



国际电气工程先进技术译丛

 Springer

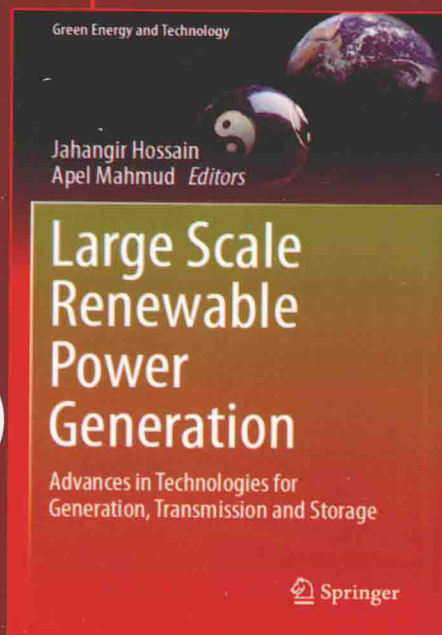
大规模可再生能源发电 ——发电、输电和存储先进技术

**Large Scale Renewable Power
Generation: Advances in Technologies for
Generation, Transmission and Storage**

[澳] 贾汗季·侯赛因 (Jahangir Hossain) 主编
阿佩尔·马哈茂德 (Apel Mahmud)
连晓峰 金学波 等译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



 Springer

国际电气工程先进技术译丛

大规模可再生 能源发电——发电、 输电和存储先进技术

[澳] 贾汗季·侯赛因 (Jahangir Hossain) 主编
阿佩尔·马哈茂德 (Apel Mahmud)
连晓峰 金学波 等译



机械工业出版社

Translation from English language edition:

Large Scale Renewable Power Generation: Advances in Technologies for Generation, Transmission and Storage by Jahangir Hossain and Apel Mahmud.

Copyright © 2014 Springer Singapore

Springer Singapore is a part of Springer Science + Business Media.

All Rights Reserved.

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: 01-2014-6309 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

大规模可再生能源发电: 发电、输电和存储先进技术/ (澳) 侯赛因 (Hossain, J.), (澳) 马哈茂德 (Mahmud, A.) 主编; 连晓峰等译。

—北京: 机械工业出版社, 2016. 5

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Large Scale Renewable Power Generation

ISBN 978-7-111-53592-8

I. ①大… II. ①侯…②马…③连… III. ①再生能源 - 发电 - 研究
IV. ①TM619

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 081365 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: 陈 越 封面设计: 马精明

责任印制: 常天培

北京中兴印刷有限公司印刷

2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 25.5 印张 · 494 千字

0 001—2 600 册

标准书号: ISBN 978-7-111-53592-8

定价: 119.00 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

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com



译 者 序

本书重点介绍了大规模可再生能源发电与现有电网并网的问题。全书是由英国、澳大利亚、我国等从事相关领域研究的专家学者编著而成，而主编是澳大利亚格里菲斯大学格里菲斯工程学院的 Jahangir Hossain 教授和澳大利亚斯文本科技大学电子与电气工程系的 Apel Mahmud 教授。

本书内容涵盖不同类型的可再生能源发电及其输配电、存储和保护；用于可再生能源发电机组无升压变压器直接并网的中压变换器的发展；大规模可再生能源发电的并网准则和弹性分析；有功功率和频率控制以及 HVDC 输电。另外，还介绍了用于大规模可再生能源电力系统控制和集成的新兴 SMES 技术以及大规模分布式可再生能源电力系统的保护与单向潮流的现有保护技术。

本书共分为 17 个专题，涵盖了风电、太阳能发电、智能电网等可再生能源的建模、互连、继电保护等内容，同时也是美国、英国、澳大利亚、西班牙、巴西以及我国等国家在大规模可再生能源发电、并网、存储等方面最新的研究成果汇编。本书内容丰富，涉及面广，并对今后智能电网的发展提出了新的发展思路。

