

出國報告（出國類別：實習）

參加 2015 Petroskills 之 AVO、震測逆推
與震測屬性訓練課程
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：104 年 11 月 8 日至 104 年 11 月 15 日

報告日期：104 年 12 月 9 日

摘 要

本次出國參加 2015 PetroSkills 之 AVO、震測逆推與震測屬性訓練課程，行程自 104 年 11 月 8 日至 104 年 11 月 15 日，為期八日。本課程在美國科羅拉多州丹佛市舉辦，課程時間為五天，參加課程主要目的為瞭解地球物理探勘專業技術，並吸收國外探勘方面資訊。課程前三天以振幅-支距 (AVO) 為主題，說明水層、油層與氣層在重合後震測剖面與聚合震測剖面上的特徵，以及在轉換成截距與斜率關係後，不同類型 AVO 異常的分布。後兩天為震測逆推與震測屬性之主題，內容包含不同震測逆推方法的原理與應用實例，以及各種常用的震測屬性原理說明與實際應用。藉由這樣的機會，對於地球物理探勘專業技術有更進一步的瞭解，一些新技術可作為未來研究計畫的參考。

目 次

摘要	1
目次	2
目的	3
過程	3
建議與心得.....	6
附錄 A.....	7

參加 2015 PetroSkills 之 AVO、震測逆推與震測屬性訓練課程出國報告

目的：

身為石油公司研究部門的地球物理探勘師，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，皆需對地球物理專業技術有所瞭解及運用，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專業課程來學習最新理論與更新相關資訊有其必要性。

振幅-支距 (amplitude versus offset, AVO)、震測逆推與震測屬性為地球物理探勘領域進階課程，在實際資料分析上，可輔助震測解釋或是偵測油氣徵兆，實為重要。本次參加此訓練課程，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實際應用於公司評估案的可能性，瞭解地球物理探勘新技術，並吸收國外探勘方面資訊。

過程：

此次訓練課程的地點在科羅拉多州丹佛市舉辦，整個行程從 11 月 8 日開始到 11 月 15 日結束，為期八天，實際課程時間為 11 月 9 日到 11 月 13 日，共五天，參加訓練課程行程如表一所示。

本訓練課程由 PetroSkills 的地球物理探勘講師 Donald S. Macpherson 授課，講師是這個領域與主題方面經驗豐富的資深講師，不管是在實務上或是理論上都有深入鑽研。課程主題為 AVO, Inversion, and Attributes: Principles and Applications。Macpherson 講師經歷相當豐富，在加拿大亞伯達大學取得碩士學位後，進入美孚 (Mobil) 石油公司，先後在位於卡加利 (Calgary)、達拉斯 (Dallas)、紐奧良 (New Orleans)、倫敦 (London) 和維也納 (Vienna) 的美孚分公司工作過，進行地球物理資料採集、處理與解釋的工作。此外，他也參與教學工作，對於震測解釋的技術與工具有深入的瞭解。在美孚石油公司的最後十年，擔任公司訓練部門的主管與講師，講授地球物理相關課程。在離開美孚公司之後，在地球物理顧問公司提供石油工業界關於地球物理探勘方面的課程，對於原理與實務技術方面，皆有深入且清楚的說明。

課程內容主要講述 AVO、震測逆推與震測屬性的原理與應用，這些技術可針對油氣信號進行比對與研判，確認油氣所在位置。內容包含：基本講解、直接油氣徵兆 (Direct Hydrocarbon Indicator, DHI) 簡介、岩石物理、AVO 簡介、AVO 效應展示、資料採集與處理、AVO 模擬、震測逆推與震測屬性。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。課程安排三天的時間講解 AVO 的原理與應用，原理介紹詳細，偶有實例穿插說明，之後兩天才介紹震測逆推與震測屬性。震測逆推部分，介紹幾種常見的逆推方式，包含模型為主的震測逆推（model based inversion）、統計震測逆推（stochastic inversion）、AVO 震測逆推（AVO inversion）等。在震測屬性方面，對於頻譜分解（spectral decomposition）、能量耗損、希爾伯特轉換（Hilbert transform）屬性、相關性資料體（coherence cube）、曲率（curvature）等主題進行說明。課程中提供一些實做練習，練習包含手算或是電腦計算，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。

