

电力工程高压输电设计措施

方 革

广西鑫源电力勘察设计有限公司 广西 钦州 535000

摘 要：电力工程高压输电设计需以科学性与安全性为核心，通过精细化勘测与动态优化路径选择规避地质灾害区，采用双回路终端塔与深埋/横向延展接地技术降低施工风险与接地电阻。设计阶段需强化防雷系统，结合地形调整避雷线保护角，并选用高强度耐张线夹保障导线连接可靠性。杆塔基础设计应结合岩土特性采用钢筋混凝土浇筑，同时通过实时监测与智能预警系统提升运维效率，确保高压输电工程全周期经济性与安全性。

关键词：电力工程；高压输电；设计措施

引言：随着社会经济发展与能源需求持续增长，高压输电工程作为电力系统“大动脉”，其设计水平直接关系到电网运行的安全性与经济性。当前，高压输电线路面临着跨区域长距离输送、复杂地形穿越、极端气候应对等多重挑战，传统设计方法已难以满足新型电力系统建设要求。本文聚焦高压输电设计关键环节，从路径规划、防雷接地、杆塔结构、设备选型及智能运维等方面提出系统性优化措施，旨在提升工程可靠性，为构建安全高效、绿色低碳的现代电网提供理论支撑与实践参考。

1 电力工程高压输电线路设计基础理论

1.1 高压输电基本原理

(1) 电压等级划分与适用场景：我国高压输电电压等级主要分为110kV、220kV、330kV、500kV、750kV、1000kV等。其中110-220kV多用于区域电网联络及城市供电；330-500kV适用于省际骨干网架；750kV以上特高压则用于跨区域远距离大容量输电，可有效降低输电损耗、节约走廊资源。(2) 输电线路参数计算：电阻由导线材料电阻率、截面积及温度决定，主要影响有功损耗；电抗源于导线电感，是高压线路阻抗的主要成分，与导线排列方式、几何平均距离相关；电纳由导线对地电容产生，决定线路容性无功功率，受导线高度、半径影响，需通过精准计算保障电路分析准确性。(3) 功率传输与损耗模型：功率传输极限受电压等级、线路阻抗制约，遵循功率角特性规律；损耗主要包括电阻发热的有功损耗和电晕损耗，其模型需整合线路参数、传输功率、运行电压等因素，用于评估线路经济性和优化设计方案^[1]。

1.2 设计关键影响因素

(1) 自然环境因素：强风、暴雨、覆冰等气候条件影响线路机械强度；山地、丘陵等地形决定线路走向和杆塔选型；地质稳定性直接关系杆塔基础承载力，需通过现场勘查规避风险。(2) 电磁环境影响：输电线路运

行产生的低频电磁场需满足环保限值；潮湿天气下的电晕可听噪声需控制在居民耐受范围，设计中通过优化导线排列、选用大截面导线等措施降低影响。(3) 政策与标准约束：需符合生态环保要求，避开自然保护区等敏感区域；严格遵守导线与建筑物、地面的安全间距标准；衔接土地利用规划，节约耕地，减少拆迁成本。

2 电力工程高压输电设计核心技术措施

2.1 路径选择与优化设计

(1) 基于GIS的路径规划方法：借助地理信息系统(GIS)整合地形地貌、土地利用、交通管网、生态保护等多源空间数据，构建可视化路径规划平台。通过叠加分析、缓冲区分析等功能，快速排查禁忌区域，初步筛选可行路径走廊；结合遥感影像与现场勘查数据，精准识别路径中的障碍物，为路径细化设计提供数据支撑，大幅提升规划效率与精准度。(2) 多约束条件下的路径优化模型：构建以全生命周期成本最低为核心目标，兼顾施工难度与环境影响的多约束优化模型。成本约束涵盖征地、材料、施工等费用；施工难度约束重点考量地形复杂度、跨越物数量等因素；环境影响约束需规避生态敏感区，控制植被破坏与水土流失。通过层次分析法确定各约束权重，采用智能算法求解最优路径方案^[2]。(3) 典型案例分析：山区线路案例中，通过GIS选址避开悬崖、滑坡区域，采用“沿等高线布线+隧道穿越”组合方案，减少杆塔数量与地形开挖，降低施工难度与生态破坏；跨江跨海线路案例中，结合水文地质勘察数据，优化选择河床稳定、水深较浅的跨越点，采用大跨度悬索桥或电缆敷设方案，同时强化抗台风、抗腐蚀设计，保障线路安全稳定运行。

