

敲敲地球透視地層

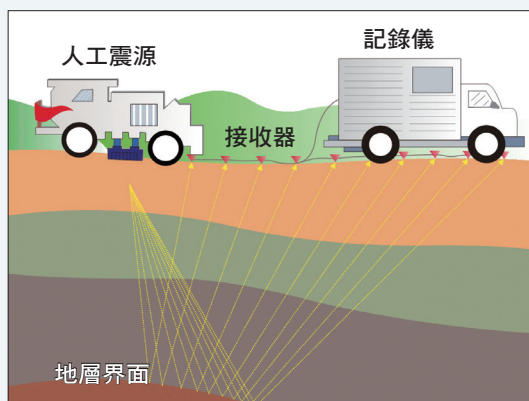
古佳艷、張峻璋

石油探勘人員到底用什麼辦法找到深埋在地底數千公尺的石油？
答案是利用震波。

地質資訊的探測

野外的地質構造可以依靠地質調查人員跋山涉水的量測取得地表實際地層資料，但地底下的地質資訊只能靠鑽井取得。然而鑽井費用相當昂貴，往往一口井的鑽探需上億元，若是只依靠鑽井來了解一個區域地底下的構造，需要鑽非常多口井，花費龐大，而地球物理探勘法可以解決這個問題。

地球物理探勘是利用各種探測儀器，在地面上探測地底下地層的震波傳遞速度、重力、磁力、導電性、輻射性或溫度等，以了解目標區域地下的地質構造和岩性分布，進而找出可能有經濟價值如油氣、水資源、地熱資源或特殊礦產的區域，或者應用於工程地質方面，調查地下斷層、岩盤的深度。利用地球物理探勘來尋找油氣的方法很多，主要有重力、磁力、電磁、震波測勘等，但各種地球物理探測方法各有其解析能力和限制，其中廣為使用的就是反射震測法。



野外陸上反射震測探測的示意圖

反射震測的原理

反射震測法簡稱震測，像是為地球進行電腦斷層掃描的地下照相術，是利用人工震源發送震波傳入地底，經地層界面反射返回地表後由接收器記錄，再透過處理人員分析震波的傳

地球物理探勘是利用各種探測儀器了解目標區域地下的地質構造和岩性分布，
而能找出可能具有經濟價值如油氣、水資源等的區域。

反射震測法像是為地球進行電腦斷層掃描的地下照相術，是目前能提供較精細地下構造影像且最有效率的方法。

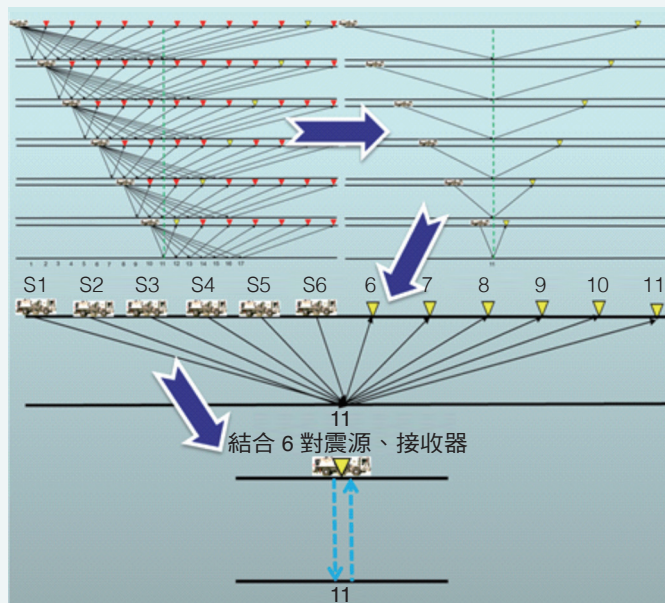
播時間與波形，得知地底下的岩層概況。這是目前能提供較精細地下構造影像且最有效率的方法。

