

# 一种实现 OPLC 状态监测和诊断的传感技术研究

雷煜卿<sup>1</sup>, 丁慧霞<sup>1</sup>, 郭昆亚<sup>2</sup>

(1. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192; 2. 国网辽宁省电力有限公司, 沈阳 110000)

**摘要:** 光纤复合低压光电缆(OPLC)安全运行关系着用户信息网络安全可靠和多媒体用户使用体验。针对 OPLC 运行安全监测, 提出了一种新型 OPLC 状态量监测、状态评估和故障诊断技术, 该技术采用集成思想, 对电缆分布式运行温度、负荷电流和绝缘放电信号进行同步全采集。在采集状态数据的基础上, 利用理论温度与实际温度、线性相邻温度等电流、温度量耦合关系, 开展 OPLC 运行温度安全性、温度异常、电缆老化及绝缘性等电缆运行状态分析与评价。OPLC 状态监测和诊断技术为电力光纤到户网络运行维护提供新的分析工具。

**关键词:** 光纤到户; 光纤复合低压光电缆; 状态监测与诊断; 分布式光纤测温; 局部放电测量

**中图分类号:** TM726 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)01-0060-03

**DOI:** 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.01.017

## Research on sensing technology of OPLC status monitoring and diagnosis

LEI Yuqing<sup>1</sup>, DING Huixia<sup>1</sup>, GUO Kunya<sup>2</sup>

(1. China electric power research institute CO.LTD., Beijing 100192, China;

2. State Grid Liaoning electric Power CO. LTD., Shenyang 110000, China)

**Abstract:** Operation safety of optic fiber composite low voltage cable(OPLC) is related to operation safety of user information network and the experience of multimedia user application. Aiming at the operation safety monitoring of OPLC, this paper presents a new technology of OPLC status monitoring, state evaluation and fault diagnosis, the technology which with the integrated thought, can collect synchronously distributed operating temperature, load current and insulation discharge breakdown signal. Based on collecting these status data, the technology may analyze and evaluate operation status of OPLC cable, such as OPLC temperature safety, OPLC temperature anomaly state, cable aging and insulation performance, etc, by using current and temperature coupling of theoretical temperature and actual temperature, linear adjacent temperature. OPLC status monitoring and diagnosis technology will provide a new analysis tool for the operation and maintenance of power fiber to the home network.

**Key words:** fiber to the home; OPLC; status monitoring and diagnosis; distributed fiber temperature measurement; partial discharge measurement

### 0 引言

“互联网+”行动提出“推进电力光纤到户工程, 完善能源互联网信息通信系统”, 为电力光纤到户带来了发展机遇。基于光纤复合低压光电缆(OPLC)的电力光纤到户工程利用电力通道资源实现电网和通信网

基础设施的深度融合, 是实现良性发展的典范<sup>[1]</sup>。与传统低压电力电缆加光缆组合的方案相比, 基于 OPLC 的方案降低了 40% 左右的综合成本, 增加的材料成本不到 10%。同时, OPLC 取代了以往有线电视线、网线、电话线和电线等线路, 节约大量通道资源和建设周期, 是推进光纤到户工程建设的理想载体。

电力光电缆在使用过程中长期受到机械应力、化学腐蚀和热老化等恶劣条件的影响, 导致其绝缘系统容易遭到破坏, 从而引发电击穿, 发生火灾, 损坏光

收稿日期: 2017-09-20。

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFB0901200)资助。

作者简介: 雷煜卿(1975-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为光通信、光传感技术及其在电网中的应用。

缆<sup>[2,3]</sup>。采用电力光电缆在线状态监测技术可以监测光电缆超温运行和局部放电现象,实现对电力光电缆运行状态的评估、故障预警和故障定位<sup>[4,5]</sup>。因此,本文研究一种实现 OPLC 状态监测和诊断的传感技术,评价 OPLC 在运行中的绝缘性能和工作状况。

