

成都地区某商业用户储能投资收益分析

廖 磊

(国网成都供电公司, 四川 成都 610043)

摘要:用户侧储能的投资收益决定了其市场发展前景。结合成都地区目前的储能市场、电价政策、充放电效率、容量衰减等因素对成都地区执行 10 kV 两部制电价的用户在全寿命周期内的投资收益情况进行测算, 测算过程中考虑了分时电价收益、政府补贴、容量电费管理等多方面因素影响。最后, 结合某商业用户的实际负荷情况测算了该客户储能投资收益情况。

关键词:用户侧储能; 经济性测算; 容量电费管理; 分时电价; 投资收益

中图分类号: TM 614 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2024)03-0106-05

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20240319

Investment Benefit Analysis of Energy Storage on A Commercial User in Chengdu Region

LIAO Lei

(State Grid Chengdu Electrical Power Supply Company, Chengdu 610043, Sichuan, China)

Abstract: The market development of user-side energy storage depends on its economic benefit. The economic benefit of user-side energy storage in the whole life cycle is calculated based on the current energy storage market, electricity price policy, charging and discharging efficiency, capacity attenuation and other factors in Chengdu region. The calculation also takes into account many factors, such as time-of-use tariff income, government subsidies, capacity tariff management, etc. Finally, the economic benefit of a commercial user is calculated based on its actual load wave.

Key words: user-side energy storage; economic calculation; capacity tariff management; time-of-use electricity price; investment benefit

0 引言

储能作为一种灵活的电网调节方式, 它能够平滑电网功率波动, 促进新能源消纳。随着技术的不断发展和商业模式的不断成熟, 储能的应用领域也由电网侧拓展至用户侧, 用户侧储能商业模式研究也成为了目前的热点^[1-4]。

用户侧储能的发展受储能投资收益的影响较大, 用户侧储能收益主要来源于分时套利和基本电费消减, 对于储能配置达到一定规模的用户, 用户可以进一步参与电网的辅助服务。文献[5]给出了一种储能设计案例并计算了该项目的投资收益情况, 但该文献仅考虑了储能的分时套利收益, 未考虑容量电费管理收益。文献[6]计算了储能系统的削峰

能力以及储能节约的基本电费, 但该文献未对储能的具体投资收益进行进一步研究。

基于上述背景, 下面结合目前的储能市场价格、电价政策、储能补贴等对储能系统在全寿命周期内的分时套利和容量电费管理收益情况进行测算。最后, 结合某商业客户的负荷情况测算该客户储能投资收益情况。

1 电价政策

对于四川地区执行分时电价政策的工商业客户, 执行 4 种时段的分时电价, 即峰段电价(11:00—12:00 和 14:00—21:00)、平段电价(7:00—11:00、12:00—14:00 和 21:00—23:00)、谷段电价(23:00—次日 7:00)、尖峰电价(夏季 7 月 26 日—8 月 25 日

15:00—17:00 和冬季 12 月 26 日—1 月 25 日 19:00—21:00)。根据四川省发展改革委员会制定的《关于进一步完善我省分时电价机制的通知》(川发改价格规〔2021〕499 号)^[7],目前的代理购电机制,销售电价的计算公式为

$$\begin{cases} P_{\text{谷}} = 0.4 \times (p_{\text{代理浮动电价}} + p_{\text{输配电价}}) + \\ \quad p_{\text{新增损益}} + p_{\text{附加基金}} \\ P_{\text{平}} = p_{\text{代理浮动电价}} + p_{\text{输配电价}} + p_{\text{新增损益}} + p_{\text{附加基金}} \\ P_{\text{峰}} = 1.6 \times (p_{\text{代理浮动电价}} + p_{\text{输配电价}}) + \\ \quad p_{\text{新增损益}} + p_{\text{附加基金}} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $P_{\text{峰}}$ 、 $P_{\text{平}}$ 、 $P_{\text{谷}}$ 分别为峰段、平段和谷段的电价; $p_{\text{代理浮动电价}}$ 为售电公司(或电网企业)代理浮动电价; $p_{\text{输配电价}}$ 为电网企业输配电价; $p_{\text{新增损益}}$ 为电网公司新增损益电价; $p_{\text{附加基金}}$ 为国家收取的附件基金。

