



国际电气工程先进技术译丛

IEEE WILEY

分布式发电 接入电力系统

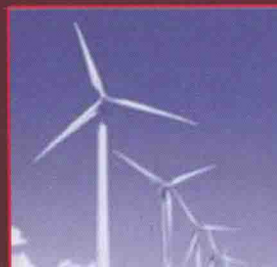
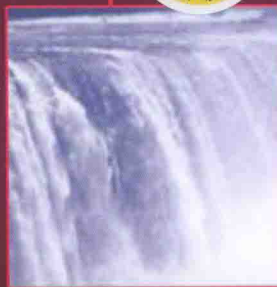
**Integration of Distributed Generation
in the Power System**

[荷] 马斯 H. J. 博伦 (Math H. J. Bollen)

[英] 范安·哈桑 (Fainan Hassan)

著

王政 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际电气工程先进技术译丛

分布式发电接入 电力系统

Integration of Distributed Generation in the Power System

[荷] 马斯 H. J. 博伦 (Math H. J. Bollen)

[英] 范安·哈桑 (Fainan Hassan)

著

王 政 译

机械工业出版社

本书首先介绍了分布式发电中采用的各种类型的能源,提出了“承载容量”的概念,用以描述在保证电力系统运行性能可接受的前提下允许接入到电力系统中的最大发电量。接着本书从过载风险及损耗、过电压风险、电能质量扰动水平、保护操作、电力系统稳定性和运行影响几个方面,对分布式发电接入对电力系统的影响进行了详细讨论。本书结合实际数据分析和实例演示对分布式发电接入的各种影响进行了讲解,探讨了一些提高分布式发电接入“承载容量”的具体措施和方法。本书适合于电力系统和分布式发电领域的工程师和科研人员、设备生产商、风力发电开发人员,以及电气工程和能源领域的本科生和研究生参考使用。

Copyright© 2011 by Institute of Electrical and Electronics Engineers.

All Right Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled <Integration of Distributed Generation in the Power System>, ISBN: 978-0-470-64337-2, by Math H. J. Bollen, Fainan Hassan, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

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:01-2011-6606号

图书在版编目(CIP)数据

分布式发电接入电力系统 / (荷)博伦(Bollen, M. H. J.), (英)哈桑(Hassan, F.)著;王政译. —北京:机械工业出版社,2015.8

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Integration of Distributed Generation in the Power System

ISBN 978-7-111-51034-5

I. ①分… II. ①博… ②哈… ③王… III. ①电力系统-研究
IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第176686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:付承桂 责任编辑:阎洪庆 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 封面设计:马精明 责任印制:李洋

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2015年10月第1版第1次印刷

169mm×239mm·26印张·582千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-51034-5

定价:99.00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

近些年来，随着电力市场的开放以及传统发电能源造成环境污染、用电量不断增加等问题的出现，电力系统中涌现了大量的分布式发电，主要包括连接到配电网的各种发电单元和连接到输电网的可再生能源发电单元。由于可再生能源具有间歇式供电等特性以及在传统受电型配电网中引入了分布式发电单元，给传统电力系统运行带来了新的改变和新的挑战。因此，如何分析分布式发电接入电力系统带来的影响并寻求应对措施，对于保证分布式发电接入的最大容量和充分发挥分布式发电的效能至关重要。

2011年Wiley出版社和IEEE出版社联合出版了由瑞典吕勒奥理工大学（Luleå University of Technology）的Math H. J. Bollen教授和英国Alstom电网公司研发中心（Alstom Grid, Research & Technology Center）的Fainan Hassan高级工程师合著的新书《分布式发电接入电力系统（Integration of Distributed Generation in the Power System）》。本书对分布式发电接入后对电力系统的影响，以及如何增大分布式发电接入电力系统的容量进行了深入分析。本书有以下特点：

1) 从过负载和线路损耗、电压幅值波动、电能质量扰动、保护、输电网运行影响等几个方面对在电力系统中接入分布式发电后电力系统运行性能受到的影响进行了全面的讨论。

2) 在探讨了各种用于分布式发电可再生能源特性的基础上，分析了可再生能源间歇式供电等特性对分布式发电接入后电力系统运行性能受到的影响，提出了用以衡量可接入分布式发电最大容量的“承载容量”概念，给出了一些提高“承载容量”的措施。

3) 结合了大量的实际分布式发电运行数据进行讲解，理论结合实际，可操作性强，参考文献完备，示例丰富。因此本书既可作为学习和研究分布式发电接入电力系统的教材，也可作为解决工程实际问题的参考手册，并对有关前沿技术的研究有所启迪。

