

# 考虑价格上限的发电容量投资模型与分析<sup>①</sup>

叶 泽, 张新华, 曹永泉

(长沙理工大学经济与管理学院, 长沙 410076)

**摘要:** 运用实物期权理论, 将价格上限管制因素纳入发电容量投资决策模型, 运用 MATLAB 软件进行算例分析, 探讨市场变量和管制变量发生变化时发电企业的投资行为及其市场均衡效应. 结果表明: 1) 企业对未来需求增长的预期较高时, 将延迟投资并在投资时提高装机容量; 2) 需求波动率比需求增长率对投资决策有更大影响; 3) 合理的价格上限水平对减缓投资波动有明显效果; 4) 提高容量电价能够降低投资临界值并增加一次性投资数量, 同时也会降低资源配置效率, 不利于电源结构优化调整; 5) 不确定需求条件下, 高容量电价和低价格上限的管制政策组合是实现电力市场长期均衡的有效途径.

**关键词:** 价格上限; 容量电价; 发电投资; 实物期权

**中图分类号:** F423.2   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2009)05-0053-08

## 0 引 言

在放松管制的电力市场中, 企业根据市场需求状况和管制政策进行以利润最大化为目标的投资决策, 由此产生的关键问题是: 企业自主决策的结果能否形成足够的生产能力, 在产业层次上满足市场需求, 并保证电价合理性和稳定性, 实现有效的长期均衡<sup>[1]</sup>.

为了保护电力市场中企业的利益, 促进电力企业投资, 许多国家或地区的电力市场如英格兰和威尔士电力市场、西班牙电力市场和一些南美国家的电力市场采用了两部制电价制度<sup>[2]</sup>. 国内外学者的研究表明, 容量电价 (capacity payments) 的绝对水平和容量电价与电量电价之间的比值都会影响两部制电价对容量投资的激励效果<sup>[3~5]</sup>. Bunn 和 Larsen 对英国电力市场进行的系列研究表明, 这种价格机制受到容量投资补偿水平, 新发电机组成本, 新发电容量的建设延迟和投资者预测未来的能力等因素的综合作用, 可能导致电力

投资的周期性波动, 同时引起价格的剧烈变化<sup>[6,7]</sup>.

电量电价对容量投资的间接影响的研究相对较少. 实际上, 电量电价对容量投资的间接影响是不容忽视的. Hobbs E, Fillion J 和 Stoft S 的研究指出, 当电量电价超过变动或者边际成本时, 对容量投资也会产生激励作用. 另外, 价格与投资管制政策及其不确定性、不完全信息、投资者风险态度等因素, 也会影响电力市场中发电容量的投资<sup>[8]</sup>.

管制经济理论提出了收益率管制、价格上限管制, 标杆管制和收益管制四种基本方法<sup>[9]</sup>. 价格上限管制将物价上涨指数与要求的效率提高比例的差额即 RPFX 作为企业价格调整的界限. Littlechild 1983 年首次将它引入英国电力工业管制中<sup>[10]</sup>. 理论上, 竞争性的发电市场不需要管制, 也没有价格上限问题. 不过, 由于发电市场本身并不完善等原因, 几乎所有国家或地区的发电市场都设定了价格上限. 近年来不确定条件下价格上限政策对投资的影响逐渐引起管制机构和学术界的

① 收稿日期: 2007-12-10; 修订日期: 2009-06-30.

基金项目: 国家社会科学基金资助项目 (07BJ079); 国家自然科学基金资助项目 (70473008); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助 (NCET-07-0124).

作者简介: 叶泽 (1962—), 男, 湖北仙桃人, 博士, 教授. E-mail: yeze2003@263.net

重视。Dixit和Pindyck认为,管制机构的干涉将导致投资激励的不足<sup>[11,12]</sup>。Dobbs引入了动态规划方法<sup>[14]</sup>,认为尽管价格上限管制是最优选择,但是,较大的需求变化会使企业限制投资,宁愿在供不应求情况下实施限量供给<sup>[13]</sup>。Roques和Savva认为,合理的价格上限可以最大化投资激励<sup>[14]</sup>。

由于发电容量投资具有投资块性(lump),建设周期长,沉淀部分大,电价以及需求面临较大不确定性等特征,适用于采用不确定条件下的不可逆投资的理论即实物期权方法进行分析<sup>[12]</sup>。

McDonald和Siegel和Pindyck等人对实物期权理论发展做出了重要的贡献<sup>[15]</sup>,Dixit和Pindyck对这种方法和主要文献进行了综述<sup>[12]</sup>。近年来,国内相关研究较多。例如,安琪晖等分析了期权博弈理论的方法,并介绍了方法模型的发展状况<sup>[16]</sup>。夏晖等对实物期权方法在技术创新战略投资的应用进行综述<sup>[17]</sup>。扶缚龙和黄健柏评述了实物期权分析方法的缺陷及其改进措施<sup>[18]</sup>。此外,杨明和王国华<sup>[19]</sup>,黄学军、吴冲锋<sup>[20]</sup>,张国兴、郭菊娥和刘东霖<sup>[21]</sup>,吴建祖、宣慧玉<sup>[22]</sup>等从不同方面研究不确定因素对投资决策的影响。

