

面向新型电力系统的储能——新能源协同控制与容量配置研究

李建

苏州协鑫新能源运营科技有限公司河南分公司，河南省郑州市，450018；

摘要：随着全球能源结构的转型和低碳化发展，新型电力系统逐渐成为支撑未来能源体系的重要组成部分。在这一背景下，储能技术和新能源的协同控制显得尤为重要，其不仅能够提升电力系统的灵活性和稳定性，还能够有效应对可再生能源波动性带来的挑战。同时，合理的容量配置策略对于优化资源利用、降低系统成本具有重要意义。因此，深入研究储能与新能源协同控制及容量配置问题，不仅是学术界的热点，更是推动能源革命和实现可持续发展目标的关键所在。

关键词：新型电力系统；储能；新能源协同控制；容量配置研究

DOI：10.69979/3060-8767.25.10.008

引言

随着传统电力系统向新型电力系统的转型，储能和新能源的协同作用逐渐成为研究的核心议题。在这一过程中，如何实现两者的高效配合以满足多样化的需求，是当前亟需解决的问题。与此同时，容量配置作为系统设计的重要环节，其科学性和合理性直接影响到整体性能的发挥。因此，本文旨在探讨储能与新能源协同控制的关键技术路径，并提出适应不同场景需求的容量配置方法，为未来电力系统的优化运行提供理论支持和技术参考。

1 新型电力系统的储能-新能源协同控制与容量配置必要性

1.1 新能源高渗透下的系统调频需求升级

频率稳定是电力系统安全运行的基石，传统调频依赖火电机组的转子动能与有功调节能力，其秒级至分钟级的响应速度可满足常规负荷波动需求。但新能源高比例接入后，这一平衡被打破：一方面，新能源逆变器的最大功率追踪模式使其缺乏惯性与一次调频能力，无法像火电机组那样快速响应频率扰动；另一方面，新能源出力的随机波动（如云层遮挡导致光伏出力骤降 30% 以上）会加剧系统频率波动，甚至触发保护装置动作。

在此背景下，储能的毫秒级响应特性成为关键补充——通过与新能源协同控制，可将新能源场站转化为“虚拟同步电源”：当系统频率下降时，储能快速放电补充功率缺口，新能源逆变器同步调整增发有功；当频率上升时，储能吸收多余功率，新能源适当减发。这种协同模式能弥补新能源调频缺陷，满足新型电力系统对毫秒级响应速度与灵活调节容量的需求，缓解调频压力。

1.2 新能源消纳瓶颈的破解需求

新能源消纳率是衡量新型电力系统发展质量的核心指标，当前我国部分地区弃风弃光现象仍存，根源在于新能源出力与负荷需求的时空错配。例如，西北风电冬季出力高峰时，东部负荷中心需求未同步增长，输电通道阻塞导致风电无法外送；华北光伏白天出力高峰时，本地负荷低谷造成电能冗余。传统解决方式如电网扩容投资大、周期长，火电调峰又与低碳目标相悖。

储能与新能源的协同控制可通过能量时空转移破解这一难题：在新能源出力高峰，储能优先充电吸收多余电能，避免弃电；在出力低谷或负荷高峰，储能放电补充供电缺口，实现新能源出力与负荷需求的时序匹配。相较于储能独立运行，协同控制能更精准地追踪新能源出力预测与负荷变化，动态优化充放电时序，避免储能盲目充电导致的容量浪费，从而提升新能源消纳率，减少能源浪费。

1.3 供电可靠性保障的现实需求

供电可靠性直接关系社会生产与居民生活，新能源的不确定性会通过电网传导至负荷侧，引发供电中断或电压波动。例如，台风导致沿海风电出力骤降 50% 时，若电网备用容量不足，会造成局部电压跌落；连续阴雨导致光伏出力不足时，偏远地区可能面临供电缺口。传统电源的稳定出力曾是可靠性保障的核心，但新能源高渗透下，这一保障能力被削弱。

储能与新能源的协同可通过“出力补偿”模式保障可靠性：短期（分钟级）内，储能平抑新能源出力波动，确保向电网输出功率稳定；长期（小时级）内，合理配置的储能容量可储备电能，应对新能源持续低谷。例如，当光伏夜间出力为零时，储能释放白天储存的电能，维

