储能电站电池组运行故障成因与日常维护对策

李荣春
中国水利水电第十二工程局有限公司　浙江　杭州　310000

摘　要：高海拔地区具备低压、低温、强紫外线、大风沙等特殊气候特征，对储能电站电池组运行稳定性与使用寿命造成显著负面影响，极易引发电池容量衰减、绝缘失效、热失控、外壳老化破损等各类运行故障，严重制约高原储能系统安全稳定运行。本文结合高海拔特殊环境工况，系统分析储能电池组各类典型故障的核心成因，针对性制定适配高海拔环境的常态化、精细化日常维护对策，旨在降低电池组故障发生率，延长设备服役周期，保障高海拔储能电站持续、安全、高效运行。

关键词：储能电站；电池组；运行故障成因；日常维护

引言

随着新能源产业向高原偏远地区拓展，高海拔储能电站成为新能源消纳、电网调峰调压、保障偏远区域供电的核心基础设施。高海拔地区气压低、昼夜温差大、紫外线辐射强、风沙侵蚀严重，与平原地区运行环境差异极大，储能电池组长期处于极端工况下，故障概率大幅提升，常规运维模式难以适配高原设备运行需求。为破解高海拔储能电池运行安全难题，本文立足高原环境特性，深度剖析电池组故障诱因，构建系统化运维体系，为高海拔储能电站安全运维提供技术参考。

1 高海拔地区储能电站电池组运行环境特征

高海拔地区多指海拔2500m以上区域，这类区域独特的气候与地理环境，形成了区别于平原地区的极端运行工况，从电化学反应、设备结构、电气性能等多个维度持续影响储能电池组运行状态，是电池组各类故障频发的根本外部诱因，其核心环境特征集中体现在四个方面。一是高海拔区域大气压强显著降低，海拔越高空气稀薄度越高，空气对流换热效率大幅下降。电池组充放电运行过程中会持续产生热量，平原地区可通过空气对流快速散热，而高原低压环境下散热受阻，电池箱体内部易出现热量堆积，长期处于高温运行状态。同时，低气压会降低电气设备绝缘介质强度，电池高压接线端子、采样线束、汇流排等部件绝缘裕度大幅缩减，极易诱发局部放电、爬电等电气异常问题，直接影响电池电气运行安全性。二是高海拔地区昼夜温差极大，日间太阳直射温度较高，夜间气温骤降至零下，部分高海拔区域全年低温时长占比超半年。大幅温度波动会持续冲击电池内部电化学体系，低温环境下电池电解液粘度升高、锂离子扩散速率下降，电极活性降低，电池充放电效率大幅衰减；温度频繁交变会造成电池电芯、外壳、密封件反复热胀冷缩，加速结构老化与密封失效，引发漏液、鼓包等故障。三是高原地区大气层稀薄，紫外线辐射强度远高于平原地区，且辐射时长更长。高强度紫外线具备极强的氧化老化作用，会持续照射电池组外壳、绝缘护套、连接线缆、密封胶条等橡塑材质部件，加速材料老化、脆化、开裂，破坏电池密封结构与电气绝缘性能。同时，紫外线辐射会催生臭氧生成，臭氧的强氧化性会持续腐蚀电池金属连接件，造成连接件氧化锈蚀、接触电阻增大，引发接触发热、电压异常等问题。四是多数高海拔山地、高原区域风沙天气频发，风沙颗粒物硬度高、冲击力强，长期吹拂、冲刷储能电池柜体外表面与通风结构[1]。细小沙尘极易通过散热孔、密封缝隙进入电池柜内部，堆积在电芯表面、线束接口、散热通道内，不仅会堵塞散热结构，进一步恶化电池散热条件，还会造成电气部件积尘漏电、接触不良，持续加剧电池运行故障风险。

2 高海拔环境下储能电站电池组主要运行故障及成因

2.1 电池容量快速衰减故障

电池容量衰减是高海拔储能电站最普遍的持续性故障，表现为电池组可用容量逐年大幅下降、充放电倍率降低、单体电池容量一致性变差，直接导致储能系统调峰能力不足、充放电效率降低。该故障核心诱因源于高原低温与温度交变环境，高海拔低温工况下，锂电池电解液流动性变差，锂离子脱嵌与迁移阻力大幅增加，电池内部电导率骤降，充电过程中极易出现锂枝晶析出问题。锂枝晶会持续消耗电解液与活性锂离子，造成电池不可逆容量损失，同时会增大电池内阻，导致充放电过程产热增多、能耗升高。同时，高原昼夜极端温差会破坏电池内部电化学平衡，反复的热胀冷缩会造成电极材料微观结构开裂、脱落，活性物质持续流失。相较于平

原地区，高海拔电池组活性物质衰减速率提升30%以上，单体电池之间的温度差异会加剧电芯老化不均衡性，出现部分电芯提前衰减、落后电芯堆积的问题，造成电池组整体容量匹配失衡，长期运行下整组电池性能持续劣化。此外，高原低压散热不良引发的轻微积热，会加速电解液分解挥发，进一步加剧电池容量衰减。

