

Construction Management Techniques and Practices for 110kV Corner Towers in Steep Slope Terrain: Case Study of Tower N22 on the 110kV Transmission Line for Duyun Shabao Fort Agricultural Photovoltaic Project

Yongxing Zheng Qing Zhou*

Guizhou Branch of PowerChina New Energy Group Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550081, China

Abstract

Under the dual-carbon strategy, mountainous renewable energy projects are accelerating deployment in southwestern China. The extensive crossing of high-steep mountainous terrain by 110kV transmission lines has significantly increased construction and operational management challenges for corner towers. This study focuses on Tower N22 of the 110kV transmission line at Duyun Shabao Fort Yundong Agricultural Photovoltaic Power Station, located on a 65-degree steep slope with harsh construction conditions, poor geological stability, and prominent management challenges. Adopting owner-driven full-process control, the project collaborated with stakeholders to address key mountain construction issues through technical breakthroughs, optimizing construction techniques and management protocols. Practical implementation demonstrated full compliance with quality, safety, and environmental standards, providing valuable reference for tower construction of similar renewable energy transmission lines in Guizhou and southwestern mountainous regions.

Keywords

Property Owner Project Department; Full-process Control; Construction on Steep Slopes; Mountain Photovoltaic Systems; Slope Retaining Wall; Foundation Pit Treatment

陡坡地形 110kV 转角塔建设管控技术与实践——以都匀沙包堡农业光伏项目 110kV 送出线路 N22 号塔为例

郑永兴 周庆*

中电建新能源集团股份有限公司贵州分公司, 中国·贵州 贵阳 550081

摘要

双碳战略下,西南地区山地新能源项目加速落地,110kV输电线路大量穿越高陡复杂山区,转角塔施工与运行管控难度显著提升。本文以都匀市沙包堡匀东农业光伏电站项目110kV送出线路N22号陡坡转角塔工程为依托,该塔坐落于65°高陡坡面,施工条件恶劣、地质稳定性差、管控难点突出。工程以业主全过程管控为核心,针对山地施工关键难题联合参建各方开展技术攻关,优化施工工艺与管控方案,实践表明,工程质量、安全、环保指标全部达标,可为贵州及西南山区同类新能源送出线路铁塔施工提供参考与借鉴。

关键词

业主项目部;全过程管控;陡坡施工;山地光伏;边坡挡墙;基坑处理

1 引言

随着我国能源结构转型不断深入,新能源在电力系统中的占比持续提升。西南地区山地、丘陵面积广阔,光照资

源充足,土地利用成本相对较低,农业光伏、牧光互补、林光互补等复合型新能源项目进入集中开发阶段。为实现新能源电力高效可靠送出,大量110kV输电线路需沿山地敷设,线路不可避免穿越高陡边坡、深切河谷、地质松软区域及生态敏感区,对工程建设提出更高技术与管理要求。

【作者简介】郑永兴(1993-),男,中国贵州贵阳人,本科,助理工程师,从事电力工程研究。

【通讯作者】周庆(1995-),男,中国贵州遵义人,本科,工程师,从事新能源发电工程研究。

输电线路转角塔是线路体系中的关键构件,与直线塔相比,转角塔需承受导线不平衡张力、风荷载、覆冰荷载以及温度应力等多重复杂荷载,对基础承载力、结构对称性、塔身垂直度、预偏设置均有严格控制标准。山区陡坡地形条件下,常规机械化施工、运输方式、浇筑工艺均难以实施,

传统施工组织易出现运输受阻、塌孔、混凝土离析、边坡失稳、组塔偏差等问题，影响施工进度并埋下长期运行安全隐患。

都匀市沙包堡匀东农业光伏电站项目 110kV 送出线路地处典型喀斯特山地地貌，地形起伏剧烈，N22 号转角塔位于坡度接近 65° 的山体斜坡，是全线施工难度最大、风险等级最高的塔位。为确保安全、质量、进度、环保、投资五大目标同步实现，业主项目部构建“前期策划—风险分级—方案评审—过程管控—验收闭环—技术固化”的全链条管理体系，通过技术创新与管理优化破解多项施工难题，实现工程高标准建成投运。本文基于该工程实践，系统阐述陡坡地形 110kV 转角塔建设管控技术与实施路径。

2 工程概况及管控难点

2.1 项目整体概况

都匀市沙包堡匀东农业光伏电站项目为黔南州重点新能源示范项目，总装机容量 90.24MW，采用“上可发电、下可种植”农光互补模式，对区域能源保供、乡村振兴、生态保护具有多重意义。配套 110kV 送出线路是光伏电站并网关键枢纽工程，线路全长约十余公里，沿线以山地、丘陵为主，穿越林地、耕地、陡坡及村落路段。

