



国际电气工程先进技术译丛

 Springer

风力发电系统 —— 技术与趋势

Wind Energy Conversion Systems
Technology and Trends

(阿联酋) S. M. Muyeen 主编
温春雪 樊生文 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

传播国际最新技术成果 搭建电气工程技术平台

- 《风力发电系统 —— 技术与趋势》
- 《光伏工业系统 —— 环境方针》
- 《永磁无刷电机及其驱动技术》
- 《先进电气驱动的分析、建模与控制》
- 《智能电网可再生能源系统设计》
- 《风力发电工程指南》
- 《用于制造固体氧化物燃料电池的钙钛矿型氧化物》
- 《太阳能物理》
- 《光伏与风力发电系统并网变换器》
- 《磁悬浮轴承 —— 理论、设计及旋转机械应用》
- 《可再生能源系统——100%可再生能源解决方案的选择与模型》
- 《机电系统中的传感器与驱动器——设计与应用》
- 《碳捕获与封存》
- 《LED照明应用技术》
- 《零排放动力循环》
- 《柔性交流输电系统在电网中的建模与仿真》
- 《风电并网：联网与系统运行》
- 《可再生能源的转换、传输和储存》
- 《海底电力电缆——设计、安装、修复和环境影响》
- 《光伏技术与工程手册》
- 《风力发电的模拟与控制》
- 《风电场并网稳定性技术》
- 《智能电网中的电力电子技术》
- 《电接触理论、应用与技术》
- 《电磁屏蔽原理与应用》
- 《高效可再生分布式发电系统》
- 《电网保护》
- 《分布式发电——感应和永磁发电机》
- 《电力系统谐波》
- 《风能与太阳能发电系统——设计、分析与运行》（原书第2版）
- 《瞬时功率理论及其在电力调节中的应用》
- 《风力机控制系统原理、建模及增益调度设计》
- 《高压输配电设备实用手册》
- 《电力变流器电路》
- 《电力系统中的电磁兼容》
- 《超高压交流输电工程》（原书第3版）
- 《高压直流输电与柔性交流输电控制装置——静止换流器在电力系统中的应用》
- 《电磁兼容原理与应用》（原书第2版）
- 《电力电子技术手册》
- 《基于晶闸管的柔性交流输电控制装置》
- 《电力电容器》
- 《电力系统谐波——基本原理、分析方法和滤波器设计附习题解答》
- 《配电可靠性与电能质量》
- 《现代电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池车——基本原理、理论和设计》（原书第2版）

ISBN 978-7-111-41309-7



9 787111 413097 >

上架指导 工业技术 / 能源与动力工程

ISBN 978-7-111-41309-7

定价：118.00元

国际电气工程先进技术译丛

风力发电系统—— 技术与趋势

(阿联酋) S. M. Muyeen 主编

温春雪 樊生文 等译



机械工业出版社

本书主要包括使用不同类型风力发电机和必要控制方案的风力发电系统、风电场及电网调度、海上风力发电技术等三部分内容。书中对风力发电系统的效率、大功率风力发电机、高效率功率变流器技术、电网规范及接入、雷电保护、储能等进行了深入的分析介绍,还对包括海上风速预测、基于 HVDC 输电的海上风电场电力传输、海上风电与潮汐能混合发电等进行了介绍。本书汇聚了不同科学家对风力发电系统的最新研究成果,理论与实践相结合,书中给出了丰富的工程图表及计算过程和公式。本书不仅可以作为从事新能源发电技术的科技人员阅读,也可以作为高等院校相关专业的教学参考用书。

Translation from English language edition;

Wind Energy Conversion Systems

by S. M. Mueeen

Copyright © 2012, Springer London

Springer London is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved.

本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书版权登记号:图字 01-2012-3112 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

风力发电系统——技术与趋势/ (阿联酋) 幕延 (Mueeen, S. M.) 主编; 温春雪等译. —北京: 机械工业出版社, 2013. 3

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Wind Energy Conversion Systems: Technology and Trends

ISBN 978-7-111-41309-7

I. ①风… II. ①幕…②温… III. ①风力发电系统 IV. ①TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 020030 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: 刘星宁

版式设计: 霍永明 责任校对: 陈延翔

封面设计: 马精明 责任印制: 乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 28 印张 · 578 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41309-7

