

高海拔地区输电线路组塔作业 安全施工技术及措施研究

梁 飞

(中国能源建设集团广东火电工程有限公司, 广东 广州 510700)

摘 要 聚焦高海拔区域输电线路杆塔组立施工安全, 瞄准作业环节中基础稳定性隐患、光纤铺设疏漏、管理体系缺陷等现实问题, 融合质量优先、预防为先、责任管控三项核心原则; 立足基础工程技术、杆塔架设工艺、架线张力调节关键技术领域, 确立基础加固改良、光纤铺设标准化、管理流程优化等针对性措施, 契合高海拔区域地质气候特征的技术配置与全流程管控体系, 切实降低极端环境导致的施工风险, 增强杆塔组立作业的安全保障水平及作业规范性, 以期高海拔地区输电线路工程长期平稳运行提供技术参考。

关键词 高海拔地区; 输电线路组塔; 安全施工; 杆塔组立工艺; 光纤布设

中图分类号: TM72

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.017

0 引言

高海拔区域作为清洁能源输送的关键枢纽, 输电线路组塔作业遭遇冻土冻融、低温强风、地形复杂等多重极端环境制约, 给施工安全与质量管控带来严峻的挑战。此类工程顺利实施关联区域资源配置效能, 牵动电力系统长期安全运转, 迫切需要针对性技术方案与管理体系给予保障。本文紧扣高海拔地区组塔作业的专属性, 从安全施工准则、核心技术范畴、现存突出症结及优化路径四个维度深入剖析, 提出完善契合高原环境的施工规范与管控方略, 以期攻克高海拔组塔作业技术难题、规避安全隐患提供实践层面的参考。

1 高海拔地区输电线路组塔作业安全施工的原则

1.1 质量优先原则

高海拔地区输电线路组塔作业质量的关键聚焦极端环境适配能力, 核心在于保障基础结构与杆塔本体的耐候性能、稳定效能。基础施工需要贴合冻土、强紫外线、昼夜温差悬殊等环境特质, 严格把控混凝土配比参数、养护时长及地基承载力检测规范, 规避因冻融循环引发的裂缝生成与地基沉降; 杆塔选材需要符合抗风载、抗冰雪荷载及防腐蚀指标, 连接节点的螺栓紧固力矩值、焊接工艺需契合高原施工技术准则, 保障结构承载强度与长期耐久性^[1]。质量管控应覆盖材料进场核验、施工过程监测及成品验收全链条, 标准化作业与精准检测手段支撑组塔工程长期安全运转,

以满足高海拔区域输电线路的特殊运行需求。

1.2 预防为主原则

依托高海拔地区复杂自然禀赋与施工隐患, 预防管控核心聚焦风险预判与前置治理, 施工前期全面勘察作业区域地质地貌、气象参数, 重点排查冻土消融、山体滑移、强风暴雨等潜在风险, 拟定针对性防控策略, 施工设备需完成高原适配改造与全域检修, 保障起重机械、架设工具在低氧低温环境下的平稳运转。针对组塔作业中高空坠落、设备失稳等安全风险点, 前置部署防护设施与应急储备物资, 明确风险预警临界值与处置程序, 前置性技术筹备、设备调试与风险防控举措从源头规避施工过程中的安全与质量疏漏, 确保作业全程处于可控状态。

1.3 责任管控原则

高海拔地区组塔作业的责任治理需构建层级化、全流程的责任架构, 界定各环节责任范畴与实施准则, 技术维度夯实方案拟定、技术传递的责任归属, 契合高原实际的施工方案有效传导至作业环节。施工维度界定班组实操、工序衔接的责任规范, 基础浇筑、杆塔吊装、部件组装等核心工序建立责任追溯流程, 监管维度做实质量抽检、安全巡查的责任落地, 聚焦管控高原环境中特殊施工作业, 保障各类技术规范及安全准则严格落地, 责任与施工各环节深度融合, 构建方案设计至成品交付的闭环治理, 助力作业质量及安全目标达成。

2 高海拔地区输电线路组塔作业安全施工技术

2.1 基础工程技术

高海拔输电线路组塔基础工程技术需适配低温、冻土、地质破碎等极端工况，核心聚焦地基稳固与环境适配提升^[2]。冻土区借换填非冻胀性碎石土、设置隔冻层及排水盲沟的组合工艺，切断冻融循环引发的冻胀力传递路径；地质复杂区域优先采用螺旋钻孔灌注桩或沉管灌注桩基础，通过加长桩长、优化桩径强化承载能力，搭配注浆加固弥合岩土裂隙提升地基整体性。基础浇筑选用低温抗冻混凝土，掺入引气剂与早强剂改良配合比，浇筑后铺保温被、敷电热毯蓄热养护防开裂，基础尺寸设计兼顾高海拔大风荷载与地形坡度，拓展底面积、加设抗拔锚杆，确保不均匀沉降与侧向力作用下结构稳固，为杆塔组立筑牢根基。

