

# 二级光纤测试答疑篇

上海朗坤 潘凯恩

## 光纤测试中的执行哪些测试内容？

对于综合布线系统中的光缆，虽然影响光纤传输质量的因素众多，但在实际网络测试中，光纤的测试内容相对于双绞线来说，简化了许多。GB50312-2007 标准中，对于光纤的测试，仅要求依据不同波长给出衰减和长度两项参数。

而国际上，即便是在 TIA TSB-140 被纳入 ANSI/TIA-568-C.0 和 C.1 后，对于光纤的测试，也只是将二级测试作为可选测试，并非强制测试内容。光纤测试等级在 TSB-140 中做了如下定义：

**一级测试**，主要用于确保高质量的网络性能和完整性。一级测试包括：

- 验证电缆长度
- 验证极性
- 测量整个光纤链路的衰减，以确保它是小于指定的损耗

一级测试所有三个测试内容都可以借助光损耗测试装置（OLTS- Optical Loss Test Set）完成，当然不是所有的 OLTS 仪器有具备测试长度的能力。虽然有时通过线缆护套上标记的数字也可以推断线缆长度，但是实际数字不一定准确，建议进行一级测试时，同时测量长度，这样可以很好的避免由于使用光纤长度超长或者由于计算不准确导致的衰减测试结果判断无效。

**二级测试**，即光时域反射计（OTDR- Optical Time Domain Reflectometer），虽然根据 TIA-568-C.0 标准，这一级别测试属于可选测试，但在实际测试中还是强烈推荐执行二级测试。因为它可以通过衰减检测，插入损耗，连接器反射，熔接点位置，意外损耗时间等测试，提供一个深入检查光纤情况，判断安装质量的途径，而这些在 OLTS 测试中是无法获得的。

## 光纤测试中的二级测试是什么？

二级测试一般采用 OTDR(Optical Time Domain Reflectometer)进行测试。OTDR 仪器主要用于测试整条光纤链路的衰减，并提供基于长度的衰减细节和基于事件光缆故障原因，可以用作检测、定位和测量光纤链路上任何位置的事件(事件一般指因光纤链路中的熔接点、连接器、弯曲等形成的光纤缺陷)。

OTDR 之所以可以用于测试光纤，使用了两种基本原理，瑞利散射和菲涅尔反射。瑞利散射定义为光传输时遇到光纤本身的缺陷和掺杂成分的变化，光脉冲会发生瑞利散射。一部分光(大约有 0.0001%)沿脉冲相反的方向被散射回来，因而被称为瑞利逆向散射，后向散射光提供了与长度有关的衰减细节。瑞利散射的能量大小与波长的四次方的倒数成正比。所以波长越短散射越强，波长越长散射越弱，在光纤测试时，1310 波长的散射要由于 1550 波长的光纤。

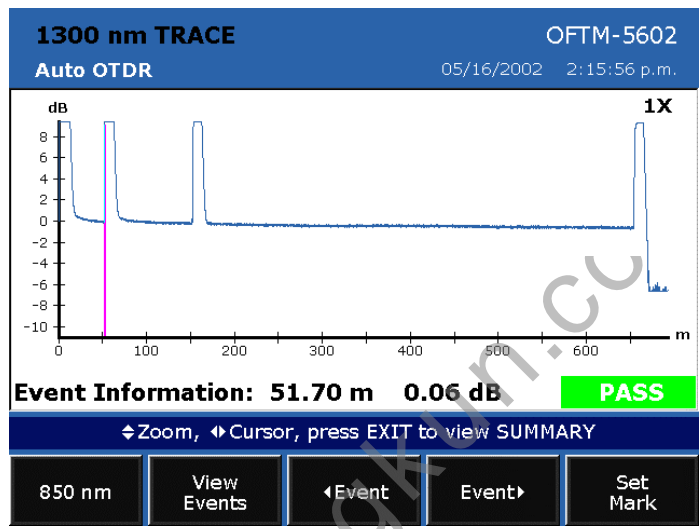
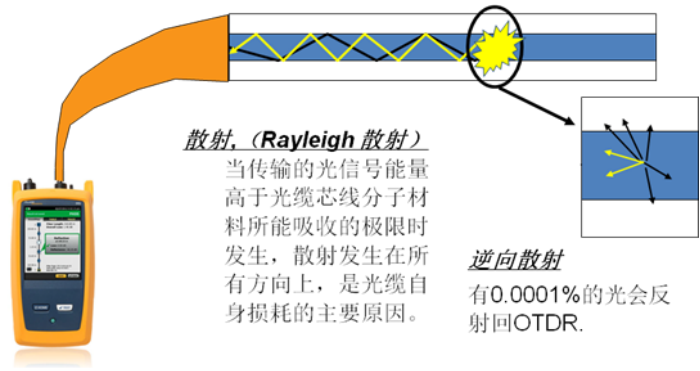
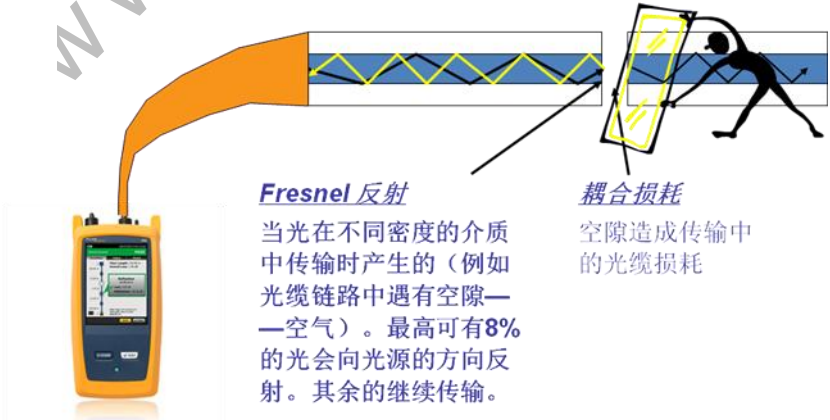


