



储能电站站用电交直流系统研究现状与能效提升

戴 鹏¹, 季 跃¹, 陈海浪², 杜琛瑀¹, 张亚玉²

(¹安徽明生电力设计有限公司, 安徽 合肥 230000; ²中国能源建设集团安徽省电力设计院有限公司, 安徽 合肥 230601)

摘要: 新型储能规模化发展下站用电能耗占比日益增大, 提升能效已成改善电站运行效率的重要途径。本文从拓扑、设备与运行三层梳理储能电站站用电交直流系统现状, 回顾了站用电典型拓扑与适用场景, 指出系统由分散配置向一体化集成、多级变换向少层级直供演进, 分析了 GB/T 51048-2025 对大型储能电站站用电源双回路互为备用的要求; 介绍了站用变压器、高频整流模块、蓄电池及暖通空调损耗机理, 指出了多级变换累积损耗、设备轻载及计量粗放是能效偏低主因; 分析了固态变压器替代工频变压器、直流电压标准化等热点, 指出少层级高融合拓扑缺乏工程验证、站用电数据与电池管理系统及能量管理系统存在数据孤岛等缺口。据此提出提升路径, 即拓扑层面直流母线直供并压缩变换层级; 设备层面按负荷时序加权效率最优配置容量; 运行层面完善分项计量, 打通站用电与电池管理系统及能量管理系统数据链路, 构建协同管控机制。最后展望了少层级高融合拓扑、直流保护及新型设备可靠性验证, 标准衔接等发展方向, 以期为储能电站站用电系统设计、运行与节能改造提供参考。

关键词: 储能电站; 站用电交直流系统; 电损耗; 能效提升

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0829

中图分类号: TM 63

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 10-4108-04

Research status and energy efficiency improvement of AC/DC system for energy storage power station

DAI Peng¹, JI Yue¹, CHEN Hailang², DU Chenyu¹, ZHANG Yayu²

(¹Anhui Mingsheng Electric Power Design Co., Ltd., Hefei 230000, Anhui, China; ²China Energy Engineering Group Anhui Electric Power Design Institute Co., Ltd., Hefei 230601, Anhui, China)

Abstract: With the large-scale development of new energy storage, the proportion of station electricity consumption is increasing, and improving energy efficiency has become an important way to improve the operation efficiency of power stations. In this paper, the current situation of AC/DC system of energy storage power station is sorted out from three aspects of topology, equipment and operation. The typical topology and applicable scenarios of station power consumption are reviewed. It is pointed out that the system evolves from decentralized configuration to integrated integration and multi-level transformation to less-level direct supply. The requirements of GB/T 51048-2025 for the dual-loop of station power supply of large energy storage power station are analyzed. This paper introduces the loss mechanism of station transformer, high frequency rectifier module, battery and HVAC, and points out that the

收稿日期: 2026-09-22; 修改稿日期: 2026-10-08。

第一作者及通信联系人: 戴鹏 (1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为变电站电气二次, E-mail: daipeng202608@163.com。

引用本文: 戴鹏, 季跃, 陈海浪, 等. 储能电站站用电交直流系统研究现状与能效提升[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(10): 4108-4111.

Citation: DAI Peng, JI Yue, CHEN Hailang, et al. Research status and energy efficiency improvement of AC/DC system for energy storage power station[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(10): 4108-4111.

cumulative loss of multi-stage transformation, light load of equipment and extensive measurement are the main reasons for low energy efficiency. The paper also analyzes the hot spots such as solid-state transformers replacing power frequency transformers and DC voltage standardization, and points out that the few-level high-fusion topology lacks engineering verification, and there are gaps such as data islands in station power consumption data and battery management systems and energy management systems. Based on this, the paper proposes a lifting path, that is, the DC bus at the topology level is directly supplied and the transformation level is compressed; the equipment level allocates the optimal capacity according to the load timing weighted efficiency; at the operational level, the sub-metering is improved, and the data link between the station power consumption and the battery management system and the energy management system is opened up, and the collaborative management and control mechanism is constructed. Finally, the development directions of low-level high-integration topology, DC protection, reliability verification of new equipment and standard convergence are prospected, in order to provide reference for the design, operation and energy-saving transformation of station power system of energy storage power station.

Keywords: energy storage power station; power station AC/DC system; electrical loss; energy efficiency improvement

随着电力现货市场建设加速, 过高的站用电损耗会挤占电站可上网电量, 减少运营收益, 因此提升站用电系统能效具备明确的经济价值。目前, 针对站用变压器、DC/DC 变换器及不间断电源等关键设备, 国内外已开展大量围绕非晶合金铁心、宽禁带器件应用及软开关技术的损耗建模与优化研究工作。但多数聚焦于单一设备或者局部环节, 缺乏对于多级交直流变换造成的累积损耗、辅助负荷的随机波动与变压器容量匹配失当, 以及缺乏覆盖全站的能效在线监测与协同调控机制等问题的系统性梳理^[1]。本文从拓扑架构简化、设备容量精准适配及全站源荷协同管控等维度出发, 探索储能电站站用电交直流系统的能效提升路径, 制定低损耗站用电系统设计与运行策略, 为有效改善储能电站整体运行能效提供助力。

