

电力系统输配电线路状态评估及运维策略研究

王 东

国网冀北电力有限公司遵化市供电分公司 河北 唐山 063000

摘 要：电力系统输配电线路是保障电力稳定供应的关键设施，其安全运行关乎电网可靠性与社会经济发展。本文聚焦输配电线路状态评估及运维策略研究，构建了包含电气参数、机械性能、环境因素和运行历史数据的状态评估指标体系，系统分析传统评估方法、在线监测技术和数据分析方法的应用。通过标准化评估流程，实现对线路状态的精准诊断，并将评估结果应用于优化检修策略、辅助规划设计和保障电网安全。同时，提出优化巡检模式、完善故障预防、推进设备改造、强化人员培训和建立信息化管理系统等运维策略，为提升输配电线路运维水平、降低故障风险提供科学依据与实践指导。

关键词：电力系统；输配电线路；状态评估；运维策略研究

引言：随着电力需求的持续增长和智能电网建设的推进，输配电线路的规模与复杂性不断提升。传统基于经验的运维模式，难以应对线路因环境变化、设备老化引发的潜在风险，频繁的故障不仅影响供电稳定性，还增加运维成本。科学开展线路状态评估，精准识别安全隐患，制定高效运维策略，已成为保障电网安全运行的迫切需求。本文结合电力系统输配电线路特点，深入研究状态评估技术与运维优化方案，旨在突破传统运维局限，为实现输配电线路智能化、精益化管理提供理论支撑，助力电力行业高质量发展。

1 电力系统输配电线路概述

电力系统输配电线路是连接发电端与用户端的核心枢纽，承担着电能长距离传输与区域分配的重要使命。输电线路以高电压等级将电能从发电厂输送至负荷中心，而配电线路则通过降压处理，将电能安全、稳定地分配到千家万户与各类用电设备，其运行状态直接决定供电可靠性与电能质量。线路主要由杆塔、导线、绝缘子、金具及接地装置等构成，其中杆塔提供机械支撑，导线作为电能传输载体，绝缘子与金具保障绝缘性能与连接稳定性，接地装置则确保线路安全运行。随着电力需求激增与电网智能化升级，输配电线路规模持续扩张，覆盖范围更广、结构更复杂。与此同时，极端天气、设备老化、人为破坏等因素加剧线路运行风险，传统运维模式已难以满足实时监测与快速响应需求^[1]。

2 电力系统输配电线路状态评估

2.1 状态评估指标体系构建

2.1.1 电气参数

电气参数是反映输配电线路运行健康状况的核心指标。其中，线路的电压、电流和功率损耗直接体现电能

传输效率，异常波动可能预示导线老化、接触不良或短路故障。绝缘电阻参数则关乎线路绝缘性能，其数值下降往往表明绝缘子受潮、破损或存在局部放电现象，威胁设备安全运行。此外，三相不平衡度也是关键评估项，过高的不平衡会导致线路损耗增加、设备过热，甚至引发继电保护误动作。通过实时监测这些电气参数，可及时捕捉线路潜在故障隐患，为状态评估提供量化依据，保障电力系统稳定运行。

2.1.2 机械性能

机械性能指标用于评估输配电线路承受外力作用的能力。杆塔作为支撑结构，其倾斜度、基础沉降和腐蚀程度直接影响线路稳定性，若杆塔出现结构损伤，可能引发倒塔等严重事故。导线的张力与弧垂同样重要，张力过大易导致断线，过小则可能引发导线对地距离不足，威胁人员与设备安全。金具作为连接部件，磨损、松动等问题会降低机械连接强度，影响线路整体可靠性。通过对这些机械性能指标的监测与分析，可提前预判线路结构缺陷，避免因机械故障造成的电力中断，保障线路长期稳定运行。

2.1.3 环境因素

环境因素对输配电线路运行状态具有显著影响。恶劣天气如暴雨、大风、冰雪等，可能导致导线舞动、杆塔倾斜甚至断线；长期高温或高湿度环境会加速绝缘材料老化，降低线路绝缘性能。此外，周边地形地貌变化，如山体滑坡、地面沉降，以及植被生长过度靠近线路，都可能对线路造成物理破坏或引发短路风险。工业污染区的腐蚀性气体、粉尘还会侵蚀杆塔和金具，缩短设备使用寿命。因此，将环境因素纳入评估体系，实时监测气象条件、地理环境变化，有助于提前制定防护措施

施,降低环境引发的线路故障概率。

2.1.4 运行历史数据

运行历史数据记录了输配电线路从投运到当前的全生命周期信息,是评估线路状态的重要依据。设备的投运时间、检修记录、故障次数及处理措施等数据,能直观反映线路的老化程度与维护状况。例如,频繁发生故障的线路区段,可能存在设计缺陷或设备质量问题;检修记录可揭示设备薄弱环节,辅助判断当前运行状态。此外,历史负荷数据能反映线路长期承载能力,结合季节性用电规律,可预测未来运行风险。通过对运行历史数据的深度挖掘与分析,可实现对线路状态的动态评估,为制定差异化运维策略提供数据支撑。

