 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i7.11407

Research on Error Rate Control Technology for Identifying Cable Damage Hazards in On-site Operation and Maintenance

Huimin Tang

China Mobile Communications Group Guangdong Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou, Guangdong, 510308, China

Abstract

In urban optical cable operation and maintenance, incidents caused by third-party construction accidents are frequent. Traditional manual inspection has problems such as high false negative rate, subjective risk assessment, and lagging information flow. The identification error rate of complex urban road sections and underground optical cables has remained high for a long time. Based on the actual measurement data of Guangzhou optical cable operation and maintenance, this paper adopts three key technologies: DAS voice monitoring, AI voice risk quantitative assessment, and visual alarm platform, to specifically rectify the deviation in identification. The on-site measurement results show that the error rate of hidden danger identification has significantly decreased after optimization, and the operation efficiency and economic benefits have been significantly improved. The article also establishes a standardized operation and maintenance mechanism and clearly defines the optimization direction for subsequent algorithm iteration and asset data improvement, which can provide practical reference for the refined management of external damage hazards of urban optical cables.

Keywords

optical cable external damage; hidden danger identification; on-site operation and maintenance

面向现场运维的光缆外破隐患识别错误率管控技术研究

唐慧敏

中国移动通信集团广东有限公司广州分公司，中国 · 广东 广州 510308

摘　要

城市光缆运维中，第三方施工引发的外破事故频发，传统人工巡检存在漏报率高、风险判定主观、信息流转滞后等问题，市区复杂路段与地下光缆识别错误率长期居高不下。本文以广州光缆运维实测数据为基础，采用DAS声纹监测、AI声纹风险量化评估、可视化告警平台三项关键技术，针对性整改识别偏差问题。现场实测结果表明，优化后隐患识别错误率大幅下降，运维效率与经济效益显著提升。文章同步建立标准化运维机制，并明确后续算法迭代与资产数据完善的优化方向，可为城市光缆外破隐患精细化管控提供实操参考。

关键词

光缆外破；隐患识别；现场运维

1 引言

通信光缆是城市网络传输的核心基础设施，线路运行的稳定性，直接关系民生通信、5G 覆盖及各类政企业务的正常运转。当前城市施工场景繁杂，地下光缆隐蔽性强，传统人工巡检模式存在感知能力有限、评估标准不统一、数据同步不及时等短板，隐患识别错判、漏判问题突出，极易引发光缆中断故障 [1]。对此，需从现场运维的角度，探索降低光缆外破隐患识别错误率的管控技术。

【作者简介】唐慧敏（1986–），男，中国广东广州人，本科，工程师，从事传送网骨干汇聚层、传输机房项目管理实践和数智化转型研究。

2 光缆外破隐患识别现存问题分析

2.1 现场隐患识别的核心难题

城市通信光缆日常运维工作中，第三方施工破坏是造成光缆中断、通信故障的最主要原因。从广州市运维事故统计数据来看，超四成的光缆外破中断事故，都源于前期隐患识别阶段的判断失误与隐患遗漏。这类问题持续干扰着城市通信网络的稳定运行，是一线运维工作亟待解决的关键问题。本次研究抽取了近半年广州城区 320 条光缆运维隐患数据展开调研。数据能够直观体现，不同敷设环境、不同安装形式的光缆，隐患识别误差存在极大差异。从区域环境维度分析，乡镇空旷路段、郊区工业园区的光缆运行环境简单，外界干扰少，隐患识别错误率能够控制在 10% 以下。而市区核心路段管线排布密集、各类施工活动交错繁杂，隐患

识别错误率直接攀升至 36.25%，是故障问题的集中高发区域。从光缆敷设形式来看，架空光缆与水下光缆外露可视，周边环境干扰因素少，工作人员排查难度低，识别错误率稳定在 15% 以内。管道、直埋式地下光缆则完全不同，这类光缆深埋地下，隐蔽性极强，现场排查难度大，识别错误率高达 55.56%，已然成为城市光缆运维工作中最棘手的问题。针对地下光缆识别错误的案例做细化拆解后发现，两类问题占据了绝大多数故障诱因，合计占比达到 82%，直接拉高了整体识别错误率。