图 瑞利逆向散射

菲涅尔反射则定义为在不同折射率的两种传输介质的边界处(如连接器、机械接续、断裂或光纤终结处)会发生菲涅尔反射, 此现象被 OTDR 用于准确确定沿光纤长度上不连续点的位置。反射的大小依赖于边界表面的平整度及折射率差, 由于连接器属于对位连接, 本身在连接时存在比较大的折射率差, 因而在 OTDR 追踪图中会显示为非常大的突变。



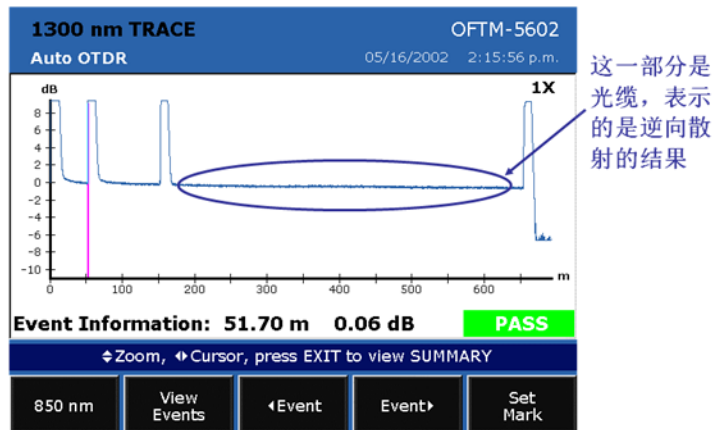


图 菲涅尔发射在 OTDR 测试仪上的显示

光纤测试中的二级测试可以用来解决何种问题？

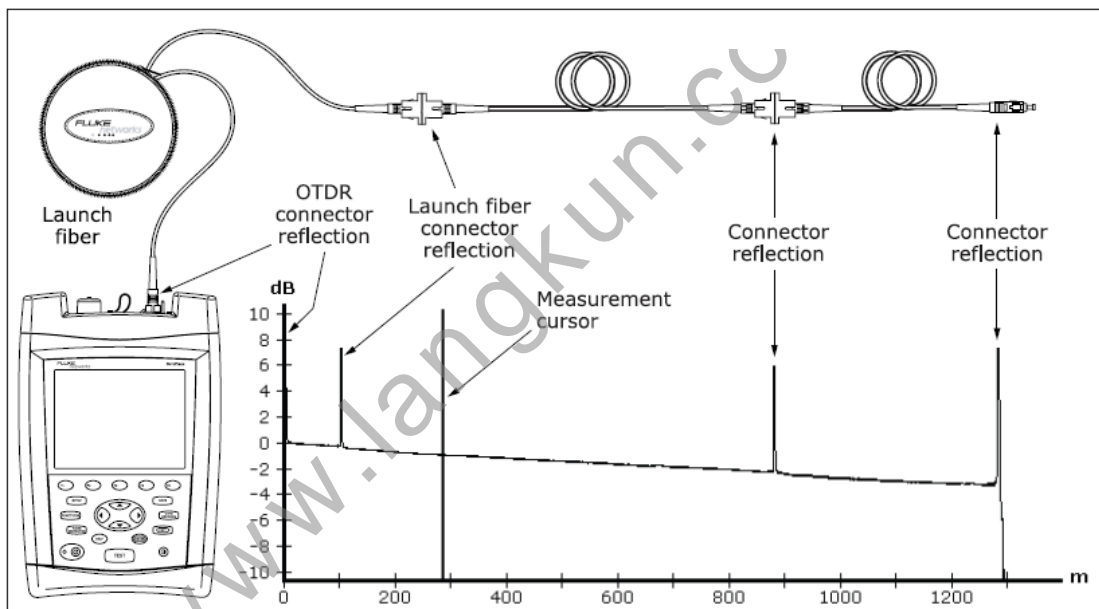


图 OTDR Trace曲线图

使用OTDR测试仪，对于光纤链路中存在的各类事件进行测试和定位，如衰减、损耗、增益、熔接等等进行测量，大致可分为三类：

- 事件测试：距离，损耗，反射
- 光纤段：段长度，段损耗dB或损耗系数dB/Km，段回波损耗(ORL)
- 整个链路：总链路长度，总链路损耗dB，总链路ORL

使用时，一般进行单端测试，另一端必须没有光发射信号，以免造成测试仪损坏或影响测试结果，一般测试步骤分为：参数设置、测试和曲线结果分析。

**OTDR 测试中最远测试距离的计算？**

OTDR 原理相对于 OLTS 一级测试要复杂很多，且测试使用上有很多限制，但光纤网络的大量出现，光纤引起的故障也愈来愈多，有必要对光纤故障诊断中最为广泛使用的 OTDR 测试方式做更深一步的介绍。

OTDR 通过来回反射的原理进行长度的计算，在发送端统计发出光信号到返回光信号的时间，就可以计算出光纤长度 L（单位为米 m），如以下公式所示。其中 c 为光在光纤中传输的速度， $\Delta t$  为传输往返的时间，IOR 为平均折射率

$$L = \frac{c \times \Delta t}{2 \text{IOR}} = \frac{3 \times 10^8 \times \Delta t}{2 \text{IOR}}$$

OTDR 的测试曲线会向下倾斜，原因是由于瑞利散射随着距离的增加发射回来的能量越来越弱，而伴随着距离的增加，总损耗也会不断增加。在测试中我们经常会运用标记的方式来测量分段距离上的损耗，而将损耗除以长度，就得到了平均损耗（dB/Km），如下图所示平均损耗系数为 0.3dB/km。

