

能源经济经典译丛

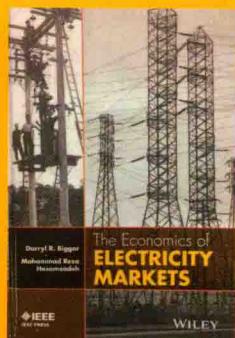
The Classic Translated Series
of Energy Economy



中国社会科学院创新工程学术出版资助项目

总主编：史丹

电力市场经济学



【新西兰】达里尔·R.比格 著
【伊朗】穆罕默德·礼萨·赫萨姆扎德 著
冯永晟 译



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

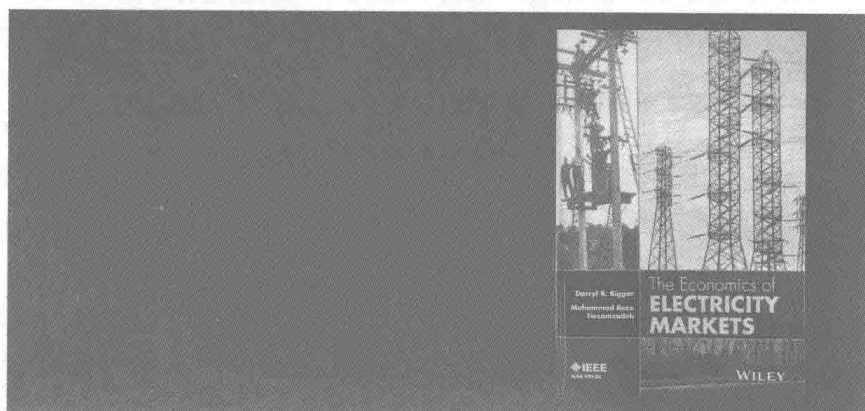
WILEY

非外借

 中国社会科学院创新工程学术出版资助项目

总主编：史丹

电力市场经济学



【新西兰】达里尔·R.比格

【伊朗】穆罕默德·礼萨·赫萨姆扎德 著

冯永晟 译

 经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

WILEY

图书在版编目 (CIP) 数据

北京市版权局著作权合同登记: 图字: 01-2017-5681

The Economics of Electricity Markets by Darryl R. Biggar and Mohammad Reza Hesamzadeh,
ISBN 978-1-118-77575-2

Copyright © 2014 John Wiley & Sons Ltd

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder, John Wiley & Sons Limited. Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

电力市场经济学/ (新西兰) 达里尔·R. 比格, (伊朗) 穆罕默德·礼萨·赫萨姆扎德
著; 冯永晟译. —北京: 经济管理出版社, 2017. 10

ISBN 978-7-5096-5416-3

I. ①电… II. ①达… ②穆… ③冯… III. ①电力市场—市场经济学—研究生—教材
IV. ①F407.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 249171 号

组稿编辑: 胡 茜
责任编辑: 胡 茜
责任印制: 黄章平
责任校对: 陈 颖

出版发行: 经济管理出版社
(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn
电 话: (010) 51915602
印 刷: 三河市延风印装有限公司
经 销: 新华书店
开 本: 720mm × 1000mm /16
印 张: 27
字 数: 515 千字
版 次: 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-5096-5416-3
定 价: 98.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

译者序

《电力市场经济学》一书的翻译工作大概开始于2015年。一个偶然的机会有幸看到了这本书，大致扫过一遍觉得内容不错；后来又在网络上搜索本书及作者的信息，并看到了 Steve Stoft 对本书的推荐。Steve Stoft 的《电力系统经济学》(Power System Economics) 可以说是目前最好的电力经济学教材，可惜一来这本书相对难读，二来这位杰出的经济学家已经把研究重点转向了气候变化等领域。因此，既然 Stoft 推荐了《电力市场经济学》，那何不将它介绍给中国读者呢？

