

高压输电线路运维风险管理及应对措施研究

胡 海

南方电网超高压输电公司昆明局 云南 昆明 650000

摘要：本文聚焦高压输电线路运维风险管理，详述运维定义与风险分类，通过构建三级评估指标体系，运用层次分析法、模糊综合评价法、风险矩阵法进行风险评估，剖析自然、设备、人为、管理风险特点。从各风险类型出发，针对性提出安装避雷、融冰等装置，加强巡检维护、施工管控等应对措施，旨在提升高压输电线路运维可靠性，保障电网安全稳定运行。

关键词：高压输电线路；运维风险；风险管理；应对措施

1 高压输电线路运维风险概述

高压输电线路运维是以110kV及以上线路及附属设备为对象，通过周期性巡检、状态检测、缺陷处理等技术与管理活动，保障线路安全可靠运行的工作，其因线路点多、线长、分布广且穿越复杂区域，运维难度较高。运维风险源于多方面且影响深远，按来源与机制可分为四大类：自然风险由雷电、暴雨、覆冰等气象地质灾害及动植物活动引发，易致线路设备损坏；设备风险因设备质量缺陷、老化损耗产生，如杆塔沉降、绝缘子劣化等；人为风险来自人类不合理活动，包括违章施工、设备盗窃等；管理风险则因运维计划不当、人员培训不足、制度不健全等管理漏洞导致，各类风险相互交织，共同威胁高压输电线路的稳定运行。

2 高压输电线路运维风险识别

2.1 自然风险识别

自然风险是高压输电线路运维的主要外部风险，识别需结合线路地理环境与气候特征。雷电风险上，多雷区、高山峡谷及空旷地带线路易遭雷击，可能致绝缘子闪络、避雷器损坏、导线烧断，夏季雷雨高发期风险概率显著上升。气象灾害风险中，暴雨易引发洪涝、泥石流、山体滑坡，冲刷杆塔基础致其倾斜或倒塌；大风可能让导线舞动、覆冰脱落，造成导线断股、杆塔变形；冰雪覆冰超设计标准会增加导线与杆塔荷载，引发倒塌、断线等严重事故；低温还可能使设备金属部件冻裂、绝缘子覆冰闪络^[1]。动植物风险方面，鸟类筑巢、排泄可能致绝缘子闪络；鼠类、蛇类等小动物进入设备箱柜可能引发短路；线路下方或附近树木生长过快，与导线距离不足易发生树障放电，春季树木生长旺季该风险持续升高。

2.2 设备风险识别

设备风险识别需针对输电线路核心设备，通过日常

巡检、定期检测排查潜在缺陷。杆塔风险表现为基础沉降、倾斜，混凝土杆塔裂缝、风化，钢结构杆塔腐蚀、螺栓松动，以及材质疲劳致强度不足，这些问题会降低杆塔承载能力，外部荷载下易发生倒塌事故。绝缘子风险包括表面积污、老化、破损，瓷绝缘子爆裂、玻璃绝缘子自爆，复合绝缘子伞裙老化、憎水性下降，性能劣化会降低绝缘水平，引发闪络故障。导线与金具风险中，导线可能断股、磨损、腐蚀、接头过热，导线张力大、跨越档距长的区段断股风险更高；金具易腐蚀、变形、松动、脱落，导致导线悬挂不稳、接触不良引发故障。接地装置风险主要是接地电阻超标，接地体腐蚀、断裂，接地引下线松动，会降低防雷接地效果，增加雷击故障概率；电缆线路可能出现本体绝缘老化、局部放电、电缆头及中间接头故障。

2.3 人为风险识别

人为风险识别需聚焦人类活动对线路运行的影响，全面排查线路保护区及周边人为隐患。施工破坏风险是主要形式，在保护区内进行土木工程、道路建设、房地产开发等作业时，施工单位未采取有效防护措施，大型机械可能碰撞杆塔、导线，挖掘作业可能损坏地下电缆和杆塔基础^[2]。盗窃破坏风险常见于偏远地区或城郊结合部线路，不法分子盗窃杆塔螺栓、角钢、导线、电缆等设备，不仅直接致线路故障，还破坏线路结构，增加后续运维难度。违章作业与误操作风险包括运维人员巡检、检修时违反规程，如未按规定采取安全措施、擅自改操作流程；其他行业人员在线路附近违规放风筝、抛物、爆破等，也可能引发故障。