## 1 OPLC 在线状态监测及诊断技术

### 1.1 OPLC 状态特性及分析

OPLC 是一种将光纤和电力线绞合制造而成的低压复合型光电缆。在实际应用中,光电缆敷设环境非理想化、机械应力作用和光电缆负荷电流改变等都会影响 OPLC 的性能和寿命。在影响 OPLC 健康状态的所有因素中,温度是最主要的影响因素<sup>[5~10]</sup>,交联聚乙烯光电缆的热老化会导致局部放电破坏光电缆<sup>[11~13]</sup>。因此,OPLC 运行健康状态体现在运行温度和局部放电量两个状态量。

OPLC 运行温度与其负荷电流、环境温度以及电缆的结构、材料和老化程度紧密相关。OPLC 局部放电量与绝缘的老化程度呈正相关关系。基于 OPLC 运行温度的电缆劣化程度分析必须同时采集到负荷电流、环境温度和局部放电的状态量,通过对比 OPLC 实时运行温度和电缆理论温度的差异、测量局部放电量的大小可以分析 OPLC 运行温度状态异常、诊断电缆的老化故障状态。

式(1)是根据电缆热路模型推导出的 OPLC 理论热场温度函数(以三芯电缆为例),利用该式可以计算出电缆热场中的理论温度。

$$\theta_2 = \frac{1}{2} \theta_1 + \frac{1}{2} \theta_3 + \frac{1}{2} [(T_3' + T_4)(Q_c + Q_d) + T_5(Q_c + Q_d + \lambda_1 Q_c) - (T_1 + T_2 + T_3)(Q_c + Q_d)] \quad (1)$$

其中, $Q_c$  为导体线芯损耗, $Q_d$  为绝缘层的介质损耗; $T_1$  为绝缘层热阻, $T_2$  为填充层热阻, $T_3$  为光单元热阻, $T_3'$  为对称部分光单元热阻, $T_4$  为内护套热阻, $T_5$  为外护套热阻; $\lambda_1$  为铠装层损耗因子, $\theta_1$  为导体线芯温度, $\theta_2$  为测温光纤温度, $\theta_3$  为电缆表皮温度。

### 1.2 OPLC 状态监测系统结构及测量

本文采用 OPLC 状态监测与诊断系统实现对 OPLC 运行温度、负荷电流和局部放电量的监测,系统结构框图如图 1 所示。OPLC 监测系统由信息处理和显示模块、分布式光纤测温模块、电流测量模块、光功率测量模块、电源模块以及电流采集器和互感器套件组成。信息处理和显示模块用于将采集的 OPLC 纤芯温度、运行电流、局部放电信号、OPLC 表面温度和敷

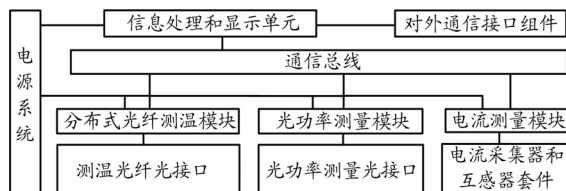


图 1 OPLC 状态监测与诊断系统结构框图

设环境温度数据进行联合分析,计算出 OPLC 的线芯温度,分析和评估其绝缘的老化程度和运行安全状态。

对于 OPLC 的测温,由于测温光纤已经内置于 OPLC 结构中,利用分布式光纤测温技术测量 OPLC 温度是最理想的方式,一次测试可以测量出 OPLC 上任一位置的温度,且测温数据受外部环境的影响较小。分布式光纤测温技术原理是当光在光纤中传输时,在每一点上激光都会与光纤分子相互作用而产生后向散射,其中含有喇曼散射信号。喇曼散射信号包含与温度有关的、比入射光波长较长的斯托克斯光和波长较短的反斯托克斯光。这部分沿光纤被散射回来的光经过检测进行量化,通过计算斯托克斯和反斯托克斯光波的比值,即可计算出光纤沿线的温度。分布式光纤测温模块原理如图 2 所示。

