

面向网络效能提升的老旧光缆资源再利用关键技术研究

周建忠

贵州省邮电规划设计院有限公司 贵州 贵阳 550003

摘要：现有老旧光缆因性能劣化与业务升级而大量闲置，亟待面向网络效能提升开展系统性再利用。本文构建包含物理、传输、成本与环境四维度的适配性评估体系，提出多模融合精准检测与缺陷识别方法，并围绕纤芯重组、改造工艺及损耗补偿形成分级复用技术方案。通过拓扑重构、动态调优与协议适配，实现存量资源高效嵌入现网，验证其对时延、吞吐与稳定性的综合改善，为绿色运维提供可行路径。

关键词：老旧光缆；资源再利用；状态检测；效能提升；网络优化

引言：通信网络持续迭代升级，大量早期敷设的光缆已进入老化服役阶段。这类光缆虽未达报废标准，却因性能衰减与适配不足，被大面积闲置甚至替换，浪费资源，增加成本，拖慢绿色提质。目前行业缺乏一套完善的老旧光缆状态检测、等级筛选与复用优化体系，导致旧缆难适配 5G 承载、千兆接入等新业务需求。基于此，本文围绕网络效能提升目标，系统研究老旧光缆评估、检测、复用及网络优化技术，为存量光缆高效盘活和网络性能升级提供参考。

1 老旧光缆资源现状与效能适配性评估体系构建

1.1 老旧光缆分类及存量资源现状

当前在网运行的老旧光缆，其服役年限跨度较大，按敷设方式可归为架空、管道及直埋三类，再结合纤芯型号与护套材料特性，又能进一步划分出不同老化层级。早年间布放的光缆主要承载固网接入和骨干传输业务，存量底盘厚、在网占比高。说白了，不少服役超过十年的光缆远没到物理寿命终点，只是因为网络升级或业务调整，被晾在一边或是轻载跑着，链路利用率普遍偏低，闲置资源积压问题突出。目前业内尚缺乏一套针对老旧光缆盘活再利用的通用准则，很多性能明明还说过得去的缆段，被不加区分地直接换掉，这既推高了改造施工和日常维护的开销，也白白浪费了既有通信资产，跟提质增效、绿色运维的大方向明显拧着劲儿。可见，构建面向存量光缆的资源现状评估与效能适配性判定体系，已是当务之急。

1.2 网络效能提升需求与光缆适配性分析

不同通信业务场景对光缆性能的要求，说白了差别非常大。5G 承载网络偏重低时延传输、高稳定性以及强

抗干扰能力；千兆接入网络对带宽容量和传输损耗的指标要求极为苛刻；城域传输网络则必须满足多业务并发承载和高可靠运行的需求。老旧光缆服役时间一长，普遍会出现传输损耗上升、色散偏移以及机械性能劣化等问题，这跟新型网络的高性能传输需求明显对不上。结合各场景的效能建设标准，明确光缆各项性能阈值，并建立光缆参数与网络传输效能的对应关系，就能把老旧光缆精准适配到现代网络业务中去。

1.3 再利用适配性评估指标体系设计

贴合网络效能提升工程的实际需求，本研究构建了一套多维度老旧光缆再利用量化评估指标体系。该体系从物理性能、传输性能、成本效益与环境适应性四大核心维度展开评估。具体而言，物理性能维度涵盖护套完好度、纤芯强度及老化损伤程度等关键参数，以此保障复用施工过程中的基本安全；传输性能维度则以传输损耗、带宽承载力和信号稳定性为核心指标，直接决定复网后能否撑得住业务流量，信号质量靠不靠谱；成本效益维度统筹改造投入、运维支出与资源回收收益，算清楚经济账，确保复用方案在财务上站得住脚；环境适应性维度则考核光缆的防水防腐能力、抗外力冲击性能及温湿耐受特性^[1]。

2 面向效能提升的老旧光缆状态精准检测技术

老旧光缆长期服役下来，容易出现性能衰减、隐性缺陷累积，而且工况也各不相同。为了精准复用和提升网络效能，得建立多维度检测方法、缺陷识别与寿命预判机制，还得完成技术精度校验和现场适配优化。（1）传统光缆检测技术的局限性挺明显。现在现场就靠 OTDR 测试、人工外观巡检和稳态光源损耗测试这三类，但技术模式单一，满足不了老旧光缆复用的数