初步读过，我发现本书很多内容是对 Stoft 著作中观点的细化与拓展，但侧重点有所不同。《电力系统经济学》是在世界范围内电力市场化改革尤其是美国的改革已经取得很大进展的背景下问世的，其关注的问题很多来自市场化改革的基本内容，改革色彩更加浓重，换句话说，其侧重点在于如何才能设计出一种行之有效的电力市场。该书从结构改革的角度，在市场结构—市场体系—市场规则的范式下，分析了事关电力市场的重要政策选择。也正因为如此，该书具有明显的思辨特征，使许多刚接触电力经济学的人往往觉得比较难懂。

《电力市场经济学》则是在国际电力市场化改革取得巨大进展、许多成熟的竞争性电力市场已经运行良好的背景下问世的，其关注的问题更多地来自电力市场的运行过程，也就是说，侧重于解释竞争性电力市场如何在电力特殊的技术经济特征下，实现有效的电力生产、消费和投资，及如何完善机制来应对新的问题和挑战。所以说该书遵循了一条相对明晰的主线，即竞争性电力市场如何通过向市场传递有效的价格信号来实现效率和福利的最大化。如果读者遵循这一主线，那么学习起来会轻松许多。

在我看来，《电力市场经济学》或许有助于国内电力行业相关主体增强对竞争性电力市场的信任。要信任市场，首先要了解竞争性市场的运行方式。电力与

其他普通商品一样，作为稀缺性资源，同样面临着有效配置的问题，因而市场理应是最有效的手段。然而，电力特殊的技术经济特征使电力竞争无法与普通商品竞争一样，通过最直观和最常见的方式表现出来，于是电力竞争似乎披上了一层“神秘”的面纱。《电力市场经济学》正说明了电力系统的短期和长期运营如何与市场机制实现融合，通过围绕主线、层层递进的介绍方式揭开了这层神秘的面纱。本质上，本书可以看作在电力产业背景下重新表述了福利经济学的基本原理，即分散化的市场决策如何实现效率和福利最大化。

得益于清晰的讲述逻辑，相信许多读者在读过之后，会有电力市场不过如此的感觉，从这个角度而言，或许这会消除我们对电力市场竞争的许多疑虑，开拓我们的思路。当然，对市场的信任并非盲目的信任，所以我们还会从书中了解到市场因电力产业特殊的技术和经济特征而面临的诸多特殊性与困难，如如何管理风险和抑制市场势力等。这些问题都并非否定市场作用的理由，而是保持和增强市场竞争的着力点。因为市场种种的不完备和不完美性，现实中的电力市场与理论上的电力市场必然存在着差距。正如诺贝尔经济学奖获得者 Tirole 所解释的，有效的电力市场必然是市场机制与非市场机制的结合，本书同样没有回避这些问题。

对中国而言，对市场的信任是我们构建中国电力市场的思想的认识前提。尽管我们已经提出还原电力商品属性的改革方向，但对电力市场的怀疑仍然根深蒂固。所以我们看到新一轮电力体制改革形成了一种以市场为名的变型计划电量制。那么我们就要问，如果现在所谓的市场竞争是一种真正的电力市场竞争，那么依据是什么？忽略电力特性的商品定义能够代表真正的电力市场吗？它给我们的效率和福利提升在哪里？这种效率和福利的提升可持续吗？也许只有当我们了解了真正的市场是如何运行时，才会对这些问题有更清晰的判断，也才能让我们的政策决策更加合理。

当然，理解竞争性电力市场的运行方式与构建竞争性电力市场仍是两个层面的问题。我们在了解电力市场运行方式的时候，必须要理解谈论电力市场的基础或前提。这一点无论是在阅读本书时还是在考虑现实的电力市场改革问题时都至关重要。

概括而言，本书围绕着所定义的“智能市场”和集中式系统运营展开，强调了节点电价的重要性。本书介绍的内容本身虽并未太多涉及改革的问题，但作为对电力市场理论和国际经验的总结，这种分析框架已经假设了存在相对成熟的现货批发市场并限定了价格发现方式，而这恰恰是改革的重要基础内容。节点电价是能够最大化社会福利的有效电价，不过这种电价却可以通过不同的市场组织方式或市场模式来实现。实际上，电力市场改革的内容要丰富得多，涉及制度、

