光纖鏈路損失無極限（二）

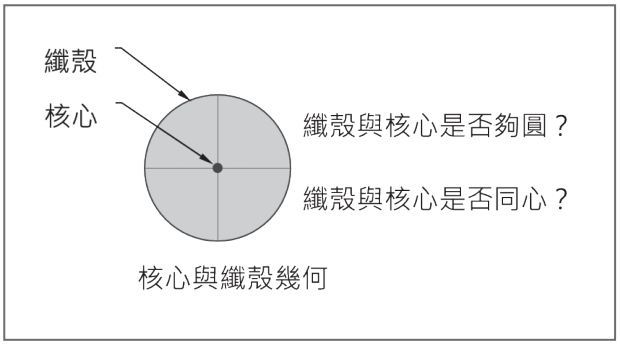
交通部中華技術服務社 顧問 劉時淼老師
兼台灣區電信工程工業同業公會 技術諮詢顧問

前言

在光纖鏈路損失無極限（一）以熔接損失為結尾，本文再更深入的探討熔接損失。光纖熔接時，兩心光纖總是無法完美的對正，有下列原因：

一、新舊光纖熔接時

舊光纖的製造時尺寸誤差不像今天的光纖製造控制得那麼準確，導致新舊兩光纖熔接時無法正接的對準匹配。如下圖，可從兩方面來看。1.核心與纖殼兩者是否都是正圓？反過來說，就是楕圓度（Ovality）。2.是否同心？這兩條件會直接影響光纖熔接時的對正。



圖（一） 核心與纖殼幾何

二、不同廠牌光纖熔接

早期的同型號的光纖在不同廠家製造所產生的差異較為明顯，尤其是G.652光纖（傳統水峰光纖），但現在已經改善許多。不過，在製造過程中光纖成形及纖殼與核心〝過渡接面〞的結構仍有些不同，在非傳統光纖（G.652光纖以外）這種現象仍然非常普遍。

三、不同型號光纖熔接

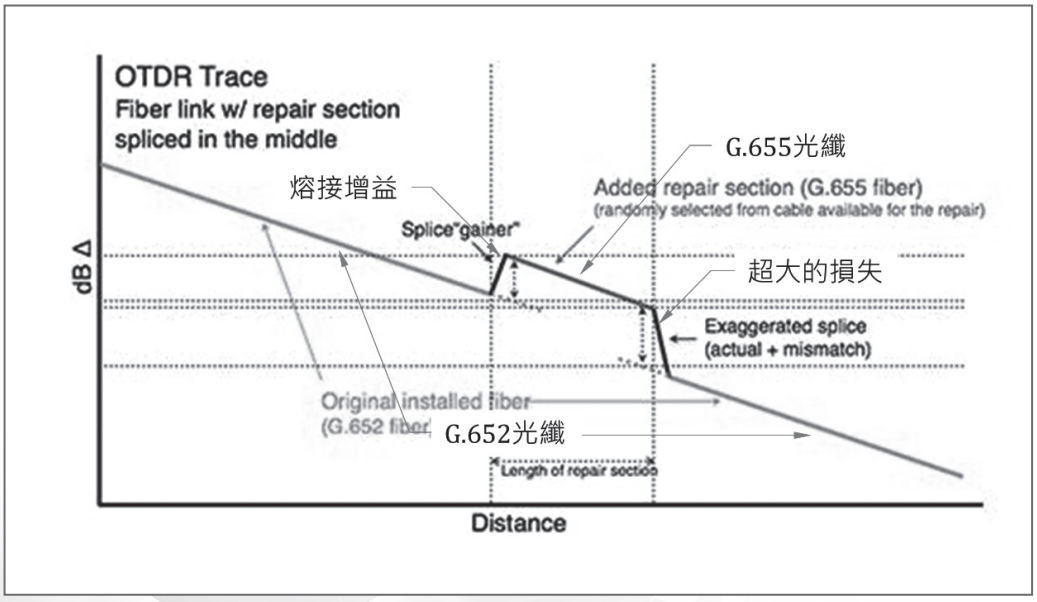
電信網路上的單模態光纖核心尺寸是以光功率在傳輸時涵蓋的面積（模場直徑）為核心直徑。不同型號的光纖有不同的核心直徑，或不同形式核心與纖殼的接面，相互熔接一定會造成熔接損失。常見的光纖有下列四種：

