

可再生能源配额制实施中的市场力研究

李璐^{1,2}, 谭忠富¹, 张恩源³

(1. 华北电力大学经济与管理学院, 北京 102206; 2. 昆明理工大学电力工程学院, 云南 昆明 650051;
3. 云南电网公司, 云南 昆明 650039)

摘要: 可再生能源配额制 (RPS) 要求可再生能源在电力生产中占有一定比例, 但实施过程中出现的市场力问题会对可再生能源证书 (REC) 市场和电能市场带来影响。针对 RPS 实施中的市场力问题, 提出了主导企业竞争边缘模型, 分析了不同主导企业的市场力对 REC 价格和上网电价的影响。在不同 RPS 要求下, 通过实证研究得出不同主导企业的市场力对 REC 价格和上网电价的影响结果, 说明 REC 价格太低将导致长期可再生能源发展的投资不足, REC 价格太高也会扭曲投资的激励信号, 导致长期发电资源的低效配置。因此, 管制机构需要认真监督市场绩效, 从而保障在 RPS 政策体制下可再生能源的健康发展。
关键词: 可再生能源配额制; 市场力; 可再生能源证书; 主导企业竞争边缘; 模型

Research on market power in the implementation of renewable portfolio standard

LI Lu^{1,2}, TAN Zhong-fu¹, ZHANG En-yuan³

(1. School of Business Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China; 3. Yunnan Power Grid Company, Kunming 650039, China)

Abstract: Renewable Portfolio Standard (RPS) requires a certain percentage of electricity production from renewable. The market power in the process of RPS implementation always affects the renewable energy certificate/credit (REC) market and electricity market. This paper develops dominant firm-competitive fringe models that account for market power. It shows that market power could have significant impacts on the REC and power prices. Through empirical research, this paper gets the effects of market power on REC and power prices with different RPS requirements increase in different dominant firm situation. This paper indicates that lower REC price could lead to an underinvestment in renewable in the long run. Meanwhile, higher REC price could distort investment incentives, resulting in inefficient resource allocation for power generation in the long run. Therefore, regulatory agencies need to carefully oversee the market performance to ensure a healthy development of renewable industries under the RPS policies.

Key words: renewable portfolio standard; market power; renewable energy certificate/credit; dominant firm-competitive fringe; model

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)12-0106-07

0 引言

随着气候变暖越来越明显, 许多政策一直致力于促进可再生能源发展和控制温室气体排放。由于目前市场价格不能充分反映可再生能源发电的收益, 可再生能源投资者面临的一个挑战是: 如何确保可再生能源项目前期投资的收益。所以, 政府干预成为在竞争环境下推动可再生能源的必然条件^[1]。美国许多州普遍采用的是可再生能源配额制 (RPS),

RPS 要求可再生能源在发电 (或兆瓦时的发电量) 中占有一定比例^[2-5]。RPS 调控的对象一般是供电公司。在一些州, 满足 RPS 有多种方式: 自给自足发电、通过双边合同从可再生能源获得电能、从二级市场购买可再生能源证书 (REC)。

目前一个备受关注的新闻是与可再生能源有关的市场力问题。不可再生能源的传统发电机通常在电能市场中占有较大的份额, 并在上网电价上拥有市场力。这些现役发电机可能在相关市场如排污权交易市场和 REC 市场同时拥有市场力。另一方面, 存在可再生能源发电的情况下, 同样存在市场

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目 (2013Y318)

力。市场力的存在至少有三个因素。首先, 适合开发可再生能源的地理位置是有限的, 例如, 由少数公司拥有或承包的风电^[6-8]。第二, 企业可能拥有技术专利, 能有效地防止对手进入市场。第三, 一些公司熟悉审批申请程序, 例如, 环评或已经与有经验的员工签订合同。所有这些将导致市场中可再生能源的所有权集中度较高^[9-10]。

1 可再生能源市场中的市场力问题

美国一些州已经制定了雄心勃勃的 RPS 目标, 例如, 加利福尼亚州到 2020 年 RPS 为 33%, 随着 RPS 目标增加, 可再生能源市场中的市场力问题显得尤为突出^[11-12], 同时, 市场力在 REC 市场的影响会蔓延到电能市场。例如, 在 RPS 要求下, 可再生能源的出力可能会限制不可再生能源的发电量, 而这些发电量有效地提升电价。在某种意义上, 主导企业可以将 REC 作为总量管理和贸易计划 (C&T) 中可交易的许可权, 在电能市场中实施市场力。加利福尼亚州 2000~2001 年的电力危机表明: 大型发电机通过故意消耗不必要的许可权, 同时抬高缺少许可权公司的许可权成本, 从而把降低成本的压力强加给其他公司。2000 年一些电厂没有能力或不愿意发电导致许可权短缺和许可权的价格偏高。因此, 市场力类似于 C&T 计划中可交易的许可权, 它应该在 REC 市场中同样得到重视^[13-15]。

