

# The Study of Optical Line Fault Alarm Technology Based on Fiber Optic Network

Xiaolong Zhang<sup>1</sup>, He Gong<sup>1</sup>, Jingjing Yu<sup>1</sup>, Hongjiang Xiong<sup>1</sup>, Zhenghu Jiang<sup>1</sup>, Guowu Li<sup>1</sup>, Zhenyu Chen<sup>1</sup>, Shaokang Jiang<sup>1</sup>, Shangyu Yang<sup>1</sup>, Xiaotao Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Baoshan Power Supply Bureau of Yunnan Power Grid Corporation of China Southern Power Grid, Baoshan Yunnan

<sup>2</sup>Kunming Chuangxintong Communication Co., Ltd, Kunming Yunnan

Email: 248400248@qq.com

Received: Feb. 9<sup>th</sup>, 2018; accepted: Feb. 20<sup>th</sup>, 2018; published: Feb. 28<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Yunnan terrain climate is complicated; cable lines often exist security risks. The normal operation of optical fiber cable is an important condition to ensure the safe and stable operation of power system. To grasp the real-time operating status of optical fiber lines in time is the basic prerequisite for ensuring the smooth flow of power system information. At present, the existing types of optical cable lines need to be managed and maintained, the topology is complicated, and the operation and maintenance tasks are difficult and heavy. This paper first builds an optical fiber network intelligent monitoring system architecture, which consists of management layer, monitoring layer and testing layer, which can realize the real-time monitoring of the operating status of the backbone optical cable network. Then, the optical fiber network OTDR detection technology is researched and a fiber optic cable fault alarm monitoring system including sensing subsystem, data acquisition and processing subsystem, expert and distance measuring subsystem is established. With the combination of positioning technology, the accurate positioning of optical fiber cable fault can be realized. And the fault point positioning segmentation function algorithm is used to analysis fiber optic cable fault and abnormal information, which improves operational efficiency and makes a contribution for building a modern, informative and intelligent power grid.

## Keywords

Optical Fiber Network, Optical Fiber Cable, Monitoring System, Alarm Analysis

---

## 基于光纤网的光缆线路故障告警技术研究

张晓龙<sup>1</sup>, 宫贺<sup>1</sup>, 余晶晶<sup>1</sup>, 熊鸿捷<sup>1</sup>, 蒋正虎<sup>1</sup>, 李国武<sup>1</sup>, 陈振宇<sup>1</sup>, 蒋绍康<sup>1</sup>, 杨尚玉<sup>1</sup>, 陈晓涛<sup>2</sup>

文章引用: 张晓龙, 宫贺, 余晶晶, 熊鸿捷, 蒋正虎, 李国武, 陈振宇, 蒋绍康, 杨尚玉, 陈晓涛. 基于光纤网的光缆线路故障告警技术研究[J]. 智能电网, 2018, 8(1): 87-95. DOI: 10.12677/sg.2018.81010

<sup>1</sup>中国南方电网云南电网公司保山供电局, 云南 保山

<sup>2</sup>昆明创讯通通信有限公司, 云南 昆明

Email: 248400248@qq.com

收稿日期: 2018年2月9日; 录用日期: 2018年2月20日; 发布日期: 2018年2月28日

## 摘要

云南地形气候复杂, 光缆线路时常存在安全隐患。光缆线路的正常运行是保障电力系统安全稳定运行的重要条件, 及时掌握光纤线路的实时运行状态, 是保证电力系统信息畅通的基本前提。目前, 现有的各类光缆线路需要管理维护, 拓扑结构比较复杂, 运维任务困难、繁重。本文首先构建了光纤网络智能化监测系统架构, 由管理层、监视层、测试层构成, 可以实现对主干光缆网络运行状态的实时监测。接着研究了光纤网OTDR检测技术, 并建立了包含传感子系统, 数据采集处理子系统, 专家及测距子系统的光缆故障告警监测系统, 结合定位技术, 实现光缆故障的精确定位。并采用故障点定位分段函数算法等技术, 对光缆故障或异常信息进行分析, 提高了运行效率, 建设现代化、信息化、智能化电网做出贡献。

