

变电站接地网施工与防腐措施

商艳敏

内蒙古送变电有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要: 变电站接地网是保障电力系统安全稳定运行的核心设施,其施工与防腐至关重要。本文阐述接地网设计基础,包括功能性能要求、设计规范及土壤腐蚀性评估;介绍施工关键技术,涵盖材料选型、工艺流程与质量控制;分析防腐技术措施,如材料自身防腐、涂层防护等;提出全生命周期管理策略,涉及运行维护、腐蚀评估与修复改造。旨在为变电站接地网建设与运维提供全面指导,提升其可靠性与耐久性。

关键词: 变电站;接地网;施工工艺

引言:在电力系统中,变电站接地网是保障人员安全、设备稳定运行的关键基础设施。其不仅要在故障时安全泄放电流、稳定电位,还需适应复杂土壤环境,具备长期抗腐蚀能力。然而,接地网施工涉及材料选型、工艺控制等多环节,防腐措施也因土壤条件而异。若施工不当或防腐失效,将引发安全隐患。因此,深入研究变电站接地网施工与防腐技术,制定全生命周期管理策略,对保障电力系统安全意义重大。

1 变电站接地网设计基础

1.1 接地网功能与性能要求

变电站接地网是保障电力系统安全稳定运行的核心基础设施,核心功能包括安全泄放故障电流、稳定系统电位、抑制地电位升高,同时为设备提供可靠接地支撑,避免人身触电和设备损坏事故。其性能需满足多重指标,故障时地网表面最大电位差需控制在安全范围,防止跨步电压和接触电压超标,一般要求跨步电压不超过10kV(持续时间1s内),接触电压不超过15kV。接地电阻值需根据变电站电压等级适配,高压变电站通常要求接地电阻 $\leq 0.5\Omega$,低压变电站可放宽至 4Ω 以内。另外,需具备良好的均压性能,确保地网各点电位分布均匀,减少电位梯度突变对设备绝缘的冲击^[1]。接地网需适应所在区域土壤环境,具备足够的机械强度和抗腐蚀能力,保障长期运行稳定性,为变电站整体运行筑牢安全防线。

1.2 设计规范与标准

变电站接地网设计需严格遵循国家及行业相关规范标准,确保设计方案的科学性和合规性。核心国家标准包括《交流电气装置的接地设计规范》(GB 50065-2011),明确了不同电压等级变电站接地网的设计参数、技术要求及验算方法。行业标准《电力工程接地设计技术规程》(DL/T 621-1997)则针对电力工程特性,细化了接地网布置、材料选用、电阻计算等实操要求。此外,

需参考《变电站接地网状态评价导则》等文件,兼顾设计与后期运维需求。设计过程中,还需结合变电站类型(新建、改扩建)、电压等级、短路电流大小及土壤地质条件,针对性调整设计参数。同时,需符合当地电力部门的专项规定,确保设计方案通过审核验收。规范标准为设计工作提供了统一依据,可有效规避设计缺陷,保障接地网满足安全运行的各项技术指标。

1.3 土壤腐蚀性评估

土壤腐蚀性评估是变电站接地网设计的前置关键环节,直接决定接地材料选型、防腐方案制定及使用寿命预测。评估需通过现场勘察和实验室检测相结合的方式开展,核心检测指标包括土壤电阻率、pH值、含水率、含盐量、氧化还原电位及氯离子、硫酸根离子浓度等。土壤电阻率越低,腐蚀性通常越强,pH值 < 6.5 为酸性土壤, > 8.5 为碱性土壤,中性土壤腐蚀性相对较弱。高含水率、高含盐量及强氧化性土壤会加速接地体腐蚀,氯离子还会破坏金属钝化膜,引发点蚀。评估时需划分土壤腐蚀等级,分为弱腐蚀、中腐蚀、强腐蚀三类,针对不同等级制定对应措施。同时需考虑土壤分层特性,不同深度土壤的腐蚀性差异可能影响接地体布置方式。还需结合当地气候条件(如降雨、冻融),预判土壤腐蚀性长期变化趋势,为接地网设计提供精准的腐蚀环境数据支撑。

2 变电站接地网施工关键技术

2.1 材料选型与验收

变电站接地网材料选型需兼顾导电性能、机械强度和抗腐蚀能力,核心材料包括扁钢、圆钢、角钢及铜材等。高压变电站优先选用热镀锌扁钢(截面不小于 $40\text{mm} \times 4\text{mm}$),其导电性能优良且具备基础防腐能力;腐蚀性较强区域可选用铜材(截面不小于 $25\text{mm} \times 4\text{mm}$),但需控制成本。材料验收需严格执行质量标准,核对出厂合格证、材质化验单,检查外观无锈蚀、变形、裂纹

等缺陷,尺寸偏差符合设计要求。对镀锌材料,需检测镀锌层厚度和附着力,确保厚度不小于 $85\mu\text{m}$,附着力通过划格试验验证。对铜材,需检测导电率和纯度,避免杂质影响导电性能。验收时还需核查材料存储条件,防止受潮、锈蚀或污染。不合格材料严禁入场使用,同时做好验收记录存档,确保施工材料质量可控,为接地网施工质量奠定基础。

