

重载铁路通信光缆维护要点分析与故障处理

梁世敏

国能朔黄铁路发展有限公司原平分公司 034100

【摘要】在重载铁路运输系统中，通信光缆与LTE无线网络共同构成核心通信架构，承担着列车控制信号、调度指令及安全信息传输的双重保障功能。然而，重载铁路特有的高频振动、大轴重载荷及复杂气候条件，对光缆的长期稳定性提出了严峻挑战。传统维护方式难以满足现代铁路高效运维的需求，亟须建立科学化、标准化的维护体系。本文基于重载铁路通信光缆的技术特点，深入探讨其维护关键环节与故障处理策略，旨在为提升光缆网络可靠性、保障铁路运输安全提供理论依据和实践指导。

【关键词】重载铁路；通信光缆；维护；故障处理

Analysis and troubleshooting of key points of heavy railway communication optical cable maintenance

Liang Shimin

Guoneng Shuohuang Railway Development Co., Ltd. Yuanping Branch 034100

【Abstract】In the heavy-haul railway transportation system, communication optical cables and LTE wireless networks together form the core communication architecture, responsible for the dual functions of transmitting train control signals, dispatching instructions, and safety information. However, the unique high-frequency vibrations, heavy axle loads, and complex climate conditions of heavy-haul railways pose severe challenges to the long-term stability of optical cables. Traditional maintenance methods cannot meet the demands of modern railway efficient operation and maintenance, making it imperative to establish a scientific and standardized maintenance system. This paper, based on the technical characteristics of communication optical cables in heavy-haul railways, delves into key maintenance aspects and fault handling strategies, aiming to provide theoretical support and practical guidance for enhancing the reliability of optical cable networks and ensuring railway transportation safety.

【Key words】heavy-haul railway; communication optical cable; maintenance; fault handling

引言：

随着重载铁路运输负荷的不断增加，通信光缆作为信息传输的“神经网络”，其维护与故障处理的重要性日益凸显。重载铁路的特殊工况（如大轴重、高频振动、复杂地理环境）易导致列车运行光缆机械损伤或性能劣化，进而威胁行车安全。本文基于重载铁路通信光缆的典型结构与运行环境，梳理维护核心环节，总结高频故障成因及处理流程，旨在为行业提供高效、经济的运维解决方案，助力铁路智能化发展。

一、重载铁路通信光缆的技术特点

重载铁路通信光缆具有以下特点：（1）重载铁路通信光缆必须有高的可靠性，保证在列车高密度、大轴重条件下正常工作；因此，对重载铁路通信光缆来说要选用强度较高的金属加强件作为骨架并进行必要的保护处理。（2）由于重

载铁路沿线有大量的牵引变电站存在很强的交直流杂散电流影响，在这种环境中使用电缆将受到严重的危害（主要是钢铠及外皮被电解），而使用光缆则不会出现这个问题；（3）重载铁路运输的业务量很大而且种类繁多，这就要求所使用的光缆能有足够的大容量和足够的信道数，目前一般都使用24、48、96芯光纤，可直接开通SDH设备；（4）由于重载铁路线路较长且运力巨大，所以要求尽量做到一次长途不中断，这就要尽可能地提高通信光缆本身的性能指标，即减小衰减系数和色散系数，使每公里内的衰减较小并且保持良好的均匀性，这样就可以大大增加一段光缆所能传送的距离而不必加装中继器了；（5）重载铁路沿途经过复杂的自然地理条件，气候多变、温度变化幅度较大，雨雪较多、土壤湿度较高、盐碱含量较高等，另外还有酸雾侵蚀等等问题，这对光缆的物理特性提出了更高的要求，需要选择更优良的护套材料^[1]。总之，重载铁路通信光缆是集高防护性、高带宽、低延迟和长寿命于一体的专用通信基础设施，为铁路安全高

效运营提供关键支撑。

二、重载铁路通信光缆维护要点分析

(一) 日常维护内容

1、定期巡检

针对重载铁路通信光缆的维护管理,依据《铁路通信维护规则》及相关技术规范,按照分级巡检制度(一般区段每半月一次;重要区段一周一次;特级区段实时监测),以达到分级管理的目的。巡检人员配备 OTDR 测试仪、光功率计、3M 光缆径路探测仪等相关工具,重点对轨旁光缆的悬垂距离和固定情况、防护管有无脱落或破损、金属线箍是否锈蚀等情况进行检查,在检查过程中重点关注轨道变位较大处所、桥梁两端与路基交接处以及道岔附近的机具作用点附近等机械损伤风险较高的地段,及时掌握光缆线路周围环境的变化情况,做好日常维护工作。同时使用轨检车上装载的光纤振动检测装置,对运行中的光缆进行不间断在线动态检测。另外还可以使用无人机对高架桥上或者山体侧壁上的光缆敷设情况进行空中巡视,将采集到的照片传回地面后,运用图像处理技术来辅助查找问题所在。最后根据收集到的信息资料综合判断出存在的安全隐患并通过智能分析平台对比以往的数据信息,可以提前预知可能发生的故障现象并对其进行相应的解决措施^[2]。

