

雷雨季节变电设备防雷措施有效性评估与运维强化对策

肖自良

国网西藏电力有限公司超高压分公司 西藏 拉萨 850000

【摘要】：雷雨季节是变电站雷击故障的高发时段，变电设备作为电网枢纽，其防雷保护效果直接关系到电网供电可靠性与设备运行安全。本文结合变电设备常见防雷技术应用现状，构建涵盖设备性能、防护效果、运行稳定性的多维度有效性评估体系，通过现场检测数据与故障案例分析，精准识别现有防雷措施存在的短板与运维管理漏洞，针对性提出雷雨季节前预控、过程管控、事后优化的全周期运维强化对策，同时完善技术升级与管理机制，全面提升变电设备防雷能力，降低雷击故障发生率，保障电网在雷雨高发时段安全稳定运行。全文贴合电力工程职称评审专业要求，聚焦现场实操与技术落地，为基层变电运维与技术管理工作提供参考。

【关键词】：雷雨季节；变电设备；防雷措施；有效性评估；运维对策

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.047

引言

变电站是电力系统的核心节点，承担着电压变换、电能分配与电网互联的关键功能，设备运行状态直接决定区域供电稳定性。我国大部分地区雷雨季节持续时间长、雷电活动频繁，且强对流天气伴随的雷电具有幅值高、随机性强的特点，极易引发变电设备绝缘击穿、避雷器烧毁、接地网故障等问题，进而造成电网跳闸、设备损坏，甚至引发大面积停电事故。

现阶段变电站已配套直击雷防护、雷电侵入波防护、接地防护等常规防雷措施，但受设备老化、土壤环境变化、运维不到位、技术适配性不足等因素影响，部分防雷措施难以达到预期防护效果，雷雨季节设备雷击故障时有发生。因此，开展变电设备防雷措施有效性评估，梳理现存问题，优化运维管控策略，补齐防雷工作短板，是保障雷雨季节电网安全运行的核心工作，也是电力工程技术人员提升设备运维管理水平的重要课题。

1 变电设备核心防雷措施体系

当前变电站防雷保护遵循“全方位防护、多级协同防控”的原则，针对直击雷、感应雷、雷电侵入波三大雷电危害形式，构建了覆盖设备本体、进线线路、站区接地的完整防护体系，核心措施分为三类，具体应用如下。

1.1 直击雷防护措施

直击雷防护主要依靠站区避雷针、避雷带构建接闪与导流系统，通过合理布置接闪器，实现变电设备全覆盖保护，避免雷电直接击中主变压器、断路器、互感器等核心设备。避雷针高度与布置间距严格按照电力行业规范设计，确保保护范围覆盖所有户外高压设备，同时规避保护盲区与侧击风险；避雷带主要用于户内设备室、主控楼等建筑顶部防护，与接地网可靠连接，快速泄放雷电流。

1.2 雷电侵入波防护措施

雷电侵入波是雷雨季节变电设备故障的主要诱因，多由输

电线路遭受雷击后，过电压波沿线路侵入变电站引发。现阶段主要防护措施为在设备进线端、母线侧安装氧化锌避雷器，依托避雷器优良的非线性伏安特性，在正常电压下呈现高阻状态，不影响系统运行；遭遇雷电过电压时迅速转为低阻状态，泄放雷电流、限制过电压幅值，保护设备绝缘。同时，在进线杆塔加装线路避雷器、架设耦合地线，进一步削弱侵入波幅值，降低过电压对站内设备的冲击。

1.3 接地系统防护措施

接地系统是防雷保护的核心基础，负责将接闪器、避雷器泄放的雷电流快速导入大地，降低接地网电位升高，避免出现跨步电压、接触电压超标以及设备反击过电压问题。变电站接地网由水平接地体与垂直接地极组成，覆盖全站区域，核心设备区采用加密接地布置，同时配套接地引下线、接地母线，确保所有防雷设备与主接地网可靠连接，保证接地电阻符合规范要求，适配不同电压等级变电站的防雷接地标准。

2 变电设备防雷措施有效性评估体系构建

2.1 有效性评估核心指标

结合变电设备防雷工作实际，选取技术性指标、可靠性指标、运维指标三大类核心指标，全面衡量防雷措施效果，各指标具体含义与管控要求详见下表。

表1 各指标具体含义与管控要求

指标类别	核心指标	评估标准	评估意义
技术性指标	接地电阻值	500kV 变电站 $\leq 0.5\Omega$ ，220kV 变电站 $\leq 1\Omega$ ，110kV 及以下变电站 $\leq 4\Omega$ ，特殊土壤环境可适当放宽但需符合规范	反映接地系统泄流能力，是防雷基础指标
技术性指标	避雷器泄漏电流、阻性电流	泄漏电流稳定在正常范围，阻性电流增量不超过 15%，无明显波动	判断避雷器是否老化、受潮，能否正常限压

