

· 电路与控制 ·

## 新型光纤电缆故障定位系统

杨 斌<sup>1,2</sup>, 孙玉国<sup>1</sup>

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 上海驭光智能科技有限公司, 上海 201102)

**摘要:** 针对电力电缆铺设环境特点及应用需求, 提出了一种新型全光纤电力电缆故障定位预警系统设计方法。该系统采用复合在电力电缆中的光纤作为传感器, 通过采集和分析电力电缆周边的振动波形, 实现对电力电缆漏电故障的实时监控与定位。实验证明, 系统对光纤沿线的电力电缆周边发生的振动事件能够进行有效地监控, 测量距离大于 20 km, 定位精度  $\pm 3$  m。

**关键词:** 光纤传感器;  $\Phi$ -OTDR; 电力电缆; 故障定位

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-06-0063-04

## New Fault Location System of Fiber Power Cable

YANG Bin<sup>1,2</sup>, SUN Yu-guo<sup>1</sup>

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Shanghai Light-steering Intelligence Science and Technology Ltd., Shanghai 201102, China)

**Abstract:** According to the characteristics of cable arrangement environment and application requirements, a new design method for an early alert system of all-fiber power cable fault location is introduced. The fiber combined with power cable is used as sensors in the system. Electric leakage fault from power cable is monitored and located in real time by collecting and analyzing the vibration waveforms around power cable. Experimental results show that the vibration around power cable along fiber line can be monitored effectively by the system. And measuring distance is more than 20 km and locating accuracy is  $\pm 3$  m.

**Key words:** fiber sensor;  $\Phi$ -OTDR; power cable; fault location

随着电力需求的不断增长、电网建设的持续增多, 管理的难度也愈发增大。电力电缆作为电网工程的传输介质, 其重要作用是不言而喻的, 一旦遭到非法入侵, 后果也是不可想象的, 因此需要大力提高电力电缆设备的破坏防范能力。目前, 电力电缆的防护能力还是比较脆弱的, 它们大多采用人工巡查的方式, 而这种方式智能化水平低, 被突破的几率高。

发展全光纤电力电缆故障定点技术<sup>[1]</sup>, 建设新型光纤传感监控网, 是保障我国电力安全的重要措施。全光纤电力电缆故障定位预警系统通过全面监测数千米光纤沿线上电缆周边环境的振动信号进行预警, 从而减小电缆故障事件的发生几率, 达到安全防范的作用。它具备传统电缆维护方式所不具备的

一系列优势, 譬如隐蔽性强、智能化高、抗干扰能力强等, 解决了城市环网供电干线故障定位预警的行业性技术难题。

### 1 系统工作原理

全光纤电力电缆故障定位预警系统采用基于光时域反射计 (OTDR) 结构, 利用  $\Phi$ -光时域反射计<sup>[2-4]</sup> 的干涉机理, 外界扰动作用在光缆上面或附近产生的压力 (振动) 导致光纤中瑞利散射光相位<sup>[5]</sup> 发生变化, 后向瑞利散射光经光学系统处理, 将微弱的相位变化转换为光强变化, 经光电转换和信号处理后, 进入计算机进行数据分析。系统通过分析电缆环境周

围的振动波形,判断偷盗事件的发生。

该系统的被测点距离是基于光时域反射技术(OTDR)<sup>[6-7]</sup>实现的,被测点定位精度<sup>[8-9]</sup> $L$ 由光源脉冲的宽度 $\Delta T$ 、光探测器的响应时间 $t_p$ 和A/D转换时间 $t_{ad}$ 中的最大值直接确定。当这三个时间因素中 $\Delta T$ 远大于 $t_p$ 和 $t_{ad}$ 时有

$$L=c\Delta T/2 \quad (1)$$

式(1)中, $c$ 为光纤中的光速; $\Delta T$ 为注入光纤的光脉冲宽度。系统试验样机采用的光脉冲宽度 $\Delta T$ 为100 ns,对应定位精度10 m。