由式(1)可知,“峰谷”“峰平”“平谷”价差分别为

$$\begin{cases} P_{\text{峰-谷}} = 1.2 \times (p_{\text{代理浮动电价}} + p_{\text{输配电价}}) \\ P_{\text{峰-平}} = 0.6 \times (p_{\text{代理浮动电价}} + p_{\text{输配电价}}) \\ P_{\text{平-谷}} = 0.6 \times (p_{\text{代理浮动电价}} + p_{\text{输配电价}}) \end{cases} \quad (2)$$

对于四川省执行两部制电价的工商业用户,可以选择按最大需量为 33 元/kW·月或者按变压器容量为 22 元/kVA·月的标准进行计收,对于执行两部制电价的 10 kV 用电客户,其 2022 年 1—12 月的平均销售电价如表 1 所示。

表 1 四川省执行两部制电价的 10 kV 工商业用户
平均销售电价(2022 年 1—12 月)

电压等级/ kV	峰($P_{\text{峰}}$)/ (元·kWh ⁻¹)	平($P_{\text{平}}$)/ (元·kWh ⁻¹)	谷($P_{\text{谷}}$)/ (元·kWh ⁻¹)	尖($P_{\text{尖}}$)/ (元·kWh ⁻¹)
10	0.931 9	0.610 7	0.289 6	1.227 5

2 测算依据

2.1 储能初始投资成本

储能系统的投资成本包含初始投资成本和运行维护成本^[8],可表示为

$$W = W_{\text{C}} + W_{\text{O}} \quad (3)$$

式中: W 为储能的投资成本; W_{C} 为初始投资成本; W_{O} 为运行维护成本。

其中,储能投资成本包括储能容量投资成本和储能功率投资成本,可表示为

$$W_{\text{C}} = c_{\text{s}} S \quad (4)$$

式中: c_{s} 为储能容量的单位价格; S 为储能额定容量。

储能的运行维护成本可按初始投资成本的一定比例进行估算,可表示为

$$W_{\text{O}} = a W_{\text{C}} \quad (5)$$

式中, a 为运行维护成本与初始投资成本的比值。

2.2 测算模型

2.2.1 售电收益

储能用户可以在低谷或者平段时段进行充电,在高峰或者尖峰时段放电进行电价差套利,具体的售电收益计算模型为

$$E = \Delta Q \cdot \Delta q \quad (6)$$

式中: E 为售电收益; ΔQ 为储能参与电价差套利电量; Δq 为峰谷电价差。

2.2.2 储能寿命

用户侧储能主要采用磷酸铁锂电池,在 100% 放电深度(depth of discharge, DOD)下的充放电循环寿命可达 3000 次,90% DOD 下充放电循环寿命可达 4000 次,80% DOD 下充放电循环寿命可达 6000 次。

储能电池的使用,电极与电池内部将发生不可逆的化学反应,其容量会随着时间的衰减,计算中采用了每年 2% 的容量衰减,电池全寿命周期的放电深度按 80% DOD 下充放电 4000 次的寿命进行计算。

2.2.3 转换效率

储能变流器(power conversion system, PCS)的效率对于储能系统的收益至关重要,传统的两电平充电平均转换效率为 95%(30% 负荷以上),放电转换效率可达 96%(30% 负荷以上),T 型三电平逆变器的充电平均转换效率为 95.5%(30% 负荷以上),放电转换效率可达 96.5%(30% 负荷以上)。

在考虑储能充放电效率的情况下,引入等效峰谷电价差的概念。等效峰谷电价差 Δq_{equ} 可表示为

$$\Delta q_{\text{equ}} = (1 - \eta) p_{\text{f}} - p_{\text{g}} / (1 - \eta) \quad (7)$$

