

出國報告（出國類別：開會）

# 參加2010年地球物理探勘師學會年會 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：99年10月17日至10月23日  
報告日期：100年1月18日

## 摘 要

本次出國參加 2010 年地球物理探勘師學會年會，行程自 99 年 10 月 17 日至 99 年 10 月 23 日，為期七日。今年地球物理探勘師學會年度會議在美國科羅拉多州的丹佛市舉辦，本公司由探探研究所的傅式齊、張資宜和李健平與探探事業部的賴炤輝、楊育良和林人仰等同仁，針對官田地區部分重合逆推應用於油氣潛能評估及岩性辨識新技術之研究成果共同發表論文，題目為「Simultaneous partial stack inversion applied to evaluate the lateral extent of the Kuantian gas field and the hydrocarbon potential of the Josir prospect」。整個會議議程從 10 月 18 日下午一點半開始，至 10 月 20 日下午五點鐘結束，會期為兩天半，地點在丹佛市的會議中心。10 月 19 日下午兩點五十分宣讀論文海報，內容為利用地球物理的震測逆推技術，對於官田地區已經鑽探的井測資料分析，瞭解該區域的震測屬性與岩性變化，確認官田氣田橫向延伸範圍是否能與震測屬性顯示之直接油徵一致，作為油氣評估的依據，並重新評估舊社好景區 AVO 分析顯示油氣潛能的有效性。研究結果顯示，舊社好景區油氣潛能相對低於官田氣田。而官田氣田為一構造與地層聯合的油氣封閉類型，其邊界在西側為氣水界面，氣田向西下傾至約 750 公尺等深線，在東側則以岩性變化界面為氣層分布邊界，氣田向東至約 700 公尺等深線。結果說明官田氣田鑽探成功後估算的油氣蘊藏量是合理的，且井間壓力連通性測試的結果顯示高估蘊藏量的可能性並不高。此次參加地球物理探勘師學會年會，除了發表論文外，也藉由與會專家的發表瞭解最新地球物理探勘上的發展與技術，以作為未來研究的參考。

## 目 次

摘要.....	1
目次.....	2
目的.....	3
過程.....	3
建議與心得 .....	10
附錄.....	11

## 參加 2010 地球物理探勘師學會年會出國報告

### 目的：

地球物理探勘師學會 (Society of Exploration Geophysicists, SEG) 年度會議為全球知名的學術研討會議，主要的議題為探勘地下構造與尋找油氣等相關技術，也是對於地球物理探勘有興趣的專家與學者必會參加的會議。今年為地球物理探勘師學會 80 週年的年會，投稿踴躍，有超過 1130 篇摘要投稿，議程包含 116 個主題，多為地球科學範疇的地球物理領域專業人員與會發表。

今年地球物理探勘師學會年度會議舉辦的地點在美國科羅拉多州的丹佛市。本公司由探探研究所的傅式齊、張資宜和李健平與探探事業部的賴焯輝、楊育良和林人仰等同仁，針對官田地區部分重合逆推應用於油氣潛能評估及岩性辨識新技術之研究成果共同發表論文，題目為「Simultaneous partial stack inversion applied to evaluate the lateral extent of the Kuantian gas field and the hydrocarbon potential of the Josir prospect」。由李健平代表參加會議及宣讀論文，並吸收國外油氣探勘的資訊與新技術。

### 過程：

今年 SEG 年會投稿篇數為歷年來第二高，可能因此大會作業程序異常，造成本篇論文未能如往例於六月底通知是否被接受，遲至 99 年 9 月 25 日方收到通知準備論文發表一事，隨即準備參加會議事宜。由於論文被通知接受的時間較晚，從開始安排行程，行公文、訂機票、找尋住宿地點、準備報告內容，在時程上都相當倉促，所幸仍在出發前一切準備就緒，得以順利啟程。

本次出國參加會議期間為 99 年 10 月 17 日到 99 年 10 月 23 日，共計七天，如表一所示。由於科羅拉多州位於美國洛磯山脈的東部麓山帶，需要轉機方可抵達丹佛市，所以飛機時間約佔整趟行程的一半時間。

因需至洛杉磯轉機，加上飛機誤點，抵達丹佛市已是當地時間 10 月 17 日夜間十一點半，隔日開始參加會議，會議議程從 10 月 18 日下午一點半開始，至 10 月 20 日下午五點鐘結束，會期為兩天半，地點在丹佛市的會議中心。本次會議的研究主題相當多元，包含震測資料採集、非均向性 (anisotropy)、振幅支距分析 (AVO)、井下地球物理、EM 探勘、全波形逆推、地熱、重力與磁力、地球物理理論、震測解釋、近地表效應、微震研究、岩石物理、震測逆推、波傳模擬、震

測資料處理、層析成像 (tomography) 等 (圖一)。幾乎地球物理探勘方面的主題都有包含，顯示出這個會議在地球物理探勘領域的重要性，與會發表的論文皆是地球物理探勘的專家或學者。

表一、本次參加 2010 年 SEG 年會之行程。

日期	地點	行程
99/10/17	台北-洛杉磯-丹佛	去程
99/10/18-20	丹佛市	參加 2010 地球物理探勘師年會與論文發表
99/10/21	高登市	參訪美國地質調查所的國家地震資訊中心
99/10/21-23	丹佛-洛杉磯-台北	返程

