



国际电气工程先进技术译丛

 Springer

可再生能源集成 ——挑战与解决方案

**Renewable Energy Integration:
Challenges and Solutions**

[澳] 贾汗季·侯赛因 (Jahangir Hossain)
阿佩尔·马赫穆德 (Apel Mahmud)

主编

胡长斌 刘欣博 温春雪

译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

可再生能源集成—— 挑战与解决方案

[澳] 贾汗季·侯赛因 (Jahangir Hossain) 主编
阿佩尔·马赫穆德 (Apel Mahmud)
胡长斌 刘欣博 温春雪 译

机械工业出版社

本书针对可再生能源集成技术提出可再生能源一体化的潜在问题,并给出有效及创新的解决方案,旨在对新能源领域的相关研究工作进行总结,以期推动可再生能源一体化的发展。针对分布式发电装机容量高速增长和规模化接入,微电网成为关联传统电网和分布式发电的桥梁和纽带,并对提高分布式电源供电可靠性和充分消纳起到关键支撑作用。但是如何规划设计以满足微电网的适应性,克服间歇性不可控能源以及柔性负荷对微电网系统的影响,完成系统的先进能效管理策略等关键性技术都亟待解决。本书从可再生能源投资决策、智能电网实际运行问题、可再生能源电力电子系统稳定性分析和控制,以及系统集成方法和保护控制等方面进行了详细的阐述。

本书适合从事电力系统、新能源、微电网等相关领域工作的科技工作者阅读,也可供高等院校电气工程相关专业的教师、研究生以及本科生参考。

Translation from English language edition;

Renewable Energy Integration: Challenges and Solutions

by Jahangir Hossain and Apel Mahmud

Copyright © Springer Science + Business Media Singapore 2014

Springer is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

本书由 Springer 授权机械工业出版社在中国境内地区(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社独家出版。反著作权法,将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2015-5286号。

图书在版编目(CIP)数据

可再生能源集成:挑战与解决方案/(澳)贾汗季·侯赛因(Jahangir Hossain)等主编;胡长斌,刘欣博,温春雪译. —北京:机械工业出版社,2019.7

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文:Renewable Energy Integration: Challenges and Solutions

ISBN 978-7-111-62543-8

I. ①可… II. ①贾…②胡…③刘…④温… III. ①再生能源—研究
IV. ①TK01

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第072556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:江婧婧 责任编辑:江婧婧 翟天睿

责任校对:刘雅娜 封面设计:马精明

责任印制:张博

北京铭成印刷有限公司印刷

2019年6月第1版第1次印刷

169mm×239mm·24.25印张·4插页·478千字

0 001—2 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-62543-8

定价:139.00元

电话服务

网络服务

客服电话:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

010-88379833

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-68326294

金书网:www.golden-book.com

封底无防伪标均为盗版

机工教育服务网:www.cmpedu.com

内容特色

近年来世界各国对环境保护和可持续发展问题的担忧和关注，导致对清洁能源技术越来越迫切的需要。一些潜在的解决方案已经开始发展并得到验证，通过使用间歇性可再生能源可以提高能源效率，从而节约能源，减少化石燃料的使用以及增加环境友好型能源的供应。这些可再生能源就近通过配电网与负荷连接，以减少传输损耗并延迟传输系统的升级。但可再生能源接入引起了一系列的新问题，这些问题是由微源的间歇性和接口设备的动态性造成的。因此，研究可再生能源集成的潜在挑战，并找出有效和创新的解决方案至关重要。

本书包括从目前的可再生能源集成趋势到当前智能电网发展的多个不同方面，从可再生能源投资决策、智能电网实际运行问题、可再生能源电力电子系统稳定性分析和控制，以及系统集成方法和保护控制等方面进行了详细的阐述。各个章节针对高密度异质分布式电源接入，分别探讨了世界的前沿问题。

