

浅谈架空输电线路技术改造

柴渊恒 郭超

内蒙古电力(集团)有限责任公司呼和浩特供电分公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要: 在当今电力需求持续增长、能源结构加速转型的大背景下, 架空输电线路作为电力传输的“大动脉”, 其安全稳定运行至关重要。本文聚焦架空输电线路技术改造, 阐述其必要性, 包括提升线路运行稳定性、增强供电可靠性及适应新能源接入需求。详细介绍关键技术, 如导线与地线、杆塔、绝缘子与金具改造技术, 以及防雷与接地、智能化监测技术。同时, 探讨发展趋势, 涵盖智能化水平提升、绿色化改造加速、模块化与标准化推进以及国际化技术输出。旨在为架空输电线路技术改造提供理论支持与实践参考, 推动电力行业高质量发展。

关键词: 架空输电线路; 技术改造; 关键技术; 发展趋势

引言: 随着社会经济的飞速发展, 电力需求持续增长, 对架空输电线路的性能与质量提出了更高要求。传统架空输电线路在长期运行过程中, 面临诸多问题, 如设备老化、运行稳定性下降等, 难以满足日益增长的用电需求及新能源接入带来的新挑战。技术改造成为提升线路性能、保障电力供应稳定的关键举措。通过技术改造, 不仅能提高线路的输电能力和可靠性, 还能适应新能源大规模接入, 推动电力行业向智能化、绿色化转型, 对保障能源安全、促进经济社会可持续发展意义重大。

1 架空输电线路技术改造的必要性

1.1 提升线路运行稳定性

架空输电线路长期暴露在自然环境中, 会受到风、雨、雷、电等多种因素影响。例如, 强风可能导致导线舞动, 使导线间距离减小, 引发闪络事故; 冰雪天气下, 导线覆冰会增加线路负荷, 甚至导致断线、倒塔等严重故障。技术改造通过采用新型导线材料, 增强导线抗拉、抗疲劳性能; 优化杆塔结构设计, 提高其抗风、抗覆冰能力; 安装防舞动装置等措施, 有效降低外界因素对线路的干扰, 减少故障发生频率, 从而显著提升线路运行稳定性, 保障电力持续稳定输送。

1.2 增强供电可靠性

供电可靠性直接关系到用户的用电体验和经济社会的发展。传统架空输电线路由于设备老化、技术落后等问题, 经常出现停电故障, 影响用户正常生产生活。技术改造可以更新老旧设备, 如更换绝缘性能更好、使用寿命更长的绝缘子, 提高线路的绝缘水平; 采用先进的自动化保护装置, 实现故障的快速定位和隔离, 缩短停电时间。同时, 通过加强线路的监测和维护, 及时发现并处理潜在的安全隐患, 有效减少停电次数和停电范围, 大大增强供电可靠性。

1.3 适应新能源接入需求

随着全球对清洁能源的重视, 新能源发电规模不断扩大, 如风电、光伏发电等。然而, 新能源发电具有间歇性、波动性等特点, 对电网的稳定运行带来挑战。架空输电线路作为新能源电力输送的重要通道, 需要进行技术改造以适应新能源接入。通过提升线路的输电能力, 采用柔性直流输电等新技术, 增强线路对新能源发电功率波动的承受能力; 安装智能监测设备, 实时掌握新能源发电的输出情况, 实现与电网的协调运行, 确保新能源电力能够安全、高效地接入电网并输送至用户端^[1]。

2 架空输电线路技术改造的关键技术

2.1 导线与地线改造技术

导线与地线作为架空输电线路的核心组件, 其改造技术直接关系到线路的输电能力与运行稳定性。(1)针对导线断股、腐蚀问题, 需采用分级处理原则: 当钢芯铝绞线断股损伤占铝股总面积7%以下时, 可选用缠绕或护线预绞丝修复; 若损伤达7%-25%, 则需采用补修管或补修预绞丝加固; 当钢芯断股或损伤超25%时, 必须切断重接。对于镀锌钢绞线, 七股断两股或十九股断三股时需切断重连。同时, 针对腐蚀问题, 可通过提升铝线纯度、采用铝合金导线替代钢芯铝绞线、改进镀层工艺(如在锌层中加入锡形成稳定薄膜)等措施, 显著降低腐蚀速率, 延长导线使用寿命。(2)地线改造需结合防雷与节能需求优化结构。传统逐基接地方式易导致电磁感应电能损耗, 可采用绝缘单点接地技术, 将地线端部感应电压控制在500-1000V安全范围内。对于长线路, 通过分段接地、地线换位等措施降低感应电压, 例如单回路地线分段节距可根据电压等级系数(110kV取12-15)计算确定。(3)光纤复合地线(OPGW)的节能接续方案(如终端绝缘接续、中间隔离型接续)可进一步减少