<p><b>Acquisition and Survey Design</b></p> <p>ACQ 1 Marine Towed Streamer            ACQ 2 Survey Design and Marine OBS            ACQ 3 Land            ACQ P1 Land            ACQ P2 Land and Marine Methods and Case Histories</p> <p><b>Anisotropy</b></p> <p>ANI 1 Shear-wave Seismic, Attenuation Analysis, and Rock-physics Modeling            ANI 2 Velocity Analysis for VTI and TTI Media            ANI 3 Field Data Analysis for Azimuthally Anisotropic Media and Fracture Characterization            ANI 4 Anisotropic Velocity and Uncertainty            ANI P1 Anisotropic Parameter Estimation and Fracture Detection</p> <p><b>AVO</b></p> <p>AVO 1 Applications and Case Studies            AVO 2 Theory            AVO 3 Applications and Case Studies II            AVO P1 Theory</p> <p><b>Borehole Geophysics</b></p> <p>BG 1 Theory and Practice            BG 2 Theory and Modeling</p>	<p><b>EM Exploration</b></p> <p>EM 1 Inversion I            EM 2 Inversion II            EM 3 Marine CSEM Case Studies            EM 4 EM for Reservoir Characterization            EM 5 Theory and Application            EM P1 Methods I            EM P2 Methods II            EM P3 Methods III            EM P4 Modeling and Inversion</p> <p><b>Full Waveform Inversion</b></p> <p>FWI 1 Data Consideration and Applications            FWI 2 Anisotropy and Elasticity            FWI 3 Computational Advances and Multisource            FWI P1 Multisource and Algorithms</p> <p><b>Geothermal</b></p> <p>GEO 1 Innovative Geophysics Methods to Mitigate Risk in Exploration and Exploitation</p> <p><b>Gravity and Magnetics</b></p> <p>GM 1 Gravity and Gradiometry            GM 2 Magnetic Interpretation and Processing            GM P1 Interpretation and Processing</p>
--	---

圖一、2010 年 SEG 年會會議主題。

<p><b>Geophysical Theory</b></p> <p>GT P1 Crossing the Geophysical Spectrum</p> <p><b>Interpretation</b></p> <p>INT 1 Advances in Interpretation Techniques I</p> <p>INT 2 Case Histories I</p> <p>INT 3 Case Histories II</p> <p>INT 4 Advances</p> <p>INT P1 Advances I</p> <p>INT P2 Advances II</p> <p>INT P3 Case Histories</p> <p>INT P4 Advances in Interpretation Techniques</p> <p>INT P5 Attributes and Inversion</p> <p><b>Multicomponent</b></p> <p>MC 1 Seismic Applications</p> <p>MC 2 Seismic Technologies</p> <p>MC P1 Multicomponent Seismic Technologies and Applications</p> <p><b>Mining and Geothermal</b></p> <p>MIN 1 Case Histories</p> <p>MIN 2 New Technology and Processing</p> <p>MIN P1 Cases and Government Surveys</p>	<p><b>Near Surface</b></p> <p>NS 1 Methodological Developments and Case Studies</p> <p>NS 2 Surface Waves</p> <p>NS 3 Methodological Studies and Applications</p> <p>NS P1 Methodological Studies and Applications I</p> <p>NS P2 Methodological Studies and Applications II</p> <p><b>Passive Seismic and Crosswell</b></p> <p>PSC 1 Microseismicity I</p> <p>PSC 2 Microseismicity II</p> <p>PSC P1 Microseismicity</p> <p>PSC P2 Locating Microseismic Sources</p> <p><b>Reservoir Characterization</b></p> <p>RC P1 New Method Applications</p> <p>RC 1 Case Studies</p> <p>RC 2 Fluid and Reservoir Delineation</p> <p>RC 3 New Method Applications I</p> <p>RC 4 New Method Applications II</p>
--	---

圖一、(續)。

<p><b>Rock Properties/Rock Physics</b></p> <p>RP 1 Modeling and Computations</p> <p>RP 2 Laboratory Measurements</p> <p>RP 3 Theory and Applications</p> <p>RP 4 Dispersion and Attenuation</p> <p>RP 5 Shales and Anisotropy</p> <p>RP 6 Permeability and Fluid Flow</p> <p>RP P1 Measurement and Application</p> <p>RP P2 Theory and Models</p> <p><b>Seismic Inversion</b></p> <p>SI 1 Methods</p> <p>SI 2 Applications and Joint Inversion</p> <p>SI P1 Methods and Applications</p> <p>SI P2 Characterization and Monitoring</p> <p><b>Seismic Modeling</b></p> <p>SM 1 Finite Difference and Boundary Conditions</p> <p>SM 2 Frequency or Dual Domain</p> <p>SM 3 Theory</p> <p>SM P1 Theory and Applications I</p> <p>SM P2 Theory and Applications II</p>	<p><b>Seismic Processing: Migration</b></p> <p>SPMI 1 Blended Sources and Least-Squares Imaging</p> <p>SPMI 2 Attenuation and Elastic Imaging</p> <p>SPMI 3 Reverse Time Migration</p> <p>SPMI 4 Gathers and Imaging Conditions</p> <p>SPMI 5 Practical Aspects and Case Histories</p> <p>SPMI 6 Theory</p> <p>SPMI P1 Theory and Practice</p> <p><b>Seismic Processing: Multiples</b></p> <p>SPMUL 1 Case Studies and Preprocessing Techniques</p> <p>SPMUL 2 Internal Multiples and Novel Approaches</p> <p>SPMUL P1 Multiples and Novel Approaches</p> <p><b>Seismic Processing: Noise Attenuation</b></p> <p>SPNA 1 Coherent Noise Attenuation</p> <p>SPNA 2 Seismic Interpolation and Regularization</p> <p>SPNA 3 Multifold/CRS Methods</p> <p>SPNA P1 Interpolation and Regularization</p> <p>SPNA P2 Seismic Deconvolution</p> <p>SPNA P3 Coherent Noise Attenuation</p>
---	--