2.2 导线与杆塔设计优化

(1) 导线选型与经济电流密度计算：导线截面选型需结合传输容量与经济电流密度，通过技术经济比较确

定最优值,确保导线在安全载流量范围内运行且损耗合理;材料优先选用高强度铝合金、钢芯铝绞线等,兼顾强度与导电性能;分裂数根据电压等级优化,超高压线路多采用4-8分裂导线,降低电晕损耗与电磁干扰。经济电流密度计算需综合考虑电价、导线成本、损耗费用,动态匹配不同负荷工况。(2)杆塔结构轻量化与抗灾设计:采用高强钢材与优化结构形式实现杆塔轻量化,减少材料用量与基础承载压力;抗风设计通过风洞试验确定杆塔风荷载系数,优化杆塔体型系数与挡风面积;防冰设计选用防冰导线、增设融冰装置,强化杆塔节点强度;防震设计采用阻尼器、防震锤等装置,抑制导线微风振动与次档距振荡,延长设备使用寿命。(3)模块化杆塔设计应用:采用标准化模块拆分杆塔结构,实现工厂预制、现场组装,大幅缩短施工周期;模块可根据不同地形、电压等级灵活组合,提升设计通用性与适应性;预制模块通过标准化质量管控,降低现场施工误差,同时便于后期维护更换,提升全生命周期经济性^[3]。

2.3 绝缘与防雷设计

(1)绝缘子串配置与污秽区设计:根据地区污秽等级选择合适类型的绝缘子,重污秽区优先选用复合绝缘子或防污型玻璃绝缘子,提升绝缘性能;合理配置绝缘子串长度与片数,确保满足爬距要求;污秽区设计需定期监测污秽度,采用清扫周期优化、涂层防护等措施,防止绝缘子闪络故障。(2)接地装置优化与防雷保护范围计算:优化接地装置结构,采用水平敷设与垂直接地极组合方式,在土壤电阻率高的区域采用降阻剂或换土措施,降低接地电阻;基于滚球法或折线法计算避雷针、避雷线的防雷保护范围,确保线路全线覆盖;强化杆塔接地引下线连接可靠性,提升雷电流泄放能力。(3)差异化防雷策略:山区线路因地形复杂、雷电活动频繁,采用“避雷线+加强绝缘+线路避雷器”三重防护,缩短杆塔间距提升保护效果;平原线路重点优化避雷线保护角,强化接地装置性能,降低雷击跳闸率;沿海地区兼顾防雷与防腐蚀,选用耐腐蚀接地材料与绝缘子,同时防范台风天气下避雷线脱落风险。

2.4 电磁环境控制措施

(1)工频电场/磁场抑制技术:通过提升导线对地高度,增大导线与地面的距离,降低地面工频电场强度;优化导线分裂间距,合理布置导线排列方式,减少导线间电磁耦合,抑制工频磁场叠加;对靠近居民区的线路,采用紧凑型布置或增设屏蔽措施,确保电磁环境符合国家标准。(2)可听噪声与无线电干扰限值标准:严格遵循相关国标要求,控制可听噪声在白天 $\leq 55\text{dB}$ 、夜间

$\leq 45\text{dB}$;无线电干扰在0.5MHz频率下,距导线20m处限值 $\leq 53\text{dB}\mu\text{V/m}$ 。通过选用大截面导线、优化导线表面光洁度、控制分裂间距等措施,降低电晕产生的可听噪声与无线电干扰^[4]。(3)生态保护设计:路径规划避开鸟类迁徙通道与栖息地,在鸟类活动频繁区域增设防鸟装置,防止鸟类筑巢导致线路短路;针对线路沿线植被,选用低影响施工工艺,避免破坏原生植被,对占用的林地制定植被恢复方案;合理控制导线与树木的安全距离,采用定向修剪而非大面积砍伐,实现工程建设与生态保护协同发展。

3 电力工程高压输电设计经济性分析

3.1 全生命周期成本模型

(1)初始投资成本:作为成本核心构成,材料成本占比最高,涵盖导线、杆塔、绝缘子等核心部件,其价格受钢材、铝材等原材料市场波动影响显著;施工成本与地形复杂度、施工工艺相关,山区、跨江跨海线路因需特殊设备与防护措施,施工成本显著提升;征地成本取决于路径所经区域土地性质,耕地、城区地段的征地补偿费用远高于荒地,合理路径规划可有效控制该部分支出。(2)运行维护成本:检修成本包含日常巡检、故障抢修及定期维护费用,偏远区域线路因交通不便会增加巡检成本;能耗成本主要为导线电阻损耗产生的电能损失,与导线选型、运行负荷密切相关;更换成本针对老化部件,如绝缘子、金具等,其金额与设备寿命及材质可靠性正相关,优质材料可降低长期更换频次。(3)故障损失成本与可靠性价值评估:故障损失成本包括停电造成的工业生产损失、居民生活影响及线路修复费用,输电容量越大、供电范围越广,故障损失越高;可靠性价值评估需量化线路稳定运行的效益,通过计算停电损失避免金额、供电保障溢价等,衡量设计方案的可靠性对整体经济性的正向贡献,为成本投入与可靠性提升的平衡提供依据。