式中: p_{f} 为储能放电电价; p_{g} 为储能充电电价; η 为充放电转换效率。

在考虑储能充放电效率的情况下,储能的售电收益模型可以表示为

$$E = \Delta Q \cdot \Delta q_{\text{equ}} \quad (8)$$

2.2.4 政府补贴

2022 年 2 月 21 日成都市发展和改革委员会《关于申报 2022 年生态文明建设储能领域市级预算

内基本建设投资项目的通知》(成发改环资函[2022]53号)^[9],用户储能可以按 230 元/kW 的标准申请补贴,可以补贴 3 年,最多 100 万元。

补贴可以表示为

$$B = mP \tag{9}$$

式中: B 为政府补贴总额; m 为政府补贴标准,为 230 元/kW; P 为储能的装机额定功率。

2.2.5 基本电费管理收益

对于执行两部制电价的工商用户,当其选择按最大需求量电费的方式计算基本电费时,基本电费管理收益可表示为

$$R = \Delta k \cdot T \cdot N \tag{10}$$

式中: R 为基本电费管理收益; Δk 为削减的最大需求量; T 为按最大需求量计算的单位容量电费; N 为储能系统每年的运行月数。

3 典型案例分析

3.1 用户用能特点

成都地区某 10 kV 商业用户有 4 台 2000 kVA 变压器,用户采用了两部制电价,按最大需求量计收基本电费。该用户具有较强的节能意愿,积极引入绿色节能技术,计划采用电池储能系统改善其负荷曲线,实现削峰填谷,达到节省电费的目的。

该用户具有分时段功率变化明显的特点:用户的空调和餐饮负载比例较大,中午、傍晚负荷上升比较明显;午夜负荷较低。利用用户采集系统采集该用户全月每天的 96 个日负荷点,对每个日负荷点求平均值,得到该用户全月的平均日负荷曲线为

$$\bar{X} = \left[\frac{\sum_{j=1}^n x_{1j}}{n}, x_2, \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}, \dots, \frac{\sum_{j=1}^n x_{96j}}{n} \right] \tag{11}$$

式中: n 为某月的总天数; j 为对应的日期。

最大负荷计算曲线为

$$X_{\max} = [x_1 = \max(x_{11}, \dots, x_{1j}), \dots, x_{96} = \max(x_{961}, \dots, x_{96j})] \tag{12}$$

通过式(11)、式(12)得到该用户的平均负荷曲线和最大负荷曲线如图 1 所示。

3.2 用户储能配置

通过调研分析了解,可以在用户 10 kVA 变压

器低压母线上接入 200 kW/1000 kWh 的储能系统,其拓扑图如图 2 所示。

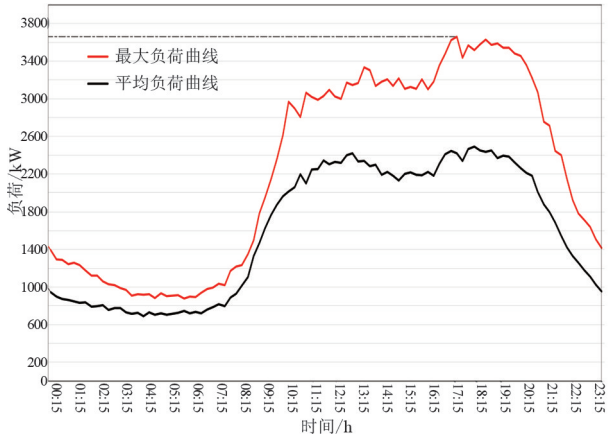


图 1 某商业用户最大负荷曲线和平均负荷曲线

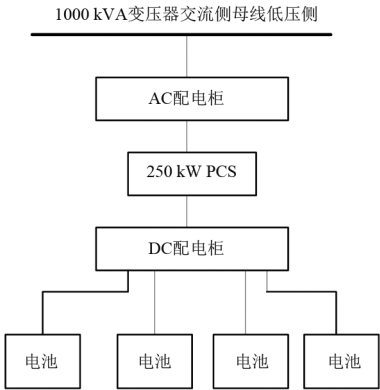


图 2 200 kW/1000 kWh 储能系统拓扑

3.3 储能工作模式

按照该用户的变压器情况和储能系统,可以采用“两充两放”的工作模式:“谷充电,峰放电”和“平充电,峰(尖)放电”,运行状态如图 3 所示,图中绿线代表低谷时段,红线代表高峰时段,黄线代表平时段。