圖一、(續)。

<b>Special Session</b>		<b>Time Lapse</b>	
SS 3	OBS Nodes: The Emergence and Future of Novel Acquisition Methods	TL 1	Case Histories
SS 4	Geohazards and Public Safety	TL 2	New and Improved Time Lapse
SS 5	Seismic Acquisition/Are We Spending Too Much?	TL P1	New and Improved Time Lapse
SS 6	Humanitarian and Environmental Applications of Geophysics at the Community Level	<b>Tomography</b>	
SS 7	State of the art in Multidimensional Electromagnetics: In Honor of Gerald W. Hohmann	TOM 1	New Insights and Workflows
SS 8	Hydrogeophysics	<b>VSP</b>	
SS 9	Waveform Inversion: In Honor of Albert Tarantola	VSP 1	Imaging
<b>Seismic Theory</b>		<b>Velocity Tomography</b>	
ST 1	Seismic Interferometry	VTOM P1	Velocity Tomography
ST P1	Frequency and Interferometry	VTOM P2	Methods and Strategies
<b>Seismic Velocity Interpretation and Processing</b>		<b>Workshops</b>	
SVIP 1	Velocity Analysis	W 6	Physical Properties in Mineral Exploration
SVIP 2	Velocity Modeling and Updating	W 7	Predicting Geohazards Pre-drill using Geophysical Methods
		W 10	Recent Advances in Elastic-wave Inversion for Shear-wave Interpretation
		W 11	Advances in Joint Inversion of (Multiset) and Multiphysics Data

圖一、(續)。

10月18日下午一點半抵達會場(圖二)，先到註冊櫃檯報到，領取入場證與相關的議程及文件，隨即展開今天的會議。之後也抽空去書商展示區兌換附有會議議程與所有摘要檔案的DVD光碟片，以供未來研究工作的參考。

與會發表論文的單位不僅僅來自國際間各大學等學術單位，也有相當多來自石油公司的專家。在聆聽報告的場次上，選擇了一些與本身研究有關的主題，或是有興趣的主題，包含震測逆推、震測模擬的研究，還有一些比較特別的研究，像是利用剪切波來研究地殼的非均向性，或是利用震波衰減來判別油氣所在，而全波形模擬與微震定位更是與地震研究極為相關，只是應用的層面不同。會中也去聆聽 Yilmaz 博士，以及 Nur 博士的邀請演講，這兩位都是常在論文或是專書常看到的專家，Yilmaz 的專書是震測資料處理的經典，而 Nur 的文章則多關於在實驗室研究岩石物性的論文。此外，有一個特別的場次，是紀念 2009 年過世的 Tarantola 教授，他著名的專長為地球物理逆推問題，另外對於地下速度構造也有所鑽研，著作多本書，幾位他的學生或是與他共事的研究學者報告過去與 Tarantola 教授合作的相關研究，內容精彩，而這樣的學術追思會頗讓人感動。





圖二、本次 2010 地球物理探勘師學會年會的會場照。

地球物理探勘師學會年會有一個特色，就是儘管是投稿時選擇發表論文以海報方式展示，而非口頭宣讀論文，發表者仍會被分配二十分鐘的時間在海報前詳細報告海報內容，由海報會場主持人控制時間，並由現場的聽眾擔任評審，給予提問或是評分，而不像一般研討會的論文海報展示只需要在海報前講解，沒有嚴格的限制講者的說明時間，地球物理探勘師學會年會這樣的方式，其實也相當於口頭宣讀論文，整個感覺較為正式。

本人代表宣讀海報時間為 10 月 19 日下午兩點五十分，內容主要是利用地球物理的震測逆推技術，對於官田地區已經鑽探的井測資料分析，瞭解該區域的震測屬性與岩性變化，確認官田氣田橫向延伸範圍是否能與震測屬性顯示之直接油徵一致，作為油氣評估的依據，並重新評估舊社好景區 AVO 分析顯示油氣潛能的有效性。研究結果顯示，舊社好景區油氣潛能相對低於官田氣田。而官田氣田為一構造與地層聯合的油氣封閉類型，其邊界在西側為氣水界面，氣田向西下傾至約 750 公尺等深線，在東側則以岩性變化界面為氣層分布邊界，氣田向東至約 700 公尺等深線。結果說明官田氣田鑽探成功後估算的油氣蘊藏量是合理的，且井間