定价: 118.00 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

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

译者序

进入 21 世纪后,包括风力发电在内的可再生能源发电技术发展迅速,尤其是风力发电装机容量在世界各国都快速增加。丹麦、德国、英国等风力发电发展前沿的国家仍然在不断扩大自身的风力发电容量,而包括中国、印度等在内的发展中国家的风力发电发展更为迅速。在我国风力发电已经成为国家能源发展的重要规划之一,国家通过《可再生能源法》制定了包括风力发电在内的可再生能源的发展方向和目标。内蒙、新疆、甘肃等地已先后建立了许多大型数十兆瓦级的风电场,包括上海东海大桥的海上风电场也在我国进入实质发展阶段。此外,风力发电技术已经成为国内高等院校、科研院所及相关企业的重点研究方向,但是目前国内关于风力发电的书籍都太过于科普简单化,有的甚至没有跟上现在的最新技术发展趋势,而该领域的研究者、从业者、学者都急需既有理论分析又有工程实践,并且能体现该领域技术前沿的书籍。机械工业出版社与 Springer 出版社联系引进的《Wind Energy Conversion Systems: Technology and Trends》正是这样一本书,本书作者汇集了当前风力发电研究领域不同学者的最新研究成果,从风力发电系统、风电场输配电和电网调度以及海上风力发电技术等方面详细介绍了目前该领域的前沿技术及发展趋势。本书译者多年来也主要从事电力电子与电气传动以及风力发电控制技术等领域的研发工作,因此我们翻译了这本书,希望与国内的相关从业者分享该领域的最新技术与趋势。由于本书内容十分全面,共分为 21 章,从各个角度分析了风力发电系统的技术与发展趋势,所以我们希望本书的中文版能为我国风力发电技术的发展做出一点贡献。

本书第 1~15 章由温春雪翻译,第 16~20 章由樊生文翻译,第 21 章由胡长斌翻译。全书由温春雪统一校对定稿。另外,李源、肖捷强、房昆昆、王亮、樊晓磊等也参与了修改整理及部分翻译工作。为了尽量保持原书的风格,书中图表以及公式中的符号、标注等并未完全按照国标统一,还请读者注意。同时需要特别指出的是,译者严格按照原书的意思进行翻译工作,书中内容并不代表译者及译者所在单位的观点。

由于译者水平有限,翻译中必有错误和不妥之处,衷心希望读者批评指正。

译者

前 言

当今接入到电网的可再生能源正快速增长。风能、太阳能、生物质能、潮汐能、地热能等都是可再生能源，其中风能与传统能源一起在世界的能源市场上扮演着重要的角色。由于近十几年来许多工程和科技等学科的发展和积累，主要是机械、电气、电子、计算机以及空气动力学等学科领域的发展，风能转换技术已经步入了较为成熟的阶段。每个学科都有其自身的魅力和来自不同领域科学家的协作，这也是风能转换技术走向成功的秘密所在。

本书根据不同学科领域的许多知名科学家和工程师的研究成果描述了风力发电系统当前的技术现状和未来的发展趋势。编者将大量不同的研究成果汇集成书以便作为学生学习或研究者工作的参考用书。

本书的章节共分为三个部分。在第1部分里，本书介绍了使用不同类型风力发电机和必要控制方案的风力发电系统。商业化运行风力发电系统的效率分析、大功率风力发电机、风力发电系统中超导材料以及高效率功率变流器技术等内容是此部分的关键内容。本书的第2部分主要集中于和风电场及电网调度相关的一些重要问题，如电网接入问题、输电网技术规范、雷击及其保护、储能等。本书的第3部分主要介绍了海上风力发电技术。此部分内容包括通过太空对海上风速观测、基于高压直流（HVDC）输电的海上风电场与陆上电网电力传输方案、海上风电与潮汐能混合发电等。本书的第1章给出了各章节的概述和摘要。

S. M. Mueen

于阿拉伯联合酋长国阿布扎比市

2011年3月31日

鸣 谢

作为本书的编者，首先我在此谨对各章节的作者致以最诚挚的感谢，感谢他们为确保本书质量所做的大量有价值的努力和巨大的贡献。本书所介绍的一些成果已经在国际期刊或国际会议上发表，在此我也对那些允许再次使用这些成果的出版者致以诚挚的谢意。感谢 IEEE 知识产权办公室和国家可再生能源实验室以不同方式对编者的帮助。

包括本书一些作者在内的许多个人或相关机构在成书过程中对编者提供了不同方式的帮助。在此尤其要感谢 Abdurrahim El-Keib 教授、Ehab El-Saadany 博士、Mohd. Hasan Ali 博士、Stavros Papathanassiou 博士、S. Dutta 博士自始至终对本书提供的巨大支持和建议。

本书中使用了許多来自全球风能协会 (GWEC)、美国风能协会 (AWEA)、欧洲风能协会 (EWEA) 的出版资料和记录数据，在此也对这些机构致以诚挚的谢意，感谢这些机构免费提供相关数据和对一些原始资料使用的许可。编者在此还要感谢 Scaldis Salvage & Marine Contractors NV 公司为本书第 1 章提供的美丽照片。

最后，编者希望借此机会向 Junji Tamura 教授表达谢意，以感谢他自从 2002 年以来对本书提供的大量建议和帮助。

作者简介

Ali Abeidni 生于 1979 年，他分别在法国大学科技学院（IUT）、谢里夫理工大学（SUT）和威斯康星大学（UWM）获得学士、硕士和博士学位。2009 年他在威斯康星麦迪逊大学（UW-Madison）做助理研究员。目前他是伊朗 K. N. 图斯科技大学的教工。

