

不同地形条件下架空输电线路机械化施工造价差异及优化策略研究

隆竹寒 周 飞 任文诗 张文文 李 倩

国网四川省电力公司经济技术研究院 四川 成都 610000

摘 要：本文深入分析了不同地形条件下架空输电线路机械化施工的造价差异及其成因，并提出了相应的优化策略。研究涵盖了平地、丘陵、山地、高原、泥沼和河网等多种地形，探讨了机械选型、施工工序、材料运输、安全防护、自然环境等因素对施工造价的影响。通过对比分析，揭示了各地形条件下的施工造价特点及差异原因。在此基础上，提出了机械适配性优化、施工工艺创新、材料运输体系构建、数字化智能化管理以及安全环境成本控制等策略，旨在为架空输电线路机械化施工的成本控制和效率提升提供科学依据和实践指导。

关键词：架空输电线路；机械化施工；地形条件；造价差异；优化策略

引言：架空输电线路作为电力传输的重要基础设施，其建设质量和效率直接关系到电力供应的稳定性和可靠性。随着机械化施工技术的不断发展，架空输电线路的施工效率和安全性得到了显著提升，地形条件的多样性给机械化施工带来了诸多挑战，不同地形条件下的施工造价存在显著差异。因此，深入研究不同地形条件下架空输电线路机械化施工的造价差异及优化策略，对于提高效率、降低成本、保障工程质量具有重要意义。

1 架空输电线路机械化施工造价构成及地形分类

1.1 机械化施工造价构成

架空输电线路的机械化施工造价构成复杂，涉及多个方面。主要造价构成包括但不限于机械费、施工机械使用费、材料费、人工费以及其他相关费用；机械费主要用于购买施工所需的各类机械设备，如张力放线机械、牵引机械等。这些机械是机械化施工的基础，直接影响施工效率和质量；施工机械使用费则涵盖了机械设备在施工过程中的运行、维护和修理等费用。这部分费用与机械的种类、数量、使用时间以及维护状况密切相关；材料费是造价构成中的重要一环，主要包括导线、绝缘子、杆塔等关键材料的费用。在机械化施工中，虽然机械设备的自动化程度较高，但仍然需要人员的操作和监控；其他相关费用可能包括施工过程中的安全管理

费、环境保护费、保险费等。这些费用虽然不直接构成施工的直接成本，但对于保障施工顺利进行和人员的安全至关重要。

1.2 典型地形分类及施工特点

架空输电线路施工地形多样性对机械化作业影响显著。平地施工可实现大型牵张机械整体布设，导线展放效率达8km/天；丘陵地带需采用分段张力放线技术，通过可旋转跨越架适应地形起伏，导线弧垂控制精度提升至±5%；山地施工需构建“索道+无人机”协同运输体系，利用80kN双承索道运输铁塔构件，单日最大运输量达20吨；高原地区需对张力机进行低温改造，采用电加热液压油系统确保-30℃环境下机械正常启动；沼泽地带需开发浮箱式牵引机，通过增加浮力舱使接地比压降至0.3MPa，配合自动纠偏系统实现软土地基直线路径施工；河网地区需采用装配式跨越架，通过模块化组装实现48小时内完成110kV线路跨越施工^[1]。

2 不同地形条件下架空输电线路机械化施工造价差异分析

2.1 平原地形与山地地形造价差异

不同地形下，架空输电线路机械化施工造价差异显著，以平原地形与山地地形为例：平原地形下，机械化施工优势明显，可高效“流水线”作业。80吨汽车吊4小时内可完成单基铁塔组立，6轴无人机单日巡检里程达200km，集控式张力放线系统提升施工效率60%，机械使用效率高、成本低；材料运输便利，损耗率仅1%；安全成本投入少。整体造价相对较低。山地地形复杂，施工挑战大、造价高。可拆解式履带起重机虽降低进场成本，但拆解组装有额外成本；激光雷达扫描等技术增加

本文章为“国网四川省电力公司项目资助”（This work was supported by Project of State Grid Sichuan Electric Power Company）成果。

资助项目名称：国网四川经研院2025年四川地区架空输电线路机械化施工全过程计价方式研究技术服务，ERP编号B7199625000X。

成本；分布式牵张机械闲置率高，单位工程量机械成本上升；修便道、分阶段作业，人工与机械闲置成本增加1倍；安全防护要求高，每公里投入3万元。整体造价明显高于平原。

2.2 丘陵地形与沼泽地形造价差异

丘陵地形虽然比平原地形复杂，但相对于沼泽地形来说，其施工造价仍然较低。丘陵地区虽然有一定的坡度，但通常不会对机械设备的操作造成太大困难。然而，在沼泽地形中，由于土壤湿软，地基稳定性差，需要采取特殊的地基处理措施，如桩基施工、土壤加固等，这些都会显著增加施工造价。

