

OTDR基础知识

光业务部门产品专家Jimmy Gagnon

为确保服务质量 (QoS)，网络组建商、服务提供商和运营商需要精确地定位现有和潜在的问题，这就使测试和测量设备变得至关重要。目前有多种测试工具，可满足不同网络阶段（如光纤调试）的各种测试需要。此类测试用来揭示总损耗、光回损 (ORL) 和光纤长度，可在一条光纤上进行，也可以在整个网络上进行。此外，还可能更需要仔细地检查组成被测链路的各种元素。无论是鉴定链路的每个组成部分，还是精确定位光纤的潜在问题，亦或是查找网络故障，都不可避免地要使用光时域反射仪 (OTDR)——从光纤网络调试到故障诊断和维护，OTDR都是首选的测试工具。本文将探讨OTDR的基础原理，这对于了解该仪表的规格非常关键。

什么是OTDR?

基础知识

OTDR将激光光源和检测器结合起来，以提供光纤链路的内部情况。激光光源发送信号到光纤内，检测器在光纤中接收不同链路元素反射的光。然后根据所接收的信号生成一个曲线图，并生成一个后期分析事件表，包含每个被识别出来的网元详细信息。被发送的信号是短脉冲，携带一定的能量。然后，时钟会精确计算脉冲的传输时间，并将时间转换为距离——从而显示光纤的特性。在脉冲沿着光纤传输时，由于连接和光纤本身的反射，一小部分脉冲能量会返回到检测器。当脉冲完全返回到检测器时，会发送另一个脉冲——直到数据采集时间结束。因此，会在一秒的时间内进行多次数据采集并计算其平均值，从而清晰地显示链路组成部分的情况。在数据采集完成后，会进行信号处理，除了计算总链路长度、总链路损耗、光回损、光纤衰减外，还计算每个事件的距离、损耗和反射。使用OTDR的主要优势在于可实现单端测试——只需要一位操作人员和一台仪表来鉴定链路或查找网络故障。图1显示了OTDR的框图。

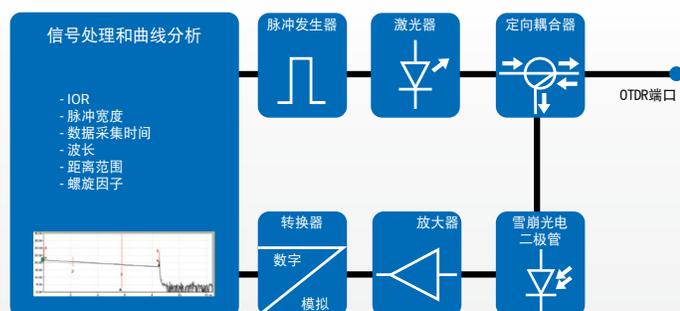


图1: OTDR框图

反射非常关键

如前文所述，OTDR通过读取从所发送脉冲返回的光的级别来显示链路情况。请注意，有两种级别的反射光：被称为“瑞利背向散射”、由光纤造成的稳定低级别反射光和被称为“菲涅尔反射”的连接点高反射峰值。瑞利背向散射用于计算光纤内随着距离而变化的衰减水平（单位为dB/km），在OTDR曲线内由直线斜率表示。这种现象来源于光纤内杂质对光线的自然反射和吸收。碰到光线时，有些颗粒会将光线反射到不同的方向，造成信号衰减和背向散射。波长越长，信号衰减越少，因此，信号在标准光纤内传输同样距离需要的功率越小。图2显示了瑞利背向散射。

