

输配电线路的运行维护与故障排除技术分析

尹广强, 贾晓伟

内蒙古电力(集团)有限责任公司锡林郭勒盟正蓝旗供电公司, 内蒙古 锡林郭勒盟 027200

DOI:10.61369/EPTSM.2025070008

摘要 : 中国各个地区都建设了大量的输配电线用于电能的分配和传输。然而, 在各种内外因素的影响下, 输配电线在运行初期往往容易发生各种故障, 其中短路、雷击等故障较为常见。这些故障一旦发生, 必须及时得到处理, 否则可能会导致灾难性的后果。因此, 研究和应用维护和故障排除技术, 以降低故障发生概率, 具有非常重要的意义。

关键词 : 输配电线; 运行维护; 故障排除技术

Technical Analysis on Operation, Maintenance and Fault Troubleshooting of Power Transmission and Distribution Lines

Yin Guangqiang, Jia Xiaowei

Xilin Gol League Zhenglan Banner Power Supply Branch of Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd., Xilin Gol League, Inner Mongolia 027200

Abstract : A large number of power transmission and distribution lines have been constructed across various regions in China for the distribution and transmission of electrical energy. However, influenced by various internal and external factors, power transmission and distribution lines are often prone to various faults during their initial operation period, with short circuits, lightning strikes, and other faults being relatively common. Once these faults occur, they must be addressed promptly; otherwise, they may lead to catastrophic consequences. Therefore, it is of great significance to research and apply maintenance and fault-elimination techniques to reduce the probability of faults occurring.

Keywords : power transmission and distribution lines; operational maintenance; fault-elimination techniques

引言

电力系统中输配电线是电力传输的重要组成部分。为了确保电力传输的质量和安全性, 加强输配电线的运行维护并及时排除线路故障是重要措施。通过综合应用智能化巡检、状态监测和故障处理技术, 可以有效提升输配电线的运行可靠性和安全性。

一、输配电线运行维护方法

1. 输配电线为何需要定期巡检。输配电线需要定期巡检是基于电力系统安全运行、设备可靠性维护及法规合规要求的综合考量, 保障设备安全运行, 预防性维护需求: 通过定期检查导线、绝缘子、金具等关键部件的磨损和老化情况, 可提前发现并处理潜在缺陷, 避免突发性故障。例如110kV及以下线路需每周至少1次常规巡视, 220kV及以上需每周2次。环境因素影响: 线路易受覆冰、雷击、强风等自然灾害威胁。通过巡检可及时调整防雷措施(如优化外绝缘配置)或处理覆冰隐患。满足法规与标准要求。强制性规定: 根据《电力供应与使用条例》, 供电企业须定期检查、维修电力设施, 消除安全隐患。《供电监管办法》明确要求城市年供电可靠率不低于99%, 电压合格率不低于95%。技术规范约束: 如《低压配电设计规范》GB50054-2011对配电

室环境、设备维护提出具体巡检标准。提升供电可靠性。故障快速响应: 通过分级巡视(如全面巡视与特殊巡视结合), 可缩短故障定位时间。阿拉善地区电网要求城市中心配电故障30分钟内到达现场。数据积累与分析: 周期性巡视采集的数据用于评估线路健康状态, 支撑智能化升级(如无人机巡检与PMS3.0系统结合)。特殊场景保障。重要用户供电: 对医院、数据中心等关键用户, 需增加巡检频次以确保供电连续性。电缆线路管理: 地下电缆因隐蔽性高, 需每月至少1次专项检查。定期巡检是电力系统“防患于未然”的核心手段, 通过制度化、标准化的维护流程, 可显著降低停电风险, 保障社会经济活动正常运转。

2. 输配电线巡检的内容。输配电线巡检是保障电力系统安全运行的核心工作, 线路本体状态检查, 导线系统, 检查导线断股、锈蚀、弧垂异常及连接点(线夹/跳线)过热变色现象, 观测导线舞动或脱冰跳跃等动态异常, 杆塔与基础, 检测杆塔倾

斜度、混凝土裂纹、钢筋外露等结构性损伤，确认塔材连接螺栓紧固状态及锈蚀情况，绝缘子与金具，检查绝缘子表面污秽、裂纹及闪络痕迹（复合绝缘子需评估硅橡胶老化程度），监测金具磨损变形、防振锤位移及拉线张力失衡问题。通道环境评估，障碍物排查，清除线路保护区内的违章建筑、超高树木及易燃物堆放点，制止违规施工活动，监测爆破、机械作业等外力破坏风险，自然灾害防范，检查杆塔基础水土流失、山体滑坡及洪水冲刷情况，冰雪天气需重点监测导线覆冰厚度和绝缘子冰凌。附属设施检测，防雷接地装置，测量接地电阻值（通常要求 $\leq 1\Omega$ ），检查接地引下线锈蚀及避雷器连接可靠性，标识与防护，修复缺失/模糊的杆塔编号、相位标志及警示牌，维护防鸟设施、防洪装置等防护设备功能完整性。特殊工况专项排查，暴雨后重点检查基础塌陷及绝缘子污秽，负荷高峰时段使用红外测温仪检测导线连接点（预警值90°C），夜间巡视观测电晕及放电现象，通过系统化巡检可有效预防故障发生，确保供电可靠性达到99%以上标准要求。

