

Optimization configuration and benefit analysis of energy storage in power system

Dianli Liu

State Grid Beijing Daxing Power Supply Company, Beijing, 102600, China

Abstract

Against the backdrop of global efforts to promote energy transition, the installed capacity and power generation of renewable energy represented by solar and wind energy in the power system are gradually increasing. However, the inherent intermittency, volatility, and randomness of renewable energy pose serious challenges to the safe and stable operation of the power system to a certain extent. With the acceleration of energy transformation, the proportion of renewable energy in the power system continues to increase. Energy storage technology, as a key technical support, plays an important role in optimizing the configuration of energy storage in the power system to improve its stability, reliability, and economy. This article deeply explores the value and basic points of optimizing energy storage configuration in the power system, and comprehensively analyzes its benefits, in order to improve the performance of the power system and create more considerable economic and social benefits through scientific and reasonable energy storage optimization configuration.

Keywords

power system; Energy storage; Optimize configuration; Benefit analysis

电力系统储能优化配置及效益分析

刘殿礼

国网北京大兴供电公司, 中国·北京 102600

摘要

基于全球推动能源转型的现实背景,以太阳能、风能为代表的可再生能源在电力系统中的装机容量和发电量占比逐步攀升。然而,可再生能源本身固有的间歇性、波动性和随机性,在一定程度上给电力系统的安全和稳定运行带来了严峻挑战。随着能源转型的加速,可再生能源在电力系统中的占比不断提高,储能技术作为关键的技术支撑,电力系统储能优化配置对于提升电力系统的稳定性、可靠性和经济性具有重要意义。本文深入探讨了电力系统储能优化配置的价值意义和基本要点,并对其效益进行了全面分析,以期通过科学合理的储能优化配置,改善电力系统性能,创造更加可观的经济效益和社会效益。

关键词

电力系统; 储能; 优化配置; 效益分析

1 引言

储能技术本身是一种能够灵活调节电能的手段,恰当

【作者简介】刘殿礼(1977.11),男,汉,北京,本科,助力工程师,研究方向:电力系统储能优化配置及效益分析。本人1997年到大兴供电公司参加工作,先后参加农网改造一二期改造工作。工作中克服各种难题,修订技术标准,圆满完成各项改造任务。工作一直从事线路台区运维工作,整治编写各类运维隐患排查、事故处理典型经验,2016年获得技师技能等级。先后担任工作负责人、运维班长等工作。获得北京华商电灯有限公司先进工作者、三场重大活动供电保障先进个人、三场重大活动供电保障先进个人。

合理地应用储能技术,能够在电力供需不平衡时储存和释放能量,从而有效地平抑功率波动,从整体上提升电力系统的调节能力。近几年,伴随着储能技术的完善和广泛应用,其已逐渐发展成为构建新型电力系统和促进可再生能源消纳的关键支持。到今天,中国储能产业发展势头强劲,新型储能装机规模也在不断创造新高。在此形势下,深入地研究电力系统储能优化配置及效益分析,对于充分发挥储能价值,推动电力行业可持续发展具有深刻意义。^[1]

2 电力系统储能优化配置的价值意义

2.1 有助于提升电力系统运行的稳定性

过去,传统的电力系统主要依靠同步发电机的惯性来维持频率稳定。近几年,伴随着可再生能源的大规模接入,电力系统中同步发电机占比有所下降,系统惯性减弱,频率

稳定性也因此面临着较大的风险。储能系统具有快速的功率响应能力，它能够在电网频率出现波动时迅速充放电，对频率偏差进行有效补偿。当电网频率下降时，储能系统可以实现快速放电，增加系统有功功率注入，从而有效的阻止频率进一步下降。而当频率上升时，储能系统又能够快速充电，吸收多余功率，稳定频率。储能系统的这一特性将能够有助于增强电力系统应对突发功率变化的能力，减少频率的波动幅度，达到维持系统稳定运行的效果。

2.2 有助于促进可再生能源消纳

可再生能源发电受自然条件的影响较大，发电功率存在的不确定性导致其可能无法完全按照计划并网发电，弃风、弃光现象也时有发生。储能系统可在可再生能源能够发电过剩时储存电能，在发电不足和用电高峰时释放电能，达到“削峰填谷”的作用。储能系统能够很好地平滑可再生能源出力曲线，使其更接近负荷需求曲线，以此来有效提高可再生能源在电力系统中的消纳比例。尤其是在一些大型风电、光伏基地，通过合理配置储能系统，在新能源发电高峰期，能够将多余电量储存起来，并将这些电量在发电低谷期释放，以此有效的保障新能源稳定输出，提升新能源在电力系统中的可利用率。

