

# 35kV变电站接地网故障检测与接地电阻改善技术研究

刘紫阳

国网四川省电力公司南充市高坪供电分公司 四川 南充 637000

**摘要:** 本文围绕35kV变电站接地网故障检测与接地电阻改善展开研究, 阐述接地网结构、故障类型及危害, 分析接地电阻影响因素。优化磁感应强度检测法, 构建多方法融合检测方案并验证其有效性; 分类研究接地电阻改善技术, 结合现场场景设计差异化方案, 经试验与经济性、可靠性分析筛选最优方案。研究可精准定位故障、有效降低接地电阻, 保障变电站安全运行, 为35kV变电站接地系统运维提供技术支撑。

**关键词:** 35kV变电站; 接地网故障检测; 接地电阻改善技术

**引言:** 35kV变电站是电力传输的关键枢纽, 接地网作为核心安全设施, 承担着泄放故障电流、抑制地电位升高的重要职责。当前, 接地网易受土壤环境、施工缺陷等因素影响, 出现腐蚀、断裂、接地电阻超标等故障, 威胁设备安全与供电稳定。现有检测与改善技术存在精度不足、适用性有限等问题, 开展本研究具有重要的工程实践意义与应用价值。

## 1 35kV 变电站接地网相关理论与故障分析

### 1.1 接地网的结构组成与工作原理

(1) 结构组成: 35kV变电站接地网核心由水平接地体、垂直接地体、连接导体及辅助接地装置构成, 常用材料以镀锌扁钢、铜覆钢为主, 新型复合接地材料因耐腐蚀、导电性能优, 应用逐渐广泛, 各部件协同形成完整接地系统。(2) 工作原理: 核心是通过各类接地体将变电站设备外壳、架构等与大地可靠连接, 构建低电阻泄流通路, 可及时导走设备故障电流和雷电冲击电流, 有效抑制地电位异常升高, 从根本上保障变电站设备正常运行及运维人员人身安全。

### 1.2 接地网常见故障类型及成因

(1) 腐蚀故障: 这是接地网最常见故障, 土壤酸碱度、水分含量、微生物活动等均会侵蚀接地体, 表现为导体变细、锈蚀破损, 其中酸性与盐渍土壤环境会加速腐蚀进程, 缩短接地网使用寿命。(2) 断裂与脱焊故障: 长期腐蚀会削弱导体强度, 加之设备运行产生的机械振动、施工阶段的焊接或连接缺陷, 易导致接地体断裂、连接部位脱焊, 造成接地回路不连续, 直接影响泄流效果。(3) 接地电阻超标故障: 土壤电阻率过高、接地体布置间距不合理、腐蚀导致导体截面积减小等, 均会使接地电阻超出GB/T50065-2011规范要求(通常不超过 $4\Omega$ ), 失去接地保护作用。

### 1.3 接地网故障的危害

(1) 设备危害: 故障导致接地电阻升高, 雷电流与故障电流无法及时泄放, 易引发设备反击过电压, 损坏变压器、避雷器等关键设备, 进而引发变电站停电事故, 影响供电正常。(2) 安全危害: 接地网故障会造成地表电位分布不均, 产生超标跨步电压和接触电压, 运维人员巡检或操作时, 易发生触电事故, 威胁人身安全。(3) 系统危害: 故障会干扰电力系统保护装置正常动作, 可能导致故障范围扩大, 破坏区域供电稳定性, 影响周边企业及居民用电<sup>[1]</sup>。

### 1.4 接地电阻的影响因素

(1) 土壤因素: 土壤电阻率、湿度、酸碱度是核心影响因素, 其中高电阻率土壤(如山区砂石土壤)导电性能差, 是导致接地电阻超标的主要原因之一。(2) 接地网参数: 接地体材质、截面积、埋设深度及布置间距等参数, 直接决定接地电阻大小, 参数设计不合理会大幅降低接地效果。(3) 环境因素: 季节变化、降水、温度等会间接影响接地电阻, 季节冻土、干旱天气会使土壤电阻率升高, 进而导致接地电阻波动超标。

## 2 35kV 变电站接地网故障检测技术研究

### 2.1 常用故障检测方法原理与特点

(1) 磁感应强度检测法: 该方法核心是向接地网注入特定频率的异频交流电流, 利用电流在接地导体中流动产生的磁场效应, 通过专用仪器测量地表磁感应强度的分布情况。根据磁场强度的异常变化, 可精准定位接地网导体断裂、连接部位脱焊等故障位置。其原理简单易懂, 操作便捷, 无需大面积开挖接地网, 便于现场工程应用, 是目前35kV变电站接地网故障检测中应用最广泛的方法之一, 能有效识别导体连续性故障。(2) 电路网络分析法: 基于接地网的预设拓扑结构, 将各接地导体视为支路电阻, 建立对应的故障诊断方程, 通过测量关键节点的电气参数, 求解方程反推各支路电阻变化,

