

新能源发电厂储能系统容量配置与调频性能 协同控制策略

胡苗

江西华电智慧能源有限公司, 江西九江 332000

DOI:10.61369/EPTSM.2025080001

摘要 : 随着全球能源的转型, 新能源在电力系统的占比不断增加, 而像风能、太阳能这类新能源由于波动性与间歇性给电力系统的调频带来了巨大的困难。储能作为调频的主要手段, 因此储能容量配置和调频性能的协同控制非常关键。本文首先对新能源发电厂储能系统容量配置与调频性能的现状进行了分析, 对新能源电厂储电系统容量配置与调频性能协同控制的意义进行了论述, 给出了基于新能源发电预测、负荷需求等储能系统容量配置协同优化策略以及基于高级控制算法的调频性能协同提升策略, 指出两者之间的协同配合。通过协同控制策略提高新能源发电厂的效率和稳定性, 避免新能源发电厂的能源浪费及发电成本过高等一系列的不良后果, 并且促进新能源发电行业的可持续性发展。

关键词 : 新能源发电厂; 储能系统容量配置; 调频性能; 协同控制策略

Coordinated Control Strategy of Energy Storage System Capacity Configuration and Frequency Modulation Performance in New Energy Power Generation

Hu Miao

Jiangxi Huadian Smart Energy Co., LTD., Jiujiang, Jiangxi 332000

Abstract : With the global energy transition, renewable energy sources are increasingly dominating power systems. However, the inherent volatility and intermittency of wind and solar power pose significant challenges to grid frequency regulation. As the primary solution for frequency modulation, the coordinated control of energy storage capacity configuration and frequency regulation performance becomes crucial. This paper first analyzes the current status of energy storage system configuration and frequency regulation performance in renewable power plants. It elaborates on the significance of coordinated control between storage capacity configuration and frequency regulation performance, proposing two optimization strategies: one based on renewable energy generation forecasting and load demand analysis, and another leveraging advanced control algorithms to enhance frequency regulation efficiency. The study highlights the synergistic relationship between these approaches. Through coordinated control strategies, renewable power plants can improve operational efficiency and stability while avoiding issues like energy waste and excessive generation costs, thereby promoting sustainable development in the renewable energy sector.

Keywords : new energy power plants; energy storage system capacity configuration; frequency regulation performance; collaborative control strategy

在全球能源转型的大背景下, 新能源发电得到迅猛发展, 据相关数据显示, 近几年风能、太阳能等新能源发电在全球总发电量中的占比每年以一定比例持续上升, 但风能受到风速的影响, 太阳能受到光照强度以及昼夜交替的影响, 其具有较强的波动性和间歇性, 这给电网的调频带来了巨大的困难, 严重时会导致电网频率不稳定, 从而影响电力系统安全稳定运行。储能系统是连接新能源发电与电网的重要纽带, 其能够存储并释放能量, 从而有效地抵消新能源发电的波动性, 提升电网的调频能力, 当下, 储能系统在新能源发电厂里的运用日渐增多, 在实际运行过程中, 一些新能源发电厂所配备的储能系统在容量方面出现不合理状况, 配置过大致使成本升高, 配置过小无法满足调频需求, 而且, 其调频性能也需要改善, 常常表现为响应迟缓, 精准度欠佳等现象。所以, 对新能源发电厂储能系统容量配置与调频性能的协同控制研究, 对提升新能源发电厂的运行效率、保证电网稳定、促进新能源产业发展具有重要的理论价值和现实意义。本文即在此基础上, 对上述问题进行研究并提出协同控制策略。

作者简介: 胡苗 (1990.10-), 男, 汉族, 湖北省武汉市人, 助理工程师, 研究方向: 新能源电力发展与工程建设。

一、新能源发电厂储能系统容量配置与调频性能现状

(一) 容量配置现状

1. 风电场储能系统容量配置现状分析

在风电发电厂里，储能系统的容量规划常常要考虑风速的不确定性以及风电出力的波动性^[1]。当前有些风电场在做储能容量规划的时候，大多凭借经验或者简单的估计手段，没有仔细分析风电预测数据，有些风电场想要得到较好的调频成果，于是大量配置储能容量，造成投资成本显著增多，形成了资源的浪费，但是另一些风电场又怕投资太多，所以储能容量规划太小，不能很好地平息风电的波动，很难符合电网调频的要求。

