

政府补贴对储能推广的影响

石坤鹏

河南理工大学, 中国·河南 焦作 454000

摘要: 在“双碳”战略目标下, 为降低电力行业碳排放量, 构建新型电力系统, 我国正大力发展储能系统。然而储能行业发展面临初始投资高等问题, 制约储能行业发展。基于此, 本文参考储能市场实际案例, 考虑由储能设备生产商与能源服务商共同进行储能推广, 构建由储能设备生产商为主导者、能源服务商为追随者的 Stackelberg 博弈模型, 研究政府补贴对储能推广的影响。研究发现: (1) 政府补贴与储能设备用户端单位容量售价成正比; (2) 在政府进行补贴时, 储能设备生产商及能源服务商的储能推广努力程度均高于无补贴; (3) 储能设备生产商与能源服务商上的利润在政府进行补贴时高于无补贴的情况, 且随着政府补贴额度增加而增加。

关键词: 双碳目标; 新型电力系统; 储能推广; Stackelberg 博弈

The Impact of Government Subsidies on the Promotion of Energy Storage

Shi Kunpeng

Henan Polytechnic University, China Henan Jiaozuo 454000

Abstract: Under the "dual carbon" strategic goals, in order to reduce carbon emissions in the power industry and construct a new power system, China is vigorously developing energy storage systems. However, the development of the energy storage industry faces challenges such as high initial investment, which restricts its growth. In this context, this paper refers to actual cases in the energy storage market and constructs a Stackelberg game model where the energy storage equipment manufacturers are the leaders and the energy service providers are the followers. The study explores the impact of government subsidies on the promotion of energy storage. The findings are as follows: (1) Government subsidies are positively correlated with the unit capacity price at the user end of energy storage equipment; (2) When the government provides subsidies, both the energy storage equipment manufacturers and the energy service providers exert higher effort in promoting energy storage than in the absence of subsidies; (3) The profits of both the energy storage equipment manufacturers and energy service providers are higher when the government offers subsidies compared to when no subsidies are provided, and increase as the subsidy amount grows.

Keywords: Dual carbon goals; New power system; Energy storage promotion; Stackelberg game

0 引言

为实现“双碳”战略目标, 降低电力行业碳排放量, 我国正构建新型电力系统, 太阳能发电、风能发电等可再生能源得到大力发展, 并且国家能源局于 2023 年 6 月发布《新型电力系统发展蓝皮书》^[1], 助力可再生能源的发展。相比于传统的火力发电方式, 可再生能源发电不仅二氧化碳及其他污染物排放量更低, 并且具有资源可持续性, 能够有效减少煤炭、燃油等化石能源的消耗。然而, 可再生能源面临随机性、间歇性、波动性等问题, 这将对电网的稳定性造成巨大挑战。为了解决这一问题, 储能系统应运而生, 储能系统可将发电条件好时光能、风能等发电装置产生的电力进行存储, 在发电条件不好时将其释放出来, 满足用电需求, 是解决可再生能源问题的有效手段之一。

除此之外, 储能系统可参与电力市场交易、削峰填谷, 灵活调节电力资源, 对实现“双碳”战略目标, 构建新型电力系统具有重大帮助。

为提高配储规模, 2024 年 7 月国家发改委、国家能源局等部门联合发布《加快构建新型电力系统行动方案(2024-2027 年)》, 其中提出要加快布局建设储能电站。宁德时代、中车(株洲所)、许继电气等多家企业纷纷加快了储能设备推广的速度。这些企业涵盖了从储能设备生产商到能源服务商的储能产业链多个环节。

然而, 储能作为实现“双碳”战略目标、构建新型电力系统的关键支撑, 仍受诸多方面的制约, 阻碍储能的发展。由于储能电站初始投资成本较高, 对投资者造成了较大资金压力, 造成了市场的观望情绪。鉴于此, 亟需政府

出台相关补贴政策促进储能行业发展，加快储能推广步伐，提高电力供应链配储率，助力构建新型电力系统。目前，为降低储能电站投资门槛、缓解储能厂商销售压力，我国多地已针对储能设备生产商与投资者颁发相应储能补贴政策。综上所述，本文将对以下问题展开研究：（1）政府补贴对储能系统售价的影响是怎样的？（2）政府补贴如何影响储能设备生产商以及能源服务商的对储能的推广？政府补贴前后储能设备生产商及能源服务商的储能推广努力程度有何变化？（3）政府补贴对储能设备生产商及能源服务商利润的影响是怎样的？

