

新能源储能装置配电保护方案设计

关新伟 高磊磊

中国三峡新能源（集团）股份有限公司山西分公司 山西 太原 030027

摘要：新能源储能装置配电系统结构复杂，交直流混合配电环境对保护方案提出较高要求。本文围绕储能装置配电拓扑结构展开分析，梳理电池簇、变流器、汇流柜及并网配电路径的功能边界与故障特征，进而从直流侧与交流侧两个维度设计保护配置方案。直流侧聚焦簇级熔断器、汇流断路器及接地保护的整定逻辑，交流侧侧重变流器出口保护、配电柜分层防护与并网点方向保护的协调配合，并构建多级保护协同策略与运维管理机制，形成覆盖储能配电全链路的系统化保护设计框架。

关键词：储能装置；配电保护；交直流协同；多级保护配合；并网保护

引言：新能源储能装置配电系统涵盖交直流多层级配电单元，各环节运行机理与故障诱因差异显著，对保护方案的适配精度提出较高要求。电池簇内部短路、变流器功率器件异常、配电线路过载接地以及电池热失控蔓延等故障类型交织叠加，使得单一保护手段难以覆盖全部安全防护场景。围绕交直流配电系统的差异化特征构建分层分级保护体系，并实现多级保护的协调配合，是保障储能配电系统安全稳定运行的关键技术命题。

1 储能装置配电系统结构与保护需求分析

1.1 储能装置配电拓扑结构

储能电池簇级配电架构决定储能直流侧电能传输的整体布局，架构的敷设形式直接影响直流配电环节的运行稳定性与故障抵御能力。储能变流器的接入方式决定直流电能向交流电能转换的传输路径，也界定交直流系统的能量交互模式。汇流柜承担多路电池簇电能的汇总传输功能，与直流配电柜的衔接形式决定直流配电网络的层级划分与电能分配路径^[1]。交流侧并网配电路径搭建储能系统与公共电网之间的电能传输通道，明确交流配电网络的层级布局与电能输送逻辑，保障储能系统充放电工况下的配电连续性。整体拓扑结构分层划分交直流配电单元的功能边界，为后续保护体系的搭建提供结构支撑。

1.2 储能系统故障类型与特征

储能电池簇长期运行过程中会出现内部短路故障，电池单体工作状态异常也会引发过充过放工况，此类故障会逐步破坏电池簇的运行稳定性。储能变流器在交直流能量转换过程中，直流侧电压电流波动、交流侧电网参数偏移都会引发设备运行故障，干扰电能转换流程。配电线路长期承载负荷运行会出现负荷超出额定承载范围的情况，线路绝缘性能下降则会诱发接地故障，影响

配电网安全运行。电池单体热积累超出安全阈值会触发发热失控问题，故障状态会沿着电池簇与配电线路逐层蔓延，衍生出系统性连锁故障，扩大故障影响范围，扰乱整个储能配电系统的正常运行秩序。

1.3 保护配置基本需求

储能配电系统出现故障工况时，配电保护装置需要具备快速切断故障回路的能力，阻断故障态势持续蔓延，压缩故障影响的覆盖范围。保护体系需要具备分级甄别故障区域的能力，精准定位故障回路与正常运行回路，保障无故障区域维持正常运行状态。整套保护体系需要建立层级适配的运行逻辑，各级保护单元依据配电层级适配对应保护功能，实现不同配电单元的有效防护。直流配电系统与交流配电系统的运行机理、故障诱因存在明显区别，保护配置需要结合两类系统的运行特性设计差异化防护逻辑，适配交直流配电环节的不同运行工况，全面覆盖储能配电系统的各类安全防护场景。

2 储能装置直流侧配电保护设计

2.1 电池簇级保护配置

簇内熔断器的选型工作依托电池簇长期充放电形成的电气特性开展，充分匹配配电回路常规载流能力与故障瞬态电流峰值，适配储能系统负荷动态波动的运行环境。保护器件的级间配合依托直流配电网络的层级架构划分防护梯度，合理分配不同防护器件的动作灵敏度，有效阻隔故障能量的纵向传播，避免局部电气异常蔓延至整体配电链路^[2]。电池管理系统持续采集电池簇运行过程中的电压、电流与温度数据，实时捕捉电池单体及簇体的运行异常，通过内置运算逻辑输出防护指令，联动前端配电设备完成回路管控，有效遏制电池异常工况持续发展。簇级直流断路器的保护整定结合直流配电回路故障演化规律设计，针对各类过载及短路异常工况设置

