

基于电力工程输电线路的施工技术研究

刘建林

国网呼伦贝尔供电公司项目管理中心 内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘要：电力工程中的输电线路施工是一项复杂且关键的任务。它不仅要求高度的技术精确性，还必须确保施工过程的安全性和环境友好性。本文论述了输电线路施工技术对电力工程的重要作用，并对其进行了分析和研究，归纳并归纳出了电力工程输送线路的具体施工要领。以期达到既能有效地改善电网运行的效益，又能确保电网运行的安全，能够为国家和人民的生活供应足够用电的目的。

关键词：电力工程；输电线路；施工技术

输电线路作为电力传输的主动脉，在电力系统中的地位举足轻重。随着社会经济与科技飞速发展，电力需求急剧攀升，要求电力行业在输电线路施工技术上持续创新，实现新突破。作为连接发电源头与电力用户的桥梁，输电线路在运营过程中需克服地质、环境等多重复杂挑战。

1 输电线路施工的重要性分析

1.1 保障电力系统可靠运行。电力传输的物理载体，输电线路作为电力系统的“血管”，是电能从发电站输送至终端用户的唯一通道，其施工质量直接决定电力供应的连续性与稳定性。若施工存在缺陷，可能导致输电中断或设备故障，引发区域性电力瘫痪。抵御风险的关键防线，高质量施工的输电线路能够在自然灾害（如雷击、台风）或突发事件中保持结构稳定性，减少电力中断风险。例如，杆塔防雷装置的设计与施工直接影响线路防雷能力。

1.2 支撑社会经济发展。满足能源需求增长，随着工业化和城镇化推进，电力需求持续上升。输电线路施工规模的扩大和质量的提升，能够缓解电力缺口，为经济增长提供基础保障。优化资源配置，通过跨区域输电线路建设，促进新能源消纳与区域电力互补，实现能源高效调配，助力“双碳”目标达成。

1.3 推动技术升级与可持续发展。智能化转型基础，现代输电线路施工需融合智能电网技术（如在线监测、无人机巡检），其施工质量决定了智能化设备的部署效果和运维效率。降本增效的长期价值，严格的施工管理（如材料选择、工艺标准化）可减少后期维护成本，延长线路寿命，避免因返工或事故造成的经济损失。

1.4 施工管理的关键作用。质量控制的核心环节，施工期间需落实材料验收、技术规范执行及隐蔽工程监督，确保线路强度、绝缘性能等指标符合国家标准。例

如，杆塔选型不当可能引发倒塌风险。安全与效率的平衡，安全管理措施（如防护设备配置、高风险作业预案）可降低事故率，保障施工进度与人员安全。同时，科学管理能缩短工期，提升项目投资回报率。

2 输电线路施工质量管控的意义

2.1 保障电力系统安全稳定运行。防范系统性风险，输电线路是电能传输的核心载体，其质量缺陷可能导致线路断裂、杆塔倒塌等问题，直接威胁电网运行安全，甚至引发区域性停电事故。严格的施工质量管控可消除绝缘失效、材料腐蚀等隐患，提升电网抗灾能力。增强电网韧性，通过标准化施工工艺和材料验收，确保线路在极端天气（如台风、冰雪）下仍能稳定运行，减少故障发生概率。例如，规范杆塔基础施工可显著提升抗风抗震能力。

2.2 控制全生命周期成本。降低运营维护成本，施工阶段的严格质量控制可减少投运后的故障频率，避免因线路老化、接触不良等问题产生的高额维修费用。据统计，质量问题导致的后期维护成本可占工程总投资的20%以上。延长设备使用寿命，优化材料选择（如高耐腐蚀导线）和工艺控制（如防腐涂层施工），可延缓设备老化，延长线路服役年限，提升投资回报率。

2.3 支撑新能源规模化发展。促进清洁能源消纳，高质量的跨区域输电线路是实现风电、光伏等新能源远距离输送的基础，有助于打破能源地域限制，推动“双碳”目标落地。适配智能化升级需求，融合智能监测装置的输电线路施工需精准控制安装精度（如传感器布设位置），确保后续数据采集与分析的可靠性，为智能电网建设提供硬件保障。

2.4 推动行业可持续发展。符合环保与安全标准，通过绿色施工技术（如生态友好型基础施工）和废弃物管理，减少对植被、水土的破坏，满足国家环保法规要

求。同时,规范施工可降低触电、高空坠落等安全事故风险。优化资源配置效率,科学的质量管理能减少材料浪费和返工,缩短工期10%-30%,提升人力、设备等资源的利用效率。