本书第 1~3 章由连晓峰翻译，第 4、第 5 章由侯秀林翻译，第 6、第 7 章由梁秋鸿、连晓峰翻译，第 8 章由雷天缘、连晓峰翻译，第 9 章由马慧茹、金学波翻译，第 10、第 11 章由李刘颂翻译，第 12、第 13 章由袁艺翻译，第 14、第 15 章由吴京玉、连晓峰翻译，第 16、第 17 章由连晓峰、侯宝奇翻译。另外，叶璐、王佩荣、潘峰、刘鹏华、蔡文靖、赵旭、彭森、张丹瑶、李东红、张晓伟、王伟、贾琦、金成学、潘媛、韩孝军、孙冬等人也参与了部分翻译工作，在此表示衷心感谢！全书由连晓峰审校整理，并对原书中的错误进行了译注。

限于译者的经验和水平，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

译者

原 书 前 言

21 世纪的电网正经历着一次世界范围的重大变革，使得电网更智能、更清洁、更高效和更可靠。在不同的可再生能源中，风能和太阳能在大多数国家已得到普及和广泛应用。由于可再生能源的易变性，包括有功功率和无功功率、输出电压和频率等电力方面，这对于当前大规模风电和太阳光伏（PV）并网发电的电力行业是一个重大的挑战性问题。目前，在世界上已有超过 69.68GW 的光伏和 250GW 的风电装机。全球已有 200 多个光伏发电厂，其中每个发电厂都能产生 10MW 以上的输出功率。在这些发电厂中，有 34 个位于西班牙，26 个位于德国。光伏发电厂的数量还会继续增加。在未来几年内，将会新增 250 多个光伏发电厂。目前，风电的输出功率已超过 7MW。例如，自从 2011 年以来，ENERCON 公司已生产出发电容量为 7.5MW 的风机 E-126/7500。目前，正在研究包括 10MW 风力发电机组的 Sway 风机和 Windtec 解决方案，预计将在 2015 年推向市场。

本书旨在介绍涉及大规模可再生能源发电、输配电、储能和保护的相关技术和监管问题，以构成一个环境可持续发展的智能电网。本书的主要目的是介绍大规模可再生能源发电的相关问题，并表明这种新兴领域的技术在未来可持续发展的世界中所发挥的作用。本书重点强调了在能源发电、输配电、能量存储和保护方面的技术、材料、系统和过程的最新进展。

本书关注于发电、输配电、存储和保护等不同问题。介绍了大规模可再生能源发电相关的关键问题，如不确定性建模技术、可再生能源的统计特性、能量转换效率和紧凑轻便的发电系统。同时，还包含了可再生能源发电机组无升压变压器直接并网的中压变换器、并网准则、大规模可再生能源发电的弹性分析、有功功率和频率控制以及 HVDC 输电。另外，还讨论了控制和集成大规模可再生能源电力系统的新兴 SMES 技术。由于大规模分布式可再生能源发电系统与现有的单向潮流保护系统相比，具有不同的保护问题，本书将为可再生能源发电机组提供新的保护技术。

在“可再生能源系统不确定性建模技术的分类研究”中讨论了用于可再生能源系统研究的各种不确定性建模工具，并确定了其中一种适用于可再生能源的建模工具。在“风电总量的概率建模与统计特征”中讨论了大型电力系统中风电总量的概率模型及其统计特性。在“GaAs 太阳电池转换效率的改进”中提出了一种 GaAs 太阳电池转化效率的改进方法。在“新兴 SMES 技术在能量存储系

统和智能电网中的应用”中介绍了 SMES 技术在能量存储系统和未来智能电网中的应用。在“用于可再生能源发电机组与中压智能微电网直接集成的无升压变压器的多电平变换器”中提供了分析中压应用领域中开关和控制问题的不同多电平变换器拓扑。在“大规模可再生能源发电的互连规则综述”中通过不同的输电系统运营商和监管机构对大型可再生能源发电厂的电网互连规则进行了全面研究。对于大规模可再生能源的未来电网，在“大规模可再生能源富电网的弹性分析：基于网络渗流的方法”中给出了基于复杂网络的网络弹性（渗流）分析。“未来电网频率控制和惯性响应方案”和“大规模可再生能源的有功功率和频率控制”的目的是介绍低惯性可再生电力网络中系统频率和有功功率控制的基本问题。