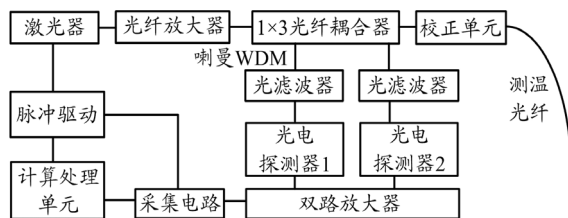


图 2 分布式光纤测温模块结构示意图

电流测量模块中对 OPLC 负荷电流和局部放电信号的监测是由骨架为非磁性材料的罗氏线圈实现的。罗氏线圈电流测量技术具有测量范围大、测量精度高和能采集到高频信号的特点。罗氏线圈测量电流的方案如图 3 所示。当 OPLC 发生局部放电时,会产生频率在 500kHz~30MHz 之间的高频脉冲信号,信号沿着 OPLC 传播(在其外层屏蔽的接地线上或在光电缆的导线上),通过罗氏线圈可以耦合这类高频电流信号。

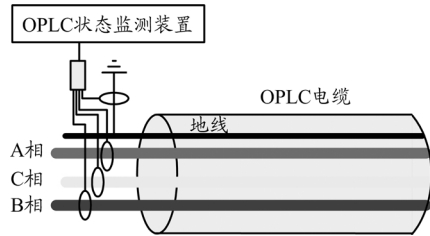


图 3 罗氏线圈测量电流示意图

## 2 典型应用和优点

开展 OPLC 状态监测应用的“多网合一”无源光网

络(PON)典型光纤到户工程网络结构如图4所示<sup>[14,15]</sup>。这是由光线路终端(OLT)、光网络单元(ONU)以及连接光纤组成的多层分级的分布式光网络,涉及到配电室、楼宇配电柜、单元配电箱、户内配电箱和OPLC等物理单元。

OPLC 状态监测应用要根据 OPLC 电力光纤到户网络的特点,把监测装置接入光网络来分析 OPLC 的运行状态。在现场测试应用中,楼宇配电柜和单元配电箱是开展 OPLC 运行状态监测的理想位置。监测目标包含楼宇至配电室、楼宇至楼层处以及楼层处至用户的 OPLC。

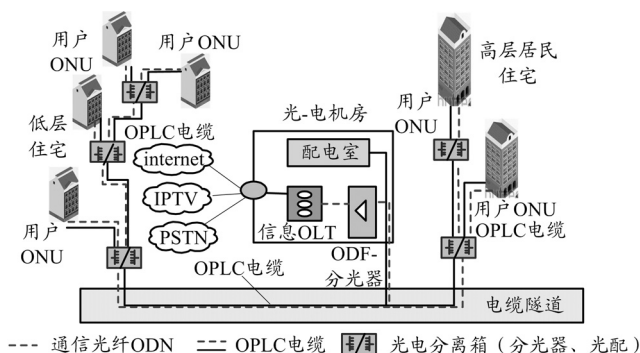


图4 多网合一网络结构示意图

在晴天、无风、周围温度恒为23℃的环境下,我们对某型号OPLC的运行状态进行多次测量,具体操作方法如下:OPLC状态监测装置通过测温光接口连接OPLC的测温光纤,在OPLC三相导线上和地线上卡接电流互感器测量运行电流和局部放电信号,通过温湿度传感器测量光电缆局部微环境温度,得到电缆实时温度、运行电流、环境温度和局部放电量的状态数据用来进行后期评估。测试得到的参数如表1所示。

从表1可以看出,光纤测量温度(电缆线芯温度)更能真实地体现出OPLC实际温度,随着电流增大、电缆温度升高,电缆表面温度与电缆线芯温度差距变大。因为试验电缆是一根新电缆,所以未测出局部放电信号。