## 关键词

光纤网, 光缆线路, 监测系统, 告警分析

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前国内外对光缆故障监测主要采用光缆监测系统。光缆监测系统主要面向的还是 P2P 的网络结构, 这类结构的网络监测也逐渐成熟。随着接入网技术的发展和重要性的日益提高, 光缆监测系统需要面对这类 P2MP 网络结构的光通信网络监测, 这对光缆监测系统的硬件特别是 OTDR 技术和光开关技术都提出了挑战[1] [2] [3]。对于 P2MP 结构的接入网, 特别是电力系统的配电网, 由于靠近用户, 环境复杂, 动物、施工、水浸等都会造成光缆故障, 再加上用户电源、设备等多种因素直接导致网络传输中断。目前缺乏必要的保护或网管监控手段, 无法通过关联告警来有效区分用户侧是光缆、光路、设备还是电力故障原因导致通讯中断产生。所以对这类网络监测手段的研究和实验迫在眉睫[4] [5] [6]。

此外, 目前电缆的光纤网络类型主要通过网元链接, 光缆成环率不高, 通信维护人员少, 站点之间距离远。网络故障或异常时, 传统的检测手段费时费力且定位不准确, 靠人工开挖、爬杆查找等手段, 严重影响了工作效率。不仅如此, 不及时的查找并排除故障对电网安全运行构成严重威胁。

因此, 本文构建了完整的光纤网光缆线路监测体系, 与传统光缆监测系统不同, 它在传统的 OTDR+光功率计定位的基础上, 采用了故障点定位分段函数算法等新技术, 由于在传统的检测手段中, 故障距离的计算是理论计算的数值, 没有很好的考虑光纤实际施工过程中的弯曲、预留、绕道、地形起伏等因素, 因此误差较大[7] [8]。而本文是基于光纤网技术, GPS 定位导航技术结合在一起, 并自动通过手机短消息、电子地图等形式派单给各相关人员, 方便现场人员快速找到故障位置。根据系统对光缆故障或异常信息的分析, 给出告警信息, 指导运维人员及时予以处理: 若光缆处于故障状态, 系统能自动、迅速

定位故障，便于运维人员及时抢修并予以排除；若系统处于非故障的异常状态，则运维人员根据告警信息予以排查，防患于未然。将大大提高通信部门的工作效率，为建设现代化、信息化、智能化电网做出贡献。

## 2. 光纤网光缆线路监测系统架构

本文提出了由管理层、监视层、测试层构成的 3 层体系架构。底层为测试层，由软件系统控制远程分布的光开关，形成以 OTDR 为根节点的树状测试链路，通过若干树状测试链路形成对待测范围内光缆网络的覆盖；中间层为监视层，利用通信设备本身的光信号故障检测功能感知光缆故障，使通信网络故障直接映射到光缆监测系统，进行与光缆关联的业务影响分析，并可支持使用传统的/光源+光功率计的光缆故障监视方式；顶层为管理层，监视通信网络网管告警、性能事件等，并触发测试，采用远程控制接口，控制 OTDR、光开关等进行测试，提供各种 OM (操作维护)界面，并管理系统的硬件设备和软件模块[9][10]。

光纤网光缆监测系统架构示意图如图 1 所示。

## 3. 光纤网 OTDR 检测技术研究

根据模态理论，当边坡形变时，光纤受到微弯时，就会产生模式根据模态理论，当光纤受到微弯时，就会产生模式或模式平均功率的耦合，致使一部分纤芯模转化为包层模泄漏，产生微弯损耗。

对于光纤折射率分布  $\alpha = 2$  的梯度光纤，如果只在平面内产生微弯，可以证明其损耗的确切表达式。假设光纤轴与坐标系  $z$  轴重合，并且其微弯的曲率脉冲形状为高斯系列，则曲率函数  $C_G(z)$ 可表示为[11]：

$$C_G(z) = \sum_{n=1}^N C_n(z) = \sum_{n=1}^N A_n \exp\left[-\frac{4(z-u_n)^2}{W_n^2}\right] \quad (1)$$

