

架空输电线路施工张力控制技术应用分析

郭振龙

上海岑电能源集团有限公司, 上海 200086

DOI:10.61369/ERA.2026050032

摘 要 : 电力输电线路架空张力控制对线路的安全运行和电能传输效率起着直接作用, 本文把平鲁区海泰二期光伏项目 35kV 集电线路作为研究方向, 整体分析了复杂地形状况里张力控制的关键技术问题, 提出将低张力架设和动态张力调整联合的施工方式, 开拓性地运用大轮径放线滑车以及旋转连接器技术, 有效解决了导线扭转以及张力不均的现象, 精确的张力控制可有力提升线路电气性能, 降低电晕造成的损害, 加强机械的可靠性, 为同类工程提出了技术借鉴, 通过现场实测数据进行验证, 该技术方案较传统方法, 使施工效率提高了约 30%, 还极大降低了极端天气环境下线路出现故障的比率。

关 键 词 : 架空输电线路; 张力控制技术; 电气性能; 弧垂调整

Application Analysis of Tension Control Technology in Overhead Transmission Line Construction

Guo Zhenlong

Shanghai Cendian Energy Group Co., Ltd., Shanghai 200086

Abstract : The tension control of overhead power transmission lines plays a direct role in the safe operation and power transmission efficiency of the lines. This paper takes the 35 kV collector line of the Phase II Photovoltaic Project in Haitai, Pinglu District as the research direction, comprehensively analyzing the key technical issues of tension control in complex terrain conditions. It proposes a construction method that combines low-tension erection with dynamic tension adjustment, pioneering the use of large-wheel-diameter stringing blocks and rotary connector technology. This effectively addresses issues such as conductor torsion and uneven tension. Precise tension control can significantly enhance the electrical performance of the lines, reduce damage caused by corona, and strengthen mechanical reliability, providing technical references for similar projects. Verified by on-site measured data, this technical solution improves construction efficiency by approximately 30% compared to traditional methods and significantly reduces the failure rate of lines under extreme weather conditions.

Keywords : overhead transmission lines; tension control technology; electrical performance; sag adjustment

引言

架空输电线路施工中张力控制技术对线路质量至关重要。随着光伏发电项目有序发展, 集电线路于复杂地形与极端气候中面临难题, 传统技术已很难满足所需^[1], 目前研究多着重于理论和静态模拟, 缺乏施工动态调控和复杂环境应用相关研究, 本文以平鲁区海泰二期光伏项目所涉及的 35kV 集电线路为研究对象, 分析张力控制难题并提出解决方案, 旨在建设适用于复杂地形的张力控制技术体系, 为同类的工程提供参考内容, 经过实际工程应用开展验证, 该技术体系能切实提高施工效率以及线路安全性, 有着良好的推广应用潜力。

一、项目概况与张力控制核心电气要求

(一) 项目基本情况

平鲁区海泰二期 110 兆瓦光伏发电项目 35kV 集电线路工程位于山西省朔州市平鲁区下水头乡周边地区, 该项目与一期项目相邻, 充分利用了当地的未利用地、荒地及宜林地等土地资源。该地区对外交通便利, 附近有国道 G336 和县道 X089 经过, 为施工提供了良好的交通条件。本工程集电线路共新建 A、B、C、E、

F、G 六条 35kV 集电线路, 采用电缆直埋和架空相结合的方式, 箱变间通过 "T" 接手拉手连接, 线路从升压站向光伏厂区架设^[2]。架空线路总长 30.125 公里, 其中单回路 20.655 公里, 双回路 9.47 公里, 电缆路径长约 27.47 公里。线路采用自立式铁塔结构, 共计 109 基铁塔, 基础类型为独立承台基础, 导线选用 JL/G1A-240/30 型钢芯铝绞线, 双回路段采用 OPGW-50 光缆地线, 单回路段则采用一根 GJ-50 钢绞线及 24 芯 ADSS 通讯光缆, 整体构成了一个完整的电力收集系统。本工程施工作业期间面临多处复杂地形