2.2 状态评估方法

2.2.1 传统方法

传统评估方法主要依赖人工巡检与离线试验。人工巡检通过运维人员定期对线路进行徒步或登塔检查,直观观察杆塔倾斜、导线磨损、绝缘子破损等明显缺陷;离线试验则通过停电后对设备进行绝缘电阻测试、耐压试验等,判断设备性能。此类方法操作简单、成本较低,对经验丰富的运维人员而言,能快速识别部分显性故障。然而,人工巡检效率低、主观性强,难以发现隐蔽性缺陷;离线试验需停电进行,影响供电连续性,且无法实时监测线路状态。在电网规模持续扩大、运维需求升级的背景下,传统方法逐渐难以满足复杂工况下的评估需求,需与新技术结合以提升准确性与及时性。

2.2.2 在线监测技术

在线监测技术借助传感器与通信网络,实现对输配电线路运行参数的实时采集与传输。例如,通过光纤传感器监测导线温度与弧垂,利用局部放电传感器检测绝缘子绝缘缺陷,依托气象监测设备获取环境参数。这些技术可在不停电状态下,持续追踪线路电气、机械与环境信息,数据采集频率高、实时性强,能及时捕捉微小异常变化。同时,结合物联网技术将监测数据上传至后台系统,通过可视化界面呈现线路状态,为运维人员提供精准决策依据。但在线监测技术初期投资成本高,传感器长期运行的稳定性与可靠性需持续优化,部分复杂环境下的数据准确性也面临挑战。

2.2.3 数据分析方法

数据分析方法基于统计学、机器学习等技术,对海量监测数据进行深度挖掘与建模分析。通过构建故障预测模型,利用历史运行数据与实时监测信息,可预测线路未来故障概率与发展趋势;采用聚类分析、关联规则算法,能识别不同参数间的潜在关系,定位故障根源。

此类方法具备自学习能力,可适应复杂多变的运行场景,有效弥补人工经验不足与传统模型的局限性。但数据分析依赖高质量数据,数据缺失、噪声干扰会影响模型准确性,且模型的可解释性与部署成本也是实际应用中需解决的关键问题。

2.3 评估流程

2.3.1 数据采集

数据采集是状态评估的起点,通过多渠道获取线路运行关键信息。一方面,利用电流互感器、温湿度传感器等在线监测设备,实时采集电压、电流、环境温湿度等动态数据;另一方面,结合人工巡检、设备档案查阅,收集杆塔结构参数、历史故障记录等静态数据。此外,无人机巡检、卫星遥感技术的应用,进一步拓展了数据采集的广度与精度,确保获取全面、准确的数据基础。

2.3.2 数据预处理

原始数据存在噪声、缺失等问题,需经预处理提升可用性。通过插值算法填补缺失值,运用滤波技术去除噪声干扰,并对不同格式数据进行标准化处理,统一量纲与单位。同时,采用统计分析或机器学习算法识别异常数据,结合实际工况修正错误值,确保数据真实反映线路运行状态,为后续评估提供可靠支撑。

2.3.3 状态评估

依据预处理后的数据,综合运用层次分析法、模糊综合评价等方法,对线路状态进行量化评估。通过确定各指标权重,结合电气、机械、环境等多维度数据,计算线路健康指数,划分正常、异常等状态等级。评估过程充分考虑指标间关联性,避免单一因素误判,实现对线路运行状态的全面、客观诊断。

2.3.4 结果输出

将评估结果以直观形式呈现,助力运维决策。通过健康曲线图、热力图等可视化图表,展示线路整体及局部状态变化;生成详细评估报告,明确故障类型、位置及风险等级,并提出针对性检修建议。同时,与运维管理系统对接,自动生成检修计划,推动评估结果从数据向实际运维操作的高效转化。

2.4 评估结果分析与应用

2.4.1 优化检修策略

基于状态评估结果,可精准定位线路薄弱环节与潜在故障点,打破传统“定期检修”的固有模式。通过分析设备健康指数与故障发展趋势,对状态良好的线路适当延长检修周期,降低运维成本;对存在异常的线路及时安排针对性检修,避免故障扩大。例如,对绝缘性能下降的绝缘子优先更换,对负荷过载区域的导线提前增