结构、体系和规则。

总体而言，可以这样理解，本书是借助相对限定的市场模式来解释电力市场运行的基本原理，但要注意，这些原理会因制度性、结构性、体系性和规则性原因而在其他市场模式中有不同表现。读者切忌将已经了解的模式天然地作为现实改革政策的目标，尽管我们从不排斥任何一种可能性。当然，译者之所以给出这种提醒，还因为考虑到理论与现实的协调往往需要多维度的考量。

《电力市场经济学》还有两个值得称道的地方。一方面，本书将电力系统看作所有系统用户交互的平台，而不仅是发电商满足电力用户的媒介，这恰恰契合了电力和信息技术进步的趋势。回顾历史，这恰恰是 20 世纪 70 年代末 80 年代初最早现货定价理论的理念。另一方面，正如书名所指，本书突出了经济学在理解电力市场中的重要作用。对中国而言，利用经济学理论指导中国电力体制改革具有更为突出的意义和价值。

借此仍要强调的是，经济学的指导作用不仅解释市场运行，还超越了市场运行本身。例如，就市场建设问题而言，为什么经济学家反对国内政策界对电力市场模式按“分散”与“集中”的概念进行划分？因为在经济学家看来，所有的竞争性市场都是分散化决策的，重点在于市场的组织存在差异，但这种组织方式的差异不是“分散”和“集中”所能代表的。仔细分析一下所谓的分散和集中式电力市场就可以发现，两种模式都具有“必备的”集中式特征，甚至“分散”电力市场对“集中”的强制性要求反而更高，这在最典型的英国电力市场从电力库模式向 NETA 模式的转变中可以明显体现出来。

这并非仅是概念的澄清，而是改革理念的纠偏。实际上，国内的误用是把系统运营的工程概念泛化为市场组织上的经济学概念，从而掩盖了关键性的改革内容。竞争性市场的基础是竞争性的市场结构，而改革市场结构是形成分散决策的关键步骤。只有具备竞争性市场结构基础，才可能构建各种可能的市场。然而，目前国内对电力市场的狭隘理解已经“明修栈道、暗度陈仓”般地扭曲了改革路径。许多人误解，成熟电力市场的运行经验表明，电力市场有可能在不调整市场结构的条件下构建起来。真的存在这种可能性吗？工程师似乎对此抱有信心，尤其是在学习了国外成熟市场的运行经验之后，但经济学规律却并不支持，更进一步，在利用经济学理论分析国际经验后也会发现，国际经验也并不支持。正在进行的现货试点，谁能保证不是南辕北辙或空中楼阁呢？

总之，我们的愿望或许都是让市场传递出最有效率的价格信号，但在从计划向市场过渡的过程中，创造让市场发挥作用的条件，要比设计特定的市场规则更为重要。万丈高楼平地起，平地深处有地基。

译者希望《电力市场经济学》能使我们更好地相信市场的力量，同时也应

该促使我们将其介绍的理论与中国现实问题结合。我们从中得到的营养不仅是了解电力市场运行的基本原理，更重要的是学会用经济学的思维来看待和分析电力市场的运行，甚至超越本书的电力市场的构建。

最后，尽管本书介绍的是相对成熟的内容，但仅介绍了基本原理，许多内容细节和关键问题无法在有限篇幅中体现出来。得益于本书的逻辑主线和写作方式，感兴趣的读者可以从许多方向拓展学习和深化研究，如市场的设计、电价与投资、电网容量配置与输电权、电网组织结构与激励、容量机制、市场势力和规制政策等。当然，许多问题在理论界也仍有争论，如作者明显对容量市场机制持谨慎态度，而这显然与本书的推荐者 Stoft 等的主张有明显差异。所以就本书的内容而言，不仅是掌握其介绍的基本理论，更重要的是引发我们更深层的思考。正如本书作者所说，电力市场的研究充满了乐趣且富于挑战，而译者想补充的是，在中国这种乐趣和挑战更大。