2.2 杆塔组立工艺

杆塔组立工艺需适配高海拔高寒、低气压、强风及复杂地质工况，优先选用耐低温抗风载优的杆塔部件，入场前核查防腐涂层完整性与钢材力学性能，确保满足高海拔长期运行标准。组立前精准核验基础顶面标高、地脚螺栓位置及露出长度，通过激光测距与水平仪校准对接精度。组立阶段采用分段吊装技术，依杆塔高度与结构特性拆分吊装单元，匹配高海拔气压环境的起重设备，调控吊装速率与吊点平衡，规避风力导致的部件偏斜。杆塔连接需严格遵守螺栓紧固力矩规范，扭矩扳手逐点核验，节点处实施防冰雪积聚与密封防护，防止低温冻融引发连接松动，保障杆塔整体稳固性与结构承载能力（见表 1）。

2.3 架线张力调控

架线张力调控需精准适配高海拔低气压、强阵风、昼夜温差大的极端工况，以导线力学特性与施工准则为核心参照，精确测算不同区段张力基准参数。结合线路地形落差、导线型号及覆冰积雪等气象条件，匹

配高原适配型张力机与牵引机，前置完成工况调适，保障动力输出平顺，实时监测导线张力波动与弛度并灵活调校运行指标，规避张力超限致导线畸变破损或张力偏低引发垂度过剩、安全间距不足等隐患。统筹空气绝缘性能变动与导线长期稳固效能，降低风振对导线接头及杆塔金具的影响，筑牢架线施工质量与线路长期运行安全防线。

3 高海拔地区输电线路组塔作业安全施工存在的问题

3.1 基础稳固隐患

高海拔地区基础稳固隐患凸显于地质环境、施工适配及自然作用的交织作用中，区域广泛分布的季节性冻土经冻融交替扰动，土壤结构持续破损、孔隙率攀升，地基承载效能剧烈起伏，冬季冻结膨胀诱发基础抬升畸变，夏季融化沉降导致基础下沉偏移形成不均匀位移风险^[3]。多数施工区域地处山地、峡谷等复杂地形，岩层风化严重且部分地段存在滑坡、崩塌隐患，地质勘察疏漏、基础选址不当或基坑开挖边坡支护缺失易引发边坡失稳坍塌，高海拔低温环境阻碍混凝土凝结硬化，强度难达设计标准且易生微裂缝，基坑回填压实度不足会因雨水冲刷、冻融侵蚀出现沉降松动，预埋件安装偏差与杆塔连接受力不均长期荷载作用下将进一步加剧隐患，影响输电线路组塔整体安全。

3.2 光纤布设疏漏

高海拔输电线路组塔光纤布设隐患集中于路由规划、布设施工及防护处置环节，路由规划未贴合高海拔复杂地形与气象特质，部分路由直穿岩石裸露区、冰雪堆积带或地质松动段，使线缆长期受地形挤压、冰雪冻胀出现受力失衡。布设中对线缆物理特性把控不足，牵拉强度超标易致纤芯断裂、损耗上升，弯曲曲率不足损毁内部结构，影响信号传输，海拔落差处预留长度不当易因杆塔沉降或地形形变被拉拽受损。强紫外、剧烈温变与风沙加速外护套老化龟裂，防护

表 1 高海拔 500 kV 直线塔组立关键参数推导

| 序号 | 控制项目 | 单位 | 现场实测值 | 规范限值 | 推导结果 |
|----|---------|-------|-------|-----------|-------|
| 1 | 单吊段最大质量 | kg | 2 850 | ≤ 3 000 | 2 850 |
| 2 | 螺栓最大扭矩 | N · m | 280 | 265 ~ 295 | 280 |
| 3 | 吊点水平偏移 | mm | 18 | ≤ 20 | 18 |
| 4 | 法兰贴合同隙 | mm | 0.4 | ≤ 0.5 | 0.4 |
| 5 | 低温冲击功 | J | 42 | ≥ 34 | 42 |
| 6 | 镀锌层厚度 | μ m | 92 | ≥ 86 | 92 |
| 7 | 塔脚板标高差 | mm | 3 | ≤ 4 | 3 |

材料不适配、套管固定松或接口密封缺失引发水汽沙尘侵入,接头熔接工艺失范致信号衰减,接头盒安装未规避雨水汇集区与强风点,进一步增加了安全风险。

3.3 管理机制短板

高海拔施工管理机制疏漏集中于专项制度缺位、人员治理薄弱、现场流程虚化及应急协同低效,面对低温缺氧、地形复杂的特殊环境,管理规范缺乏针对性调适,照搬平原通用标准,对环境适配要求、安全管控核心、技术参数边界界定宽泛,难以有效指导现场作业。人员专项技能培训覆盖不足,团队对极端环境操作规范、风险识别、应急处置掌握不透彻,长效考核与资质审核机制缺失,部分无适配能力人员参与核心工序。现场流程落地虚化,方案审批缺乏高海拔难点深度研判,巡检频次不足、排查粗放,关键环节监管乏力,违规未及时调整;应急体系不健全,预案针对性与实操性不足,未考量高海拔实际情况,物资储备不全、布局失衡,协同沟通缺失导致突发情况响应滞后。