表一、本次參加地球物理探勘訓練課程之行程。

日期	地點	行程
104/11/8	台北-舊金山-丹佛	去程
104/11/9-13	丹佛	參加 2015 PetroSkills 之 AVO、震測逆推與震測屬性訓練課程
104/11/14-15	丹佛-洛杉磯-台北	返程

AVO 為直接油氣指徵（DHI）的一種，在震測資料上是振幅隨支距增加而變化的現象。主要是在氣層、油層和水層的界面，反射係數有明顯的差異，這樣的差異在重合後的震測剖面即可反映，然而在重合前的震測資料，振幅隨支距增加而變化的現象和 P 波與 S 波速度比有密切關係，振幅-支距異常的類型與油氣相關，因此可視為直接油氣指徵。

震測逆推是結合震測資料與井測資料，將震測剖面轉換成阻抗剖面，藉由阻抗這樣的物理參數來解讀地下構造，而阻抗可能與岩石組成、孔隙、流體、壓力等有關，要區分這些因素並不容易，如能確認阻抗與岩性的關係，即可推算砂頁岩分布，瞭解儲集層特性。此外，如果進一步進行重合前震測逆推，則可區分油氣砂與水砂之間的差別，估算儲油氣層的厚度與位置。

震測屬性在震測解釋上的重要性在於透過一些物理特性或統計分析，提高震測解釋的確定性，降低探勘風險。這樣的技術目前已是震測解釋上不可或缺的一支。然而這樣的技術還需要仰賴高品質的震測資料與井測資料方能達成，避免資料品質造成不確定性的風險。



圖一、訓練教室門口照片。



圖二、訓練教室照片。

這個課程除了講述原理外，透過一些實例來說明這些技術的可行性。有些技術仍在發展中，有些技術已經發展成熟，可應用於本公司未來研究計畫。其他關於訓練課程內容的細節請見附錄 A。

建議與心得：

本次參加地球物理探勘技術訓練課程「AVO, Inversion, and Attributes: Principles and Applications」，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。

地球物理探勘即是利用地球物理的原理著手，針對震測資料與井測資料進行分析，從震測資料處理、震測解釋到勘定井位，過程中同時應用地質與地物的知識。隨著地球物理探勘技術的演進，許多新技術可以套用在震測解釋與礦區評估計畫中，提高分析結果的可信度，增加探勘成功率。然而，在 AVO、震測逆推與震測屬性分析上，震測資料處理與改進佔了很重要的一環，震測資料的品質決定震測解釋結果與真實地下構造的吻合程度，無論是震測解釋或是震測屬性分析，仰賴的是清晰的震測資料，如果震測資料不清楚，在震測解釋結果的說服力降低，想像空間增加，與實際地下構造吻合的機會也會降低。

透過本次的課程，可知道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，但是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。

課程所講授的這些地球物理探勘技術，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，提供這次出國實習的機會，吸收國外探勘方面的專業技術，增廣見聞，期望本次訓練課程所帶回之參考資料能夠對於公司其他相關人員有所幫助。

附錄 A：

振幅-支距、震測逆推與震測屬性：原理與應用

AVO, inversion, and attributes: principles and applications

訓練課程內容簡述

在地球物理探勘技術中，振幅-支距、震測逆推與震測屬性皆是用來評估油氣徵兆的方法。這些技術從 1960 年代開始發展，為震測解釋所應用，隨著時間的演進與電腦軟硬體的發展，又有許多新技術提供油氣探勘上的應用，也有因此而發現油氣的案例。目前震測資料已經走到三維資料體的階段，對於這些大量且精細的震測資料，發展出不同且精細的方法。

本附錄根據本次課程的關鍵概念進行概述，分別以下列的圖說明：

圖 A.1 表示氣層、油層和水層與上面覆蓋岩層的界面，由界面的反射係數隨岩層壓密作用增加而變化的曲線可知，在淺層（壓密作用弱）時，氣層的反射係數絕對值較油層與水層來得大，反射係數絕對值的大小依次為氣層、油層與水層，隨著深度的增加（壓密作用增強），氣層、油層與水層的反射係數絕對值的大小排序不變，但是差異減小，但是到某個深度以下，極性反轉（即反射係數由負轉正），反射係數的絕對值排序則不一定代表氣層、油層和水層的關係，亦顯示此深度以下氣、油和水層不易區分。

