

储能系统应用于削峰填谷的经济效益分析研究

郭 莉,薛贵元,吴 晨,谢珍建,刘国静,李冰洁

(国网江苏省电力有限公司 经济技术研究院,南京 210000)

Research on economic evaluation of energy storage applied to load shift

GUO Li, XUE Guiyuan, WU Chen, XIE Zhenjian, LIU Guojing, LI Bingjie

(Economic Research Institute, State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210008, China)

摘要:储能技术的发展和储能成本的下降,使得储能成为控制负荷变动的重要手段。针对电力需求侧大规模储能系统的经济效益评估,建立了考虑全寿命周期的成本计算模型,从电网侧、用户侧、电源侧和政策补贴4个方面建立了收益计算模型。最后通过算例分析得出,该储能电站可以获得良好的经济效益,并且通过敏感性分析得出,储能成本、峰谷电价差、政策补贴等因素对储能系统的经济性有较大影响。

关键词:储能电站;削峰填谷;全寿命周期管理;成本效益分析;敏感性分析

Abstract: With the development of energy storage technology and decrease of energy storage cost, energy storage has become an important means of load control. The economic benefits of energy storage allocation in power demand side are evaluated. Firstly, the cost calculation model considering the whole life cycle is established. Secondly, the benefit calculation model is established from four aspects of grid side, user side, power side and policy subsidy. Finally, it is concluded that this energy storage can obtain good economic benefits through example analysis. In addition, it is concluded through sensitivity analysis that factors such as energy storage cost, peak-valley price difference and policy subsidy have a great impact on the economy of energy storage system.

Key words: energy storage power station; load shift; life cycle management; cost-benefit analysis; sensitivity analysis

中图分类号:TM76;F407.61;TK018 文献标志码:A

0 引言

储能是能源互联网的重要组成部分和关键支撑技术,具有响应快速、可双向调节、环境适应性强、建设周期短等技术优势。规模化应用储能将对能源转型、电网格局、电源结构产生重大影响^[1]。储能技术因其灵活的电功率吞吐特性,在平滑可再生能源输出、调频、电压支撑、调峰、备用容量无功支持、缓解线路阻塞、延缓输配电扩容升级等领域中发挥重要的价值^[2],与传统的一些削峰填谷手段相比,具有快速响应特性以及更高的经济效益^[3]。

目前关于储能经济性的研究主要集中在储能投资效益的评估,在现有电力市场条件和政策机制下,明确储能在不同应用场景的收益构成和经济性评估方法,全面衡量储能价值^[5],可以为储能项目的决策部署提供参考,也可以为出台相关储能支持政策、补贴标准、价格机制等提供有益的借鉴^[6]。本文在一定容量储能系统配置前提下,从技术经济学角度考虑储能系统的全寿命周期成本和因削峰填谷

产生的经济效益,建立成本效益分析模型,并通过算例评估工程经济性。

1 储能电站的全寿命周期成本分析模型

典型的储能系统一般由蓄电池组、功率转换系统和辅助设施几个部分组成^[7]。为方便研究,本文假定储能系统内组成元件寿命一致。储能系统的全寿命周期成本见式(1),未考虑使用周期内储能系统设备的更换成本,因此全寿命周期成本由初始投资(即储能电站的建设成本) W_c 、运行维护费用 W_o 和回收价值 W_r 构成,其中回收价值是电池储能到达一定寿命年限时,通过回收利用的方式取得收益,以抵消部分电池储能的成本。

$$W_{\text{Tot}} = W_c + W_o + W_r \quad (1)$$

根据储能系统的使用寿命和基准收益率,可将储能系统的总投资成本在全寿命周期内进行分摊。初始投资成本由储能装置的容量配置规模计算得到,包括容量投资成本 W_{ce} 和功率投资成本 W_{cp} 如式(2)所示。运行维护费用根据初始投资按一定的比例估算得到,如式(3)所示。计算后均根据年值现值系数折算得到寿命内年值。考虑到目前为止还没有公认的、可靠的数据,本文的成本计算中