承蒙机械工业出版社付承桂编辑的厚爱和耐心，译者尽享先睹为快之乐，并有机会尽绵薄之力开展本书的翻译工作。希望译作能对国内同行有所裨益。

IV 分布式发电接入电力系统

在译作付梓之际，译者借此机会对所有参与本书翻译过程中公式编辑、校稿的东南大学研究生的辛勤工作致以深深的谢意！

由于译者才疏学浅，书中翻译错误和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评斧正。

王 政

东南大学电气工程学院，南京

原书前言

本书的写作创意源于2008年2月，而本书的最终结构框架定于2009年5月，与此同时也开始了本书主要部分的写作。本书的大部分内容大约一年后定稿。在总共两年半的时间里，相关领域获得了很多进展：不仅包括新型发电能源（从生物质到核能），还包括电力系统。

本书中的两个重要的概念，即“承载容量”和“基于风险的方法”最近的一段时间里在各种国际组织的重要报告中反复提及。承载容量是由欧洲电力和天然气调度管理公司与欧洲高级电网运营商提出的用于衡量未来电网性能的方法。后者还提出用于输电网分析的基于风险的方法。同时，国际能源机构内部一个政府合作组织也在配电网中提出相同的分析方法。

在过去撰写本书的这段时间里，我们听了有关该主题的一些演讲，意识到配电网和可再生能源发电是非常敏感的话题。很难在支持方和反对方之间处于中立的位置。因此我们这里强调本书并不要表明分布式发电有多好或有多差。本书的目的是为了更加深入地理解分布式发电对电力系统的影响和一些可以提高分布式发电接入电力系统容量的方法，其中理解分布式发电的影响是重要的基础。

通过撰写本书，我们希望能够有利于去除可再生能源发电接入电力系统的一些技术性和非技术性障碍。

Math Bollen, Fainan Hassan

2011年6月

目 录

译者序

原书前言

第 1 章 引言	1
第 2 章 能源	5
2.1 风能	5
2.1.1 现状	5
2.1.2 特点	6
2.1.3 风速变化	7
2.1.4 发电容量的变化	8
2.1.5 风速的 Weibull 分布	17
2.1.6 以风速为随机变量的发电功率分布	20
2.1.7 发电量的分布	22
2.1.8 风力发电的期望值	25
2.2 太阳能	25
2.2.1 现状	25
2.2.2 特点	27
2.2.3 空间要求	27
2.2.4 光伏	28
2.2.5 天空中太阳的位置	29
2.2.6 云层覆盖	32
2.2.7 发电量的季节性变化	36
2.2.8 随时间快速变化	39
2.3 热电联供	42
2.3.1 现状	42
2.3.2 室内供暖	43
2.3.3 特点	44
2.3.4 随时间变化的发电量	45
2.3.5 热电联供和电能消耗之间的关系	47
2.4 水力发电	50
2.4.1 大型水电特点	51
2.4.2 小水电特点	51

2.4.3 随时间变化	52
2.5 潮汐能	55
2.6 波浪能	56
2.7 地热能	57
2.8 热能发电厂	57
2.9 电网接入	60
2.9.1 发电机直接并网	61
2.9.2 全功率电力电子变换器并网	62
2.9.3 部分功率电力电子变换器并网	63
2.9.4 分布式电力电子接入方式	66
2.9.5 并网形式对电力系统的影响	67
2.9.6 分布式发电的本地控制	68
第3章 电力系统性能	70
3.1 分布式发电对电力系统的影响	70
3.1.1 发生的变化	70
3.1.2 变化的影响	70
3.1.3 这些问题有多严重	71
3.2 电力系统的目标	72
3.3 承载容量方法	73
3.4 电能质量	76
3.4.1 电压质量	76
3.4.2 电流质量	77
3.4.3 发电机跳闸	77
3.5 电压质量及分布式发电设计	79
3.5.1 正常运行;变化	79
3.5.2 正常事件	80
3.5.3 不正常事件	80
3.6 用于电能质量事件的承载容量方法	81
3.7 增加承载容量	83
第4章 过载和损耗	84
4.1 分布式发电的影响	84
4.2 过载:辐射型配电网	86
4.2.1 仅有功潮流	86
4.2.2 有功和无功潮流	89
4.2.3 案例研究1:恒定发电量	90
4.2.4 案例研究2:风力发电	90

