

被動光網路PON需要測試1490nm波長嗎？

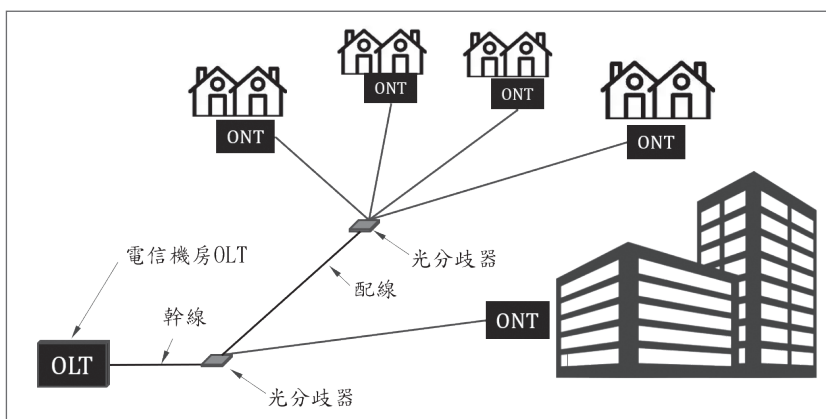
交通部中華技術服務社 顧問 劉時森老師
兼台灣區電信工程工業同業公會 技術諮詢顧問

光纖通信傳輸有用到1310、1490、1550nm波長，本文從技術和經濟角度，以及從光纖的傳輸特性來探討1490波長在光被動網路（Passive Optical Network，PON）中的測試價值與必要性。

由於光被動元件，如光分歧器和分波多工器，已經被使用於電信網路而且是點對多點被動光網路，如乙太被動光網路（Ethernet Passive Optical Network，EPON）、千兆比次被動光網路（GPON）、千兆比次乙太被動光網路（GEPON）等。這些網路在光纖鏈路建置階段已經大量使用光分歧器，其測試技術大不同於傳統單純的點對點光鏈路。點對多點的測試，在技術上帶來很大的挑戰。

GPON採用分波多工技術，在同一個光配線網路上行傳送1290至1330nm波長，下行傳送1480至1500nm波長（含1490nm）。EPON則採上下行對稱速率，1.25Gbps。把上下速率提昇到10Gbps則為10G-EPON，使用和GPON相同的波長，下行1490nm，上行1310nm。此網路使用最多1:16、1:32光分歧器，也使用1:64光分歧器，可傳輸20公理。

上述兩個網路從機房的OLT（Optical Line Terminal）都使用了1490nm波長傳送資訊到網路的終端設備ONT（Optical Network Terminal）。就是因為這樣，1490nm波長就被一般線路工作人員認為和其他波長一樣，必須“理所當然的”拿來做PON的外線測試。



圖一 PON網路的主動和被動元件（ONT和OLT為主動元件）



要問的是，用此波長對PON網路做OTDR和插入損失¹測試會得到什麼1310nm和1550nm波長測試以外的好處？

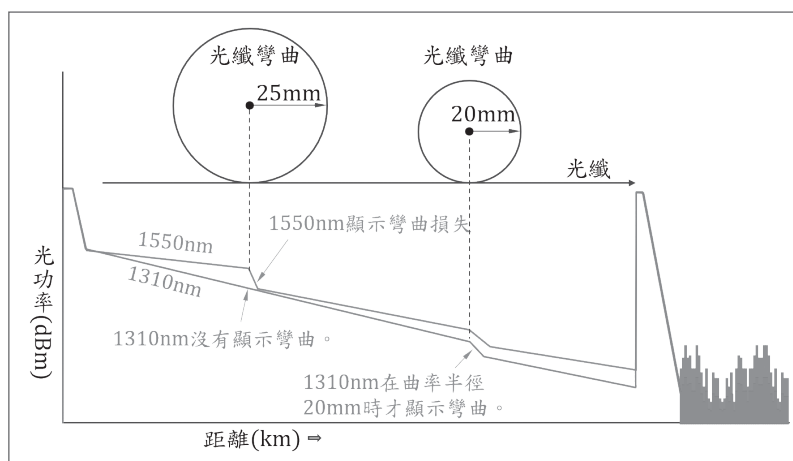
一、OTDR測試

用OTDR來測試光纖鏈路，測試者可以很容易分析鏈路或網路的健康狀況。主要是，OTDR的測試軌跡圖可以提供事件點相關的損失和反射資訊，提供一個描述光纖的圖像與永久的記錄。其次，可以量出光纖鏈路的總損失，隨後會談到。OTDR軌跡圖也可以查出障礙的種類，如連接器的連接損失、熔接損失、高衰減、或彎曲損失，乃至於障礙點距離。要適當的標出事件點和測試反射率，測試者必須將光纖的規格輸入OTDR進行設定。

