

输配电及用电工程线路安全运行技术分析

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：本文聚焦输配电及用电工程线路安全运行，深入剖析线路运行现状与自然环境、设备老化、外力破坏等主要风险成因。系统阐述在线监测、故障精准定位、智能巡检及安全防护等关键技术体系，提出从运维管理体系、技术应用优化、人员队伍建设到政策保障体系的全方位提升策略。研究为破解线路安全运行痛点、提升电网运维智能化与规范化水平提供理论支撑与实践路径，对保障电网稳定供电、服务社会经济高质量发展具有重要意义。

关键词：输配电；用电工程；线路安全；运行技术

引言：输配电及用电线路作为能源输送的“大动脉”，其安全稳定运行直接关系电网可靠性、用户用电安全及社会生产生活秩序。随着电网规模扩大与运行环境复杂化，传统运维模式面临严峻挑战，各类风险频发制约线路安全水平。为有效防范安全隐患、提升运维质效，本文结合行业发展趋势，全面分析线路安全运行现状与核心风险，梳理关键技术应用，提出针对性优化策略，对保障电力系统安全运行、满足能源转型需求具有重要现实意义与应用价值。

1 输配电及用电工程线路安全运行现状与风险分析

1.1 输配电及用电线路运行现状

1.1.1 线路建设规模与覆盖范围：架空线路广泛分布于城乡各类区域，具有成本低、运维便捷的特点，主要承担长距离、大容量输电任务；电缆线路多应用于城市核心区、工业园区等人口密集或对景观有要求的区域，具有占地少、抗干扰性强的优势，二者协同实现全域供电覆盖。

1.1.2 当前运行水平：现有安全保障技术已初步应用，包括线路在线监测、故障定位等系统，但部分偏远线路仍依赖传统运维模式；供电可靠性整体达标，城市区域供电可靠率达99.9%以上，农村及偏远区域受环境影响，可靠性略有下降。

1.1.3 “三跨”等关键区段运行现状：跨越高铁、高速、航道等关键区段已采取专项安全管控措施，设置警示标识、加装防护装置，但部分区段因地形复杂，巡检难度大，仍存在管控盲区。

1.2 线路安全运行主要风险类型

1.2.1 自然环境风险：雷击易造成线路绝缘子击穿、导线烧断，覆冰会导致杆塔受力过载、导线断裂，风偏则可能引发线路相间短路，极端天气已成为线路故障的主要诱因之一。

1.2.2 设备自身风险：部分老旧线路的导线、杆塔存在老化现象，绝缘子性能衰减，加之部分早期设备存在设计缺陷，长期运行易出现部件损坏、绝缘失效等安全隐患。

1.2.3 外力破坏风险：施工挖掘误碰电缆、车辆碰撞杆塔、树障生长侵入线路安全距离、线路设备盗窃等人为因素，频发引发线路故障，占故障总数的比例较高^[1]。

1.3 风险产生的核心原因

1.3.1 技术层面：部分线路监测技术不足，无法实现风险实时预警；运维手段滞后，缺乏智能化运维设备；部分设备质量不达标，使用寿命缩短，增加故障概率。

1.3.2 管理层面：运维管理制度不够完善，责任划分不够清晰；巡检排查不够彻底，存在漏检、漏查情况；运维人员专业能力不足，应对复杂故障的处置能力欠缺。

1.3.3 环境与外部层面：城市化进程加快使线路运行环境复杂化，新型负荷接入增加线路运行压力，部分区域安全防护措施不到位，无法有效抵御各类风险。

1.4 风险等级划分与影响评估

1.4.1 风险等级划分标准：结合线路故障发生率、故障影响范围，将风险划分为重大、较大、一般、低风险四级，重大风险指故障频发且影响大范围供电，低风险指故障概率低、影响范围小。

1.4.2 风险影响评估：对电网安全而言，易引发电网连锁故障，影响电网稳定运行；对用户用电而言，导致供电中断，影响居民生活及企业生产；对社会经济而言，企业停产、公共服务受限，造成一定的经济损失和不良社会影响。

2 输配电及用电工程线路安全运行关键技术

2.1 线路状态在线监测技术

2.1.1 局部放电检测技术：主要采用超高频传感器和地电压传感器，超高频传感器可捕捉设备局部放电产生

的超高频电磁信号,地电压传感器通过检测设备外壳对地电压变化识别放电隐患;结合信号分析算法,实现局部放电缺陷的精准识别、定位及严重程度评估,及时发现设备绝缘老化、破损等问题,防范绝缘击穿故障。