2.2 N22 号转角塔工程条件

N22 号塔为 110kV 线路关键转角塔，承担线路转向及张力传递功能，设计采用角钢塔结构，基础为人工挖孔灌注桩基础。该塔位核心工程条件如下：

地形条件：塔位位于山体坡面，自然坡度约 65°，地势陡峭，无现成道路与平整场地，无法直接停放机械；

地质条件：表层为坡积碎石土，厚度不均，下部为强风化至中风化岩层，岩体完整性一般，边坡自稳能力较差，雨水易引发掉块、溜塌；

交通条件：车辆仅能到达山脚，所有物料需采用履带山地车二次转运，爬坡距离长、运输难度大；

施工条件：无大型机械作业空间，桩基成孔以人工挖孔配合水磨钻为主，混凝土现场拌制，铁塔组立采用内悬浮抱杆分解组塔。

2.3 主要管控难点

结合现场条件，N22 号塔施工与管控主要存在四大难点：

陡坡物料运输难：塔材、钢筋、水泥、砂石等重量大，爬坡角度大，人工搬运效率低、风险高，常规车辆无法到达；

桩基成孔与基坑控制难：人工挖孔在陡坡松散地质易出现塌孔、缩径、偏孔、积水，基坑找正、基底加固、排水封底难度高；

混凝土质量控制难：现场无集中搅拌站，人工拌制易配比不准、搅拌不均，下料落差大易导致离析；

边坡稳定防护难：施工开挖扰动土体，降雨入渗易引发边坡溜塌、浅表滑移，威胁作业安全，需增设挡墙加固。

针对上述难点，业主项目部坚持“技术先行、管理同步、

多方协同、过程严控”思路，构建全过程管控体系。

3 前期策划与风险管控体系

3.1 超前踏勘与技术策划

工程开工前，业主项目部组织设计、监理、施工负责人开展全覆盖现场踏勘，逐基核对塔位地形、地质、交通、环境及外部干扰因素，建立“一塔一档”基础信息档案。针对 N22 号陡坡塔位，专题研究施工通道、物料运输、桩基施工、基坑处理、混凝土供应、边坡防护与挡墙加固、组塔方案等关键内容，形成专项技术策划书，避免后期方案不合理导致返工。

3.2 风险分级辨识与管控措施

业主组织开展安全风险分级辨识，将 N22 号塔定为一类风险点，识别五大类主要风险：陡坡运输坠落风险；挖孔作业坍塌及中毒窒息风险；高处坠落及物体打击风险；边坡失稳滑移风险；吊装作业倾覆风险，并逐项制定防控措施。

3.3 “三位一体”协同管控机制

业主项目部牵头建立“业主统筹管控、监理旁站监督、施工落实执行”三位一体机制：业主负责总体目标管控、外部协调、方案审批、节点验收、资源保障；监理负责方案审核、工序报验、旁站监督、抽检试验、整改闭环；施工负责班组管理、现场实施、工艺落实、安全文明施工。

4 关键工序全过程管控技术

4.1 陡坡运输管控

为解决物料运输难题，采用“简易便道+履带式山地运输车+人工辅助转运”模式：修建临时简易便道，设置防滑槽、挡坎、排水沟，防止雨水冲刷损坏；用履带式山地运输车转运钢筋、砂石、水泥等散料；塔材分段绑扎，专人指挥、多人配合抬运，配备安全绳防护；运输作业避开雨天、雾天，统一指挥、同步行动，有效提升运输效率，降低安全风险。

4.2 桩基成孔与基坑专项处理管控

N22 号塔基础采用人工挖孔桩，局部采用水磨钻施工，针对陡坡基坑易坍塌、偏斜、积水、基底软弱等问题，实施基坑专项处理与全过程精度双控。采用全站仪复合定位，确保基坑居中、对称、受力均衡；孔口浇筑 C30 混凝土锁口圈梁，高出地面 ≥300mm 并设挡水沿，基坑每开挖 1m 及时浇筑 C30 钢筋混凝土护壁，随挖随护杜绝塌孔缩径；每 0.5m 采用吊线锤+全站仪双向校核垂直度，偏孔立即用水磨钻纠偏，确保桩身垂直度 ≤0.5%；孔内布设高扬程潜水泵连续抽水，井底设集水坑并碎石回填反滤；基坑进入中风化岩 ≥1.0m，破碎带采用水泥水玻璃注浆加固，三方联合验槽合格后浇筑 C15 素混凝土垫层封底，保证钢筋笼安放平整居中。通过严控成孔质量，实现桩孔合格率 100%。

4.3 钢筋工程与隐蔽工程验收

钢筋工程实行“全数检查、隐蔽验收”制度：钢筋规格、间距、搭接长度、保护层厚度严格按设计执行；钢筋笼吊装

居中,防止偏移导致受力不均;隐蔽工程必须经业主、监理共同验收合格后方可浇筑混凝土。

4.4 混凝土施工质量管控

针对现场人工拌制条件,制定严格质量控制措施:严格按配合比计量,使用标准量具,专人负责配比,严禁随意加水;采用强制式搅拌确保均匀,满足搅拌时间要求;采用串筒+溜槽下料,控制落差 $\leq 2\text{m}$,防止混凝土离析;分层浇筑、分层振捣,避免漏振、过振;挡墙、基础、护壁混凝土同条件养护,拆模及时验收。

