

输电线路工程关键技术研究

王 庆

桐庐电力开发有限公司 浙江 杭州 311500

摘 要：随着电力需求如潮般持续增长，输电线路工程重要性愈发凸显。本文聚焦输电线路工程关键技术研究。先概述输电线路工程，接着深入剖析基础施工、杆塔结构优化、架线工艺、智能化监测、防灾减灾等关键技术。这些技术对保障输电线路稳定运行、提升工程质量与效率意义重大。同时，探讨了机械化施工装备升级、绿色低碳技术创新、数字化与智能化融合、新型材料与结构突破等关键技术的发展趋势，旨在为输电线路工程的技术进步与发展提供参考与指引。

关键词：输电线路工程；关键技术；发展趋势

引言：在当今社会，电力作为核心能源，对各行业发展及人们生活起着关键支撑作用。输电线路工程作为电力传输的重要载体，其建设质量与运行稳定性直接关乎电力供应的可靠性与安全性。随着科技的飞速发展以及社会对电力需求的持续增长，输电线路工程面临着更高要求与挑战。深入研究输电线路工程关键技术，不仅有助于提高工程建设水平、降低成本，还能更好地适应复杂环境与多样化需求，对推动电力行业可持续发展具有重要意义。

1 输电线路工程的概述

(1)从定义与基本构成来看，输电线路工程是电力系统中负责电能传输与分配的关键环节，它主要由导线、绝缘子、杆塔、金具以及基础等部分组成。导线承担着传输电能的重任，其材质与截面积的选择直接影响着输电能力和效率；绝缘子用于隔离导线与杆塔，防止漏电事故发生，保障输电安全；杆塔则起到支撑导线的作用，依据不同的地形、电压等级等因素，有直线杆塔、耐张杆塔等多种类型；金具用于连接和固定导线、绝缘子等部件；基础则是杆塔的稳固根基，确保杆塔在各种外力作用下保持稳定。(2)在功能与重要性方面，输电线路工程是连接发电厂与用电负荷中心的桥梁，它能够将发电厂产生的电能高效、稳定地输送到各个地区，满足工业生产、居民生活等不同领域的用电需求。其稳定运行对于保障社会经济的正常运转至关重要，一旦输电线路出现故障，可能导致大面积停电，给社会生产和生活带来严重损失。而且，合理的输电线路布局和规划，还能提高电力系统的可靠性和灵活性，增强应对突发情况的能力。(3)就分类与特点而言，输电线路工程可按电压等级分为高压、超高压和特高压输电线路等。不同电压等级的线路在传输容量、传输距离、技术要求等方面存

在差异。例如，特高压输电线路具有传输容量大、输电距离远、线路损耗低等优点，适合大规模、远距离的电能输送；而低压输电线路则更侧重于局部区域的电力分配，具有布线灵活、建设成本相对较低等特点^[1]。

2 输电线路工程的关键技术

2.1 基础施工技术

输电线路工程的基础施工技术是保障线路稳定运行的核心环节，其技术选择需紧密结合地质条件、环境特征及工程需求。(1)地质适应性技术是基础施工的首要考量。针对软土地基，常采用复合式沉井基础，通过地上台阶基础与地下钢筋混凝土沉井的组合，有效解决流砂问题，增强基础稳定性。对于岩石地基，未风化或低风化岩石可采用钢钎打孔埋入法，而风化严重岩石则需保证基础整体性，避免开挖过程中岩石层断裂。此外，人工掏挖桩技术适用于土质较好的区域，利用原状土减少造价，同时需通过衬垫塑料布防止土壁塌落。(2)施工工艺优化技术是提升基础质量的关键。在基坑开挖阶段，需根据土质条件选择人工或机械开挖方式，并严格控制开挖深度与边坡坡度，防止坍塌事故。对于地下水位较高的区域，井点排水法通过埋设滤水器和井管降低水位，为开挖创造干燥环境。混凝土浇筑阶段，需严格控制砂石比和水泥用量，采用分层振捣工艺确保密实度，同时通过土壁衬垫塑料布防止混凝土与土层直接接触导致的缺陷。(3)特殊环境应对技术是保障复杂地质条件下施工安全的重要手段。在冻土地区，需根据冻胀和融沉特性采用排水隔水法或换填法处理地基；在山区施工时，需沿等高线开挖接地沟，避免水土流失。此外，对于跨河或软土地基，钻孔灌注桩技术通过泥浆护壁和二次清孔工艺，确保桩基承载力满足设计要求。