哈恩 (1984) 是最早对可交易的许可权系统中的市场力问题进行理论研究的人^[16]。首先, 利用主导企业竞争边缘模型, 研究许可权市场中的市场力, 没有明确考虑具体的产品市场。他演示了一个主导企业如何为了自身获利而操纵许可权价格, 从而降低了可交易许可权制度的成本。Misiolek 和 Elder (1989) 把哈恩的市场结构延伸到产品市场, 并探讨与许可证市场的相互作用^[17]。他们发现, 一个主导企业操纵许可证市场是想在产品市场中提高边缘企业的成本。

与 C&T 计划中可交易的许可权相比, RPS 和 REC 的概念是较新的, RPS 和 REC 的市场力问题尚未有深入研究。为了研究市场力问题, 本文着重在 RPS 和 REC 系统中应用主导企业竞争边缘模型。本文的目的是探讨市场力在实施 RPS 的过程中可能带来的问题。本文提出了一个通用模型, 在这个模型中, 主导企业可以在竞争边缘企业中操纵产品 (例如电能) 价格和 REC 价格。特别是, 竞争边缘问题的一阶条件和 REC 的市场出清条件被列为主导企业的约束条件。REC 的市场出清条件表述成补充条件, 主导企业的最优化问题描述成均衡约束的

数学规划问题。此外, Fischer^[18]考虑电能和 REC 市场的完全竞争情形, 在延伸并扩展 Fischer 的理论基础上, 本文提出的模型允许主导企业在电能和 REC 市场同时拥有并实施市场力。

2 模型的提出

这部分介绍主导企业竞争边缘模型, 在这个模型中, 主导企业可以在电能市场和 REC 市场中同时实施市场力, 主导企业和边缘企业同时受制于 RPS。本文考虑两种情形, 第一种情形是不可再生能源发电例如燃煤发电是主导企业, 可再生能源发电处于竞争边缘, 称之为 ND-RF 模型。第二种情形相反, 称之为 RD-NF 模型。这两种模型研究电能和 REC 市场中的市场力问题, 它是 Fischer 研究两个市场完全竞争情形的一个延伸。在模型中, $P = P(Q)$ 表示电力递减需求函数, 假设 $P' < 0, P'' \leq 0$, $C_i(q_i)$ 表示每个企业发电成本函数, 假设 $C' > 0, C'' \geq 0$ 。

2.1 ND-RF 模型——不可再生能源主导, 可再生能源边缘

在该模型中不可再生能源是主导企业, 可再生能源处于竞争边缘, n 代表不可再生能源主导企业, rf 代表可再生能源边缘企业。系数 $\lambda \in (0,1)$ 代表 RPS 要求, 即每个企业必须满足配额制要求 λ 。如果一个企业不能满足要求 λ , 它需要从 REC 市场以价格 P_{REC} 购买可再生能源证书来补充不能满足的部分。相反, 如果一个企业远远超出 λ 要求, 它可以以价格 P_{REC} 向 REC 市场出售多余可再生能源证书来获得额外利润。 P_{REC} 为可再生能源证书价格, 由如下市场出清条件确定。

$$'0 \leq P_{REC}' \perp 'q_{rf} - \lambda(q_n + q_{rf}) \geq 0' \quad (1)$$

其中: q_n 表示不可再生能源主导企业的发电量; q_{rf} 表示可再生能源边缘企业的发电量。“ \perp ”表示互补条件, 式(1)表示 $0 \leq P_{REC}$, $q_{rf} - \lambda(q_n + q_{rf}) \geq 0$ 和 $P_{REC}(q_{rf} - \lambda(q_n + q_{rf})) \geq 0$ 。在该模型中只有可再生能源边缘企业提供可再生能源证书, 不可再生能源主导企业是证书的购买者, 如果市场中有多余的证书, REC 的价格将为 0。相反, 如果证书的需求量等于可供量, REC 价格为正。通常情况下, 可再生能源边缘企业的出力减少和不可再生能源主导企业的出力增加会导致 REC 价格上升。

