

# 500 kV 电力线路建设施工控制与管理研究

齐伟东

(河北省送变电有限公司, 河北 石家庄 050000)

**摘要** 为解决500 kV电力线路建设中因环境复杂、技术标准高、工期紧张导致的施工质量难把控、管理粗放等问题, 本文结合工程实践, 分析该工程施工形势, 从基础施工、杆塔组立、张力放线三大关键工序入手, 提出针对性施工控制措施, 涵盖地质勘察、精度监测、工艺适配等要点。围绕人员、技术、进度维度, 构建精细化施工管理体系, 旨在对保障500 kV电力线路建设质量有所裨益, 进而实现安全高效竣工。

**关键词** 500 kV 电力线路; 基础施工控制; 杆塔组立控制; 张力放线控制; 施工管理

中图分类号: TM72

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.032

## 0 引言

近些年, 为实现大容量超远距离输电目标, 我国集中资源建设500 kV超高压电力线路, 取得令人瞩目的发展成果。然而, 500 kV电力线路施工呈现出显著的复杂性与特殊性, 线路多, 地形地貌复杂, 技术标准严格, 任一工艺缺陷或构件问题均可能引发重大安全隐患诊断施工问题。在此背景下, 深入剖析工程施工形势、精准把控关键工序质量、构建科学高效的施工管理体系, 成为推动500 kV电力线路建设工程健康发展的核心任务。

## 1 500 kV 电力线路建设工程施工形势

### 1.1 现场环境复杂

500 kV电力线路在空间层面上具备线性分布特征, 线路横跨诸多地区, 沿线穿越多种地理环境, 部分区域现场环境较为复杂, 常面临特殊的地形地貌, 也可能出现强风、暴雨等极端天气, 需要制定专项施工方案降低外部环境的影响。以山地、峡谷环境下的500 kV电力线路施工活动为例, 施工现场交通条件较差, 无法直接将大型机械设备运抵作业区域, 需要临时开辟施工便道。部分工程选择采取新型运输技术, 但需要额外把大型机械设备、大型构件进行拆分运输, 抵达现场后再次组装成型, 实际运输流程较为繁琐。

### 1.2 技术标准严格

电力线路技术标准严格程度和电压等级有着密切联系, 理论上, 电压等级越高, 技术标准越严格, 以此来提升电力线路安全系数, 避免在运行期间出现故障问题。相比电压等级在35~220 kV不等的早期输变电工程, 500 kV电力线路技术标准严格, 一旦出现操作错误, 或线路、附件本身存在制造缺陷, 都会形

成质量安全隐患, 无法满足工程建设标准。例如: 在杆塔组立工序, 穿越峡谷、河流等特殊地形时, 需要组立超高杆塔, 杆塔高度超过百米, 常规组立方法未能满足施工要求, 需要引入落地抱杆、悬浮抱杆等新型工艺技术, 并将全部杆塔构件精准组装就位, 稍有不慎便会出现构件掉落、塔体倾斜失稳等安全事故<sup>[1]</sup>。

### 1.3 工期时间紧张

从电力行业发展角度来看, 建设500 kV电力线路的目的在于平衡区域电力供需关系和强化新能源消纳能力, 也为重要战略项目提供强有力能源保障。为实现上述目标, 一般项目进度紧张, 如果加速追赶施工进度, 容易产生关键工序衔接断层、资源配置失衡、质量安全管控弱化等问题。以关键工序衔接断层问题为例, 由于出现材料供应不及时、返工整改等特殊情况, 实际进度滞后计划进度, 为避免工期延误, 提前组织开展各道工序作业, 前后道工序相互冲突, 如在刚性基础实际强度尚未达到设计值时, 提前组立杆塔, 后续出现基础沉降、杆塔倾斜失稳问题。

## 2 500 kV 电力线路建设施工控制措施

### 2.1 基础施工控制

在基础施工环节, 采取刚性基础或是柔性基础型式, 要求基础结构具备强大承载能力, 长期承受上部杆塔和各类附加荷载, 全生命周期内始终保持稳定状态, 累计沉降量不得超出设计限值。根据现场施工情况来看, 当前面临地质适配性不足、工艺操作规范性差的核心问题, 基础结构成型质量低于设计预期, 具体施工问题包括地质勘察不准、基坑质量不合格、混凝土工艺缺陷和基础预埋偏差。一是地质勘察不准。岩土勘察范围未能完全覆盖施工现场, 或是有效勘察

深度不足, 遗漏软基、溶洞等不良地质问题, 以及断层破碎带在内的特殊地质构造, 间接导致杆塔基础设计方案和现场施工情况相互脱节<sup>[2]</sup>。二是基坑质量不合格。施工精度不达标, 致使基坑开挖尺寸误差超标、基底平整度误差超标, 以及未能排净坑内积水。混凝土工艺缺陷性质包括配比失控、振捣不足、过度振捣和养护时间不足, 刚性基础形成裂缝、蜂窝在内的质量病害。三是基础预埋偏差。地脚螺栓等预埋件的位置、间距误差超出设计容许范围, 后续在杆塔组立环节, 无法顺利拧入螺栓来固定杆塔。