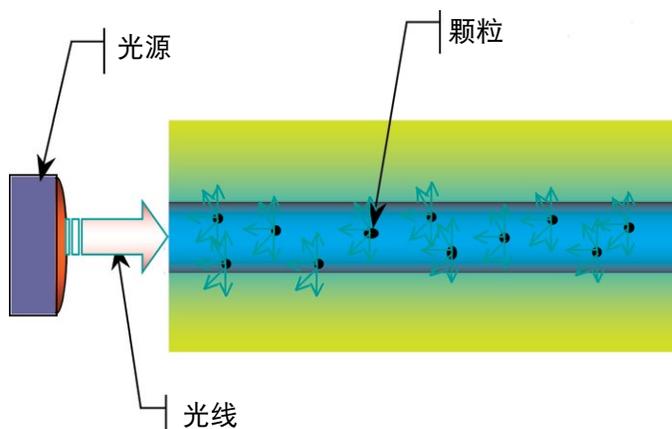


图2: 瑞利背向散射

瑞利背向散射通过信号水平的突然降低来检测物理非反射事件。可以看到，向下倾斜的曲线信号斜面上有间断处。此事件通常由光纤中的熔接、宏弯或微弯造成。要正确区分光纤里的物理弯曲和熔接，就需要进行双波长测试。宏弯通常会在较高的波长上显示出更高的损耗，而熔接造成的损耗几乎不受波长影响。图3显示的是不同非反射事件的双波长测试曲线。

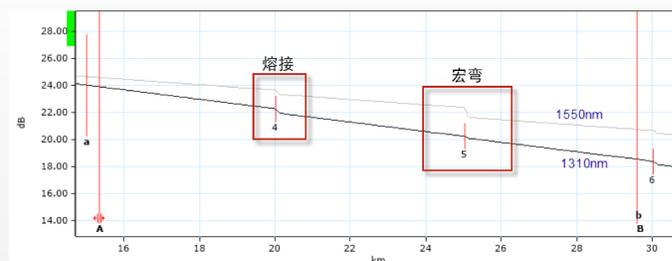


图3: 熔接（事件4）和宏弯（事件5）出现瑞利背向散射下降

OTDR利用的第二种反射是菲涅尔反射，可检测整个链路上的物理事件。当光线的反射率剧烈改变时（如从玻璃进入空气中），较多的光线会被反射回去，造成菲涅尔反射，它可能比瑞利背向散射强数千倍。菲涅尔反射在OTDR曲线中表示为尖状突起。此类反射的例子包括连接器、机械熔接、法兰盘、光纤断裂或连接器断开。图4显示了造成菲涅尔反射的不同连接。



图4: (1)机械熔接、(2)法兰盘和(3)裂开的连接造成的菲涅尔反射

什么是盲区?

菲涅尔反射导致了一个重要的OTDR参数，该参数被称为“盲区”。有两种盲区：事件盲区和衰减盲区。两者都由菲涅尔反射引起，并以距离（单位为米）来表示，因反射的功率不同而变化。盲区被定义为检测器暂时被大量的反射光致盲，直至恢复正常并能够再次读取光信号之间的时间长度。设想一下，您在夜晚开车，同对面的来车相遇时，眼睛会短时间失明。在OTDR领域，时间被转化为距离。因此，反射的光线越多，检测器需要恢复的时间越长，造成盲区越长。大多数制造商规定了在采用最短的可用脉冲宽度、单模光纤反射为-45 dB而多模光纤反射为-35 dB时的盲区。因为这个原因，仔细阅读规格表的脚注非常重要，因为制造商会使用不同的测试条件来测量盲区。尤其需要注意脉冲宽度和反射值。例如，-55 dB的单模光纤反射实现的盲区要短于-45 dB反射所实现的盲区，这是因为-55 dB是较低的反射，因此检测器会恢复得较快。此外，用不同的方法来计算距离，得出的盲区也会比实际水平低。

事件盲区

事件盲区是在出现菲涅尔反射后OTDR能够检测到另一个事件的最小距离。换言之，它是在两个反射性事件之间所需的最小光纤长度。还是用上述开车的例子，在您的眼睛被对面来的车短时致盲之后，过了几秒，您可以看见路上的物体，但不能准确识别它。在OTDR中，可检测到连续事件，但无法测量损耗（如图5所示）。OTDR将连续的事件合并，然后给所有的合并事件返回一个总反射和损耗。为了制定规范，最常用的业内方法是从反射峰值的每一侧-1.5 dB处测量距离（如图6所示）。还可以使用另一种方法，该方法测量从事件开始处直至反射级别从峰值降至-1.5 dB之间的距离。这种方法会返回较长的盲区，因此制造商不经常使用。

