

## 生活科技

# 你家的網路線也能感測地震？

文 / 黃信樺 (中研院地球科學所副研究員) 圖 / JuJu、白琵、達志影像



▲圖 1：網路數據機與光纖網路線。

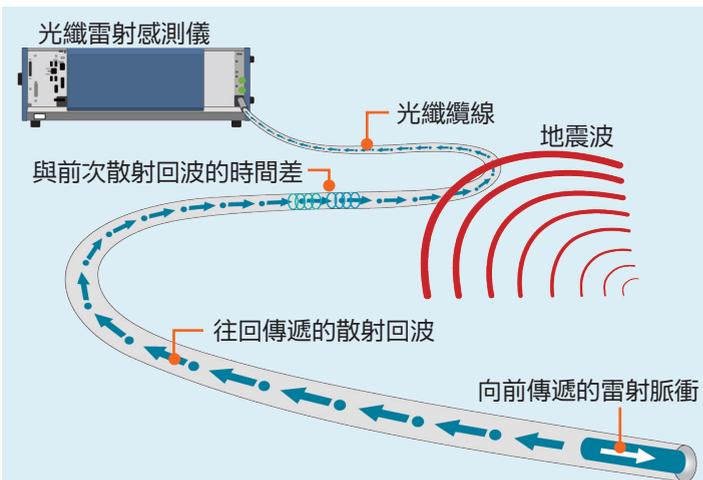
## 10 公里長的通訊纜線可當 2 千 5 百臺地震儀

臺灣地處板塊活動劇烈的板塊邊界，頻繁的地震幾乎是我們生活的一部分。如果要了解地震，必須先收到地震波的訊號，才能加以分析、預警。過往我們仰賴的是地震儀，一部部地震儀就像是地球的聽診器，幫助我們記錄任何人體所無法感知的細微振動，包括海浪、風與河流產生的訊號，以及地下斷層錯動所產生的地震訊號。1970年代起，中央氣象局（中央氣象署前身）

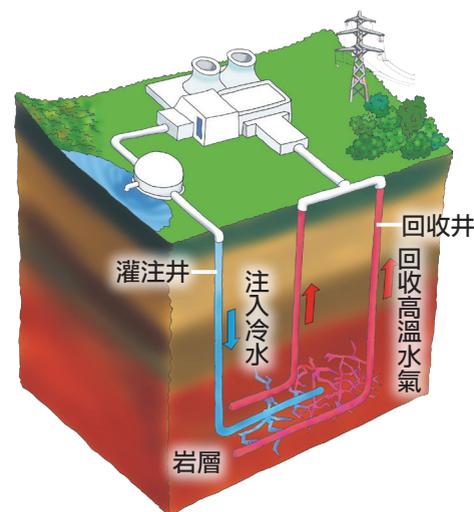
與許多地球科學單位逐步建置、汰換地震儀，目前國內已有約千餘臺地震儀，而「分散式光纖感測發射器」只需接上一條 10 公里長的通訊纜線，就可當 2500 臺地震儀用（纜線約每 4 公尺可視為一臺地震儀）。

## 光纖相較傳統地震儀不受電磁干擾抗寒耐熱

相較於傳統地震儀，光纖還有許多優勢。在維護成本上，地震儀是精密的電子儀器，需長期且需對數



▲圖 2：分散式光纖感測技術原理。透過量測雷射脈衝回波的時間差，能得知光纖纜線在哪一段被壓縮或拉張，如同彈簧般能記錄地震的振動訊號。

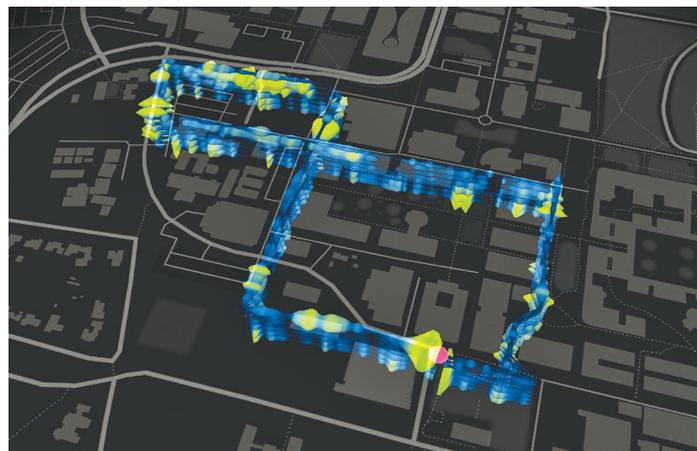


▲圖 4：加強型地熱開發系統示意圖。自灌注井注入冷水到高溫的地下岩層中（藍色箭頭），再透過岩層裂隙將被加熱的水從回收井收回（紅色箭頭），取熱發電。光纖纜線可沿這些地下井安裝，監測裂隙情況與微震活動。

十到數百個測站——維護又易受電磁場干擾。光纖則只是一條傳輸線材，需要維護的儀器只有一個，即發射端的雷射發射器，維護成本較低且不受電磁場的干擾。

另外，光纖纜線的線材塗層與填料還能抗嚴寒與高溫，非常適合埋設在極端環境中，例如冰川、洋底、甚至系外行星。近年來，國內外重視地熱能源開發（圖 4），光纖纜線耐高溫的特性也使它較易埋設在地熱井中，對於開發取熱是否會誘發地震活動的監測，將會扮演關鍵性的角色！

所以，別小看家裡的網路線，它真的能感測地震呵！



▲圖 3：史丹佛大學校園的地下通訊光纖試驗。圖中 8 字型為分布在校園地底下的纜線位置；顏色越亮，代表接收到的振動訊號越大。圖片來源 / <https://news.stanford.edu/stories/2017/10/building-billion-sensors-quake-monitor-optical-fibers>

光纖通訊是一種利用光與光纖材料傳遞訊息的有線通訊技術。自從 1980 年代問世後，歷經數代的技术改革，它低損耗、高容量的特性已逐漸成為現今數位時代最主要的通訊技術。從電信機房到家中的網路線（圖 1），或到超長距離的越洋海纜通訊，都可以看到光纖的身影，而你知道傳輸資料的光纖也能感測地震嗎？

## 分散式光纖感測技術測雷射光束回波時間差

由於光纖是一種由玻璃或塑膠組成的材料，存在有許多細小的雜質，因此當訊號源打出雷射光時，這些雜質會使雷射光產生散射與回波現象，「分散式光纖感測技術」便利用這種回波特性，透過高速量測雷射光束的回波時間差，精準計算出光纖中的散射點（雜質）的相對位置變化，就可獲知光纖纜線上任一線段（也就是任意兩散射點距離）是被壓縮了（兩散射點距離變短）還是拉長了（兩散射點距離變長）的訊息（圖 2）。這樣的技術等同於讓整條光纖纜線都變成了一段段可以感測震動訊號的彈簧裝置，化身成一部部的地震儀。

最早將光纖應用在感測地震的是美國史丹佛大學的一個團隊。2017 年，他們發表了一篇研究論文，提出在校園裡進行的一項地下通訊光纖實驗（圖 3），令人驚豔。研究中，地下光纖通訊纜線詳細的記錄描繪各地不同強弱的振動訊號，而振動訊號監測密度之高，是過往傳統地震儀每隔數十公里才設置一站所做不到的。尤其它還可以應用在對關鍵設施的監測，如橋梁、壩體、核電廠等。特別的是，地下光纖網絡已在各城市間遍布連結，未來很可能成為名副其實的地震觀測「網」，是微震偵測與地震預警的重要利器。