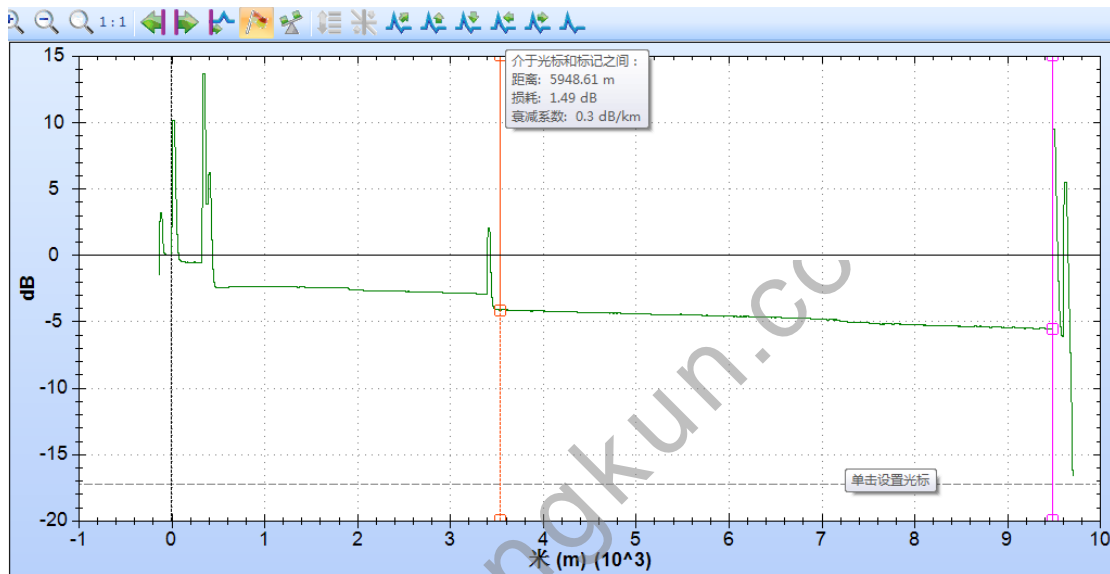


图 福禄克 Linkware 软件 Trace 图中经过修正后得出的衰减系数  
一般衰减系数可以通过以下公式获得

$$A_f = \frac{|P_2 - P_1|}{L}$$

其中  $A_f$  为衰减系数， $P_2$  是第二个标记， $P_1$  为第一个标记。

如果长度为 L 公里，那么光纤自身总的衰减值为  $A=aL$ 。对于单模光纤，按照 0.2dB/km 的衰减系数计算，若经过一个光纤系统输出功率为 +3dBm，其接收端的接收灵敏度若为 -22dBm，则放大增益为 25dB，除以衰减系数，理论传输距离为  $25/0.2=125$  公里，考虑实际链路中存在的其他衰减因素，实际距离肯定要小于这一距离。

那么对于 OTDR 测试仪，最远的测试距离如何确定的呢，

$$L_o = (P - AC - MC - Ma) / (A_f + A_s)$$

其中：

$L_o$ ：OTDR 测试仪监测最大长度

P：OTDR 测试仪的动态范围

Ac：介入损耗，指 OTDR、光器件、滤波器、机械接头等设备的介入损耗的总和。

Mc: 光缆线路富余度(dB)。

Ma: 测试精度富余度(dB)。

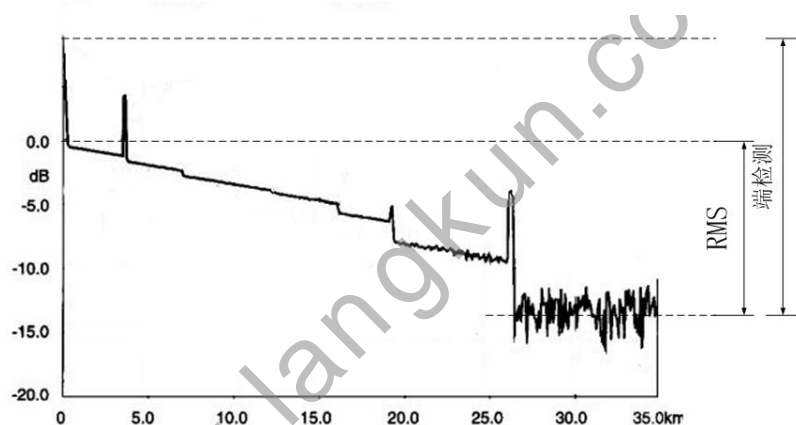
