

# 光纤复合低压电缆 (OPLC) 和光纤复合相线 (OPPC) 故障诊断与在线监测系统研究

乐坚浩, 梅 沁, 李祥珍  
(无锡供电公司, 江苏 无锡 214061)

**摘要:** 研究 OPPC/OPLC 配用电缆温度异常及异常点位置定位技术以及基于 OTDR、波分技术和 PFTTH 管理平台下的 OPPC、OPLC 配用电光纤在线监测系统, 提出一种将无源光网络 PON 和 OTDR 相结合的故障点定位技术。为配用电光纤线路的运行维护提供了一个自动化的维护与监测平台。同时, 可以为光纤传输网络的运行质量提供性能分析参考依据, 及时发现和定位潜在的温度异常点, 实现电力电缆故障早期预/报警, 避免事故发生, 为电力调度部门提供短期电网优化调度所需的安全指导信息。

**关键词:** OPLC; OPPC; 故障诊断; OTDR; 电力电缆

**中图分类号:** TM764 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-1131(2013)01-0007-03

## 0 引言

近年来, 伴随我国经济的快速增长、电网的迅速发展以及电网智能化的推进, 以光纤通信为主的高速信息传输通道已经形成, 但这也导致了电力通信网规模的不断扩大, 网络结构的日趋复杂, 电力通信基础资源不能得到有效利用, 严重制约了智能配用电的发展<sup>[1]</sup>。电力光纤入户的建设将是我公司建设智能电网, 充分利用自身综合实力和成本优势, 开拓新的业务增长点的必然趋势。

稳定高效的传输网络是电力系统安全生产和可靠运行的重要保障。对于骨干通信网络, 利用 OTDR 测试光路断点距离较为方便<sup>[5]</sup>, 但对于由 OPPC (Optical Phase Conductor) 和 OPLC (Optical Fiber Composite Low-voltage Cable) 构成的复杂的传输网络, 如何同时在线监测传输电缆温度、运行安全状态以及 PFTTH 光缆传输性能, 及时报警, 发现故障并准确定位, 缩短修复时间, 会直接影响到电力系统的安全稳定运行。在实际的 PFTTH (Power Fiber to the Home) 网络光缆故障处理中, 传统的 OTDR 无法满足接入网多支路<sup>[6]</sup>、单向高损耗的实时在线监测的要求, 常常出现因无法迅速准确地找到故障点位置而延误事故处理, 导致损失增加的情况。只有充分结合 OTDR 技术、分布式光纤温度监测技术 (DTS)<sup>[3]</sup>、波分复用技术 (WDM) 及高级网络管理技术构建先进的光纤在线监测及故障诊断系统, 才能够充分满足 OPPC 和 OPLC 传输网络配用电及光纤通信传输性能分析和管理的的要求, 切实实现对传输网络资源的综合管理。

本文提出一种将无源光网络 PON 和光时域反射技术 OTDR 相结合的故障点定位技术 研究 OPPC/OPLC 配用电缆温度异常及异常点位置定位技术 研究基于 OTDR、波分技术和 PFTTH 管理平台下的 OPPC、OPLC 配用电光纤在线监测系统。针对配用电光纤线路的运行维护提供了维护与监测平台。此外, 为光纤传输网络的运行性能提供分析参考依据, 对光纤传输网络中存在的隐患能够及时给出预警信号, 避免通信线路故障的发生, 使对线路的维护更加自动化、科学化、合理化。及时发现和定位潜在的温度异常点, 实现电力电缆故障早期预警和报警, 避免事故发生, 为电力调度部门提供短期电网优化调度所需的安全指导信息。

## 1 基本原理

### 1.1 光时域反射测试原理

光纤自身的非均匀性, 使其在光子的作用下发生散射的现象, 如图 1 所示。当光脉冲通过光纤传输的时候, 沿光纤长度方向上的每个点都会发生散射现象。当光纤存在几何缺陷断裂面时也会引起菲涅尔反射, 其强弱与通过该处的光功率成正比关系, 而后者又受到光纤的衰减的影响, 所以其强弱也反映了光纤各点衰减的大小<sup>[7]</sup>。

