

配电线路防雷与接地系统设计

洪锋华

国网浙江省电力有限公司桐庐县供电公司 浙江 杭州 311500

摘要：配电线路防雷与接地系统设计是保障电力系统安全稳定运行的关键环节。雷电活动具有随机性和破坏性，可能引发线路故障、设备损坏甚至人员伤亡。本文聚焦配电线路防雷与接地系统设计，深入分析配电线路的防雷策略，探讨接地系统设计要点，包括接地电阻要求、接地装置类型选择及优化措施。研究强调，合理设计防雷与接地系统需综合考虑雷电活动强度、地形地貌、土壤电阻率等因素，确保系统在雷击事件中有效泄放雷电流，保障配电线路及设备安全，减少经济损失。

关键词：配电线路；防雷；接地系统；设计

引言

雷电是自然界中常见的灾害性天气现象，其强大的电流和电磁脉冲对配电线路构成严重威胁。配电线路作为电力系统的重要组成部分，承担着电能分配与传输任务，其安全运行直接关系到社会生产生活的正常秩序。然而，雷电活动具有不可预测性和高度破坏性，可能引发线路绝缘子闪络、导线断线、设备烧毁等故障，甚至导致大面积停电事故。因此，加强配电线路防雷与接地系统设计，提高线路耐雷水平，成为保障电力系统安全稳定运行的重要课题。

1 配电线路防雷系统设计

1.1 直击雷防护措施

直击雷防护是配电线路防雷设计的核心环节，主要通过避雷线与避雷针的协同布置实现雷电拦截与能量疏导。（1）避雷线作为架空线路的主要防护手段，其布置需兼顾防护效能与经济性。单根避雷线通常架设于线路外侧，通过减小保护角降低绕击概率，保护角选取需综合考虑线路电压等级、杆塔高度及雷电活动强度，一般控制在20度至30度之间以平衡防护范围与材料成本。双根避雷线多用于雷电活动频繁或地形复杂区域，通过增大水平间距形成更广的屏蔽区域，同时利用双线间的耦合作用增强线路耐雷水平。（2）避雷针适用于对局部区域进行重点防护的场景，如变电站进线段、跨越重要设施的杆塔或雷电活动异常强烈的局部地段。其防护原理是通过尖端放电效应吸引雷电先导，将雷电流引入自身后通过接地装置泄放至大地，从而保护下方设备免受直接雷击。保护范围计算需考虑避雷针高度、数量及布置方式，单根避雷针的保护范围呈锥形，其水平投影半径与避雷针高度成正比，高度增加时保护范围扩大但边际效益递减^[1]。多根避雷针联合布置时可形成交叉防护区

域，通过调整针间距离与高度差优化屏蔽效果。安装高度需根据被保护对象的高度、地形起伏及雷电活动强度综合确定，既要确保覆盖全部需防护区域，又要避免因过高导致引雷范围扩大或风偏超标。（3）避雷线与避雷针的选择需结合线路路径特点与雷害风险等级，雷电活动中等区域优先采用避雷线全线架设，局部高风险段增设避雷针强化防护。雷电活动强烈区域或重要用户线路可考虑双根避雷线与避雷针联合布置，两种装置均需配合完善的接地系统，接地电阻值需满足设计要求以确保雷电流快速泄放，避免因接地不良导致反击事故。

1.2 感应雷防护措施

感应雷防护是配电线路防雷设计的重要环节，其核心在于通过优化线路绝缘配置与屏蔽措施，抑制雷电感应过电压对线路及设备的危害。（1）线路绝缘配置需根据运行环境与耐雷要求选择绝缘子类型，瓷绝缘子具有机械强度高、耐老化性能好的特点，适用于污染较轻且机械负荷较大的区域。玻璃绝缘子透光性强，便于巡检时发现零值绝缘子，且自爆后残留物不易脱落，适用于对运行可靠性要求较高的线路。复合绝缘子以硅橡胶为外绝缘材料，具有憎水性强、耐污闪性能优异、重量轻等优势，尤其适用于重污秽或沿海等恶劣环境，但其芯棒耐老化性能需通过严格质量控制。绝缘水平需与线路耐雷性能匹配，通过提高绝缘子串的雷电冲击耐受电压降低闪络概率。（2）屏蔽与耦合地线是抑制感应雷过电压的关键手段，架空耦合地线通过在导线下方增设接地导线形成电磁屏蔽层，利用其对雷电电磁场的分流与耦合作用减少导线上的感应电压，其布置需与导线保持适当间距以避免风偏放电，同时通过多点接地确保屏蔽效能的连续性^[2]。耦合地线还可通过与导线间的电磁耦合降低线路的雷电冲击波陡度，减轻避雷器的负荷并提高其