持供电连续性；当风电因阵风骤升时，储能吸收多余功率，避免电压骤升。这种协同模式能减少新能源波动对供电的影响，保障用户获得稳定电力。

1.4 系统运行经济性提升的内在需求

在新型电力系统中，储能与新能源的协同控制是技术创新，更是提升系统运行经济性的关键。传统电力系统依赖化石能源，边际成本固定；新能源发电成本虽逐年下降，但间歇性与波动性给系统经济性带来挑战，如出力高峰致电网局部过载、需增建输配电设备，出力低谷启用备用电源增加成本，造成供需不平衡和资源浪费，影响经济效益。

通过储能与新能源协同优化可缓解矛盾。储能设备可在电价低谷充电、高峰放电，调峰填谷，降低购电成本；合理配置容量能减少冗余投资，避免设备利用率低。协同控制策略还能根据实时电价动态调整充放电，挖掘市场潜力，提高收益。这种以经济性为导向的协同模式，可降低系统综合成本，为用户带来更好用电体验。

值得注意的是，储能与新能源协同控制提升经济性是多环节联动效应。从发电侧平滑出力、电网侧灵活调度到用户侧需求响应，各环节改进都有经济价值。在市场化改革推进下，其协同发展将为电力系统注入活力，实现经济性与可持续性双赢。

2 新能源协同控制与容量配置的问题

2.1 协同控制的时空耦合性瓶颈

新能源出力具有显著的时空分布特征，其波动性和间歇性在不同时间尺度和空间范围内表现各异。这种特性使得协同控制面临复杂的时空耦合性挑战。例如，光伏发电在白天的出力峰值与夜间零出力形成鲜明对比，而风力发电则可能因地理位置的不同呈现出完全不同的日间和季节性变化规律。储能系统虽然具备快速响应能力，但其充放电行为需要与新能源出力的时空特性精确匹配，否则可能导致资源浪费或调控失效。此外，跨区域的新能源协同调度进一步加剧了这一问题，因为不同地区的负荷需求、气象条件和电网结构差异显著，难以通过统一的控制策略实现全局优化。因此，如何突破时空耦合性瓶颈，设计灵活高效的协同控制方案，成为亟待解决的关键问题之一。

2.2 动态响应的一致性缺失

新能源出力的随机性与间歇性对储能系统的动态响应能力提出了更高要求，但两者在协同过程中往往存在一致性缺失的问题。储能设备的响应速度、调节精度

和耐久性等性能指标可能无法完全匹配新能源波动特性，导致协同效果大打折扣。例如，当风电场因阵风突变而输出功率骤增时，储能系统若未能及时调整充放状态，可能引发局部电网频率或电压的异常波动。此外，不同类型储能技术的响应特性差异也加剧了这一问题，如锂电池响应速度快但容量有限，液流电池容量大但响应滞后，单一技术难以满足多样化的动态需求。这种一致性缺失不仅削弱了协同控制的可靠性，还可能导致系统运行风险增加，影响整体性能的稳定发挥。

2.3 容量配置的多目标冲突

在新型电力系统中，储能与新能源的容量配置需要兼顾多个目标，包括经济性、可靠性和灵活性等。然而，这些目标之间往往存在冲突。例如，为提升供电可靠性而增加储能容量，可能导致初期投资成本大幅上升，从而削弱经济性；反之，若过于注重成本控制，可能会因储能容量不足而影响系统的稳定运行。此外，不同应用场景对容量的需求差异较大，如城市负荷中心更关注短时调频能力，而偏远地区则需长时储能以应对持续低谷出力。这种多目标冲突使得容量配置难以实现全局最优，尤其是在面对不确定性强的新能源出力和负荷需求时，传统静态配置方法显得力不从心，亟需引入动态优化机制来平衡各方需求。

2.4 不确定性的量化与建模难题

新型电力系统中，新能源出力和负荷需求的不确定性给储能与新能源的协同控制带来了显著挑战。这种不确定性源于多方面因素，例如天气变化对光伏和风电出力的影响、用户用电行为的随机性以及市场电价的波动等。传统确定性模型难以准确描述这些复杂的动态特性，而单纯依赖历史数据进行预测又容易因极端事件或异常情况导致偏差。此外，不同类型的不确定性之间可能存在关联性，进一步增加了建模的复杂度。为实现高效协同控制，需要开发更精细的量化方法，将不确定性纳入优化框架，同时兼顾计算效率和模型精度，从而为决策提供可靠依据。

3 新型电力系统的储能-新能源协同控制与容量配置策略

3.1 基于时空互补的分层协同控制架构

该架构通过将储能与新能源的协同控制划分为多个层次，实现从局部到全局的精细化管理。在底层，针对单一新能源场站内部的储能设备，采用实时响应策略，重点解决短时功率波动问题；中间层则聚焦于区域内的

