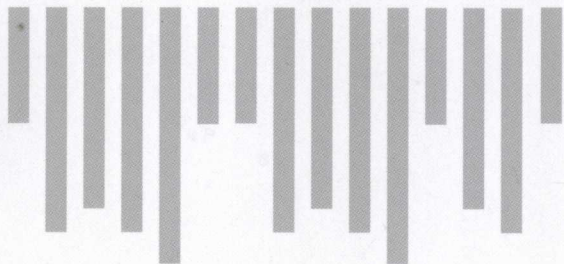


国家自然科学基金资助

电力市场 均衡分析

张新华 叶 泽 著

ELECTRICITY MARKET EQUILIBRIUM ANALYSIS



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013032169

F407.615

13

国家自然科学基金资助

电力市场均衡分析

ELECTRICITY MARKET EQUILIBRIUM ANALYSIS

张新华 叶 泽 著



北航

C1639395



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

F 407.615

13

内 容 提 要

电力工业是一个重要而又复杂的基础产业,有效的电力供给无疑是电力产业改革的前提,而均衡的电力市场是有效电力供给的基础,因此研究电力市场均衡具有重要的现实意义。

本书主要内容包括电力产业市场化改革动态综述、基于供给函数的发电商报价古诺均衡及其动态调整、考虑滞后的发电商报价动态调整、需求函数不确定下的寡头发电商报价学习模型、随机需求下的发电商报价学习均衡、基于微分博弈的发电商报价策略、考虑风险的电力竞价策略、电力竞价市场演化均衡分析、电力竞价机制分析与设计、电力需求不确定性分析与数学刻画、寡头发电商投资阈值与容量选择模型及其分析、考虑价格上限的寡头发电投资阈值与容量选择、考虑价格上限与建设期的寡头发电容量投资策略、考虑差价合约的寡头发电商容量投资模型、考虑价格限制与差价合约的寡头发电商容量投资分析、投资政策不确定条件下的寡头发电容量投资分析。

本书可供高等院校经济管理类、电力类专业的教师与研究生、电力企业管理人员及其他对电力产业改革理论感兴趣的相关人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力市场均衡分析 / 张新华, 叶泽著. —北京: 中国电力出版社, 2013.4

ISBN 978-7-5123-4227-9

I. ①电… II. ①张… ②叶… III. ①电力工业—市场学 IV. ①F407.615

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 060557 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 16.75 印张 329 千字

定价 45.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

我国的电力产业市场化改革自 20 世纪 80 年代开始,先后经历了集资办电、模拟电力市场、电力市场试点、厂网分开改革及区域电力市场试运行等多个阶段,但总体的电力供给和需求一直处于非均衡状态,主要表现为“电力短缺”与“电力过剩”交替出现,其根本原因是发电容量投资与预期电力需求增长之间缺乏互动机制。目前,我国的电力规制机构往往在电力供给紧张的时候,鼓励容量投资,而在电力充裕的时候,则严格限制容量投资;但由于发电容量投资具有建设期长等特点,发电商的投资行为对投资政策的反应有滞后性,因此,非均衡的容量投资市场的出现就不足为奇。

对寡头发电商而言,在电力市场的长期均衡方面主要体现为其发电容量的多寡,发电容量投资多,占有的市场份额大,在电力竞价市场中拥有一定的市场势力,也就有可能获取超额利润;但另一方面,寡头发电商若为了单纯地占有足够大的市场份额,而超常进行发电容量投资的话,由于电力需求有限,很显然在电力交易中可能出现亏损;相反,若容量投资过少,在电力交易中处于劣势地位,同时也可能在电力需求旺盛的时候,错过获利的机会。因此,发电商的投资策略,对其获取长期的市场利润是至关重要的。与此相对应,在电力竞价市场中,寡头发电商的报价策略及其调整在一定程度内决定着其当期收益的多寡,并受到容量投资情况的制约;对整个社会而言,相对稳定的发电报价与投资策略是稳定电力供给的前提,由于电力产业的基础性,电力短缺将带来巨大的经济损失和社会损失,而电力过剩则导致发电资源过剩,同样产生巨大的经济损失。