式中， $C_n(z)$ 表示光纤第  $n$  个微弯的曲率函数， $N$  为光纤总微弯数， $A_n$ 、 $u_n$  分别是曲率脉冲峰值及峰值坐标， $W_n$ 是以曲率值降为峰值的  $1/e$  处的脉冲宽度。由功率谱密度可推得[11]：

$$\zeta_G(\Delta\beta) = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} C_G(z) e^{-j\Delta\beta z} dz \right|^2 \approx \frac{\pi}{4} NA_0 \exp\left[-(\Delta\beta)^2 W_0^2 / 8\right] \quad (2)$$

式中： $A_0$ 、 $W_0$  分别为平均曲率脉冲峰值和宽度。利用关系式  $\Delta\beta = -2\sqrt{2\Delta n}/d$  和微弯损耗表达式，可得高斯型曲率函数引起的微弯损耗为[11]：

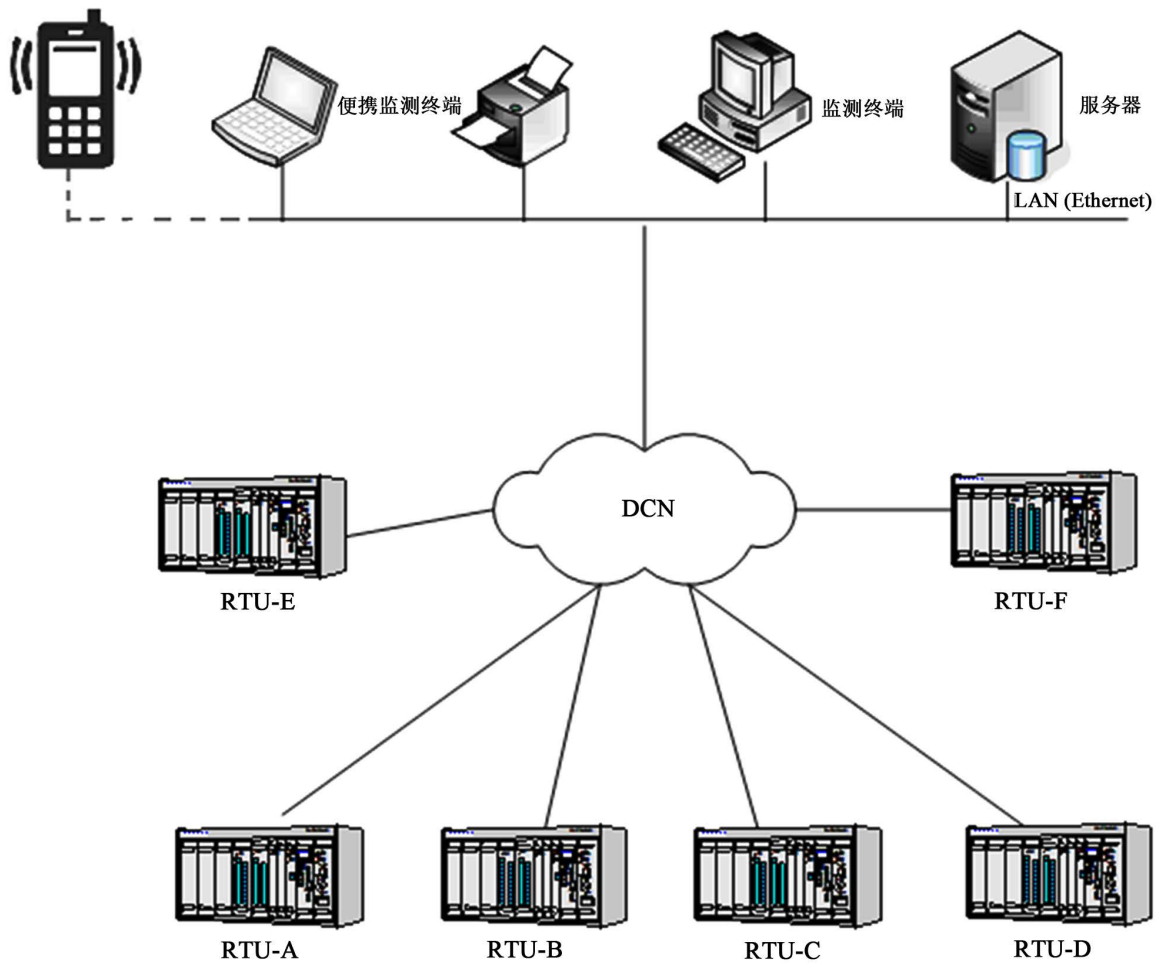
$$L_G = 3.06 \frac{1}{\Delta n} NA_0^2 W_0 \exp\left[-\Delta n \frac{W_0^2}{d^2}\right] \quad (3)$$

