文章编号: 1007 - 4252(2020) 01 - 0001 - 031

基于光纤传感的非覆冰期输电线路状态监测技术研究

袁华璐*[1],裴蕴智[2],靳鹏飞[3]
(1.中国南方电网有限责任公司超高压输电公司,广州 510000;
2.中光华研电子科技有限公司,上海 200000;
3.中国科学院上海微系统与信息技术研究所,信息功能材料国家重点实验室,上海 200000;)

摘要: 在 OPGW 直流融冰监测技术研究的基础上,我们基于光纤传感技术对非覆冰期高压输电线路状态监测进行了研究,以提高输电线路状态综合检测的丰富性及投资效用。主要对非覆冰期超高压输电线路所受应力、温度两个主要外界影响因素进行研究,实验结果表明,基于光纤传感的非覆冰期输电线路状态监测技术可以有效的对这两种外界环境进行识别。

关键词: 光纤传感; 应力; 温度; 非覆冰期监测
中图法分类号: TM726.1 **文献标志码:** A

Research of Condition Monitoring of Transmission Lines in Non-Ice Coating Period Based on Optical Fiber Sensing

YUAN Hualu[1], PEI Yunzhi[2], JIN Pengfei[3]
(1. China Southern Power Grid Co., Ltd. EHV Transmission Company, Guangzhou 510000, China; 2. Hylight Technology. Co., Ltd, Shanghai 200000, China; 3. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, National Key Laboratory for Information Functional Materials, Shanghai 200000, China;)

Abstract: Based on the research of OPGW DC ice-melting monitoring technology, we studied the condition monitoring of high-voltage transmission lines in non-Ice-covered period based on optical fiber sensing technology to improve the richness and investment utility of comprehensive detection of transmission line status. The main external influencing factors of stress and temperature in the non-Ice-covered EHV transmission line are studied. Experimental results show that the non-Ice-coating transmission line condition monitoring technology based on optical fiber sensing can effectively identify these two external environments.

Keyword: fiber optic sensing; stress; temperature; non-ice coating period monitoring

收稿日期: 2020-01-02; **修订日期:** 2020-01-31
基金项目: 国家重点研发计划(No. 2016YFB0400901) .
作者简介: 袁华璐(1980-) ,男,本科,工程师,主要研究方向为通信传输。E-mail: buildery@ 163.com。

0 引言

输电线路是电能传输的主要部件，输电线路覆冰给电力系统的安全稳定运行造成严重威胁[1-5]，可能引发输电线路过荷载、导线舞动、绝缘子串闪络等事故，严重危害电力系统的安全运行[6-9]，近年来在南方地区出现的低温雨雪天气，都造成输电线路断线、倒塔现象严重[10-13]，影响了人民的生产、生活。输电线路光纤复合架空地线(OPGW)承载着成百上千条继电保护、直流控制、安稳控制、EMS 等生产实时通信业务通道，保障着整个电网的安全稳定运行。OPGW 的工作环境使其易受到各种因素的影响，如当 OPGW 受风振和覆冰等强外力作用时，由于局部应力过大易导致光纤纤芯断裂，严重时会造成断缆[14]，因此开展输电线路运行环境、覆冰状态信息的在线监测研究已经成为确保智能电网安全运行的重要保证。基于上述问题，中国南方电网有限责任公司超高压输电公司在 2018 年开展了光纤复合架空地线融冰过程运行参数在线综合监测研究项目，以实现超高压 OPGW 覆冰线路主要参数监测及融冰电流的优化。

超高压线路常常架设在人迹罕至的丛山峻岭，地形复杂，海拔多变，所以即使是在同一条超高压线路，其微环境也复杂多变。所以，在非覆冰期，输电线路在其复杂的环境中也可能会受到应力和山火等危害影响。本文在光纤复合架空地线融冰过程运行参数在线综合监测研究的基础上，对非覆冰期光纤复合架空地线的应力和温度在线监测进行研究，首先介绍系统的结构及原理，综述非覆冰期在线监测方法，实验并分析不同监测量特征数据，最后总结在非覆冰期在线监测效果及应用。

1 分布式光纤感测原理

本试验所采用的分布式光纤监测技术是基于布里渊光频域分析技术(Brillouin Optical Frequency Domain Analysis，BOFDA)。BOFDA 是利用光纤中的布里渊背向散射光的频移与温度、应变变化的线性关系实现感测的。图 1 为 BOFDA 的感测原理。如图所示，BOFDA 中涉及到两种不同的光：泵浦光和斯托克斯光。两种光在光纤中相向传播，当两种光相遇时，会有声波在两者交界处产生[15]。声波将能量从泵浦光传送到斯托克斯光。由于声波的频率与光纤材料的温度和应变有关，因此可以通过 BOFDA 技术间接测量温度和应变[16]。与其他分布式光纤传感技术相比，BOFDA 技术突出的优点在于高精度、高空间分辨率。

