

## 单点对多点 PON 测试中的光纤测试挑战

作者 Stéphane Chabot, OSP/NSP 业务部门经理, EXFO 和 Michel Leblanc, EXFO 研究员

当使用点对点网络布置传统的远距离和城域光纤网络时, 使用无源光网络 (PON) 技术的光纤到户 (FTTH) 架构为网络测试带来了完全不同的概念。这是由于 FTTH 架构在光线路终端 (OLT) 和光网络终端 (ONT) 之间使用了无源光分路器, 其传统耦合比为 1:32 (使用不同的耦合器组合实现)。因此, 需要将常用的下一代光纤网络架构转换成必须对其进行部署、操作和维护的单点对多点网络 (PTMPN)。

此新的 PTMPN 架构需要增强的光纤测试和测量设备才能管理这些网络的安装和维护—从传统的点对点功率表、光源、可视故障定位仪 (VFL) 和光时域反射仪 (OTDR) 到光损测试装置 (OLTS), OLTS 使用特定波长 (如 1550、1490 和 1310 nm) 在可允许损耗非常紧张的情况下进行测试。

本文主要回答有关使用外部设备 (尤其是部署和维护 PON 时) 测试 FTTP 方面的关键问题。我们将讨论最终用户的低成本解决方案, 并概述由 PTMPN OTDR 测量获得的 PON 熔接损耗的数学估算。

### 问题 1: 为了证明 FTTx 部署, 在哪一步骤需要哪种类型的测试设备?

应该考虑的第一件事情就是安装光纤网络时应完成的任务。

### 网络和设备安装阶段

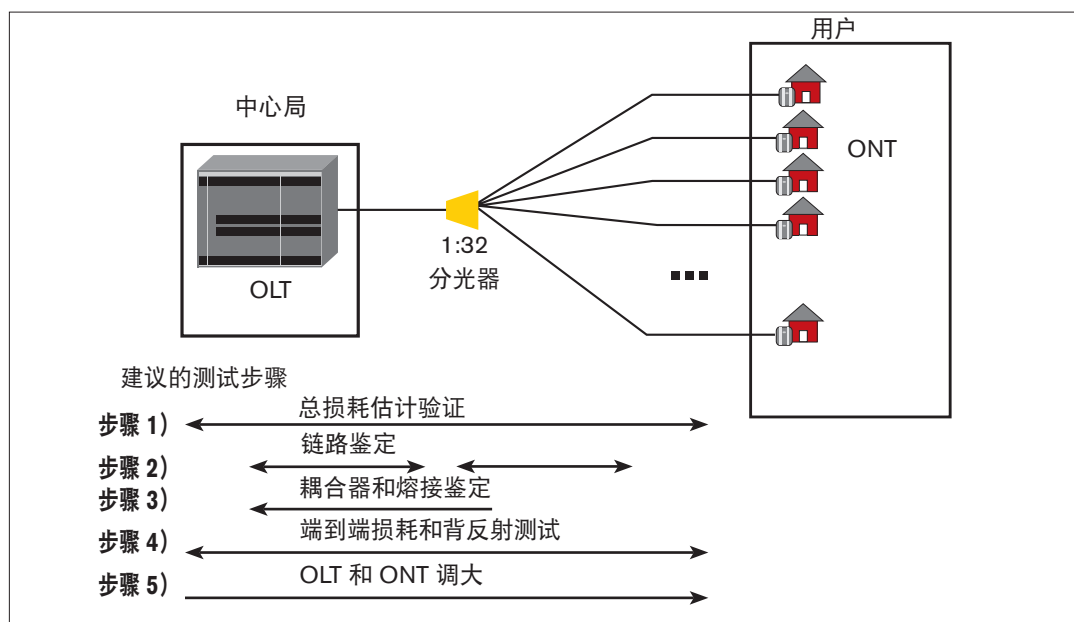


图 1: 网络和设备安装阶段建议的测试步骤。

## 1) 总损耗估计

根据部署的 PON 类型 (B 级 PON 的总损耗估计为 25 dB, C 级 PON 的总损耗估计为 30 dB), 测试前应认真查看网络的每个元件:

- 分光器的损耗 (1:4、1:8、1:16、1:32), 通常是系统的主损耗: 1:32 分路器的损耗约为 16 dB
- WDM 的损耗, 每个 WDM 耦合器的损耗通常约为 0.7 到 1.0 dB
- 连接器和熔接损耗, 从 OLT 到 ONT 的整个链路的损耗通常约为 2.0 到 3.0 dB
- 光纤损耗, 等于衰减  $\times$  距离。最大距离受最坏衰减波长 (1310 nm 的衰减约为 0.33 dB/km) 下的损耗估计限制。最大长度范围通常从 4 到 20 km
- 1550 nm 的模拟视频—供应商必须注意第一个和最后一个 ONT (3 到 5 dB) 之间的损耗、反射率和距离限制
- 总损耗不应超过损耗估计, 否则将不能进行无差错传输

## 2) 链路鉴定 (单根光纤):

在此步骤中, 必须测量损耗和光纤衰减以确保符合供应商规范 (以及要点 1 中建立的损耗估计)。每一光纤都应在中心局的 OLT 和分光器 (熔接前) 之间以及在分光器 (也在熔接前) 和 ONT 之间进行测试。如有可能, 应进行双向测试。进行双向测试非常重要, 因为这样可以取损耗值的平均值, 且许多事件 (如纤芯大小不匹配) 会根据光来源方向的不同而得出不同的损耗级别。

这些测量可确保每个波长 (1310 nm、1490 nm 和 1550 nm) 都有足够的光纤衰减。请注意, 光纤衰减应使用 OTDR 来测量。新 G.652C 光纤的典型衰减图, 也可用于 PON, 如 SMF-28e™, 变化范围是:

- 0.33 dB/km (1310 nm)
- 0.21 dB/km (1490 nm)
- 0.19 dB/km (1550 nm)

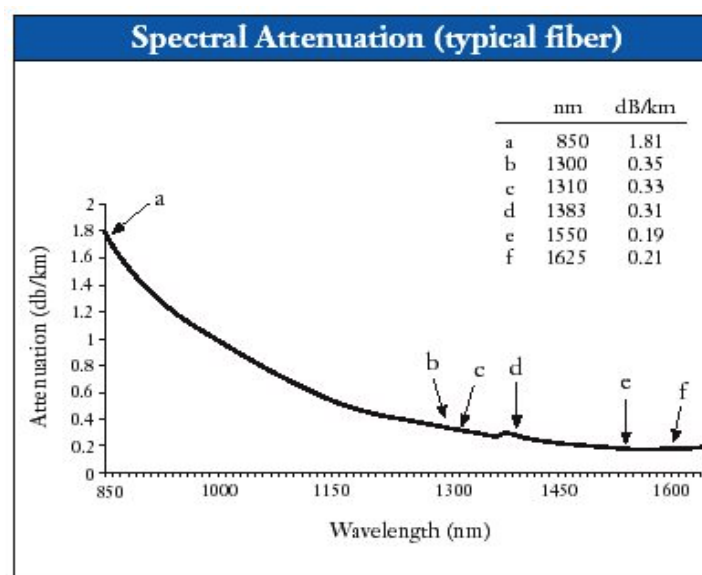


图 2: 典型 G.652C 光纤每个  $\lambda$  的衰减。  
源: Corning 的 SMF-28e 规范表, 2003 年 7 月。

此鉴定将允许您定位各种事件以及部署过程中可能已经导致的宏弯。宏弯通常是在光纤弯曲程度超出其弯曲半径时（如缠绕过紧等）出现的有害事件，它可以很容易地通过对 1310、1490 和 1550 nm 处的损耗进行比较来加以检测。实际上，宏弯在较长波长（1550 nm）下的损耗要比在较短波长（1310 nm）下的损耗更大。

### 3) 耦合器端口—损耗和背反射鉴定

将耦合器熔接到来自中心局的光纤后，建议（如果时间允许）对耦合器的损耗和背反射进行鉴定，以确保这些测量值符合问题 1 的点 1 中所述的制造商规范。该鉴定是通过 OTDR 并结合裸光纤适配器和脉冲抑制盒来执行的。这一工具组合被用来测试从耦合器输出端口到中心局中 OLT 之间的光纤，以鉴定每个端口在 1310、1490 和 1550 nm 下分光器端口第一个事件的损耗。只有使用脉冲抑制器时才允许此行为；否则，分光器的损耗将处于 OTDR 的盲区，致使无法进行鉴定。