反射震測為什麼能查明地下的地質構造呢？人在山谷或大廳裡大喊一聲，能聽到回聲，這是因為聲波在空氣中傳播遇到障礙物會反射的緣故。利用聲波反射現象，可以測出障礙物與我們所站地方的距離。而光的傳播遇到不同介質會產生反射波與折射波，在不同介質中光的傳播速度也不同。震波的傳播原理與聲波、光波的傳播十分類似。

震波遇到不同地層界面時也會有反射與折射現象，不同地下岩層的密度與傳播速度不同，不同地層傳回來的震波也會有不同的旅行時間。因此，藉由觀測震波自人工震源回到接收器的傳播時間，一層層反推計算各個反射面的時間，就可以了解地底下深度多少的地方存在主要的反射層面。把這些反射層面的深度或旅行時間整理後，可以得到一張精緻的震測剖面圖。

震測資料的蒐集

有效率的震測探勘會利用多波道系統進行。為了了解震源至接收器之間垂直方向的地層資訊，若在探測點上擺放震源與接收器，一個一個地發送、一個一個地接收，雖說可以得到地層的震波垂直旅行時間，但耗時費力。地球物理學家因而採用一套震源設備搭配數十個以上的接收器，彼此之間由電纜線連接，每一次震源激發便可以收到許多條的震波紀錄。



同中點疊加的概念

因為震波的反射信號不強，所以易受到雜訊干擾，雜訊的來源有高壓電、車輛、風、水流等，又以都市車輛往來的干擾最大。為了加強反射信號的品質，需沿著預定測線以固定間距探測，得到許多的反射波，再把以某一位置點為中點的多條反射波疊加以強化這位置點下方的反射信號，這就是反射震測原理的核心概念「同中點疊加」。沿著測線點把疊加後的反射震波紀錄排列起來，這是震測資料處理中最基本的一環，最終目的是得到正確的、加強訊號的地下構造影像圖。



陸上的人工震源，4部振盪震源車同時進行振盪中。

在陸地上製造人工震波，一般利用炸藥爆炸或振盪震源車，在海上則大多利用空氣槍。以陸上探勘來說，因為環保問題以及探測地區可能在人口稠密區，為了降低破壞程度，對環境衝擊較低的振盪震源車便是最常用的人工震源儀器。為了加大震源，往往由多部振盪震源車同時出力，產生一個固定頻率區間的震波。

為因應探測目標的不同，震波測勘有不同的尺度規模，而探測方法也從2維進化至3維，從獲得「面資料」進而轉變成獲得「體資料」。若一次震源不只是搭配1條接收器測線，而是搭配數條在探測區域內平面展開的測線，則每一次震源的激發就能快速地接收該區域整個平面下方的震波訊號，這就是3維震波測勘。規模愈大、越有效率的震波探測，就需要能量愈大的震源及更多接收器的收錄系統，當然花費也隨之增高。

蛛絲馬跡覓油蹤

從野外蒐集來的震測資料經過處理後，便會交由解釋人員解釋。在震測圖上會有許多訊息，包括資料的探測參數、處理參數、測線的地表高程、速度等。而震測解釋的目的是利用這些經由資料處理後的反射震測剖面，結合地質、測井及其他資料，再根據震波的傳播理論和地質規律，把震測剖面轉化為地質剖面。

震測剖面的解釋主要有構造解釋和地層解釋。構造解釋就是繪製地質構造，主要是解釋震測剖面上反射波的連續性與反射特性，把各個主要反射層面相連，就能獲得反射界面的起伏深度資訊。若觀察到反射面在某處突然間斷，也就是反射訊號有側向不連續的情形，代表很可能遇到了斷層。經由仔細的解釋，搭配周遭的井下地質資料，就可以了解地下地層的分布形