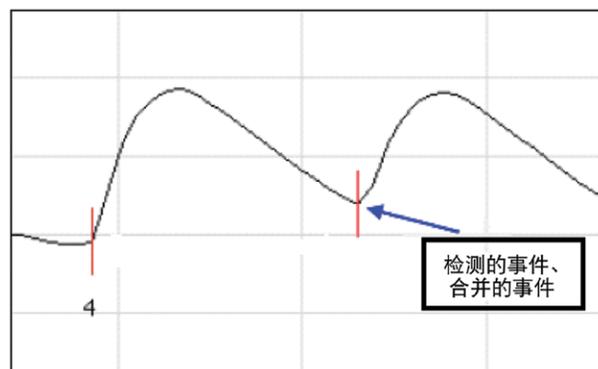


图5: 合并长盲区事件

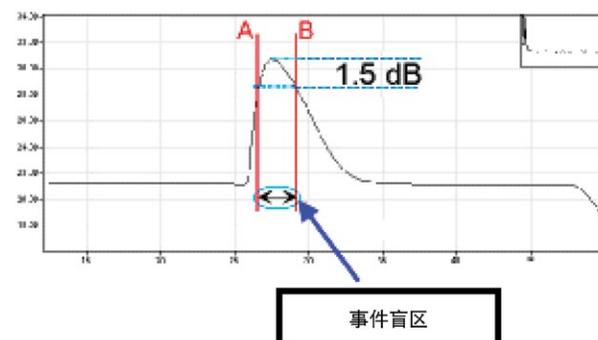


图6: 测量事件盲区

获得尽可能短的事件盲区非常重要，因为这可以使OTDR能够检测到链路中相距很近的事件。例如，驻地网中的测量需要OTDR具有短事件盲区，因为连接各个数据中心的光纤跳接线非常短。如果盲区太长，有些连接器可能会被漏掉，不被技术人员识别出来，从而使定位潜在问题更加困难。

衰减盲区

衰减盲区是在出现菲涅尔反射后OTDR能够精确测量连续事件损耗的最小距离。还是用上面开车的例子来说，过了较长的一段时间后，您的眼睛会充分恢复，可以辨认并分析路上物体的属性。如图7所示，检测器有足够的时间来恢复，这样，它就可以检测和测量连续事件损耗。所需要最短距离从反射事件开始处开始测量，直至反射回到比光纤的背向散射级别高0.5dB（如图8所示）。