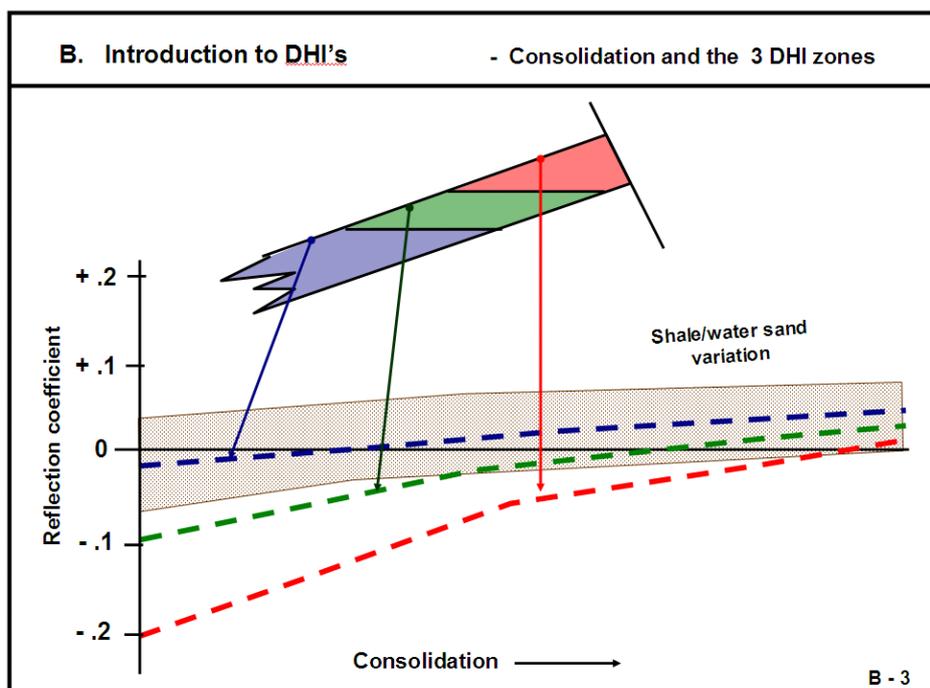


圖 A.1 氣層、油層與水層的反射係數隨壓密作用的變化。

圖 A.2 表示氣層頂部界面的振幅-支距 (AVO) 變化，圖上方的三張聚合 (gather) 剖面分別代表不同類型的 AVO 變化，隨著壓密作用的增加，振幅-支距的變化從第三類型、第二類型變成第一類型。其中第三類型 AVO 為反射振幅的絕對值隨支距的增加而增加，由震測剖面可看出信號越來越強 (波谷為白色)。而第二類 AVO 為反射振幅的絕對值由極小 (接近零) 隨支距的增加而增加。第一類型 AVO 則是反射振幅隨支距的增加而逐漸減小，然後由正轉負。