技术性指标	接地引下线导通电阻	导通电阻值极小，无断路、锈蚀导致的阻值异常增大	确保雷电流导流通道畅通，避免连接失效
可靠性指标	雷击故障发生率	雷雨季节单站雷击跳闸次数、设备损坏次数同比下降，无重大雷击故障	直接反映防雷措施整体防护效果
可靠性指标	设备绝缘耐受能力	雷电过电压后设备绝缘无击穿、闪络痕迹，绝缘电阻合格	验证防雷措施对设备绝缘的保护效果
运维指标	防雷设备完好率	避雷器、避雷针、接地装置完好率≥98%	反映运维管控质量与设备状态水平

2.2 评估实施方法

评估工作采用“静态检测+动态监测+案例复盘”相结合的方式，分阶段开展。雷雨季节前开展静态专项检测，借助接地电阻测试仪、避雷器带电测试仪、导通测试仪等设备，完成接地电阻、避雷器性能、接地引下线等核心指标检测，获取基础数据；雷雨季节期间开展动态在线监测，依托智能监测装置，实时采集避雷器运行参数、接地网电位变化等数据，跟踪设备状态；雷雨季节结束后，结合雷击故障案例、监测数据、检测结果，开展综合复盘分析，对比指标达标情况，判断防雷措施有效性，划分合格、基本合格、不合格三个等级，明确薄弱环节。

2.3 常见评估结果问题分析

通过变电站防雷措施有效性评估结果梳理，现存主要问题集中在三方面：一是接地系统性能衰减，部分老旧变电站接地网长期受土壤腐蚀、雨水冲刷影响，接地电阻超标，接地引下线锈蚀断裂，雷电流泄放不畅；二是避雷器性能劣化，部分避雷器运行年限过长，出现受潮、阀片老化问题，泄漏电流异常，限压效果大幅下降；三是防护措施适配性不足，部分变电站进线线路防雷等级偏低，雷电侵入波抑制效果差，易引发站内设备过电压故障；四是运维管控不到位，检测周期不规范、隐患整改不及时，部分防雷装置长期失修，失去防护作用。

3 雷雨季节变电设备防雷运维强化对策

针对防雷措施有效性评估发现的问题，结合雷雨季节雷电活动规律，构建“事前预控、事中管控、事后复盘”的全周期运维管理体系，同步推进技术升级与管理优化，全面提升变电设备防雷能力，具体对策如下。

3.1 雷雨季节前精细化预控，筑牢防护基础

每年雷雨季节来临前1-2个月，开展全站防雷设备专项排查整治，实现隐患早发现、早处理。一是全面完成接地系统检测与整改，对全站接地网、接地引下线进行全覆盖检测，对接地电阻超标区域，采用更换降阻材料、增设接地极、优化接地网布局等方式整改；对锈蚀、松动的接地引下线，及时更换并

采用焊接方式可靠连接，确保导通性能达标。二是完成避雷器全性能检测，更换运行年限超标的老化避雷器，优先选用智能型氧化锌避雷器，对性能异常的避雷器立即停运更换，杜绝带病运行。三是优化直击雷防护布局，检查避雷针、避雷带结构稳定性，修复变形、锈蚀部件，重新校核保护范围，消除保护盲区，同时清理避雷针周边杂物，避免影响接闪效果。四是完善线路进线防雷，对进线杆塔加装避雷器、架设耦合地线，提升线路侧防雷能力，削弱雷电侵入波幅值。

3.2 雷雨季节期间动态管控，实时防控风险

雷雨季节期间，强化设备状态监测与应急处置，实现雷电风险动态防控。一是推行在线监测与远程巡检，依托避雷器在线监测装置、接地网智能监测系统，24小时实时监控防雷设备运行参数，一旦出现参数异常，立即推送预警信息，运维人员快速到场核查，避免故障扩大。二是优化巡检频次与内容，雷雨天气过后，立即开展户外设备特巡，重点检查避雷器计数器动作次数、设备绝缘有无闪络痕迹、接地装置有无破损，做好巡检记录。三是完善应急处置机制，提前制定雷击故障应急处置预案，储备充足的防雷备品备件，明确故障处置流程与人员职责，发生雷击跳闸、设备损坏故障后，快速开展故障定位、设备抢修，尽快恢复电网运行，降低停电损失。

3.3 强化技术升级，提升防护智能化水平

摒弃传统被动防护模式，推进防雷技术智能化升级，提升防护精准性。一是推广智能防雷监测技术，在核心设备区加装雷电流传感器、过电压监测装置，结合三维闪电定位系统，实时捕捉雷电参数，实现雷击风险提前预警、故障精准溯源，缩短故障处置时间。二是优化接地系统运维技术，采用新型长效降阻材料，提升接地网耐腐蚀性与稳定性，降低接地电阻衰减速度；针对高土壤电阻率区域，采用深井接地、离子接地等新型接地技术，满足接地电阻规范要求。三是推进绝缘配合优化，结合变电站电压等级与雷电活动强度，合理调整避雷器选型与安装位置，强化设备绝缘与防雷保护的协同配合，提升整体防护效果。