2.4 管理风险识别

管理风险识别需从运维管理体系各环节入手，查找薄弱环节。运维计划与组织风险方面，存在计划制定不合理，如巡检周期过长、检修安排不科学，无法及时

发现设备缺陷；运维资源配置不足，如巡检人员、检修设备、备品备件短缺，影响运维正常开展；各部门协调不畅，导致运维工作衔接断层。人员管理风险主要是运维人员专业素质不足，缺乏系统专业知识与实操技能培训，对设备故障判断和处理能力欠缺；责任意识淡薄，巡检敷衍致漏检、误判；人员流动性大，使运维队伍不稳定，影响工作连续性。制度与流程风险表现为管理制度不健全，缺乏完善的巡检标准、检修规程、安全管理制度等；管理流程不规范，如设备缺陷上报、处理流程繁琐致处理不及时；制度执行不到位，存在有章不循、违章不究现象。

3 高压输电线路运维风险评估

3.1 风险评估指标体系构建

遵循科学性、系统性、可操作性、层次性原则，构建三级评估指标体系。目标层为“高压输电线路运维总体风险水平”，综合反映整体风险状况；准则层对应自然、设备、人为、管理四大风险，作为一级分解指标；指标层细化展开为22项具体指标：自然风险含雷电活动频次、年最大覆冰厚度等7项；设备风险含杆塔缺陷率、绝缘子老化程度等7项；人为风险含违章施工次数、设备盗窃发生率等4项；管理风险含运维计划完成率、人员培训达标率等5项，全面覆盖各类风险要素。

3.2 风险评估方法选择

结合运维风险的复杂性与不确定性，采用定性与定量结合的综合方法。层次分析法（AHP）用于确定指标权重：邀请10-15名电力运维专家、技术人员，对指标重要性两两对比打分，构建判断矩阵，经 $CR < 0.1$ 一致性检验后计算权重，解决重要性排序问题。模糊综合评价法针对“应急预案完善度”等难量化指标，建立“优秀-良好-一般-较差-差”评价集，将定性描述转定量数值。风险矩阵法基于发生概率（高/中/低）与后果严重程度（特别严重/严重/较严重/一般）构建 5×5 矩阵，划分极高、高、中、低四级风险，明确管控优先级。

3.3 风险评估模型建立与应用

基于上述指标体系与方法，构建综合评估模型，分四步实施：第一步，用AHP构建判断矩阵，经一致性检验后得准则层权重（自然0.35、设备0.30、人为0.20、管理0.15），指标层权重依专家打分确定（如自然风险中覆冰厚度0.25、雷电频次0.20）。第二步，定评分标准：定量指标用区间评分（如杆塔缺陷率 $\leq 1\%$ 得5分， $> 8\%$ 得1分），定性指标靠专家打分（如应急预案完善度取多维度评分均值）。第三步，收集数据并标准化，建模糊关系矩阵，结合权重运算得评价值。第四步，对照风险矩阵定

等级，以某220kV线路为例，覆冰风险为极高、绝缘子老化为高、违章施工为中、管理为低，明确管控方向^[3]。

3.4 风险评估结果分析

从多维度解读评估数据以实现精准管控：风险分布上，自然与设备风险占总风险65%-75%，是主因；山区线路自然风险占40%-50%（覆冰、地质灾害突出），城区线路人为风险占25%-30%（违章施工为主）。风险等级上，呈“两极少、中间多”特征：极高（5%-10%）、低风险（15%-20%）少，高（20%-25%）、中风险（45%-55%）占主导，极高风险集中于覆冰区、多雷区等特定区段，需优先处置。风险趋势上，极端天气致自然风险年均升3%-5%，设备超15年风险逐年升，电网智能化若伴人员技能滞后，人为误操作风险或增加。据此明确重点：优先处置高风险，常态化管控中风险，持续监测低风险，实现动态管控。

4 高压输电线路运维风险应对措施

4.1 自然风险应对措施

针对自然风险，采取“预防为主、主动防御、应急联动”的应对策略：防雷风险方面，在多雷区线路加装线路避雷器、避雷针，对接地装置进行改造，采用降阻剂或深井接地方式将接地电阻降至 10Ω 以下；安装雷电定位系统，实时监测雷电活动，雷雨来临前增加特巡频次，及时发现并处理避雷器故障。防覆冰与大风风险方面，在覆冰严重区段采用防覆冰导线、安装融冰装置（如直流融冰、交流融冰），覆冰厚度超过20mm时启动人工除冰；在大风多发区段安装导线防舞装置（如间隔棒、阻尼线），对杆塔进行结构加固，提高抗风等级。防地质灾害风险方面，对山体滑坡易发区段设置挡土墙、截水沟，对杆塔基础采用注浆加固；建立地质灾害监测预警系统，与气象、国土部门建立信息共享机制，灾害来临前及时转移人员、采取临时断电措施。防生物风险方面，定期（每季度1次）清理杆塔鸟巢，安装防鸟刺、防鸟挡板；建立树障清理台账，对线路下方树木每年修剪2次，确保与导线距离符合安全要求；在设备箱柜入口安装防鼠网、防蛇挡板，投放驱鼠药剂。

