

出國報告（出國類別：開會）

參加 2019 年地球物理探勘師學會 (SEG)  
年會暨論文發表  
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：108 年 9 月 13 日至 108 年 9 月 21 日

報告日期：108 年 10 月 21 日

## 摘 要

本次出國參加 2019 年地球物理探勘師學會年會，發表論文並參加訓練課程，目的為瞭解地球物理探勘技術的最新進展，學習岩石物理的技術，以及蒐集各探勘軟體的發展資訊。行程自 108 年 9 月 13 日至 108 年 9 月 21 日，為期 9 日。今年年會在美國德州聖安東尼奧市舉辦，先參加會前兩天的短期訓練課程，課程題目為「岩石物理與震測儲層預測」，主要內容為介紹岩石物理在震波測勘的角色、岩石物理原理與理論、砂岩頁岩的成岩作用與岩石物理深度趨勢、岩石物理深度趨勢控制 AVO 分析、沈積趨勢的岩石物理與儲層描述、岩石物理模版，以及案例研究。接著是四天的技術研討會，主題相當多元且廣泛，從本次年會發表的主題可看出機器學習方法有相當多的文章發表，而且應用在不同的專業分析技術上，像是震測相分類、岩石物理特性預測，或是聲波阻抗逆推等。這些新技術儘管未能直接套用於目前的研究計畫，但未來皆可對油氣探勘評估有所幫助。此外，本次論文發表題目為 Variations in depositional environments during the Pliocene epoch revealed by seismic attribute analysis in the offshore area of southwestern Taiwan。評審與專家對這個論文的建設性建議，有助於後續的研究。本次出國參加地球物理探勘師學會年會，透過這個主題多元的的會議，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發展新技術或執行研究計畫、購買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.....	9
參考文獻.....	10
附錄 A.....	12

## 參加 2019 年地球物理探勘師學會（SEG）年會暨論文發表出國報告

### 目的：

在油氣探勘的領域中，地球物理扮演相當重要的角色。隨著地球物理的理論和技術不斷地發展，對油氣探勘的成功也有極大的幫助。而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，世界知名的學術單位、國際各大石油公司和相關軟硬體公司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，以及最新技術與應用，做為公司地球物理探勘技術未來發展方向的參考。

地球物理探勘師學會於技術研討會開始的前兩天，針對不同地球物理探勘主題舉辦為期一天或兩天的教育課程，目的為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。岩石物理為連結地物與地質的一個重要工具，參加相關短期訓練課程，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。

目前本公司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聖安東尼奧市的會議中心（Henry B. Gonzalez Convention Center）舉辦（圖一）。今年的年會參加人數有 5126 人，來自 68 個國家，其中 509 人為學生。會議有 151 個議題，總共有 1472 篇投稿，1077 篇被接受。此次出國行程自 9 月 13 日至 9 月 21 日結束，為期九天，其中 9 月 14 日到 9 月 15 日兩天參加「岩石物理與震測儲層預測」（Exploration Rock Physics and Seismic Reservoir Prediction）訓練課程，9 月 16 到 9 月 19 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。

岩石物理與震測儲層預測訓練課程是由 Per Avseth 博士與 Tor Arne Johansen 教授兩位講師共同授課（圖二），Avseth 博士目前任職於挪威奧斯陸的 Dig Science 公司，Johansen

教授在挪威卑爾根大學 (University of Bergen) 的地球科學系 (Department of Earth Science) 任教。課程由 Johansen 教授講述岩石物理彈性參數的基本原理、理論與實驗室實驗結果，Avseth 博士則是講述實際礦區資料分析案例。課程主題為岩石特性中的彈性參數與震測資料分析儲層分布。兩位講師皆是岩石物理這個領域中的專家，發表數十篇相關專業論文並著有專書。

表一、本次參加 2019 年地球物理探勘師年會之行程。

日期	地點	行程
108/9/13	台北-洛杉磯-聖安東尼奧	去程
108/9/14-15	聖安東尼奧	參加 2019 年地球物理探勘師學會年會會前短期訓練課程
108/9/16-19	聖安東尼奧	參加 2019 年地球物理探勘師學會年會
108/9/20-21	聖安東尼奧-洛杉磯-台北	返程

課程內容為引言、岩石物理在震波測勘的角色、岩石物理原理與理論、砂岩頁岩的成岩作用與岩石物理深度趨勢、岩石物理深度趨勢控制 AVO 分析、沈積趨勢的岩石物理與儲層描述、岩石物理模版 (Rock Physics Templates) 以及案例研究。岩石物理主要是結合震測資料與儲層特性，提供定量震測解釋的指引。兩天課程先講解彈性參數的定義與理論，每告一段落會穿插探勘實際案例應用，這樣的安排使人對於理論更加瞭解，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，所以在最後仍有未能完全講述的部分。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。岩石物理這個領域在近十年來有較明顯的發展，而這方面的課程過去較少接觸，儘管有自行看教科書學習，但是仍有許多不甚瞭解之處，從這次課程中講師的解釋說明，對於一些觀念更為瞭解。這個短期課程除了講述原理外，也用實際案例來說明這些技術的應用，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後面的附錄 A。

完成兩天的短期訓練課程後，接著參加為期四天的地球物理探勘師學會年會。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。過去大型國際研討會都會提供厚厚一本議程給參加者在與會時查找要聽的議題發表時間，近幾年智慧型

手機已相當普及，年會的議程皆可上網下載或尋找，少去印製厚厚的論文發表議程，不僅減輕參加者的負重，也節省紙張符合環保。在會議前已針對有興趣的主題所發表的文章做過功課，但實際要去聆聽的場次和時間並未安排，由於本人這兩年才開始使用智慧型手機，安裝年會的應用程式（Apps），則可獲得年會最新資訊，且應用程式提供議程的搜尋和安排，可把有興趣的論文加入行事曆，避免錯過論文發表時間或是發生兩場論文時間衝突的狀況。在這次的年會第一次使用地球物理探勘師學會年會的應用程式，有效率地去聆聽有興趣的場次，省去翻閱議程的時間。

