

高压输电线路施工关键技术及质量控制分析

甄小冰

北京吉北电力工程咨询有限公司 北京 100176

摘要: 高压输电线路施工关键技术,涵盖基础、杆塔、架线施工及新型技术应用,剖析人为等影响质量因素。文章从施工前、中、后提出质量控制策略,为保障输电线路施工质量与安全提供参考。

关键词: 高压输电线路; 施工关键技术; 影响因素; 质量控制

引言

随着社会用电需求增长推动高压输电线路建设加速,其施工技术与质量关乎电网安全稳定运行。因此,探究关键施工技术与质量控制方法,对保障电力供应、提升工程建设水平意义重大。

1 高压输电线路施工关键技术

1.1 基础施工技术

1.1.1 掏挖基础施工

掏挖基础以原状土抗剪强度抗剪承载,先掏挖成孔、再放入钢筋笼、最后浇筑混凝土成桩,根据实际情况人工或机械开挖,严格控制开挖尺寸,尽量避免出现超挖或欠挖的情况,用护壁保证孔壁不易坍塌,在挖掘过程中要时刻做好保护原状土工作。下放钢筋笼后需要及时浇筑混凝土并振捣密实,保证浇筑的混凝土能和原状土结合得更紧密一些。

1.1.2 阶梯基础施工

阶梯基础以多级台阶扩大基底面积分散荷载,工艺简便。施工前需精确放线,机械开挖预留人工清理层。遇不良地质时,加大放坡系数或采取支护措施。施工前做好排水,基坑设排水沟、集水井,高水位区域采用井点降水,防止地基强度受积水影响。

1.1.3 岩石嵌固基础施工

岩石嵌固基础适用于岩石地基或覆土较浅的地质条件下,利用岩石的抗剪强度工作。根据需要查明的地质条件进行勘察取得岩石参数,在钻孔时要严格控制孔位、孔深和孔径,并将孔壁清洗干净后进行插筋。混凝土的浇筑要振捣密实,保证配合比适宜,将混凝土浇筑和岩体、钢筋紧密结合以减少材料和土石方量,节约成本、绿色环保。

1.1.4 其他基础施工技术

大板基础:大体积混凝土基础底面大,可以用于软弱地基或是荷载比较大的杆塔上。它的浇筑要求要严控浇筑质量,并且要通过设置温度筋、控制浇筑速度和养护条件来减少裂缝出现的几率。

复合沉井基础:适用于深厚软土或高水位地区,下沉到设计标高以后浇筑底板。沉井下沉过程中控制好速度和垂直度,保证沉井质量。

1.2 杆塔施工技术

杆塔主要分为直线杆塔和耐张杆塔。直线杆塔用于线路段,结构简单、投资小,但抗不平衡拉力弱,存在倒塌风险。耐张杆塔可承受线路张力、限制事故范围,应用广泛,不过造价高、施工难。选型需综合地形、输电需求和费用,平地可灵活选择,山地及大容量送电线路宜用耐张杆塔,合理搭配直线杆塔可降成本,同时依供电可靠性确定线径和二者比例。

组立方式有整体组立和分解组立。整体组立在地面装配后一次性起吊,速度快、高处作业少,但对杆塔强度和起吊机具要求高,且需基础混凝土浇筑完成,适用于低矮轻型杆塔和平整场地。分解组立将构件分段组装,适用于高大杆塔和复杂地形,常用内悬浮外拉线抱杆等工艺,选择时要结合杆塔参数与现场情况^[1]。

施工时,需用合格起吊机具,定期检查吊索具,制定起吊和应急预案。现场设警示牌,吊装时监测杆塔状态,异常即停。保证杆塔垂直度,用仪器测量调整,螺栓按规定力矩紧固。组立后,校验垂直度和部件连接,合格后方可进入下道工序。

1.3 架线施工技术

1.3.1 拖地展放与张力展放

拖地展放是传统放线法，操作简单、设备要求低，但导线易磨损、效率低，山区使用受限。张力展放借助牵张设备让导线悬空，能减少磨损、适应复杂地形，提升放线效率与导线寿命，不过设备成本高、施工条件要求严苛。一般而言，平坦短线路选拖地展放以降低成本，复杂地形或高压线路优先采用张力展放。