电能损耗。(3)导线与地线的选型需匹配线路参数。110kV线路在海拔1000m以下地区,导线最小外径为9.6mm,地线标称截面需与导线匹配(如导线LGJ185/30时,地线最小截面35mm²)。同时,杆塔上地线对边导线的保护角需严格控制,500-750kV线路不宜大于10°,330kV及以下线路不宜大于15°,以降低雷击绕击风险。

2.2 杆塔改造技术

(1)杆塔结构优化是提升承载能力的关键。针对老旧杆塔因长期运行导致的结构疲劳、强度衰减问题,需通过有限元分析评估其剩余承载力,对主材弯曲、节点锈蚀等缺陷进行针对性加固。可采用高强度钢材替换原有主材,或在关键部位增设加劲板、横隔面,以增强杆塔整体刚度与抗风能力。同时,优化杆塔头部尺寸与导线布置方式,减少风偏闪络风险,适应大跨越、重冰区等特殊环境需求。(2)杆塔基础加固是保障稳定性的核心。对于软土地基或采空区,需采用桩基、扩底基础等深基础形式替代传统浅基础,以提高抗拔、抗倾覆能力。在地质复杂区域,可结合微型桩、注浆加固等技术改善地基承载力。此外,针对洪水冲刷、坡体滑移等隐患,需对杆塔基础进行护坡、防冲刷处理,确保基础长期稳定。(3)新型杆塔研发与应用是技术升级的方向。通过模块化设计,实现杆塔快速组装与拆卸,适应临时线路或应急抢修需求。采用耐候钢、复合材料等新型材料,可减轻杆塔重量、延长使用寿命,同时降低全生命周期成本。智能杆塔的集成应用,如安装传感器监测杆塔倾斜、振动等参数,结合大数据分析实现状态预警,为运维决策提供科学依据,推动杆塔改造向智能化、绿色化转型。

2.3 绝缘子与金具改造技术

(1)绝缘子性能提升是保障线路绝缘水平的核心。针对传统瓷质绝缘子抗污闪能力弱、机械强度不足的问题,需逐步替换为复合绝缘子或高强度瓷绝缘子。复合绝缘子采用硅橡胶护套与玻璃纤维芯棒复合结构,具有憎水性强、耐污闪性能优异的特点,同时重量轻、运输安装便捷。高强度瓷绝缘子通过优化配方与烧制工艺,提高了机械破坏负荷,可适应大跨越、重冰区等特殊环境。此外,绝缘子串型设计需根据电压等级、污秽等级合理配置,采用双串、V串等结构增强耐张能力,减少风偏闪络风险。(2)金具防腐与轻量化改造是延长使用寿命的关键。传统铸铁金具易锈蚀,导致机械性能下降,需采用热镀锌、达克罗等防腐工艺处理,或替换为铝合金、不锈钢等耐腐蚀材料。同时,通过优化金具结构,如采用预绞式耐张线夹、节能型悬垂线夹,可减少导线

损伤、降低电能损耗。对于大截面导线,需研发配套的高强度金具,确保连接可靠性与载流能力。(3)智能监测技术集成是提升运维效率的方向。在绝缘子与金具上安装传感器,实时监测温度、振动、应力等参数,结合大数据分析实现故障预警。例如,通过红外热成像检测绝缘子局部过热,利用振动传感器识别金具松动,可提前发现隐患,避免事故发生,推动绝缘子与金具改造向智能化、预防性维护转型。

2.4 防雷与接地技术

(1)防雷措施优化需构建多层次防护体系。针对雷电活动频繁区域,可结合线路参数安装避雷线,通过合理设置保护角(一般不大于15°)减少绕击概率。同时,采用差异化防雷策略,在雷害高发段增设可控避雷针或线路避雷器,利用其提前放电特性拦截直击雷,降低绝缘子闪络风险。此外,优化绝缘子串型设计,如采用不平衡绝缘配置,可在雷击时引导故障电流通过指定路径,避免双回线路同时跳闸,提升系统抗雷能力。(2)接地装置改造是降低反击过电压的关键。传统接地体易因腐蚀导致接地电阻升高,需采用镀锌钢、铜包钢等耐腐蚀材料替换,或实施接地网深度改造(一般埋深不小于0.8米),以增强散流能力。对于高土壤电阻率区域,可通过外引接地、深井接地或使用降阻剂降低电阻值,确保接地电阻满足设计要求(通常不大于10欧姆)。同时,推广等电位连接技术,将杆塔、金具与接地装置可靠连接,避免电位差引发反击事故。(3)智能监测与动态调整是防雷技术升级方向。安装雷电定位系统与接地电阻在线监测装置,实时掌握雷击位置、强度及接地状态,结合气象数据预测雷害风险,为运维决策提供依据。通过动态调整避雷器投运策略、优化接地网维护周期,可实现防雷与接地技术的精准化、智能化管理,提升线路雷击故障自愈能力。