VIII 分布式发电接入电力系统

4.2.5	案例研究3:采用异步发电机的风力发电	91
4.2.6	案例研究4:旅馆光伏发电	92
4.2.7	最小用电量	95
4.3	过载:冗余和环网运行	95
4.3.1	配电网的冗余	95
4.3.2	环网运行	96
4.3.3	环网运行的冗余	98
4.4	损耗	101
4.4.1	案例研究1:恒定发电	102
4.4.2	案例研究2:风力发电	103
4.5	增加承载容量	104
4.5.1	增加负荷容量	104
4.5.2	建造新的线路	104
4.5.3	联动跳闸策略	105
4.5.4	高级保护策略	106
4.5.5	能量管理系统	108
4.5.6	电力电子方式	109
4.5.7	需求控制	112
4.5.8	基于风险的方法	113
4.5.9	增加可再生能源发电的优先级	114
4.5.10	动态承载	114
第5章	电压幅值变化	116
5.1	分布式发电的影响	116
5.2	电压裕量和承载容量	119
5.2.1	配电网中的电压控制	119
5.2.2	由于分布式发电造成的电压上升	120
5.2.3	承载容量	121
5.2.4	异步发电机	123
5.2.5	通过测量确定承载容量	124
5.2.6	不通过测量来估计承载容量	125
5.2.7	过电压极限的选择	126
5.2.8	承载容量的分配	128
5.3	设计馈线	129
5.3.1	基本设计原则	129
5.3.2	术语	129
5.3.3	沿中压馈线的独立发电机	130
5.3.4	低压馈线	135
5.3.5	串联和并联补偿	137

5.4	一种电压变化的数值方法	139
5.4.1	两级电压抬升实例	139
5.4.2	两级电压抬升的通用公式	140
5.4.3	单级电压抬升	141
5.4.4	微型发电	142
5.5	采用带线降补偿器的变压器抽头	143
5.5.1	只有一条单独馈线的变压器	144
5.5.2	增加一台发电机	145
5.5.3	承载容量的计算	146
5.5.4	从相同变压器中接出多条馈线	147
5.6	设计配电馈线采用的概率统计方法	149
5.6.1	对概率统计方法的需要	149
5.6.2	所研究的系统	150
5.6.3	概率密度函数和概率分布函数	150
5.6.4	随机变量的分布函数	150
5.6.5	平均值和标准方差	151
5.6.6	正态分布	151
5.6.7	通过测量实现的概率统计计算	152
5.6.8	发电量恒定的发电	156
5.6.9	加入风力发电	157
5.7	利用统计方法来计算承载容量	158
5.8	增加承载容量	163
5.8.1	新型或更硬的馈线	163
5.8.2	电压控制的其他方法	164
5.8.3	准确测量电压幅值变化	165
5.8.4	允许更高的过电压	165
5.8.5	对于过电压的基于风险的方法	166
5.8.6	过电压保护	167
5.8.7	过电压缩减	168
5.8.8	动态电压控制	172
5.8.9	补偿发电机的电压变化	173
5.8.10	可控制电压的分布式发电	174
5.8.11	协同电压控制	179
5.8.12	增加最小负荷	182
第6章	电能质量干扰	184
6.1	分布式发电的影响	184
6.2	快速的电压波动	185

X 分布式发电接入电力系统

6.2.1	风力发电系统能量的快速波动	186
6.2.2	光伏发电系统的快速波动	188
6.2.3	快速电压变化	188
6.2.4	很短的变化	190
6.2.5	电压波动的扩散	193
6.3	电压不平衡	195
6.3.1	比较虚弱的输电系统	195
6.3.2	强健的配电网系统	196
6.3.3	大型单相发电机	197
6.3.4	多台单相发电机	199
6.4	低频谐波	203
6.4.1	风力发电:异步发电机	204
6.4.2	有电力电子接口的发电机	205
6.4.3	同步发电机	206
6.4.4	测量实例	207
6.4.5	谐波谐振	210
6.4.6	更弱的输电网	218
6.4.7	更强的配电网	219
6.5	高频畸变	222
6.5.1	单台发电机的谐波发射	223
6.5.2	低于和高于 2kHz 的分组	225
6.5.3	低于和高于 2kHz 的极限值	226
6.6	电压跌落	228
6.6.1	同步电机:平衡电压跌落	229
6.6.2	同步电机:不平衡电压跌落	232
6.6.3	异步发电机和不平衡电压跌落	237
6.7	增加承载容量	240
6.7.1	加强电网	241
6.7.2	发电机的发射限制	241
6.7.3	对其他用户造成的发射进行限制	242
6.7.4	更高的干扰水平	242
6.7.5	无源谐波滤波器	244
6.7.6	电力电子变换器	244
6.7.7	降低电压跌落次数	245
6.7.8	宽频和高频畸变	245
第7章	保护	246
7.1	分布式发电的影响	246
7.2	过电流保护	249