2、外观检查

重载铁路通信光电缆线路外观质量要求:“望”即通过目视法,仔细查看通信光电缆径路上是否有明显的凹陷或隆起现象;“问”即向沿线工务、供电、电务等专业部门询问该处地段近期施工情况。结合现场实际情况确定具体的检查方式。“切”,是通过手感来感觉通信光电缆上有没有局部温度变化的现象存在。“望闻问切”的检查原则就是把通信光电缆从始至终都放在心上,认真细致地对待每一根通信光电缆,发现一处问题就要彻底查清原因并做好记录工作。具体来说就是要做到以下几点:(1)对于易受道砟磨损影响的地段以及钢轨横跨地段,应着重检查光缆外护套有无明显挤压变形、龟裂老化的现象发生。(2)对于穿越铁道与公路交错的地方(包括钻管穿入),应着重检查光缆经过这些地方后外护套表面有无划伤、擦痕,以及压扁等情况的发生,同时还要看其两侧土质的情况如何,是否有沉降塌方迹象的存在。确保外观隐患纳入整治台账,为后续精准维修提供依据。

3、性能测试

重载铁路通信光缆性能测试采取“四级检测体系”,即:一是以 OTDR 测试仪为依托,利用双向测试技术逐级开展纤芯性能指标(单模光纤: $\leq 0.34\text{dB/km}$)测试与判定;二是

以光功率计为基础,根据标称值对线路全程进行端到端衰减测试并比照其差异是否超出 $\pm 0.5\text{dB}$,以此作为发生问题后的第一时间进行故障溯源依据;三是针对有高压电的铁路路段(比如电气化区段),除了常规检测,还要额外做两种测试:第一是检查光缆外层金属屏蔽是否导电良好(用万用表测电阻,必须小于 5 欧姆),防止漏电或电磁干扰;第二是模拟火车运行时产生的强电磁环境,测试光缆信号会不会被干扰。最后,结合前两种检测方法的数据,给每个检测项目定出明确的合格标准;四是将所有的测试数据自动导入到智能分析平台中形成完整的数据信息库,并通过该平台对各项参数进行统计计算得出对应的衰减曲线、事件表、色谱图等相关图表后生成最终的测试报告供相关单位参考。

(二) 关键维护技术

1、智能化监测系统

重载铁路通信光缆维护的智能化监测系统通过集成物联网、大数据分析和人工智能技术实现对光缆状态的实时监控与故障预警。该系统利用分布式光纤传感技术采集振动、温度、应变等参数结合机器学习算法识别异常行为(如外力破坏或自然老化)并通过 GIS 平台精确定位故障点。智能诊断模块可区分施工机械侵入、地质灾害等威胁类型预测性维护策略依据历史数据优化巡检路径。多源数据融合技术整合气象条件、列车运行日志等环境因素提升误报过滤能力至 98%以上。应急通信功能在光缆中断时自动切换至无线 Mesh 网络确保 CTC 系统不间断运行^[3]。

2、无人机/天网视频监控辅助巡检

一是基于 3D 视觉系统的无人机精细化巡检。利用携带 4K 高清摄像头、红外热成像相机与激光测距器模块的多旋翼巡检无人机,针对桥墩底部、高速隧洞拱顶、护坡上、架空等光电缆线路难于人工巡查的特殊地段开展精细巡检工作,并结合 AI 图像处理技术实现光缆线径变化,光缆外护层裂纹(裂痕长度小于等于 5mm)以及各类悬吊金具脱落状态的在线监测。二是基于天网视频监控辅助巡检系统通过部署在铁路沿线的智能监控摄像头,实时采集轨旁设备的高清视频流数据。系统采用多光谱成像技术,结合深度学习算法,可精确识别电缆槽道金属紧固件(包括夹板螺栓、连接销钉)的位移变化,检测灵敏度达 0.1mm 级,同时能通过三维建模分析非金属电缆槽箱的结构形变。利用视频分析平台的 SLAM 技术,系统自动构建巡检区域的三维数字孪生模型,并与北斗定位数据融合,生成厘米级精度的设备状态电子台账^[4]。

