

配电网分布式储能运营模式及应用价值研究

时智勇¹,洪博文¹,黄碧斌¹,闫 湖¹,高 骞²,王义贺³

(1. 国网能源研究院有限公司,北京 102209;2. 国网江苏省电力有限公司,南京 210024;

3. 国网辽宁省电力有限公司 经济技术研究院,沈阳 110015)

Research on distributed energy storage operation mode and application value of distribution network

SHI Zhiyong¹, HONG Bowen¹, HUANG Bibin¹, YAN Hu¹, GAO Qian², WANG Yihe³

(1. State Grid Energy Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

3. Economic Research Institute, State Grid Liaoning Electric Power Company, Shenyang 110015, China)

摘要:分布式储能是提高配电网高效运行水平以及保障可靠供电的重要技术措施。针对分布式储能在配电网中的功能定位,提出替代投资、保障供电和辅助服务3类基本应用场景,在此基础上根据监管和市场2种环境,分析电网企业和社会资本投资界限,并提出2类主体投资建设的配网侧分布式储能项目典型运营模式、盈利模式。构建固定式储能周期性移峰以及移动式储能非周期性移峰2种典型模式的技术经济模型,比对配网设施的投资替代分析项目的可行性,案例结果表明,固定式储能在“杠杆效益”显著场景下,移动式储能达到一定的利用次数时,技术经济性好于配电网升级改造。

关键词:分布式储能;配电网;运营模式;应用价值

Abstract: Distributed energy storage on the distribution network becomes an important technical measure to ensure reliable power supply and improve the efficient operation of the power grid. Aiming at the functional positioning of distributed energy storage in the distribution network, three basic application scenarios of alternative investment, guaranteed power supply and auxiliary service are proposed. On this basis, the grid enterprise and social capital investment boundaries are analyzed according to the regulatory and market environments. And two typical types of main investment construction of the distribution network side of the distributed energy storage project typical operating mode, profit model are put forward. Constructing a technical and economic model of two typical models of fixed energy storage periodic peak shift and mobile energy storage non-periodic shifting, comparing the feasibility of investment substitution analysis projects of distribution network facilities, the case results show that fixed energy storage in the scenario of “leverage benefit”, and the mobile energy storage reaches a certain number of utilization times, the technical economy is better than upgrading the distribution network.

Key words: distributed energy storage; distribution network; operation mode; application value

0 引言

储能可实现能源开发利用不同时间尺度的解耦,成为能源生产、转换、存储、消费重要环节之一。分布式储能单体容量小,环境适应性高,可因地制宜,灵活安装,在提升能源综合利用水平、降低用能成本、促进分布式电源接入、保障供电、需求响应等方面具有重要作用^[1-2]。

得益于清晰的商业模式,我国分布式储能多集中在用户侧,在配网侧的应用起步较晚。电网公司和储能运营商在投资监管、商业模式以及盈利模式方面的区别尚不清晰,分布式储能应用场景不同,其功能定位存在差异,项目价值评估也有待进一步分类研究。运营模式方面,文献[3]介绍了储能在电力系统中的作用,给出了面向发电侧、电网侧和用户侧3种运营模式,但电网侧储能盈利模式尚未提及;文献[4]介绍了分布式储能面向电网的规划和关键技术,并对国内外商业模式进行阐述,对于电网公司与社会资本投资建设储能的界限鲜有介绍;价值评估方面,文献[5]、文献[6]阐述了储能支撑大规模分布式光伏接入的价值评估以及分布式光伏-储能系统的经济性,涉及的价值研究较为单一;文献[7]阐述

收稿日期:2019-07-18;修回日期:2019-08-04

基金项目:国家重点研发计划项目资助(2016YFB0900100);国家电网公司科技项目(5419-201957216A-0-0-00)

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No.2016YFB0900100); Science and Technology Project of State Grid Corporation (No.5419-201957216A-0-0-00)