如果您有意写作图书、翻译图书或者有好的外版书推荐，请联系策划编辑江婧婧。

邮箱: jjjblue6268@sina.com

编辑QQ: 372205490

电话: 010-88379765



关于本书

本书的第1章从决策知识的角度讨论绿色能源的重要性；第2章讨论并网准则的分类和技术参数等各个方面；第3章介绍满足电网规范的故障穿越准则；第4章介绍基于蒙特卡洛方法的随机评估方法的电压不平衡灵敏度分析；第5章对采用不同最大功率点跟踪技术的并网光伏系统性能评估进行比较和研究；第6章重点研究可再生能源最佳规模和位置选择问题；第7章对可再生能源的特性和风能转换系统的稳态特性进行研究；第8章针对可再生能源渗透率对电力系统的影响，详细分析变速风力发电机对频率调节和振荡阻尼作用；第9章讨论中低压配电网的一些电能管理的方法；第10章和第11章提出针对配电网中插电式混合动力汽车接入的一种新的控制方法；第12章和第13章分别讨论紧急情况下可再生能源的协调；第14章介绍电力系统成本问题在住宅应用方面的研究；第15章介绍具有自愈能力的互联智能电网；第16章介绍基于智能体模式下智能电网的保护和安全性；在最后，第17章和第18章从网络攻击和可再生能源集成的角度讨论复杂智能电网的脆弱性分析。

译者序

针对分布式发电装机容量高速增长和规模化接入,微电网成为关联传统电网和分布式发电的桥梁和纽带,并对提高分布式电源供电可靠性和充分消纳起到关键支撑作用。但是如何规划设计以满足微电网的适应性,克服间歇性不可控能源以及柔性负荷对微电网系统的影响,完成系统的先进能效管理策略等关键性技术都亟待解决。

本书从可再生能源投资决策、智能电网实际运行问题、可再生能源电力电子系统稳定性分析和控制,以及系统集成方法和保护控制等方面进行了详细的阐述。各个章节针对高密度异质分布式电源接入,分别探讨了世界的前沿问题,本书的第1章从决策知识的角度讨论绿色能源的重要性;第2章讨论并网准则的分类和技术参数等各个方面;第3章介绍满足电网规范的故障穿越准则;第4章介绍基于蒙特卡洛方法的随机评估方法的电压不平衡灵敏度分析;第5章对采用不同最大功率点跟踪技术的并网光伏系统性能评估进行比较和研究;第6章重点研究可再生能源最佳规模和位置选择问题;第7章对可再生能源的特性和风能转换系统的稳态特性进行研究;第8章针对可再生能源渗透率对电力系统的影响,详细分析变速风力发电机对频率调节和振荡阻尼作用;第9章讨论中低压配电网的一些电能管理的方法;第10章和第11章提出针对配电网中插电式混合动力汽车接入的一种新的控制方法;第12章和第13章分别讨论紧急情况下可再生能源的协调;第14章介绍电力系统成本问题在住宅应用方面的研究;第15章介绍具有自愈能力的互联智能电网;第16章介绍基于智能体模式下智能电网的保护和安全性;在最后,第17章和第18章从网络攻击和可再生能源集成的角度讨论复杂智能电网的脆弱性分析。

在此诚挚感谢北方工业大学新能源专业的罗珊娜老师的倾情帮助,同时衷心感谢陈凯雨、丁丽、王斐然、毕立松等硕士研究生,以及帮助校稿的德国杜伊斯堡-埃森大学复杂控制系统研究所的博士和硕士同学们,也希望我们这些参与翻译工作的人员能够再接再厉,为分布式能源发电技术的发展贡献更多力量。

限于译者才疏学浅,难免出现翻译欠妥之处,恳请广大读者批评指正,在此表示诚挚的感谢!

译者

2019年1月

原 书 前 言

近年来世界各国对环境保护和可持续发展问题的担忧和关注，导致对清洁能源技术越来越迫切的需要。一些潜在的解决方案已经开始发展并得到验证，通过使用间歇性可再生能源（Renewable Energy Source, RES）可以提高能源效率，从而节约能源，减少化石燃料的使用以及增加环境友好型能源的供应。这些可再生能源就近通过配电网与负荷连接，以减少传输损耗并延迟传输系统的升级。但可再生能源接入引起了一系列的新问题，这些问题是由微源的间歇性和接口设备的动态性造成的。因此，研究可再生能源集成的潜在挑战，并找出有效和创新的解决方案至关重要。本书包括从目前的可再生能源集成趋势到当前智能电网发展的多个不同方面。

