

考虑发电成本省间差异的区域电力市场竞价机制

李新武¹, 王丽萍², 王瑾³

(1. 云南民族大学经济学院, 云南 昆明 650031; 2. 华北电力大学可再生能源学院, 北京 102206;
3. 湖北黄冈供电局, 湖北 黄冈 433300)

摘要: 针对我国区域电力市场中普遍存在由于省间经济发展不平衡而导致的发电成本省间差异较大的问题, 基于差异性电力租金理论, 以地理位置差别和优势产生的差异性电力租金为税源, 向低成本省的发电机组征收区域电力平等基金税, 建立考虑发电成本省间差异的区域电力市场竞价机制。算例分析表明, 该机制可以提高发电成本较高省的机组出力水平和市场占有率, 在一定程度上保护了发电成本较高省机组的市场竞争力, 实现了不同省的同类型发电机组之间的公平竞争。

关键词: 区域电力市场; 发电成本; 省间差异; 电力租金; 竞价模型

Bidding mechanism in regional electricity market considering the inter-provincial difference in costs of power generation

LI Xin-wu¹, WANG Li-ping², WANG Jin³

(1. School of Economics, Yunnan University of Nationalities, Kunming 650031, China; 2. Renewable Energy School, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 3. Huanggang Power Supply Bureau of Hubei, Huanggang 433300, China)

Abstract: There is a common problem in China's regional electricity market, i.e. the inter-provincial differences in costs of power generation as a result of the unbalanced economic development between provinces, which is an important topic required to be effectively solved for building regional electricity market. Based on the theory of differential power rent, this paper takes the differential power rent caused by differences in geographical locations and advantages as the rent sources, levies taxes of regional electricity equalization fund on the generating units in low-cost provinces, and constructs the bidding mechanism in regional electricity market considering the inter-provincial differences in costs of power generation. The analysis of numerical examples based on genetic algorithm shows that, this mechanism can enhance the output level of generating units and market share in provinces with the higher cost of power generation, and to a certain extent, it protects the generating units in provinces with high cost of power generation to keep their market competitiveness and achieves a fair competition between the generating units of the same type in different provinces.

Key words: regional electricity market; cost of power generation; inter-provincial difference; power rent; bidding model

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)23-0039-05

0 引言

在一个区域电力市场中, 由于各省之间经济发展不平衡导致的发电成本省间差异, 使得不同省的发电机组在参与区域电力市场竞争时并未处在同一条起跑线上, 成本较高省的发电机组处于竞争的不利地位。而在我国, 省间经济发展不平衡问题将长期存在。因此, 如何有效解决由于发电成本省间差异较大引起的市场竞争公平问题, 是区域电力市场在设计竞价模式和市场规则时面临的难题。

竞价机制是电力市场理论研究的重要组成部分^[1], 合理的竞价机制能够确保电力市场经济调度与稳定运营, 实现电力资源的合理配置。近年来, 对该课题的研究一直是电力市场理论研究中的一个

热点, 而在大量的研究发电侧电力市场竞价机制的文献中^[2-6], 鲜有文献涉及发电成本差异引起的市场竞争公平和机组竞价起跑线问题^[6]。

在竞争性电力市场中, 具有低成本优势的发电机组与其他机组相比, 在发电成本上的差别可以产生差异性电力租金^[7]。通过向具有低成本优势的发电机组征收差异性电力租金税, 可以解决具有不同发电方式、机组类型或地理位置的发电机组市场竞争公平和竞价起跑线问题。本文基于差异性电力租金理论, 以地理位置差别和优势产生的差异性电力租金为税源, 向低成本省的发电机组征收区域电力平等基金税, 分别建立征税前后的区域电力市场发电侧竞价模型, 构建考虑发电成本省间差异的区域电力市场竞价机制。