近年来,一些学者将实物期权理论应用于发电容量投资。例如,Nick Thomsen等采用实物期权方法对丹麦西部电力市场的不确定性进行分析,提出了确定发电容量投资最优时机的方法<sup>[23]</sup>;吉兴全,文福拴运用Black-Scholes期权定价模型对发电项目的延迟投资决策进行估价<sup>[24]</sup>;王勇,文福拴在假定投资者制定发电投资决策时所面对的不确定性因素主要来自需求增长的前提下,建立了新的实物期权方法框架<sup>[25]</sup>。总体上,实物期权应用于发电容量投资决策研究正处在起步阶段,并且这些文献还没有涉及到价格管制政策如价格上限对投资的影响<sup>[26]</sup>。事实上,电量电价的价格上限水平高低会影响供不应求时企业的投资收益预期,而这种预期会通过投资行为对市场均衡结果产生影响。在发电生产能力相对紧张的国家或者地区,价格上限对企业收益的影响较大,尤其需

要考虑这个因素。

本文探讨需求不确定情况下实行两部制电价并且电量电价存在价格上限的电力市场中发电容量投资决策模型及其市场均衡效应。在构建一个考虑价格上限的发电容量投资模型后,采用经验数据,用MATLAB软件对不同需求预期增长率、不同需求波动率、价格上限和容量电价条件下的发电容量投资决策及其市场均衡效应进行了模拟计算和比较分析;最后得出结论。

## 1 发电容量投资决策模型

### 1.1 模型假设

假设电力市场完全开放并且有效竞争,下面做出以下假设。

假设1 企业面临唯一的投资机会,初始固定投资费用为 $I$ ,忽略电厂建设时间。同时假定投资者的风险类型为风险中性, $\rho$ 为折现率。

假设2 投资不可逆并产生非常高的沉没成本。项目持续运营一个经济寿命周期,结束时残值为零。

假设3 市场均衡时价格 $P$ 等于市场出清价格,并且波动过程服从几何布朗运动(Geometric Brownian motion, GBM)<sup>②</sup>,因此 $P \geq 0$ <sup>[24]</sup>。

假设4 投资者面临的需求函数为 $\theta$ 。设 $\theta_t$ 表示 $t$ 时的需求,服从以下形式的几何布朗运动

$$d\theta = \alpha\theta dt + \sigma\theta dz$$

其中, $\alpha$ 为预期的需求增长率, $\sigma$ 为需求波动的标准差, $dz$ 为标准布朗运动增量, $dt$ 为基本时间。

假设反需求函数为

$$P = P_0 \frac{\theta}{\lambda + Q} + \varepsilon \quad (1)$$

式中: $p_0$ 为基准参考电价; $\lambda$ 为大于零的常数( $\lambda > 0$ ); $Q$ 为总装机容量; $\theta$ 的定义同上, $\varepsilon$ 表示企业发电量调整对电价的影响。假定 $q$ 是发电企业选择的发电量, $\delta$ 表示投资者的发电量对电价的影响程度(在完全竞争假设下, $\delta = 0$ ),式(1)

② 金融市场价格被认为是符合GBM即非负的随机变量的标准假设。电力市场分为实物市场和金融市场。在成熟电力市场中,金融市场交易占相当大比例。如2000年北欧电力市场中,日前现货市场交易量为96.21TW·h而电力衍生金融市场交易量为16.611.6TW·h。参看文献[24],电力金融市场已成为电力市场的重要组成部分。考虑到金融市场交易可以作为电力市场的主要交易,本文对不同市场价格变化规律不作区别假设,即电力市场价格服从几何布朗运动(GBM)。

可以修正为

$$P_t = \theta + \delta q \quad (2)$$

式中,  $P_t$ ,  $\theta$  分别为某时段平均电价和市场需求. 电价为月平均电价, 需求为月平均需求,  $q$  为可选择的月度发电量.

假设 5 发电厂装机容量为  $m$ , 为了简化计算, 一个月以 30 天计, 则月发电量  $M$  为

$$M = m \times 30 \times 24 \times r_{avl} \quad (3)$$

式中,  $r_{avl}$  为平均可利用率.

假设 6 所建电厂为火力发电厂. 电厂项目有固定成本函数:  $I(m) = km^\gamma$ ,  $\gamma \leq 1$  表示每单位容量的平均固定成本随装机容量规模增加而递减的程度.

