

风光储融合场站电气协调保护技术与安全管理研究

蒙仕平 黎冬冬

广西广投桂中新能源有限公司 广西来宾 546100

DOI:10.32629/ems.v8i3.18709

[摘要] 风光储融合场站在多源协同、电气耦合不断加深的背景下,其故障特性呈现出短路电流贡献受限、动态响应差异显著、电能质量波动幅度增大的趋势,电气保护的判据因而更易失去适配性,误动与拒动的隐患随之累积。文章围绕融合场站的电气特性、保护配置需求与风险点展开分析,进一步凝练多源协同条件下的协调保护技术路径,并在故障识别、自适应整定、快速隔离等环节提出系统化技术方案,同时结合风险分级管理、数字化检修、应急联动体系构建了适应新型电力系统的安全管理框架,使融合场站在波动环境中亦能保持稳定、可靠与协调的运行状态。

[关键词] 风光储融合; 电气协调保护; 新能源场站; 自适应整定; 安全管理

风光储协同接入电网的规模不断扩大,电气运行机制随之变得更为复杂——逆变型电源的有限短路支撑、储能系统的双向调节特性、风光出力的随机波动共同影响故障期间的量值分布,也改变继电保护装置原有的判别逻辑;电流方向反转更频繁、保护灵敏度与选择性之间矛盾更突出,场站在快速调节与稳定支撑之间形成新的平衡需求。若电压扰动持续、若谐波含量升高、若逆变器因限流导致保护量偏离原始判据,保护系统的可靠性便会出现松动,而场站的运行安全亦因此承受更高压力。电气保护体系因环境重塑而需重建协同逻辑,安全管理机制也需在数字化和预测性维护的推动下逐步完善,使风光储系统能够在多变工况中保持可控性与韧性。

一、风光储融合场站的电气特性及保护需求分析

(一) 风电、光伏与储能系统电气特性差异化分析

风电机组的变流环节、光伏逆变器的限流机制与储能系统的双向调节能力,在融合场站的运行过程中形成了一种既相互牵制又相互补充的电气特征,使故障时的电流分布与稳态下的功率流线并不呈固定模式,而是随天气变化、储能荷电状态及调度策略而不断偏移^[1];出力曲线的柔性虽提升了电网的调节空间,却也让保护装置获取的电气量出现明显波动,电压支撑能力、短时过载能力和动态响应速度更难保持统一。逆变器在电流受限条件下无法像传统同步电机那样提供充足短路贡献,风机的惯量特征亦因控制策略而呈现差异,使保护灵敏度与判据稳定性受到新的考验,而融合系统的整体协同性在此背景下更需精准刻画。

(二) 融合场站短路电流特性变化对保护配置的影响

短路电流水平的显著下降,是风光储并网后最具代表性的变化之一,电流上升斜率趋缓、峰值受控、方向易变,使继电保护依赖的边界条件随之变得模糊,传统整定区间逐渐被侵蚀;逆变型电源在限流状态下形成的波形畸变与幅值压缩,使部分保护元件难以持续辨识故障性质,保护选择性与时速性由此产生新的矛盾,某些原本清晰的动作边界也开始出现交叠。随着风光储比例不断提升,保护系统需更强调对动态特性的识别能力,更依赖对故障过程的瞬态刻画,更需要在不确定性增强的条件下维持协调一致的逻辑,使场站运行的安全边界得以稳定。

二、风光储融合场站的电气协调保护技术体系构建

(一) 基于多源协同特性的保护架构优化设计

在多源并联、功率流向频繁调整的运行场景下,风光储融合场站的保护体系若仍固守传统分层分区的静态模式,往往难以覆盖逆变型电源短路支撑受限、控制策略动态切换、设备耦合度持续加深等复杂情形,因此,更需构建一种能够稳住整体逻辑的协同架构,使各能源单元在故障出现时既保有独立判断能力,又能在全局层面实现有序配合^[2]。依托分层协调理念,将场站逻辑划分为设备层、控制层与场站层三个单元,使故障量的采集、判别与动作命令沿清晰路径流转,模糊边界得以压缩,保护行为嵌入系统性运行框架之中。

在广西省来宾市某风光储融合场站的实践中,随着丰水季风电出力骤增、光伏功率波动频繁,原有保护分区在局部电流反转时出现选择性边界趋近现象,依托三层架构重构后,

设备层负责捕捉暂态电流突变, 控制层实时校核储能调节状态, 场站层则根据区段耦合关系重新排序动作逻辑——故障隔离范围明显收敛, 误动次数明显减少, 保护层级之间的协调度得以提升, 系统运行趋于稳定。

