

复杂地形条件下架空线路施工难点及对策

贾有强

华电和祥工程咨询有限公司 山西 太原 030000

摘要: 架空线路在复杂地形施工面临诸多挑战, 本文详细阐述了山地、高原高寒、河谷沼泽、森林生态敏感区等不同地形的施工难点, 并提出基础施工、安全防控、技术创新等方面的对策。涵盖地质适应性基础设计、特殊环境应对、安全管控体系构建、智能化装备研发等内容, 通过材料与工艺迭代升级, 实现架空线路施工在复杂地形下的高效、安全与可持续发展。

关键词: 复杂地形; 架空线路施工; 施工难点; 应对策略; 技术创新

引言: 我国地域辽阔, 地形复杂多样, 架空线路施工常需跨越山地、高原、河谷、沼泽及森林生态敏感区等。不同地形带来地质条件差异、气候环境多变、生态保护要求高等诸多问题, 对施工的物流运输、基础建设、安全保障等环节构成严峻挑战。如何突破复杂地形限制, 确保架空线路施工顺利进行, 成为电力工程建设领域亟待解决的关键问题, 对保障能源供应和区域发展意义重大。

1 复杂地形特征与施工挑战

1.1 山地地形

山地施工的核心障碍源于地形起伏对物流体系的重构需求。传统轮式运输设备在陡坡路段易出现打滑失控现象, 需开发履带式与轮式复合的变型运输装置, 通过增加接地比压提升爬坡能力^[1]。地质构造的复杂性表现为断层破碎带与强风化岩层的交错分布, 基础开挖时易引发局部塌方, 这要求采用“先支护后开挖”的逆向施工法, 利用微型桩或土钉墙构建临时支护体系, 确保作业面稳定。岩体节理发育区域需实施动态加固, 通过化学灌浆填充裂隙并胶结破碎块体, 形成整体受力结构。

1.2 高原与高寒地区

高原环境对施工效能的影响体现在人体机能与材料性能的双重衰减。低气压导致内燃机功率下降, 需对动力设备进行高原标定, 调整燃油喷射参数以维持输出扭矩。高寒气候使混凝土凝结时间延长, 需在配合比中掺入早强型外加剂, 同时采用电热毯包裹模板的保温措施, 加速强度发展。冻土层施工需破解“热融沉降”难题, 可采用热棒技术建立主动降温系统, 通过相变材料循环带走土体热量, 维持地基常年冻结状态。对季节性冻土区, 则需采用可伐基础等柔性结构, 通过预留变形空间消解冻胀应力。

1.3 河谷与沼泽地带

河谷地貌的施工挑战集中于水-土相互作用对基础稳定性的侵蚀。软土地基承载力不足时, 需采用桩-筏复合基础, 通过长桩穿透软弱层抵达持力层, 筏板则起到扩散荷载与调整沉降的作用。沼泽区地下水位控制需构建“截-排-防”三位一体系统, 在作业面外围设置粘土截水墙阻断地下水渗透, 内部布置井点管降低水位, 同时对开挖面喷洒固化剂形成临时硬壳层。防水施工强调全断面防护, 采用预铺反粘卷材与混凝土形成化学粘结, 消除窜水通道。

1.4 森林与生态敏感区

森林区域施工需突破传统“开山辟路”的思维定式, 转向立体化运输体系构建。无人机群可承担轻型物资吊运任务, 通过设定航线实现点对点精准投放; 重型设备则依赖临时索道系统, 利用地形高差形成运输动力链。生态保护要求施工方案具备“可逆性”特征, 塔基开挖采用“剥洋葱”式作业法, 分层剥离表土与心土并分类存放, 回填时按原始结构复原。植被恢复实施“本土化”策略, 优先选用本地物种进行补植, 配合生物降解材料制成的固土网, 促进生态系统自然演替。对珍稀植物群落, 采用“移栽-养护-回植”的全周期保护方案, 确保生物多样性不受破坏。

2 基础施工难点与突破方向

2.1 地质适应性基础设计

软土地基的工程特性表现为低承载力与高压缩性, 传统浅基础易因不均匀沉降导致结构失稳。箱形基础通过封闭式结构体系将荷载扩散至更大范围土体, 利用底板与侧壁的协同作用抵抗软土侧向挤出效应, 形成“箱体-土体”共同受力机制^[2]。螺旋桩基础则依托螺旋叶片的锚固效应, 将单桩承载力分解为端阻力与侧摩阻力, 特别适用于表层软土覆盖层较厚的区域, 其施工过程对周边土体的扰动远小于传统打入桩。岩石地基中, 传统爆破开挖产生的振动