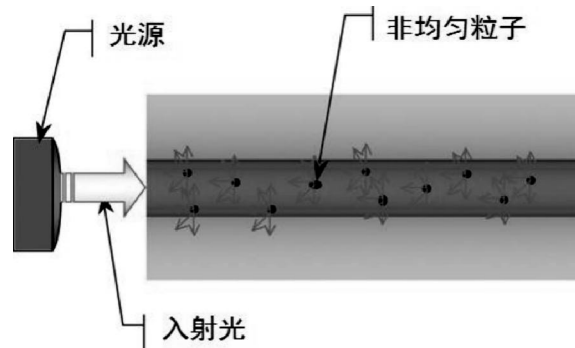


图 1 光时域反射原理

OTDR 测试技术是由光源、方向耦合器、光检测器、取样分析器和示波器组成实现的, OTDR 发射光脉冲到光纤内, 光检测器接收返回的信息并进行光学分析。连接器、接合点、弯曲等事件而产生散射、反射现象。OTDR 的探测器来测量返回的有用信息, 作为光纤内不同位置上的时间或曲线片断, 根据从发射信号到返回信号所用的时间以及光在玻璃物质中的速度, 从而计算出距离<sup>[8]</sup>。通过实时的 OTDR 测试曲线与对应此测试参数的参考曲线进行比较, 分析出该光纤当前的健康性能<sup>[2]</sup>。

### 1.2 分布式光纤测温原理

光纤测温的机理是依据背向拉曼散射温度效应, 拉曼散射是由于光纤分子的热振动和光子相互作用发生能量交换而产生的。Anti-Stokes 光与 Stokes 光的强度之比提供了一个关于温度的函数关系式<sup>[4]</sup>。光在光纤中传输时一部分拉曼散射光 (后向拉曼散射光) 沿光纤原路返回, 被光纤探测单元接收。测温主机通过测量背向拉曼散射光中 Anti-Stokes 光与 Stokes 光的强度比值的变化实现对外部温度变化的监测<sup>[5]</sup>。结合高品质的脉冲光源和高速的信号采集与处理技术, 就可以得到沿着光纤所有点的准确温度值。

### 1.3 波分复用原理

波分复用(WDM, Wavelength Division Multiplexing)技术是将两种或两种以上的不同波长的光信号,在发送端经过合波器融合起来,耦合到同一根光纤进行传输;在接收端,经过分波器将各种波长的光波分离,然后由光接收机进行相应的处理,最后恢复原光信号。

光纤在线监测系统中,就利用了波分复用的原理完成对在线光纤的测试工作。将 1625 nm 的测试波通过波分复用原理,经过合波器后加载到线路上,完成测试功能,在子站将复合光波进行分离,工作波进入相应的光设备处理,测试波继续传输<sup>[2]</sup>。

#### 1.4 光纤复合相线 (OPPC)

OPPC是可以同时、同路、同走向传输电能和信息,随时监测线路的工作状态的一种新型特种复合光缆。其充分利用了电力系统自身的线路资源,特别是针对电力配网系统,实现通电信和通信双重功能融合。OPPC 线缆典型外观和截面示意图见图 2。

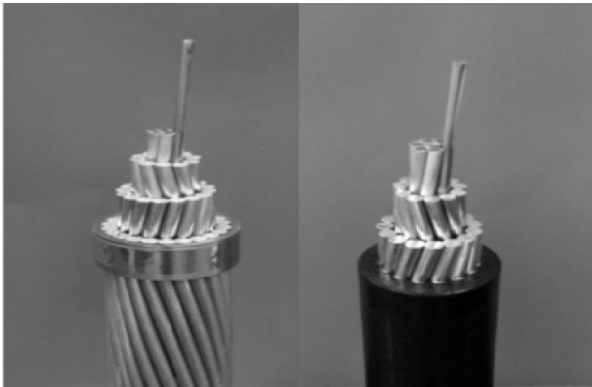


图 2 OPPC 线缆外观

由于传输电能与光纤通信的完美融合,没有给原有线路附加额外负荷、带来隐患。此外,OPPC 具有良好的热稳定性及耐腐蚀性,延长电缆使用寿命,同时保证了光通信不受影响。