基于以上研究, 先不考虑每个企业的发电约束, 假设可再生能源竞争边缘企业接受电价 P 和 REC 价格, 则可再生能源竞争边缘的利益最大化模型为

$$\text{Max } Pq_{rf} - C_{rf}(q_{rf}) + (1-\lambda)P_{REC}q_{rf} \quad (2)$$

其中, 最后一项 $(1-\lambda)P_{REC}q_{rf}$ 是在 REC 市场出售多

余可再生能源证书所获得的利益。它也是对可再生能源边缘企业的一个有效补偿。最大化模型的一阶条件为

$P = C'_{rf}(q_{rf}) + (1-\lambda)P_{REC}$, 设 $Q = q_{rf} + q_n$, 得到可再生能源竞争边缘企业的平衡条件, 即

$$P(Q) = C'_{rf}(q_{rf}) + (1-\lambda)P_{REC} \quad (3)$$

与此同时, 不可再生能源主导企业的最优化问题, 假设主导企业在电能和 REC 市场同时拥有市场力, 主导企业不仅操纵 q_{rf} , 从而操纵 P , 而且通过式(1)和式(3)操纵 P_{REC} , 它的利益最大化模型为

$$\text{Max } P(Q)q_n - C_n(q_n) - \lambda P_{REC}q_n \quad (4)$$

$$\text{s.t } P(Q) = C'_{rf}(q_{rf}) - (1-\lambda)P_{REC} \quad (5)$$

$$'0 \leq P_{REC}' \perp 'q_{rf} - \lambda(q_n + q_{rf}) \geq 0' \quad (6)$$

式(4)中最后一项 $-\lambda P_{REC}q_n$ 是在 REC 市场中购买可再生能源证书以补充不可满足的 RPS 要求。它也是不可再生能源主导企业的一种有效的征税。以上最优化问题包含式(5)和式(6)两个均衡约束。本文分两步进行分析, 第一步着重研究 REC 市场的约束条件, 分析模型结果如下。第二步允许 REC 价格为零情况, 求解模型结果如第 3 节, 运用大量参数值进行实例分析, 并验证模型的可行性和正确性。

首先解释不可再生能源主导企业的直接行为, 与完全竞争情形相比, 主导企业情愿压制发电出力来提高电价, 不可再生能源发电减少将通过式(6)降低 REC 价格, 因为降低了购买证书的成本, 所以对不可再生能源主导企业有利。因此, 激励不可再生能源主导企业提高电价, 同时降低 REC 价格。REC 价格在某种情况下可能降为 0, 下节详细说明。

本文重点研究这种情形: 可再生能源证书的供需在一个正的 REC 价格下平衡, 可以得到关于市场力的定性分析结果。在这种情形下, 等同于假设 $q_{rf} - \lambda(q_n + q_{rf}) = 0$ 取代了式(6), 基于这个假设, 得到不可再生能源主导企业的最优化问题如下结论:

在 ND-RF 模型中, $q_{rf} - \lambda(q_n + q_{rf}) = 0$, 结合式(5)推导得到:

$$P(Q) = (1-\lambda)C'_n(q_n) + \lambda C'_{rf}(q_{rf}) + \Phi \quad (7)$$

其中, $\Phi = -\frac{1}{1-\lambda}q_n(P'(Q) - \lambda^2 C''_{rf}(q_{rf})) \geq 0$, 与完全竞争情形相比较, 因为所有企业都是价格接受者, 在完全竞争情形下电价表述为

$$P(Q) = C'_n(q_n) + \lambda P_{REC}, P(Q) = C'_{rf}(q_{rf}) - (1-\lambda)P_{REC} \text{ 整理得}$$

$$P(Q) = (1-\lambda)C'_n(q_n) + \lambda C'_{rf}(q_{rf}) \quad (8)$$

完全竞争情形得到式(8)表明: 电价等于不可再生能源主导企业和可再生能源竞争边缘企业的加权

平均边际成本。权重即为配额制要求 λ 。

由式(7)可知, 在 ND-RF 情形下, 不可再生能源主导企业的市场力作用的结果是: 加权平均边际成本函数上升了 $\Phi > 0$ 。因为递减需求函数呈下降趋势, 发电减少而价格上升。ND-RF 情形下市场力的总结如下, 带“*”号表示 ND-RF 情形的结果, 带“#”号表示完全竞争情形结果, 通过推导, 得出:

$$q_n^* < q_n^\#, q_{rf}^* < q_{rf}^\#, \quad (9)$$

$$P^\# < P^*, P_{REC}^* > P_{REC}^\# \quad (10)$$

不可再生能源主导企业想提高上网电价, 同时压低 REC 价格。因为 REC 价格下降可以补偿企业购买证书的付出, 所以对不可再生能源主导企业是有益的。RPS 需求 λ 的变化对市场结果影响的定性分析不是直线的, 但是, 假设需求曲线线性 and 边际成本恒定, 即 $P^{(t)}(Q) = 0, C_i^{(t)} = 0$, 其中 $t \geq 2$, 将得到如下结论:

$$\frac{dP^*}{d\lambda} = \frac{1}{2} \left(P_{REC}^* - \frac{P'(Q^*)q_n^*}{(1-\lambda)^2} \right) > 0 \quad (11)$$

$$\frac{dP_{REC}^*}{d\lambda} = \frac{1}{2(1-\lambda)} \left(P_{REC}^* + \frac{P'(Q^*)q_n^*}{(1-\lambda)^2} \right) \leq 0 \quad (12)$$

RPS 要求 λ 增加, 市场电价也增加, 但是对于 REC 价格的影响不确定。当 λ 增加时, 式(12)括弧里的第二项 $\frac{P'(Q^*)q_n^*}{(1-\lambda)^2}$ 值越大, 因此对 REC 价格的影响越大。

2.2 RD-NF 模型——可再生能源主导企业和不可再生能源边缘竞争企业

与 2.1 模型相反, 该模型可再生能源发电是主导企业, 不可再生能源发电是竞争边缘。r 代表可再生能源主导企业, nf 代表不可再生能源边缘企业。REC 价格由以下证书出清条件确定为

$$'0 \leq P_{REC}' \perp 'q_r - \lambda(q_r + q_{nf}) \geq 0' \quad (13)$$

其中: q_r 代表可再生能源主导企业发电量; q_{nf} 代表不可再生能源边缘企业发电量。在该模型中, 只有可再生能源主导企业提供可再生能源证书, 而不可再生能源边缘企业购买证书。因此, 可再生能源主导企业出力减少和不可再生能源边缘企业出力增加将使 REC 价格上升。不可再生能源竞争边缘企业是上网电价 P 和 REC 价格的接受者, 其利益最大化问题如下模型为

$$\text{Max } Pq_{nf} - C_{nf}(q_{nf}) - \lambda P_{REC}q_{nf} \quad (14)$$

最后一项 $-\lambda P_{REC}q_{nf}$ 是不可再生能源边缘企业在 REC 市场购买证书, 用以补充不能满足的那部分 RPS 要求。换句话说, 这部分是对不可再生能源边

缘企业的征税。最大化问题的一阶条件为

$P = C'_{nf}(q_{nf}) + \lambda P_{REC}$, 设 $Q = q_r + q_{nf}$, 得到不可再生能源竞争边缘企业的平衡条件为

$$P(Q) = C'_{nf}(q_{nf}) + \lambda P_{REC} \quad (15)$$

假设可再生能源主导企业在电能市场和 REC 市场同时拥有市场力, 主导企业不仅操纵 q_{nf} , 进而操纵 $P = P(Q)$, 而且通过式(13)、式(15)操纵 P_{REC} 。其利益最大化问题模型为

$$\text{Max } P(Q)q_r - C_r(q_r) + (1-\lambda)P_{REC}q_r \quad (16)$$

$$\text{s.t } P(Q) = C'_{nf}(q_{nf}) + \lambda P_{REC} \quad (17)$$

$$'0 \leq P_{REC}' \perp 'q_r - \lambda(q_r + q_{nf}) \geq 0' \quad (18)$$

式(16)中最后一项 $(1-\lambda)P_{REC}q_r$ 是在 REC 市场出售多余证书的收入, 换句话说, 这是对可再生能源主导企业的补偿。与完全竞争情形相比, 可再生能源主导企业为了提高电价会压低出力。可再生能源发电的减少会提高 REC 价格, 并对可再生能源主导企业有利, 因为可再生能源可以通过出售证书来获得利益, 因此可再生能源主导企业希望上网电价升高, 同时提高 REC 价格。如前小节, 如果着重考虑 $q_r - \lambda(q_r + q_{nf}) = 0$, 不考虑式(18)的补充条件, 可以得到可再生能源主导企业最优化的结论。

