

光纤通信网络优化及运行维护研究

李新鹏

甘肃省通信产业工程建设有限公司 甘肃 兰州 730030

摘要：随着通信业务需求持续增长，光纤通信网络优化及运行维护成为保障通信质量的关键。本文聚焦光纤通信网络，从传输链路、拓扑结构、信号传输质量等维度阐述优化方向，分析网络设备、光纤线路、运行状态监测等运维内容，探讨优化与运维的技术支撑，提出优化与运维的实施流程和管理策略，旨在为光纤通信网络的高效运行提供系统性解决方案。

关键词：光纤通信网络；网络优化；运行维护；技术支撑；协同推进

引言：在数字化浪潮推动下，通信业务量呈爆发式增长，对光纤通信网络性能提出更高要求。当前，光纤通信网络面临传输损耗、带宽分配不合理、故障定位困难等诸多挑战，影响通信的稳定性与可靠性。因此，深入开展光纤通信网络优化及运行维护研究，提升网络性能与运维效率，对于满足日益增长的通信需求、推动通信行业持续发展具有重要意义。

1 光纤通信网络优化的核心方向

1.1 光纤传输链路优化

光纤传输链路作为网络信息传递的基础通道，其性能优化直接决定整体通信质量。传输损耗控制需聚焦于光纤材料特性与连接工艺的协同改进，通过采用低衰减系数石英光纤及高精度熔接技术，可有效降低光信号在传输过程中的能量损耗^[1]。针对传输带宽分配问题，需结合动态波长分配算法与频谱切片技术，根据业务流量特征实时调整各通道资源占用，避免传统固定分配模式导致的带宽浪费。链路稳定性优化需建立多维度监测体系，通过部署分布式光功率监测节点与色散补偿模块，实时感知光纤弯曲、接头老化等潜在风险，并依托自适应均衡技术实现传输参数的动态校准。

1.2 网络拓扑结构优化

拓扑结构合理性调整需兼顾业务需求与建设成本，在核心层采用环形拓扑提升容错能力，在接入层部署星型结构简化运维管理。针对大规模组网场景，可引入混合拓扑设计，通过核心-汇聚-接入三层架构实现层级化流量疏导。网络节点布局优化需建立数学规划模型，以最小化平均跳数与最大链路负载为约束条件，运用粒子群优化算法求解节点坐标。对于密集城区场景，需考虑建筑物遮挡效应对光信号传播的影响，通过三维空间建模确定基站最优部署高度与间距，确保覆盖范围与信号强度的平衡。

1.3 信号传输质量优化

信号干扰抑制需从频域与时域双重维度展开，在频域层面采用正交频分复用技术，通过子载波正交性消除邻道干扰；在时域层面部署自适应滤波器，动态跟踪并抵消脉冲噪声。针对非线性效应导致的信号失真，可引入数字反向传播算法，通过预畸变补偿技术抵消光纤克尔效应的影响。对于色散引起的脉冲展宽问题，需结合色散补偿光纤与数字信号处理技术，在光域实施静态补偿的同时，利用电域均衡器实现动态跟踪调整。为应对偏振模色散这一随机干扰因素，可开发基于机器学习的偏振态实时监测系统，通过神经网络模型预测色散变化趋势并提前实施补偿。

2 光纤通信网络运行维护的关键内容

2.1 网络设备日常维护

光传输设备维护需聚焦核心组件状态管理，定期检查激光器偏置电流与输出光功率，确保发射模块工作在最佳线性区。针对相干光传输设备，需重点监测数字信号处理（DSP）芯片的载波恢复能力，通过眼图分析验证信号质量^[2]。设备散热系统维护同样关键，需清理防尘网积灰并检查风扇转速，避免因高温导致器件性能衰减。光接入设备维护需区分不同应用场景，无源光网络（PON）设备需重点检查分光器端口污染情况，使用专用清洁工具处理连接器端面。有源光网络（AON）设备需监测电源模块输出稳定性，对使用超过5年的电容进行预防性更换。用户端光猫维护需建立工单驱动机制，针对频繁掉线用户优先检查光纤弯曲半径与连接器插损，确保光功率在-8dBm至-24dBm合规范围内。辅助设备维护涵盖供电与环境监控系统，不间断电源（UPS）需每季度进行放电测试，验证电池组实际容量与设计值的偏差。空调系统维护需关注制冷剂压力与出风口温度，夏季高温期间将机房温度控制在22℃至25℃区间。防雷