1. G.652光纖是目前管道內最多的光纖，又分A、B、C、D四種，A、B、C為8.6~9.5，D是8.6~9.2。
2. G.654光纖適用於長程之陸纜及海纜密集分波多工光通信系統，有A、B、C、D、E五種。A、C核心直徑為9.5~10.5、B是9.5~13、E為，是所有單模態光纖中核心最大者。
3. G.657耐彎曲特性極佳，在侷限空間內使用，如IDC機房。分A、B兩種，核心直徑都是，市面上還是不多。
4. G.655叫「非零色散」光纖，顧名思義，此光纖故意帶有色散是為了解是分波多工內光信相互串音。亦有A、B、C、D、E五種。A、B、C核心直徑為8~11，D、E核心直徑為8~11。

以上四種光纖相互熔接的機會不多。可是即使是同型號相熔，因為的關係會產生誤差。

熔接會使光信號產生〝散射（Scattering）〞。目前能量出熔接散射的只有OTDR，在OTDR的軌跡圖上散射量大的光纖軌跡會呈現在散射量小的上方，這高低差就是熔接損失，而損失值又會因相對大小而誤差。

圖（二）是一條傳統G.652光纖鏈路中間插接了一段G.655新光纖後的熔接OTDR的軌跡圖。新舊光纖之間的核心幾何尺寸只有些微的差異，如果熔接的是G.654光纖，軌跡圖的落差會更大。



資料來源：ISE Magazine, Link Loss Uncensored, Feb. 2, 2018, by Tim Yount,

圖（二）G.652和G.655光纖熔接軌跡

上圖左邊的接點產生〝熔接增益（Splice Gain）〞而不是熔接損失，是因為OTDR從左邊低散射（G.652）往G.655測試時，看見很大的散射量，軌跡隨著大量散射而上揚。經過這段光纖才看到低散射量光纖，但其散射量光纖的散射相對於先前看到的亮點暗了許多，所以軌跡下降形成很大的損失。而真正的損失是必須再從另一端測回來，把這兩點所得的增益及損失值平均起來。這也就是為什麼用OTDR測試光纖鏈路時，兩頭（A→B，B→A）都要測的原因。

那麼，連接器〝連接〞會不會也產生這種現象？其實是會的。只是因連接的損失很大（連接損失0.5dB相對於熔接的0.05dB），把熔接增益掩蓋起來而看不見罷了。

四、挑戰熔接損失極限的意義

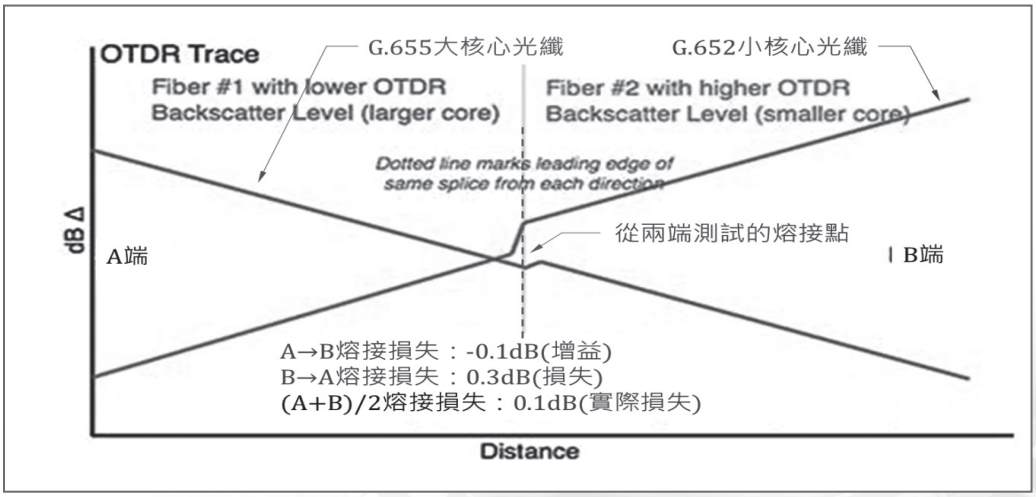
除了前述的現象之外，熔接損失0.05dB為什麼會這麼重要？是因為這個數字關係到熔接損失的測試過程。大部份的熔接損失都是使用熔接機熔接後立即測得，但是熔接機不是〝測試儀器〞，其測試參數是由熔接機廠商設定，不一定符合整個鏈路的實際損失數值。有意義的損失值只能用OTDR量測，而OTDR的數值都是在驗收時或光纖維修重新熔接後測得，是落後指標。萬一OTDR損失報表不及格，工作人員還是以0.05dB的數值回到現場開箱重新熔接，結果還是一樣，因為為光纖本身結構的誤差仍在。