- 依照 ITU-T G.983.1 之规定，耦合器端口的背反射应为  $-35$  dB 或更小

### 4) 端到端损耗和背反射测试与鉴定

在耦合器输出端口之间熔接光纤（或者将它们与连接器相连，取决于所选的估计损耗和配置）以及连接 ONT 和 OLT 位置的光纤后，对网络安装执行关键测试。实际上，在此阶段将测量总的端到端损耗、熔接损耗、连接器损耗、背反射和总反射率水平。

从 OLT 到 ONT 的双向端到端损耗测试是通过 1310/1490/1550 nm 光源和功率表完成的，并在这些波长下进行校准和参考（或者使用合并在同一单元中的 OLT，它允许对同一测试进行自动化双向测试）。此测试包括 OLT、ONT 和分光器输出端口（如果没有熔接）的连接器。能够根据预设制造商的 OLT 阈值功率值给出每个传输  $\lambda$  (1310/1490/1550 nm) 的通过 / 未通过功率读数结果的功率表，在此阶段将起很大作用，因为此时不需要解释任何数据。

- B 级 PON 的最大端到端损耗应小于 25 dB
- C 级 PON 的最大端到端损耗应小于 30 dB

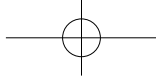
熔接损耗和连接器反射率可通过使用从 ONT 到 OLT 之间的 OTDR 进行测试（结合使用脉冲抑制盒）来建立，但也可以在 PTMPN 方向使用从 OLT 到 ONT 之间的 OTDR 进行测试来建立。下面的问题 2 将回答此复杂问题中的可行性问题。OTDR 将定位熔接、连接器或 ORL 较大的任何其它事件。当然，更小的 ORL 将有助于避免以后的损耗超出可接受的限制。请确认：

- 背反射测量准确：Telcordia 设置的目标为  $-40$  dB，但前提是所有元件都是最新安装的，并且均符合最新的 Telcordia 建议标准。一般说来， $-30$  到  $-35$  dB 范围内的值已经足够了。小于 30 dB 的值应采取纠正措施。
- 熔接损耗应小于 0.1 dB

使用 PON 调谐的 OTDR 通过分光器测试不存在问题。实际上，传统的 OTDR 可以识别光纤末端的高损耗（从 3 dB 到 7 dB，取决于用户设置）。只需通过修改 OTDR 分析，领先的 OTDR 制造商就可通过损耗达 20 dB 的分路器进行测试。

### 5) OLT 和 ONT 调大

对光网络进行鉴定后，即可调大 OLT。此时，任何 ONT 调大之前，应根据预设制造商的 OLT 阈值功率值使用能够给出每个传输  $\lambda$  (1310/1490/1550 nm) 的通过 / 未通过功率读数结果的功率表确认 ONT（在 ONT 通常达 +4 dBm）中来自 OLT 的功率。



## 维护阶段

至此,系统已经启动且正在运行,这意味着任何可能影响传输质量的测试都必须加以避免;否则,客户可能会遭受服务质量下降 (LoS)。网络操作中心的值班人员可以非常快捷地识别断电,因为在每个分配的时隙会自动 ping 所有活动 ONT。因此,PON 网络监控无需光纤监控系统。

### 1) 当只有部分 ONT 断开时 (1 到 32) 解释 ONT 断电 (到用户)

检查其中一个最近的故障 ONT 的功率级别后 (在 1310、1490 和 1550 nm),会出现两种可能:

- 功率很强,符合工作功率阈值,这意味着可能是 ONT 硬件存在问题。
- 此时,按照每个功率阈值,功率较弱,这意味着光纤存在连续性 (即无光纤断裂)。这种情况下,不应该在 ONT 和耦合器之间使用 OTDR,因为 OTDR 激光器功率会干扰 OLT 的数字和模拟信号,从而导致这些用户发生 LoS。因此,建议使用维护和故障诊断设备,如使用带有适合的光纤类型头的负载信号光纤检测器 (LFD) (250  $\mu$ m、900  $\mu$ m 和 3 mm,取决于测试点) 来确认不同的潜在宏弯的总功率级别 (不可能是每个 ? 的功率),或者可视化缺陷定位器 (VFL),以使用红色可见光精确定位光纤超出其指定弯曲半径的弯曲位置等。

