

输配电及用电工程线路的影响因素及安全运行策略

王 勇

国网河南省电力公司遂平县供电公司 河南 驻马店 463100

摘要：输配电及用电工程线路是电力系统电能传输与供应的核心载体，其安全稳定运行直接关系电力系统整体效能与用户用电安全。本文先阐述输配电及用电工程线路的核心构成、运行特性及安全运行原则，再从自然环境、设备自身、人为管理、电网负荷四个维度分析影响线路安全的关键因素，最后针对性提出优化设计选型、强化全生命周期运维、完善安全防控、构建智能应急体系等策略，为线路安全稳定运行提供理论支撑与实践参考。

关键词：输配电；用电工程线路；影响因素；安全运行策略

引言：随着社会经济快速发展，各行业用电需求持续攀升，输配电及用电工程线路覆盖范围不断扩大，运行环境愈发复杂，其安全运行面临多重挑战。线路故障不仅会导致电力供应中断，影响工业生产与居民生活，还可能引发安全事故造成经济损失。因此，系统分析输配电及用电工程线路安全运行的影响因素，探索科学有效的安全运行策略，破解线路运行中的各类隐患，对保障电力系统可靠供电、推动电力行业高质量发展具有重要意义。

1 输配电及用电工程线路相关理论基础

1.1 输配电及用电工程线路的核心构成

(1) 输电线路构成：包括架空线路和电缆线路两大类。其中架空线路核心组件有杆塔、导线、绝缘子、金具等，杆塔承担支撑导线的作用，保障线路离地安全距离；导线是电能传输的核心载体，需具备良好的导电性能和机械强度；绝缘子用于隔离导线与杆塔，防止漏电事故；金具则负责固定、连接各组件，保障线路结构稳定。电缆线路核心组件包括电缆芯、绝缘层、保护层，电缆芯传输电能，绝缘层防止电能泄漏，保护层抵御外部环境侵蚀，适用于城市、地下等不宜架设架空线路的场景^[1]。(2) 配电及用电线路构成：涵盖配电变压器、配电开关、用户侧线路等关键设备及连接方式。配电变压器负责将输电线路的高压电能转换为用户所需的低压电能，是配电环节的核心设备；配电开关用于控制线路通断、保护线路安全，可在故障时快速切断电路，避免事故扩大；用户侧线路连接配电设备与终端用户，包括室内布线和室外支线，其连接方式需符合安全规范，确保电能稳定输送至各类用电设备。

1.2 输配电及用电工程线路的运行特性

(1) 电气特性：核心包括电压等级、负荷承载能力、功率传输效率等参数。电压等级根据传输距离和负

荷需求划分，高压用于长距离输电，低压用于配电及用户端；负荷承载能力指线路长期安全运行所能承受的最大电流，超过限值会导致线路过热损坏；功率传输效率受导线电阻、绝缘性能等影响，需通过技术优化降低损耗，保障电能高效传输，满足用电需求。(2) 环境适应性：线路运行受地形、气象条件影响显著，山地、平原、沿海等不同地形会影响杆塔布置和线路张力，暴雨、雷电、高温、严寒等气象条件可能导致线路故障。同时，新能源并网使线路运行特性发生变化，风电、光伏等新能源出力不稳定，会增加线路负荷波动，对线路的调节能力和安全防护提出更高要求。

1.3 输配电及用电工程线路安全运行的核心原则

(1) 系统性原则：将线路安全置于整个电力网络中统筹考虑，协调线路与发电、配电、用电等各环节，实现设备、技术、管理多维度协同防护，避免单一环节故障引发整个电网连锁反应，保障电力系统整体稳定。(2) 预防性原则：强调常态化监测与风险评估，通过在线监测设备实时掌握线路运行状态，定期开展线路巡检和隐患排查，提前识别潜在风险，采取针对性防控措施，实现从被动抢修向主动防御转变，降低故障发生率。(3) 适应性原则：动态响应内外部环境变化，适配负荷增长、新能源接入、电网升级等发展需求，及时调整线路运行参数、优化设备配置，确保线路在不同工况下均能安全稳定运行，保障电能持续可靠供应。

2 输配电及用电工程线路安全运行的影响因素分析

2.1 自然环境影响因素

(1) 极端气象因素：台风、冰灾、雷暴、高温、寒潮等极端天气是线路安全运行的主要自然威胁。台风会产生强风力，可能导致杆塔倾斜、导线舞动甚至断裂；冰灾会使导线、绝缘子覆冰，增加线路荷载，引发杆塔倒塌、绝缘子闪络；雷暴天气易产生雷击，破坏线路绝

