

电力施工山区复杂地形杆塔组立施工方法及稳定性保障研究

郭江亚

洛阳龙羽集团有限公司洛宁分公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8531

[摘要] 随着我国电力基础设施建设向偏远山区延伸，山区电网工程在保障能源均衡供应、促进乡村振兴等方面发挥着至关重要的作用。杆塔作为电力线路的核心支撑构件，其组立施工质量直接决定电网系统的安全稳定运行。然而，山区地形高差大、坡度陡峭、沟壑纵横，且地质条件复杂多样，存在滑坡、崩塌、泥石流等潜在地质灾害风险，同时生态环境脆弱，这些因素共同导致山区杆塔组立施工与平原地区存在显著差异，面临诸多技术难题。本文围绕山区复杂地形电力杆塔组立施工展开系统研究，重点分析不同复杂地形对施工的影响机制，阐述适用于山区的杆塔组立关键技术与稳定性控制策略。

[关键词] 山区电力施工；复杂地形；杆塔组立；施工方法；稳定性保障

[中图分类号] TM75

[文献标识码] A

Research on the construction method and stability guarantee of tower assembly in complex terrain of mountainous areas for power construction

Guo Jiangya

Luoyang Longyu Group Co., Ltd. Luoning Branch

[Abstract] With the extension of China's power infrastructure construction to remote mountainous areas, mountainous power grid projects play a crucial role in ensuring balanced energy supply and promoting rural revitalization. As the core supporting component of power lines, the construction quality of tower assembly directly determines the safe and stable operation of the power grid system. However, mountainous areas have large elevation differences, steep slopes, crisscrossing gullies, and complex and diverse geological conditions, which pose potential geological hazards such as landslides, collapses, and mudslides. At the same time, the ecological environment is fragile. These factors collectively lead to significant differences in tower assembly construction between mountainous areas and plain areas, facing many technical challenges. This article conducts a systematic study on the construction of power tower assembly in complex mountainous terrain, focusing on analyzing the impact mechanisms of different complex terrains on construction, and elaborating on key technologies and stability control strategies for tower assembly applicable to mountainous areas.

[Key words] power construction in mountainous areas; Complex terrain; Tower assembly; Construction method; Stability guarantee

引言

山区地形的复杂性、地质条件的特殊性及生态环境的敏感性，给电力杆塔组立施工带来了运输困难、场地受限、稳定性控制难度大等多重挑战。当前，国内外针对电力杆塔组立施工的研究多集中于常规地形条件，形成了分解组立、整体组立等成熟技术，但针对山区复杂地形的特殊性研究不足。现有施工方法在山区应用时，常出现装备适应性差、施工效率低、稳定

性控制不到位等问题，甚至引发安全事故或生态破坏。因此，深入分析山区复杂地形对杆塔组立施工的制约因素，研发适配性强的施工方法，建立科学完善的稳定性保障体系，成为山区电力施工领域亟待解决的关键技术问题。

1 山区复杂地形对杆塔组立施工的影响分析

1.1 地形地貌因素影响

山区地形地貌的复杂性是制约杆塔组立施工的核心因素。

首先，地形高差大、坡度陡峭导致施工场地狭窄，难以满足常规施工装备的作业空间要求，尤其是在陡坡地段，杆塔基础开挖、构件堆放、吊装机械布置均面临极大挑战；其次，沟壑等地形地貌增加了施工运输难度，大型施工设备与杆塔构件难以通过常规道路运输至作业点，需开辟临时运输通道或采用特殊运输方式；此外，地形起伏导致吊装作业视线受阻，构件吊装路径规划复杂，易引发碰撞、倾斜等安全风险，同时增加了杆塔垂直度与轴线偏差控制的难度。