## 2 系统的硬件设计

根据电力电缆险情定位与预警系统的功能,选择合适的硬件,包括主机和传感光缆。主机放置于机房中,由主机引出传感光缆敷设至现场需要监测的位置。主机主要由光电接收模块、光纤干涉仪、数据采集器和计算机组成,其硬件功能结构图如图1所示。当外界有振动发生时,背向瑞利散射光的相位随之发生变化,这些携带外界振动信息的信号光,反射回系统主机时,经光纤干涉仪处理,将微弱的相位变化转换为光强变化,经光电转换和数据采集处理后,进入计算机进行数据分析,经系统识别、处理后,传给用户终端(如数据分析终端),驱动其他辅助系统,从而快速、高效地实现电力电缆防盗预警目的。

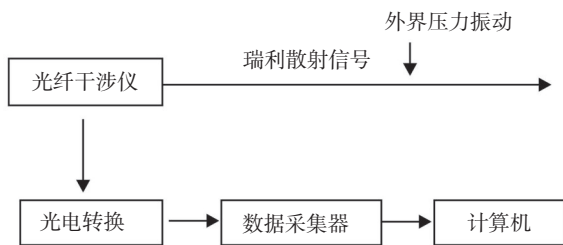


图1 光信号调制解调器的硬件功能结构图

该系统通过采集光纤沿线的电力电缆振动信号分布,对电力电缆进行实时监测,并通过采集得到的数据对通信光缆的振动状态进行特性分析和诊断,系统信号硬件处理流程如图2所示。

## 3 系统的软件设计

全光纤电力电缆故障定位预警系统能够测量光纤周围任何的振动、扰动、颤噪和声音信号,而周界安全检测往往更关心的是人为的越界、破坏等现象,

因此如何在大量的振动信息中提取有用的信号数据是非常关键的技术。系统软件功能处理流程图如图3所示。

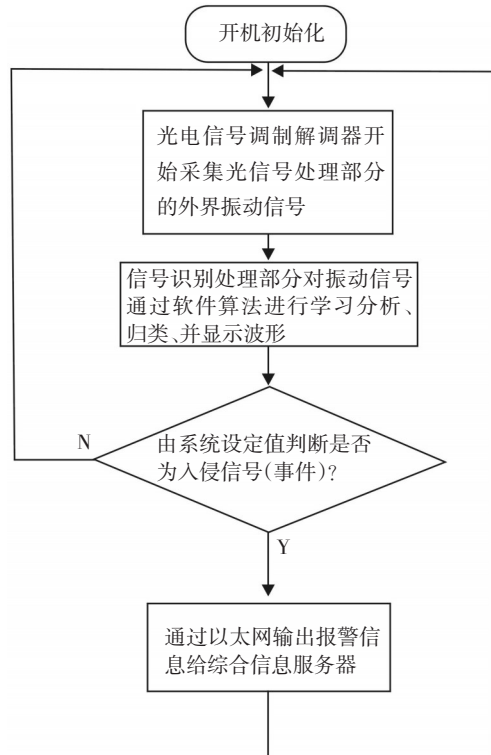


图2 系统信号硬件处理流程图

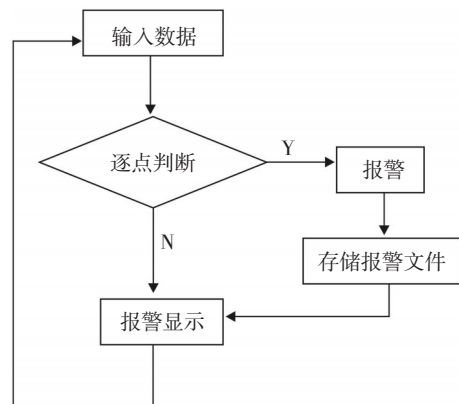


图3 软件功能处理流程图

系统报警软件的目的是要实现实时自动报警和报警判断的功能,故项目在软件设计上采用了目前最先进的模式识别算法<sup>[10]</sup>,完成对扰动特征信息的动态提取、分析和比较,确定扰动的频率、幅度和类型等物理特征,实时给出分析结果或对非正常扰动给出预警信号。系统软件的主要功能就是对振动信号检测、分类和报警,同时对数据信息进行管理。主要报警功能如下。

### (1) 侵入监测

该功能实质包括探测侵入行为和识别侵入行为两方面。如果有人企图偷盗或破坏电缆,则将对电缆侧边的光缆内传输光束产生扰动,扰动信号通过同一根光缆传输至位于控制中心的系统主机上,系统软件对这些信号进行分析识别后,判断为人员侵入则发出指令触发报警。该系统特点之一在于可在后端灵活调节系统灵敏度,因此,极大降低了侵入行为的漏报率。

