城市道路照明电路老化评估与预防性维护策略

王亚宁

任丘市城市管理综合行政执法局 河北 沧州 任丘 062550

【摘　要】：城市道路照明线路是城市公共基础设施重要组成部分，其安全、稳定运行直接影响着城市居民夜间出行和城市整体形象。随着我国城市化进程加快，大量路灯线路进入老化期，其绝缘劣化、接头松动、线路过载等故障频发，引发漏电、短路、照明灯具烧毁等故障，传统的故障后抢修模式已经无法满足安全运行需求。本文针对城市道路照明线路，从技术、管理和智能监测三个方面，构建城市道路照明线路老化评价体系，并通过红外测温、绝缘电阻测试、智能监测等技术手段，对城市道路照明电路进行全生命周期管理，旨在提高城市照明设施运维效率和安全水平。

【关键词】：城市道路照明；电路老化；老化评估；预防性维护；智能监测

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.057

引言

城市道路照明是保障城市夜间交通秩序、提高城市公共安全水平、美化城市夜景的重要手段，其供电线路可靠性直接关系到照明系统稳定运行。我国部分城市道路照明线路于 2000 年前后建成，在室外高温、潮湿、腐蚀、机械损伤和长期负荷运行共同作用下，线路绝缘老化、导线氧化、接头接触不良等问题逐渐突出。目前，我国部分城市仍以“被动抢修”方式进行，缺乏系统老化评估和预防维修机制，导致故障频发，运营效率低下。在这一背景下，构建科学的状态监控、隐患预警、分级管控体系，推行预防性维护是城市照明管理发展的必然趋势。

1 项目概况

某项目为面积 85 平方公里的主城区，包括城市主干道、支路和背街小巷，共涉及道路照明线路约 1260km，其中埋地电缆 980km，架空线路 280km，配有配电箱 3200 多台，路灯设施 4.5 万多盏，这一地区道路照明线路大多是 2005—2015 年建成，平均使用年限在 12 年以上，部分已经运行 20 余年，进入老化高发期。2024 年，该区因线路老化引发照明故障 1200 多起，每日紧急抢修 3.3 次，亮灯率只有 92.5%，远低于行业标准 98%，同时存在着大量漏电安全隐患，亟需对其进行全面老化评估和预防性维修。该项目涉及范围包括某区域主城区内全部道路照明和供电线路，如地下电缆、架空线路、配电箱、电缆接头、灯杆内部线路等，核心目标是构建覆盖整个电路生命周期老化评价指标体系，完成主城区 1260km 照明线路老化程度划分，实现高风险隐患点精确定位，建立“智能监控+定期检测+专项维修”的预防性维修体系，使线路失效率减少 50%，照明率提高到 98%，形成标准化维修流程和管理机制，延长照明线路使用生命，减少运行费用，消除安全隐患。

该项目将严格按照《城市道路照明设计标准》（CJJ45-2015）、《城市道路照明设施运行维护规范》（DB11/T1876-2021）、《城市道路照明设施运维检修规范》（DB42/T1760-2021）、《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》（GB 50150-2016）以及《城市照明设施管理办法》（住建部现行行业管理规范），提升地区城市照明设施运行维护规范性和科学性。

2 城市道路照明电路老化评估方案设计

2.1 老化影响因素分析

城市道路照明线路老化是多种因素综合作用结果。环境因素方面，室外高温高湿、酸雨、盐雾等气候条件加速绝缘层老化，土壤侵蚀、地下水浸没，架空线路受紫外辐射、风力振动等影响，都会导致线路绝缘性能和机械强度下降。

在运行因素方面，线路长时间满负荷或过载运行，将加速导线氧化和绝缘层退化，同时电压波动和谐波干扰也会加剧元件老化[1]。施工和材料因素方面，早期施工所用绝缘材料（如 PVC）抗老化性能不佳，电缆接头制作不规范，保护不严，容易造成接触不良、受潮。外力因素主要有城市建设、车辆碾压、鼠蚁啃食等对线路造成机械损伤，破坏绝缘结构，加速老化过程。

2.2 老化评估指标体系构建

该项目结合行业标准和工程实际，建立“电气性能+外观状态+运行数据”三维老化评价指标体系，设置 3 项一级指标、8 项二级指标、16 项三级指标，具体如表 1 所示。