2.3 有助于降低电力系统运行成本

从发电侧的角度进行分析，储能系统能够辅助火电机组进行深度调峰，减少火电机组因频繁启停或深度调峰带来的额外损耗和燃料成本。当负荷低谷时，储能系统充电，相应地能够减少火电机组发电出力，从而避免机组在低效区运行。在负荷高峰时，储能系统又可以通过放电，减轻火电机组的发电压力，提高火电机组整体的运行效率。从用户侧角度来看，用户能够利用储能系统在电价低谷时充电，电价高峰时放电，从而通过峰谷电价差套利，适当地节省自身的用电成本。对于电网企业而言，合理配置储能还能够有助于延缓、减少其对输配电网设施的升级改造投资，提升电网运行的经济性，创造经济价值。^[2]

3 电力系统储能优化配置的基本要点

3.1 储能技术选型

目前能够应用于电力系统的储能技术种类十分多样化，其中包括以锂电池、铅酸电池等为代表的电化学储能、诸如抽水蓄能、飞轮储能等的物理储能，以及以超级电容器储能为典型的电磁储能等。不同类型的储能技术在能量和功率密度、充放电效率、循环寿命、响应速度、建设与运行成本等各个方面特点不同，也各有优劣。具体而言，锂电池往往具有较高的能量密度和功率密度，它响应速度快，循环寿命长，因此广泛适用于对功率响应和能量存储要求较高的场景，比如电网调频、用户侧峰谷套利等；抽水蓄能技术更加成熟，容量较大，成本也相对较低，但是该技术的建设受地理条件

限制较大，相对而言更适用于大规模、长时间的能量存储和调峰场景；超级电容器储能功率密度高，响应速度极快，循环寿命长，但是它的能量密度较低，一般适用于短时间、高功率的功率补偿场景，比如用来改善电能质量、应对暂态功率冲击等场景。在进行储能优化配置时，需要相关单位根据电力系统的具体应用场景和技术要求，再综合考量经济指标等因素，在综合评估的基础之上，选择最适宜的储能技术或多种储能技术的组合。

3.2 储能容量配置

储能容量配置是储能优化配置的核心问题之一，容量大小将直接影响储能系统的性能和经济效益。容量配置需要综合考虑多方面因素：一是电力系统的负荷特性，包括日负荷曲线、峰谷差、负荷增长趋势等。在配置时，需要首先通过分析负荷特性，确定储能系统需要承担的功率和能量调节任务，以满足削峰填谷、保障供电可靠性等需求。二是可再生能源发电特性，包括发电功率的波动范围、预测误差、出力变化规律等。需要结合可再生能源发电特性，配置合适容量的储能系统，用于平抑功率波动、提高发电可预测性。三是储能系统自身的技术参数，比如充放电效率、自放电率、循环寿命，等等。这些参数会影响储能系统实际可用容量和运行成本，也需要在容量配置时予以充分考虑。最后则还要考虑经济性因素，如储能系统的投资成本、运行维护成本、参与电力市场的收益等。需要相关单位建立经济模型，以经济效益最大化或成本最小化为目标，通过优化算法求解出最优的储能容量。常用的储能容量配置方法有基于负荷跟踪的方法、基于优化算法的方法、基于经验公式的方法等，通常而言，基于优化算法的方法能够综合考虑多种约束条件和目标函数，更精确地确定最优储能容量。^[3]

3.3 储能选址布局

储能选址布局对电力系统的影响同样至关重要，合理的选址将有助于提高储能系统的利用效率，增强其对系统的支撑作用，有效地降低输电损耗。在电源侧，储能选址通常需要结合新能源发电场站的地理位置、出力特性以及电网接入情况。对于集中式新能源发电基地，储能可以配置在新能源场站内部或附近，这样能够便于就地消纳多余电能，提升新能源发电的稳定性和可调度性。对于分布式新能源发电，储能可分散配置在各分布式电源附近，促进分布式能源的高效利用。在电网侧，储能选址应当充分考虑电网的薄弱环节、负荷分布、输电网络结构等相关因素。一般建议优先选择在负荷中心附近、电网阻塞区域或电压稳定性较差的节点，以此来缓解电网供电压力、改善电压质量、减少输电损耗。在用户侧，储能选址则主要依据用户的用电需求和用电特性，例如工商业用户可将储能配置在工厂或商业建筑内部，可以利用峰谷电价差降低用电成本，同时还可以在电网故障时提供备用电源，以此保障重要负荷用电。