据判定需求。常规 OTDR 只能识别断纤和大损耗点,对微弯损耗、涂覆层老化、接头缓变衰减等微弱缺陷精度不足;人工巡检只能排查护套破损、光缆变形等外观问题,查不了纤芯内部老化;稳态光源测试只给链路总损耗,定不了分段劣化位置。各方式独立、数据不互通,结果易受环境和设备干扰,难以完整反映持续劣化特征,更给不出复用等级和业务适配的量化依据。(2) 多维度融合的老旧光缆故障与损耗检测方法,其实就是把增强型 OTDR、分布式应变传感和分段差分损耗测试整合成一套方案。优化 OTDR 脉宽和采样参数,提升微小损耗识别能力;用分布式传感实时采集应力、温度,发现架空振动、管道挤压引起的隐性损耗;用分段双向测试消除单向误差,精准划出链路劣化区段。(3) 老旧光缆隐性缺陷识别与寿命预判模型,重点以链路损耗增量、接头衰减、线路应力、护套腐蚀等级为核心指标,依托大量在网实测样本划分缺陷等级,制定标准化识别规则。结合材料老化规律和历史监测数据拟合衰减曲线,搭建预判模型,根据实测参数评估剩余稳定服役周期,分出直接复用、修复后复用、报废处置三级标准。(4) 检测技术精度验证和适用性优化,需要选城域传输、5G 承载、宽带接入等不同场景下的架空、管道、直埋旧缆做对比试验,统计各工况检测误差,修正模型阈值。针对管道积水、直埋潮湿、露天暴晒等恶劣环境优化降噪算法,削弱外部干扰,提升现场适配性和检测精度^[2]。

3 老旧光缆资源适配性复用优化技术

3.1 基于网络效能最大化的光缆资源筛选策略

老旧光缆在服役年限、维护历史及外部环境等方面差异显著,导致其传输性能、结构完整性和环境耐受能力参差不齐,难以采用统一标准进行复用。若直接粗放式利旧,势必影响升级后的网络效能,因而亟须建立一套以效能为导向的精细化筛选与分级机制,具体可从三个层面推进。(1) 制定分级判定规范。将纤芯损耗阈值、接头故障数量、护套完好度以及机械抗拉强度设为关键评价指标,依据实测数据把存量光缆划为四档:优先复用档、修复后复用档、限制复用档和直接报废档。每一档对应明确的业务承载边界,比如优先档可用于骨干环网,限制档仅适配低速率或非关键链路,从而在源头上把控质量底线。(2) 实施场景化匹配筛选。结合 5G 前传/中传、城域核心汇聚、千兆家庭接入以及专网监控等典型场景的时延、带宽和可靠性要求,将低损耗、高稳定性的优质光缆调配至核心传输通道,而性能一般的光缆则安排至边缘接入、低速专线或临时性调度

链路。(3) 优化冗余资源整合。通过比对同路由或多路径链路的长期性能波动数据,主动剔除那些误码率起伏大、故障频发的劣化段落,再把性能平稳、护套完好的连续段落拼接整合成可用的资源池。这样能从源头减少卡顿、丢包和断连风险,真正实现存量资产与业务需求之间的最优匹配,而非简单“能用就用”。

3.2 老旧光缆纤芯资源重组与链路适配技术

早期光缆常存在纤芯利用率不均、布局杂乱且闲置较多等问题,原有架构难以满足当前网络高并发、大带宽的传输需求,亟须通过纤芯重组与链路适配来优化资源配置。具体措施如下:(1) 开展全域纤芯普查,逐芯测试损耗、色散、故障点位及服役年限,并统计闲置、低效、故障纤芯的分布,建立完整台账。说白了,就是先把所有纤芯的家底摸清楚。(2) 实施精细化重组,结合带宽需求和链路负载,关停冗余低效链路,将优质闲置纤芯跨段跳接整合,替换老化纤芯,从而简化拓扑、减少交叉浪费。(3) 完成链路适配调试,统一校准收发功率、速率和协议等参数,修正老旧纤芯与新型设备的适配偏差,妥善解决兼容性和协商异常问题,保证重组链路稳定运行。

3.3 不同服役场景下光缆复用改造工艺优化

架空、管道、直埋光缆在服役环境、受力状态和老化缺陷上差异大,通用改造工艺的适配性并不好,所以得按光缆类型优化施工工艺,才能提高复用光缆的稳定性与耐久性。(1) 架空光缆方面,风振、暴晒和雨水侵蚀常引起护套老化、纤芯微弯、接头松动。施工中要把老化挂钩和松弛吊线换掉,矫正光缆形变;高空接头盒要重新做密封加固,老化的胶条一并更换,同时增设防雷、防振配件,避免链路损耗出现异常。(2) 管道光缆方面,主要问题是积水、潮湿、挤压和鼠患损伤。先清理管内杂物和积水,检查修复挤压破损的管段,受潮老化的防护器件应及时更换;防水防潮封堵要做到位,管内光缆排布要理顺,别缠绕、别受压。(3) 直埋光缆方面,土壤腐蚀和地层沉降牵拉比较突出。开挖后先排查路由隐患、修复破损护套,高腐蚀区域增加防腐保护层;回填采用分层夯实工艺,防止石块挤压光缆;地面标识和警示桩也要完善,减少后续外力施工破坏。