Af: 光缆平均衰减系数(dB/km)。

As: 光熔接接头平均衰减系统(dB/km)。

注: 对于光缆监测距离的计算, 需要先以各项目数据代入公式计算, 再根据工程情况加以一定经验修正, 弥补理想情况与实际情况的差距。

### 什么是 OTDR 测试中的动态范围:

对同样性能 OTDR, 由于动态范围定义不同, 实际值也不同, 动态范围直接决定了 OTDR 的最远测试距离, 当然光器件的介入损耗、光缆的传输损耗、光纤接头(机械接头、熔接接头)的损耗等因素也会决定 OTDR 的最远测试距离, 当选择 OTDR 测试工具时, 需要清楚动态范围值是以哪种定义给出的。最常用的 RMS 取值方式(SNR=1), 一般取起始端反向散射能量与 RMS 均方根噪声值间的 dB 差作为动态范围的值。当然如果以端检测的话, 即取值始端的 4% 的菲涅耳反射峰与 RMS 均方根噪声值间的 dB 差作为动态范围, 那么端检测计算方式下的 OTDR 动态范围在同等条件下就会高于常用的取值方式。



### 手动测试模式时需要设置哪些参数?

在使用时, OTDR 设备有两种模式: 自动测试模式和手动测试模式, 两者区别在于自动测试模式会自动选择测试量程、分辨率、脉冲宽度、光纤折射率、平均时间等, 而手动测试在精确测量时具有其独特优势, 能够更为准确的反应被测光纤情况。