2.3 高原地形与其他地形造价差异

高原地形因其特殊的气候和地质条件，使得架空输电线路机械化施工的造价相对较高。高原地区气温低、气压小、氧含量低，对机械设备和施工人员的性能和要求都提出了更高的挑战，高原地区还容易受到冰雪、大风等恶劣天气的影响，使得施工周期缩短，增加了施工成本^[2]。与其他地形相比，高原地形在施工材料、机械设备和人工成本方面都有较大的增加。

3 不同地形条件下机械化施工造价差异成因分析

3.1 设备选型及其对造价的影响

地形多样性对架空输电线路施工所需的设备选型提出了严格要求。在平原地形中，大型的全地面起重机如120吨级设备因其长臂（52米）能够覆盖所有塔型的吊装需求，从而提高施工效率。然而，在山地施工中，由于坡度限制，需采用可伸缩履带起重机，如30吨级设备，其通过液压系统自动调平功能适应30°坡度的作业，但吊装高度受限，常常需要增设辅助抱杆，这直接增加了单基铁塔组立的成本。高原地区则需对牵张设备进行特殊改造，如加装涡轮增压中冷系统和采用低温液压油，以确保设备在低温环境下的正常启动和运行，这些改造措施也增加了设备购置和维护的成本。沼泽地带更是需要开发专用浮箱式牵引机，以增加浮力并适应软土地基的施工环境，但这也带来了高昂的设备购置和年运营成本。

3.2 施工工序与效率影响

地形复杂度决定工序繁简程度，进而影响造价。平原可实现流水作业，基础开挖与杆塔组立无缝衔接，单基杆塔施工周期仅3天；山地需先修便道，再分阶段作业，单基周期延长至7天，人工与机械闲置成本增加1倍。沼泽地区需先进行地基加固，仅铺垫钢板就使单基基础成本增加2万元，且工序衔接中等待时间占比达30%。丘陵地区因地形起伏，导线架设需多段牵引，效率比平原低40%，相同工程量需多投入2台张力机。工序效

率差异累积后，100公里线路山地工期比平原长4个月，导致机械租赁成本增加400万元。

3.3 材料运输与供应影响

地形制约运输方式，造成材料成本悬殊。平原材料可直达施工现场，运输损耗率仅1%；山地需索道运输，每吨导线运输成本达800元，是平原的6倍，且损耗率升至4%。沼泽地区需用驳船转运，遇汛期中断运输，材料库存需增加30%，仓储成本上升25%。高原地区道路崎岖，运输车辆时速仅20公里，运输时间比平原长3倍，且需保温措施，每公里材料运输成本增加5000元。偏远山地缺乏就近料场，砂石等地方材料需从百公里外运输，单基杆塔材料费增加1.2万元，100公里线路累计增加120万元^[3]。

3.4 安全防护与环境适应影响

特殊地形对安全与环保要求更高，成本差异显著。山地需设置边坡防护网与防坠落系统，每公里投入3万元；沼泽施工需救生设备与防渗膜，安全成本每公里增加2.5万元。高原地区需配备制氧设备与高压氧舱，单项目安全投入达50万元，且医疗保障人员增加50%。环保方面，沼泽施工后生态恢复成本是平原的3倍；山地水土保持措施使每公里成本增加1.8万元；高原为保护生态，施工范围受限导致效率下降，间接成本增加20%。安全与环保投入不足易引发事故，山地滑坡一次救援成本可达30万元。

3.5 自然环境与气候影响

气候与环境通过影响工期和机械寿命扩大造价差异。高原-30℃低温使混凝土养护时间延长1倍，设备液压油黏度增加导致能耗上升25%。沼泽高温高湿环境加速设备锈蚀，每年折旧率比平原高15%，设备更换周期缩短2年。山地暴雨引发的滑坡年均导致20天停工，每停工一天损失10万元。高原暴风雪使运输中断，材料供应延误导致窝工，人工闲置成本每天增加5万元。气候差异还影响材料性能，高原强紫外线使导线绝缘层老化加速，更换周期缩短3年，运维成本累计增加100万元/百公里。

4 不同地形条件下架空输电线路机械化施工造价优化策略

4.1 设备选型与优化策略

针对地形多样性带来的设备选型挑战，采取优化策略至关重要。在平原地形中，继续发挥大型全地面起重机的效率优势，同时探索更多自动化和智能化技术的应用，如远程控制和自动驾驶系统，以进一步提高施工效率。在山地施工中，除了采用可伸缩履带起重机外，还应研发更轻便、易拆解和运输的设备，以适应复杂地形

