

# 基于百兆瓦时钠离子储能电站一致性问题解决策略研究

戴迎根

大唐湖北新能源事业部

DOI:10.32629/etd.v7i4.20252

**[摘要]** 钠离子电池凭借资源丰富、成本低廉、低温性能优异等优势,在大规模储能领域展现出广阔应用前景。然而,电池一致性差异是制约钠离子储能电站安全稳定运行、经济效益的关键瓶颈。本文以大唐潜江钠离子储能电站四季度补电实践为研究对象,通过对比补电前后各区域电池簇压异常数量、SOC分布等核心数据,系统评估补电对改善电池一致性的实际效果。深入分析静置、降电压、降功率及分级补电等技术措施的作用机制,揭示影响钠离子电池一致性恢复的关键因素,并提出针对性的优化策略与后续运维建议。研究表明,科学的补电方案可有效降低电池簇压异常率,显著提升钠离子储能电站的一致性水平,为同类电站的一致性管控提供重要的工程参考与技术借鉴。

**[关键词]** 钠离子储能电站; 电池一致性; 运维策略、全时段被动均衡

**中图分类号:** TV74 **文献标识码:** A

## Research on Strategies to Solve Consistency Issues in Hundred-Megawatt-Hour Sodium-Ion Energy Storage Power Stations

Yinggen Dai

Datang Hubei New Energy Division

**[Abstract]** Sodium-ion batteries, with their advantages of abundant resources, low cost, and excellent low-temperature performance, show broad application prospects in large-scale energy storage. However, battery inconsistency is a key bottleneck restricting the safe and stable operation and economic efficiency of sodium-ion energy storage plants. This paper takes the fourth-quarter recharge practice at the Datang Qianjiang Sodium-ion Energy Storage Plant as the research object. By comparing key data such as the number of abnormal cluster voltage differences and SOC distribution before and after recharging in each region, the study systematically evaluates the actual effect of recharging on improving battery consistency. The mechanisms of technical measures such as idle time, voltage reduction, power reduction, and hierarchical recharging are analyzed in depth, revealing the key factors affecting consistency recovery in sodium-ion batteries, and proposing targeted optimization strategies and subsequent operation and maintenance suggestions. The results indicate that a scientific recharging plan can effectively reduce the abnormal cluster voltage difference rate and significantly improve the consistency level of sodium-ion energy storage plants, providing important engineering references and technical guidance for consistency management in similar plants.

**[Key words]** Sodium-ion energy storage plant; battery consistency; operation and maintenance strategy; Full-time Passive Balancing

### 1 引言

#### 1.1 研究背景与意义

在“双碳”目标引领下,可再生能源发电规模持续扩大,储能电站成为平抑新能源出力波动、保障电网安全的核心支撑。钠离子电池因钠资源储量丰富、原材料成本低,且低温放电性能与过充过放安全性优异,成为大规模电化学储能的新型技术路线。

然而,受材料制备工艺、装配精度、电芯老化不一致等因素影响,单体电池的电压、容量、内阻等参数会逐渐偏差,即电池一致性问题。这会导致部分电池提前过充过放,降低电池组容量与储能效率,甚至引发热失控,严重影响电站使用寿命与运行可靠性。因此,研究钠离子储能电站一致性管控技术,探索有效改善方案,对推动其规模化应用具有重要意义。

#### 1.2 国内外研究现状

目前, 电池一致性研究多集中于锂离子电池, 技术已较成熟, 涵盖材料工艺优化、电池分选、均衡控制(主动均衡能量利用率高但成本高, 被动均衡结构简单但能量损耗大)、运维管理等方面。

相较于锂离子电池, 钠离子电池一致性研究尚处于起步阶段。因电极材料离子扩散速率、电子导电性等特性差异, 其一致性衰减规律与影响因素具有独特性。现有研究多聚焦材料层面优化, 如改进正极材料合成工艺、优化电解液配方等, 而工程应用层面, 针对储能电站一致性改善技术, 尤其是基于补电的运维管控方案, 相关研究与实践案例较少, 缺乏系统的效果评估与技术总结。

### 1.3 研究内容与技术路线

本文依托大唐潜江电站四季度批量补电实践, 重点开展以下工作: 梳理补电前一致性状态, 明确压差异常分布特征; 阐述补电方案实施过程, 包括技术措施参数设置与执行流程; 对比补电前后核心数据, 评估改善效果; 分析影响一致性恢复的关键因素, 提出优化管控策略与后续运维计划。