壓力連通性測試的結果顯示高估蘊藏量的可能性並不高。圖三為會場展示的海報，其內容請參考附錄。



圖三、本次發表論文之海報展示照。

參加國際研討會，廠商展示的會場是不可錯過的區域，花些時間參觀廠商的攤位，通常會有意想不到的收穫，不管是新技術的宣傳，或是一些商品的展示，皆可以增長見聞。會場二樓為廠商展示的會場，包含許多與探勘相關的儀器廠商、軟體廠商、學校單位以及國際知名的石油公司皆有參展。儀器廠商方面，像是 Kinometrics、Geotech、Guralp 公司在製作地震儀器方面，算是相當知名。軟體廠商方面，則有本公司使用的震測解釋軟體 Landmark、Kingdom 和 Paradigm 公司，震測逆推軟體 Fugro Jason，以及其他知名的探勘軟體公司。國際知名的石油公司，像是英國石油(BP)、艾克森美孚(Exxon Mobil)、雪佛龍(Chevron)、殼牌(Shell)、中石油(CNPC)、中海油(CNOOC)、中石化(SINOPEC)等。

書商的攤位也是值得駐足的地方，尤其是在會場購書，通常會有較為優惠的折扣，多是 SEG 出版的地球物理探勘經典書籍，也有一些新出版的書，礙於時間的關係，未能仔細選購適當的書籍。

除了參加 SEG 學會年會外，此行剛好有機會參訪美國地質調查所（U.S. Geological Survey, USGS）位於科羅拉多州高登市的分支機構。美國地質調查所為美國聯邦政府下屬的機構，掌管業務相當廣泛，如地質、地震、火山、洪水、能源、礦業、地下水、土壤液化、山崩、衛星測量、地科教育等，其中天然災害有地震災害、火山災害、山崩災害、森林火災、洪水、海嘯、颶風。

由於認識的林國萬博士正好在附近的美國地質調查所工作，地點在相距丹佛市約 30 公里的高登市（Golden），會議結束隔天，趁著搭飛機回台灣的空檔，有機會去參訪美國地質調查所位於高登市的國家地震資訊中心（National Earthquake Information Center, NEIC）。這個地震中心是美國地質調查所在地震方面相當重要的中心，專門提供全球地震發生後的震度圖（ShakeMaps），以及防災與救災上的訊息。國家地震資訊中心人員雖少，但是其成果相當豐碩。林國萬博士發展的地震發佈（ShakeCast）系統，在地震發生且造成災害時，提供各用戶單位所需要的相關資訊，作為應變之用，目前已成功地套用於地震災害消息傳遞與救災。



圖四、美國地質調查所國家地震資訊中心。

## 心得與建議事項：

第一次參加 SEG 年會，感覺跟之前參加的國際會議最大的不同在於研究主題與展場都跟石油業界有相當大的關係，由於油氣探勘在地球物理探勘方面上，屬於偏重應用性的主題，因此這樣的國際會議也會受到石油公司的重視，如果有新技術或新結果發表，較容易引起迴響。相較於單純的學術會議，許多業界的大石油公司研究成果與實務經驗，也會在這個會議中展現。而世界級的國際石油公司規模相當龐大，資金也相當雄厚，在現場攤位可感受到許多大石油公司的財力。

會議議程相當緊湊，想要所有的主題都參與實有困難，如有兩個有興趣的主題同時發表，則需要有所抉擇。會中聆聽一些震波衰減的研究，如利用 P 波震波衰減來監測二氧化碳封存場的變化、利用震波衰減分離壓力變化與氣體飽和變化的影響。由於過去對於震波衰減的研究有些經驗，因此想要瞭解利用震波衰減特性套用於地球物理探勘或是其他應用的現狀。此外，發現一些研究主題與地震研究也有相當大的關連，由於在震波原理上，兩者的基本原理是相同的，因此在會議的研究主題上，也會有相似或是應用的研究，最近在地震學上熱門的研究題目，在這個學術會議上也看得到。

地球物理探勘是一門廣且專門的學門，除了震測解釋之外，其他相關的技術如震測逆推、震測資料處理以及電測分析，皆可在會場找到發表的文章，顯示其重要性。然而對石油公司而言，可能會依公司特性考量或是目標，著重在某些部分的技術，而非全盤地掌握所有地球物理探勘技術。

這次參加 SEG 年會，瞭解近期這方面的新技術與發展，的確是不錯的機會，然而 SEG 年會通常會在會議前幾天有短期的教學與訓練課程，提供探勘專業人員學習新知與新技術的機會。由於本次投稿時在聯繫上發生問題，因此被通知接受的時程較晚，決定參加開會的時間相當倉促，因此未能報名短期的訓練課程，相當可惜。下次如有機會，希望能夠提早進行，除了參加會議以外，能夠多學習國外的技術，應用於本公司的探勘上，以期在油氣探勘上有所斬獲。