### 2) 当所有 ONT 都断开时解释 ONT 断电 (到用户)

此类故障通常可以很容易地精确定位并且链接到有故障的 OLT 或在中心局的 OLT 和分光器输入端口之间的光纤上发生的主要故障 (即断裂等)。在 1550 nm 下使用 OTDR 通过中心局的作为连接器的光纤进行测试应有助于非常快捷地定位主要故障的区域。由于网络已经断开,因此无法产生 LoS。

#### 问题 2: 使用 PON OTDR 是否可以在中心局的 OLT 和分光器 (一直到 ONT) 之间进行测试?

使用 PON OTDR 可以测试 PTMPN。这在下面所示的两个示例中进行了明确说明 (网络安装和维护阶段的图 3 到 9)。

- 应用: 保存完整的光纤 PON 网络图以备将来参考,并允许从中心局 (而不只是从 ONT) 进行以下测试:
  - 分光器损耗
  - 连接器 ORL
  - 端到端
    - 损耗
    - 背反射
  - 区域衰减

这些测试还可以计算这些元件的关键双向信息。

- 挑战: 测试 PTMPN 最具挑战性的部分就是测试之后必须完成的分析,这是由该测试的内在本质决定的。实际上,OTDR 旨在得到 Rayleigh 反向散射,该散射从一个径距 (点对点) 一而非多个径距 (这种情况下多达 32 个) 到 OLT 和分光器之间的主光纤,以给出如下图 5 和 9 中所示的结果。

### 示例 #1

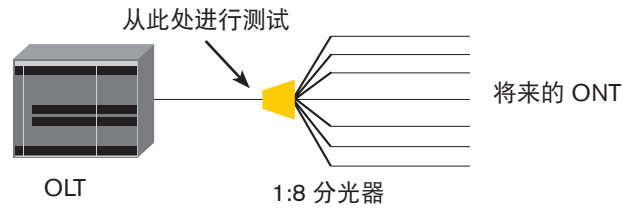


图 3: 安装示例: 1 x 8 分光器, 5 根光纤终止。

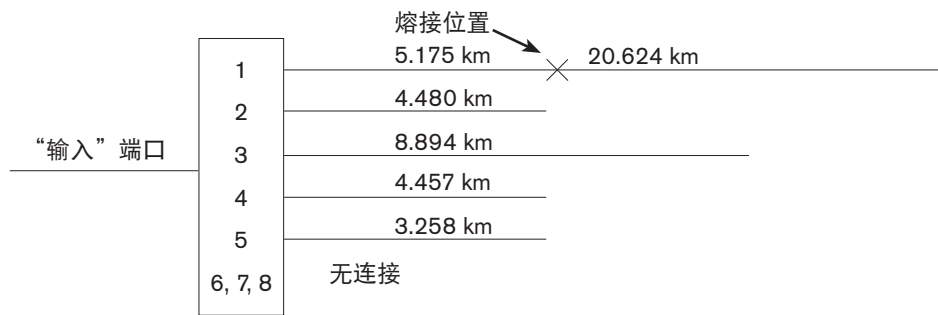


图 4: 示例 #1 的逻辑布局。

### 结果

如以下图 5 和 6 中所示, 对 PTMPN 进行了鉴定, 1:8 分光器的 10.8 dB 损耗不产生光纤终端。已正确定位所有支路:

- 检测到 1 号支路的终端并将其定位到 20.537 km 处 (事件 #6)。
- 检测到 2 号和 4 号支路的终端并将其定位到 4.503 km 处 (脉冲宽度为 275 ns 的一个事件) (事件 #3)。
- 检测到 3 号支路的终端并将其定位到 8.905 km 处 (事件 #5)。
- 检测到 5 号支路的终端并将其定位到 3.267 km 处 (事件 #2)。
- 检测到 1 号光纤的内部支路事件并将其定位到 5.174 km 处 (事件 #4)。

