

用户侧储能设备参与电网辅助服务的技术经济性分析

曹 敏¹,徐杰彦²,巨 健¹,谢 婷²,朱 婧²,肖宝辉²,席雅雯³

(1. 国网陕西省电力公司,西安 710048;2. 国网(北京)节能设计研究院有限公司,北京 100052;3. 北京交通大学 电气工程学院,北京 100044)

Technical and economic analysis of user side energy storage equipment
participating in power grid ancillary services

CAO Min¹, XU Jieyan², JU Jian¹, XIE Ting², ZHU Jing², XIAO Baohui², XI Yawen³

(1. State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710048, China; 2. State Grid (Beijing) Energy Conservation Design and Research Institute Co., Ltd., Beijing 100052, China; 3. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

摘要:随着电力体制改革的深入,电力需求侧管理的成熟,储能产业的快速发展,国家和政府出台了相应的政策,积极鼓励分布式储能设备充分利用需求响应资源,主动参与电网的削峰填谷、调频、旋转备用、黑启动及需求响应等辅助服务。针对目前用户侧储能资源闲置、分布式储能设备没有得到充分利用的问题,结合用户侧典型储能设备参与电网削峰填谷及调频辅助服务的技术经济性算例分析,充分考虑陕西电网的实际情况及其用户侧储能的发展现状,在科学性和可行性相结合的原则下,为促使更多的用户侧储能参与电网削峰填谷及调频辅助服务,从完善现有电价制度、消纳可再生能源和加大政府补贴力度3个方面提出相关建议,推动陕西省加快建设辅助服务市场,带动储能产业快速发展。

关键词:分布式储能设备;需求响应;辅助服务;技术经济性分析

Abstract: With the deepening of the power system reform, the maturity of power demand side management, and the rapid development of the energy storage industry, the state and the government have introduced corresponding policies, actively encouraging distributed energy storage equipment to fully utilize demand response resources, and participate in auxiliary services such as peak clipping, valley filling, frequency regulation, spinning reserve, black start and demand response. In view of the current problem that the user side energy storage resources are idle and the distributed energy storage equipment is not fully utilized, the technical and economic examples of the typical energy storage equipment of the user side participating in the power grid peak-cutting and frequency-adjusting service are analyzed. Then, considering the actual situation of Shaanxi power grid and the development status of energy storage on the user side, the scientific and practical suggestions for improving the existing electricity price system, eliminating renewable energy and increasing government subsidies are proposed. These suggestions will encourage more energy storage users to participate in auxiliary services such as peak load shifting and frequency regulation, and promote the construction of the auxiliary service market in Shaanxi Province and the rapid development of the energy storage industry.

Key words: distributed energy storage equipment; demand response; ancillary services; techno-economic analysis

中图分类号:TK018;F407.61;TM933 文献标志码:B

1 用户侧典型的储能设备及应用场景

新形势下电力体制改革的不断深化推动了储能产业的迅速发展,我国储能产业经过数十年的发展,正处于从示范应用向商业化应用过渡的重要时期。无论是技术层面还是应用空间,储能产业都具有良好的发展前景。目前,政府出台相应的激励政策,完善储能的市场机制,加大资金投入和补贴力

度,鼓励第三方投资者在用户侧建立分布式储能设备,主动参与电网辅助服务,实现互利共赢。

根据应用场景的不同,用户侧分布式储能设备可以实现不同的功能,包括为电网运行提供削峰填谷^[1]、调频、旋转备用、黑启动及需求响应^[2-4]等多种辅助服务,是提升传统电力系统运行灵活性和经济性的重要手段。下面结合陕西电网用户侧储能设备的发展现状,选取3种典型的用户侧分布式储能^[5]设备(电动汽车、蓄热式电锅炉及储能电站)及其应用场景进行分析。

1.1 电动汽车

电动汽车规模的不断扩大,给电网的安全稳定

收稿日期:2018-07-04;修回日期:2018-12-11

基金项目:国家电网2017年科技项目(SGJS0000YXJS1700354)