最後感謝探探事業部在經費上的補助，以及探探事業部與探探研究所長官的大力支持，讓此次論文發表得以成行，並順利達成任務。

## 附錄：

本次參加研討會發表論文之相關內容如下：

### 摘要

官田氣田自民國 95 年鑽探官田一號井成功後，後續又鑽探二號及三號井並於 96 年開始生產。生產期間曾做過井間壓力連通性測試，根據測試結果及電測資料氣水界面深度之解釋，對於氣田之油藏量是否能達鑽探前依據構造圈合面積預估的量，產生不少爭議及不確定性。此外，官田氣田東北方約 10 公里處之舊社好景區，其 AVO 分析結果曾顯示官田氣田第二氣層儲集岩之油氣潛能。為確認官田氣田橫向延伸範圍是否能與震測屬性顯示之直接油徵一致，並重新評估舊社好景區 AVO 分析顯示油氣潛能的有效性，本研究以 96 年重測勘並經三分量接收器接收 P 波及轉換 S 波訊號的震測資料，進行疊前部分重合同步震測逆推，再以逆推結果所獲孔隙流體區別因子及岩性因子的交叉圖，篩選含氣砂、含水砂及頁岩油取樣點，達成官田氣田氣層橫向延伸評估及地層岩性鑑別的研究目的。研究結果顯示，舊社好景區油氣潛能相對低於官田氣田。官田氣田為一構造與地層聯合的油氣封閉類型。其邊界在西側為氣水界面，氣田向西下傾至約 750 公尺等深線，在東側則以岩性變化界面為氣層分布邊界，氣田向東至約 700 公尺等深線。研究結果顯示，鑽探成功後估算的油氣蘊藏量是合理的，且井間壓力連通性測試的結果顯示高估蘊藏量的可能性並不高。比較新舊震測資料的逆推結果，顯示過度強調簡化雜訊的影響可能會破壞震波的振幅，進而影響逆推結果。

### 前言

官田氣田位於臺灣西南平原，傅等人曾以深切谷（incised valley）有關之地層封閉（圖 1）來解釋新營及官田氣田之油氣聚集機制（Fuh et al., 2004, 2006, 2009）。深切谷填充物頂部較不乾淨的砂岩，以其上泛洪時期沉積的頁岩為蓋岩，最有機會聚集附近有機質較高頁岩中產生的生物氣。氣田儲氣構造內生產的氣主要為生物氣，開始生產前估算之油氣蘊藏量約為 2 億立方公尺。官田氣田在 2006 年鑽探官田一號（KTN-1）井成功後，加鑽了官田二號（KTN-2）和官田三號（KTN-3）兩口井，並於 2007 年開始生產。天然氣產於二重溪層的兩個區段，分別為在 700 公尺深 6 公尺厚以及 800 公尺深 3 公尺厚的區段。典型的第三類 AVO（Amplitude

Versus Offset) 異常可視為直接油氣存在的指標 (Fuh et al., 2004; 2008), 在 KTN-1 井成功之前, 官田氣田附近曾文水庫西側的舊社好景區中, 與第二氣層相關的地層, 有明顯的第三類 AVO 異常。由於舊社好景區東側曾文水庫震測施測困難, 斷層封閉的不確定性和風險較高, KTN-1 井的成功使得舊社好景區值得重新評估。為了達到此目的, 考量利用鑽井目標區的地層彈性特性, 以轉換波來直接偵測流體特性。探採事業部在 2007 年, 重新針對兩條跨越 KTN-3 井和舊社好景區的測線施測 (圖 2), 且使用三分量 (3 components) 的接收器, 如此便可用三分量接收器記錄到的 P 波及轉換 S 波來研究流體特性。

官田氣田生產期間, 曾在 KTN-1、KTN-2 和 KTN-3 (圖 2) 這三口井間做過井間壓力連通性測試, 本文其後稱干擾測試。根據測試結果及電測資料氣水界面深度之解釋, 對於氣田之油藏量是否能達鑽探前依據構造圈合面積預估的量, 產生不少爭議及不確定性, 懷疑儲集層不均質性的存在與油氣蘊藏量的可能高估。為了瞭解官田氣田橫向連續性, 以及重新評估官田氣田東北五公里舊社好景區油氣潛能, 針對 2007 年新測勘的 P 波震測資料進行部分重合逆推, 來分析目標地層的彈性特性。此筆震測資料是委託國外公司處理的, 在資料處理時, 對於描線編輯和雜訊的壓制花了很大的努力, 藉以提高信噪比 (S/N ratio)。相較於 2004 年舊的測線, 2007 年新測線的信噪比有很明顯的提升。

本研究一則期望大幅改善震測資料信噪比, 二則後續震測資料處理所獲彈性波資訊, 能更有效地作為儲集岩孔隙內流體的研判。本研究即是以這 2004 年和 2007 年施測的兩筆震測資料之疊前部分重合進行疊前部分重合同步震測逆推, 以重新評估官田氣田氣層橫向延伸範圍、舊社好景區 AVO 油氣潛能及地層岩性鑑別。此外, 2007 年新測線的疊前部分重合同步逆推結果 (2009 年完成) 也用來比較 2004 年的舊測線疊前部分重合同步逆推結果 (2008 年完成)。

## 研究方法

震波測勘的震源為 P 波時, 在震波傳遞過程經過任一地層界面, 通常並非垂直入射地層界面, 此時會產生反射 P 波、反射 S 波、穿透 P 波及穿透 S 波。一般震測資料解釋及分析所用到的資料, 僅可視為零支距反射 P 波。但利用非垂直入射地層界面的震測資訊, 卻可獲得更多岩石物理及孔隙流體資訊, 對油氣潛能的評估助益良多。如考量非垂直入射地層界面的震測資訊, 則和地層物性相關的阻