本书的第1章将讨论绿色能源的重要性，共分为两部分：①描述关于一般决策过程的现有知识，其次是关于如今决策的批判性观点；②对使用实物期权理论、多准则决策分析和多准则成本效益分析的三种增强型方法进行回顾，这些方法结合政策和后泛欧观点，从个人或投资角度应用于可再生能源决策中。

第2章将讨论很多方面的问题，如电网规范的分类和技术参数，以及在传统电厂中使用的电网规范与标准之间存在的异常。第3章将介绍满足电网规范的故障穿越准则，以及在新西兰电力系统上的测试。

第4章将介绍电压不平衡灵敏度分析，根据住宅低压配电网中单相并网屋顶光伏系统的等级和位置介绍基于蒙特卡洛方法的随机评估方法。此外，第5章将对采用不同最大功率点跟踪技术的并网光伏系统性能评估进行比较和研究。

可再生能源一体化中最重要的任务之一是确定可再生能源的最佳规模和位置，在第6章中将对此进行介绍，其中将风能视为可再生能源。在确定了最佳规模和位置之后，有必要对可再生能源的特性和风能转换系统（Wind Energy Conversion System, WECS）的稳态特性进行研究，第7章将介绍该部分内容，可以看出，风能转换系统会影响电力系统的性能。第8章将详细介绍变速风力发电机对频率调节和振荡阻尼的影响。电力系统的性能受可再生能源渗透率的影响，第9章将讨论中低压配电网的一些电能管理方法。

为实现系统的稳定、可靠运行，需要将可再生能源的负面影响降到最低。紧紧围绕这一点，本书的第10章和第11章将提出一种新的控制方法，其中包括对配电网中插电式混合动力汽车这一新负荷的研究。在第12章和第13章将分别讨论紧急情况下可再生能源的协调和融合。由于成本问题是电力系统运行的一个重

要问题, 因此在第 14 章将介绍对住宅应用方面的研究。

可再生能源一体化的最新趋势是电力系统以一种更智能的方式运行, 第 15 章将介绍具有自愈能力的互联智能电网, 第 16 章将介绍基于智能体模式下智能电网的保护和安全性。在最后两章(第 17 章和第 18 章)中, 将从网络攻击和可再生能源集成的角度进行复杂智能电网的脆弱性分析。

