

复杂地形条件下输电线路架设施工难点与对策分析

郭海文

浙江中能工程设计有限公司 浙江 绍兴 312000

摘要: 随着国家“双碳”战略深入推进和新型电力系统建设加速, 110kV及以下输电线路作为配电网骨干网架, 日益向山区、丘陵、河谷、林区等复杂地形区域延伸。此类区域普遍具有坡陡沟深、植被茂密、交通闭塞、气候多变等特点, 给线路勘测、基础施工、材料运输、杆塔组立、导线展放及附件安装等环节带来显著挑战。本文结合多年工程实践经验, 系统梳理了110kV及以下线路在复杂地形中的七大核心施工难点: 路径勘测精度不足、基础开挖受限、物资运输困难、杆塔组立空间狭窄、导线架设受高差与气象双重制约、附件安装精度难控、有效施工窗口期短。针对上述问题, 提出了涵盖“勘测优化—结构适配—装备轻量—工艺灵活—管理精细—生态协同”的全链条应对策略。

关键词: 110kV及以下输电线路; 复杂地形; 施工难点; 基础开挖; 材料运输

引言

近年来, 随着新能源就地消纳需求增长、乡村振兴电网升级以及城市边缘区域负荷扩张, 110kV及以下输电线路建设重心逐步由平原向山区、丘陵、河谷、林区等复杂地形转移。110kV及以下线路投资规模有限、机械化程度较低、施工周期紧张, 且多由地方施工队伍承担, 技术储备与装备水平相对薄弱。在复杂地形条件下, 传统依赖人工踏勘、人力搬运、简易吊装的施工模式已难以满足安全、质量与环保要求。因此, 亟需立足110kV及以下工程实际, 系统识别复杂地形下的真实施工痛点, 并提出低成本、易推广、可落地的技术与管理对策。

1 复杂地形条件下110kV及以下线路施工的主要难点

1.1 地形复杂导致测量与路径勘测困难

在山区或密林区域, 传统测量手段面临严重局限。全站仪需要良好的通视条件, 但在坡度超过30°或植被密集的地段, 前后视距常常不足50米, 控制点布设极为困难。普通GPS接收机在峡谷底部或浓密树冠下方信号衰减严重, 定位误差可达5至10米, 远不能满足塔位定位±0.5米的工程精度要求。更严峻的是, 许多地质隐患如古滑坡体、软弱夹层或潜在崩塌区, 在常规踏勘中难以被准确识别^[1]。此外, 人工踏勘效率极低, 一名经验丰富的测量员在复杂山地中日均仅能完成2至3基塔位的实地核查, 且长期暴露于坠崖、毒虫、野生动物等风险之中。一旦前期勘测数据不完整或存在偏差, 后续设计将频繁调整, 引发基础型式变更、塔材返厂重制、施工组织混乱等一系列连锁反应, 严重影响工程整体进度与成本控制。

1.2 基础开挖受限, 作业面狭窄且风险高

110 kV线路常用的基础形式包括板式基础、掏挖基础和岩石锚杆基础, 这些结构在平原地区施工便捷, 但

在复杂地形中却面临诸多现实障碍。在坡度超过35°的陡峭山坡上, 往往无法形成不少于3米见方的稳定作业平台, 大型挖掘机根本无法进场, 只能依赖人工使用风镐或水钻进行开挖。以一基常规尺寸为2米×2米×2.5米的板式基础为例, 人工开挖通常需要8至10名工人连续作业3到5天才能完成, 而同样工作在平原地区使用机械仅需半天。若遇完整岩层, 爆破本是最高效的开挖方式, 但出于生态保护或居民安全考虑, 许多项目明确禁止使用炸药, 施工方只能采用水钻逐孔成形, 单孔耗时近1小时, 整基基础需钻孔二十余个, 不仅效率低下, 成本也几乎翻倍。而在河滩、沼泽等软土地段, 地下水位高, 开挖过程中极易发生塌孔或流砂现象, 必须同步采取支护或降水措施, 进一步增加施工复杂度。更为关键的是, 开挖过程不可避免地扰动原状土体, 削弱边坡稳定性。

1.3 材料运输极为困难, 成本高、效率低

110kV线路单基铁塔重量通常在3至8吨之间, 加上每公里1.5至2.5吨的导线以及大量水泥、砂石和金具, 物资总量庞大。然而, 在无路可通的山区, 运输成为制约整个工程进度的最大瓶颈。短距离内常依赖人力背运, 但一名工人单次负重不宜超过30公斤, 日均往返三四趟, 整体效率不足0.5吨·公里/人·天, 劳动强度极大。部分地区仍使用骡马驮运, 虽有一定运力, 但受天气和地形限制明显, 且存在牲畜失控风险。相比之下, 临时货运索道是目前较为有效的解决方案, 其单线循环系统可实现1至2吨的载重能力, 跨度可达1公里, 但需专门设计、审批、架设和维护, 单公里建设成本高达百万元。山地履带运输车虽具备30°以上的爬坡能力, 但对临时便道的宽度和转弯半径有严格要求, 且在雨后极易陷车。尤为棘手的是, 南方山区雨季漫长, 临时道路常被山洪冲毁,

