

电力工程中高压输电线路施工技术与检修

陈 曦

国网河南省电力公司许昌供电公司 河南 许昌 461000

摘 要：高压输电线路是电力电网传输的核心载体，其施工质量与运维检修水平直接关乎电网安全稳定运行。本文系统剖析高压输电线路基础、杆塔、架线等核心施工技术，梳理外破、气候、设备本体及运维不当引发的各类线路故障成因。同时探究常规检修与智能化检修技术的应用要点，分析施工检修现存短板，针对性提出工艺规范、智能升级、制度完善等优化策略，为提升输电线路工程质量与运维效率提供参考。

关键词：电力工程；高压输电线路；施工技术；检修

引言：随着社会用电需求持续攀升，电力电网建设规模不断扩大，高压输电线路的覆盖范围与承载压力大幅增加。高压输电线路长期暴露在户外复杂环境中，受自然气候、外力破坏、设备老化及施工运维不规范等多重因素影响，极易出现各类故障，威胁供电稳定性。为有效降低线路故障发生率、延长设备使用寿命，保障电网安全可靠运行，亟需深入梳理线路施工关键技术，精准排查故障诱因，优化升级检修运维技术与管理模式。

1 高压输电线路核心施工技术分析

1.1 基础施工技术

(1) 基坑开挖施工技术：依据地形起伏、岩土类别及地下水位条件，综合选用人工开挖或机械开挖方式；严格按设计图控制基坑平面尺寸、深度及边坡坡度，设置临时排水沟与集水坑，及时排出地表水和渗水；对不稳定边坡采取锚喷支护或挡土板加固，严防塌方隐患。

(2) 基础浇筑施工技术：规范钢筋下料、绑扎及保护层垫块设置，确保模板安装牢固、接缝严密；严格控制混凝土配合比、坍落度及入模温度，采用分层浇筑、插入式振捣工艺，避免漏振或过振；浇筑后及时覆盖土工布并洒水养护，保证基础强度与耐久性^[1]。(3) 桩基施工技术：针对软土、松散填土或山地风化岩层，选用钻孔灌注桩或预制桩工法；施工中利用测斜仪监控桩身垂直度，确保桩端进入持力层深度满足设计要求；成桩后进行低应变检测或静载试验，杜绝不均匀沉降及水平偏位问题。

1.2 杆塔施工技术

(1) 杆塔组装施工：严格按照铁塔结构图和组装工艺卡进行分段组装，精确对准各连接节点，按设计扭矩值紧固螺栓并加装防松垫片，确保构件受力均匀、整体刚度达标。(2) 杆塔吊装施工：根据杆塔单件重量、安装高度及作业半径选择起重设备，编制包含吊点位置、

钢丝绳规格及起吊速度的专项方案；吊装时设置溜绳和临时拉线，缓慢起升、平稳就位，高空作业人员佩戴安全带并架设安全网，严防塔身变形或倾覆。(3) 杆塔校正固定：就位后立即用经纬仪在相互垂直方向检测垂直度，同时复核横担水平度，偏差超标时采用垫块或调整拉线微调；复核合格后迅速进行基础杯口二次灌浆或分层回填夯实，确保杆塔长期运行稳定。

1.3 架线施工技术

(1) 放线施工技术：依据导线、地线型号和放线区段长度，合理采用张力放线或拖地放线方式，设定适宜放线张力值；展放过程中保持线缆与地面及障碍物的安全距离，通过防磨滑车和护线装置避免线股损伤、打扭或硬弯，满足不同电压等级的表面质量要求。(2) 紧线与弧度调整技术：紧线前计算各档弧垂初值，在观测档设置弧垂观测板或采用经纬仪实时监控；根据现场气温、档距和负载情况动态调整弧垂，确保各相导线弧垂偏差控制在设计允许范围内，保证交叉跨越安全距离。

(3) 附件安装施工：紧线完毕后立即安装绝缘子串、悬垂线夹、耐张线夹、防震锤及间隔棒等附件，严格按设计位置和紧固力矩操作；线缆与金具接触部位加装预绞丝或护套，安装后逐一检查紧固状态并做防松标记，杜绝运行中松动脱落^[2]。

1.4 施工质量现场管控要点

(1) 施工前期管控：严格审查施工组织设计、专项方案及起重设备合格证、操作人员资格证；组织设计、监理、施工三方联合勘察现场，查明地下管线与障碍物，落实安全技术交底和样板引路制度，从源头保障施工条件合规。(2) 施工过程管控：实行工序交接验收和质检员全程旁站监督，对基坑尺寸、混凝土配比、螺栓扭矩、弧垂值等关键参数进行实测抽检，建立质量隐患台账；发现违规操作或缺陷立即停工整改，复查合格后

