

电池储能电站电网侧经济效益及运行效益分析

关前锋, 王玉[✉], 董剑敏

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 电池储能电站的建设是未来电网发展的必然趋势, 文章旨在研究当前电池技术和峰谷电差政策条件下的电池储能电站的经济效益和运行效益。[方法] 以电网侧储能电站为对象出发, 分析以经济效益指数为判据的经济效益、以延缓变电站扩容建设为衡量的运行效益。同时, 以东莞地区电池储能电站为例, 对其直接经济效益、运行效益和其他效益进行分析。[结果] 在当前电池技术和峰谷电差政策的状况下, 东莞电池储能电站的经济效益总体略有亏损, 但考虑到建设储能电站存在的其他方面的运行效益等, 发展电池储能电站有小幅盈利。[结论] 以东莞地区电池储能电站为例的经济效益及运行效益分析也可以为其他同类型电池储能电站的效益分析提供参考。

关键词: 电池储能电站; 电网侧; 经济效益; 运行效益; 效益分析

中图分类号: TM11; F426.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)04-0103-05

开放科学(资源服务)二维码:



Analysis of Economic and Operational Benefits of Grid-Side Battery Energy Storage Power Station

GUAN Qianfeng, WANG Yu[✉], DONG Jianmin

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] The construction of battery energy storage power stations is an inevitable trend in the future. The research aims to learn the economic and operational benefits of battery energy storage power stations under the present battery technologies and peak-valley price policy. [Method] For the grid-side energy storage power stations, the economic benefit index was used as the criterion to measure the economic benefit, and the delayed substation expansion was used to measure the operational benefit. Taking battery energy storage power stations in Dongguan as an example, the direct economic benefits, operational benefits, and other benefits were analyzed. [Result] The results showed that under the present battery technologies and peak-valley price policy, generally the economic benefits of battery energy storage power stations in Dongguan suffered slight loss. Nevertheless, considering other operational benefits of the construction of energy storage power stations, the development of battery energy storage power stations can produce a small profit. [Conclusion] The case study of economic and operational benefits of battery energy storage power stations in Dongguan can provide a reference for the benefit analysis of other battery energy storage power stations of the same type.

Key words: battery energy storage power station; grid-side; economic benefit; operational benefit; benefit analysis

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

随着“双碳”目标的提出以及全社会用电需求量的不断增长, 建设以新能源为主体的新型电力系

统, 成为推动电力清洁低碳发展的必然选择。储能技术在电力系统中的广泛应用已成为未来电网发展的一个必然趋势。《国家发展改革国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见》中指出, 发展新

收稿日期: 2021-12-13 修回日期: 2022-04-20

基金项目: 中国能建广东院科技项目“面向新型电力系统模块化储能系统研究”(EV10101W); 国家重点研发计划“高端功能与智能材料”重点专项“高性能高温超导材料磁储能应用”(2021YFB3800200)

型储能能够提升能源电力系统调节能力和综合效率,在推动能源领域碳达峰、碳中和过程中发挥显著作用。因地制宜发展电网侧新型储能,有利于提升电网安全稳定运行水平,增强电网薄弱地区的供电保障能力。其中集装箱式电池储能电站不仅具有反应速度快、控制精准、调度冗余大等优异的电气特性,而且具备建设周期短、占地面积小、布点灵活等优势^[1],能够改善提升管理成效,在电网中具备广泛的应用前景。随着技术进步和成本不断下降,建设大容量电池储能电站已成为构建新型电力系统的重要辅助途径。

1 储能电站效益评价体系

储能电站可以带来经济效益、社会效益和运行效益三类效益。根据受益对象,储能电站可以分为电源侧、电网侧、用户侧、多元化应用于源网荷储一体化项目四类。其中,电网侧是目前储能电站经济效益最直接的体现对象^[1]。其效益主要包括延缓原有变电站扩建改造,降低线损,获取调峰调频收益等。对于电源侧来说,储能电站可以促进可再生能源的接入能力,延缓发电装机的配置^[2]。对于用户侧来说,储能电站可以提升区域供电可靠性^[3],同时可以通过峰谷错期使用户节省相应比例的电费。文章主要是对东莞地区电池储能电站电网侧效益进行分析,主要包括经济效益和运行效益分析,其中经济效益可以通过建立相应经济效益指数来测算,但运行效益一般仅能通过等效替代节省的费用进行评估。