火电厂变动成本主要为煤炭成本. 如果采用煤电价联动政策, 煤炭价格和电价为正比关系, 即

$$P - c = \mu P \quad (4)$$

其中发电可变成本  $c$ ,  $\mu$  是煤炭成本中需要火电厂通过技术进步自行消化的部分,  $0 < \mu < 1$

假定 7 发电市场实行价格上限管制, 价格上限为  $\bar{P}$ . 在固定两部制电价制度下, 有  $\bar{P} = P_s + P_c$ ,  $P_s$  和  $P_c$  分别为电量电价和容量电价, 电厂获得的月容量电价报酬  $\Delta R = M \times P_c$ , 式中符号同上.

### 1.2 容量投资决策模型

根据前面的假设, 可以得到发电企业的月利润函数  $\pi$

$$\pi = (P - c)q + \Delta R \quad (5)$$

式(5)等式右侧第一项为电量电价收益. 将式(2)和式(4)代入式(5), 得到

$$\pi = \mu P q^2 + \mu \theta q + \Delta R \quad (6)$$

从等式(6)可以看出, 选择合适的发电量  $q$ , 可以使得发电企业利润最大化.

根据价格上限  $\bar{P}$  和月发电量  $M$  的关系, 可以将等式(6)转化为分段函数.

若  $\bar{P} > \Delta M$ , 则利润函数转变为下面的分段函数式(7)

$$\pi_1(\theta, M) = \begin{cases} \frac{\mu \theta^2}{4\delta} + \Delta R, & \theta \in T_{11} = [0, 2\Delta M) \\ \mu \theta M - \mu \Delta M^2 + \Delta R, & \theta \in T_{12} = [2\Delta M, \bar{P} + \Delta M) \\ \mu \bar{P} M + \Delta R, & \theta \in T_{13} = [\bar{P} + \Delta M, \infty) \end{cases} \quad (7)$$

若  $\bar{P} \leq \Delta M$ , 则利润函数转变为下面的分段函

数式(8)

$$\pi_2(\theta, M) = \begin{cases} \frac{\mu \theta^2}{4\delta} + \Delta R, & \theta \in T_{21} = [0, 2\bar{P}) \\ \frac{\mu(\theta - \bar{P})\bar{P}}{\delta} + \Delta R, & \theta \in T_{22} = [2\bar{P}, \bar{P} + \Delta M) \\ \mu \bar{P} M + \Delta R, & \theta \in T_{23} = [\bar{P} + \Delta M, \infty) \end{cases} \quad (8)$$

由于投资项目的价值由各期的收益组成, 因此, 在时刻  $t$  发电投资项目的价值  $V(\theta, M)$  可以解释为在时间区间  $(t, t + dt)$  内的收益和时间  $t + dt$  后的持续价值, 即

$$V(\theta, M) = \pi dt + E[V(\theta + d\theta, M) e^{-\rho dt}] \quad (9)$$

利用伊藤引理<sup>[12]</sup>展开式(9), 并令  $dt \rightarrow 0$  整理得微分方程(10)

$$\frac{1}{2} \sigma^2 \theta^2 \frac{\partial^2 V(\theta, M)}{\partial \theta^2} + \alpha \theta \frac{\partial V(\theta, M)}{\partial \theta} - \rho V(\theta, M) + \pi(\theta, M) = 0 \quad (10)$$

方程(10)的通解为

$$V(\theta, M) |_{\theta \in R_{ij}} = B'_{ij}(M) \theta^{\beta_1} + B''_{ij}(M) \theta^{\beta_2} + \bar{V}_{ij}(\theta, M) \quad (11)$$

式中  $B'_{ij}(M)$  和  $B''_{ij}(M)$  为  $M$  的待定函数,  $\bar{V}_{ij}(\theta, M)$  是微分方程的特解,  $\beta_1$  和  $\beta_2$  为下列二次方程  $0.5\sigma^2\beta(\beta-1) + \alpha\beta - \rho = 0$  的解, 且  $\beta_1 > 1, \beta_2 < 0$

注意式(11)中  $B'_{ij}(M) \theta^{\beta_1}$  和  $B''_{ij}(M) \theta^{\beta_2}$  属于泡沫项, 若随机变量  $\theta$  可以在区间  $(0, \infty)$  内变化, 即穿越临界点时利润函数不发生变化, 则这两项可以忽略<sup>[13]</sup>. 根据式(7)和式(8), 可以得到价值方程特解的形式如下

