

出國報告（出國類別：開會）

參加 2016 年地球物理探勘師學會年會與  
短期訓練課程  
出國報告

服務機關：台灣中油公司

姓名職稱：李健平 地球物理探勘師

派赴國家：美國

出國期間：105 年 10 月 14 日至 105 年 10 月 22 日

報告日期：105 年 11 月 22 日

## 摘 要

本次出國參加 2016 年地球物理探勘師學會年會與短期訓練課程，目的為瞭解地球物理探勘技術的最新進展，學習井下地球物理的技術，以及蒐集各探勘軟體的發展資訊。行程自 105 年 10 月 14 日至 105 年 10 月 22 日，為期九日。今年年會在美國德州達拉斯市舉辦，先參加會前兩天的短期訓練課程，課程題目為井下地球物理：理論與實務，主要內容為介紹垂直震測剖面法的基本原理、資料採集、資料解釋、與振幅-支距的校正、非均向性與案例研究。接著是四天的技術研討會，主題相當多元且廣泛，有參與聆聽的主題有震測逆推的案例研究、頻譜分解方法與利用、震測逆推相關的儲集層描述、液裂誘發地震、地層年代與震測解釋套用在油氣指徵、薄層與震測相逆推，以及全波形逆推等，皆是與目前工作相關或是有興趣的研究主題。透過地球物理探勘師學會年會這樣多元的主題，對於地球物理探勘的各種技術與進展有更進一步的瞭解，而本次參加年會所吸收與蒐集的資料，提供給公司同仁做為未來研究計畫、探勘軟體選擇的參考。

## 目 次

摘要 .....	1
目次 .....	2
目的 .....	3
過程 .....	3
建議與心得.....	7
附錄 A.....	9

## 參加 2016 年地球物理探勘師學會年會與短期訓練課程出國報告

### 目的：

地球物理探勘師學會（Society of Exploration Geophysicists, SEG）年會為全球地球物理探勘領域最大的年度技術研討會，世界知名的學者、國際各大石油公司專家和相關軟體廠商皆會選擇參加此年會。身為石油公司研究部門的地球物理探勘師，參加此年會可瞭解目前地球物理探勘發展趨勢，以及最新技術與發展。

往年在年會開始前兩天，地球物理探勘師學會都會舉辦為期一天或兩天不同主題的地球物理探勘相關課程，提供在業界工作的地球物理探勘師繼續精進學習或是在學學生學習專業技術的機會。井下地球物理為地球物理探勘領域的一項專業技術，參加短期訓練課程，除了能加強本質學能與專業能力，也可由實際案例來瞭解這些技術如何實際應用於公司礦區評估與經營，學習地球物理探勘新技術，並吸收國外探勘方面資訊。

目前地球物理探勘師的工作內容是利用地球物理專業技術分析震測資料與井測資料，進而評估礦區油氣潛能，或是查閱國外評估礦區之地球物理資料，然而這些工作皆需對地球物理專業技術瞭解並有實做經驗，才能正確地分析與解讀資料，做出合理的解釋與判斷，因此透過參加地球物理探勘師學會年會與短期訓練課程來學習最新理論與更新相關技術資訊，以達成提升地球物理專業的目的。

### 過程：

今年的地球物理探勘師學會在美國德州達拉斯市的會議中心（Kay Bailey Hutchison Convention Center）舉辦（圖一），此次出國行程從 10 月 14 日開始到 10 月 22 日結束，為期九天，其中 10 月 15 日到 10 月 16 日兩天參加井下地球物理（Borehole Geophysics）訓練課程，10 月 17 到 10 月 20 日四天參加地球物理探勘師學會年會，其餘時間為交通時間，行程如表一所示。

井下地球物理訓練課程是由 Rick D. Kuzmiski 授課（圖二），講師對於這個主題經驗豐富，不管是在實務上或是理論上都有深入鑽研。課程主題為井下地球物理：理論與實務（Borehole Geophysics: Theory and Practice），講師經歷相當豐富，在加拿大的英屬哥倫比亞大學（University of British Columbia）地質學士畢業後，先後在幾家地球物理公司從事地球物理資料處理工作，尤其對於井下地球物理的垂直震測剖面法（Vertical Seismic Profile, VSP）相當專精，目前在斯倫貝謝（Schlumberger）公司旗下的 WesternGeco 公司

擔任井下地球物理顧問。

表一、本次參加 2016 年地球物理探勘師年會之行程。

日期	地點	行程
105/10/14	台北-洛杉磯-達拉斯	去程
105/10/15-16	達拉斯	參加 2016 年地球物理探勘師學會年會會前短期訓練課程
105/10/17-20	達拉斯	參加 2016 年地球物理探勘師學會年會
105/10/20-22	達拉斯-休士頓-台北	返程

課程主要內容為垂直震測剖面法（VSP）的基本原理、資料採集、資料處理、與振幅-支距（AVO）的校正、非均向性以及案例研究。這個技術主要是用來提供較為精準的時間-深度關係，做為結合井測與震測資料的控制，此外可對振幅-支距分析進行比對與研判，確認震測剖面的油氣所在位置。講師準備的教材豐富詳細，課程結束之後仍可以反覆研讀教材，吸收與理解內容。兩天課程講解垂直震測剖面法的原理與應用，原理介紹詳細，偶有實例穿插說明。課程中提供一些實做練習，經由這些實做練習，對於理論更加瞭解，而對於應用方式也更為清楚。由於兩天的時間要講述完這個主題，時間上相當緊湊，所以在最後的非均向性與案例研究講解較為精簡。