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation in 2017(No. SGJS0000YXJS1700354)

运行带来了新的挑战^[6-7]。一方面,电动汽车的无序充放电行为将对电力系统的规划和运行产生无法忽略的负面影响,使得电网的峰谷差变大、网损增加、电能质量变差等;另一方面,电动汽车又是良好的移动储能单元,在智能电网发展的背景下,V2G(vehicle to grid)技术的发展不但能够抑制或者消除电动汽车对电网的不利影响,而且能够起到削峰填谷、辅助调频、降低系统运行成本等作用,促进电动汽车与电网协调发展。

1.2 蓄热式电锅炉

根据国家推进电能替代的相关指导意见、推进北方采暖地区清洁供暖的相关政策及国家电网公司“两个替代”的发展战略,采用电锅炉替代燃煤、补充燃气锅炉供暖成为改善采暖季污染、落实电能替代发展战略的重要举措。蓄热式电锅炉一般用于集中式供暖,利用低价谷电或风电、太阳能等可再生能源所发电力加热锅炉蓄热系统,将热量储存起来,达到全部使用低谷电力(全蓄热式)或部分使用低谷电力(半蓄热式)供热的目的。适用于可再生能源消纳压力大、弃风、弃光问题严重,电网削峰填谷需求较大的地区,主要用于建筑采暖、城市热网补热或小型区域供热,可削峰填谷,缩小电力供应峰谷差,优化电网运行结构,且运行成本仅为传统电锅炉的1/3至1/4。

1.3 储能电站

储能电站主要包括物理储能、化学储能、电磁储能3种类型^[8-9]。其中物理储能也称机械储能,主要包括抽水蓄能、飞轮储能、压缩空气储能;化学储能也称电池储能,主要包括铅酸蓄电池储能、锂离子电池储能、钠离子电池储能、液流电池储能等;电磁储能主要包括超级电容储能和超导储能。根据各种储能技术的特点,其应用场景也不尽相同。飞轮储能、超导电磁储能和超级电容器储能主要用于需要提供短时较大的脉冲功率的场合,如:电力系统电压暂降、瞬时停电、提高用户的用电质量、抑制低频振荡及提高系统稳定性等;而抽水储能、压缩空气储能和电池储能多用于系统削峰填谷、大型应急电源及可再生能源并入等大规模、大容量的应用场合。

2 陕西省用户侧储能的发展现状及相关政策

2.1 陕西电网的基本情况

陕西电网位于陕甘青宁电网的东部,是陕甘青宁电网的重要组成部分,电源以燃煤火电为主,占总装机容量的90%。目前,陕西电网的调峰任务主要由省内火电、水电及甘青水电承担。随着经济的快速发展及产业结构的调整,陕西电网的峰谷差进一步加大,需要的调峰能力将进一步增加。同时,陕西电网风电及光电的投产发电,也将需要更大的

调峰容量,迫切需要在负荷中心附近增加调峰容量,消纳当地的可再生能源。

2.2 陕西电网用户侧储能的发展现状

据调研了解,陕西省用户侧储能设备主要有电动汽车、蓄热式电锅炉及储能电站等。电动汽车方面,截止到2017年,陕西全省电动汽车保有量突破1万辆,充电电量突破1亿kWh,达到1.06亿kWh。电动汽车应用于公交、出租及公务与私人乘用车等诸多领域。电采暖方面,陕西电网已建成投运电能替代示范工程9个,促成3.13万户居民实施电采暖,供暖面积275万m²,预计新增采暖电量8 817万kWh。储能电站方面,目前陕西省有2个发电侧储能电站,一是定边县储能综合应用基地一期10 MWh工程,于2017年12月成功并网,该电站以解决光伏电站弃光、提高光伏电站并网电能质量为目的,是目前中国西北地区最大储能电站;二是陕西镇安抽水蓄能电站,于2016年8月开工,预计2022年竣工,是国家在西北布局的第一个抽水蓄能项目,电站装机容量1 400 MW,年发电量23.41亿kWh。