可再生能源集成的一个重要方面是分析其对电力系统可靠性的影响，这在“相关性风电高渗透对电力系统可靠性的影响”中进行了讨论。在“海上风电场的 HVDC 输电”中对海上风电场并网的不同拓扑进行了综述。在“风电场保护”中给出了不同风力发电机组的保护方案、技术上的挑战和困难。并在“风电场和 FACTS 设备对距离继电器性能的影响”中讨论了其对距离继电器的影响。接下来，在“大规模海上风电场网状 VSC - HVDC 输电系统的保护方案”中提出了大规模海上风电场高压直流（HVDC）输电系统的保护方案。

无刷双馈磁阻发电机（BDFRG）是一种在大规模并网风力发电机组中非常具有前景的技术，在“新兴无刷双馈磁阻风力发电机组的控制”中讨论了其工作原理和控制策略。在“间歇性风力发电的能源中心管理”中介绍了一种针对间歇式风力发电的能源中心进行能量优化的方法。最后，“基于 IEC 公共信息模型的智能电网交互性和知识表示方法”中讨论了智能电网信息可交互性的理念和流程，以利用电力设施来建设和控制一个新兴的智能电网，并阐述了公共信息模型如何符合一个标准化的电力系统可交互性框架。

主编、编委会和审稿专家

主编

Jahangir Hossain, 格里菲斯工程学院, 格里菲斯大学, 黄金海岸, 昆士兰州, 澳大利亚

Apel Mahmud, 电子与电气工程系, 斯文本科技大学, 维多利亚州, 澳大利亚
编委会

Jianguo Zhu 教授, 悉尼科技大学, 澳大利亚

Hemanshu Roy Pota 助理教授, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Nadarajah Mithulananthan 博士, 昆士兰大学, 澳大利亚

Youguang Guo 助理教授, 悉尼科技大学, 澳大利亚

审稿专家

Nigel Hargreaves, 布鲁内尔大学, 英国

Naruttam Kumar Roy, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Francisco Gonzalez - Longatt, 拉夫堡大学, 英国

Tareq Aziz, Ahsanullah 科技大学, 孟加拉国

Tahsin Fahima Orchi, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Raymundo Enrique Torres Olguin, Sintef 能源研究, 特隆赫姆, 挪威

Md. Abdul Barik, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Ramesh Rayudu, 惠灵顿维多利亚大学, 新西兰

Ramesh Bansal, 比勒陀利亚大学, 南非

Md. Shihanur Rahman, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Ahmed Fathi Abdou, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Henry Louie, 西雅图大学, 美国

A. B. M. Nasiruzzaman, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Jayashri Ravishankar, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Md. Masud Rana, 悉尼大学, 澳大利亚

Elyas Rakhshani, 帕尔马斯阿特拉斯园区, 西班牙

Sajeeb Saha, 墨尔本大学, 澳大利亚

Rajeev Chauhan, Mandi 印度技术学院, 印度

Mithulan Nadarajah, 昆士兰大学, 澳大利亚

Md. Rakibuzzaman Shah, 昆士兰大学, 澳大利亚

Geev Mokryani, 帝国理工学院, 伦敦, 英国

Abdun Naser Mahmood, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Bharat Singh Rajpurohit, Mandi 印度技术学院, 印度

Md. Rabiul Islam, 悉尼科技大学, 澳大利亚

B. Azzopardi, 考纳斯科技大学, 立陶宛

Ayaz Chowdhury, 斯文本科技大学, 澳大利亚

Farhad Shahania, 科廷大学, 澳大利亚

G. A. Taylor, 布鲁内尔大学, 英国

F. M. Rabiul Islam, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Jin Yang, 阿斯顿大学, 英国

Hemanshu Roy Pota, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Alireza Soroudi, 德黑兰大学, 伊朗

Adnan Anwar, 新南威尔士大学, 澳大利亚

Asheesh K. Singh, 尼赫鲁国立理工学院, 阿拉哈巴德, 印度

本书重点介绍了大规模可再生能源发电与现有电网并网的问题。本书所涉及的问题包括不同类型的可再生能源发电及其输配电、存储和保护。另外，还包括用于可再生能源发电机组无升压变压器直接并网的中压变压器的发展、大规模可再生能源发电的并网准则和弹性分析、有功功率和频率控制以及 HVDC（高压直流）输电。同时，还介绍了用于大规模可再生能源电力系统控制和集成的新兴 SMES（超导磁储能）技术。由于大规模分布式可再生能源电力系统的保护与单向潮流的现有保护系统不同，本书还介绍了一种用于与智能电网现状相关的可再生能源发电机组的新型保护技术。