這個短期課程除了講述原理外，也透過一些練習讓人清楚瞭解講述內容，另外也用實際案例來說明這些技術的用途。然而有些技術仍在發展中，有些技術已經發展成熟，未來可應用於本公司研究計畫。其他關於訓練課程內容的細節請見附錄 A。

上了兩天的短期訓練課程，接下來的四天參加地球物理探勘師學會年會。在會議前已針對有興趣的主題所發表的文章做過功課。地球物理探勘師學會年會的主題相當廣泛，從資料採集、資料處理、資料解釋到個案研究、從震測、重力磁力、電磁到地熱、從陸地到海上，皆有相關議題發表。由於目前工作主要是震測解釋與屬性分析，因此對於這方面的主題發表較有興趣，像是頻譜分解方法與應用、震測解釋案例研究。但是從實際上發表的論文主題，可以看出全波形逆推（Full Waveform Inversion, FWI）為目前熱門的研究主題，透過全波形逆推的方法來研究速度構造與品質因子（Quality factor, Q），在更精確的速度構造與衰減構造下，得到更好的資料處理結果。

年會發表通常有分口頭發表與海報發表，地球物理探勘師學會相較於其他年會不同

的地方在於儘管是海報發表，仍然有排定 25 分鐘的時間讓發表者在自己的海報前從頭到尾講解一遍，同樣主題的其他發表者與有興趣的人則都會在旁聆聽與發問，也因為如此，所以海報發表與口頭發表的差異並不大，而且要聆聽海報就變得需要特別安排時間去聆聽，以免錯過。不像有些國際會議是安排海報發表者有半天的時間在自己的海報前講解與討論。由於可聆聽的題目太多，因此海報的部分多是利用會議空閒抽空去瀏覽。

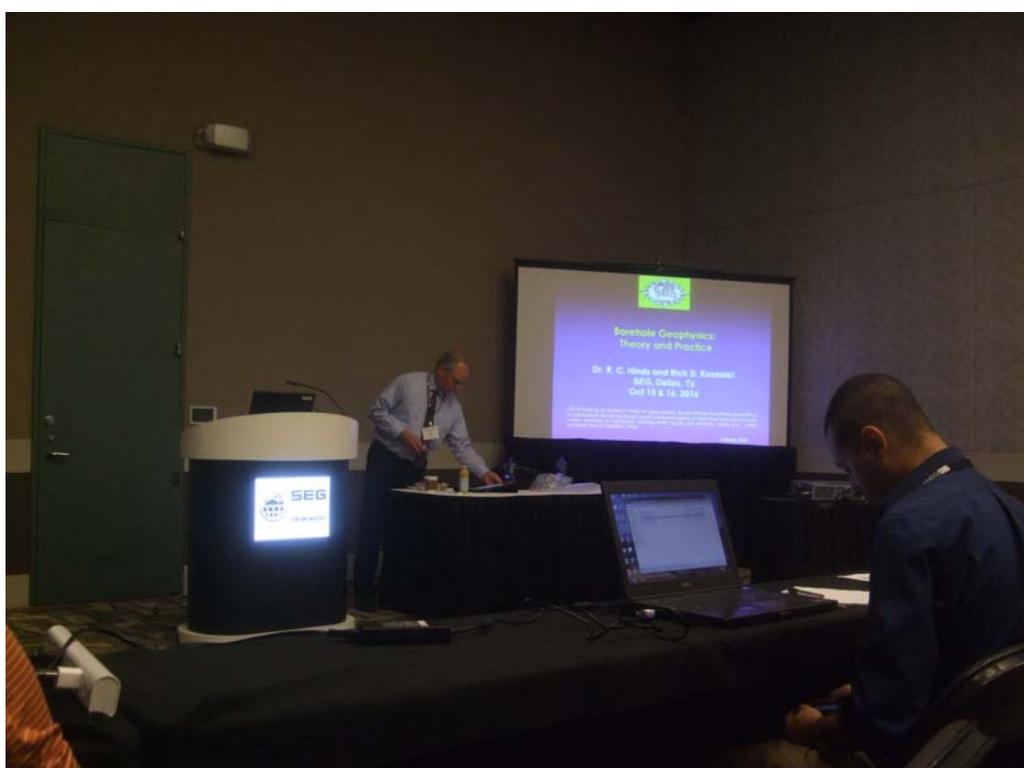
這次聆聽的主題有星期一下午：震測逆推的案例研究 (SI 1 Case Studies)、星期二早上：頻譜分解方法與利用 (INT 2 Spectral Decomposition Methods and Usage)、星期二下午：震測逆推相關的儲集層描述 (RC 3 Inversion 1)、星期三早上：震測逆推相關的儲集層描述 (RC 4 Inversion 2) 與液裂誘發地震 (SS 6 Injection-induced Seismicity)、星期三下午：地層年代與震測解釋套用在油氣指徵 (INT 5 Chronostratigraphy and Interpretation Methods for DHI)、星期四早上：薄層與震測相逆推 (SI 6 Thin Bed and Facies Inversion) 與海上震測資料採集 (ACQ 5 Marine Acquisition 2)。其他零星時間也有去聽全波形逆推 (FWI) 相關的論文發表，雖然目前沒有針對這方面的技術進行研究，但這是目前發展中的技術，所以有瞭解的必要。此外也有聽幾場海報部分的報告。