若  $\bar{P} > \Delta M$ , 则特解形式为

$$\bar{V}_1(\theta, M) = \begin{cases} \bar{V}_{11}(\theta, M) = \frac{\mu \theta^2}{4\delta(\rho - 2\alpha - \sigma^2)} + \frac{\Delta R}{\rho} \\ \theta \in T_{11} = [0, 2\Delta M) \\ \bar{V}_{12}(\theta, M) = \frac{\mu \theta M}{\rho - \alpha} - \frac{\mu \Delta M^2}{\rho} + \frac{\Delta R}{\rho} \\ \theta \in T_{12} = [2\Delta M, \bar{P} + \Delta M) \\ \bar{V}_{13}(\theta, M) = \frac{\mu \bar{P} M}{\rho} + \frac{\Delta R}{\rho} \\ \theta \in T_{13} = [\bar{P} + \Delta M, \infty) \end{cases} \quad (12)$$

若  $\bar{P} \leq \Delta M$ , 则特解形式为

$$\bar{V}_2(\theta, M) = \begin{cases} \bar{V}_{21}(\theta, M) = \frac{\mu\theta^2}{4\delta(\rho - 2\alpha - \sigma^2)} + \frac{\Delta R}{\rho}, & \theta \in T_{21} = [0, 2M] \\ \bar{V}_{22}(\theta, M) = \frac{\mu\theta\bar{P}}{\rho - \alpha} - \frac{\bar{P}^2}{\rho} + \frac{\Delta R}{\rho}, & \theta \in T_{22} = [2M, \bar{P} + M] \\ \bar{V}_{23}(\theta, M) = \frac{\mu\bar{P}M}{\rho} + \frac{\Delta R}{\rho}, & \theta \in T_{23} = [\bar{P} + M, \infty) \end{cases} \quad (13)$$

由于随机变量需求  $\theta$  具有连续性, 在分界点  $\theta' = 2M, \bar{P} + M, 2P$  时, 价值函数应该分别满足价值匹配和平滑粘贴条件, 即

$$V_j(\theta', M) = V_{i+1}(\theta', M); \quad i, j = 1, 2 \quad (14)$$

$$\frac{\partial V_j}{\partial \theta}(\theta', M) = \frac{\partial V_{i+1}}{\partial \theta}(\theta', M); \quad i, j = 1, 2 \quad (15)$$

另外, 在需求为零时, 企业投资仅能获得容量报酬  $\frac{\Delta R}{\rho}$ , 因此有边界条件

$$V_{i1}(0, M) = \frac{\Delta R}{\rho}, \quad i = 1, 2 \quad (16)$$

如果需求  $\theta$  趋于无穷大, 穿越临界值  $\theta'$  的概率趋于零, 项目价值的泡沫项可以忽略, 即

$$\lim_{\theta \rightarrow \infty} V_{i3}(\theta, M) = \bar{V}_{i3}, \quad i = 1, 2 \quad (17)$$

利用以上边界条件式 (14) — (17), 可以求得项目的最终价值函数  $V(\theta, M)$ .

对于任意需求  $\theta$ , 企业选择最优的装机容量  $M^*$  以最大化项目的净价值, 即

$$\max_M [V(\theta, M) - I] \quad (18)$$

令  $[V(\theta, M) - I]$  的一阶导数为零, 可求出最优装机容量与需求之间的函数关系式  $M^*(\theta)$ .

下面推导投资临界值  $\theta^*$ . 设  $F(P)$  表示投资期权价值,  $F(P)$  在投资时刻  $t$  之前不会产生收益流, 持有它的唯一回报是资本增值. 利用动态规划方法, 得连续时间段的贝尔曼方程为

$$\rho F(\theta) dt = E[dF(\theta)] \quad (19)$$

利用伊藤引理将上式展开并整理, 得到微分方程

$$0.5\sigma^2\theta^2 F''(\theta) + \alpha\theta F'(\theta) - \rho F(\theta) = 0 \quad (20)$$

该微分方程的通解形式为

$$F(P) = A_1\theta^{\beta_1} + A_2\theta^{\beta_2} \quad (21)$$

式中  $\beta_1 > 1, \beta_2 < 0$  该方程也服从边界条件

$$F(0) = 0 \quad (22)$$

此外, 在投资临界点  $\theta^*$  和  $M^*$ , 还应服从价值匹配和平滑粘贴条件

$$F(\theta^*) = V(\theta^*, M^*(\theta^*)) - I(M^*(\theta^*)) \quad (23)$$

$$F'(\theta^*) = V'(\theta^*, M^*(\theta^*)) - I'(M^*(\theta^*)) \quad (24)$$

由边界条件式 (22) — (24) 及函数  $M^*(\theta)$ , 可求得投资临界值  $\theta^*$  及投资容量  $M^*$ .

## 2 基于 MATLAB 的算例分析

根据近年来我国电力市场经验数据和相关政策规定, 设定以下参数值  $\alpha = 0.2/12, \sigma = 0.2/\sqrt{12}, \rho = 0.1/12$  (三者对应的年率分别为 0.2, 0.2, 0.1),  $\bar{P} = 400$  (元/MWh),  $P_c = 50$  (元/MWh),  $\delta = 1, k = 6000000$  (元/MWh),  $\gamma = 0.9, \mu = 0.3, u, r_{ind} = 0.9$ . 采用上述数据, 运用 MATLAB 进行情景模拟, 研究两种市场变量 (需求预期增长率和波动率) 和两种管制变量 (价格上限和容量电价) 对投资决策及其均衡效应的影响.