在理想的电力市场中,良好的电力市场规制政策能诱导电力市场的均衡,这种均衡包括两方面的内容:一是电力交易市场的均衡,寡头发电商获得正常利润,并按此申报自己的出力,电力用户获得充足且高质量的电力,电力供求基本持平;二是发电容量投资市场均衡,即寡头发电投资商按照电力交易市场的情况,预测未来的投资收益,选择合适的投资策略,而规制机构基于对未来电力需求的预测与权衡,核准发电容量投资,并实现“既能保障电力稳定供给且不造成大规模的发电资产闲置”的目的。相反,一旦容量投资市场失衡,也将导致电力竞价市场失去均衡,出现电力供给紧张或发电资产的闲置;而一旦电力竞价市场失衡,也将出现发电商无节制地进行容量投资或不进行投资,即出现“电力过剩”与“电力短缺”现象,

并且这种现象会持续相当长的一段时间。因此，为电力产业的可持续发展，维持电力竞价市场与容量投资市场的均衡至关重要。

从经济学的角度来看，电力竞价市场均衡是一种短期均衡，而发电容量市场均衡则是长期均衡；从传统的微观经济学分析框架来看，短期均衡可自动产生长期均衡，或者说长期均衡就是短期均衡点的包络曲线，但这一结论在电力产业中是不成立的，其根本原因是电力这种特殊商品几乎不能储存，发、输、配、用电几乎同时进行，而电力消费具有明显的峰谷特性，因此，对发电机组而言，即使满足了短期尖峰负荷的需求，也未必能获得足够的短期利润，从而诱导其长期容量投资。若监管机构不采取激励措施，寡头发电商自发组成的发电容量投资市场势必是一个容量短缺市场，因此，激励性容量投资政策是必需的。这种政策是两方面的，一是直接的投资性政策，二是电力竞价市场的相关价格政策，诱导其投资积极性。因此，从理论上来看，针对电力市场这种特殊的寡头市场结构，探讨“寡头电力竞价市场—发电容量投资市场—规制政策”分析框架，具有显著的理论价值。

本书作者自 2005 年以来一直专注于电力市场的均衡分析，并先后获得两项国家自然科学基金（编号：70501006，70971012）的资助，分别从寡头发电商电力竞价策略及其市场均衡、寡头发电容量投资策略及其市场均衡两方面进行了一系列系统的探索性研究，并在《管理科学学报》、《系统工程理论与实践》、《中国管理科学》等国内、外期刊上发表了一系列论文。在部分发表论文的基础上，本书试图按照“电力竞价均衡”——“容量投资均衡”的框架组织本书的内容，具体来说，本书第一章简单回顾了电力市场的技术经济特征与国内、外电力市场改革的动态；第二章~第八章从不同侧面考察了寡头发电商的均衡报价策略与市场均衡；第九章简单探讨了电力竞价机制；第十章从实证角度分析了电力需求的不确定性；第十一章~第十五章则从多方面探讨了电力竞价均衡基础上的寡头发电容量投资策略及其市场均衡；第十六章考察了投资政策不确定对容量投资均衡的影响。上述研究主要运用了博弈论、实物期权、Monte Carlo 仿真方法，针对寡头发电商的竞价策略与容量投资策略进行了系统分析，并在此基础上考察了市场均衡的政策安排等问题，得到的部分结果能很好地解释现行某些电力市场的实际现象，在理论上拓展了一些经典文献的研究结果。

虽然我们在研究中以谦卑严谨的态度阅读了大量相关文献，并在结合自己独立思考的基础上撰写了一系列学术论文，但研究结果与我们原来的设想尚有一定差距，虽然书的名字为“电力市场均衡分析”，但书中并没有完全完成这种均衡机制的设计，在以后的研究中，我们将继续这方面的工作，希望得到较满意的结果。此外，在本书中分的章节比较细，每一章相对独立，但在逻辑结构上又相互关联，这样做的目的是让读者能快速地阅读每一章，而不要去查阅书中某一个公式的来源或某个字母

