

基于OTDR测量光缆事件与结果分析

戈西伟, 颜 硕, 霍爱国

中国人民解放军63726部队, 宁夏 银川

收稿日期: 2026年9月7日; 录用日期: 2026年10月6日; 发布日期: 2026年10月14日

摘 要

近年来随着信息技术的不断发展, 通信技术正经历着深刻的变革, 从网络升级、智能化应用等多方面呈现出显著的发展趋势, 可见通信技术正朝着更加高效、智能、广泛覆盖的方向迈进。这对我们的光缆线路传输提出了更高的要求, 光时域反射仪(OTDR)是光纤领域的关键测试工具, 在光缆线路施工、维护和测量中是必不可少的测试设备, 能够快速测量事件、准确判读分析事件、快速处理事件结果。本文主要从光时域反射仪(OTDR)的工作原理、基本参数设置, 结合自己多年的实际工作经验, 主要分析非反射事件、反射事件、增益、鬼影等测量事件的曲线特征, 对测试结果进行分析判定, 剖析事件产生原因, 给出处理建议, 为光缆线路维护人员的工作提供参考。

关键词

光时域反射仪(OTDR), 光缆测量, 事件分析

Analysis of Optical Cable Event Measurement and Results Based on OTDR

Xiwei Ge, Shuo Yan, Aiguo Huo

63726 Unit, Chinese People's Liberation Army, Yinchuan Ningxia

Received: September 7, 2026; accepted: October 6, 2026; published: October 14, 2026

Abstract

In recent years, with the continuous development of information technology, communication technology is undergoing profound changes. It shows remarkable development trends across multiple aspects, including network upgrading and intelligent application, and is moving toward higher-efficiency, intelligent and wide-coverage directions. This sets higher requirements for optical cable transmission. Optical Time-Domain Reflectometer (OTDR) is a vital testing instrument in the fiber-optics field. Indispensable in the construction, maintenance and measurement of optical cable lines,

it can rapidly measure events, accurately identify and analyze events, and rapidly process event results. Combined with practical working experience, this paper describes the working principle and basic parameter settings of OTDR, analyses curve characteristics of measured events including non-reflection events, reflections, gain events and ghost events, judges test results, explores root causes and proposes handling suggestions, so as to provide reference for optical-cable maintenance staff.

Keywords

Optical Time-Domain Reflectometer (OTDR), Optical Cable Measurement, Event Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

通信技术作为信息时代的核心驱动力之一，其发展历程见证了人类社会从传统通信向高速、智能通信的巨大转变。从早期的有线电话到如今的 5G 网络，通信技术的每一次突破都深刻地改变了人们的生活和工作方式。

21 世纪，人类社会已进入了信息社会，随着信息量的爆炸式发展，具有通信容量大、传输距离远等优点的光纤通信已成为现代通信的主要支柱之一，在现代电信网中起着举足轻重的作用。作为光纤通信载体的光缆的应用越来越广泛，敷设量也越来越大。随着光缆线路的大量敷设和使用，光缆线路的可靠性越来越受到人们的关注。光时域反射仪(OTDR)作为光纤线路测量的专用仪表，以其测试的非破坏性、直观、快速等优点逐步成为光缆线路施工、维护和测量中必不可少的测试设备[1]。

光时域反射仪(OTDR)是光缆线路维护工作中最重要也是使用率最高的测量仪表。它能将光纤链路的完好情况和故障状态，以曲线的形式清晰地显示出来。根据曲线上所反映的事件情况，能确定故障点的位置并判断障碍的性质及类别。本文将结合实际测量曲线总结测量过程中出现的常见事件，分析这些事件产生的原因，同时根据实际经验提出了这些事件改善的建议。