3.2 经济性优化方法

(1)动态经济比较法:净现值通过将全生命周期内各年度成本与收益折算为现值,评估方案的绝对经济性,现值为正则方案可行;内部收益率反映方案的实际盈利水平,与基准收益率对比可判断经济性优劣,二者结合可实现不同设计方案的动态量化对比,规避静态分析的局限性。(2)敏感性分析与风险评估:针对原材料价格波动、负荷变化、利率调整等关键变量,分析其对总成本的影响程度,识别敏感因素;结合风险概率模型,评估各风险因素发生的可能性及损失规模,制定应对预案,如通过长期协议锁定材料价格,降低成本波动风险。(3)

多目标决策模型：突破单一成本优化的局限，构建涵盖成本、可靠性、环保的多目标模型。通过权重分配平衡三者关系，如在生态敏感区适当提高环保投入，在工业核心区优先保障可靠性，最终输出兼顾经济性、安全性与可持续性的最优设计方案。

4 电力工程高压输电设计安全与可靠性保障

4.1 安全距离与防护设计

(1) 导线对地/交叉跨越安全距离计算：依据电压等级、导线最大弧垂及气象条件（如高温、覆冰），精准计算导线对地安全距离，确保行人、车辆通行安全；针对交叉跨越公路、铁路、河流及其他电力线路的场景，结合跨越物重要程度，预留额外安全裕度，采用差异化距离标准，同时考虑导线风偏影响，避免大风天气下发生放电闪络事故。(2) 施工安全风险评估与防控措施：施工前全面排查地形、地质、气象等风险因素，识别高空作业、起重吊装、动火作业等关键环节的安全隐患，量化风险等级；针对性制定防控措施，如高空作业搭建安全防护架、恶劣天气暂停户外施工、对施工人员开展专项安全培训，同时配备应急救援设备与人员，建立实时风险监控机制，保障施工全过程安全。

4.2 智能监测与运维技术

(1) 在线监测系统：部署分布式在线监测设备，实时采集导线温度、弧垂、舞动等核心运行参数，结合气象数据构建预警模型，当参数超出安全阈值时自动触发告警，为运维决策提供数据支撑，提前规避过载、断线等故障风险。(2) 无人机巡检与故障定位技术：采用无人机搭载高清摄像头、红外热成像仪开展巡检，替代人工完成偏远山区、跨江跨海等复杂区域的线路巡查，提升巡检效率与覆盖面；结合GPS定位与故障录波数据，实现故障点精准定位，缩短故障排查时间，为快速抢修奠定基础。(3) 数字化孪生技术在设计验证中的应用：构建输电线路数字化孪生模型，整合地形、杆塔、导线等全要素数据，模拟不同气象条件、负荷工况下的线路运

行状态，验证设计方案的安全性与可靠性，提前发现设计缺陷并优化，降低后期改造调整成本^[5]。

4.3 应急响应与灾后恢复设计

(1) 极端天气下的抗灾能力提升：针对台风、暴雪、覆冰等极端天气，优化杆塔结构强度设计，选用抗风防冰型导线与金具，在灾害高发区域增设加固装置；提前制定极端天气应急预案，明确应急值守、物资储备、人员调配等流程，提升灾害应对能力。(2) 快速修复方案与备用线路规划：制定标准化快速修复流程，预制关键零部件储备库，简化抢修施工工艺，缩短故障修复时间；结合供电负荷重要性，规划备用线路与联络开关，构建“N-1”供电保障体系，在主线路故障时快速切换供电，降低停电影响，保障核心负荷持续供电。

结束语

高压输电设计作为电力工程的核心环节，其科学性与合理性直接影响电网的安全稳定运行与能源输送效率。本文通过路径优化、防雷强化、杆塔结构创新及智能化运维等措施的系统阐述，为提升高压输电工程适应性提供了技术路径。未来，随着新材料、数字化技术的深度融合，高压输电设计需持续突破技术瓶颈，兼顾经济性与环保性，推动电网向智能化、韧性化方向演进，为构建新型能源体系提供坚实支撑。

参考文献

- [1]池英镑.高压输电线路设计工作中应注意的关键点分析[J].科技资讯,2024,22(16):92-94.
- [2]雷李波,张波.高压输电线路设计工作中应注意的要点[J].低碳世界,2023,13(08):70-72.
- [3]马德鹏,关云萍.输电线路设计中线路路径的选择[J].光源与照明,2023,(07):174-176.
- [4]王亮.架空高压输电线路工程设计及施工要点分析[J].大众标准化,2023,(02):108-110.
- [5]王勇.电力工程高压输电线路设计应用研究[J].电力设备管理,2025,(06):224-226.