2.2 杆塔结构优化技术

杆塔作为输电线路的关键支撑结构，其结构优化直接关系到线路的安全性、经济性与运行稳定性。随着电网规模扩大与运行环境复杂化，杆塔结构优化技术需兼顾力学性能提升、材料高效利用及环境适应性增强。(1)轻量化与高强度材料应用是结构优化的核心方向。传统杆塔多采用钢材，但存在自重大、运输安装成本高的问题。近年来，高强度钢材（如Q420、Q460）的广泛应用显著提升了杆塔的承载能力，同时通过优化截面形状（如多边形、圆锥形）减少材料用量。此外，复合材料杆塔（如玻璃钢杆塔）凭借其耐腐蚀、绝缘性能好、重量轻的特点，在沿海及腐蚀性环境中展现出独特优势，有效降低了全生命周期维护成本。(2)结构拓扑优化与模块化设计技术提升了杆塔的适应性与施工效率。通过有限元分析（FEA）与拓扑优化算法，可针对不同电压等级、地形条件（如山区、平原）设计出最优杆塔结构，减少冗余材料。模块化设计则将杆塔分解为标准节段，实现工厂预制与现场快速组装，显著缩短施工周期。(3)智能化监测与动态调整技术为杆塔安全运行提供保障。在杆塔关键部位（如腿部、横担）嵌入光纤光栅传感器或无线振动监测装置，可实时采集应力、变形数据，结合大数据分析预测结构疲劳与损伤。同时，针对极端天气（如台风、覆冰），动态调整杆塔结构参数（如预应力、阻尼系数），增强其抗灾能力。

2.3 架线工艺技术

架线工艺是输电线路工程的核心环节，直接影响线路的电能传输效率与运行安全。随着电网电压等级提升与施工环境复杂化，架线工艺需兼顾高效性、精准性与环境适应性，以满足现代电力系统的需求。(1)张力架线技术成为高压及超高压线路施工的主流方法。该技术通过牵引机、张力机等设备控制导线展放过程中的张力，避免导线与地面摩擦造成的损伤，同时减少弧垂波动，确保线路参数符合设计要求。在特高压线路施工中，八分裂导线同步展放技术进一步提升了施工效率，通过多台牵引机协同作业，实现八根子导线同步架设，大幅缩短工期。(2)紧线与附件安装工艺的精细化控制保障了线路运行稳定性。紧线过程中，采用液压紧线器与角度测量仪，精确控制导线弧垂，确保线路在极端天气下的安全距离。附件安装方面，预绞式金具因其安装便捷、耐腐蚀性强，逐步替代传统螺栓式金具，尤其在沿海高盐雾环境中表现突出。(3)特殊环境架线技术的创新应对了多样化施工挑战。在跨越高速公路、铁路等繁忙区域，采用跨线架与封网施工结合的方式，确保施工安全与交通畅通。对于覆冰严重地区，研发自融冰导线与热力除

冰装置，结合架线工艺优化，降低冰灾对线路的影响。

2.4 智能化监测技术

智能化监测技术是输电线路工程实现高效运维与安全保障的核心手段，通过集成物联网、大数据、人工智能等技术，实现对线路状态的实时感知、风险预警与智能决策，显著提升电网运行的可靠性与经济性。(1)多源传感器融合技术构建了全面感知网络。在输电线路关键部位（如导线、杆塔、绝缘子）部署温度、应力、振动、倾斜等多类型传感器，实时采集线路运行数据。例如，光纤光栅传感器可精准监测导线弧垂与温度变化，无线振动传感器能捕捉杆塔在风振、覆冰等工况下的动态响应，而图像识别装置则通过高清摄像头与AI算法，自动识别绝缘子污秽、金具松动等缺陷。多源数据融合技术进一步将传感器数据与气象、地理信息结合，形成线路状态的立体化感知体系。(2)边缘计算与云平台协同实现了数据的高效处理。边缘计算设备在现场对传感器数据进行预处理与初步分析，筛选出异常数据并实时上传至云平台，减少数据传输压力。云平台则通过大数据分析、机器学习模型，对线路历史运行数据与实时监测数据进行深度挖掘，预测设备寿命、识别故障模式。(3)数字孪生与智能决策技术推动了运维模式的变革。通过构建输电线路的数字孪生体，模拟线路在不同工况下的运行状态，实现虚拟与现实的双向交互。当监测系统发现异常时，数字孪生体可快速定位故障点，分析故障原因，并生成最优维修方案。同时，结合无人机、机器人等自动化设备，实现故障的精准定位与快速修复，大幅缩短停电时间，提升电网应急响应能力。