(二) 融合场站动态自适应整定技术在保护中的应用

随着昼夜辐照变化、季节风速差异、电网负荷波动及储能调度策略持续调整, 场站运行状态呈现明显动态性, 若仍沿用固定整定模式, 保护判据与实际运行量之间的偏差便会逐步放大, 弱电源背景下拒动与误动风险随之累积, 因此, 自适应整定成为协调保护体系中不可或缺的技术支撑。其核心在于使保护定值不再僵化为单点, 而是围绕实时运行量形成弹性区间, 逆变器限流阈值、短路电流贡献比例以及潮流方向变化均被纳入定值构建逻辑之中, 使判据随状态调整而动态平衡。

在广西省来宾市一座光伏储能融合场站的运行实践中, 夏季强对流天气导致辐照与风速波动叠加, 逆变器限流动作频繁, 原整定值下保护曾出现响应迟滞现象^[3]; 引入自适应整定后, 系统依托实时负荷与储能状态调整定值区间, 在限流背景下仍保持动作准确, 拒动率明显下降, 表明定值弹性化不仅增强了判据契合度, 也提升了场站在复杂气象条件下的运行韧性。

(三) 风光储故障快速检测与智能化保护动作实现路径

新能源比例持续上升, 系统惯量降低、电气量变化更为迅速, 传统依赖稳态量的保护判据难以及时锁定故障性质, 因此, 融合场站的保护体系必须融入暂态特征识别与多源数据融合机制, 使故障判别建立在更高时间分辨率之上。依托暂态量分析、行波法定位及广域测量技术, 保护装置能够在毫秒级时间尺度内捕捉电压骤降斜率、电流突变趋势与能量分布特征, 数据流向由单向链式转为网状结构, 各单元信息相互校验, 误动作概率由此压缩。

在智能化路径构建中, 算法模型承担关键角色, 不同故障类型所呈现的波形特征被抽象为特征频带与相量变化模式, 使限流条件下的畸变波形亦可被有效识别; 传统电流幅

值判据在逆变器限流背景下可靠性下降, 而基于趋势分析与能量分布识别的方法则展现出更强适应性, 使保护动作保持稳定而精准。

广西省来宾市某风光储场站在冬季湿冷天气中发生线路瞬时闪络, 电压骤降幅度虽未达到传统整定阈值, 却在极短时间内呈现异常斜率变化, 依托暂态识别模型, 保护系统迅速完成模式匹配并切除故障区段——风机与储能单元未出现连锁退出现象, 系统电压在短时间内恢复至正常范围, 场站整体运行保持连续。

三、风光储融合场站的安全管理体系与运行保障机制

(一) 分级统筹、横向协同的电气安全管理体系构建

风光储融合场站的运行安全, 并非单一技术要素所能决定, 而是在多源耦合、多层控制、多角色参与的交织格局中渐次生成, 风险既呈现纵向分层的梯度分布, 又在横向流程之间产生交叉影响——设备运行偏差、并网电压扰动、储能荷电变化与调度策略切换往往相互牵动, 使局部异常可能沿控制链条扩散。依托分级统筹理念, 将设备层、场站层与运维管理层纳入同一安全逻辑, 构建“风险识别—等级判定—策略匹配—闭环评估”的四环框架, 由此使不同维度的安全因子得以量化与映射。

结合近三年新能源场站运行统计数据, 约68%的非计划停运事件源于指标渐进式偏移而非突发故障, 若能在II级风险阶段完成干预, 系统性事故概率可下降40%以上, 这一数据表明, 风险前移识别的价值远高于事后处置。为增强框架的可操作性, 需对电压合格率、谐波畸变率、保护动作误差、储能SOC波动区间等关键指标设定分段阈值, 使风险源在监测链条中被实时标记; 在运行早期识别偏移迹象, 在运行中段实施策略修正, 在运行后段形成评估与归档, 由此闭环方得真正闭合。

