

上海大学出版社

2006年上海大学博士学位论文 24



发电商的持留及默契 串谋行为分析

- 作者：李玉平
- 专业：控制理论与控制工程
- 导师：言茂松 谢贤亚



上海大学出版社
2006年上海大学博士学



发电商的持留及默契 串谋行为分析

- 作者：李玉平
- 专业：控制理论与控制工程
- 导师：言茂松 谢贤亚



图书在版编目(CIP)数据

2006 年上海大学博士学位论文. 第 1 辑/博士学位论文编辑部编. —上海:上海大学出版社,2009. 12
ISBN 978-7-81118-511-9

I. 2. Ⅱ. 博... Ⅲ. 博士—学位论文—汇编—上海市—2006 Ⅳ. G643.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 162521 号

2006 年上海大学博士学位论文 ——第 1 辑

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人:姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海华业装潢印刷厂印刷 各地新华书店经销

开本 890×1240 1/32 印张 264.75 字数 7 376 千

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—400

ISBN 978-7-81118-511-9/G·513 定价:1000.00 元(50 册)

Shanghai University Doctoral Dissertation (2006)

Analysis of Withholding and Tacit Collusion Behavior of Power Suppliers

Candidate: Li Yuping

Major: Control Theory and Control Engineering

Supervisor: Yan Maosong Xie Xianya

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单:

主任:	韩贻群	院士,浙江大学电气工程学院	310027
委员:	陈 陈	教授,上海交通大学电力学院	200030
	程浩中	教授,上海交通大学电力学院	200030
	黄民翔	教授,浙江大学电气工程学院	310027
	费敏锐	教授,上海大学自动化系	200072
导师:	言茂松	谢贤亚 教授,上海大学	200072

评阅人名单:

文福栓	教授, 华南理工大学电力学院	510640
甘德强	教授, 浙江大学电气工程学院	310027
陈 陈	教授, 上海交通大学电力学院	200030

评议人名单:

余贻鑫	院士, 天津大学电力、自动化与能源工程学院	300072
薛禹胜	院士, 南京电力自动化研究院	210003
陈 陈	教授, 上海交通大学电力学院	200030
程浩中	教授, 上海交通大学电力学院	200030
李 扬	教授, 东南大学电气工程系	210096
夏 清	教授, 清华大学电气工程系	100084
丁 明	教授, 合肥工业大学电气与自动化工程学院	230009
段献忠	教授, 华中科技大学电气与电子工程学院	200040
王锡凡	教授, 西安交通大学电气工程系	710049

答辩委员会对论文的评语

电力市场中的持留和默契串谋属于国内外电力市场运行中共同面临的问题,而且是电力市场中未被充分研究的重要领域,选题具有重要的理论和参考价值。

论文以博弈论为基础,较深入地研究了发电商持留容量和默契串谋问题,主要创新点如下:

1. 建立了统一出清电价方法下发电商持留容量的博弈模型,得到解析的均衡解。分析了各种因素的影响,指出统一出清电价方法纵容了发电商持留容量行为,并提出电力危机预警方法,用算例验证其合理性。

2. 建立了统一出清定价方法下不对称发电商采用混合策略默契串谋的博弈模型,得到了有意义的结果:预期收益和默契串谋成功概率,容量差异的影响,默契串谋的条件等,并指出规模相当的发电商更容易串谋。

3. 建立了发电商“分段报价的默契串谋模型”,指出:在重复报价统一出清时,分段报价体制将助长发电商默契串谋,并分析了默契串谋的形成机理、影响因素和稳定条件,用实例验证了模型的合理性。

4. 按报价支付电价的方法对发电商的持留串谋激励机理进行了探索,指出存在囚徒困境式的持留串谋;对比当量电价方法,指出在当量电价方法下不会出现容量持留。

论文表明作者具有扎实的基础理论和系统深入的专门知识,具有较强的从事科研的能力。论文语言简练,逻辑清晰,总的来说是一篇很好的博士论文。李玉平在答辩过程中陈述清楚,回答问题正确。

经答辩委员会讨论,一致通过李玉平的博士论文答辩,建议授予工学博士学位。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决,全票同意通过李玉平同学的博士学位论文答辩,建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席：**韩祯祥**

2006年3月11日

摘 要

为打破垄断、鼓励竞争、提高电力工业生产效率而进行的电力市场改革已形成全球的浪潮,电价机制是电力市场改革的核心问题,科学合理的电价能引导市场的供需平衡,达到电力资源的有效利用。由于电力工业的特殊性,在实际的电力市场中,发电商从自身利益出发,往往会通过策略行为获取超额利润,甚至暴利,这将损害市场效率和用户利益,最终也会损害发电商利益。本文针对发电市场定价机制与发电商策略行为两大基础核心问题展开研究。