表1 OPLC 运行状态参数

| 序号 | A相<br>电流(A) | B相<br>电流(A) | C相<br>电流(A) | 稳态时电缆<br>表面温度(℃) | 稳态时光纤<br>测量温度(℃) |
|----|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|
| 1  | 22          | 22.5        | 22.8        | 26               | 26.5             |
| 2  | 29.5        | 30          | 30.5        | 29               | 31               |
| 3  | 37.1        | 37.5        | 37.5        | 30               | 34               |
| 4  | 44.5        | 45          | 46          | 32               | 38               |
| 5  | 51.8        | 52.5        | 53          | 33               | 44               |
| 6  | 59.2        | 60          | 61.1        | 34               | 51               |
| 7  | 66.5        | 67.8        | 68          | 35               | 60               |
| 8  | 74.2        | 75.3        | 76.5        | 47               | 71               |

### 3 结束语

用状态监测逐渐取代预防性试验是发展的趋势,在线测量可以及时了解OPLC线路的运行状态,以求维护的合理化。这对合理使用设备、保证电力系统安全运行起到极大作用。本文提出的OPLC状态监测和诊断技术把表征OPLC运行状态的关键因素(温度、电流和光功率)测量集中在一个系统上实现,从而将OPLC运维测试的操作方法和安全运行评价方法变得简单、易行。在运行现场只需把相应测量的光纤连接到监测装置中,按照系统提示输入描述的文字就完成了监测工作。监测系统完成温度、电流和光功率状态量的采集和数据显示后,在数据分析的基础上实现OPLC安全状态的评估。OPLC状态监测和诊断技术很大程度地减轻了运维人员的工作量,提高了设备管控能力,对OPLC的应用和推广意义重大。

### 参考文献:

- [1] 张新伦,袁维贵,卜宪德,等. OPLC 光电缆构建智能用电小区通信网络的研究[J]. 电气技术,2012(12):42-45.
- [2] 栗秋硕,廖洪根,张泽秋,等. 电力光电缆故障分类和绝缘检测方法[J]. 红水河,2007,26(4):103-105.
- [3] 袁燕岭,周灏,董杰,等. 高压电力光电缆护层电流在线监测及故障诊断技术[J]. 高电压技术,2015,41(4):1194-1203.
- [4] 周承科,李明贞,周文俊,等. 电力光电缆资产的状态评估与运维决策综述[J]. 高电压技术,2016,42(8):2353-2362.
- [5] 赵建华,袁宏永,范维澄,等. 基于表面温度场的光电缆线芯温度在线诊断研究[J]. 中国电机工程学报,1999,19(11):52-54.
- [6] 吕事桂,杨立,范春利,等. 光电缆老化红外热特征数值模拟与分析[J]. 工程热物理学报,2013,34(2):332-335.
- [7] 李海英,吕建华,宋建成. 矿用XLPE光电缆老化状态对温升的影响[J]. 信息技术,2014(11):6-11.
- [8] 韩忠辉,杨宝东,杨博盛. 基于表面温度场的光电缆老化红外诊断研究[J]. 舰船电子对抗,2015,38(3):117-121.
- [9] 陈晓军,杨立中,邓志华,等. 电气线路红外热像检测和诊断[J]. 红外与毫米波学报,2000,19(6):463-466.
- [10] 何伟斌,廖维君,薛志亚,等. 基于分布式光纤测温的电力光电缆在线监测技术研究[J]. 广东电力,2013,26(5):23-26.
- [11] 欧阳本红,华明,邓显波. 高压交联光电缆材料及工艺发展综述[J]. 绝缘材料,2016,49(7):1-7.
- [12] 张磊祺,盛博杰,姜伟,等. 基于光电缆传递函数和信号上升时间的电力光电缆局部放电在线定位方法[J]. 高电压技术,2015,41(4):1204-1213.
- [13] 张磊祺,盛博杰,姜伟,等. 交叉互联高压光电缆系统的局部放电在线监测和定位[J]. 高电压技术,2015,41(8):2706-2715.
- [14] 吴向明. 基于PFTTH的智能小区通信系统研究[D]. 北京:华北电力大学,2012.
- [15] 葛剑飞,陈瑜. 电力光纤到户典型设计分析[J]. 华东电力,2010,38(12):1887-1890.