在 RD-NF 模型中, $q_r - \lambda(q_r + q_{nf}) = 0$, 通过推导得出:

$$P(Q) = (1-\lambda)C'_{nf}(q_{nf}) + \lambda C'_r(q_r) + \Psi \quad (19)$$

其中, $\Psi = -\frac{1}{\lambda}q_r(P'(Q) - (1-\lambda)^2 C'_{nf}(q_{nf})) > 0$, 对比完全竞争情形的均衡条件, 重组 $P(Q) = C'_r(q_r) - (1-\lambda)P_{REC}$ 和 $P(Q) = C'_{nf}(q_{nf}) + \lambda P_{REC}$, 得到完全竞争需求的均衡条件为

$$P(Q) = (1-\lambda)C'_{nf}(q_{nf}) + \lambda C'_r(q_r) \quad (20)$$

RD-NF 模型的式(19)表明: 市场力的结果使得两种企业的加权平均边际成本向上平移了 $\Psi > 0$ 。由此 RD-NF 模型情形下市场力的总结如下, 带“*”表示 RD-NF 模型结果, 带“#”表示完全竞争情形结果。在 RD-NF 模型中, $q_r - \lambda(q_r + q_{nf}) = 0$ 情形下, 与完全竞争情形相比, 上网电价和 REC 价格均上涨, 各企业的发电出力增加, 即

$$q_{nf}^* < q_{nf}^{\#}, \quad q_r^* < q_r^{\#} \quad (21)$$

$$P^* > P^{\#}, \quad P_{REC}^* > P_{REC}^{\#} \quad (22)$$

可再生能源主导企业希望上网电价和 REC 价格都上涨, 主导企业可以通过出售可再生能源证书

获得利润, 因此对可再生能源主导企业有利。如果进一步假设需求曲线线性且边际成本恒定, 可以得到 RPS 要求 λ 变化对市场结果的影响。式(19)和其他数学推导可以得出:

$$\frac{dP^*}{d\lambda} = \frac{1}{2}(P_{REC}^* + \frac{P'(Q^*)q_r^*}{\lambda^2}) \leq 0 \quad (23)$$

$$\frac{dP_{REC}^*}{d\lambda} = \frac{1}{2\lambda}(-P_{REC}^* + \frac{P'(Q^*)q_r^*}{\lambda^2}) < 0 \quad (24)$$

当配额制要求 λ 增加时, REC 价格上涨, 但是对上网电价的影响无法确定。式(23)表明: 当 λ 升高时, 因为括弧里第二项下降, 降低上网电价的影响力将减弱。

3 实例分析

3.1 假设

利用实例进行分析, 在不同 RPS 要求下求解模型。以现有的知识, 可再生能源边际成本目前没有完全可靠的评估。但是, 许多文献都假设可再生能源发电的边际成本远远高于传统发电边际成本。原因是: 当受风速等因素影响, 风电无法满足日前分配功率时, 需要旋转备用中爬坡率高的机组或者其他辅助服务提供出力, 由此产生了机会成本^[19]。同时, 假设可再生能源发电的边际成本远远高于传统发电边际成本, 而且可再生能源发电的线性边际成本函数的截距和斜率高于传统发电边际成本。假设可再生能源线性边际成本函数为: $60 + 0.003q$, 不可再生能源线性边际成本函数为: $20 + 0.001q$, 需求函数设为 $100 - 0.01Q$ 。

3.2 主要结果

图 1 和图 2 分别显示 REC 价格和上网电价随 RPS 水平的变化, 同时完全竞争情形也作为基准在图中标出。Fischer 2010 年研究表明: 随着 RPS 目标升高, 削减需求比增加可再生能源发电更容易满足 RPS 要求。当 RPS 要求增加时, 上网电价将上升, 同时需求将下降。而且, 随着 RPS 要求增加, 迫使 REC 价格上升的压力减弱, REC 价格上升缓慢甚至下降。

在 ND-RF 模型中, 不可再生能源是主导企业, 而可再生能源是竞争边缘。如上所述, 市场因素常常激励不可再生能源企业提高上网电价压低 REC 价格, 因为不可再生能源主导企业支付可再生能源证书的费用减少, 主导企业将从低 REC 价格中获益。如图 1 所示, 与完全竞争情形相比较, 不可再生能源主导企业成功地压制了 REC 价格的上升, 而且, 如果使用相对较高的 RPS, REC 价格可能接近

0。因为当面临较高的 RPS 管制时，不可再生能源主导企业需要降低可再生能源证书成本。

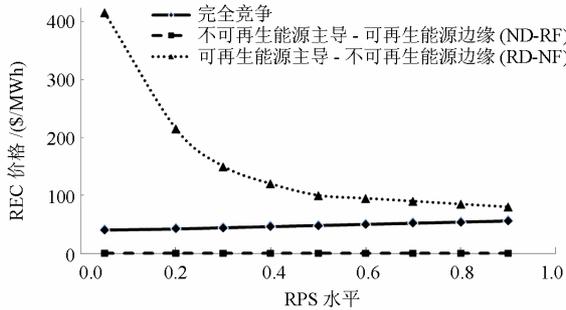


图 1 完全竞争、ND-RF、RD-NF 情形 REC 价格受 RPS 影响曲线

Fig. 1 Plot of REC price against RPS level under perfect competition, ND-RF and RD-NF cases