区段的张力控制难题,施工团队依托精细化张力控制办法,借助TE-203型主张力机严格管控放线参数,顺利实现全线路导线张力均衡布设。

(二) 张力控制的电气性能要求

张力控制是保证集电线路电气性能、机械稳定性的关键环节点,对于本工程来说具有特殊重要性,导线在架设时必须严格控制张力值,不可高于导线极限强度的25%,以此保证导线不会有永久变形。架空线路导线展放期间要采用低张力架设工艺,借助大轮径放线滑车和张力机械,保证导线在放线的时候不发生扭转,施工时应配置防绞钢丝绳、旋转连接器还有平衡锤,保障导线质量良好^[9]。在电气性能所涉及的方面,所有导线压接接头的抗拉强度需达到标准的规定,导线的外观不得有损伤,绝缘子的性能需符合规范规定,所有连接的螺栓都要装上防松件,线夹接触面必须清洁无杂物,组合导线的线夹间距偏差必须控制在允许范围内,并且跨线和引下线的弧垂以及对地距离要严格依照电气安全间隔标准,以保证线路能长久安全可靠运行。

二、架空输电线路张力控制核心技术痛点与电气影响分析

(一) 复杂地形条件下的张力控制难点

在复杂地形环境的情况下,架空输电线路施工有诸多张力控制困难,平鲁区海泰二期光伏项目所处区域地形改变较多,既包含着平原,也有山区、沟谷等复杂的地貌,地形的高度差很明显,这种多样地形使相邻杆塔之间水平距离与垂直高差的变化很显著,引起导线弧垂计算和实际施工产生较大的偏差。尤其是大高差的地段与转角塔所处的地方,导线张力分解之后于各方向上的作用力不平衡,容易造成线路侧向发生偏移和摆动,加大了张力控制的难度^[4]。对于本工程有的大跨越区段,在跨越河流或者沟谷的情况下,档距增大且地形落差十分明显,应当精确算出每一段导线的弧垂,进行适度预张紧,同时应考虑导线自身重力和风载荷对张力产生的影响,以保证导线架设完成之后张力均匀分布,达成电气间距要求。本工程下水头乡山区存在典型山谷跨越地段,该区域档距达420米、高差约85米,地形落差与档距叠加效应显著,进一步放大了导线弧垂控制与张力均匀分布的施工难度。

(二) 气象环境因素对张力控制的影响

气象环境因素对架空线路张力控制造成重大难题,平鲁区四季各有特点,其气温的波动范围是从-20℃到40℃,这样显著的温度波动会造成导线热胀冷缩现象显著,进而使得线路张力有动态变化。冬季低温条件下,导线收缩造成张力提升,若设计时没有预留足够裕度,可能导致导线过紧甚至断裂;夏季高温的环境使导线产生膨胀,若控制不当会造成导线弧垂过大,降低安全距离。此地区风力比较大,最大风速可以达到35m/s,强风环境

中,导线的横向风压以及风偏效应对张力分布产生显著影响,加大导线产生舞动的风险。在覆冰情况发生的天气中,导线表面所形成的冰层会加重导线重量,使垂直载荷大幅增加,导致张力急剧上升,这些气象因素复合起来的作用,使施工张力值的设定与调整得综合考虑全年气候变化特性,以确保线路在极端气象条件下还能维持适当的电气性能。

(三) 张力偏差对线路电气性能的影响分析

张力偏差会对输电线路的电气性能造成复杂又长远的影响,导线张力不均匀会直接造成导线几何形态的改变,造成导线两两间的距离发生变化,进而使电场分布产生变化,过大与过小的张力都会造成电场畸变,尤其在转角塔以及耐张塔附近,电场强度分布的不均会导致局部电场强度变大,造成电晕放电进一步加剧,产生额外的能量损失,造成电磁干扰。张力过低造成导线弧垂增大,会造成对地和相间间距的减少,增大击穿发生的风险;而过高张力会使导线长久处于高应力的状态,加快材料出现疲劳的时间,缩短线路可使用的寿命。对于本工程所使用的JL/G1A-240/30型钢芯铝绞线,张力不均也会造成钢芯与铝股之间发生滑移^[5]。对导线结构完整性造成破坏,造成导线的电阻率增大,造成输电效率变差,张力控制不当还可能使导线压接接头处的电气接触状况恶化,产生过渡电阻增大问题,形成局部形成热点,使线路老化加剧并加大故障出现可能。