貌，以及是否有斷層、背斜或向斜等讓人感興趣的構造分布。構造解釋是較傳統的震測資料解釋方法，主要用來尋找以構造封閉為主的儲油氣層。

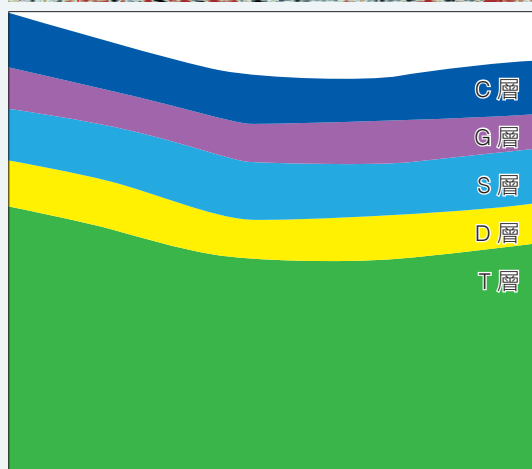
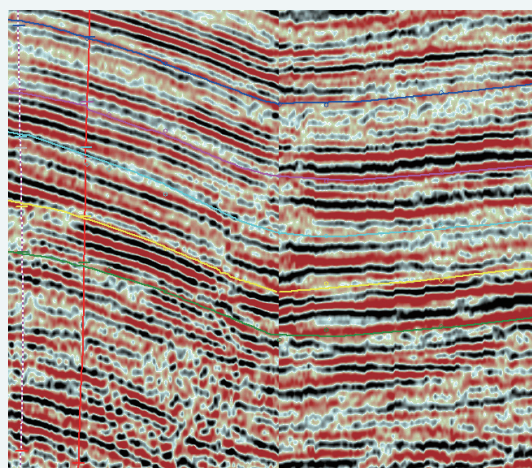
地層解釋就是利用震測訊號的特徵分析地層的特性，主要是利用震測剖面上反射波組合的特徵、反射波內部結構和外部型態等，提取有用的地層資訊，也稱為震測地層學，隨後更依此發展出層序地層學。另外，透過震測的地層解釋，分析震測層序和震測相，建立地層架構來恢復盆地的古沉積環境，可用以預測生油岩和儲油岩的分布。

從物理的角度來看，反射震波能綜合反映出地下地層複雜的岩石物理訊息。除了震波的旅行時間訊息外，地底下的每一層岩層因為組成礦物、埋藏時間環境或固結程度不同，會有不同的聲波阻抗，使得震波在不同地層交界面上傳播時會產生不同的反射波波形，包括振幅強度、頻率、相位等變化。因此，震測剖面圖上除了可看出地下岩層界面的深度外，還可以顯示出不同地層界面的震波強弱、相位等震波訊號變化。

石油探勘人員若進一步對震波訊號進行定量分析解釋，再配合鑽井地質等資料逆推分析，便能精細推斷地下地層的構造、岩性，以及判別是否有油氣，一窺地底下油氣的蹤影。

震測屬性技術

除了上述的震測解釋方法之外，最近蓬勃發展的震測屬性分析技術，也是震測定量分析技術的一種。主要是利用振幅、頻率、相位、速度、複波線等各種震波中隱含的物理參數，進行各種數學、物理、