2 储能电站电网侧效益评价模型

目前国内外对电池储能电站的效益研究内容较多,大多是从经济效益、社会效益、环境效益等方面开展分析。一些文献着重进行了环境、产业、社会方面的影响分析^[4-5],一些文献研究了智能电网的建设模式对供电企业的影响^[6-8],但是对于储能电站效益的标准量化评估方法较少。文章将经济效益指数(YCC)^[9]作为评估东莞电池储能电站电网侧经济效益的指标依据。该经济效益指数 ≥ 1 时,储能电站处于盈利状态,投资该储能电站是合理的。经济效益指数的计算公式如下:

$$YCC = \frac{[R+P]}{\frac{C}{L \cdot D} + C_0} \quad (1)$$

式中:

R —— 广东省电力现货市场的平均价格(元/kWh);

P —— 容量电价(元/kWh);

C —— 输出 1 kWh 电能的初始投资(元/kWh);

C_0 —— 输出 1 kWh 电能的运行成本(元/kWh);

L —— 电池的循环寿命(次);

D —— 储能电池的充放电深度(%)。

除上述效益外,建设电池储能电站还可节省变电站扩容建设的投资。即如果不进行本储能项目,需要对相关站点进行扩容或者新建变电站才能满足现阶段该区域负荷对变电容量规模的要求。所以因延缓或少建的变电站而节省的投资也是一项效益。此外,电力系统可靠性不足将会导致用户缺电损失,储能电站提高了电力系统的供电可靠性,相当于避免了停电造成的损失^[10-11],因此储能电站带来了可靠性收益。文献[12]中提到,在城市中心地区布置储能可以起到改善电能质量,提高供电可靠性的作用。因此,基于公式(1),文章还将延缓变电站建设的投资和提升的供电可靠性收益作为测算储能效益的收益纳入考虑内。

3 以东莞电池储能电站为例的经济及运行效益评价

3.1 东莞电池储能电站的直接经济效益评价

东莞作为珠三角核心城市之一,随着负荷的增长,局部输变电设备的供电压力进一步加大,局部线路传输压力也有所提升。近年来,随着东莞区域经济的进一步发展,产业升级也带动用户供电可靠性需求进一步提升。

就目前的负载率而言,处于东莞某地 110 kV 的 A 站全站全年最高负荷均达到 120 MW 以上,不满足 $N-1$ 安全校验,其中#2 主变近两年负载率达到 85% 以上,接近红线水平。处于东莞某地 220 kV 的 B 站全站全年最高负荷均达到 547 MW 以上,不满足 $N-1$ 安全校验,其中#1 主变去年负载率达到 95% 以上,接近红线水平。A 站和 B 站均存在空调负荷占较高,变电站峰期负荷持续时间较短的问题,因此合理布局储能可充分发挥其调峰、调压等功能,同时

增强抵御突发故障后的恢复能力,解决变电站峰期负荷持续时间较短的问题。

综上所述,目前拟在东莞地区的A站和B站分别配置10 MW/20 MWh和5 MW/10 MWh的电池储能系统,发挥储能参与现货的电能量市场,提升供电可靠性等作用,充分提升电池储能的相关经济性指标。根据当前可行性研究分析,A储能电站和B储能电站投资估算如表1所示。

表1 东莞电池储能电站投资情况表

Tab. 1 Investment in battery energy storage power stations in Dongguan

项目	A站	B站
电池种类	磷酸铁锂电池	磷酸铁锂电池
容量/MW	10	5
建筑工程费/万元	320	152
设备购置费/万元	4 362	2 096
安装工程费/万元	514	313
其他费用/万元	609	336
费用合计/万元	5 805	2 897
单位投资成本/(元·W ⁻¹)	5.80	5.79