2. 光光伏发电厂储能系统容量配置研究

光伏发电厂储能容量的大小受到光照强度、天气状况等因素的影响，目前很多光伏发电厂在配置储能容量的时候，并没有很好的结合当地的气象数据以及光伏出力的预测结果，在光照充足且光伏出力较大的时段，因为储能容量不够，多余的电无法被储存起来，只能选择弃光处理，造成能源浪费；而在光照不足且光伏出力较小的时候，储能系统又无法提供足够的电力支持，影响到电网的正常运行^[2]。

(二) 调频性能现状

1. 当前调频技术应用情况

目前新能源发电厂主要是运用传统 PID 控制算法等控制算法来进行调频控制，这些控制算法虽简单且好做，但是面对新能源发电这种剧烈变化的控制过程，其响应速度快，很难达到精确调频的效果。并且一些发电厂的发电厂也存在着调频系统与储能系统的联动性差的问题，在发电厂的调频过程中无法根据调频的需求去实现储能充放电，达不到很好的调频效果^[3]。

2. 存在的不足

在实际运行中，新能源发电厂的调频性能也存在着许多不足之处，一方面调频响应迟缓，当电网频率发生波动时，储能系统不能及时作出反应，不能够及时地提供或者吸收有功功率，从而影响到电网频率的恢复速度，另一方面调频精度较差，很难把电网频率稳定在规定范围内，很容易造成电网频率再次波动，给电力设备的安全运行带来隐患。

二、新能源发电厂储能系统容量配置与调频性能协同控制的意义

(一) 提高能源利用效率

储能系统容量合理配置并协同调频性能，可以减少新能源发电的弃风、弃光现象，我国西北某风电场采用协同控制策略后，弃风率由15%降至8%，年增发电量约2000万千瓦时，新能源出力过剩时，储能系统将多余电能存储起来，青海某光伏电站经优化储能容量后，每年减少弃光量达3000万千瓦时，在出力不足时释放电能，提高新能源消纳率，优化后的容量配置可降低储能系统投资成本，某项目通过精确计算，储能初始投资减少12%，年运维费用降低8%，极大提高了发电厂的经济效益^[4]。

(二) 保障电网稳定运行

新能源发电具有波动性，电网频率可能会偏离50Hz的额定值，我国电网频率允许偏差 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，精密制造、数据中心等行业对频率稳定性要求非常高，频率波动超过0.5Hz就会导致设备停机或者数据丢失，协同控制能够使储能系统在100毫秒之内作出反应，迅速平抑波动，江苏某新能源基地实施协同控制以后，电网频率偏差超出0.1Hz的时长每个月下降60%，由于频率波动引发的停电事故同比减少75%，这既保障了电力设备的安全运行，又保证了社会生产生活的电力供应连续性，给经济稳定发展赋予了电力支撑^[5]。

(三) 促进新能源产业发展

全球主要经济体把新能源发电占比列入碳中和目标，欧盟规定2030年可再生能源占比达40%，协同控制技术能解决新能源并网的技术难题，让发电厂符合电网导则，比如我国《新能源电站并网调度技术规范》对调频响应时间的要求，某跨国能源公司采用这项技术之后，新能源项目并网通过率从70%提高到95%，吸引大量资本注入，储能电池，控制系统等产业链环节随之增长，相关配套产业年产值增添大约50亿元，技术突破促使新能源度电成本下降，同传统火电的竞争力差距不断减小，加快全球能源转型步伐。

