

# 输电线路防范外力破坏的方法和对策探究

欧廷伟 王彦国 孟祥

中国南方电网超高压输电公司昆明局 云南 昆明 650000

**摘要:** 输电线路作为电力系统核心,其安全关乎能源供应可靠性。当前,外力破坏是引发输电线路故障的首要因素,不仅造成重大经济损失,更会引发大面积停电。本文系统归纳机械外力、人为破坏、自然灾害及其他因素四大破坏类型,从技术与管理双维度构建防范体系:技术上整合智能监测、物理防护与应急响应技术;管理上完善政策法规、协同机制、宣传教育及动态巡检。结合行业趋势,提出智慧化、轻量化、自愈式优化方向,助力安全管控向主动防控转型。

**关键词:** 输电线路;外力破坏;防范方法;安全管控;对策体系

引言:输电线路是电网能源输送的核心载体,其安全稳定直接关系到国民经济发展与民生用电需求。当前,随着基建规模扩张、城乡发展提速,输电线路面临施工碰线、车辆撞杆、异物挂线等外力破坏风险骤增,此类事故具有突发性、隐蔽性特征,常引发线路跳闸、设备损毁甚至人员伤亡,给电网运维带来巨大压力。本文聚焦输电线路外力破坏痛点,剖析风险诱因,探究精准防控的方法与对策,为筑牢电网安全防线提供支撑。

## 1 输电线路外力破坏类型

### 1.1 机械外力

机械外力是输电线路最常见的破坏形式,主要源于工程施工与设备作业过程中的操作不当。建筑施工领域,挖掘机、起重机等大型机械在线路保护区内作业时,易因操作半径超限触碰导线或杆塔,此类事故在城市扩容与道路建设区域尤为频发。农业生产中,联合收割机、高压喷雾器等农机具在田间作业时,可能因高度控制不当或视线受阻撞击线路。交通运输环节,超高车辆在穿越线路下方时,若未提前预判线路高度,易刮断导线或损坏杆塔基础。此外,线路运维过程中,施工机械操作失误也可能造成导线磨损、金具损坏等问题。

### 1.2 人为破坏

人为破坏涵盖故意破坏与过失行为两类,受安全意识与利益驱动双重因素影响。故意破坏行为包括盗窃线路金具、绝缘子等设备,此类行为多为获取非法利益,会直接导致线路绝缘性能下降或结构失效。部分区域存在恶意倾倒垃圾、堆放易燃易爆物品等行为,可能引发线路短路或火灾隐患。过失行为则更为普遍,如居民在线路下方搭建违章建筑、晾晒衣物,或在保护区内放风筝、燃放烟花爆竹,这些行为易造成线路接地或短路<sup>[1]</sup>。工程施工单位未履行安全审批手续,擅自在保护区内开

展爆破、钻探等作业,也属于典型的过失破坏。人为破坏分布范围广、防控难度大,且部分行为具有反复性,给线路安全运行带来持续威胁。

### 1.3 自然灾害

自然灾害对输电线路的破坏具有区域性与毁灭性特点,受气候与地质条件直接影响。气象灾害中,强台风可导致杆塔倾倒、导线舞动断裂,沿海地区每年台风季均会出现此类故障;暴雨引发的洪水与泥石流会冲刷杆塔基础,造成基础沉降或外露;覆冰与冻雨会增加导线荷载,导致线路弛度减小、杆塔受力超标,北方冬季与高海拔区域此类风险突出;雷电则会击穿绝缘子,引发线路跳闸。地质灾害方面,地震、山体滑坡会直接破坏杆塔结构与线路走向,断层带附近线路面临持续风险。此外,极端高温会加速线路绝缘老化,降低设备耐受能力。自然灾害的不可预见性强,破坏范围广,灾后恢复难度大,往往导致大面积、长时间停电。

### 1.4 其他

除上述三类主要破坏形式外,还存在生物破坏、环境腐蚀等其他外力因素。生物破坏中,鸟类在杆塔上筑巢时,树枝、铁丝等筑巢材料易引发线路短路;蛇、松鼠等动物攀爬杆塔触碰带电部位,也会导致线路故障,林区与农田周边线路此类问题频发。环境腐蚀主要作用于线路设备,工业区域的酸性气体、沿海地区的高盐雾环境,会加速杆塔、金具的锈蚀,降低结构强度与导电性能;沙漠地区的风沙会磨损绝缘子表面,导致绝缘性能下降。此外,线路周边树木生长过快,若未及时修剪,在大风天气下易触碰导线引发故障。这些因素虽单次破坏范围有限,但发生频率高,长期累积会严重影响线路使用寿命与安全性能。