缘性能,导致线路跳闸;高温会加速导线老化,降低其机械强度,寒潮则可能冻裂电缆、损坏杆塔基础,均会影响线路正常运行。(2)地质与周边环境因素:滑坡、泥石流等地质灾害会直接侵蚀杆塔基础,导致基础沉降、杆塔失稳,严重时引发线路断裂;线路周边树木生长过快,若与导线距离不足,会造成线路接地短路;鸟类活动频繁易导致导线短路,此外,周边粉尘、化工污染物等也会腐蚀绝缘子和导线,降低设备绝缘性能,埋下安全隐患。

2.2 设备自身影响因素

(1)设备老化因素:导线、绝缘子、金具等组件长期暴露在自然环境中,受风雨、温差、腐蚀等影响,会出现性能退化。导线出现磨损、断股,绝缘子绝缘性能下降,金具生锈松动,电缆则会出现绝缘老化、接头氧化缺陷,这些问题会逐步降低线路安全性能,易引发故障。(2)设备质量与选型因素:劣质设备自身性能不达标,使用寿命短、安全隐患多;若设备选型不当,如在雷暴多发区选用普通绝缘子,在沿海腐蚀环境选用非防腐导线,会导致设备适配性差,易出现故障,影响线路安全稳定运行^[2]。(3)设备安装因素:施工工艺不规范会给线路带来先天性缺陷,如杆塔基础浇筑不牢固、深度不足,易受地质影响发生沉降;导线压接不良会导致接头接触电阻过大,运行中产生过热;绝缘子安装偏差会影响绝缘效果,这些安装隐患长期存在,会逐步引发线路故障。

2.3 人为及管理影响因素

(1)人为操作因素:运行人员操作失误、检修作业不规范,如误操作开关、检修时未按流程停电验电,易引发线路短路、人员触电等事故;设计阶段参数选择错误,如导线截面选型偏小、杆塔间距不合理,会导致线路负荷承载不足,埋下长期安全隐患。(2)外力破坏因素:非法施工挖掘、超高车辆碰撞杆塔,会直接损坏线路设备;盗窃电力设施、风筝或塑料薄膜缠绕导线,会造成线路短路、停电;这些人为破坏行为具有突发性,对线路安全运行威胁极大。(3)管理体系因素:安全管理制度不健全、运维流程不规范,会导致线路巡检、隐患排查不到位;人员培训不到位,会使运维人员专业能力不足,无法及时识别和处理线路隐患,这些管理漏洞会间接加剧线路安全风险。

2.4 电网运行及负荷影响因素

(1)负荷特性因素:负荷波动过大、谐波污染超标、功率因数过低,会增加线路损耗,加速设备老化;风电、光伏等新能源间歇性出力,会导致线路电压波

动,影响电能质量,增加线路安全运行压力。(2)电网结构因素:随着城市发展,线路走廊被压缩,线路布置更加密集,易出现线路交叉跨越安全距离不足的问题;电网互联程度提升,使得局部线路故障易引发连锁反应,扩大事故范围,影响整个电网及线路的安全运行。

3 输配电及用电工程线路安全运行策略

3.1 优化线路设计与设备选型策略

(1)线路路径优化:在线路设计阶段,结合地质勘察与气象评估结果,优先避开台风、冰灾、滑坡、泥石流等灾害易发区,减少自然环境对线路的威胁;避开密集居民区、文物保护单位等区域,合理规划线路走廊,预留足够的安全距离,避免线路与建筑物、树木等形成安全隐患,同时兼顾施工便利性与后期运维可行性,全面提升线路的环境适应性和运行安全性。(2)设备选型与升级:坚持“优质适配、节能环保”的原则,选用耐腐蚀、抗老化、机械强度高且适配当地环境的优质设备。针对不同区域特点,推广防污型绝缘子、加强型导线、防腐金具等专用设备,例如在沿海腐蚀区域选用防腐涂层导线,在雷暴多发区选用防雷绝缘子;加快淘汰技术落后、超期服役的老旧设备,推进设备升级换代,从源头减少设备自身隐患,提升线路运行可靠性^[3]。(3)设计标准提升:根据线路的重要性、传输容量及所处环境,分级提高设计标准,明确不同等级线路的安全裕度。优化防雷、防风偏、防覆冰等专项防护设计,例如在山区线路增加防雷接地装置,在台风多发区强化杆塔抗风设计,在高寒地区优化线路防覆冰措施;同时结合新能源并网需求,优化线路参数设计,提升线路对负荷波动的适配能力。