差异化动作阈值, 夯实电池簇前端配电链路的分层防护能力。

2.2 直流汇流配电保护设计

汇流柜直流断路器保护方案针对多簇并联汇流的特殊配电结构设计, 适配汇流节点电流集中、负荷交互频繁的运行特征, 针对性应对直流汇流环节产生的各类电气异常。储能直流侧负荷状态会随充放电工况持续变动, 长期运行过程中容易出现电流超限问题, 恶劣电气工况会引发突发性短路问题。科学的过电流与短路保护整定可以精准识别电气参数的异常波动, 在故障萌芽阶段触发断路操作, 削弱异常电流对配电线路及汇流设备的冲击损伤。汇流系统多支路并行运行的结构会造成支路故障互相干扰, 合理的级差配合策略可以精准界定各支路保护装置的动作范围, 精准隔离出现异常的单条支路, 保障其余配电支路持续稳定运行。

2.3 直流接地保护设计

母线绝缘监测方案依托高精度电气监测设备搭建常态化巡检机制, 持续追踪直流母线绝缘参数的动态变化, 精准捕捉绝缘层老化、环境受潮及线路破损引发的参数偏移, 及时识别潜藏的接地故障隐患。直流接地故障定位方法依托配电系统电位分布与电流变化规律开展故障甄别, 通过比对不同区段电气参数的波动特征锁定故障点位, 缩减故障排查的工作时长, 提升配电系统运维处置效率。直流配电系统正负极接地故障会打破系统固有电位平衡, 两类故障引发的电气扰动存在明显差异。专属保护动作逻辑适配不同极性的接地故障工况, 快速触发故障线路隔离操作, 阻断单点接地故障向恶性短路故障演变, 维持直流配电链路的稳定运行状态。

3 储能装置交流侧配电保护设计

3.1 变流器交流侧保护配置

交流断路器短路保护整定结合交流配电回路短路故障的电流瞬变特性开展参数设定, 结合变流器交流端口的额定电气参数界定保护动作阈值, 适配储能系统并网运行与离网运行的不同工况。配电线路出现短路故障时, 电气回路会产生幅值极高的冲击电流, 合理的整定参数可以让断路器在故障电流损坏设备前完成分闸操作, 阻断故障电流侵入变流器内部功率器件, 降低核心设备的受损概率^[3]。变流器长期并网运行会面对电网电压幅值与频率的动态波动, 电网运行异常引发的参数偏移会超出设备安全运行区间。过欠压与过频欠频保护持续监测并网端口电气参数, 在数值偏离安全区间时及时触发闭锁与停机逻辑, 规避异常电气参数造成的器件老化与设备损坏。孤岛检测模块持续采集并网点电压频率及

相位变化, 捕捉电网脱网后的电气特征偏移。并网保护配合依托检测结果调整设备运行状态, 切断储能系统与孤立电网的电气连接, 规避非计划孤岛运行带来的电网检修安全隐患, 适配电力系统并网运行的规范要求。

3.2 交流配电柜保护设计

交流配电柜进线回路承接变流器输出电能, 出线回路负责电能分配输送, 两类回路承担不同的配电功能。保护级差配合根据进线出线的电气层级与负荷等级划分保护动作时限与灵敏阈值, 搭建分层防护结构, 让故障问题仅限制在对应故障回路内部, 避免单条线路故障引发整柜停运。剩余电流保护配置针对交流配电线路绝缘老化、线路受潮、设备绝缘破损等隐患设计监测逻辑, 实时比对回路电流矢量平衡状态, 精准识别微小漏电工况并执行回路分断, 阻断漏电故障持续发展。浪涌保护器件针对电网雷击冲击、系统投切扰动引发的瞬时高压工况布设, 吸收瞬态高压能量, 抑制电压突变对低压配电元器件的冲击。过电压抑制装置针对电网稳态电压异常抬升开展动态制衡, 持续削弱持续性过电压对配电母线与二次器件的损耗, 提升交流配电系统的抗扰动力。交流配电柜内进线与出线保护的级差时限通常设定在0.3至0.5秒之间, 这一时限差既能保证下游保护优先动作, 又不至于因时限过长导致故障持续时间超出设备耐受能力。剩余电流保护的動作阈值一般设定在30毫安至300毫安区间, 具体取值需结合配电回路的正常泄漏电流水平与人身安全要求综合确定, 过低的阈值容易引发频繁误动, 过高则可能延误漏电故障的切除时机。

3.3 并网点保护协调设计

并网开关作为储能交流系统与公共电网的衔接设备, 防护动作逻辑需要匹配上级电网保护装置的整定范围与动作时限, 理顺上下级配电保护的层级边界, 避免不同层级保护设备出现误动或拒动现象, 实现电网侧与储能侧防护体系的有效衔接。并网点存在双向功率流动的运行特征, 常规保护方式难以精准区分故障源头。方向保护与差动保护依托并网点功率交互规律完成选型布设, 适配双向电能输送工况, 精准区分系统内部故障与电网侧故障。故障电流方向判别逻辑持续采集并网点两侧电流的幅值与相位信息, 实时研判故障电流的传播路径, 精准定位故障发生区域。电气信号的精准判别可以为保护装置动作提供可靠依据, 提升并网点故障处置的精准度, 强化并网配电系统的运行稳定性。并网点保护协调还需考虑电网运行方式变化对保护配合关系的影响, 当电网拓扑结构调整或运行方式切换时, 并网点上下级保护的配合关系可能发生偏移, 保护方案需预留自