過渡的堅持熔接損失底限除了浪費時間外，也會增加施工成本。比較實際的方法是審視全鏈路光功率損失，和預估功率比較，然後把每個造成損失的因素調整到平衡才是正途。

五、最實用的損失評估方式

OTDR可以說是光纖測試最重要的儀器，不只可以測試鏈路、個別熔接點、連接器損失，也可提供視覺觀察、紀錄、及評估整個鏈路。早期OTDR確實是用來即時監測熔接損失，但隨著降低人工成本要求及熔接機功能的進步，OTDR就退居幕後扮演起〝垂簾聽政〞的角色，所以通常只用在整個鏈路完成後驗收測試及光纖維修後。

要用OTDR正確的評估光纖鏈路損失，一定要做雙向測試，如圖（三）。



資料來源：ISE Magazine, Link Loss Uncensored, Feb. 2, 2018, by Tim Yount,

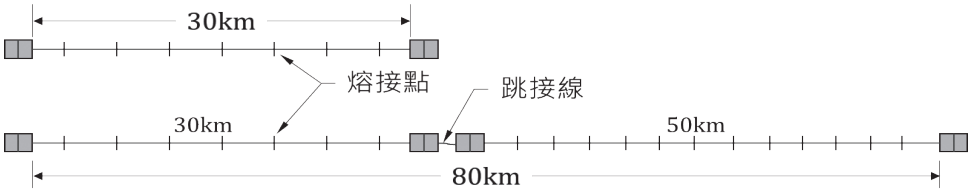
圖（三）OTDR雙向測試軌跡圖

目前業界都把熔接損失設定在0.1dB到0.2dB。雖然0.05dB可以做得到，但稍微的放寬標準且做雙向測試平均，即使光纖不匹配，熔接損失仍然可以驗收通過。

六、鏈路損失計算比較

瞭解各種造成損失的原因及熔接損失設定的方式，把光纖、連接器、和熔接三個因素都計算在內，用0.05dB和0.15dB熔接損失為基準，來比較鏈路的總體損失。

下表是80公里及30公里兩條不在光纜內的純光纖鏈路架構，及各個因素造成損失的列表。每隔5公里有一熔接點，80公里鏈路中間有一跳線連接點。



鏈路長度	30km		80km	
熔接點數量	7		19	
連接點數量	2		4	
最大熔接損失/dB	0.05	0.15	0.05	0.15
最大連接損失/連接器對接(dB)	0.50	0.50	0.50	0.50
a. 光纖損失，1550nm，0.2dB/km	6	6	16	16
b. 連接器對接損失(dB)	1	1	2	2
c. 熔接損失(dB)	0.35	1.05	0.95	2.85
總損失=a+b+c	7.35	8.05	18.95	20.85

圖（四）不同長度光纖鏈路損失因素計算表

依圖（四）的比較，我們得到下列結論：

1. 無論是30公里還是80公里，鏈路總損失的最大來源是光纖本身。就算把熔接點間距縮短成2公里，纖纖本身仍是鏈路損失的最大來源。
2. 連接損失每處0.5dB，大於熔接損失甚多，要想辦法降低。
3. 熔接損失就算用每處0.15dB來預估，對鏈路的總體損失而言仍是最小的影響因素。

瞭解各個光纖元件在鏈路損失中扮演的角色對損失的處理很重要。又得出下列結論：

1. 連接器通常是鏈路障礙的主因，使用時其端面必須確實清潔。
2. 經常檢查並清潔光纖端，包括跳線、配線板埠孔、測試儀器連接埠。
3. 在總損失預估範圍內，不必堅持一定要最小損失熔接點，允許光纖有一點不匹配仍可達到目標。
4. 用OTDR測量光纖鏈路時，一定要雙向測試，把測得的損失平均才是最接近實際的損失。

現今的電信網路有不同的形態、規模、及複雜度，實體層必須能夠快速載送資訊。這一切都是建在光纖網路上，好好的處理網路損失才是〝王道〞！