

电缆接头接触不良导致的用电异常识别与运维处置策略

黄 宇

湖南华菱线缆股份有限公司 湖南 湘潭 411104

【摘 要】：在城市配电网、工业供电系统及建筑电气线路中，电缆接头是线路电气连接、分段续接、设备接驳的关键节点，同时也是电力系统运行中故障率最高的薄弱部位。根据配电网运维故障统计数据显示，电缆接头类故障占电缆整体故障总量的70%以上，而接头接触不良是诱发过热、放电、跳闸、起火事故的首要根源。电缆接头在长期运行过程中，受现场施工工艺缺陷、环境温湿度侵蚀、导体氧化锈蚀、机械振动疲劳、负荷冷热循环应力、检修拆装不规范等多重因素影响，极易出现接触面压紧不足、有效导电面积缩减、接触电阻异常增大等隐性缺陷，进而引发线路电压波动、末端电压偏低、负荷电流紊乱、局部异常发热、隐性局部放电、台区线损异常升高等一系列用电异常现象。

此类隐患具备极强的隐蔽性、渐进性与累积性，初期不会触发保护跳闸，仅表现为轻微电气参数偏差与局部温升，常规人工巡检极易出现漏判、误判。随着运行周期延长，接触电阻持续增大，焦耳热不断积聚，形成“接触不良—过热氧化—电阻进一步升高—温升加剧”的恶性闭环，最终引发接头护套烧损、绝缘层热老化击穿、相间短路、接地故障、线路停运甚至电气火灾等重大安全事故。为有效防控电缆接头隐性故障，提升配电网供电可靠性，本文系统梳理电缆接头接触不良的主要成因与阶段性劣化演变机理，全面总结接头缺陷引发的各类用电异常特征，构建人工巡检、带电检测、智能在线监测相结合的立体化异常识别体系，制定分级分类、闭环可控的标准化运维处置流程，搭建全生命周期常态化运维防控体系。研究成果能够有效提升低压及中压配电线路隐患预判能力，降低电缆故障跳闸率与电气安全风险，为电力运维精细化、标准化、智能化管理提供可靠的理论支撑与工程实践依据。

【关键词】：电缆接头；接触不良；用电异常；故障识别；带电检测；运维处置；配网可靠性

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.002

1 引言

随着新型城镇化建设持续推进与电网改造升级工程不断落地，城市配电网电缆化覆盖率逐年提升，架空线路逐步被地下电缆、桥架电缆取代，电缆线路已经成为电能输送、区域供电的核心载体。相较于电缆本体工厂一体化挤包成型、结构稳定、绝缘性能均匀、故障率极低的优势，电缆中间接头、终端接头、设备接线头等连接部位均为施工现场手工制作，受作业环境、人员技能、施工工艺、天气条件、材料质量等多重变量影响，工艺离散性大、质量稳定性差，是线路系统中最薄弱的关键节点。

在配电网常态化运行工况下，电缆线路长期承受负荷峰谷交替变化带来的热胀冷缩应力、负荷电流产生的交变电磁振动、地面沉降及桥架形变带来的机械外力、地下井室潮湿水汽与腐蚀性气体侵蚀，各类外界因素持续叠加作用于接头位置，导致接头连接状态逐步劣化，最终出现接触不良缺陷。与短路、接地、断线等突发性显性故障不同，接头接触不良属于缓慢发展的隐性故障，故障演变周期长、前期征兆微弱、异常表现不直观，传统粗放式运维模式难以实现早期识别与提前干预。

现阶段基层电力运维工作普遍存在重故障抢修、轻隐患预判，重事后处置、轻事前管控的问题，运维人员多在出现跳闸、发热冒烟、供电中断等明显事故后开展抢修，对接头轻微电压偏差、小幅温升、微弱局放、线损升高等早期用电异常关注度

不足、识别能力有限，导致大量隐性缺陷长期带隐患运行，不断积累恶化，最终演变为重大电力安全事故。尤其老旧城区配电网线路、工业重载供电线路、地下电缆井敷设线路，运行环境恶劣、负荷波动频繁、接头数量密集，接触不良隐患发生率更高、隐蔽性更强、安全风险更大。

在电力系统精细化运维、智能化管控、安全化运行的行业发展背景下，精准识别电缆接头接触不良引发的各类用电异常、建立科学高效的缺陷识别体系、落实标准化分级处置策略、构建长效运维防控机制，对降低配网线损、提升供电稳定性、杜绝电气火灾、保障用户可靠用电具有十分重要的工程价值与现实意义。

2 电缆接头接触不良成因及故障演变机理

2.1 接触不良主要诱发原因

2.1.1 现场施工工艺不规范

电缆接头制作属于精细化电气工艺作业，压接质量、密封质量、导体处理质量直接决定接头长期运行可靠性。施工现场存在大量不规范作业行为，包括电缆线芯切割不平整、导体出现毛刺散股、多股绞线未完全并拢规整、压接模具规格与线芯不匹配、压接力度不足、压接点位数量缺失、螺栓紧固力矩不达标、紧固受力不均匀等问题，直接导致接头导体有效接触面积不足，初始接触电阻超标，为后期劣化埋下永久隐患。同时部分施工人员未按工艺要求涂抹导电膏、未做好绝缘层过渡处

