

# 输电线路跨越复杂地形的施工设计方案优化

程 扬

中国能源建设集团云南省电力设计院有限公司 云南 昆明 650000

**摘要:** 本文聚焦输电线路跨越复杂地形施工设计方案优化。复杂地形包括山地/峡谷、水域/沼泽、矿区/采空区、生态敏感区四类。传统方案存在诸多问题,如路径选择不精准、杆塔选型与施工脱节等。为此构建“勘察-设计-施工-验收”全流程优化体系,明确各环节核心施工方案与工艺要点,针对不同地形提出适配方案。经工程实体验证,优化方案成效显著,文中嵌入两类核心表格直观呈现,为复杂地形输电线路施工设计提供实操指导。

**关键词:** 输电线路; 复杂地形; 施工方案优化

**引言:** 随着我国电力需求增长,输电线路建设规模扩大,复杂地形施工难题凸显。复杂地形地形起伏大、地质条件复杂、生态敏感度高,对路径规划、杆塔施工等方面要求严苛。开展输电线路跨越复杂地形施工设计优化研究,明确具体施工方案与工艺标准,探索科学优化路径,对提高工程建设质量、保障电网运行、实现电力与生态协同发展意义重大。

## 1 输电线路跨越复杂地形的核心特征与约束分析

### 1.1 复杂地形类型

工程实践中,复杂地形主要有四类:山地/峡谷地形占复杂地形跨越总量的45%,高差大、坡度陡,岩石裸露率高,地质多为风化岩层或破碎带;水域/沼泽地形占比22%,涵盖多种水场景,水深、土壤含水率有特定范围,承载力低;矿区/采空区地形占18%,有地表沉降、岩层塌陷风险,地层稳定性差;生态敏感区地形占15%,包括自然保护区等,对植被破坏等管控要求高,施工约束条款多。

### 1.2 施工设计核心约束条件

复杂地形施工设计约束多:地形上,山地高差大增加杆塔基础开挖难度,峡谷强风提升架线风偏控制难度;地质上,沼泽土壤承载力低,矿区采空区易致基础开裂,对工艺适应性要求高;生态上,生态敏感区严禁大规模开挖,扰动范围受限,基础施工需无开挖;成本与工期上,复杂地形运输成本高,传统方案因工艺适配差,工期延长,需优化方案平衡成本与进度<sup>[1]</sup>。

### 1.3 传统施工设计方案的局限性分析

传统施工设计方案适配性不足:路径选择依赖人工勘察,未精准避险且未规划便道,增加山地运输成本;杆塔施工用统一型号及常规工艺,山地效率低、耗钢量高;基础施工在沼泽采用常规工艺,沉降超标且污染水体;架线施工在山地人力牵引,效率低、磨损率高、风

险大;生态保护缺乏针对性修复工艺,破坏面积大、修复成本高。部分设计数据应用于高等级线路时,与实际需求脱节,存在安全隐患。

## 2 输电线路跨越复杂地形施工设计全流程优化体系

### 2.1 路径选择与施工规划协同优化

路径选择优化以“精准勘察、避重就轻、适配施工”为原则,融合GIS空间分析、无人机勘察与施工可行性评估。用无人机搭载激光雷达对复杂地形三维建模,精度达0.3m,效率比人工高6倍。结合地形、地质、生态数据及施工需求构建多目标决策模型,安全稳定权重40%、施工可行性25%、成本20%、生态影响15%。针对220kV线路特性,优化杆塔档距,山地为400-500m、平原过渡段300-400m,减少杆塔数量18基,降低施工量。

### 2.2 杆塔选型与组立施工方案优化

基于地形受力与施工条件,采用“差异化选型+高效组立”方案。山地/峡谷地形选自立式角钢塔(220kV线路塔高35-55m),优化塔头结构减少迎风面积,用“分段组立+空中对接”工艺,配25t履带式起重机,组立效率达1.5基/天,节省工期40%;矿区/采空区用柔性杆塔,增加冗余度,塔身挠度允许值提至15‰,组立时增设临时加固措施抵御地表沉降。经ANSYS仿真分析,优化后杆塔在水平风荷载 $1.2\text{kN/m}^2$ 作用下,塔身最大应力180MPa,低于Q345钢屈服强度。施工中严格控制杆塔垂直度偏差 $\leq 1\%$ ,应用后杆塔组立合格率达100%。

### 2.3 基础形式与施工工艺精准适配

针对不同地形地质,优化基础形式与施工工艺并精准适配。山地岩石区用岩石锚杆基础,工艺为“钻孔-清孔-注浆-锚杆植入”,选CM-350钻孔机,钻孔直径150mm等,注浆压力 $\geq 2.5\text{MPa}$ ,承载力800kN,比传统扩大基础耗材少40%,每基施工周期短5天;水域/沼泽地形采用沉井基础,优化工艺为“预制-浮运-定位-下沉-封底”,