波易引发周边岩体裂隙扩展,导致基础承载力衰减。非爆破开挖技术采用高压水射流切割岩体,通过调整水压与喷嘴角度实现岩体的精准剥离,配合机械臂抓取碎块完成开挖作业,该技术对硬质岩体的切割面平整度优于爆破法,且能有效保护周边岩体的完整性。冻土地区的基础设计需应对冻融循环引发的地基变形,可调节埋深锚杆基础在杆体与基础连接处设置伸缩装置,允许基础随土体冻胀上抬、融沉时回落,通过弹性变形释放冻胀应力,避免因刚性约束导致的基础破坏。

2.2 施工工艺创新

模块化基础设计将传统现浇作业转化为工厂预制与现场装配的协同模式。标准化构件通过参数化设计实现尺寸灵活调整,不同模块间采用榫卯式或螺栓连接接口,确保组装精度与结构整体性。现场组装过程依托液压定位系统与激光校准装置,通过多向微调实现模块间的精准对接,显著缩短单基施工周期。免开挖技术通过非接触式施工方式破解生态敏感区的基础建设难题。定向钻技术利用导向钻头实现地下孔道的曲线延伸,通过泥浆循环系统携带钻屑排出孔外,配合扩孔器逐步扩大孔径至设计要求,最终将基础管材拖入预定位置,该技术对地表植被的破坏仅限于钻机布置区域,且施工过程无扬尘产生。顶管技术适用于穿越道路或河流的场景,通过主顶油缸推动管节前进,利用泥浆套减少摩擦阻力,实现长距离无开挖施工,其施工轨迹可通过导向系统实时调整,确保管节按设计轴线延伸。

2.3 特殊环境应对措施

高海拔地区混凝土施工需攻克低温早强与耐久性提升的双重挑战。耐低温材料通过掺入硅灰与粉煤灰双掺技术,优化胶凝材料体系,使混凝土在-10℃环境下仍能保持强度持续增长。配合电热毯与碘钨灯组合的复合加热系统,形成从表层到内部的梯度保温,消除温度梯度导致的开裂风险。沼泽地带设备沉陷问题可通过力学重构与材料创新双重手段解决。临时施工平台采用高强度聚乙烯浮箱拼接而成,单箱承载力达20吨,通过调整浮箱数量适应不同荷载需求。浮箱表面设置防滑纹路,连接卡扣,确保平台整体稳定性。对于必须使用重型设备的工况,可在设备底部加装雪橇式支腿,通过增大接触面积分散压力,配合定时排水装置防止支腿下陷。

3 施工安全与风险防控体系

3.1 高空作业安全管控

高空作业安全的核心在于构建"主动防护-被动保障"双重机制。双钩安全带通过双锁扣设计实现作业人员与固定点的动态连接,当某一锁扣意外松脱时,另一锁扣

仍能提供有效保护。速差自控器内置离心式制动装置,在坠落速度超过设定阈值时自动锁止,将坠落距离控制在0.5米以内。水平生命线系统采用高强度钢丝绳作为承载主体,通过端部固定装置与中间支撑件形成连续防护通道,作业人员通过滑块连接生命线,确保在移动过程中始终处于受保护状态。该系统需定期进行承载力测试,确保钢丝绳张力维持在设计值的90%-110%之间。

3.2 设备与材料运输安全

运输车辆安全配置需针对复杂地形特征进行差异化设计^[3]。防滑链通过增加轮胎与地面的摩擦系数提升爬坡能力,其链节间距需与轮胎花纹深度匹配,避免因嵌合不良导致脱落。差速锁通过机械锁止差速器齿轮,强制左右驱动轮同步转动,防止单侧车轮打滑引发的动力流失。杆塔部件固定采用聚酯纤维柔性绑扎带,该材料具有弹性模量适中、抗紫外线性能强的特点,既能通过弹性变形吸收运输振动能量,又能避免刚性约束导致的部件表面损伤。绑扎方式需遵循"对角交叉、多层缠绕"原则,确保部件在三维方向均得到有效固定。

3.3 环境风险动态防控

极端天气预警系统依托多源气象数据融合分析技术,整合卫星云图、地面观测站与雷达回波数据,实现对突发性强对流天气的提前预警。系统内置的施工安全阈值模型,可根据风速、降雨量等参数自动生成风险等级评估报告,为施工计划调整提供量化依据。地质灾害监测网络在滑坡隐患区布置测斜仪、裂缝计与孔隙水压力计,通过物联网技术实现数据实时传输。当监测指标超过预警值时,系统自动触发声光报警装置,并通过短信平台向相关人员推送撤离指令。监测设备需定期进行校准维护,确保数据采集精度满足工程要求。

3.4 应急管理机制构建

"三级响应"制度通过明确班组、项目部与公司三级的职责边界,形成"快速反应-专业处置-资源协调"的应急管理链条。班组级响应侧重现场初期处置,配备急救箱、灭火器等基础应急物资,由安全员负责现场秩序维护与伤员初步救治。项目部级响应启动专项应急预案,调动项目内部资源进行事故控制,技术负责人需在30分钟内到达现场指导处置。公司级响应作为最高级别响应,负责跨项目资源调配与外部救援力量对接,确保重大事故得到系统性处置。应急演练需覆盖高处坠落、物体打击、机械伤害等典型事故场景,通过"桌面推演+实战模拟"相结合的方式,检验应急预案的可操作性。演练评估报告应详细记录响应时间、处置流程与资源调配效率,为预案优化提供依据。