目 录

译者序

原书前言

第1章 绿色能源及其技术的

选择 1

1.1 引言 1

1.2 决策过程的复杂性 1

1.2.1 表决 2

1.2.2 成本效益 3

1.2.3 回报矩阵分析 4

1.2.4 加权评分 4

1.2.5 数学优化 5

1.2.6 效用函数 5

1.2.7 经济模型 5

1.2.8 仿真模型 6

1.2.9 多属性效用分析 6

1.2.10 系统动态模型 6

1.3 如何做出决定 6

1.4 工程决策分析 7

1.5 决策支持系统 7

1.5.1 实物期权理论方法 8

1.5.2 系统规划方法中的权衡 9

1.5.3 多准则分析法 10

1.6 社会挑战 12

1.7 结论 12

参考文献 13

第2章 并网准则：目标与

挑战 15

2.1 引言 15

2.2 并网准则的规范 17

2.2.1 规划准则 18

2.2.2 连接准则 21

2.2.3 操作准则 24

2.2.4 数据通信准则 26

2.2.5 平衡准则 26

2.3 并网挑战 27

2.4 可再生能源的集成和并网

运行 27

2.5 并网准则与传统发电方案 29

2.6 并网准则和核能发电 30

2.7 结论 31

参考文献 32

第3章 故障穿越标准的发展 33

3.1 引言 33

3.2 新西兰的 FRT 标准制定 35

3.3 基本考虑思路 36

3.3.1 系统特点 36

3.3.2 保护问题 37

3.3.3 技术 37

3.3.4 频率穿越 40

3.3.5 国际惯例 40

3.4 方法和假设 41

3.4.1 负荷建模的假设 42

3.4.2 附加控制器 43

3.4.3 负荷和发电场景 43

3.4.4 可信的突发事件 43

3.4.5 保护性能 43

3.5 分析及结果 44

3.5.1 测试案例研究 44

3.5.2 新西兰 LVRT 的总结和

比较 47

3.5.3 最终提出了 FRT 极限 48

3.6 合规性测试 49

3.7 建议和未来方向 49

3.8 结论	49	5.2 三相太阳能光伏发电系统	81
附录 A	50	5.3 太阳能光伏电池	82
附录 B	51	5.4 DC-DC 升压变换器和 MPPT	
参考文献	53	算法	83
第 4 章 低压配电网中屋顶光伏发电高渗透率问题: 电压的不平衡及其改进	55	5.4.1 开路电压比例法	84
4.1 引言	55	5.4.2 短路电流比例法	85
4.2 低压配电网中的电压不平衡	56	5.4.3 扰动观察法	85
4.2.1 电网结构	57	5.4.4 电导增量法	85
4.2.2 功率分析	58	5.4.5 模糊逻辑控制法	87
4.2.3 灵敏度分析	58	5.4.6 人工神经网络	88
4.2.4 随机评估	59	5.4.7 遗传算法	88
4.3 灵敏度和随机分析结果	60	5.5 太阳能光伏系统并网三相逆	
4.3.1 单一光伏发电系统在电压不平衡情况下的灵敏度分析	61	变器	88
4.3.2 电压不平衡的随机评估	64	5.6 太阳能光伏系统电力电子变换器的	
4.4 用户电力设备对电压不平衡的		功率损耗和结温估计	90
改善	67	5.7 热模型	91
4.4.1 配电网静止同步补偿器	67	5.8 基于自适应神经模糊推理系统的	
4.4.2 动态电压恢复器	68	控制器	92
4.5 CPD 的应用: 稳态结果	69	5.9 性能比较	96
4.5.1 标称情况	69	5.10 结论	99
4.5.2 配电网静止同步补偿器的		参考文献	99
应用	69	第 6 章 基于遗传算法和最优潮流	
4.5.3 动态电压恢复器的应用	71	的风力发电机最优选址与	
4.5.4 随机分析结果	72	定容	102
4.6 CPD 的应用: 动态特性	73	6.1 引言	102
4.6.1 配电网静止同步补偿器的		6.1.1 动机和方法	102
应用	73	6.1.2 文献综述和贡献	104
4.6.2 DVR 的应用	74	6.1.3 章节组成	104
4.7 结论	75	6.2 模型特性	104
附录 A	76	6.2.1 随时间变化的负荷需求和	
附录 B	76	风力发电的建模	104
参考文献	77	6.2.2 所提出方法的结构	106
第 5 章 采用不同 MPPT 控制器的		6.2.3 仿真程序	107
并网太阳能光伏系统的性		6.3 遗传算法实现	107
能评估	79	6.4 配电网运营商收购市场配置	108
5.1 引言	79	6.4.1 约束条件	109
		6.4.2 可调度负荷的建模	110

6.4.3 约束成本变量公式	110
6.4.4 步进控制的原始-对偶内 点法	111
6.5 测试系统描述	112
6.5.1 从配电网运营商的角度计算 风电机组的报价	114
6.6 案例研究与仿真结果	114
6.7 结论	118
参考文献	118

**第7章 风力发电系统的潮流分析
和无功功率补偿** 120

7.1 引言	120
7.2 异步发电机稳态模型	121
7.3 风力机连接	122
7.4 潮流分析	122
7.4.1 潮流分析顺序法	123
7.4.2 潮流分析同步法	124
7.4.3 潮流分析同步法和顺序法的 收敛特性	125
7.5 强化电网	125
7.6 无功功率补偿	128
7.6.1 并联补偿	129
7.6.2 串联补偿	131
7.6.3 串并联补偿	133
7.7 结论	135
附录 A	137
附录 B	138
参考文献	139

**第8章 可变速风力发电机对美国
东部互联网络频率调节和
振荡阻尼的贡献** 141

8.1 引言	141
8.2 可变速风力发电机的快速有功 功率控制技术	142
8.3 电力系统和变速风力发电机 模型	143
8.3.1 风力发电机模型	143