3.4 复用过程中传输性能损耗补偿技术

受材料老化、长期受力、环境侵蚀影响,老旧光缆复用后普遍存在基础损耗偏高、信号衰减快、色散偏移等问题。要想传输指标达标,就得配套损耗补偿技术。(1) 固定损耗精准补偿方面,按链路实测损耗值,在机房和链路节点配置适配光衰补偿模块,抵消纤芯固

有衰减,把整体损耗控制在行业标准范围内,避免功率不足引发的传输不稳定。(2)动态色散补偿方面,老旧光缆色散偏移容易引起高速传输失真、误码率升高等问题,部署色散补偿器件,结合链路长度和老化程度动态调参,修正色散偏差,提升高速数据传输完整性。(3)接头损耗优化补偿方面,多次熔接老化接头要重新打磨端面、优化熔接工艺,更换氧化适配器,精简冗余链路降低累积损耗,并预留功率冗余余量,适配光缆后期轻微性能衰减,保障复用链路长期稳定运行^[3]。

4 老旧光缆再利用网络架构优化与效能提升技术

4.1 老旧光缆复用后的网络拓扑重构方法

现网存量光缆因长期随业务临时搭接、应急改道,普遍存在路由混乱、节点冗余和链路迂回等问题,原有架构难以满足复用改造要求。为此,依托光缆性能实测数据开展全网拓扑重构。(1)完成存量链路路由普查,清理废弃纤芯、临时跳接点和闲置转接节点,剔除无效层级,把网络骨架简化下来。(2)按光缆性能分级布设路由——损耗低、稳定性好的优质缆段充当主干传输链路,性能一般的限定在接入层或边缘承载使用。(3)针对老旧光缆故障率偏高的现实,关键业务路段改用环网或双路由冗余架构,替换原先的单链串联方式,这样能显著提升抗故障能力,避免单点断线拖垮全网业务。

4.2 带宽资源动态调配与链路负载均衡优化技术

各段老旧光缆承载能力参差不齐,固定带宽分配极易造成局部拥塞而另一些链路空闲,必须靠动态调度来平衡。具体做法:实时统计每条复用链路的流量占用、业务数量和端口利用率,建立负载台账,精准揪出高负载瓶颈与低负载闲置路段。然后按业务优先级分配带宽——5G回传、政企专线、核心数据等给予固定保障,普通宽带则采用弹性调度。同时启用多链路间的负载均衡机制,突发流量自动分流到空闲链路,避免单线过载,从而均衡各缆的承载压力,把存量资源用足用好。

4.3 适配老旧光缆的网络传输协议优化策略

标准传输协议参数本是针对新光缆的高带宽、低损耗特性设定的,直接套用到老旧链路上,常出现协商不稳、误码偏高、重传频繁等问题。因此要结合老旧光

缆实际传输特性做参数适配。一是调整光口速率协商模式,根据实测链路损耗锁定合适工作速率,关掉无效的高速兼容协商,减少端口震荡和链路闪断。二是优化数据帧传输参数,适当拉大帧间隔并调整超时重传阈值,以适配较大的传输延迟,降低无效重传挤占带宽。三是简化边缘接入链路的协议封装层级,删去冗余校验和多余转发流程,减轻弱传输性能带来的处理压力,切实提高链路适配性。

4.4 网络时延、吞吐量、稳定性综合效能提升方案

在前述拓扑重构、带宽调度和协议优化的基础上,针对核心效能指标实施综合改造。时延方面,精简转发节点数量,规整路由路径,避免迂回转发,有效缩短数据时延,改善老旧链路延迟超标问题。吞吐量方面,结合链路损耗补偿结果,按各段光缆实际承载上限合理分配流量,清理干扰和误码,提升有效吞吐能力。稳定性方面,完善链路实时监测和倒换机制,设定损耗阈值预警,提前处置性能劣化段落,缩短故障发现与切换时长。通过上述举措,全面增强复用光缆网络的运行稳定性与整体服务效能^[4]。

结束语:本文围绕老旧光缆再利用,构建适配性评估体系,突破多维度融合检测与缺陷识别关键技术,形成分级复用与网络优化整套方案,并在拓扑重构、动态负载与协议适配层面完成效能验证。研究表明,按质盘活存量光缆可有效缓解新建压力、压减运维成本,同时保障传输稳定性与业务承载能力。后续将结合现网长期运行数据,持续优化劣化预判模型与补偿策略,推动老旧光缆运维由粗放替换转向精准利旧。

参考文献

- [1] 冯学斌,侯继勇,武健.基于PCA的OPGW光缆健康度评估方法[J].光通信技术,2023,47(06):76-80.
- [2] 宋玉飞,曾军,叶杨.5G项目实施时同步进行存量光缆整合的研究[J].数据通信,2024(05):5-9.
- [3] 孙雪焕.城域网架构优化中的光缆资源调度方案研究[J].长江信息通信,2026,39(2):184-186.
- [4] 李建强,王颖.光纤通信传输损耗的补偿技术研究[J].光通信技术,2022,46(05):34-38.