本书可作为从事可再生能源发电和智能电网领域的研究人员的参考用书，也可供电力专业高校师生参考。

目 录

译者序

原书前言

主编、编委会和审稿专家

第 1 章 可再生能源系统不确定性建模技术的分类研究	1
1.1 简介	1
1.2 概率方法	2
1.2.1 蒙特卡洛模拟法	2
1.2.2 点估计法	3
1.2.3 基于场景的决策	4
1.3 风力发电和负荷的不确定性建模	5
1.3.1 风力发电建模	5
1.3.2 负荷的概率建模	6
1.3.3 负荷的可能性建模	7
1.4 仿真结果	8
1.4.1 蒙特卡洛模拟法	9
1.4.2 点估计法	10
1.4.3 基于场景的方法	10
1.4.4 基于混合的方法	13
1.5 未来研究方向	14
1.6 小结	15
致谢	15
参考文献	15
第 2 章 风电总量的概率建模和统计特征	17
2.1 简介	17
2.2 风电总量的一般特征	18
2.2.1 风电总量的不确定性	18
2.2.2 风电总量的波动性	20
2.3 独立风电场模型	20
2.3.1 风速概率模型	21
2.3.2 理想风机输出功率曲线	22
2.3.3 理想风电场模型	24
2.3.4 非理想化风电场建模	26

2.4 地理多样性	27
2.4.1 理论基础	28
2.4.2 不确定性和波动性推导	28
2.4.3 瞬时风电的相关性	29
2.4.4 风电变化的相关性	30
2.4.5 影响相关性的其他因素	31
2.4.6 风电依赖结构	31
2.4.7 多变量模型与仿真	33
2.4.8 实际问题	34
2.5 风电总量模型	34
2.5.1 瞬时风电总量模型	34
2.5.2 β 分布参数选择	35
2.5.3 风电总量变化模型	36
2.5.4 拉普拉斯分布参数选择	36
2.5.5 变化周期的影响	38
2.6 风电总量的统计特征	39
2.6.1 数据集描述	40
2.6.2 不确定性的统计分析	40
2.6.3 波动性的统计分析	41
2.6.4 容量对不确定性和波动性的影响	42
2.7 小结	43
参考文献	43
第3章 GaAs 太阳能电池转换效率的改进	46
3.1 简介	46
3.1.1 太阳能背景知识	46
3.2 薄膜太阳能电池的基本结构	48
3.3 AR 涂层和 SWG 结构的背景知识	50
3.3.1 AR 涂层	50
3.3.2 蛾眼工作原理	51
3.4 纳米光栅结构设计	54
3.5 纳米结构仿真的 FDTD 软件	55
3.5.1 FDTD 仿真方法的基本原理	55
3.5.2 FDTD 方法的二维方程	55
3.5.3 Lorentz - Drude 模型	57
3.6 仿真结果与分析	59
3.7 不同纳米光栅的最小光线反射	62
3.8 小结	63
致谢	64

参考文献	64
第 4 章 新兴 SMES 技术在能量存储系统和智能电网中的应用	66
4.1 简介	66
4.2 能量存储技术	67
4.3 SMES 电路和控制技术	68
4.3.1 工作原理	68
4.3.2 控制与保护原理	71
4.3.3 一种新型数字预测控制方法的原理与实现	73
4.4 实验验证与特性分析	76
4.4.1 实验样机设计	76
4.4.2 实验验证与比较	77
4.5 SMES 装置的发展现状	83
4.6 SMES 应用拓扑和性能评估	85
4.6.1 基本的 VSC 和 CSC 应用拓扑	85
4.6.2 电力电网中的集成应用拓扑	87
4.6.3 电力电网中 SMES 的应用	89
4.7 SMES 在智能电网中的应用前景	94
4.7.1 SMES 在现代电力系统中的应用案例	94
4.7.2 未来智能电网中 SMES 的应用前景和分析	98
致谢	103
参考文献	103
第 5 章 用于可再生能源发电机组与中压智能微电网直接集成的无升压变压器的多电平变换器	108
5.1 简介	108
5.2 多电平变换器拓扑	110
5.2.1 中性点钳位变换器	112
5.2.2 快速充电电容变换器	114
5.2.3 模块化多电平级联变换器	115
5.3 多电平变换器拓扑的选择	116
5.4 变换器电平个数的选择	119
5.5 基于 FPGA 的开关控制器	121
5.6 高频链路 MMC 变换器	123
5.7 小结	126
参考文献	127
第 6 章 大规模可再生能源发电的互连规则综述	129
6.1 简介	129
6.2 电网互连规则的必要性	131
6.2.1 资源的可变性与不确定性	131