在考虑东莞电池储能电站的收益模式时,文章主要考虑参与电能量市场和补偿容量电价的模式。根据东莞电池储能电站电池技术参数,储能电池的充放电深度为87%,相应的电池循环寿命为5600次。参考广东电力现货市场的平均价格0.3元/kWh,同时,在YCC≥1的基础上,反算至少需要多少的容量电价。初始投资成本为电池储能电站1 kWh的建设投资;运行成本包括经营成本、设备折旧和财务费用,设备折旧年限为10年。A、B电池储能电站的经济技术边界条件和电网侧效益分析结果如表2所示。

表2 东莞电池储能电站经济技术边界条件

Tab. 2 Economic and technical boundary conditions of battery energy storage power station in Dongguan

项目	A站	B站
储能电池循环寿命L/次	5600	5600
储能电池充放电深度D/%	87%	87
广东电力现货市场价格R/[元·(kWh) ⁻¹]	0.3	0.3
初始投资成本C/[元·(kWh) ⁻¹]	2903	2897
运行成本C ₀ /[元·(kWh) ⁻¹]	0.034	0.034
经济效益指数YCC/%	47.69	47.69
最低容量电价P/[元·(kWh) ⁻¹]	0.329	0.329

由表2可知,在目前参与广东电力现货市场的情况下,东莞A电池储能电站的经济效益指数和东莞B电池储能电站的经济效益指数均为47.69%,都处于非盈利状态。若同时考虑容量电价机制,那么在YCC≥1的前提下,需要最低0.329元/kWh的容量电价。

由经济效益指数关系式可知,完善电力现货市场,提升容量电价价格,提高电池的循环寿命,加快电池技术的发展都是十分必要的。

3.2 东莞电池储能电站的运行效益及其他效益评价

如果不进行本储能项目,则需要对相关站点进行扩容或者新建变电站才能满足现阶段该区域负荷对变电容量规模的要求,即储能系统的建设可节省变电站扩容建设的投资。以A站和B站为例,根据当前负荷水平及电网安全性要求,为达到缓解A站和B站80%最高负载率的要求,拟对原站进行3×50 MVA的扩容。

3×50 MVA的变电站一般有20年的运营期,根据以往相同规模的变电站进行的投资测算,建设相应规模的变电站需要5000万元的投资。因此5000万元的投资以8%的基准折现率计算,每年年金约为472万元。如果考虑到旧站设备的残值,假定为250万元(残值率取5%),冲抵新站的投资后,则扩容投资的年金为467万元。因此综合变电站扩容方案投资年金为467万元,即储能系统的建设可以大约节省每年467万元的投资,可表示为下式:

$$YCC = \frac{\left[\frac{B_1}{F} + R + P \right]}{\left[\frac{C}{L \cdot D} + C_0 \right]} \quad (2)$$

式中:

B_1 —— 每年节省投资(元);

F —— 储能电站每年总发电量(kWh)。

根据东莞供电局提供的相关数据,从2019年停电情况来看,A、B两个站所在区域全年停电时间约2.32 h。根据相关项目经验,一般情况下用户停电损失可由两种方法进行测算,首先可采用平均电价折算倍数法,一般单位停电损失取平均售电价的20~50倍,单位损失成本最高可达30~50元/kWh。其次可采用产电比法,根据当地单位电量国民生产总值进行测算,本次保守计算,采用第二种方法(产

电比法)进行测算。由于上述变电站主要供电用户为工业第二产业用户,这里采用第二产业用电量及经济数据。

根据《东莞2019年统计年鉴》,2018年东莞全年第二产业用电量56.76 TWh,第二产业国民生产总值为4 027.21亿元,单位电量GDP为7.1元/kWh。即使按单位电量GDP保守计算,计入上述的故障停电时间情况,预计A站和B站年可靠性收益(可靠性收益=故障停电时间×储能最大功率×单位用电损失)约为24.7万元,即储能系统的建设可以每年提供24.7万元的供电可靠性收益,可表示为下式:

$$YCC = \frac{\left[\frac{B_1+B_2}{F} + R + P \right]}{\left[\frac{C}{L \cdot D} + C_0 \right]} \quad (3)$$

