

# 基于 OTDR 和光功率测试的光纤故障监测应用方法

黎 华

(西昌学院, 四川 西昌 615000)

**摘要:** 为了降低光纤光缆故障率和缩短光缆网络故障诊断时间, 提出了一种基于光功率测试和光时域反射仪的光纤故障监测方法; 利用光功率测试技术对光缆性能进行实时监控并预警光缆故障; 分析光纤功率衰减的原因, 计算得到光缆修理增加的长度, 设计了修正故障地点的算法; 当光缆网络发生故障时, 利用光时域反射仪测试故障位置, 并利用误差检测算法对电缆衰减进行分析排除, 对故障地点进行故障位置修正以便快速抢修; 结果表明, 该方法可以降低光缆网络故障率, 在故障定位中可以提高光缆故障定位的精度, 计算的故障位置与实际故障位置的误差不超过 10 m, 可以进行实时快速的维修, 对于运营时间较长的光缆网络的效果更明显, 具有较好的应用价值。

**关键词:** 光纤光缆; 光时域反射仪; 光功率测试; 故障监测; 故障位置修正

## Based on OTDR and Light Power Test of Fiber Optic Fault Monitoring Application

Li Hua

(Xichang University, Xichang 615000, China)

**Abstract:** In order to reduce the fiber optic cable and shortening the time of cable network fault diagnosis, failure rate is put forward based on the optical power test of fiber optic fault monitoring method and optical time domain reflectometer. Using the optical power measurement technology on fiber optic cable performance real-time monitoring and early warning cable fault; Analysis of the causes involved in power attenuation of optical fiber, the length of the cable repair is calculated to increase, design the correction of fault location algorithms; Failure occurs when the cable network, using the optical time domain reflectometer test fault location, and use the analysis of cable attenuation rule out error detection algorithm, fault location correction to fault location for quick repair. Results show that the method can reduce the cable network, the failure rate in the fault location can improve the precision of fiber optic cable fault location, fault location of the calculation and the actual fault location error is not more than 10 m, real-time fast repair, can run for a considerable time cable network effect is more obvious, has good application value.

**Key words:** optical fiber cable; OTDR; optical power test; fault monitoring; fault location correction

## 0 引言

设计自动的实时故障监测方法, 能对大多数的光缆故障进行告警预警, 对已发生的故障能够迅速判断故障点, 使工程人员能进行及时抢修。

这种实时的故障监测方法以预防为主要目的, 在光纤质量劣化到一定程度时发出预告警信号, 由于光缆数量巨大、自然灾害和人为过失等原因, 仍然不可避免地会发生故障, 或者光纤劣化需要更换, 此时要求方法能够准确、快速地定位故障位置或需要更换光缆的位置。基于这种需求, 本文提出了一种基于光功率测试和光时域反射仪的光纤故障监测方法, 利用光功率测试技术实时监控光纤网络健康状况, 在预警或者发生故障后利用 OTDR (光学时域反射仪) 实现精准定位。

## 1 光纤常见故障与特征

目前, 常见的光纤故障主要是由于不同时期、不同厂商的光纤混合应用、或者同一制造商、但不同时期的产品混合应用、或者同一制造商、同一时期的不同子类产品混合应用时带来的问题, 具体有以下 3 类问题:

(1) 在光纤故障检测中, 无论是大有效截面还是小有效截面

的光纤, 在设备与线路连接中都存在一个衰减问题。目前的光通信设备的光收、发器件引出连接件的光纤基本都是用光纤制作。由于光纤的技术标准中没有对波长的模场直径做出规定, 各厂家生产时就没有约束, 就是说设备与线路连接中总是会存在一个光纤与光纤连接大损耗的问题, 这给故障检测带来了难度。

(2) 实际故障检测过程中, 经常会碰到不同厂商的产品、不同时期建设的光纤, 在同一个网上应用。由于光纤光缆线路的色度色散通常比较稳定, 它不会由于施工或使用环境而改变。不同厂商的产品就给光补偿技术带来了难度, 而传统光纤故障检测方法大多是以光补偿技术为基础的。

(3) 光纤光缆线路的偏振模色散影响因素较多, 不仅受光纤光缆本身的影响, 也与应用环境有很大关系, 传统的实地勘查与 PMD 测试误差较大, 不能满足精确度上的要求。

基于以上问题和传统方法的不足, 本文从检测设备上进行改进, 减少了光纤连接损耗带来的影响, 引入光功率检测方法, 避免了传统算法中光补偿技术实现的困难, 最后设计并实现了系统, 避免了人工勘察的不足。