保护效果,尤其适用于雷电活动强烈或地形复杂的山区线路。(3)电缆线路的金属屏蔽层接地设计需兼顾电磁屏蔽与故障电流通功能,金属屏蔽层应在线路首末端及分支处直接接地,中间段通过交叉互联或单端接地方式限制环流,确保在感应雷或直击雷作用下屏蔽层能快速将雷电流引入大地,避免电缆本体因过电压损坏。此外,需控制接地电阻值以满足短路电流热稳定要求,防止接地故障时屏蔽层烧毁导致事故扩大。

1.3 过电压保护装置

金属氧化物避雷器(MOA)作为过电压保护的核心装置,其参数选择需与系统特性及防护需求精准匹配。

(1)额定电压需根据系统标称电压及运行工况确定,确保在长期工频电压下稳定运行,同时耐受暂态过电压冲击。残压作为关键保护指标,需低于被保护设备绝缘耐受水平,以保留足够安全裕度,其值由标称放电电流下的电压峰值决定。持续运行电压需覆盖系统最高相电压,避免长期过压导致阀片老化;通流容量则需匹配预期雷电流强度及操作过电压能量,确保在极端工况下不损坏。(2)安装位置的选择直接影响防护效能,杆塔上避雷器通常安装于横担下方或导线连接点附近,以缩短保护距离并降低感应过电压。配电变压器处避雷器需并联于高压侧套管,下端直接接地,同时低压侧根据系统需求配置保护装置,形成分级防护。电缆终端处避雷器应靠近设备安装,减少电缆长度对过电压传播的影响,其接地端需与电缆金属护层共同接地,避免电位差引发二次故障。(3)放电间隙通过空气击穿释放过电压能量,其设计需平衡灭弧性能与保护可靠性。保护间隙由两根相隔一定距离的金属电极构成,一端接被保护设备,另一端接地,间隙距离需根据系统电压等级及空气击穿特性确定,确保在过电压下可靠动作^[3]。并联间隙通过在绝缘子串旁并联短间隙,形成优势放电通道,降低绝缘子闪络概率,其布置需与绝缘子高度协调,避免影响线路机械性能。改进型角型间隙利用电力与热气流上升作用提升灭弧能力,适用于灭弧要求较高的场景。间隙设计需兼顾环境因素,如高海拔地区需修正空气击穿电压,污秽区域需增大间隙距离或采用防污闪措施,确保长期运行稳定性。

2 接地系统设计

2.1 接地电阻要求

一方面,接地电阻的允许值根据线路电压等级与系统特性差异显著,高压系统(如35kV及以上)对接地电阻要求严格,通常需控制在较低范围以确保雷电流快速泄放,降低地电位升高风险;中压线路(如10kV系统)

允许值相对宽松,但需兼顾接触电压与跨步电压安全,一般要求接地电阻不高于特定阈值。另一方面,土壤电阻率是决定接地电阻的核心因素,其值受土壤类型、含水量、温度及矿物成分影响显著。改善土壤电阻率的措施需结合地质条件与工程实际综合选择,置换低电阻率材料是直接方法,通过在接地体周围填充黏土、泥炭等导电性更好的土壤,可降低局部电阻率。化学处理通过添加降阻剂改善土壤导电性,但需关注长期稳定性与环保性;深井接地利用地下低电阻率土层,通过垂直接地极延伸至深层土壤,可有效降低电阻值,尤其适用于地表电阻率高且深度方向电阻率递减的场景;扩大接地网面积通过增加水平接地体长度或采用网状结构,可增强电流散流能力,降低整体电阻。另外,设计时需综合评估土壤电阻率季节变化,选取最不利工况下的最大值作为依据,确保全年接地性能稳定。

2.2 接地装置类型

(1)水平接地体通常采用扁钢或圆钢,扁钢规格一般不小于40mm×4mm,圆钢直径不小于10mm,敷设深度距地面不小于0.6米,冻土区需埋至冻土层以下。扁钢水平敷设时建议立面竖放以降低散流电阻,圆钢则需保持直线段无弯曲,两者均需通过焊接或螺栓可靠连接,焊接部位需做防腐处理以延长使用寿命。(2)垂直接地体多选用角钢或钢管,角钢规格不小于50mm×50mm×5mm,钢管直径不小于20mm且壁厚不小于3.5mm,长度宜不小于2.5米。垂直接地体间距需满足屏蔽效应要求,通常不小于其长度的两倍,即间距不小于5米,在土壤电阻率较高区域可适当增大间距。垂直接地体顶部埋深不小于0.6米,与水平接地体连接处需通过焊接形成可靠电气通路,焊接后应清除焊渣并涂覆防腐漆^[4]。(3)接地模块分为金属与非金属两类,金属模块以铜或钢为主材,非金属模块采用导电非金属材料制成,规格多为600mm×150mm×100mm。接地模块通过扩大散流面积降低接地电阻,尤其适用于高土壤电阻率地区,施工时需埋设于0.8米以下深度,模块间距不小于4米,通过焊接或专用连接件实现模块间可靠连接。离子接地极通过内部填充的离子缓释化合物主动向土壤释放导电离子,持续改善土壤导电性,其降阻效果显著且寿命长久,埋设深度通常不小于0.8米,安装后接地电阻可在半年至一年内趋于稳定。