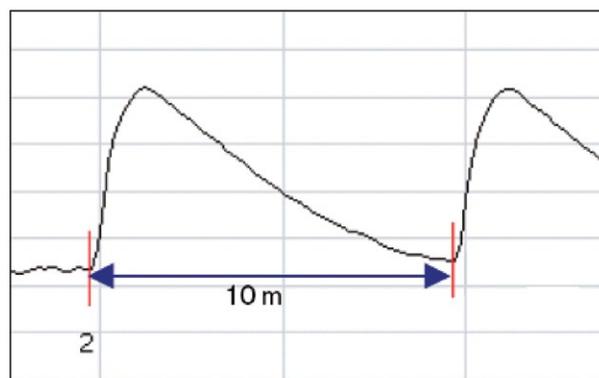


图7：衰减盲区

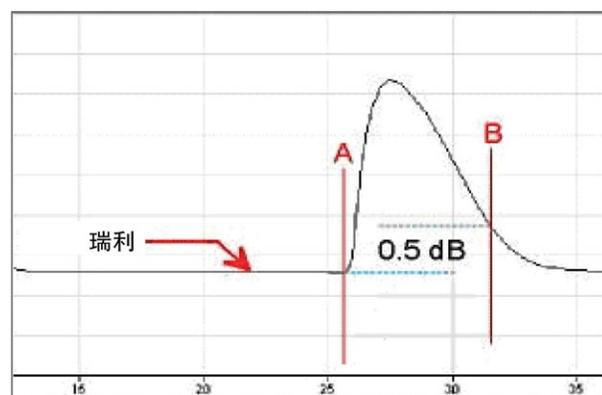


图8：测量衰减盲区

盲区的重要性

短衰减盲区使得OTDR不仅可以检测连续事件，还能够返回相距很近的事件的损耗。例如，网络内短光纤跳线的损耗现在已为我们所知，这可以帮助技术人员清楚了解链路内的情况。

盲区还受另一个因素影响：脉冲宽度。现在的产品规范使用最短的脉冲宽度，以便提供最短的盲区。然而，盲区长度并不会保持不变，相反，它会随着脉冲宽度增加而延伸。使用最长的脉冲宽度会导致极长的盲区。然而，这有不同的用途，我们会稍后详述。

动态范围

OTDR的一个重要参数是动态范围。该参数显示从OTDR端口的背向散射水平降到特定噪声水平时OTDR所能分析的最大光损耗。换言之，它是最长的脉冲所能到达的光纤最大长度。因此，动态范围越大（以dB为单位），到达的距离越长。显而易见，最大距离因应用不同而变化，因为被测链路的损耗不同。连接器、熔接和分光器是降低OTDR最大作用长度的因素。因此，对较长时间进行平均并使用合适的距离范围是增加最大可测距离的关键。大多数动态范围规范使用3分钟内的平均最长脉冲宽度，信噪比（SNR）为1（均方根（RMS）噪声值的平均水平）来给定。同样，需要注意的是，阅读规格脚注以了解详细的测试条件非常重要。

比较好的做法是选择动态范围比可能遇到的最大损耗高5-8 dB的OTDR。例如，动态范围为35 dB的单模OTDR，其可用的动态范围约为30 dB。假设在波长为1550 nm时，典型的光纤衰减为0.20 dB/km，每隔2 km有一个熔接（每个熔接的损耗为0.1 dB），那么类似的设备可以准确验证的最长距离为120 km。最大距离可以通过将光纤衰减除以OTDR的动态范围来大致计算。这可以帮助判断使设备可以到达光纤末端的动态范围。需要牢记的是，网络内的损耗越高，需要的动态范围越大。请注意，在20 μs时规定的动态范围不能保证短脉冲时也有这么大的动态范围——过多的曲线过滤会人为提高所有脉冲时的动态范围，其代价是降低故障查找分辨率。

脉冲宽度

什么是脉冲宽度？

脉冲宽度事实上是激光器处于开通状态的时间。正如我们知道的，时间被转化为距离，因此脉冲宽度具有长度值。在OTDR中，脉冲携带产生背向散射实现链路鉴定所需要的能量。因为沿着链路存在损耗（即衰减、连接器和熔接），所以脉冲越短，携带的能量越低，传输的距离越短。较长的脉冲可以携带较多的能量，可在特别长的光纤中使用。图9显示了脉冲宽度随着时间变化而发生的变化。



图9：短脉冲与长脉冲

如果脉冲太短，会在到达光纤末端前损失所有的能量，造成非常低的背向散射，甚至低于噪声下限而丢失所有的信息。这会使脉冲无法到达光纤末端。因此，由于返回的光纤端点距离比光纤实际长度要低许多，所以无法测量完整的链路。另一个情况是当曲线噪声在光纤末端附近非常大时，OTDR无法再进行信号分析，而且测量结果也可能有误。