目前陕西省用户侧储能数量较少且位置分散,具有良好的发展空间和潜力,陕西电网应积极借鉴用户侧储能发展较好地区的成功经验,并结合当地电网的实际情况,带动用户侧储能产业的发展。

2.3 陕西电网用户侧储能的相关政策

陕西省政府为了鼓励用户侧储能的快速发展,针对不同种类的用户侧储能设备出台了相应的激励政策。主要包括:①加大资金投入力度,督促省内大中型城市积极规划和加快推进电动汽车充电基础设施建设;②加大政府补贴力度,对城乡居民“煤改电”取暖进行补助,鼓励集中式电采暖用户直接参与电力交易;③对储能电站提供有偿调峰、调频、旋转备用及自动发电控制服务。

3 用户侧储能参与电网辅助服务的技术经济性算例分析

目前,用户侧储能主要用于电网的削峰填谷和调频辅助服务。算例1是某区域电网火电厂联合储能设备为电网运行提供调频辅助服务的经济测算。算例2是以铅碳电池所建立的用于电网削峰填谷辅助服务的储能电站为例,研究电价与储能企业经济效益之间的关系。

算例1:以某区域电网火电厂联合储能调频为例,若建立一个10 MW/5 MWh的磷酸铁锂电池储能电站辅助火电厂调频,建设储能电站的初始投资成本约为3 000万元,电网调度向火电厂调频提供6.5元/MW的补偿。经计算,该储能电站的投资回收期为5年,在第5年可获得120万元的利润。加入储能系统后典

型日自动发电控制(AGC)指令统计如表1所示,加入储能系统后调频性能指标如表2所示,加入储能系统后的经济测算如表3所示。

表1 加入储能系统后典型日AGC指令统计
Tab. 1 Typical day AGC instruction statistics after adding energy storage system

典型日	夏季	冬季	春秋季
指令更新次数/次	288	288	288
指令平均持续时间/s	300	300	300
指令平均调节深度/MW	8	9	8
指令响应次数/次	195	173	134
指令平均响应时间/s	225	275	255
日调频里程/MW	1 560	1 557	1 072
持续天数/天	90	80	160

表2 加入储能系统后调频性能指标
Tab. 2 FM performance index after adding energy storage system

典型日	调节速率 k_1	调节速率 k_2	调节速率 k_3	综合调频性能指标平均值 K
夏季	4.05~4.65	0.93~1	0.9~1	2.48~2.82
冬季	4.12~4.68	0.95~1	0.92~1	2.53~2.84
春秋季	4.21~4.57	0.97~1	0.95~1	2.59~2.79

表3 加入储能系统后的经济测算
Tab. 3 Economic calculation after adding energy storage system

年限	0年	1年	2年
初投资/万元	3 000		
补偿价格/(元·MW ⁻¹)		6.5	6.5
总收益/万元	-3 000.00	-2 318.91	-1 666.42
年限	3年	4年	5年
初投资/万元			
补偿价格/(元·MW ⁻¹)	6.5	6.5	6.5
总收益/万元	-1 042.54	-447.27	119.40

相关计算公式如下

$$R_{\text{月度调频里程补偿}} = \sum_{i=1}^n (D_i \times P_i \times K_i) \tag{1}$$

式中： n 为每月调频市场总的交易周期数； D_i 为发电单元第*i*个交易周期提供的调频里程； P_i 为第*i*个交易周期的里程结算价格； K_i 为发电单元在第*i*个交易周期的综合调频性能指标平均值。其中

$$K_i = 0.25 \times (2 \times k_1 + k_2 + k_3) \tag{2}$$

式中： k_1 = 发电单元实测速率/控制区内AGC发电单元平均标准调节速率(p.u.)； k_2 = 1 - (发电单元响应延迟时间/5 min)； k_3 = 1 - (发电单元调节误差/发电单元调节误差允许)。