的含义。由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，请不吝指正。非常感谢所有参考文献的作者。

本书由张新华、叶泽完成，其中第六章和第十章分别在研究生李文娟与谭圆圆的协助下完成，对她们的认真工作表示感谢。感谢国家自然科学基金委员会管理学部给我们的项目资助，使我们有机会潜心进行电力市场方面的研究。本书的出版得到湖南省第二批科技创新团队“电力市场竞争理论与政策”的支持。

张新华 叶泽

2013年3月

目 录

前言	
绪论	1
参考文献	15
第一章 电力产业市场化改革动态综述	21
第一节 电力产业与电力市场	21
第二节 国内外电力市场改革动态	26
本章小结	33
参考文献	34
第二章 基于供给函数的发电商报价古诺均衡及其动态调整	35
第一节 寡头发电商报价古诺博弈模型	36
第二节 寡头发电商报价动态调整模型	37
第三节 发电商报价动态调整模型仿真	41
第四节 寡头发电商报价混沌控制	46
本章小结	50
参考文献	50
第三章 考虑滞后的发电商报价动态调整	52
第一节 寡头发电商报价古诺博弈模型	53
第二节 发电商报价动态模型	54
第三节 发电商报价动态模型分析	58
第四节 发电商报价动态混沌控制	63
本章小结	65
参考文献	66
第四章 需求函数不确定下的寡头发电商报价学习模型	68
第一节 不完全需求信息下发电商报价学习模型	69
第二节 发电商报价学习模型数值仿真分析	73
本章小结	78
参考文献	79

第五章 随机需求下的发电商报价学习均衡	81
第一节 线性需求下的发电商报价学习模型	82
第二节 随机需求下的发电商报价学习模型	85
第三节 发电商报价学习模型仿真分析	86
本章小结	94
参考文献	94
第六章 基于微分博弈的发电商报价策略	97
第一节 确定需求下发电商报价微分博弈模型	98
第二节 寡头发电商报价微分博弈模型求解	100
第三节 三寡头发电商报价策略数值仿真分析	101
本章小结	107
参考文献	107
第七章 考虑风险的电力竞价策略	109
第一节 电力竞价风险分析	109
第二节 考虑风险的寡头发电商报价策略	119
本章小结	125
参考文献	125
第八章 电力竞价市场演化均衡分析	127
第一节 非对称的演化博弈模型	127
第二节 确定需求下电力竞价市场演化均衡分析	128
第三节 随机需求下电力竞价市场演化均衡分析	136
本章小结	143
参考文献	144
第九章 电力竞价机制分析与设计	145
第一节 基于暗标拍卖理论的电力竞价机制	146
第二节 基于数值模拟的电力竞价机制选择	151
本章小结	155
参考文献	155
第十章 电力需求不确定性分析与数学刻画	157
第一节 数据的来源与统计分析	157
第二节 算术布朗运动拟合分析	160
第三节 几何布朗运动拟合分析	162
第四节 两种随机过程拟合效果比较分析	164

本章小结·····	164
参考文献·····	165
第十一章 寡头发电商投资阈值与容量选择模型及其分析·····	166
第一节 考虑容量约束的寡头电力竞价均衡分析·····	167
第二节 寡头发电容量投资模型·····	169
第三节 模型数值仿真与分析·····	172
本章小结·····	176
参考文献·····	176
第十二章 考虑价格上限的寡头发电投资阈值与容量选择·····	178
第一节 考虑价格上限的寡头电力竞价均衡分析·····	179
第二节 考虑价格上限的寡头发电投资阈值与容量选择模型·····	181
第三节 模型数值仿真与分析·····	183
本章小结·····	190
参考文献·····	191
第十三章 考虑价格上限与建设期的寡头发电容量投资策略·····	192
第一节 考虑价格上限与建设期的寡头发电容量投资模型·····	193
第二节 模型分析与数值仿真·····	198
第三节 最优价格上限与最优发电商数量的讨论·····	204
本章小结·····	206
参考文献·····	207
第十四章 考虑差价合约的寡头发电商容量投资模型·····	208
第一节 差价合约下寡头容量投资模型·····	209
第二节 模型分析与数值仿真·····	215
第三节 中国发电容量投资的简单讨论·····	221
本章小结·····	224
参考文献·····	225
第十五章 考虑价格限制与差价合约的寡头发电商容量投资分析·····	226
第一节 寡头发电容量投资模型·····	227
第二节 模型分析与数值仿真·····	233
本章小结·····	240
参考文献·····	241
第十六章 投资政策不确定条件下的寡头发电容量投资分析·····	243
第一节 投资政策确定下的发电容量投资阈值模型·····	245