1.2 地质条件因素影响

山区地质条件的多样性与不稳定性对杆塔基础施工及长期稳定性构成严重威胁。部分山区存在风化岩层、破碎岩体、软土地基等复杂地质，导致杆塔基础开挖难度大、支护成本高，且基础承载力易不满足设计要求；地质灾害隐患点周边施工时，施工扰动可能诱发地质灾害，造成基础失稳、杆塔倾斜甚至倒塌；此外，山区地下水丰富且水位变化大，易导致基础基坑涌水、边坡坍塌，影响基础施工质量与进度，进而威胁杆塔整体稳定性。

1.3 生态环境与气象条件影响

山区生态环境脆弱，杆塔组立施工易对周边植被、土壤、水体造成破坏，若施工不当可能引发水土流失、生物多样性减少等生态问题，同时需满足环保部门关于施工范围、植被恢复等相关要求，增加了施工组织的复杂性。气象条件的不确定性进一步加剧了山区杆塔组立施工的难度。山区多大风、暴雨、浓雾、冰雪等极端天气，大风天气会影响吊装作业的安全性，增加构件摆动风险；暴雨可能引发山洪、滑坡等灾害，中断施工进度；浓雾与冰雪天气则会降低能见度、影响地面摩擦力，给运输与吊装作业带来安全隐患。此外，山区昼夜温差大，可能导致施工材料热胀冷缩，影响连接节点的密封性与结构强度。

1.4 施工技术适配性制约

常规杆塔组立施工技术与装备在山区复杂地形中存在明显适配性不足问题。大型吊装机械在山区地形中机动性差、接地比压不足，易陷入软土或滑坡地段；传统分解组立方法工序繁琐，在狭窄场地内效率低下；杆塔基础设计多采用平原地区常规形式，未充分考虑山区地质条件的特殊性，导致基础与地质环境适配性差，长期稳定性难以保障。同时，山区施工通讯信号弱，对施工指挥、协同作业及应急处置造成不利影响，进一步增加了施工风险。

2 山区复杂地形杆塔组立核心施工方法

2.1 施工场地优化与整理技术

施工场地整理是杆塔组立的前置保障，需结合地形条件进行科学规划，在满足施工需求的同时最小化生态破坏。对于陡坡地段，采用分级平整技术，通过设置多级平台减少场地开挖量，平台之间采用锚杆或挡土墙进行支护，防止边坡坍塌；平台尺寸根据施工装备与构件尺寸精准设计，确保吊装机械布

置、构件堆放及人员作业空间充足。对于峡谷等地形，采用栈桥搭建与场地拓展技术，利用钢栈桥跨越沟壑，在栈桥两侧或端部拓展作业平台；场地整理过程中优先保留原生植被，采用植被移植、临时防护等措施减少水土流失，施工完成后及时对临时场地进行生态恢复。此外，场地整理需同步考虑排水系统设计，设置截水沟、排水沟等设施，避免雨水汇集导致场地积水或边坡失稳。

2.2 构件运输适配技术

构件运输是山区杆塔组立施工的关键瓶颈，需根据地形条件选择合适的运输方式与装备，确保构件安全高效送达作业点。对于地形相对平缓、可开辟临时道路的区域，采用小型化运输装备与临时便道运输模式，选用山地越野车、小型装载机机动性强的装备，临时便道采用碎石铺垫或钢板铺设，减少对地表的破坏。对于陡坡等常规运输装备难以到达的区域，采用空中运输与地面转运结合模式，利用直升机、无人机等装备运输小型构件与工具，大型杆塔构件则采用分段拆解后通过索道运输；索道运输需进行专项设计，确保索道支架稳固、承重能力满足要求，同时设置防晃、防坠落装置，保障运输安全。此外，构件运输前需进行精准规划，避开地质灾害隐患点与生态敏感区，减少运输过程中的环境干扰。