6.2.2	发电厂位置	131
6.2.3	发电技术及系统条件	131
6.3	电网标准研究	131
6.4	电网互连中的主要技术问题	132
6.4.1	静态规则	133
6.4.2	电能质量	137
6.4.3	扰动期间和扰动后的动态规则	139
6.5	大规模光伏电站的电网标准	143
6.6	总结和未来趋势	143
6.7	小结	144
	参考文献	145
第7章	大规模可再生能源富电网的弹性分析：基于网络渗流的方法	147
7.1	简介	147
7.2	系统模型	148
7.3	渗流和网络弹性	150
7.4	连通性测度 - 度中心性	153
7.5	独立性测度 - 紧密中心性	154
7.6	通信控制测度 - 介数中心性	156
7.7	仿真结果	159
7.8	小结	162
	参考文献	162
第8章	未来电网的频率控制和惯性响应方案	164
8.1	简介	164
8.2	系统频率响应	168
8.3	风力发电的频率响应	172
8.4	风力发电频率响应控制器	174
8.4.1	风机级控制器	174
8.4.2	调节器响应控制器	178
8.4.3	风电场级控制器	183
8.4.4	电力系统级控制器	184
8.5	合成或人工惯性	186
8.6	高压直流输电系统提供频率响应	188
8.7	小结	193
	参考文献	193
第9章	大规模可再生能源的有功功率和频率控制	197
9.1	简介	197
9.2	有功功率控制的传统方案	198
9.2.1	主级有功功率/频率控制	198

XII 大规模可再生能源发电——发电、输电和存储先进技术

9.2.2 辅助高级控制	199
9.2.3 多机四区域电力系统示例	201
9.3 适用情况	203
9.3.1 市场环境下的功率/频率控制	204
9.3.2 可再生能源渗透的功率/频率控制	207
9.3.3 互连系统交流/直流输电线下的功率/频率控制	214
9.4 先进控制概念在有功功率控制中的应用	220
9.4.1 应用于 LFC 系统的先进 LQR 控制器设计	220
9.4.2 先进控制应用的一般示例	224
9.5 小结	226
附录	227
参考文献	228
第 10 章 相关性风电高渗透对电力系统可靠性的影响	230
10.1 简介	230
10.2 基于非序贯 MCS 的可靠性评估	231
10.3 相关时变元素	232
10.4 时变变量表征模型	233
10.5 实验结果	235
10.5.1 案例 1: 可变负荷和无风电场	237
10.5.2 案例 3: 约束输电网络	238
10.5.3 案例 4: 三风电场和可变负荷	240
10.6 小结	240
参考文献	241
第 11 章 海上风电场的高压直流输电	243
11.1 简介	243
11.2 海上风电面临的挑战	244
11.3 海上电网: 交流与直流拓扑	246
11.4 海上风能能量变换系统的不同概念	248
11.5 海上风能高压直流输电的线路换相变换器	249
11.6 海上风电高压直流输电的电压源型变换器	251
11.7 海上风电高压直流输电的新趋势	252
11.7.1 混合拓扑	252
11.7.2 模块化多电平变换器	255
11.8 电缆技术	257
11.9 小结	258
参考文献	259
第 12 章 风电场保护	262
12.1 简介	262