直到今天，ITU-T的G.652單模態光纖標準並未把1490nm波長列入測試規格，而大部份廠商都會提供1310nm和1550nm的規格，獨缺1490nm的。大部份線路工作者對1490nm波長在G.652光纖的折射率和散射係數並不清楚，無法正確的標定事件點位置和反射結果。而且，熔接損失和連接損失不會因波長的不同而有大小的分別，一個0.2dB的熔接損失，在1310nm和1490nm波長看起來相似，甚至於相同。

PON的另一個主要元件是光分歧器，從1：4到1：64都有，最常見的是1：32，通上1490nm波長和1550nm波長產生的損失差異低到0.3dB。另外，這兩個波長的測試對於瞭解PON性能及健康狀況，也無法提供任何加價值資訊。

下圖，透過1310nm波長和1550nm波長的軌跡圖比較。同一條光纖，波長較長的光波對光纖的彎曲較為敏感，也就是說只要光纖的彎曲半徑到了一個程度就會顯出彎損失，而短波長光波在同樣的曲率半徑的條件下，卻還沒有出現彎曲損失的軌跡。彎曲損失高，也比較容易定位出來。



圖二 波長與光纖彎曲損失之關係

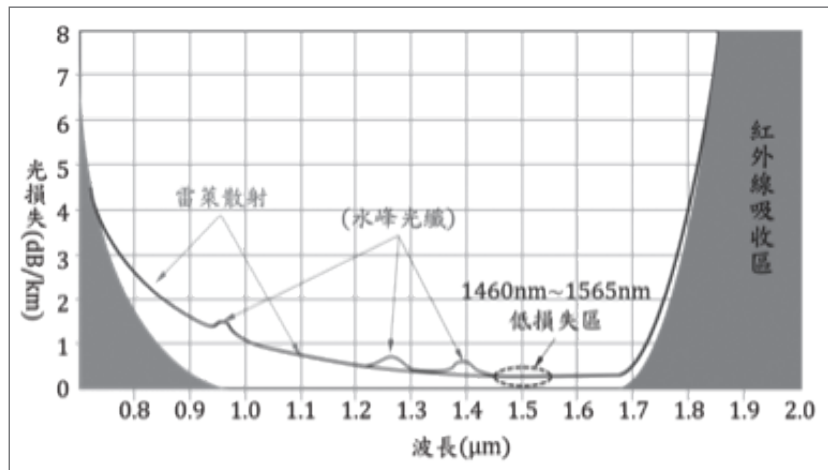
圖中也顯示出不同波長在不同曲率半徑的彎曲損失關係。1550nm波長在25mm時就呈現彎曲損失軌跡，而1310nm波長在曲率半徑20mm時才呈現彎曲軌跡。依此類推，1550nm比1490nm對光纖彎曲較敏感。一個25mm曲率半徑對1550nm所造成的損失比對1490nm的還大，在此情況下測試1490nm已經沒什麼意義，而且還可能給出錯誤的障礙位置和反射量！

¹ 當光鏈路的發訊機和收信之間的光纖接上被動元件，如光分歧器、連接器、分波多工器時，對整個鏈路因反射而造成的損失。

二、插入損失測試

在檢測光纖鏈路時，插入損耗（IL）也是現場技術人員測量的重要參數之一，以瞭解光纖鏈路的健康情況。

上圖顯示波長與光纖衰減的關係。在短波段 S - Band（1460nm~1530nm）和傳統波段 C - Band（1530nm~1565nm）線條呈平坦狀，稱為低衰減區，



圖三 光纖衰減與波長的關係

之間波長衰減差異極小。縱使光纖廠商給出1490nm波長的衰減規格，下表顯示出1490nm和1550nm波長在G.652.C單模態光纖的衰減測試結果，也是非常的接近。