第二节 投资政策不确定条件下发电容量投资阈值模型	246
第三节 模型分析与数值仿真	250
本章小结	253
参考文献	254

后记	255
----------	-----

绪 论

一、研究意义

我国的电力产业市场化改革进行了近 30 年,但总体的电力供需一直处于非均衡状态,主要表现为“电力短缺”与“电力过剩”交替出现,其根本原因是发电容量投资与预期电力需求增长之间缺乏互动机制。由于发电容量投资具有不可逆、建设期较长、沉淀成本非常高等特点,发电容量投资过剩将导致数以亿计的资产闲置,而投资不足则无法保证有效的电力供给,从而带来巨大的经济与社会损失。因此,从理论上系统地研究发电容量投资策略,并探讨与之相适应的电力投资政策,以诱导整个发电容量投资市场演化均衡的形成,具有非常显著的现实意义。

一方面,对寡头发电商而言,在电力市场的长期均衡方面主要体现为其发电容量的多寡,发电容量投资多,占有的市场份额大,在电力竞价市场中拥有一定的市场势力,也就有可能获取超额利润;但另一方面,寡头发电商若为了占有足够大的市场份额,而超常地进行发电容量投资,由于电力需求有限,很显然在电力交易中可能出现亏损;相反,若容量投资过少,在电力交易中处于劣势地位,同时也可能在电力需求旺盛的时候错过获利的机会。因此,发电商的投资策略,对其获取长期的市场利润是至关重要的。与此相对应,在电力竞价市场中,寡头发电商的报价策略及其调整在一定程度内决定着其当期收益的多寡;对整个社会而言,相对稳定的发电报价与投资策略是稳定电力供给的前提,由于电力产业的基础性,电力短缺将带来巨大的经济损失和社会损失,而电力过剩也将导致发电资源过剩,同样产生巨大的经济损失,因此,均衡与稳定的电力竞价市场是电力产业健康持续发展的基础与前提。

在理想的电力市场中,良好的电力市场规制政策能诱导电力市场的均衡,这种均衡包括两方面的内容:一是电力交易市场的均衡,寡头发电商获得正常利润,并按此申报自己的出力,电力用户获得充足且高质量的电力,电力供求基本持平;二

是发电容量投资市场均衡,即寡头发电投资商按照电力交易市场的情况,预测未来的投资收益,选择合适的投资策略,而规制机构基于对未来电力需求的预测与权衡,核准发电容量投资,并实现“既能保障电力稳定供给且不造成大规模的发电资产闲置”的目的。

就我国的电力产业而言,“打破垄断、引进竞争”是改革的重点与中心,其目的是通过竞争,实现电力资源的有效配置,但电力有效供给是改革的前提。如我国2004~2006年(模拟)运行的东北区域电力市场,是我国第一个竞争性区域市场,但由于规制政策等原因,出现了电力紧张和报价偏高等诸多问题,这些现象与电力市场初衷是相悖的,也直接导致了东北电力市场的中止,并在一定程度内导致了我国电力产业市场化改革的停滞。尽管如此,竞争性电力市场或部分竞争性电力市场始终被认为是电力产业改革的大方向所在。在电力市场环境下,发电厂商从自身利益最大化的角度出发,往往通过策略性报价获取超额利润,可能损害市场效率和用户利益,因对发电商报价行为进行分析非常重要。由于发电商的报价受容量约束限值,因此,其投资策略与报价策略是相容的。为分析电力市场均衡,需要考察不完全的电力市场环境下,寡头发电商的电力交易与容量投资行为,并在此基础上分析电力交易市场与容量投资市场的均衡及其相关政策安排,以诱导均衡电力市场的形成。