在年會發表技術論文的同時，展場也有各家軟硬體公司的商品展示和說明，本次花了部分時間在展場，針對各軟體的發展與新功能進行瞭解。在震測解釋軟體方面，許多公司皆有來參展，像是一進展場看到的第一個攤位是典範 (Paradigm) 公司，本公司過去五年即是使用 Paradigm 的軟體進行震測解釋與礦區評估。其他的探勘相關軟體公司還有賽吉紀 (CGG) 公司、斯倫貝謝 (Schlumberger) 公司、道格 (DownUnder GeoSolutions, Dug) 公司、地物洞察 (Geophysical Insights) 公司、艾利斯 (Eliis) 公司、吉歐泰瑞克 (Geoteric) 公司與地質建模 (Geomodeling) 公司等。這些軟體各有所長，大公司的軟體在不同領域 (如地質、地物、油層工程) 功能較完整且整合度較高，然而小公司的軟體在特殊功能上有較強大的分析能力，端看使用者經費與需求。除此之外，為了讓與會者能更加瞭解該公司軟體的功能，大部分的軟體公司每天都安排不同主題與功能的說明與應用，為了鼓勵與會者參與，聆聽完還會贈送小禮物。這些公司的新技術研發或是應用成果也有在技術研討會上發表，顯示這些軟體公司不只是單純地研發軟體技術，同時也有將新技術應用於實際資料。

地球物理探勘師學會年會在星期四中午結束，雖然當天下午以及隔天還有一些主題的工作會 (workshop)，由於沒有參與，因此整理行李，搭上晚上的飛機，返回台灣，圓滿完成此趟行程。



圖一、2016 年地球物探勘師學會年會在達拉斯市會議中心舉辦，圖為會議中心。



圖二、訓練課程照片。

## 建議與心得：

本次參加 2016 年地球物理探勘師學會年會與短期訓練課程「井下地球物理：理論與實務」(Borehole Geophysics: Theory and Practice)，心得分別由不同面向來說明：

### 1.短期訓練課程方面：

在講師的精闢講解之下，除了對於原理有更深入的瞭解，講師提供的範例說明，讓學員清楚地瞭解內容，在專業知識與技術上的收穫豐碩，獲益良多。然而要在短短的兩天聽取與理解大量的專業知識，仍需要時間消化吸收，轉化成自己的東西，還需要課後花時間來完成。

原本報名前，有十幾個課程預定開課，然而最後只有七個主題的訓練班順利開課，雖然可能跟課程主題有關，導致報名人數不足，無法開班，但也顯示近幾年低油價造成油工業景氣低迷，至今仍未完全復甦，公司讓員工參加課程的經費也因此限縮。不過此現象從展場參與的廠商數目來看，明顯不同，參展廠商相當踴躍，參與廠商數量多，也可解讀為這些廠商積極地透過年會的展覽爭取客戶。

### 2.研討會方面：

從本次年會發表的主題可看出全波形逆推 (FWI) 有相當多的文章發表，主要是為了解速度構造和品質因子 (Q) 的問題，是目前相當重要的主題。全波形逆推是為了得到較佳的速度構造與衰減構造，可提供較為寬頻的速度資料，減少震測資料 (約 10-50 Hz)、井測資料 (約 7-10 Hz) 與速度資料 (約 0-5 Hz) 之間在頻帶上的資料缺失。硬體的施測方面，為了提高資料的品質，設計更為寬頻的儀器與施測方式。這都是為了得到更佳的資料處理結果，才能清楚解析地下構造，增加油氣評估之正確性，避免資料品質造成評估結果不確定性的風險。

距離上次參加 SEG 年會已有五年，相較於上次參加的年會，本次參與年會的亞洲面孔變多了，主要以中國大陸為大宗。而且年會發表的技術論文，不管是從中國大陸的油公司發表，或是中國大陸在美國、歐洲各大學的留學生發表，以及中國大陸人在美國油公司工作所發表，幾乎佔了所有發表論文數量的一半至三分之二，且每個主題皆可見，甚至有些主題發表的論文全部為中國大陸的油公司，顯示中國大陸在全球地球物理探勘領域表現相當積極活躍。相較之下，本公司僅派一員參加，顯現兩者之間的明顯差異。不禁讓人想到本公司近年招收許多地球物理與地質方面的新血，但是實際工作上接觸探勘軟體以及實際探勘資料的人為數不多，是未來的隱憂。

### 3.展場方面：

幾家大軟體公司在年會期間，每天舉辦多場的軟體新功能與新技術介紹，以及軟體使用講解的說明會，這樣形式的說明與年會中技術論文的發表，兩者的差別顯得小，因此展場亦是吸收新技術進展的機會。五年前參加年會時，只有少數廠商一天安排一兩個時段有軟體說明與介紹，這次在展場發現軟體廠商透過展覽與說明會的形式，強力推銷產品，讓人耳目一新。