收稿日期:2019-04-23;修回日期:2019-04-30

基金项目:国家电网公司科技项目(1300-201918281A-0-0-00)

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No.1300-201918281A-0-0-00)

暂不考虑储能电池的回收价值^[8]。

$$W_c = W_{ce} + W_{cp} = (c_e E + c_p P) \frac{(1+r)^T r}{(1+r)^T - 1} \quad (2)$$

$$W_o = a\% W_{ce} + b\% W_{cp} \quad (3)$$

式中: c_e , c_p 分别为储能的单位能量价格与单位功率价格; E , P 分别为储能电站的额定容量和额定功率; T 为储能电站的全寿命周期; r 为贴现率; $a\%$, $b\%$ 分别为储能容量和功率的运行维护费用与初始投资的比值。

2 电化学储能电站的经济效益分析模型

储能的多重应用价值体现在储能应用于电力系统某一环节时,其他环节也可能因为储能的参与而获得收益。运用储能系统来削减高峰负荷,降低负荷峰谷差,优化负荷曲线,可以有效延缓输配电设备的升级,降低煤耗,减少温室气体的排放,提高现有机组的利用效率和降低发电成本,延缓新建峰荷机组,降低电力系统生产成本等^[9]。本文将储能系统参与削峰填谷时产生的经济效益从电网侧、用户侧、发电侧3个角度分别进行量化计算。

2.1 电网侧经济效益的量化计算

对于电网侧而言,储能系统削峰填谷产生的效益主要包括延缓电网建设和降低线路损耗。

(1) 延缓电网建设

通过安装储能减少电网扩建改造方面投资而产生的经济效益 E_1 ,即可免固定容量成本,可以根据少建或缓建的变电站、变压器、输电线路及其配套设备的平均造价确定,表示为式(4)。

$$E_1 = A_f \eta P_{\max} \quad (4)$$

式中: A_f 为电网侧的单位容量成本;储能系统在运行中可能受自用电等因素的影响, η 为储能系统的等效运行效率; $P_{\max}$ 为储能蓄电池组的额定功率。

(2) 降低线路损耗

充电时的储能系统相当于输配电线路中的一个负载,会导致在负荷低谷期整个系统的线路损耗会有所增加;储能系统在负荷高峰期放电时,负荷高峰显著降低,会导致输配电线路中的电流减小,从而降低电网高峰时期的线路损耗。在一定配置范围内储能系统所引起的网损减少量大于其导致的网损增加量,因此可以有效降低输配电线路中的损耗^[10]。

因线路损耗减少的年收益 E_2 ,表示为式(5)。

$$E_2 = nT(\Delta P_f M_f - \Delta P_g M_g) \quad (5)$$

式中: n 为储能装置每年的总循环充放电次数; T 为储能装置的单次充放电平均持续时间; M_f , M_g 分别为放电时的高峰电价和充电时的低谷电价; ΔP_f

和 ΔP_g 分别为负荷高峰时减少的线路有功功率和负荷低谷时增加的线路有功功率。

2.2 削峰填谷直接收益的计算

削峰填谷的直接收益可以体现为峰谷价差的基础上由于高峰负荷的转移,用户节省的用电量^[11]可表示为式(6)

$$E_3 = \Delta Q(p_f - p_g) \quad (6)$$

式中: E_3 为储能系统参与需求侧削峰填谷的年经济效益; ΔQ 为通过储能系统参与削峰填谷的电量; p_f , p_g 分别为该区域实施的峰、谷时电价。

2.3 发电侧经济效益的量化计算

传统电网调峰通常依靠燃煤发电机组进行,一定程度上增大了机组的单位煤耗。运用储能系统进行削峰填谷,一方面可以替代火电机组完成部分调峰任务,另一方面也可以间接减少火电机组的频繁增减出力,保持其运行的稳定性^[12]。因此,在负荷侧接入储能系统后产生的经济效益可分为固定收益和变动收益两部分,即分别对应容量部分和电量部分可免的成本。其中固定收益可根据少建或者缓建的调峰机组及其配套设备的平均造价确定,变动收益则可根据发电机减少的燃料费用、碳排放造成的环境污染费用及机组不正常启停的惩罚费用来计算,表示为式(7)