容改造,实现从“被动维修”向“主动预防”转变,显著提升检修效率与资源利用合理性。

2.4.2 辅助规划设计

评估结果能为输配电线路的规划设计提供数据支撑。通过分析历史运行数据与当前状态,可明确现有线路在负荷分布、地理环境适应性等方面的不足。例如,在新建线路时,参考易受雷击或覆冰区域的评估数据,优化杆塔选型与路径规划;针对老旧线路评估发现的容量不足问题,为后续扩容改造提供设计依据,确保电网规划更贴合实际运行需求,提升电网整体建设科学性。

2.4.3 保障电网安全

利用评估结果可实时监测线路运行风险,有效防范电网安全事故。通过对评估数据的动态分析,及时预警可能引发连锁故障的隐患,如导线温度过高、杆塔倾斜超限等。结合风险等级,制定分级管控措施,对高风险区域加强监测与防护,提前部署应急预案。同时,通过持续跟踪评估结果,验证防控措施有效性,构建全方位的电网安全防护体系,保障电力系统稳定运行^[2]。

3 电力系统输配电线路运维策略

3.1 优化巡检模式

传统人工巡检难以满足复杂电网运维需求,需融合智能化技术优化巡检模式。通过部署无人机搭载高清摄像头与红外热像仪,对地形复杂区域进行快速扫描,精准识别导线断股、绝缘子破损等隐患;利用在线监测传感器实时采集电气参数、机械状态及环境数据,实现24小时不间断监测。同时,基于状态评估结果动态规划巡检路线,对高风险区段加密巡检频次,对状态良好区域延长巡检周期,减少冗余工作。“人工+智能”协同巡检模式既能突破人工巡检的局限性,又能降低纯自动化监测的成本,显著提升巡检效率与隐患发现能力。

3.2 完善故障预防措施

故障预防需从设备、环境与管理多维度发力。设备层面,选用防污闪绝缘子、抗老化导线等新型材料,提升设备抗环境干扰性能;安装短路故障指示器,实现故障快速定位。环境层面,建立气象预警与线路风险联动机制,极端天气前提前加固杆塔、清理线路走廊树木。管理层面,严格管控线路周边施工,通过电子围栏与视频监控防止外力破坏;制定科学的负荷控制策略,避免线路长期过载。系统化的预防措施可有效降低因设备老化、环境影响和人为因素导致的故障概率,保障电网稳定运行。

3.3 设备更新改造

针对老旧设备性能下降、故障率高的问题,需推进设备更新改造。对运行超期的杆塔,采用高强度复合材

料替代,增强结构稳定性与抗腐蚀能力;将截面不足、损耗大的导线更换为大截面、低电阻型号,降低电能传输损耗。优先替换频繁故障的变压器、断路器等关键设备,选用具备在线监测功能的智能化设备,实现远程状态管控。改造过程结合状态评估结果,聚焦高风险区域精准升级,避免资源浪费。设备更新不仅能提升线路可靠性,还可适配智能电网发展需求,为电力系统数字化转型奠定基础。

3.4 加强运维人员培训

运维人员的专业能力是保障线路安全的关键。构建分层培训体系,基础课程覆盖电力安全规程、设备操作技能;进阶培训通过案例分析与模拟演练,提升故障诊断和应急处理能力。紧跟技术发展,开设无人机操作、数据分析软件应用等课程,培养复合型人才。建立考核激励机制,将培训成绩与绩效挂钩,激发学习积极性。通过持续培训,帮助运维人员掌握新技术、新方法,弥补经验短板,打造一支技术过硬、反应迅速的运维队伍,为线路安全稳定运行提供人力保障。

3.5 建立运维管理信息系统

运维管理信息系统整合在线监测、状态评估、检修计划等功能,实现运维流程数字化。系统实时接入在线监测数据,自动分析线路状态并预警风险;基于评估结果智能生成检修计划,优化人力与物资调配。借助GIS技术可视化展示线路分布与设备状态,便于快速定位故障点。多部门协同办公模块支持故障处理流程线上流转,提升跨部门协作效率。通过对历史运维数据的深度挖掘,系统还能总结故障规律,为运维策略优化提供数据支撑,推动运维管理从经验驱动转向数据驱动,提升整体管理效能^[3]。

结束语

电力系统输配电线路状态评估及运维策略研究,对于保障电网安全稳定运行、提升供电可靠性意义重大。通过本次研究,我们构建了更科学全面的状态评估体系,为线路状态精准判断提供了依据;同时提出的运维策略也更具针对性和有效性。然而,电力系统不断发展,新问题、新挑战层出不穷。

参考文献

- [1]高贵发.电力系统安全运行中输配电线路的研究与探讨[J].电子技术与软件工程,2021(23):163-167
- [2]潘鸿,杨祚华.浅析输配电线路的安全运行[J].科技与创新,2022(23):121-122.
- [3]贺春茂.输配电线路运行中的安全隐患及预防管理[J].中国新通信,2021,16(23):114-115