算例2:将价格较低但性能可以和锂电池相媲

美的铅碳电池作为储能装置,研究电价与储能企业经济效益之间的关系。铅碳电池作为储能装置的直接经济效益用指数YCC表示

$$YCC = \frac{\text{电价}_{\text{出}} - \frac{\text{电价}_{\text{进}}}{\text{能量转换效率}}}{\frac{\text{输出1 kWh的初投资}}{\text{循环寿命} \times \text{充放电深度}} + \text{输出1 kWh的运营成本}} \tag{3}$$

设铅碳电池的充放电深度为60%,能量转换效率为90%,储能装置的循环寿命为5 000次,输出1 kWh电能的初投资为1 500元,输出1 kWh的运营成本为0.06元,电价_进、电价_出分别为0.30元/kWh、1.00元/kWh时,YCC大于1表示储能企业盈利。求得YCC为1.20,表示储能企业的毛利润为20%。在上述其他参数不变的情况下,输出1 kWh电能的初投资为1 800元是储能企业的盈亏转折点,当输出1 kWh电能的初投资大于1 800元时,储能企业基本没有盈利;反之,当输出1 kWh电能的初投资小于1 800元时,储能企业盈利。输出1 kWh电能的初投资越小,储能企业盈利越多。

若以铅碳电池为例,建立一个10 WM / 20 MWh的储能电站,在上述条件下可知:输出20 MWh电能的初始投资成本为3 000万元,储能电站的毛利润为600万元,由投资回收期公式计算该储能电站的投资回收期约为5年。

$$\text{投资回收期} = \frac{\text{储能电站的初始投资成本}}{\text{储能电站的毛利润}} \tag{4}$$

由铅碳电池作为储能装置的分析可知,电价对储能企业的经济效益影响较大。因此,有必要进一步拉大峰谷电价差,针对不同的储能装置设置专项电价,促进储能产业的发展。

结合上述用户侧典型储能设备参与电网削峰填谷及调频辅助服务的技术经济性算例分析,为促使陕西省更多的用户侧储能设备能够参与电网削峰填谷及调频辅助服务,在科学性和可实施性相结合的原则下,从完善现有电价制度、消纳可再生能源和加大政府补贴力度3方面提出相关建议,以推动陕西省加快建设辅助服务市场,带动储能产业快速发展。

4 充分利用用户侧储能设备参与电网辅助服务的相关建议

结合国内外用户侧分布式储能设备参与电网辅助服务的成功案例,基于陕西省用户侧分布式储能的发展现状及相关激励政策,为进一步提升当地可再生能源的消纳水平,吸引第三方投资者在用户侧建立更多的分布式储能设备,鼓励用户侧分布式储能设备主动参与电网的削峰填谷、调频、旋转备用、

黑启动及需求响应等,针对陕西省用户侧分布式储能设备参与电网辅助服务提出以下3点建议。

(1) 修改和完善现有的电价激励政策,推广现行的分时电价、尖峰电价及可中断电价等,进一步拉大峰谷电价差,为用户侧建立分布式储能创造更多的经济效益。针对电动汽车、电采暖及储能电站等用户侧分布式储能出台专项电价政策。

(2) 陕西电网是西北电网的主要组成部分,由于西北地区特殊的地理位置,风能等可再生能源的消纳压力比较大,且电动汽车充电、电采暖与风力发电具有同时性,高峰都集中在夜晚。建议当地电网可将电动汽车充电、电采暖等用户侧分布式储能与风能等可再生能源的消纳相联系,将弃风电用于电动汽车充电、电采暖等,一方面可降低用户用能成本,另一方面可促进当地可再生能源的消纳。

(3) 当地政府应加大对用户侧分布式储能的补贴力度,鼓励火电厂联合储能为电网提供调频辅助服务,吸引第三方投资者在用户侧建立分布式储能设备;建立智能化负荷管理平台,引导用户侧储能参与电网需求侧管理;完善用户侧储能参与电网辅助服务和需求响应的市场机制。