## 2 基于 OTDR 的光纤故障定位诊断

故障定位分系统主要用于对故障光缆段进行测试, 快速准确地定位故障点的位置以便进行维修, 其核心器件是 OTDR。

### 2.1 OTDR 的介绍

OTDR 的基本原理是利用分析光纤中后向散射光或前向散射光的方法测量因散射、吸收等原因产生的光纤传输损耗和各种结构缺陷引起的结构性损耗。以下的公式就说明了 OTDR

收稿日期: 2013-12-21; 修回日期: 2014-02-09。

基金项目: 教育部课题(09XJA880009)。

作者简介: 黎 华(1979-), 女, 吉林松原人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机科学技术方向的研究。

是如何测量距离的。

$$d = (c \times t) / 2 \text{ (IOR)}$$

在这个公式里,  $c$  是光在真空中的速度, 而  $t$  是信号发射后到接收到信号 (双程) 的总时间 (两值相乘除以 2 后就是单程的距离)。因为光在玻璃中要比在真空中的速度慢, 所以为了精确地测量距离, 被测的光纤必须要指明折射率 (IOR)。IOR 是由光纤生产商来标明。

OTDR 由时域反射仪衍生而来, 也是时域反射依然光通信技术中的推广应用<sup>[4]</sup>。OTDR 集光发射机与光接收机于一体, 在测试端将光脉冲注入被测光缆, 光脉冲在光纤中传输, 当到达光纤连接处、断裂处或尾端的时候, 光就会被反射并反向传递至反射端被 OTDR 接收, 此外, 光纤中含有一部分波长较小的不均匀粒子会使光脉冲瑞利散射, 散射光的一部分会反向传递到发送端被 OTDR 一并接收, 根据接收到的光脉冲的特征变化, OTDR 可测出光纤故障点的位置、光纤衰减、光纤接着衰减以及光纤长度等参数, 这种测试是非破坏性的, 在测试完成后可立即恢复使用, 甚至在不切断通信传输的情况下完成测试, 适于光纤故障定位测试。

### 2.2 基于 OTDR 的光纤故障精确定位

基于 OTDR 的光纤故障定位, 是根据从发射信号到接收信号所用的时间  $t$ , 可得出故障点距测试端的距离  $s$ , 计算公式为:

$$s = \frac{c \cdot t}{2\gamma} \quad (1)$$

式中,  $\gamma$  是光纤材料的折射率, 该值由光纤生产商提供,  $c$  是光在真空中的传播速度。

假设两个电话交换机 A 和 B 由光纤相连, 所用的光纤光缆长度为  $D$ , 由于某种原因 A、B 之间的光纤光缆断开, 利用 OTDR 进行检测确定光纤故障的位置, 在 A 的光纤接入端发出光脉冲, 由式 (1) 确定故障点 C 距离 A 的距离  $F$ , 其示意图如图 1 所示。

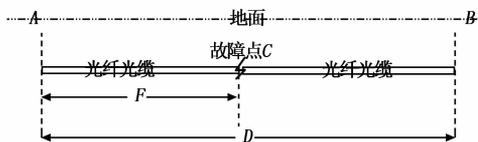


图 1 基于 OTDR 的故障定位示意图

在实际施工维护中, 当沿着光缆铺设路线到达故障点时, 在故障点两端相距一定距离同时相向挖掘, 距离值过大影响施工效率, 过小可能因为存在误差丢失故障处, 一般取 10~20 m, 将这一段光缆截断, 更换新光纤并将新旧光纤使用光纤熔接机连接, 对整段光缆进行测试, 若显示测试正常, 用接头盒将熔接处封闭, 维修完毕<sup>[5]</sup>, 维修后的光缆连接示意图如图 2 所示, 设新增加的光纤长度为  $R$ , 则 A 和 B 之间的光纤长度  $D^1$  为:

$$D^1 = D + R \quad (2)$$

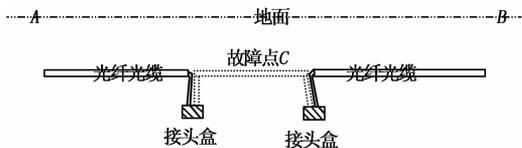


图 2 维修后的光缆连接

在实际应用中, 由于自然环境的影响或者是先前光纤的维修导致光纤在地层中发生扭曲或者长度增加, OTDR 测量出

的光纤故障处与实际故障点有较大偏差, 如图 3 所示, 当直接依照 OTDR 测量值在地表沿着光缆铺设线路定位故障点时超出了实际故障点的距离为  $N$ ,  $N$  的值随着  $D$  的增大而增大, 当  $D$  超过一定程度时, 直接依照 OTDR 测量值将无法成功定位故障点<sup>[6]</sup>。在这种情况下, 需要根据误差产生的原因对 OTDR 测量值进行修正以提高定位精度。