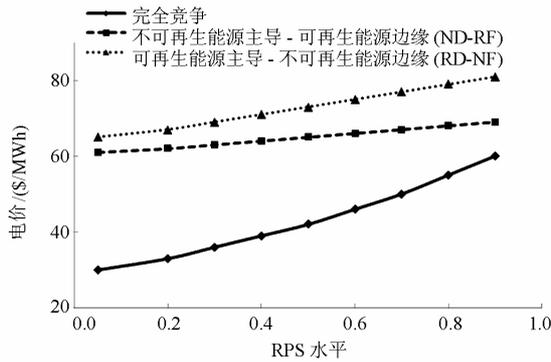


图 2 完全竞争、ND-RF、RD-NF 情形下电价受 RPS 影响曲线

Fig. 2 Plot of power price against RPS level under perfect competition, ND-RF and RD-NF cases

在 RD-NF 模型中，可再生能源发电是主导企业，而不可再生能源发电是竞争边缘。如 3.2 节分析，可再生能源主导企业情愿提高电价同时提高 REC 价格。因为，REC 价格升高会增加主导企业出售可再生能源证书所获得的利润，因此对可再生能源主导企业有利。与完全竞争情形相比，可再生能源主导企业明显提升了 REC 价格，而且随着 RPS 增加，REC 价格明显下降。这是因为当面临不紧急的管制 (λ 很小) 时，可再生能源主导企业为了在 REC 市场获得更多的利益，企业希望大幅提升 REC 价格。相对地，当管制加强时，可再生能源主导企业发现降低 REC 价格才是明智之举。因为只有这样，主导企业才能“整合”REC 的利润和电力买卖利润，从而实现总体利益最大化。另一方面，图 2 显示了与完全竞争情形相比，可再生能源主导企业有效地提高了上网电价，当 RPS 要求更高时，上网

电价比完全竞争情形的高。

图 3 和图 4 分别描述了不可再生能源企业和可再生能源企业的出力，同时显示了完全竞争情形的定性分析结果。Fischer2010 年研究结果表明：随着 RPS 目标值增加，不可再生能源的出力单调上升，而可再生能源的出力是不明确的。可再生能源出力呈现凸形曲线，出力刚开始上升，随着 RPS 不断增加，出力继而下降。这是因为减少需求比单纯增加可再生能源发电更容易满足较高的 RPS 需求。

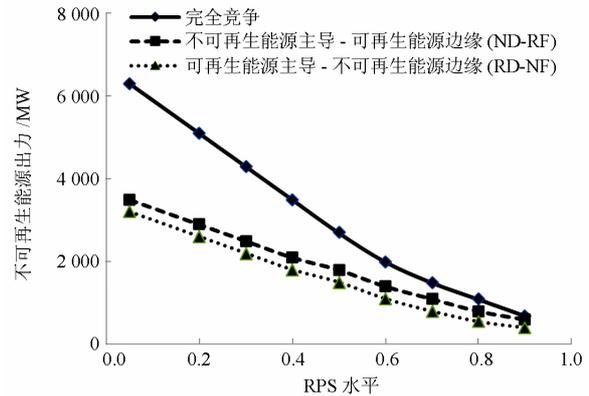


图 3 完全竞争、ND-RF、RD-NF 情形下不可再生能源出力受 RPS 影响曲线

Fig. 3 Plot of output from nonrenewable firm against RPS level under perfect competition, ND-RF and RD-NF cases

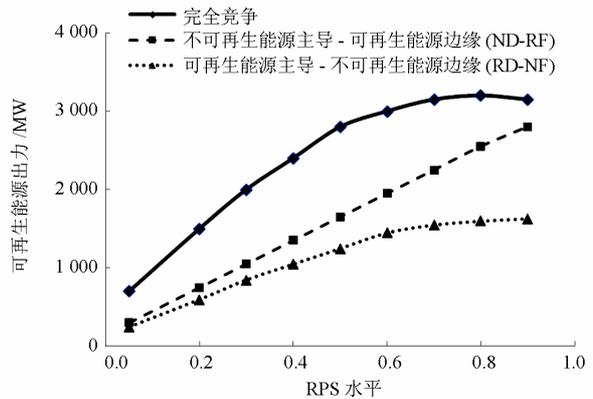


图 4 完全竞争、ND-RF、RD-NF 情形下可再生能源出力受 RPS 影响曲线

Fig. 4 Plot of output from renewable firm against RPS level under perfect competition, ND-RF and RD-NF cases