2.3 杆塔组立方式优化

根据山区地形特点与杆塔类型，优化选择杆塔组立方式，提高组立效率与精度。一是轻量化分解组立技术。针对山区场地狭窄、吊装空间有限的特点，采用轻量化分解组立技术，将杆塔分解为若干小型构件，选用小型化、机动性强的吊装装备进行逐段组立。在组立过程中，采用分段对接与临时固定工艺，每组装一段杆塔后立即进行临时固定，通过调节临时拉线控制杆塔垂直度，避免因地形倾斜导致构件偏移。该方法适配性强，可灵活应对复杂地形，但需严格控制构件对接精度与临时固定可靠性。二是整体组立适配技术。对于地形相对开阔、可满足整体吊装条件的区域，采用整体组立技术，通过预制装配式基础减少现场施工量，将杆塔在地面组装完成后一次性吊装就位。为适应山区地形，优化整体组立工艺，采用倾斜起吊与空中调整方式，根据地形坡度预设起吊角度，利用多台吊装装备协同作业，通过实时监测调整吊装速度与力度，确保杆塔平稳起吊、精准就位。整体组立技术施工效率高、对接精度高，但对施工场地与吊装装备的要求较高，需提前进行专项论证。三是特殊地形专项组立技术。针对滑坡体、地质破碎带等特殊地形，采用基础加固与杆塔轻量化与分步组立的综合技术。首先对杆塔基础进行加固处理，提高基础抗滑移、抗倾覆能力；选用铝合金等轻量化材料制作杆塔，降低结构自重对基础的荷载作用；组立过程中采用由下至上、分段加固的方式，每完成一段组立即进行永久固定，同时加强对基础与杆塔的实时监测，确保施工过程中结构稳定。

3 山区复杂地形杆塔稳定性保障技术体系

3.1 杆塔基础加固技术

基础是杆塔稳定性的根本保障，需根据山区地质条件优化基础形式，采取针对性的加固措施。对于软土地基或回填土地基，采用换填垫层与复合地基技术，通过换填高强度垫层材料与设置桩体提高地基承载力，减少基础沉降；对于风化岩层或破碎岩体地基，采用锚杆与扩大基础技术，将锚杆深入稳定岩层，增强基础与岩体的连接可靠性，提高抗倾覆能力。对于滑坡体周边的杆塔基础，采用抗滑桩与挡土板联合加固技术，通过抗滑桩阻挡滑坡体滑动，挡土板防护基础周边土体，同时设置排水设施降低地下水位，减少水对滑坡体的浸润作用；对于峡谷地段的杆塔基础，采用桩基与承台基础形式，将桩基深入峡谷底部稳定地层，确保基础在地形高差大、侧向荷载作用下的稳定性。基础施工完成后，需对基础的承载力、沉降量等参数进行检测，确保满足设计要求。

3.2 杆塔结构优化设计

结合山区地形与受力特点，优化杆塔结构设计，提高结构自身稳定性与抗风、抗地质灾害能力。在杆塔选型方面，优先选用角钢塔、钢管塔等结构刚度大、抗风性能好的杆塔类型，对于高差大、侧向荷载大的地段，适当增加杆塔截面尺寸与壁厚，提高结构承载能力；优化杆塔节点设计，采用高强度螺栓连接，增强节点的抗剪、抗拉性能，避免节点成为结构薄弱环节。在杆塔布置方面，根据地形走势与地质条件合理确定杆塔位置，避开地质灾害隐患点与生态敏感区；对于地形起伏较大的线路段，优化杆塔档距与高差设计，减少杆塔承受的不平衡张力；在杆塔顶部与中部设置防振装置，降低风荷载引发的结构振动，减少疲劳损伤。此外，可采用三维建模与受力模拟分析，提前发现结构设计中的薄弱环节，优化结构参数，确保结构在复杂受力条件下的稳定性。