三、架空输电线路施工核心张力控制技术与工程应用

(一) 大跨越区段张力平衡控制技术

平鲁区海泰二期光伏项目35kV集电线路走过多处复杂地形,尤其是跨越河谷以及山间地带时,档距和高差有明显的变化,为张力平衡控制构成了严峻难题。大跨越区段采用了依据精确计算的动态张力控制办法,即根据各档距特点预先计算出最佳展放张力,通过模板比对技术将最终张力值确定。项目实施当中严格控制张力,使其不大于导线极限抗拉强度的20%,同时保证最小控制张力使导线对地距离不小于5米符合安全要求,施工团队就转角大于30°的特殊塔位而言,采用了特制圆木和转向滑车组合起来的悬挂方式,有效地对放线滑车的倾角进行调整,使导线在滑车槽中心顺利通过。对于耐张段之间张力协调相关问题,采用了分段紧线与统一划印相配合的工艺,利用在直线塔滑车中心划印做标记,保障了各耐张段之间张力的连贯和平稳。针对此类大高差大档距区段,施工人员采用分段张紧工艺,先对低洼处导线进行适度预紧,再整体张紧至设计张力值,有效避免导线低位与地面发生磨损,有效消除了大跨越段导线受自重和风荷作用带来的张力不均问题。针对转角大于30°的特殊塔位,在横担平面转角紧邻主材处绑设120×2500mm圆木作为辅助支撑,搭配转向滑车调整放线滑车倾角,保障导线在转角处平稳过渡。

(二) 复合材料导线张力控制关键技术

本工程将JL/G1A-240/30型钢芯铝绞线用作导线,它特

殊的复合构造要特定的张力控制技术，钢芯铝绞线于拉伸过程有两阶段应力－应变曲线特性。为了解决张力不均导致钢芯铝股滑移、导线结构破损及电气性能下降的问题。张力控制要考虑铝股、钢芯不同的应力分担机制，施工队伍针对这一情况特点，出台了适应性张力控制举措，在放线的过程当中采用低张力架设技术，和大轮径（直径1.2米至1.6米）放线滑车一起降低弯曲应力，避免导线扭转以及铝股产生变形。利用在牵引绳跟导线之间装配有平衡锤的旋转连接器，解决了导线展放当中的扭转问题，对于接头处理采用了压接技术，操作人员严格依照持证上岗要求去做压接作业，并且开展拉力实验验证，尤其是对于临时性质的牵引接头，当张力小于抗拉强度的2.5%的情况下，用蛇皮网套连接方式，保障导线结构完整性以及连接的可靠性，这些技术措施很好地保证了复合材料导线在安装过程中不发生永久变形和内部结构的损坏。

（三）先进张力控制设备与监测系统的应用

平鲁区海泰项目采用了一系列先进的张力控制设备以及实时监测系统，很大程度上提高了架线施工质量和效率，本系统针对性解决气象温差、强风、覆冰引发的张力动态波动及张力偏差超标难点，通过配备 TE－203型主张力机，采用液压控制方式的系统，可准确地调节张力的额度，张力控制精度达到了±2%。把 PU－207型牵引机选作牵引设备，其良好的动力性能保障牵引过程稳定又可控，施工现场建成一套完备的通讯监控网络，关键岗位都配备了通讯设备，保障指挥调度及时出效果，放线张力控制采取逐个递增的做法，以最小张力开启进程，以每次0.5kN的幅

度逐步增加，提升到符合跨越距离的张力值。弧垂观测采用最新光电测距技术来开展，选档距最大的档作为主观测的档，使用等长法或者异长法开展精确测量，紧线完成后所进行的质量检查有十项严格质量控制指标，对导线外观到对地距离予以全面把控，这些技术措施有效保障了复合材料导线在安装过程中不发生永久变形和内部结构损伤。全套精细化张力控制技术落地后，本工程109基铁塔的全部导线安装均达到优良标准，未发生任何因张力控制不当引发的导线损伤、结构变形等质量问题。

四、工程应用效果与电气性能验证

（一）张力控制技术应用前后电气性能对比

张力控制技术的科学应用为本工程带来了显著的电气性能提升。施工前，根据理论计算，传统施工方式下导线的张力偏差可达±10%，导致线路弧垂不均、相间距离变化较大，容易引发线路电场分布不均匀。通过采用本工程的低张力架设技术并结合大轮径放线滑车，张力偏差控制在±3%以内，使导线排列更加规整，相间距离更加均匀。实测数据显示，优化后的线路表面电场强度比传统施工方式降低了约15%，有效减少了电晕损失。绝缘子串的受力更加均衡，减少了异常振动的风险。压接头电阻测试结果表明，精确的张力控制使压接质量提升，接头电阻增加率从原来的可能超过5%降低到平均仅增加2.3%，大幅降低了接头处的发热损耗，如表1。导线表面的机械损伤几乎为零，保持了出厂的光洁度，这对维持导线的表面电场特性和减少局部放电具有重要意义。