式中， $\Delta n$  为光纤相对折射率差， $d$  为光纤芯径。由此可以看出，小小的扰动可以引起光的能量的减小，我们可以利用微扰引起瑞利散射背向散射光能的变化。

OTDR 是基于测量后向瑞利散射光信号的实用化测量仪器。利用 OTDR 可以方便地从单端对光纤进行非破坏性的测量，它能连续显示整个光纤线路的损耗相对于距离的变化。OTDR 测试是通过将光脉冲注入到光纤中，当光脉冲在光纤内传输时，会由于光纤本身的性质、连接器、接头、弯曲或其它类似的事件而产生散射、反射，其中一部分的散射光和反射光经过同样的路径延时返回到 OTDR 中。OTDR 根据入射信号与其返回信号的时间差  $\tau$ ，利用式 1 就可计算出上述事件点与 OTDR 的距离[11]。

$$d = \frac{c\tau}{2n} \quad (4)$$

式中  $c$  为光在真空中的速度， $n$  为光纤纤芯的有效折射率。



**Figure 1.** The system architecture of optical fiber network monitoring  
**图 1.** 光纤网光缆监测系统架构

分布式光纤传感网的传感机理如图 2 所示：边坡发生形变或裂缝时，埋入的边坡光纤，会在形变或裂缝处产生微弯，从而引起光信号出现局部高损耗即微弯损耗，用光时域反射仪 OTDR 探测后向瑞利散射光损耗的位置和大小，可以推知相应的位置是否出现形变[11]。

#### 4. 光缆故障告警监测系统

光缆故障告警监测系统包含传感子系统，数据采集处理子系统，专家及测距子系统等组成。

##### 4.1. 传感子系统

传感子系统基于光纤 Bragg 光栅传感技术。FBG 传感技术[8]是利用光纤和光栅信息材料构成的传感器，具有成本低，抗干扰能力强的优点。传感子系统就是通过一定数量的 Bragg 光栅将待测的信息进行传感。具体如图 3 所示：