Asger B. Abrahamsen 于 2003 年在丹麦科技大学（DTU）获得博士学位，攻读博士学位期间他主要在丹麦 Risø 国家实验室从事 $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ 超导体磁通线点阵的小角度中子散射研究。2004 ~ 2006 年他在丹麦 X 射线和中子同步加速器研究中心（DANSCATT）从事超导体和热电材料中子散射博士后研究工作。2006 ~ 2007 年，他继续在丹麦科技大学的可再生能源 Risø 国家实验室（Risø DTU）材料研究分部开展了 Fe 管中 MgB_2 超导体相合成的原位高能同步散射的第二个博士后研究工作。从 2007 年开始，他成为 Risø DTU 材料研究分部的高级研究员，研究方向是超导体重点是风力发电机超导体的特性和应用。

Ahmed Al-Durra 分别于 2005 年、2007 年和 2010 年在俄亥俄州立大学获得工学学士、硕士和博士学位。攻读硕士学位期间，他主要从事 PEM 燃料电池系统的非线性控制理论研究。攻读博士学位期间，他以研究生助理的身份在俄亥俄州立大学汽车研究中心从事内燃机模型估算和控制算法的研究。他的研究方向是电力系统、储能系统（ESS）和新能源中稳定性预测和控制理论。目前，他在阿拉伯联合酋长国阿布扎比石油学院电气工程系工作。Ahmed 博士是 IEEE 会员。

Salvador Añó-Villalba 分别于 1988 年和 1996 年在西班牙瓦伦西亚科技大学电气工程专业获得理学硕士和博士学位。从 1987 年到 1989 年，他在南美电子交通研发部门从事街道照明信号测量和自动化控制的软硬件开发工作。1988 年，他在瓦伦西亚科技大学电气工程系任职，目前是该系副教授。他也是西班牙伊维尔德罗拉公司驻南美分部在电力系统高阻抗故障、负荷预测和中性点断开检测领域的顾问。他的研究方向包括风力发电、电机和电力系统分析。

I. Azkarate 于 1984 年出生于西班牙杜兰戈。2008 年她在西班牙巴斯克地区大学获得通信工程硕士学位。2009 年她在德国弗劳恩海因里希赫兹研究所工作。2010 年她在巴斯克地区大学攻读博士学位。她的研究方向是数字信号处理和电能质量评估。

Soledad Bernal-Perez 于 1999 年在西班牙瓦伦西亚科技大学获得电气工程硕士学位，目前她正在该校攻读博士学位。从 2001 年，她成为一名无线电工程师，为主要的船级社开展商用船上全球海上遇险安全系统（GMDSS）无线电安装的调研

工作。从2003年,她成为瓦伦西亚科技大学电气工程系的讲师。她的研究方向是电机驱动和海上风电场通过HVDC输电系统并网。

Ramon Blasco-Gimenez 于1992年在西班牙瓦伦西亚科技大学获得工程学士学位,1996年在英国诺丁汉大学获得电气与电子工程博士学位。1992~1995年,他在诺丁汉大学电气与电子工程系从事研究助理工作。1996年,他到瓦伦西亚科技大学系统与控制工程系任职,现在是副教授。他也是伊维尔德罗拉可再生能源公司风电场并入弱电网研究领域的顾问。他的研究方向包括电机驱动控制、风力发电和新能源发电并网。Blasco-Gimenez 博士是2005年IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS 优秀论文的共同获奖者之一。他也是西班牙注册专业工程师、英国特许工程师、工程技术机构会员和IEEE高级会员。

Zhe Chen 在中国吉林的东北电力学院获得工程学士和理科硕士学位,在英国杜伦大学获得博士学位。随后,他在英国德蒙福特大学任讲师和高级讲师。从2002年开始,Chen 博士成为丹麦奥尔堡大学能源科技研究所的研究客座教授和教授。他是奥尔堡大学能源科技研究所风力发电系统研究项目的协调管理者。他的研究背景是电力系统、电力电子与电机,目前他的主要研究方向是风力发电和现代电力系统。Chen 博士发表了160余篇论文。他是IEEE电力电子会报的副主编(新能源版块)、风能转换电力电子技术和IEEE电力电子会报特刊的客座主编。Chen 博士是英国工程技术学会会员,也是英国特许工程师。

Tarek H. M. EL-Fouly 于1973年出生于埃及开罗。他分别于1996年和2002年在埃及开罗艾因夏姆斯大学获得电气工程学士和硕士学位。2008年他在加拿大安大略省滑铁卢大学获得电气工程博士学位,并且在那里从事电力价格预测、保护和电力需求侧管理的博士后研究工作。2008年,他作为输配电研究工程师任职于加拿大自然资源部能源(新能源与分布式能源并网)分部,主要从事分布式能源和偏远地区智能微电网应用的研究开发工作。他的研究方向是电力系统保护与协调控制研究、新能源并网、智能微电网、智能偏远地区电网应用、电力需求侧管理和预测等。