二、国内外研究现状

近年来,电力产业在全球掀起一场市场化改革浪潮,因此,国内外都有海量关于电力市场方面的研究文献,这些文献从不同的方面考察了发电商的市场行为、最优政策或解释了电力市场中某些现象等。由于在这里主要考察寡头发电商的报价策略与容量投资策略,以及电力竞价市场与容量投资市场的均衡,因此侧重对上述研究内容相关文献做简单分析与综述(具体的文献分析与比较将在下文的研究中进行)。按照下文的研究内容,文献综述分三方面:一是寡头发电商报价策略及其市场均衡方面的文献综述,二是寡头发电投资策略及其市场均衡方面的文献,三是对现有文献的简短评述。

(一) 寡头发电商报价策略及其市场均衡研究现状

近年来基于博弈论来研究电力市场环境下的发电商报价策略一直是一个热点问题,产生了一大批研究文献。下面分别对基于博弈论方法探讨发电商的报价策略、基于有限理性动态分析发电商的均衡报价策略调整动态以及运用其他方法研究发电商的均衡报价策略三方面进行分析。

1. 基于博弈论方法探讨发电商的报价策略

近几年基于博弈论来研究电力市场环境下的发电商报价策略的文献很多,而基

于 Cournot 博弈构建电力竞价模型,探讨发电商的均衡报价策略如文献[1~5],文献[1]对2000年及以前的文献做了系统的综述,并将文献分为三种类型,但这些文献实际上都是以博弈论为基础来展开的。近几年来,考虑一些更贴近实践的方法,如文献[2],但博弈论思想似乎仍是这类研究的主要方法,即大多考虑竞争对手的策略对自己报价的影响。在现有文献中,很多文献是基于发电商的收益或期望收益最大化而展开的,如文献[6~8]。有相当一部分是假设所有发电商的报价是基于自身的成本报价,并假定竞争对手的成本服从某种分布,如文献[8,9],这种假设实际上排除了发电商报价的投机性,而在电力竞价实践中,投机是很难避免的,但这些文献都假定电力需求是固定不变的,即没有考虑电力需求的不确定性。而在此基础上,考虑电力需求的不确定性或者信息的不完全性的文献如文献[10,11],其中文献[10]构建了确定需求与不确定需求条件下的两发电商电力竞价博弈模型,并给出发电商在不同条件下的均衡报价。并且假定竞争对手的报价服从均匀分布,对构建的模型进行了分析,结论表明,在不同情况下发电商均衡报价的范围。

文献[1~11]对电力报价策略的研究已比较深入,但从理论上,发电商报价既是寡头博弈,同时也是重复博弈,在实际的电力市场中,发电商报价策略更应是无限重复博弈,上述研究文献不仅从经济学角度研究了发电商报价策略,为解决供电公司报价策略问题提供了一个新的途径,而且从有限理性博弈论与动态系统角度,通过构建发电商的动态调整的报价系统,然后运用动态系统或微分方程方法,对报价动态系统进行了稳定性分析,并且在此基础上,考虑对自适应报价动态与有限理性报价动态建立了报价动态系统模型,指出选择合适的控制变量与控制参数,可使报价动态系统稳定在纳什(Nash)均衡。但与文献[1~11]不同的是,本书将依次将动态调整过程与微分博弈的思想引入来研究电力市场关于发电商报价策略的动态调整,不仅仅考虑了其当前的收益,还要考虑其报价策略的长远意义,能实现其贴现收益的最大化。

但是从微分博弈的角度来探讨电力市场发电商报价策略的动态调整对其长期收益的影响,相关研究还尚不多见。微分博弈是连续时间的动态博弈模型,将考虑局中人收益的长期性,局中人的状态变化通过构建一个微分方程来表示,但由于微分博弈涉及求解局中人最优控制变量的偏微分方程组,因而很少微分博弈模型能有解析解,除非其考虑较简单的情况,如参与人较少或者假设参与人的情况都相同将其简化,如文献[11]构建了关于价格黏性动态竞争的斯坦伯格博弈模型,并对静态与动态均衡进行了比较,指出动态均衡更可取。文献[12]通过构建基于产品差异化与价格黏性下的微分博弈模型,假设所有参与人的情况都相同,然后求解其开环与闭环解,得出闭环解下的动态均衡较高。而较复杂的情况大都文献都是采用模拟的方法求解或者借助动态规划方法加以解决,文献[13]以系统动力学为工具通过