本次年會的議題除了原有固定的地球物理探勘主題外，多了一些利用機器學習（Machine Learning）研發地物探勘技術的議題。人工智慧（Artificial Intelligence）是近幾年來全球熱門的話題，搭配其他議題，如大數據（big data），則成為目前各領域研究的新方向。機器學習與深度學習（Deep Learning）皆是屬於人工智慧的範疇，今年的論文有不少是利用卷積神經網路（Convolutional Neural Network）的技術，像是震測相分類（Lubo-Robles et al., 2019）、岩石物理特性預測（Das and Mukerji, 2019），或是聲波阻抗逆推（Alfarraj and AlRegib, 2019）等。

由於本所有大地電磁法（Magnetotelluric, MT）的儀器，且近年來研究計畫有利用 MT 進行油氣探勘研究，此次參加會議特地聆聽 MT 相關議題，瞭解國外 MT 如何應用於探勘方面。地電測勘在地球物理探勘師學會年會的議題並不多，MT 和可控源電磁法（Controlled Source Electromagnetic, CSEM）常用來聯合逆推地下電性構造，而大多是針對基盤深度或是大尺度構造的研究，提供探勘對於研究區域大區域性構造的瞭解（Miorelli, et al., 2019; Karpiah, et al., 2019; Miller et al., 2019），因此這方面的技術並無法進行精細儲層的解釋。

學會年會或研討會的論文發表通常有分口頭發表與海報發表兩種方式，很多年會或研討會的海報發表方式是安排發表者站在自己的海報前約半天的時間，提供有興趣的人來提問與討論。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選擇海報發表方式，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完整講解一遍，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，海報發表與口頭發表皆是要完整報告研究論文的內容並給人提問，兩者差異並不大。而且聆聽海報需要特別安排時間去聆聽，以免錯過。

本次參加地球物理探勘師學會年會，於年會前半年投稿論文「Variations in depositional environments during the Pliocene epoch revealed by seismic attribute analysis in the

offshore area of southwestern Taiwan」，針對台灣西南海域的沈積環境進行研究。這篇論文是以海報形式發表，被安排在星期三下午進行講解，評審對於這個研究的結果頗有興趣，提出不少問題與建議。更有機會在這個場合遇到本研究使用軟體模組的開發者，也交換名片進行交流。參加年會發表論文，除了可以與國外專家進行交流外，更可藉由論文發表，提高公司的知名度，讓更多國家與更多公司看到台灣中油公司。

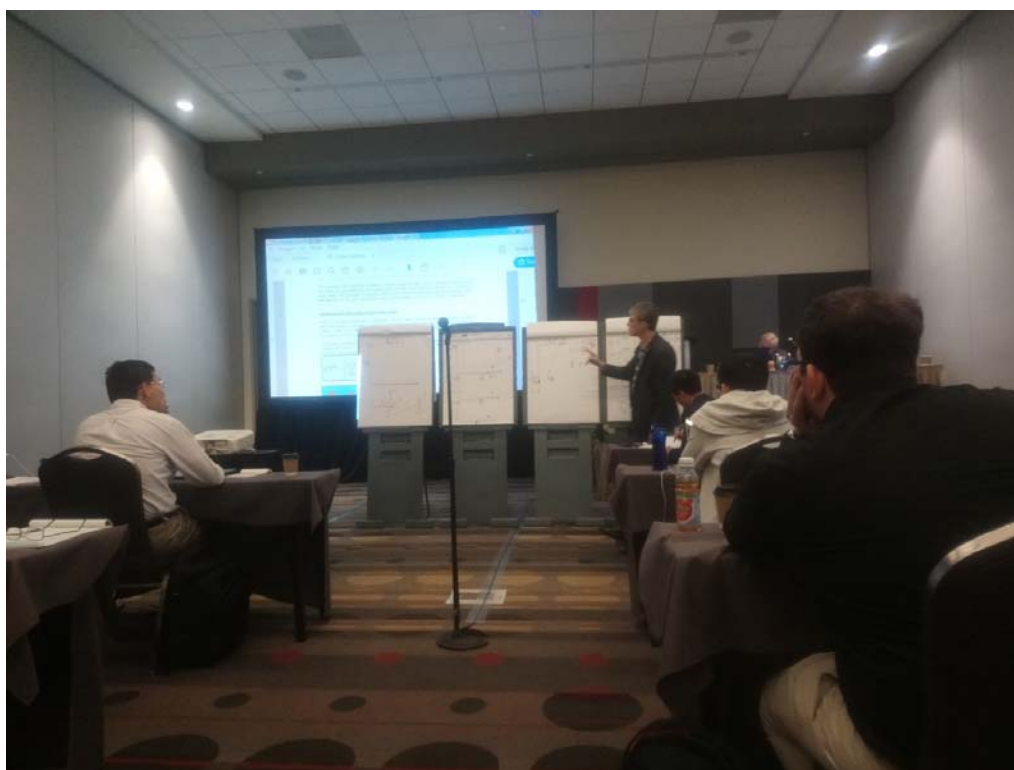
在年會發表技術論文的同時，展場也有各家軟硬體公司的商品展示和說明，本次行程有一部分時間在展場，針對各軟體的發展與新功能進行瞭解。在震測解釋軟體方面，許多公司皆有來參展，像是艾默生（Emerson）公司的 Paradigm 與 Roxar 軟體，賽吉紀（CGG）公司、斯倫貝謝（Schlumberger）公司、道格（DownUnder GeoSolutions, Dug）公司、地物洞察（Geophysical Insights）公司、天堂（Paradise）公司、艾利斯（Eliis）公司、吉歐泰瑞克（Geoteric）公司與地質建模（Geomodeling）公司等。這些軟體各有所長，大公司的軟體在不同領域（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。