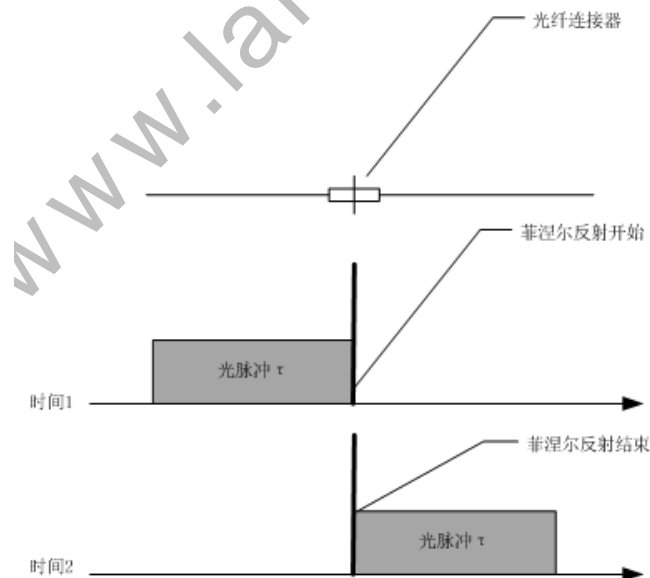


图 福禄克 OptiFiber Pro 手动 OTDR 配置界面

#### 什么是 OTDR 测试中的测试量程:

测试量程是 Trace 曲线图上显示的最大距离，如果测试时曲线图没有显示末端时间，那么需要将测试量程设为下一个更大的长度，在手动测试时，选择距离一般是实际距离的 1.5-2 倍，合适的测试量程有利于后续分析时获得良好的可视性，既可以看到被测链路的情况，也可以看到噪声部分。

#### 什么是 OTDR 测试中的脉冲宽度:



脉冲宽度表示一般用时间表示，如 850 nm 波长时：3、5、20、40、200 ns；1300 nm 波长时：3、5、20、40、200、1000 ns；单模时：3、10、30、100、300、1000 ns 3000、10000、20000 ns。在 OTDR 光源功率恒定的情况下，脉冲宽度越长，即时间取值越大，那么光能量也越强，当经过连接器时，形成的菲涅尔反射能量也越大，在连接器的位置，反向瑞利散射被淹没在菲涅尔发射信号中，在光脉冲 $\tau$  的范围内，如果出现相邻的事件（连接器或熔接等），那么将很难被发现，因此相应的事件死区以及衰减死区也越大。

在测试时需要选择合适的脉冲宽度，选择原则是长距离高脉宽，高分辨低脉宽。低脉宽有利于详细观察反射事件附近的情况，如是否存在隐藏事件。当然过小的脉冲宽度，虽然可以缩短盲区的范围，但反向瑞利散射也会相应变弱，导致 Trace 曲线不稳定，在衰减判别时引入误差。同时由于反向散射微弱，测试距离也会变短，同时在分析时常常会受到背景噪声的影响，使得结果判断分析时难度增加，一些小的损耗事件如光缆宏弯曲等往往被隐藏在噪声中。而选择大的脉冲宽度，可以提高反向散射水平，对于非反射事件可以提供良好的信噪比，帮助分析小的损耗事件并精确测量，但增加脉宽也会增加判断时的盲区，使得反射事件后的某段距离内的事件被隐藏。

因此在测试时，可以选择自动测试，由软件来决定适当的脉冲宽度，而对使用要求较高的场合，必须手动设置时，可以预测试多次后，从中确定一个最佳值。也可以通过双向测试或多次测试取平均值，克服盲区产生的影响。

### 什么是 OTDR 测试中的平均时间

采用 OTDR 测试方法进行测试时，采取的原理是光源发射测试脉冲，然后反向接收发射信号，而反向瑞利散射自身信号非常弱小，容易受到环境和接收器噪声的影响，故测试时往往采样多次测试结果取平均的方式进行结果展示，而平均时间就是测试仪用于测量和统计这些测量数据所耗费的时间。平均时间一般可以选择自动模式，由仪器决定以最小的测试时间获得较好的测试结果视图，但为了适应测试现场的实际情况，我们一般需要进行手动设置，测试时间越长，测试 Trace 曲线中随机噪声就越精确，这就增加了实际可用的动态范围和损耗事件判定的精度，可以观察到小的事件，如熔接，弯曲事件等。但测试耗费时间和效率也是实际必须考虑的问题，所以一般我们选择 90-180 秒的平均时间大小，以达到相对比较理想的测试结果。

