

Research on Aging Evaluation and Operation and Maintenance Strategy Upgrade of 10kV Distribution Line Equipment

Zhanqing Shen

China Oil Power Technology Service Company Xinjiang Power Supply Branch, Daqing, Heilongjiang, 163000, China

Abstract

With the continuous evolution of distribution network structures towards multi-source access and bidirectional power flow, the operational pressure on 10kV line equipment in distribution networks has been increasing, leading to a composite aging pattern during prolonged operation. This is specifically manifested as aging of insulation medium molecular structures, fatigue damage to mechanical components, and environmental coupling damage, posing challenges to the system's power supply reliability and fault handling efficiency. Guided by China's distribution network operation and industry standards, this paper briefly elaborates on quantified criteria and evaluation techniques based on equipment aging status, and proposes feasible operation and maintenance improvement measures aimed at reducing losses and improving quality, striving to provide actionable implementation plans and technical requirements for grassroots power supply.

Keywords

10kV distribution network; equipment aging; condition assessment; operation and maintenance strategy; differentiated maintenance

配网 10kV 线路设备老化评估与运维策略升级研究

申战庆

中油电能电力技术服务公司新疆供电分公司, 中国·黑龙江 大庆 163000

摘要

随着配电网结构不断向多源接入与双向潮流演变, 配网10kV线路设备的运行压力持续上升, 长时间运行出现复合型老化模式。具体表现为绝缘介质分子结构老化、机械构件疲劳损伤以及环境耦合破坏等, 给系统的供电可靠性和故障处置效率带来挑战。本文在中国配网运行及行业规范的指导下, 简要阐述了基于设备老化状态量化判据及评估技术方法, 并面向降损提质提出可实现的运维改进措施, 力求为基层供电提供可以落实到实际工作的执行方案和技术要求。

关键词

10kV配电网; 设备老化; 状态评估; 运维策略; 差异化维护

1 引言

10kV 线路作为承载中压配电的主体, 其设备数量庞大、覆盖场景复杂, 运行状态直接影响终端用户的供电质量。然而, 在长期运行过程中, 设备老化问题愈加突出, 这类风险一旦累积, 将对配网故障率与抢修成本带来成倍影响。因此, 有必要构建针对 10kV 配网线路设备的系统化老化评估框架, 并探索与之匹配的运维策略升级机制。

2 配网 10kV 线路设备老化评估技术方法

配网 10kV 线路设备老化评估要以设备电气——热——机械性能耦合为基础, 搭建设备绝缘、导体、连接件及附属件等多指标的综合评价体系。对于电缆绝缘介质退化可使用超低频介质损耗谱与加速热老化比对方方法建立绝缘老化标

识; 对于架空线路, 应考虑结合绝缘子表面污染等级、机械张力衰减和导线近场温度梯度测试来建立参数化模型表征疲劳程度; 对于变压器和柱上开关, 在开展绕组局部放电水平时间序列分析的基础上, 同时开展油中溶解气体谱图和运行温升曲线时间序列分析, 通过状态转移概率或寿命分布预测其剩余服役期, 实现精准化检修策略。值得注意的是, 评估过程应注重样本化取样和基线对比、标准试验和现场便携式测试数据同源对应, 达到量化结果即能映射现场运维工作可行路径, 又能提升统计置信度。

3 配网 10kV 线路设备运维策略升级研究要点

3.1 实施风险分级与隐患闭环处置

作为扎根在基层的一名电力工作者, 我们围绕 10kV 配网线路运维巡视工作开展了分层巡检、建立危险等级库、闭环处置相关措施, 形成“三层巡视+等级库+闭环处置”机制, 旨在提高隐患治理效果和运维质量, 为智能化、数字化运维

【作者简介】申战庆(1973-), 男, 中国黑龙江兰西人, 本科, 助理工程师, 从事电力工程, 电力运维研究。

转型打下数据基础。首先，对巡视体系分层，通过巡视日常化、专项季节化以及气象触发设置，更好地反映配网设备在气候、环境和工况下的异质特点，这对实现风险分级管理意义非凡。例如，在10kV配网运维过程中需要根据汛期、台风、霜冻等重点时段，加强对避雷器和绝缘子表面污秽、杆塔基础腐蚀等关键部位实施专项巡视检查，这种分级巡视不仅能基于不同气象条件分配不同的巡视频次和人力，还能最大程度优化高风险单元的资源配置和效率。

