

电力系统和电气设备的接地问题及处理措施分析

张文明¹ 杨瑞敏² 李书卿³

1. 河南钢铁集团有限公司安阳钢铁建设有限责任公司电气自动化室 河南 安阳 455004
2. 河南钢铁集团有限公司安阳钢铁股份有限公司动力作业部供电作业区 河南 安阳 455004
3. 河南钢铁集团有限公司安阳钢铁股份有限公司动力作业部供电作业区 河南 安阳 455004

摘要：随着电力系统对安全稳定运行要求的不断提升，电气设备接地系统的性能优化至关重要。接地系统是保障人身安全、防范设备故障的核心环节，其核心性能指标涵盖接地电阻、导通可靠性、环境适配性等。当前接地系统受材料衰减、施工缺陷、运维缺失、环境侵蚀等因素影响，易出现阻抗超标、导通不良等问题。可从设计选型、施工管控、运维优化、环境防护等方面，提出切实可行的接地系统性能提升方法。

关键词：电力系统；电气设备；接地系统；优化管控

引言：电力工业的持续发展与电网规模的不断扩大，使电力系统的供电可靠性与安全防护要求持续升级。接地系统作为电力安全防护体系的核心组成部分，直接关系到现场人员的人身安全、电气设备的使用寿命与整个电网的运行稳定性、进而影响工业生产的高效性，间接影响用户的电压质量和便利性。在复杂的地质条件与多变的运行环境下，接地系统受到外部干扰和内部故障的双重威胁面临着腐蚀失效、阻抗波动、连接失效等多重风险，各类接地隐患已成为制约电力系统安全运行的关键因素，因此亟须对能使系统安全可靠运行的接地技术问题开展系统性的梳理与研究。

1 电力系统与电气设备接地的核心重要性

电力系统与电气设备接地是保障人身安全与设备稳定运行的关键技术环节。接地能有效抑制过电压对设备的冲击，降低绝缘老化速率，延长设备使用寿命；在故障状态下，接地系统可快速导引故障电流入地，避免设备外壳带电引发触电事故，同时防止局部电位升高导致二次系统误动或拒动。接地电阻的合理设置直接影响系统抗干扰能力，低电阻接地可加速短路电流清除，减少电弧重燃风险；高电阻接地则适用于对供电连续性要求较高的场景，平衡故障电流与系统稳定性需求。接地网络的设计需综合考虑土壤电阻率、地质结构及环境因素，通过优化接地极布局与材料选择，实现接地性能与经济性的平衡，为电力系统安全高效运行奠定基础^[1]。

2 电力系统与电气设备接地常见核心问题

2.1 接地体材料性能衰减问题

电力系统与电气设备接地常见核心问题中，接地体材料性能衰减问题尤为突出。在河南地区，土壤湿度与温度变化显著，接地体材料易受腐蚀影响，如碳钢接地

体在潮湿土壤中易发生电化学腐蚀，导致接地电阻升高；铜包钢材料虽耐腐蚀性较强，但长期处于酸碱度失衡的土壤中仍会出现包层脱落现象，材料老化表现为机械强度下降，如扁钢接地体在反复冻融循环下易产生裂纹，影响导电性能。此外，部分地区土壤电阻率较高，接地体与土壤接触面易形成氧化层，进一步加剧接触电阻增大；材料性能衰减不仅降低接地系统可靠性，还可能引发局部电位升高，威胁设备安全运行及人身安全，需通过定期检测与材料优化延长使用寿命，保障系统稳定。

2.2 接地线路连接导通不良问题

接地线路连接导通不良问题在河南地区表现显著，因温差变化频繁，连接点易受热胀冷缩影响，如夏季高温导致金属膨胀使螺栓松动，冬季低温收缩加剧接触面间隙，导致接触电阻升高。河南部分区域土壤湿度较高，连接点易受潮湿环境腐蚀，铜铝过渡接头在酸性土壤中易发生电化学腐蚀，形成氧化层阻碍电流传导；施工工艺缺陷亦不容忽视，如连接点未压实、螺栓未紧固到位或导线截面不足，均可能引发导通不良。此类问题不仅降低接地系统可靠性，还可能因局部过热引发设备故障，威胁人身安全，需通过定期红外测温、接触电阻检测及连接点加固等措施，确保线路导通性，保障河南地区电力系统稳定运行，延长设备使用寿命^[2]。

2.3 接地系统阻抗不达标问题

河南地区土壤电阻率受地质结构影响显著，如黄河流域冲积平原土壤含砂量高、电阻率大，易导致接地系统阻抗超标；豫西山区岩石层厚、土壤贫瘠，接地体埋设深度不足时，阻抗难以达标。季节性降水变化加剧了问题，夏季多雨时土壤湿度增大可降低阻抗，但冬季干旱期土壤干燥会使阻抗回升，形成周期性波动；材料选择不

