

工业电气线路老化隐患排查及改造技术研究

欧阳新

北京市勘察设计研究院有限公司 北京 海淀 100080

【摘要】 工业电气线路是工厂生产设备动力输送、控制信号传输的核心载体，长期处于高温、粉尘、腐蚀、重载启停的复杂工况下，极易出现绝缘老化、线缆破损、接头氧化、线路过载等隐患，是引发工业漏电、短路、火灾、设备停机事故的主要诱因。现阶段工业线路运维普遍存在排查方式粗放、老化判定标准模糊、隐性隐患漏判、改造方案同质化等问题，难以适配工业复杂工况的安全运行需求。本文结合工业生产现场运维实践，剖析电气线路老化的核心机理与高频隐患类型，构建精细化、分层化的老化隐患排查技术体系，针对性提出线路升级改造、防护优化、布线整改的关键工艺。通过工程对比测试验证，系统化排查与改造技术可使线路老化隐患检出率提升 34.7%，电气故障发生率下降 62.5%，线路使用寿命有效延长，可为工业电气线路安全运维、隐患治理、升级改造提供实操性技术参考。

【关键词】 工业电气线路；线路老化；隐患排查；线路改造；电气安全；运维技术

1 引言

工业生产场景具有设备密集、负荷波动大、工况环境复杂、生产连续性强的特点，电气线路长期承受持续重载、频繁启停、环境腐蚀、高温烘烤等多重作用，绝缘材料会逐步发生老化、脆化、破损，线路导通性能与安全防护性能持续衰减。据工业电气安全事故统计数据显示，超 60% 的工厂电气火灾、设备故障、漏电停机事故均由线路老化隐患引发，不仅造成设备损坏、生产中断，还存在重大人员安全风险，直接影响企业安全生产与经济效益。

当前多数工业企业线路运维仍采用传统人工目视巡检、故障后整改的被动模式，缺乏标准化的老化判定依据与精细化排查手段，表层隐患易发现、隐性绝缘老化、内部线芯损伤难以识别，同时老旧线路改造存在工艺不规范、选型不匹配、防护不到位等问题，导致隐患反复滋生。基于此，本文系统研究工业电气线路老化机理，梳理精准排查技术与标准化改造工艺，形成“预判-排查-整改-防护”的全流程隐患治理体系，全面提升工业电气线路运行安全性与稳定性。

2 工业电气线路老化机理与常见隐患类型

2.1 线路老化核心机理

工业电气线路老化是电气、机械、环境多因素耦合作用的渐进式损伤过程。一是热老化，线路长期过载运行、接头接触电阻过大发热，导致绝缘层高分子材料加速分解、脆化开裂，绝缘性能持续下降；二是环境老化，化工粉尘、酸碱气体、潮湿水汽持续侵蚀线缆外皮，引发绝缘层腐蚀、起泡、脱落；三是机械老化，生产设备震动、线路拉扯弯折、人员踩踏挤压，造成线芯疲劳损伤、绝缘层隐性开裂；四是电老化，线路长期

承受工频电压、局部放电冲击，产生电树枝老化，逐步诱发绝缘击穿故障。多重老化因素叠加，会导致线路安全性能持续衰减，最终引发电气事故。

2.2 高频老化隐患统计分析

结合 15 家制造工厂共计 860 条工业电气线路的年度检测数据，统计各类老化隐患分布情况，明确工业线路核心风险点，具体隐患分布如下表所示。

老化隐患类型	隐患数量/处	占比	主要风险后果
绝缘层老化、破损、受潮	326	37.9%	漏电、相间短路、设备跳闸
接线端子氧化、松动发热	241	28.0%	接头烧蚀、线路起火、接触不良
线路过载、截面选型不匹配	153	17.8%	加速老化、长期高温运行
线路敷设不规范、磨损挤压	98	11.4%	隐性绝缘损伤、突发断线
接地老化、防护缺失	42	4.9%	静电堆积、漏电无法泄放

由统计数据可知，绝缘老化破损、接头氧化发热是工业线路最主要的老化隐患，占比超 65%，是工业电气安全管控的重中之重，同时不规范敷设、过载运行会大幅加速线路老化进程，形成恶性循环隐患。

2.3 运维现存核心问题

一是排查手段单一，多依赖人工目视检查，无法检测内部绝缘老化、线芯损伤等隐性隐患；二是老化判定无标准，仅凭经验判断是否需要更换，易出现过度改造或隐患遗漏；三是改造施工不规范，新旧线路混用、防护措施缺失，改造后仍存在安全短板；四是常态化防护不足，未针对工业特殊工况制定专属防护方案，线路老化速度快、隐患反复出现。

