

新能源发电侧储能系统与电气设备协同控制策略

张保云

四川电力设计咨询有限责任公司 四川 成都 610041

【摘要】新能源发电侧储能系统与电气设备的协同控制是提升电力系统稳定性与优化能源利用的重要途径。研究以新能源出力波动性和电力系统运行安全为切入点，提出通过储能装置与电气设备的协同运行，实现削峰填谷、平抑功率波动和提高电能质量的目标。文中探讨了储能系统在多场景下的控制逻辑及动态响应机制，分析其与逆变器、并网设备等电气环节的协调运行方式，并提出基于分层控制与实时调度的综合策略。该方法能够有效提升新能源消纳能力、降低系统运行风险，为未来构建高比例可再生能源电力系统提供技术支撑和实践路径。

【关键词】新能源发电；储能系统；电气设备；协同控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.04.025

新能源发电的快速发展推动了能源结构的转型，但其波动性与间歇性对电力系统稳定运行带来挑战。如何在保证系统安全的前提下最大化新能源的利用率，成为亟待解决的问题。储能系统因具备快速响应和双向调节能力，被视为平衡新能源波动的重要支撑手段。储能单独运行难以充分发挥效能，必须与电气设备实现协同控制，才能在电网运行中形成整体优化效果。通过构建储能与逆变器、并网环节的协调机制，不仅能够改善电能质量，还能提升电力系统的灵活性与可靠性。本文旨在探讨新能源发电侧储能系统与电气设备的协同控制策略，为解决新能源消纳与系统安全运行的矛盾提供可行方案。

1 新能源发电侧储能系统与电气设备协同控制的现实问题

新能源发电在快速发展的过程中暴露出显著的不确定性与波动性，其功率输出受自然条件影响，呈现出日内波动和跨季节差异，对电网调度形成较大压力。若缺乏有效控制，功率曲线的不稳定可能引发频率和电压波动，甚至导致系统振荡，威胁电力安全。储能系统的引入旨在缓冲这些不确定因素，但若未能与电气设备实现有效耦合，其作用往往难以充分发挥。在实际工程应用中，常见问题包括储能出力与逆变器控制模式不协调、储能容量配置不足、充放电策略缺乏针对性等，这些因素制约了新能源发电与储能系统的整体协同效能。

在实际运行中，新能源发电侧储能系统面临经济性约束和技术协调难题。储能作为资本密集型设备，建设与运维成本高企，若缺乏合理调度策略以实现峰谷套利、辅助服务或电能质量提升，其长期可持续性将受到制约。并网环节的电气设备承担电压调节、谐波抑制和无功补偿等任务，若与储能运行目标脱节，常出现“储能闲置、电气设备过载”的不合理现象，降低系统效率并影响投资回报。更为突出的是，现行政策和标准体系存在差异，不同地区在储能配置比例、调度规则和验收标

准上不统一，过度强调规模而忽视协同运行要求。加之信息通信与监控环节的滞后，造成储能与电气设备状态数据传输不及时、反馈不准确，使协同控制难以形成合力。这些问题叠加，导致新能源发电侧储能系统与电气设备的协同控制仍处于探索阶段，存在诸多亟需突破的现实困境。

2 基于储能与电气设备协同运行的优化控制策略

在新能源发电与电网稳定运行之间寻找平衡，关键在于构建科学合理的储能与电气设备协同运行策略。优化的控制方案应当以动态特性分析为基础，充分考虑新能源波动的时空分布规律，建立分层控制与多时间尺度调度相结合的架构。在短时间尺度上，储能系统应承担快速功率平抑和电能质量改善的任务，配合电气设备的电压调节与谐波治理功能，实现毫秒级的动态响应。在中长期尺度上，则需要通过预测模型合理安排储能的充放电计划，与并网设备共同完成有功功率调度和无功补偿，确保整个系统在满足安全性要求的前提下实现效率最大化。这种基于多时间尺度的协调运行方式，使得储能与电气设备的功能实现有机互补。

在控制策略的设计中，智能化技术的引入为系统优化提供了新思路。通过人工智能算法与大数据分析，可以对新能源出力特性进行预测，并将预测结果实时输入到储能控制与电气设备调度中，实现更高精度的协同运行。利用深度学习模型对光伏出力进行短时预测，再结合模糊控制方法动态调整储能的充放电功率，从而有效抑制电压波动。分布式储能系统的广泛应用使得区域电网能够通过虚拟电厂技术实现多储能单元与电气设备的统一调度。在这种框架下，储能单元和并网逆变器被视为可调控资源，统一纳入电网控制中心的协调体系，从而形成灵活的优化运行模式。