1 区域电力平等基金描述

1.1 建立基金的理论基础

经济租金 (economic rent) 是与成本差别相联系的租金, 指的是由于一些生产要素存在质量差异或者数量限制时导致成本差别, 从而产生的超额回报, 它包含差异性租金 (differential rent) 和稀缺性租金 (scarcity rent) 两种形式^[8]。在文中假设的发电侧竞价的区域电力市场中, 将具有相同的发电方式、装机容量和建设时期的发电机组视为同类型机组; 以省为节点表示发电机组的地理位置; 同时, 只考虑发电机组的省间成本差异, 不考虑省内差异, 不计发电机组之间的效率差别。因此, 电力租金包含两种形式: 其一, 具有不同类型或地理位置之间的机组在发电成本上的差别可以产生差异性电力租金, 这类租金可以分为差异性租金 I 和差异性租金 II: 差异性租金 I 形成的原因是机组类型的差别, 即相同地理位置 (同一个省)、不同类型的机组之间因成本差别而产生的租金, 该类租金来源于低成本机组类型的发电机组成本优势; 差异性租金 II 形成的原因是地理位置的差别, 即不同地理位置 (不同省)、相同类型的机组之间因成本差别而产生的租金, 该类租金来源于低成本省的发电机组成本优势。其二, 由于发电资源的有限性和一定程度的自然垄断性, 使得竞价上网的市场价格高于边际成本时, 就产生稀缺性租金, 即绝对租金。

电力租金是一种重要的政府税收来源。就国外实践而言, 政府主要通过征收电力资源租金税、资源补偿费、权利金和所得税等形式获取和分配电力租金。而在我国, 电力租金的获取和分配方式主要表现在两个方面: 一是政府长期以低于竞争性电力市场均衡价格的电价向社会提供电力服务, 隐性补贴了消费者, 电力租金事实上被部分发散掉; 二是政府通过征收电力开发固定费用、所得税、资源税、资源补偿费和优惠政策等方式获取和分配电力租金。电力市场环境下, 我国可以通过以下两种途径理顺电力租金政策: 一是改革电价体制, 取消各种补贴, 使各类电价均基于竞争性市场均衡价格, 将电力租金“显性化”; 二是理顺现行电力租金政策, 其中的政策之一就是电力租金中的差异性租金 II 作为税源, 针对低成本省的发电机组征税, 建立区域电力平等基金。

通过建立区域电力平等基金, 可以对成本较高的发电机组进行适当保护, 解决市场竞争公平和发电机组竞价起跑线问题, 实现在区域电力市场中不同省的同类型机组之间的公平竞争, 达到区域内

的省际平衡目标。

1.2 基金的计算

水电租金来源于水力发电的低成本优势, 指的是在竞争性电力市场中, 水电与其他电源相比在发电成本上的差别和优势可以产生差异性租金。国际上, Bernard, Bridges, Scott, Gillen, Jenkins 等学者提出了一些水电租金的估算方法^[7], 其中, Norman Jenkins 提出的估算方法较为合理, 即: 在理论上, 水电租金就等于最低成本的非水力发电的电力系统 (如假设全部是热电) 与含水力发电的电力系统成本间的差额^[9]。

本文借鉴此方法计算区域电力平等基金: 假设某区域电力市场覆盖 m 个省; 按照机组类型划分, 每个省有 n 类机组, 分别从该省的每一类机组当中选取一台机组作为典型机组, 则该省共有 n 台典型机组。令 \bar{c}_{sj} 为不含 s 省的该区域电力市场其他省第 j 类典型机组的边际成本均值, \bar{c}_j 为含 s 省的该区域电力市场所有省的第 j 类典型机组的边际成本均值, 即:

$$\bar{c}_{sj} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1, i \neq s}^m c_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$\bar{c}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_{ij} \quad (2)$$

式中, c_{ij} 为机组 (i, j) (即第 i 省的第 j 台典型机组) 的边际成本, $c_{ij} \in [c_{ij\min}, c_{ij\max}]$ 。

则在理论上, 针对机组 (i, j) 征收的区域电力平等基金税单位值, 即基金税率为:

$$r'_{ij} = \bar{c}_{sj} - \bar{c}_j \quad (3)$$

式中 r'_{ij} 为基金税率的理论值。

由式 (3) 得到的 r'_{ij} 值可能为负值, 因此, 在实践中需要对 r'_{ij} 值进行修正, 即:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & r'_{ij} \leq 0 \\ r'_{ij} & r'_{ij} > 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, r_{ij} 为实际执行的基金税率; $r'_{ij} \leq 0$ 时, 表示机组 (i, j) 的边际发电成本较高, 此时不向机组 (i, j) 征收基金税。

针对机组 (i, j) 征收基金税, 征税方式为从量税, 则税额 R_{ij} 为:

$$R_{ij} = r_{ij} q_{ij} \quad (5)$$

式中, q_{ij} 为机组 (i, j) 的实际发电量。

全区域电力平等基金总额 R 为:

$$R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{ij} \quad (6)$$

2 区域电力市场竞价机制设计

2.1 基本假设

本文研究基于发电成本省间差异条件下的区域电力市场竞价机制问题, 假设区域电力市场结构为:

- 1) 实行厂网分开, 发电机组竞价上网, 输配售一体化垄断经营;
- 2) 实行发电侧单边有限电量竞价模式和单一制电价;
- 3) 一个典型机组作为一个竞价单元参与市场竞争;
- 4) 区域电网公司为单一购电方;
- 5) 文中只针对日前市场的某个单时段(设为 1 h) 交易, 合约电量相应分解到该时段。

2.2 市场调度模型

假设某区域电力市场采用暗标拍卖 (sealed-bid auction) 的定价方式, 电力库 (power pool) 中有 m 个省、每个省有 n 台独立的典型机组, 即一共有 $m \times n$ 台机组参与日前市场交易, 市场规则要求各机组申报线性报价函数。

2.2.1 征收基金税之前的市场调度模型

假设机组 (i, j) 具有线性成本函数, 可以将机组 (i, j) 的成本表示为:

$$C_{ij}(p_{ij}) = c_{ij}P_{ij} \quad (7)$$

式中: p_{ij} 为机组 (i, j) 的发电量; c_{ij} 与 p_{ij} 为相互独立的变量。

在不计开停机影响和输电约束、可行集非空条件下, 若机组以边际成本报价, 并考虑电力合约, 则某单一时段按机组报价 (Pay As Bid, PAB) 结算的电力经济调度问题可以表示为:

$$F_M = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [c_{ij}p_{ij} + \hat{c}_{ij}\hat{p}_{ij}] \quad (8)$$

式中: F_M 为该时段区域电网公司最小购电费用; c_{ij} 为该时段机组 (i, j) 的边际成本; p_{ij} 为该时段机组 (i, j) 的竞价电量; \hat{c}_{ij} 为该时段机组 (i, j) 的合约电价; \hat{p}_{ij} 为该时段机组 (i, j) 的合约电量。

约束条件:

- 1) 该时段负荷平衡

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (p_{ij} + \hat{p}_{ij}) = q + \hat{q} = d \quad (9)$$

式中: q 为该时段总竞价电量; \hat{q} 为该时段总合约电量; d 为该时段负荷。

- 2) 该时段总竞价电量

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} = q \quad (10)$$

- 3) 该时段总合约电量

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \hat{p}_{ij} = \hat{q} \quad (11)$$

$$\alpha d \leq \hat{q} \quad (12)$$

式中, α 为合约交易量控制因子, 表示合约交易量与总交易量的比例, 确保合约交易量的进行。

由于单位时间的电量可以表示为功率, 为方便计算, 文中所有涉及电量的变量都用相应的功率量替换。

- 4) 发电机组出力限制

$$p_{ij\min} \leq p_{ij} + \hat{p}_{ij} \leq p_{ij\max} \quad (13)$$

式中: $p_{ij\min}$ 为该时段机组 (i, j) 的最小出力; $p_{ij\max}$ 为该时段机组 (i, j) 的最大出力。

2.2.2 征收基金税之后的市场调度模型

针对机组 (i, j) 征收基金税之后, 机组 (i, j) 的成本函数为:

$$C'_{ij}(p_{ij}) = c'_{ij}p'_{ij} \quad (14)$$

$$c'_{ij} = c_{ij} + r_{ij} \quad (15)$$

式中, c'_{ij} 为征税后的机组 (i, j) 的边际成本。

则该时段电力经济调度问题表示为:

$$F'_M = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [c'_{ij}p'_{ij} + \hat{c}'_{ij}\hat{p}'_{ij}] \quad (16)$$

$$\hat{c}'_{ij} = \hat{c}_{ij} + r_{ij} \quad (17)$$

式中: F'_M 为征税后的该时段区域电网公司最小购电费用; c'_{ij} 为该时段机组 (i, j) 的边际成本; p'_{ij} 为该时段机组 (i, j) 的竞价电量; \hat{c}'_{ij} 为该时段机组 (i, j) 的合约电价; \hat{p}'_{ij} 为该时段机组 (i, j) 的合约电量。

分别由式 (9) ~ (13) 得此时的约束条件:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (p'_{ij} + \hat{p}'_{ij}) = q' + \hat{q}' = d \quad (18)$$