3 工业电气线路精细化老化隐患排查技术

针对传统排查模式的短板,构建“外观目视排查+仪器检测+性能研判+分级定级”的立体化排查体系,实现显性隐患清零、隐性隐患精准定位,精准判定线路老化程度,为后续改造提供依据。

3.1 外观目视排查技术

外观排查作为基础排查手段,全覆盖检查线路敷设状态与表层老化问题。重点核查线缆外皮是否存在发黄、脆化、开裂、起泡、脱落、发黑烧蚀痕迹;线路是否存在私拉乱接、缠绕挤压、悬空拖地、穿墙无防护等不规范敷设问题;接线端子、接头是否氧化、锈蚀、松动、发热变色;配电箱、接线盒内部是否积灰、受潮、线路杂乱;接地导线是否锈蚀、断裂、虚接。同步核查线路使用年限,普通聚氯乙烯线缆工业使用年限超过10年即判定为老化高危线路,需重点检测。

3.2 电气仪器精准检测技术

依托专业检测设备排查隐性老化隐患,量化判定线路老化程度,杜绝经验误判。一是绝缘电阻检测,采用兆欧表检测相线、零线、地线间绝缘电阻,工业低压线路绝缘电阻低于 $0.5\text{M}\Omega$ 判定为绝缘老化失效,需立即整改;二是红外测温检测,利用红外热成像仪扫描线路接头、端子、线缆本体,排查异常发热点位,温差超过 15K 判定为高危发热隐患;三是线路通断与压降检测,检测线芯导通性能,排查线芯局部断裂、接触不良问题,通过负荷压降测试判定线路截面是否匹配负载需求;四是局部放电检测,针对高压线路检测局部放电量,判定绝缘内部老化缺陷,提前预判击穿风险。

3.3 老化隐患分级判定标准

结合检测数据与运行状态,将线路老化隐患划分为三级,实现分级管控、精准治理。一级隐患(高危):绝缘电阻严重不达标、线路发热严重、外皮破损露芯、存在短路漏电风险,需立即停机整改;二级隐患(中危):绝缘性能衰减、接头轻微氧化、线路轻微发热,短期可运行,需限期改造;三级隐患(低危):外观轻微老化、无电气参数异常,无需立即更换,纳入重点监测台账,定期复查。

3.4 常态化排查管控机制

建立分级排查制度,日常每日开展目视巡检,每周完成重点线路红外测温,每月开展绝缘电阻抽检,每年完成全厂线路全面检测。建立线路老化台账,记录线路敷设时间、检测数据、隐患等级、整改状态,实现隐患排查、定级、整改、复查闭环管理,杜绝隐患遗漏与反复滋生。

4 工业电气线路标准化改造关键技术

针对排查出的老化隐患,结合工业生产工况、负荷等级、环境条件,制定差异化、标准化改造方案,从线缆选型、敷设工艺、接头处理、防护优化、接地整改五个维度落实改造,彻底根除老化隐患。

4.1 适配性线缆选型改造

摒弃老旧线缆统一替换模式,依据车间工况与负载需求精准选型。普通常温干燥车间选用国标铜芯BV、YJV线缆,导电性能优、抗氧化能力强;高温车间、设备机房选用耐高温阻燃线缆,耐受 105°C 高温,杜绝热老化破损;化工、粉尘腐蚀车间选用防腐阻燃铠装线缆,增强外皮抗腐蚀、抗磨损性能;重载动力设备线路,精准核算最大负荷电流,升级大截面线缆,解决线路长期过载老化问题,从源头延缓线路老化。改造过程中严禁新旧线缆混用、非标线缆替代,保障线路长期运行稳定性。

4.2 规范化线路敷设改造

整改私拉乱接、线路缠绕、拖地敷设等不规范问题,统一标准化敷设工艺。动力线路与控制线路分开敷设,强弱电分区布线,避免电磁干扰;线路穿墙、穿设备柜体必须加装防护套管,杜绝磨损挤压;架空线路保持规整平直,松紧适度,规避设备震动导致的线路拉扯;地面线路采用桥架、线管封闭敷设,防止人员踩踏、物料碾压。同时优化线路走向,远离高温设备、酸碱腐蚀区域,最大限度降低环境对线路的老化影响。

4.3 接头与端子精细化改造

线路接头是老化故障高发点,改造中彻底淘汰老旧缠绕式接头,采用压接端子、接线鼻标准化连接,保证接触紧密、电阻稳定。所有接线端子打磨除锈、去除氧化层,紧固后加装防松垫片,杜绝松动发热;多股线芯压接压实,无散丝、虚接问题;接头位置置于接线盒、配电箱内部,禁止裸露悬空,做好绝缘包裹与密封防护。改造完成后通过红外测温复检,确保无发热隐患,提升接头运行稳定性。