模拟的方法求解基于微分博弈构建的两厂商投资均衡策略。文献[14]运用微分博弈的方法构建非合作促销与合作促销博弈模型,并对均衡结果进行了比较分析。文献[15]借鉴微分对策思想,结合最优控制理论中 Pontryagin 极大值原理和 van Loon 路径耦合方法研究了股份制企业竞争策略的演进。微分博弈在其他方面的应用见文献[16~23]。

2. 基于有限理性动态分析发电商的均衡报价策略调整动态

在非均衡的电力竞价市场上,稳定而又充足的电力供给可能很难保证,这与电力产业的市场化改革初衷是相悖的。从理论上讲,发电商报价既是寡头博弈,同时也是重复博弈,因此,对有限理性的发电商而言,在报价中不断调整自身报价,以寻找均衡报价策略是可能的。以上一大批研究文献就是以博弈论为基本研究方法的,但这些文献大多将发电商的报价行为模拟成各种各样的博弈模型,并将博弈均衡看作发电商的最优报价;但发电商是有限理性的参与者,在报价实践中很难直接达到理论上的博弈均衡(Nash 均衡)。于是就产生了基于演化博弈来研究电力竞价市场均衡的文献,文献[24~29]做了很好的探讨,但这些文献多从发电商最大化自身盈利或期望盈利的角度出发,提出了最优化报价策略;显然,这些研究并没有考虑电力竞价市场的均衡问题。鉴于此,文献[30]分别针对目前主要的电力竞价机制 MCP (market clear pricing, 统一市场清除价结算) 与 PAB (pay-as-bid, 按自己报价进行结算) 竞价机制。分析随机电力需求下的电力竞价市场的演化情况,并从市场效率的角度对市场演化均衡进行政策分析,以期通过报价范围的调整,诱导电力竞价市场收敛于市场效率相对较高的报价下限处。

为更好地刻画电力报价均衡的形成,近年来从有限理性博弈论与动态系统角度,对发电商报价动态调整进行研究的文献渐多,如文献[31]建立了输电约束下的发电商报价古诺模型,重点比较了输电约束对均衡的影响。文献[32]对网络约束下的两寡头古诺博弈模型及其稳定性等进行了分析。文献[31, 32]的基本思想是假定发电商的报价是一个动态调整过程,所有发电商的动态调整报价组成一个动态报价系统,然后运用动态系统或微分方程方法,对上述报价动态系统进行稳定性分析;且大多仅考察两个发电商参与报价的市场均衡,并假定发电商都按有限理性(边际收益)动态调整其报价。与上述文献[31, 32]不同的是,本文作者在文献[33]中,在寡头发电商报价古诺博弈模型基础上,考虑对自适应报价动态与有限理性报价动态建立了报价动态系统模型,指出选择合适的控制变量与控制参数,可使报价动态系统稳定在 Nash 均衡。

3. 运用其他方法研究发电商的均衡报价策略

文献[1~33]都是基于博弈论的不同角度对发电商报价策略进行研究,探讨 Nash 均衡下的最优报价策略,并且对动态调整下报价均衡的形成以及对均衡稳定性

进行了较深入的研究。但近几年来,运用经济学理论同时考虑风险因素以及动态规划方法对发电商报价策略的研究文献也出现不少,如文献[34~36],文献[34]提出了基于预测边际清算电价的计及风险的发电企业机组报价模型,将风险管理中的概率分析方法及效用分析理论引入报价方案的利润和风险评估中,并给出了求解方法,为解决计及风险情况下的报价策略问题提供了新的途径。文献[35]基于浙江电力市场,采用报价差异度分析了发电商的报价行为,结果表明,报价差异度可以有效地判断发电商的报价行为是否发生变化,提出的报价差异度为市场监管部门对某些报价行为可能发生异常的时段进行有针对性地监管提供了一种参考依据。而文献[36]鉴于机会约束规划方法,在假设的市场交易规则基础上,构造了在现代市场中基于机会约束规划的供电公司最优报价策略模型,并采用遗传算法求解。算例仿真表明,该研究工作为构造考虑风险约束的供电公司报价策略问题提供了一个新途径。