2. 光时域反射仪工作原理及测试参数设置

2.1. 光时域反射仪工作原理

光时域反射仪(OTDR)测试是通过发射光脉冲到光纤内，然后在光时反射仪(OTDR)端口接收返回的信息来进行分析。当光脉冲在光纤内传输时，由于光纤本身的性质，连接器，接合点，弯曲或其它类似的事件而产生散射，反射。其中一部分的散射和反射就会返回到光时域反射仪(OTDR)中。返回的有用信息由光时域反射仪(OTDR)的探测器来测量，它们就作为光纤内不同位置上的时间或曲线片断。从发射信号到返回信号所用的时间，再确定光在玻璃物质中的速度，就可以计算出距离。

光时域反射仪(OTDR)使用瑞利散射和菲涅尔反射来表征光纤的特性。瑞利散射是由于光信号沿着光纤产生无规律的散射而形成。光是域反射仪(OTDR)就测量回到激光器发射端口的一部分散射光，这些背向散射信号就表明了由光纤而导致的衰减(损耗/距离)程度。形成的轨迹是一条向下的曲线，它说明了背向散射的功率不断减小，这是由于经过一段距离的传输后发射和背向散射的信号都有所损耗所产生的[2]。

菲涅尔反射是离散的反射，它是由整条光纤中的个别点而引起的，这些点是由造成反向系数改变的因素组成，例如玻璃与空气的间隙。在这些点上，会有很强的背向散射光被反射回来。因此，光时域反射仪(OTDR)就是利用菲涅尔反射的信息来定位连接点、光纤终端或断点。

光时域反射仪(OTDR)的工作原理类似雷达工作原理。它先将光波注入光纤，然后观察从某一点上返回来的反射波。这个过程会重复地进行，然后将这些结果进行平均并以轨迹的形式来显示，这个轨迹就描绘了在整段光纤内信号的强弱(光纤的信号状态)。

2.2. 光时域反射仪测试参数设置

光时域反射仪(OTDR)测试光缆时有两种模式可选择，分别是自动模式和高级模式。自动模式是不需要设置参数的，开始测试后仪表会通过被测光缆的实际长度(一个预估值)，给该条光缆一个参数进行测试，该模式主要针对未知光缆距离情况下进行的测试模式。高级模式主要是针对已知光缆的长度，根据光缆的实际情况进行相应的参数设置，达到精确测试的效果。高级模式测试参数的设置项有测试距离、脉冲宽度和测试波长等。

(1) 测试距离

由于光纤制造本身原因，其折射率基本不变，这样光在光纤中的传播速度就不变，测试距离和时间就是一致的，实际上测试距离就是光在光纤中的传播速度乘上传播时间，对测试距离的选取就是对测试采样起始和终止时间的选取[3]。测量时选取适当的测试距离可以生成比较全面的轨迹图，对有效的分析光纤的特性有很好的帮助，在测试过程中，要设置整条光路长度的 1.5~2 倍之间最为合适。

(2) 脉冲宽度

脉冲宽度可以用时间表示，也可以用长度表示，在光功率大小恒定的情况下，脉冲宽度的大小直接影响着光的能量的大小，光脉冲越长光的能量就越大。同时脉冲宽度的大小也直接影响着测试死区的大小，也就决定了两个可辨别事件之间的最短距离，即分辨率。显然，脉冲宽度越小，分辨率越高，脉冲宽度越大测试距离越长。

(3) 测试波长

测试波长指光时域反射仪(OTDR)激光器发射的激光的波长，在长距离测试时，由于 1310 nm 损耗较大，激光器发出的激光脉冲在待测光纤的末端会变得很微弱，这样受噪声影响较大，形成的轨迹图就不理想，宜采用 1550 nm 作为测试波长。所以在长距离测试的时候适合选取 1550 nm 作为测试波长，而普通的短距离测试选取 1310 nm 也可以。