进而判断故障位置及严重程度。该方法理论性较强,但实际应用中,由于接地网埋深不一、土壤电阻率分布不均,难以获取每条支路的准确电阻值,导致故障定位精度有限,在复杂接地网故障检测中应用存在明显局限<sup>[2]</sup>。

(3) 地表电位分布法:通过检测接地网上方地表不同点位的电位值、跨步电压等电气参数,分析电位分布的均匀性,根据电位突变、分布异常等特征定位故障区域。该方法能有效检测接地网整体导通性故障及大范围腐蚀故障,但对局部导体变细、隐蔽性断裂等小型故障的灵敏度较低,检测效果有限,常作为辅助检测方法使用。

## 2.2 故障检测方法的优化设计

(1) 磁感应强度检测法优化:针对传统磁感应强度检测法定位精度不足、易受干扰信号影响的问题,优化电流注入参数,合理选择异频电流的频率的幅值,减少工频干扰;科学布置测量点位,加密故障高发区域的测量点,提升检测覆盖率;引入有限元仿真技术,模拟不同故障类型下的磁场分布规律,结合实测数据校准检测结果,显著提升故障定位精度,有效解决干扰信号带来的检测误差问题。(2) 多方法融合检测方案:结合不同检测方法的优点,构建磁感应强度检测与地表电位分布检测融合的方案。利用磁感应强度检测法定位导体断裂、脱焊等连续性故障的优点,搭配地表电位分布法检测大范围腐蚀故障的特点,实现优势互补,有效提高复杂故障(如多点腐蚀、隐蔽性断裂、局部导通不良)的检测准确率,避免单一检测方法的局限性。(3) 检测仪器选型与调试:结合35kV变电站接地网的运行参数、故障类型及现场环境,选用适配的高精度检测仪器,优先选择抗干扰能力强、测量范围广、操作便捷的专用仪器;检测前对仪器进行全面校准与调试,核对仪器测量精度,消除仪器自身误差,确保检测过程中采集的数据准确、可靠,为故障判断提供坚实的数据支撑<sup>[3]</sup>。

## 2.3 故障检测试验研究

(1) 试验模型搭建:以某实际运行的35kV变电站接地网为原型,按1:1比例搭建接地网试验模型,还原接地网的拓扑结构、接地体材质、埋设深度及布置间距等关键参数;在模型上模拟接地网常见故障,包括导体变细、局部断裂、连接部位脱焊等典型故障,确保试验模型与实际接地网故障特征一致,为试验研究提供真实的模拟环境。(2) 试验过程与数据采集:采用优化后的磁感应强度检测法及多方法融合检测方案,依次对试验模型的正常状态、不同故障状态开展检测试验;通过专用检测仪器,采集各状态下的地表磁感应强度、地表电位、跨步电压等数据,详细记录不同故障类型、故障程

度对应的特征参数,确保试验数据的完整性、准确性。

(3) 试验结果分析:将不同故障状态下的检测数据与正常状态数据进行对比,分析故障对检测参数的影响规律,明确各类故障的典型特征及检测阈值;验证优化后检测方法的有效性、精准度,评估多方法融合方案相较于单一检测方法的优点,为35kV变电站接地网故障检测的实际应用提供试验依据。

## 3 35kV 变电站接地电阻改善技术研究

### 3.1 接地电阻改善技术分类与原理

(1) 接地材料优化技术:核心是通过选用高导电、耐腐蚀的新型复合接地材料,替代传统镀锌扁钢等易腐蚀材料,从源头减少接地体的腐蚀损耗,进而降低接地电阻。常用的新型复合接地材料包括不锈钢复合接地材料、铜覆钢接地材料等,这类材料不仅导电性能优于传统材料,还能有效抵御土壤酸碱腐蚀、微生物侵蚀,延长接地网使用寿命,同时减少因腐蚀导致的导体截面积减小,确保接地电阻长期稳定在合格范围。(2) 接地网布置优化技术:通过科学优化接地体的埋设深度、布置间距,改善接地网与土壤的接触条件,从而降低接地电阻。结合35kV变电站的场地规模与土壤特性,可采用不等间距布置方式,在土壤电阻率较高区域缩小接地体间距,在电阻率较低区域增大间距,实现资源合理利用;也可采用双层接地网结构,上下层接地体错位布置,增大接地体与土壤的接触面积,同时改善地表电位分布的均压效果,兼顾接地电阻降低与安全防护要求<sup>[4]</sup>。(3) 降阻辅助技术:主要适用于高土壤电阻率地区(如山区、砂石地区),通过人工干预改善土壤导电性能或扩大接地范围,实现接地电阻降低。常用方式包括填充电阻率较低的物质(如细砂、木炭混合物)或专用降阻剂,增强土壤导电能力;也可敷设引外接地极,将接地网延伸至土壤电阻率更低的区域,或采用井式接地极,向地下深处敷设接地体,利用深层土壤电阻率较低的特点,提升降阻效果。