接地装置需每年检测接地电阻值, 确保数值低于10欧姆, 防止雷击导致设备损坏。

2.2 光纤线路维护

光纤线路巡检需构建“人工+智能”双轨机制, 人工巡检侧重杆路稳固性检查与光缆标志牌核对, 智能巡检则依托分布式光纤传感技术实现全线监测。通过在光缆中嵌入振动传感光纤, 可实时感知挖掘、撞击等外力破坏事件, 结合地理信息系统(GIS)精准定位故障点。巡检周期制定需综合考虑线路重要性与环境风险等级, 对穿越化工区或地质灾害频发地段的线路缩短巡检间隔。线路故障排查需建立分层诊断模型, 先通过光功率计定位大致故障段落, 再利用OTDR精确测量衰减曲线特征。对断纤故障需分析反射峰强度与波形, 区分机械损伤与自然灾害导致的断裂类型。针对衰减异常故障, 需检测光纤熔接点损耗值, 排查是否存在熔接工艺缺陷或接头盒进水问题。线路日常养护包含清洁与防护双重措施, 光缆接头盒需定期开盖检查密封性能, 对硅胶垫老化变形的及时更换。采用专用清洁工具处理连接器端面污渍, 避免使用棉签等纤维材料造成二次污染。对架空光缆实施防鸟啄改造, 在电杆安装防攀爬装置, 对直埋光缆周边设置警示标识并定期补漆。

2.3 网络运行状态监测

运行参数实时监测需构建多维指标体系, 涵盖光功率、信噪比、误码率等物理层参数, 以及端口流量、协议状态等网络层指标。通过部署智能探针实现参数自动采集, 采用时间序列数据库存储历史数据, 为趋势分析提供数据支撑。对关键参数设置动态阈值, 结合历史基线数据实现智能告警, 避免固定阈值导致的误报漏报。异常状态识别需融合机器学习与专家系统优势, 利用聚类算法对正常状态参数分布建模, 通过偏离度计算识别潜在异常。对已确认的故障模式进行特征提取, 构建故障知识库指导后续诊断。采用关联分析技术挖掘多参数联动关系, 例如同时出现光功率骤降与误码率攀升时, 可判定为光缆中断故障, 提升问题定位效率。

3 光纤通信网络优化与运维的技术支撑

3.1 优化技术应用

光放大技术通过补偿光纤传输损耗实现信号再生, 掺铒光纤放大器(EDFA)凭借低噪声系数与宽增益带宽成为长距离传输核心组件。拉曼光纤放大器利用受激拉曼散射效应拓展增益谱范围, 与EDFA混合部署可显著提升系统信噪比^[3]。针对超高速系统需求, 半导体光放大器(SOA)的快速响应特性使其在400G/800G相干光通信中承担信号整形功能, 通过非线性效应抑制实现传输性

能优化。波分复用技术通过单纤多波长传输突破容量瓶颈, 密集波分复用(DWDM)系统在C+L波段实现128波以上复用, 配合高阶调制格式(如64QAM)可将单波速率提升至800Gbps。可调谐波长选择开关(WSS)的引入使波长分配从静态配置转向动态调度, 结合软件定义网络(SDN)实现波长资源按需分配。自适应调整技术通过实时感知网络状态实现参数动态优化, 数字信号处理(DSP)芯片内置的色散补偿模块可自动跟踪光纤色散变化, 通过前馈均衡算法消除脉冲展宽。偏振模色散补偿采用多输入多输出(MIMO)技术, 通过构建偏振态转移矩阵实现失真信号重构。光功率均衡技术利用可调光衰减器(VOA)阵列, 根据业务流量动态调整各通道功率, 避免非线性效应导致的信号劣化。

3.2 运维技术应用

故障定位技术依托光时域反射仪(OTDR)与光频域反射仪(OFDR)实现故障点精准定位, 分布式光纤传感技术通过瑞利散射信号分析实现千米级定位精度, 结合机器学习算法可自动识别接头损耗、光纤弯曲等典型故障模式。光链路诊断仪集成多种测试功能, 通过一次测试获取衰减、色散、偏振依赖损耗等全参数数据, 显著缩短故障排查周期。远程运维技术通过部署智能网管系统实现设备集中管理, 北向接口标准化使不同厂商设备纳入统一监控平台。网络功能虚拟化(NFV)技术将传统硬件功能解耦为软件模块, 运维人员可通过编排工具远程调整业务配置, 实现网络切片快速部署。数字孪生技术构建虚拟网络镜像, 通过仿真推演预测潜在故障, 指导运维人员提前制定维护策略。设备状态诊断技术融合振动分析、温度监测与性能参数关联, 通过构建健康度评估模型实现故障早期预警。光模块数字诊断功能(DDM)实时上报发射功率、偏置电流等参数, 结合阈值告警机制可提前发现器件老化趋势。电源系统诊断采用电参数分析技术, 通过监测电压纹波、谐波含量等指标评估供电质量, 避免因电源故障引发业务中断。