3.2 强化设备全生命周期运维策略

(1)常态化监测体系建设:全面部署IoT传感器、分布式光纤测温、红外测温等智能化监测设备,实现线路电压、电流、温度、绝缘性能等核心参数的实时采集与传输;推广无人机巡检、AI图像识别等技术,替代传统人工巡检,提高巡检效率和精度,实现线路缺陷的精准识别,尤其针对偏远山区、复杂地形线路,大幅降低巡检难度和安全风险,构建“全方位、无死角”的常态化监测网络。(2)状态检修与隐患治理:推行“预测性维护”模式,替代传统定期检修,结合监测数据与设备运行状态,精准判断检修时机;建立设备“一机一档”,详细记录设备型号、安装时间、检修记录、缺陷情况等信息,实现全生命周期可追溯;定期开展全面隐患排查,建立隐患台账,实行“销号管理”,确保隐患闭环清零,及时处理设备轻微缺陷,避免小隐患演变成大故

障。(3)设备老化管控:结合设备运行环境、使用年限及监测数据,建立科学的设备寿命评估模型,精准预判设备老化程度和剩余使用寿命;制定合理的设备更新改造计划,优先更换老化严重、隐患突出的设备,杜绝设备超期服役;加强设备老化过程中的动态监测,定期检测设备性能,及时采取防腐、加固等针对性措施,延缓设备老化速度,延长设备使用寿命^[4]。

3.3 完善人为管理与安全防控策略

(1)人员培训与管理:建立“岗前培训、在岗深造、技能考核”三级培训体系,结合VR模拟训练、现场实操教学等方式,开展线路操作、检修维护、应急处置等专项培训,提升运维人员的专业能力;推行持证上岗制度,定期开展技能考核与安全考核,考核不合格者暂停上岗,强化人员安全意识和责任意识;建立健全人员岗位职责体系,明确分工、落实责任,杜绝人为失误。

(2)标准化作业规范:制定线路操作、检修维护、隐患排查等典型作业指导书,明确作业流程、操作标准和安全注意事项;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),规范作业行为,杜绝违章操作、违规检修;加强作业现场监督管理,安排专人现场监护,及时纠正不规范作业行为,防范人为操作引发的安全事故。(3)外力破坏防控:建立政府、企业、社区联动联防机制,加强与住建、公安等部门的协作,严厉打击非法施工、盗窃电力设施等违法行为;通过张贴宣传海报、发放宣传手册、入户宣讲等方式,加强线路安全宣传,提高群众安全意识,避免风筝缠绕、超高车辆碰撞等意外破坏;在线路沿线关键位置设置明显警示标识,在施工密集区域安排专人值守,全方位防范外力破坏。

3.4 构建智能防控与应急响应体系

(1)智能技术赋能:应用数字孪生技术,构建线路虚拟仿真模型,实现线路运行状态的可视化监控,精准模拟线路故障场景;依托大数据分析技术,对监测数据进行深度挖掘,识别线路运行规律,预判潜在风险,实现风险提前预警;整合各类监测数据与运维信息,搭建

智能化管理平台,实现线路运维、风险预警、缺陷处置的一体化管理,提升线路安全防控的智能化水平。(2)应急体系建设:针对台风、冰灾、线路短路等不同类型故障,制定专项应急预案,明确应急处置流程、责任分工和处置措施;建立一体化应急指挥平台,实现应急指令快速传达、资源高效调配;配备充足的应急物资和专业抢修队伍,定期开展应急演练,提升抢修人员的应急处置能力,确保线路发生故障后,能够快速响应、高效抢修,最大限度缩短停电时间^[5]。(3)多部门协同:加强与气象、地质、应急管理等部门预警联动,建立信息共享机制,及时获取台风、暴雨、滑坡等灾害预警信息;提前制定防范措施,对受影响线路进行重点监测和加固,实现风险提前预判与处置;发生灾害或线路故障时,协同各部门开展应急处置工作,形成防控合力,提升线路安全运行的保障能力。

结束语

输配电及用电工程线路安全运行是一项系统性、长期性工作,受自然、设备、人为、电网等多方面因素综合影响,需统筹兼顾、多措并举。本文提出的安全运行策略,围绕设计、运维、管理、智能防控等关键环节形成闭环保障,可有效防范各类线路故障。未来需结合新能源并网发展趋势,持续优化策略、升级技术,强化各环节协同发力,不断提升线路安全运行水平,为电力系统稳定高效运行筑牢基础。

参考文献

- [1]韦佳裔.输配电及用电工程线路安全运行的问题及其解决[J].中国设备工程,2022,3(21):50-53.
- [2]鲍海燕.输配电及用电工程线路安全运行问题及技术探析[J].山东工业技术,2023,12(22):186-190.
- [3]曾贞敏.浅谈输配电及用电工程线路安全运行的问题及其技术[J].信息系统工程,2022,21(04):114-117.
- [4]王大伟.输配电及用电工程线路安全运行技术探讨[J].设备管理与维修,2024,38(12):197-199.
- [5]李骏.试论输配电及用电工程线路的安全运行措施[J].科学技术创新,2022,9(17):179-182.