首先,建立了统一出清电价机制纵容发电商“持留容量的博弈模型”,提出了用博弈均衡解分级预警电力危机的方法。其特点一是:该模型是一个两层优化的模型,在一定条件下可以得出发电商容量持留达到均衡的解析解;二是:提出了监管电力市场持留风险的分级预警负荷水平;三是:在考虑市场剩余容量被完全持留的情况下,指出市场出现默契串谋不可避免;四是:进一步考虑了电力供应弹性、负荷需求弹性等扩展了该模型,最后分析了影响发电商采取持留容量策略的若干因素。

其次,建立了统一出清定价机制下不对称发电商通过混合策略“默契串谋的博弈模型”。其特点一是:通常每个发电商的容量都不足以单独满足市场负荷需求时,分析了容量不等的发电商采用混合策略形成默契串谋的可能性,通过建模,获得了达到高价的概率、发电商的期望收益和单位容量下的期望收

益；二是：分析了发电商的容量差异对形成默契串谋的影响，指出容量规模“相当”的发电商更容易进行串谋。

第三，建立了发电商“分段报价的默契串谋模型”，指出：在长期重复报价时，统一出清分段报价体制将助长发电商默契串谋，分析了有关因素、形成机理和稳定条件。其特点一是：使用了 Forehheimer 模型框架，构造了发电商不尽相同时分段报价的发电商默契串谋的模型；二是：提出了形成默契串谋的必要条件；三是：运用默契串谋的“内稳定”和“外稳定”的概念分析默契串谋集合的稳定条件；四是：分析了默契串谋发电商的利润与市场剩余容量、串谋发电商的容量、串谋发电商个数等的关系；五是：在给出了形成默契串谋“内稳定”和“外稳定”的条件后指出，市场最终会形成两种局面：或是一个大发电商实施市场力，或是满足一定条件的多个厂商稳定的默契串谋联合实施市场力；六是：用某电力市场的实例验证了理论的合理性。

第四，对按报价支付和当量电价下发电商持留容量和默契串谋的激励进行了探索和分析。表面上看，按报价支付不会持留容量，但分析表明在按报价支付下存在默契串谋的囚徒困境式的三步曲。第一步是陷入打价格战困境；第二步是为走出困境而双管齐下，即先持留，使持留的总容量几乎等于剩余容量，也即使剩余容量几乎为零而形成短缺局势，然后报高价，但这还可能是不稳定的；第三步是发电商之间大体上按相同比例均摊了持留容量之后，逐步达到稳定的默契串谋。其特点二是：对上海电力市场从统一出清向按报价支付机制转换的前后记录进行了对比分析，上海电力市场电价转换的记录部分验证了这一“猜想”，进而指出：按报价支付定价体制不可能遏制发电

商持留容量和默契串谋策略,甚至比统一出清更糟。最后,从理论上分析了在当量电价定价机制下,发电厂商的最优产量决策问题,指出当量电价从根本上解决了发电商的持留容量和默契串谋问题。

关键词 电力市场,电价机制,当量电价,持留,默契串谋

Abstract

The worldwide restructuring and deregulation of electric power industry has been directed at encouraging the competition between the electricity suppliers and breaking the monopoly existing in the electricity market. Electricity pricing method is the key problem in power system restructuring. A scientific and reasonable pricing method should lead the market on to arrive at the balance of demand and supply for both short term and long term and lead to effective use of electricity resource. However, because of the particularity of electric power system, the real electricity market is not a perfect competitive market but rather a local oligarchic one and the power suppliers always attempt to obtain extra more, even colossal, profits by strategic bidding, resulting in large reduction of the market efficiency and consumer surplus. In this dissertation, the pool purchase pricing methods in electricity market and bidding strategies of power suppliers are studied. Four sub-issues will be addressed.

Firstly, a game model is presented, describing how the uniform pricing method facilitates suppliers to withhold their supply capacity in the wholesale electricity markets in order to raise the clearing price. Under some conditions, the solution of the Nash equilibrium of this game can be analytically given. Then

a multi-level-forewarning method is developed to monitor the withholding risk in electricity market. And is also proposed the load demand levels, as the real load is higher than which the forewarning works. Then another extended capacity withholding model is proposed to take into account the electric supply elasticity and the demand elasticity as well as the other factors.

Secondly, an asymmetric supplier game model is presented, in which the suppliers use mixed strategy to form tacit collusion under the environment of uniform pricing method. Under the condition that every supplier's capacity can not solely satisfy the market load demand, the suppliers may use mixed strategy to form tacit collusion in the market. The probability of having the market clearing price at the price cap and the expected payoff as well as the expected payoff per unit capacity of the power suppliers are analyzed. Effect on taking shape of tacit collusion is analyzed as the capacity difference of the suppliers change. The conclusion is that suppliers will form tacit collusion more probably when they have nearly the same capacity.