沉井直径4m等,用C30防腐混凝土预制,浮运配定位船,下沉排水,封底厚1.2m,成本比桩基低25%,泥浆排放少60%;矿区采空区用桩筏联合基础,采用“钻孔灌注桩+筏

板浇筑”工艺,经静载试验,承载力2500kN,沉降量控制在5mm内。施工中引入BIM技术模拟全过程,规避地质风险,复杂地形基础施工合格率从82%提升至98%。

不同地形输电线路基础形式与施工工艺优化对比表1

地形类型	基础形式	核心施工工艺	关键技术参数	优化优势
山地岩石区	岩石锚杆基础	钻孔-清孔-压力注浆-锚杆植入	锚杆直径28mm,植入深度 $\geq 3\text{m}$ ,注浆压力 $\geq 2.5\text{MPa}$	耗材减40%,工期缩5天/基
水域/沼泽	沉井基础	预制-浮运-定位-排水下沉-封底	沉井直径4m,封底厚度1.2m,混凝土强度C30	成本降25%,泥浆减排60%
矿区采空区	桩筏联合基础	钻孔灌注-筏板浇筑-冷却养护	桩长30m,桩径800mm,筏板厚度1.2m	承载力达2500kN,沉降 $\leq 5\text{mm}$
生态敏感区	无开挖锚杆基础	小型钻孔-锚杆植入-注浆密封	钻孔直径150mm,扰动范围 $\leq 1\text{m}^2$	植被破坏减85%,修复快

#### 2.4 架线施工方案与工艺智能化升级

架线施工采用“智能化+差异化”方案,明确各地形核心施工工艺:山地/峡谷地形采用“无人机展放导引绳+张力架线”组合技术,选用大疆M300无人机搭载放线轮,飞行速度达8m/s,导引绳展放效率达2km/天,较人工提升10倍;张力架线选用2×50kN牵张设备,张力控制在8-12kN,采用防捻器避免导线扭曲,导线磨损率由传统工艺的3%降至0.5%。水域跨越采用“直升机展放导引绳+大截面导线低弧垂架线”工艺,直升机选用米-171,单次展放距离达800m,配合JL/G1A-630/45大截面导线,弧垂最低点距水面高度 $\geq 15\text{m}$ ,满足通航要求,跨越工期较传统方案缩短20%。矿区地形采用“分段架线+伸缩接头安装”工艺,分段长度控制在500m内,伸缩接头选用JS型,伸缩量达50mm,适应地表沉降变形,施工中采用激光定位仪确保接头安装精度<sup>[2]</sup>。

#### 2.5 生态适配性施工方案优化

生态适配性优化遵循“最小扰动、及时修复”原则,核心是优化施工工艺与修复方案:生态敏感区采用高跨设计,杆塔高度提升至25m以上,档距优化至350-400m,减少杆塔数量30%;基础施工采用无开挖工艺,山地采用小型锚杆钻孔机,钻孔直径仅150mm,土壤扰动面积较传统开挖减少85%;架线全程采用无人机展放,无需开辟施工便道,避免地面机械碾压植被。施工后实施“本土植被补种+固土养护”工艺,选用黑麦草、沙棘等耐旱耐贫瘠品种,采用喷播植草工艺(喷播厚度 $\geq 5\text{cm}$ ),植被覆盖率恢复目标达90%以上。云南某自然保护区输电工程,通过生态适配性施工优化,施工期植被破坏面积仅为320m<sup>2</sup>,较传统方案减少70%,运行1年后植被恢复率达92%,通过环保部门验收。

### 3 不同类型复杂地形施工设计优化方案适配

#### 3.1 山地/峡谷地形优化方案

核心在于“减高差、强抗风、优工艺”。路径依等高线布局,采用“S”型走线,每段最大高差控制在100m以内,同步规划3.5m宽临时施工便道,方便履带式起重机通行;杆塔选用220kV自立式角钢塔,塔高35-55m,在坡度30°-40°区域采用不等高腿设计,腿长差最大达5m,组立施工运用“分段组立+空中对接”工艺,配备25t起重机与高空作业平台;基础采用岩石锚杆基础,执行“钻孔-清孔-压力注浆”标准工艺;架线采用无人机+张力架线技术,导线选JL/G1A-630/45大截面导线,档距控制在200-300m。一山地220kV输电工程应用此方案后,杆塔数量从120基减至102基,耗材量减少12%,抗风等级提至35m/s,施工工期缩短28%,运行2年未现杆塔倾斜问题。

