

新能源接入下电力工程储能系统容量配置研究

韦伟中¹，回 慧¹，赵潇凡¹，潘大伟²

(1. 中石大蓝天(青岛)石油技术有限公司, 山东 青岛 266400;

2. 山东石油化工学院, 山东 东营 257000)

摘 要 随着全球对清洁能源的需求日益增长, 新能源接入电力系统中的比例日益提高。然而新能源间歇性、波动性使电力系统运行难以稳定。储能系统是平抑新能源功率波动、提高电力系统稳定性的重要手段, 其容量配置的合理至关重要。本文对新能源接入下电力工程储能系统容量配置问题进行了深入研究, 分析了影响容量配置的因素、常用的容量配置方法, 并对未来发展趋势进行了展望, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 新能源; 间歇性; 波动性; 电力系统; 储能系统

中图分类号: TM73

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.025

0 引言

在全球能源转型的大背景下, 以太阳能、风能为代表的新能源因其清洁、可再生的特性, 正逐步成为电力供应的重要组成部分。而这种发电不稳定特性给电力系统的功率平衡、频率和电压控制带来很大的困难。为有效应对这些问题, 将储能系统引入电力工程领域^[1]。储能系统可以在新能源发电过剩时储存电能, 在发电不足或用电高峰时释放电能, 以起到调节电力供需, 平抑功率波动, 提高电力系统稳定性的作用。因此, 如何合理配置储能系统容量是新能源接入背景下电力工程领域的研究热点和关键问题^[2]。

1 新能源接入对电力系统的影响

1.1 功率平衡问题

在传统电力系统中, 发电与用电基本保持实时平衡。但新能源具有间歇性与波动性, 发电侧功率输出难以准确预测控制。当新能源发电功率突然增加, 电网不能及时消纳时, 将出现功率过剩情况; 反之, 当新能源发电功率骤减, 而负荷要求不变时, 电力系统将出现功率短缺的情况^[3]。这种功率不平衡不仅会影响电力系统的正常运行, 严重时甚至会导致系统崩溃。

1.2 频率稳定性问题

电力系统的有功功率与频率关系甚密。新能源接入后, 由于其功率波动, 使系统的有功功率平衡被打破, 进而影响系统的频率。当新能源发电功率突然下降时, 系统有功功率缺额增加, 频率下降; 反之, 当新能源发电功率突然上升时, 系统频率上升。频率的大幅波动会损害电力系统中的各种设备, 影响设备的使用寿命和运行效率, 甚至产生连锁故障, 威胁电力系统的安全稳定运行。

1.3 电压稳定性问题

新能源发电设备多通过电力电子装置接入电网, 发电设备输出功率变化造成电网电压波动。例如: 光伏发电系统中, 光照强度增强输出功率增大, 无功补偿不足, 会引起电网电压升高; 光伏发电系统在夜间或光照弱时停止工作, 可能会引起电网电压下降。另外, 新能源接入位置、容量不合理也会影响到电网电压分布, 造成部分节点电压超出允许范围, 影响电力系统电能质量和设备正常运行。

2 储能系统在新能源接入电力系统中的作用

2.1 平抑新能源功率波动

储能系统可以在新能源发电功率波动时储存能量和释放能量。在新能源发电功率上升大于负荷需求时, 储能系统将多余的电能储存; 当发电功率下降小于负荷需求时, 储能系统释放储存的电能, 补充功率的缺失, 从而能够有效抑制新能源功率的波动, 使得接入电网的功率更加平稳, 减轻对电力系统的冲击。此外, 储能系统还能在电网用电低谷时段, 主动储存电能。此时电网负荷较低, 电价往往更为优惠, 储能系统利用这一特点储备能量, 待用电高峰时段到来时释放。用电高峰时电力需求大增, 电网压力剧增, 储能系统释放的电能可缓解供电紧张局面, 实现电力的移峰填谷。而且, 它还能提升电网对新能源的消纳能力, 让更多清洁的新能源得以有效利用, 减少弃风、弃光现象, 推动能源结构向绿色低碳转型, 助力构建更加稳定、高效、环保的电力体系。

2.2 提高电力系统稳定性

储能系统能够通过调节功率平衡, 保持电力系统

的频率和电压稳定。在频率方面,当系统频率下降时,储能系统快速释放电能,增大系统有功功率,抑制频率下降;当频率上升时,储能系统吸收电能,降低系统有功功率,恢复正常的频率。在电压方面,储能系统可以根据电网电压的变化,通过调节自身的充放电状态,向电网注入或吸收无功功率,维持电压稳定,提高电力系统的稳定性和可靠性^[4]。