1 储能电站站用电交直流系统研究现状

在新型储能产业快速发展背景下, 梳理交直流系统典型结构及其适用边界、明确主要设备损耗形成机制、厘清现有技术探索进展、辨识研究薄弱环节, 是开展站用电能效提升的基础。

1.1 站用电交直流典型拓扑及适用场景

储能电站站用电交直流系统拓扑由分散独立配置向一体化集成演进。早期采用交流 380/220V 单母线分段与直流 220V 操作电源分别设置, 两台站用变压器经 ATS 自动切换, 高频开关整流模块配阀控铅酸蓄电池, 物理隔离运行, 适合中小型电站。容量提升后, 交直流一体化电源系统将交流、直流操作、UPS 及通信 DC/DC 整合, 共享蓄电池并集中监控, 减少冗余。余东旭在福建霞浦 GW 级储能电站实践中, 通过 PCS 经低压交流汇集后一级升压, 简化了站用电网络层级, 验证了模块化集成方案可行性^[2]。多站融合场景下, “两交一直” 混合微网以 750V 直流主母线为核心, 经 DC/DC 与 AC/DC 接口接入光伏、充电桩及数据中心, 两个 380V 交流子微网与直流子微网互联互备, 孤岛时维持关键负荷, 适用于源网荷储一体化。GB/T 51048—2025 规定大型储能电站站用电电源宜双回路供电互为备用, 推动拓扑向高可靠性发展。

1.2 站用电关键设备与损耗机理研究进展

站用电交直流系统损耗主要来自整流变换、蓄电池充放电及辅助供电。高频开关整流模块已由相控整流转向 LLC 谐振或移相全桥软开关拓扑, 主流效率 94%~96.8%、功率因数高于 0.94, 但轻载效

率非线性下降；碳化硅 MOSFET 模块在 20 kHz 以上频率可维持 96% 以上整机效率，较 IGBT 方案降低约 30% 损耗。蓄电池环节损耗包含内阻焦耳热、自放电与 BMS 静态功耗，磷酸铁锂凭借低内阻与低自放电加速替代阀控铅酸，国网系统锂电配置比例升至 76.4%。站用电损耗的另一重要来源是暖通空调等辅助负荷，王晓等^[9]对山东某 100MW/200 MW·h 储能电站的实测数据表明，电池舱空调装机容量占主要辅机总容量的 73.77%，夏季日均站用电率高达 11.94%，其中太阳热辐射贡献了电池舱热源的 40.8%。李学斌等^[9]提出的预制舱式储能电站能耗计算方法进一步量化了各环节损耗占比，为能效优化提供了理论依据。从系统层级看，交直流变换级数的多寡直接决定了累积损耗，采用储能变压器与站用变融合设计可减少一级变换，在多站融合项目中已取得降低能耗 10%~20% 的实测效果。

1.3 国内外研究热点与现存研究缺口

当前国内外学界与工程界围绕储能电站站用电交直流系统的研究聚焦于三个方向：一是固态变压器（SST）替代传统工频变压器的技术路径，基于级联 H 桥与双有源桥（DAB）的 SST 架构可实现中压直挂、高频隔离与多端口能量路由，系统效率较传统方案提升 1.5~2 个百分点，占地减少约 30%，王力等提出的交直流混联微电网功率分级协调控制策略为 SST 接入后的稳定运行提供了控制框架^[9]；二是站用电能效优化与降损技术，包括光伏顶棚隔热、液冷替代风冷、智能休眠调度等多种手段；三是直流配电电压等级的标准化选择，750V、1500V 等中压直流体制在储能电站的适用性论证成为热点议题。

尽管研究成果丰硕，仍存在若干亟待填补的缺口。拓扑架构层面，现有站用电系统设计多沿用变电站标准，普遍采用“站用变——整流模块——直流母线——逆变 UPS”的多级变换链路，交直流能量需经历两次以上转换方可供给负荷，累积效率损失显著，而针对储能电站充放电周期性特征的少层级、高融合度拓扑设计尚处于探索阶段，储能变压器与站用变融合、直流母线直供等方案缺乏系统性的工程验证与规范支撑。设备选型配置层面，高频整流模块、蓄电池组及 UPS 装置多按额定工况独立选型，缺乏与站用电实际负荷曲线的动态匹配，轻载运行时段模块效率大幅下降、蓄电池容量冗余

度偏高、空调等辅助负荷选型粗放等问题普遍存在。计量监测与协同管控层面，多数储能电站站用电计量仅停留在整站总表层面，缺乏对交直流各支路、各设备层级的精细化分项计量，站用电数据与电池管理系统（BMS）、能量管理系统（EMS）之间数据孤岛现象突出，尚未形成跨系统的站用电协同管控机制，导致能效优化缺乏数据驱动的闭环支撑。