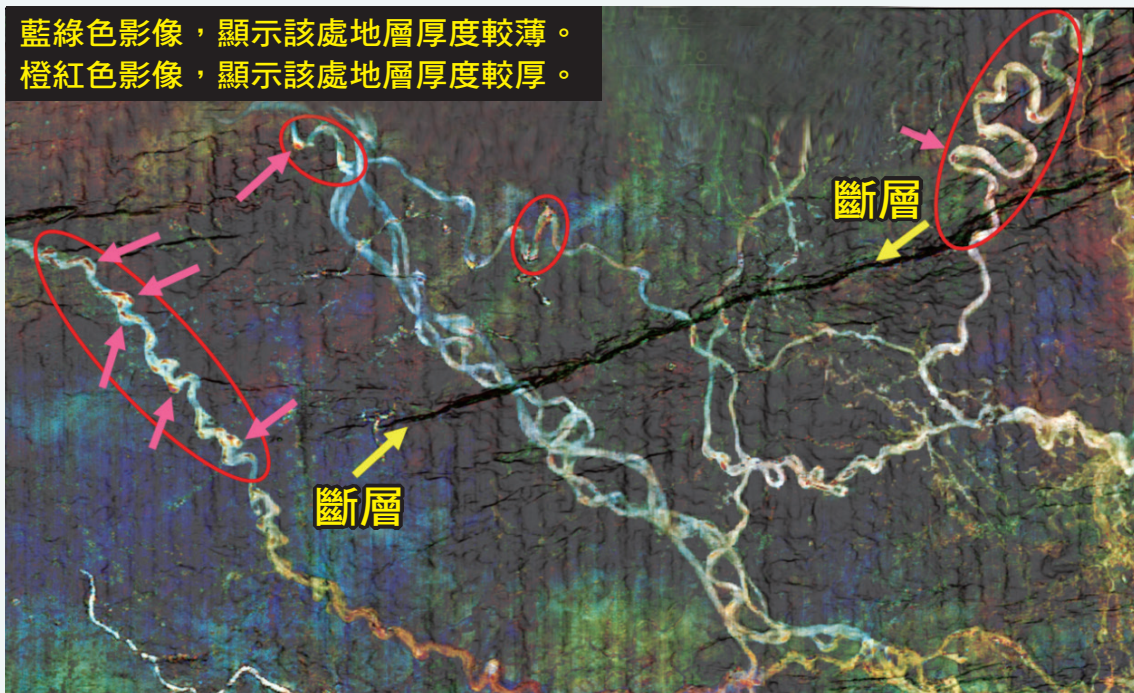


震測圖（上圖）與解釋結果（下圖）。

統計學或地質的計算。有時幸運挑選到對的震測屬性，得到具有特別效果的關鍵影像，就可一眼看出特殊的構造在何處。

舉一例子說明如何應用震測屬性。石油探勘人員向來很關心地底下古水道的分布，因為古水道曾經是過去沉積物搬運堆積的流動管道。某次在分析一個案例時，發現利用兩種震測屬性技術可以提供埋藏在海床底下清晰的古水道影像。

藍綠色影像，顯示該處地層厚度較薄。
 橙紅色影像，顯示該處地層厚度較厚。



首先是利用相干性。簡單來說是計算震波的波形在相鄰空間上的相關性或連續程度，相干性越高代表構造狀況較為連續，相干性越低代表兩側波形有較大的變化，反映該處的地下構造有較大的側向變化，很有可能遇到斷層或被水道侵蝕。

接著是利用頻譜分解。以數值轉換方法把資料的振幅由時間域轉換到頻率域，分析目標地層在不同頻率帶下的振幅分布變化。若某些特定頻段有較強的頻譜分量，且強的頻譜分量效應與地層厚度相關時，這頻率可反映目標地層的厚度，因此分析該地層的頻譜分量可推知該地層厚薄。簡言之，低頻的頻譜分量反映厚地層，高頻的頻譜分量則反映薄地層。

進行頻譜分解後，得出 3 個不同頻帶的資料體，把這些資料體做光的三原色疊加，進行多屬性混合展示，便可以看到埋藏在海床底下 1 公里深的古水道影像以及

斷層分布，而且清楚看得出古水道的轉彎處哪裡沉積物較厚、哪裡較薄。砂體較厚的地區，若底下有油氣來源，且覆蓋在上面的泥岩或頁岩夠厚而能保留住油氣，這地區就是探勘目標的優先地區了。

地球物理分析技術日益進步，然而油氣探勘本來就不是一件容易的事，還是會有破不了的懸案。需要客觀分析各種領域的資料，抽絲剝繭，讓資料說話，才能成功找到油氣。

古佳艷

台灣中油股份有限公司探採研究所

張峻璋

台灣中油股份有限公司探採事業部