8.3.2 电力系统模型	143
8.3.3 仿真场景建设	144
8.4 变速风力发电机对 EI 频率调节的 贡献	145
8.4.1 风力惯性控制	145
8.4.2 风力调速控制	145
8.4.3 风力 AGC	146
8.4.4 案例分析:发电之旅	146
8.4.5 案例分析:减负荷	148
8.4.6 风力发电机频率调节控制的 影片展示	149
8.4.7 讨论	150
8.5 变速风力发电机对 EI 振荡阻尼的 贡献	151
8.5.1 风力 PSS 控制	151
8.5.2 利用本地反馈信号的振荡 阻尼	151
8.5.3 使用广域反馈信号的区域间 振荡阻尼	152
8.5.4 使用广域反馈信号协调区域 间振荡阻尼	154
8.5.5 广域风力发电机控制区域 间振荡阻尼的影片展示	154
8.6 结论	156
参考文献	156

**第9章 基于高密度可再生能源
发电的中低压电网能量
管理** 158

9.1 引言	158
9.2 中低压网络的负荷分配控制 技术	159
9.2.1 基于下垂的控制方法	159
9.2.2 基于通信的控制方法	165
9.2.3 带有通信的下垂控制 方法	168
9.3 结论与展望	169
附录 A	170

参考文献	172	电网中储存能量的电源	205
第 10 章 在配电系统中引入绿色 能源: 研究的影响和控 制方法的发展	175	11.6 V2G 系统优势	206
10.1 引言	175	11.6.1 可再生能源的支持	206
10.2 静态电压稳定性分析	179	11.6.2 环境效益	207
10.2.1 高光伏渗透率的影响	179	11.6.3 辅助设备	208
10.2.2 突发事件中系统的 状态	181	11.7 V2G 概念的挑战	209
10.3 动态分析系统建模	182	11.8 研究范畴	210
10.3.1 太阳能光伏	183	11.9 结论	210
10.3.2 静止同步补偿器	184	参考文献	211
10.3.3 负荷	185	第 12 章 微电网应急操作中分布式 能源的协调控制	219
10.4 不同负荷组成的影响	186	12.1 引言	219
10.5 静止同步补偿器控制器 设计	188	12.2 微电网结构和通信设施	220
10.5.1 线性二次调节器控 制器	188	12.2.1 智能电网的通信技术及其在 微电网的应用	221
10.5.2 范数有界的线性二次调节器 控制器	190	12.3 微电网控制和应急功能	225
10.5.3 设计步骤	191	12.3.1 初级电压和频率管理	225
10.6 性能评估	192	12.3.2 电动汽车对初级频率控制的 支撑作用	227
10.6.1 故障 I: 靠近变电站的三相 短路故障	193	12.3.3 二级负荷频率控制	228
10.6.2 故障 II: 接近分布式电源单 元的不对称故障	195	12.3.4 负荷响应	231
10.7 结论	196	12.3.5 微电网孤岛后的能量 管理	234
附录 A	197	12.4 微电网服务恢复过程	237
附录 B	198	12.4.1 电动汽车参与微电网恢复 过程	238
参考文献	199	12.4.2 黑启动理论	238
第 11 章 智能插电式混合动力汽车 在未来智能电网中的集成 应用	201	12.4.3 电动汽车参与微电网改造的 效益分析	239
11.1 引言	201	12.5 微电网应急操作实验验证	241
11.2 电网 G2V 模式影响	202	12.5.1 微电网和电动汽车实验室: 电 力基本设施	241
11.3 V2G 技术	203	12.5.2 微源功率变换器和双向电动 汽车充电原型	243
11.4 V2G 系统简单结构	204	12.5.3 通信和控制结构	243
11.5 插电式混合动力汽车作为配 电网中储存能量的电源	205	12.5.4 微电网自治操作的实验 验证	244
		12.6 结论	250