2 储能电站站用电交直流系统能效提升路径

传统链路层级多、设备选型粗放、计量数据分散是造成能效偏低的主要症结，因而从结构、配置与运行三个层面进行闭环优化，可推动储能电站站用电系统向少层级、高融合、智能化方向演进，以提升储能电站站用电交直流系统的综合能效。

2.1 优化交直流拓扑架构，减少电能变换环节

优先考虑直流母线直供架构，将电池管理系统、消防主机、传感器及直流照明等设备直接挂接于 DC/DC 变换器输出端，避免将直流电逆变为交流再整流回直流的重复转换。对于交流负荷，可通过集中式逆变器从直流母线取能，仅在必要环节保留 AC/DC 变换，使全站变换层级压缩至两级以内。对于变压器，可探索站用变与储能变流器的一体化集成，利用电力电子变压器或多端口能量路由器替代传统工频变压器与整流模块的串联组合。此类拓扑需要解决直流母线电压稳定、接地方式及短路电流限制等问题，但工程上已出现的交直流混合微网示范表明，少层级架构在降低损耗与节省占地方面具有实际潜力。设计时还应结合储能电站充放电周期性特征，在放电时段优先由电池直流侧通过直流母线向辅助负荷供能，充电时段则由电网侧经 AC/DC 整流后供给，使能量路径与主系统运行状态相匹配，进一步削减不必要变换。

2.2 优化设备选型配置，实现负荷精准适配

设备选型应从额定容量导向转向负荷时序特性导向，基于站用电典型日负荷曲线和年度持续时间曲线，统计不同负载率区间的累计运行时长，按加权效率最优原则确定装置容量。例如，变压器容量可适当下调，利用短时过载能力应对尖峰负荷，避免长期空载损耗；高频整流模块宜采用多模块并联结构，根据实际负载动态投切，使在线模块始终工

作于效率较高的中高负载区间，替代单台大容量模块的低负载运行。蓄电池组与 UPS 容量同样不宜过度冗余，可依据直流负荷持续时间和切换要求进行概率化配置，减少浮充损耗与空载损耗。对于空调、通风等热管理负荷，应结合电池舱温度场模拟和当地气候条件，选用变频压缩机、液冷或自然冷却方案，使辅助耗电与电池散热需求同步变化。在设备选型参数上，应优先选用效率曲线平坦、低负载效率高的产品，并在技术规范中明确不同负载点的效率要求，而非仅考核额定效率。

2.3 完善计量监测,构建站用电协同管控机制

在交流配电馈线、直流母线各分支、整流模块输出端及主要辅助设备进线处设置分项计量点，覆盖变压器、UPS、空调、照明等负荷，采用统一通信协议将高频采集数据汇入能效管理平台。在此基础上，将站用电数据与电池管理系统和能量管理系统的运行信息进行融合，利用电池荷电状态、充放电功率计划和环境温度预测辅助负荷变化趋势，进而实现辅助负荷的自适应调度。例如，在电池低功率充电时段提前降低空调出力或切换至自然冷却，在高功率放电前依据温度预测提前启动散热设备，避免空调长期满负荷运行。平台可构建站用电能流图，实时计算各变换环节与各设备的损耗率，对异常损耗进行自动辨识与预警。结合边缘计算节点，将部分能效优化算法下沉至本地，降低通信时延并提高控制响应速度。通过计量、监测、分析与控制

的联动，形成从数据采集到策略执行的闭环，使站用电管理由粗放式统计转向精细化协同管控，为拓扑简化与设备优化配置的实际效果提供验证依据。

3 结 论

储能电站站用电交直流系统的能效水平取决于拓扑架构、设备选型与运行管控的协同程度。多级交直流变换造成的累积损耗、设备长期轻载运行以及计量粗放是当前能效偏低的主要原因。通过压缩变换层级、在直流负荷集中场景推广直流直供、依据负荷时序特性配置变压器与变换器容量，并完善分项计量、打通站用电与电池管理及能量管理系统的数据链路，有助于形成覆盖设计、选型与运行全过程的节能路径。后续还需积累直流保护与新型设备可靠性数据，推动相关措施的工程验证与标准衔接，为储能电站全生命周期能效提升提供支撑。

参 考 文 献

- [1] 姜淞瀚, 彭克, 赵学深, 等. 交直流配电系统控制交互特性量化评估方法[J]. 电力系统自动化, 2026, 50(5): 149-160.
- [2] 余东旭. 大型电化学储能电站设计创新及应用[J]. 电力建设, 2024, 45(6): 91-99.
- [3] 王晓, 范云鹏, 卞峰, 等. 某电化学储能电站降低站用电率方案分析[J]. 发电设备, 2023, 37(6): 386-391.
- [4] 李学斌, 赵号, 陈世龙. 预制舱式磷酸铁锂电池储能电站能耗计算研究[J]. 南方能源建设, 2023, 10(2): 71-77.
- [5] 王力, 胡佳成, 曾祥君, 等. 基于混合储能的交直流混联微电网功率分级协调控制策略[J]. 电工技术学报, 2024, 39(8): 2311-2324.