而在展場的說明方面，雲端資料庫也是地物探勘軟體的發展方向，訴求是探勘資料可以共享，不一定要在同一台電腦或是同一單位的人才可使用探勘資料庫，且探勘人員可以在全球各地連上網路，即時針對公司內的探勘資料進行查看與解釋，可提高礦區評估效率，協助礦區評估決策。

地球物理探勘師學會年會議程結束後，隔天還有一些特殊議題的會後工作會（post-workshop），因需另外繳費，所以沒有列入此次的行程。因此星期五一早到機場搭飛機，經洛杉磯轉機後返回台灣，圓滿完成此趟行程。



圖一、2019 年地球物探勘師學會年會在聖安東尼奧市會議中心舉辦，圖為會議中心。

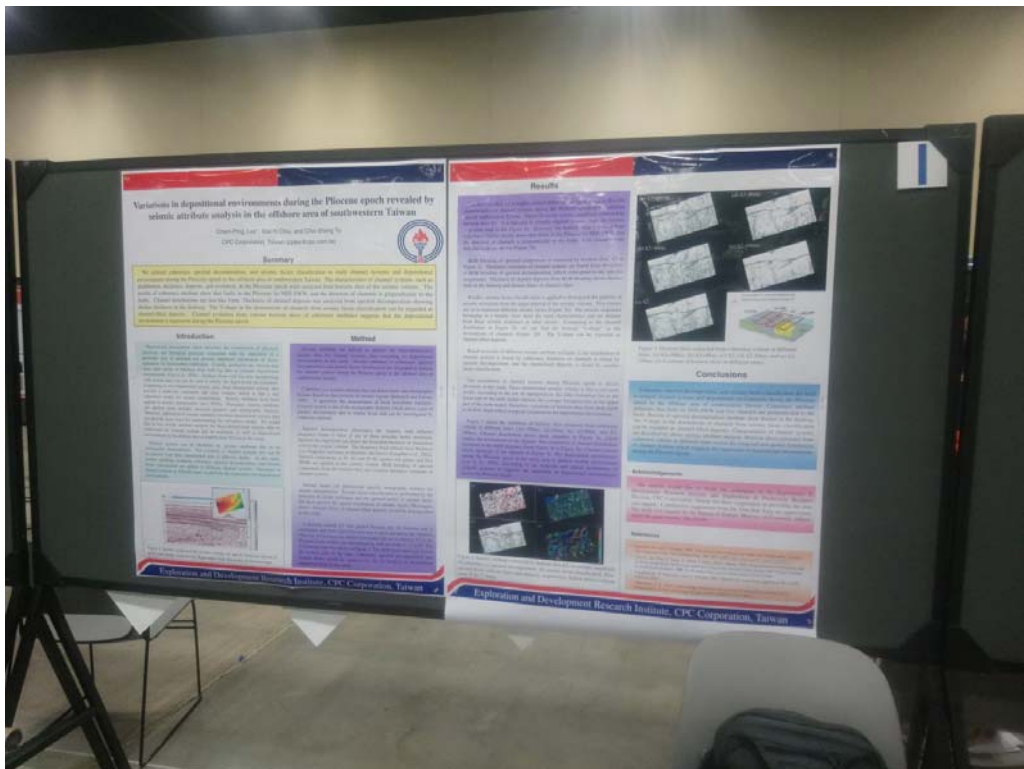


圖二、「岩石物理與震測儲層預測」訓練課程照片。





圖三、展場俯視照。



圖四、論文發表海報展示。

## 建議與心得：

本次出國參加 2019 年地球物理探勘師學會年會，發表論文並參加「岩石物理與震測儲層預測」(Exploration Rock Physics and Seismic Reservoir Prediction) 訓練課程，心得分別由訓練課程、研討會與展場等不同面向來說明：

### 1.訓練課程方面：

本次參加會前訓練課程：岩石物理與震測儲層預測「Exploration Rock Physics and Seismic Reservoir Prediction」，由於今年研究計畫有進行關於振幅-支距 (AVO) 分析，而瞭解岩石物理可對彈性參數更深入認識，進一步加強對 AVO 現象的認識，因此參加此課程有助於研究計畫的 AVO 分析與解釋。參加本次的訓練課程，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。

### 2.研討會方面：

近年來人工智慧 (AI) 的議題在各領域皆成為熱門主題，地球物理探勘師學會年會亦然。從本次 2019 年 SEG 年會發表的主題可看出機器學習方法有相當多的文章發表，而且應用在不同的專業分析技術上。於會場聆聽國外最新探勘技術，如人工智慧 (AI)、機器學習 (Machine Learning) 與深度學習 (Deep Learning) 在油氣探勘上的震測解釋、井測分析與震波逆推的應用，這些新技術儘管未能直接套用於目前的研究計畫，但未來皆可對油氣探勘評估有所幫助。參加年會可瞭解目前國外各學術單位與油公司最新發展的技術，做為未來研究計畫擬定的參考。

目前探採研究所的研究方向為應用導向，並非一般學術單位的純研究導向。技術性的研發需要花費大量的人力、物力和時間，而不見得有立即的成效，因此過於技術性的研發並不適合於本單位。目前震測解釋軟體已有人工智慧方面的模組，像是類神經網路計算震測相分類或是井測資料的岩性分類，關於機器學習技術應用於探勘上，目前仍屬於研究初期，可預期未來技術成熟可應用於礦區的評估，而相關震測解釋軟體皆會導入這些技術成為軟體的模組，因此未來只需要購買震測解釋軟體，即可使用機器學習的技術於礦區評估中。