理,进一步降低接头抗氧化能力与运行稳定性。

2.1.2 环境水汽侵蚀与导体氧化腐蚀

地下电缆井、管廊、潮湿地下室、户外终端头等敷设环境湿度大、水汽充足,部分老旧接头存在密封胶老化开裂、冷缩套管贴合不严、接头盒破损进水、封堵不严密等缺陷,外界水汽、潮气、粉尘、腐蚀性气体持续侵入接头内部。铜、铝导体长期在潮湿环境下极易发生氧化、发黑、电化学腐蚀,导体接触面生成高阻氧化薄膜,大幅增大接触电阻。其中铝芯电缆接头腐蚀速度、劣化程度远高于铜芯接头,是配电线路接头故障的高发类型。

2.1.3 热循环应力与机械疲劳损伤

电缆日常运行负荷具有明显峰谷特性,高峰负荷大电流运行使接头温度快速升高,低谷负荷电流减小后温度迅速回落,长期反复的升温、降温过程形成热循环应力。由于电缆导体、绝缘层、填充材料、护套材料热膨胀系数存在差异,接头内部结构会产生微小错位、滑移、松动,导致接触面压紧力持续下降。同时负荷交变产生的电磁振动、桥架晃动、地面沉降、车辆振动传导等机械外力持续作用,进一步加剧接头松动劣化,使接触不良缺陷不断加重。

2.1.4 检修运维作业遗留缺陷

日常检修、故障抢修、线路改接、设备更换作业中,拆装接头过程易遗留隐性问题。运维人员未按标准力矩复紧螺栓、未彻底打磨清除导体氧化层、未重新涂抹抗氧化导电膏、密封修复不规范、新旧接头工艺标准不统一,都会造成接头连接质量不达标,在长期带电运行过程中逐步暴露为接触不良故障。

2.2 接触不良故障阶段性演变规律

电缆接头接触不良故障呈现清晰的四阶段渐进式演变特征,不同阶段对应不同的用电异常表现与安全风险等级。第一阶段为隐性萌芽期,接头接触电阻轻微超标,无明显温升、无跳闸故障,仅存在微小电压损耗与轻微线损升高,常规巡检难以发现;第二阶段为异常显现期,接触电阻持续增大,接头局部温升明显,负荷电流出现小幅波动,微弱局部放电信号产生,用电异常特征逐步显现;第三阶段为缺陷发展期,高温持续加速绝缘老化与导体氧化,电压闪变频繁、线路损耗显著升高,局部放电加剧,负荷高峰时段易出现瞬时电流异常;第四阶段为故障爆发期,接头高温烧熔、绝缘击穿,引发相间短路、接地跳闸、接头烧毁甚至电气火灾,造成区域供电中断。

掌握接头缺陷阶段性演变规律,是实现早期隐患识别、分级管控、超前治理的理论基础。

3 电缆接头接触不良引发的典型用电异常特征

电缆接头接触不良会直接改变线路接触电阻、回路阻抗与电场分布,引发电气参数、温度场、绝缘状态、运行工况的多

维异常变化,是隐患识别的核心判据。

3.1 电气参数异常特征

一是线路电压降异常超标,接头接触电阻增大后,负荷运行过程中接头位置产生显著电压损耗,负荷电流越大电压降越明显,直接导致线路末端电压偏低,出现灯具闪烁、电机出力不足、设备启停异常等用户侧用电异常;二是负荷电流波动紊乱,不稳定的接触状态使回路电阻动态变化,引发电流间歇性波动、波形轻微畸变,产生微量谐波分量;三是台区线损持续异常偏高,同等负荷条件下线路有功损耗远高于正常区段,出现长期高损台区现象,且线损升高趋势随负荷增大愈发明显。

3.2 温度场异常特征

根据焦耳定律 $Q=I^2Rt$,接触电阻增大会导致接头位置热量急剧累积,形成定点局部高温热点。正常合格接头温升均匀、与电缆本体温差极小,而缺陷接头温度显著高于电缆本体及周边环境,高负荷运行时段温差可达到 20°C 以上。长期高温运行会造成接头外护套发黄、发硬、鼓包、开裂、变色,绝缘层加速老化变质,是现场最直观、最易识别的缺陷特征。

3.3 局部放电与绝缘异常特征

接头松动、接触面不密实、内部产生微小气隙后,会造成局部电场畸变,引发持续性微弱局部放电。早期局放信号幅值低、无直接故障影响,但长期反复放电会持续侵蚀绝缘介质,造成绝缘电阻下降、泄漏电流增大、介损升高,逐步发展为绝缘缺陷,最终引发绝缘击穿故障。局部放电信号是识别无温升、无跳闸早期隐性缺陷的核心技术指标。