透過本次參加年會的機會，確認本公司目前使用的技術是否跟上世界的潮流和水準。然而，一些基礎的工具與方法對於油氣探勘有其不可取代性，新技術與新觀念將是帶領公司開發新油源的契機，瞭解最新發展的趨勢，做為未來研究計畫的參考。課程所講授的地球物理探勘技術，部分已有應用於目前研究計畫中，部分仍未應用，在這次訓練課程之後，對於進行中的相關計畫可更進一步的研究，另外對於目前尚未應用的技術，可以應用於未來研究計畫之中，增加震測解釋可信度，降低礦區評估風險。

最後感謝探採研究所的長官與同仁們，提供這次出國開會的機會，瞭解國外地球物理探勘專業技術的最新進展，並學習相關專業知識，期望本次參加年會與訓練課程所帶回之參考資料與相關資訊能夠對於公司其他相關人員有所幫助。

## 附錄 A：

### 井下地球物理：理論與實務 Borehole Geophysics: Theory and Practice 訓練課程內容簡述

在油氣探勘的過程中，鑽井得到的地下資訊都是在深度域，地質模型與地質圖皆是在深度域，然而震測資料所提供的是時間域的資料，深度域與時間域的資料無法直接對應。井下地球物理所扮演的角色，即是做為時間域資料與深度域資料的橋樑，透過垂直震測剖面法（Vertical Seismic Profile, VSP）得到的時間-深度關係，讓所有的資料可以整合，在同樣的平台下檢視所有的資料，尋求任何可能的油氣機會。

本附錄根據本次課程的概念進行概述，分別以下列的圖說明：

圖 A.1 表示井下震測施測的類型，根據不同的地質條件與施測目標，設計不同的震源與接收器排列方式，包含校正炸測（checkshot）、零支距（zero offset）、支距（offset）、移源（walk away）、水平（horizontal）、鑽頭（drill bit）與三維（3D）等不同的垂直震測剖面法。其中校正炸測與零支距的施測以垂直方向為主，支距施測為側向的變化，震波會被三分量接受器記錄，三維施測為多方位的移源施測。

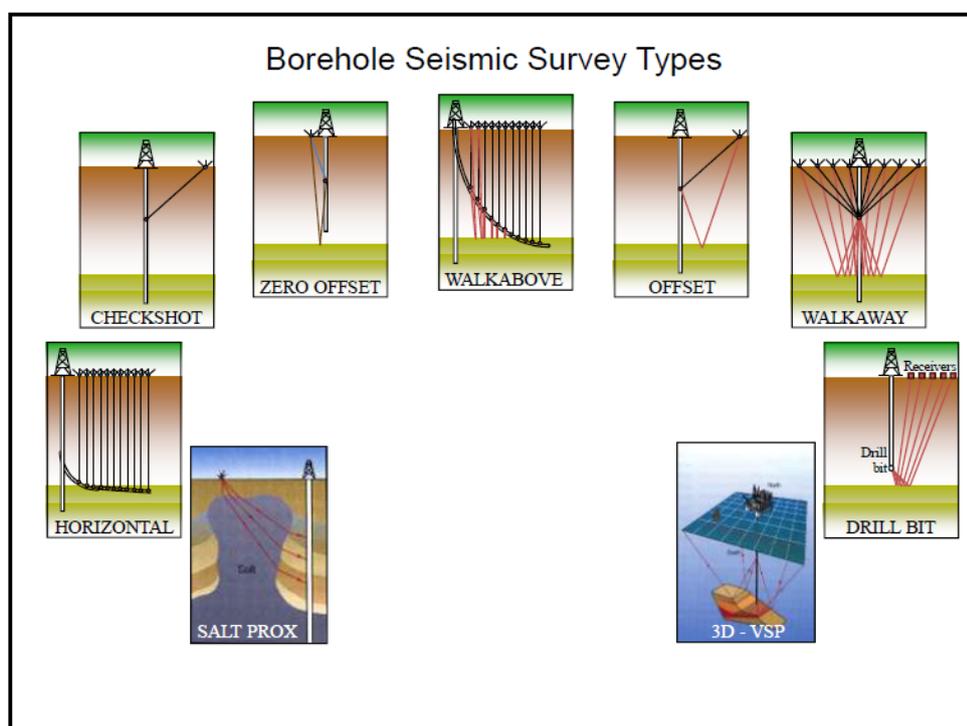


圖 A.1 井下震測施測的類型。

因為垂直震測剖面法的接收器不是在地表，因此不像一般佈設在地表的接收器只會收到上行波 (upgoing wave)，井下接收器會同時收到上行波與下行波 (downgoing wave)。第一個下行波即是初達波 (first break)。圖 A.2 表示垂直震測剖面法施測與接收到的震測資料示意圖。將記錄到的震測剖面之初達波到達時間 ( $T_{FB}$ ) 乘上兩倍，即可得到虛擬雙程走時剖面，進而與地表的震測剖面比較。通常是利用上行波，因為上行波是遇到地層界面後反射向上傳遞的波，即可反映地層界面的訊息。