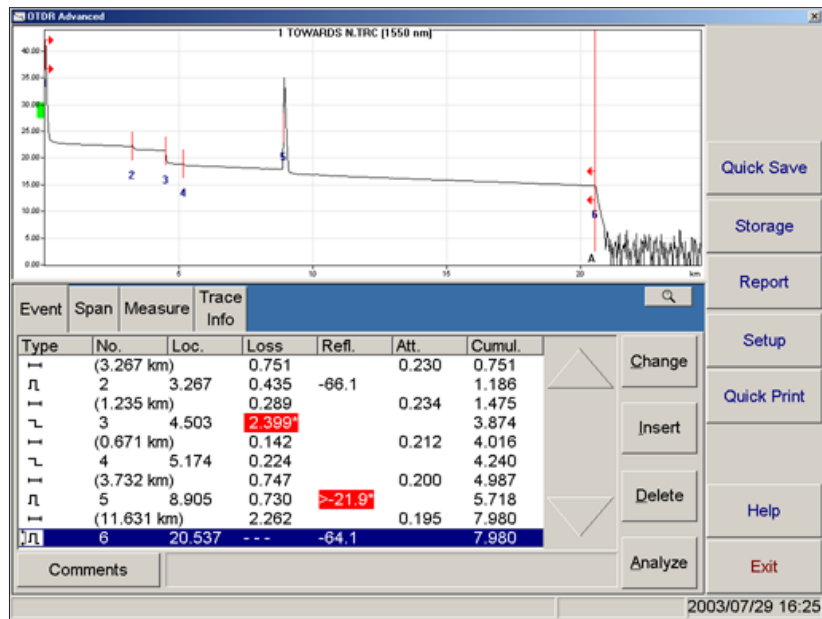


图 5: 测试布局 #1 的 OTDR 结果。

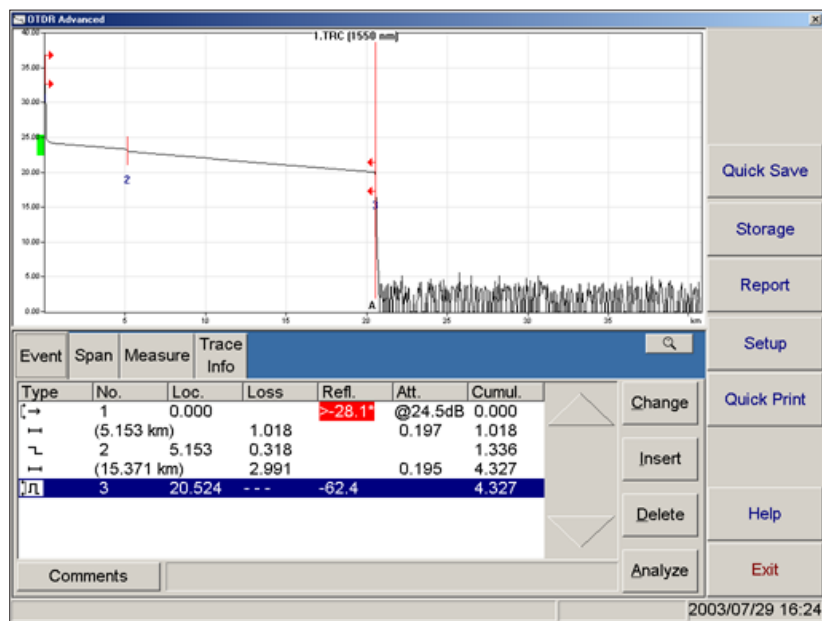


图 6: 仅限 1 号光纤。

### 示例 #2

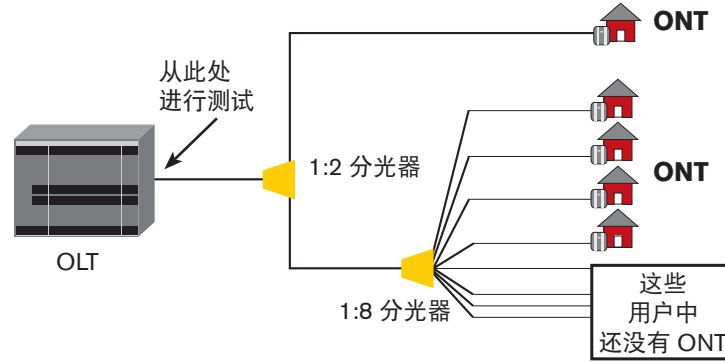


图 7: 维护示例: 1x2 结合 1x8 分路器。

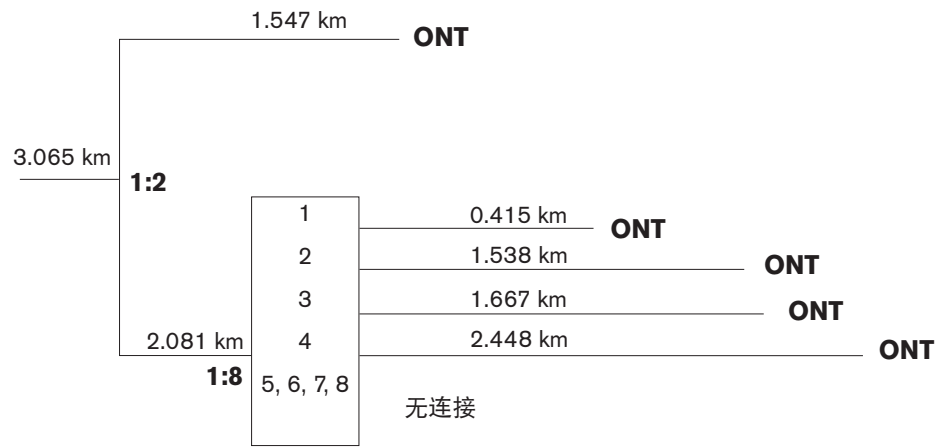


图 8: 示例 #2 的逻辑布局。

## 结果

如下面图 9 中所示，对 PTMPN 进行了鉴定，1:2 和 1:8 分光器的组合损耗不产生光纤终端。已正确定位所有支路：

- 检测到 1:2 分光器并将其定位到 3.065 km 处
- 检测到上部（“北”）1:2 支路的终端并将其定位到 4.612 km 处（逻辑，由于  $3.065 \text{ km} + 1.547 \text{ km} = 4.612 \text{ km}$ ）
- 检测到 1:8 分光器并将其定位到 5.145 km 处（逻辑，由于  $3.065 \text{ km} + 2.081 \text{ km} = 5.145 \text{ km}$ ）
- 检测到 1:8 分光器的 1 号支路的终端并将其定位到 5.560 km 处（逻辑，由于  $3.065 \text{ km} + 2.081 \text{ km} + 0.415 \text{ km} = 5.560 \text{ km}$ ）
- 检测到 2:8 分光器的 1 号支路的终端并将其定位到 6.683 km 处（逻辑，由于  $3.065 \text{ km} + 2.081 \text{ km} + 1.538 \text{ km} = 6.684 \text{ km}$ ）
- 检测到 3:8 分光器的 1 号支路的终端并将其定位到 6.812 km 处（逻辑，由于  $3.065 \text{ km} + 2.081 \text{ km} + 1.667 \text{ km} = 6.812 \text{ km}$ ）
- 检测到 4:8 分光器的 1 号支路的终端并将其定位到 7.593 km 处（逻辑，由于  $3.065 \text{ km} + 2.081 \text{ km} + 2.448 \text{ km} = 7.593 \text{ km}$ ）

