



面向新型电力系统的电网侧储能配置与协同运行策略

杨 扬¹, 綦陆杰¹, 赵 普², 梁啸林¹, 杨慎全¹

(¹国网山东省电力公司经济技术研究院, 山东 济南 250000; ²国网山东省电力公司, 山东 济南 250000)

摘 要: 为应对高比例新能源接入给新型电力系统带来的稳定运行挑战, 电网侧储能的科学配置与高效运行至关重要。本文围绕电网侧储能的规划与运行问题展开研究, 在配置层面, 建立了以全生命周期成本效益最优为目标的储能选址定容模型, 兼顾系统调峰、调频及可靠性需求。在运行层面, 设计了一套源-网-储-荷协同的多时间尺度运行策略, 实现了储能与系统内其他资源的灵活互动与优化调度。仿真结果表明, 所提出的配置与协同运行方法能够有效提升系统对风电、光伏的消纳水平, 增强电网稳定性, 并带来显著的经济效益, 为新型电力系统中电网侧储能的应用提供了可行的解决方案。

关键词: 新型电力系统; 电网侧储能; 优化配置; 协同运行

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0664

中图分类号: TM 91

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 08-3219-03

Grid-side energy storage configuration and coordinated operation strategies for new power systems

YANG Yang¹, QI Lujie¹, ZHAO Pu², LIANG Xiaolin¹, YANG Shenquan¹

(¹State Grid Shandong Electric Power Company Economic and Technological Research Institute, Jinan 250000, Shandong, China; ²State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250000, Shandong, China)

Abstract: To address the operational stability challenges posed by high penetration of renewable energy in new power systems, the scientific configuration and efficient operation of grid-side energy storage are critical. This paper investigates the planning and operation of grid-side energy storage. At the configuration level, a site selection and capacity optimization model for energy storage is established, targeting optimal life-cycle cost-benefit while balancing system peak shaving, frequency regulation, and reliability requirements. At the operational level, a multi-timescale coordination strategy integrating generation, grid, storage, and load is designed to enable flexible interaction and optimized dispatch between storage and other system resources. Simulation results demonstrate that the proposed configuration and coordinated operation approach effectively enhances the system's integration capacity for wind and solar power, strengthens grid stability, and delivers significant economic benefits. This provides a feasible solution for grid-side energy storage applications within the new power system.

收稿日期: 2026-07-30; 修改稿日期: 2026-08-10。

基金项目: 国网山东省电力公司科技项目资助 (520625250002)。

第一作者及通信联系人: 杨扬 (1991—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为新型电力系统规划及相关研究, E-mail: yangy202601@126.com。

引用本文: 杨扬, 綦陆杰, 赵普, 等. 面向新型电力系统的电网侧储能配置与协同运行策略[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(8): 3219-3221.

Citation: YANG Yang, QI Lujie, ZHAO Pu, et al. Grid-side energy storage configuration and coordinated operation strategies for new power systems[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(8): 3219-3221.

Keywords: new power system; grid-side energy storage; optimal configuration; coordinated operation

随着全球能源绿色低碳转型的不断深入,以风电、光伏为代表的新能源在电力系统中的渗透率持续提高,给电力系统的安全稳定运行与电能质量保障带来了严峻挑战。在此背景下,储能技术作为支撑新型电力系统构建的关键环节,在提升系统运行灵活性、促进新能源高效消纳以及增强供电可靠性方面发挥着不可替代的作用。本文通过构建综合考虑经济性与安全性的配置模型,并设计多时间尺度的源-网-储-荷协同运行框架,充分挖掘电网侧储能的潜力,为电网侧储能系统的科学配置运行提供实践指导。文献[1]对储能系统优化配置及控制策略从算法方面开展了分析研究。文献[2]分析了储能系统优化配置与运行的制约因素,涉及光伏系统的经济性、储能系统对稳定性的影响以及电力市场政策与波动的作用。文献[3]考虑储能系统充放电过程中的效率损耗,对传统电力电量平衡模型进行了完善,构建了新能源穿透率、常规电源穿透率与储能容量三者间的协同配置关系。

