

输变电运维中的环境适应性与防灾减灾策略

赵婷

内蒙古电力(集团)有限责任公司巴彦淖尔市乌拉特后旗供电分公司 015500

DOI: 10.12238/ems.v7i4.12711

[摘要] 输变电运维中的环境适应性与防灾减灾是保障电力系统安全稳定运行的核心内容。环境适应性要求设备能够应对极端气候、复杂地理条件及人为干扰,通过采用耐候性材料、优化设计、部署智能监测系统及定期测试,提升设备在恶劣环境下的可靠性。文章研究了台风、地震以及冰雪天气对输变电系统的影响,然后提出了设备选型与设计优化、加强环境好监测与预警、加强定期维护与保养以及增强环境适应性测试等方面提出了提升输变电运维中环境适应性的对策,然后论述了建立应对极端天气和突发灾害的输变电运维应急响应机制的策略,旨在提升输变电运维的环境适应性,为社会发展的防灾减灾奠定基础,助力社会的和谐稳定发展。

[关键词] 输变电运维; 环境适应性; 防灾减灾; 环境监测

引言

自然环境和灾害对输变电系统的安全运行构成严峻挑战。极端气候如台风、暴雨、冰雪等直接冲击电网设施,导致线路覆冰、杆塔倾倒或绝缘失效;地震、滑坡等地质灾害则可能摧毁变电站基础结构,引发连锁故障。高温干旱加速设备老化,山火易引燃输电线路;洪涝灾害不仅损毁电缆通道,还可能引发短路风险。输变电运维中的环境适应性与防灾减灾面对这一挑战,环境适应性与防灾减灾不再仅是技术优化的附加项,而是成为维系电力系统“生命力”的核心命题。从材料革新到智能监测,从灾害模拟到应急调度,现代输变电运维正逐步构建起多维度的适应与防御网络,以期在气候变化与灾害风险交织的新常态下,为经济社会筑牢能源安全的铜墙铁壁。

一、自然灾害对输变电系统的影响

(一) 台风

台风作为破坏性极强的自然灾害,对输变电系统构成多维度威胁。其带来的强风、暴雨和风暴潮往往引发连锁灾害,导致电网设施严重损毁。强风可直接摧毁输电杆塔,当风速超过 30 米/秒(11 级)时,钢制杆塔可能因共振或过载倾倒,导线剧烈震荡引发断裂;沿海地区的风暴潮裹挟海水冲击变电站,不仅腐蚀设备,更可能淹没地下电缆通道,造成短路风险。暴雨引发的洪水冲蚀杆塔基础,导致山体滑坡掩埋线路走廊,同时雨水渗入变压器等核心设备,诱发绝缘失效。此外,台风裹挟的杂物(如折断树木、广告牌)可能砸断导线或击穿绝缘子,形成永久性故障点^[1]。

(二) 地震

强震波导致变电站建筑物(如控制楼、设备支架)结构失稳,变压器、断路器等重型设备因震动位移或倾倒,引发短路风险。地下电缆通道因土壤液化或地面开裂受损,尤其是穿越活动断层的线路面临断缆危机。输电线路杆塔因地基失效或塔身疲劳倾斜倒塌,山区线路更易因滑坡、滚石等次生地质灾害中断。此外,地震引发的火灾风险不容忽视:变压器油泄漏遇火花可能爆炸,气体绝缘设备(GIS)因密封破坏导致内部电弧放电。而且变电站全停导致区域供电“黑启动”困难,医院、通信基站等关键负荷断电加剧救援难度;输电线路损毁使灾区成为“电力孤岛”,延缓灾后恢复进程。例如,2008 年汶川地震导致北川等重灾区电网完全瘫痪,抢修需跨越道路中断、余震频发等障碍^[2]。

(三) 冰雪

低温环境下,输电线路导线、绝缘子串及杆塔表面易形成覆冰层,显著增加机械载荷——当冰厚超过设计阈值(如 30mm)时,导线可能因过载断裂,杆塔因偏心荷载倾倒。覆

冰还可能引发“冰凌桥接”现象,绝缘子表面冰层在融冻循环中形成导电水膜,导致闪络跳闸,尤其在高温山区,冰闪概率提升 50%以上。融冰期脱冰跳跃易引发导线相间短路,弧垂增大可能接近或触碰下方交叉跨越物;变电站设备覆冰后,断路器操动机构卡涩、互感器伞裙放电风险陡增。2008 年中国南方冰灾中,贵州、湖南等地电网因持续冻雨出现“串糖葫芦式”倒塔,部分线路停电超 30 天,凸显极端冰雪天气的破坏力^[3]。