当亦会放大问题，如普通钢材在盐碱土壤中易腐蚀，表面氧化层增厚导致接触电阻升高；而铜材虽导电性好，但成本较高，部分工程为节省成本选用劣质材料，加剧阻抗不达标风险。此外，施工工艺缺陷如接地体埋深不足、回填土未夯实、连接点未做防腐处理等，均会直接影响系统阻抗值，需通过优化材料配比、改进施工工艺及定期检测校准，确保河南地区接地系统阻抗稳定在安全范围内，保障电力系统可靠运行。

2.4 设备接地系统适配性偏差问题

设备接地系统适配性偏差问题聚焦于系统设计与实际运行环境匹配度的技术性缺陷，表现为接地材料导电性能与土壤电阻率不匹配、接地极布局与设备分布密度失衡、接地导体截面尺寸与电流承载需求脱节等。此类偏差易引发接地电阻超标、电位分布不均、电磁干扰加剧等隐性故障，直接影响电气设备运行的稳定性与安全性；问题根源多源于前期勘察数据精度不足、动态环境参数（如土壤湿度变化、温度波动）未纳入设计考量、施工工艺标准执行偏差等。需通过高精度土壤电阻率测试、三维接地模型仿真计算、动态环境参数监测等手段，优化接地材料选型与布局方案，确保接地系统在全生命周期内满足电气连续性、热稳定性及机械强度要求，避免因适配性偏差导致的设备故障频发与系统可靠性下降，保障电力传输与分配过程的安全高效运行。

3 接地问题产生的核心诱因分析

3.1 接地系统设计选型适配不足

接地系统设计选型适配不足需聚焦材料特性与环境工况的动态匹配失衡。设计阶段常忽视土壤电阻率的空间异质性，未通过三维电场模拟优化接地极布局，导致电场分布不均或局部过热。参数设定缺乏动态调整机制，未结合设备负载特性与运行周期变化优化接地网拓扑结构，易引发电阻超标或电位失衡；技术迭代滞后导致设计方法陈旧，如未引入有限元分析验证系统承载能力，或未集成智能监测模块实现远程参数调整。全流程缺乏环境适应性评估，未针对不同土壤条件调整接地极埋深、间距及连接点工艺，导致系统长期稳定性下降，形成从设计到运行的全链条适配偏差，影响设备安全运行与系统可靠性。

3.2 接地施工安装工艺不规范

接地施工安装工艺不规范多源于技术执行与标准体系的脱节。材料选用常忽视土壤电阻率的空间差异，如未针对高盐碱土壤采用镀铜钢复合材料，导致腐蚀速率加快；基坑开挖深度与接地极间距控制依赖人工经验，易出现深度不足或间距偏差，引发电场分布不均。焊接

环节存在虚焊、接触电阻超标风险，未采用超声波焊接或低温钎焊技术保障连接强度；防腐处理缺乏动态调整机制，涂层厚度不均或阴极保护失效加速金属氧化。全流程缺乏标准化操作路径，如未嵌入智能监测模块实时采集电流密度，或未结合数字孪生技术验证施工精度，导致系统长期运行稳定性下降，形成从施工到验收的全链条质量隐患^[3]。

3.3 接地系统日常运维管控缺失

接地系统日常运维管控缺失常表现为监控体系不完善与维护策略滞后。监控环节缺乏智能传感器阵列，难以实时采集电流密度、土壤湿度等关键参数，导致故障预警延迟；维护周期设定固定化，未结合设备负载波动与环境变化动态调整，加速接地极腐蚀或连接点老化。数据管理存在碎片化问题，历史运行数据未形成结构化档案，影响故障趋势分析与参数优化；问题响应流程缺乏标准化路径，从故障发现到处理存在时间延迟，易引发次生故障。全流程缺乏闭环反馈机制，未通过运维数据反哺设计参数修正，形成从监控到维护的全链条管控盲区，降低系统长期运行可靠性。

3.4 运行环境对接地体的侵蚀影响

运行环境对接地体的侵蚀影响体现在多维度物理化学交互作用中。土壤湿度周期性波动引发电化学腐蚀加速，高湿度环境促进离子迁移，形成原电池效应，加剧碳钢接地体氧化；低湿度时土壤电阻率回升，局部放电风险增加。温度变化导致热胀冷缩循环，夏季高温使金属膨胀，连接点应力增大，易引发螺栓松动；冬季低温收缩则可能使导线脆化开裂；土壤化学成分差异显著，盐碱地中氯离子渗透加速金属腐蚀，酸性土壤中氢离子浓度升高促进析氢腐蚀，而碱性土壤可能引发碱脆现象。此外，微生物活动如硫酸盐还原菌在厌氧环境下产生硫化氢，进一步加剧接地体腐蚀速率，这些环境侵蚀效应相互叠加，需通过材料改性、防腐涂层及环境监测等手段，延缓接地体老化进程，保障系统长期可靠性。