### (2) 防区定位功能

系统软件根据对各处环境状况、保安人员采取行动路径和侵入威胁发生可能性等级的判别,自由设置报警防区。在判断有威胁侵入行为发生时,该软件根据光信号调制分析,可以实时对侵入行为发生点进行定位,从而便于安保人员目标明确地及时采取有效措施,制止侵入行为后续事件发生。

### (3) 联动功能

根据客户的具体需要,系统软件可与各种音响、声光报警装置实现联动,在监测、识别、定位侵入行为后,启动报警装置,威慑、制止侵入行为。同时,联动相应位置视频监控摄像头,追踪侵入对象。

该软件可以把报警信息保存起来,以便于用户对报警记录的查看。在查看报警记录时,用户可以根据自己的需求,把报警记录导出来以文件的形式保存,同时还支持打印的功能。

## 4 试验结果

实验中电力电缆监测长度 23.5 km,传感光缆为 GYTA53 通信光缆。光缆敷设在电力电缆表面,光缆外加硬硅胶护套管保护,埋在沙下 30 cm 深处,全光纤电力电缆故障定位预警系统主机放置在监控室内。在电力电缆沿线选取 20 025 m 处进行人员盗挖测试和电缆高压放电测试,每组测试各采集 10 组信号。

根据用户选择可以显示瑞利散射后向曲线或者散射曲线相减后的波影。23 km 通信光缆沿线探测的瑞利散射信号如图 4 所示。

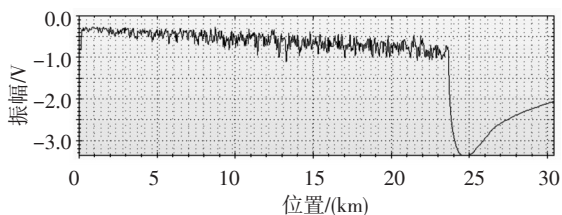


图4 瑞利曲线图

在故障电缆上施加高压脉冲信号,使电缆在放电时系统采集到的故障点的瑞利散射信号相减后的波形如图 5 所示,图中横坐标表示振动信号周期时间  $t$ (单位 s),纵坐标表示振幅  $A$ (单位 V)。

当有事件破坏电力电缆时,软件电子地图界面可以及时发出报警信号,并在下方的报警信息栏里显示具体的报警信息,能准确定位事件发生地点,显示定位精度在  $\pm 10$  m 范围内系统报警信号指示如图 5 所示。

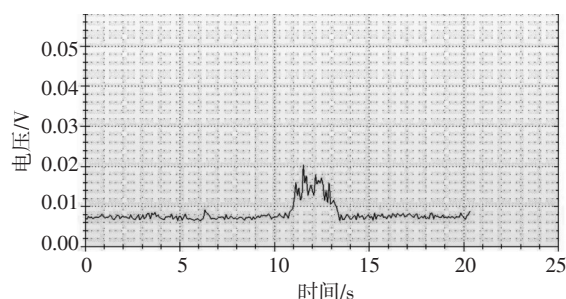


图5 人员盗挖电力电缆产生的信号波形图

机械切割电力电缆时系统采集到的信号波形如图 6 所示。系统电子地图报警指示如图 7 所示。当有事件破坏电力电缆时,软件电子地图界面可以及时发出报警信号,并在下方的报警信息栏里显示具体的报警信息,能准确定位事件发生地点,同时报警的防区会以红色的点进行闪烁显示。实验结果表明,系统能有效监测传感光缆周围外界振动事件的发生。