2.3 杆塔接地设计

钢筋混凝土杆塔的自然接地利用主要依托其内部钢筋结构,通过将杆塔基础内的主筋与接地网可靠连接,形成天然的散流通道。(1)施工时需确保基础钢筋焊接

成连续电气通路,且与接地装置的连接点不少于两处,连接部位应采用焊接或压接方式保证接触电阻符合要求。对于预应力混凝土杆塔,需评估预应力钢筋的电气连续性,必要时增设专用接地引下线,避免因钢筋断裂导致接地失效。自然接地体的优势在于节省材料成本且无需额外开挖,但需定期检测钢筋锈蚀情况,防止因腐蚀导致接地电阻增大。(2)铁塔的接地引下线布置需兼顾电气性能与机械强度,通常采用镀锌扁钢或圆钢沿铁塔主材外侧敷设,引下线与铁塔的连接应采用螺栓紧固或焊接方式,确保接触面平整且无氧化层。引下线在地面以上部分需采取防腐措施,如热镀锌处理或涂覆防腐漆,地下部分则应包裹沥青麻布或使用降阻剂保护。为减少电磁感应和环流影响,多根引下线应沿铁塔不同腿对称布置,间距不小于5米,且在地面以下0.6米处与水平接地体可靠连接^[5]。引下线弯曲半径需满足机械强度要求,避免直角弯曲导致应力集中,转弯处应采用圆弧过渡。(3)铁塔接地装置的防腐设计需结合土壤环境综合考量,在腐蚀性较强的区域,水平接地体宜选用铜包钢或锌包钢复合材料,垂直接地体可采用镀铜角钢或不锈钢材质。接地体连接部位应采用放热焊接或压接工艺,确保连接处耐腐蚀性能与本体一致。对于已运行多年的铁塔,需定期开挖检查接地体腐蚀情况,重点检测引下线与铁塔连接点、接地体交叉点等易腐蚀部位,发现锈蚀超过截面30%时应及时更换。接地装置的维护还应包括清除接地体周围杂草、回填土夯实等措施,防止因土壤松动导致接触电阻增大,确保杆塔接地系统长期稳定运行。

2.4 接地网优化

接地网优化需综合采用延长接地线、换土法、添加降阻剂等降阻技术以提升接地性能。(1)延长接地线通过扩大接地网面积增加电流散流路径,尤其适用于土壤电阻率不均区域,通过向低电阻率方向延伸水平接地体降低整体阻抗,但需注意延伸长度需结合土壤条件与工程实际确定,避免因电感应或火花效应导致降阻效果

衰减。(2)换土法通过替换接地体周围高电阻率土壤为黏土、黑土等低电阻率材料,改善局部导电环境,需确保置换范围覆盖以接地体为中心半径1至2米区域及近地面侧不小于接地极长度三分之一范围,置换后土壤需夯实以减少接触电阻,该方法对岩盘、砂石等高阻土壤效果显著,但需考虑施工成本与土壤稳定性。(3)添加降阻剂通过在接地体周围包裹导电材料形成低电阻通道,降阻剂中的导电颗粒与土壤离子相互作用,增强电流扩散能力,并利用其吸水保水特性维持土壤导电性,需选择稳定性高、腐蚀性低、长效性好的产品,施工时需确保降阻剂与土壤充分混合并覆盖接地体全周,避免局部空隙影响效果。

结语

综上所述,配电线路防雷与接地系统设计是电力系统安全防护的重要组成部分。通过合理配置避雷器、避雷线等防雷装置,结合延长接地线、换土法、添加降阻剂等降阻技术优化接地系统,可显著提升配电线路的耐雷水平,降低雷击故障率。未来,随着智能电网技术的不断发展,配电线路防雷与接地系统设计将更加注重智能化、精细化与集成化,通过实时监测、数据分析与智能决策,实现防雷与接地系统的动态优化与自适应调整。

参考文献

- [1]王宇宁,云梦,赵博鑫,张东.通信基站的防雷接地系统设计及雷击电磁脉冲防护措施[J].微型计算机,2026,(1):115-117.
- [2]黎达,刘伟.电力系统配电网的防雷接地设计分析[J].通讯世界,2025,32(2):124-126.
- [3]周瑾庭.输电线路杆塔接地系统防雷技术分析[J].电工技术,2025,(15):223-224+229.
- [4]刘雨霞,廖培亚,赵国庆.电力工程中防雷接地系统的设计与应用[J].消费电子,2025,(3):74-76.
- [5]贺云鹏.输电线路雷击故障的防护策略及接地系统改进探讨[J].消费电子,2025,(20):56-58.