中图分类号:TM933;TK018;F407.61 文献标志码:B

了分布式储能的商业模式和经济性,但其研究的焦点仍集中在客户侧或联合火电机组调频,对独立的电网侧分布式储能价值研究较少。本文根据分布式储能的功能定位分析其在配网侧的基本价值和3种运营模式,并从固定式储能和移动式储能2种形态阐述项目的可行性和经济性,为电网公司以及储能运营商投资应用分布式储能提供参考。

1 配电网分布式储能基本功能

与用户侧分布式储能不同,配网侧分布式储能直接接入公用配电网并独立运行,在满足一定技术条件下接受调度统一管理,其功能定位是服务电网运行和保障供电。从电网应用的角度看,根据配网侧分布式储能的作用不同,可分替代投资、保障供电以及辅助服务3类。

1.1 替代投资

(1) 缓解线路或设备过载

配电网分布式储能通过统一调度,可有效提高电网设备利用率,减缓线路或设备过载。一方面可节省满足短时最大负荷而新增的电网建设投资。电网规划建设以满足最大负荷需求为导向,而某一区域内全年最大负荷持续时间往往很短,季节性生产、节假日、大型赛事活动等导致短时负荷超过线路、变压器额定容量,通过分布式储能的峰值时移替代线路升级扩容,可有效缓解设备过载,提高电力设施利用率。另一方面,部分供电设施接近满负荷运行,未来负荷增长缓慢,通过配置储能可延缓供电设施的扩容改造^[8]。

(2) 缓解线路拥塞

随着电力系统负荷的增加或故障发生后潮流的转移,部分线路输送的功率可能上升到接近其功率输送上限,从而形成线路拥塞。发生拥塞后,一方面,由于其功率输送达到上限,线路容易出现安全问题;另一方面,线路负荷需求可能无法满足,从而引发切负荷事件。储能具有能量时移和紧急功率支撑的作用,若能够将储能配置在能量需求较大处,可在负荷需求不大时或系统正常运行时存储部分能量,在潮流重载时快速提供能量支撑,减少对重载线路输送功率的需求,从而缓解线路拥塞。

(3) 促进分布式电源接入

分布式电源高比例接入电网配置分布式储能,可有效解决配电网薄弱地区的“低电压”或分布式电源接入后引起的“高低电压”问题。储能建设方式灵活,既可建设规模化的储能电站,也可以分散布置在电网末端,基本不受地理条件的限制,接入电网末端时,能够有效解决因中低压线路供电半径过长引起的“低电压”问题。分布式光伏发电具有

午间出力最大、日落后无出力的特点,易导致并网点白天“高电压”、晚间“低电压”问题,通过储能协同优化控制,可有效解决该类电压质量问题。

1.2 保障供电

(1) 保障尖峰供电

近年来多个地区负荷快速增长,峰谷差逐渐扩大,常规电源发电容量被新能源挤占,备用资源不足,系统调峰困难,特别是在夜晚光伏发电快速下降,用电负荷快速提升的时段,电网面临较大的尖峰负荷平衡压力。2018年江苏电网最高调度用电负荷同比增长近10%,达到11 200万kW,高峰时段电力供应将面临约440万kW的缺口。分布式储能可在用电低谷时段充电,高峰放电,满足保障供电的需求,同时分布式储能减少局部区域内常规电源装机容量、开机容量和备用容量,节省系统成本。

(2) 微电网应用

一方面,通过储能提高分布式电源自发自用率,维持电网频率电压稳定,保障孤岛状态下微电网内供需自平衡,并网模式下维持并网点功率平衡,提高微网整体运行效率;另一方面,在微电网中配置储能设施,可解决大电网无法延伸覆盖的偏远山区、海岛等地区的供电问题。我国西藏、新疆等地还存在部分大电网无法延伸覆盖的地区,包括一些海岛也存在电网供电难问题。此类地处偏僻的区域,远离大电网,且负荷很小,通过通大电网延伸解决供电问题需要投入巨额成本。