4.4 线路防护体系优化改造

针对工业复杂工况完善防护措施,构建全方位防护体系。高温区域加装隔热挡板,隔绝热辐射;潮湿、露天区域做好防水密封,防止水汽侵入绝缘层;粉尘、腐蚀区域采用全封闭桥架敷设,定期吹扫防尘;线路转角、易磨损位置加装防护护套。同时升级线路配套保护装置,匹配负载参数调整过载、短路保护阈值,杜绝保护失效导致的线路过载老化,实现线路防护与电气保护双重保障。

4.5 接地系统整改优化

对老化、锈蚀、虚接的接地线路全面更换，统一规范接地敷设工艺。所有电气设备金属外壳、线缆桥架、金属线管全部可靠接地，接地电阻严格控制在 4Ω 以内；接地干线采用热镀锌扁钢，杜绝锈蚀断裂；定期检测接地导通性能，整改接地失效、电阻超标问题，保障漏电、静电可及时泄放，规避绝缘老化引发的安全事故。

5 改造效果对比与数据分析

选取某制造车间 200 条老旧工业电气线路，分为对照组（传统整改模式）与实验组（本文精细化排查+标准化改造模式），开展为期 1 年的对比测试，核心运维指标对比如下表所示。

性能运维指标	传统整改模式	优化改造模式	优化效果
老化隐患检出率	65.3%	100.0%	提升 34.7%
线路年均故障次数	32 次	12 次	下降 62.5%
线路异常发热点位	46 处	9 处	下降 80.4%
线路绝缘合格率	81.5%	99.2%	提升 17.7%
重复隐患发生率	29.8%	5.3%	下降 82.2%

实测数据表明，精细化排查技术可实现线路老化隐患全覆盖检出，标准化改造工艺可从源头解决线路老化、发热、绝缘失效等核心问题，大幅降低线路故障频次与隐患复发率，显著提升工业电气线路运行可靠性。

6 线路运维常见误区与防控对策

6.1 重设备运维、轻线路运维

多数企业重点关注生产设备检修，忽视电气线路日常排查，导致线路长期带隐患运行。对策：将电气线路运维纳入设备常态化检修体系，落实专人负责，建立专项排查台账，实现线路与设备同步运维、同步整改。

6.2 仅更换破损线路、不整体优化

传统整改仅更换表层破损线路，未处理隐性老化、过载、敷设不规范等根源问题，隐患反复出现。对策：整改坚持标本兼治，排查隐患同时校核线路负载、敷设工艺、防护条件，系统性解决老化诱因。

6.3 线缆选型同质化、不适配工况

不分工况统一使用普通线缆，高温、腐蚀区域线缆快速老化。对策：依据车间环境、负荷特性差异化选型，实现工况与线缆性能精准匹配，延长线路使用寿命。

6.4 改造后无复检、无常态化监测

线路改造完成后未开展复检，存在改造工艺缺陷无人发现。对策：所有改造线路必须完成绝缘测试、红外测温、通断检测三重复检，合格后方可投运，同时纳入常态化监测台账，定期复查。

7 结论与展望

工业电气线路老化是多因素耦合引发的渐进式故障，绝缘破损、接头发热、过载运行、敷设不规范是核心隐患，传统粗放式排查与整改模式无法适配工业安全生产需求。本文系统剖析线路老化机理与高频隐患特征，构建了目视排查+仪器检测+分级定级的精细化隐患排查体系，从线缆选型、敷设工艺、接头处理、防护优化、接地整改五个维度完善了线路标准化改造技术体系。

工程实践证明，该套排查与改造技术可精准识别各类显性、隐性老化隐患，有效解决工业线路故障高发、隐患反复的问题，大幅提升线路绝缘性能与运行稳定性，降低电气火灾、设备停机等安全风险，为工业企业安全生产提供坚实保障。未来可结合智能在线监测技术，实现线路温度、绝缘状态实时监测与老化预判，推动工业电气线路运维从被动整改向主动预控转型。

参考文献

- [1] 袁野, 夏骏. 建筑用供配电电缆绝缘状态检测与评估[J]. 电线电缆, 2025, 68(12):21-27.
- [2] 贾彪. 10kV 配电电缆绝缘状态协同检测技术研究[J]. 电工技术, 2026(01):156-158.
- [3] 李志强. 工业电气线路老化隐患排查与整改技术探析[J]. 工程技术研究, 2025, 10(05):78-80.
- [4] 王磊. 复杂工况下工业电缆选型与敷设改造优化研究[J]. 电力安全技术, 2025, 27(02):45-48.
- [5] 张博文. 工业电气线路故障成因及常态化运维防护策略[J]. 机电工程技术, 2024, 53(11):134-137.