的施工需求。在沼泽地带,专用浮箱式牵引机的进一步开发和优化是必要的,同时探索更环保、可持续的地基处理方法,以降低生态影响。

4.2 施工工艺与工序优化策略

架空线路施工工艺创新需突破地形限制。山地可采用“无人机+激光雷达”协同测量技术,通过多光谱成像自动识别地形障碍物,生成最优铁塔定位方案,使塔位偏差率从8%降至1.5%;运用“分体式铁塔组立工艺”,将塔身分解为3个标准段,通过小型履带起重机分段吊装,单基铁塔组立时间从72小时压缩至48小时。沼泽地区应创新“悬浮式基础施工法”,采用高强度泡沫混凝土填充桩基,通过发泡机控制混凝土密度至 $400\text{kg}/\text{m}^3$,使基础自重减轻70%,配合真空预压技术实现7天达到设计强度,较传统围堰法工期缩短60%。高原地区可推行“模块化跨越架技术”,采用铝合金桁架结构实现快速组装,单套跨越架可在4小时内完成110kV线路跨越,且通过增设防风拉线系统,使抗风等级提升至12级^[4]。

4.3 材料运输与资源调配优化策略

材料运输优化需构建“多元联运”体系破解地形阻隔。山地建立“公路-索道”接力运输网,索道采用80kN承重索,每小时可运输10吨杆塔,单公里运输成本降至0.8万元,比人力搬运降低60%,并配套自动卸料装置减少损耗。沼泽地区开发“两栖驳船+轨道”运输系统,驳船载重量50吨,通过预设钢轨轨道直达基础施工现场,材料二次转运成本降低50%,且损耗率控制在1.5%以内。高原地区采用“恒温集装箱+牦牛队”组合模式,导线等怕冻材料通过加热集装箱运输,散装金具由牦牛队分运,运输延误率从30%降至8%。同时,在地形复杂区域设立3个区域配送中心,储备常用备件,通过大数据预测需求,使库存周转率提高40%,紧急采购成本减少25%。

4.4 数字化与智能化管理优化策略

数字化管理可突破地形限制实现全流程成本管控。应用BIM+GIS技术构建三维地形模型,在施工前模拟机械行走路径与作业范围,山地项目机械进场规划准确率提升至90%,避免30%的无效便道修建。通过物联网传感器实时采集机械油耗、工时数据,建立“单机核算”模

型,平原地区机械怠速时间减少20%,山地机械有效作业率提高15%。开发移动端“工序验收”APP,采用人脸识别+定位签到,杜绝虚假签证,返工率从8%降至3%。引入无人机巡检系统,每周对100公里线路进行一次全覆盖检查,发现隐患的时间从传统人工的3天缩短至4小时,避免因小故障导致的停工损失。

4.5 安全与环境成本优化策略

安全与环境成本控制需兼顾合规性与经济性。山地施工采用“智能预警+被动防护”双体系,在边坡安装应力传感器,预警响应时间缩短至10分钟,同时布设柔性防护网,单次滑坡灾害损失从50万元降至10万元。沼泽地区创新“生态围堰”技术,采用可降解无纺布+竹笼沙袋,施工后可自然降解,生态恢复成本降低60%,且满足环保验收要求。高原地区建立“三级医疗保障网”,每个作业面配备AED除颤仪,30公里内设置医疗点,配备高压氧舱,高原反应处置及时率达100%,工伤赔偿成本减少80%。推行“环境保证金”制度,将环保措施落实与工程款支付挂钩,使施工扬尘、噪音超标率控制在5%以内,避免环保罚款,综合安全环境成本降低20%。

结束语

综上所述,通过本文的研究,深刻认识到地形条件对施工造价的深远影响,并提出了针对性的优化策略。未来,随着技术的不断进步和管理的日益精细化,相信架空输电线路机械化施工的成本控制和效率提升将取得更加显著的成效,为电力事业的发展贡献更多力量。

参考文献

- [1]李聪华,边梦伟.浅析输电线路全过程机械化施工的经济意义[J].电气技术与经济,2020(03):69-72.
- [2]魏超.输电线路的全过程机械化施工管理[J].集成电路应用,2020,37(04):110-111.
- [3]刘宏志,赵英琦,刘克,等.架空输电线路机械化施工方案造价分析[J].山东电力高等专科学校学报,2024,27(5):65-69,74.
- [4]严科辉,方鹏,韩智忠,等.架空输电线路工程在岩石地质条件下基础机械开挖的补充定额研究[J].通讯世界,2021,28(11):89-91.