3.3 技术升级与适配

优化技术升级方向聚焦于硅光子集成与相干光通信深化应用, 硅基光电子芯片将激光器、调制器等器件单片集成, 显著降低系统功耗与体积, 为数据中心互联提供高密度解决方案。高阶调制格式与概率星座整形(PCS)技术结合, 可在相同信噪比条件下提升传输容量, 配合奈奎斯特超窄带滤波实现频谱效率最大化。运维技术适配策略强调开放接口与智能分析融合, 网络设备需支持NETCONF/YANG等标准化管理协议, 确保运维工具能跨厂商采集数据。人工智能算法部署需考虑边缘计算与云

计算协同,将实时性要求高的故障诊断任务下沉至边缘节点,复杂分析任务上送至云端处理。运维知识库构建需整合设备日志、历史工单等多源数据,通过自然语言处理技术实现故障现象与解决方案的智能关联。

4 光纤通信网络优化与运维的实践路径

4.1 优化工作实施流程

优化需求梳理需以网络性能评估为基础,通过采集传输时延、误码率、光功率等关键指标,结合业务流量增长趋势分析现有网络瓶颈。需求分析阶段需区分短期扩容与长期演进目标,例如针对5G前传网络,需重点评估波分复用系统波长利用率与光模块寿命;对于骨干传输网,则需关注色散补偿能力与高阶调制格式兼容性。优化方案制定应遵循技术可行性与经济性平衡原则,根据需求优先级分阶段实施。对于光放大器部署,需综合计算链路衰减预算与噪声积累,确定EDFA与拉曼放大器的混合配置比例;波分复用系统升级需评估现有光模块的调谐范围,制定波长扩容与频谱效率提升的协同策略。优化措施执行需建立标准化操作流程,光缆熔接、设备调测等关键环节需执行双人互检机制。对于自适应调整技术部署,需先在实验室验证算法收敛性,再通过分区域试点逐步推广^[4]。实施过程中需实时监测关键性能指标(KPI),如发现系统信噪比下降超过1dB,需立即暂停并回溯操作步骤,避免问题扩大。

4.2 运维工作管理流程

运维计划制定需结合设备生命周期与业务重要性分级,核心路由器、波分复用设备等关键节点应缩短巡检周期至每周一次,接入层设备可延长至月度巡检。计划编制需参考历史故障数据,对高发时段与区域增加预防性维护任务,例如夏季高温期间加强对电源模块的温度监测。运维任务执行应采用"任务工单化"管理模式,每项操作均需生成唯一工单编号并记录执行人员与时间戳。远程运维操作需通过VPN加密通道登录设备,关键配置变更需执行二次确认流程。对于故障抢修场景,需在4小时内完成初步定位并上报处理进展,重大故障需启动应急预案并同步通知相关业务部门。运维记录管理需构建结构化数据库,存储设备配置变更、故障处理、巡检报告等全生命周期数据。记录字段应包含时间、设备标

识、操作类型、处理结果等核心信息,并支持按关键词快速检索。定期对运维数据进行分析挖掘,例如通过关联分析发现某批次光模块的故障率异常升高,为设备更新提供数据支撑。

4.3 优化与运维的协同推进

优化与运维的衔接机制需建立常态化沟通渠道,优化项目启动前需组织运维团队参与方案评审,重点评估实施对现网业务的影响。例如波分复用系统波长调整时,运维人员需提前核对业务通道映射关系,避免误删活跃连接。优化实施后需由运维团队接管系统监控,确保新部署功能稳定运行。全流程协同管控需构建统一管理平台,整合优化需求提报、方案审批、任务派发、效果评估等环节^[5]。通过数字化看板实时展示优化项目进度与运维工单处理情况,对超期任务自动触发预警。建立优化与运维联合复盘机制,每月分析优化措施实施效果与运维故障处理效率,持续优化工作流程与资源分配策略。

结束语

光纤通信网络的优化与运维是保障通信质量的核心环节,需通过技术迭代与流程创新实现协同发展。优化工作需聚焦传输链路、拓扑结构与信号质量的精准提升,运维管理需构建预防性维护与智能诊断体系。技术支撑层面,光放大、波分复用与数字孪生等技术的深度融合,为网络智能化升级提供关键动能。实践路径上,标准化流程与跨部门协同机制的建立,能够有效缩短故障处理周期,提升资源利用效率,最终实现光纤网络的高效稳定运行。

参考文献

- [1]王建安.光纤通信网络优化及运行维护研究[J].中国宽带,2022(1):25-26.
- [2]倪鹏.光纤通信网络运行及维护策略研究[J].计算机产品与流通,2023(7):116-117,120.
- [3]孙玉娥.广播电视工程中光纤网络的日常运行与维护[J].卫星电视与宽带多媒体,2024,21(22):25-27.
- [4]王勇.光纤通信系统中光传输技术与维护探讨[J].数字化用户,2025(11):34-36.
- [5]王习.浅论现代化光纤通信线路维护及管理对策[J].数字化用户,2023,29(10):16-18.