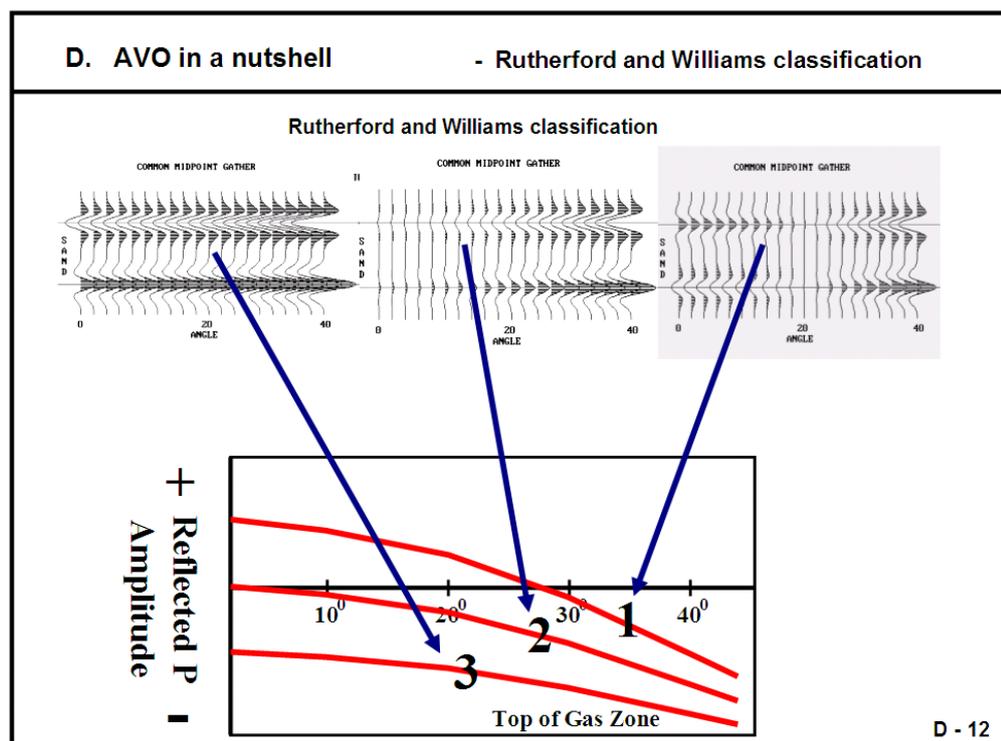


圖 A.2 AVO 異常的類型。

圖 A.3 表示有油氣封閉時，不同類型 AVO 異常在重合後震測剖面與角度聚合震測剖面的差異，由聚合震測資料可以看出不同類型 AVO 異常的變化，支距最大到 40 度，紅線標示頂部界面，藍線標示底部界面，其 AVO 異常與圖 A.2 類似，然而在重合後震測剖面上卻是不同的變化，第三類型 AVO 異常在重合後震測剖面顯示為亮點 (bright spot)，第二類型 AVO 異常在重合後震測剖面顯示為相位反轉異常 (phase change anomaly)，第一類型 AVO 異常則為暗點 (dim spot)。