2.1.2 导线状态监测技术:光纤测温技术基于光的拉曼散射原理,通过光纤实时采集导线温度数据,精准掌握导线发热情况,防范过载运行引发的导线损伤;弧垂监测采用激光测距或倾角传感器,结合气象参数,实时监测导线弧垂变化,避免弧垂过大引发相间短路、对地放电等隐患,保障线路安全运行^[2]。

2.1.3 环境与设备多参数监测:搭建综合监测系统,整合气象监测(风速、降水、覆冰等)、杆塔倾斜监测、绝缘子状态监测等功能,通过多传感器协同采集数据,实现线路运行环境及设备状态的全面监测;数据实时传输至运维平台,为运维决策提供全面、准确的支撑,提升线路状态管控的科学性。

2.2 线路故障精准定位技术

2.2.1 行波测距法:基于故障发生时产生的暂态行波传播特性,通过检测行波到达线路两端的时间差,结合波速计算故障位置;核心技术参数包括波速精度、采样频率,通过优化采样频率、校准波速,结合抗干扰处理措施,可将故障定位精度提升至百米以内,大幅缩短故障排查时间。

2.2.2 分布式光纤传感技术:利用光纤作为传感介质,实现全线路温度、应变的实时监测,可精准捕捉线路局部过热、导线拉伸变形等异常;同时基于光信号散射特性,实现故障点的快速定位,尤其适用于长距离、复杂地形线路,可有效解决传统定位技术的盲区问题。

2.2.3 多技术融合定位:将无人机、GIS技术与传统定位技术深度结合,无人机搭载定位设备和成像设备,实时采集线路故障区域影像及位置信息;GIS系统整合线路地理信息、设备参数,实现故障位置的可视化呈现,形成“定位-成像-分析”一体化应用实践,提升故障定位的效率和准确性。

2.3 线路智能巡检技术

2.3.1 无人机红外热成像巡检:无人机搭载红外热成像仪,可快速覆盖全线路,通过检测设备温度差异识别热点缺陷,如接头松动、绝缘子发热等;相比人工巡检,具有效率高、覆盖面广、不受地形限制的优势,可有效排查人工难以触及的高空、偏远区段缺陷。

2.3.2 AI图像识别技术:通过无人机或固定摄像头采集线路设备影像,利用AI图像识别算法,自动识别绝缘子破损、导线断股、金具锈蚀等常见缺陷,替代人工肉

眼识别,减少人为漏检、误检;同时可实现缺陷的自动分类、分级,为隐患处置提供精准依据。

2.3.3 立体巡检模式:构建无人机与人工巡检协同的巡检方案,无人机负责大范围、常态化巡检,重点排查高空、偏远区段及复杂地形线路;人工巡检聚焦关键区段、重点设备,开展精细化检查和缺陷复核,二者优势互补,实现线路巡检的全面性和精准性,提升巡检效率^[3]。

2.4 线路安全防护与故障防控技术

2.4.1 防雷防护技术:优化避雷器、避雷线的配置方案,根据线路电压等级、运行环境,合理布置避雷器,提升设备防雷能力;优化避雷线架设方式,减少雷击绕击概率,同时定期检测避雷装置性能,及时更换老化、损坏部件,有效防范雷击引发的线路故障。

2.4.2 覆冰与风偏防控技术:在易覆冰区段安装融冰装置,通过电流加热或热水融冰等方式,快速消除导线覆冰,避免杆塔过载、导线断裂;针对风偏故障,采用导线防舞装置、优化导线悬挂方式,减少风偏幅度,防范相间短路、导线闪络等隐患。

2.4.3 外力防护技术:在线路保护区设置明显警示标识、防护围栏,明确防护范围;在交通繁忙、施工频繁区段,加装防外力碰撞装置,如防撞墩、警示灯等;同时加强线路保护区巡查,及时制止违规施工、树木种植等行为,防范外力破坏引发的线路故障。

3 输配电及用电工程线路安全运维优化策略

3.1 运维管理体系优化

3.1.1 建立全生命周期运维机制:贯穿线路设计、施工、运行、退役全阶段,设计阶段严格把控设备选型和线路路径规划,规避安全隐患源头;施工阶段强化施工质量管控,落实验收标准,确保工程达标投运;运行阶段实施常态化监测与运维,及时处置各类隐患;退役阶段规范设备拆解、回收流程,避免废旧设备引发安全风险,实现各阶段无缝衔接、全程可控。