为预防上述问题发生, 确保基础结构各项性能均达到工程建设标准, 且基础尺寸误差和预埋误差不超出设计限值。现场施工期间, 组合采取组合勘察、基坑验收、混凝土工艺适配、预埋件复核四项质量控制措施。第一, 组合勘察。传统勘察技术的精度、深度有限, 难以满足工程建设需求, 组合采取现代勘察技术, 确保勘察成果真实可信。例如: 运用无人机航测、地质雷达探测两项技术, 利用无人机航拍资料来构建场地模型, 关键点位部署三维地质雷达探测系统, 生成雷达图像, 完整获取地质构造信息。第二, 基坑验收。基坑开挖完毕后, 不得立即施作基础, 全方面检验基坑质量是否合格, 以基坑底部高程、开挖宽度、基坑侧壁垂直度、基底平整度、基底承载力作为检验内容, 并保持基坑内部干燥状态。第三, 混凝土工艺适配。全面了解基础尺寸、现场环境条件, 专项制定混凝土施工方案, 优化调整配合比方案, 选择恰当浇筑振捣方式。以养护方案为例, 高温场景下采取塑料薄膜洒水养护方式, 低温场景下采取蒸汽养护或是蓄水养护方式, 酌情延长养护时间。第四, 预埋件复核。复核检查全部预埋件的平面位置、埋深和间距误差是否超标, 以地脚螺栓为例, 混凝土浇筑前后, 重复检查地脚螺栓位置, 焊接钢筋进行固定, 要求位置、高度误差不得超过  $\pm 2$  mm。

## 2.2 杆塔组立控制

杆塔作为 500 kV 电力线路支撑骨架, 负责长期支撑导线与配件, 把上部荷载均匀传递给下部基础承受。杆塔组立环节, 通常包括大量的高空作业, 作业精度要求极高, 施工期间容易产生构件失稳、组立误差超标和节点连接失效等问题。其中, 构件失稳是由于吊装方案缺乏合理性, 吊点数量不足, 吊点位置和构件重心位置不一致, 或是构件重量超出吊机极限起重能力, 构件吊装期间, 叠加风力荷载, 构件持续晃动, 无法恢复平稳状态, 极端情况下出现构件掉落问题。

组立误差超标是施工人员利用缆风绳调整构件位置, 调节精度较差, 所组立杆塔垂直度偏差超标, 上下段杆塔未能平整对接。节点连接失效即为螺栓连接缺陷, 形成原因包括安装顺序错乱、缺少垫片、一次性拧紧螺栓。

为保证杆塔组立作业平稳进行, 保证组立精度合格并预防安全事故发生, 组合采取仿真施工、双向监测、螺栓多轮拧固三项施工控制措施。第一, 仿真施工。作为吊装方案可行性验证手段, 构建 BIM 模型, 依托模型仿真推演杆塔吊装组立过程, 提前暴露出各项问题并采取专项解决措施, 如调整吊点数量位置、更换吊具规格、调整吊装速度。第二, 双向监测。现场同时架设 2 台经纬仪, 杆塔组立期间, 跟踪监测各节杆塔垂直度, 确认杆塔垂直度误差小于允许限值, 且上下节杆塔完全对准后, 再拧入螺栓固定杆塔, 经纬仪复核次数和塔材对接次数保持一致。第三, 螺栓多轮拧固。现场配备专用扭矩扳手, 根据螺栓规格来确定紧固扭矩, 以法兰中心为起点, 向两侧对称紧固螺栓, 拧固次数不少于 2 次, 首次拧固至 50% 设计扭矩, 24 h 内衔接开展二次拧固作业, 完全达到设计扭矩<sup>[3]</sup>。

## 2.3 张力放线控制

在张力放线环节, 常见问题包括张力精度不足、导线弧垂超标和导线受损, 展放后未能保持平顺无松弛状态, 线路运行稳定系数明显下降。其中, 张力精度不足是张力设备参数未能适配导线规格与现场条件, 实际误差超过 15% 导线允许拉力, 张力超标会过度拉伸导线, 张力不足则会致使导线松弛。导线弧垂超标是秉持静态施工理念, 未能根据现场气象条件变化而调整弧垂与流量, 高温天气下固定弧垂预留量偏多, 低温天气下固定弧垂预留量偏少。导线损伤是电力线路无任何防护状态下, 直接开展放线作业, 导线表面和跨越架、杆塔附件相互摩擦, 出现表皮破损问题。

为预防上述问题发生, 保障导线成型效果, 需要组合采取张力参数控制、弧垂调整、放线防护三项施工控制措施。第一, 张力参数控制。综合分析导线规格、设计张力、现场气象条件在内的多项因素, 确定最佳张力值, 输入张力系统, 由自动控制方式取代低效落后的人工控制方式。同步监测张力变化情况, 系统自行调整张力水平, 确保张力误差小于  $\pm 5\%$ <sup>[4]</sup>。第二, 弧垂调整。以“动态修正”为施工准则, 提前确认现场环境温度, 根据实时温度, 精准调节导线弧垂预留量, 预留量和环境温度成反比。同时, 现场架设激光测距仪和经纬仪, 实时监测调整导线弧垂。第三, 放线防护。