##### 4.2. 专家及测距子系统

专家及测距系统主要由知识库、推理机、动态数据库以及测距计算系统组成，如图 4 所示。该系统可以根据采集到的光缆动态数据进行推理计算和判断，判断光缆所处状态等。

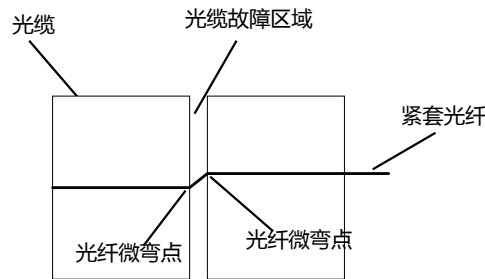


Figure 2. The mechanism diagram of cable fault monitoring

图 2. 光缆故障监测机理示意图

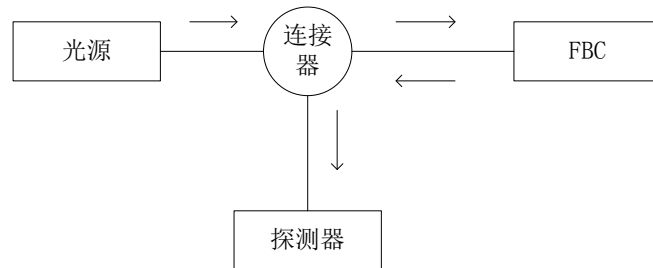


Figure 3. FBG sensor subsystem

图 3. FBG 传感器子系统

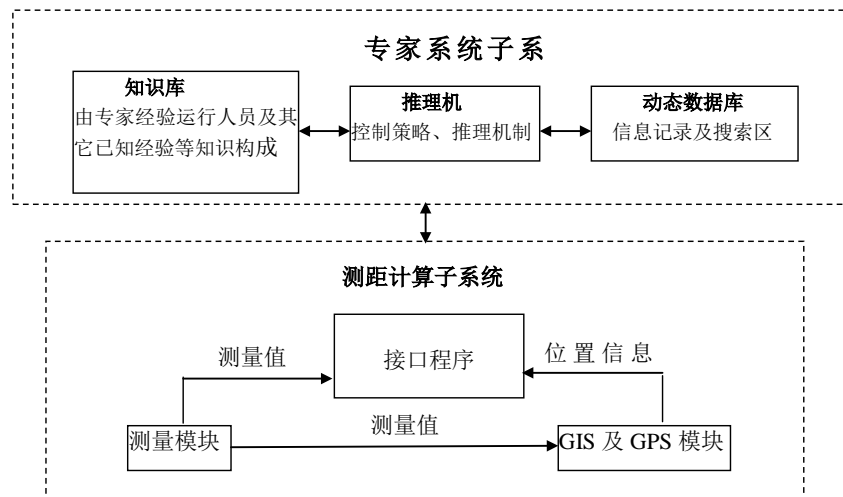


Figure 4. The subsystem of expert and ranging

图 4. 专家及测距子系统

### 4.3. 光缆故障告警监测系统

光缆故障告警监测系统实时监测光缆网络的运行状况，达到对光缆传输故障的预防、告警和定位，根据电力通信光缆的运行维护情况，光缆智能在线状态检修管理系统应具备光缆自动监测功能、光功率自动监测功能和光缆运行维护管理以及光缆资源管理功能，其基本结构如图 5 所示。主要完成以下任务：对测试曲线进行综合分析，利用电子地图实现光缆线路的准确定位，对监测到的故障实现声音、画面等告警提示，指导在线检修和应急处理工作。对监测数据进行统计、分析，发现光缆的衰减分布趋势，捕

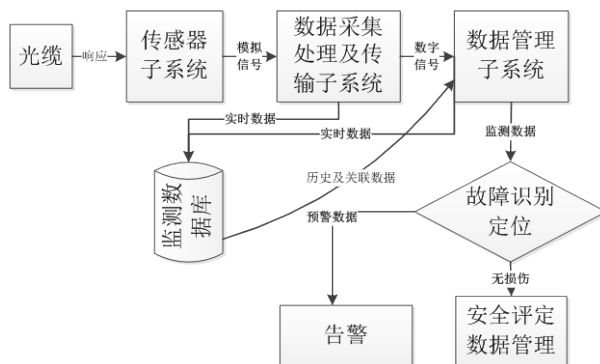


Figure 5. The monitoring system diagram of cable fault alarm  
图 5. 光缆故障告警监测系统图

提光缆缺陷、故障的征兆，做到提前检修。高效管理光缆资源，提高运行分析、设备分析、光缆在线检修、工程切改、光缆网优化调整等管理水平[12]。

1) 光缆自动测试功能：自动实现光缆点名测试、周期测试，将结果与光缆特性库中的标准数据进行对比分析处理。按缆、段、站、纤、波长、方向、时间分析数据自动入库，自动分析全程衰耗、分段衰耗、接头衰耗和长度衰耗；自动判决当超过设置门限值时，按缆、段、纤分级告警，逐级自动备份所有监控参数数据库和告警记录数据。

2) 光功率监测系统功能：通过实时在线监测光纤收光功率，根据可修改的报警门限值为依据，进行判断，当收光功率变化超常时，将以不同级别输出告警信息。并将触发光缆自动测试子系统工作，启动 OTDR 进行故障点位置判断。

3) 光缆运行维护管理功能：光缆运行统计分析管理功能生成光缆故障、光纤故障、光纤资源管理、监测系统设备等报表；提供可闻、可视(图形和文本)告警指示，显示当前告警事件和历史告警事件，并可对告警、事件进行分类保存和管理，灵活查询和统计、分析，形成统计报表；能够对故障按线路、光缆、路由、电路等统计月报表；当受理障碍信息时，能发出障碍通知单，启动光缆检修流程。