### 3.2 接地电阻改善方案设计

(1) 方案设计原则:以GB/T50065-2011规范要求为核心,结合变电站现场土壤条件、现有接地网的老化程度、故障情况等实际现状,兼顾经济性与长效性。在确保改善后接地电阻稳定达标(不超过 $4\Omega$ )的前提下,合理控制投资成本,避免过度设计;同时注重方案的长期可行性,选用耐用、易运维的材料与技术,确保接地网长期稳定运行。(2) 分场景改善方案:针对不同场景制定差异化方案,提升改善效果与经济性。对于高土壤电阻率地区,采用“降阻剂+深井接地极”组合方案,通

过降阻剂改善表层土壤导电性能,结合深井接地极利用深层低电阻率土壤,实现高效降阻;对于接地体腐蚀严重区域,采用新型复合接地材料全面替换老化腐蚀的传统接地体,彻底解决腐蚀导致的电阻升高问题;对于接地网布置不合理的情况,优化接地网网格间距与埋设深度,调整接地体布置方式,增大接触面积,改善均压与降阻效果。(3)方案参数计算:结合现场实测的土壤电阻率数据、接地电阻目标值,通过专业公式计算接地体截面积、埋设深度、降阻剂用量、深井接地极深度等关键参数。计算过程中充分考虑土壤不均匀性、环境因素对参数的影响,预留一定安全余量,确保计算参数科学合理,为方案实施提供精准依据,保障改善方案的可行性与有效性<sup>[5]</sup>。

### 3.3 改善技术的试验验证

(1)试验准备:选取与35kV变电站实际土壤条件一致的典型试验场地,搭建模拟接地网试验装置,选用与实际工程一致的接地材料、降阻剂及施工工艺。准备好接地电阻测试仪、土壤电阻率测试仪等试验仪器,提前对仪器进行校准调试,确保测量精度;同时测量试验前场地的土壤电阻率及模拟接地网的接地电阻基准值,为后续试验对比提供参考。(2)试验实施:按照设计的分场景改善方案,分别开展单一改善技术与组合改善技术的试验。依次测试不同改善技术、不同参数设置下的接地电阻值,详细记录试验过程中的各项数据,包括土壤电阻率变化、接地电阻测试值、施工参数等,确保试验数据的完整性、准确性,同时观察改善过程中的施工难度与可行性。(3)试验结果评价:将改善后各场景的接地电阻值与试验基准值、规范要求值进行对比,分析不同改善技术的降阻效果、稳定性及适用范围,验证改善方案的有效性。针对试验中出现的电阻波动、降阻效果不佳等问题,优化关键参数,调整方案细节,确保改善后接地电阻不仅满足规范要求,还能长期稳定运行,为实际工程应用提供试验支撑。

### 3.4 改善技术的经济性与可靠性分析

(1)经济性分析:对比不同改善方案的全寿命周期成本,包括初期投资成本(材料采购、施工费用)与长期运维成本(巡检、维修、材料更换费用)。对各方案的成本构成进行详细拆解,分析不同材料、技术的性价比,结合降阻效果与使用寿命,筛选出投资合理、运维便捷、性价比最优的改善方案,避免盲目追求降阻效果而造成成本浪费。(2)可靠性分析:通过对试验场地及实际应用案例的长期监测,跟踪改善后接地网的运行状态,分析接地电阻的长期稳定性、接地体的耐腐蚀性能及故障发生率。结合监测数据评估改善技术的长期可靠性,针对可能出现的腐蚀、电阻回升等问题,提出针对性的运维建议,包括定期巡检、腐蚀检测、参数调整等,确保接地网长期发挥良好的接地保护作用,保障变电站安全稳定运行。

### 结束语

本文完成了35kV变电站接地网故障检测与接地电阻改善技术的系统研究,明确了接地网故障特征与接地电阻影响因素,优化了故障检测方法并构建多方法融合方案,设计了分场景接地电阻改善方案,经试验验证均满足GB/T50065-2011规范要求。研究成果可有效解决接地网故障检测精度低、电阻超标等问题,为变电站接地系统运维提供参考,后续可结合工程案例优化参数,提升方案适用性。

### 参考文献

- [1]张喜飞.接地电阻的测量及影响因素分析[J].电子世界,2024,11(6):47-48.
- [2]张研博.35kV变电站立体接地网设计问题研究[J].大科技,2022,18(15):55-56.
- [3]李宇恒.35千伏变电站立体接地网设计问题研究[J].机电工程技术,2021,46(7):100-105.
- [4]杨虹.电力系统接地网缺陷诊断及发展趋势[J].电工电能新技术,2023,35(10):96-99.
- [5]陈建伟.电阻抗扫描成像技术在变电站接地网故障诊断中的应用研究[J].浙江电力,2022,36(10):162-165.