1.3.2 导线连接与紧线技术

导线连接依损伤程度处理：轻微损伤用缠绕或补修预绞丝，中度损伤用补修管，重度损伤锯断后用接续管连接。操作时需保证连接部位干净干燥，严格遵守工艺规程。紧线前确保铁塔组立、基础强度达标，施工中严控弧垂与导线受力，按先地线后导线、先中相后边相的原则逐根展放。

1.3.3 附件安装技术

防振锤按设计确定安装参数，特殊情况可调整。绝缘子依电压等级和环境选择，确保安装牢固、清洁，污秽区需按时清理。线夹、间隔棒等附件安装要规范固定，安装全程严格把控质量，要求工作人员专业，做好安装前检查、安装中精度控制及安装后质量复查，保证附件牢固、位置准确。

1.4 新型施工技术应用

1.4.1 飞行器悬空展放导引绳技术

传统的导引绳展放易破坏青苗，并受限于地形，飞行器悬空展放采用无人机或直升机代替人工牵引导引绳，升空跨越施工区开展架线工作。采用此技术，能大幅减少青苗赔偿费用，不受山地、林区等地形制约，飞行器速度较快，定点精准度高，提升展放效率，保证导引绳展放精度，为架线做好准备。

1.4.2 悬浮抱杆组立杆塔技术

采用倒落式人字抱杆结构，通过绳索与滑轮系统实现杆塔部件吊装。塔腿吊装时，地面组装后由抱杆平稳起吊安装；曲臂根据结构选择吊点分步连接；横担因体积大、重量重，需制定专项方案确保平稳就位。组立完成后，按序缓慢拆除抱杆，避免倾倒等安全风险^[2]。

1.4.3 导线的挂胶放线滑车放置法

针对架线施工过程中因为导线与滑车之间发生摩擦造成导线损耗的问题，在轮槽部位加装橡胶层的放线滑车可以有效缓解这种问题，降低导线的磨损程度。考虑线路长度

和导线的重量等因素来放线的长度，将施工滑车的数量科学合理地进行配置，保证滑车轮槽尺寸大小能够与导线相吻合，让导线通过更顺利。

2 影响高压输电线路施工质量的因素

2.1 人为因素

施工人员技工不到位，会造成施工操作不当，造成基础施工的尺寸及深度无法满足要求，导致基础承载力达不到要求，使杆塔不稳定。杆塔组立和架线过程中，由于技术水平不熟练，容易出现个别部件装错、导线搭接不牢等情况。

部分施工人员缺乏细节意识，比如杆塔组立时不拧紧螺栓导致杆塔倾斜、架线时不检查导线损伤、可能导致使用年限减短。安全意识淡薄造成安全事故的将产生工期延误、资金浪费等情况。施工管理人员疏于管理、安排失误、决策失误（如材料不合格等），会造成工作效率低及工作质量较差。

2.2 材料因素

杆塔钢材强度及耐久性差会引起杆塔发生倾斜甚至造成倒塌事故，导线电阻大将导致输电能力下降及老化加快，绝缘子绝缘或耐污性差易造成闪络等故障，金具强度或耐腐蚀性能差，将会导致金具松动或者断裂。

材料有质量隐患会导致成本增加、时间耽搁，质量不合格的材料也要予以退货或换货处理。使用假、冒、伪、劣材料是有很大风险和隐患的，所以必须严把材料采购、运输、检验关，确保合格产品进入施工现场^[3]。

2.3 机械设备因素

测量仪器是保障施工精度的核心，基础施工时其精度决定基础位置与尺寸，杆塔组立中测量偏差会致垂直度不达标。仪器未校准或精度不足易造成施工误差。起吊设备安全性重要，钢丝绳磨损等故障隐患可能引发重物坠落等事故，危及安全并损坏基础。牵引机等架线设备性能不稳定会导致导线张力控制失准，张力过大损伤导线，过小则弧垂超标，威胁线路安全。

2.4 环境因素

糟糕的天气容易导致杆塔倒塌，大风把杆塔刮倒、暴风雨把基础淹没或者摧毁，雷电可以把绝缘子击穿，冰雪加大导线张力，因而影响工期以及线路的安全稳定运行。复杂地形带来挑战，山区地形起伏大，增加材料运输难度与成本，基础施工需选特殊形式。峡谷等地形要求杆塔更高、强度更