冯永晟

2018年6月

前言

Preface

在全世界范围内，电力产业正在经历一次根本性的转型。在二十年以前，电力还主要来自产业规模级的大型电厂，通过输配电网向消费者单向输送。大型机组通常与输配电网的运营紧密结合在一起；另外，电力消费者的作用则被视为完全被动的。

不过这种模式已经有所改变，而且还将继续改变。世界上已经有许多地区选择在发电领域引入竞争和竞争性市场。在大多数这些地区中，发电和输电的运营是通过市场机制来协调的，这就需要电力产业的组织和运营方式发生根本性变革。

无论如何，深化转变已在路上。随着能源部门脱碳（Decarbonisation）压力的增大，可再生能源发电的普及率和电动汽车的接受度都在不断提高。电池技术的进步即将显著改变电力的存储和消费方式。同样重要的是，IT和通信技术革命已经为大量新设备和新应用开辟了广阔的空间，使小型用户第一次能够对所处电力市场的状况做出响应。

不过这些发展带来的全部收益只有当电力产业完成这次重大转型时才能充分实现。电力产业正在从一种单向管理的供电模式向一种全新的服务模式转变。在这种新模式下，产业的存在是为了提供一个双向电力交易的平台，所有消费者无论大小，都与所处的市场状况紧密结合，并对市场状况做出响应。研究电力产业可谓正当其时。

在本书的准备过程中，我们理出了统领全书的三个重要主题。第一个主题是**机组与负荷间的对称性**（Symmetry between Generators and Loads）。未来，发电商和电力用户之间的传统区别将会逐渐消失。在我们看来，似乎很可能越来越多的电力产业主体将能够既发电又用电，根据当地市场条件在系统净注入和净流出之

间进行转换。在这种环境下，对我们而言，机组和负荷处理方式的对称性才最为重要。与其区分机组与负荷，我们更愿意将它们全部视为电力市场的主体。依旧存在的关键性区别已不在于主体是机组还是负荷，而是在于主体是大还是小。

类似地，我们也主动地避免了在输、配电网之间做出任何区别。尽管它们的建造和运营确实存在差异，但对电力市场的经济分析而言，这些差异似乎并不是最重要的。书中分析的只是网络，以及影响潮流分布的网络物理极限。

第二个主题是对复杂建模的理解（Understanding over Sophisticated Modelling）的重要性。我们努力突出对关键性原理的分析，并增进理解。出于这一目的，我们大多时候都使用了或许是最简单的模型和例子。即便会牺牲一些现实性，我们也尽可能地避免使用复杂方程或复杂模型。在我们看来，倘若能有助于增进些许理解，舍弃大量复杂的“黑箱”建模也是值得的。

与此做法相一致的是，我们也没有去费力刻画反映真实电力网络中的每个细节。例如，本书的许多地方都忽略了电力损耗，这可能会令一些工程师感到困惑。不过我们认为，精练和简化表达形式的好处要高于在每个模型中刻画损耗所增加的复杂性。在我们看来，学习有关电力产业知识时，领会理解远比复杂建模重要。

第三个主题是经济学方法的一贯性（Consistency of Economic Approach）。我们一直在努力找出一种通向电力市场的一以贯之的（Consistent）、协调一致的（Coherent）、经济学的（Economic）方法，尽可能地依靠价格信号和市场激励。然而实践中，我们所了解的每个真实电力市场都与这一理论上的理想模型存在一定差距。现实世界的电力市场往往是由众多妥协、近似和特定干预拼凑而成的。有些干预或许具有合理性，但我们所担心的是，妥协源自对理论最优方法的缺乏了解或者恐惧。我们认为探寻完整的经济学方法具有极为重要的意义。

当然，关于实践中这一方法能够落实的程度将会有许多争论，而且许多偏离理论框架的问题（如区域定价）本身也值得深入研究。即便如此，我们仍认为，学习电力市场的学生应该首先接触纯理论方法的简洁与巧妙。这种方法的重要含义之一是可靠性——传统上电力系统工程最关心的主要问题——的重要性会降低。在彻底的市场化理论中，可靠性完全不会成为问题，价格总是会不断调整从而保持供求平衡。