此外，本次會議認識一位任職於沙烏地阿拉伯國家石油 (Saudi Aramco) 公司休士頓分部的研發部門主管，這位專家是專門在開發機器學習應用於探勘技術上，而他的背

景是電機方面的博士。由此可見在機器學習應用上，電機或資訊專業人員開發相關軟體，仍有其優勢。

於 2019 年 SEG 年會發表論文「Variations in depositional environments during the Pliocene epoch revealed by seismic attribute analysis in the offshore area of southwestern Taiwan」，透過論文發表來展現本公司的研究成果，並與其他專家討論，從中獲得不同的想法。

### 3.展場方面：

年會的展場區有許多探勘的軟硬體公司參展，如 Schlumberger、CGG、Emerson、Paradise、Dug、Sercel 等。並且有世界大油公司參展，如 Aramco、Shell、Chevron、ConocoPhillips、CNPC、SINOPEC 等。展場的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，兩者的差別不明顯，因此展場亦是吸收新技術進展的機會。展場的軟體廠商透過展覽與說明會的形式，強力推銷產品。藉由這樣的場合蒐集探勘新技術之軟、硬體資訊，可做為未來發展新技術或執行研究計畫的參考。

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。

本次出國前的兩天身體不適發燒，很幸運地在出國期間的前一兩天稍有不適外，其餘時間身體狀況已恢復正常，並不影響本次行程，感謝所內長官與同仁的關心。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助益於本所相關研究人員與研究計畫。

### 參考文獻：

Alfarraj and AlRegib, (2019). Semi-supervised learning for acoustic impedance inversion.  
<https://doi.org/10.1190/segam2019-3215902.1>.

- Das, V., and T. Mukerji (2019). Petrophysical properties prediction from pre-stack seismic data using convolutional neural networks. <https://doi.org/10.1190/segam2019-3215122.1>.
- Karpiah, A.B., M.A. Meju, R.V. Miller, R.N.B.R. Musafarudin (2019). Improving basement depth mapping using 3D marine magnetotelluric (MT) inversion. <https://doi.org/10.1190/segam2019-3214939.1>.
- Lubo-Robles, D., T. Ha, S. Lakshmivarahan, K.J. Marfurt (2019). Supervised seismic facies classification using probabilistic neural networks: Which attributes should the interpreter use? <https://doi.org/10.1190/segam2019-3216841.1>.
- Miller, RV., M.A. Meju, A.S., Saleh, R.L., Mackie, F. Miorelli (2019). Structure-guided 3D joint inversion of CSEM and MT data from a fold-thrust belt. <https://doi.org/10.1190/segam2019-3216157.1>.
- Miorelli, F., R.L., Mackie, F., Gilbert, W. Soyer (2019). Foothills structural model de-risking with 3D magnetotellurics. <https://doi.org/10.1190/segam2019-3198037.1>.

## 附錄 A：

### 岩石物理與震測儲層預測

#### Exploration Rock Physics and Seismic Reservoir Prediction

##### 訓練課程內容簡述

岩石物理扮演著連結定性的地質參數與定量的地物量測的角色。近十年來在油氣探勘的發展上，岩石物理成為整合定量震測解釋的重要環節。應用岩石物理工具於石油工業，可以降低探勘風險與改善儲層預測。而岩石物理的最終目標是深入了解震測資料的振幅所代表的意義，並從震波逆推結果預測地質與儲層參數。

本附錄篩選本次課程的主要觀念，於下列說明：

圖 A.1 表示從震測剖面到解釋出地質剖面的結果，雖然可以透過傳統的震測解釋繪製出地質剖面。但是岩石物理分析可提供岩石物理特性、岩性與孔隙流體方面的資訊，在震測解釋上可量化地分析解釋地層的岩性與油氣分布，輔助地質解釋與儲層預測，降低探勘風險。