参考文献	251	14.3.2 双极低压直流系统	276
第 13 章 一种应用于风电场中的 新型机械转矩补偿系数 聚合技术	253	14.4 DC-DC 变换器的效率	277
13.1 引言	253	14.5 直流系统损耗计算	278
13.2 DFIG 风力机模型	255	14.5.1 电缆损耗	278
13.3 完整 DFIG 风电场模型的 形成	257	14.5.2 变换和变换损失	279
13.4 聚合 DFIG 风电场模型的 提出	259	14.5.3 交直流变换器损耗	279
13.4.1 全聚合 DFIG 风电场 模型	259	14.5.4 DC-DC 变换器	280
13.4.2 MTCF 的计算依据	259	14.6 总电缆成本	282
13.4.3 基于模糊逻辑系统的 MTCF 计算	261	14.7 结论	284
13.4.4 等效内部电网	263	参考文献	285
13.4.5 模型简化	263	第 15 章 智能电网中具有自愈能力 的互连自主微电网	287
13.4.6 仿真结果	264	15.1 引言	287
13.4.7 基本操作	265	15.2 具有自愈能力的网络	290
13.4.8 电网扰动	266	15.3 配电网：配置和模型	291
13.5 对所提出的聚合技术的 评价	267	15.3.1 分布式电源、变换器结构及 建模	292
13.5.1 逼近精度	267	15.3.2 网络电压调整	292
13.5.2 仿真计算时间	268	15.3.3 微型智能电网再同步	293
13.6 结论	268	15.4 多微电网系统控制策略	293
参考文献	269	15.4.1 并网模式外环控制	294
第 14 章 变换损耗和成本优化的 直流电网互连	271	15.4.2 自主模式外环控制	295
14.1 引言	271	15.4.3 内环控制	299
14.2 不同的低压直流电网的拓扑 结构	273	15.4.4 DSTATCOM 控制	302
14.2.1 小型网络的拓扑结构	273	15.5 验证和仿真研究	303
14.2.2 微电网拓扑	273	15.5.1 案例 1：带三相平衡负荷的 微电网运行	304
14.2.3 混合动力电动汽车的拓扑 结构	275	15.5.2 案例 2：微电网运行不平 衡、谐波负荷	304
14.3 低压直流系统的连接	276	15.5.3 案例 3：相互连接的自主微 电网系统	307
14.3.1 单极低压直流系统	276	15.6 结论	312
		附录 A	313
		附录 B	314
		参考文献	314
		第 16 章 基于智能体的智能电网的 保护和安	318
		16.1 引言	318

16.2 智能电网的保护和安全	
要求	320
16.2.1 微电网保护需求	320
16.2.2 微电网安全需求	320
16.3 微电网系统模型	321
16.3.1 同步发电机的建模	322
16.3.2 风力发电机的建模	322
16.4 多智能体系统	323
16.4.1 智能体的特点	324
16.4.2 多智能体系统的工程 优势	324
16.4.3 多智能体系统与智能电网的 交互	325
16.5 智能微电网保护的多智能体 架构	326
16.5.1 基于多智能体系统的保护 方案	328
16.5.2 智能电网的保护策略	329
16.6 说明性的案例和结果	331
16.6.1 故障的检测和隔离	331
16.6.2 智能电网中增加风力发电的 影响	333
16.7 智能电网安全的多智能体 架构	335
16.7.1 攻击对智能电网动态状态的 影响	335
16.7.2 攻击对智能电网部件的 影响	336
16.7.3 攻击对智能电网设备的 影响	337
16.7.4 攻击对智能电网保护方案的 影响	338
16.8 一些有效的网络攻击缓解 技术	339
16.9 结论	339
参考文献	340

第 17 章 智能电网状态估计预防错误 数据入侵的漏洞 342

17.1 引言	342
17.2 电力系统状态估计	343
17.2.1 测量数据的系统模型	344
17.2.2 测量函数的计算	345
17.2.3 状态估计: 公式和 方法	345
17.2.4 错误数据监测	345
17.3 配电网状态估计	346
17.4 智能电网状态估计	347
17.5 智能电网状态估计的缺陷: 案例 研究	348
17.6 智能电网状态估计漏洞 综述	352
17.7 结论	354
参考文献	354

第 18 章 可再生集成电网的网络中 心性分析障碍和模型 ... 356

18.1 引言	356
18.2 系统模型和方法	358
18.3 各种总线成对依赖程度	364
18.3.1 最短路径	364
18.3.2 总线依赖矩阵	364
18.3.3 从系统数据中查找总线依赖 矩阵的步骤	365
18.3.4 关于总线依赖矩阵的 观察	366
18.4 影响的措施	366
18.4.1 路径长度	366
18.4.2 连接丢失	366
18.4.3 负荷损耗和过负荷线路的 数量	368
18.5 关键节点的秩相似性	369
18.6 结论	371
参考文献	371