7.2.1	上游和下游故障	249
7.2.2	承载容量	250
7.2.3	熔断器-重合器协同工作	251
7.2.4	反时限过电流保护	253
7.3	计算故障电流	254
7.3.1	上游故障	255
7.3.2	下游故障	262
7.3.3	异步发电机、电力电子装置和电动机负荷	267
7.4	承载容量的计算	267
7.5	母线保护	273
7.6	过大的故障电流	274
7.7	发电机保护	276
7.7.1	一般要求	276
7.7.2	故障电流不足	277
7.7.3	不可控孤岛运行	279
7.7.4	孤岛检测	281
7.7.5	孤岛运行的谐波谐振	291
7.7.6	协同保护	293
7.8	增加承载容量	294
7.8.1	专用馈线	294
7.8.2	增加发电机阻抗	295
7.8.3	发电机跳闸	295
7.8.4	时间-电流设定	296
7.8.5	增加额外断路器	296
7.8.6	方向保护	297
7.8.7	差动或距离保护	298
7.8.8	先进的保护方案	298
7.8.9	孤岛保护	299
第8章	输电系统的运行	301
8.1	分布式发电的影响	301
8.2	输电系统运行的基本原则	304
8.2.1	运行储备和($N-1$)准则	304
8.2.2	不同类型的储备	305
8.2.3	自动或手动二次控制	307
8.3	频率控制, 平衡和储备	307
8.3.1	储备需求	307
8.3.2	一次控制和储备	308

XII 分布式发电接入电力系统

8.3.3 二次控制和储备	312
8.3.4 三次控制和储备	317
8.3.5 减少发电量对储备的影响	321
8.4 发电量和用电量的预测	324
8.5 停电恢复	329
8.6 电压稳定	331
8.6.1 短期电压稳定	331
8.6.2 长期电压稳定	335
8.7 动能和惯性常数	340
8.8 频率稳定性	344
8.9 功角稳定性	347
8.9.1 单一区域对无穷大电网	347
8.9.2 分布式发电的影响: 故障前	350
8.9.3 分布式发电的影响: 故障中	350
8.9.4 分布式发电的影响: 临界故障切除时间	351
8.9.5 分布式发电的影响: 故障后	355
8.9.6 分布式发电的影响: 输入区域	355
8.10 故障穿越	356
8.10.1 背景	356
8.10.2 历史事件	358
8.10.3 抗干扰要求	359
8.10.4 实现故障穿越	362
8.11 存储	364
8.12 高压直流输电与柔性交流输电系统	367
8.13 增加承载容量	372
8.13.1 储备的替代计划	372
8.13.2 增加传输容量	373
8.13.3 大规模储能	373
8.13.4 分布式发电作为储备	374
8.13.5 用电作为储备	374
8.13.6 对分布式发电的要求	375
8.13.7 无功功率控制	375
8.13.8 概率方法	376
8.13.9 分布式发电标准模型的发展	377
第9章 总结	378
参考文献	380

第 1 章 引 言

电力系统包括了发电单元、用电设备以及连接两者的电网。电网的作用是使电能从发电方传输到用电方，并保证一定的可靠性及所有客户（发电方和用电方）的电能质量，同时尽可能提供最低的电价。包含于其中的不同公司和组织都需要出色地完成任务：所有客户的供电可靠性和电能质量都必须是可接受的，甚至更好，而电价也要低廉。目前仍需要大量研究工作来使得相关方面变得更好，或在一些特定区域要求使情况得到改善。但同时我们也要承认目前电力系统总体性能是很好的。

无论是突然改变发电方还是用电方都会损害我们已习以为常的状况。现代社会已经非常依赖廉价和可靠的电力。最近几次大停电和电价高峰已经证明了这一点。在本书中，我们将讨论分布式发电对电力系统的影响：从常规大型发电方式向小型和/或可再生能源发电过渡。我们不仅讨论存在的问题，还将讨论解决方案。理解这些问题对选择正确的解决方案是必不可少的。