如图 3 所示，在 ND-RF 情形下，不可再生能源主导企业的出力单调下降，这与完全竞争情形大致一样。但是，这些企业的出力比完全竞争情形小。这是因为不可再生能源主导企业为了提高上网电价而压制出力。另一方面，如图 4 所示，在 ND-RF 情形下，可再生能源竞争边缘企业的出力呈现凸形

曲线直到 λ 等于0.7为止。但是,这时企业的出力比完全竞争情形的出力要少。因为在ND-RF情形中可再生能源竞争边缘企业是价格接受者,与完全竞争情形相比,虽然上网电价上升,但是REC价格主要受制于不可再生能源主导企业,最终导致可再生能源边缘企业的总体边际成本上升。其结果是:ND-RF情形下可再生能源竞争边缘企业出力小于完全竞争情形下的出力。值得指出的是:当 λ 等于0.7时,可再生能源竞争边缘企业的出力开始上升。这是因为REC价格崩盘为0,上网电价的上涨直接导致可再生能源边缘企业出力的增加。

如图4所示,在RD-NF情形下,可再生能源主导企业的出力呈现凸形曲线,但整体低于完全竞争情形,可再生能源主导企业情愿压低出力来提高上网电价。另一方面,RD-NF情形下不可再生能源边缘企业的出力单调递减,与完全竞争情形的结果一致。虽然上网电价上升,但是可再生能源主导企业实施市场力,提高不可再生能源边缘的总体边际成本,REC价格同样明显上涨。结果是:不可再生能源竞争边缘企业的出力小于完全竞争情形下的出力。

在ND-RF情形中,不可再生能源主导企业寻求经济最优,相对完全竞争情形下减少出力 q_n ,可再生能源需求量降低等原因,导致可再生能源竞争边缘企业的出力 q_r 减少。随着总出力的减少,主导企业有效地提高相对于完全竞争情形下的上网电价。随后,主导企业向REC价格施加向下的压力,因为REC需求量下降,使其价格下降。在其他条件不变的情况下, λ 越大, q_n 越低, P^* 上升, P_{REC} 下降直到它降为零。相反,在RD-NF情形中,可再生能源主导企业情愿降低它的出力 q_r ,同时导致不可再生能源边缘竞争企业的出力 q_{nf} 减少。随着总体出力减少,主导企业成功地提高了上网电价。与ND-RF情形相反,随着REC供给量的降低,主导企业向上网电价施加一个上升的推力。因此,拥有并实施市场力的不同主体将带来完全不同的市场结果。

4 结论

RPS已经成为全世界推动可再生能源的一个广泛采用的措施。RPS政策有一些优于其他政策的特点,例如,REC价格由市场中的供需确定,不是由政府事先确定;RPS政策倡导可再生能源技术的选择由市场竞争得出。目前,逐渐引起重视的一个问题是可再生能源相关的市场力问题。与排放交易市场一样,市场力对于电能市场的影响具有重要的经

济意义。

本文提出关于市场力的主导企业-竞争边缘模型,研究表明市场力对REC价格和上网电价影响巨大。特别是,当不可再生能源是主导企业,可再生能源处于竞争边缘时,影响更显著。不可再生能源主导企业试图降低REC价格,从而避免REC成本。同时,REC价格为0将抑制上网电价,缓解主导企业的市场力作用。但是,REC价格太低可能导致可再生能源长期发展的投资不足。相反,当可再生能源为主导,不可再生能源处于竞争边缘时,可再生能源主导企业成功提升电价和REC价格,从长远来看,REC价格太高也会扭曲投资的激励信号,导致长期运行发电资源的低效配置。因此,运用RPS政策促进可再生能源健康发展时,监管部门必须认真监控市场绩效,减弱主导企业的市场力。