2.2 电气绝缘与接触故障

高海拔低压低气压环境是诱发电池组电气故障的核心因素，主要表现为绝缘电阻降低、局部放电、接线端子接触不良、漏电报警频发等故障，严重时会引发短路、跳闸停机事故。根据电气绝缘特性规律，海拔每升高1000m，空气绝缘强度下降约10%，2500m以上高海拔区域设备绝缘裕度严重不足，电池汇流排、高压端子、采样线束等裸露电气部件极易产生爬电、电弧放电现象。同时，高原强紫外线与臭氧的强氧化作用，会持续腐蚀电池线缆绝缘层、端子镀层，造成绝缘层老化开裂、金属端子氧化锈蚀，导致绝缘性能下降、接触电阻增大。风沙侵入电池柜内部后，导电沙尘堆积在电气接口处，会形成微导电通道，引发间歇性漏电、虚接故障[2]。此外，高原温差交变导致设备结构轻微形变，会造成接线螺丝、线束接头松动，长期运行下接触部位持续发热，加剧氧化烧蚀，形成恶性循环，频繁触发电池管理系统故障报警。

2.3 电池热失控安全故障

热失控是高海拔储能电站最危险的恶性故障，具有突发性、连锁性、破坏性强的特点，易引发起火、爆炸事故，是高原储能安全管控的重中之重。该故障的核心诱因是高海拔低压环境散热失效，电池组充放电产生的热量无法通过稀薄空气有效对流散失，热量在电池柜密闭空间持续堆积，导致电芯运行温度持续偏高。常规平原散热设计的电池柜体、通风系统无法适配高原低压工况，散热效率大幅衰减，电池长期处于高温亚健康运行状态，电芯内部电解液加速分解产气，电池内部压力升高。同时，高原环境引发的电池内阻增大、单体一致性差问题，会导致充放电过程中部分落后电芯过充过放，局部产热激增，当热量累积速度远超散热速度时，电芯温度突破阈值，触发热失控链式反应。此外，沙尘堵塞散热通道、绝缘老化短路、端子接触发热等次生故障，都会进一步诱发和加剧热失控风险，大幅提升储能电站安全事故概率。

2.4 设备结构老化与密封失效故障

高海拔强紫外线、风沙冲刷、温差交变三重作用，会持续破坏电池组外部结构与密封体系，引发外壳破损、密封失效、柜体进水进尘、电芯漏液等故障。高强度紫外线长期直射电池塑料外壳、密封胶条、防水透气阀等部件，会造成橡塑材料分子链断裂，出现老化、脆化、开裂、变形问题，彻底破坏电池原有密封防护结构。高原强风沙的高速冲刷磨损，会磨损电池柜体表面防护涂层、散热格栅与密封边缘，扩大设备缝隙，让沙尘、水汽更容易侵入设备内部。同时，极端温差交变产生的温度应力，会让电池密封结构反复伸缩形变，导致密封胶条脱落、贴合不严，出现密封失效问题[3]。密封破损后，外界沙尘、潮湿空气持续侵入电池内部，不仅会造成电芯表面污染、金属部件锈蚀，还会引发电解液受潮变质、电芯漏液故障，进一步诱发容量衰减、短路、热失控等连锁故障，大幅缩短电池组使用寿命。

3 适配高海拔环境的储能电池组日常维护对策

3.1 优化温湿度管控，延缓电池容量衰减

针对高海拔地区常年低温、昼夜温差悬殊、空气干燥引发的储能电池电芯活性下降、容量快速衰减、单体一致性变差等核心问题，建立全天候、全周期的电池温湿度智能管控运维体系。结合高原低压、低温的特殊工况，为储能舱、电池柜配套加装高原专用恒温加热模块与智能变频温控散热设备，实现温度自适应调节，低温夜间时段自动启动加热功能，将电池运行环境稳定维持在15℃~30℃的最佳工作区间，有效杜绝电芯低温析锂、电解液活性降低、充放电效率下降等问题。高温日照时段，联动调控散热系统运行参数，弥补高海拔稀薄空气散热效率不足的短板，避免电池舱内部热量堆积。日常运维中，依托电池管理系统远程实时采集单体电芯温度、整组温差数据，根据环境温度动态调整充放电倍率，低温环境适度降低充电倍率，严控过充过放工况，减少电芯不可逆损耗。每周开展现场巡检，核查温控设备运行状态、温湿度传感器精准度，及时校准偏差、更换故障器件。每月开展电池组容量均衡校准，通过主动均衡技术修复落后电芯，缩小单体电压、容量差值，抑制电池组差异化衰减，稳定整体储能运行性能。