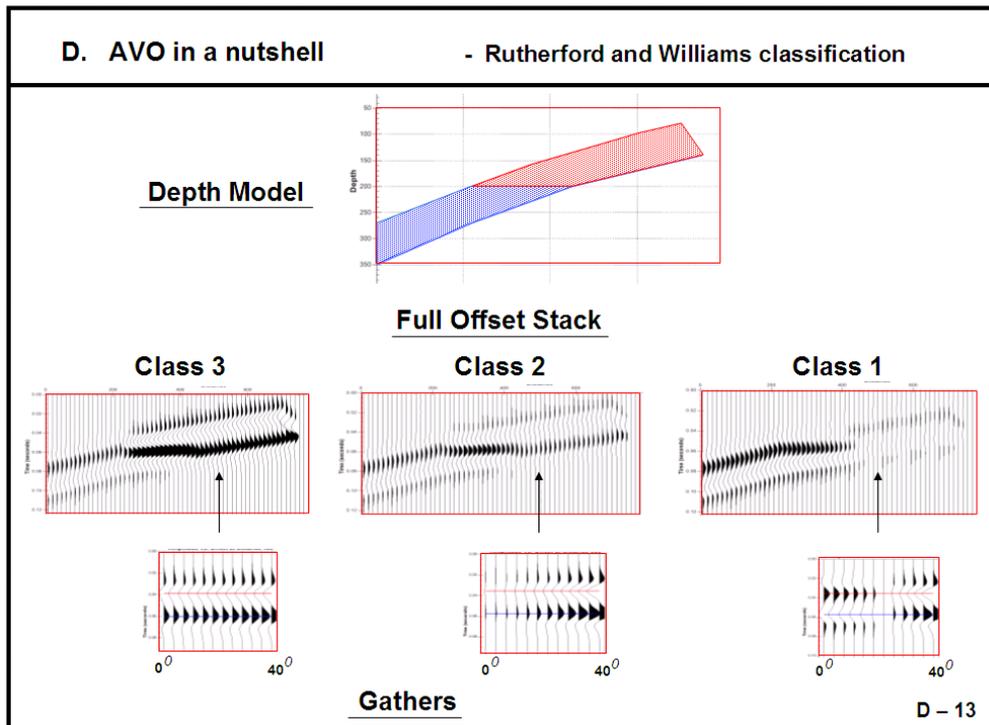


圖 A.3 斷層封閉時，不同類型 AVO 異常在重合後震測資料與角度聚合震測資料的變化。

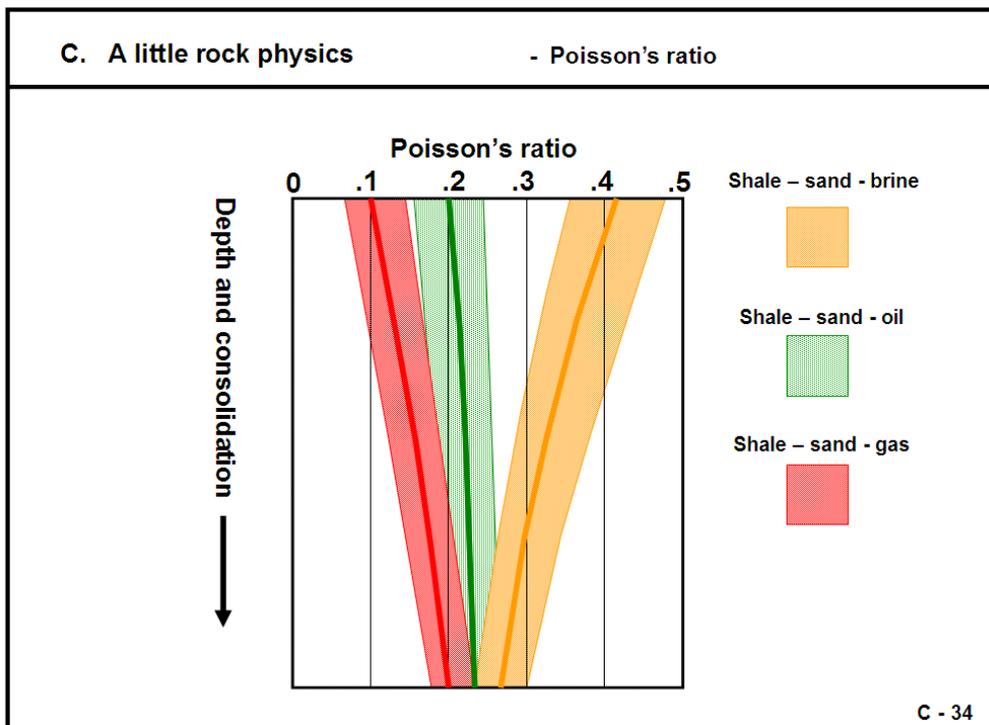


圖 A.4 隨著深度與壓密作用的增加，泊松比在氣層、油層與水層之變化。

圖 A.4 表示氣層、油層與水層之泊松比 (Poisson' s ratio) 隨深度與壓密作用增加的變化，從圖可看出，在淺層的氣層、油層與水層之泊松比差異大，但是隨著深度的增加，三者的泊松比數值越接近。造成這樣的差異主要在於孔隙流體，含水砂層會隨著深度的增加，岩石變硬而有較高的剪力模數 (shear modulus)，因而提高 S 波速度，進而降低泊松比。但是對含油氣砂層而言，油氣降低岩石的體積模數 (bulk modulus)，進而影響 P 波速度與泊松比，因此油氣砂層的泊松比明顯小於含水砂層。

圖 A.5 為 Zoeppritz 方程式的簡化說明，Aki and Richard 方程式與 Shuey 方程式為兩種常見的近似方程式，作為 AVO 模擬計算。在角度小於 40 度時，則會有較好的近似。Aki and Richard 方程式因為有密度項，所以對於計算密度有其重要性，然而 Shuey 方程式簡化密度的關係，假設密度變化與速度變化成正比。有了這樣的關係式，則可計算出截距與斜率，表現 AVO 之效應。

圖 A.6 為截距與斜率的關係圖，可用來表示 AVO 的效應，圖中流體線 (fluid line) 為背景值的趨勢，為岩性或是信號雜訊造成，而數字 1、2 和 3 分別表示 AVO 異常類型的資料點分布，油氣效應降低，則資料點會越接近背景值，因此截距與斜率的關係圖可用來表示不同類型 AVO 異常與油氣效應。