式中: q' 为该时段总竞价电量; \hat{q}' 为该时段总合约电量; 假设征税前后的该时段负荷恒定。

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p'_{ij} = q' \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \hat{p}'_{ij} = \hat{q}' \quad (20)$$

$$\alpha d \leq \hat{q}' \quad (21)$$

$$p_{ij\min} \leq p'_{ij} + \hat{p}'_{ij} \leq p_{ij\max} \quad (22)$$

2.3 模型的求解

本文建立的市场调度模型是个典型的线性规划问题, 它的求解是一个多约束条件下的最小目标值

求解过程。线性规划是运筹学中研究较早、发展较快、应用广泛、方法较成熟的一个重要分支，它是辅助人们进行科学管理的一种数学方法。求解线性规划问题的基本方法是单纯形法，为了提高解题速度，又有改进单纯形法、对偶单纯形法、原始对偶方法、分解算法和各种多项式时间算法。

单纯形法的基本思想是：先找出一个基本可行解，对它进行鉴别，看是否是最优解；若不是，则按照一定法则转换到另一改进的基本可行解，再鉴别；若仍不是，则再转换，按此重复进行。因基本可行解的个数有限，故经有限次转换必能得出问题的最优解。

3 算例分析

假设某区域电力市场中有 4 个省、每个省有两台典型机组（一共 8 台机组）参与日前市场竞争，合约交易量控制因子 $\alpha = 80\%$ ，该时段系统负荷为 $d = 1\ 300\ \text{MW}$ ，发电机组及市场参数在表 1 中列出。计算时间段为 1 h，所以机组出力和电量的单位均用 MW 表示。

从表 2 可以看出，根据本文设定的区域电力平等基金税的征税规则，在参与区域电力市场竞价的 8 台机组中，需要向两个成本较低省（第 3、4 省）的 4 台发电机组（3, 1）、（4, 1）、（3, 2）、（4, 2）征收基金税。全区域征收的基金税总额为 11 992 元，系统购电总费用增加了 11 997 元，二者存在较小差值的主要原因是模型求解算法的精确度局限。图 1 表明，征税使得各发电机组实际出力大小发生

了一定的变化。

表 1 发电机组及市场参数

Tab.1 Generating units and market parameters

机组 (i, j)	$c_{ij}/\text{元}\cdot$ (MW·h) ⁻¹	$\hat{c}_{ij}/\text{元}\cdot$ (MW·h) ⁻¹	$p_{ij\min}/\text{MW}$	$p_{ij\max}/\text{MW}$
(1, 1)	360	440	12	100
(2, 1)	300	400	12	100
(3, 1)	280	360	12	100
(4, 1)	240	320	12	100
(1, 2)	220	300	20	350
(2, 2)	200	280	20	350
(3, 2)	150	270	20	350
(4, 2)	120	270	20	350

注：同类型发电机组具有相同的 $p_{ij\min}$ 和 $p_{ij\max}$ 。

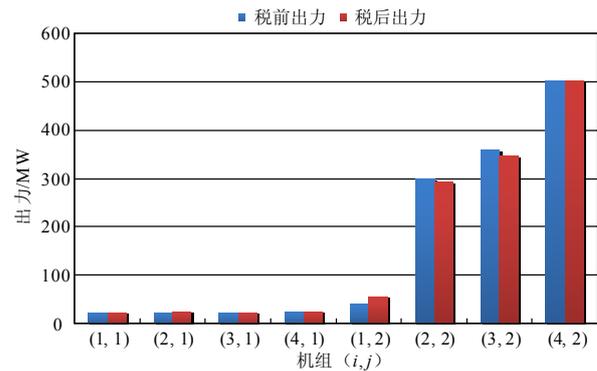


图 1 发电机组出力对比图

Fig. 1 Comparative map of the generating unit output

表 2 市场出清结果

Tab.2 The results of market clearing

机组 (i, j)	征收基金税之前			征收基金税之后			
	p_{ij}/MW	\hat{p}_{ij}/MW	$r_{ij}/\text{元}\cdot$ (MW·h) ⁻¹	$c'_{ij}/\text{元}\cdot$ (MW·h) ⁻¹	$\hat{c}'_{ij}/\text{元}\cdot$ (MW·h) ⁻¹	p'_{ij}/MW	\hat{p}'_{ij}/MW
(1, 1)	12	12.27	0	360	440	12	12.27
(2, 1)	12	12.66	0	300	400	12	13.11
(3, 1)	12	12.90	5	285	365	12	11.59
(4, 1)	12	13.32	18.3	258.3	338.3	12	14.69
(1, 2)	20	22.72	0	220	300	20	38.00
(2, 2)	20	278.25	0	200	280	20	273.23
(3, 2)	20	338.68	7.5	157.5	277.5	20	327.41
(4, 2)	149.90	351.30	17.5	137.5	287.5	152.65	349.05
Σ	257.90	1 042.10				260.65	1 039.35