1 模型构建与假设

1.1 模型描述

本研究结合储能市场实际，构建由储能设备生产商和能源服务商组成的供应链，由储能设备生产商与能源服务商共同推广储能设备，储能设备生产商的储能推广努力程度为 τ_m ，能源服务商的储能推广努力程度为 τ_i ，储能设备生产商的推广成本为 $\frac{\lambda_m \tau_m^2}{2}$ ，储能设备集成商的推广成本为 $\frac{\lambda_i \tau_i^2}{2}$ 。并建立 Stackelberg 博弈模型，其中储能设备生产商为 Stackelberg 博弈的领导者，能源服务商为追随者。通过对模型求解，以期得到政府补贴对储能系统售价、储能厂商的储能推广努力程度及利润的影响。

1.2 模型假设

假设 1：参考文献^[2,3]，本文构建由储能设备生产商为主导者、储能设备集成商为追随的 Stackelberg 博弈模型，其中储能设备生产商率先进行决策，随后储能设备集成商

根据生产商的决策结果进行决策，并且双方之间信息完全对称，均为完全理性。且双方以自身利益最大化为决策目标。

假设 2：参考陈宇靖^[4]等人的研究，为确保政府对储能投资者进行的单位容量售价补贴为正向补贴，假设政府对于单位容量售价的补贴额度 $S_u > 0$

假设 3：假设用户的储能设备容量需求同时受到价格以及推广努力程度的影响，并借鉴文献^[5]，则储能设备容量需求函数分别为：

无补贴时储能设备生产商与能源服务商共同推广模式：

$$q = a - bP + \theta\tau_m + \theta\tau_i \quad (1)$$

单位容量售价补贴时储能设备生产商与能源服务商共同推广模式：

$$q = a - b(P - S_u) + \theta\tau_m + \theta\tau_i \quad (2)$$

上述式中， q 表示新型电力系统配储用户的储能设备容量需求， q 越大，则新型电力系统配储需求越大； a 表示当新型电力系统配储用户潜在的市场容量， $a > 0$ ； b 表示用户对单位容量储能设备用户端售价的敏感度， b 越大表示用户对于储能设备售价越敏感，且 $b > 0$ ； θ 表示用户对于储能设备推广努力程度的敏感度， θ 越大表示用户对储能推广越敏感，且 $\theta > 0$ 。

假设 4：为使后文计算中海塞矩阵具有负定性且均衡解非负，并参考陈威等^[6]的研究，假设 $a > bC$ 、 $\lambda_m > \frac{\theta^2}{2b}$ 、 $\lambda_i > \frac{\theta^2 \lambda_m}{2b\lambda_m - \theta^2}$ 。本文所涉及具体参数及含义如表 1 所示。

表1 模型参数含义表

决策变量	含义
W	表示储能设备单位容量批发价格
P	表示储能设备的用户端单位容量售价
τ_m, τ_i	分别表示储能设备生产商和能源服务商推广努力程度
其他参数	含义
q	表示储能设备容量需求
a	表示储能设备的潜在市场容量
b	表示用户对储能设备单位容量价格的敏感系数
θ	表示用户对储能推广努力程度的敏感系数
C	表示储能设备生产商单位容量储能设备的生产成本
λ	表示储能推广努力成本系数
S_u	表示对储能设备用户端单位容量售价的补贴额度
π_m, π_i	分别表示储能设备生产商和能源服务商的利润
下标 m, i	分别表示储能设备生产商、能源服务商
上标 $G, S_u G$	分别表示无补贴时储能设备生产商与能源服务商共同推广模式、单位容量售价补贴下的储能设备生产商与能源服务商共同推广模式
上标 *	表示均衡解