第 1 章 绿色能源及其技术的选择

布莱恩·阿佐帕尔迪 (Brian Azzopardi)

摘要: 最初的可再生能源系统 (Renewable Energy System, RES) 投资的决策标准是经济指标。这些标准的制定主要关注可再生能源系统及其附属基础设施建设的技术优势, 例如效率和成本在拥有宽裕的财政扶持条件下是合理的。然而, 当财政扶持在能源市场失去效应并且被环境、政治和社会等日趋多样化的因素取代时, 保质保量的标准就变得格外重要。技术优势或许难以再合理地用来解决可再生能源系统及其相关的技术问题了。本章内容分为两个部分, 第一部分为 1.1 ~ 1.4 节, 对涉及整个决策过程的现有知识的阐述, 同时对目前的决策进行评估, 第二部分为 1.5 ~ 1.7 节, 对实物期权理论、多准则决策分析和多准则成本效益分析进行回顾, 并将它们应用到个人、投资者、政治层面和整个欧洲对可再生能源系统的决策中。本章最后将探讨由此引发的社会挑战。

关键词: 决策; 可再生能源系统 (RES); 实物期权 (Real Option, RO) 理论; 多准则分析 (Multi - Criteria Analysis, MCA)

1.1 引言

能源的选择历来都是取决于经济和当地自然条件的, 因此如今的社会需要选择价格低廉的能源。然而, 目前能源系统的技术优势或许难以恰当地解决可再生能源系统及其相关技术的问题了。

本章对可再生能源系统的决策虽然没有优先考虑技术优势, 但是也进行了大量客观的分析论证。尽管实际的决策方法与期望的方法相差甚远, 但是本章能够让读者更好地理解专家和政策制定者们依据未来社会将面临的能源挑战而提出的关于决策方法的各种复杂理论。

本章的许多定义并不局限于兆瓦级的大电源系统, 同样也适合于规模越来越大的微能源, 这些微能源聚集在一起将发挥可再生能源的巨大潜力。

1.2 决策过程的复杂性

当一个解决方案有多个备选方案时, 决策过程就开始了。正如将在本章第二

部分中阐述的,即使在两个简单的有用或无用的备选方案之间也会用到实物期权理论来解决决策过程问题。其间,无法通过固定的框架或单独有序的方法来获得最优的决策。

图 1.1 所示为方案选择过程流程图。第一个阶段是提出问题,这个阶段在整个决策产生的过程中是十分重要的。在整个决策产生的过程中,如果没有来自其他部分的反馈,则通常很难甚至不可能完全解决第一个阶段中的问题。第一个阶段将各部分有机且更符合实际地组合起来,该阶段涉及筛选相关数据和具有目标映射属性的备选方案的数据处理。条件描述有助于对其量变到质变的主观反映进行评估。在决策产生的过程中,其中的几个因素可能需要同时考虑,因此对于在一个因素之前有什么样的因素产生并没有特定的或者统一标准的答案。所以,图 1.1 很难确切地描述所有因素之间的内在联系。图 1.1 中也包含了当今世界的一个重要因素,即决策者的个人观点。将信息和数据相结合就可以整体地从政治层面、商业层面或个体消费者层面理解决策者的观点。观点的改变依赖于决策者的地位,以及其在下一个阶段中重要性的体现。通常反馈将促使最优方案形成,形成的最优方案有助于使得不同决策者的观点达到平衡。

决策产生过程的目标是确立问题,客观目标或许是多层面和多影响的,关于这一点可以通过下面的例子加以说明。

1) 为了整合全国的可再生能源系统,本章的第二部分将进一步说明使用多标准决策技术的例子。

2) 为了使包括政治、经济和终端用户的利益相关者了解关于各种可再生能源,例如光伏发电技术。本章第二部分也将引用一个例子来加以说明。

3) 为了评估在生产可再生能源系统或组件时的高产能。

第二个阶段是建模和决策分析。图 1.1 展示了可被利用的多种技术,而结果的重要性因决策者的不同而不同。决策分析方法会与多属性的实用分析建立的仿真模型相结合。关于决策技术有一个广泛使用的经典工作模式^[1,2],例如卡尼曼等人^[3]提出的与个人行为观点相关的方面,但此技术已超出了本书所讨论的范围。接下来的部分将对所有指定的技术做简要介绍。