式中:

B_2 ——每年提供的供电可靠性收益(元)。

考虑到延缓变电站建设而节省的投资和供电可靠性收益,根据公式(3),可得到在不考虑容量电价的情况下,A电池储能电站和B电池储能电站的经济效益指数可分别达到49.94%和52.19%;在考虑最低容量电价的情况下,A电池储能电站和B电池储能电站的经济效益指数可分别达到102.25%和104.49%,可达到盈利水平。从长远来看,随着电池技术的发展以及补贴政策的完善,其盈利能力水平将有进一步提升。

当然,除了参与电能量市场、容量电价的模式,储能电站还有辅助调频、新能源接入等其他应用模式。由于在调频模式下会加速电池衰减,因此每年电池成本很高,所以文章暂不考虑此模式测算收益。但随着未来电池技术的进步,随之带来循环次数增加,使用寿命延长,预测辅助调频模式的储能电站也能够实现较好的经济效益。在新能源接入模式下,储能电站的收益基于接纳海上风电弃风电量的利用^[13-15],也就是说,储能电站接入新能源为其减少的损失能否涵盖全寿命周期成本是储能电站是否盈利的关键,此项收益是有限的,但是未来也可考虑将接入新能源模式与其他模式和政策结合,功能叠加将会为储能电站带来更可观的收益。

4 结论

文章通过建立储能电站电网侧效益评价模型,

以东莞储能电站为例,测算了东莞A、B两个电池储能电站电池方案下的经济效益评价结果。在当前的电池储能方案和投资水平下,加之考虑到延缓变电站建设而节省的投资和供电可靠性收益,得出仅靠参与电力现货市场获取收益无法为目前的电池储能电站带来理想的效益。在考虑容量电价机制的情况下,收取合理的容量电费则能够使储能电站达到较好地经济效益。从长远来看,随着电池技术的发展、电力现货市场的完善以及补贴政策的出台,其盈利能力水平将进一步提升。

参考文献:

- [1] 李金茗,陈炜,周松林,等.长沙电池储能电站电网侧经济效益分析[J].湖南电力,2019,39(5):1-3. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0198.2019.05.001.
LI J M, CHEN W, ZHOU S L, et al. Analysis of economic benefits on grid side for Changsha battery energy storage power station [J]. *Hunan Electric Power*, 2019, 39(5): 1-3. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0198.2019.05.001.
- [2] 胡轲.大容量储能系统电池管理系统均衡技术研究[J].南方能源建设,2018,5(1):40-44. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.006.
HU K. Research on balancing technology of battery management system of high-capacity energy storage system [J]. *Southern Energy Construction*, 2018, 5(1): 40-44. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.006.
- [3] 张东辉,徐文辉,门锷,等.储能技术应用场景和发展关键问题[J].南方能源建设,2019,6(3):1-5. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.001.
ZHANG D H, XU W H, MEN K, et al. Application scenarios of energy storage and its key issues in development [J]. *Southern Energy Construction*, 2019, 6(3): 1-5. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.001.
- [4] 焦丰顺,任畅翔,李志铿.分布式储能项目效益评价方法研究[J].南方能源建设,2019,6(3):48-53. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.008.
JIAO F S, REN C X, LI Z K. Research on benefit evaluation method of distributed energy storage system [J]. *Southern Energy Construction*, 2019, 6(3): 48-53. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.008.
- [5] 李明,焦丰顺,任畅翔,等.新一轮电改下电力辅助服务市场机制及储能参与辅助服务的经济性研究[J].南方能源建设,2019,6(3):132-138. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.022.
LI M, JIAO F S, REN C X, et al. China's power auxiliary service market mechanism and the economics of energy storage systems participating in auxiliary services [J]. *Southern Energy Construction*, 2019, 6(3): 132-138. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.022.