表 1 老化评估指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	评估标准	检测周期
电气性能指标	绝缘性能	绝缘电阻	地埋电缆≥0.5MΩ,架空线路≥1MΩ;低于 0.2MΩ判定严重老化	每年 1 次(雨季前)
		泄漏电流	剩余电流≤30mA,超过 50mA 判定隐患	实时监测
	负荷与压降	回路电流	不超过设计负荷 80%,超 90%判定过载老化	每季度 1 次
		线路压降	末端电压≥额定电压 95%,低于 90%判定老化	每半年 1 次
	接头性能	接触电阻	接头接触电阻≤导体自身电阻 1.2 倍,超 2 倍判定接触不良	每年 1 次
		接头温度	与环境温差≤15℃,超 30℃判定过热老化	红外测温(每季度)
外观状态指标	线路外观	绝缘层状态	无破损、开裂、鼓包、脆化,出现上述现象判定老化	每半年 1 次
		导体锈蚀	铜芯无氧化发黑,铝芯无严重腐蚀;当锈蚀面积超过 30%时,判定为老化。	每年 1 次
	防护设施	电缆铠装	无严重锈蚀,锈蚀深度≤壁厚 20%。	每年 1 次
		接线盒	无破损、渗水,防护等级达标。	每季度 1 次
运行数据指标	故障频次	年故障次数	单回路年故障次数≤2 次,超过 5 次判定为老化	年度统计
		故障类型	漏电、短路、断路故障占比超过 60%判定为老化	年度统计
	运行年限	设计生命	电缆设计生命为 20 年,超过 15 年判定进入老化期	建档核查
	能耗数据	功率因数	功率因数≤0.85,判定为线路损耗老化	实时监测
		线损率	线损率≥8%,判定为线路老化损耗	月度统计

2.3 老化评估检测方法

低压照明回路采用 500V 兆欧表开展绝缘电阻测试，高压接驳段按需采用 2500V 兆欧表复测，对线路相间、对地绝缘电阻进行测试，判断绝缘层老化程度，同时采用漏电检测装置对线路漏电流进行实时监测，对漏电流进行定位。利用红外热像仪对线路、接头、配电箱等进行夜间满负荷运行，并与周围环境温差进行对比，确定过热老化位置[2]。此外，该项目采用直流电阻测试仪对接头接触电阻进行测试，以判断接头接触状况。该项目负载和压降检测采用钳形安培计对回路电流进行检测，以判断是否过载，利用电压测试仪对线路两端电压进行测量，并通过计算电压损失大小来评价线路损耗老化程度。外观和力学检查上，该项目结合手工巡视和无人机航拍，检查线路绝缘层、导线、铠装、接线盒外观状况，检查电缆缺陷以及内部机械损坏可能性。值得一提的是，该项目智能监测数据采集是基于智能路灯监测平台实现，能实时采集电压、电流、功率、功率因数、线损等数据，并与历史数据相结合，对故障频率和能源消耗进行统计，为老化评估提供数据支持[3]。

2.4 老化等级评估模型

该项目采用“指标打分+权重赋值+综合判断”评价模型，对电缆老化程度进行分级，分为四类：正常（I）、轻度老化（II）、中度老化（III）、重度老化（IV）。单项三级指标按达标情况赋分 1—5 分，满分达标计 5 分，老化程度越高分值越低；通过层次分析法确定权重，电气性能指标权重 0.5、外观状态指标权重 0.3、运行数据指标权重 0.2，绝缘电阻、接触电阻、故障频次等核心指标优先加权。综合得分计算公式：总分=Σ（指标得分×对应权重），满分 5 分。评分分级标准：4.5～5 分范围内，评定为 I 级（正常），表示线路状况良好，无明显老化危险；在 3.5～4.4 范围内为II级（轻度老化），但不影响正常使用，需加强监测；在 2.5～3.4 分范围内属于III级（中度老化），表示存在明显老化问题，有一定安全隐患，需要进行预防性维修；在 1～2.4 分范围内等级为Ⅳ（重度老化），表示存在严重老化现象，将发生严重安全隐患，需要马上进行更换和改造[4]。

3 城市道路照明电路老化预防性维护技术

3.1 定期检测与状态监测技术

该项目定期检测严格按照评价指标体系中规定检测周期进行，每年春天（雨季之前）完成整个线路绝缘电阻测试，每季度进行红外测温和负荷检测，每六个月进行外观巡检，每年对运行数据和故障进行统计。智能在线监测方面，该项目采用 ARCM300T-Z-4G 通用型智能漏电监测终端，按 3—6 盏路灯为单元组网，