4.2 设备风险应对措施

设备风险应对需贯穿设备全生命周期，强化“状态检修、精准维护”：杆塔与基础维护方面，每半年开展1次杆塔外观巡检，采用超声波检测钢结构杆塔焊缝，对腐蚀部位进行除锈涂漆；每年度开展基础沉降观测，对沉降超标的基础采用注浆或抬升处理；对运行超过20年的老旧杆塔逐步进行更新改造。绝缘子与导线维护方面，每年开展2次绝缘子清扫，采用红外测温、紫外检测

技术排查老化绝缘子，及时更换自爆、破损绝缘子；利用无人机巡检、导地线检测机器人排查导线断股、接头过热问题，对断股导线采用补修管修补，对过热接头进行重新压接。金具与接地装置维护方面，每半年检查1次金具连接情况，对腐蚀、变形金具及时更换；每季度测量1次接地电阻，对超标接地体采用增加接地极、换土等方式处理，确保接地引下线连接牢固。电缆线路维护方面，每年度开展电缆局部放电、绝缘电阻检测，对老化电缆进行更换；定期清理电缆沟积水、淤泥，安装排水装置，保持沟道干燥；建立电缆设备电子台账，记录运行年限、检测结果等信息，实现全生命周期管理。

4.3 人为风险应对措施

人为风险应对需强化“源头管控、宣传引导、联合执法”：违章施工管控方面，建立线路保护区施工报备制度，施工单位需提前7天向运维单位报备，运维单位安排专人现场监护；在保护区边界设置警示标识，发放《安全施工告知书》；利用视频监控、红外对射装置对重点区段进行24小时监测，发现违章施工立即制止并上报。设备防盗方面，在偏远区段杆塔安装防盗螺栓、振动报警装置，采用视频监控系统实现全覆盖；与公安部门建立警企联动机制，开展专项打击行动，严厉惩处盗窃设备行为；通过乡村广播、宣传栏等渠道，宣传盗窃电力设施的法律后果。违规作业管控方面，加强运维人员安全培训，严格执行“两票三制”（工作票、操作票，交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮换制），杜绝误操作；向群众发放《电力设施保护条例》宣传册，禁止在线路附近开展放风筝、钓鱼等危险活动。

4.4 管理风险应对措施

管理风险应对需完善“体系建设、人员管理、应急保障”：计划管理优化方面，结合线路运行状态制定差异化运维计划，对高风险区段缩短巡检周期（每月1次），合理安排检修时间，避开用电高峰；建立运维资

源动态调配机制，确保人员、设备、备件及时到位。人员管理提升方面，制定分层分类培训计划，每年开展2次专业技能培训和1次应急演练，考核合格后方可上岗；建立绩效考核机制，将巡检质量、缺陷处理效率与薪酬挂钩，提高人员责任意识；稳定运维队伍，完善职业发展通道，降低人员流动性^[4]。制度体系完善方面，修订完善《运维巡检规程》《缺陷管理制度》《安全操作规程》等制度，明确各环节责任；简化缺陷处理流程，实现“发现-上报-处理-销号”闭环管理；加强制度执行监督，定期开展专项检查，对违规行为严肃追责。应急管理强化方面，修订应急预案，针对覆冰、雷击、违章施工等不同风险制定专项处置方案，提高可操作性；每年开展2次应急演练，模拟实战场景提升处置能力；建立应急物资储备库，储备杆塔、导线、发电机等应急物资，确保紧急情况下快速调配。

结束语

高压输电线路运维风险管理是保障电力可靠供应的关键。通过对自然、设备、人为、管理风险的全面识别、科学评估及有效应对，虽能降低风险威胁，但随着环境变化、设备老化及技术革新，新风险将不断涌现。后续需持续完善风险管控体系，深化技术应用，强化人员培训，以动态化管理模式，从容应对各类风险挑战，确保高压输电线路长期稳定运行。

参考文献

- [1] 张谦.高压输电线路施工过程管理浅析[J].百科论坛电子杂志,2020(11):1749-1750.
- [2] 郭士昌.高压输电线路防雷措施及运维策略探讨[J].科学大众,2021,000(005):P.3-3,5.
- [3] 张念春,王飞,李俊默.摭谈高压输电线路防雷措施分析及完善策略[J].工程技术发展,2022,3(7):34-36.
- [4] 明宇.输电线路的综合防雷措施[J].通信电源技术,2019,36(06):92-93.