我们希望您也会像我们一样，发现电力市场的研究原来是充满乐趣且富于挑战的。

术语表

本书所用术语如下表所示：

符号	名称	单位	含义
Q_i	发电或用电水平	电 能 单 位/时 段, kW 或 MW	发电商 i 的发电水平或消费者 i 的用电水平
$C_i(Q_i)$	成本函数	\$/时段	当发电水平为 Q_i 时 (电能单位/时段) 发电商 i 发生的成本
$MC_i(Q_i) = C_i(Q_i) = \frac{dC_i}{dQ_i}$	边际成本函数	\$/电能单位, \$/kWh, \$/MWh	成本随发电水平变化而发生的变化
$\pi_i(Q_i)$	利润函数	\$/时段	当发电水平为 Q_i 时 (电能单位/时段) 发电商 i 获得的利润
$U(Q)$	效用函数	\$/时段	用电水平为 Q 时 (电能单位/时段) 带来的效用
$\varphi_i(Q_i)$	净效用函数	\$/时段	当用电水平为 Q_i 时 (电能单位/时段) 消费者 i 获得的净效用
$\pi_i(Q_i)$	利润函数	\$/时段	当发电水平为 Q_i 时 (电能单位/时段) 发电商 i 获得的利润 ^①

① 【译者注】原文中的“Profit function”在表中重复列示了两次，唯一的细微差别在于：第一处的含义解释使用了“producer”，第二处则使用了“generator”。为了让所有术语统一到电力行业背景上来，我们把“producer”译为“发电商”，类似地，“production”译为“发电”或“出力”等。这种处理方式完全不会扭曲原文的含义，即使在第一部分介绍没有电力产业背景的基本经济学概念时，也不会造成任何理解上的困难，反而有助于读者形成统一的概念体系。

续表

符号	名称	单位	含义
P	价格	\$/电能单位, \$/kWh, \$/MWh	为获得额外一单位商品而花费的额外支出
$Q^D(P)$	需求曲线	\$/电能单位, \$/kWh, \$/MWh	电力消费是线性市场价格的函数
$P^D(Q)$	反需求曲线	\$/电能单位	与既定用电水平相一致的价格
$P^S(Q)$	供给曲线	\$/电能单位	与既定发电水平相一致的价格
$P^{RD}(Q)$	(反) 剩余需求曲线	\$/电能单位, \$/kWh, \$/MWh	与既定主导厂商的发电水平相一致的市场价格, 剩余需求曲线等于市场需求曲线减去其他厂商的供给
ϵ	弹性	无量纲	弹性是需求函数对价格敏感度的度量。对于需求函数 $Q(P)$ 来说, 弹性定义为: $\epsilon = \frac{d \ln Q}{d \ln P} = \frac{P d Q}{Q d P}$
c	可变成本	\$/电能单位, \$/MWh	发电的可变成本 (通常假设不变)
K	发电容量	\$/时段, kW, MW	发电机组的最大出力
K_{it}	发电容量	MW	类型 t 的发电机组在节点 i 的最大出力
f	单位容量的成本	\$/电能单位/时段	额外增加一单位容量的边际成本
F	发电的固定成本	\$/时段	发电的固定成本 (通常等于 fK)
p_i	概率	无量纲	状态 i 发生的概率
V, I, P	电压、电流、电能	Volts, Amps, Watts	
W, Q, P	有功功率、无功功率、视在功率	Watts, VARs 和 Vas (也有 kVA 和 MVA)	
λ	能量平衡约束的拉格朗日乘子	\$/MWh	通常解释为价格, 等于系统边际成本 (SMC)
μ_i, v_i	机组发电约束的拉格朗日乘子	\$/MW	v_i 是出力下限 (通常为零) 的拉格朗日乘子; μ_i 是出力上限 (等于机组容量) 的拉格朗日乘子
γ	能量极限约束的拉格朗日乘子	\$/MWh	
N_j	发电商和消费者集合的划分	组	这是一组划分, 所以有 $N_i \cap N_j = \phi \cup N_j = N$