抗應分爲四種：(a) 零支距之聲波阻抗 (P-Impedance)；(b) 非零支距之 P-P 彈性阻抗 (P-P Elastic Impedance)；(c) 零支距之剪力阻抗 (Shear Impedance 或 S-S Impedance)；(d)非零支距之 P-S 彈性阻抗(P-S Elastic Impedance)(Connolly, 1999)。其中 P 或 S 阻抗爲一地層實際的岩石物理參數，然而 P 或 S 彈性阻抗，卻並非一地層實際的岩石物理參數，乃在不同震波入射角範圍，反應地層界面，而非地層內部特性。

利用 P-Sonic、S-Sonic 井測及密度測錄資料，計算對應於各個不同入射角分佈範圍部分重合之彈性阻抗井測，並分別用於各個部分重合進行漣波萃取及反射係數逆推 ( $R(\theta)$ )。將這幾組逆推所得反射係數，經由彈性參數的同步逆推，獲得最終的 P 波、S 波阻抗及密度。對部分重合同步逆推方法而言，其獲得的結果爲實際岩石物理特性參數，此法逆推結果的雜訊相較降低，S 波阻抗爲一極佳的岩性指標， $V_p/V_s$  則爲孔隙內流體種類（水、油或氣）的指標。P 波阻抗對 S 波阻抗的交叉圖分析可有效地區別儲集岩和非儲集岩，逆推結果不會造成彈性阻抗本身實質運用與解釋上混淆的問題。

Lambda-Rho(孔隙流體區別因子)爲岩層的不可壓縮強度( $\lambda$ , incompressibility)和密度乘積，其值越大表示越不容易被壓縮。含氣的砂岩層，相對於含水的砂岩層，其不可壓縮強度較小，容易被壓縮 ( $\lambda\rho = I_p^2 - 2I_s^2$ ，其中  $I_p$  爲 P-Impedance,  $I_s$  爲 S-Impedance)。含氣的砂岩層之 Lambda-Rho 值，一般小於含油的砂岩層之 Lambda-Rho 值，但兩者之 Lambda-Rho 值分布仍有可能呈現相當大的重疊。岩性因子 Mu-Rho ( $\mu\rho = I_s^2$ ) 乃岩層的剛性係數 ( $\mu$ , rigidity) 與密度乘積。碳酸岩的 Mu-Rho 值普遍較高，泥岩或頁岩的 Mu-Rho 值則普遍較低。本研究經由疊前部分重合同步震測逆推結果所獲孔隙流體區別因子及岩性因子的交叉圖，篩選含氣砂、含水砂及頁岩油取樣點，達成官田氣田氣層橫向延伸評估及地層岩性鑑別的研究目的。

疊前部分重合同步震測逆推的流程如圖 3 所示，這個流程的核心在於 CSSI (constrained sparse spike inversion) 演算法。由 CSSI 方法產生逆推彈性模型時，需要低頻趨勢模型（通常爲井資料經內插後，濾取其低頻部分）來補償震測資料所缺乏、且未能在經由稀疏條件 (sparsity criterion) 所獲得的最低頻率資訊。換句話說，通常震測資料所能提供的頻段爲較高頻的部分（約大於 10 Hz），在震測資料



所缺乏低頻部分的資料（約為 0-10 Hz），則可利用井資料來補齊。首先個別地對三個部分重合的震測資料進行漣波萃取並逆推得到未經井資料束縛之三組部分重合反射係數，與經由低頻模型得到的反射率合併，並轉換成阻抗。其後，充分受井資料束縛之逆推阻抗，用來改善逆推阻抗所計算合成震波和輸入震測資料間的匹配。於資料是由震測資料與低頻模型兩者所提供，在合併震測資料反射率和低頻模型時所要選擇的合併頻率段，要經過挑選來確定大部分的資訊是由震測資料提供的，且要避免振幅頻譜有資料不連續的情形。CSSI 演算法決定 P 阻抗、 $V_p / V_s$  和密度的最佳組合，可用來解釋不同角度重合所得到 AVO 的結果。

## 研究結果

由於只有 KTN-3 井有 S-Sonic 井測資料，疊前部分重合同步逆推所需低頻 P 阻抗及 S 阻抗，以 KTN-3 的井測資料及震測解釋的反射層面來建構。在做疊前部分重合同步震測逆推前，先測試 KTN-3 井的資料品質，發現在第一氣層有異常高的泊松比（Poisson's ratio），其值約為 0.28 到 0.32 之間，相較第二產氣層的比值高許多，研判應為第一氣層 S-Sonic 量測值有誤所造成。利用岩石物性模擬來修正第一氣層的 S-Sonic 井測資料（Fuh et al., 2008），圖 4 為修正井測資料前後比較的結果，第一氣層異常高泊松比的問題，在利用模擬測錄來取代後，結果有明顯改善。修正後的測錄用於部分重合同步震測逆推流程中之合成震波比對與漣波萃取。部分重合同步震測逆推 S 阻抗時，逆推結果的可信度，受到雜訊的干擾極大。在進行部分重合同步震測逆推之前，對近支距、中支距或遠支距而言，首先得進行垂直向拉平(vertical alignment)之管控與處理，使得同一反射層面都必須彼此對齊。各部分重合的反射層面無法對齊時，會造成部分重合同步震測逆推的另一種雜訊，嚴重影響逆推結果。本研究三組不同角度範圍的部分重合為 10-20、20-30 與 30-40 度。因為新測線資料的個別重合相較於舊測線資料有高信噪比的緣故，部分重合在垂直對齊所需調整之量極微。合併高頻的震測資料和低頻的井資料時，經過測試，使用 12 Hz 為分界來合併這兩種不同頻段的資料。漣波的比例值（scale factor）套用於近支距、中支距和遠支距的重合分別為 1.0、0.5 和 0.4。