3.1.2 完善状态检修与预防性检修结合的运维模式:以线路设备状态监测数据为核心,开展状态检修,针对不同状态的设备制定差异化检修方案,避免过度检修或检修不足;结合季节特点、设备运行年限,开展预防性检修,重点排查易发生故障的部件和区段,提前消除隐患,提升运维的针对性和有效性,降低故障发生率^[4]。

3.1.3 健全“专业联动、上下协同”的隐患治理体系:明确运维、检修、调度等各专业职责,建立跨专业联动机制,实现隐患信息共享、协同处置;构建“上级统筹、基层落实”的上下协同体系,上级部门负责隐患排查指导、考核监督,基层单位负责隐患现场排查、整

改落实,形成闭环管理,确保隐患早发现、早整改、早消除。

3.2 技术应用优化方案

3.2.1 现有监测与防护技术的优化升级路径:对现有在线监测设备进行升级改造,提升数据采集精度和传输效率,解决监测盲区问题;优化防雷、覆冰、外力防护等技术的配置,结合线路运行环境特点,调整防护方案,提升技术适配性;建立监测数据分析模型,实现数据的深度挖掘,为运维决策提供科学支撑。

3.2.2 智能化技术融合应用:将大数据、AI技术深度融合融入运维工作,利用大数据技术整合线路运行数据、环境数据、故障数据,实现风险精准预判;借助AI图像识别、智能分析算法,自动识别设备缺陷、预判故障趋势,替代部分人工重复性工作;搭建智能化运维平台,实现监测、定位、巡检、处置的一体化管理,提升运维智能化水平。

3.2.3 “三跨”等关键区段的专项技术优化措施:针对跨越高铁、高速、航道等关键区段,加装高精度监测设备,实现风速、杆塔倾斜、导线弧垂等参数的实时监测;优化防雷、防舞动、防外力碰撞技术配置,增设专项防护装置;采用无人机常态化巡检与人工专项巡检相结合的方式,提升关键区段的运维管控水平,杜绝重大安全事故^[5]。

3.3 人员队伍建设与管理

3.3.1 专业运维人员的技能培训与考核机制:建立分层分类培训体系,针对运维人员开展智能化设备操作、故障处置、安全防护等专项培训,提升专业技能;完善考核机制,将技能水平、巡检质量、隐患整改成效与绩效挂钩,定期开展技能考核和实操演练,倒逼人员提升专业能力,打造高素质运维队伍。

3.3.2 应急抢修队伍建设与快速响应能力提升:组建专业化应急抢修队伍,配备充足的抢修设备和物资,明确抢修流程和责任分工;定期开展应急演练,模拟各类线路故障场景,提升队伍快速响应、协同作战和应急处置能力;建立应急联动机制,加强与气象、交通等部门的沟通,确保突发故障能够快速处置,缩短供电中断时间。

3.3.3 安全意识培养与标准化作业规范落实:常态化

开展安全警示教育,通过案例讲解、安全培训等方式,提升运维人员的安全意识,杜绝违规操作;完善标准化作业规范,明确巡检、检修、抢修等各环节的操作流程和安全要求,加强现场监督检查,确保作业人员严格按照规范操作,防范人为因素引发的安全风险。

3.4 政策与保障体系完善

3.4.1 完善线路安全运行相关标准与管理制度:结合行业发展和运维实际,修订完善输配电线路安全运行、检修维护等相关标准,明确技术要求和管理规范;健全管理制度,细化运维责任,完善隐患排查整改、考核奖惩等机制,确保运维工作有章可循、有据可依。

3.4.2 强化新型并网主体涉网安全管控:针对分布式电源、储能等新型并网主体,完善涉网安全管理要求,加强并网前审核、并网后监测,规范其运行行为;建立新型并网主体安全责任体系,明确其安全运维责任,防范新型负荷接入对线路安全运行的影响。

结束语

输配电及用电工程线路安全运行是电网稳定运行的核心基石,面对复杂风险挑战,需持续深化技术应用与管理创新。本文通过系统分析运行现状、风险特征及关键技术,构建多维度运维优化体系,为线路安全管控提供可行路径。未来,应进一步推动智能化技术深度融合,完善全生命周期运维机制,强化队伍建设与政策保障,不断提升线路安全运行水平,为新型电力系统建设与社会经济可持续发展提供坚实电力保障。

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,2020,6(21):50-51.
- [2]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,2022,31(12):197-199.
- [3]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,2023,9(17):179-180.
- [4]戴大治.输配电及用电工程线路安全运行的问题及其技术探讨[J].科学技术创新,2024,9(12):52-53.
- [5]陆生鲜.输配电及用电工程线路的安全运行措施研究[J].中国新通信,2022,21(23):157-159.