4.5 边坡防护与挡墙加固管控

为保证边坡长期稳定,采用“分级卸载+锚杆挂网喷浆+重力式挡墙+闭环截排水”综合加固体系:按设计分台阶开挖,单级开挖高度 $\leq 1.5\text{m}$,控制边坡暴露时间与扰动范围;采用 $\Phi 25\text{mm}$ 系统锚杆,锚入中风化岩 $\geq 1.5\text{m}$,挂 $\Phi 6\text{mm}$ 钢筋网,喷射C25混凝土 $\geq 80\text{mm}$,随挖随喷及时封闭坡面;在作业平台下方及薄弱区施作M10水泥砂浆砌片石重力式挡墙,墙身按间距2m设泄水孔与反滤层,基底铺设砂砾垫层,基础嵌入稳定岩层 $\geq 300\text{mm}$,提升抗滑移、抗倾覆能力;构建坡顶截水沟、坡面泄水、坡脚排水沟的全系统排水,防止雨水入渗软化土体;布设位移观测点,开挖及降雨后加密监测,超标立即停工加固。

4.6 铁塔组立与预偏控制

转角塔需向转角外侧预设偏斜以抵消导线张力变形,业主重点管控:基础根开、对角线、地脚螺栓精度复核;内悬浮抱杆布置牢固,拉线对称受力均匀;塔片吊装平稳,螺栓紧固率达标;全过程监测垂直度与倾斜率,确保满足规范要求。

5 QC 技术攻关与成效

业主项目部牵头联合监理、施工管理人员成立QC小组,课题为提高陡坡地形110kV转角塔施工质量合格率。经现场调查与要因分析,确定主要影响因素为运输通道不稳定、挖孔垂直度控制单一、混凝土拌制计量不准、边坡防护与基坑处理不到位。

针对性制定并实施对策:优化运输路线,加固便道并增设防滑排水设施;采用分段吊线+全站仪复核双控垂直度;推行固定计量器具,专人负责配比;执行开挖一段、防护一段,及时封闭坡面;基坑排水、注浆、封底、垫层标准化作业;挡墙与截排水同步施工,强化边坡整体稳定。

实施效果显著:基础施工一次验收合格率100%;混凝土强度合格率100%;塔身垂直度、预偏偏差远低于规范限值;边坡与挡墙稳定,无滑移、变形、渗水问题。

6 安全管控与文明施工

对挖孔、高处、吊装、临时用电等危险作业严格执行作业票制度,未经批准严禁施工;陡坡作业增设安全绳、防护网、踏步设施,孔口、临边全封闭防护;进场安全教育、

每日站班会、专项安全交底全覆盖,提升作业人员安全意识;制定坍塌、高处坠落;控制施工占地,及时恢复植被,垃圾集中清运,完善排水系统,实现绿色施工。

7 工程实施成效

7.1 质量成效

N22号塔基础、基坑处理、边坡防护、挡墙加固、塔身安装均一次性验收通过,混凝土试块强度全部合格,铁塔倾斜率、预偏值满足规范要求,工程质量达到优良标准。

7.2 安全成效

自开工至竣工,未发生任何安全事故、未遂事件、人员伤亡及边坡失稳问题,实现零事故目标。

7.3 进度成效

通过方案优化与高效协调,按期完成基础、组塔、接地等全部工序,保障线路整体并网节点。

7.4 技术与管理成效

形成陡坡输电塔施工管理导则、专项方案模板、风险清单、基坑处理标准、边坡挡墙与防护施工工法、验收标准等一系列标准化成果,为后续同类工程提供直接借鉴。

8 结语

山区陡坡110kV转角塔建设必须以业主全过程统筹管控为核心,通过超前策划、风险前置、方案严审、过程严控、验收闭环,实现安全质量双控。

采用“履带山地车运输+人工水磨钻挖孔+基坑专项处理+现场精准拌制混凝土+锚杆挂网喷浆+重力式挡墙加固+预偏全过程监测”集成技术,可有效解决陡坡施工难题,技术成熟、可操作性强。

业主牵头QC技术攻关,能够快速定位问题、优化工艺、提升质量、降低风险,工程应用价值显著。

“业主+监理+施工”三位一体协同机制,在外部协调复杂、地形条件恶劣的山地工程中作用突出,可大幅提升管理效率与执行力度。

本工程形成的成套技术与管理模式,适用于贵州及西南山区类似地形的新能源送出线路工程,可复制性与推广价值强。

未来山地输电线路建设可进一步结合数字化监测、轻量化机械、新型防护材料等技术,持续提升陡坡施工的安全性、经济性与智能化水平,为新能源高质量送出提供可靠的工程保障。

参考文献

- [1] 国家能源局. 输变电工程建设标准强制性条文实施指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2020.
- [2] 李坚. 电网业主项目部建设管理实务[M]. 北京: 中国电力出版社, 2021.
- [3] 王军. 山区输电线路施工安全风险管控技术研究[J]. 电力安全技术, 2022.