(4) 平均值

为了在光时域反射仪(OTDR)中形成良好的显示图样，根据用户需要，动态地或非动态地显示光纤状况而设定的参数。由于测试中受噪声的影响，光纤中某一点的瑞利散射功率是一个随机过程，要确知该点的一般情况，减少接收器固有的随机噪声的影响，要求其某一段测试时间的平均值。根据需要设定该值，如果要求实时掌握光纤的情况，那么就需要设定时间为实时。

3. 测量中注意事项及标准曲线示例

在实际值班值勤工作中，我们经常会遇到光缆业务的处理，通常情况下可分为光缆开通使用、故障处理和检查维护等业务。在处理业务中使用的仪器仪表也各不相同，主要体现在不同厂家不同型号和同厂家不同型号等。本文示例的 OTDR 型号是 KD1000，如图 1。该仪表是上级单位配发给下属各通信单位的，在实际使用中该仪表测试结果准确，操作简单快捷，具有良好的便携性，可与电脑连接，保存测试曲线结果直观，同时便于数据结果打印。



Figure 1. KD1000 OTDR tester
图 1. KD1000 型 OTDR 测试仪

3.1. 测量中注意事项

在使用光时域反射仪(OTDR)对光纤进行测量时[4], 应注意: 一是对光纤接头的端面进行清洁, 主要是使用脱脂酒精棉擦拭; 二是使用尾纤连接光时域反射仪(OTDR)和光配时, 要对准接头卡口, 顺时针拧紧, 确保光纤接口连接紧密; 三是在使用光时域反射仪(OTDR)进行光缆测试时, 尽量避免测试在用纤芯, 如果确实需要测试在用纤芯, 必须先拔掉对端连接传输设备的光板尾纤, 避免光时域反射仪(OTDR)发出的光被光板接收, 损坏光模块; 四是禁止眼睛直视工作中的光时域反射仪(OTDR)光模块, 避免对眼睛造成伤害; 五是注意尾纤的弯曲情况, 尽量减小弯曲半径, 以免影响测试结果。

3.2. 测量结果标准曲线示例

质量较好的光缆的测量结果是一条毛刺非常少的较平滑的曲线, 本文首先给出这样的一条曲线, 如图 2 所示, 作为其他曲线的参考。通过该曲线信息可以看出被测光缆的长度 14.5 km 和反射功率 12 dB, 曲线中间没有反射事件点, 证明该条光缆性能指标比较良好。