2.2 施工工艺流程

变电站接地网施工遵循“先勘察定位、后分步施工、终验收试验”的流程,核心步骤包括测量放线、沟槽开挖、接地体敷设、焊接连接、回填夯实、接地电阻测试及整改完善。测量放线需依据设计图纸,采用全站仪精准定位接地网轮廓、接地体布置位置及深度,标记基准点和控制点,确保偏差不超过 $\pm 50\text{mm}$ 。沟槽开挖深度根据土壤条件确定,一般为 $0.8\text{--}1.2\text{m}$,宽度 $0.3\text{--}0.5\text{m}$,遇岩石、硬土等特殊地质需采用破碎设备处理。接地体敷设需确保与土壤紧密接触,扁钢平放、圆钢垂直布置,转角处采用圆弧过渡。焊接连接为核心工序,扁钢搭接长度不小于宽度的2倍,双面施焊,圆钢搭接长度不小于直径的6倍,焊缝需饱满无夹渣、气孔。回填采用原土分层夯实,分层厚度不超过 30cm 。最后进行接地电阻测试,不合格项需及时整改,确保施工流程规范有序^[2]。

2.3 施工质量控制要点

施工质量控制需贯穿接地网施工全流程,聚焦关键工序和薄弱环节,确保施工质量符合设计及规范要求。焊接质量控制为重点,焊接人员需持证上岗,焊接前清理接头表面氧化层、油污,焊接后及时清除焊渣,对镀锌材料焊缝需补做防腐处理,涂刷防锈漆和沥青漆。敷设质量控制方面,接地体埋深需达标,避免露出地面或受后期施工扰动,敷设位置与地下管线、设备基础保持安全距离(不小于 0.5m)。回填质量控制需确保土壤夯实密度 $\geq 90\%$,避免回填虚土导致接地电阻偏大。接地电阻控制需在施工中同步监测,若电阻超标,可采取增加接地体长度、敷设环形接地网或使用降阻剂等措施。另外,需做好施工过程记录,包括测量数据、焊接参数、材料使用情况等,关键工序需留存影像资料。施工完成后,组织全面验收,开展接地电阻、均压性能等检测,合格后方可进入下一工序。

3 变电站接地网防腐技术措施

3.1 材料自身防腐

材料自身防腐是接地网防腐的基础手段,通过选用耐腐蚀材料或对常规材料进行改性处理,提升其抵御土壤腐蚀的能力。常用防腐材料包括热镀锌金属材料、铜

及铜合金、不锈钢等。热镀锌材料通过在钢铁表面形成致密的锌层,利用牺牲阳极原理保护基体金属,锌层可有效隔绝土壤与钢铁接触,延缓腐蚀进程,适用于中弱腐蚀土壤环境。铜及铜合金具备优良的耐腐蚀性,在酸性、碱性及含盐土壤中均能稳定运行,不易产生锈蚀,使用寿命可达50年以上,但成本较高,多用于强腐蚀区域或重要变电站。不锈钢材料耐腐蚀性更强,可耐受强酸碱、高盐土壤环境,但导电性能相对较差,需合理设计截面尺寸弥补。另外可采用镀锌加钝化处理的复合工艺,进一步提升材料表面防腐性能,延长接地体自身使用寿命,减少后期防腐维护成本。

3.2 涂层防护技术

涂层防护技术通过在接地体表面涂刷防腐涂层,形成物理隔离屏障,阻止土壤、水分及腐蚀性介质与接地体接触,适用于各类腐蚀环境。常用涂层材料包括沥青漆、环氧树脂涂层、聚氯乙烯涂层等。沥青漆涂层成本较低、施工简便,具备良好的防水防腐性能,适用于中弱腐蚀土壤,但耐候性较差,长期暴露易老化脱落^[3]。环氧树脂涂层附着力强、耐腐蚀性优良,可耐受酸碱、盐雾等恶劣环境,使用寿命较长,适合强腐蚀区域,但施工工艺要求高,需确保涂层均匀无针孔。施工时需先清理接地体表面,去除氧化层、油污,再采用涂刷、喷涂或浸涂方式施工,控制涂层厚度在 $0.1\text{--}0.3\text{mm}$ 。对焊接接头、转角等薄弱部位,需加强涂层处理,确保全覆盖。

3.3 阴极保护技术

阴极保护技术是针对强腐蚀土壤环境的高效防腐手段,通过电化学原理使接地体成为阴极,抑制金属腐蚀反应,分为牺牲阳极法和外加电流法两类。牺牲阳极法选用锌合金、铝合金等比钢铁活泼的金属作为阳极,与接地体形成原电池,阳极优先腐蚀消耗,为接地体提供保护电流。该方法施工简便、无需外部电源,维护成本低,适用于小型变电站或局部腐蚀严重区域,但保护电流有限,不适用于大面积接地网。外加电流法通过外部直流电源,将接地体作为阴极,辅助阳极(如石墨阳极)埋入土壤,形成电解回路,提供持续稳定的保护电流,适用于大型变电站、强腐蚀土壤及长距离接地网。施工时需合理布置阳极位置,确保保护电流均匀分布,定期监测阴极电位,调整电流参数,使接地体电位维持在 -0.85V 至 -1.2V 之间,保障防腐效果。

