

储能系统在 0.4kV 低压侧削峰填谷中的应用效果分析

黄 彬

江苏海宏电力工程顾问股份有限公司 江苏 无锡 214028

【摘 要】：在低压配电网中，负荷峰谷差异导致电能利用率下降与系统运行压力增加。通过在 0.4kV 低压侧接入储能系统，可在负荷高峰时放电、低谷时充电，从而实现削峰填谷效果。本文以典型低压配电系统为研究对象，建立储能控制策略模型，分析不同运行模式下的电能分布、负荷曲线优化及经济效益变化。研究结果表明，合理配置储能容量与控制策略，可有效降低峰谷差，提高供电稳定性与经济性，为低压电网优化运行提供技术依据。

【关键词】：储能系统；低压配电网；削峰填谷；负荷调节；经济性分析

DOI:10.12417/2811-0528.26.03.032

引言

随着分布式能源和负荷多样化的发展，低压配电系统的负荷波动问题日益突出。传统电网难以在高峰负荷时保持供电平衡，也无法在低谷时充分利用电能资源。储能系统作为电能时移技术的重要形式，能够灵活地在不同时间段存储和释放电能，改善电网负荷曲线，降低运行压力。在 0.4kV 低压侧的应用尤为关键，它直接关系到终端用电质量与系统运行的经济性。通过科学的容量配置与控制策略，储能系统可在低压侧实现显著的削峰填谷效果，为智能配电网的构建提供现实支撑。

1 低压配电系统负荷特性与峰谷问题分析

在低压配电系统中，0.4kV 电压等级承担着居民、商业及部分工业用户的终端供电任务，其负荷特性呈现出显著的日周期波动特征。受气候条件、生产班次及用户行为模式影响，负荷曲线在早晚高峰时段出现明显的尖峰，夜间及非工作时段负荷大幅降低，形成显著的峰谷差。这种波动不仅导致配电变压器运行在不稳定的负荷区间，也增加了线路损耗和设备发热，从而影响系统的运行安全性与供电质量。在电能需求持续增长的背景下，低压侧的负荷不均衡问题已成为制约电网经济运行与能效提升的重要因素。

随着分布式能源的接入和电动汽车、热泵等新型负荷的快速增加，0.4kV 系统的负荷特征更加复杂。间歇性、随机性和突发性负荷的叠加，使得电能需求峰值不断攀升，短时功率冲击频繁出现，导致配电系统在高峰时段承受过载风险。与此同时，在负荷低谷时段，大量供电设备处于轻载运行状态，设备利用率显著降低，电能资源配置效率不高。电力系统在不同时间段的供需矛盾因此进一步加剧，给配电网的调度与运行带来挑战。

在此背景下，削峰填谷成为优化低压配电系统运行的重要

方向。通过调节负荷曲线、平衡供需关系，可降低峰值负荷、减轻电网压力并提升能源利用率。然而，仅依靠传统的需求侧管理难以实现快速响应与精准调节。0.4kV 低压侧的实时负荷变化频繁，配电变压器及馈线容量难以灵活调整，因此需要引入具有动态调节能力的技术手段。储能系统凭借可充可放的特性，可在峰时释放电能、谷时储存电能，从电力时移的角度实现负荷再分配，为低压配电系统提供一种高效的负荷平衡解决方案。

2 储能系统在低压侧的优化配置与控制策略研究

在 0.4kV 低压侧配置储能系统的关键在于实现容量、功率及控制策略的协调优化，使系统能够在不同负荷条件下稳定运行并达到削峰填谷的目标。储能系统的容量配置需基于负荷曲线的动态特征、电价波动规律以及配电网的技术约束进行综合评估。容量过小会导致削峰效果有限，无法支撑持续放电需求；容量过大又会增加投资成本与能量冗余。因此，应采用基于负荷预测和能量管理的优化算法，对储能电池容量、额定功率及循环深度进行参数化设计，以实现技术经济的最优匹配。

在运行机制上，低压储能系统的控制模式主要包括恒功率控制、恒电压控制与智能能量管理控制。恒功率控制通过设定固定的充放电功率实现削峰填谷，适用于负荷规律性较强的区域；恒电压控制则在保证母线电压稳定的同时自动调节储能系统功率输出，更适合含有分布式光伏等波动性电源的配电系统。随着电力电子技术和智能算法的发展，基于预测控制和分层协调的能量管理模式逐渐成为研究重点。该模式通过实时采集负荷、电价及气象数据，结合模型预测控制（MPC）算法，对储能系统的充放电状态进行动态优化调度，从而在保障电压稳定的前提下实现经济运行。