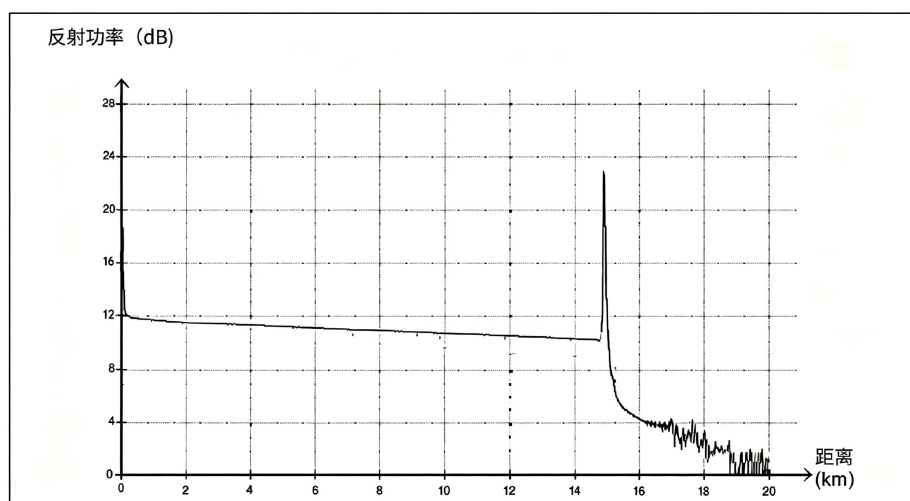


Figure 2. Measurement result of good optical fiber
图 2. 较好光纤的测量结果

4. 光缆测量中的事件分析

测量结果中常见的事件有: 连续光纤、非反射事件、反射事件、增益事件、“鬼影”事件等, 下面将分类进行介绍。

4.1. 连续光纤

此类曲线结果的特点是没有出现应有的结束标志，曲线信息突然截止，导致测试结果不完全。如图 3 所示：

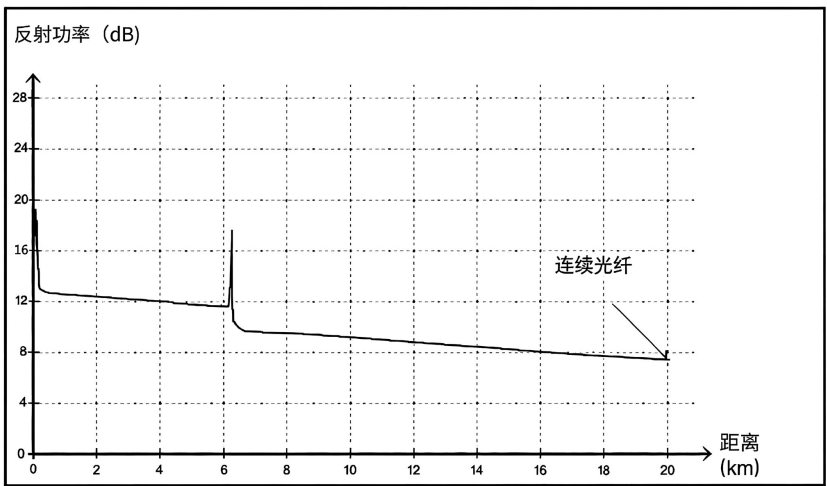


Figure 3. Continuous optical fiber
图 3. 连续光纤

原因剖析：此事件表明选定的取样范围短于光纤实际的长度。未检测到光纤末端，因此分析过程在尚未到达光纤末端时已结束。

解决办法：这类事件产生原因是由于光时域反射仪(OTDR)的设置错误，这里应增大取样的距离范围，使其值大于光纤长度。如果不知道光缆距离的情况下，可以尽量往大的距离设置，待到测试结果出来后，再根据光缆长度精确设置各项参数，进行重新测试。

4.2. 非反射事件

曲线特点是瑞利背向散射信号强度突然降低，表现为曲线信号向下的斜线上出现间断。如图 4 所示：

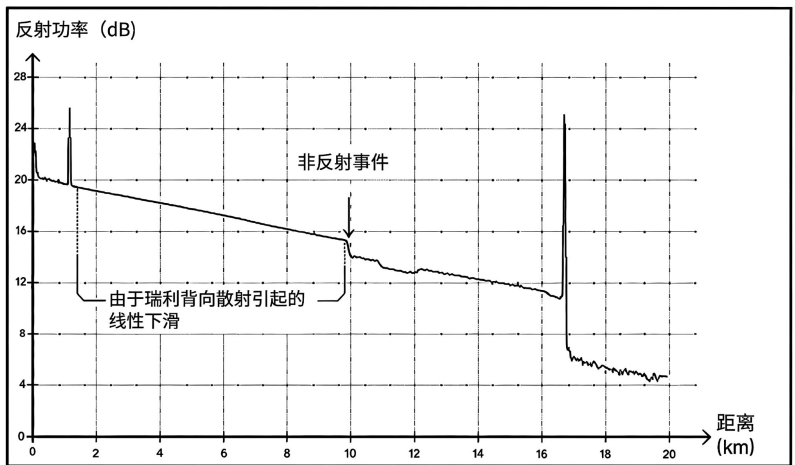


Figure 4. Examples of non-reflective events
图 4. 非反射事件示例

原因剖析：此事件通常由光纤中的熔接点、宏弯或微弯造成。

解决办法：这类事件可以根据事件发生位置的衰耗值初步判断故障原因，然后进行处理。如果衰耗值小于 0.2 dB，则可以忽略，规范要求熔接点双向平均衰耗值不大于 0.08 dB。如果衰耗值在 0.2~0.3 dB，应该考虑事件出现位置两边光缆的模场直径是否匹配，如果模场直径失配，会产生这样的结果。如果衰耗值超过 0.4 dB，多数是有应力作用在光纤上，造成光缆衰耗变大。如果衰耗值大于 1.0 dB，多数属于断纤或者光纤严重受力。光缆敷设过程中应留出适当冗余，以减少这一类事件的发生。