依托 4G 无线传输实现电压、电流、剩余电流、线缆温度 24 小时实时上传，异常数据自动预警推送。针对高老化风险路段，每半年增设绝缘耐压专项复测，提前排查隐蔽隐患[5]。

3.2 线路绝缘与防护维护技术

一是在线路绝缘上，该项目在线路绝缘维修中，采用绝缘胶带、防水套管包裹修复轻微老化绝缘层，局部更换中等老化绝缘层，选择防护等级为 IP68 绝缘材料，提高防潮防腐能力。在接头优化维修上，所有电缆接头都要压接，铜铝过渡接头要退火，用分指套保护和密封包扎，定期拧紧接线端子，力矩≥2.5N.m，避免接触松动引起过热老化。二是在防护升级措施上，该项目对地下埋设电缆增加防潮防腐保护层，在架空线路上安装防紫外线绝缘护套，在电缆路径上设置明显标志桩，以防止施工损坏。对于容易被鼠蚁啃食的位置，采用防鼠蚁电缆或加装保护套管，全面提高线路防护能力。

3.3 负荷优化与元器件更换技术

在负荷优化方面，该项目采取拆线、更换大截面电缆、增设配电箱等措施来减少负荷，保证运行电流不超过 80%。元器件预防性更换设置明确周期标准，对于照明电路核心元件，按照使用年限进行定期更换：浪涌保护器每 3～5 年抽检更换；低压接触器、断路器结合测温与老化评估，8～10 年择优更换；光控、时控装置每季度校准一次，误差超 15min 立即整改。针对严重老化线路，该项目采用“分段替换+整体提升”策略，采用低损耗、高可靠性电缆[6]。

3.4 智能预警与应急处置技术

一是智能预警机制以智能监控平台为基础，构建老化预警模型，在绝缘电阻、残流、温度等指标逼近临界值时，自动将预警信息发送到运维人员手机上，实现对隐患早期检测和预警。二是实施分级应急处置，制定明确应对标准，轻老化隐患纳入日常维修计划，中度老化隐患在 15 日内处置，重度老化隐患立即停电整改，建立专业应急抢修队伍，配备电缆故障测试仪、绝缘摇表等设备，确保故障 4 小时内响应、24 小时内处置。三是零线专项维修作为重要安全保障措施，该项目定期对零线进行零点接触状态和导电性能检测，每季度进行一次零线端子检查，零线端子每年进行一次零点检测，以防止零线接触不良或断线引起三相电压不平衡、设备外壳带电等安全隐患。

3.5 运维管理与技术保障措施

一是建立全生命周期档案，对每一节照明线路进行电子记录，对施工时间、材料、测试数据、维修记录、故障情况等进行详细记录，实现对电路全生命周期的可追踪性，为老化评估和维修提供数据支持。

二是建立专业运维队伍，定期开展技术培训，提高运维人员红外测温、绝缘检测、智能监测等专业技能，保证隐患排查和处置准确性。

三是制定《道路照明电路预防性维护作业指导书》，明确检修、维修和更换工作流程和质量标准，促进维修工作标准化和规范化。

四是加强与市政、建筑、电力等部门合作，提前获得施工信息，防止线路受到外力破坏，建立故障联动处理机制，提高应急响应效率。

4 结语

综上所述，城市道路照明线路老化评估和预防性维修是长期性、系统性工作，需要结合城市发展和线路运行状况不断进行优化，应进一步深化智能监测技术应用，结合大数据、人工智能技术实现老化趋势预测与维护决策智能化，同时推广新型抗老化材料与施工工艺，全面提升城市道路照明电路可靠性与耐久性，为城市公共安全与高质量发展提供坚实保障。

参考文献：

[1] 邹晓明,邹彦博.城市道路照明电路老化评估与预防性维护研究[J].光源与照明,2025,(06):10-12.

[2] 肖鹏.基于 GPRS 的城市路灯节能控制系统研究[J].电工技术,2022,(06):10-11+15.

[3] 李正.市政路灯照明电气系统补偿技术研究[J].城市道桥与防洪,2022,(02):229-232+26-27.

[4] 葛靖.新型照明集控器模块化设计研究[J].光源与照明,2021,(S1):93-94.

[5] 杨栋.LED 光源在道路照明设计过程中应用的优缺点[J].科学技术创新,2020,(13):115-116.

[6] 龙伟.城市照明设施管理与维护措施分析[J].光源与照明,2025,(07):27-29.