适应调整接口,支持在电网运行方式变更后快速重构保护配合逻辑,确保并网保护在各种电网运行场景下均能维持协调一致的动作特性。

4 储能配电保护系统集成与运行管控

4.1 保护装置选型与通信架构

直流保护装置适配储能直流配电的运行特性制定硬件技术标准,适配电池簇频繁充放电带来的负荷动态变化,对直流回路的过载、短路及接地异常具备高灵敏识别能力^[4]。设备硬件耐受性能需要适配直流电流无过零点的电气特征,强化故障工况下的分断能力,适配直流汇流多支路并联的复杂运行场景。交流保护装置贴合电网并网配电的技术规范设计核心性能,能够精准捕捉交流侧电压频率偏移、电流异常及漏电扰动等电气问题,适配双向功率流动的并网运行工况,保障交流配电链路的运行可靠性。保护装置与储能管理系统搭建稳定的数据传输通道,依托标准化传输协议完成运行数据与保护状态的交互传输。各类电气运行参数、故障告警信号及设备动作状态可以实时上传至储能管理系统,实现配电保护状态的远程感知与动态管控,搭建一体化的监测与防护体系。

4.2 多级保护协调配合策略

电池簇至汇流至变流器至并网端的四级保护体系覆盖储能配电全链路,依托各层级配电设备的电气位置与负荷属性划分防护范围,梳理全链路防护层级关系。各级保护单元依据配电层级差异化设置动作参数,规避单层级故障引发的全系统停运问题。时间级差配合通过设定不同层级保护设备的动作时限差值,实现故障由近及远的精准隔离,让故障点位对应最近的保护装置完成动作,缩小故障影响范围。电流级差配合依托各层级回路额定电流的差值界定保护启动阈值,区分正常负荷波动与真实故障电流,规避保护装置误动现象。保护动作逻辑优先级结合故障危害程度划分层级,对短路故障、热失控关联故障、接地故障等高危异常设置更高执行优先级,确保高危故障可以优先完成回路隔离,降低重大电气事故的发生概率。

4.3 保护系统运维与动作管理

保护定值整定结合储能配电系统实际电气参数完成精准设定,适配系统充放电负荷变化与配电线路损耗特

性,贴合全工况运行需求。定期校验工作可以排查保护装置定值偏移、器件老化及逻辑失效等潜在问题,维持保护系统长期运行的稳定性与准确性。保护动作信息完整记录配电系统各类故障的发生时段、电气参数变化与设备动作状态,留存完整的运行数据支撑故障溯源工作。通过梳理故障数据的变化规律可以精准排查配电系统薄弱环节,为配电结构优化提供数据支撑。保护系统联动逻辑可根据系统运行工况的迭代变化完成动态调整与优化,适配储能系统扩容、负荷调整及配电结构改造后的运行需求,持续优化保护动作的精准性与协调性,适配储能配电系统长期动态运行的管控需求^[5]。运维管理工作还需建立保护动作的统计分析机制,定期汇总各类故障的发生频率、动作成功率与配合失效次数,形成量化评估指标,为保护方案的迭代优化提供数据驱动的决策依据,推动保护系统从被动响应故障向主动预防风险的运维模式转变。

结束语

储能装置配电保护方案设计需紧扣交直流混合配电的结构特征,从电池簇级、汇流级、变流器级及并网端逐级落实保护配置。直流侧以快速分断与绝缘监测为核心,交流侧以方向判别与孤岛检测为重点,多级保护的时间级差与电流级差配合可有效压缩故障影响范围。保护系统的持续运维与定值动态校核是保障长期运行可靠性的关键环节,系统化的保护集成方案能够支撑储能配电系统在复杂工况下维持安全稳定运行。

参考文献

- [1]张伍军,李康.5G通信技术在配电网新能源送出线路保护中的应用研究[J].电气技术与经济,2026(4):103-105.
- [2]孙培良,严川.面向高渗透率新能源的配电网保护技术改进与试验[J].光源与照明,2026(2):245-247.
- [3]李凡,齐蓬勃,弋富国,等.5G技术对新能源接入配电网继电保护的影响及优化[J].制造业自动化,2023,45(8):77-80.
- [4]毕晓林.电力自动化配电技术在新能源并网中的应用[J].光源与照明,2026(3):157-159.
- [5]丁林伟.面向新能源接入的低压配电网电力技术[J].光源与照明,2026(2):158-160.