圖 5 為橫跨 KTN-3 井和舊社好景區的逆推 P 阻抗和 S 阻抗剖面。由新與舊的測線資料所逆推出的阻抗結果，異常低的 P 阻抗可以辨別出氣田的存在。與含氣砂相關的位置在時間剖面的西邊約為 0.65 秒，在東邊則約為 0.625 秒。由新測線

所得到的剖面可知，與岩性相關的 S 阻抗剖面指出沿著第一氣層的橫向變化細微，反映出儲集層的異構性並不明顯。相對地，由舊測線逆推出的 S 阻抗剖面橫向變化明顯（圖 5 的左下圖），在氣砂上方的高 S 阻抗可解釋為頁岩。在 KTN-3 井右邊（CDP 為 185-250）的第一氣砂，平均 S 阻抗高於 KTN-3 井左邊的第一氣砂約  $0.25 \times 10^6 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$ ，但第二氣砂 S 阻抗的連續性較第一氣砂要差很多。根據這些觀測與 P 阻抗的異常，我們可以推論官田氣田的儲集層往東邊轉變成非儲集層，為泥或頁岩為主的薄砂。官田氣田為一綜合構造封閉和地層封閉的氣田，氣水界面只有可能在氣田西邊存在；在東邊，氣田則是受到岩性變化所阻隔。由構造與地層綜合推論，可用 Fuh et al. (2004; 2009) 針對台灣西部平原的海底峽谷系統所提出上新世／更新世切入山谷模型來解釋。

為了更進一步區分儲集層的孔隙流體類型，在 P 阻抗測錄與  $V_p/V_s$  的交叉圖中，我們依據井測資料定義流體指標函數 (Fluid Index Function)，如圖 6 所示。以 KTN-3 井的 P 波阻抗測錄及  $V_p/V_s$  測錄製作交叉圖，P 波阻抗測錄值為水平軸， $V_p/V_s$  測錄值為垂直軸，各資料點的岩性作為交叉圖上第三個變數。在交叉圖上有了岩性分布的展示，便很容易利用一條曲線，區分出所有資料點為含油氣砂和不含油氣砂兩大類型。這條解釋的曲線，稱作流體指標函數。對於某資料點而言，資料點與流體指標函數垂直的距離定義為流體指標值。資料點在流體函數左邊為負，右邊為正。流體指標值為越負值之資料點，含油氣潛能越高；泊松比值越低，含油氣潛能越高。

流體指標剖面乃部分重合同步震測逆推所獲  $V_p/V_s$  資料體，依據 KTN-3 井測資料訂定的流體指標函數轉換而得。而經由逆推結果計算流體指標剖面，其公式如下：

$$FIF = (V_p/V_s - FI(I_p)) \cos(\arctan(V_p/V_s - FI(I_p))) / (I_p - FI_{rev}(V_p/V_s) / 10^6)$$

其中：

$V_p/V_s$ ：逆推出的  $V_p/V_s$ ，

$I_p$ ：逆推出的 P 阻抗，

$FI(I_p)$ ：由圖 6 的井測資料定義出的流體函數，

$FI_{rev}(V_p/V_s)$ ：流體函數的倒數

在圖 6 中的流體指標函數 1 與 2 分別是依照新測線分析的第一氣層與第二氣層所定義出。交叉圖的資料點是由第一氣層的模擬測錄來取代實際測錄資料。流體指標函數 3 是利用 KTN-3 井的模擬測錄資料分析所得到的，配合舊測線資料做疊前部分重合同步震測逆推結果，則可計算得到流體指標剖面（圖 7）。沿著層面摘取各項震測屬性並展示於震測底圖，是評估油氣潛能延展範圍或地層岩性變化常用的方法。對第一氣層而言，舊測線與新測線分析的剖面皆可容易區分含水與含氣的儲集層。在第二氣層，新測線分析的結果顯示舊社好景區儲集層的氣體潛能與官田氣田的第二氣層相似。基於這點，第二氣層的橫向連續以及舊社的油氣潛能變成不確定且很難由觀測的流體指標函數來估算。相反地，由舊測線的結果較為容易區分出第二氣層與其他的儲集層。比較新測線與舊測線的差異，在疊前部分重合同步震測逆推時，新測線與舊測線參數設定上最大的不同在於漣波的比例值大小。在舊的測線，漣波的比例值在近支距、中支距以及遠支距都接近 1。但是在新測線的部分，則近支距、中支距以及遠支距三者的漣波比例值變化很大。換言之，由新測線三個部分重合所萃取得到的三個漣波振幅相當接近，但是舊測線三個部分重合所萃取得到的三個漣波振幅，則由近支距、中支距到遠支距有明顯地逐漸增加。我們懷疑由於過份強調簡化雜訊，可能使新測線的振幅並沒有受到良好的保留，造成振幅的失真。