#### 1.5 光纤复合低压电缆(OPLC)

OPLC是集光纤、输电铜线的一种复合电缆,如图 3 所示。具有高可靠性数据传输、价格低、连接方便、外径小、重量轻的优点;另外,集光缆和电力线于一体,避免二次布线,降低工程费用;同时,具有良好的弯曲和耐侧压性能。OPLC 技术可实现电信网、电视网、互联网“三网融合”。

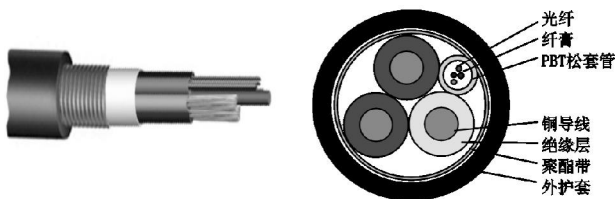


图 3 光纤复合低压电缆示意图

OPLC 主要应用于城市及农村的配网和用户接入网。主要为建筑物智能化电能采集和智能电网在用户终端的应用提供接入传输介质设备,解决建筑物内电缆杂乱、互不兼容、安全隐患等问题;避免二次施工和杜绝重复施工现象的发生。

## 2 系统介绍

### 2.1 OPLC 光纤故障定位技术与示范系统建立

电力光纤故障定位系统主要由三部分组成:监测中心、监测站和通信网络。监测中心主要负责对本管区内的监测站进行管理,各个监测站的管理控制命令通过服务器下发到相应的各监测站;监测站对光纤网络中被监测光纤进行监测,对光纤网的运行情况进行监视与控制,提供预警和告警功能,并将监测结果上报到监测中心;通信网络主要负责监测站与监测中心间和各个监测站间的通信过程。

为了简化系统的物理实现,监测站可以放置在局中心机房,也可以放置在某些变电站中,其具体数量与传输网络的拓扑有关。监测站的功能模块主要包括<sup>[9]</sup>:

(1)主控模块 负责与光功率监测模块实时通信,驱动 OTDR 卡和光开关完成测试功能;

(2)OTDR 测试卡 发送测试信号完成测试功能,监控结果提交主控模块形成测试报告。

(3)波分复用/光开关模块 在收端光功率出现告警时,将测试光切换到制定的光路上。

(4)分光器/光功率监测模块 实时地监测光功率,当光功率低于门限值时,向主控模块发出告警,并进行测试。

监测中心拥有监测站所有控制权限,可远程控制监测站,并进行测试工作,还可以与 GIS 系统结合,利用地理位置信息对故障点进行准确快速的定位。另外,监测中心负责管理光纤传输网络中的各种资源,实现自动化资源管理。监测中心的模块设备包括:数据库服务器、系统应用服务器、系统资源管理工作站、语音卡。

### 2.2 OPPC 光纤分布式温度在线监测技术与系统研究

OPPC 分布式测温系统是利用激光传输时产生的自发拉曼(Raman)散射和光时域反射原理来获取空间温度分布信息。在光纤中注入激光脉冲时,它在光纤中向前传输的同时不断产生后向拉曼散射光,其强度受所在光纤散射点的温度影响而改变,后向拉曼光经过光学滤波、光电转换、放大、模数转换后送入信号处理器,可将温度信息实时计算出来,同时根据光纤中光的传输速度和后向光回波的时间对温度信息定位。连续分布 OPPC 测温系统的原理框图如下图所示:

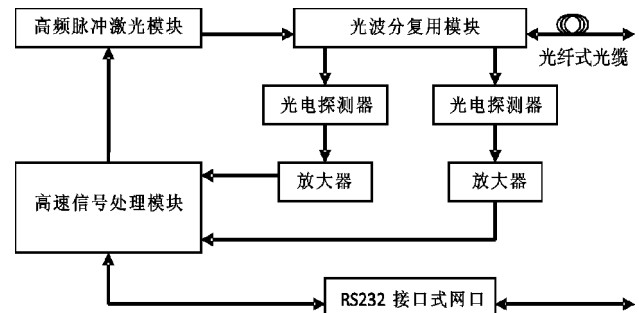


图 4 光纤分布式测温系统示意图

OPPC 分布式测温系统每间隔设定时间针对所有监测点记录温控数据,系统采用数据库系统编程的方式,进行数据及时导入、异常数据检验、数据处理后的导出等操作,并与常规温度计实测温度进行差值比较,按差值大小进行自定义显示,进行修改或剔除等处理操作,提高光纤数据前处理工作的效率<sup>[9]</sup>。

### 2.3 OPPC-OPLC 配用电光纤在线监测管理

电缆安全监测分析平台(CSM)主要由七个大模块组成,见图 5:

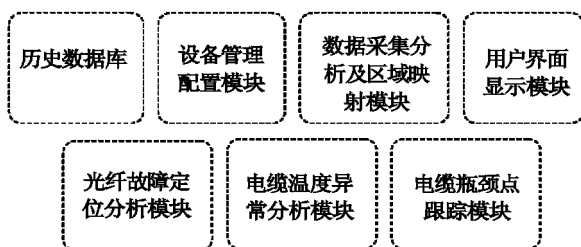


图5 OPPC/OPLC 光纤在线分析平台 (CSM) 构成

历史数据库主要用于存放历史数据,并提供查询接口;设备管理配置模块主要用于对监测设备进行管理制操作,如启动监测设备、配置监测设备参数等;数据采集分析及区域映射模块主要按照约定的数据格式对采集到的数据进行解析,并进入区域一一映射与报警提示等;用户界面显示模块,主要对收集到的用户数据及分析后数据进行友好展现;光纤故障定位分析模块,通过内置算法对光纤断纤位置及光纤较大损耗点值进行分析与报警提示;电缆温度异常分析模块,主要对电缆异常温度进行分析与报警;电缆瓶颈点跟踪模块,主要对电缆最高温度点进行跟踪分析,以达到重点监测。

#### 2.4 系统设备配置

系统选用1台光纤故障监测系统(OTDR),监测金科观天下小区内3个单元的内网(5单元、6单元、7单元);金科观天下小区内的OTDR系统可在6号公配所内及集中监控中心显示监控状况。

系统选用1台4千米4通道的光纤测温主机,使用4通道中的一个光通道监测金科观天下OPLC 低压电缆及公配所内四段10KV 电缆;测温主机放置于金科观天下小区6号公配所,剩余三个通道作为扩展通道备用。设备连接如图6所示。

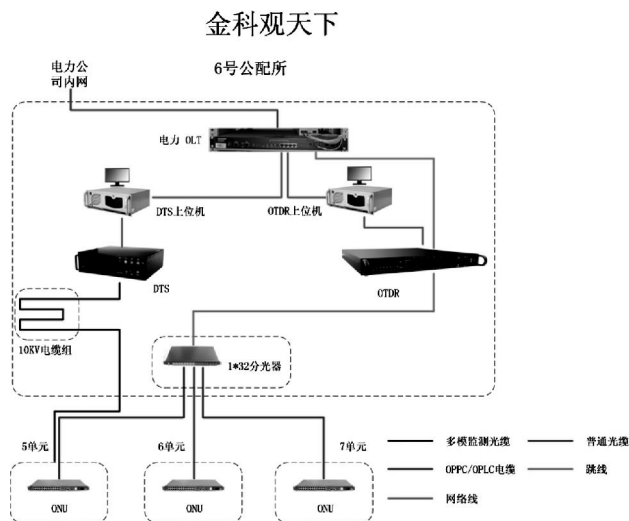


图6 设备连接图

金科观天下小区监测系统主要包括 DTS 监测系统和 OTDR 监测系统。OTDR 主机通过上位机与电力内网相连,其监测范围为从 OLT 到分光器之间的光纤链路健康状况及从分光器到 5、6、7 三个单元之间的光纤链路健康状况。DTS 主机通过上位机与电力内网相连,其监测范围为 6 号公配所内的四段 10KV 电缆及从 6 号公配所到 5 单元方向的 OPLC 电缆,对这两个区域内的电缆温度进行实时监测。