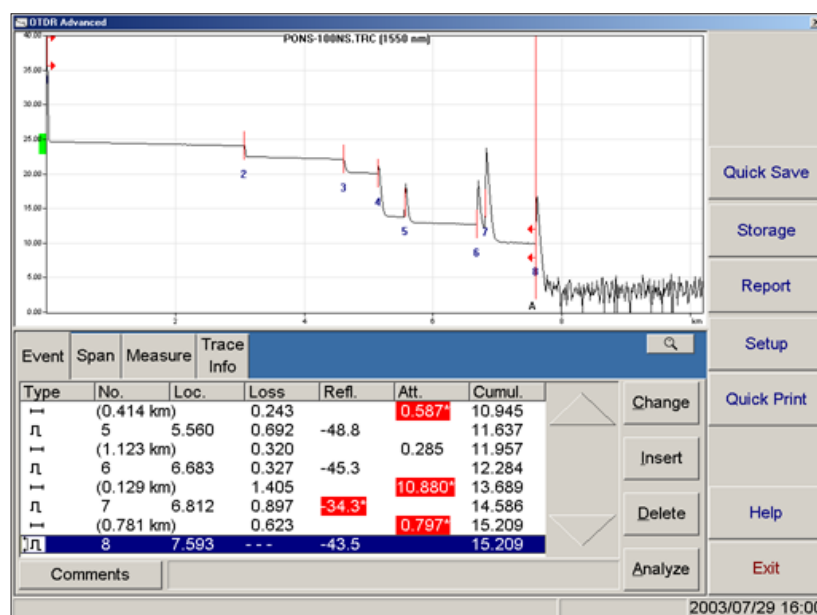


图 9: 测试布局 #2 的 OTDR 结果。



### 问题 3: 我如何预测总反向散射（所有支路）对点对点网络中事件损耗与 PTMPN 架构中其明显损耗的影响?

#### PON 熔接损耗的数学估算

使用 OTDR 测试 PTMPN 时，有必要了解 OTDR 轨迹目前是从不同光纤的 Rayleigh 反向散射的附加影响生成的。PTMPN OTDR 轨迹中的明显事件损耗将比单点对多点网络中相同事件的损耗要低。例如，PTMPN OTDR 轨迹上 0.5 dB 的明显熔接损耗并不意味着 0.5 dB 的离散损耗位于链路上某处。这可能是由于链路中其中一根光纤的损耗较大，或者由于其中一根光纤的终端。我们指出可以计算和预测 PTMPN OTDR 信号。单个网络光纤上每个真正的事件（熔接损耗或光纤终端）将如下所示出现在 PTMPN OTDR 轨迹上：

#### 公式 #1: PON 的明显 OTDR 熔接损耗

$$\text{损耗} = 5 \times \text{Log} \left[ \frac{\sum_{j=1}^N 10^{-\text{之前的累积损耗} / 5}}{\sum_{j=1}^N 10^{-\text{之后的累积损耗} / 5}} \right]$$

每个“累积损耗”指的是断开所有其它 N-1 根光纤与 1XN 耦合器的连接时，jth 网络支路的损耗。累积损耗在 PTMPN OTDR 轨迹上感兴趣的点的位置前后进行测量。请注意，仅需考虑该长度或以上的支路。

只需在 OTDR 轨迹上将标记线向上移动到被鉴定事件的距离（例如：3.342 km）并在该点前后评估损耗，即可评估前后损耗。

#### 示例 #3:

如果我们在逻辑布局 #1 上查看 5.175 km 处的熔接，则该熔接的损耗为 0.318 dB（显示在图 6 中）。但是，如下面详细介绍和说明的那样，在 PTMPN 中鉴定时该熔接的损耗将会有所不同。公式 #1 给出：

其中光纤 1 和 3 的长度至少为 5.175 km：

CumLossIn1: 1.02 dB, CumLossOut1: 1.34 dB

CumLossIn3: 2.59 dB, CumLossOut3: 2.59 dB

$$\text{损耗} = 5 \times \text{Log} \left[ \frac{10^{-1.02 \text{ dB} / 5} + 10^{-2.59 \text{ dB} / 5}}{10^{-1.34 \text{ dB} / 5} + 10^{-2.59 \text{ dB} / 5}} \right]$$

### 结果比较

与 0.22 dB 的 PTMPN 损耗进行比较，计算的损耗 = 0.21 dB，如图 5 中测量，事件 #4，并证明了这一理论。

总之，在使用非常简单的新光纤测试和测量设备的各步骤中均可对使用 PON 技术的 FTTH 网络进行鉴定和维护。不仅可以在 ONT 和耦合器及中心局的 OLT 之间非常容易地使用 OTDR，而且也可以在 OLT 和 PTMPN 之间使用 OTDR。对于该类型的网络架构（对于 PTMPN 中的 PON），熔接损耗的数学估算已证明是准确的，因此可帮助您正确鉴定网络。

EXFO 公司总部 > 400 Godin Avenue, Quebec City (Quebec) G1M 2K2 CANADA | 电话: 1 418 683-0211 | 传真: 1 418 683-2170 | info@EXFO.com

免费电话: 1 800 663-3936 (美国和加拿大) | [www.exfo-china.com](http://www.exfo-china.com)

<b>EXFO 美洲</b>	3701 Plano Parkway, Suite 160	Plano, TX 75075 USA	电话: 1 800 663-3936	传真: 1 972 836-0164
<b>EXFO 欧洲</b>	Omega Enterprise Park, Electron Way	Chandlers Ford, Hampshire S053 4SE ENGLAND	电话: +44 2380 246810	传真: +44 2380 246801
<b>EXFO 亚洲</b>	151 Chin Swee Road, #03-29 Manhattan House	SINGAPORE 169876	电话: +65 6333 8241	传真: +65 6333 8242
<b>EXFO 中国</b>	中国深圳市福田区福华一路 88 号 中心商务大厦 801 室	邮编: 518048	电话: +86 (755) 8203 2300	传真: +86 (755) 8203 2306
	中国北京首体南路 6 号新世纪饭店 写字楼 1754-1755 室	邮编: 100044	电话: +86 (10) 6849 2738	传真: +86 (10) 6849 2662