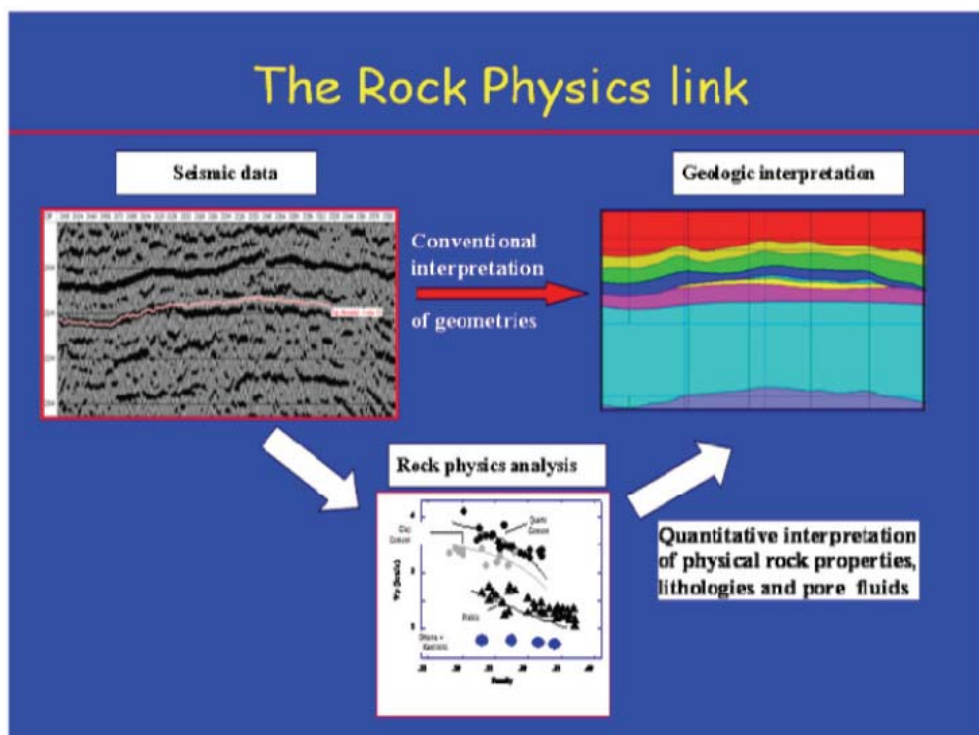


圖 A.1 岩石物理連結地物震測資料與地質的模型解釋，可進行定量震測解釋。

震測解釋是針對震測剖面進行定性的地層與斷層解釋，建構地質模型。近十多年來震測解釋開始強調定量的解釋來評估油氣異常徵兆與提供更多的訊息於礦區油氣評估與儲層描述。其中的技術包含重合後震測資料振幅分析、振幅-支距分析、聲波阻抗與彈性阻抗分析。震測剖面的振幅強弱主要反映上下層間岩石的彈性參數差異，與岩性、孔隙率、孔隙流體、飽和率與孔隙壓力有關（圖 A.2），這是過去傳統震測解釋所無法獲得的訊息。

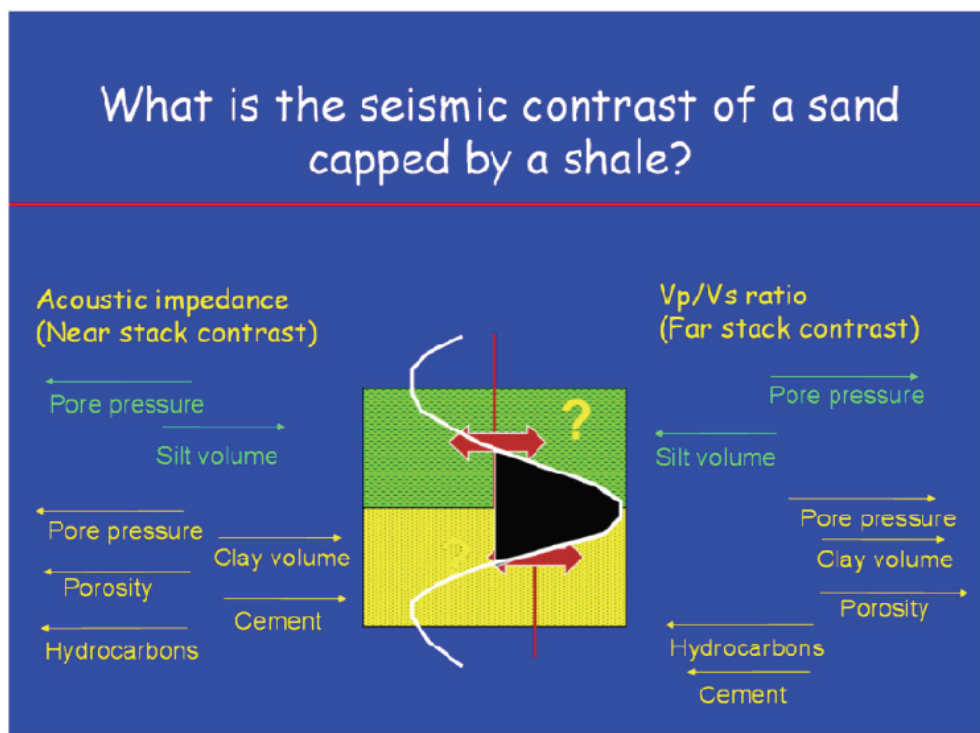


圖 A.2 影響震測信號的振幅對比的可能因素。

岩石物理在震測解釋的應用主要在於孔隙預測與不同流體的區分，連結岩石物理特性到不同的地質參數，如顆粒的淘選程度（sorting）、黏土含量（clay content）、岩相（lithofacies）、岩性、壓密作用（compaction）與成岩作用（diagenesis）。岩石物理模型可以提供不同地質參數條件下的岩性置換（圖 A.3）。

地質趨勢可區分為兩種類型：壓密（compaction）與沈積（deposition）。如果我們能夠預測震測資料的振幅變化與沈積環境或是埋深趨勢的關係，則可以增進預測油氣的能力，特別是在缺乏鑽井資料的區域。瞭解探勘區域的地質條件可降低岩石物理的變動範圍，進而降低儲層預測的不確定性。圖 A.4 說明在大陸棚邊緣有鑽井資料，若要將探勘延伸到深水區，則需要透過岩石物理趨勢來瞭解延伸的區域。