El-Saadany 分别于1986年和1990年在埃及开罗艾因夏姆斯大学获得电气工程学士和硕士学位。1998年他在加拿大安大略省滑铁卢大学获得电气工程博士学位。El-Saadany 博士在2000年任职于滑铁卢大学电气与计算机工程系副教授职位,目前他是该系教授。El-Saadany 博士的主要研究领域是分布式电力系统的运行与控制、分布式发电、智能电网应用、电网自愈机制、电能质量和MEMS微型发电机。他的研究项目得到了不同政府机构如加拿大自然科学与工程研究委员会(NSERC)、加拿大创新基金会(CFI)、安大略省研究基金(ORF)、安大略卓越创新中心(OCE)、加拿大自然资源部、水电部和ABB公司的资助。El-Saadany 博士是IEEE高级会员和安大略省的注册专业工程师。他的研究成果有78篇期刊论文、2项专利、超过130篇会议论文和技术报告。为表彰他优秀的研究成果,2007年安

大略省政府授予了他著名的早期研究奖。2009 年 El-Saadany 博士获得加拿大最高研究奖并且成为了加拿大首席科学家以表彰他在分布式发电和微电网领域做出的贡献。

Lingling Fan 从 2009 年 8 月起是南佛罗里达大学的副教授。她分别于 1994 年和 1997 年在中国南京东南大学获得电气工程学士和硕士学位。2001 年她在西弗吉尼亚大学获得电气工程博士学位。她是明尼苏达圣保罗中西部地区 ISO 输电资产管理部門的高级工程师 (2001 ~ 2007 年) 和北达科他州立大学的副教授 (2007 ~ 2009 年)。她的研究方向是电力系统建模和控制、大规模电力系统规划和运行。

J. J. Gutierrez 于 1972 年出生于西班牙巴拉卡尔多。1996 年他在巴斯克地区大学获得无线电工程硕士学位。在无线电和电力行业从事不同工作后, 他于 2003 年在巴斯克地区大学任助教职位, 并于 2009 年获得博士学位。他目前致力于对电能质量评估的数字信号处理研究。他也是国际电气委员会 SC77A/WG2 的积极会员。

Hany M. Hasanien 分别于 1999 年、2004 年和 2007 年在埃及开罗的艾因夏姆斯大学工学院获得理科学士、硕士和博士学位。攻读博士学位期间, 他主要致力于对开关磁阻电机性能的研究。目前, 他是艾因夏姆斯大学电力和电机系的副教授。他的研究方向是电机设计、现代控制技术、电力传动、电机的人工智能应用和新能源应用。Hany M. Hasanien 博士是 IEEE 和 PES 的高级会员。2010 年 2 月他出版的专著 (与 S. M. Mueeen 博士和 J. Tamura 教授合著) 《开关磁阻电机》获得了业界的褒奖。他的自传已经被收录到“世界名人录”2011 年第 28 期。

Bogi B. Jensen 在英国纽卡斯尔大学获得博士学位, 研究工作主要是环形绕组感应电机。1994 ~ 2002 年他在海船工程部从见习工程师成长为高级现场工程师。2002 年他作为法罗群岛海事工程研究中心的讲师进入学术界。2004 年他移民到英国并在 2007 年成为纽卡斯尔大学的助理研究员, 2008 年成为该校的讲师。他目前是丹麦工业大学 (DTU) 电气工程系电气技术中心电机学的副教授。他的主要研究方向是电机设计、分析和开发。

Eleni G. Karamanou 于 2006 年在希腊国立雅典理工大学 (NTUA) 获得电气和计算机工程博士学位, 2009 年在同一所大学获得能源生产和管理博士后学历。她在希腊公共电力公司配电分部工作, 致力于配电设备的研究和高压/中压 GIS 子站的设计。她目前在 NTUA 做研究员, 研究方向是自治孤岛电网中的新能源。

A. Lazkano 于 1969 年出生于西班牙的佩蒂亚。他于 1993 年在巴斯克地区大学获得无线电工程硕士学位。1994 ~ 1995 年他在 ETB (巴斯克电视台) 工作。1995 年他在巴斯克地区大学任助理讲师, 并于 2001 年获得博士学位。他目前是该校电子通信系的副教授。他的研究方向是应用于电力系统和电能质量评估的数字信号处理。

Wei-Jen Lee 分别于 1978 年和 1980 年在台湾大学获得电气工程学士和硕士学位, 1985 年在阿林顿的德克萨斯大学获得电气工程博士学位。1985 年, 他任职于