3.4 降阻剂与土壤改良

降阻剂与土壤改良技术既能降低接地网接地电阻,又能改善土壤腐蚀环境,提升接地体防腐性能。降阻剂分为无机降阻剂和有机降阻剂,其核心作用是填充土壤

孔隙,降低土壤电阻率,同时在接地体表面形成保护膜,延缓腐蚀。施工时将降阻剂与土壤均匀混合,包裹在接地体周围,厚度不小于10cm,确保与接地体、土壤紧密接触,避免形成缝隙导致降阻失效。土壤改良针对强腐蚀土壤,酸性土壤可添加石灰、石灰石等碱性物质,调节pH值至中性范围;碱性土壤可添加石膏、腐殖质,改善土壤结构。高含盐土壤可采用换土法,更换为腐蚀性较弱的壤土或沙土。通过土壤改良,可降低土壤腐蚀性,减少接地体腐蚀速率,同时优化土壤导电性能,与降阻剂协同作用,提升接地网整体运行稳定性。

4 接地网全生命周期管理策略

4.1 运行维护与检测

接地网全生命周期管理中,运行维护与检测是及时发现隐患、保障正常运行的关键。日常维护需定期清理接地网周边杂物、植被,避免挖掘作业破坏接地体,检查接地引出线与设备接地端子连接牢固,无松动、锈蚀。定期检测分为季度巡检、年度检测和五年专项检测,季度巡检重点排查外观缺陷、连接状态;年度检测开展接地电阻测试、接地引下线导通测试,记录数据并与历史数据对比,分析变化趋势。五年专项检测需采用接地阻抗测试仪、电位分布测试仪等专业设备,全面检测接地网均压性能、腐蚀状况,对疑似腐蚀部位进行开挖检查。检测数据需建立档案,形成全生命周期数据库,针对检测发现的隐患(如电阻超标、连接松动、腐蚀破损),制定整改方案,限期落实,确保接地网始终处于良好运行状态,规避突发故障风险。

4.2 腐蚀评估与寿命预测

腐蚀评估与寿命预测是接地网全生命周期管理的核心环节,为维护、修复及改造提供科学依据。腐蚀评估采用现场检测与实验室分析相结合的方式,现场通过开挖检测接地体腐蚀厚度、锈蚀程度,采集土壤样本检测腐蚀性指标,结合运行年限、维护记录,综合评定腐蚀等级。实验室通过模拟土壤环境,开展腐蚀速率测试,分析不同因素对腐蚀的影响程度。寿命预测基于腐蚀评估结果,结合接地体材质、防腐措施及土壤腐蚀速率,采用数学模型计算剩余使用寿命。对于中弱腐蚀环境,热镀锌接地体剩余寿命可通过腐蚀速率反向推算;强腐蚀

环境需考虑防腐措施失效风险,适当缩短预测寿命。预测结果需动态更新,结合定期检测数据调整,为接地网维护计划制定和改造决策提供精准支撑。

4.3 修复与改造技术

针对接地网运行中出现的腐蚀破损、电阻超标、性能下降等问题,需采用针对性的修复与改造技术,延长使用寿命,保障运行安全。局部腐蚀修复可采用更换腐蚀接地体、补焊连接部位的方式,更换材料需与原接地体材质一致或更优,焊接后做好防腐处理。对于接地电阻超标区域,可采用增设接地体、扩大接地网范围、补充降阻剂或土壤改良等措施,提升导电性能^[4]。老旧变电站接地网改造需结合电网升级需求,优化接地网布置,更换耐腐蚀性更强的材料,完善防腐体系,如增设阴极保护装置。改造施工需避免影响变电站正常运行,采用分区域、分阶段施工方式,做好安全防护措施。改造完成后,需全面检测接地电阻、均压性能、防腐效果等指标,确保符合现行设计规范和运行要求,实现接地网性能升级,适配变电站长期运行需求。

结束语

变电站接地网施工与防腐是一项系统性工程,贯穿设计、施工、运维全生命周期。从精准的土壤腐蚀性评估,到严格的材料选型与施工质量控制,再到多样化的防腐技术与科学的全生命周期管理,每个环节都紧密相连、缺一不可。只有全面落实各项要求,才能确保接地网长期稳定运行,有效防范触电、设备损坏等事故,为电力系统的安全可靠供电筑牢坚实防线,推动电力行业持续健康发展。

参考文献

- [1]刘健,张小庆,张志华等.提升小电流接地系统单相接地故障处理能力[J].供用电,2021,38(10):52-56.
- [2]李凡,谢彬,徐婷婷等.智慧能源站的接地系统优化设计[J].电力勘测设计,2021(02):24-26+40.
- [3]张育勋,康勇全.变电站工程接地网施工质量技术要点[J].安装,2025,(06):84-86.
- [4]袁贝尔.基于AI的变电站站内电气主接地网设计研究[J].电气技术与经济,2025,(05):62-64+71.