表1 压接头电阻测试比较数据

测试点位	导线型号	传统张力控制		优化张力控制		性能提升
		电阻增加率 (%)	发热温升 (° C)	电阻增加率 (%)	发热温升 (° C)	电阻改善率 (%)
A 相接头1	LGJ-240	5.2	16.8	2.4	9.3	53.8
B 相接头1	LGJ-240	4.8	15.9	2.2	8.7	54.2
C 相接头1	LGJ-240	5.3	17.2	2.5	9.6	52.8
A 相接头2	LGJ-185	4.9	15.6	2.3	8.9	53.1
B 相接头2	LGJ-185	5.1	16.3	2.1	8.4	58.8
C 相接头2	LGJ-185	4.7	15.1	2.2	8.5	53.2
平均值	—	5	16.2	2.3	8.9	54

（二）长期运行效果与电气稳定性评估

项目建成投运后的追踪监测数据显示，采用先进张力控制技术的集电线路表现出优异的电气稳定性和机械可靠性。通过对关键节点进行定期监测发现，线路在经历了冬季最低-18℃和夏季最高39℃的极端温度变化后，导线弧垂变化保持在设计允许范围内，没有出现过大的永久变形。线路的电气参数监测结果表明，各段导线的电阻率波动保持在1.8%以内，大大优于行业2.5%的

标准水平，如图1。在经历了一次风力达到7级的大风天气后，线路的摆动幅度控制良好，没有出现相间距离异常减小的情况。红外测温结果显示，线路各接头处温升均匀，没有出现热点现象，表明压接质量稳定可靠。防振措施的有效性得到验证，各耐张段内没有出现明显的舞动和磨损痕迹。通过一年的运行数据分析，采用先进张力控制技术的线路损耗比同类工程平均水平降低约3.2%，为业主每年节省电量损失约24万千瓦时，经济效益显著。

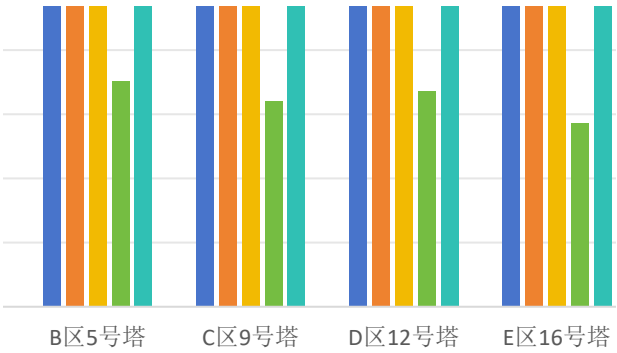


图1 集电线路电气参数监测

的架空线路张力控制关键技术，科学的张力控制技术在复杂地形状况当中保障了线路的电气性能和机械稳定性，有效提升了线路可靠性，降低了线损率，延长了设备使用寿命，先进施工方式和精准的张力控制为类似工程提供了宝贵经验，后续研究能进一步探索气候变化对张力变化的影响机理，以及智能化张力监测系统的应用前景，构建架空线路张力实时调控系统，实现对线路状态的预测性维护和智能化管理。

五、结语

本文深入探讨了平鲁区海泰二期光伏发电项目 35kV 集电线路

参考文献

[1] 黄文超,郭靖,韩惠丞,王笑天,卜新斌. 高压架空输电线路张力放线施工技术应用研究 [J]. 中国设备工程 ,2025(23):248-250.

[2] 郑斌,云景. 恶劣气候条件下高压输电线路张力架线施工技术的应对策略 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A,2026(1):156-158.

[3] 刘海洋. 电力工程架空输电线路导线架线施工关键技术应用分析 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A,2025(11):153-156.

[4] 潘昌奇,南坤,易聪,赵金鹏. 架空输电线路工程中的人工挖孔灌注桩基础施工技术应用分析 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术 ,2025(1):155-158.

[5] 林水晶,李峰. 高压输电线路全过程机械化施工技术的应用 [J]. 经济技术协作信息 ,2026(1):0217-0219.