续表

符号	名称	单位	含义
$Q^{LD}(z)$	负荷持续期曲线	MW	对任一分数 z , 有需求水平 q 满足 $\Pr(Q \geq q) = z$
σ_t	第 t 时期的持续期	小时	
$P^{DA}, Q^{DA}, P^{RT}, Q^{RT}$	日前和实时的价格和电能	\$/MWh, MW	
$f(q), F(q) = \Pr(Q \leq q)$	需求的概率密度函数	概率	当把需求视为随机变量时, 概率密度函数决定了负荷—持续期曲线的形状
$org(l), term(l)$	支路 l 的起始和终止节点	节点	网络支路 l 连接了节点 $org(l)$ 和 $term(l)$
Z_i	节点 i 的净注入功率	MW	本地发电的净注入减去本地用电
F_l	支路 l 的潮流	MW	
K_l	支路 l 的最大潮流	MW	
μ_l	支路 l 的约束边际价值	\$/MW/时段	
MS	商业化剩余	\$/时段	$MS = - \sum_i P_i Z_i$
CR_l	支路 l 的阻塞租金	\$/时段	$CR_l = \mu_l K_l$
SR_l	支路 l 的结算差	\$/时段	$SR_l = (P_j - P_i) F_l$
$W(K_l)$	经济福利	\$/时段	给定网架结构和网络潮流极限 K_l 的条件下的总经济福利
$H(P, \varepsilon)$	套期保值合同	\$/时段	
$V(P, \varepsilon)$	套期保值合同的对冲量	MW	$V(P, \varepsilon) = \frac{\partial H}{\partial P}(P, \varepsilon)$
$FTR(P_i, P_j, V)$	FTR 套期保值合同	\$/时段	从价格为 P_i 的节点到价格为 P_j 的节点, 交易量为 V 的 FTR 避险合同的支付 $FTR(P_i, P_j, V) = (P_j - P_i) V$
$CapFTR(P_i, P_N, S, V)$	Cap FTR 套期保值合同	\$/时段	从价格为 P_i 的节点到价格为 P_N 的节点, 行权价为 S , 交易量为 V 的 Cap FTR 产品的支付 $CapFTR(P_i, P_N, S, V) = (P_N - P_i) VI(P_i \geq S)$

第一篇 经济学概念简介

1 微观经济学简介	003
1.1 经济目标	003
1.2 受约束最优化问题	006
1.3 需求和消费者剩余	007
1.4 供给和生产者剩余	011
1.5 利用竞争性市场实现最优短期结果	015
1.6 智能市场	017
1.7 生产者和消费者的较长期决策	021
1.8 垄断	023
1.9 寡头垄断	026
1.10 总结	029

第二篇 电力网络和电力市场简介

2 电力系统简介	035
2.1 直流电路的概念	035
2.2 交流电路的概念	039
2.3 无功功率	041

2.4	电力系统元件	047
2.5	电力生产	049
2.6	输配电网	055
2.7	网络的物理极限	062
2.8	电力消费	068
2.9	还要区分电力生产者和消费者吗	070
2.10	总结	072
3	电力产业的市场结构与竞争	075
3.1	一个有效的电力产业所承担的任务	075
3.2	电力产业改革	079
3.3	电力产业改革的途径	081
3.4	市场化电力系统中的其他关键职能	083
3.5	自由化电力市场概述	084
3.6	澳大利亚国家电力市场概述	087
3.7	电力市场改革的利弊	090
3.8	总结	092

第三篇 最优调度：发电、用电和网络资源的有效利用

4	无网络约束的电力产业有效短期运营	097
4.1	生产成本	097
4.2	机组的简化直观表达	100
4.3	无弹性需求下的机组最优调度	101
4.4	同时考虑发电和负荷资产的最优调度	107
4.5	发电和负荷处理的对称性	109
4.6	收益函数	110
4.7	生产的非凸性：最小运行水平	111
4.8	能源受限资源的有效调度	113
4.9	存在爬坡率约束时的有效调度	115
4.10	启动成本和机组组合决策	119
4.11	总结	121