#### 3.2 水域/沼泽地形优化方案

重点在于“防腐蚀、强承载、减污染”。路径优先垂直跨越水域,滇南一跨越河流工程经优化,跨越长度从850m缩至520m;杆塔选用耐腐蚀的Q355耐候钢,塔身采用“热镀锌+氟碳漆”双重防腐工艺,锌层厚度 $\geq 86\mu\text{m}$ ,氟碳漆涂层厚度 $\geq 60\mu\text{m}$ ,组立施工采用水上浮吊作业,避免机械陷入沼泽;基础采用预制沉井基础,执行“预制-浮运-排水下沉-防腐封底”工艺,沉井内部填充C30防腐混凝土并掺入5%复合型阻锈剂;施工中设置三级泥浆沉淀池与废水处理池,采用“絮凝沉淀+过滤”工艺,确保废水悬浮物含量 $\leq 50\text{mg/L}$ 后达标排放<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 矿区/采空区地形优化方案

核心在于“避风险、抗沉降、强监测”。路径精准避开采空区核心区域,与边界保持 $\geq 100\text{m}$ 安全距离,滇北一矿区工程借此避开3处高危采空区;杆塔采用柔性钢结构,组立施工中增设临时加固缆风绳,抵御施工期间地表沉降;基础采用桩筏联合基础,执行“钻孔灌注-筏板浇筑-冷却养护”工艺,桩端嵌入稳定岩层 $\geq 5\text{m}$ ;架线

采用分段架线工艺，每500m设置1个伸缩接头，施工中采用激光定位仪校准导线张力。同时，沿线路每500m布设1个地表沉降监测点，采用GPS实时监测技术，监测频率为1次/月，设置双重预警阈值。该方案用于老矿区输电工程后，线路运行3年，基础平均沉降量控制在5mm内，杆塔结构无变形，运行安全稳定。

### 3.4 生态敏感区地形优化方案

关键在于“少扰动、高适配、快修复”。采用“高跨+少杆塔”设计，杆塔档距扩至350-400m，数量减少30%，杆塔高度提升至25m以上；杆塔选用轻型化钢结构，

组立采用小型起重机，减少地面占用；基础采用无开挖锚杆基础，钻孔直径150mm，施工扰动范围  $\leq 1\text{m}^2$ ；架线全程无人机展放，无需开辟便道。施工后实施喷播植草修复工艺，构建宽度  $\geq 10\text{m}$ 的生态缓冲带。滇南一湿地公园输电工程应用该方案，线路全长18km，仅建设杆塔21基，生态扰动面积仅280m<sup>2</sup>，较传统方案减少70%，运行1年后植被恢复率达93%，通过生态环境部专项核查<sup>[4]</sup>。

3.5 优化方案核心指标对比为直观呈现优化成效，选取四类地形核心施工指标，对比传统方案与优化方案的关键数据，具体见表2。

不同类型复杂地形输电线路施工设计优化方案核心指标对比表2

地形类型	核心指标	传统方案数值	优化方案数值	优化幅度
山地/峡谷	施工工期(天/10km)	120	84	-0.3
山地/峡谷	杆塔耗材量(t/基)	12.5	11	-0.12
水域/沼泽	基础防腐年限(年)	15	30	1
水域/沼泽	施工成本(万元/km)	280	210	-0.25
矿区/采空区	基础沉降量(mm/年)	12	$\leq 5$	-0.583
矿区/采空区	安全达标率(%)	85	98	0.153
生态敏感区	植被破坏面积(m <sup>2</sup> /km)	1000	300	-0.7
生态敏感区	植被恢复率(%)	65	$\geq 90$	0.385

### 结束语

复杂地形输电线路施工设计优化的核心是实现“设计与施工精准适配”，本文构建的全流程优化体系，从路径规划、杆塔组立、基础施工、架线工艺到生态修复，明确了各环节具体施工方案与工艺标准，修正了传统方案中档距数据不合理等问题未来需进一步融合数字孪生、智能化施工设备等技术，提升施工过程的精准管控能力，为新型电力系统建设中复杂地形输电线路工程提供更高效、更可靠的技术解决方案，推动电力建设与生态保护协同发展。

### 参考文献

- [1]郑伟栋.高压输电线路铁塔组立施工技术研究[J].电力设备管理,2024,(21):216-218.
- [2]吴洪双.特高压与超高压输电线路多分裂导线施工技术研究[J].电力设备管理,2024,(21):219-221.
- [3]樊莎莎,郑毅,杜炜.集控智能可视化牵张放线系统在高压输电线路中的应用[J].山西电力,2024,(05):44-46.
- [4]李林绒.电力系统智能监控与自动化技术应用[J].电子技术,2024,53(10):328-329.