表2 不同推广模式下均衡解

符号	G	S _u G
P*	$\frac{bC(b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - \theta^2\lambda_m) + a\lambda_m(3b\lambda_i - \theta^2)}{b(4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m)}$	$\frac{bC(b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - \theta^2\lambda_m) + \lambda_m(a + bS_u)(3b\lambda_i - \theta^2)}{b(4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m)}$
W*	$\frac{bC(2b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - \theta^2\lambda_m) + a\lambda_m(2b\lambda_i - \theta^2)}{b(4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m)}$	$\frac{\lambda_m(2b\lambda_i - \theta^2)((a + b(C + S_u)) - bC\theta^2\lambda_i)}{b(4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m)}$
τ_m^*	$\frac{\theta\lambda_i(a - bC)}{4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m}$	$\frac{\theta\lambda_i(a - b(C - S_u))}{4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m}$
τ_i^*	$\frac{\lambda_m\theta(a - bC)}{4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m}$	$\frac{\theta\lambda_m(a - b(C - S_u))}{4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m}$
q*	$\frac{b\lambda_i\lambda_m(a - bC)}{4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m}$	$\frac{b\lambda_i\lambda_m(a - b(C - S_u))}{4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m}$
π_m^*	$\frac{\lambda_i\lambda_m(a - bC)^2}{8b\lambda_i\lambda_m - 2\theta^2\lambda_i - 4\theta^2\lambda_m}$	$\frac{\lambda_i\lambda_m(a - b(C - S_u))^2}{8b\lambda_i\lambda_m - 2\theta^2\lambda_i - 4\theta^2\lambda_m}$
π_i^*	$\frac{\lambda_i\lambda_m^2(a - bC)^2(2b\lambda_i - \theta^2)}{2(4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m)^2}$	$\frac{\lambda_i\lambda_m^2(a - b(C - S_u))^2(2b\lambda_i - \theta^2)}{2(4b\lambda_i\lambda_m - \theta^2\lambda_i - 2\theta^2\lambda_m)^2}$

1.3 模型构建

(1) 无补贴时储能设备生产商与能源服务商共同推广模式 (G 模式)

储能设备生产商利润函数:

$$\pi_m^G = (W - C)(a - bP + \theta\tau_m + \theta\tau_i) - \frac{\lambda_m\tau_m^2}{2} \quad (3)$$

能源服务商利润函数:

$$\pi_i^G = (P - W)(a - bP + \theta\tau_m + \theta\tau_i) - \frac{\lambda_i\tau_i^2}{2} \quad (4)$$

(2) 单位容量售价补贴下的储能设备生产商与能源服务商共同推广模式 (S_uG 模式)

储能设备生产商利润函数:

$$\pi_m^{S_uG} = (W - C)(a - bP + \theta\tau_m + \theta\tau_i) - \frac{\lambda_m\tau_m^2}{2} \quad (5)$$

能源服务商利润函数:

$$\pi_i^{S_uG} = (P - W)(a - bP + \theta\tau_m + \theta\tau_i) - \frac{\lambda_i\tau_i^2}{2} \quad (6)$$

采用逆序归纳法进行求解。

为便于直观比较,对以上 G 模式、S_uG 模式的均衡解进行归纳总结, 现将其归纳到表 2 中。

2 模型分析

2.1 敏感性分析

命题 1 政府补贴额度 s_u、S_uG 模式下各均衡解及利润的影响:

$$(1) \frac{\partial P^{S_uG}}{\partial S_u} > 0, \frac{\partial W^{S_uG}}{\partial S_u} > 0, \frac{\partial \tau_m^{S_uG}}{\partial S_u} > 0, \frac{\partial \tau_i^{S_uG}}{\partial S_u} > 0,$$

$$\frac{\partial q^{S_uG}}{\partial S_u} > 0;$$

$$(2) \frac{\partial \pi_m^{S_uG}}{\partial S_u} > 0, \frac{\partial \pi_i^{S_uG}}{\partial S_u} > 0.$$

命题 1 表明: 政府补贴额度 S_u 与储能设备的用户端单位容量售价, 储能设备的单位容量批发价格、储能设备生产商的储能推广努力程度、能源服务商的储能推广努力程度、储能设备容量需求、储能设备生产商利润以及能源服务商利润均成正比。政府对储能设备的用户端单位容量售价进行补贴时, 承担了用户投资储能设备的部分资金压力, 用户投资储能设备时的实际支付价格比原售价更低, 这给予了能源服务商提高储能设备售价的空间, 而售价的提高将使得储能设备生产商能够提高其批发价格。储能设备用户端单位容量售价、批发价格的提高使其有了更高的利润空间, 进而增加了对储能的推广努力程度, 从而使得需求量也上升。最后, 售价、批发价格、储能推广努力程度以及需求的上升, 将带来储能设备生产商与能源服务商利润的上升。