德克萨斯大学, 目前他是该校电气工程系教授和能源系统研究中心的主管。他主要致力于研究电力潮流的瞬态和动态稳定、电压稳定、短路故障、继电保护整定、电能质量分析、新能源和公共事业部的解除管制。Lee 博士是 IEEE 会员和德克萨斯州注册专业工程师。

L. A. Leturiondo 于 1963 年出生于西班牙的杜兰戈。他分别于 1990 年和 1998 年在西班牙巴斯克地区大学获得电气工程硕士和博士学位。从 1990 年开始, 他在巴斯克地区大学电子通信系任副教授。他的研究方向是电力系统和电能质量评估及闪变测量的数字信号处理。

Haiwen Liu 分别于 1997 年和 2003 年在中国杭州的浙江大学获得电气工程学士和硕士学位, 2009 年在美国诺克斯韦尔地区的田纳西州立大学获得电气工程博士学位。2009 年 12 月开始, 他成为纽约州科特兰的天祥集团 (Intertek) 的主管工程师。他的研究方向是功率变换器的设计和认证以及新能源发电系统。

Zhixin Miao 于 1992 年在中国华中科技大学获得电气工程学士学位。1997 年在南京自动化研究所研究生院获得电气工程硕士学位, 2002 年在西弗吉尼亚大学获得电气工程博士学位。他目前任职于南佛罗里达大学。2002 ~ 2009 年, 他在明尼苏达州圣保罗地区中西部的 ISO 输电资产管理部工作。他的研究方向是电力系统稳定、微电网和新能源。

Francisco Morant 分别于 1976 年、1982 年和 1985 年在西班牙瓦伦西亚科技大学获得电气工程学士、硕士和博士学位。他目前是瓦伦西亚科技大学系统工程与控制系的教授。1988 ~ 1989 年, 他是伊利诺伊大学决策与控制实验室的客座研究员。他也是瓦伦西亚自治区政府教育与就业部的董事长 (1993 ~ 1995)、瓦伦西亚科技大学的副校长 (1993 ~ 1995 年和 2005 ~ 2008 年)。他的研究方向是智能自适应控制和故障诊断。

Dr. S. M. Mueen 于 2000 年在孟加拉国前著名学府拉杰沙希理工学院——拉杰沙希工程技术大学 (RUET) 获得电气与电子工程学士学位, 2005 年和 2008 年在日本北见理工学院获得同专业硕士和博士学位。攻读博士学位期间, 他主要致力于从低电压穿越 (LVRT) 和频率波动角度研究风电场稳定性。在完成博士学位学习后, 2008 ~ 2010 年他继续在北见理工学院从事日本学术振兴学会下的博士后研究工作。他的研究方向是电力系统稳定控制、电机、灵活交流输电系统 (FACTS)、储能系统 (ESS)、新能源和高压直流 (HVDC) 输电系统。他发表了 60 多篇国际论文, 出版了两本名为《风电场并网稳定性技术》和《开关磁阻电机》专著。2010 年他编著了《风力发电》。Mueen 博士是 IEEJ 和 IEEE 的会员。

Shoji Nishikita 分别于 1972 年和 1975 年在日本东京电机大学 (TDU) 获得工程学士和硕士学位, 1984 年在东京工业大学 (TIT) 获得博士学位。1975 ~ 1984 年他在 TIT 任助理研究员。1984 年他任职于 TDU, 目前是该校教授。Nishikita 博士是 IEEE 高级会员, 也是日本电气工程师协会高级会员。

Shunsuke Oka 于 1985 年 5 月 1 日出生于日本兵库县。2009 年他毕业于京都大学电气与电子工程系。他的研究方向是风力发电稳定和混合发电系统。

Dale Osborn 在内布拉斯加大学林肯分校获得学士和硕士学位。他是内布拉斯加州公用电力公司 (NPPD) 企划部经理。1990 ~ 2000 年他是 ABB 公司无功功率管理部经理。目前,他是中西部 ISO 输电资产管理部的技术顾问。他的研究方向是电力系统规划,可靠性、经济性分析以及无功功率设备制造。

Stefanos V. Papaefthymiou 分别于 2005 年和 2007 年在国立雅典理工大学 (NTUA) 获得电气和计算机工程学士和硕士学位,现在正在该校攻读博士学位。2007 年开始他在希腊公共电力公司配电分部工作,致力于岛屿电力系统中分布式电网的保护研究。他的研究方向是新能源和分布式电力系统。

Stavros A. Papathanassiou 在国立雅典理工大学 (NTUA) 获得电气工程博士学位。他在希腊公共电力公司配电分部工作,致力于电网和分布式发电的研究。2002 年他成为 NTUA 电力配电系的教工,目前已为副教授。2009 年他成为希腊 TSO 董事会成员。他的研究方向是风力机和光伏 (PV) 技术,分布式发电并网以及储能应用。他是 IEEE、CIGRE 和希腊技术委员会的会员。