圖 A.7 為震測逆推之原理，主要是將井的密度測錄與速度測錄相乘，得到聲波阻抗測錄，然後計算反射係數測錄。然後將反射係數測錄與井附近的震測資料比對，估算出漣波。接著將震測資料中的漣波去除，則可得到震測的反射係數資料，進而得到震測的聲波阻抗資料。圖的最右邊為震測逆推聲波阻抗的結果，紅色點線為井的阻抗，用來比對震測逆推得到的聲波阻抗。

希爾伯特轉換是將實部的震測波線相位轉 90 度當成虛部，然後將實部與虛部結合成一複數 (complex)，圖 A.8 為震測屬性中的希爾伯特轉換，圖中表示實部與相位相差 90 度的虛部，形成的複數如藍線所示，藉由希爾伯特轉換的時間序列，可以得到瞬時頻率 (instantaneous frequency) 與瞬時相位 (instantaneous phase)，皆可表示不同的震測屬性。

Approximations to the Zoeppritz equations

The Aki – Richards equation

Aki, K. and Richards, P., 1980 Quantitative Seismology – Theory and Method
W.H. Freeman & Co.

$$R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta$$

$$A = \text{Intercept} = R_p = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_p}{V_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right]$$

$$B = \text{Gradient} = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} - 4 \left[\frac{V_s}{V_p} \right]^2 \frac{\Delta V_s}{V_s} - 2 \left[\frac{V_s}{V_p} \right]^2 \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$C = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p}$$

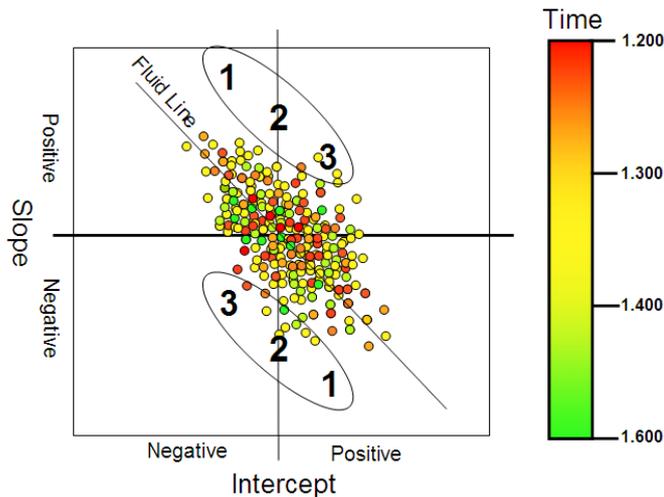
The Schuey equation

Schuey, R.T. 1985. A Simplification of the Zoeppritz Equations - Geophysics, 50, 609 - 614

$$R(\theta) = R_o \cos^2 \theta + \Delta \sigma \left[\frac{9}{4} \right] \sin^2 \theta$$