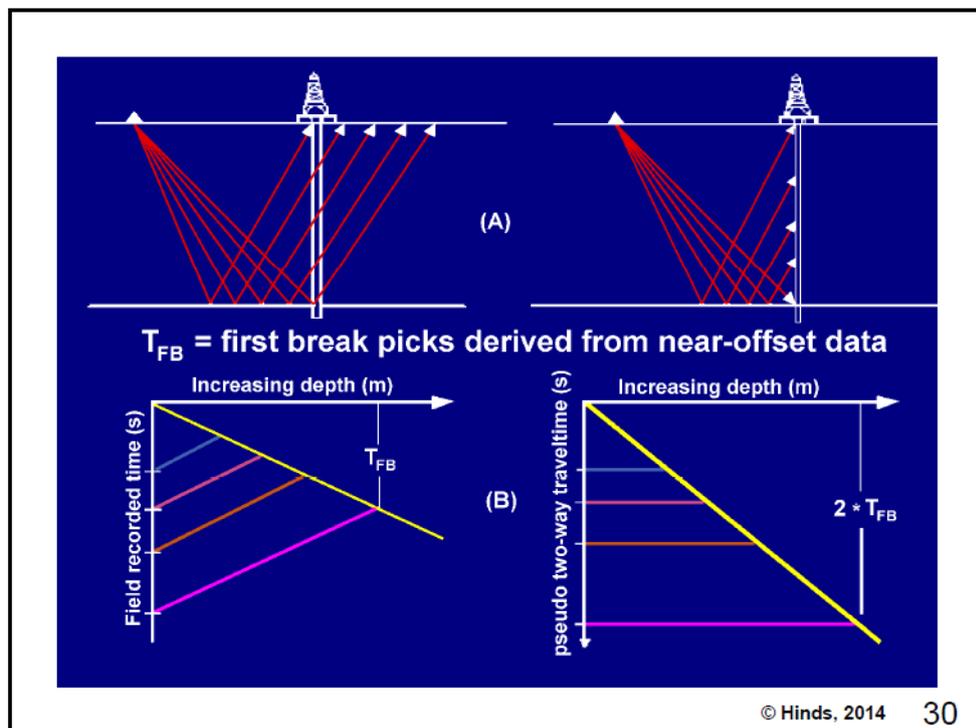


圖 A.2 (A) 接收器在地表 (左圖) 與地下 (右圖) 所接收到波的差別。(B) 左圖為野外記錄的震測剖面示意圖，右圖為轉換到雙程走時的震測剖面示意圖。

圖 A.3 表示垂直震測剖面中的上行波與下行波與其複反射。複反射為同一個地層多次反射的結果，因此會干擾原本的地層界面訊息，需要去除，以得到單純表示地層界面的震測剖面。其中地表所造成的複反射可由與初達波的極性相反而辨識出，而層間複反射的上行波是由地層底部反射所產生的，層間複反射的下行波則是地層頂部反射所產生的。要能辨識出主要波與複反射的差別，才可將複反射去除。

關於垂直震測剖面法的施測設計，接收器間距的設計需要考量信號在空間中的映頻混擾 (aliasing) 影響。圖 A.4 為表示垂直震測剖面各波相的示意圖，轉換到頻率-波數域 (f-k domain) 後，各波相分布的示意圖，接收器的間距不可太寬，要小於尼氏波數 (Nyquist wavenumber)，才不會造成映頻混擾，然而接收器太密會影響施測成本。