1.3 辅助服务

配网侧分布式储能可为电力系统提供多种形式的辅助服务。调峰方面,储能具有2倍自身容量的调峰能力,既可以移峰亦可以填谷;调频方面,储能具有毫秒级响应速度,是优质的调频资源,其调频性能可到达普通火电机组的20余倍;调压方面,储能可实现容性无功到感性无功连续平滑的输出,由于蓄电池提供直流侧电压支撑,其稳定性要高于常规电容器和静止无功发生器,可应用于配电网调压、负荷侧电能质量改善等场合;紧急功率支撑方面,可通过“热备用转放电”以及“充电转放电”快速切换方式实现源网荷储精准协调控制,支撑电网频率^[9]。

2 分布式储能运营模式

配电网分布式储能主要服务于电网运行及保障供电。电网公司是配网侧储能的最大的用户,如果社会资本投资此类项目,则缺乏可预期的盈利模式,而电网公司投资又受到严格监管。

2019年国家发改委发布的《输配电定价成本监审办法(修订征求意见稿)》中明确规定电储能设施不得计入输配电定价成本。在国家推动储能降低

成本、提高性能最终走市场化运营道路的大趋势下,配网分布式储能有特殊的应用场景和应用价值,宜从市场和管制2方面分类施策。如图1所示,各主体之间的业务流和资金流不同,构成了多种运营模式。按照“宜市场则市场、宜管制则管制”的原则,将配网侧分布式储能分为管制化运营和市场化运营2种模式。

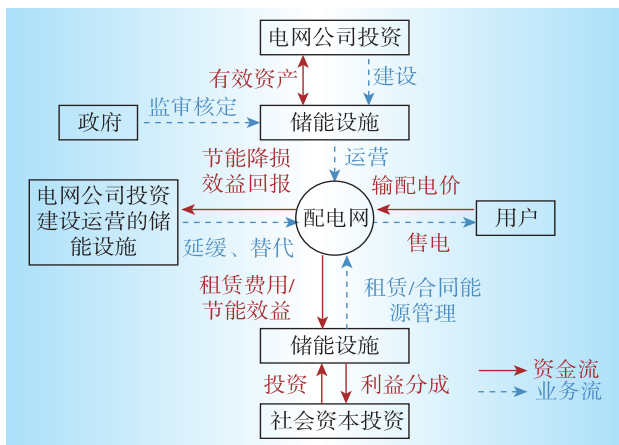


图1 配电网分布式储能运营模式

Fig. 1 Operation mode of distributed energy storage

(1) 储能管制化运营

适用场合:为保障负荷供电,但土地资源紧张,地下综合管廊利用饱和,难以新建电源点、变电站和扩建通道;应对短期负荷突增,短时间内无法新建电源或扩建线路;边远山区、牧区、海岛、边防等大电网无法覆盖或成本过高的供电区域等。

基本特征:此类储能作为电网运行的必要电力设施,主要用于保障可靠供电,社会价值难以量化分析,项目与电网运行密切相关,需随时接受调度机构的调配以满足最佳替代效果,不具备脱离调度独立运行的特征。电网公司对电力设备运行状态了解全面,电网公司应全面负责该类储能项目的规划和容量配置。因潮流具有不确定性,储能使用频率无法得到保障,部分项目的经济效益难以预期。

运营模式:一方面,可由电网公司投资运营,相关成本纳入有效资产,通过输配电价准许收入进行疏导;另一方面,可由社会资本投资建设,电网公司或储能运营商运营,社会企业与电网公司签订租赁合同或购买服务合同,保障投资者收益,电网企业租赁费用、购买服务费用作为准许成本,纳入输配电价进行疏导。