### 2.1 不同需求预期增长率下的投资决策

设需求预期增长率  $\alpha$  分别为 0.0083 和 0.0167 (即年率分别为 0.1 和 0.2), 求得其投资临界值  $\theta_1^*$  和  $\theta_2^*$  分别为 629 MW h/月, 760 MW h/月, 投资容量分别为 0.7886 MW, 1.4491 MW (由假设 3 中的公式转换而来), 如图 1 所示.

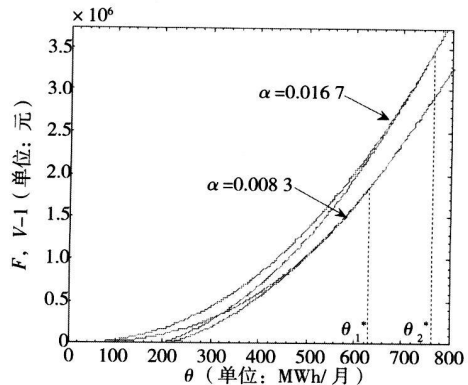


图 1 不同  $\alpha$  值下的投资决策

Fig. 1 Investment decision making under different value of  $\alpha$

从图 1 可以看出, 一方面预期增长率的增长提高了企业的投资临界值, 推迟了投资; 另一方面却又增加了一次性投资数量, 理由是较大的预期

增长率使得项目的未来价值比现在价值更重要。随着需求的增长, 更大的装机容量预期增加了项目的价值; 其经济意义是当企业对未来需求增长的预期较高时, 提高了投资项目的期权价值, 促使企业延迟投资项目, 并且在投资时增加投资装机容量, 以期获得最大投资收益。

### 2.2 不同需求波动率下的投资决策

如图 2 所示, 设需求波动率  $\sigma$  分别为 0.026 93 和 0.057 7 (即年率分别为 0.1 和 0.2), 求得其投资临界值  $\theta_1^*$  和  $\theta_2^*$  分别为 321 MW h/月, 760 MW h/月, 投资容量分别为 0.228 4 MW, 1.449 1 MW。

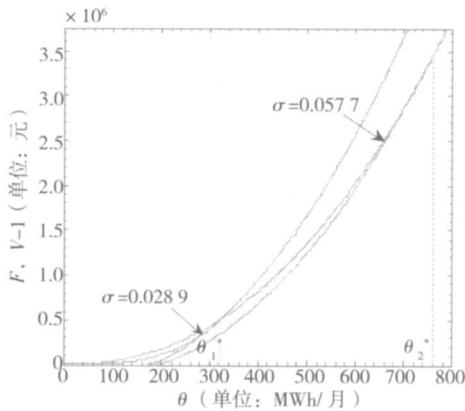


图 2 不同  $\sigma$  值下的投资决策

Fig. 2 Investment decision making under different value of  $\sigma$

显然, 波动率的增加提高了企业的投资临界值, 也提高了企业的一次性装机容量, 因为波动率的增加意味着市场风险的增加, 不但提高了投资期权的价值, 同时还降低了项目的净值, 从而明显提高了投资临界值。比较图 1 与图 2 可以看出, 波动率对投资决策的影响要比增长率的影响大得多。因此, 当管制政策的目标是激励投资时, 需求的稳定性可能比需求水平的高低更为重要。

### 2.3 不同价格上限的投资决策

如图 3 所示, 设价格上限  $\bar{P}$  分别为 300 元 / MW h 和 400 元 / MW h 求得其投资临界值  $\theta_1^*$  和  $\theta_2^*$  分别为 703 MW h/月, 760 MW h/月, 投资容量分别为 1.152 8 MW, 1.449 1 MW。

当价格上限  $\bar{P}$  为 200 元 / MW h 同时容量电价不高于 55 元 / MW h 时, 投资临界值为无穷大, 即企业永不投资。这说明了在合理的价格上限的前提下, 价格上限的放宽反而增加了投资临界值; 因为更高的价格上限, 意味着利润的更大的波动, 投资者更愿意持观望态度。另一方面, 价格上限的增

加提高了投资期权的价值, 同时也提高了项目的净价值, 不过对前者的影响更大一些; 由于期权的价值较大, 其结果是现在投资而不是等待投资的机会成本更大, 存在较高的等待激励, 提高了投资临界值, 造成投资延迟, 这与 Dixit 和 Pindyck (2002) 在分析价格上升的不确定性对投资项目期权价值的影响时所得出的结论是一致的<sup>[13]</sup>。如果价格上限水平过低, 即使电价永远处在价格上限的水平, 发电投资者也无法回收成本时, 则不会做出投资决策, 从而导致投资不足。因此, 认为价格上限必然会抑制投资的说法是片面的, 合理的价格上限也能让投资者提前投资。从这一点来看, 管制机构实行价格上限政策, 有利于减缓电力投资的波动。