在电力系统中引入新型发电有多个原因。多个国家已经开放了电力市场，自 20 世纪 90 年代初已经使得新型电力客户进入市场。在北美和欧洲，现在几乎任何人都能发电，并将发出的电送入电力系统。在不同国家实际售电规则变化较大，甚至不同国家的电网接线规则差异也很大。新型发电方式引入是电力市场放松管制的主要原因之一。更多客户参与将加剧竞争；电力生产能力增加，因此电价降低。但在许多国家大型常规发电厂（化石燃料、核能、水力）的电价相比小型发电装置价格仍然低得多。

第二个引入新型发电方式的原因是环保问题。一些常规发电装置造成大量二氧化碳排放，产生全球温室效应。从常规基于化石燃料，如煤、天然气和石油的发电方式向可再生能源，如太阳能、风能等分布式发电过渡将减少碳排放。核电站和大型水电站不像化石燃料会增加二氧化碳排放量，但它们仍然通过其他方式影响了环境。尽管它们相比化石燃料发电，二氧化碳排放量小得多，但建设和运行中仍然还有排放。核电站放射性废物正受到广泛讨论，这虽然不太可能发生，但一旦发生影响将非常严重。大型水电站需要建造大型水库，这也影响了环境。为了鼓励使用可再生能源作为替代能源，一些国家建立了激励机制使可再生能源更具吸引力。阻碍可再生能源大规模利用的主要原因是化石燃料更加便宜。因此需要采用经济措施来使可再生能源更具吸引力，同时还可以通过税收或者排放权交易来使化石燃料更昂贵。有些国家（如德国、丹麦和西班牙）在这方面已经取得成功，但其他一些国家并不成功。

第三个引入新型发电形式的原因是最大用电量和最大可能发电量之间的裕量很小。这在一些快速增长经济体，如巴西、南非、印度等国家非常明显。在北美和欧洲一些地区，这个裕量也同样变得很小了。由于环境的原因，建设大型常规发电站从政治层面上并不能接受。这需要大量投资，可能需要 10 年或更长的时间才能完

成。而小成本、小规模可再生能源发电并不受这些限制。总的投资成本可能较高，但由于投资分散到多个参与方，融资实际上可能更容易。同样这里也需要在经济和技术方面获得正确的激励机制。与建造更多的发电单元不同，最近的发展趋势是建造更多输电线，例如在北欧。通过这种方式，在输电系统运营商之间进行了发电容量分摊。建设输电线路往往比建造新的发电站便宜，所以这是一个非常有吸引力的解决方案。另一个建设新输电线路的原因是输电系统运营商需要有足够的输电能力，用于开放的电力市场。输电系统运营商需要建立新的输电线，以消除限制开放电力市场的瓶颈。

虽然很多年里许多国家用电量已经平缓增长，我们仍有理由期待出现一种变化。为了更有效地利用能源，通常都需要电能作为能源转换的中间步骤。例如，电动车，还有其他电气化铁路和热泵等应用。甚至 100 多年前出现的白炽灯，在能源效率方面相比蜡烛也获得了提高。

不管引入新型发电背后存在什么样的争论，新型发电都必须接入到电力系统中。接入大型发电单元或许多小型发电单元将需要在不同电压等级下进行投资。将大型发电单元连接到输电网或次级输电网中，所需要的投资是输电系统规划的正常组成部分。但采用新型发电方式将会产生新的问题，这需要新的解决方案。小型发电单元接入到低压或中压配电系统中，以前这些中低压配电系统只接入用电设备。在配电网中大量引入这些小型发电单元不仅需要在相应电压等级下进行投资，还需要在更高电压等级下进行投资。通常在较低电压等级下，新能源发电将会产生新的电能质量问题。从接入到较高电压等级下的大型发电单元转移到接入到较低电压等级的小型发电单元将会影响次级输电网和输电网的设计和运行。小型发电单元发电量预测困难也将影响输电系统运行。

新型发电有一些不同的术语描述：“嵌入式发电”、“分布式发电”、“小规模发电”、“可再生能源发电”和“分布式能源”是其中一些常使用的术语。不同的术语常常指新型发电方式的不同方面或属性。不同术语之间存在很多交叉重叠，但它们之间也有明显的区别。在本书中，我们将使用“分布式发电”术语，指连接到配电网的发电单元，同时也指基于可再生能源的大型发电单元。本书的重点将放在连接到配电网的发电单元上。连接到输电网的大型发电单元将在第 8 章讨论输电系统时提及。