三、新能源发电厂储能系统容量配置与调频性能协同控制策略

(一) 容量配置优化策略

1. 结合新能源发电预测数据

利用改进的 LSTM 算法，结合历史出力数据、气象卫星云图、地形参数等多维度信息，建立72小时滚动预测模型。比如内蒙古风电场引入湍流强度预测因子，风电出力24小时预测误差由12%降低到8%。根据预测结果建立“预测-偏差-容量”关联模型：预测次日正午光伏出力峰值达到100MW时，按照15%的波动预留15MW储能容量；如果夜间风电预测值较低，就将储能容量动态调整到基荷的10%。某光伏电站使用该策略后，储能容量利用率从60%提升到85%，在满足调频需求的同时，避免了大约20%的容量冗余浪费。

2. 考虑负荷需求因素

建立负荷特性数据库，把工业负荷（钢铁厂的连续性用电），商业负荷（办公楼的峰谷波动），居民负荷（晚间用电高峰）的差别区分开来，按照分时电价机制来改良容量，像某个工业园区白天10-16时的负荷高峰，储能系统就要安排20MW/40MWh的容量，用来补足光伏午间出力过多，傍晚出力过少的缺口，到了深夜负荷低谷的时候，容量就可以缩减到5MW/10MWh，利用负荷转移系数，来衡量不同时段负荷对储能的依靠程度，某电网公司依照这个办法调节容量之后，储能系统的日均充放电次数从3次提升到5次，度电成本下降了0.12元，做到了与用电需求的精确对应^[6]。

3. 引入动态容量调整机制

部署物联网传感器来实时获取风速、光照、负荷电流这些参

数，通过5G边缘计算节点做到秒级的数据处理，设置双重阈值，当新能源出力波动超出10%，或者负荷突变大于5MW的时候，就会发出容量调整指令，比如说某个风电场遭遇阵风，风速从8m/s突然变成12m/s，系统在2秒之内把储能容量从20MW暂时扩充到25MW，从而防止产生功率冲击，而且采用“虚拟容量池”技术，把分散的储能单元集中起来统一管理，在负荷低谷时段调用10%的冗余容量加入电网调峰，从而改善整体利用率，这种机制投入使用之后，某个新能源基地的容量调整反应时间缩减到500毫秒，调频达标率提升了30%^[7]。

4. 融入经济性分析模型

建立起全生命周期的成本计算框架（包含最初投资，储能电池60%，控制系统20%），运行花费（年均为设备原有价值3%），替换成本（锂电池五年20%）以及弃电带来的损失（按每度0.3元算），利用净现值（NPV）比较不同的方案：方案A 100MWh容量最初投资8000万元，年获利1200万元；方案B 80MWh容量投资6500万元，年获益950万元并伴随50万度弃电，经过计算方案B五年NPV比方案A高出300万元且是更好的选择，某一项采用此模型之后，储能系统投资回收期从8年缩减成6.5年，做到技术上和经济上双收效果^[8]。

（二）调频性能提升策略

1. 采用先进控制算法

构建模型预测控制（MPC）的多目标优化函数，频率偏差最小，储能损耗最低，每50毫秒更新一次控制量。比如某电站把电网频率偏差 Δf ，储能SOC（荷电状态）加入约束， Δf 大于0.05赫兹时优先使用储能放电，储能SOC低于20%时自动减小放电功率，和传统PID控制相比，MPC调频精度由正负0.08赫兹提高到正负0.05赫兹，超调量降低40%，并且加入自适应鲁棒控制，面对不同季节电网惯性变化，比如夏季负荷高惯性大，自动调整控制参数，某个风电场采用以后，全年调频合格率从80%提升到96%^[9]。

2. 构建储能与调频系统协同通信机制

基于IEC61850标准打造数字化通讯网络，采取光纤环网+无线备份双链路设计，保证数据传输时延<10ms。储能系统即时上传SOC，充放电功率等16类状态量，调频系统下达频率指令，死区设置等控制信号，构成闭环反馈。电网调度中心发送调频指令之后，通过5ms的通信时间，该指令便被送到储能变流器

