

高压输电线路运检工作技术难点探究

田磊

国网白银供电公司

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6661

[摘要] 高压输电线路是电力系统能量传输的重要载体,其安全稳定运行事关电网供电可靠性与社会经济可持续发展。随着我国电网向特高压与长距离以及大容量方向发展,高压输电线路覆盖面积日益增大,运行环境日趋复杂,对运行检测提出了新的技术挑战。本文就以高压输电线路运检工作作为论述对象,重点论述了不同原因导致的检修工作技术难点,在此基础上提出了相应的运检技术对策,旨在提高高压输电线路运检工作质量,希望能为相关领域人员提供一定参考。

[关键词] 高压输电线路; 运检技术; 自然环境干扰; 设备老化; 外力破坏

中图分类号: TM726.1 文献标识码: A

Research on the Technical Challenges in Operation and Maintenance of High-Voltage Transmission Lines

Lei Tian

State Grid Baiyin Power Supply Company

[Abstract] High-voltage transmission lines serve as a critical medium for energy transmission within power systems, and their safe and stable operation is essential to ensuring reliable power supply and supporting the sustainable development of economy and society. With the ongoing advancement of China's power grid toward ultra-high voltage, long-distance, and large-capacity transmission, high-voltage transmission lines are being deployed across increasingly extensive regions. Concurrently, operational environments have become more complex, posing new technical challenges for operation, maintenance, and inspection activities. This paper systematically examines the operational and maintenance tasks associated with high-voltage transmission lines, analyzing technical difficulties arising from various factors such as environmental interference, equipment aging, and external damage. Based on this analysis, corresponding technical countermeasures are proposed to enhance the efficiency and quality of operation and maintenance practices. It is anticipated that the findings of this study will provide valuable insights and references for professionals in related fields.

[Key words] High-voltage transmission lines; Operation and maintenance technology; Environmental interference; Equipment aging; External damage

引言

在能源结构转型与加强能源建设背景下,高压输电线作为能源的重要载体,其建设规模与覆盖面积不断扩大。根据国家能源局数据统计,到2024年底我国110kV及以上高压输电线路总长度超过130万km,其中超高压输电线路超过6.5万km,且很多高压输电线穿越山地丘陵等复杂地形,长期暴露于较为恶劣的自然环境之中,受到了多种复杂的自然因素的影响,加之设备老化及外力损伤,以及传统监测技术手段受限,导致运行检修工作质量难以提升^[1]。一旦高压输电线路发生故障所造成的经济损失巨大,严重影响电网安全稳定运行与社会正常生产生活,故加强对高压输电线路运行检测技术难点进行深入研究,提出科学有效

的技术改进方案,对提高输电线路运行检测的有效性 & 保证高压输电线路安全稳定运行均具有重要的理论与现实意义。

1 高压输电线路运检工作的必要性

高压输电线路运检工作是电力系统运营管理的重要内容,这项工作的核心是对线路及配套设备在运行中存在的各种缺陷与安全隐患进行及时发现及排除,确保线路一直保持良好的运行状态,从电网安全的角度来看,运检工作可以有效地降低线路故障率,根据国家能源局的相关数据,经过规范运行的线路故障停运率比未经规范运行的线路下降了73.2%,大大提高了电网的供电可靠性与安全稳定运行水平,防止了线路故障导致大面积停电及所带来的损失^[2]。从能量传输的角度来看,定期对输电线