2.2 运维识别错误的根本成因

监测手段的落后，是隐患漏报的首要原因。目前一线运维工作，依旧高度依赖人工徒步巡检、现场敲击核验等传统方式。人工排查只能发现光缆断纤、线路大损耗等显性故障，完全捕捉不到地下深层施工产生的细微线路扰动。这类物理层面的感知短板，单纯依靠提升人员操作水平、增加巡检频次根本无法弥补。风险评估环节的主观性偏差，是隐患误判的主要诱因。现行运维体系中，没有统一、量化的风险评估标准，所有隐患等级判定，完全依靠运维人员的个人从业经验。然而，不同的运维人员，从业经验、技术能力、职业态度有着很大的差异性，这就经常出现高风险隐患未重点防控、低风险隐患过度处置的情况，大幅拉低了运维管控的精准度和整体工作效率 [2]。信息流转的滞后性，进一步放大了各类运维问题。现场隐患从记录、录入、同步到最终处置，全流程都存在明显延迟。一线人员现场手工记录隐患信息，后续再人工录入后台系统，单条信息录入延迟时长可达 2 至 4 小时，部门之间的数据同步延迟更是达到 4 至 24 小时。数据统计显示，隐患信息有效同步率最低仅有 20%，各岗位、各部门之间形成了严重的数据壁垒。滞后的隐患数据，不仅加重了漏报、误判问题，还让大量隐患无法在第一时间处置，逐步演变为光缆外破事故，让整个运维管控流程出现明显漏洞。

3 光缆外破隐患识别错误率核心管控技术

3.1 DAS 声纹现场精准监测技术

引入DAS声纹定位监测技术,依托光缆现有闲置纤芯，搭建全天候不间断的智能监测体系，彻底突破人工巡检的物理感知局限。现场光缆监测的布设方式十分灵活，可根据线路跨段长度差异化调整设备方案 [3]。整条路由跨段长度不足 40 公里时，仅需一台设备搭配单端口，就能完成全线覆盖监测。整套布设方案只占用线路少量闲置纤芯，不需要对现有光缆线路进行大规模拆改、迁改施工，整体投入成本更低，也能适配城区复杂管线的现场施工条件。设备投入使用后，现场光缆运维的多项核心工作都得到了切实改善。以往巡检人员排查光缆路由、统计井下资源，必须逐个打开井盖人工核查，费时且效率极低。依托这套监测技术，工作人员只需通过简单的敲击振动方式，就能快速采集整条线路的光缆长度、盘留余量、资源点位经纬度等关键信息，采集的数据可直接同步上传系统，自动生成完整的数字化路由档案。设备融合振动巡缆与 OTDR 损耗检测双重功能，日常运维或是突发故障抢修时，技术人员可以快速锁定线路内的接头盒、分纤点以及断纤具体位置。过去人工排查一处复杂线路故障，往往需要 3 到 4 个小时，如今依托这套技术，基本能在 1 小时内完成全部定位工作。系统可全天候在线值守，精准捕捉人工挖掘、机械钻探、路面开挖等各类外力施工行为。

3.2 AI 声纹风险量化评估技术

光缆外破隐患的风险判定，长期以来高度依赖运维人员的从业经验，人为判断偏差大、标准不统一，是现场误判问题频发的关键原因。为解决这一实际问题，基于深度学习框架搭建专属的光缆声纹风险量化评估模型，用统一、客观的数据判定标准，替代传统的人工主观判断模式。模型的核心运算逻辑为多源声音数据融合算法。训练样本不局限于单一数据类型，而是整合了 DAS 设备实时采集的线路振动声纹、施工现场实地录制的施工原声、历年积累的各类环境噪音与隐患声纹样本，数据覆盖面广、贴合现场真实工况。模型自带在线自主学习能力，城市市政施工类型、环境噪音场景一直在动态变化，这套模型可以持续更新识别参数、优化运算逻辑，长期贴合各类复杂的现场运维场景。模型训练前期，重点把控基础数据的采集精度，从源头保障模型识别效果。现场作业人员通过全线光缆清查、内线光路逐条核验、无损光缆识别等实操工作，完成线路基础数据摸排。移动端作业 APP 搭载专属的敲击采集功能，工作人员采集数据后，可直接将声纹信息与光缆路由坐标、盘留参数等基础信息精准绑定。同时利用 OTDR 设备逐段核验纤芯损耗质量，搭配 RFID 端口标记技术，让每一段光路的信息都可精准溯源、一一对应。所有数据采集环节均采用无损作业模式，在保护线路设备完好的前提下，采集光缆运行数据，为模型训练提供可靠的样本支撑。系统会根据声纹特征，自动分类隐患类型、核定风险等级，让后续工作的开展有明确的数据依据，提高光缆运维的效率。

