

# 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、高度误差不超过±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±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型技术，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，必要情况下选用其他工艺技术<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，盲目追赶施工进度的现象较为普遍，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.