(2) 储能市场化运营

适用场合:分布式储能较常规输配电设施升级改造具有成本优势。

基本特征:此类项目可进行明确的量化分析,投资者有可预期的盈利模式,项目主体自负盈亏。

运营模式:投资建设主体可以为电网公司或社

会企业,对于电网公司投资建设的储能项目,通过节能降损,提高线路利用率,延缓电网投资等方式获得效益回报;对于社会资本投资储能项目,通过与电网公司开展合同能源管理,以项目节能收益在投资者和电网公司之间进行利益分成,或通过参与辅助服务市场、电量市场盈利。

分布式储能在保障供电和辅助服务方面的运营模式相对清晰,分别对应管制化和市场化。本文着重分析分布式储能投资替代的应用价值。

3 配电网分布式储能应用价值

3.1 固定式储能周期性移峰

固定式储能周期性移峰主要应用于潮流稳定且呈现周期性规律の場合。如:某商业中心负荷高峰时,S11-3150 kVA/35/10变压器工作接近饱和,输电线路满载,负荷稳定并缓慢增长,预计年增长率6%,为保障供电可得性和可靠性,提出电网改造与安装分布式储能2种方案,其中基准贴现率取8%。

线路改造方案:按未来10年负荷水平,将变压器容量提升至8 MVA,成本40万元。因城区施工复杂,改造线路、更换开关柜、建设施工等总费用200万元,年维护费用5万元,设计生命周期10年。经计算,线路改造方案费用年值40.76万元。

储能方案:相同的负荷增长水平下,安装4 MW/4 MWh锂电池储能系统,负荷低谷时充电,用电尖峰时放电。如式(1)所示,储能初始投资包括站址建设、电池本体、功率变流器以及其他配套设备,运营期成本主要为运维费用

$$\begin{aligned} C_{CN} &= C_f + k_{ex} P_{se} + k_{se} Q_{se} \\ C_{YW} &= C_{op} Q_{se} \\ P_{max} &= P_{se} \eta (1 - \lambda_{DOD})^{n/1000} \end{aligned} \quad (1)$$

式中: C_{CN} 为储能系统初始投资,万元; C_f 为站址建设成本,万元; k_{ex} 为电能转换设备以及其他连接设备的单位功率造价,万元/MW; P_{se} 为蓄电池额定充放电功率, MW; k_{se} 为储能系统的单位容量造价,万元/MWh; C_{op} 为单位容量运维成本,万元/MWh; Q_{se} 为储能系统的额定容量, MWh; C_{YW} 为储能系统年运维成本,万元; P_{max} 为系统实际需要的最大功率, MW; η 为电池转换效率,锂电池取95%; λ_{DOD} 为电池1000次深度放电(100%充放电)功率损失百分数,锂电池取1.7%, n 为电池循环次数。其中综合成本3500元/kWh,日循环一次,10年后报废且资产余值为0,年维护费用2万元。经计算,储能方案费用年值201.6万元。

经对比,储能的成本明显高于线路的扩容改造投资,若使得储能具有经济效益,需降低储能成本以及提高循环次数。固定式储能通过峰值时移延

缓配电网扩容改造应充分发挥自身的“杠杆作用”,优先应用于负荷过载量相对于电网额定容量较小、负荷增长缓慢且峰荷持续时间较短的线路,优先应用于电网升级成本较高的涉及征地、拆迁、新建电源点、变电站等的场合。

3.2 移动式储能非周期性移峰

移动式储能主要应用于应急供电以及电力设施短时过载。如图2所示为某地区制茶季典型日负荷曲线,清晨与夜间负荷较低,基本在经济运行效率60%以下,15:00后,摇青机、烘干机大功率制茶设备集中开启,晚高峰最大负荷达到了354 kW,超过变压器额定功率315 kVA运行接近2 h,严重影响供电可靠性^[10]。