4.3. 反射事件

曲线特点为反射事件显示为光纤曲线中的尖峰。如图 5 所示：

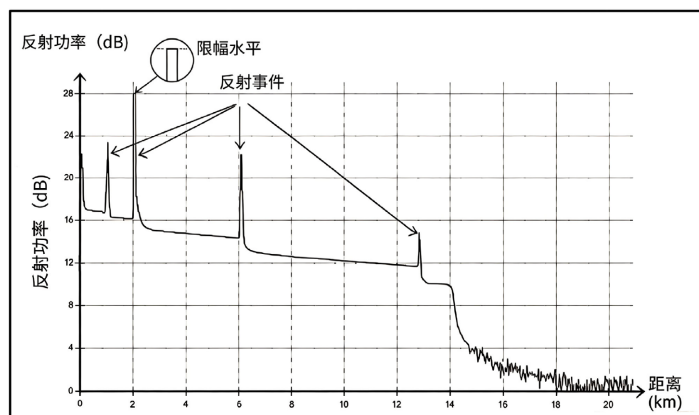


Figure 5. Examples of reflective events

图 5. 反射事件示例

原因剖析：它们是由折射率的突变形成，反射事件致使很大一部分原本发射至光纤的能量被反射回光源处。如果出现反射事件，则表示可能存在连接器或机械熔接点，甚至存在劣质熔接点或断裂处。