值得注意的是，优化控制策略的实施需要硬件与软件层面的同步支持。在硬件层面，储能电池的充放电效率、寿命管理

和热管理系统是确保其稳定运行的关键，电气设备则需要具备快速切换和自适应控制能力，以满足新能源的动态特性。在软件层面，则必须建立完善的监控平台与通信协议，实现储能与电气设备的状态感知、数据共享和实时反馈。通过构建基于云平台的智能调度系统，可以实现不同控制层之间的协调，使储能系统不再是孤立运行的设备，而是与电气设备形成紧密耦合的整体控制单元。最终，这种优化的协同控制策略能够在保障新能源电力高效消纳的显著提升系统运行的经济性与安全性。

3 协同控制策略对新能源电力系统稳定性的影响分析

协同控制策略在新能源电力系统稳定性方面的应用效果已通过多项实证研究得到验证，尤其在频率稳定、电能质量提升以及系统经济性优化等方面表现显著。在频率稳定性方面，华中科技大学的研究提出了一种计及频率电压稳定性约束的多层级储能协同优化运行策略，该策略通过将线性化频率电压稳定性约束嵌入系统级调度模型，有效平抑了风电出力波动，并提高了风电场调频支撑能力，使系统静态电压及小扰动频率失稳风险显著降低。

华北电力大学学者针对 100% 新能源场景下的源网荷储一体化系统，构建了多类型调频资源协同运行的频率响应模型，研究表明通过协调源、储、荷三部分的频率支撑能力，在构网型与跟网型场站比例为 4:1 时，储能配置成本可降低 11.4%，且需求侧响应的合理参数设置进一步降低了 23.8% 的储能规划功率。在电能质量改善方面，厦门大学建设的先进储能技术创新平台展示了协同控制的实际效果。该平台通过

EMS 智能管理系统实时优化分配光伏发电与储能能量，在离网模式下可独立支撑实验室关键负荷持续运行 8 小时以上，其基于 EKF 算法的 SOC 预测模型在复杂工况下将预测绝对误差控制在 $\leq 2\%$ 以内，显著提升了系统运行的可靠性和电能质量。

此外，基于 LSTM 深度学习的预测控制方法在直流微电网混合储能系统中的应用，实现了超级电容荷电状态的精准管理，有效防止越界运行，并在应对恒功率负载与脉冲功率负载波动时，提升了电压稳定性与瞬态响应能力。在系统经济性方面，融合动态频率约束的混合储能系统优化配置研究显示，在四川电网 2650MW 测试系统中，采用电化学储能与先进绝热压缩空气储能的协同方案，在 50% 可再生能源渗透率下可将频率变化率控制在 0.39Hz/s，频率最低点高于 49.5Hz，相比单一储能方案成本降低 12%，频率波动幅度缩减 38%。这种协同控制策略通过电价峰谷套利和绿电交易溢价提升收益，最大化氢能使用比例，将系统投资回收期缩短至 6-8 年，同时将锂电池循环寿命延长 30%，展现了显著的经济效益。

4 结语

本文围绕新能源发电侧储能系统与电气设备协同控制策略展开研究，论证了其在提升电力系统稳定性和优化运行效率方面的重要作用。通过分析现实问题，提出优化控制路径，并探讨其在实际运行中的效果，可以看出协同机制不仅在技术层面具备可行性，也在经济层面具有现实意义。研究表明，储能与电气设备的紧密耦合是推动新能源高比例接入与安全消纳的关键环节，为未来能源系统的绿色转型提供了有力支撑。

参考文献：

- [1] 陈志远,刘倩.新能源并网条件下储能系统优化调度策略研究[J].电力建设,2022,43(7):125 - 133.
- [2] 何鹏飞,周婉清.储能与电气设备协同控制对新能源电力系统稳定性的作用[J].电网技术,2023,47(5):1442 - 1451.
- [3] 孙浩然,郑雅琳.基于多时间尺度的新能源发电侧储能控制方法研究[J].太阳能学报,2021,42(11):3073 - 3081.