## Rock physics models can be applied to perform lithology substitution

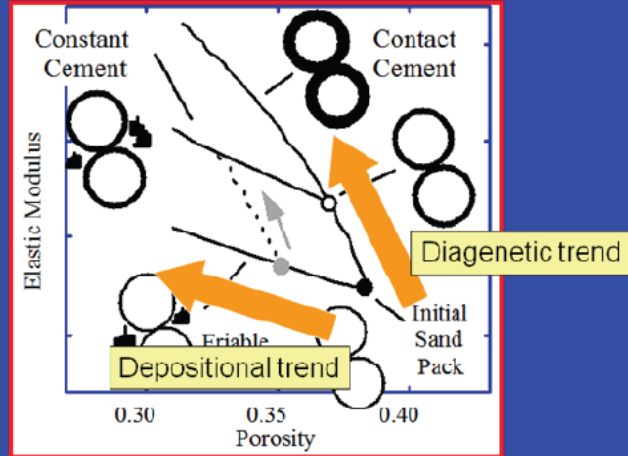


圖 A.3 岩石物理模型可以提供不同地質參數條件下的岩性置換。

## Rock physics and geologic trends

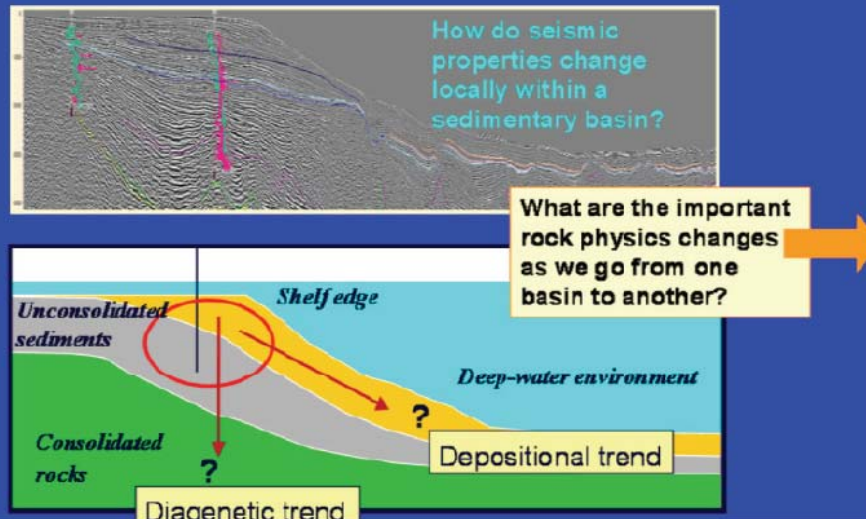


圖 A.4 岩石物理與地質趨勢的關係。若能瞭解震測信號與沈積環境或埋深趨勢的關係，則岩石物理可套用於其他區域。

在震波傳遞經過地下岩層時，會因為岩層不同而震波產生變化。關於震波特性，通常我們以 P 波速度、S 波速度和密度來表示。而岩石特性方面，震波經過介質則會反映不同的物理參數包含：剛性模數 (Bulk modulus,  $K$ )、剪力模數 (Shear modulus,  $\mu$ )、密度、P 波速度、S 波速和泊松比 (Poisson ratio)。其中 P 波速度、S 波速度可由剛性模數、剪力模數這兩個彈性參數及密度 (density) 求得，又反射係數可由速度 (velocity) 和密度求得，不同岩性的差異造成不同的反射係數。此外，孔隙與孔隙流體也會影響反射係數。不同的模型也會有不同的彈性參數，岩石的彈性參數有其上下界，可提供合理的範圍。圖 A.5 為岩石的孔隙充填流體與空氣，兩者的剛性模數與剪力模數即有所不同。

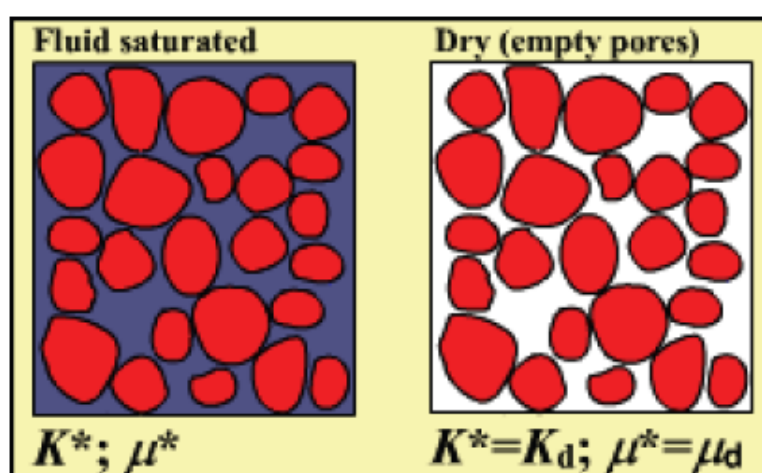


圖 A.5 岩石的孔隙充填流體 (左圖) 與空氣 (右圖) 時，剛性模數與剪力模數不同。

岩石物理的深度趨勢對震波測勘與鑽井相當重要，通常可利用震波速度異常來偵測高壓層，可避免鑽井時造成的災害。砂岩與頁岩的深度趨勢可用來研究砂頁岩界面的震波特徵與深度的關係，並識別異常岩性的存在。圖 A.6 說明深度影響砂頁岩的對比，進而影響振幅-支距 (AVO) 的變化。

圖 A.7 為砂岩與頁岩的震波速度隨深度而變化。較淺的深度，砂岩較頁岩為孔隙小，所以砂岩較頁岩聲波阻抗高，在震測剖面呈現暗點 (dim spot)，為第 I/II 類的 AVO 異常。隨著深度的增加，砂岩孔隙變大，聲波阻抗變小，則在震測剖面會有亮點 (bright spot)，可能為含氣砂層。之後深度再增加，因為成岩作用，砂岩的孔隙膠結而變小，聲波阻抗又增大。



# Why depth trends matter

- 1) Controls the expected seismic contrasts between sands and shales (i.e. bright spots versus dim spots)
- 2) Determines the background trend in AVO analysis and elastic Inversion
- 3) Controls pressure, effective stress and temperature, significantly affecting fluid and rock properties