$$E_4 = \Delta Q(A'_{f,i} + A'_{v,i}) \quad (7)$$

式中: E_4 为发电侧的年经济效益; $A'_{f,i}$ 为第 i 年的单位固定收益; $A'_{v,i}$ 为第 i 年的单位变动收益。

2.4 政策补贴的经济效益的量化计算

财政部、国家发改委发布的《电力需求侧管理城市综合试点工作中央财政奖励资金管理暂行办法》中指出对通过实施能效电厂和削峰填谷技术等实现永久性节约电力负荷和转移高峰电力负荷的项目予以奖励,东部地区奖励440元/kW,中西部地区奖励550元/kW。因此,本文也考虑政策补贴产生的经济效益 E_5 。

$$E_5 = P_f m_f \quad (8)$$

式中: P_f 为系统接入储能后减少的峰荷; m_f 为减少单位峰荷获得的奖励。

3 算例分析

3.1 成本计算

本文对某区域电网的电化学储能电站进行分析,其建设规模为5 MW×4 h,假设负荷用电总量为360 MWh。根据文献资料整理,储能系统的具体成本计算参数取值见表1。

某地区年负荷总量 $Q_i = Q_1 + (i-1)\Delta l$, Q_1 为第一年该地区的负荷用电总量, Δl 为储能系统寿命期内每年负荷用电总量的微增量。忽略每年负荷增量对

表1 电池储能系统的成本计算参数
Table 1 Cost calculation parameters of battery energy storage system

参数	取值
储能容量/MWh	20
储能功率/MW	5
单位能量价格/(元·kWh ⁻¹)	6 000
单位功率价格/(元·kW ⁻¹)	8 000
容量运维成本与初始投资比值	0.02
功率运维成本与初始投资比值	0.02
储能电站运行寿命/年	10

电池储能寿命的影响,负荷用电总量的微增量对储能成本的影响体现在运维成本占初始投资的比例上。

按照查阅文献中提出的试点区域力争节约和转移电力负荷6%的标准, Q_i 为某地区年负荷用电总量,本文将调峰量 ΔQ_i 设置为0.06 Q_i 。

此外,根据文献中对该类型储能电池的循环次数和充放电深度的仿真模拟,本文设置储能电池总循环次数为4 000次,每天等效循环次数为1.1次,电池储能电站的运行寿命取10年。由公式(1)—(3)计算可得,储能电站寿命期内年成本为2.86×10⁷元。

3.2 效益计算

储能电站一般建设位于220 kV、110 kV变电站中压侧,因此建设储能电站会减少上级500/220 kV及以上电网的建设规模。根据该区域“十三五”、“十四五”投资规模,550/220 kV及以上投资规模约为500亿元~600亿元,对应的负荷增量约3 000万kW,单位负荷投资成本约0.2万元/kW。本文取电网侧节约的单位容量成本为0.02万元/MW。由式(4)计算可得 E_1 为3.8×10⁵元。

由该区域的运行数据可知,总负荷值在一天内呈现明显的双峰特性,系统一天中的高峰有功负荷值大约为350 kW,低谷值约为100 kW,且负荷峰值分别出现于11:00及18:00。通过5 MW的电池模块,系统一天中的高峰负荷值大约为300 kW,低谷值约为150 kW,即该储能系统高峰负荷时减少的线路有功功率为50 kW,低谷负荷时增加的线路有功功率为50 kW。假设峰时电价为1.019 7元/kWh,谷时电价为0.303 9元/kWh。由式(5)计算可得 E_2 为1.44×10⁴元。

由该区域峰谷电价及调峰电量,根据公式(6)计算可得 E_3 为5.15×10⁴元。

按照建设抽水蓄能电站作为调峰机组,计算发电侧的可免容量费用,本文取发电侧节约的单位容量成本为0.06亿元/MW,备用率为12%。由电力的标准煤折算系数123 g标煤和煤炭价格(江苏标煤价格约为855元/t),可以计算得到发电侧节约的燃料费用。由表2计算可得减少碳排放造成的环境污染费用为