在控制模型设计中，储能系统的运行需考虑配电网的电压偏移、线路阻抗以及分布式电源的逆流特性。常用的优化模型包括基于多目标函数的线性规划模型、动态规划模型和改进的

粒子群算法模型。这些模型以削峰填谷、系统损耗最小化和经济效益最大化为主要目标，通过多约束条件建立优化求解机制。控制层面上，储能系统通常采用双层架构设计：上层为主控制器，负责全局能量调度与策略优化；下层为分布式控制单元，实现对储能变流器的电压、电流及功率控制。两者通过通信网络协同工作，确保系统响应迅速、控制精度高。

在实际应用中，储能系统的优化配置还需考虑运行环境、电池类型与循环寿命。锂离子电池因其高能量密度、长寿命及响应速度快，成为低压侧储能的主流选择。控制策略中需兼顾电池充放电效率、温度特性及衰减规律，通过动态调整充放电深度和频次延长系统使用寿命。与此同时，分时电价机制可作为经济优化的重要输入变量，当电价高时放电、低时充电，通过能量套利实现经济效益与削峰填谷的双重目标。储能系统与负荷管理系统、分布式电源控制系统的协同运行，使低压配电网在多能源互补和能量自平衡方面具备更高的智能化与灵活性。

3 储能削峰填谷效果及经济性能评估

储能系统在 0.4kV 低压配电侧的削峰填谷效果可通过仿真建模与实测数据对比进行系统评估。研究中可采用基于时序负荷数据的动态仿真模型，将储能系统充放电策略与负荷曲线进行耦合分析。通过引入储能单元后，负荷曲线的峰值显著降低，谷值相对抬升，整体负荷波动幅度明显减小。电能和时间维度上的再分配有效平衡了供需关系，使配电变压器运行更趋于稳定。系统电压偏移范围缩小，线路损耗降低，功率因数得以改善，电能质量得到提升。储能系统的快速响应特性还使电压暂态波动得到抑制，改善了配电网在高峰时段的动态稳定性。

参考文献：

- [1] 王凯,刘志明.储能系统在低压配电网削峰填谷中的优化配置研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(12):75-83.
- [2] 陈晓辉,张俊林.基于模型预测控制的储能系统削峰填谷策略研究[J].电网技术,2022,46(4):1321-1330.
- [3] 李鹏,赵宇航.低压侧储能系统经济性分析及控制优化[J].中国电机工程学报,2023,43(8):2876-2885.

性。

在经济性能方面，评估可通过削峰填谷带来的直接收益与设备投资成本的平衡关系来体现。储能系统在高峰时段放电可减少需量电费支出，在低谷时段充电利用低价电能实现电价套利，带来显著的经济回报。运行数据表明，储能容量配置合理时，投资回收周期可控制在较短时间范围内。配合分时电价和需求响应机制，系统的能量利用效率提高，削峰效益与经济效益呈线性增长趋势。通过生命周期成本分析（LCC）方法对电池衰减、维护费用及电价波动因素进行综合计算，可准确评估系统全寿命周期内的经济合理性。

在工程应用中，储能削峰填谷的效果还体现在配电系统的运行协调上。储能系统能够在局部负荷集中区域削减峰值功率需求，延缓变压器增容与线路改造的投资需求，同时增强配电网的供电弹性与自适应能力。通过对比未配置储能与配置储能系统的运行数据，可见后者在峰谷差、能量损耗及经济性指标上均表现出明显优势。储能系统不仅改善了低压侧的运行特性，也为分布式电源与负荷管理的协同调度提供了可行途径，使电网在安全、经济与高效运行间实现平衡。

4 结语

储能系统在 0.4kV 低压配电侧的应用，通过优化配置与智能控制策略，实现了削峰填谷与经济运行的双重目标。其在平衡负荷曲线、提升电能质量及降低运行成本方面表现出显著优势。基于合理的容量设计与分时调度策略，储能系统为低压配电网的安全、灵活与高效运行提供了技术支撑，也为构建智能化电力系统奠定了重要基础。