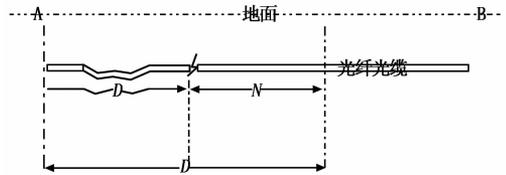


图 3 OTDR 测量值与实际值的偏差

引起光缆长度增加的原因有: 光缆在地底的扭曲、热胀冷缩的变化、维修增连光缆等<sup>[7]</sup>。其中由于自然因素引起的长度变化较小, 在工程中通过故障位置段施工消除, 光缆长度的主要变数在于光缆维修连接时接头处新增的长度, 如图 3 所示。因此在维护时, 需要对维修后新增的光缆长度进行登记备案或者直接进行指定规格标准, 尤其是长期运营的光缆, 由于多次维修, 新增的光缆长度较大, 对维修运营的时间、效率、成本造成了巨大的困难, 在故障定位分系统中, 根据检测设备和备案数据设计算法, 对地下光缆故障位置进行修正定位, 准确告知故障点的地上位置。

综合考虑接头损耗和熔接损耗, 可得长度为  $D$  的光纤链路损耗  $L$  为:

$$L = D \cdot Fa + Sl \cdot N_j + Cl \cdot N_c \quad (3)$$

式中,  $D$  是仪器测量的故障点距测量点的距离值,  $Fa$  是光纤平均衰减,  $Sl$  就光纤熔接损耗,  $N_j$  是电缆接头数,  $Cl$  是接头损耗,  $N_c$  是连接口数目。由此可得接头数  $N_j$  为

$$N_j = \frac{(L - D \cdot Fa - Cl \cdot N_c)}{Sl} \quad (4)$$

光缆接头包括铺设光纤光缆时的初始接头和维修光缆故障增加的维修接头, 维修接头会增加光缆长度, 初始接头不增加光缆长度, 一般每公里设一个初始接头, 则可得维修接头数  $N_{CM}$  为:

$$N_{JM} = N_j - |D| \quad (5)$$

式中,  $|D|$  表示对  $D$  上取整运算,  $D$  的单位为 km。已知每个维修点增加两个维修接头, 可得已有的维修点数目, 假定每次维修规定增长的光纤长度为  $M$ , 则有因维修而增长的光纤长度  $N$  为:

$$N = \frac{N_{JM} \cdot M}{2} \quad (6)$$

这个  $N$  值实际上就是 OTDR 的测量值与实际值之间的差值, 因此可得地下实际故障点距 A 的距离  $D'$  为

$$D' = D - N \quad (7)$$

综上可得  $D'$ :

$$D' = D - 0.5 \cdot \left( \frac{(L - D \cdot Fa - Cl \cdot N_c)}{Sl} - |D| \right) \cdot M \quad (8)$$

式中,  $D$  和  $L$  均由 OTDR 提供, 依照式 (8) 设计算法模块与 OTDR 互连, 根据 OTDR 提供的数据、模块本身的参数以及光缆链路相关数据, 可得光缆的地下实际故障点。

### 3 实验分析

为了验证本文光纤故障检测算法的有效性, 进行实验。为

了保证光纤故障检测实验的客观性，在 1 天内，随机选取时间，进行 15 次实验，相邻两次间的实验间隔也是随机的。光纤故障诊断中，先对光功率值的检测，再进行本文算法与传统算法测试值与真实值之间对比，结果如图 4 所示。

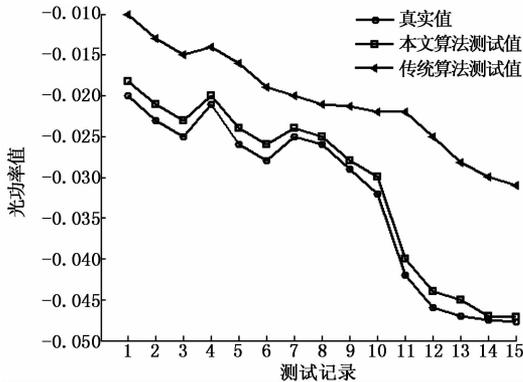


图 4 光功率值的检测对比结果图

由图 4 可知本方光纤故障检测算法测量的准确值与真实值很靠近，传统光纤故障检测算法测量值与准确值相差较大，说明了本文算法的优越性较强。

光纤故障检测中光功率测量误差对比结果如图 5 所示。

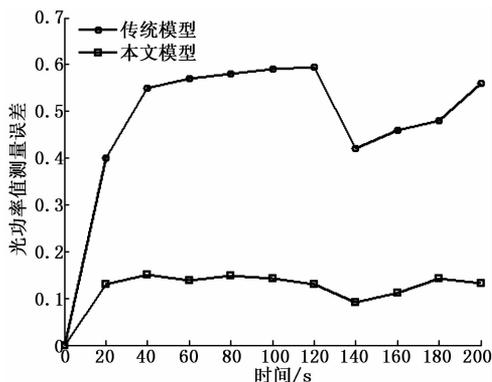


图 5 光功率值测量误差对比

由图 5 可知，传统模型测量光功率值测量误差在 50% 左右，本文算法建立的模型测量光功率值误差在 15% 以内，光纤故障诊断准确性得到很大提高，达到 90% 以上。