4 电力系统储能优化配置的效益分析

4.1 经济效益

4.1.1 参与电力市场收益

在电力市场环境下,储能系统可以通过参与电能市场、辅助服务市场等方式来获取经济收益。在电能市场中,储能系统可以利用峰谷电价差进行套利。例如,在电价低谷时段充电,在电价高峰时段放电,从而可以将低价电转换为高价电出售,从中获取差价收益。在辅助服务市场中,储能系统能够电力系统提供调频、调峰、备用等多种辅助服务并获得相应补偿。以调频服务为例,储能系统能够凭借快速的响应速度和精确的调节能力,有效地跟踪电网频率变化,为其提供高质量的调频服务,并能够根据提供的调频里程或调频容量来获得补偿收益。据相关案例分析,某50MWh独立储能项目,在调峰补偿1元/kWh、年调用500次的情况下,内部收益率可达9.7%。

4.1.2 节省发电成本

对于火电企业而言,储能系统能够辅助火电机组进行深度调峰,有效地减少火电机组频繁启停次数,降低设备损耗和维护成本,同时还能够提高火电机组在部分负荷工况下的运行效率,降低燃料消耗成本。对于一些可再生能源发电企业,通过合理地配置储能系统,将有助于提高可再生能源发电的稳定性和可预测性,减少因发电波动导致的弃电损失,增加发电收益。此外,储能系统还可帮助可再生能源发电企业更好地参与电力市场竞争,提升企业经济效益。

4.1.3 延缓电网投资

伴随着中国电力需求的增长和可再生能源的大规模接入,电网面临着升级改造的压力。合理配置储能系统将能够在一定程度上延缓或减少对输电线路、变电站等电网设施的投资。对于负荷增长较快的区域,通过配置储能系统进行削峰填谷,从而有效降低该区域的峰值负荷需求,延缓其对输电线路扩容或新建变电站的需求。在电网阻塞区域,利用储能系统在负荷低谷时存储电能,在高峰时释放,可以用来缓解输电线路的阻塞情况,以此能够减少对电网改造的投资。

4.2 社会效益

4.2.1 提高供电的可靠性

储能系统可以作为备用电源,在电网故障、停电时为重要用户和关键负荷提供电力保障,以此来缩短停电时间、减小停电范围,提高社会整体供电可靠性。尤其是对于医院、

金融机构、交通枢纽等单位,这类单位具有社会公益性,对供电可靠性要求极高,停电影响巨大,储能系统的备用电源功能尤为重要,合理的储能配置能够避免因停电造成的重大损失和社会影响。

4.2.2 促进能源可持续发展

储能技术的广泛应用将有助于大规模可再生能源的接入和消纳,减少其对传统化石能源的依赖,有效地降低碳排放,有利于推动中国能源结构向清洁、低碳、可持续方向转型。这对于应对全球气候变化、实现“双碳”目标具有重要意义,符合国家可持续发展战略和社会绿色可持续发展的需要。

4.2.3 改善电能质量

储能系统能够快速响应电网电压和频率的变化,对电能质量进行有效调节。储能系统可以通过抑制电压波动、闪变,补偿无功功率,有效地改善谐波污染等,为用户提供更加稳定、优质的电能,提高用电设备的运行效率和使用寿命,减少因电能质量问题导致的设备损坏和生产损失,为社会生产生活的正常进行提供良好的保障支持。

5 结语

电力系统储能优化配置在提升电力系统稳定性、促进可再生能源消纳、降低运行成本等方面具有不可替代的价值意义。本文从储能技术选型、容量配置和选址布局等方面,对电力系统储能优化配置的基本要点进行了阐述。在此基础上,本文进行了电力系统储能优化配置的效益分析,储能优化配置不仅能为相关市场主体带来显著的经济效益,还能产生巨大的社会效益,对推动能源转型、保障能源安全、促进社会可持续发展起到关键的支撑作用。

参考文献

- [1] 陈云瑶,陈玉州,加央拉姆,张清渊,郑子萱,姜山,李杰,熊思源.兼顾保供与消纳的高比例清洁能源系统储能优化配置运行策略[J].储能科学与技术,2025,14(05):2043-2056.
- [2] 彭穗,龚贤夫,刘新苗,卢洵,吴云芸,薛熙臻,周博,艾小猛.计及直流调节能力的含风电电力系统储能优化配置[J].中国电力,2022,55(01):37-45.
- [3] 张德隆,MUBAARAK Saif,蒋思宇,王龙泽,刘金鑫,陈永聪,李美成.基于概率潮流的光伏电站中储能系统的优化配置方法[J].储能科学与技术,2021,10(06):2244-2251.