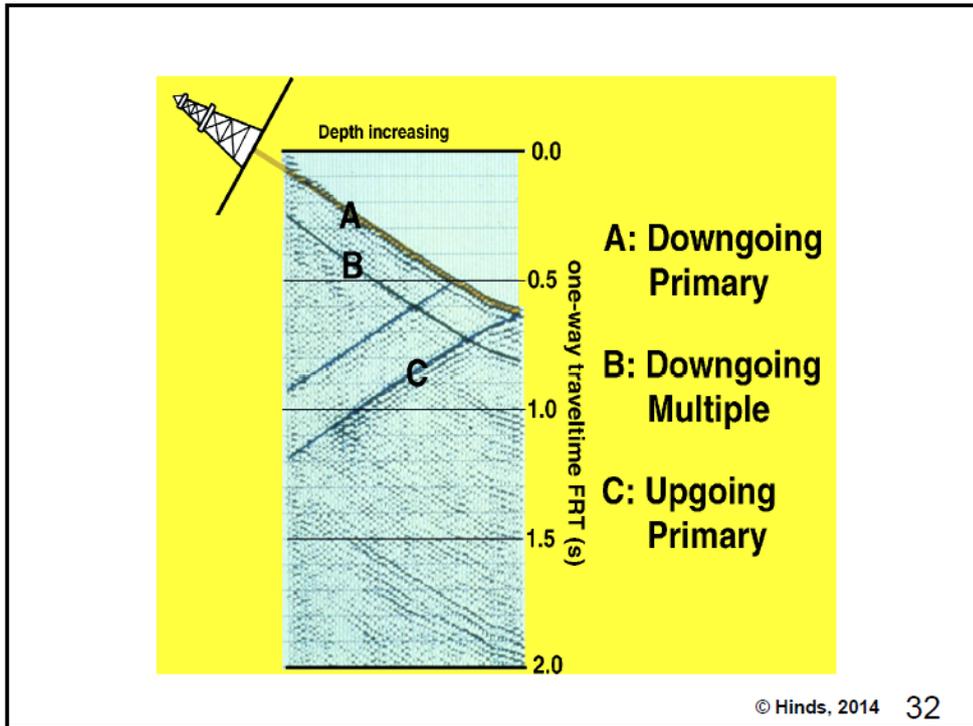


圖 A.3 垂直震測剖面中的上行波與下行波與其複反射。

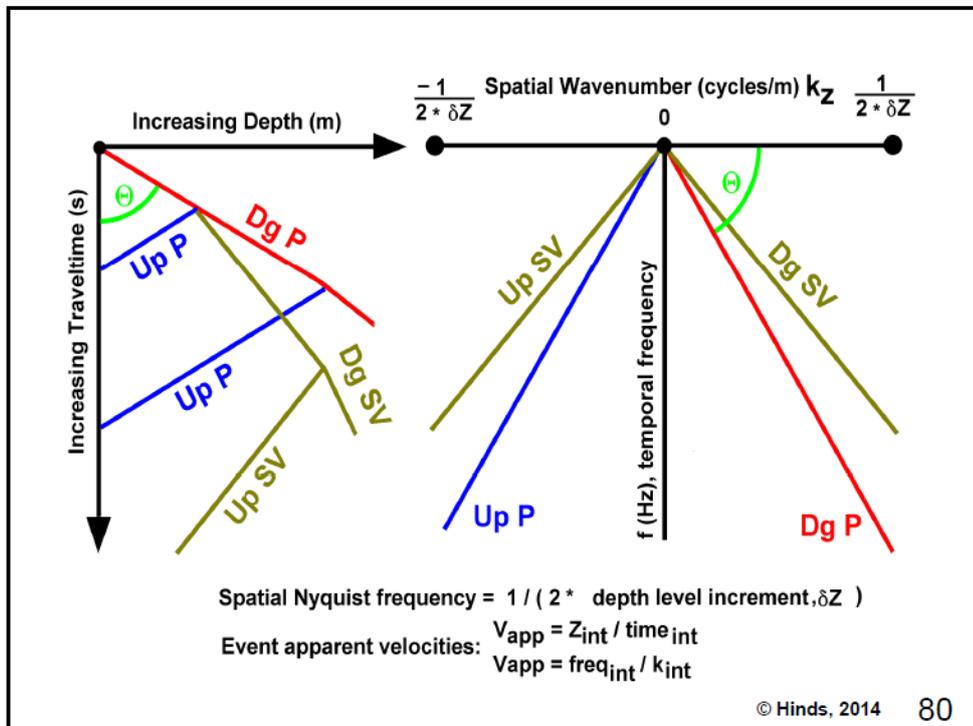


圖 A.4 左圖為 VSP 震測剖面中上行 P 波、下行 P 波、上行 SV 波與下行 SV 波的示意圖，右圖為轉換到頻率-波數的空間域後，各波相的分布範圍示意圖。

圖 A.5 為實際 VSP 資料轉換到頻率-波數域 (f-k domain) 後，各波相分布。P 波為主要波相，而管波 (tubewave) 與其空間映頻混擾 (aliased tubewave) 可在空間域中與 P 波分離。設計恰當的接收器間距可避免空間映頻混擾的影響，同時也可以節省時間與金錢的成本。

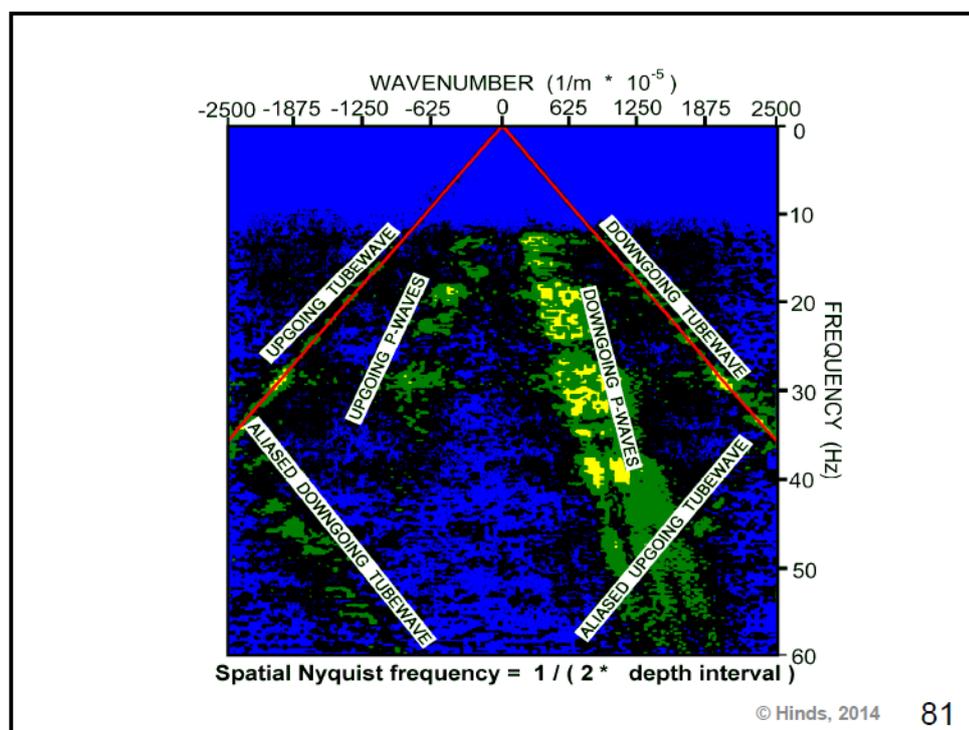


圖 A.5 實際 VSP 資料轉換到頻率-波數域後，各波相分布。

在 VSP 資料處理時，有幾種常見的方法分離上行波與下行波 (圖 A.6)，主要目的是將 VSP 的震測剖面資料去除下行波，留下反映地層界面的上行波。常見的方法有中位數濾波 (median filter)、K-L 轉換 (K-L transform)、頻率-波數轉換 (f-k transform)、Tau-P 轉換等，將 VSP 資料轉換到不同域，用以分離上行波與下行波，然後再將下行波去除。