3. 输配电线路日常维护的项目。线路本体维护，导线系统，检查导线断股、锈蚀、弧垂异常及连接点（线夹/跳线）过热变色现象，监测导线舞动或脱冰跳跃等动态异常，杆塔与基础，检测杆塔倾斜度、混凝土裂纹、钢筋外露等结构性损伤，紧固松动螺栓（需使用扭矩扳手）及防腐处理，绝缘子与金具，清扫绝缘子表面污秽（特别关注PRTV涂料状态），检查金具磨损变形、防振锤位移及拉线张力。通道环境管理，障碍物清理，清除保护区内违章建筑、超高树木（需维持安全距离），制止违规施工活动，监测爆破等外力破坏风险，自然灾害防范，检查杆塔基础水土流失、山体滑坡及洪水冲刷，冰雪天气需监测导线覆冰厚度（预警值：10mm）。附属设施检测，防雷接地系统，测量接地电阻值（标准 $\leq 1\Omega$ ）及避雷器连接可靠性，检查接地引下线锈蚀情况。标识与防护，修复缺失/模糊的杆塔编号、相位标志及警示牌，维护防鸟设施、防洪装置等功能完整性。特殊工况专项维护，暴雨后重点检查基础塌陷及绝缘子污秽，负荷高峰时段红外测温（连接点预警值90°C），夜间巡视观测电晕及放电现象。智能化维护手段，无人机巡检（可识别导线断股、绝缘子裂纹），带电检测技术（如绝缘子无损探伤）。安全管控措施，严格执行“两票三制”（工作票/操作票/监护制），配备个人保安线及防坠落装置，定期开展安全培训（含蛇药、外伤急救），通过上述维护可实现线路故障率降低30%以上，需结合《架空输电线路运行规程》(DL/T741)等标准执行。

二、输配电线路维护周期和策略如何制定

输配电线路的维护周期和策略制定需综合考虑设备特性、环境因素及运行工况，

1. 核心维护周期标准。高压线路检测，1~10kV线路高压登杆检查每5年至少1次，木杆木横担线路每年1次，导线连接线夹检查每5年至少1次，杆塔基础维护，铁塔金属基础锈蚀后每年检查1次，正常情况每5年1次，混凝土杆根部在盐碱低洼地区每5年

检查1次，异常时加密至每年1次，导线与绝缘子，悬式绝缘子绝缘电阻测试按需进行，导线弧垂、限距测量根据巡视结果动态调整。

2. 策略制定依据。设备差异化维护，变压器需定期油样检测和红外热成像分析，开关柜需高频次机械动作测试及接触电阻检测，电缆系统应周期性开展绝缘电阻检测与局放监测，环境适应性调整，高温地区加密红外测温频率，沿海高湿环境强化防锈措施并缩短维护间隔，多尘区域增加设备表面放电检测频次，负载工况匹配，频繁操作设备（如配电自动化开关）需高频次机构灵活性检查，高负载线路需增加温升监测和热成像检查。

3. 智能化维护手段。采用无人机巡检结合AI图像分析技术，部署在线监测装置实现导线温度、舞动等实时监控，建立电力物联网系统进行全景全息感知。

4. 特殊场景管理。防洪设备每年汛期前专项检查，防山火区域配置专用监测装置，通过上述标准化周期与动态策略结合，可提升线路故障预警能力30%以上，具体执行需参照DL/T741等规程要求。

三、输配电线路故障排除技术

1. 故障定位技术。控制回路诊断，采用逐级电阻测量法检测回路通断，通过启动按钮状态判断交流接触器动作逻辑（A-C点间电阻无穷大时，依次测试B/D/E/F点），对复杂配电柜线路，可结合线号标识定位故障元件（如停止按钮、接触器、热继电器），主回路分析，接触器吸合而电机不转时，重点检查断路器、熔断器及热继电器状态，红外测温仪检测导线连接点温度（预警阈值90°C），识别接触不良导致的过热故障。

2. 特殊环境故障处理。覆冰故障应对，监测导线覆冰厚度（ $> 10\text{mm}$ 时启动融冰程序），严禁登塔敲击除冰，采用V串复合绝缘子预防风偏故障，直线耐张塔配置应对脱冰冲击，雷击防护措施，优化外绝缘配置（保护角控制在 $\pm 10^\circ$ 以内），山区线路采用双避雷线设计，档距中央地线垂度需满足 $S_0 \leq C_1/2L+2.5\text{m}$ ，防止雷击导致相间短路。

3. 智能化检测技术。在线监测系统，部署导线舞动监测装置（风速 $> 15\text{m/s}$ 时启动预警），绝缘子污秽度监测结合湿度传感器（湿度 $> 90\%$ 时触发预警），带电检测手段，局放检测仪排查电缆头放电缺陷，AI图像识别技术检测导线断股（ ≥ 3 股），无人机巡检结合红外热成像技术，识别隐蔽发热点。