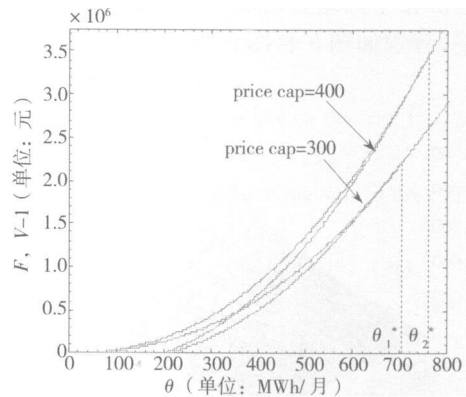


图 3 不同  $\bar{P}$  值下的投资决策

Fig. 3 Investment decision making under different value of  $\bar{P}$

### 2.4 不同容量价格下的投资决策

如图 4 所示, 设固定容量电价  $P_c$  分别为 40 元 / MW h 和 50 元 / MW h 求得其投资临界值  $\theta_1^*$  和  $\theta_2^*$  分别为 834 MW h/月, 592 MW h/月, 投资容量分别为 1.185 2 MW, 1.449 1 MW。

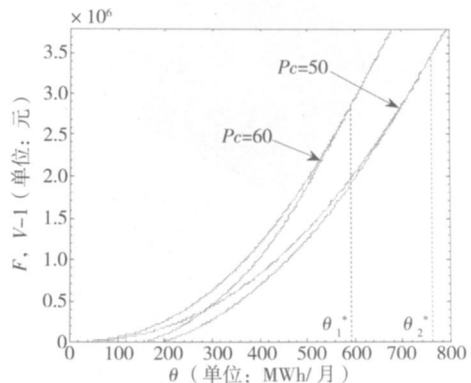


图 4 不同  $P_c$  值下的投资决策

Fig. 4 Investment decision making under different value of  $P_c$

容量电价高于 55元/MWh时,发电企业会立即投资,而且投资容量为无穷大.这说明在合理的容量电价前提下,提高容量电价不但可以降低投资临界值,同时也可以增加投资者的一次性投资数量,因为容量报酬导致的项目价值增加远大于投资期权价值的增加,最后降低了投资临界值.但是,如果容量电价过高,发电企业仅仅依靠容量收入就能回收所有成本并获得一定利润,这样会造成明显的投资过剩;其结果与投资收益率价格管制有些类似,导致 A-J效应<sup>[27]</sup>.同时,容量电价较高时,变动成本较大的企业也仍能获利,这样,降低了资源配置效率,也不利于电源结构的优化和调整.

### 2.5 平均电价及电价波动方差的政策意义

在上述分析的基础上,不难得到价格上限和容量电价在不同组合情况下的平均电价和电价波动方差,分别如图 5和图 6所示.

容量电价越高,平均电价越低,价格的波动方差即价格风险也越小;而价格上限越高,平均电价也就越高,价格波动的方差即价格风险越大.

较低的平均电价和较低的电价波动方差意味着更大的资源配置效率和更小的市场价格风险,以及稳定的容量投资和电力供给,这正是管制政策的目标.这个结论与 Andrew Ford的研究结论相一致<sup>[28]</sup>,增加容量报酬可以产生更大的稳定性,从而解决电力工业周期性震荡问题.

因此,在不确定需求条件下,采用高容量电价和低价格上限的组合政策,有利于促进发电容量的适量投资,是实现电力市场长期均衡的有效途径,其中容量电价水平的确定是组合政策发挥作用的关键<sup>[8,9]</sup>.

## 3 结 论

本文利用实物期权理论,在需求增长不确定前提下,建立了两部制电价制度下特别是考虑电量电价上限政策的发电企业容量投资决策模型.

结论表明,需求增长的不确定性是市场环境因素中影响投资决策的关键因素;不确定性越高,投资临界值越高;低价格上限可以减少企业获利的不确定性,但是,同时也降低了企业的利润空间,因此,需要实行高容量电价,刺激投资.只要价格上限和容量电价限制在合理的范围内,低价格上限和高容量电价的管制政策组合不但可以降低平均电价,还可降低电价的波动性即市场价格风险,从而降低容量投资的风险,诱导出适度的容量投资,从而解决国内外普遍存在的电力工业投资周期性波动问题,保证稳定和高效率的电力供给.本文没有考虑市场结构的影响,事实上,不同的市场结构下价格上限对市场均衡价格和投资收益的影响是不同的;此外,容量电价的水平对企业投资包括市场长期均衡的影响,也是今后需要进一步研究的课题.