在本书中，我们将介绍一些分布式发电接入对电力系统的影响。本书始终从电力系统角度进行编写，但并不只考虑电网拥有者。本书讨论的基本原则就是引入新型发电方式不应导致电力系统性能受到影响而不可接受，但是该原则不应成为阻碍分布式发电接入的障碍。为了辅助分布式发电接入，无论在发电方面还是在用电方面都应当有所改进。本书为此讨论了一些可能的改进措施。我们不讨论谁应该为投资负责这样难以回答的问题，而是给出一些最优性价比的选项。

本书的结构如图 1.1 所示。接下来的两章将介绍新能源发电（第 2 章）和电力系统（第 3 章）。第 4~8 章将讨论分布式发电的具体影响：从损耗到输电网运行。

前面已经提到,第2章将介绍新型发电所采用的不同能源。重点是风电和太阳能发电,这两者也是目前获得最多关注的可再生能源,是两种在不久的将来构成新型可再生能源主要部分的两种来源。然而,对更多的“常规”能源,如水力发电也会加以讨论。根据不同的能源不同时间段发电量变化、发电单元容量以及选址灵活性进行描述。这些属性都将在接入电力系统后发挥重要作用。

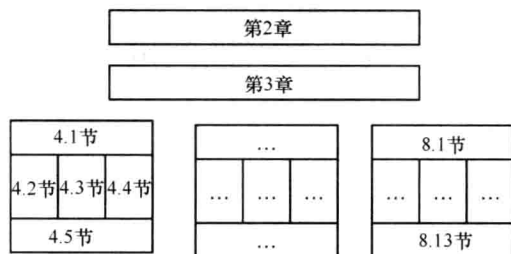


图 1.1 本书结构:介绍性章节和针对特别现象的章节

第3章在对电力系统进行综合性介绍后,提出了“承载容量方法”。承载容量是在保证电力系统运行性能可接受的前提下,可以接入到电力系统中的最大发电量。承载容量方法是从现有电力系统出发,考虑当没有采用额外措施时分布式发电对电力系统性能的影响。为此需要一系列性能指标进行评估。这在电能质量领域是正常的过程,但在电力系统其他领域却不多见。

第4~8章详细讨论了分布式发电接入到电力系统中的各方面,包括过载风险及损耗的增加(第4章)、过电压风险的增加(第5章)、电能质量扰动水平增加(第6章)、不正确保护操作(第7章),以及对电力系统稳定性和运行的影响(第8章)。

第3~8章的结构相同,如图1.1所示。以第5章为例,例如,5.1节首先对接入分布式发电对用户侧电压幅值的影响进行概述。每章的第1节都是对其后各节的综述,也是对参考文献材料的概述。5.1节后面的部分是从不同细节方面讨论了分布式发电和电压幅值之间的关系。其中一些部分从不同方面看待某个问题或讨论一种特殊的解决方案。一些部分给出概述,而另一部分则对理论模型或研究成果做了深入讨论。大部分章节可以不依赖其他章节进行阅读。该章最后一节对更多分布式发电接入电网而且不对电压幅值产生影响的方法进行了概括。每章最后一节也是对本章其余部分材料以及参考文献资料的总结。这里介绍的不同解决方案也包括那些目前被称为“智能电网”的解决方案。该术语目前在基础研究、政治和报纸各个方面都引起巨大关注,但其中应真正包含哪些内容目前还不清楚。这里我们不会区分“智能电网解决方案”和“常规解决方案”之间的区别,而是提供了目前所有可能的选项。

不可能在一本书中包含分布式发电接入电网的所有方面。在本书中未提及分布式发电不同影响和不同提高承载容量方法的经济性。这并不是因为经济性不重要,实际上它们往往是主要决定因素,只是本书讨论必须在某些地方停下。经济性通常非常依

4 分布式发电接入电力系统

赖于地点和时间。本书没有太多详细的仿真研究，主要提供了电力系统和分布式发电的简化模型。这其中有许多原因。我们对适用最初讨论的简化模型进行拓展。根据我们的经验，重要的结论常常可以从这些简化模型中得出。我们同样认为简化模型的使用通常具有重要的教学价值。在简化模型中讨论不同参数的影响比详细仿真模型更容易理解。然而许多情况下，将分布式发电接入到电力系统之前需要详细的计算。世界各地的电力系统结构是不同的，其具体情况也非常依赖于所处地理位置。本书中所采用的简化模型很容易适用于各地情况，而数值仿真则需要根据不同地点反复进行演算。