命题 2 储能推广努力成本系数 λ_m、λ_i 对利润影响。

$$(1) \frac{\partial \pi_m^{G^*}}{\partial \lambda_m} < 0, \frac{\partial \pi_m^{S_uG^*}}{\partial \lambda_m} < 0, \frac{\partial \pi_i^{G^*}}{\partial \lambda_m} < 0, \frac{\partial \pi_i^{S_uG^*}}{\partial \lambda_m} < 0;$$

$$(2) \frac{\partial \pi_m^{G^*}}{\partial \lambda_i} < 0, \frac{\partial \pi_m^{S_uG^*}}{\partial \lambda_i} < 0, \frac{\partial \pi_i^{G^*}}{\partial \lambda_i} < 0, \frac{\partial \pi_i^{S_uG^*}}{\partial \lambda_i} < 0.$$

命题 2 表明: 当储能设备生产商与能源服务商的储能

推广努力程度上升时, 无论是否进行补贴, 储能设备生产与能源服务商的利润均会下降。这是因为, 即使储能设备生产商与能源服务商的储能推广努力程度不变, 但当储能推广努力成本系数上升时, 其总体的储能推广成本将上升, 这将造成利润的下降。

2.2 对比分析

命题 3 政府补贴对储能设备单位容量批发价格、储能设备的用户端单位容量售价的影响为: $P^{S,G^*} > P^{G^*}$ 。

命题 3 表明: 政府进行补贴时的储能设备的用户端单位容量售价大于无补贴时的。这是由于政府帮助用户承担了部分投资储能资金压力, 降低了消费者的实际支出, 因此能源服务商可能会选择提高售价, 利用补贴部分转嫁给消费者。

命题 4 政府补贴对储能推广努力程度的影响为:

$$\tau_m^{S,G^*} > \tau_m^{G^*}, \tau_i^{S,G^*} > \tau_i^{G^*}$$

命题 4 表明: 在政府进行补贴时, 储能设备生产商与能源服务商的储能推广努力程度, 均大于无补贴的情况。这是因为政府补贴使得储能设备的用户端单位容量售价及批发价格均有上升, 增大了利润空间及销量, 从而使得生产商与能源服务商愿意进行更大的努力推广储能设备。

命题 5 政府补贴对利润的影响: $\pi_m^{S,G^*} > \pi_m^{G^*}, \pi_i^{S,G^*} > \pi_i^{G^*}$ 。

命题 5 表明: 储能设备生产商与能源服务商的利润在政府对储能设备的售价进行补贴时要高于无补贴时。政府补贴可以减轻用户投资储能资金压力, 使用户可能因为价格降低而进行投资, 有效刺激消费者对储能的投资, 从而增加储能设备的需求量; 同时, 在进行补贴时储能设备单位容量批发价格及储能设备用户端的单位容量售价高于无补贴时的情况。在成本不变的情况下, 需求量及售价的增加带动了储能设备生产商与能源服务商利润的增加。

3 结语

本文基于储能供应链中储能设备生产商、能源服务商共同进行储能推广的模式, 构建了由储能设备生产商主导、能源服务商追随的 Stackelberg 博弈模型, 分析政府补贴对储能设备用户端单位容量售价、批发价格、储能推广努力程度及利润的影响。主要得到以下结论: (1) 政府补贴额度越大, 储能设备用户端单位容量售价、批发价格、储能推广努力程度及利润就越高; (2) 在政府对储能设备用户端单位容量售价进行补贴时, 储能设备生产商与能源服务商的储能推广努力程度均高于无补贴的情况; (3) 储能设备生产商与能源服务商的利润在政府对储能设备用户端单位容量售价进行补贴时均高于无补贴时的情况。

参考文献:

[1] 国家能源局. 国家能源局组织发布《新型电力系统发展蓝皮书》[EB/OL]. (2023-06-02) [2026-01-10]. https://www.nea.gov.cn/2023-06/02/c_1310724249.htm.

[2] 何龙飞, 赵道致, 刘阳等. 基于自执行契约设计的供应链动态博弈协调[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(10): 1864-1878.

[3] 毛照昉, 刘鹭, 李辉等. 考虑售后服务合作的双渠道营销定价决策研究[J]. 管理科学学报, 2019, 22(05): 47-56.

[4] 陈宇靖, 孙延明. 考虑智能制造技术补贴的新能源汽车制造商定价策略[J]. 系统管理学报, 2024, 33(04): 890-900.

[5] Liu J, Bao H. Research on interest coordination model of wind power supply chain with energy storage participation[J]. Journal of Energy Storage, 2022, 49.

[6] 陈威, 马永开, 白春光等. 基于新型电力系统的储能设备投资决策研究[J]. 系统管理学报, 2024, 33(05): 1194-1203.