波長	在G.652C單模態光纖之衰減
1310nm	0.32 dB/km
1490nm	0.21 dB/km
1550nm	0.19 dB/km

1490nm和1550nm最常出現的衰減差是0.02dB/km²。被動光網路的平均距離10公里，就PON系統而言，此兩種波長10公里之間的衰減差異已是說微不足道，如下所示。

$$\begin{aligned}
 IL_{1490nm} &= 0.21 \times 10 = 2.1 \text{ dB} \\
 IL_{1550nm} &= 0.19 \times 10 = 1.9 \text{ dB} \\
 \Delta_{IL} &= IL_{1490nm} - IL_{1550nm} = 0.2 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

熔接損失、連接損失、和光分歧損失不會隨著波長而不同。唯一會受到影響的參數是衰減，但對短距離的PON而言，此參數的影響不大。

相較於前述的PON網路的插入損失，下列的測量為使用校正後的光源和寬頻的光功率計，端對端PON鏈路插入損失：

$$\begin{aligned}
 IL_{1490nm} &= -23.73 \text{ dB} \\
 IL_{1550nm} &= -23.66 \text{ dB} \\
 \Delta_{IL} &= IL_{1490nm} - IL_{1550nm} = 0.07 \text{ dB} \text{ (還是微不足道！)}
 \end{aligned}$$

2 fiber attenuation at 1490nm - Search <https://www.bing.com/search?q=fiber%20attenuation%20at%201490nm%20&qsn&form=QBRE&sp=-1&lq=0&pq=fiber%20attenuation%20at%201490nm%20&sc=1-27&sk=&cvid=C4DA37A777524478A9AFB053CB941291>



總之，1490nm和1550nm波長的插入損失最大的差異幾乎不超過~0.2/0.3dB，大約是整個系統30dB總損失的1%。這麼微小的差異只有在系統要求的損失不超過30dB，且測量的不確定性極低（測量準確性極高）的情況下才顯得重要。

三、實體層與設備/傳輸信號測試

在系統設備裝置前，測試光纖網路的實體層可以確認光纖鏈路的運作水準是否達到系統的要求。一台OTDR、一個光源、和一個光功率計可以測出光纖和光分歧器的本質特性以判定光纖網元件的品質。

OTDR的光源和光功率測試用的光源可以發出比PON的OLT更多的光波，因此用於系統設備設置前及運作後的光纖網路實體層測試相當適合。大部的現場光纖測試都用1310nm、1550nm波長，後來也測試L波段的1625nm或1650nm波長，為了要確認日後將在長波段（L波段）運作的端對端分波多工系統和NG-PON2的運作狀況。

一旦主動網路設備裝置並啟動後，會使用光功率計來測試設備的傳輸波長做個確認。PON在運作時同時傳送數個波長，這時才需要一個能傳送1490nm、1310nm、和1550nm等波長的光功率計，以及一個模式來測試從OLT傳輸出來的上下行信號。此光功率計必須調校到所要測試的特定波長。

四、成本與維運費用的考慮

一直以來，在編製PON測試設備預算時，業者通常會採購1310/1550nm雙波長OTDR或光損失測試儀器，如果要採購能夠也能測試1490nm波長的設備就必須增加預算。而此波長從來就不是電信網路的主要波長，於是1490nm雷射在市場就變成稀貨，其價格是1550nm波長雷射的三倍。

而且，買了能測試1310/1550nm和1490nm的OTDR就會把先前採購的只能測試1310/1550nm的OTDR及光損失測試儀器打入冷宮。又如前面所說的，1490nm波長的測試結果不會比1310/1550nm的測試結果更精準，測起來也沒什麼意義，於是這筆投資並未花在刀口上。

驅動光纖到府的一個很重因素是掌握相關的開支，使FTTH的投資能很快的有回收利潤，選擇正確的OTDR測試正確的波長可以優化營運支出和測試成本。

五、結論

使用OTDR和光損失測試器對PON建置和光纖鏈路測試，1310/1550nm波長所得的結果和1490nm波長的一樣。

在網路設備（OLT & ONT）開啟或障礙查修時，用1490nm波長調校光功率計測試絕對功率固然必要。長年來，全世界的大型業者對PON建設大筆投資在1310nm和1550nm波長OTDR和光損失測試儀器，僅使用帶有1490nm之PON光功率計的測試方案來進行啟動與故障排除。