其次，建立标准化检查项和现场记录模板，并确定缺陷等级和缺陷响应时限，有助于基层巡检形成有章可循的规范作业闭环，此精益运维的核心要义是量化评价、量化管理和资源精准调配。对于基层运检人员来说，要做好设计等级库（如“轻微裂纹—中度污秽—严重基础泥化”等），并明确处置方式（如临时处置风险评估计划修订/更换效果验证等），让每次问题处理均可溯源，形成过程留痕、结果可验的隐患闭环处置流程。另一方面，依托这些日常统计数据开展定检工作，还能聚焦于以往历史数据分析安排巡检时段或巡检周期，并非凭经验来判断。值得注意的是，为了将有限的人力、物力合理配置，基层供电所应建立隐患等级库，并利用故障的历史概率以及故障率，推演出巡检的资源分配系数（通常向高危线路倾斜）。精准的资源下沉有利于降低突发性停电事件，增加供电可靠性。这与差异化运维中线路分级和风险识别理念如出一辙。总而言之，在设备资产精益管理系统建设中，加入巡检在线评估和等级分析模块能够达成全网精细化管控，通过运维过程档案的积累结合等级库建立、风险模型搭建，极大地提高故障治理效率。

3.2 构建分档化现场检测标准与便携试验程序

构建“分档化现场检测标准+便携试验程序”在中国10kV配电网设备的运维策略升级中具有可行价值：一是按重要性（主干线路 vs 支线）或者运行年限（新装 vs 已有超10年）划分设备等级，有利于聚焦资源。一方面，缓解了基层运维队伍中仪器、专业人员有限困境，通过设置不同的分档能够着重仪器、人工用于关键的巡视监测范围，且按时间次序巡检可避免设备盲目更换行为发生，如此一来，在分档制度指引下，即明确了重点高频设备、相对宽松设备有哪些，又为优化巡检频次、减少盲目更换设备行为奠定基础。在具体实践过程中，每个等级应配备一套便携检测项目和相应的阈值来提高基层可操作性，其中对架空绝缘子可以采用红外电流计测量泄漏电流、手持测厚仪测量其表面积污厚度，同时规范夹紧力的拉力计测量流程，就规定以量测值X是否超过相应合格下限为标准，来判定其是否为劣化的情况；对于电缆，则沿程用介损点便携取样测试仪沿线扎点检测，同时搭配局放检测仪结合便携直流电阻计实操；对变压器的检测，首要任务是按设备等级确定油样DGA（溶解气体分析）的频率和时间间隔，并对油温测量频度、绕组直流

电阻进行重测复核。这个过程着重聚焦置信区间和复核流程展开，不是凭一次定论得出设备寿命长短判定的结果。倘若受环境条件、检验仪器或其他不确定因素影响，发现一次测量、实验判断所得结论存在异常时，需要立刻启动二次检测、实验判断程序（更换仪器、不同技术原理验证），从多维度佐证结果有效性。

此方案应兼顾可操作性和安全性：鉴于人员工作的线路多处基层，架空，空间有限且靠近用户等情况，在程序上应考虑便于其操作的空间、安全距离、接地保护和便携仪器上。可制定图示化操作手册，明确检测姿态、接地点、测量角度等，并将其作为岗前培训的重点，切实让操作人员充分掌握“哪里测、怎么测、测后如何判断”要点，使其形成“操作—记录—核查—决策”的全过程闭环，将原先仅靠个人主观经验去观察的方式转化为利用定量评判的手段。随着配网智能化及状态监测体系的进一步建设（目前已有大量研究证明了通过自动化及状态监测能大幅度提高供电可靠性），存档检测标准为未来融合SCADA/智能终端数据创造基础条件，现阶段也对提升设备老化判断精度发挥积极作用。由此可见，通过分级制度以及量化的阈值能够实现不同地区、不同组别检测结果的统一定级，并以此作为未来智能运维、决策分析、资产管理的数据基础。

3.3 实施按隐患优先的分批更换与材料替代策略

由于一次性大规模更新受限且造价相对较高，因此无法使用大拆大建的方式来取代现有配电设备整体更新改造，建议实施以隐患优先的分批更换策略结合材料替代，来延长设备服役期限。以下对具体操作路径进行详细说明：首先，根据日常巡视、分层分类、精准量化开展隐患识别，按照安全风险、后果严重度、修复难易度对老化设备进行三维评价，构成隐患优先级矩阵，并将矩阵排序中“高风险—高后果—难以临时处置”的设备单元作为第一期更换设备。第二步，根据前期现场设备信息采集和隐患评估结果对重点更换部分进行评估分析，实现老化材料替换改进后效能更高、可靠性更强的目标。例如，以有机复合绝缘子替换易被污染闪络的绝缘子，有助于提升抗污闪等级；而更换导线时选用耐腐蚀、抗疲劳的合金导线，不仅能提升线路设备耐久性，还降低了运维频次。