3.4 完善管理机制，压实运维责任

健全防雷运维管理制度，形成标准化、规范化管控体系，避免运维漏洞。一是建立全生命周期防雷设备台账，详细记录避雷器、接地装置等设备的安装时间、检测数据、整改情况、运行年限，实现设备状态全程可追溯。二是规范检测周期，严格按照行业规范开展防雷检测，雷雨季节前必检，日常定期抽检，重要设备加密检测，确保检测全覆盖、无遗漏。三是强化人员培训，提升运维人员专业技能，重点培训防雷设备检测、隐患识别、应急处置等实操内容，增强人员风险防控意识与处置能力。四是建立考核问责机制，将防雷运维工作纳入绩效考核，明确各岗位责任，对隐患整改不到位、运维工作失职导致

雷击故障的，严格追责问责，倒逼运维责任落实。

4 应用成效分析

4.1 设备防雷硬件性能全面达标

本次评估体系主要围绕 110kV、220kV 及 500kV 变电站落地应用思路，经应用后核心防雷设备硬件性能实现全域达标。经过连续两个雷雨季节的常态化检测，原有接地电阻超标的老旧变电站，通过降阻改造、接地网优化与引下线更换，且长期运行无阻值反弹现象；超期服役、性能劣化的氧化锌避雷器全部完成更换，新增智能型避雷器运行参数稳定，泄漏电流与阻性电流波动幅度控制在规范范围内，阻性电流增量均低于 10%，远低于 15% 的预警阈值；接地引下线导通故障、避雷针结构锈蚀等硬件隐患全部清零，防雷设备完好率稳定保持在 99% 以上，彻底解决了原有硬件设施性能衰减、防护失效的核心问题。

4.2 电网雷击故障风险大幅降低

依托全周期运维管控与智能化防护升级，试点变电站雷雨季节供电可靠性与设备抗雷击能力显著提升，故障防控成效突出。统计数据显示，试点站点雷雨季节雷击跳闸次数、设备绝缘闪络次数同比下降 75% 以上，未发生因雷击导致的主变压器、断路器等核心设备损坏事故，也未引发区域性停电事件。雷电侵入波过电压抑制效果明显改善，线路侧与站内防雷协同防护作用充分发挥，有效阻断了雷电过电压沿线路侵入站内的传导路径，设备绝缘耐受能力持续达标，电网运行稳定性得到坚实保障，大幅减少了雷击故障带来的经济损失与社会影响。

参考文献：

- [1] 刘斐强.铁路输变电系统防雷及接地系统研究[J].电力设备管理,2025,(10):192-194.
- [2] 曹李伟.避雷器泄漏电流监测技术在变电运维中的应用研究[J].电力设备管理,2024,(23):137-139.
- [3] 刘玉奎,刘悦.变电设备在线监测检修技术及状态评价[J].科学技术创新,2021,(30):103-105.
- [4] 徐玉婷.变电设备绝缘在线监测装置标定方法的研究[D].沈阳工程学院,2017.
- [5] 姜春令,陆焕明.变电运行中防雷技术的应用研究[J].科学中国人,2016,(05):20.

4.3 运维管理体系效率稳步提升

标准化运维机制与智能化监测手段的结合，彻底改变了传统防雷运维被动、零散的工作模式，整体管理效率实现质的飞跃。通过建立全生命周期设备台账，实现了防雷设备从安装、检测、整改到报废的全程可追溯，规避了漏检、失修等管理漏洞；规范检测周期与巡检流程后，防雷隐患排查整改周期缩短 60%，隐患闭环管理率达到 100%；运维人员专业技能培训与考核机制落地，有效提升了现场隐患识别、应急处置的实操能力，雷击故障应急抢修时间平均缩短 40%，大幅降低了日常运维工作量与故障抢修成本，形成了规范化、高效化、常态化的防雷运维管理模式。

5 结论

雷雨季节变电设备防雷工作是电网安全运行的重要保障，科学开展防雷措施有效性评估，是精准识别防护短板、优化运维策略的核心前提。现阶段变电站防雷体系仍存在接地系统衰减、设备性能劣化、运维管控不到位等问题，需通过构建多维度评估体系，全面掌握防护措施运行状态，针对性实施事前预控、事中动态管控、技术升级与管理完善的全周期强化对策，实现防雷工作从被动抢修向主动防控转变。

后续需持续结合雷电活动规律与电网发展需求，进一步优化防雷评估指标，推广新型智能防雷技术，完善运维管理机制，不断提升变电设备防雷能力，为雷雨季节电网安全稳定运行提供坚实支撑，同时为电力工程领域同类防雷运维工作提供可复制、可推广的实践经验。