2.3 改善电能质量

储能系统能有效治理电力系统中的谐波、电压闪变等电能质量问题。当新能源接入时,电网电压变动,产生谐波,储能系统可以根据控制策略,迅速对信号进行响应,调整输出电流,抵消谐波电流,稳定电压,从而改善电能质量,保障电力系统中各类设备的正常运行。同时,储能系统具备强大的动态响应能力,可实时监测电网状态。一旦出现电压闪变等问题,它能立即做出精准反应,快速调节功率输出。这不仅增强了电力系统的稳定性和可靠性,还降低了因电能质量不佳给工业生产和居民生活带来的潜在损失,让用电更安全、更高效。

3 储能系统容量配置的影响因素

3.1 新能源发电特性

新能源发电类型不同,发电特性也不同。太阳能光伏发电的功率输出主要依赖于光照强度和温度,且具有明显的日变化规律,晴天功率输出高、波动小,阴天或者多云天气功率波动大。风力发电功率输出与风速有着密切的关系,风速的随机性,间歇性造成了风电功率波动频繁,幅度较大。此外,新能源发电季节性变化也较大,如光照丰富的夏季和风力较强的冬季,其发电功率相对较高^[5]。

这些发电特性决定了储能系统需要具备不同的充放电能力和容量来适应新能源功率的变化,是影响储能系统容量配置的重要因素。

3.2 负荷特性

电力系统的负荷特性包括负荷大小、负荷曲线形状、负荷的变化规律等。不同地区和用户类型的负荷特性不同。比如工业用户负荷一般都比较大,比较稳定,居民用户负荷有明显的峰谷特点,晚上用电高峰时段负荷大,白天用电低谷时段负荷小。对于储能系统的容量配置要考虑负荷特性,满足不同负荷情况下对电力的调节需求。当负荷高峰时段储能系统要提供足够的电能补充电力供应;当负荷低谷时段储能系统可利用多余的新能源电能进行充电。因此,准确地掌握负荷特性是合理配置储能系统容量的前提。

3.3 电网运行要求

电网对电能的质量、稳定性和可靠性有一定的运行要求。储能系统满足这些要求的容量和性能。再比如,一些对电能质量要求较高的地区,储能系统需配置较大的容量,才能更好地平抑新能源功率波动,减少谐波和电压闪变等问题,保证电能质量达到标准。而电网稳定性要求较高的地区,储能系统还应具有快速响应能力和足够的容量,以应对新能源接入带来的频率和电压波动,保证电网安全稳定运行。另外,电网可靠性要求储能系统要有一定的备用容量,在突发状况下保证供电。

3.4 储能技术特性

目前,储能技术在电力工程中的应用非常多,如铅酸电池、锂离子电池、液流电池、超级电容器、飞轮储能等。不同储能技术又具备不同的技术特性,包括能量密度、功率密度、充放电效率、循环寿命、自放电率等。能量密度决定储能系统存储电能的能力,功率密度影响储能系统的充放电速度。储能系统的充放电效率越高,其充放电过程的能量损耗越小,循环寿命越长,意味着储能系统的使用成本就越低。低自放电率的储能系统能更好地保持储存的电能。这些技术特性将直接对储能系统的容量配置产生影响。例如:对于需要快速响应,同时要避免高频功率波动的场景,超级电容器因其功率密度高,充放电快等特性,可能配置较少;而对于需要长时间储存大量电能的应用,锂离子电池等能量密度大的储能技术则要求配置较大容量。

4 储能系统容量配置方法

4.1 基于经验的配置方法

早期储能系统容量配置多基于经验的配置方法,这种方法主要是根据工程人员的实践经验以及相似项目的运行数据,结合新能源发电和负荷的大致情况来确定储能系统的容量。比如:一些小的分布式光伏发电项目,可以参照现有的相似项目,按光伏发电装机容量的一定比例,如10%~20%配置储能容量。此法简单易行,不需复杂的计算与模型的建立,缺乏精确性和科学性。由于不同的项目新能源发电特性,负荷特性以及电网条件等有所差异,通过经验配置的储能容量可能无法满足实际需求,使储能系统性能不能充分发挥或造成资源浪费。

4.2 基于优化算法的配置方法

随着计算机技术和优化理论的发展,基于优化算法的储能系统容量配置方法逐渐发展。此方法先建立

包含目标函数和约束条件的数学模型。优化目标函数一般以系统成本最小、经济效益最大或系统稳定性最优等为目标。约束条件包括储能系统的功率限制、容量限制、充放电次数限制、电网运行约束等。然后,使用各种优化算法,如遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等对数学模型进行求解,得到满足约束条件且目标函数最优的储能系统容量配置方案。例如:以系统成本最小为目标函数,考虑储能系统的投资成本、运行维护成本以及新能源发电和负荷的不确定性,通过遗传算法求解出最优的储能容量和充放电策略。此方法可综合考虑多重因素,通过优化计算获得较为合理的容量配置方案,但模型的建立、算法的求解过程较为复杂,对计算资源和技术水平要求较高。