5	在无网络约束电力产业中通过市场机制实现发电和负荷资源的有效利用	123
5.1	分散化、竞争和市场机制	123
5.2	通过竞争性竞价来实现最优调度	125
5.3	批发市场设计的差异	127
5.4	日前与实时电力市场	131
5.5	价格管制与限电	134
5.6	时变需求、负荷—持续期曲线和价格—持续期曲线	138
5.7	总结	141
6	描述网络约束	143
6.1	以数学形式表示电网	143
6.2	净功率注入,潮流和 DC 潮流模型	145
6.3	功率传输分布因子矩阵	149
6.4	放射型电网的分布因子	150
6.5	约束方程和可行注入集	152
6.6	总结	155
7	存在网络阻塞时发电和用电资源的有效调度	157
7.1	带网络约束的最优调度	157
7.2	放射型网络中的最优调度	159
7.3	两节点网络中的最优调度	160
7.4	三节点环网型网络中的最优调度	162
7.5	四节点网络中的最优调度	165
7.6	单一紧约束下 Nodal 价格的性质	166
7.7	存在多少独立 Nodal 价格	167
7.8	商业化剩余、结算差和阻塞租金	167
7.9	网损	170
7.10	总结	172
8	有效的网络运营	175
8.1	DC 互联电网的有效运营	175
8.2	最优网络开关切换	177
8.3	总结	182

第四篇 发电和用电资产的有效投资

9 发电和用电资产的有效投资	187
9.1 最优电源投资问题	187
9.2 面临向下倾斜需求时电源容量的最优水平	189
9.3 面临向下倾斜需求时电源容量的最优组合	192
9.4 面临无弹性需求时的最优电源组合	194
9.5 甄别曲线分析	197
9.6 用户侧投资	199
9.7 总结	201
10 基于市场的发电投资	203
10.1 分散化的电源投资决策	203
10.2 我们能信任竞争性市场提供有效的电源投资水平吗	205
10.3 价格上限、备用冗余和容量支付	207
10.4 网络价格的跨时平均与电源投资	210
10.5 总结	211

第五篇 应对意外事件：极短期内的有效调度

11 极短期内电力系统的有效运营	215
11.1 意外事件简介	215
11.2 意外事件的有效应对	216
11.3 预防性和纠正性措施	217
11.4 良好和安全运行状态	219
11.5 极短期内的最优调度	220
11.6 像意外事件已经发生那样事前运营电力系统	222
11.7 最优短期调度的示例	223
11.8 利用竞争性市场的最优短期调度	228
11.9 总结	233
12 基于频率的平衡服务调度	235
12.1 调度期内调度机制	235

12.2	基于频率的平衡服务调度	236
12.3	应对意外事件时忽略网络约束的影响	237
12.4	基于频率的平衡服务的采购	242
12.5	总结	245

第六篇 管理风险

13	管理跨期价格风险	249
13.1	远期市场和标准套期保值合同简介	249
13.2	构造完美套期保值工具：理论	254
13.3	构造完美套期保值工具：具体案例	256
13.4	消费者套期保值	260
13.5	交易商的作用	264
13.6	跨期对冲与电源投资	268
13.7	总结	269
14	管理跨域价格风险	271
14.1	商业化剩余在便利跨期避险中的作用	271
14.2	跨域输电权：CapFTRs	273
14.3	跨域输电权：固定数量 FTRs	275
14.4	跨域套期保值和输电投资	278
14.5	总结	280

第七篇 市场势力

15	电力市场中的市场势力	285
15.1	电力市场中的市场势力简介	285
15.2	发电商如何使用市场势力——理论	288
15.3	发电商如何使用市场势力——实践	294
15.4	使用市场势力的激励：剩余需求曲线的重要性	297
15.5	使用市场势力的激励：套期保值头寸的重要性	300
15.6	负荷方使用市场势力与纵向一体化	303
15.7	使用市场势力是刺激电源投资所必需的吗	305