应对脉冲噪声

当曲线噪声非常高时，有两种简单方法可以实现较清洁的曲线。首先，可以增加取样时间，这样做可以显著改进（提高）SNR，并保持短脉冲实现的高分辨率。然而增加平均时间也有其局限性，因为这不会无限地提高SNR。如果曲线仍然不够平滑，我们就需要采取第二种方法，即使用下一个可用的较高脉冲（携带更多能量）。然而，需要牢记的是盲区会随着脉冲的增加而延长。幸运的是，市场上大多数OTDR都配有自动模式，可以为被测光纤选择合适的脉冲宽度。在不知道被测光纤的长度或损耗时，这种方法非常方便，而且可以为单脉冲宽度数据采集提供最佳的折中方式。

在鉴定网络或光纤时，必须为被测链路选择正确的脉冲宽度。短脉冲宽度、短盲区和低功率被用于测试事件相距很近的短链路，而长脉冲宽度、长盲区和高功率则被用于到达较远的距离，从而鉴定较长或高损耗网络。然而，很好地鉴定每个链路元素需要采集多条曲线、为每段链路选择合适的脉冲并从根据多条曲线来分析链路（这么做的代价是测试时间更长、后期分析更加复杂并需要管理曲线文件）。

取样分辨率和取样点

OTDR精确定位正确的事件距离的能力取决于不同参数的组合，其中包括取样分辨率和取样点。取样分辨率定义为“仪器所获取的两个连续取样点之间的最小距离”。由于该参数用于定义OTDR的最终距离精度和故障查找能力，因此至关重要。根据所选择的脉冲宽度和距离范围，该值的范围可从4厘米到几米。因此，为了确保最高的分辨率，在数据采集期间必须在较多的取样点进行取样。图10a和10b显示了高分辨率在故障查找过程中所起的作用。

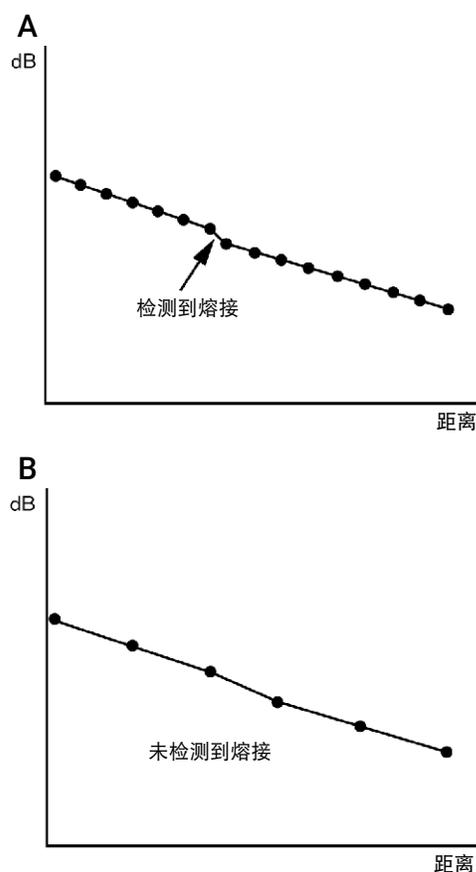


图10：分辨率与故障查找效率：（a）5米的分辨率（较高分辨率）；（b）15米的分辨率（较低分辨率）

如上图所示，取样点越多，分辨率越高（取样点之间的短距离），这是故障查找的最终条件。

结束语

OTDR有多种型号——从非常简单的故障寻找器到用于链路检验的高级OTDR，可满足不同的测试和测量需要。要正确选择，在购买OTDR时必须考虑基本参数，因为仅依据总体性能和价格而选购产品，如果所选购的型号与实际应用不符，会引起一些问题。OTDR有复杂的规范，大多数规范会需要取舍。深刻了解这些参数并知道如何验证这些参数会帮助客户针对其需求做出正确选择，从而使生产效率和成本效率最大化。

EXFO中国 > 中国北京 东城区北三环东路36号 环球贸易中心C栋1207室 邮编：100013
电话：+86 10 5825 7755 | 传真：+86 10 5825 7722 | info@EXFO.com | www.EXFO.com

EXFO为100多个国家的2000多家客户提供服务。如欲了解当地分支机构联系详情，敬请访问EXFO.com/contact。