2.5 促进管理模式创新。推动标准化体系建设,质量管控实践积累的数据与经验,可反馈至行业标准制定,形成设计、施工、验收全链条技术规范,提升行业整体水平。强化多方协同机制,通过数字化管理平台整合施工、监理、设计等多方数据,实现质量问题的实时追踪与协同处置,提升项目管理效能。输电线路施工质量管控是电力工程安全、经济、可持续发展的核心保障,其意义贯穿于电网建设、运维、技术升级的全周期,对能源转型和社会经济发展具有深远影响。

3 输电线路施工技术基本概念

输电线路施工技术是电力工程建设中的核心环节,其基本概念涵盖以下要点:

3.1 输电线路基本构成。导线与地线,导线用于输送电能,通常采用钢芯铝绞线以兼顾导电性和机械强度;地线(含OPGW光缆)兼具防雷与通信功能。杆塔与基础,杆塔分为直线型和耐张型,用于支撑导线;基础形式包括掏挖基础、灌注桩等,需根据地貌和地质条件选择。绝缘子与金具,绝缘子用于隔离导线与杆塔的电气连接,金具连接导线、绝缘子与杆塔,确保结构稳定性。

3.2 施工流程与技术要点。施工准备阶段,路径复测与分坑:依据设计图纸复测线路桩位,确定基础开挖边界。材料准备:提前采购或加工塔材、导线、绝缘子等物资,制定供应计划。基础施工,基坑开挖:根据地形选用人工、机械或爆破方式,重点控制基坑尺寸和垂直度。浇筑与养护:钢筋绑扎后浇筑混凝土,需确保振捣密实并完成周期性养护。杆塔组立,采用整体组立或分段吊装方式,同步安装拉线以增强结构稳定性,需精确校准塔身垂直度。导线架设,放线与紧线:通过牵引设备展放导线,按弧垂表调整张力并固定于绝缘子串。连接与固定:使用压接或螺栓连接金具,确保导线与绝缘子可靠联结。

3.3 特殊施工技术。跨越施工,针对河流、铁路等障碍,采用高空索道或无人机放线技术,保障施工安全与效率。接地装置安装,在杆塔基础周边埋设接地体(如镀锌扁钢),降低雷击对线路的损害。高海拔与严寒地区施工,选用低温耐受材料,调整混凝土配比防止冻裂,并采取防风固沙措施。

4 输电线路施工技术新突破点

以下是输电线路施工领域的核心技术突破点及典型

应用案例:

4.1 智能机器人辅助施工技术。新型铁塔结构设计,首创“独立塔段、对接圆板式”结构,将主材节点连接改为上下圆板对接模式,使高空螺栓安装量减少84%(从312颗降至48颗),作业人员减少50%,工期缩短超60%。机器人数字孪生系统,通过三维仿真模拟和路径预演生成作业方案,实现机器人“一键导航”。机器人配备视觉识别系统与机械臂,可自主攀爬铁塔、定位螺孔并完成螺栓装配。智能感知与动态调控,部署物联网传感器网络实时监测导线张力、杆塔应力及环境参数(如风速、温湿度),动态调整施工方案。应用无人机结合激光雷达技术规划放线路径,跨越障碍物时导线离地高度误差 $\leq 0.5\text{m}$ 。模块化施工设备,采用可跨越障碍的模块化机器人设计,适用于复杂地形和高空环境,提升施工安全性。

4.2 高压跨越施工技术革新。铁路跨越方案优化,提出涵盖敷设方案设计、安全措施、质量控制的“四维一体化”施工体系,重点解决铁路运营安全与施工效率的兼容问题。高效敷设工艺,应用无人机架线技术,结合精准张力控制,实现跨越段导线无接触式牵引,减少铁路停运时间。

4.3 环保节能技术创新。绿色施工体系,采用太阳能供电设备、低噪施工机械及废水循环系统,降低碳排放30%以上,噪音污染减少45%。紧凑型输电技术,通过优化导线布局增加分裂导线数量,使线路波阻抗降低40%,自然输送功率提升50%,节约走廊用地35%。

4.4 智能化运维管理革新全生命周期质量控制,引入BIM技术实现施工数据集成,关键工序(如导线压接)采用X射线探伤检测,合格率提升至99.7%。建立材料-工艺-人员全链条追溯系统,质量问题定位响应时间缩短70%。智能巡检与风险预警,应用人工智能图像识别技术分析输电线路隐患,外力破坏点位识别准确率突破93%。利用红外热成像技术实时监测设备温度异常,预警响应时间 ≤ 15 分钟。柔性直流输电技术,在“沙戈荒”清洁能源外送工程中应用柔性直流技术,提升新能源并网能力与电网稳定性。