在 VSP 的資料處理方面，除了去除下行波外，還要去掉複反射，因為複反射會誤導地層界面的解釋。然而對於接收器而言，在造成層間複反射的地層以下的接收器，將不會收到該地層的層間複反射上行波，要在該地層以上的接收器才會收到層間複反射的上行波。但是對於複反射的下行波而言，所有的接收器都會收到。圖 A.7 為 VSP 震測剖面與轉換到下行波的結果，可由下行波的結果看出所有複反射的反射面所在，做為去除複反射的依據，然而仍要跟震測資料的聚排 (gather) 資料比較來確認，因為下行波不會出現在震測資料中。

## Up- and Downgoing event separation

- median filter: takes out non-similar data
- K-L: isolation of principal components
- f-k: recall that  $2 \pi f = k v$

Up- and Dg - opposite apparent velocities

- Tau-p:  $p \sim 1 / \text{velocity}$
- Wave by Wave (Bias)
- Parametric (Esmersoy, Leaney)

© Hinds, 2014 8

圖 A.6 分離上行波與下行波的方法。

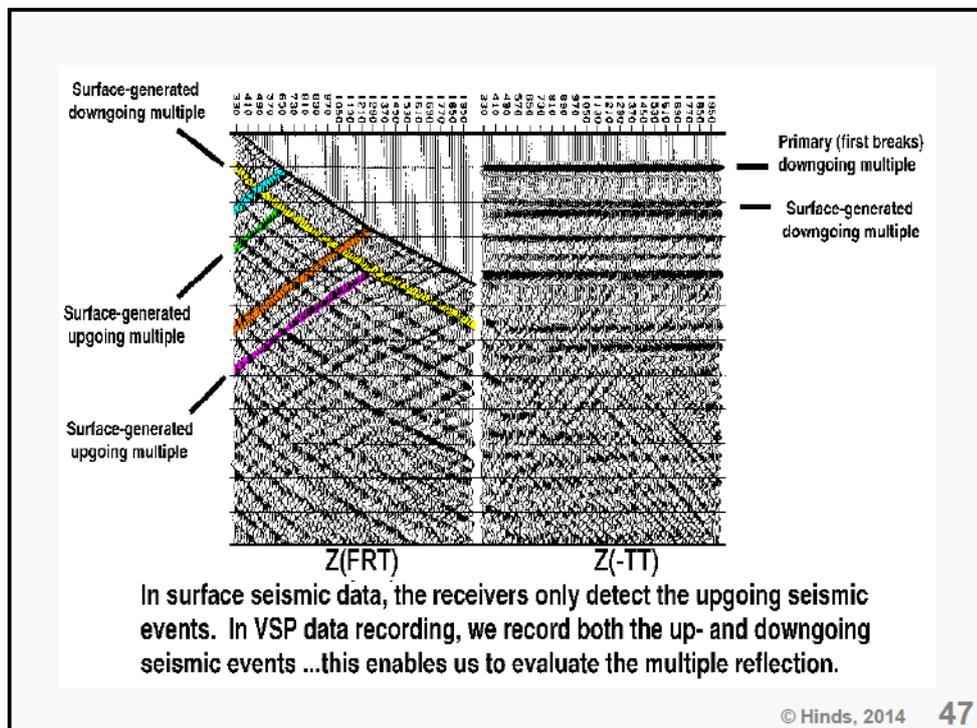


圖 A.7 左圖為 VSP 震測剖面，右圖為將左圖 VSP 震測剖面依照下行波的首達波拉平之後的震測剖面。

辨識主要波與複反射可利用走廊重合 (corridor stack) 方法，先在虛擬雙程走時剖面界定一條走廊 (corridor)，使得上行波的主要波 (Up-P) 會與走廊交會後再與初達波 (D-P) 交會，而上行波的複反射 (Up-M) 則不會與走廊交會。如此走廊內部重合 (inside corridor stack) 結果顯示上行波的主要波與上行波的複反射，而走廊外部重合 (outer corridor stack) 則只會顯示上行波的主要波，兩者差異處則為複反射所在。