技术路线: 收集补电前后运行数据(放电末压差、SOC分布等); 整理分析数据, 明确一致性指标变化规律; 揭示技术措施与改善效果的关联; 提出优化策略与运维建议, 形成工程化方案。

## 2 钠离子电池一致性影响因素分析

钠离子电池一致性差异在生产、装配、运行及老化全过程中逐渐形成, 分为内在因素和外在因素, 二者相互作用导致一致性衰减。

### 2.1 内在因素

生产制造环节是初始一致性差异的根本原因。一是电极材料差异: 同一批次的正极与负极材料, 因合成工艺稳定性影响, 可能存在成分与性能微小偏差; 二是电池装配精度: 电芯卷绕或叠片时, 电极对齐度、隔膜厚度均匀性、电解液注入量等参数偏差, 导致单体电池内阻、容量初始值不同; 三是电池封装工艺: 封装密封性差异引发电解液泄漏速率不同, 影响电池长期循环稳定性, 加剧一致性。

### 2.2 外在因素

使用过程中环境条件与运行工况是一致性差异扩大的主要驱动因素。一是温度分布不均: 电池簇密集排列, 受散热系统布局、环境温度变化及自身产热差异影响, 工作温度存在偏差, 进而影响钠离子扩散速率与电极反应动力学特性, 导致充放电参数不一致, 长期运行加剧衰减; 二是充放电工况差异: 电网负荷波动使充放电功率、深度(DOD)变化, 不同区域电池簇功率分配不均, 循环老化程度存在差异; 三是静置与均衡条件: 静置过程中均衡参数设置, 影响被动均衡效果, 进而影响一致性恢复。

## 3 大唐潜江钠离子储能电站补电方案实施

### 3.1 电站概况

大唐潜江钠离子储能电站规模50MW/100MWh, 采用185Ah/2.95V层状氧化物钠离子电芯, 是全国首个百兆瓦时级应用的钠

离子储能电站, 承担调峰填谷、新能源消纳任务。电站模块化设计, 分一号、二号、三号三个区域, 每区域168个电池簇, 每簇由364个单体电芯串联组成, 采用组串式技术路线。本次研究聚焦四季度补电, 覆盖整站, 目标治理一致性问题, 提升DOD。

### 3.2 补电前一致性状态诊断

选取10月29日数据为基准, 统计各区域放电末压差异常簇数, 结果如下表1所示。

表1 补电前各区域电池簇一致性状态

区域	异常类型	异常数量(簇)	占比(%)
一号区域	报警(压差 $\geq 350\text{mV}$ )	106	88.3
	接近报警( $300\text{mV} < \text{压差} < 350\text{mV}$ )	14	11.7
二号区域	报警(压差 $\geq 350\text{mV}$ )	31	42.5
	接近报警( $300\text{mV} < \text{压差} < 350\text{mV}$ )	42	57.5
三号区域	报警(压差 $\geq 350\text{mV}$ )	24	57.1
	接近报警( $300\text{mV} < \text{压差} < 350\text{mV}$ )	18	42.9

由表1可知, 补电前三个区域均存在一致性问题: 一号区域最为严重, 异常簇数120簇, 88.3%为报警级; 二号区域异常簇数73簇, 以接近报警级为主; 三号区域异常簇数42簇, 报警级占比57.1%, 亟需补电改善。

### 3.3 补电方案设计与实施

基于诊断结果, 结合钠离子电池电化学特性, 制定差异化补电方案, 采用“静置+降电压+降功率+分级补电”组合措施:

#### 3.3.1 一号区域补电方案

一号区域一致性问题最为严重, 且报警级异常簇数占比高, 因此采用“长期静置+分阶段恢复+降参数补电”的策略, 具体实施过程分为三个阶段:

第一阶段: 全区静置(10月28日-12月2日)。通过长期静置, 利用全时段被动均衡功能, 初步缩小压差。静置期间, 实时监测各电池簇的电压变化, 记录压差变化趋势。

第二阶段: 分阶段电压恢复(10月28日-12月2日同步进行)。静置过程中, 尝试按“先3.4V后3.7V”的顺序进行电压恢复, 即先将电池簇电压恢复至3.4V并稳定一段时间, 再提升至3.7V。但实际运行中发现, 多数电池簇恢复效果不佳, 压差未得到明显改善。

第三阶段: 降电压、降功率运行(12月3日至今)。针对分阶段恢复效果不佳的问题, 调整策略为降低电池簇工作电压和充放电功率, 通过减轻电池工作负荷, 让被动均衡功能充分发挥作用, 同时逐步下探SOC, 促进一致性恢复。