强,且风力等复杂,加大高塔组立等施工难度。

2.5 施工工艺因素

基础施工中如果振捣不密实,存在缺陷,会使基础强度下降。杆塔组立时若颠倒步骤,会使得杆塔受力情况不均匀,有可能会造成变形。架线施工时要注意控制好张力,过大会损坏导线,过小会弧垂超高,连接工艺也要严格把关,如果导线等接头连接不牢固,在运行中会出现松动和发热等问题。

3 高压输电线路施工质量控制策略

3.1 施工前质量控制

3.1.1 施工方案审核

技术选择需依地质地形适配工艺,土质良好区域用掏挖基础,利用原状土增强稳定性,岩石地基选嵌固基础锚固。杆塔组立按高度、重量及场地条件,低矮轻型塔用整体组立,高大或复杂地形塔用分解组立(如内悬浮外拉线抱杆工艺)。

施工流程设计应该衔接紧密,基础完成后及时组塔,验收合格后快速架线,结合实际情况引入安全措施。质量保证措施要说明各道工序重点控制点、检验标准、处置办法等。

3.1.2 施工材料与设备检验

核查钢材、导线出厂合格证、质检报告和外观检查(钢材无锈蚀、导线无断股、绝缘子无破损),构配件检验尺寸精度及螺纹完好程度。对设备进行全面检测调试,测量仪表要定期校验且做好防护工作。检查起吊设备、牵引机等钢丝绳的磨损、制动是否灵敏可靠、控制系统的稳定性,试运行排除故障隐患。

3.1.3 施工人员培训

安全培训以防为主,包括操作规程、防护知识以及应急处理等等。把具体的设备操作流程进行了细化,给员工灌输高空作业、电气防护的知识,模拟事故情况教流程,实现工程质量、安全生产的过程控制。

3.2 施工过程质量控制

3.2.1 基础施工质量控制

掏挖基础时,用全站仪等精确测量,按设计尺寸开挖,避免超欠挖。若孔壁不稳,采用混凝土或钢套筒护壁。阶梯基础要防止扰动基底原状土,机械开挖预留20厘米土层,由人工清理修整^[4]。岩石嵌固基础严格控制钻孔参数,孔深、直径误差控制在极小范围,如 ± 10 毫米,孔壁清理后插入钢筋。混凝土浇筑按设计配合比,插入式振捣器振捣,保证

密实度。完成后检测基础尺寸、强度等,尺寸偏差符合规范,混凝土强度达设计等级,垂直度偏差不超允许范围,如 $\pm 0.5\%$ 。

3.2.2 杆塔施工质量控制

对杆塔组立前进行部件检查,要求钢材材质及规格与设计相符、镀锌层完好率 $>95\%$ 、有缺陷应及时处理。组立过程中用经纬仪监测杆塔垂直度不得大于千分之3倍杆塔高度,连接螺栓使用扭矩扳手按要求值进行紧固,不能出现松动现象。高塔组立采用大型起吊设备,选取合适的起吊点,在组塔完成后装设倾斜度监测装置、应力传感器。组立后做全面验收(包含垂直度、连接质量),验收通过后方能进行下一步(如架线施工)的工作。

3.2.3 架线施工质量控制

导线展放前检查外观,无损伤、断股,规格型号与设计一致。张力展放用张力计监测,张力误差控制在设计张力 $\pm 5\%$ 内。连接时清洁干燥连接部位,依导线类型选液压等合适连接方法,按规程操作,连接部位电阻符合要求。紧线控制弧垂误差,不超设计弧垂 $\pm 2.5\%$,同一档内各相导线弧垂相对误差不超200mm。附件安装按设计要求确定防振锤安装距离,绝缘子垂直牢固,安装位置和数量准确率达100%。

3.3 施工后质量验收与维护

3.3.1 质量验收标准与流程

严格按照《110kV-750kV 架空输电线路施工质量检验及评定规程》对高压输电线路施工质量进行验收,通过分项、分部、单位工程三级验收把好工程质量关。根据分项工程验收标准,现浇铁塔基础验收时要求混凝土强度达到设计值,立柱断面尺寸允许偏差 $\leq -1\%$,地脚螺栓露出长度允许偏差为 $+10 \sim -50$ mm。分部工程验收是在分项工程合格的基础上,对所管辖的全部杆塔工程进行检验,铁塔结构倾斜度允许偏差直线3%、高塔1.5%、终端/转角塔5%,主材弯曲度不大于 $1/750$ 。单位工程验收是对全线全工程范围的质量进行全面复核,并且还需要对其进行电气性能(导线电阻、绝缘电阻等)、防雷性能等项目检验。验收分外观检查、仪器测量和试验检测相结合的方式进行,外观检查设备缺陷,经纬仪测量垂直度、弧垂,材料力学试验及电气性能试验检测是否达到设计要求^[5]。