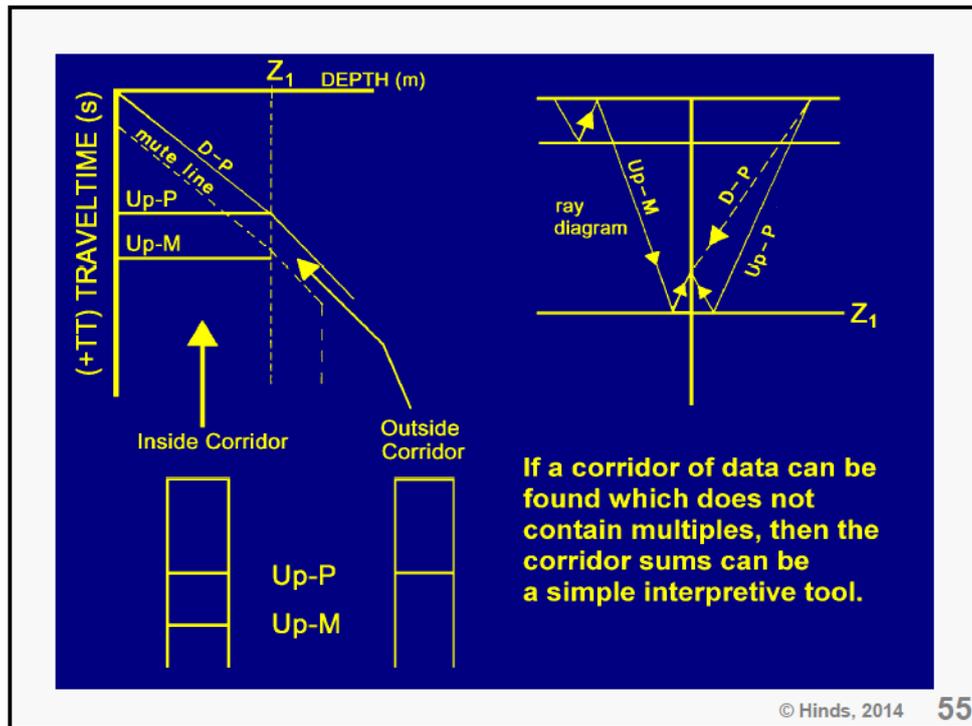


圖 A.8 利用走廊資料 (corridor) 界定主要反射 (Up-P) 與複反射 (Up-M) 的界線，利用走廊內部重合 (inside corridor stack) 與走廊外部重合 (outside corridor stack) 來區分主要反射與複反射信號。

在 VSP 資料處理中，因為近支距與遠支距有側向上的差別，所以三分量接收器所接收到的 P 波與 SV 波可能同時被兩個分量或三個分量所記錄，需要透過座標轉換，得到單純表示 P 波與 SV 波的 VSP 震測剖面 (圖 A.9)。在接收器的三分量 X、Y 和 Z 剖面中，先將水平的 X 與 Y 兩分量旋轉至  $H_{\min}$  分量和  $H_{\max}$  分量，然後再將垂直分量 Z 與  $H_{\max}$  分量旋轉到從接收器指向震源方向為  $H_{\max}'$  分量，以及與  $H_{\max}'$  分量垂直的  $Z'$  分量，如此可得到單純表示 P 波 ( $Z'$  分量) 與 SV 波 ( $H_{\max}'$  分量) VSP 震測剖面。

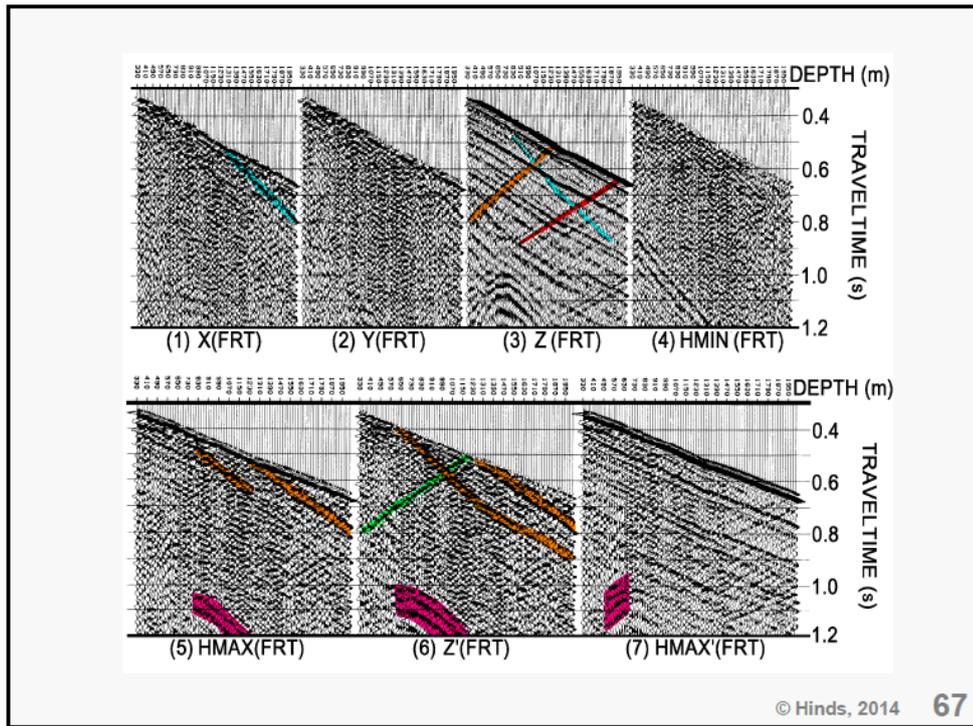


圖 A.9 VSP 資料處理時，要將接收器三分量記錄到的資料，透過座標轉換，轉到 P 波與 SV 波為主要波相的震測剖面。(1)、(2) 和 (3) 分別為接收器記錄的 X、Y 和 Z 分量剖面，將 X 和 Y 分量旋轉到  $H_{\min}$  (4) 和  $H_{\max}$  (5) 分量，然後再將 Z (3) 分量與  $H_{\max}$  (5) 分量旋轉到指向震源的  $H_{\max}'$  (7) 分量與其垂直的  $Z'$  分量。