4) 光缆资源管理功能：按照国网公司标准命名规范和通信系统管理系统统一格式建立各种统计报表模型，建立光缆各个光纤配线节点、光缆接头盒位置、光传输设备和业务相关通信方式记录，并进行编辑、创建、查询、显示、打印等。

## 5. 故障测距算法及测试技术研究

### 5.1. 故障点定位分段函数算法

本文将 GPS 导航技术与地标参考点方法[13]相结合，实现故障准确定位。

地标参考点的选取，必须能够准确反映光缆故障位置和地标之间的关系，光缆线路地标参考点数据表在建立时，首先根据上述规则选取线路地物参考点，将光缆施工时每盘光缆敷设路由范围内所有地标参考点制成一张表，然后扩展至整个光缆线路段，最后完成光缆线路地物参考点数据表的建立，如表 1 所示。

表中数据每盘光缆按 A、B 端采集，每相邻接头之间缆长为  $L_m$ ，可选取  $nm$  个参考点( $n \in N, m \in N$ )， $x_{nm}$  为光缆上标识的米数， $x'_{nm}$  为对应的纤长，每个光缆接头盒内余留纤长为  $a$ ，线路段总纤长  $L$  的计算公式为[12]：

$$L = \sum_m L_m (1+k) + a(m-1) \tag{5}$$



**Table 1.** The data table of fiber optic cable reference point  
**表 1.** 光缆线路地物参考点数据表

线路段	参考点	缆表长度(A→B)	缆长长度(A→B)
$L_1/L$	1	$x_3/x'_3$	$x_{n_1}/x'_{n_1}$
	2	$x_2/x'_2$	$\vdots$
	3	$x_1/x'_1$	$x_3/x'_3$
	$\vdots$	$\vdots$	$x_2/x'_2$
	$n_1$	$x_n/x'_n$	$x_1/x'_1$
$L_2/L$	1	$x_3/x'_3$	$x_{n_2}/x'_{n_2}$
	2	$x_2/x'_2$	$\vdots$
	3	$x_1/x'_1$	$x_3/x'_3$
	$\vdots$	$\vdots$	$x_2/x'_2$
	$n_2$	$x_{n_2}/x'_{n_2}$	$x_1/x'_1$

若以后光缆线路因故障增加接头盒时，可按此法重新采集相邻光缆接头盒之间光缆线路数据，并加入线路上风险系数较高的地物参考点，建立新的光缆线路地物参考点数据表，同时标明光缆线路上预留光缆的位置。

结合地标数据表，把一部分具有明显标志或永久性、重要的地标作为参考点，将光缆路径分段，并建立分段函数。把光纤长度  $x$  作为自变量，把光缆路径上的某一位置  $y$  作为因变量，建立函数关系： $y = f(x)$ 。为使运算简化，预留光缆看作一个点。由于光缆在整个线路上并非平直光滑，因此  $y$  和  $x$  之间只能用分段函数表示[12]：

$$y = \begin{cases} y_0 & (0 \leq x < x_0) \\ y_0 + f_1(x) & (x_0 \leq x < x_1) \\ y_1 & (x_1 \leq x < x_2) \\ y_1 + f_3(x) & (x_2 \leq x < x_3) \\ \vdots & \\ y_{m-2} + f_m(x) & (x_{m-2} \leq x < x_{m-1}) \\ y_{m-1}(x) & (x_{m-1} \leq x < x_m) \end{cases}$$

### 5.2. 测试技术研究

结合云南省某供电局进行测试分析。首先进行检测点优化布置，经过优化设计，共设置 6 个监测点对主干线进行检测。检测点优化布置图如图 6 所示。

这些监测点的信息最后均汇集到网管中心进行分析处理。而且考虑了网络的可扩展性及今后系统接入的友好性。

结合输电线路情况，光缆线路 1 km，并根据不同地理环境下铺设的电缆状况设定告警阈值，即，当超过这个阈值立即发生告警。为便于推广，本文在研究过程中假设设定告警阈值为单位 1。经过研究，得到的仿真波形如下图 7 所示：