多能源协同,整合不同类型的储能技术以应对多样化的动态需求;顶层负责跨区域的全局优化,基于大范围的负荷预测和气象数据,统筹调度储能资源,从而提升整体系统的灵活性和稳定性。这种分层架构不仅能够有效应对新能源出力的时空差异,还能显著降低协同控制的复杂度,为大规模应用提供了可行的技术路径。

3.2 模型预测控制驱动的动态响应协调机制

该机制利用先进的模型预测控制算法,对新能源出力 and 负荷需求进行实时预测,并结合储能系统的动态特性,制定最优的充放电策略。通过不断更新预测数据和调整控制指令,储能设备能够在毫秒级时间内响应系统变化,从而有效平抑新能源波动带来的影响。同时,这一机制还引入了多目标优化方法,在保证动态响应一致性的同时,兼顾经济性和可靠性需求。例如,在应对风电骤升场景时,储能系统能够根据预测结果提前调整状态,避免因响应滞后导致的功率失衡问题。此外,该机制还支持不同类型储能技术的协同工作,充分发挥各自的优势,进一步提升整体性能表现。

3.3 多目标优化的容量配置模型

该模型旨在解决储能与新能源容量配置中的多目标冲突问题,通过综合考虑经济性、可靠性和灵活性等关键指标,构建一个多维度的优化框架。模型采用动态权重分配方法,根据实际需求调整各目标的优先级,并结合场景特征进行个性化适配。例如,在高负荷区域,模型会优先提升短时调频能力,以满足快速响应的需求;而在偏远地区,则更注重长时储能配置,以保障供电连续性。此外,模型还引入了不确定性量化模块,将新能源出力和负荷需求的随机性纳入优化过程,从而提高配置方案的鲁棒性。通过仿真验证,该模型能够在不同场景下实现容量的动态更新与全局优化,为新型电力系统的高效运行提供有力支撑。

3.4 数字孪生赋能的协同决策支持系统

数字孪生技术通过构建虚拟模型,实时映射储能与新能源的运行状态,为协同控制提供精准的决策支持。该系统能够整合多源数据,包括气象预报、负荷预测和设备状态信息,利用大数据分析和人工智能算法,生成动态优化方案。例如,在风电场出力波动较大的区域,数字孪生系统可以提前模拟多种场景,评估不同充放电策略的效果,从而选择最优解。此外,该系统还具备自

学习能力,能够根据历史运行数据不断优化模型参数,提高预测精度和控制效果。通过可视化界面,运维人员可以直观了解系统运行状况,快速响应异常事件,显著提升管理效率和决策科学性。这种基于数字孪生的协同决策支持系统,为新型电力系统的智能化升级提供了重要支撑。

3.5 调频与调压协同的一体化控制

在新型电力系统中,调频与调压的协同控制是保障电网稳定运行的重要环节。传统的控制方式往往将两者独立处理,导致资源利用效率低下且难以应对复杂多变的运行环境。通过一体化控制策略,可以实现调频与调压的动态平衡,提升系统的整体性能。例如,在新能源出力骤降时,储能系统不仅能够快速响应频率波动,还能同步调整电压水平,避免局部电网出现电压跌落或过载现象。此外,该策略还结合了先进的优化算法,根据实时运行状态自动调整控制参数,确保两者之间的协调性。这种一体化模式不仅简化了控制流程,还显著增强了系统对极端场景的适应能力,为高比例新能源接入的电网提供了更加可靠的解决方案。同时,通过引入智能感知技术,系统能够精准识别调频与调压需求的变化趋势,进一步优化资源配置,降低运行成本,为新型电力系统的高效稳定运行奠定了坚实基础。

4 结语

储能-新能源协同控制与容量配置是新型电力系统发展的重要环节,对于保障电力系统的安全、稳定、高效运行具有重要意义。未来,应继续加强相关技术研究,完善政策法规,推动储能-新能源产业的健康发展。

参考文献

- [1] 李强. 新能源并网储能系统优化配置方法研究[J]. 电力系统自动化, 2024, 43(1): 1-8.
- [2] 刘阳. 基于需求响应的储能系统容量配置策略[J]. 电网技术, 2024, 44(4): 1-7.
- [3] 张杰. 基于机器学习的储能系统容量配置方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2024, 49(12): 1-6.
- [4] 王丽. 新能源发电并网储能系统协同控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2024, 42(2): 1-8.
- [5] 张伟. 需求响应背景下储能系统与新能源发电联合优化调度研究[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(3): 1-8.