4 高海拔地区输电线路组塔作业安全施工措施

4.1 基础加固优化措施

基础加固优化措施需贴合高海拔地质气候特点针对性落地,勘察、选型至施工全流程强化稳固保障。施工前期开展精细化地质勘测,探明冻土分布、岩层风化等级、地下水埋深及潜在滑坡区域,为基础选型提供精准数据^[4]。季节性冻土区采用深基坑或桩基础穿透冻层,嵌入下部稳定岩层或密实土层;选用耐冻融混凝土,掺入引气剂与早强剂,优化配合比,提升抗冻性与早期强度,防止低温裂缝。基坑开挖依地形与岩土性质,采用喷锚支护、土钉墙防坍塌,开挖后即刻浇筑,减少暴露时长。基础回填用碎石、砂砾等透水性材料分层夯实,压实后检测达标;预埋件以激光测距仪校准位置标高,外露部分涂耐高寒防腐涂料并加防护层,从根源强化基础长期稳固效能。

4.2 光纤布设规范方案

光纤布设规范方案需深度契合高海拔特殊环境,路由规划、敷设工艺至防护措施形成全流程规范化管控,路由规划结合高海拔地形地貌与气象特征,规避冻土集中区、滑坡隐患带及强风通道,优先选取地质稳定、地势平缓路径,减少峡谷、陡坡等复杂路段跨越以降低自然环境直接影响。敷设环节依地形条件择选架设方式,山地丘陵区域架空敷设时优化杆塔间距与光纤悬挂高度,采用耐高寒、抗紫外辐照特种光缆,外层加装防磨损、抗风振防护套管避免强风致光缆疲劳断裂,直埋敷设控制埋深至冻融层以下,沟槽开挖

后铺设砂垫层与警示标识,回填分层压实并做好防渗处理,防止雨水下渗引发冻土冻胀损毁光缆。光纤接头需在密封防尘环境处理,采用耐高寒密封接头盒且预留充足冗余长度,光缆固定金具选用防腐防锈材质,安装控制紧固力度,避免过度挤压损伤护套,保障高海拔环境下光纤传输稳定与安全。

4.3 管理流程完善策略

管理流程优化路径需紧扣高海拔施工特性构建全流程管控架构,从方案编制至落地执行形成闭环管控。前期结合高海拔地质气象条件细化专项施工方案,明确各环节安全管控要点与技术标准,配套构建多级审核机制,组织专业力量论证方案可行性与安全性,重点核查低温、大风、冻土等环境应对措施实操性^[5]。构建动态管控模式,通过信息化工具建立实时反馈渠道,全程跟踪关键环节并及时整改。优化高海拔适配性培训体系,聚焦核心内容开展系统性培训,严格资质核查。健全应急管控流程,制定专项应急预案,储备适配高原的应急物资,常态化开展针对性应急演练,提升突发情况快速处置能力。

5 结束语

高海拔输电线路组塔作业受地质气象条件掣肘,安全质量管控面临多重考验。本文围绕施工原则、技术范畴、核心症结及优化路径铺陈,确立质量优先、预防前置、责任闭环的核心导向,以基础加固、光纤布设规范化、管理流程优化等针对性措施,解决冻土干扰、极端天气、技术适配不足等难题。这些措施根据高海拔施工实际情况,以保证技术可行性与安全可靠性为目标,提供系统解决方案。实践中需强化环境适配性技术创新与全流程管控,持续提升施工质量与安全保障效能,为高海拔电网建设有序推进、电力系统稳定运行筑牢根基。

参考文献:

- [1] 张洋,朝洛蒙.高海拔地区 500kV 输电线路绝缘设计与运行特性分析[J].电力设备管理,2025(05):28-30.
- [2] 杨刚,吕宝雄,杨振胤,等.高海拔多山区架空输电线路高密度点云数据获取方法研究及应用[J].测绘通报,2024(10):157-162.
- [3] 刘德天.高海拔地区输电线路设计方案研究[J].设备管理与维修,2024(16):134-136.
- [4] 袁飞,吴志明,鲁俊,等.高海拔地区特高压直流输电线路可听噪声研究[J].电工电气,2022(12):57-62.
- [5] 李杨.高海拔冻土地区输电线路基础设计与施工要点[J].光源与照明,2021(12):106-107.