提前在跨越架和杆塔连接部位设置高强度橡胶材质的防磨套,使用专业连接器连接导线和牵引绳,适当放慢放线速度,并在确认出现导线破损、断股问题后,即刻暂停放线作业。

### 3 500 kV 电力线路建设施工管理策略

#### 3.1 人员管理

500 kV 电力线路建设体系包含大量特种作业,如高空作业、高压带电作业,且技术含量较高,对一线施工人员专业素养提出了严格要求。必须加强人员管理力度,组合采取资质审查、分层培育、刚性管控三项策略,从源头上预防错误操作和安全违章行为发生。第一,资质审查。面向特种作业人员,提前审查施工人员是否获取相关从业资质,同步审查施工经验与身体健康状况,组织开展理论考试与实操考核,从中筛选出高度适配岗位要求的施工人员。第二,分层培育。按照施工场景来区分培训内容,独立制定面向核心工序的培训方案,如面向基础施工工序,以软基加固做法、不良地质问题处理方法、柔性基础和刚性基础适用范围及标准化工艺做法作为培训内容。此外,全体工程人员都应树立安全生产意识,熟练掌握安全操作技能和应急逃生技能。第三,刚性管控。采取旁站监理或是现场巡查手段,全过程实时监控施工过程,如果出现违背施工准则和安全规范的违规行为,管理人员立即叫停错误行为,追究相关人员责任。

#### 3.2 技术管理

为提升远距离输电质量和改善现场施工条件,新建500 kV 电力线路建设过程引入多项新技术,典型技术包括无人机放线、山区杆塔索道运输、自动计量搅拌。对此,为充分发挥技术价值,必须加强技术管理力度,组合采取仿真施工、三维交底两项策略。第一,仿真施工。由BIM仿真施工手段替代常规工艺试验,用于验证施工方案可行性。提前构建融合地形、气象、设备参数的场地模型和杆塔模型,设定不同工况下的技术参数,先后推演理想工况、正常工况和不利工况下的施工过程,精准检验施工成果质量是否合格,分析参数偏差、环境干扰等问题的形成原因,针对性修改方案内容,必要时选用其他工艺技术<sup>[5]</sup>。第二,三维交底。运用BIM技术打造三维技术交底机制,把模拟施工过程制作成动画视频,清晰标注关键技术节点,替代抽象的二维平面图纸。施工人员可反复观看视频,结合实物构件对照学习,不仅能快速汲取施工经验,更能直观掌握技术操作中的注意事项,降低因理解偏差导致的技术应用失误。此外,技术应用后需

及时开展效果复盘,对比仿真数据与实际施工数据,总结参数适配、环境应对等方面的经验,更新技术管理台账,为后续同类工程的技术应用提供优化依据。

#### 3.3 进度管理

在早期输变电工程建设中,以弱化质量管控与安全管控为代价,盲目追赶施工进度现象较为普遍,这不仅是工程领域的共性问题,更成为后续施工质量缺陷、现场管理混乱等系列问题的根源。针对此问题,需引入精细化管理理念,核心在于通过科学编制施工进度计划,在保障质量与安全标准不降低的前提下,优化工序衔接、合理配置资源,最大限度压缩无效时间成本,确保工程按照预定节奏连贯推进,最终实现按期竣工交付的目标。一方面,分层级编制进度计划,把进度目标逐层分解为量化指标,确定各道工序环节的起始终止时间,预留10%~15%弹性工期来应对可能出现的突发情况,并征求施工班组意见,避免计划内容脱离实际施工情况。另一方面,动态管控施工进度,利用BIM模型关联采集施工数据,确认实际进度、计划进度偏差超出预警值后,提醒管理人员和施工班组解决问题。

### 4 结束语

500 kV 电力线路建设难度大,电力企业和工程参建单位都应加强施工管理力度,深入总结施工问题形成机理,针对性采取施工控制措施,关联采取人员管理、技术管理和进度管理策略。同时,需强化风险预警与应急响应机制,确保施工安全与质量双提升;加强跨部门协同,优化资源配置,推动技术创新与应用;严格把控验收标准,确保工程全生命周期可靠运行。通过系统性管理,在工程建设层面助力主干电网高质量发展,为能源转型和区域经济提供坚实支撑。

#### 参考文献:

- [1] 李阳.500kV 电力线路建设项目施工工艺与管理要点[J].中国新技术新产品,2020(16):81-82.
- [2] 刘强.500 千伏电力线路建设施工控制与管理研究[J].城市建设理论研究(电子版),2017(10):174-175.
- [3] 张奇林.500kV 架空输电线路张力架线施工技术[J].电子元器件与信息技术,2019,03(05):103-105,109.
- [4] 李环宇.电力线路施工中的质量控制与技术创新[J].家电维修,2023(12):54-57.
- [5] 梁辉.浅析电力线路施工安全管理原则[J].南方农机,2020,51(01):254.