12.2	传统发电机组布局	263
12.3	风电场布局	263
12.4	风电场与传统发电保护	263
12.5	故障穿越标准、保护和协调控制	264
12.6	案例研究	266
12.6.1	所研究电网	266
12.7	风电场并网动态故障研究	267
12.7.1	模型阶次对故障电流或电压的影响	267
12.7.2	时间步长对故障电流或电压的影响	267
12.7.3	短路电阻对故障电流或电压的影响	268
12.7.4	风力发电机组比较故障分析	269
12.8	研究结果的意义	270
12.8.1	类型 1 和类型 2 风力发电机组的保护性能	272
12.8.2	类型 3 风力发电机组的保护性能	273
12.8.3	类型 4 风力发电机组的保护性能	273
12.8.4	风力发电机组的保护性能总结	274
12.9	小结	274
	附录	275
	参考文献	277
第 13 章	风电场和 FACTS 设备对距离继电器性能的影响	278
13.1	简介	278
13.2	距离继电器建模	280
13.3	基于变换器的系统对距离继电器性能的影响	285
13.3.1	风电场 (DFIG 方案)	285
13.3.2	测试系统	286
13.3.3	STATCOM	288
13.3.4	UPFC	291
13.3.5	串联补偿	293
13.3.6	非滤波频率分量输入信号在距离继电器阻抗估计中的作用	295
13.4	以 Prony 法为滤波技术的距离保护算法	300
13.4.1	Prony 法	300
13.5	距离保护算法分析	302
13.5.1	接触误差补偿 (风电场)	302
13.5.2	接触误差补偿 (STATCOM)	303
13.5.3	接触误差补偿 (UPFC)	303
13.5.4	接触误差补偿 (串联补偿)	303
13.5.5	接触误差补偿 (实际故障事件)	304
13.6	结果分析	306

13.7 小结	306
参考文献	307
第 14 章 大规模海上风电场网状 VSC - HVDC 输电系统的保护方案	309
14.1 简介	309
14.2 多端网状直流风电场网络	310
14.2.1 多端网状直流风电场拓扑	310
14.2.2 保护测试研究的超级电网结构	311
14.3 大规模网状电力系统直流故障分析	313
14.3.1 适合直流故障分析的电缆建模	313
14.3.2 直流母线故障	315
14.4 网状直流系统保护方案	315
14.4.1 大功率直流开关设备配置	316
14.4.2 直流断路器继电器协调关系	318
14.4.3 保护方案	319
14.4.4 无中继通信的保护选择	321
14.5 直流风电场保护仿真结果	323
14.5.1 直流径向电缆短路/接地故障条件	324
14.5.2 直流回路电缆短路/接地故障条件	326
14.5.3 直流母线短路/接地故障条件	326
14.5.4 电缆模型比较	328
14.6 小结	329
参考文献	329
第 15 章 新兴无刷双馈磁阻风力发电机组的控制	331
15.1 简介	331
15.2 动态模型	333
15.3 控制器设计	334
15.4 控制原理	336
15.4.1 矢量控制	336
15.4.2 磁场定向控制	338
15.4.3 BDFRG 风机工作条件	338
15.4.4 最优控制策略	339
15.4.5 风机特性	339
15.5 初步实验结果	340
15.6 小结	343
参考文献	344
第 16 章 间歇性风力发电的能源中心管理	346
16.1 简介	346
16.1.1 问题提出	346

16.1.2	相关工作回顾	348
16.2	风险管理	348
16.3	问题描述	350
16.3.1	能源中心建模	350
16.3.2	火电机组约束	351
16.3.3	风电、电价和需求等关键问题的不确定性建模	352
16.3.4	决策变量	355
16.3.5	目标函数	356
16.4	仿真结果	356
16.4.1	数据	356
16.4.2	Pareto 最优前沿测定	358
16.4.3	最终解的选择	359
16.5	讨论	366
16.6	小结	366
附录	366
附录 A	场景缩减技术	366
附录 B	Pareto 最优性	367
附录 C	模糊满意度方法	367
参考文献	368
第 17 章	基于 IEC 公共信息模型的智能电网交互性和知识表示方法	370
17.1	简介	370
17.2	智能电网的概念	371
17.3	交互性理论	372
17.3.1	工程系统的交互性	375
17.3.2	交互性和面向服务的体系结构	376
17.3.3	交互性和 CIM	377
17.4	应用案例	377
17.5	智能电网标准架构	378
17.6	IEC CIM	380
17.6.1	CIM 作为电力域的本体	382
17.6.2	CIM 与其他标准的协调统一	382
17.7	信息集成与知识表示	383
17.8	小结	384
参考文献	385