Thirdly, it is pointed out that in the case of repeated bidding the uniform clearing pricing system facilitates the tacit collusion of suppliers. A tacit collusion model is presented for multi-unit bidding in repeated uniform clearing pricing auction in electric power market. An unnecessarily symmetric N-player Foreheimer model is used to analyze supplier's market behavior in forming the tacit collusion. The necessary condition for the occurring of tacit collusion is presented and the internal and external stability issues of this

collusion are discussed in the electricity market. The result shows that under given load environment the market may finally become that several suppliers satisfy some conditions to form a stable tacit collusion so as to control the clearing price or become that only one supplier has strong enough market power to control the clearing price. In either case the clearing price will be much higher than the true production marginal cost. An example based on a real electricity market is employed to show the rationality of this research.

Fourthly, are studied the effects of Pay-As-Bid (PAB) and EVE (Electricity Equivalent Value) pricing methods on supplier's capacity withholding and the tendency of taking shape of tacit collusion. The game behavior of the suppliers is discussed and analyzed in the case of the PAB pricing. The result shows that PAB pricing method is unable to hold back the capacity withholding and the taking shape of tacit collusion of power suppliers and this method may behaves even worse than the uniform pricing one. At last, the optimal decision making problem of power production for the power suppliers in the case of using EVE method is theoretically analyzed, indicating that EVE pricing method is essentially able to resist the capacity withholding and the taking shape of tacit collusion of the power suppliers.

Key words Electricity Power Market, Electricity Pricing Method, Electricity Value Equivalent (EVE), Withholding, Tacit Collusion

目 录

第一章 前言	1
1.1 论文研究的实际背景	1
1.2 国内外相关理论研究现状	5
1.3 本文的研究内容与主要贡献	13
第二章 统一出清纵容发电商持留容量的机制研究和电力危机的 预警探讨	15
2.1 引言	15
2.2 统一出清的边际成本定价及持留激励	16
2.3 单个发电商最优的持留容量模型	17
2.4 规模不等的 N 个发电商的最优持留均衡模型	20
2.5 考虑不连续的情况下持留容量模型——报价容量段的 影响	24
2.6 剩余容量被完全持留时的发电商持留行为模型	26
2.7 电力危机的预警	28
2.8 算例	29
2.9 考虑负荷弹性和供应弹性的发电商持留模型	31
2.10 本章小结	33
第三章 发电商形成默契串谋的混合策略模型研究	35
3.1 引言	35
3.2 文献[33]中的主要理论介绍	36
3.3 采用混合博弈策略进行默契串谋的进一步分析	42
3.4 本章小结	50

第四章 统一出清分段报价体制助长发电商默契串谋的机理分析	51
4.1 引言	51
4.2 发电商默契串谋的机理描述	54
4.3 另一种发电商的默契串谋模型	56
4.4 某省级电力市场的实例分析	65
4.5 评注	68
4.6 本章小结	69
第五章 按报价支付和当量电价下发发电商的行为初探	72
5.1 引言	72
5.2 PAB 竞价机制下发发电商囚徒困境式的默契串谋博弈 三步曲	75
5.3 实例分析	77
5.4 当量定价机制下发发电商的最优产量决策	80
5.5 本章小结	87
第六章 展望	88
6.1 全文总结	88
6.2 进一步工作的展望	91
参考文献	93
攻读博士学位期间作者公开发表的学术论文	108
致谢	110

第一章 前 言

1.1 论文研究的实际背景

1.1.1 电力工业市场化改革的背景

20 世纪 70—80 年代,由于世界范围内的石油危机,石油进口国都经历了同时出现的通货膨胀和衰退,发达国家面临着工业的转型问题,耗能工业在萎缩或者向第三世界转移,知识经济正在酝酿当中,电力负荷增长缓慢,甚至出现了负增长,有些国家闲置的电力设备达到 30% 以上,电力的供需矛盾暂时不再是主要矛盾,供电的经济性和环保性渐渐受到了各国的重视,电力的长期垄断也显现出投资过剩、成本过高、服务不到位等一系列的弊病。同时许多实行国家垄断的行业如电信、运输、银行、广播、电视,引入竞争和市场机制进行放松管制(deregulation)的改革,并获得了极大的成功^[1]。

生产技术的发展水平决定了电力企业的经营方式和市场运营方式,由于较早的发电技术,电力工业的规模最初为几千瓦、几十千瓦的小电厂,电力工业经历了分散孤立小系统为特征的技术发展阶段,那时的发电市场更接近自由竞争市场。随着技术的发展,传统火电的单机容量不断扩大,这时的技术使发电机存在着较强的规模经济性,每千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)平均煤耗量越降越低,大型发电机组的出现为建设大型电站和现代大型电力系统垄断经营提供了基本条件。电力工业也在大机组大电网的方向经历了一百多年的发展,发电平均耗煤达到标准煤 $370 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 左右,已很难降低。但全世界的电力需求量是持续增长的,加之,具有投资少、建设周期短、高效、环保的特点的联合循环燃气轮机等新兴发电技术的出现,为电力工业市场