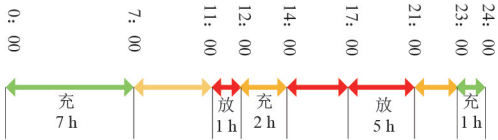


图 3 储能系统分时运行状态

该用户利用低谷和平时段对储能系统进行充电,在峰(尖)段进行放电,使用储能后,用户侧的最大负荷会降低,该用户的负荷曲线如图 4 所示。

3.4 收益分析

3.4.1 储能系统参数

该用户采用了 200 kW/1000 kWh 的储能系统,其全寿命周期按 80% DOD 进行计算,每年运行天数

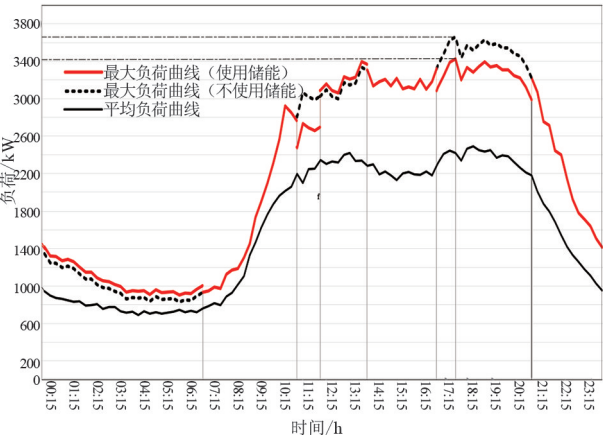


图 4 用户使用储能后的最大负荷曲线

为 360 天,其中具有“峰段”电价的有 298 天,“尖段”电价运行 62 天(根据川发改价格规[2021]499 号文,夏季 7 月 26 日—8 月 25 日和冬季 12 月 26 日—1 月 25 日执行尖峰电价),则该系统在“两充两放”的工作模式下寿命可达 11 年。其收益计算参数如表 2 所示。

3.4.2 储能收益

“两充两放”工作模式的分时电价下,按日计算的峰谷收益为

$$E_{峰-谷} = 1000 \text{ kWh} \times 0.8 \times [(1 - \eta) \times p_{峰} - \frac{1}{1 - \eta} \times p_{谷}] \quad (13)$$

峰平收益为

$$E_{峰-平} = 200 \text{ kWh} \times 0.8 \times [(1 - \eta) \times p_{峰} - \frac{1}{1 - \eta} \times p_{平}] \quad (14)$$

表 3 储能用户“两充两放”储能收益测算结果

单位:万元

周期 /a	收入						支出				合计
	峰谷 收益	峰平 收益	尖谷 收益	容量 收益	补贴	其他	建设 成本	运维 费用	贷款 本息	其他	
1	13.84	1.40	4.27	7.92	4.60		174.80	3.50			-146.35
2	13.56	1.37	4.19	7.76	4.60			3.50			-118.45
3	13.29	1.34	4.10	7.61	4.60			3.50			-91.09
4	13.03	1.31	4.02	7.45				3.50			-68.86
5	12.76	1.29	3.94	7.31				3.50			-47.14
6	12.51	1.26	3.86	7.16				3.50			-25.93
7	12.26	1.24	3.78	7.02				3.50			-5.21
8	12.01	1.21	3.71	6.88				3.50			15.02
9	11.77	1.19	3.63	6.74				3.50			34.77
10	11.54	1.16	3.56	6.60				3.50			54.05
11	11.31	1.14	3.49	6.47		8.74		3.50			72.88

表 2 储能计算参数

参数	计算值
储能功率/容量	200 kW/1000 kWh
DOD/%	80
充放电效率 η /%	95
容量衰减/(%·年 ⁻¹)	2
循环次数/次	6000
储能容量单价/(元·Wh ⁻¹)	1.748
初始投资价格/万元	174.8
储能运维成本	初始投资的 2%
储能系统残值	初始投资的 5%
政府补贴/万元	13.8(3 年)
需量电价/(元·kW ⁻¹)	33

尖谷收益(当执行尖峰电价时)为

$$E_{尖-谷} = 400 \text{ kWh} \times 0.8 \times [(1 - \eta) \times p_{尖} - \frac{1}{1 - \eta} \times p_{谷}] \quad (15)$$

式中: η 为充放电效率; $p_{峰}$ 、 $p_{谷}$ 、 $p_{平}$ 的具体数据见表 1。

根据图 4 的负荷曲线测算出使用储能后用户的最大需量可以降低 200 kW,因此,基本电费管理收益为

$$R = 200 \text{ kW} \times 33 \text{ 元/kW} \times 12 \quad (16)$$

由此可计算客户储能的收益情况,具体测算结果详见表 3。

可以得出:在考虑分时电价收益、容量电费管理收益、补贴等情况下,该 10 kV 储能用户的静态投资回收期为 8 年左右(储能系统寿命周期为 11 年)。

3.4.3 不同浮动电价比例的储能收益分析

为了对比不同浮动电价比例下的储能投资收益情况,在保证其余测算参数不变的情况下进一步提高峰谷电价浮动比例(尖峰电价上浮比例保持不变),分析得到该用户储能的投资收益年限如表 4 所示。