## 2 输电线路防范外力破坏的技术对策

## 2.1 智能监测技术

智能监测技术通过实时感知与数据预警,实现外力破坏的早发现、早处置。线路沿线部署高清视频监控设备,结合AI图像识别算法,可自动识别大型机械、违章施工等风险行为,当检测到异常时立即向运维平台推送预警信息。在杆塔关键部位安装振动传感器与倾角传感器,实时监测杆塔倾斜度与导线振动情况,精准捕捉机械碰撞、地质沉降等引发的结构异常。采用无人机搭载红外热像仪与激光雷达开展巡检,可快速覆盖山区、林区等人员难以抵达的区域,发现导线磨损、绝缘子老化等隐蔽隐患。针对雷电灾害,安装雷电定位系统与避雷器在线监测装置,实现雷电活动实时追踪与避雷器性能状态评估。

## 2.2 物理防护措施

物理防护措施通过强化线路结构与隔离风险源,构建外力破坏的第一道防线。针对机械碰撞风险,在杆塔底部设置防撞护栏与反光警示标识,护栏采用高强度钢材制作,可有效抵御大型机械撞击;在线路保护区边界安装电子围栏,当人员或机械靠近时触发声光报警。为防范鸟类破坏,在杆塔横担安装防鸟刺、防鸟挡板,在绝缘子串上方设置驱鸟器,通过物理隔离与声波驱离减少鸟类活动影响。针对覆冰与雷电灾害,采用防覆冰导线与复合绝缘子,复合绝缘子具有优异的耐污与抗老化性能,可降低覆冰与雷击故障概率。在地质灾害高发区域,对杆塔基础进行加固处理,采用桩基础或沉井基础提升抗滑移与抗倾覆能力;在导线外层加装防腐涂层,延长沿海与工业区域线路的使用寿命<sup>[2]</sup>。

## 2.3 应急响应技术

应急响应技术聚焦故障快速处置与损失控制,提升线路抗灾恢复能力。建立故障快速定位系统,结合故障录波器与行波测距技术,可在故障发生后30秒内精准定位故障点,为抢修提供精准指引。配备应急抢修机器人,该设备可沿导线自主移动,携带绝缘修复材料对小型破损导线进行临时修复,减少人工高空作业风险。针对大面积停电事故,构建分布式电源应急联动系统,当主线路故障时,自动切换至光伏、储能等分布式电源供电,保障重要用户用电连续性。开发应急指挥调度平台,整合气象、地质、线路运行等多源数据,通过大数据分析预测灾害发展趋势,提前制定抢修方案,调配抢修人员与物资。同时,配备无人机应急运输设备,可快速向偏远故障点运送抢修工具与物资,缩短抢修时间。

## 3 输电线路防范外力破坏的管理对策

### 3.1 政策法规与标准建设

政策法规与标准建设是防范外力破坏的制度保障,需构建完善的法规体系与技术标准。进一步细化《电力设施保护条例》,明确输电线路保护区的划定标准与管理责任,对在保护区内的违规施工、盗窃设备等行为制定明确的处罚措施,提高违法成本。针对新能源项目与城市建设快速发展的现状,出台输电线路与其他工程交叉跨越的专项管理规定,规范审批流程与安全距离要求。建立健全技术标准体系,制定智能监测设备安装、物理防护设施建设、应急抢修等环节的统一标准,确保防范措施的规范性与兼容性。推动地方政府将输电线路保护纳入城乡规划,在城市建设与土地利用规划中预留线路通道,从源头减少线路与其他设施的冲突。

### 3.2 多方协同管理机制

多方协同管理机制通过整合各方资源,形成防范外力破坏的合力。建立以电力企业为主体,政府部门、施工单位、社区居民共同参与的协同体系。电力企业与住建、交通、应急管理等部门建立常态化沟通机制,定期开展联合执法检查,严厉打击破坏电力设施的违法行为;在重大工程施工前,与施工单位签订安全协议,明确安全责任与防范措施,派驻专人全程监督施工过程。构建区域协同防护网络,与线路沿线的乡镇政府、村委会建立合作关系,聘请当地居民担任电力设施保护员,及时反馈线路周边的异常情况<sup>[3]</sup>。针对跨区域线路,建立跨省、跨市电力企业协同机制,共享监测数据与应急资源,联合开展巡检与抢修工作。同时,建立协同考核机制,将外力破坏防范成效纳入各参与方的绩效考核,激发各方积极性。

### 3.3 宣传教育与公众参与

宣传教育与公众参与旨在提升全民电力设施保护意识,构建群防群治的良好氛围。制定分层分类的宣传方案,针对施工单位负责人与操作人员,开展安全施工专题培训,讲解线路保护法规与施工注意事项,通过案例分析强调违规作业的危害;深入学校开展电力安全科普教育,通过互动实验、安全讲座等形式,培养青少年的电力设施保护意识。利用新媒体平台开展广泛宣传,通过短视频、图文推送等形式,向公众普及输电线路保护知识,公布故障举报电话与奖励机制,鼓励公众参与线路保护。定期组织开展“电力设施保护日”活动,邀请公众走进线路运维现场,直观了解线路运行与保护工作,增强公众的参与感与责任感。