第三步，更换工程宜分批推进且采取平行式监控方式：首轮应选择部分重点线路或者线路上某个样本段先进行更换试验工作，以期通过试运行获取新材料在实际工况下电气性能、维护需求、环境变化适应性等评估数据，并据此调整后续批次更换节奏和选材策略。除此之外，将观察期所需的专项资金纳入预算编制阶段，确保每个试点均留有尾款进行后期维护监测，同时依据验收制度，建立长期运行追踪机制，检查新材料是否存在性能恶化或者故障情况，并搜集一系列核心数据，如替代材料表现如何、故障概率以及新旧管线整

体运行维护成本等，为电网稳定与资金高效利用奠定基础。

3.4 强化故障后快速响应与就地恢复能力

配电网设备遭遇外力破坏或者自然灾害后，能否迅速恢复供电对社会产生很大的影响，因此在基层强调快速响应和就地恢复能力至关重要。具体而言，按照重要等级、遭受破坏程度对10kV线路的常见故障（比如接头质量隐患类、外力破坏类、自然灾害类）进行分级储备，涵盖接头、临时避雷器、携带式绝缘子以及更换导线工具等应急物资。一旦发生风暴、雷击或外部破坏，便于基层抢修队携带关键组件迅速赶赴现场，形成“抢修—隔离—恢复”的闭环。其次，制订有针对性的抢修分工和标准作业程序（SOP）。从近几年10kV调度运行实践来看，结合常见短路、接地、过载等故障的典型特点和成因，对现场勘查、临时处置、隔离保护、恢复供电的步骤及最低人数配置要求初见雏形，基层运维团队应严格执行，确保每一项工作责任到人、有章可循。基层抢修人员作为“现场第一人”，还应掌握临时接头制作、绝缘处理技术及处理急性故障的能力。同时定期组织桌面演练及实战推演，模拟发生杆塔断裂、导线断落等情况下，验证物资配置与流程操作的合理性，以此来测试SOP及应急物资的适配性，并强调资源调度的持续性。

对于大面积灾损事件的处置，首当其冲是优先恢复重要用户（如变电站、医院等）及关键负荷，且在恢复路径中预先准备多条供替代使用的线路方案。实践表明，网络重构和路径替代是提高系统恢复力的有效途径。在基层层面，可以从地理及电压结构出发，依托当地网架特点，提前做好备用的转供路径设计，旨在灾害发生后可以快速进行闭合与断点旁通。这一举措需要构建信息传递基站，支持现场指挥与资源调配。在信息汇报与协同机制下，抢修队伍可以借助移动通信终端，上报勘察结果、临时处置进展、物资消耗情况等内容，同时根据指令自动识别资源单位、通知邻区支援，实现配网自动化，在此基础上结合通信终端还能形成“现

地—指挥”信息闭环，减少物资调配二次搬运、降低滞留时间，从而加快灾后恢复。整体而言，综上所述的能力构建十分契合10kV配电网运维升级需求，尽管运维体系中大力推广差异化设备检修、智能化监测等方法，但面向不确定情况（如自然灾害或者重大意外破坏），未设置针对性应急物资储备以及应急预案明确程序，恢复速度仍然受限，故而要想将战略理念落实到基层运维工作上，需要锻炼基层电力人员的快速反应与就地恢复能力，以增强供电可靠性、减少停运户数的影响，并有效消除二次损害。

4 结语

本文以配网10kV线路设备多模态老化特征为基础，从创新老化评估方法着手，提出了风险分级、分档检测、隐患优先分批更换以及故障后快速响应的运维策略升级路径，通过将试验室判据与基层现场可获取数据有机融合，形成可操作、可落地的技术方案和管理体系，并在此基础上结合配网自动化、在线监测及数字孪生等技术，实现老化模型、运维策略的动态优化，提高其对复杂工况及区域差异化环境的适用性。未来，中国应持续探索创新路径，从根本上提升10kV配电网运行的可靠性和运维现代化水平。

参考文献

- [1] 宋树志,范晓明,刘济铭.电力工程10kV配电线路施工技术[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(003):000.
- [2] 东磊,王云杰.10kV及其以下配网运维检修分析[C]//全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(二).2024.
- [3] 安震.城区10kV配电网线路改造工程管理方案[C]//新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(三).2025.
- [4] 陆泳兆.浅谈10kV配网架空线路运维检修带电作业研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):4.
- [5] 陈熙或,窦刚.配电网的运维一体化技术提升分析[C]//新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(四).2025.