Depth trends according to Dante

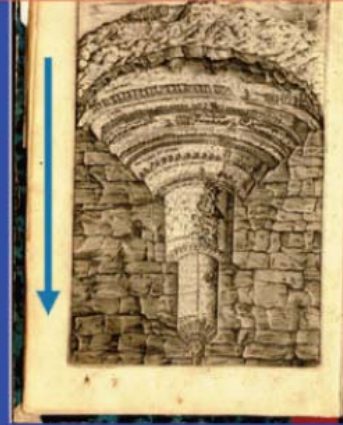


圖 A.6 深度對於砂頁岩界面的震波振幅對比的影响。

# Seismic depth trends

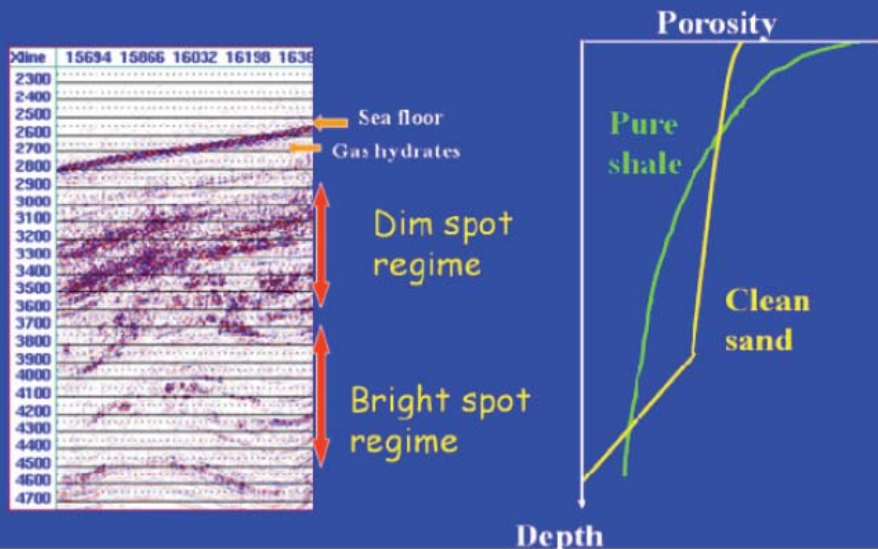


圖 A.7 砂岩與頁岩的震波速度隨深度而變化，亦可反映在震測剖面。

振幅-支距 (AVO) 分析是從震測剖面找出可能異常的區域，然後進一步分析震測聚排資料，從分析振幅隨支距的變化瞭解是否有 AVO 異常，更可瞭解地質上的岩性差異，分析是否存在蓋層下方的含氣層，輔助油氣的偵測 (圖 A.8)。圖 A.9 為利用實際震測資料進行 AVO 分析，將震測剖面解釋的封閉構造，進行 AVO 分析，找出 AVO 異常的資料點，再對應回到震測剖面，即可描繪出 AVO 異常的範圍，表示油氣可能的分布範圍。

岩石物理分析可從聲波阻抗 (acoustic impedance) 與  $V_p/V_s$  關係圖來區分出頁岩、含水砂、含油砂與含氣砂的分布 (圖 A.10)，通常含氣砂層為低聲波阻抗且低  $V_p/V_s$  的狀況。岩石物理模版 (Rock Physics Templates, RPTs) 是從沈積與成岩作用來進行岩性與流體預測的工具，可區分岩性和油氣的空間分布。同樣是從聲波阻抗與  $V_p/V_s$  關係圖來分析，不僅可由井測資料，亦可由震測資料逆推出的聲波阻抗資料，透過岩石物理模版確認井測資料中含油氣層的資料點分布，然後將此模版套入此關係圖的震波逆推聲波阻抗的資料，再對應到聲波阻抗剖面，即可找出含氣砂的空間分布 (圖 A.11)。