从图 7 光纤光缆故障点分析仿真图可见，光缆线路 1 km，当设定告警阈值为单位量 1 时，在光缆至起始处约 260 m 处，发生告警，在光缆至起始处约 680 m 处，发生临界告警。

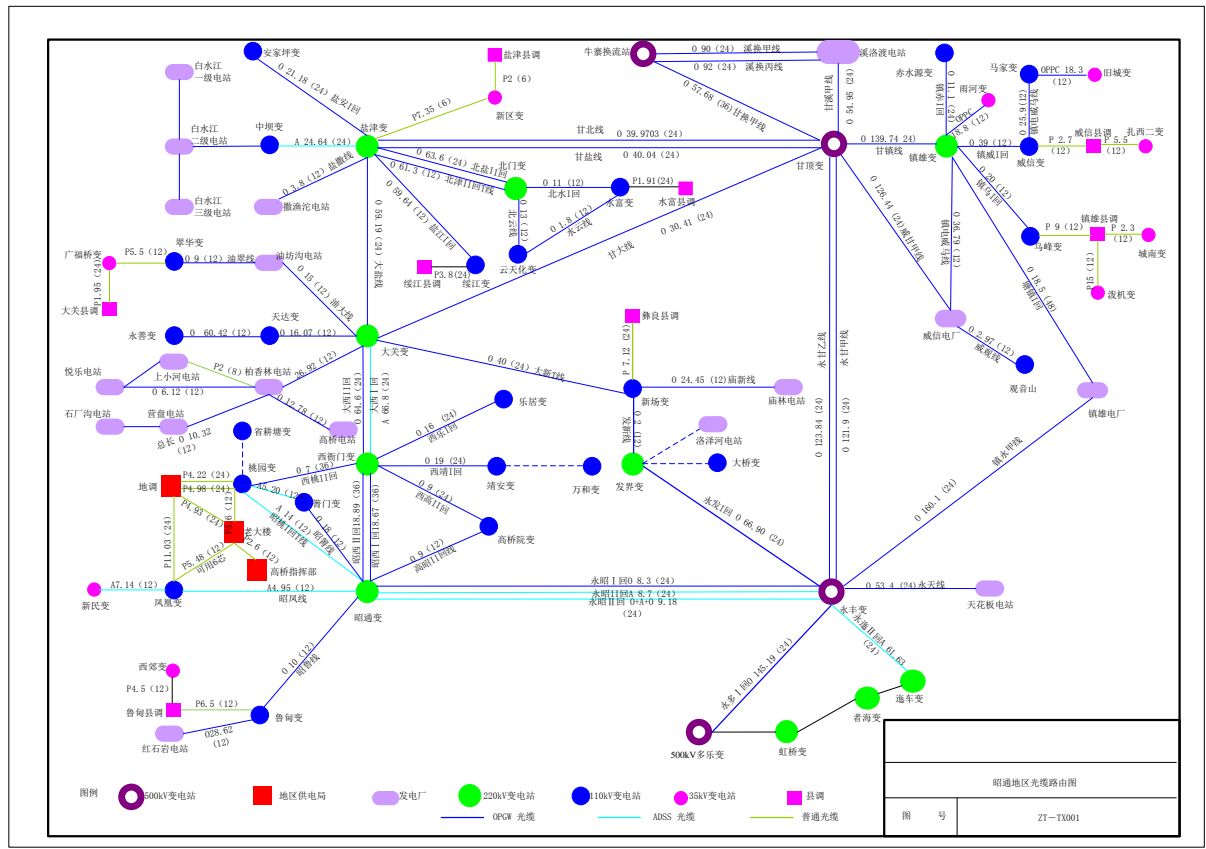


Figure 6. The layout of test point optimization  
图 6. 检测点优化布置图

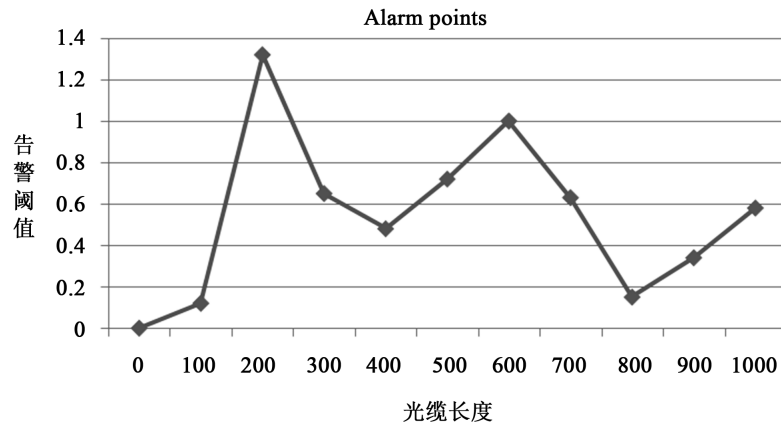


Figure 7. The simulation of fiber optic cable fault point  
图 7. 光纤光缆故障点仿真图

通过本文研究的光缆故障告警监测系统可以得到准确的告警数据，然后根据对数据的处理得到相关信息，最后结合故障测距算法可以得到光缆准确位置的故障。

## 6. 结论

本文首先构建了光纤网络智能化监测系统架构，由管理层、监视层、测试层构成，可以实现对主干



光缆网络运行状态的实时监测。接着研究了光纤网 OTDR 检测技术, 并建立了包含传感子系统, 数据采集处理子系统, 专家及测距子系统的光缆故障告警监测系统, 结合定位技术, 实现光缆故障的精确定位。并采用故障点定位分段函数算法等技术, 对光缆故障或异常信息进行分析, 提高了运行效率, 建设现代化、信息化、智能化电网做出贡献。

本文研究对光缆线路的监测及其安全运行有一定的指导意义。

## 参考文献 (References)

- [1] 王小辉, 李圣普, 刘建粉, 等. 光纤传感在电力传输安全监测中的应用研究[J]. 信息技术, 2013(2): 39-41.
- [2] Macii, D., Petri, D. and Zorat, A. (2012) Accuracy Analysis and Enhancement of DFT-Based Synchrophasor Estimators in Off-Nominal Conditions. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **61**, 2653-2664. <https://doi.org/10.1109/TIM.2012.2199197>
- [3] Ren, J.F. and Kezunovic, M. (2011) Real-Time Power System Frequency and Phasors Estimation Using Recursive Wavelet Transform. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **26**, 1392-1402. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2135385>