3、大数据分析预测潜在故障点

基于 OTDR 历史测试数据以及环境参数与运维记录等数据源,建立 OTDR 健康状态评价模型;利用算法构建光缆

健康度综合评分模型。根据衰减曲线的历史变化规律,进行时序分析并运用 LSTM(长短期记忆网络, Long Short-Term Memory)神经网络对未来性能劣化的趋势做出判断;对影响光纤线路健康的因素进行空间相关性分析,从而能够准确定位地陷滑坡区域和振动力学损伤地段,并自动生成高危区域分布热力图;将故障知识图谱中典型故障案例的关键属性信息作为输入向量传入相似度计算模块,以得到各待测点之间的相似程度,进而完成故障类型的初步判定。

(三) 特殊环境维护策略

重载铁路通信光缆线路维护的重点应根据所处环境有针对性地考虑振动、温度变化和强电场的影响。在振动敏感地段(如:靠近钢轨,列车启动停车频繁地段),对光缆进行保护处理;加装减振支座或缓冲套管,并注意观察光缆固定金具有无滑移及磨损现象;在大温差地区,选用收缩率小的光纤材料,在敷设中留有必要的伸缩余度,以消除由热胀冷缩引起的应力使纤芯受拉断或者接头脱开;并在冬天做好冰雪覆盖地区的监控工作,采取相应的防范措施以防结冰损坏光缆;(3) 在高磁场强度区,宜选择带金属铠装层或双层屏蔽结构的光缆,保证良好的接地系统,每季测试一次其屏蔽层完好程度,防止强大的交变电流引起绝缘体被击穿而造成故障。此外,对于矿区、化工区等腐蚀性环境,需选用耐酸碱光缆外护套,并缩短巡检周期,及时清除腐蚀物。特殊环境维护的核心在于“环境适配性”,需结合实时监测数据与差异化防护措施,确保光缆在极端条件下的长期稳定性。

三、重载铁路通信光缆的故障处理

(一) 标准化处理流程

重载铁路通信光缆的“四快三准两闭环”处理流程以高效协同和精准控制为核心,通过快速响应与闭环管理保障通信可靠性。“四快”指快速发现故障、快速定位断点、快速调配资源、快速修复光缆,依托智能监测系统实时捕捉异常信号,利用 OTDR 等设备精准锁定故障位置,结合预案迅速

组织抢修队伍和物资赶赴现场,压缩中断时间。“三准”强调准确判断故障类型、准确制定修复方案、准确验证恢复效果,通过多维度数据分析区分光缆断裂、损耗异常等类型,结合环境因素选择熔接、临时替代等针对性措施,修复后通过业务验证和指标测试确保通信质量达标。“两闭环”覆盖流程闭环与质量闭环,前者从故障上报到恢复运行全程跟踪记录,确保各环节无缝衔接;后者通过事后复盘优化预案、更新风险库,形成从应急处置到预防改进的持续提升机制,最终实现故障处理效率与网络可靠性的双重保障。

(二) 应急抢修技术

重载铁路通信光缆应急抢修技术以“分层处置、快速恢复”为原则,建立了三级应急响应机制:监测系统的故障告警信息发出后,由维护人员利用智能诊断平台在 5min 内判定出故障性质;首先启动光缆中断应急预案保证行车通信畅通;然后根据实际情况派发相应的抢修队伍携带 OTDR(光时域反射仪)、光功率计、环切刀、束管钳、米勒刀、热缩套管及光纤熔接机等仪器仪表赶赴现场开展工作。对于直接埋地敷设的光缆,主要采用地面探查的方式确定光缆位置后再沿线路方向向两端各延伸 1~3km 范围内的区域查找障碍点,并结合手持式测距仪、激光测距仪以及地下管线探测仪等工具精确定位故障点的位置;而对于架空敷设的光缆,则可通过可见光相机对沿线光缆进行全面巡视排查。

结束语

重载铁路通信光缆的稳定运行是保障铁路运输安全与效率的重要基础。预防性维护与智能化技术的应用能够显著提升光缆系统的可靠性,减少突发故障对铁路运营的影响。本文通过对光缆维护要点及故障处理策略的系统分析,提出了快速响应方案。未来,随着光纤传感、大数据分析等技术的进一步发展,重载铁路通信光缆的维护将朝着更精准、更智能的方向迈进,为铁路运输的高效、安全运行提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 陆守东. 高速铁路通信光缆故障的定位分析与处理[J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21(02): 43-47.
- [2] 姚伟. 通信光缆障碍的分析查找及处置[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20(12): 66-71.
- [3] 董鹏乐. 基于故障树的铁路通信光缆故障诊断系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2022(02): 190-194.
- [4] 李东阳. 铁路通信光缆故障及防护技术分析[J]. 科技创新与应用, 2020(34): 135-136.
- [5] 周赞. 铁路通信光缆维护要点分析与故障处理[J]. 通信电源技术, 2020, 37(03): 177-178.

作者简介: 梁世敏(1998.4-)男, 山西朔州人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 铁路通信专业。