5 结束语

未来电网的发展方向是智能电网,电网的智能化核心是全面、动态地整合发电侧和用户侧资源,促使更多的用户侧资源参与电网的互动,进而消纳更多的可再生能源。在当下“互联网+”智慧能源发展背景下,用户侧储能是一种缓解电力供需矛盾、降低高峰负荷、促进节能减排的重要手段。随着可再生能源的大规模接入和负荷峰谷差的进一步拉大,需在传统的需求响应负荷控制的基础上,将新能源消纳、电动汽车、蓄热式电锅炉、分布式储能、智能微网、能源互联网、综合能源服务等纳入需求响应的下一步,以电价政策、激励机制、政府补贴为导向,以“分散接入、集中控制”为重点加以展开。用户侧分布式储能大规模接入电网,可以实现电网和用户的互利共赢。对电网而言,用户侧分布式储能大规模接入电网可以增加电网的调峰能力,削减高峰负荷及负荷峰谷差,确保电网安全稳定运行;实现电力负荷管理由强制到自愿的转变,减少电力高峰拉闸限电对企业的影响,有效缓解电网局部“卡脖子”问题;延迟或减少电力系统的投资,提高现有电力系统资产的利用效率;消纳可再生能源,促进以风电及光伏发电为代表的新能源发电技术的发展。对用户而言,用户可获取政府补贴,减少能源费用,并以需求响应能力建设为契机,改进系统能源管理及节能减排能力,提高效率,降低成本。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] 沈运帷,李扬,高赐威,等.需求响应在电力辅助服务市场中的应用[J].电力系统自动化,2017(22):151-161.
SHEN Yunwei, LI Yang, GAO Ciwei, et al. Application of demand response in ancillary service market [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017(22): 151-161.
- [3] 苏新霞,周璇卿.储能应用于需求侧响应的商业模式[J].科技与创新,2017(19):5-6.
SU Xinxia, Zhou Xuanqing. Business model of energy storage applied to demand side response [J]. Science and Technology and Innovation, 2017(19): 5-6.
- [4] 沈运帷,李扬,焦系泽,等.新电改背景下需求响应成本效益分析及其融资渠道[J].电力自动化设备,2017(9):124-130.
SHEN Yunwei, LI Yang, JIAO Xize, et al. Cost-benefit analysis and financing channels for demand response under electric reform [J]. Power Automation Equipment, 2017(9): 124-130.
- [5] 陈海生,刘畅,齐智平.分布式储能的发展现状与趋势[J].中国科学院院刊,2016,31(2):224-231.
CHEN Haisheng, LIU Chang, QI Zhiping. Developing trend and present status of distributed energy storage [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(2): 224-231.
- [6] 鲁刚,王雪,陈昕,等.城市能源变革下智慧能源系统建设研究[J].电力需求侧管理,2018,20(2):1-4.
LU Gang, WANG Xue, CHEN Xin, et al. Research on smart energy system development for city energy revolution [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(2): 1-4.
- [7] 徐文红.国家电网公司研讨城市能源变革和综合能源服务[J].电力需求侧管理,2018,20(1):8.
XU Wenhong. State Grid Corporation researches city energy change and comprehensive energy service [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20 (1): 8.
- [8] 王成山,武震,李鹏.分布式电能存储技术的应用前景与挑战[J].电力系统自动化,2014,38(16):1-8,73.
WANG Chengshan, WU Zhen, LI Peng. Prospects and challenges of distributed electricity storage technology [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38 (16): 1-8, 73.
- [9] 张陶.分布式发电机组微网方式接入智能配电网研究[J].供用电,2011,28(4):28-30.
ZHANG Tao. Micro-grid accessing method research of distributed generator unit to smart distribution network [J]. Distribution & Utilization, 2011, 28(4): 28-30.

作者简介:

曹敏(1980),男,陕西延安人,硕士,高级工程师,主要研究方向为电网及储能相关技术和政策研究。