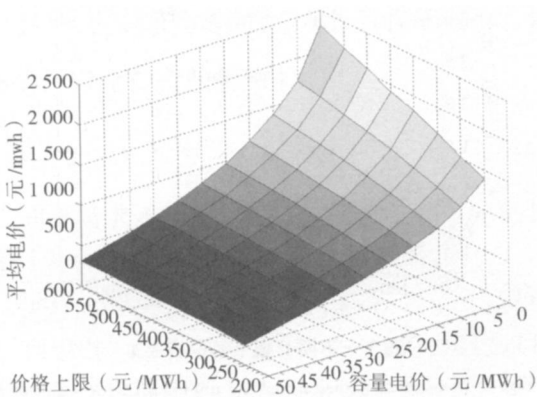


图 5 不同管制变量下的平均电价

Fig. 5 Average tariff under different regulation variables

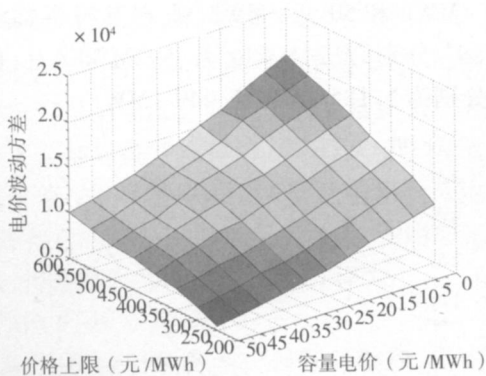


图 6 不同管制变量下的电价波动方差

Fig. 6 Price fluctuations variance under different regulation variables

## 参考文献:

- [ 1 ] Joskow P. Competitive Electricity Markets and Investment in New Generating Capacity[ M ]. Boston: Oxford University Press, 2007.
- [ 2 ] Vázquez C, Rivier M, Pérez Arriaga I J. A market approach to long-term security of supply[ J ]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17( 2 ): 349—357.
- [ 3 ] 朱成章. 美国加州电力危机和美加大停电对世界电力的影响[ J ]. 中国电力, 2003, 36( 11 ): 1—6.  
Zhu Cheng-zhang. Influence of power crisis in California and blackout in US and Canada on world power industry[ J ]. China Electric Power, 2003, 36( 11 ): 1—6 ( in Chinese ).
- [ 4 ] Botterud A M, Korpås. Modeling of Power Generation Investment Incentives under Uncertainty in Liberalized Electricity Markets[ C ]. The 6th IEEE European Conference, 2004.
- [ 5 ] Richard Green. Nodal pricing of electricity: How much does it cost to get it wrong? [ J ]. Journal of Regulatory Economics, 2007, 31( 2 ): 125—149.
- [ 6 ] Dek Bunn, Issac Dyner. Systems simulation to support integrated energy analysis and liberalized planning[ J ]. Int Trans Opl Res, 1996, 3: 105—115.
- [ 7 ] Shayne Gary, Erik Reinier Larsen. Improving firm performance in out-of-equilibrium, deregulated markets using feedback simulation models[ J ]. Energy Policy, 2000, 28( 12 ): 845—855.
- [ 8 ] Hobbs E, Fion J, Stoft S. Installed capacity requirements and price caps: Oil on the water or fuel on the fire? [ J ]. The Electricity Journal, 2001, 14( 6 ): 23—34.
- [ 9 ] Hobbs B, Fion J, Stoft S E. Installed capacity requirements and price caps: Oil on the water or fuel on the fire? [ J ]. The Electricity Journal, 2001( b ), 14( 6 ): 23—34.
- [ 10 ] Littlechild S. Reflections on incentive regulation[ J ]. Review of Network Economics, 2003, 2( 4 ): 289—315.
- [ 11 ] Littlechild S. Regulation of British Telecommunications' Profitability[ M ]. London: Department of Industry, 1983.
- [ 12 ] Dixit A. Irreversible investment with price ceilings[ J ]. Journal of Political Economy, 1991, 99( 3 ): 541—557.
- [ 13 ] Dixit A R, Pindyck. Investment under Uncertainty[ M ]. Princeton: Princeton University Press, 1994 ( 中文版: 中国人民大学出版社, 2002 ).
- [ 14 ] Kahn A E. The adequacy of prospective returns on generation investments under price control mechanisms[ J ]. Electricity Journal, 2002, 15( 2 ): 37—46.
- [ 15 ] McDonald R L, Siegel D R. Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down[ J ]. International Economic Review, 1985, 26: 331—349.
- [ 16 ] 安瑛晖, 张 维. 期权博弈理论的方法模型分析与发展[ J ]. 管理科学学报, 2001, 4( 1 ): 38—43.  
An Yinghui, Zhang Wei. Analysis and development of the method and model of option game theory[ J ]. Journal of Management Sciences in China, 2001, 4( 1 ): 38—43 ( in Chinese ).
- [ 17 ] 夏 晖, 曾 勇, 唐小我. 技术创新战略投资的实物期权方法综述[ J ]. 管理科学学报, 2004, 7( 1 ): 88—96.  
Xia Hui, Zeng Yong, Tang Xiaowo. Survey of real option approach to analyze strategic investments of technology innovations[ J ]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7( 1 ): 88—96 ( in Chinese ).
- [ 18 ] 扶缚龙, 黄健柏. 实物期权理论定量分析及其相关问题简述[ J ]. 预测, 2005, 24( 3 ): 31—36.  
Fu Fu-long, Huang Jian-bo. Reviews on quantitative analysis and relevant problem of the real options theory[ J ]. Forecasting, 2005, 24( 3 ): 31—36 ( in Chinese ).
- [ 19 ] 杨 明, 王国华. 投资时限对项目期权价值的影响分析[ J ]. 管理科学学报, 2006, 9( 5 ): 82—87.  
Yang Ming, Wang Guohua. Analysis for effect of limited investing time on the option value of project[ J ]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9( 5 ): 82—87 ( in Chinese ).
- [ 20 ] 黄学军, 吴冲锋. 不确定环境下研发投资决策的期权博弈模型[ J ]. 中国管理科学, 2006, 14( 5 ): 5.  
Huang Xuejun, Wu Chong-feng. Option game model on R&D investment decision under uncertainty[ J ]. Chinese Journal of Management Science, 2006, 14( 5 ): 5 ( in Chinese ).