方可进入下道工序，确保全过程受控。

2 高压输电线路常见故障及成因分析

2.1 线路外破类故障

(1) 外力破坏故障：输电线路周边施工机械违章操作（如吊车臂碰触导线、挖掘机误挖拉线基础）、山体滑坡引发基础滑移及杆塔倾斜失稳、高大树木倒伏或枝干生长触碰线路安全距离、机动车辆失控撞击杆塔本体等外力形式，直接造成导线短路断线、绝缘子碎裂、杆塔构件弯曲变形甚至倒塔停电事故，该类故障突发性强且修复难度大。(2) 鸟类活动故障：鸟类在杆塔横担、绝缘子串悬挂点及塔身空隙处筑巢，其携带的树枝、铁丝等巢材在潮湿天气下形成导电通道，或鸟类飞行中双翅同时触碰不同相导线或导线与接地构件，引发相间短路、单相接地及绝缘子闪络跳闸，该类故障在候鸟迁徙及繁殖季节尤为高发，是影响户外线路可用率的重要自然因素。

2.2 环境气候类故障

(1) 气象灾害故障：雷电直击杆塔或导线产生过高电压击穿绝缘子串，大风导致导线风偏摆动与塔身间距不足而放电，暴雪及冻雨在导线上形成不均匀覆冰荷载致使导线过载断线、金具串断裂，重冰区段覆冰脱落时导线产生低频大幅舞动、相邻导线相互碰触烧伤，极端情况下杆塔因承受超设计荷载而发生倒伏或折弯。(2) 环境腐蚀故障：沿海地区含盐雾气溶胶持续沉降于导线外表面及金具镀锌层，工业集中区排放的酸性粉尘、酸雨长期侵蚀金属构件，造成导线铝股腐蚀截面缩减、金具应力腐蚀开裂、绝缘子金属附件锈蚀卡涩，同时绝缘子表面污秽层受潮后电导率增大，沿面闪络电压显著下降，致使设备绝缘性能劣化、使用寿命大幅缩短^[3]。

2.3 设备本体质量故障

(1) 线缆故障：导线在长期电热耦合及微风振动共同作用下，外层铝股因疲劳累积发生断股，断口处电场畸变引发局部放电及氧化发热；加之施工放线过程中牵引速度控制不当、滑车半径过小或护线措施缺失，导致线缆产生硬弯、铝股磨损及钢芯隐伤，运行中损伤区域电阻增大、温度持续升高，最终演变为断线事故。(2) 绝缘子故障：玻璃绝缘子因制造残留应力或运行中温差剧变产生自爆，瓷绝缘子釉面开裂、铁帽锈胀，复合绝缘子伞裙老化脆化、护套蚀损及芯棒脆断；运行中绝缘子表面积污严重且遇高湿度天气时，泄漏电流剧增引发沿面污闪放电，导致绝缘子彻底失效并造成线路跳闸。

(3) 金具故障：耐张线夹、悬垂线夹及接续管等金具在长期交变机械载荷作用下螺栓疲劳松动，接触面因氧化

膜增厚或压接压力不足产生接触电阻异常增大，负荷电流波动时该接触点发热加剧，严重时烧熔金具造成导线连接部位断开，引发线路断线落地事故。

2.4 运维管理类故障

(1) 巡检不到位：传统人工巡检受山区险峻地形、恶劣天气及道路通达性制约，沿线存在大量巡查盲区，且巡检周期固定僵化，无法根据线路负荷变化及季节性风险灵活加密，导致基础冲刷掏空、拉线锈蚀断股、金具销钉脱落等隐蔽性缺陷长期隐匿，隐患持续恶化直至触发故障。(2) 检修不规范：设备检修过程中未严格遵循标准化作业指导书，缺陷处理仅做表象修补而未追溯根本原因，更换老化部件时选型与原件不匹配或压接安装工艺粗糙，使修复后的线路区段反复出现同类型故障；老旧设备超期服役且未纳入技改计划，致使整体运行稳定性持续下滑。

3 高压输电线路检修技术及优化策略

3.1 常规检修技术

(1) 停电检修技术：针对线路重大缺陷、设备严重老化及杆塔结构受损等需要大范围拆换的问题，在电网调度安排下将线路退出运行，开展导线整段更换、绝缘子串全面拆除换新、耐张线夹及接续管压接重制、杆塔螺栓群整体紧固及基础加固等系统性作业；停电状态下作业面宽敞、安全净距充裕，可一次性解决多种顽固隐患，恢复线路健康水平。(2) 带电检修技术：采用等电位或地电位作业方式，使用绝缘工具、绝缘斗臂车及屏蔽服等安全防护装备，在线路不停电条件下完成导线异物清除、松脱螺栓紧固、防震锤复位及小件附件更换等轻微隐患消除工作，实现用户“零感知”检修，有效保障电网持续供电可靠性和供电服务质量。(3) 预防性检修技术：按照运维规程确定的周期，定期开展绝缘子串带电清扫、线路接地电阻检测、杆塔倾斜及基础沉降测量、导线弧垂及交叉跨越距离复核等例行工作；通过系统性排查及测试数据比对，提前识别潜在劣化趋势，科学制定整改计划，实现故障关口前移、主动预防。