表 3 表明，在系统总负荷恒定的情况下，征收基金税之后，成本较高省（第 1 和第 2 两个省）的

4 台发电机组总出力比征税前增加了 10.71 MW，提高了 2.75%，市场占有率增加了 0.8 个百分点；成

本较低省(第3和第4两个省)的4台发电机组总出力比征税前减少了10.71 MW,降低了1.18%,市场占有率减少了0.8个百分点。因此,征收基金税

在一定程度上增强了成本较高省的发电机组市场竞争力,实现了不同省的同类型机组之间的公平竞争。

表3 发电机组出力对比

Tab.3 Comparison of generating-unit output

发电机组	征收基金税之前		征收基金税之后		出力增量/MW	出力增加率/%	市场占有率增量/%
	出力 / MW	市场占有率 / %	出力/MW	市场占有率/%			
成本较高省的4台机组	389.9	30.0	400.61	30.8	10.71	2.75%	0.8
成本较低省的4台机组	910.1	70.0	899.39	69.2	-10.71	-1.18%	-0.8
全区域	1 300	100.0	1 300	100.0	0	0	0

4 结语

本文基于差异性电力租金理论,通过向发电成本较低省的机组征收区域电力平等基金税,建立了考虑发电成本省间差异的区域电力市场竞价机制。该机制可以提高发电成本较高省的机组出力水平和市场占有率,在一定程度上保护了成本较高省的发电机组,实现了不同省的同类型机组之间的公平竞争,可以有效解决我国区域电力市场建设过程中遇到的发电成本省间差异较大的问题。

本文提出的新机制增加了系统总购电费用,这可能会导致销售电价上涨,同时,这部分增加的购电费用将以区域电力平等基金税的形式转移到政府手中。政府可以利用区域电力平等基金向购买力水平较低的电力用户提供补贴,通过“二次分配”规避销售电价上涨给电力用户带来的市场风险。

参考文献

- [1] 谢俊,陈星莺,廖迎晨.激励性输配分开电力市场竞价机制的建模[J].中国电机工程学报,2006,26(23):25-31.
XIE Jun, CHEN Xing-ying, LIAO Ying-chen. Research on modeling the incentive bidding mechanism for transmission and distribution separated electricity markets[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (23): 25-31.
- [2] 王秀丽,周鹏,王锡凡.发/供电公司市场均衡及竞价策略[J].电力系统自动化,2007,31(6):6-10.
WANG Xiu-li, ZHOU Peng, WANG Xi-fan. Market equilibrium and bidding strategies of generation/distribution companies[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (6): 6-10.
- [3] 姚建刚,唐捷,李西泉,等.发电侧电力市场竞价交易模式的研究[J].中国电机工程学报,2004,24(5):78-83.

- YAO Jian-gang, TANG Jie, LI Xi-quan, et al. Research on bidding model in a generation-side power market[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (5): 78-83.
- [4] 黎灿兵,康重庆,夏清.区域电力市场竞价交易机制的研究[J].电网技术,2004,28(7):34-39.
LI Can-bing, KANG Chong-qing, XIA Qing. Study on trading mechanism of regional electricity markets[J]. Power System Technology, 2004, 28 (7): 34-39.
- [5] Silva C, Wollenberg B F, Zheng C Z. Application of mechanism design to electric power markets[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, 16 (4): 862-869.
- [6] 丁军威,夏清.发电侧逐步市场化的竞价新模式[J].中国电机工程学报,2003,23(3):10-15.
DING Jun-wei, XIA Qing. A new model for gradually establishing competitive generation market[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (3): 10-15.
- [7] 陈秀山.西电东送工程区域效应评价[M].北京:中国电力出版社,2007.
CHEN Xiu-shan. Engineering evaluation of the effects of electricity from western to eastern regions[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [8] 新帕尔格雷夫经济辞典[M].北京:经济科学出版社,1996.
New palgrave dictionary of the economy[M].北京: Economic Science Press, 1996.
- [9] Norman Jenkins. Energy policy-Britain's electricity industry[J]. Energy Policy, 1984 (12): 480-481.

收稿日期:2009-12-04; 修回日期:2010-03-26

作者简介:

李新武(1976-),男,博士,主要研究方向为电力市场理论及应用;E-mail:836472026@qq.com

王丽萍(1956-),女,教授,博士生导师,主要研究方向为水电能源经济、电力市场与水电站经济运行。