### 3.4 动态巡检与风险评估

动态巡检与风险评估通过精准掌握线路状态,实现外力破坏的靶向防控。建立“人工巡检+智能巡检”相结

合的动态巡检体系,人工巡检重点排查线路周边施工、树木生长等情况,智能巡检依托无人机、在线监测设备实现常态化数据采集。开发风险评估系统,结合线路运行年限、周边环境、历史故障数据等因素,构建多维度风险评估指标体系,采用层次分析法确定各指标权重,计算线路各段的风险等级,划分为高、中、低三个风险区域。针对高风险区域,增加巡检频次,强化监测与防护措施;对中低风险区域实施常规管控,实现资源优化配置。建立风险动态更新机制,每月更新风险评估结果,根据评估结果调整巡检与防护策略。同时,将风险评估结果与应急抢修预案相结合,为不同风险等级区域制定差异化的应急处置方案,提升防控的针对性与有效性。

#### 4 防范外力破坏的发展趋势与优化建议

##### 4.1 智慧化升级

智慧化升级是输电线路外力破坏防范的核心发展方向,依托前沿技术实现防控能力质的提升。推动AI大模型与监测系统深度融合,通过海量故障数据训练,实现外力破坏风险的精准预测与类型识别,提升预警的准确性与及时性。构建输电线路数字孪生系统,将线路地理信息、设备参数、运行状态等数据映射至虚拟平台,模拟不同外力破坏场景下的线路响应,为防护措施优化提供决策支持。推广无人机集群巡检技术,通过多无人机协同作业,实现线路全区域快速覆盖与三维建模,提升巡检效率与数据采集精度。开发基于5G+边缘计算的智能终端设备,实现监测数据的本地实时处理与快速响应,减少数据传输延迟。同时,推动智能巡检与机器人抢修的协同联动,当监测到故障时,自动调度机器人前往处置,实现“监测-诊断-修复”的全流程自动化。

##### 4.2 轻量化与低成本

轻量化与低成本发展方向可提升防范措施的普及性与实用性,尤其适用于偏远地区与配网线路。研发轻量化智能监测设备,采用低功耗芯片与太阳能供电模块,降低设备能耗与安装难度,延长设备使用寿命。推广新型复合材料在物理防护设施中的应用,如采用高强度玻璃钢制作防撞护栏与杆塔,相比传统钢材重量减轻40%以上,同时降低生产成本与运输安装成本。优化监测网络布局,基于风险评估结果,在高风险区域密集部署设备,中低风险区域采用稀疏布局,结合边缘节点数据汇总,在保障监测效果的同时减少设备投入<sup>[4]</sup>。开发模块

化防范设备,实现设备的快速组装与更换,降低维护成本。推动监测数据共享与平台共建,避免各电力企业重复建设,通过行业协同降低整体防控成本,提升资源利用效率。

##### 4.3 自愈式防护

自愈式防护技术通过线路自身的主动适应与修复能力,大幅提升抗外力破坏水平。研发自修复导线,在导线外层涂抹新型高分子材料,当导线出现轻微磨损时,材料可自动愈合,恢复绝缘性能与机械强度。推广自适应杆塔技术,在杆塔结构中引入智能阻尼装置,当遭遇台风、地震等外力作用时,自动调整结构刚度与阻尼系数,减少外力对杆塔的冲击损伤。开发故障自隔离装置,当线路某段发生故障时,装置可快速检测并自动切断故障段,避免故障扩大,同时将非故障段切换至备用电源,保障供电连续性。研究基于分布式光纤传感的全线路监测技术,利用光纤作为传感介质,实现线路温度、应力、振动等参数的全程监测,精准定位故障点并评估损伤程度。自愈式防护技术的应用,可将线路故障的影响降至最低,推动线路安全管控从“被动防护”向“主动自愈”转型。

##### 结束语

输电线路外力破坏防范是保障电力系统安全的系统工程,需技术与管理的双重支撑。本文梳理四大破坏类型,构建智能监测、物理防护等技术防线,完善政策法规、协同机制等管理体系,形成全方位对策。当前,防范已步入智慧化新阶段,轻量化、自愈式技术为提升防控效能提供新方向。未来,需加速技术研发与成果转化,推动政策落地,增强公众参与,通过多方协同优化防范体系,实现风险精准防控,为输电线路安全运行筑牢根基,助力电力系统向更智能可靠的方向迈进。

##### 参考文献

- [1]陈欣.输电线路防范外力破坏的方法和对策探究[J].商品与质量,2021(4):364.
- [2]王稼琦,王福源,段旭芳,等.输电线路防范外力破坏的方法和对策探究[J].百科论坛电子杂志,2020(9):1577.
- [3]孙宝.输电线路防范外力破坏的方法和对策探究[J].科技风,2020(15):190.
- [4]王双庆,张洪义,张洁馨,等.输电线路防范外力破坏的方法和对策探究[J].百科论坛电子杂志,2020(8):1703.