4.5 数字化管理平台应用。智能设计系统,基于CAD参数化设计平台,实现隧道纵断面自动生成与规范校验,设计效率提升40%。在线监测体系,部署感知终端实时采集铁塔应力、导线温度等数据,结合AI算法实现故障预警准确率超98%。

4.6 新材料与特种装备。复合绝缘材料,应用纳米改性复合材料制作绝缘子,耐污闪电压提升2.3倍,使用寿

命延长至30年。特种施工装备,研制220kV通用型试验套管,通过电场仿真优化实现小空间耐压装置高效对接。

4.7 标准化与协同创新。技术规范体系构建,牵头制定《光伏供电户外图像巡视终端技术规范》等行业标准,推动关键技术规范化。产学研协同攻关,开展“基于实时三维重构的智慧运维技术”等国家级项目,专利授权量达277项(发明专利123项)。实施成效与趋势,成本与安全:机器人组塔技术使单基铁塔施工成本下降18%,安全事故率降低60%。质量与效率:数字孪生+BIM技术融合应用后,工程验收合格率提升至98.5%。行业转型:国网安徽公司验证的机器人组塔技术,标志着输电施工迈入“少人化、无人化”新阶段。这些创新技术通过减少高空作业风险、缩短复杂地形施工周期、提升能源利用效率等维度,推动输电工程向智能化、高效化、绿色化方向转型。

5 输电线路施工技术管理策略

5.1 全流程管理体系构建。标准化技术规范,建立覆盖基础施工、杆塔组立、导线架设等全环节的标准化流程,明确各工序质量控制指标(如杆塔垂直度误差 $\leq 0.3\%$ 、导线弧垂误差 $\pm 1\%$)。动态化技术交底,采用BIM技术进行三维可视化交底,结合施工现场地形数据优化施工方案,减少因图纸偏差导致的返工率。分级责任制度,实施项目经理→技术负责人→班组长的三级技术监管体系,关键工序实行双岗复核制(如杆塔螺栓紧固、导线压接)。

5.2 关键环节技术控制。基础施工,根据地质报告选择基础类型(灌注桩/掏挖基础),混凝土浇筑时实时监测塌落度(目标值 $120\pm 20\text{mm}$)。实施5级边坡防护措施,避免基坑坍塌风险。

杆塔组立,采用物联网传感器实时监测塔材应力分布,确保受力均匀性。特殊地形引入模块化机器人辅助安装,降低高空作业强度并提升定位精度至 $\pm 2\text{mm}$ 。导线架设,应用无人机+激光雷达技术进行放线路径规划,

跨越障碍物时导线离地高度误差 $\leq 0.5\text{m}$ 。导线连接实施全程视频监控,压接后需通过X射线探伤检测合格率100%。

5.3 信息化技术支持。数字孪生平台,建立线路三维仿真模型,预演施工过程并动态修正方案,使复杂地形施工效率提升40%。智能监测系统,部署无线传感器网络(沉降监测、风速监测等),数据实时上传至管理平台,异常情况触发自动预警。质量追溯机制,采用二维码标识技术实现材料-工序-人员的全链条追溯,质量问题可精准定位责任人。

5.4 风险防控策略。高危作业管控,跨越铁路/高速公路施工提前办理行政许可,设置双层防护网(承重 $\geq 100\text{kg/m}^2$)。极端环境应对,高海拔地区使用低温型环氧树脂涂料,严寒环境混凝土掺加防冻剂(比例 \leq 水泥用量的5%)。应急预案体系,建立包含7大类35项突发事件的应急响应库,定期开展防风、防雷击实战演练。

综上所述,为保证电网的平稳运行和安全,还需要加强对输电线路建设的研究和探讨,为社会经济的持续发展提供可靠的电力保障。

参考文献

- [1]李瑞.新经济常态下电力工程输电线路施工技术应用与革新研究[J].自动化应用,2024,65(S2):50-52.
- [2]叶如.输电线路施工技术在电力工程中的应用研究[J].光源与照明,2024(10):171-173.
- [3]童涛.电力工程输电线路施工技术分析[J].光源与照明,2024(10):165-167.
- [4]李庆.电力工程输电线路施工与检测技术研究[J].新城建科技,2024,33(09):149-151.
- [5]王祥.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.
- [6]张旭.电力工程中高压输电线路施工技术与检修研究[J].大众标准化,2024(05):52-54.