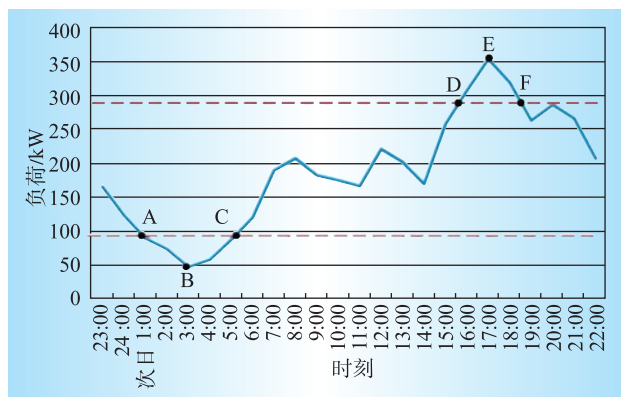


图2 制茶季日负荷曲线

Fig. 2 Daily load curve of tea season

线路改造方案:按10年负荷增长至440 kW考虑,将315 kVA变压器更换为S11-500 kVA/10 kV型号变压器,即负荷增长至变压器容量85%,变压器价格6万元,线路改造、施工等总费用5万元。改造后保证了设计生命周期内可靠供电,但设备利用率由60%降低至38%。

移动式储能方案:同样考虑440 kW的负荷增长,以变压器85%额定容量为控制目标。

储能容量约束,充电容量应大于放电容量

$$A_{S-ABC} \geq \eta A_{S-DEF} \quad (2)$$

式中: A_{S-ABC} 为储能充电容量, MWh; A_{S-DEF} 为储能放电容量, MWh。

储能功率约束,放电功率大于系统最大功率与维持系统目标功率之差

$$P_{\max} \geq P_E - P_D \quad (3)$$

式中: P_E 为负荷最大功率, kW; P_D 为系统目标控制功率, kW。

控制目标与最大峰值负荷所围成的面积为储能容量,通过封闭式曲线面积计算方法得出容量为339 kWh。系统最大功率减去变压器85%的目标功率为储能功率,即172.25 kW。考虑转换效率,储能容量取180 kW/360 kWh,综合成本同固定式储能,10年后

报废且资产余值为零,年运行与维护费用2万元。

经计算,设计生命周期内,线路改造费用年值1.639万元,移动式储能费用年值20.774万元,移动式储能仍不具有经济性。若考虑移动式储能在不同线路执行任务,间接避免了多条线路的改造,同时移动式储能能够提供应急供电,应对节假日、大型活动等局地负荷短时突增,年利用频率可达到多次,综合看来,移动式储能的经济优势更为明显。

4 结束语

功能定位不明确以及商业模式不清晰是制约配网侧分布式储能发展的关键因素。本文提出替代投资、保障供电和辅助服务3类分布式储能应用场景,根据“宜市场则市场、宜管制则管制”的原则将配网侧分布式储能分为管制化运营和市场化运营两种模式。选取替代投资场景下固定式储能周期性移峰和移动式储能非周期性移峰2种模式进行技术经济分析,固定式储能在“杠杆效应”显著的场景下,即以较小的储能容量替代较高成本的电网改造时,投资替代效益显著,移动式储能的效益与替代线路的条数、利用频率密切相关,宜综合考虑系统需求合理配置。D

参考文献:

- [1] 李文启,李朝晖,杨海晶,等.需求响应下分布式储能协调运行策略研究[J].电力需求侧管理,2018,20(3):11-14.
LI Wenqi, LI Zhaohui, YANG Haijing, et al. Research on coordinated strategy of distributed battery energy storage in demand response [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(3):11-14.
- [2] 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.
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.
- [3] 唐西胜.储能在电力系统中的作用与运营模式[J].电力建设,2016,37(8):2-7.
TANG Xisheng. Applications and marketing mode of energy storages in power system [J]. Electric Power Construction, 2016, 37(8):2-7.
- [4] 李建林,马会萌,袁晓冬,等.规模化分布式储能的关键应用技术研究综述[J].电网技术,2017,41(10):3365-3375.
LI Jianlin, MA Huimeng, YUAN Xiaodong, et al. Overview on key applied technologies of large-scale distributed energy storage [J]. Power System Technology, 2017, 41(10):3365-3375.

(下转第25页)