本文使用的光纤解调仪为中光华研电子科技有限公司研制的分布式光纤传感分析仪(图 2)。该仪器可以实时监测 OPGW 沿线每一点的温度和应力，其测量精度可达 0.1℃/40Pa，空间分辨率为 3m，定位精度为 0.4m，测量距离可达 20Km 以上。

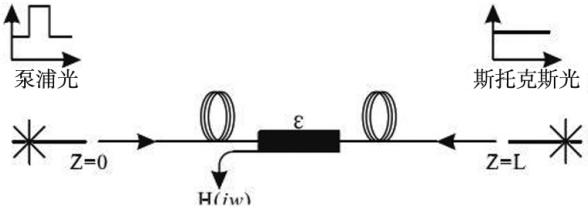

图 1 BOFDA 技术感测原理

Fig.1 Basic principle of BOFDA

图 2 分布式光纤传感分析仪

Fig. 2 Distributed optical fiber sensor

2 试验方案

2.1 试验方案

选择对桂林至贵阳的桂山线 OPGW 进行非融冰期环境监测实验，试验设备主要光纤监测主机 1 台、笔记本电脑 1 台、机柜 1 台、光纤熔接机 1 台、USB 连接线若干、电源插线板若干等。监测线路长度在 20Km，监测参量为应力和温度，试验所监测的参量均使用同一台光纤主机进行监测，不同的监测量都有独立的通道，所有通道同步采样频率不同，应

力采样频率设定在 218MHz，温度采样频率设定在 226.6Mhz，实验方案示意图如下图 3 所示。

本试验通过改变 OPGW 所受应力和温度两种试验变量，从而实现对不同工程情况的实验研究，进而有效而全面地研究光纤复合架空地线在受不同应力和温度时，光纤传感信号特征及影响机制。试验中主要考虑两个参量: 温度和应力。

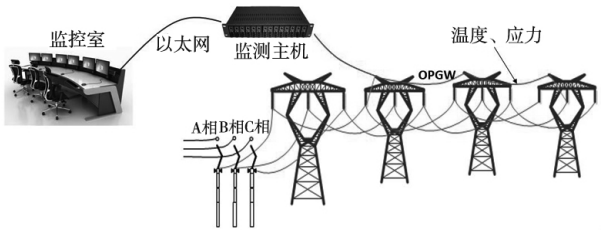

图 3　实验平台示意图

Fig.3 Experimental platform diagram

2.2　试验步骤

(1) 首先进行设备安装调试: a、确认试验线路，光纤链路熔接，测试链路通断，确保线路通信正常; b、连接试验线路与监测主机，监测软件安装调试; c、对比试验线路以往历史非覆冰期温度和应力相应时间段正常的数据信息，调试、确认设备正常工作。光纤主机需按规定固定在柜架上，连接线按要求进行走线并用扎带固定。

(2) 记录试验环境: 监测主机工作温度: 27±2℃，存储温度: −20℃到+60℃。

(3) 试验内容

a、温度监测

OPGW 线路温度数据仍利用覆冰期融冰监测时所使用的光纤链路，对非覆冰期的线路温度进行实时数据采集，系统软件集中管理线路的温度变化，并且自动记录测量数据，可生成温度随时间的变化曲线。试验时，在同一外界环境下分别对 OPGW 三处位置进行加热或冷却，温度值为 8.5℃、5℃和 50.3℃、实验次数 2 次，并记录相应的测量数据，验证监测系统的准确性。结合温度测量仪表测得的实际 OPGW 表面温度，以对比验证试验数据。

b、应力监测

选择与温度监测不同的光纤链路，利用光纤中的布里渊散射光的频移变化量与光纤所受的轴向应变之间的线性关系，实时测量采集非覆冰期 OPGW 线路的应力数据，不同状态下，应力应变的数据变化程度不同，其所对应的布里渊散射光频移变化量有明显差异。挂网试验时，在同一环境下对 OPGW 一处位置进行施加外力，施加外力值为 2000Pa、实验次数 2 次，并记录相应的测量数据，验证监测系统的准确性。

(4) 监测数据记录

数据采集工作完成后，观察、分析分布式光纤传感仪测量输出的中心频率数值并进行记录，对监测参量不同程度下光纤传感信号特征进行描述。

3　实验结果与分析

针对应力和温度两种参量对 OPGW 进行分布式测量，两次测量数据拟合校正后得到的结果如图 4 和图 5 所示，在分布式光纤在线测量过程中，充分记录反射光波中心频率的变化。