4.3 基于可靠性评估的配置方法

电力系统的可靠性是电力系统供电能力和质量的重要标志。基于可靠性评估的储能系统容量配置方法是立足提高电力系统的可靠性。该方法通过构建电力系统可靠性评估模型,对新能源接入后系统可靠性指标,如停电时间、停电频率等进行分析。然后根据给定的可靠性目标,逐步增加储能系统容量并进行可靠性评估,直到系统可靠性指标满足要求为止,确定储能系统的合理容量。例如:采用蒙特卡罗模拟方法对电力系统进行随机模拟,考虑新能源发电和负荷的随机变化,判断不同储能容量配置下系统的可靠性指标,最终确定满足可靠性要求的最小储能容量。此法可以直观反映储能系统对电力系统可靠性的影响,但可靠性评估模型的建立比较复杂,而且计算量很大,需要大量的计算时间和数据支持。

5 案例分析

5.1 某风电场储能系统容量配置案例

例如:某风电场装机容量为 100 MW,由于风电功率的波动较大,对电网稳定性有一定影响。需要配置储能系统,来解决这一问题。通过对该风电场多年风速数据和发电功率数据的分析,掌握其发电特性。同时,得到了该风电场接入电网区域的负荷数据,掌握了负荷特性。结合电网对电能质量和稳定性要求,采用基于优化算法的配置方法进行储能系统容量配置。以系统运行成本最小为目标函数,包括储能系统的投资成本、运行维护成本、风电功率波动带来的电网额外调频成本等。

5.2 某分布式光伏电站储能系统容量配置案例

某分布式光伏电站装机容量为 5 MW,主要通过低压配电网为周边居民供电。

由于光伏发电的间歇性和居民负荷的峰谷特性,使得电网电压波动较大,影响电能质量。为改善这种状况,对该光伏电站进行储能系统容量配置。首先对光伏电站光照数据和发电功率数据进行统计分析,明确其发电特性。同时,监测周边居民用电负荷数据,掌握负荷变化规律。采用基于经验和可靠性评估相结合的方法进行容量配置。借鉴类似分布式光伏项目的经验,初步确定按光伏装机容量的 15% 配置储能容量,即 0.75 MW。然后,利用电力系统可靠性评估软件,建立该低压配电网的可靠性评估模型,考虑光伏电站发电及居民负荷的不确定性,对配置 0.75 MW 储能容量后的系统可靠性进行评估。评估结果显示,系统的停电时间、停电频率等可靠性指标仍未达到要求。经逐步增加储能容量后再重新评估,最终配置 1 MW/2 MWh 的储能系统。该储能系统投入使用后,有力地改善了电网的电压稳定性,提高了电能质量,保障了居民的可靠用电。

6 结束语

在全球能源转型的大背景下,新能源接入电力系统已成为必然趋势。然而,新能源固有的间歇性和波动性,给电力系统的稳定运行带来了一系列严峻挑战。储能系统作为应对这些挑战的关键手段,其容量配置的合理性对电力系统运行性能起着决定性作用。本文深入剖析新能源接入给电力系统带来的影响。阐述了储能系统在电力系统中的作用,详细探讨了影响储能系统容量配置的因素,包括新能源发电特性、负荷特性、电网运行要求和储能技术特性等,并介绍了常见的容量配置方法,如基于经验的配置方法、基于优化算法的配置方法和基于可靠性评估的配置方法。通过案例分析,验证了不同配置方法在实际工程中的应用效果,实现新能源的高效利用和电力系统的可持续发展。

参考文献:

- [1] 李蕊,张慧敏,张晓蕾,等. 新能源一体化电站储能配置经济性评价方法及实现 [J]. 大众标准化,2024(17):89-91.
- [2] 黄银亮. 新能源发电技术与电力工程的融合发展研究 [J]. 张江科技评论,2024(05):79-81.
- [3] 顾赞,徐伯文. 智能电网技术在电力工程中的运用 [J]. 集成电路应用,2023,40(08):314-315.
- [4] 李建林. “双碳”目标下储能系统关键技术及应用 [J]. 电力工程技术,2021,40(03):1.
- [5] 谭洁玉. 储能技术在电力系统中的应用 [J]. 电子技术,2020,49(10):140-141.