表 4 不同浮动电价比例的储能收益

峰谷浮动 比例/%	峰谷价差/ (元·kWh ⁻¹)	投资回收 年限/a
60	0.642 3	8
65	0.695 8	7
70	0.749 4	7
75	0.802 9	6
80	0.856 4	6

随着峰谷价差的进一步提高,该用户储能的投资收益年限将进一步缩短,当电价浮动比例达到 75%时,投资回收年限将缩短至 6 年。

4 结 论

上面对用户侧储能的投资收益进行了测算分析,为了保证测算的准确性和实用性,测算过程中充分考虑了储能系统的充放电效率、容量衰减等一系列不利因数。在同时考虑政府补贴、容量电费管理、分时电价套利等收益情况下,执行两部制电价的 10 kV 储能工商业用户在“两充两放”的工作模式时,配置 200 kW/1000 kWh 的储能系统的静态投资回收期为 8 年左右,在进一步提高峰谷电价浮动比例的情况下可以缩短该储能系统的静态投资回收期,当峰谷电价浮动比例超过 75%时,投资回收年限将缩短至 6 年。

(上接第 60 页)

换相失败预测控制只配备三相故障检测、单相故障检测逻辑,建议专门针对相间故障设计检测逻辑。

参考文献

[1] 刘磊. 高压直流输电系统换相失败抑制的控制策略研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2021.

[2] LIU J, LIN S, ZHONG W L, et al. Improved identification method and fault current limiting strategy for commutation failure in LCC-HVDC[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2022, 10(6): 1761-1772.

[3] 钟文梁,刘健,林圣. 考虑换相电压多次谐波分量的换相失败抑制策略[J]. 电网技术,2023,47(1): 301-314.

参考文献

[1] 李丰,姚韵,张会娟,等. 新型储能经济性及价格机制研究[J]. 价格理论与实践,2022(4): 66-70.

[2] 陈思培,谢宇哲. 浙江省用户侧电化学储能经济效益分析[J]. 电力需求侧管理,2022,24(4): 105-110.

[3] 彭伟,郑连清,郑天文. 分布式光伏储能系统的优化配置方法[J]. 四川电力技术,2022,45(1): 45-49.

[4] 余勇,年珩. 电池储能系统集成技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社,2021.

[5] 边涛. 电储能系统在商业项目中的应用[J]. 建筑电气, 2020,39(11): 36-42.

[6] 凌万水,刘刚,侯勇. 工业用户配置储能系统的经济收益分析[J]. 供用电,2019,36(8): 54-60.

[7] 四川省发展和改革委员会. 关于进一步完善我省分时电价机制的通知: 川发改价格规[2021]499号[EB/OL]. [2023-01-15]. <http://fgw.sc.gov.cn/sfgw/c109344/2021/12/3/691e2c5fe36b401185163475067ef460.shtml>.

[8] 郭莉,薛贵元,吴晨,等. 储能系统应用于削峰填谷的经济效益分析研究[J]. 电力需求侧管理,2019,21(5): 31-34.

[9] 成都市发展和改革委员会. 关于申报 2022 年生态文明建设储能领导市级预算内基本建设投资项目的通知: 成发改环资函[2022]53号[EB/OL]. [2023-01-15]. <https://cddrc.chengdu.gov.cn/gkml/qtwj/1640276712472272896.shtml>.

作者简介:

廖 磊(1991), 硕士, 工程师, 从事市场拓展和智能用电研究工作。

(收稿日期:2023-08-10)

[4] 郭春义,赵剑,刘炜,等. 抑制高压直流输电系统换相失败方法综述[J]. 中国电机工程学报,2018,38(S1): 1-10.

[5] 王峰,刘天琪,李兴源,等. 考虑直流电流上升及交流电压下降速度的换相失败分析[J]. 电力系统自动化,2016,40(22): 111-117.

[6] 李程昊,刘畅,张振安,等. 计及换相失败预测控制和故障合闸角的 HVDC 换相失败分析[J]. 电力系统自动化,2018,42(3): 56-63.

作者简介:

刘 磊(1993), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为特高压直流输电控制与保护。

(收稿日期:2023-08-11)