（PCS），启动功率调整，某新能源电站依靠部署边缘计算网关来达成本地数据预处理，削减高达70%的上传数据量，通信拥塞状况下降90%，从而免除由于数据延迟引发的调频响应迟滞情况。

3. 优化储能系统的充放电策略

“三段式”的充放电曲线：频率>50.1Hz的时候，储能采用2C倍率来充电（C表示额定容量），10秒之内就可以吸收过剩的功率；在49.9–50.1Hz区间，持续功率为0.5C，也就是调节频率；小于49.9Hz时，则会以1.5C的倍率来放电，还要与电池的循环寿命模型结合起来限定，单次充放电要少于80%，每日循环次数要少于5次，某种锂电池储能系统应用这一策略之后，循环寿命由原来的3000次被延长到了3800次，平均每年的成本缩减了25%，而且加入了温度补偿措施，冬天温度低的时候，自动将充放电功率下调10%，防止电池的性能衰减，保证在-20℃下仍然有80%的调频能力。

4. 实施多能互补协同调频

形成“飞轮+超级电容器+锂电池”混合系统，飞轮（响应时间<10毫秒）应对0–2秒高频次调频（如电网瞬时冲击），超级电容器（功率密度2000W/kg）应对2–60秒中频波动，锂电池（能量密度150Wh/kg）应对1分钟以上持续调频，通过能量管理系统（EMS）优先级调度算法，当频率突降0.2Hz时，先调用飞轮释放2MW功率，0.5秒后超级电容器投入3MW，5秒后锂电池以5MW持续输出，某示范项目采用此种模式之后，调频综合成本比单一锂电池系统低30%，而且响应速度加快40%，完全符合电网对于不同时间尺度调频的需求^[10]。

四、结语

综上所述，本文从新能源发电厂储能系统容量配置和调频性能协同控制入手，探讨了当前容量配置不合理，调频响应迟缓等问题，阐述了协同控制对于提升能源效率，保障电网稳定，推动产业发展的重要性，给出了含有经济性分析和动态调整的容量配置策略，多能互补等调频改进方案。这些策略给新能源电厂高效运行赋予了新的想法，不过在混合储能协同控制精确度，动态调节机制工程化等地方依然有待完善，以后可以联系数字孪生技术加深研究，促使策略落地，从而给新能源产业可持续发展给予更有力的技术支持。

参考文献

- [1] 王璐. 新能源发电侧储能技术与应用探究 [J]. 科技视界, 2024, 14(16):48–51.
- [2] 邢政锴, 张金钊. 配电网电源接入新能源发电的智能调度 [J]. 家电维修, 2024, (05):110–112.
- [3] 梁森, 孔祥允. 独立电池储能电站在新能源发电中的应用探讨 [J]. 中国设备工程, 2024, (08):94–96.
- [4] 郑文进, 孙怡. 探究储能系统和新能源发电装机容量对电力系统性能的影响 [J]. 电气技术与经济, 2024, (03):336–338.
- [5] 李靖, 徐天奇, 李璇, 等. 基于多市场耦合的新能源综合发电项目的盈利能力研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2024, 52(06):65–76.
- [6] 曹立鹏. 新能源发电储能系统容量多阶段自适应调控算法设计 [J]. 电力与能源, 2024, 45(01):65–70.
- [7] 黄兆浩, 毕素玲, 刁智伟, 等. 新能源发电侧储能技术的研究与应用 [J]. 电工技术, 2023, (S1):240–242.
- [8] 王运, 蒙飞, 张超, 等. 氨分解制氢储能系统容量对电力系统性能的影响 [J]. 储能科学与技术, 2024, 13(02):589–597.
- [9] 郑云平, 焦春雷, 亚夏尔·吐尔洪, 等. 基于新能源发电的构网型协调储能控制策略研究 [J]. 高压电器, 2023, 59(07):65–74.
- [10] 夏荣, 李奎. 分布式新能源发电中的储能系统能量管理分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(03):374–375.