3.2 智能化新型检修技术

(1) 无人机巡检检修技术：利用多旋翼或固定翼无人机搭载高分辨率可见光相机、红外热成像仪及紫外放电检测仪等载荷，沿线路走廊全覆盖自主飞行采集图像与温度数据，通过AI图像识别算法精准标注导线断股、绝缘子破损、金具锈蚀及外破施工等隐患位置，为检修人员提供精确导航与缺陷清单，消除人工巡检盲区。(2) 在线监测检修技术：在杆塔及导线上部署分布式光纤测温、导线弧垂及张力监测、绝缘子泄漏电流监测、气象环境监测等传

感装置,构建全天候数据采集网络;所获实时数据经无线传输汇集至智能运维平台,平台利用阈值模型及趋势分析算法实现故障早期预警,引导检修力量靶向出击,有效缩短故障响应时间^[4]。(3)红外测温检修技术:巡检人员手持或机载红外测温设备,对线路耐张管、接续管、引流板及各类线夹连接部位进行定点测温扫描,即时获取运行状态下的温度分布图谱;通过比较同类设备温差及负荷电流对应温升值,快速判定接触不良或氧化发热等隐性连接缺陷,将故障定位精度从宏观区段缩小至具体连接点,大幅提升检修精度。

3.3 施工与检修现存问题

(1)施工层面:部分施工现场工艺标准化执行力度不足,混凝土配合比随意调整、螺栓紧固不按扭矩值操作等粗放行为时有发生,且输电线路多位于高山峻岭、野外荒郊,高空坠落及物体打击等安全风险居高不下,导致基础、杆塔、架线各环节施工质量参差不齐,遗留大量隐蔽性质量缺陷。(2)检修层面:传统周期检修模式效率偏低,检修计划缺乏针对线路实际状态的动态调整能力,无人机、在线监测等智能化设备在基层班组普及率仍显不足,且能熟练操作智能检测仪器并精准研判数据的技术骨干储备短缺,制约了检修技术向数字化转型升级的进程。(3)管理层面:施工验收及检修作业管理制度体系尚不健全,存在职责划分交叉、流程衔接不畅等问题,隐患发现、登记、整改、验收、销号五步闭环机制未有效运转,施工建设与后期运维之间信息传递断裂,导致施工遗留缺陷不能及时反馈至运维环节,设备全寿命管理链条出现断点。

3.4 施工与检修质量优化策略

(1)规范施工工艺标准:系统梳理基础浇筑、杆塔组立、架线紧线等关键工序的工艺流程图及质量控制要点,编制图文并茂的标准化作业手册,全面推广样板引路及首件验收制;分层级开展施工人员岗前实操考核与技能轮训,现场配备专职质量监理全程旁站,对隐蔽工程实施举牌验收,确保每道工序有标准、有记录、可追溯。(2)升级智能化检修体系:逐年加大资金投入,扩大无人机智能巡检、分布式在线监测及红外精确测温

等技术的装备规模与覆盖范围;同步搭建数据中台驱动的智能运维决策平台,集成多源监测数据,运用大数据分析算法进行设备健康状态综合评估,实现隐患精准预判与检修窗口期优化,推动检修从“计划驱动”向“状态驱动”转变。(3)完善运维管理制度:重构施工、巡检、检修三位一体的闭环管理机制,明确各方职责边界与信息流转路径,建立“一患一档”动态隐患台账并实行销号管理;将工艺执行率、缺陷检出率、整改及时率等核心指标纳入人员绩效考核,辅以定期质量抽查与安全巡查,形成制度刚性约束^[5]。(4)强化设备常态化养护:依据线路所处环境腐蚀等级、投运年限及负荷特性,分区分级制定差异化养护方案,明确各类设备防腐涂层修补、金具润滑防锈、绝缘子清扫周期等具体养护动作及执行频次;建立临近寿命设备预警清单,提前编制更换计划,加速老旧组件退出,从源头延缓设备整体老化速度,延长输电线路服役寿命。

结束语

高压输电线路施工与检修是电力工程运维体系的核心环节,直接决定电网运行质量与供电可靠性。本文全面总结了高压输电线路核心施工工艺与各类故障成因,阐述了传统与智能化检修技术的应用优势,指出当前施工、检修及管理层面的现存问题。通过落实标准化施工、智能化检修、闭环化管理等优化举措,可有效弥补运维短板,提升线路运行稳定性,为电力系统长效安全运行筑牢技术保障。

参考文献

- [1]王勇,李松,张军.高压输电线路关键施工技术及质量控制研究[J].电网技术,2022,46(11):4321-4327.
- [2]刘鑫,陈杰.高压输电线路典型故障特征及精细化检修技术研究[J].电力自动化设备,2023,43(08):198-204.
- [3]赵阳,吴浩.复杂工况下高压输电线路施工难点与技术优化[J].电力建设,2024,45(06):78-85.
- [4]陈明,周洋.高压输电线路状态检修技术体系构建与应用[J].中国电力,2023,56(09):189-195.
- [5]许刚.电力工程输电线路设计及施工技术探析[J].电力设备管理,2025,26(10):225-227.