为使管理强度与风险等级形成清晰映射, 建立“等级—响应—资源投入”三维矩阵, 使责任界面更为明确、信息流转更趋顺畅, 典型分级模式如表1所示。

表1 风光储融合场站风险等级与管理措施对应表

风险等级	风险特征描述	管理措施重点
I级	稳态运行、波动可控	常规巡检、例行监测
II级	指标偏移、局部波动增大	加密监测、启动预警、调整运行策略

III级	关键变量显著异常、保护边界逼近	专项排查、临时调度、限制负荷
IV级	可能危及场站稳定的系统性隐患	停止运行、应急联动、恢复评估

(二) 数据贯通、结构清晰的数字化检修与全过程管理体系

多源耦合程度不断加深之下, 检修管理若仍停留在经验驱动阶段, 隐患积累往往难以及时显现; 借助数字化平台, 对功率波动曲线、温升趋势、动作次数统计与通信时延数据进行结构化整合, 使设备健康度以量化指标呈现, 故障演化轨迹由此更加清晰^[4]。统计显示, 在引入状态评估模型后, 某融合场站年度故障重复发生率由 12.4% 下降至 6.8%, 检修周期平均延长 15%, 而关键设备的非计划停机时间缩短近 30%。

在体系结构上, 形成“数据层—逻辑层—执行层”三段式框架: 数据层负责高频采样与异常筛选, 使毫秒级扰动与月度趋势在同一界面并行呈现; 逻辑层依托健康度算法与阈值模型完成分级评估, 使检修优先级与风险等级相互呼应; 执行层则依据评估结果安排资源投入与现场处置, 使数据判断与实体操作保持一致。随着这一链条逐步成熟, 固定周期检修被弹性周期替代, 事后维修向预测性维护过渡, 人工经验不再孤立存在, 而是嵌入结构化决策体系之中。

其价值不仅体现在效率提升, 更体现在可视化程度的增强——设备状态、风险趋势与检修进度在统一平台呈现, 使不同岗位形成共享认知, 使复杂工况下的协同判断更为稳健。

(三) 职责明确、界面清晰的运行监督与过程审查机制

运行安全的稳定维持, 既依赖技术支撑, 也依赖责任边界的清晰划定。当逆变器限流、储能频繁调节与风光出力波动交织出现时, 若监督体系缺乏阶段划分与职责标识, 风险往往在交接环节被放大。构建“岗位责任清单—过程节点审查—数据轨迹留痕”三重监督框架, 使不同层级在故障前、中、后均有对应职责, 使责任链条连续而可追溯。

依托运行数据留痕机制, 保护动作记录、报警轨迹与调度指令形成完整链路, 审查结果不仅用于纠偏, 也用于模型修正与制度优化。统计显示, 在实施全过程监督后, 保护误动复核时间缩短 35%, 跨部门协调响应时间平均缩短 28%, 管理效率明显提升。监督重点由末端纠错逐步前移至前端预控, 由被动响应转向主动识别, 使风险在萌芽阶段即被纳入管控范围。

当分级管理、数字检修与监督机制相互嵌合时, 一种动态平衡结构在体系内部形成——风险虽在波动中存在, 却难以累积至失控状态; 运行虽在复杂环境下展开, 却始终保持可调与可控, 这种稳健, 并非偶然生成, 而是结构化管理持续演进后的自然结果。

结语:

风光储的深度融合, 使电气保护与安全治理从静态框架迈向协同、动态与智能并存的新阶段, 系统的运行边界在多源耦合下不断被拓展, 而稳定性与韧性也随技术演进而呈现新的层次。电气特性的重塑促使保护体系更强调适应性与整体性, 监测与管理手段也随数字化浪潮而更加精细, 使场站能够在波动与不确定性交织的环境中保持可控格局。随着新能源比例持续上升, 保护逻辑、运行策略与管理理念仍将不断被重塑, 唯有在技术进步与治理优化之间形成持续循环, 融合场站的安全底座方能更加稳固, 其运行效率与系统支撑能力亦将在这种长周期的磨合中得到升华。

[参考文献]

[1]白雪松. 电网复杂故障下的继电保护协调控制技术[J]. 科技资讯, 2025, 23 (08): 90-92. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2409-5042-8203.

[2]钟显, 樊艳芳, 常喜强, 等. LVRT 控制策略及风电场继电保护研究综述[J]. 四川电力技术, 2015, 38 (04): 14-19. DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.04.004.

[3]刘志斌. 电气安全管理策略与风险防控研究[J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39 (12): 113-115. DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2025.12.113.03.

[4]冯川一郎. 安全管理在电气工程中的应用探讨[J]. 大众标准化, 2023, (20): 126-128.

作者简介: 蒙仕平, 出生年份: 1984.11.16, 男, 壮族, 籍贯: 广西宾阳, 学历: 硕士研究生, 职称: 工程师, 主要研究方向: 电力新能源、水电安全;

黎冬冬, 出生年份: 1987.1.13, 女, 壮族, 籍贯: 广西马山, 学历: 本科, 职称: 工程师, 主要研究方向: 水电安全、电力新能源。