2.5 防灾减灾技术

防灾减灾技术是输电线路工程保障电网安全稳定运行的核心手段，通过风险预控、结构强化与应急处置相结合，全面提升线路抵御自然灾害及人为破坏的能力，确保电力供应的连续性与可靠性。(1)灾害监测与预警技术构建了主动防御网络。依托气象卫星、地面传感器及物联网技术，构建多层级灾害监测体系，实时采集风速、温度、湿度、地质振动等数据，结合数值模型与历史灾害数据库，对台风、暴雨、山火、地震等灾害进行精准预警。通过设定分级预警阈值，系统可自动触发应急响应流程，提前调整线路运行方式，如降低负荷、分段停电等，避免灾害扩大化。(2)结构抗灾设计与材料创新技术增强了线路韧性。针对不同灾害类型，优化杆塔、导线及绝缘子的结构设计。例如，采用桁架式杆塔提升抗风能力，通过增加横担长度与塔身刚度，降低风偏角；研发耐候钢与防腐涂层，延长杆塔在盐雾、酸雨

环境中的使用寿命；开发高强度铝合金导线，提高导线抗拉强度与耐热性能，减少因覆冰、舞动导致的断线风险。(3)应急响应与灾后修复技术实现了快速恢复能力。建立“平战结合”的应急管理体系，平时通过仿真演练优化抢修流程，储备移动式发电车、无人机巡检系统等关键装备；战时启动应急指挥中心，协调跨区域抢修队伍与物资调配。采用预制化抢修单元，如标准化杆塔段、快速连接金具，结合直升机吊装技术，大幅缩短故障修复时间^[2]。

3 输电线路工程关键技术的发展趋势

3.1 机械化施工装备升级

未来输电线路施工将加速向全流程机械化转型。大型起重设备将集成智能控制与远程操作功能，实现杆塔组立、导线展放的精准作业；无人机群协同作业技术将应用于地形测绘、物资运输及初导展放，突破复杂地形限制；模块化施工装备通过标准化设计，支持快速组装与多功能切换，适应不同电压等级线路需求。此外，装备的自动化水平将显著提升，如自动紧线机、智能焊接机器人等，减少人工干预，提高施工效率与安全性，推动输电线路建设向高效、精准方向演进。

3.2 绿色低碳技术创新

绿色低碳技术将成为输电线路工程的核心发展方向。施工阶段将推广电动化装备与清洁能源供电系统，减少燃油消耗与碳排放；线路设计将优化路径与杆塔结构，降低材料用量与土地占用；运行阶段将发展低损耗导线、环保绝缘材料及节能金具，减少电能传输损耗。同时，生态修复技术将与施工同步实施，通过植被恢复、水土保持等措施，降低对自然环境的影响。此外，碳足迹追踪与评估体系将完善，推动全生命周期碳排放管理，助力电网实现“双碳”目标。

3.3 数字化与智能化融合

数字化与智能化技术将深度融入输电线路全生命周期管理。基于BIM的数字孪生技术将构建线路三维模型，实现设计、施工、运维的虚拟仿真与优化；5G+物联网技术将部署高密度传感器网络，实时采集线路状态数

据，结合AI算法进行故障预测与健康评估；无人机、机器人等自动化设备将实现巡检、维修的无人化操作，提升应急响应速度。此外，大数据分析平台将整合气象、地质、运行等多源数据，为决策提供智能支持，推动输电线路向“自感知、自诊断、自修复”的智慧电网方向演进。

3.4 新型材料与结构突破

新型材料与结构创新将显著提升输电线路的性能与适应性。高强度、轻量化复合材料（如碳纤维杆塔、铝合金导线）将逐步替代传统钢材，降低线路自重与荷载影响；耐候钢、防腐涂层等材料将延长设备使用寿命，减少维护成本；自修复材料与智能涂层技术将实现损伤的自动检测与修复。结构方面，模块化、标准化设计将提升杆塔的通用性与互换性；柔性结构（如可调式杆塔、自适应导线）将增强线路对极端天气（如台风、覆冰）的抵御能力。此外，3D打印技术将应用于复杂结构制造，推动个性化设计与快速建造^[3]。

结束语

输电线路工程关键技术研究是推动电网高质量发展、保障能源安全的核心驱动力。从机械化施工装备的智能化升级，到绿色低碳技术的创新突破；从数字化与智能化技术的深度融合，到新型材料与结构的颠覆性应用，每一项技术进步都在重塑输电线路的建设与运维模式。未来，随着“双碳”目标的深入推进与能源互联网的快速发展，输电线路工程需持续聚焦技术前沿，强化跨学科协同创新，构建安全、高效、绿色的现代电网体系，为全球能源转型与可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]张洪彬.关于电网工程输电线路施工技术要点分析[J].科技风,2021(09):134-135
- [2]田海军.论电网工程输电线路施工技术要点[J].信息化建设,2022(11):178-179
- [3]黄良泉.高压直流输电线路继电保护关键技术分析[J].中国机械,2023,(36):265-269.