## AVO in a nut-shell

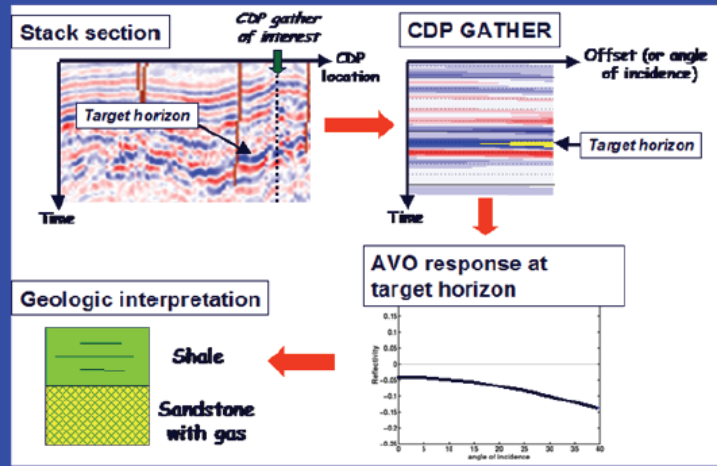


圖 A.8 振幅-支距 (AVO) 分析的概念圖。

## AVO crossplot analysis

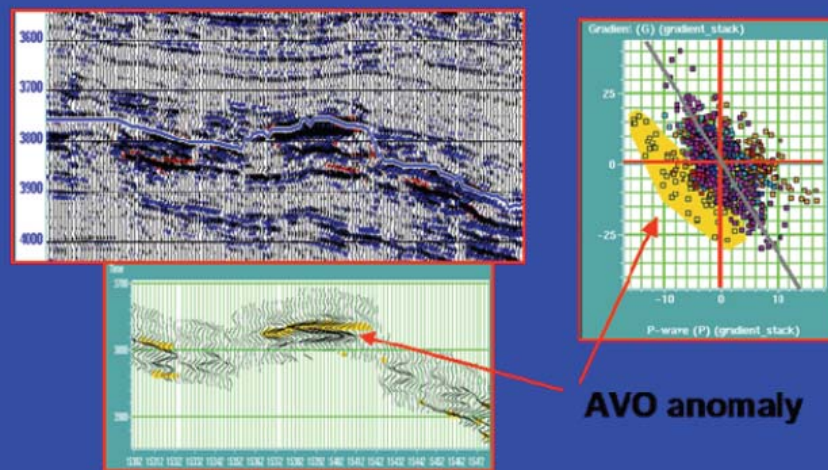


圖 A.9 利用井測資料與震測剖面分析 AVO 異常的實例。

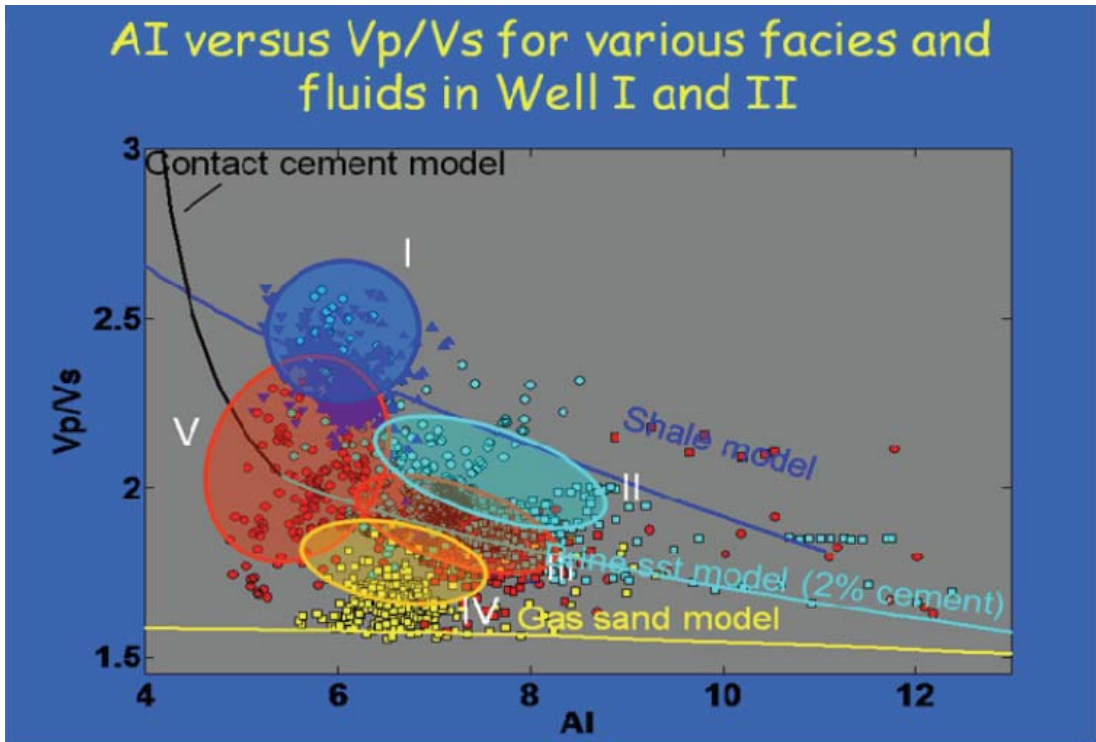


圖 A.10 從聲波阻抗與 Vp/Vs 的關係圖可看出頁岩、含水砂與含氣砂的關係。

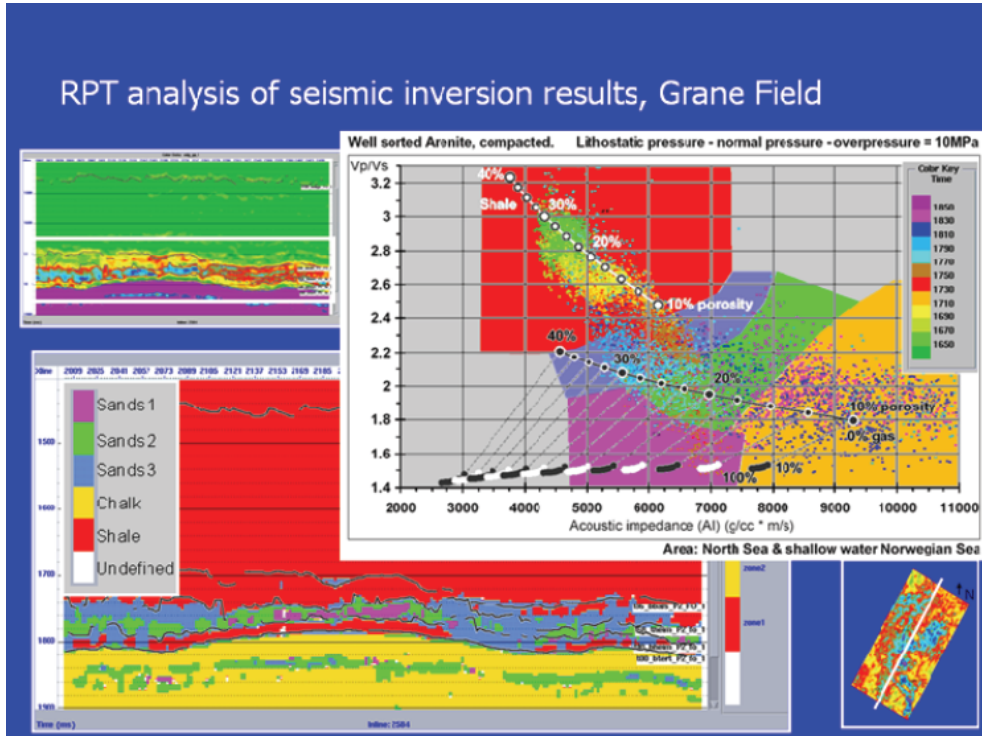


圖 A.11 利用岩石物理模版分析井測資料，並套用於震測剖面，定量分析聲波阻抗的結果，區別出不同岩性的分布。