### 什么是 OTDR 测试中的光纤折射率



单模光纤的折射率大约在 1.4—1.6 之间，现在使用的单模光纤的折射率基本在 1.4600~1.4800 范围内，折射率会直接影响到 OTDR 测试的定位精度，如以下公式，如实际折射率为 1.466，如果设置成 1.465，折射率每相差 0.001，每公里可引起 0.68 米的误差，10 公里的光纤误差就可以达到 6.8 米。



$$L_0 - L_1 = L_0 \times \frac{(n_0 - n_1)}{n_1}$$

其中 $L_0$ 为实际长度， $L_1$ 为测试长度， $n_0$ 为实际折射率， $n_1$ 为测试折射率

### 什么是 OTDR 测试中的反向散射系数、反射和 ORL

反向散射系数--测试仪使用此值计算 OTDR 测试的事件反射和链路的总体 ORL。每个光纤类型均有其厂商指定值。

反射指高出反向散射水平的部分相对于源光脉冲的比值，单位为 dB，通常为负数，越接近 0 代表反射越大（质量差的连接器）。

Return Loss 回波损耗或者 ORL 光回波损耗区别于发射，是指包含了反向散射和反射部分水平相对于光脉冲的比值，单位同样为 dB，通常也为负数，越接近 0 代表反射越大。

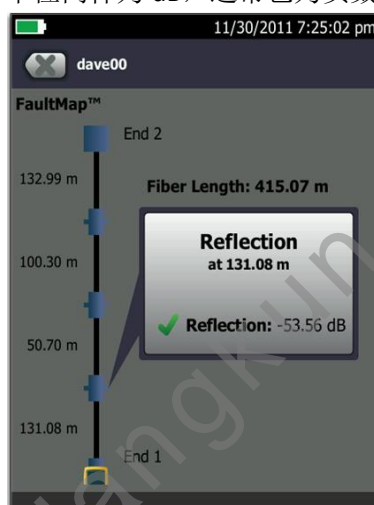


图 福禄克 OptiFiber Pro 反射测试结果

为了方便理解，以下列举一些典型的反射值：

光纤终端（剖面良好）： -14 dB

良好的多模 PC 连接器： -35 dB 或更小

良好的单模 PC 连接器： -50 dB 或更小

良好的 APC 连接器： -60 dB 或更小

良好的熔接点： -60 dB 或更小

OM2-OM4 光纤的标准反向散射： 850 nm： -68 dB ； 1300 nm： -76 dB ；

OS1-OS2 光纤的标准反向散射： 1310 nm： -79 dB ； 1550 nm： -82 dB ；

### 什么是 OTDR 测试中的测试波长

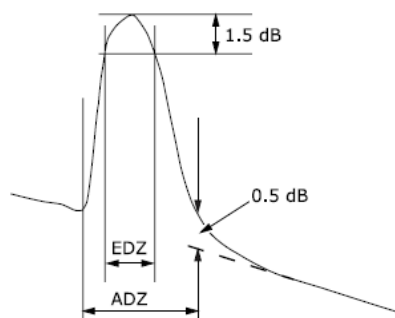
在 OTDR 测试时，通常使用的波长包括 850nm，1300nm，1310nm 以及 1550nm 的测试光脉冲，反向散射随着波长的增加而减小。波长短时，在被测光缆近处，反向瑞利散射相对大一些，成形的 Trace 曲线容易识别，而当距离较远时，稍短波长如 1310nm 的反向瑞利散射较长波长如 1550nm 的弱，成形的 Trace 曲线也要差一些。因此在使用 OTDR 测试时，对于距离较长单模光纤，可采用 1550nm 的测试波长进行测试，并且由于 1550nm 波长测试时，对光纤中的宏弯曲会比较敏感，可以通过不同波长下的测试结果做比对，如 1550nm 测试时



存在损耗事件，而 1310nm 测试时不明显，那么可以以此判断光纤中事件位置发生了宏弯曲。而测试时如果需要获得更好的图形曲线，可以采用稍小一些的测试波长 1310nm 进行测试。

### 什么是 OTDR 测试中的盲区

“盲区”又称“死区”，通过菲涅尔反射原理进行测试时，在一定的距离范围内 OTDR 曲线无法反映光纤状态的部分。出现此现象的原因是光纤链路上菲涅尔反射强信号使得高敏探测器饱和，从而需要一定的恢复时间。一般在两个连接器非常接近时，容易产生死区。EDZ：事件死区。ADZ：衰减死区。EDZ 仅对 Fresnel（非饱和）反射有效。



www.langkun.cc