E - 2

圖 A.5 Zoeppritz 方程式的簡化說明。



The scatter in slope and intercept produced by random noise

E - 30

圖 A.6 用截距與斜率來表示不同類型 AVO 異常的資料點分布。

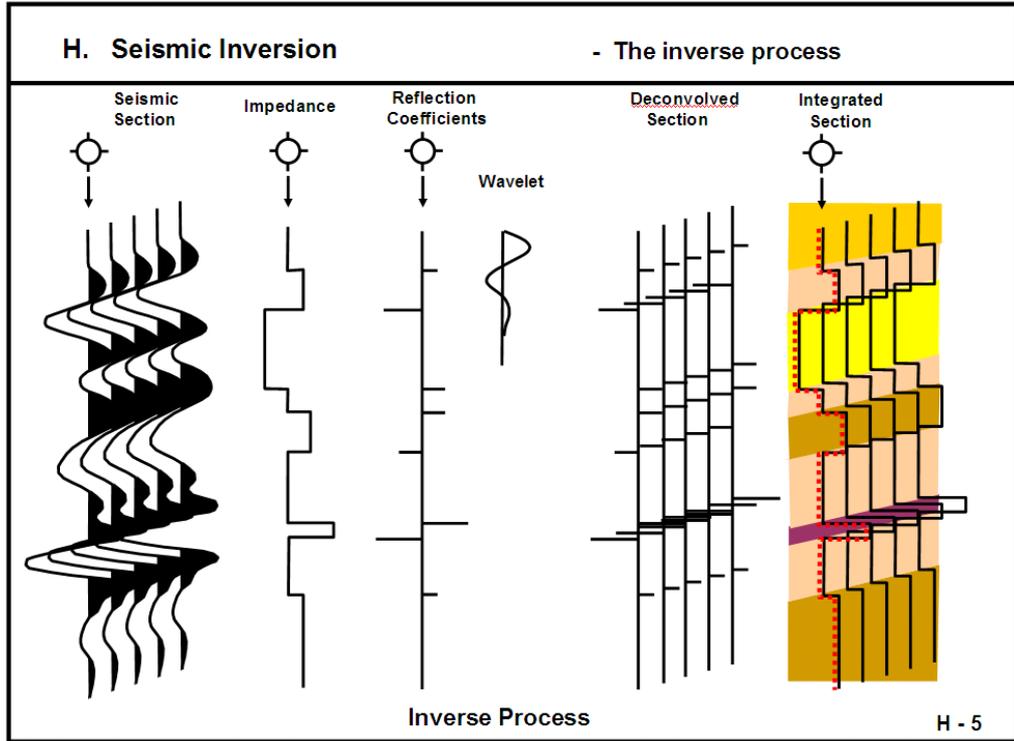


圖 A.7 震測逆推之概念圖。

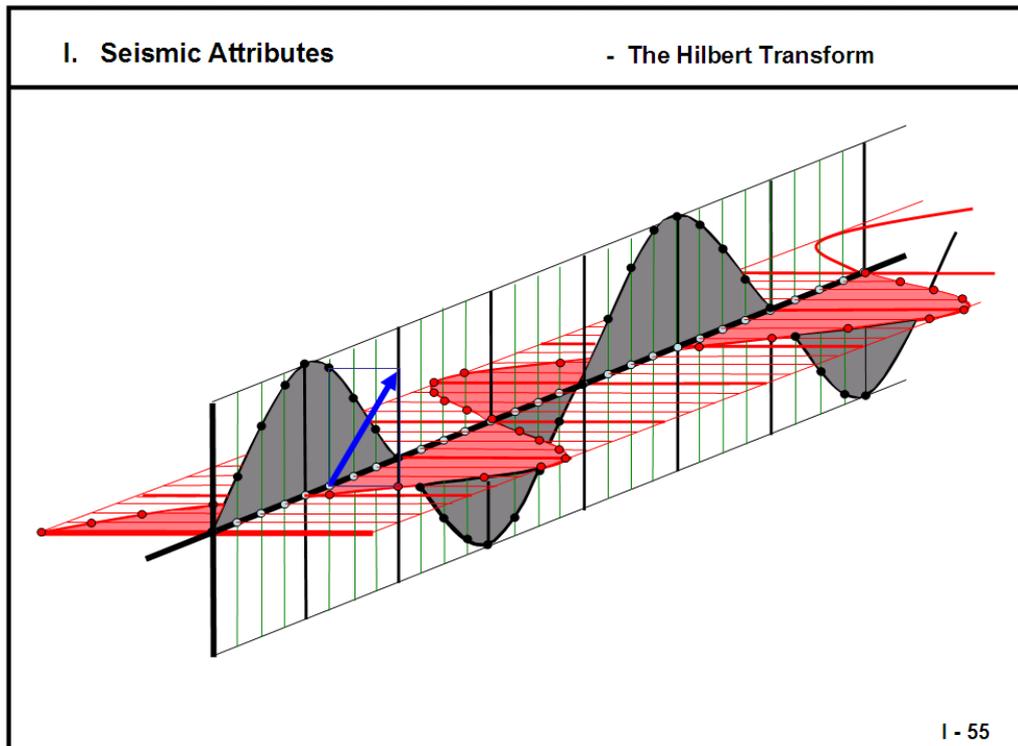


圖 A.8 希爾伯特轉換之原理。