近年来,实验经济学已成为研究电力竞价的重要方法之一,在国内外都有相关文献出现,如文献[37,38],其中文献[38]是实验经济学鼻祖 Smith Vernon L 将实验经济学方法运用于电力市场研究比较经典的研究文献之一,其假定电网仅3个节点,运用实验经济学分析了电力市场中的市场力;文献[37~42]中也考虑了电力竞价模型的实验分析,从国外的最近文献来看,绝大多数电力竞价研究文献都或多或少地涉及了实验经济分析方法的应用。文献[43]运用实验经济学方法分析电力竞价的文献,但该文献并没有将这种实验分析与电力竞价模型结合起来进行研究;目前,国内将实验经济学应用于其他方面的研究也不少(文献[44,45])。

在电力竞价均衡研究方面,从学习博弈、人工智能方法、Markov 博弈等方法在电力竞价中的应用模型,一般较难收敛于 Nash 均衡,从查阅的文献来看,多基于强化学习算法,给出算例分析或仿真结果,如文献[46~50]。国内文献从学习均衡的角度,对电力竞价进行研究的文献不多(文献[46~49])。以笔者的文献视野来看,基于电力竞价模型均衡分析、诱导竞价均衡形成的机制设计或政策安排方面的理论研究文献不多,而这对电力竞价市场均衡的重要性是很明显的;文献[51]中就这一问题做了前期探讨。

(二) 寡头发电容量投资策略及其市场均衡研究现状

近年来,国内外有关发电容量投资方面的文献正不断涌现,但从查阅的相关文献来看,结合发电容量投资决策实践,探讨多重不确定条件下发电投资学习策略与市场随机演化、并从政策设计角度探讨发电容量投资均衡形成等方面的文献暂未发现。现有相关文献可大致分为以下几方面。

1. 期权博弈理论及其应用研究现状

期权博弈(option game)被认为是实物期权(real option)与博弈论(game theory)

的融合,近年来被广泛应用于不确定条件下的技术研发、基础设施等不可逆投资方面的研究。从查阅的现有文献来看,近年有关期权博弈的文献多建立在文献[52]的实物期权理论基础上,但都引进了“博弈”问题,即投资者需同时考虑市场与竞争对手策略的不确定性;文献[53]是将期权博弈运用于投资方面进行研究的代表文献之一,该文的研究表明:“竞争”会侵蚀投资等待期权的价值,因此,在期权博弈框架下,投资商需要在“等待”与“投资”之间做出决策(如“投资”则还需确定投资额度等)。现有期权博弈方面的文献大体可分为以下三个方面:

(1) 理论方面的探讨(国内在这方面的文献相对较少)。文献[54~58]分别从政策不确定、不对称的领先者与跟随者投资博弈、技术与回报双重不确定、不完全信息投资博弈、多人参与博弈等角度对期权博弈模型进行了深入考察,并得到了相应的均衡投资策略;但从投资实践来看,发电容量投资问题需构建多重不确定条件下的多人期权博弈模型(也可能是多阶段的),此外,需要考虑投资者在重复博弈中的学习行为以及信息不对称等因素,尤其需要重点考察政策不确定对发电容量投资的影响;显然,上述现有的期权博弈文献并没有提供发电容量投资问题的规范分析框架。

(2) 期权博弈模型的求解。文献[53~58]针对不同的期权博弈求解了模型,主要采用两类方法,即基于随机微分方程或随机动态规划的解析法和基于 Monte Carlo 抽样的仿真数值方法,文献[59]提出了抽样方法求解多阶段投资问题,而文献[60]提出了广义的互补方法求解实物期权模型。

