效地实施智能电网工程。其中的一些基本理念如下。

一、智能电网最本质的技术特点

智能电网最本质的技术特点是:电力和信息的双向流动性,并由此建立起一个高度自动化和广泛分布的能量交换网络;把分布式计算、通信和互联网的优势引入电网,实现信息实时交换和达到设备层次上近乎瞬时的供需平衡。有如下4个方面需要强调。

(一) 具有灵活的网络拓扑和集成的能量与通信基础设施

由于分布电源广泛接入,电力网(含输电网和配电网)每条支路的潮流都可能是双向的和时变的,欲使智能电网的潜在效益最大化,配电网络的拓扑应该是灵活的、可重构的,使用柔性交直流输配电装置和以智能万用变压器为代表的电力电子装置(智能万用变压器已被看作是智能配电网的基石,在能源互联网的提法中它属于能量路由器)。进而电所及之处均有可靠的双向通信,从底层的传感