为了进一步验证本文算法的性能，下面进行链路损耗情况实验。以记载的一次故障的单模光纤故障为例，其参数如表 1 所示。其中编号 1、2、3 数值由光缆生产厂家提供，存储在系统数据库中，编号 4、5、6 数值由实时监测分系统提供， $N_C = 1$  表示只有 OTDR 接入光纤这样一个接口，编号 7 的数值由维护施工标准文件提供，存储在分系统数据库中。

根据表中数据结合式 (5)、式 (8) 可得  $N_{JM} \approx 8$ 、 $D' = 8.774$ ，即在距离测试点 8.774 km 处的地下光缆发生故障，与 OTDR 测量值 8.814 km 差值为  $D' = 40$  m。在此次试验中，经实际调研发现，光缆故障点与测试点的距离为 8.782 km，改进算法后的的误差为 8 m，可以有效地进行故障抢修，但不考虑先前维修，误差为 32 m，无法成功定位地下故障点。

图 6 所示为链路损耗逐渐增大时经算法修正后的地下光缆故障点距离测量点的距离值，可见随着链路损耗的增大，推算被测光缆段的维修点逐渐增多，增加的光缆长度随之增大，导

表 1 故障安全参数

编号	指标	数值	单位
1	$F_a$	0.3	dB/km
2	$C_l$	0.7	dB
3	$S_l$	0.1	dB
4	$L$	5	dB
5	$D$	8.814	km
6	$N_c$	1	—
7	$M$	10	m

致实际位置与测量位置偏差越来越大。但利用改进算法，实际故障点与测量故障点的差值不超过 10 m，可以进行有效维修。

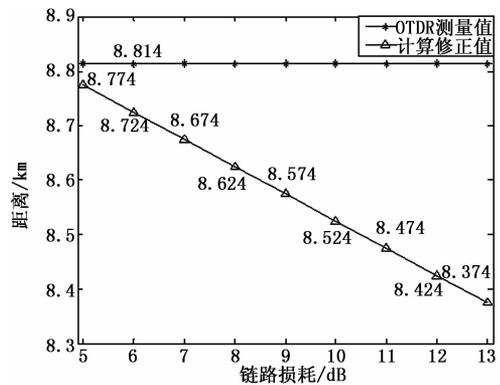


图 6 测量距离与修正距离随链路损耗的变化

### 4 结束语

本文设计的光纤故障监测系统利用光功率测试技术和 OTDR 技术，结合相应的软硬件建设，将光学测量、网络通信和软件开发集成于一体，通过对光功率值的定时监测预警光缆故障，发现故障后进行利用 OTDR 和相应软件进行故障精确定位并上报显示。该系统可靠性高，若单纯采用 OTDR 测量数据，测量故障点与实际故障位置的差值为 35 m，已无法实现有效维修，但是采用该算法对其总衰减进行排除筛选，可以计算出因维修而增加的光缆长度，将计算值与实际值的差值控制在 10 m 以内，在本文的实例中的差值为 8 m，在这样的情况下对故障点成功定位，可以进行快速抢修，而且实验结果表明，越是老化并经过修理的电缆本系统的优越性越明显，具有较好的应用价值。

### 参考文献：

[1] 张宝福, 赵继勇, 周 华. 光缆网工程设计与施工 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

[2] 郝高麟. 直埋式光缆故障的检测和排除 [J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2010, 6 (1): 45-48.

[3] Walt Soto. Optical testing for passive optical networks [C]. OFC/NFOEC, 2008, 7 (4): 1-3.

[4] 陈 彪, 张引发, 刘 涛. 基于光频域反射原理的 PON 监测方案研究 [J]. 光通信技术, 2012, 36 (6): 36-40.

[5] 陈春燕. 小波神经网络改进算法在故障诊断中的应用 [J]. 科技通报, 2012, 28 (10): 31-33.

[6] Juhee Park, Jinserk Baik, Changhee Lee. Fault-detection technique in a WEM-PON [J]. Optics Express, 2007, 15 (4): 1461-1466.

[7] Urban P. J. Drop-link monitoring in passive optical networks [C]. ICTON, 2012: 1-4.