- [4] 李川. 光纤传感器技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [5] 李大虎, 曹一家. 基于模糊滤波和 Prony 算法的低频振荡模式在线辨识方法[J]. 电力系统自动化, 2007(1): 14-19.
- [6] 陈文雯, 刘友宽, 孙建平. 群体智能的系统辨识[J]. 云南电力技术. 2014(3): 10-14
- [7] 丁军策, 蔡泽祥, 李建设, 等. 基于混合量测的电力系统动态状态估计[J]. 南方电网技术, 2009(5): 94-98
- [8] 刘永莉. 分布式光纤传感技术在边坡工程监测中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [9] Naruse, H., Uchiyama, Y., Kurashima, T., *et al.* (2000) River Levee Change Detection Using Distributed Fiber Optic Strain Sensor. *IEICE Trans Electron*, **83**, 462-467.
- [10] Kohashi, H., Katou, S., Ando, S., *et al.* (2004) Application for the Roadway Slope Monitoring Method Using Optical Fiber Sensor. *Fujikura Technical Report*, **107**, 21-27.
- [11] 李川, 张以谟, 赵永贵. 光纤光栅原理、技术与传感应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [12] 杨光胤, 葛金. 小波分析故障行波测距法在混合线路中的应用[J]. 云南电力技术, 2008(5): 48-51.
- [13] 葛飞龙, 肖斌, 高逢顺, 等. 采用光缆线路地物参考点数据表法的故障点定位[J]. 光缆与电缆及其应用技术, 2013(5): 42-44.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8763, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [sg@hanspub.org](mailto:sg@hanspub.org)