3.2 强化电气绝缘防护，杜绝电气运行故障

高海拔地区空气稀薄、绝缘介质强度低、紫外线强、风沙粉尘多，易引发电池设备绝缘老化、金属部件氧化锈蚀、漏电爬电等电气故障的特性，制定高海拔专属电气绝缘专项运维方案，全方位提升电池组电气运行安全裕度。设备配置上，优选高海拔专用耐候绝缘材料，对电池汇流排、接线端子、采样线束等核心电气部位加装加厚绝缘护套、绝缘挡板，全面强化绝缘包覆防护，抵御高原低压环境下的局部放电、爬电隐患。建立

月度电气专项巡检机制，采用专业绝缘测试仪逐组检测电池绝缘电阻，对照行业标准参数排查绝缘层老化、线缆破损、密封失效等隐患，及时更换开裂、老化的绝缘配件与线缆。针对高原强氧化环境，定期对金属接线端子、连接接头进行除锈、镀锡防护处理，紧固松动部件，并在连接接触面涂抹高原专用抗氧化防腐绝缘油脂，隔绝空气、臭氧侵蚀[4]。同时建立风沙天气后专项运维流程，及时清理电气接口、接线缝隙堆积的沙尘，消除沙尘引发的微导电通道，杜绝间歇性漏电、线路虚接、短路等电气故障，保障电气系统稳定运行。

3.3 升级散热运维体系，防范电池热失控风险

针对高海拔低压散热差、易积热诱发的热失控故障，优化电池散热系统运维模式，构建全方位散热保障机制。对原有电池散热、通风系统进行高原适配升级，增大散热风机功率、优化通风风道结构，提升稀薄空气环境下的对流散热效率，确保电池组充放电热量快速散失。落实常态化散热设备巡检，每日检查散热风机、通风口、散热格栅运行状态，及时清理堵塞风道的沙尘、杂物，保证散热通道全程畅通。重点强化充放电高峰时段监测，实时跟踪电芯温度变化，设置高原专属高温预警阈值，一旦发现单体电芯温度异常升高、温差超标，立即调整运行工况，开展故障排查。每季度对电池柜内部积热死角、散热设备性能进行全面检测维护，更换老化、散热效率下降的风机设备，同时定期开展热失控隐患排查，清理内部积尘、排查短路隐患，从源头杜绝热失控事故。

3.4 落实结构防护运维，提升设备环境适配能力

围绕高海拔地区强紫外线辐射、风沙持续冲刷、昼夜超大温差引发的电池外壳老化、密封失效、结构松动、涂层脱落等问题，建立常态化结构防护与密封运维机制，全面提升电池组高原环境适配与抗干扰能力。坚持春秋两季定期开展电池组结构全面体检，重点排查电池柜体外壳、密封胶条、防水透气阀、设备防护涂层等关键部位的完好状态，对温差老化、脆化开裂、变形失效的密封部件及时更换，对磨损、脱落、锈蚀的防护涂层进行打磨补涂，修复破损密封结构，彻底阻断高原沙尘、水汽、低温气流的侵入通道。针对高强度紫外线辐射损伤，为电池裸露柜体、外置线缆加装专用防紫外线防护罩，喷涂耐候遮光防护涂层，降低紫外线长期照射导致的材料老化、性能衰减问题。常态化开展风沙后设备清洁作业，及时清除电池柜体、散热孔、设备缝隙的堆积沙尘，避免风沙持续冲刷磨损设备结构、堵塞防护通道[5]。同时结合高原温度应力形变特性，定期检查设备固定支架、密封贴合状态，及时整改温差形变引发的密封不严、部件松动等问题，持续稳固设备防护性能，规避结构老化引发的渗水、积尘、短路等次生故障。

结语

高海拔地区低压、低温、强紫外线、强风沙的极端工况，是引发储能电池组容量衰减、电气故障、热失控、结构破损的核心诱因，各类故障相互关联、连锁诱发，严重影响储能电站安全稳定运行。贴合高原环境特性，针对性优化温湿度管控、电气绝缘防护、散热运维、结构防护等运维工作，构建适配高海拔工况的精细化维护体系，能够有效规避极端环境对电池组的损伤，降低故障发生率，提升电池组运行稳定性与服役年限，为高海拔新能源储能产业安全可持续发展提供坚实保障。

参考文献：

[1]石晓钰.电网侧储能电站电池组热失控预警与安全运维技术研究[J].电力设备管理,2025,(19):229-231.

[2]何锦华,吴斌,曹敏健,等.面向辅助服务的新能源场站共享储能容量优化配置[J].电力工程技术.2022,41(6).2096-3203.2022.06.006 .

[3]高欣,王若谷,高文菁,等.基于运行数据的储能电站电池组一致性评估方法[J].储能科学与技术,2023,12(9):2937-2945.

[4]刘忠征.基于健康诊断与多级主动均衡融合的储能电池智能养护装置[J].机电技术,2026,(3):9-16.

[5]王亚洲.光伏电站储能系统充放电优化调度策略研究[J].电力设备管理 ;2026（12):226-229