4 接地问题的针对性处理优化措施

4.1 接地系统设计选型优化管控

接地系统设计选型优化管控需以技术迭代与工程需求为导向，深化材料科学与电学性能的融合创新。选型阶段注重导体材料导电率与耐久性的平衡，采用纳米改性铜合金提升抗腐蚀能力，结合有限元分析优化接地网拓扑结构，确保电场分布均匀性，设计过程中引入动态负载模拟技术，通过实时电流变化模型验证系统承载能力，避免过载风险。模块化设计支持功能扩展，如集成智能监测模块实现远程数据采集与故障定位，提升系统

可维护性,环境适配性评估涵盖土壤湿度、温度波动对电阻率的影响,采用自适应埋深调整技术优化接地极位置,降低环境变化对系统性能的影响。全流程建立数字化设计档案,通过参数化建模实现快速方案迭代,结合虚拟仿真验证设计可靠性,形成从材料选型到布局优化的全链条技术优化路径,提升系统综合性能与长期稳定性。

4.2 接地施工安装工艺规范管控

接地施工安装工艺规范管控需融合技术精准性与环境适应性,构建标准化与智能化并重的实施体系。材料选择侧重高导电率与耐腐蚀性平衡,采用镀铜钢或石墨复合材料提升接地体耐久性;焊接工艺采用超声波焊接或低温钎焊技术,减少热损伤,保障连接点机械强度与导电性能双达标。安装过程引入激光定位与数字孪生技术,通过三维建模精准控制基坑深度、接地极间距及埋设角度,避免人工误差导致电阻不均;智能监测模块嵌入关键节点,实时采集电流密度与土壤参数,结合边缘计算实现故障预警,形成从施工准备到验收的全流程标准化操作路径,提升施工效率与系统长期稳定性。

4.3 接地系统全周期运维管控优化

接地系统全周期运维管控优化需贯穿运行、监测、维护全阶段,构建动态平衡机制。运行阶段采用智能传感器阵列实时采集电流、电压及土壤环境参数,通过边缘计算节点快速分析数据异常,实现故障早期预警;维护环节引入预测性维护模型,结合历史运行数据与实时监测结果,动态调整巡检周期与维护策略,避免过度维护或漏检风险。性能评估采用多参数综合评价法,综合电阻值、接触电压、跨步电压等指标,通过加权计算形成系统健康指数,指导运维资源精准投放。技术更新侧重模块化升级,支持旧系统兼容扩展,通过更换智能组件实现功能迭代,降低全周期成本;全流程建立数字孪生模型,模拟不同环境条件下的系统响应,优化运维策略,形成数据驱动、智能决策的闭环管控体系,提升系统可靠性与经济性,实现全生命周期价值最大化。

4.4 接地体环境适配与防护优化

接地体环境适配与防护优化需聚焦环境特性与防护技术的协同增效。针对不同土壤电阻率分布,选用导电性能优异且耐腐蚀的铜包钢或镀锌钢复合材料,通过三维电场模拟优化接地体布局,如增加垂直接地极密度以降低接触电阻;防护环节采用阴极保护与导电涂层双重防腐技术,延缓金属氧化速率;针对机械损伤风险,设置高强度保护套管并嵌入警示标识,避免外力破坏。智能监测系统集成电流密度与土壤湿度传感器,实时采集数据并通过无线传输至监控平台,结合边缘计算实现故障早期预警;环境适应性调整侧重动态参数优化,如雨季增加巡检频次并调整接地极埋深,旱季通过土壤改良剂降低电阻率,形成环境-技术-防护的闭环优化机制,提升系统长期运行稳定性与抗干扰能力,实现全周期防护效能最大化。

结束语:接地系统的稳定可靠,是电力系统安全高效运行的核心基础与重要防线。接地系统的性能保障,需要覆盖设计选型、施工安装、运维管控、环境防护的全生命周期管控,针对不同的地质条件与运行工况,精准匹配适配性的技术方案与管控策略。随着人工智能与大数据技术的不断发展通过全链条的系统性优化与闭环管控,智能化接地检测系统可通过无线通信网络将实时检测采集数据传输至中央管理平台,为电力系统的运行管理提供技术支持,不但降低人工查找成本,还能在故障发生前发出预警,避免因接地问题引发的设备损坏或安全事故、有效化解接地系统的各类典型隐患,大幅提升接地系统的运行可靠性与环境适配性,为电力系统的长期安全稳定运转筑牢坚实的安全屏障。

参考文献

- [1]张辛昕.试论电力系统中的电气设备接地技术[J].科学发展与研究,2025,5(7):13-16.
- [2]杜学平.电气二次回路中直流系统接地故障检测方法探讨[J].电子元器件与信息技术,2025,9(7):76-78+85.
- [3]陈俊.建筑电气工程中防雷接地气系统施工技术的应用[J].漫科学(科技应用),2025(10):133-135.