#### 3 系统优势分析

本系统主要以下四大优点:

(1) OPLC 可以解决宽带接入、设备用电、应急信号传输等问题;通过 PON 技术,可以实现数据、语音、视频业务的传送和电表数据的透明传输。

(2) OPPC 分布式测温系统可以任意设定报警温度点,可以设低温报警、预警及火灾报警等多级报警方式,也可以根据温升速率报警。可以清晰地显示探测线路上每一点的温度变化,且无电磁干扰,综合智能判断,误报的可能性极小。

(3) DTS 系统基于最为先进的光电子集成技术,采用模块化设计,具有结构紧凑、功耗低、价格低、性能高、系统稳定和便于维护等优点。系统测量速度快,并可精确地定位事故点;同时系统的报警方式更加灵活,可以多重报警叠加,大大提高报警效率。

(4) 能够有效地实时监测电力电缆的运行状况,对光纤传输网络存在的隐患及时发出预警信息,避免通信线路故障的发生。

#### 4 结语

本文介绍了传统配用电缆及监测系统的不足之处,在分析 DTS 和 OTDR 原理,以及 OPLC 和 OPPC 电缆技术的基础上,提出了 OPPC/OPLC 配用电缆温度异常及异常点位置定位以及温度监测系统,为配用电缆线路的运行维护提供了稳定的维护与监测平台。可以为光纤传输网络的运行质量提供性能分析参考依据,及时发现和定位潜在的温度异常点,实现电力电缆故障早期预报警,避免事故发生。

#### 参考文献:

- [1] 张在宣, 张步新, 陈阳. 光纤背向激光自发拉曼散射的温度效应研究[J]. 光子学报, 1996, 25(3): 273-278
- [2] 赵子岩, 刘建明, 张凯穗. 电力系统光纤传输网络在线监测系统[J]. 电力系统通信, 2003(2): 1-4
- [3] 彭超, 赵建康, 苗付贵. 分布式光纤监测技术在线监测电缆温度[J]. 高电压技术, 2006, 8(32): 43-45
- [4] 郭兆坤, 郑晓亮, 陆兆辉等. 分布式光纤温度传感技术及其应用[J]. 中国电子科学研究院学报, 2008, 3(5): 543-546
- [5] Barnoski K, Rourke M D, Jensen S M, et al. Optical time domain reflectometer. Applied optics, 1977, 16(9): 2375-2379
- [6] 沈东辉. 光接入网中光时域反射计的研究与应用[A]. 上海交通大学, 2010
- [7] 田国栋. 基于 OTDR 技术的光纤测试方法探讨[J]. 现代电子技术, 2009(19): 99-101
- [8] Aoyama K, Nakagawa K, Itoh T. Optical time domain reflectometry in a single-mode fiber, IEEE Journal of quantum electronics, 1981, QE-17(6): 862-868
- [9] 郝高麟. 如何用 OTDR 快速准确测出光缆线路故障点[J]. 电信工程技术与标准, 2003(7)
- [10] 李红学, 任志新, 黄金辉等. 电力系统光纤传输网络在线监测系统的设计分析[J]. 内蒙古电力技术, 2005, 23(6): 12-14

项目基金 国家电网公司科技项目, 项目号 2011-03

作者简介: 乐坚浩(1969-), 男, 江苏无锡人, 高级工程师, 长期从事信息、通信工作; 梅沁(1973-), 男, 江苏无锡人, 工程师, 长期从事信息、通信工作。