路与绝缘子以及杆塔等关键部件进行检修是保证输电效率和降低能量损失的重要手段,在保障能源稳定及避免能源浪费等方面均发挥了重要的保障作用。

2 高压输电线路运检工作技术难点

2.1 自然环境因素干扰带来的技术难点

自然环境因素是高压输电线路运行检测的首要外部因素,其强随机性与破坏性对运行检测技术提出了诸多技术挑战,其中雷击是高压输电线路最常见的自然灾害之一,在年平均雷暴日数40天以上的地区,线路雷击失效率高达0.35次/km·年,强雷击中导线或杆塔时,会引起瞬间过电压,造成绝缘子闪络或导线烧蚀等故障,且雷击故障点具有隐蔽性,特别是山区地形条件下,故障定位误差常可能超过500m,增加了故障诊断的难度。在线路运行过程中冰雪的危害也不容忽视,覆冰厚度大于15mm时线路所承受的垂直与水平荷载将增加60%以上,容易造成杆塔倾斜或断线等重大事故,且需要在低温雨雪等恶劣条件下开展维护,传统监测设备精度只有平时的65%,难以准确把握覆冰动态^[3]。

除以上自然因素影响外,风力对线路的危害也较大,风力与高压线路舞动的幅度成正比,当风速达到了25m/秒时线路舞动幅度可达峰值1.8m(如下图1所示),这一舞动幅度极易导致相间短路及金具损伤,且舞动故障突发性强导致运检人员很难对其进行预判及及时处理,还有沿海地区的盐雾腐蚀与酸雨地区的化学腐蚀也都加速了设备的老化,在盐雾浓度大于0.05mg/cm²的环境下,绝缘子劣化速度可达0.12mm/cm²,在运行检测过程中需要对其进行精确检测,但传统的检测方法对此类故障的误差较高导致难以判断其隐患^[4]。

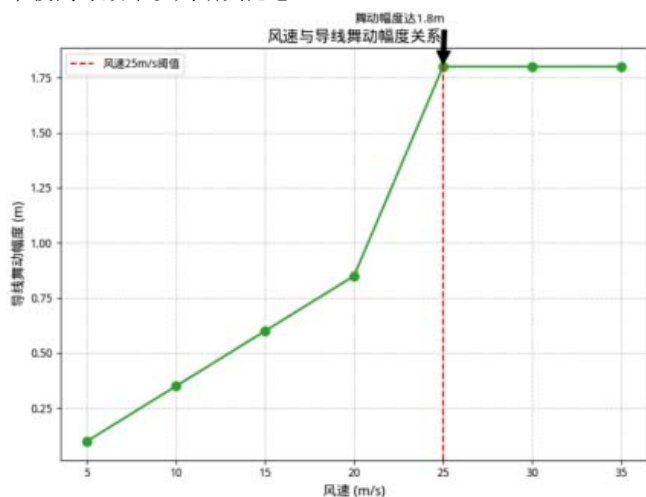


图1 自然风力与高压输电线路导线舞动幅度的相关性

2.2 线路及配套设备老化带来的技术难点

随着高压输电线路运行年限的增长,线路本体及配套设备不可避免地出现老化现象,其隐蔽性、渐进性与不可逆性给运检工作带来显著技术难点。在导线老化方面,运行超过15年的钢芯铝绞线因腐蚀、疲劳等因素,导线截面积会减少3%-5%,直流电阻增加8%-12%,易出现局部过热、断股等问题,而导线老化多发生在内部钢芯,外部绝缘层未出现明显破损,传统视觉巡检难以发

现,需借助专业检测设备进行无损检测,但此类设备操作复杂,检测效率仅为普通巡检的1/3,且检测结果受环境光照、导线表面清洁度影响较大,误差率可达10%-15%。

2.3 外力破坏不可控性带来的技术难点

外力破坏因其随机性、不可控性成为高压输电线路运检工作的重要技术难点,各类人为活动引发的故障占比呈逐年上升趋势。在工程施工干扰方面,随着城镇化建设与基础设施建设的推进,高压输电线路走廊附近的道路施工、建筑施工、管线铺设等活动日益频繁,施工机械碰撞杆塔、挂断导线的事故年均发生率达0.25次/百公里,其中挖掘机、起重机等大型机械造成的故障占比超过70%,此类施工活动多为临时作业,施工范围分散,运检人员难以实现全时段、全覆盖监控,传统巡检方式的响应时间超过2小时,往往无法及时制止危险作业。