Farhad Rachidi (IEEE 和 EMP 会士) 分别于 1986 年和 1991 年在洛桑的瑞士联邦理工学院获得电气工程硕士和博士学位。直到 1996 年他一直在该学院电力系统实验室工作。1997 年,他在加拿大多伦多大学闪电研究室工作,从 1998 年 4 月到 1999 年 9 月他在瑞士蒙大拿 EMC 实验室工作。目前,他是瑞士联邦理工学院 EMC 实验室的负责人。Rachidi 博士是国际雷电保护会议 (ICLP) 主席、欧洲闪电及其效应物理现象分析研究会副主席、IEEE 电磁兼容会报副主编、闪电研究期刊副主编。他单独或与他人合作发表了 300 余篇期刊和国际会议论文。2005 年,他获得了 IEEE 技术成就奖和 CIGRE 技术委员会奖。2006 年他获得了由法国电气工程、电子、信息技术和通信委员会颁发的布隆德奖。

Mohammad Lutfur Rahman 出生并成长在孟加拉国。他分别在 2000 年、2003 年和 2010 年在菲律宾和日本获得了理科计算机工程学士 (菲律宾 AMA 大学)、信息技术硕士 (菲律宾科技大学) 和能源科学博士学位 (日本京都大学)。他曾在泰国东亚大学和泰国皇家理工大学做过讲师。目前,他是孟加拉国州立大学计算机科学与工程系的负责人 (副教授)。Rahman 博士的研究方向是包括新能源、混合电力系统、风力发电和潮汐能发电在内的下一代发电系统。

Marcos Rubinstein 于 1982 年在委内瑞拉加拉加斯市的西蒙玻利瓦尔大学获得电子专业学士学位,1986 年和 1991 年在盖恩斯威尔市的佛罗里达大学获得电气工程硕士和博士学位。1992 年他任职于瑞士联邦理工学院并与前瑞士邮电总局密切合作开展电磁兼容 (EMC) 和闪电的研究。1995 年,他任职于瑞士电信并从事电信中的电磁数值计算和电磁兼容研究,在此期间他完成了许多 EMC 和电磁辐射生物效应领域的合作项目。2001 年,他任职于西瑞士应用科学大学,目前他是该校通

信系教授和 IICT 研究所成员。他目前的研究方向是闪电、通信系统的 EMC、PLC、无线技术和 2 层网络安全等。他独立或与他人合作发表了 100 余篇期刊和国际会议论文。Rubinstein 教授获得了佛罗里达大学最优硕士论文奖,他也获得了 IEEE 成就奖并与他人共同获得了美国航空航天局 (NASA) 创新技术奖。他也是 IEEE 高级会员,瑞士科学院和国际无线电科学联盟成员。

J. Ruiz 于 1960 年出生于西班牙的比斯开。他分别于 1983 年和 1988 年在西班牙巴斯克地区大学获得电气工程硕士和博士学位。1985 年,他受聘为巴斯克地区大学电子和通信系副教授,2002 年成为教授。他的研究方向是电力系统和电能质量评估及闪变测量的数字信号处理。

B. S. Rajpurohit 分别于 2005 年和 2009 年在印度 Roorkee 理工学院和 Kanpur 理工学院获得电气工程硕士和博士学位。目前,他是印度 Mandi 理工学院计算机和电气工程系副教授。他的研究方向是电力系统谐波、新能源并网、电机参数估计和风力发电。Rajpurohit 博士是 IEEE 会员。

Johel Rodríguez-D'Derlée 于 2000 年在委内瑞拉 Táchira 大学获得电气工程学士学位,2004 年在委内瑞拉 Carabobo 大学获得数学和计算机科学硕士学位。他目前在西班牙瓦伦西亚科技大学控制系统和工业计算学院攻读博士学位,主要致力于对海上风电场和 HVDC 输电先进控制系统的研究。他的研究方向是新能源变流器的先进控制技术。

P. Saiz 于 1972 年出生于西班牙的苏马拉加。她于 1996 年在西班牙巴斯克地区大学 (UPV/EHU) 获得了通信工程硕士学位,并于 2007 年在同一所大学获得博士学位。在积累了 6 年的 GSM/GPRS/UMTS 移动网络运行和工程经验后,她于 2002 年到 UPV/EHU 工作,并成为毕尔巴鄂工学院电子与通信系的助理讲师。她的研究方向是电力系统和电能质量评估中的数字信号处理。

M. R. I. Sheikh 于 1967 年 10 月 31 日出生于孟加拉国的 Sirajgonj。他分别于 1992 年和 2003 年在孟加拉国的拉杰沙希工程技术大学 (RUET) 获得电气与电子工程学士和硕士学位。他目前是 RUET 电气与电子工程系副教授。2010 年 9 月他在日本北海道的北见理工学院获得博士学位。他的研究方向是包括带有 SMES 的风力发电机、FACTS 和负荷频率控制的大区域电力系统稳定性增强研究。