1 储能的发展和应用情况

在构建新型电力系统的进程中,储能在电源侧、电网侧和用户侧的应用正全面深化。在电源侧^[4],储能主要用于平滑风电、光伏出力的波动,减少弃风弃光,并通过参与调频辅助服务提升电站的并网友好性与经济收益^[5]。在电网侧^[6],储能作为灵活的调节资源,独立或分散嵌入电网,承担调峰、调频、紧急备用和缓解线路阻塞等任务,增强电网的韧性与供电可靠性^[7]。在用户侧,储能与分布式光伏结合,帮助工商业及居民用户实现峰谷电价套利、降低需量电费,并作为应急备用电源提升用电质量^[8]。随着技术成本下降与市场机制完善,储能正从多点示范走向规模化应用,成为支撑高比例新能源消纳和电网稳定运行的关键基础设施。

针对电网侧储能,需要能够提供虚拟惯性、快速频率响应(FFR)和电压支撑的服务,以弥补系统惯性的不足。在晚高峰等光伏出力骤降时段,需要可靠的容量支撑,保障电力供应。因此,合理的储能配置和协同运行策略至关重要。

2 电网侧储能配置策略

电网侧配储的目标是在合适的地点配置合适类型和容量的储能,以实现其在全生命周期内对电力系统的综合价值最大化。需要考虑能量价值、容量价值、辅助服务价值,储能的配置需与系统内现有资源及未来发展规划相协调,形成互补,同时具备灵活性,能够适应未来新能源渗透率提升、负荷增长及电力市场规则变化带来的不确定性。

本文构建一个考虑多重应用场景的双层优化配置模型,其中上层规划模型如式(1):

$$\max \text{NPA} = \sum_{t=1}^T \frac{(B_{\text{energy}}^t + B_{\text{ancillary}}^t + B_{\text{grid}}^t + B_{\text{env}}^t) - C_{\text{OM}}^t}{(1+r)^t} - C_{\text{inv}} \quad (1)$$

式中, B_{energy}^t 为第 t 年储能电价差收益, $B_{\text{ancillary}}^t$ 为第 t 年辅助服务收益, B_{grid}^t 为第 t 年电网侧效益, B_{env}^t 为第 t 年新能源消纳效益, C_{OM}^t 为第 t 年运行维护成本, C_{inv} 为储能系统的初始投资成本, r 是折现率, T 是规划周期。

在给定的储能配置方案下,下层模型模拟其全年(或典型日/场景)的运行情况,以精确计算上层模型中的各项年收益,使得系统总运行成本最小化:

$$\min \sum_{t=1}^T \left(\sum_{g=1}^G C_g(P_{g,t}) + \sum_{i=1}^I C_{\text{OM,ess}}(P_{\text{ess},t}^i) + \text{VOC} \cdot P_{\text{cutt},t} \right) \quad (2)$$

式中, $C_g(P_{g,t})$ 是常规机组在时段 t 的发电成本, $C_{\text{OM,ess}}$ 是储能的运行损耗成本, VOC 是新能源弃能的价值损失系数, $P_{\text{cutt},t}$ 是时段 t 的新能源弃光/弃风功率。

约束包括功率平衡、线路潮流安全、旋转备用、机组爬坡等:

$$\begin{aligned} \text{SOC}_{t+1} &= \text{SOC}_t + (\eta_{\text{ch}} \cdot P_{\text{ch},t} - P_{\text{dis},t} / \eta_{\text{dis}}) \cdot \Delta t / E_{\text{rated}} \\ 0 &\leq P_{\text{ch},t} \leq u_t \cdot P_{\text{rated}}, 0 \leq P_{\text{dis},t} \leq v_t \cdot P_{\text{rated}}, u_t + v_t \leq 1 \\ \text{SOC}_{\min} &\leq \text{SOC}_t \leq \text{SOC}_{\max} \end{aligned} \quad (3)$$

该双层模型是一个 NP-hard 问题,将下层返回的收益成本数据代入上层模型,使用粒子群优化算法迭代求解,生成新一代更优的配置方案。

在变电站发生重过载的地区,变电站不方便改扩建的情况下,储能可以作为削峰填谷的一种辅助手段储能的配置策略相对简单,只要储能系统能够

消减重过载的负荷与相对应的电量即可。

3 电网侧储能协同运行策略

电网侧储能协同运行策略通过多时间尺度的协调，最大化系统整体效能。本文提出“日前-日内-实时”三个时间尺度的协同运行框架（图1），通过日前预计划、日内滚动调、实时精准控。