3.3 可视化告警平台运维赋能技术

针对数据流转不畅的问题，开发专属的光缆外破隐患可视化告警平台，打通各环节的数据流转通道，降低光缆外破隐患识别错误率。前端部署的 DAS 声纹监测系统是平台数据的主要来源，其以现有通信光纤作为传感载体，动态感知光缆，一旦监测到符合风险特征的数据，如线路周边振动扰动、设备运行损耗、线路参数异常波动等，会立即判定为外破隐患并触发告警。可视化告警平台的核心功能有二，第一是 GIS 地理信息联动功能。告警信号触发的瞬间，平台能在电子地图上直观标注隐患点位、展示光缆整体路由走向以及标注周边交叉管线的分布情况，方便运维人员第一时间赶赴现场检修，提高检修效率。第二项是光纤波形智能校准功能。系统会实时保存线路正常运行的基准波形，持续对比

实时运行波形的变化情况，精准甄别施工扰动、线路老化、损耗异常等不同类型的线路问题。同时，系统还能反向修正平台内置的基础地图数据，自动更新线路参数、点位信息，大幅减少运维人员二次核查、手动修正的工作量，从而长期保障平台基础数据的精准度。

4 管控技术落地应用与长效运维保障

4.1 现场技术应用成效核验

本次研发的三项核心管控技术，已全部投入广州城区光缆运维现场使用。经过一个月的不间断实测，整套技术体系的隐患管控效果十分突出，顺利达成预设运维指标。研究团队随机抽取 1200 条系统告警数据进行复核统计，结果显示，光缆外破隐患识别错误率从原先的 50%，下降至 11%，成功实现错误率控制在 20% 以下的核心目标。原本漏报、误判两类问题合计占比 82%，技术改造落地后，两类问题总占比降至 26.51%，不再是影响光缆运维质量的主要因素，精准解决了传统运维的核心缺陷。技术落地同步带来了可观的运维效益与经济收益。运维效率层面，故障定位耗时缩短 70% 以上，光缆资源清查效率提升 5 倍，累计完成 3 万公里线路资源清查，修正 70% 的历史错误数据，每年可减少 200 余人天的无效人工巡检工作量。成本管控层面，年均光缆外破断缆事故从 15 起降至 3 起，直接减少抢修成本 18 万元，叠加人工巡检节约的 8 万元成本，年度直接经济效益可达 26 万元。

4.2 运维标准化巩固管控措施

结合广州现场运维的实际工况，本次研究搭建了一套标准化、常态化的长效运维体系。首先是统一作业标准。将 DAS 声纹监测、AI 风险评估、可视化告警平台的操作流程、运维规范、设备巡检要求，全部纳入企业正式作业准则，编制专属的《光缆声纹智能巡检作业指导书》，在全市所有运维班组统一推行，让智能运维各项操作有统一标准可依，杜绝人为操作差异带来的误差。其次是建立平台迭代机制。安排专职运维人员常态化收集一线使用反馈，每季度完成一次平台功能优化、算法精度升级、基础数据校准，持续适配现场多变的施工环境，不断提升告警精准度、信息推送时效，最后是强化人员能力建设。定期组织专项培训，围绕智能设备操作、AI 模型结果解读、告警事件处置流程等内容开展实操教学，将智能运维技能纳入岗位绩效考核。

4.3 智能化运维迭代优化方向

结合长期运维需求来看，底层基础数据完善度、精细化管控水平仍有提升空间。后续运维优化工作，将重点聚焦光缆资产基础数据完善，着力解决传统手工录入滞后、数据归档准确率偏低的问题，进一步夯实智能运维的数据底座。未来将全面普及智能盘留识别、无损探缆技术，实现光缆资产数据实时采集、自动归档，计划将资产数据一次性归档准确率从当前 70% 提升至 95% 以上。此外，团队会持续优化 AI 声纹识别算法，扩充各类施工隐患样本数据库，强化复杂环境下微小扰动隐患的识别能力。依托大数据分析技术，深化隐患规律研究，实现外破隐患提前预判。最终搭建起一套提前预判、精准识别、快速处置、长效管控的全流程智能运维模式，持续降低光缆外破事故发生概率。

5 结语

面向现场运维的三项智能化技术的组合应用，有效解决了传统光缆运维漏报、误判、信息滞后的突出问题，大幅降低光缆外破隐患识别错误率，在提升运维效率、节约运维成本、保障网络稳定方面取得了良好成效。配套标准化运维机制的搭建，也保障了技术应用的长期稳定性。

参考文献

[1] 张延响，陈健琦，刘强，等.基于深度学习与毫米波雷达的 输电线路防外破系统研究[J].电力大数据，2024（5）：89-96.

[2] 李晓楠.声纹识别算法在光纤分布式声波传感系统信号 识别中的应用研究[D].成都：电子科技大学，2025.

[3] 刘敏，陈明，武明虎，等.GAE-YOLO：全局感知增强的输电线路外破隐患目标检测方法[J].仪器仪表学报，2025， 46（2）：267-278.