2.5 智能化监测技术

(1)多参数集成监测是智能化监测的基础。通过在架空输电线路关键部位部署高精度传感器,可同步采集导线温度、弧垂、张力、振动频率以及绝缘子污秽度、杆塔倾斜角等参数。这些传感器采用无线传输技术,将数据实时上传至监控平台,形成覆盖线路全段的感知网络。数据融合算法可对多源信息进行关联分析,精准识别设备异常状态,例如通过导线温度与弧垂的联合监测,可提前预警因过载或环境变化导致的安全风险。(2)边缘计算与本地决策提升响应速度。在杆塔或变电站端部署边缘计算设备,对传感器数据进行预处理和初步分析。当监测到导线振动超限或杆塔倾斜加速等紧急情况

时,边缘设备可立即触发本地保护机制,如调整避雷器状态或启动警示装置,避免事故扩大。同时,边缘计算可过滤无效数据,减少云端传输压力,提升系统整体效率。(3)人工智能赋能故障预测与健康管理。利用深度学习算法对历史监测数据进行训练,构建线路设备退化模型,可预测绝缘子老化、金具松动等故障的发生时间。结合气象、负荷等外部数据,AI模型还能动态评估线路运行风险,为检修计划提供科学依据。通过持续迭代优化,智能化监测技术正从“被动响应”向“主动预防”转变,推动架空输电线路运维向智慧化、精准化升级^[2]。

3 架空输电线路技术改造的发展趋势

3.1 智能化水平提升

未来架空输电线路技术改造将深度融合物联网、大数据与人工智能技术,构建全息感知网络。通过部署高精度传感器,实时采集导线温度、弧垂、振动及绝缘子污秽度等参数,结合边缘计算实现本地数据预处理,降低云端传输压力。AI算法可对多源数据进行关联分析,精准识别设备异常状态,提前预警过载、舞动等风险。同时,数字孪生技术将构建线路虚拟模型,模拟不同工况下的运行状态,为运维决策提供科学依据。智能巡检机器人与无人机协同作业,可自主完成缺陷识别、故障定位,大幅提升巡检效率。

3.2 绿色化改造加速

随着“双碳”目标推进,架空输电线路技术改造将聚焦节能降耗与环保材料应用。采用低风阻导线、高导电率铝合金等新型材料,可减少线路电能损耗,提升输电效率。复合绝缘子、耐候钢杆塔等环保型设备将逐步替代传统产品,降低全生命周期碳排放。同时,改造过程注重生态保护,通过优化路径设计减少对植被的破坏,采用无害化拆除技术处理废旧设备。此外,结合分布式光伏、储能装置,探索线路与新能源的融合发展,构建绿色输电走廊。

3.3 模块化与标准化

模块化与标准化是提升技术改造效率的关键。通过将杆塔、绝缘子、金具等设备设计为标准模块,可实现

快速组装与替换,缩短施工周期,降低维护成本。例如,统一杆塔接口尺寸、绝缘子串型规格,使不同厂家产品具备互换性,打破技术壁垒,促进产业链协同发展。同时,制定涵盖设计、施工、验收的全流程标准体系,明确技术参数与质量要求,确保改造工程规范可控。模块化设计还支持按需配置功能,如根据区域特点增减防雷、监测模块,提升方案灵活性。

3.4 国际化技术输出

中国架空输电线路技术改造经验正加速向海外输出。依托特高压输电、智能电网等领域的技术积累,中国企业在“一带一路”沿线国家承接多个EPC项目,提供从规划设计到运维管理的全链条服务。技术输出内容涵盖高强度杆塔、复合绝缘子等核心装备,以及智能化监测、无人机巡检等先进系统。通过本地化合作,中国方案适应不同国家的地理、气候条件,例如在东南亚地区优化防洪设计,在中东地区增强防沙性能。此外,技术标准与培训体系的输出,帮助合作国提升自主运维能力^[3]。

结束语

架空输电线路技术改造是保障电网安全、提升输电效率、推动能源转型的关键举措。面对设备老化、极端气候频发等挑战,智能化监测、绿色材料应用、模块化设计等技术革新正重塑线路运维模式。未来,随着“双碳”目标深化与“一带一路”倡议推进,技术改造需兼顾国内升级需求与国际市场拓展,通过标准化体系构建与跨领域协同创新,实现从被动维护到主动预防、从单一功能到多元融合的跨越。唯有持续突破技术瓶颈,方能筑牢能源安全基石,为全球电力可持续发展贡献中国智慧。

参考文献

- [1]沈金晔. 探讨电力架空线路施工技术及其处理方法[J]. 科技与创新, 2021(21): 131,136.
- [2]邵尽波. 电力工程输电线路施工技术分析[J]. 科技创新与应用, 2022(3): 140.
- [3]张海彬. 浅谈电力架空线路施工技术及其处理方法[J]. 电子世界, 2021(12): 152-153.