3.3 施工过程稳定性控制

施工过程中的精细化操作是保障杆塔稳定性的关键环节，需从吊装控制、临时支撑、接缝处理等方面制定严格的控制措施。吊装过程中，采用实时监测与动态调整模式，利用全站仪、倾角传感器等设备实时监测杆塔的垂直度、倾斜度与吊装应力，根据监测数据调整吊装速度与受力点，避免杆塔因受力不均导致变形或失稳；对于分解组立的杆塔，每段构件吊装就位后，立即进行临时固定，临时拉线的数量、位置与拉力需经过计算确定，确保临时支撑体系的稳定性。接缝处理方面，严格控制构件对接精度，确保螺栓连接紧密、焊缝饱满，对接完成后对连接节点进行防腐处理，提高节点的耐久性；基础与杆塔连接部位需进行二次灌浆，确保连接牢固，避免出现松动现象。施工过程中需加强对周边环境的监测，若遇大风、暴雨等极端天气，立即停止施工，对已组立的杆塔进行加固防护，待天气好转后重新检查确认安全后方可复工。

3.4 长期监测与维护技术

建立杆塔长期监测与维护体系，及时发现并处理影响杆塔稳定性的隐患，确保杆塔长期安全运行。监测内容主要包括杆塔的垂直度、沉降量、结构应力、基础周边地质环境等参数，采用自动化监测设备实现数据实时采集与传输，建立监测数据管理平台，对数据进行分析处理，当监测值接近预警阈值时及时发出预警信号。定期对杆塔进行维护检修，重点检查杆塔结构的腐蚀情况、螺栓松动情况、基础沉降情况等，对腐蚀部位进行除锈防腐处理，拧紧松动螺栓，对沉降超标的基础采取加固措施；加强对杆塔周边地质环境的巡查，及时清理基础周边的积水、淤泥与危石，防范地质灾害对杆塔的破坏。此外，建立应急预案，针对地震、暴雨、滑坡等突发事件制定应急处置措施，配备应急救援装备与物资，确保在灾害发生后能够快速响应、及时处置，最大限度降低损失。

3.5 生态保护技术

在施工全过程融入生态保护理念，最大限度减少对周边环境的破坏。施工前期，优化施工方案，避开自然保护区、饮用水源地、珍稀动植物栖息地等生态敏感区；施工过程中，严格控制施工范围，采用植被移植、表土剥离回用等措施保护原生植被，设置沉淀池、隔油池等处理施工废水，避免污染水体；运输道路与施工场地采用临时铺设、后期恢复的方式，减少对地表土壤的破坏；施工完成后，及时对临时场地、运输通道进行生态恢复，种植乡土植物，恢复地表植被覆盖。

4 结束语

山区复杂地形杆塔组立施工方法及稳定性保障技术是山区电网工程建设的核心技术支撑，其核心在于解决地形适配性、施工安全性与结构稳定性三大关键问题。随着山区电网工程向更高海拔、更复杂地形延伸，杆塔组立施工将面临更严峻的挑战，如极端气象条件的影响、新型杆塔结构的适配性、智能化施工技术的应用等。未来的研究可聚焦于轻量化、智能化、绿色化，为我国能源基础设施建设提供更坚实的技术保障。

[参考文献]

- [1] 戴聪. 山区地形条件下电力线杆塔组立施工技术[J]. 电工技术, 2025, (06): 217-218 与 221.
- [2] 熊备, 刘旭. 山区风电场架空集电线路雷电防护技术探讨[J]. 建筑电气, 2025, 44 (02): 30-33.
- [3] 周西杰, 宋华伟, 杨廷方, 等. 山区输电线路杆塔立体均压环接地体冲击特性分析[J]. 电瓷避雷器, 2023, (05): 98-105.
- [4] 薛正元, 余亮, 杨明, 等. 山区特高压输电线路岩石锚杆基础的应用及造价分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2022, 55 (S1): 142-147.
- [5] 胡豪, 陶鑫. 基于雷电定位系统的山区地形地闪密度差异研究[J]. 高压电器, 2020, 56 (10): 190-196.=-6