- issn2095-8676.2019.03.022.
- [6] 王智冬, 李晖, 李隽, 等. 智能电网的评估指标体系 [J]. 电网技术, 2009, 33(17): 14-18. DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2009.17.039.
WANG Z D, LI H, LI J, et al. Assessment index system for smart grids [J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 14-18. DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2009.17.039.
- [7] 曾鸣, 李凌云, 马明娟, 等. 基于区间数的智能电网经济效益评价研究 [J]. 华东电力, 2013, 41(2): 249-253.
ZENG M, LI L Y, MA M J, et al. Economic benefits evaluation of smart grid based on interval numbers [J]. East China Electric Power, 2013, 41(2): 249-253.
- [8] 石晶, 龚康, 刘洋, 等. 复合储能在微网中的应用研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 28-34. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.005.
SHI J, GONG K, LIU Y, et al. Application of hybrid energy storage system in micro-grid [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(2): 28-34. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.005.
- [9] 杨裕生, 程杰, 曹高萍. 规模储能装置经济效益的判据 [J]. 电池, 2011, 41(1): 19-21. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1579.2011.01.007.
YANG Y S, CHENG J, CAO G P. A gauge for direct economic benefits of energy storage devices [J]. Battery Bimonthly, 2011, 41(1): 19-21. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1579.2011.01.007.
- [10] 杨舒婷, 曹哲, 时珊珊, 等. 考虑不同利益主体的储能电站经济效益分析 [J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(5): 89-93,101. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3814.2015.05.017.
YANG S T, CAO Z, SHI S S, et al. Analysis on economic benefits of storage power station considering different interest-subjects [J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(5): 89-93,101. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3814.2015.05.017.
- [11] 郭金川, 贺艳芝, 郭芳, 等. 电池储能系统对微电网运行特性的改善作用研究(英文) [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 35-40. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.006.
GUO J C, HE Y Z, GUO F, et al. Operation performances enhancement of micro-grid by battery energy storage system [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(2): 35-40. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.006.
- [12] 史正军, 刘苏, 朱浩骏, 等. 分布式储能设备在广东省的应用分析 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 80-85. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.015.
SHI Z J, LIU S, ZHU H J, et al. Application analysis of distributed energy storage device in Guangdong province [J]. Energy Construction, 2015, 2(2): 80-85. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.015.
- [13] 刘畅, 徐玉杰, 张静, 等. 储能经济性研究进展 [J]. 储能科学与技术, 2017, 6(5): 1084-1093. DOI: 10.12028/j.issn.2095-4239.2017.0116.
LIU C, XU Y J, ZHANG J, et al. Research progress in economic study of energy storage [J]. Energy Storage Science and Technology, 2017, 6(5): 1084-1093. DOI: 10.12028/j.issn.2095-4239.2017.0116.
- [14] 叶季蕾, 陶琼, 薛金花, 等. 风电并网集成应用中的储能经济性进展分析 [J]. 化工进展, 2016, 35(增刊2): 137-143. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2016.s2.023.
YE J L, TAO Q, XUE J H, et al. Economic progress analysis of energy storage in the application of wind power integration [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(Supp. 2): 137-143. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2016.s2.023.
- [15] 饶宇飞, 高泽, 杨水丽, 等. 大规模电池储能调频应用运行效益评估 [J]. 储能科学与技术, 2020, 9(6): 1828-1836. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2020.0223.
RAO Y F, GAO Z, YANG S L, et al. Operational benefit evaluation for frequency regulation application of large-scale battery energy storage [J]. Energy Storage Science and Technology, 2020, 9(6): 1828-1836. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2020.0223.

作者简介:



关前锋

关前锋(第一作者)

1984-, 男, 湖北潜江人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力工程技术经济咨询管理工作 (e-mail)guanqianfeng@gedi.com.cn。



王玉

王玉(通信作者)

1995-, 女, 山东威海人, 中级经济师, 硕士, 主要从事电力经济、电力造价研究及咨询工作 (e-mail)327508872@qq.com。

(编辑 叶筠英)