二、提升输变电运维中环境适应性的对策

(一) 设备选型与设计优化

提升输变电环境设备选型与设计优化的核心策略在于构建“环境适应-灾害防御-智能运维”一体化韧性体系。设备选型需针对区域气候特征采用差异化方案,如高寒地区选用低温韧性钢材、沿海区域部署耐腐蚀铝合金杆塔,并推广自阻尼导线、复合绝缘子等耐候性组件;结构设计需强化抗灾冗余度,通过动态风洞试验优化塔线耦合体系,采用不等高基础、阻尼器配置降低地震响应,开发可旋转式覆冰脱落结构减少冰灾风险。材料层面应融合仿生学原理,研发超疏水涂层防止覆冰粘连,利用形状记忆合金实现极端变形自复位。设计优化需结合数字孪生技术构建多物理场耦合模型,模拟台风风场、地震波谱、冻雨覆冰等灾害场景,迭代优化设备参数;同步嵌入智能化监测模块,如光纤光栅传感器实时感知应变、局部放电监测单元预警绝缘劣化,形成“监测-评估-预警”闭环。此外,需建立全生命周期韧性评价体系,将环境荷载适应性纳入设备采购标准,通过模块化设计预留灾后快速抢修接口,并开发基于无人机巡检的灾损评估算法,实现应急响应效率提升^[4]。

(二) 加强环境监测与预警

依托卫星遥感、北斗定位及无人机巡检技术建立多维环境感知网络,实时采集线路走廊微气象、地质位移及植被生长数据;在设备本体部署光纤光栅传感器、声波检测仪及红外热像仪,实现结构应力、局部放电及温升状态的在线监测。通过边缘计算与数字孪生技术构建动态预警模型,结合历史灾害数据与实时环境参数,利用机器学习算法识别覆冰增长、塔基沉降等隐患特征,建立设备指纹库与风险阈值判定机制。开发分级预警系统,针对台风路径、地震烈度及雨雪冰冻等灾害场景,自动生成脆弱性评估报告并推送差异化处置预案。同时构建多源异构数据融合的应急指挥平台,整合气象预报、设备状态及抢修资源信息,通过虚拟现实技术模拟灾害演进路径,辅助决策人员动态调整运维策略^[5]。

(三) 加强定期维护与保养

基于设备全生命周期管理理论,制定差异化维护策略:

对高故障率部件（如变压器套管、GIS 密封圈）采用“状态检修+定期更换”模式，结合红外测温、局部放电检测数据动态调整检修周期；针对线路杆塔、绝缘子等户外设备，建立“季节性巡检+环境适配”方案，如高寒地区冬季加强覆冰监测与融冰装置测试，沿海地区定期喷涂防腐涂层并检测盐密值^[6]。引入智能运维技术，如机器人巡检系统完成高空设备红外扫描与螺栓紧固力检测，无人机搭载激光雷达扫描线路走廊植被隐患，结合三维建模技术实现缺陷定位精度提升至厘米级。建立数字化维护档案，通过物联网传感器实时监测设备劣化趋势，利用大数据分析预测潜在故障点，例如振动监测识别轴承早期缺陷，油色谱分析预判变压器内部故障。同步强化运维人员技能认证体系，推行“理论培训+实景模拟”双轨制，确保复杂工况下应急处理能力。通过“计划性维护-预测性维护-主动性保养”闭环管理，实现设备可靠性提升30%以上，故障修复时间缩短50%，为电网安全运行提供长效保障^[7]。

（四）增强环境适应性测试

应建立全面的测试标准体系，明确不同环境条件下（如极端高温、低温、高湿、强风、盐雾等）设备性能的评估指标，确保测试的科学性和规范性；其次，引入先进的模拟测试技术，利用环境模拟实验室或数字孪生技术，对输变电设备在各种极端环境下的运行状态进行高精度模拟，提前发现潜在问题并优化设计；同时，加强测试数据的采集与分析，通过部署传感器和物联网设备，实时监测设备在真实环境中的运行数据，结合大数据分析和人工智能技术，挖掘环境因素对设备性能的影响规律，为后续改进提供数据支撑^[8]。此外，应注重测试的全面性和持续性，不仅针对新设备进行出厂前的环境适应性测试，还要对在运设备进行定期测试和评估，确保其在整个生命周期内都能适应复杂多变的环境条件；最后，推动行业协作与标准化，鼓励设备制造商、运维单位和科研机构共同参与测试标准的制定和技术研发，形成统一的测试规范和技术共享平台，提升整个行业的环境适应性测试水平。

三、建立应对极端天气和突发灾害的输变电运维应急响应机制的策略

（一）构建多层次灾害预防与准备体系

基于地理信息技术建立电网灾害风险热力图，结合历史灾害数据和实时环境参数，划分高、中、低风险区域。针对台风走廊、地震带、洪涝区等特殊区域，制定差异化设备选型标准，如沿海地区采用抗风等级35m/s以上的杆塔，地震带部署隔震基础与柔性支架。