3.3.2 常见质量问题的处理与整改

施工后, 线路常见基础下沉、杆塔倾斜、导线断股等缺陷和隐患, 应针对不同的问题, 分别采取措施进行整治。如基础下沉较轻(下沉量不大), 可采用灌浆加固的方法。下沉较大, 应扩大基础底面尺寸或拆掉重做, 以保证其基础承载力满足要求。如果杆塔倾斜的数值在规范的要求范围以内(如不大于 3°), 可通过紧固螺栓、增设支撑的办法来予以纠正, 否则应予重立, 并应严格控制其垂直度和杆塔基础的稳定性。导线断股按损伤程度处理, 断股少时用补修管压接修复。断股多时更换同规格导线段, 接头时要严格按操作工艺连接, 并保证导电及机械性能良好, 最后都需要经过检测合格才能投入运行。

3.3.3 线路维护与管理

线路维护管理须通过定点巡检、设备保养和及时抢修, 以维持长时间的稳定运作。巡检周期按电压等级划分为以下: 35kV ~ 110kV 每月不少于 1 次; 220kV ~ 500kV 每 2 个月不少于 1 次。750kV 及以上每年 1 季度不少于 1 次, 分别采用望远镜、红外测温仪等设备观测杆塔结构情况、导线状态、接头温度等, 并做好维护记录。设备维护主要有杆塔防腐、导线损伤修复、绝缘子清扫检测、金具紧固等。故障处理按照预案处置, 发现故障(如导线断线), 进行快速修复或者更换导线, 发现杆塔倒塌等故障现象及时清除, 并恢复重建。进行故障原因的探究, 从故障中学习经验教训, 修订运维方式和手段, 做好安全防护工作, 杜绝其他隐患发生。

4 案例分析

川渝 1000 千伏特高压交流输电工程是我国海拔最高的交流特高压工程, 线路长 1281.5 千米, 新立塔 1929 基。其中 1 标段 34.6 千米、62 基铁塔, 平均海拔 4058 米, 氧气含量仅为平原地区 60%, 穿越恶劣复杂区域, 施工难度罕见。工程投产后年输电量超 350 亿千瓦时, 提升西南电网主网架电压等级, 增强成渝地区供电能力。

在技术应用上, 基础施工按地质选用嵌固或掏挖基础;

杆塔组立平地低塔整体施工, 山区高塔采用内悬浮外拉线抱杆分解组立。架线运用张力展放技术, 完成国内首例十分裂导线展放。

工程实施全过程质量管控, 施工前严格筹备, 施工中实时监测、监理旁站, 完工后严格验收。最终工期提前 30 天, 实现零安全事故, 质量问题概率 $\leq 0.5\%$, 指标优于国标 15% 以上, 为全球高海拔及复杂地形特高压工程提供范例。



图一 川渝 1000 千伏特高压交流输电工程

5 结束语

高压输电线路施工关键技术的合理应用与全流程质量控制至关重要。唯有精准把控各环节, 才能保障工程质量与安全, 为类似项目提供有力借鉴。

参考文献:

- [1] 王亨, 姚文龙. 输电线路施工关键工程技术及控制研究 [J]. 工程技术与管理 (香港), 2024, (05): 13-15.
- [2] 张万月, 白湘玮, 李万岭. 35kV 高压输电线路导线架设施工及技术关键点研究 [J]. 电力设备管理, 2024, (17): 195-197.
- [3] 王吉浩. 输电线路施工关键工程技术及控制研究 [J]. 电力设备管理, 2024, (17): 204-206.
- [4] 马健. 电力输电线路的施工技术及质量控制策略分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(09): 362-364.
- [5] 崔斌. 输电线路施工中的质量控制技术分析 [J]. 电子技术 (上海), 2023, 52(01): 270-271.