解决办法：如果熔接点质量较差，则需要重新进行熔接。

4.4. 增益事件

曲线特点：增益事件在曲线中显示为曲线产生一定距离的持续增益。如图 6 所示：

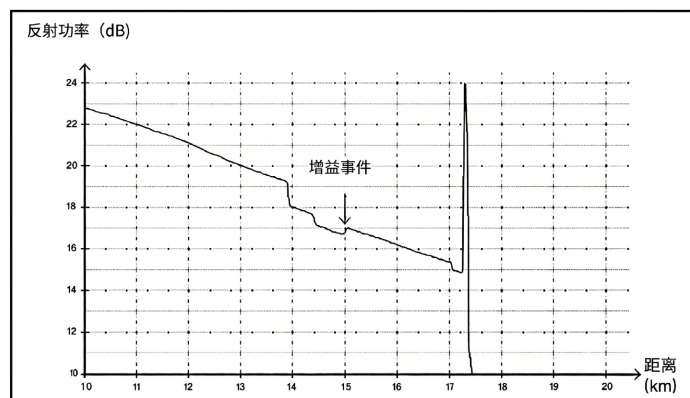


Figure 6. Examples of gain events

图 6. 增益事件示例

原因剖析：此事件指出了具有明显增益现象的熔接点，这是由于连接两段反向散射特性(反向散射和反向散射捕获系数)不同的光纤所致。

解决办法：必须进行双向光纤测量和双向分析，才能测出实际损耗。在实际的光缆维护中，也可采用小于等于 0.08 dB 即为合格的简单原则处理。

4.5. “鬼影”事件

曲线特点：“鬼影”事件表现在曲线上：曲线在鬼影处未引起明显损耗，沿曲线鬼影与始端的距离是强反射事件与始端距离的倍数，成对称状。如图 7 所示：

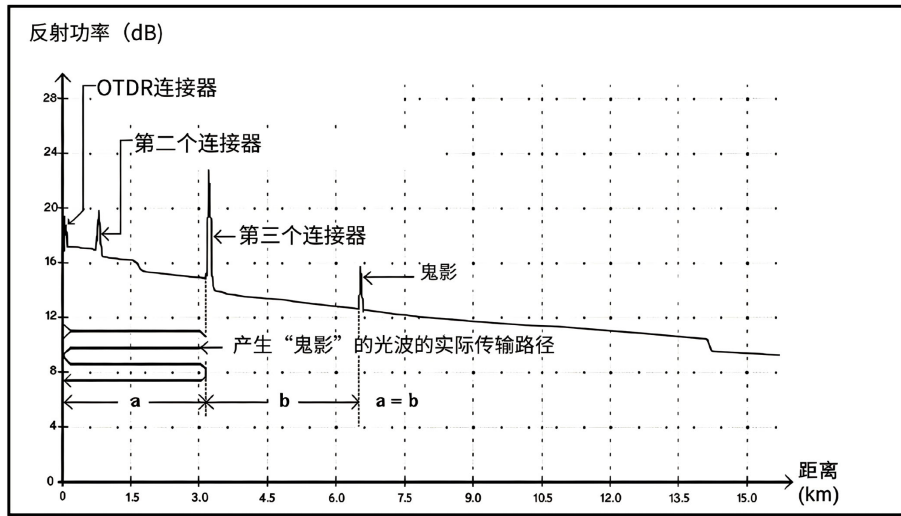


Figure 7. Examples of ghost events
图 7. “鬼影”事件示例

原因剖析：发射的脉冲击中第三个连接器，被反射回 OTDR 并再次反射进入光纤。随后再次到达第三个连接器，并再次反射回 OTDR。因此，应用程序将在第三个连接器两倍距离处检测到反射事件。此“鬼影”位置的损耗几乎为零。

解决办法：由 OTDR 的原理中距离测量公式为：

$$d = (c * t) / 2(IOR)$$

公式里， c 是光在真空中的速度， t 是信号发射后到接收到信号的总时间，IOR 是光纤生产商给定的折射率。

公式中，只有 t 是变量，因此 OTDR 实际上是根据测量时间而确定距离的。

如图 7 中所示，第二次反射光波的实际传输距离 = $4a$ ，测量到的第三个连接器第一次反射的反射光传输距离 = $2a$ ，因此“鬼影”被 OTDR 反映在了 $a + b(a = b)$ 的位置[5]。

消除鬼影的方法：选择短脉冲宽度、在强反射前端增加衰减。

5. 结束语

本文介绍了光缆测量仪表光时域反射仪(OTDR)的工作原理和操作使用，同时给出了光时域反射仪(OTDR)使用中的注意事项，以及怎样能够准确的测量光缆的方法。同时，针对使用光时域反射仪(OTDR)对光缆的测量曲线结果进行分析，总结了常见事件的曲线特点，并且给出相应的测试示例，阐明了各种

事件的产生原因以及解决办法；针对原理比较复杂的“鬼影”事件，利用曲线信息给出了直观的解释。本文主要是结合工作实际，总结了值勤的经验和个人处理业务的观点与处理方法，对光缆维护人员日常值班值勤工作有较好的指导和参考意义。

参考文献

- [1] 王志华. 光纤测试常见问题的剖析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2010, 7(3): 92-93.
- [2] 王鹏飞, 沈松, 朱飞, 邢剑锋. OTDR 中参数设置对测量结果的影响[J]. 中国有线电视, 2011(2): 141-143.
- [3] 李力. 光缆施工在 OTDR 光纤测试法中的应用探讨[J]. 无线互联科技, 2016, 13(15): 16-17.
- [4] 江丽, 刘志斌. 一种基于 OTDR 的快速光纤检测系统的设计[J]. 电子设计工程, 2016, 24(10): 139-141.
- [5] 田国栋. 基于 OTDR 技术的光纤测试方法探讨[J]. 现代电子技术, 2009, 32(19): 99-101.