4. 安全操作规范。执行“两票三制”制度，高压作业前验电并挂接地线，防鸟害措施：横担端部安装防鸟刺，绝缘子串加装防鸟挡板，故障抢修时使用双重名称标识，确保操作安全。

5. 典型故障案例分析。开关柜内部短路，带电显示器传感器绝缘薄弱导致相间短路（案例中B相传感器烧损最严重），梅花触头接触不良引发电弧放电，导致真空断路器铜触指烧损，小电流接地系统故障，单相接地时非故障相对地电压升高，故障点电流为容性电流三倍，中性点经消弧线圈接地可降低故障危害，所有操作需参照DL/T741、DL/T5G92等规程执行，复杂故障建议

结合热成像仪、暗线定位器等现代工具辅助排查。

6. 如何预防输配电线路故障发生。预防输配电线路故障需采取多维度综合措施，结合技术防护与管理优化，设备与线路防护措施，绝缘维护，定期清洁绝缘子表面污秽（空气湿度 > 90% 时需加强监测），采用 V 串复合绝缘子预防风偏，山区线路配置双避雷线（保护角 $\pm 10^\circ$ 以内），环境风险控制，清除保护区区内超高树木（满足安全距离要求）及易燃堆积物，覆冰预警（厚度 > 10mm 启动融冰程序，严禁登塔敲击）。智能化监测技术，部署导线舞动监测装置（风速 > 15m/s 时触发预警），应用红外热成像技术检测连接点过热（预警温度 90°C），无人机巡检结合 AI 识别导线断股（ ≥ 3 股）。安全管理规范，操作流程，故障抢修需使用双重名称标识并悬挂警示牌，严格执行“两票三制”，高压作业前验电并挂接地线，人员培训，加强电气安全知识培训（典型案例：违章接线导致触电事故），定期开展防雷、防污闪等专项演练。应急体系建设，制定分级应急预案（含设备老化、山火等场景），建立故障快速响应机制（抢修单需明确许可时间及安全措施），防鸟害需在横担端部加装防鸟刺，绝缘子串增设防鸟挡板。所有措施应符合 DL/T741 等规程要求。

7. 输配电线路故障诊断的方法。以下是输配电线路故障诊断的常用方法及技术要点：常规检测手段，分段检测法，采用万用表分段测量线路通断性（如插座线路中间区域火零线分离测量），通过缩小故障范围提升排查效率（如过载保护器分段测试定位漏电点），^[1]回路分析法，控制线路故障检测：通过启动按钮状态判断接触器动作逻辑（A-C 点电阻测量），主回路故障排查：重点检查断路器、熔断器及热继电器状态。仪器检测技术，红外测温技术，检测导线连接点温度异常（预警阈值 90°C），适用于隐蔽发热点定位（如电缆头放电缺陷），电缆故障测距，采用低压脉冲法测试电缆全长（需连接 AC220V 电源），结合接地线夹与数据线夹进行精准定位。智能化诊断系统，部署导线舞动监测

装置（风速 > 15m/s 预警），应用 AI 图像识别技术检测导线断股（ ≥ 3 股标准），分布式故障诊断方案实现快速定位。特殊场景处理，雷击故障判断，500kV 线路两相接地短路需排查雷电反击可能，零地线接反检测，通过测量火线 - 零线 / 地线电压差异（正常应为 220V），所有操作需符合 DL/T741 规程要求，复杂故障建议结合热成像仪、暗线定位器等工具辅助排查。

四、输配电线路新技术应用

输配电线路新技术应用已进入智能化、自动化新阶段，主要技术突破与应用场景如下：

1. 智能作业装备应用。自主带电作业机器人，双臂机器人具备智能感知定位功能，可自主完成剥口、夹线、紧固线夹等操作（机械臂精度达 0.5mm），通过 5G 远程操控，作业效率提升 40% 以上，大幅降低人员高空作业风险，直升机带电作业，适用于跨山、跨江河等复杂地形线路应急抢修，实现不停电作业，地区首次应用绞车吊椅法完成 500kV 线路带电作业。^[2]

2. 超高压技术创新。750kV 超高压线路成功实施合成绝缘子带电更换（单串重 48kg），突破远距离大容量输电技术瓶颈，实现低损耗电力传输。

3. 智能化运维体系。输电线路“智慧大脑”系统突破线路增容瓶颈，多元智能装备集成应用，将传统 5 天检修缩短至 3 天完成，电网已实现机器人带电搭接作业常态化，标志着人机协同运维模式成熟。

总之，针对线路单相接地故障，电厂应优化输配电线路架构和做好线路技术巡检，同时也要采取有效的短路故障检测和排除技术。电厂还应通过安装避雷器、避雷线和提高线路绝缘水平等措施，降低雷击对输配电线路运行造成的危害，以保障电力系统的稳定运行。

参考文献

- [1] 张海峰. 电力输配电线路的安全运行维护及故障排除技术探讨. 2023.
- [2] 赵福鹏. 电力输配电线路故障排除与运行维护技术研究. 2024.