0.11元/kWh,由式(7)计算可得 E_4 为3.36×10⁷元。

表2 常规燃煤发电的环境治理成本
Table 2 The environmental cost of conventional coal-fired power generation

排放物	价值标准/(元·kg ⁻¹)	常规燃煤发电	
		g/kWh	元/kWh
SO ₂	6.000	8.556 0	0.051 396
NO _x	8.000	3.803 0	0.030 420
CO ₂	0.023	822.802 0	0.018 924
CO	1.000	0.124 0	0.000 124
TSP	2.200	0.190 1	0.000 418
灰	0.120	52.287 0	0.006 274
渣	0.100	14.260 0	0.001 426
合计			0.109 186

该区域属于东部地区,削峰填谷补贴为440元/kW。由式(8)计算可得 E_5 为2.2×10⁶万元。

由上述计算的成本和效益,根据现值年值系数转换,该储能电站寿命期内的年经济效益为3.63×10⁷元。从电网侧、用户侧、电源侧的效益构成来看,发电侧获得收益占比最大,通过峰谷价差获得的直接电费效益占比最小,进一步计算年成本效益差为7.6×10⁶元。

3.3 经济性分析

(1) 投资回收期

由成本模型和效益模型计算可得,投资回收期为6年。根据技术经济学中相关规定,一般工程在第8年收回成本,由此可见,该区域的储能系统用于削峰填谷能够取得较好的收益。

(2) 储能成本价格变化对储能系统投资回收期的影响

储能本身价格的下降,将影响系统的建设成本以及储能价格敏感性。以目前的容量价格6元/Wh和功率价格8元/Wh为起点,预测至2 020年单位价格分别降低至3元/Wh和4元/Wh。当储能的单位价格降低至3元/Wh和4元/Wh,总体项目投资由1.63亿降低至0.82亿元,项目的投资回收期由6年缩短至约3年。

(3) 峰谷电价差对投资回收期的影响

通过对储能系统效益计算分析可知,峰谷价差影响其获得的收益。本文分析峰谷电价差由0.15元/kWh变化至1.05元/kWh对投资回收期的影响,如表3。由此可见,储能具备经济规模,电价差对储能系统的投资回收期有较大影响。

表3 峰谷电价差对投资回收期的影响
Table 3 The influence of electricity price difference on the payback period of investment

峰谷价差/(元·kWh ⁻¹)	0.15	0.45	0.75	0.85	0.95	1.05
投资回收期/年	33.54	11.18	6.71	5.92	5.30	4.79

(4) 储能补贴敏感性分析

国家对储能系统有财税补贴政策,从而影响储能项目的建设和发展。通过改变储能系统的补贴,可以发现在固定投入及收益等条件不变的情况下,储能系统补贴比例越高,相同的储能容量配置的年净利润呈线性增长,并在一定范围内为正,储能的经济性得到改善。

4 结束语

电化学储能系统应用于电力需求侧削峰填谷场景时,对电网侧而言,产生的效益主要包括延缓电网建设和降低线路损耗等,用户侧的收益主要通过峰谷价差直接计算获得,发电侧运用储能装置进行削峰填谷可以从固定收益和变动收益两个部分获利,另外还可获得政府补贴收益。

通过敏感性分析,可知储能系统的经济性受储能成本、峰谷价差和政策补贴等因素的影响。储能系统的投资成本会随着电池技术的不断提高和生产规模的不断加大而降低,因此其投资回收期即回收成本的年限也会随之缩短,根据储能技术发展和成本下降趋势预测,在2020年的储能成本价格将会使投资回收期缩短一半;储能系统用于需求侧削峰填谷时,存储较为低廉的电量,以峰谷电价形式销售更具备经济性,当峰谷电价差为1.05元/kWh时,储能具备经济规模;一定的激励和补贴政策也可以提高储能系统的经济收益,从而进一步缩短储能项目的投资回收期,促使储能技术在电网中大规模的应用。D