1.2.1 表决

在表决方案中,拥有话语权的利益相关者可以表达意愿并在众多备选方案中民主地选择一个备选方案。然而这个过程有政治干预的可能性,从而并不能获得完全公正的正确选择。表决的形式有很多,例如采用简单投票系统或者优先选择系统。表决方法或许也能促使决策者们构想整体方案蓝图并对决策支持系统进行反馈。

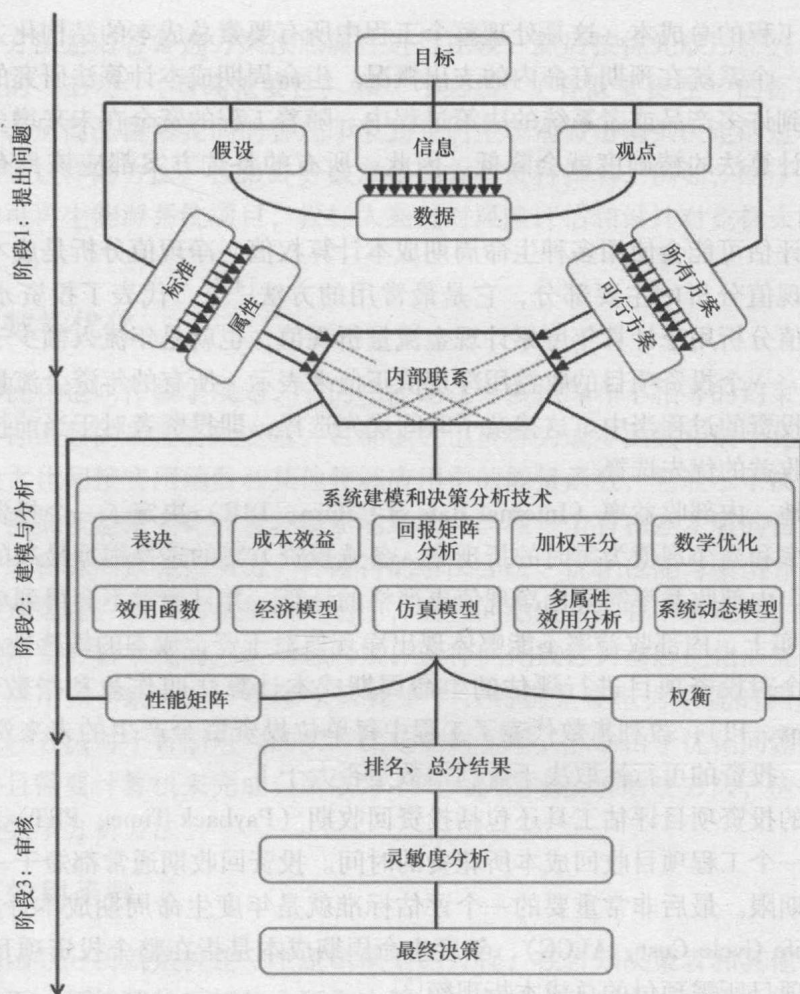


图 1.1 方案选择过程流程图

1.2.2 成本效益

短时间内反映一个工程、决策或者政策的所有效益和成本的货币差值被称作净现值（Net Present Value, NPV），成本收益分析（Cost Benefit Analysis, CBA）是对净现值的计算。成本收益分析被广泛运用在可再生能源系统工程中，用于评估投资方案或比较工程方案的可行性，有时该分析还会与其他经济理论，例如后面第二部分将要介绍的实物期权理论配合使用。

比较常用的相关方法还有成本效益分析、成本效用分析、经济效应分析、财政效应分析和社会回报投资分析（Social Return On Investment, SROI）。当生命周期成本计算法（Life Cycle Costing, LCC）与成本收益分析相结合时，就能够