设备抗灾能力强化，推广耐候性导线（如殷钢芯铝合金绞线）、防冰涂层绝缘子、耐腐蚀铝合金杆塔，提升极端环境下的机械与电气性能。采用不等高基础、阻尼器装置降低地震响应，设计可旋转式覆冰脱落结构减少冰灾风险，通过风洞试验验证塔线体系抗风能力。建立“区域中心库+卫星站”物资储备网络，按灾害类型配置模块化抢修包。制定“一站一策”应急预案，明确不同灾害场景下的抢修流程、人员调度及通信保障方案，定期开展无脚本实战演练。

（二）建立快速响应与协同处置机制

成立省级电网应急指挥中心，下设“监测预警组、现场抢修组、物资调配组、舆情管控组”，明确各岗位职责与决策权限。开发应急指挥信息平台，整合气象数据、设备状态、抢修资源等信息，支持灾害场景下的资源动态调度与路径规划。制定“先通后复”抢修原则，针对台风、地震等灾害设计标准化作业包（如杆塔快速扶正装置、模块化线路抢修单元）。推广带电作业机器人、无人机喷火融冰等新技术，缩短

抢修时间；建立抢修人员“网格化”驻点机制，确保30分钟内到达现场。完善跨部门协同机制，与气象、地质、交通等部门建立数据共享协议，灾害期间开通联合值班室，实时获取专业建议。联动消防、医疗单位制定应急联动预案，针对变电站火灾、人员触电等场景开展联合救援演练^[9]。

（三）推动灾后恢复与持续改进

采用“临时供电+永久修复”双轨制，利用移动式储能车、应急变压器保障关键负荷供电，同步启动灾后设备重建。对受灾区域开展抗灾能力评估，结合灾后数据优化设备选型与布局，如将重要变电站迁至非洪泛区。建立灾害案例数据库，从响应速度、资源调配、抢修效率等维度复盘应急过程，提炼改进方向。每季度开展应急能力评估，动态更新预案与物资清单；鼓励运维人员提交创新建议，设立防灾减灾技术攻关奖励基金。研发基于人工智能的灾害预测与决策支持系统，探索5G+北斗在应急通信中的应用。推动政府出台电网防灾强制性标准，将抗灾能力提升纳入电网企业考核体系，通过电价补贴、税收优惠支持防灾技术研发^[10]。

四、总结

输变电运维中的环境适应性与防灾减灾是确保电力系统安全稳定运行的关键环节。环境适应性要求输变电设备能够应对极端气候、复杂地理条件以及人为干扰等多重挑战，通过采用耐候性材料、优化设备设计、部署智能监测系统以及定期开展环境适应性测试，可以有效提升设备在恶劣环境下的运行可靠性。推动技术创新与行业协作，利用大数据、人工智能和物联网等先进技术，实现环境监测与灾害防控的智能化、精准化，是未来输变电运维发展的重要方向。通过将环境适应性与防灾减灾紧密结合，输变电运维不仅能够提升设备运行效率，还能增强电力系统的抗风险能力，为经济社会稳定发展提供可靠的电力保障。

【参考文献】

- [1]李德军,周剑,钟孝泰,等.海上风电场升压站变压器和GIS的设计,应用和展望[J].高压电器,2021.
- [2]张俊秀,叶智峰,朱冬舟.减水河段鱼类物理生境修复辅助工程措施适应性管理方案探讨[J].陕西水利,2024(2):175-178.
- [3]季恒杰,刘小强.110kV变电运维风险与技术检修分析[J].集成电路应用,2024,41(7):374-375.
- [4]程继辉,张兆征,刘金才.云计算与大数据环境下的IT运维变革[J].微型计算机,2024,000(3):3.
- [5]曹铭家.基于数据驱动的压缩机运维策略优化[D].上海应用技术大学,2023.
- [6]徐鹏飞,姜凯文.浅谈金风1.5MW机组环境温度检测与保护逻辑技改优化[C]//2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集(上册).2023.
- [7]徐祥平,柯道正.变电运维中的风险与应对技术分析[J].集成电路应用,2024(9).
- [8]郭琳,王智东,张紫凡,等.直流充电桩功能板块的高寒环境适应性研究[J].环境技术,2021,39(6):6.
- [9]彭华盛.如何构建复杂环境下的适应性系统[J].数据中心建设+,2021(012):000.
- [10]薛小龙,张鸣功,王亮,等.重大工程由建设转向运维的过渡机制——港珠澳大桥的实践创新[J].管理世界,2023,39(7):158-179.

作者简介：赵婷，1988年12月21日，女，河南，汉族，本科，乌拉特后旗供电公司，工程师，内蒙古电力（集团）有限责任公司巴彦淖尔市乌拉特后旗供电分公司，研究方向：输变电。