2.4 传统监测手段局限性带来的技术难点

传统监测手段的技术局限性的制约了高压输电线路运检工作的质量与效率,难以满足复杂工况下的运检需求。在人工巡检方面,传统人工巡检主要依赖运检人员现场观察、测量,受人员技能水平、责任心及环境条件影响较大,对于百公里高压输电线路,人工巡检需投入3-5人团队,耗时3-4天,巡检效率仅为20-30公里/人·天,且对于高空、偏远区域的线路,人员难以抵达,存在巡检盲区,缺陷漏检率可达15%-20%,尤其是对于导线内部断股、绝缘子内部绝缘劣化等隐蔽缺陷,人工巡检几乎无法发现。

3 加强高压输电线路运检工作的对策

3.1 应对自然环境因素的策略

考虑到自然因素给运输检查带来的技术难题,在检修时需要结合地区环境特点,采取有针对性的技术措施与防护保障措施,以提高线路的抗环境干扰能力及运行检查的效率,如针对雷击防护问题,需要对年平均雷暴日数大于40天的雷击多发地区增设避雷器,选用保护半径1.5倍的ZnO避雷器并对其接地装置进行优化,使接地电阻小于10Ω,以减小杆塔接地电阻来提高雷电泄放能力,采取该措施后,线路雷击故障率可大幅降低。针对覆冰灾害的强化检修,可以设置基于光纤传感技术的覆冰在线监测系统,其测量精度达到±0.1mm,可以实时监测导线的覆冰厚度与重量等参数,并在覆冰厚度大于10mm时发出警报,在覆冰厚度大于15mm时启动除冰警告,使覆冰失效率大幅下降。在线路防舞方面,对风速大于25米/秒的多风区,要使用防舞锤及间隔棒等防舞装置,使导线舞动的幅度不超过0.5米,并对导线的布置进行优化,适当增大导线间的间距以防止舞动引起相间短路,还要针对沿海盐雾等腐蚀地区选用耐腐蚀性能优良且表面憎水性可达10年以上的复合绝缘子,并对杆塔及金具等金属构件进行热镀锌与防腐涂层双防护,使设备腐蚀速度低于0.02mm/年以显著延长设备使用寿命^[5]。

3.2 加强设备更新与维护措施

建立设备全生命周期管理体系,通过科学更新与精细化维护,延缓设备老化进程,降低老化引发的故障风险。在导线更新与维护方面,对运行超过15年的钢芯铝绞线逐步更换为耐热铝

合金导线,该导线具有耐腐蚀、强度高、载流量大等优点,使用寿命可达30年以上,电阻损耗较传统导线降低10%-15%,同时采用超声波无损检测技术对导线进行定期检测,检测频率为每年1次,检测准确率可达95%以上,能够及时发现导线内部断股、腐蚀等缺陷,对于检测发现的轻微缺陷,采用导线修补条进行修复,修复后的导线强度可达原导线的90%以上;对于严重缺陷,及时更换导线段,避免缺陷扩大。

3.3 防范外力破坏的技术措施

构建“监测-预警-处置”一体化的外力破坏防范体系,提升对各类人为干扰因素的管控能力。在施工干扰防范方面,在高压输电线路走廊沿线安装智能视频监控系统,监控覆盖范围 $\geq 500\text{m}$,配备红外夜视功能,可实现24小时不间断监控,通过AI算法识别挖掘机、起重机等大型施工机械,当机械进入线路安全距离(110kV线路为10m,220kV线路为15m)范围内时,系统在3秒内发出声光预警,并将预警信息推送至运检人员手机终端,同时联合当地住建、交通等部门建立施工告知机制,提前获取线路走廊附近施工计划,安排专人现场监护,监护频率为每天1次,确保施工活动规范开展,避免碰撞线路设备。