Yasuyuki Shirai 出生于日本的京都。他分别于 1980 年、1982 年和 1988 年在京都大学获得电气工程学士、硕士和博士学位。1985 年他成为京都大学能源科学研究生院的助理教授,1996 年成为副教授,目前是教授。他的研究方向是电力系统设备的超导体,包括新能源和能源基础设施的下一代电力系统。

S. N. Singh 出生于 1966 年 9 月 5 日,他分别于 1989 年和 1995 年在印度坎普尔理工学院获得电气工程硕士和博士学位。目前,他是该学院电气工程系的教授。Singh 博士获得了包括 2000 年印度国家工程院青年工程奖, IIT Roorkee 科斯拉研究奖和 1996 年新德里 CBIP 青年工程奖在内的多个奖项。Singh 教授还是德国洪堡奖

金(2005、2007)和丹麦 Otto-monsted 奖金(2009~2010)的获得者。他的研究方向是电力系统改制、FACTS、电力系统优化与控制、安全分析、风力发电等。他是印度电子与通信工程师学会(IETE)会员、IEEE 高级会员和印度工程师协会会员。他在国际期刊和会议上发表了 285 篇论文。他还编著了由印度 PHI 出版社出版的两本关于电力系统发电、输电/配电和基本电气工程的专著。

Alexander Smorgonskiy 分别于 2007 年和 2009 年在俄罗斯圣彼得堡国立技术大学获得电气工程学士和硕士学位(优秀成绩)。他目前在瑞士联邦理工学院攻读博士学位。2008~2009 年,他获得了瑞士政府的研究奖学金。

Junji Tamura 于 1979 年在日本室兰工业大学获得工程学士学位,1981 年和 1984 年在北海道大学获得电气工程硕士和博士学位。1984 年他成为北见理工学院的讲师,1986 年成为副教授。他目前是该学院的教授和副院长。他的研究方向是电机、电力系统和风力发电。他在国际期刊上发表了 100 余篇论文,并发表了 150 余篇国际会议论文,独立或与他人合作编著了数部专著。他还兼任不同国内或国际会议技术委员会的主席和成员等职务。他也是 IEEE 高级会员。

Fujio Tatsuta 于 1959 年出生于日本。1982 年他在东京电机大学获得工程学士学位。1982 年开始留校工作,目前是助理教授。他是日本电气工程师协会会员。

W. Timothy Liu 于 1971 年在俄亥俄大学获得物理学学士学位。1974 年和 1978 年在华盛顿大学获得大气科学硕士和博士学位。1979 年他成为喷气推进实验室(JPL)卫星海洋学的项目负责人。从 1993 年他成为 JPL 的高级科学家。1992~2006 年期间,他是 NASA 散射仪项目的首席科学家。他是美国气象学会和美国科学进步协会的会员。他的研究方向是海洋-大气相互作用、水循环和气候。

Kuo-Hua Wang 于 1982 年 12 月 30 日出生于中国台湾云林县。2005 年 6 月本科毕业于台中市逢甲大学电气工程系,2007 年 6 月硕士毕业于台湾成功大学电气工程系。他的研究方向是采用 HVDC 输电系统并网的风力发电感应发电机仿真。

Li Wang 于 1988 年 6 月在台湾大学电气工程系获得博士学位。他分别于 1988 年和 1995 年在台湾成功大学电气工程系任副教授和教授。2000 年 2~7 月他作为访问学者在美国拉斐特市的普渡大学电气工程与计算机科学学院访学。2003 年 8 月到 2004 年 1 月在华盛顿州立大学电气工程与计算机科学学院访学。2008 年 8 月到 2009 年 1 月在阿灵顿德克萨斯大学能源系统研究中心(ESRC)做访问学者。目前,他的研究方向是电力系统动态稳定、交流电机分析和新能源。他是 IEEE 高级会员。

Lingfeng Wang 目前是美国俄亥俄州托莱多大学(UT)电气工程与计算机科学系的助理教授。2008 年他在德克萨斯农机大学获得博士学位。他还在中国的浙江大学获得学士学位,在新加坡国立大学获得第二硕士学位。在到 UT 工作前,他在加利福尼亚 ISO 做区域输电规划工作。Wang 博士因其卓越的研究而屡获殊荣,此外还获得数个最佳论文奖。他独立或与他人合作编著了 6 本专著和 100 余篇论文。

他还在数个期刊的编辑部工作，并且是数个国际会议技术程序委员会成员。他曾受邀在超过 25 个大学或国家实验室做报告。他的研究方向是电力系统可靠性、新能源并网、智能计算和工业信息化。