参考文献:

- [1] 党东升,韩松,周珏,等.需求响应参与系统调峰研究综述[J].电力需求侧管理,2017,19(5):13-17.
DANG Dongsheng, HAN Song, ZHOU Jue, et al. Review of demand response participating in power system peak shifting[J]. Power Demand Side Management, 2017,19(5):13-17.
- [2] 徐少华,李建林.提高配电网分布式电源接纳能力的储能系统优化配置技术研究[J].电器与能效管理技术,2017(13):34-38.
XU Shaohua, LI Jianlin. Research of energy storage system's configuration technology to improve distribution network's renewable power adopt capacity[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2017(13):34-38.
- [3] 曹敏,徐杰彦,巨健,等.用户侧储能设备参与电网辅助服务的技术经济性分析[J].电力需求侧管理,2019,21(1):52-55.
CAO Min, XU Jieyan, JU Jian, et al. Technical and economic analysis of user side energy storage equipment participating in power grid ancillary services[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(1):52-55.

- [4] 杨建林,黄一超,费斐,等.不同商业运营模式下储能技术经济效益分析研究[J].电气技术,2018,19(3):80-84.
YANG Jianlin, HUANG Yichao, FEI Fei, et al. Research of economic benefits of energy storage technique under different business operational modes[J]. Electrical Engineering, 2018, 19(3):80-84.
- [5] 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.
YANG Shuting, CAO Zhe, SHI Shanshan, 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.
- [6] 高峰,黄晓东,戎晓波,等.储能电站综合效益评价体系设计研究[J].电源技术,2016,40(3):638-641.
GAO Feng, HUANG Xiaodong, RONG Xiaobo, et al. Design of holistic benefit system of energy storage[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2016, 40(3):638-641.
- [7] 薛金花,叶季蕾,陶琼,等.采用全寿命周期成本模型的用户侧电池储能经济可行性研究[J].电网技术,2016,40(8):2471-2476.
XUE Jinhua, YE Jilei, TAO Qiong, et al. Economic feasibility of user-side battery energy storage based on whole-life-cycle cost model[J]. Power System Technology, 2016, 40(8):2471-2476.
- [8] 张媛.基于无分时电价用户侧分布式储能经济性分析[J].电力学报,2016,31(1):63-66,88.
ZHANG Yuan. The economic analysis of distributed energy storage system to non-time-of-use price at user-side[J]. Journal of Electric Power, 2016, 31(1):63-66, 88.
- [9] 吴善进,崔承刚,杨宁,等.融资租赁模式下储能电站项目的经济效益与风险分析[J].储能科学与技术,2018,7(6):1217-1225.
WU Shanjin, CUI Chenggang, YANG Ning, et al. Analysis of economic benefits and risks of energy storage project under financial leasing model[J]. Energy Storage Science and Technology, 2018, 7(6):1217-1225.
- [10] 苏伟,钟国彬,徐凯琪,等.储能技术经济性评估方法综述[J].广东电力,2019,32(1):29-35.
SU Wei, ZHONG Guoshan, XU Kaiqi, et al. Review of evaluation method for economy of energy storage technology[J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(1):29-35.
- [11] 邢洁,曹哲,张怡,等.储能系统应用于用户侧的技术经济分析[J].电气应用,2017,36(1):26-30.
XING Jie, CAO Zhe, ZHANG Yi, et al. Technical and economic analysis of application of energy storage system on user side[J]. Electrotechnical Application, 2017, 36(1):26-30.
- [12] 熊雄,杨仁刚,叶林,等.电力需求侧大规模储能系统经济性评估[J].电工技术学报,2013,28(9):224-230.
XIONG Xiong, YANG Rengang, YE Lin, et al. Economic evaluation of large-scale energy storage allocation in power demand side[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9):224-230.

作者简介:

郭莉(1976),女,江苏南京人,高级工程师,研究方向为电力系统。

(责任编辑 李雅超)