监测结果数值为 BOFDA 测量输出的中心频率数值，单位为 Mhz。每个点代表 14.3 米范围，总共 1398 个点=20 公里，测量时间 3 秒左右。

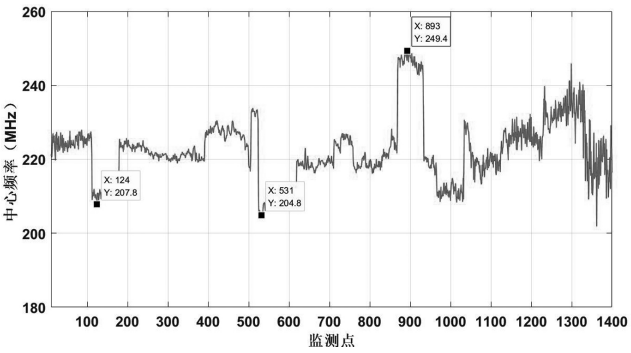

图 4　温度监测

Fig.4 Temperature monitoring

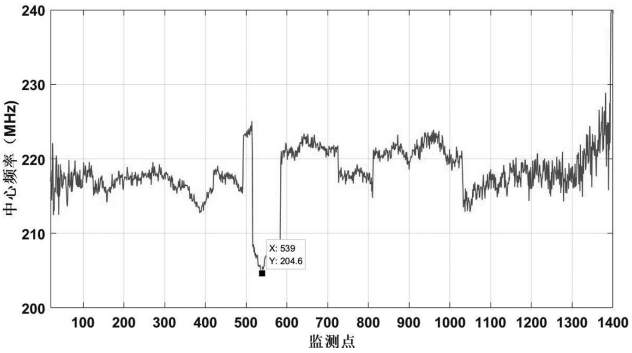

图 5　应力监测

Fig.5 Stress monitoring

温度监测数据分析如下表 1 所示:

表 1 温度测量结果

Table 1 Temperature measurement result

项目/序号	监测温度(℃)	距离(Km)	定位误差(m)	测温误差(℃)
1	8.2	1.773	−3	−0.3
2	5.2	7.593	−5	0.2
3	49.8	12.770	8	−0.5

在同一温度环境下对桂山线 OPGW 一处位置进行施加外力实验，根据图 5 结果，可分析得到监测的外力值为 2080Pa，定位监测距离为 7.707Km，其应力监测精度误差为 80Pa，定位误差为 7m。

4 结论

通过此次桂林至贵阳的桂山线 OPGW 非融冰期环境监测实验，可以看出：基于光纤传感技术在线监测装置不但可以精确的对导线融冰过程进行温度监控，好可以很好对 OPGW 线路非覆冰情况下温度和应力环境进行实时监控，并能根据监测数值，及时获取位置信息和监测量变化特征；该监测装置可以精确测量 OPGW 线路温度和应力情况，为电力运检公司输电线路状态诊断提供数据支撑。

综上所述，本文提出的输电线路在线监测技术方案在融冰监测和非覆冰期环境状态监测过程中有着非常重要的现实意义。

参考文献：

[1] 蒋兴良，易辉.输电线路覆冰及防护 [M] .北京：中国电力出版社，2002.

[2] 蒋兴良，舒立春，孙才新.电力系统污秽与覆冰绝缘 [M] .北京：中国电力出版社，2009.

[3] C. Yangchun，N. Chunjie，and L. Chengro－ng. The reliability evaluation method of hig－h voltage overhead transmission lines [C] .2008 International Conference on ConditionMonitoring and Diagnosis，2008：566－569.

[4] 苑吉河，蒋兴良，易辉，孙才新，谢述教.输电线路导线覆冰的国内外研究现状 [J] .高电压技术，2004，30(01)：6－9.

[5] 申屠刚，程极盛.输电线路覆冰阶段性防御策 [J] .电网技术，2009，33(15)：100－104.

[6] 胡毅.电网大面积冰灾分析及对策探讨 [J] .高电压技术，2008，34(02)：215－219.

[7] 陆佳政；张红先.湖南电力系统冰灾监测结果及其分析 [J] .电力系统保护与控制，2009，37(12)：99－105.

[8] 吴向东，张国威.冰雪灾害对电网的影响及防范措施 [J] .中国电力，2008，38(12)：27－30.

[9] 李成榕，吕玉珍.冰雪灾害条件下我国电网安全运行面临的问题 [J] .电网技术，2008，32(04)：14－21.

[10] 薛志航.基于光纤传感器的架空输电线路覆冰在线监测系统的设计与实现 [D] . 成都，电子科技大学，2012.

[11] 王少华.输电线路覆冰导线舞动及其对塔线体系力学特性影响的研究 [D] .重庆，重庆大学，2008.

[12] 李庆峰，范峥，吴穹，高剑，宿志一，周文俊.全国输电线路覆冰情况调研及事故分析 [J] .电网技术，2008，32(9)：33－36.

[13] 马国明.基于光纤光栅传感器的架空输电线路覆冰在线监测系统的研究 [D] .保定，华北电力大学，2011.

[14] Abbas H S，Gregory M A. The Next Generation of Passive Optical Networks [J] .Journal of Network & Computer Applications，2016，(67)：53－74.

[15] Agrawal G P. Nonlinear Fiber Optics [M] . Nonlinear fiber optics. Academic Press，1995：195－211.

[16] Nikles M，Thevenaz L，Robert P A. Brillo－uin gain spectrum characterization in single－mode optical fibers [J] . Lightwave Technol－ogy Journal of，1997，15(10)：1842－1851.