(3) 期权博弈的应用。国内外都有大量这方面的文献(发电容量投资方面的研究现状见下文)。如文献[61~63]分别针对技术创新与欧洲机场建设等问题提供较规范的分析思路。此外,与文献[52~63]略有不同,文献[64]从实证角度,运用计量经济学方法对实物期权模型进行了计量检验;文献[65, 66]考察了实物期权模型中,决策者的学习行为及该学习过程对模型均衡的影响。从以上综述不难看出:期权博弈理论本身正处在不断发展与完善中,但考虑参与人学习行为,同时考虑多重不确定条件情况,构建多人期权博弈模型方面的文献暂未发现,也未见同时考虑政策不确定性与其他不确定性因素对发电容量投资影响的研究文献。

2. 发电容量投资及其随机演化研究现状

从掌握的文献来看,现有文献对发电投资的研究可分为以下三方面:

(1) 基于项目评估中的 $NPV > 0$ 原理,运用动态规划或随机规划等数学方法对发电投资策略进行分析。文献[67]运用数学规划方法,从发电商投资博弈角度提出了3个理论模型;文献[68]基于样本路径依赖的开环信息结构建立了发电商投资的随机动态博弈模型,并给出了模型的随机逼近算法与仿真结果。但由文献[52]的实物期权理论分析结论可得:基于 $NPV > 0$ 原理得到的投资决策无疑不是最优的。

(2) 基于实物期权理论分析发电商的投资策略,模型的求解方法多采用数学规划法。文献[69]通过实物期权模型对多个关联发电投资项目之间的金融风险与管理柔性进行分析,并运用了网格图和后向动态规划等方法得到了最优投资决策;文献[70]基于实物期权思想构造了随机动态投资模型,并针对北欧的Nordic电力市场进行了分析;文献[71]运用实物期权方法,对不确定电价水平条件下小水电项目投资时点、容量决策做了系统分析。但由文献[53]的研究结论,不考虑投资竞争条件下得到的发电容量投资策略,同样不是最优的。

(3) 基于期权博弈思想分析发电投资策略(2007年以来国内出现了为数不多的几篇文献)。文献[72]对发电投资研究现状做了简单综述,认为期权博弈相对于实物期权和数学规划方法而言,能较好地刻画发电投资决策,该文献假定电力市场的不确定性来源于电力负荷的不确定,并假定其服从几何布朗运动,从实物期权角度对两家发电商的投资机会进行了分析。文献[73]假定投资收益不确定条件下,运用逆推方法对投资许可期一定的发电投资项目,分析发电成本对投资阈值的影响,算例结果表明低成本投资者将优先投资。文献[72, 73]的作者主要从事电力系统方面的研究,构建的投资模型相对简单,不能拓展到两个以上寡头投资博弈(文献[58]建立了多寡头投资模型,但不适用于发电容量投资),且仅考虑了一个不确定因素(尤其没有考虑政策的不确定性,大量文献表明政策因素是影响发电容量的关键因素),显然不能真正刻画发电投资决策过程。

3. 其他方面的文献

如文献[67]融合了数学规划与博弈论方法;文献[74]运用了粒子群算法对发电投资进行分析;文献[75]考察了产品价格上限对投资的影响(该文献进一步论证了探讨政策不确定对发电容量投资决策的必要性),并对最优价格上限做了探讨。总体而言,文献[52, 75]在以下几方面的研究有待深入。

(1) 政策及其不确定性是影响发电投资的重要因素,但未见这方面的文献(文献[75]考察了产品市场价格上限对投资的影响;文献[76]探讨了准入规制下的电网投资)。

(2) 决策人的学习行为、风险偏好等都是影响发电容量投资的重要因素,但未见该类文献报道;只有将上述思想综合起来考虑,才能真正体现发电投资决策本质(即构建政策等多重不确定条件下的多寡头期权博弈模型,同时考虑投资商的风险偏好、重复投资博弈中的学习行为等,并对模型进行实验分析或实证性检验),但预计这种研究将会相当复杂,这也是发电容量投资研究尚待深入的领域之一。

(三) 现有相关文献评述

(1) 电力报价策略的研究已比较深入,不仅从有限理性博弈论与动态系统角度探讨了发电商的报价策略,而且运用经济学理论同时考虑风险因素以及动态规划方