在树木生长干扰防范方面,采用激光雷达巡检技术对线路走廊内树木进行定期测量,测量频率为每2年1次,激光雷达测量精度可达 $\pm 0.2\text{m}$,能够快速获取树木高度、与导线距离等数据,建立树木生长数据库,预测树木生长趋势,对于预计1年内将突破安全距离的树木,提前安排修剪,修剪后的树木与导线距离确保超过安全距离1m以上;在树木密集区域,采用定向修剪技术,避免过度修剪影响生态环境,同时与树木产权人签订维护协议,明确双方责任,形成长效管理机制。在防范盗窃破坏方面,在杆塔底部安装振动传感器与红外报警装置,当有人攀爬杆塔或破坏设备时,装置立即发出报警信号,同时联动附近监控设备拍摄现场画面,将报警信息与画面同步推送至运检指挥中心,加强线路夜间巡检,采用无人机红外巡检与人工巡检相结合的方式,巡检频率为每周1次,提高对盗窃破坏行为的威慑力与发现率。

3.4 提升运检监测技术手段

为了突破传统线路检修监测手段的局限问题,需要加快运检监测技术的智能化与数字化升级,提高运检工作的效率与准确性,如推广无人机巡检技术,在检修中选择专业巡检无人机并配备高清摄像头,红外热像仪以及激光雷达等设备,每天巡检效率可达100km,比传统人工巡检效率至少高5倍,巡检覆盖率达到98%以上,缺陷识别率达到90%以上,能有效发现导线断股与绝缘

子劣化以及杆塔裂缝等各类缺陷,尤其是在山区等复杂地形中,大幅降低了巡检难度与劳动强度。还可以借助现代信息技术如5G无线传输构建在线监测系统,在关键路段安装线路相关参数在线监测装置,利用5G无线传输技术实现数据传输延时 ≤ 10 秒,实现线路运行状态实时监测,还可搭建大数据分析平台以实现监测数据异常以实现故障风险的及早预测。目前很多电力公司还引入了机器人巡检技术,将轨道型或轮式巡检机器人应用于变电站进出线路或重要跨越区段等重点部位,实现24小时不间断巡检,通过配备高清摄像头及超声波传感器等设备的机器人,可以对设备的缺陷进行精确检测,并能在恶劣天气下正常工作,有效提高了运检工作的智能化与精准化水平。

4 结语

高压输电线路运行检测是保证电网安全稳定运行的基础工作,其技术水平直接影响电网供电可靠性,本文在深入探究高压输电线路运行检测技术难点的基础上,明确了当前运行检测面临的主要技术难点,并提出了相应的检修技术对策,旨在有效地降低输电线路故障率,提高输电线路运行的效率与质量,为输电线路的安全稳定运行提供强有力的保证。今后随着高压输电线路覆盖范围进一步扩大,其运行环境日趋复杂,运行检测工作面临的技术挑战也将不断增加,未来需要进一步强化运检技术的创新,促进如大数据及物联网等尖端技术与运检工作的深度结合,持续提高运检工作的技术水平与工作质量,促进我国能源事业的高质量发展。

[参考文献]

- [1]胡晓平,彭星星,于森.高压输电线路中的运检技术策略分析[J].电力设备管理,2025,(04):50-52.
- [2]刘兆威.高压输电线路运检工作技术难点与应对措施研究[J].电气技术与经济,2024,(03):70-71+74.
- [3]赵晟宇.超特高压输电线路运维管理中存在的问题和应对措施[J].中国设备工程,2023,(19):59-61.
- [4]张震.高压输电线路中的运检技术策略分析[J].电子技术,2023,52(06):354-355.
- [5]张卫华.高压输电线路的运检技术分析[J].集成电路应用,2021,38(06):136-137.

作者简介:

田磊(1998-),男,汉族,甘肃张掖临泽人,本科,助理工程师,输电运维。