Xiaosu Xie 在中国气象科学研究院获得硕士学位，在夏威夷大学获得大气科学博士学位。她在 1996 年到 JPL 海洋-大气交互作用和气候研究团队工作。她的研究方向是气候动力学/热力学、水和碳循环、卫星海洋学。她也从事从卫星观察来估计全球水文平衡和碳循环主要成分的算法开发研究工作。她参与了大量 NASA 地球空间观测任务，包括 QuikSCAT、SeaWinds、TRMM、Aqua、AMSR 和 Topex/JASON。

Lie Xu 于 1993 年在中国浙江大学获得工程学士学位，1999 年在英国谢菲尔德大学获得博士学位。2004 年他到贝尔法斯特女王大学电子、电气工程和计算机科学学院工作，目前是高级讲师。2001~2003 年他在英国斯坦福的阿尔斯通输电公司工作。他的研究方向是电力电子、风力发电和并网、电力电子在电力系统中的应用。Xu 博士是 IEEE 高级会员。

Liangzhong Yao 分别于 1989 年和 1993 年在中国的清华大学获得电力系统工程硕士和博士学位。他目前是阿尔斯通电网（前阿尔斯通输配电）研究与技术中心电网解决方案、智能电网和新能源技术部经理、技术顾问和高级专家。在此之前直到 1995 年他是清华大学副教授，1995~1999 年他是曼彻斯特大学电力研究中心博士后助理研究员，1999~2004 年他是 ABB 英国公司网络咨询集团高级电力系统分析师。Yao 博士是 IET 会士，也是上海交通大学和四川大学的客座教授。

Yasuda Yoh 于 1967 年出生于日本东京。1989 年本科毕业于横滨国立大学电子与信息工程专业，1994 年在同一所学校获得博士学位。1994 年开始他在日本关西大学电气工程与计算机科学系工作，目前是副教授。他的研究方向是风力机的雷电保护、大型风力机并网稳定性技术。Yasuda 博士是日本风能协会执行董事。他也是欧洲风能协会（EWEA）、IEEE 和其他国内相关协会会员。

Hui Zhang 分别于 2000 年和 2003 年在浙江大学获得电气工程学士和硕士学位，2007 年在田纳西大学获得电气工程博士学位。2005 年她作为学生加入到美国橡树岭国家实验室（ORNL）电力电子与电机研究中心工作。2007~2009 年他在田纳西大学和 ORNL 做博士后研究工作。目前，她是阿拉巴马州塔斯基吉大学电气工程系助理教授。她的研究方向是碳化硅电力电子、电源调节、新能源系统、电机等。Zhang 博士是 IEEE 电力电子学会、工业应用学会和工业电子学会会员。她还是 IEEE 会报审稿人和 IEEE 会议支持人。

目 录

译者序

前言

鸣谢

作者简介

第1章 概述	1
1.1 全球风能利用情况	1
1.1.1 亚洲	1
1.1.2 北美洲	5
1.1.3 欧洲	7
1.1.4 拉丁美洲	7
1.1.5 太平洋地区	7
1.1.6 非洲和中东地区	7
1.2 市场预测	7
1.3 当前和未来的技术发展	11
1.3.1 风力发电机组	11
1.3.2 电力电子变流器技术	12
1.3.3 海上风电场	12
1.3.4 运行与维护	14
1.3.5 中大容量电力传输	14
1.3.6 可变性与可预测性	14
1.3.7 储能	15
1.3.8 电网规范	15
1.4 本书中的风力发电	16
1.5 结论	19
参考文献	19

第1部分 风力发电系统

第2章 风力发电机的损耗和效率计算方法	21
2.1 引言	21

2.2 笼型感应发电机的计算方法	22
2.2.1 计算方法概述	22
2.2.2 计算所需模型和公式	23
2.2.3 计算结果	27
2.3 永磁同步发电机的计算方法	28
2.3.1 系统配置	28
2.3.2 计算所需的模型和公式	29
2.3.3 计算结果	33
2.4 双馈感应发电机的计算方法	36
2.4.1 系统配置	36
2.4.2 计算所需的模型和公式	36
2.5 三种风力发电机 (IG、PMSG、DFIG) 利用率的比较研究	41
2.5.1 威布尔分布函数	41
2.5.2 利用率计算结果	41
2.6 结论	42
参考文献	43
第3章 超导直驱风力发电机：优势与挑战	44
3.1 引言	44
3.2 大容量海上风力机	45
3.3 驱动链	47
3.4 发电机类型	48
3.5 第一代：铜和钢材料	48
3.5.1 欧姆定律和发热	49
3.5.2 磁钢和磁路	50
3.6 第二代：Nd ₂ Fe ₁₄ B、铜和钢材料	50
3.7 第三代：超导体、铜和钢	52
3.7.1 超导率	53
3.7.2 高温超导材料	55
3.7.3 赛道状线圈和发电机设计	57
3.8 直驱超导发电机的优势	59
3.9 技术挑战	61
3.9.1 低温箱厚度的最小化	61
3.9.2 转矩传递管	62
3.9.3 当前发展状况和备选方案	63
3.9.4 路线图	63