- [21] 张国兴, 郭菊娥, 刘东霖. 建设时间和投资成本不对称的双寡头期权博弈模型[J]. 管理科学, 2008, 21(4): 10  
Zhang Guoxing, Guo Jue, Liu Donglin. An asymmetric duopoly option game model under time-to-build and investment cost[J]. Journal of Management Sciences, 2008, 21(4): 10 (in Chinese)
- [22] 吴建祖, 宣慧玉. 不完全信息条件下企业 R&D 最优投资时机的期权博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(4): 50—54  
Wu Jianzu, Xuan Huiyu. Analyzing optimal timing of firm's R&D investment under incomplete information in a real options and game theoretic framework[J]. Systems Engineering Theory Methodology Applications, 2006, 26(4): 50—54. (in Chinese)
- [23] Orls A G, Erksen P B, Akmatov V. Planning under Uncertainty—Securing Reliable Electricity Supply in Liberalized Energy Markets[C]. Power Engineering Society General Meeting of IEEE, 2007, 24(28): 1—6
- [24] 吉兴全, 文福拴. 发电投资的实物期权决策方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(11): 1—5  
Ji Xingquan, Wen Fushuan. A real option approach to generation investment decision-making in electricity market environment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(11): 1—5. (in Chinese)
- [25] 王勇, 文福拴, 钟志勇, 等. 基于实物期权理论的发电投资决策和容量充裕性评估[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(19): 1—9  
Wang Yong, Wen Fushuan, Chung C Y, et al. Real option based approach for generation investment decision-making and generation capacity adequacy analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(19): 1—9. (in Chinese)
- [26] Knittel C R, Roberts M R. An empirical examination of restructured electricity prices[J]. Energy Economics, 2005, 27(5): 791—817.
- [27] Averch H, Johnson L L. Behavior of the firm under regulatory constraint[J]. American Economic Review, 1962, 52(4): 1052—1069.
- [28] Andrew Ford. Cycles in competitive electricity markets: A simulation study of the western United States[J]. Energy Policy, 1999, 27(11): 637—658.

## Electricity generation capacity investment model and policy analysis in consideration of price caps

YE Ze, ZHANG Xin-hua, CAO Yong-quan

School of Management, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China

**Abstract** Using the real option theory, this paper introduces regulation of price cap into the decision model of generating capacity investment, make analysis of examples by MATLAB software, and then discusses investment behavior of generation enterprise and equilibrium effect of market when market variable and regulation variable change. The result of the analysis shows that: 1) When the growth expectation of generation enterprise on power demand is high, it will postpone its investment project and increase generation capacity in project; 2) The impact of demand fluctuation rate on investment decision is much greater than demand increment rate; 3) The reasonable level of price cap has an obvious effect on alleviation of investment's fluctuation; 4) When the electricity capacity price is raised, it not only reduces the investment marginal value but also increases the amount of initial investment. However, under this condition, the efficiency of resource allocation is reduced and it is also not favorable to optimize and adjust the electricity industrial structure; 5) Under the uncertainty situation of demand, the regulation policy mix of higher capacity price and lower price cap is an efficient path, which leads to long-term equilibrium of electricity market.

**Key words** price cap, capacity price, generation capacity investment, real option