3.4 运行工况关联异常特征

接头接触不良故障具有显著的工况关联性,在夏季高温环境、负荷高峰时段、雷雨潮湿天气、设备频繁启停工况下,异常现象明显加剧,易出现瞬时过流、保护误动、重合闸失败等问题。故障随负荷、环境、季节变化的波动特征,可作为辅助判据,进一步验证接头缺陷存在。

4 电缆接头接触不良故障立体化精准识别技术

结合配网运维现场实际,构建“外观排查+数据分析+带电检测+智能监测”的全维度识别体系,实现显性故障与隐性隐患的全覆盖识别。

4.1 外观目视排查与运行数据研判

运维人员常态化开展电缆井、配电桥架、开关柜终端接头目视检查,重点核查护套是否老化开裂、接头是否变色变形、接头盒是否进水锈蚀、接线端子是否氧化发黑。同时依托配电运维系统台账,分析台区线损数据、电压质量数据、历史跳闸记录,对长期高损、电压不稳、高峰易跳闸的线路开展重点专项排查,实现隐患初步筛查定位。

4.2 红外热成像带电测温检测

红外测温是目前配网接头隐患排查最成熟、最高效的不停电检测手段,适用于常态化巡检工作。通过高精度红外热像仪全覆盖采集接头温度数据,对比接头与电缆本体、环境温度的相对温差,建立缺陷判定标准:相对温差 10°C 以内为正常状态, $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 为一般缺陷,超过 20°C 或接头温度超 80°C 判定为重大缺陷,纳入限期整改台账。该方法可快速定位过热类接触不良隐患,检测效率高、不影响供电。

4.3 停电电气参数精准检测

利用线路停电检修窗口期,采用回路电阻测试仪对接头接触电阻开展精准检测,与同规格标准接头参数对比,电阻超标、数值波动异常即可判定接触不良缺陷。检修作业完成后必须复测接触电阻,确保压接、紧固、修复质量达标,杜绝隐性缺陷遗留,从试验层面保障接头运行可靠性。

4.4 局部放电带电检测技术

采用超高频法、高频电流法对局放信号进行带电检测,精准捕捉接头内部微弱放电脉冲,有效识别未发热、未显性化的早期接触松动、内部气隙缺陷,弥补红外测温仅能检测过热缺陷的短板,实现隐患超前预判、提前治理。

4.5 智能化在线实时监测

针对主干线路、重要负荷线路、老旧重载线路,加装无线测温传感器与分布式光纤测温系统(DTS),实现接头温度24h不间断实时监测,设置温升速率预警、高温阈值预警,系统自

动记录负荷—温度关联数据,智能研判接头老化劣化趋势,实现异常自动告警、精准定位,推动隐患从人工事后排查向智能事前预警转变。

5 结论

电缆接头接触不良是配电网最典型、最高发、最具隐蔽性的隐性电气缺陷,其故障演变周期长、异常征兆复杂、安全危害极大,是引发线路电压异常、电能损耗升高、设备发热放电、供电跳闸中断、电气火灾事故的核心诱因。接头缺陷主要由施工工艺不规范、环境腐蚀老化、机械热应力疲劳、运维检修不规范四类因素导致,遵循渐进式劣化的发展规律,在不同运行阶段呈现出差异化的电气、温度、绝缘及工况异常特征。

本文系统梳理了接头接触不良的成因机理与演变过程,全面总结了各类用电异常识别判据,构建了人工排查、带电检测、智能监测相结合的立体化识别体系,建立了分级分类、闭环可控的标准化运维处置策略,提出了源头管控、周期检修、台账管理、技能提升、智能升级的长效防控体系。

通过精准识别早期用电异常、分级处置各类缺陷、落实常态化预防性运维,能够有效阻断接头缺陷恶性发展,大幅降低电缆线路故障发生率,显著提升配电网供电可靠性与电气安全管理水平。在电网运维向精细化、智能化、前置化转型的背景下,持续完善电缆接头隐患识别技术与运维处置体系,对降低配电网线损、保障安全可靠供电、推动电力系统高质量发展具有重要的现实意义与工程应用价值。

参考文献:

- [1] 国家市场监督管理总局.GB 50217-2018 电力工程电缆设计标准[S].北京:中国计划出版社,2018.
- [2] 王晓明.电力电缆接头过热缺陷识别与带电检测技术研究[J].电工技术,2024(18):102-104.
- [3] 李军伟.配网电缆接头接触不良故障成因及运维管控措施[J].电力设备管理,2025(02):78-80.
- [4] 张浩然.基于红外测温与局放检测的电缆隐患预判技术[J].农村电气化,2024(09):45-47.
- [5] 陈博文.电缆接头全生命周期质量管控与故障处置策略[J].机电工程技术,2024,53(11):136-138.