索道支架也可能因基础沉降而停运。

1.4 杆塔组立空间受限,安全风险突出

110kV铁塔高度一般为18米至30米,组立过程需要足够的操作空间和稳定的吊装环境。然而在密林或陡崖区域,这些基本条件往往难以满足。常规汽车吊要求作业半径不少于8米,但在狭窄山谷中根本无处站位;内悬浮抱杆虽可适应小空间,但其外拉线需保证足够角度以维持稳定,而在两侧均为峭壁的地段,拉线夹角常小于 30° ,极易失稳^[2]。高空作业人员上下塔也极为不便,部分塔位甚至需借助绳梯或攀岩设备,大大增加了坠落风险。此外,峡谷地带午后常因“狭管效应”产生突发性强风,瞬时风速可超过10米/秒,对正在起吊的构件构成严重威胁。这些因素共同使得杆塔组立成为复杂地形中最危险、最不可控的施工环节之一。

1.5 导线架设受地形与气象双重制约

尽管110kV线路档距普遍小于300米,但在连续起伏的山地环境中,高差变化剧烈,常常出现单档高差超过100米的情况,这给导线展放带来极大挑战。导线在放线滑车处受力极不均匀,容易发生跳槽、卡阻甚至外层铝股磨损。牵引机与张力机的布置也极为困难,往往需要多次转向或增设临时锚固点,不仅增加设备投入,还因摩擦损耗导致张力控制失准。在转角塔密集的区段,频繁调整张力和方向对操作人员的技术水平提出更高要求。气象条件同样不容忽视:低温环境下导线刚性增强,若弯曲半径不足,可能产生永久变形;雨雾天气则使导线表面湿滑,牵引力难以精确控制,且易引发感应电伤人事故。此外,110kV线路多采用JL/G1A-300/40型钢芯铝绞线,其展放张力需严格控制在15至25千牛之间,过高易导致断股,过低则弧垂超标,影响对地安全距离。

1.6 附件安装精度难保障

附件安装虽属收尾工序,但对线路长期安全运行至关重要。在复杂地形中,由于作业平台不稳定、视线受阻或通信不畅,安装精度往往难以保证。例如,悬垂线夹若安装位置偏差超过50毫米,将导致导线局部应力集中,长期运行中可能引发断股;防振锤安装距离误差若超过10%,其减振效果将大打折扣。耐张线夹压接后若未进行无损检测,内部裂纹或缩径缺陷难以发现,埋下重大隐患。此外,高空作业人员在晃动的横担上操作,加之地面指挥与空中作业协调困难,极易发生误操作,进一步加剧质量风险。

1.7 气象条件严重压缩有效施工窗口

山区气象具有小尺度、强对流、多雾雨的典型特征,对施工组织构成持续压力。南方山区年降雨日普遍在120

至180天之间,真正可用于高空作业的有效天数不足200天。高海拔区域冬季最低气温可降至零下8摄氏度,混凝土基础养护必须采取保温措施,否则强度发展缓慢甚至冻结破坏。夏季午后雷暴频发,按安全规程必须暂停所有高空作业;春秋季节则多晨雾,能见度常低于50米,严重影响测量精度和吊装安全。这种高度不确定的气象环境,使得施工计划必须具备极强的弹性与应变能力。

2 针对性应对策略与技术措施

2.1 推广“无人机+RTK+LiDAR”融合勘测技术

为破解传统勘测难题,应全面引入现代测绘技术。搭载RTK模块的多旋翼无人机可快速获取厘米级分辨率的正射影像与数字高程模型,大幅提升路径选线效率。在植被覆盖密集的林区,同步启用激光雷达(LiDAR)技术,其穿透树冠的能力可真实还原地表形态,有效识别滑坡体、冲沟等地质隐患。在此基础上,利用三维地理信息系统进行多方案比选,综合考虑工程量、施工难度、生态敏感性和地质风险,优选最优路径。最终输出的成果不仅包含塔位坐标与高程,还可提供坡度分析、土方估算和可视域判断,为后续设计与施工提供精准数据支撑,从根本上减少后期变更。