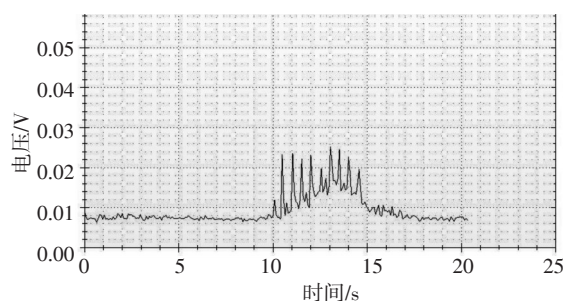


图6 机械切割电力电缆产生的信号波形图

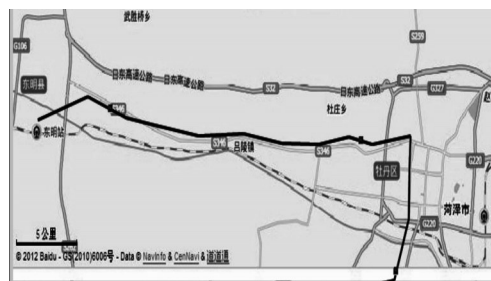


图7 系统地图报警界面

## 5 结束语

阐述了一种基于光纤振动技术的高压电缆智能故障定位系统的实现方法。系统通过敷设在电缆上方的光缆感应到路面施工产生的轻微振动,进行电缆故障探测,实现了传感光纤沿途电缆的故障预警监控。研究了系统的工作原理,搭建了实验样机,并在故障电缆上施加高压脉冲信号,使电缆在放电的时候形成振动,从而快速地对电缆故障进行预定位,节约电缆故障定位的时间,可以尽快对故障点进行处理。实验证明,系统能准确探测人员盗挖和机械切割等入侵事件,测量距离大于20 km,空间分辨率为 $\pm 3$  m。

## 参考文献

- [1] 彭龙,邹琪琳,张敏,等. 光纤周界探测技术原理及研究现状[J]. 激光杂志,2007,28(4):1-3.
- [2] 李荣伟,李永倩,杨志,等. 基于相干光时域反射计的光纤温度传感测量[J]. 光子学报,2010,39(11): 1988-1992.
- [3] 宋牟平,鲍翀,裘超,等. 结合布里渊光时域分析和光时域反射计的分布式光纤传感器[J]. 光学学报,2010,30(3): 650-654.
- [4] SONG M P, BAO C, QIU C, et al. A distributed optical-fiber sensor combined Brillouin optical time-domain analyzer with Brillouin optical time-domain reflectometer[J]. Acta Optica Sinica, 2010,30(3): 650-654.
- [5] 谢孔利,饶云江,冉曾令. 基于大功率超窄线宽单模光纤激光器的 $\Phi$ -光时域反射计光纤分布式传感系统[J]. 光学学报,2008,28(3): 569-572.
- [6] 李志全,白志华,王会波,等. 分布式光纤传感器多点温度测量的研究[J]. 光学仪器,2007,29(6):8-11.
- [7] 孟爱东,骆飞. 大型结构应变场光纤分布监测系统[J]. 光电工程,2001,28(2):23-26.
- [8] TAN J, CHEN W M, ZHU Y, et al. The monitoring system and the analysis of locating theory for pipeline leakage detection based on single distributed optical fiber sensor [J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35 (2) :228-231.
- [9] IMAHAMA M, KOYAMADA Y, HOGARI K. Restorability of Rayleigh backscatter traces measured by coherent OTDR with precisely frequency controlled light source[J]. IEICE Trans Commun, 2008, E91-B(4): 1243-1246.
- [10] 丁康,陈健林,苏向荣. 平稳和非平稳振动信号的若干处理方法的研究[J]. 振动工程学报,2003,16(1):1-10.

## 《光电技术应用》期刊简介

《光电技术应用》期刊是中国电子科技集团公司主管,东北电子技术研究所主办,公开发行的学术性中文科技期刊。

《光电技术应用》期刊以光电系统技术为主要专业特色,传播光电子技术、光电系统应用技术专业领域的先进科技信息,报道新型科技成果,推动工程技术交流,促进行业科技进步与发展。

《光电技术应用》秉承“科学严谨,求实创新,服务读者,促进发展”的办刊方针,竭诚为国内光电系统技术研究、教学、开发及其应用领域的广大科研人员、工程技术人员、科技管理人员、高等院校师生等读者服务。特色栏目包括:综述,光电系统技术,光学设计技术,红外技术,激光技术,光电探测技术,光电器件与材料,信号与信息处理,电路与控制,测试、试验与仿真技术等。

期刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊、波兰《哥白尼索引》收录期刊。竭诚欢迎广大读者踊跃投稿。