#### 3.3.2 二号区域补电方案

二号区域以接近报警级异常为主, 一致性问题相对缓和, 因此采用“降电压+降功率”的核心措施, 无需长期静置, 具体实施过程:

第一阶段: 降电压调整(10月25日放电后)。将上限电压从3.85V降至3.7V, 降低电压应力对电池一致性的影响, 减少高电压下的副反应差异。

第二阶段: 降功率运行(10月下旬实施)。将充放电功率从0.5P降至0.25P, 减轻电池的电流应力, 降低不同单体间的极化差异, 为被动均衡创造有利条件。

### 3.3.3 三号区域补电方案

三号区域异常簇数最少, 但存在部分顽固报警级异常簇, 因此采用“轻度补电+重点深度补电”的分级补电策略:

第一阶段: 轻度补电(11月实施)。针对5个重点异常电池簇(编号: 1001-6、1002-2、1401-3、1401-4、1902-6)进行轻度补电, 补电时间根据单体电压差异调整, 目标是初步缩小压差。

第二阶段: 深度补电与观察(补电后持续进行)。对轻度补电后仍存在压差异常的簇, 计划进行1次深度补电, 将放电末压差恢复至200mV左右, 并持续监测其运行状态, 根据监测结果制定后续处置方案。

## 4 补电效果评估

选取12月22日数据为补电后评估数据, 与10月29日基准数据对比, 从三个维度分析效果。

### 4.1 压差异常数量变化评估

补电前后各区域压差异常数量对比如下表2所示。

表2 补电前后各区域电池簇压差异常数量对比

区域	异常类型	补电前(簇)	补电后(簇)	减少数量(簇)	改善率(%)
一号区域	报警(压差 $\geq$ 350mV)	106	88	18	16.98
	接近报警(300mV<压差<350mV)	14	1	13	92.86
二号区域	报警(压差 $\geq$ 350mV)	31	7	24	77.42
	接近报警(300mV<压差<350mV)	42	0	42	100
三号区域	报警(压差 $\geq$ 350mV)	24	3	21	87.5
	接近报警(300mV<压差<350mV)	18	0	18	100

结果显示:

(1) 一号区域: 总异常簇数从120簇降至89簇, 总改善率25.83%, 接近报警级改善率92.86%, 报警级改善率16.98%, 一致性仍在恢复;

(2) 二号区域: 总改善率90.41%, 接近报警级异常完全消除, “降电压+降功率”效果极佳;

(3) 三号区域: 总改善率92.86%, 接近报警级异常完全消除, 分级补电策略成效显著。

### 4.2 SOC报警分布变化评估

表3 补电后各区域报警级异常簇SOC分布

区域	SOC区间	异常簇数(簇)	占该区域报警簇数比例(%)
一号区域	0%~3%	35	39.77
	3%~6%	26	29.55
	6%~9%	19	21.59
	9%~12%	7	7.95
	12%~15%	1	1.14
二号区域	0%~3%	5	71.43
	3%~6%	2	28.57
三号区域	0%~3%	3	100

补电后报警级异常簇主要集中在低SOC区间(0%-6%): 一号区域占比69.32%, 二号、三号区域均达100%。说明补电效果极佳, 电压趋于一致, 一号区域仍有少量中高SOC异常簇, 如下表3所示。

### 4.3 典型区域SOC变化趋势评估

选取一号区域14舱电池簇作为典型研究对象, 分析其补电后(12月14日-12月22日)的放电SOC变化趋势。从监测数据可以看出, 该区域电池簇的放电SOC呈现持续下探的趋势, 各电池舱的SOC差异逐渐缩小。例如, 12月14日, 不同电池舱的放电SOC最大值与最小值差异达8%; 到12月22日, 这一差异缩小至3%以内。这一变化趋势进一步验证了降电压、降功率补电策略的有效性, 全时段均衡在低负荷工况下充分发挥作用, 一致性水平持续提升。

## 5 钠离子储能电站一致性优化策略与后续计划

### 5.1 一致性优化策略

#### 5.1.1 差异化补电策略优化

(1) 严重区域(如一号): “长期静置+低电压低功率运行+人工补电”;

(2) 接近报警级为主区域(如二号): “降电压+降功率”, 降低运维成本;

(3) 异常簇数少区域(如三号): “精准定位+分级补电”, 提升效率。

#### 5.1.2 被动均衡参数优化

被动均衡启动阈值直接影响电池簇一致性恢复效果。结合本次补电实践经验, 建议将钠离子电池簇的被动均衡策略调整为全时段均衡模式, 具体参数及核心优势如下:

(1) 全时段均衡参数设置。①0% $\leq$ SOC<40%: 开启阈值压差 $>$ 60mV, 关闭阈值压差 $\leq$ 60mV; ②40% $\leq$ SOC<50%: 开启阈值压差 $>$ 20mV, 关闭阈值压差 $\leq$ 20mV; ③50% $\leq$ SOC<100%: 开启阈值压差 $>$ 35mV, 关闭阈值压差 $\leq$ 35mV。

(2) 全时段均衡核心优势。采用全时段均衡策略, 一方面可实现均衡提前介入, 从SOC较低阶段就对电芯压差进行管控, 有效避免压差随运行过程进一步扩大; 另一方面能够精准匹配电芯在不同SOC区间的OCV(开路电压)曲线斜率特性, 针对不同斜率区间的电芯差异实施精准均衡, 在保障一致性恢复效果的同时, 显著降低均衡过程中的能量损耗。

#### 5.1.3 运行工况优化

优化储能电站的充放电运行工况, 避免频繁的高功率、高电压充放电。建议将钠离子电池簇的日常工作电压控制在3.7V以内, 充放电功率控制在0.25P左右, 减少电压和电流应力对一致性的影响; 同时, 优化散热系统设计, 确保电池簇内温差控制在5°C以内, 避免温度不均加剧一致性衰减。

#### 5.1.4 全生命周期一致性管控

建立“生产-装配-运行-老化”全生命周期一致性管控体系: 在生产环节, 加强电极材料、电解液的批次稳定性控制, 提升电池单体的初始一致性; 在装配环节, 提高电池簇的装配精度, 确

保电解液注入量、极耳连接电阻等参数的一致性;在运行环节,建立实时监测系统,实时跟踪电池簇的电压、SOC、温度等参数,及时发现一致性问题;在老化环节,定期对电池簇进行容量和内阻检测,根据老化程度调整补电和均衡策略。

#### 5.2 后续运维计划

(1) 一号区域: 对27簇6%-15% SOC报警簇人工补电;监测0%-6% SOC簇;保持低电压低功率运行至压差稳定在200mV以内;

(2) 二号区域: 维持3.7V电压、0.25P功率,每月诊断一致性;

(3) 三号区域: 对10簇报警边缘电池深度补电,监测1个月;建立重点异常簇档案;

(4) 全电站: 建立监测预警系统(预警阈值200mV,报警阈值300mV);每季度评估一致性;开展衰减规律研究,建立预测模型。

#### 6 结论

(1) 科学批量补电方案有效改善一致性: 二号、三号区域压差异常簇数改善率超 90%, 接近报警级异常消除;一号区域改善率25.83%, 一致性持续提升;

(2) 差异化补电措施针对性强: 不同方案适配不同一致性状况区域;

(3) 被动均衡发挥关键作用: 低电压、低功率工况为被动均衡创造有利条件。

本文提出的策略与管控体系,为钠离子储能电站一致性管

控提供工程方案。后续通过运维计划,可进一步提升一致性水平,保障电站安全高效运行。未来需深入探索衰减内在机理,建立精准预测模型。

#### [参考文献]

[1]王成山,李鹏,余贻鑫.大规模储能技术在电力系统中的应用前景[J].电力系统自动化,2020,44(1):2-10.

[2]陈立泉,胡勇胜.钠离子电池的研究进展与应用前景[J].中国科学:化学,2021,51(5):701-714.

[3]张剑波,王芳,李军.锂离子电池组一致性控制技术综述[J].电工技术学报,2019,34(12):2521-2534.

[4]刘兴江,赵洪辉,张宇.钠离子电池组均衡控制策略研究[J].储能科学与技术,2022,11(3):987-995.

#### 作者简介:

戴迎根(1990--),男,汉族,江西宜春人,本科,高级工程师,研究方向:聚焦储能电站工程建设与全寿命周期运维管理,重点攻关钠离子储能系统核心技术瓶颈。围绕首个百兆瓦时钠离子储能电站一致性问题,探索均衡、运行策略和材料工艺等解决路径;系统研究钠离子电芯在复杂运行工况下的运行性能、安全稳定机理及全寿命周期衰减规律,建立钠离子电芯性能数据模型与运维优化策略。最终为储能电站高效建设、安全运维及钠离子电芯大规模商业化应用提供技术支持。