2.2 因地制宜选用适应性基础型式

面对多样化的地形地质条件,应摒弃“一刀切”的基础设计理念,推行因地制宜的结构策略。在陡坡区域,广泛采用高低腿配合微型桩的基础组合,通过调整各腿高度适应地形高差,可减少土石方开挖量50%以上,同时最大限度保护原生植被与边坡稳定。对于完整岩层,岩石锚杆基础因其无需大规模开挖、施工扰动小而成为理想选择,但需确保锚杆深度不少于2米且注浆饱满。在软土地基如河滩或沼泽地带,灌注桩基础凭借其良好的整体稳定性和抗沉降能力,可有效保障塔基安全^[3]。而在高寒冻土区,则可试点应用热棒辅助浅基础,利用热虹吸原理主动导出地基热量,维持冻土冻结状态,防止融沉变形。这些适应性结构虽在初期设计阶段需更多精细化考量,但从全生命周期看,其在安全、环保和经济性方面优势显著。

2.3 构建“轻量化+多模式”运输体系

针对运输难题,应构建灵活多元的物流网络。在短距离(1公里以内)运输中,推广电动山地履带运输车,其爬坡能力强、对道路要求低,可显著减轻人力负担。对于中长距离,科学规划单线循环式货运索道系统,合理设置支架间距与驱动功率,实现塔材的连续高效运输。在极端不便区域,可试点使用工业级无人机吊运轻型物资如导引绳、金具包等,提升关键节点的响应速度。所有

运输路径均应设置临时排水沟与挡土墙，防止雨水冲刷引发水土流失。通过“空一索一地”一体化协同，可在控制成本的前提下，最大程度保障物资供应的连续性与可靠性。

2.4 灵活采用小型化组塔工艺

在组塔环节，应优先选用重量轻、拆装便捷的铝合金内悬浮抱杆，其单节长度控制在3米以内，便于人工搬运至狭窄塔位。在空间极度受限的地段，可采用地面预拼装后整体起吊的方式，大幅减少高空作业时间和风险。所有高空作业必须配备便携式风速仪，设定8米/秒为作业上限，并强制使用双钩安全带与应急下降装置。通过工艺优化与装备适配，可在保障安全的前提下，提升组塔效率与质量稳定性。

2.5 优化导线展放与附件安装流程

导线展放应推广智能张力放线系统，其具备自动恒张力调节功能，可将张力波动控制在 $\pm 5\%$ 以内，有效应对大高差带来的受力不均问题。在高差超过80米的档距中，增设中间支承滑车可防止导线跳槽。附件安装前，应使用激光测距仪与电子倾角仪进行精确定位，确保悬垂线夹、防振锤等安装误差控制在允许范围内^[4]。耐张线夹压接后必须进行X光无损检测，杜绝内部缺陷。通过全过程精细化控制，可显著提升线路投运后的运行可靠性。

2.6 强化气象预警与弹性施工调度

应接入省级气象短临预报平台，获取未来72小时逐小时的降雨、风速、雷电预警信息，并据此制定滚动施工计划。坚持“晴好天气优先安排高空作业，阴雨天集中进行地面准备”的原则，最大化利用有效施工窗口。冬季施工采用早强型混凝土，并覆盖保温棉与塑料薄膜双重养护；夏季则实行“早出早归”制度，避开高温与雷暴高发时段。通过科学调度与动态调整，可有效对冲气象不确定性带来的工期风险。

2.7 全过程践行绿色施工理念

绿色施工应贯穿工程始终。施工前严格划定作业红线，临时便道采用“之”字形缓坡设计，控制宽度在1.8米以内，减少植被破坏面积。施工中及时实施边坡防护与排水系统建设，开挖土方分类堆放，表土单独保存用于后期复绿。严禁随意丢弃包装物，废机油、电池等危险废物统一回收处理。工程结束后六个月内，应完成系统性生态修复，优先选用本地适生植物进行植被恢复，确保生态系统功能逐步回归。唯有如此，方能实现工程建设与自然环境的和谐共生。

3 结语

110 kV及以下输电线路在复杂地形中的施工，本质上是一场与自然条件博弈、向管理效率要效益的系统工程。本文从测量、开挖、运输、组塔、架线、附件到气象影响七个维度，深入剖析了真实存在的施工痛点，并提出了一套技术可行、经济合理、生态友好的综合对策体系。未来，建议加快适用于山区的小型智能施工装备研发，编制专项技术导则，推动设计施工一体化协同，并加强复合型技术人才培养。唯有坚持技术创新与精细管理双轮驱动，方能在崇山峻岭间筑起安全、可靠、绿色的电力通道，为新型电力系统末端网络提供坚实支撑。

参考文献

- [1]国家电网有限公司.输电线路施工及验收规范:Q/GDW11337—2019[S].北京:中国电力出版社,2019.36
- [2]李志强,王伟.高海拔复杂地形特高压输电线路施工关键技术研究[J].电力建设,2021,42(5):45-52.
- [3]张明,刘洋.基于无人机与LiDAR的输电线路路径优化方法[J].测绘科学,2020,45(8):112-118.
- [4]赵鹏,等.山地输电线路微型桩基础设计与应用[J].岩土工程学报,2023,45(S1):201-206.