4 技术创新与可持续发展路径

4.1 智能化施工装备研发

山地运输场景的复杂地形对装备适应性提出严苛要求。专用运输机器人通过集成多模态感知系统,利用激光雷达构建三维环境模型,结合视觉识别技术实现障碍物分类与定位,其六轮独立驱动底盘采用仿生学设计,能够根据地面起伏自动调整轮压分布,确保在碎石坡、泥泞地等非结构化路面稳定行驶^[4]。自主导航算法融入深度强化学习框架,使机器人具备路径记忆与动态避障能力,即使在GPS信号遮挡区域仍可完成预设运输任务。无人机巡检技术通过搭载多光谱成像设备,形成“空天地”一体化监测体系,飞行控制系统采用自适应控制策略,可根据风场变化实时调整飞行姿态,确保在复杂气象条件下获取高质量巡检影像,数据传输模块通过边缘计算技术实现现场初步分析,为施工调度提供即时决策支持。

4.2 绿色施工工艺实践

低噪声机械改造聚焦动力源与传动系统的协同优化。电动设备采用永磁同步电机与变频控制技术,消除传统柴油机燃烧噪声,液压系统通过负载敏感控制减少溢流产生的高频噪音,设备整体降噪设计遵循声学封装原理,对动力舱、传动箱等主要噪声源实施隔声罩覆盖。生态修复技术强调施工与修复的时空耦合,液压喷播机将植物种子、粘合剂与保水材料按生态学原理配比,通过高压雾化系统实现均匀喷播,喷播层形成的微孔结构既可保持土壤湿度,又能防止雨水冲刷导致种子流失。修复区域覆盖可降解无纺布形成临时保护层,配合滴灌系统维持萌芽期水分需求,促进本土植物群落快速重建。

4.3 标准化与模块化推进

复杂地形施工标准编制需统筹地质、气候与工艺要素。标准体系明确不同地形等级下的设备配置原则,例如在岩石地区规定非爆破开挖的振动控制要求,在沼泽地带制定临时道路承载力设计方法。模块化杆塔设计采用参数化建模技术,通过调整塔身坡度、横担布局等几何参数生成标准化构件族库,构件连接采用高强螺栓与榫卯插接组合方式,现场组装无需特殊工装,组装过程遵循“先定位后紧固”原则,确保构件对接精度。模块化

基础采用预制混凝土构件,通过预留螺栓孔实现快速拼装,其结构形式可根据地质条件灵活调整,既适用于软土地基的扩展基础,也可用于岩石地基的锚杆基础。

4.4 材料与工艺迭代升级

耐候性材料研发着力提升极端环境适应性。导线材料通过添加特定稀土元素,优化内部晶体结构,显著增强抗蠕变性能,可有效应对山区复杂应力环境。绝缘子采用硅橡胶复合外套,其憎水性迁移特性优异,在-40℃至80℃的宽温域内,能持续保持电气绝缘性能与机械强度稳定,抵御冻融循环与强紫外线老化。3D打印技术为异形杆塔制造开辟新路径。选择性激光熔化工艺利用高能激光束逐层熔融金属粉末,配合拓扑优化算法生成轻量化结构模型,在保证强度的同时减轻构件重量^[5]。打印设备配备多激光头协同系统,可快速完成复杂曲面成型,缩短制造周期。打印后的构件需经热处理,通过相变重结晶消除内部残余应力,确保其在极端环境下的力学性能完全符合设计要求。

结束语

复杂地形条件下架空线路施工通过针对性策略与创新实践,有效应对了各类地形带来的挑战。从基础施工工艺的优化到安全风险防控体系的完善,从智能化装备的研发到绿色施工工艺的践行,各个环节紧密配合、协同发展。这不仅提升了施工效率与质量,保障了施工安全,还减少了对生态环境的影响,为复杂地形下架空线路建设提供了全面且可行的解决方案,有力推动了电力工程建设的进步。

参考文献

- [1]关忠胜,关强,谢德成,等.电力架空线路施工技术要点[J].灯与照明,2025,49(4):119-121.
- [2]宋厚鑫.电力施工中架空线路施工技术分析[J].模型世界,2025(2):145-147.
- [3]胡骏.电力工程架空线路施工技术的应用[J].模型世界,2024(36):181-183.
- [4]刘军.配网架空线路施工弧垂控制及杆塔受力分析[J].电力设备管理,2025(5):188-190.
- [5]李琛.探索电力工程架空线路施工技术的应用[J].数码设计,2023(24):107-109.