3.1 日前优化调度

时间尺度为运行前一天，以 15 分钟或 1 小时为时段。目标是在满足预测的负荷和新能源消纳需求下，最小化次日系统的总运行成本。协同机制将电网侧储能、常规火电机组、水电机组、抽水蓄能、新能源场站以及可调节负荷（需求响应）等资源统一纳入日前市场或调度计划中进行联合优化。储能决策其各时段的充放电计划，在负荷低谷时段充电，在负荷高峰时段放电，降低系统的峰谷差。形成各机组和储能的日前发电计划曲线，并为储能预留一定的调节容量以应对日内不确定性。

3.2 日内滚动调度

时间尺度为运行当日，以 5~15 分钟为周期进行滚动优化。基于超短期新能源和负荷预测，修正日前计划与实际情况的偏差，确保实时功率平衡。调度中心每 15 分钟执行一次未来数小时的滚动优化计算。

储能进行功率调节，当新能源实际出力低于计划值时，储能减少充电或增加放电，反之同理。同时对风电、光伏的分钟级快速波动进行平滑处理，使其输出功率更稳定，满足并网要求。

3.3 实时协调控制

时间尺度为秒级到分钟级。目标为维持系统的频率和电压在安全范围内，应对突发性故障和扰动。基于预设的控制逻辑或接收自动发电控制（AGC）/自动电压控制（AVC）的实时指令，实现快速响应资源，提供一次调频、二次调频和紧急功率支撑。为了实现协同，需要为储能设定功率分配控制器，使其能在不同应用模式（如调频、能量计划）间动态分配其功率容量，避免功能冲突。

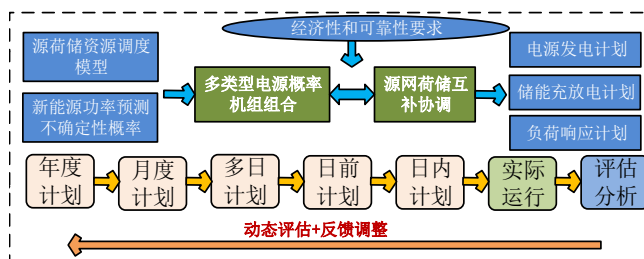


图1 多时间尺度储能协同运行优化

Fig. 1 Optimization of multi-time-scale coordinated operation of energy storage

4 结 语

本文系统探讨了面向新型电力系统的电网侧储能配置与协同运行策略。在新能源占比持续提升的背景下，策略建议将源网荷各侧储能系统纳入电网统一调度管理，建设统一电网储能管理平台，聚合分散资源，提升全市储能调节能力与运营效率。在新能源高占比区域应加快布局构网型储能，利用其惯量支撑和电压频率主动调节能力，增强电网稳定性。

参 考 文 献

- [1] 涂占强, 黄少尉. 面向新型电力系统的储能优化配置与控制策略[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(28): 4-6. DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202528002.
- [2] 张媛一, 刘震宇, 孟继军, 等. 分布式光伏储能系统的优化配置与运行控制研究[J]. 储能科学与技术, 2025, 14(10): 3917-3919.
- [3] 张小奇, 赵鑫, 柴浩凯, 等. 基于系统平衡机理的储能保供容量优化配置方法[J]. 西安工程大学学报, 2025, 39(6): 93-101.
- [4] 张铭. 光伏电站和风电场储能容量配置技术分析[J]. 电力设备管理, 2025(18): 129-131.
- [5] 宋联杰, 林学山. 基于“双碳”目标的光伏储能配置技术方案的设计与应用[J]. 能源与节能, 2025(9): 1-3, 43. DOI:10.3969/j.issn.2095-0802.2025.09.001.
- [6] 邵冲, 李春华, 段瑞超, 等. 面向新能源消纳的多元储能配置及经济优化调度[J]. 电网与清洁能源, 2025, 41(9): 141-147, 154. DOI:10.26963/j.psce.2025.09017.
- [7] 谢曜泽, 梁奕楠, 李青芯. 基于虚拟电厂的电源及储能容量配置优化[J]. 张江科技评论, 2025(9): 29-31. DOI:10.3969/j.issn.2096-3939.2025.09.008.
- [8] 薛岩, 顾祺奕. 负荷优化下的光储充电站储能经济学配置分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2025, 15(8): 123-125, 128. DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2025.08.041.