参考文献

- [1] 任东明. 中国可再生能源配额制和实施对策探讨[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22): 25-28.
REN Dong-ming. Research on renewable portfolio standards in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 25-28.
- [2] 谢旭轩, 王田, 任东明. 美国可再生能源配额制最新进展及对我国的启示[J]. 中国能源, 2012, 34(3): 33-37, 46.
XIE Xu-xuan, WANG Tian, REN Dong-ming. The latest progress of renewable portfolio standards in England and its inspiration to China[J]. China Energy, 2012, 34(3): 33-37, 46.
- [3] California Public Utilities commission (CPUC). California renewable portfolio standards[R]. 2010.
- [4] BEHLES D N. Why California failed to meet its RPS target[R]. 2011.
- [5] 谢国辉, 李琼慧, 王乾坤, 等. 可再生能源配额制的国外实践及相关启示[J]. 能源技术经济, 2012, 24(7): 19-22.
XIE Guo-hui, LI Qiong-hui, WANG Qian-kun, et al. Practice and inspiration of renewable portfolio standards in overseas[J]. Energy Technology and Economics, 2012, 24(7): 19-22.
- [6] 张粒子, 王茜. 计及负荷损失费用的含风电场输电系统可靠性评估[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(20): 39-44.
ZHANG Li-zi, WANG Xi. Reliability assessment of composite generation and transmission systems with

- wind farms considering load loss cost[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(20): 39-44.
- [7] 姜文, 严正, 杨建林. 计及风电场的发输电可靠性评估[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 126-130, 178.
JIANG Wen, YAN Zheng, YANG Jian-lin. Reliability assessment of composite generation and transmission system considering wind farms[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 126-130, 178.
- [8] 徐乾耀, 康重庆, 江长明, 等. 多时空尺度风电消纳体系初探[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(1): 28-32.
XU Qian-yao, KANG Chong-qing, JIANG Chang-ming, et al. Preliminary analysis on wind power accommodation system from multiple temporal and spatial scale perspective[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(1): 28-32.
- [9] 宋洪磊, 吴俊勇, 冀鲁豫, 等. 风光互补独立供电系统的多目标优化设计[J]. 电工技术学报, 2011, 26(7): 104-111.
SONG Hong-lei, WU Jun-yong, JI Lu-yu, et al. Multi-objective optimal sizing of stand-alone hybrid wind/PV system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(7): 104-111.
- [10] 尹明, 王成山, 葛旭波, 等. 中德风电发展的比较和分析[J]. 电工技术学报, 2010, 25(9): 157-162.
YIN Ming, WANG Cheng-shan, GE Xu-bo, et al. Comparison and analysis of wind power development between China and Germany[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(9): 157-162.
- [11] Commission, CPUC, 2012. California's RPS program: key features and developments[EB/OL].
<http://www.westgov.org/wieb/webinars/2012/06-06-12C REPC-SPSC.pdf>
- [12] AMUNDSEN ES, BERGMEN L. Green certificates and market power on the Nordic power market[J]. Energy, 2012, 33(2): 101-117.
- [13] TSAO C C, CAMPBELL J, CHEN Y. When renewable portfolio standards meet cap and trade regulations in the electricity sector: market interactions, profits implications and policy redundancy[J]. Energy Policy, 2011, 39(7): 3966-3974.
- [14] SMITH J C, MILLIGAN M R, DEMEO E A, et al. Utility wind integration and operating impact state of the art[J]. IEEE Tran on Power Systems, 2007, 22(3): 900-908.
- [15] FABBRI A, ROMAN T G S, ABBAD J R, et al. Assessment of the cost associated with wind generation prediction errors in a liberalized electricity market[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3): 1440-1446.
- [16] HAHN R T. Market power and transferable property right[J]. Econ, 1984, 99: 753-765.
- [17] MISIOLEK W, ELDER H. Exclusionary manipulation of markets for pollution rights[J]. Environ Econ Manag, 1989, 16(2): 156-166.
- [18] FISCHER C. Renewable portfolio standards: when do they lower energy prices?[J]. Energy, 2010, 31(1): 101-120.
- [19] 娄素华, 王志磊, 吴耀武, 等. 基于机会约束规划的含大规模风电电力系统协调经济调度[J]. 电工技术学报, 2013, 28(10): 337-345.
LOU Su-hua, WANG Zhi-lei, WU Yao-wu, et al. Coordinated economic dispatch wind power generation based on for power system with significant chance-constrained programming[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(10): 337-345.

收稿日期: 2013-11-03; 修回日期: 2014-01-29

作者简介:

李璐(1976-), 女, 博士研究生, 研究方向为可再生能源激励政策、电力市场运行机制; E-mail: ednali@126.com

谭忠富(1964-), 男, 教授, 博导, 研究方向为电力企业战略管理设计, 电力企业文化培育方略, 电力市场;

张恩源(1976-), 男, 经济师, 研究方向为电力企业经营与管理。