由新震測與舊震測資料得到第一氣層的流體指數皆顯示其值比第二氣層來得小，表示其油氣潛能較高。值得注意的是第一氣層頂部的震波振幅約是第二氣層頂部的 1.25 倍，而由合成震波計算這兩層頂的振幅比接近 1。理論上，在高阻抗對比的界面，反射波的能量會比穿透波的能量來得多，因此能量往下穿透的能量有限，這樣高阻抗對比的界面造成的穿透能量耗損，會影響信號的強度，此影響並不能由資料處理而復原。根據本研究的觀測，可解釋為在第一氣層頂部界面產生的高阻抗對比，這樣的物性差異造成震波穿透時能量耗損，並不能經由資料處理而復原，此可能為振幅差異的主因。如果考慮這樣的振幅差異，則由新舊測線分析的結果都顯示在舊社的天然氣潛能會比官田氣田的第二氣層來得低。

為了估算官田氣田的橫向延伸，沿著圖五時間剖面的第一氣層頂部與第二氣層頂部，由氣砂頂部向下取出 20 ms 區間的最小流體指標值，製作最小流體指標分布圖（圖 8）。由於流體指標值越小，油氣潛能越高，橫向延伸的氣層可很容易

地在最小流體指標分布圖上辨識出，這個結果說明第一氣層應該向下延伸到西邊且靠近原先預想的氣水界面深度（750 公尺）。

本研究以 Lambda-Rho 與 Mu-Rho 交叉圖的資料點來篩選含氣砂和含水砂，先以第一氣層頂部與第二氣層頂部為界面，將剖面在垂直方向分層，個別進行岩性篩選，再將各層篩選結果合併。岩性測錄在篩選過程中，用以管控篩選結果。在交叉圖用多邊形表示各層中含氣和含水的砂岩（圖 9）。在定義岩性多邊形前，對於各層井測資料在交叉圖的分布進行測試，瞭解圖中岩性資料點集中的分布。定義多邊形時，為了使井資料的結果吻合，將 KTN-3 井的岩性測錄與篩選的岩性剖面重疊來瞭解怎樣才是最佳多邊形。圖 10 為最終獲得之含氣砂(紅色)和含水砂(綠色)剖面。結合震波穿透耗損的效應和岩性剖面，延伸的氣田仍有很大的機會向下傾斜連續約一公里到 KTN-1 井的西邊。第二氣層的儲集層區段，在舊社好景區仍顯示含氣砂取樣點的存在，但連續性相較於官田第二氣層差，故認為舊社好景區相較於官田氣田的油氣潛能低。岩性剖面指出第一氣層的儲集層並沒有連續到官田氣田的東邊。

## 結論

官田氣田是一個綜合構造封閉與地層封閉的氣田，範圍在西側為氣水界面，氣田向西下傾至約 750 公尺等深線，且岩性變化向東至約 700 公尺等深線。基於震測逆推的結果，原先油氣蘊藏量估算是合理的，且經過干擾測試結果得到高估蘊藏量的可能性並不高。在 KTN-1、KTN-2 和 KTN-3 這三個產氣井附近做干擾測試，可能會造成結果更為複雜。舊社好景區的油氣潛能相較於官田氣田是較低的。比較新與舊的測線結果顯示過份強調簡化雜訊可能嚴重影響振幅，造成振幅失真，進而影響震測逆推的結果。在第一氣層的高阻抗對比所造成的震波穿透能量耗損，並不能經由資料處理復原，且可能抑制其正下方與氣砂有關的震波異常。

## 參考文獻

- Connolly, P., 1999. Elastic impedance. *The Leading Edge*, 18, 438-452.
- Dubucq, D., Busman, S., and Van Riel, P., 2001. Turbidite reservoir characterisation: multi-offset stack inversion for reservoir delineation and porosity estimation; a Gulf of Guinea example. *SEG 71st Annual Meeting*, 609-612.
- Fuh, S. C., Chen, C. C., Liang, S. C., Chang, T. Y., and Chang, K. H., 2004. *Comprehensive*

- analysis of hydrocarbon entrapment style of the Hsingying gas field and its application to hydrocarbon exploration. SEG 74th Annual Meeting, Denver.
- Fuh, S. C., Chang, T. Y., Yang, Y. L., Liang, S. C., and Lin, H. C., 2006. Interpretation and pitfalls of A/B analysis applied to shallow gas exploration in Plio/Peistocene foreland basin, southwestern Taiwan. SEG 76th Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, USA, 656-660.
- Fuh, S. C., Yang, Y. L., Liang, S. C., Chang, T. Y., and Lin, J. Y., 2008. Rock physics modeling applied to quantitative evaluation of shallow gas potential of Plio-Pleistocene foreland basin, southwestern Taiwan. SEG 78th annual meeting, Las Vegas.
- Fuh, S. C., Chern, C. C., Liang, S. C., Yang, Y. L., Wu, S. H., Chang, T. Y., and Lin, J. Y., 2009. The biogenic gas potential of the submarine canyon systems of Plio-Pleistocene foreland Basin, southwestern Taiwan. *Marine and Petroleum Geology*, v. 26, p. 1087-1099.
- Jarvis, K., Folkers, A., and Mesdag, P., 2004. Reservoir characterization of the Flag Sandstone, Barrow sub-basin, using an integrated, multi-parameter seismic AVO inversion technique. ASEG 17th Geophysical Conference and Exhibition, Sydney.

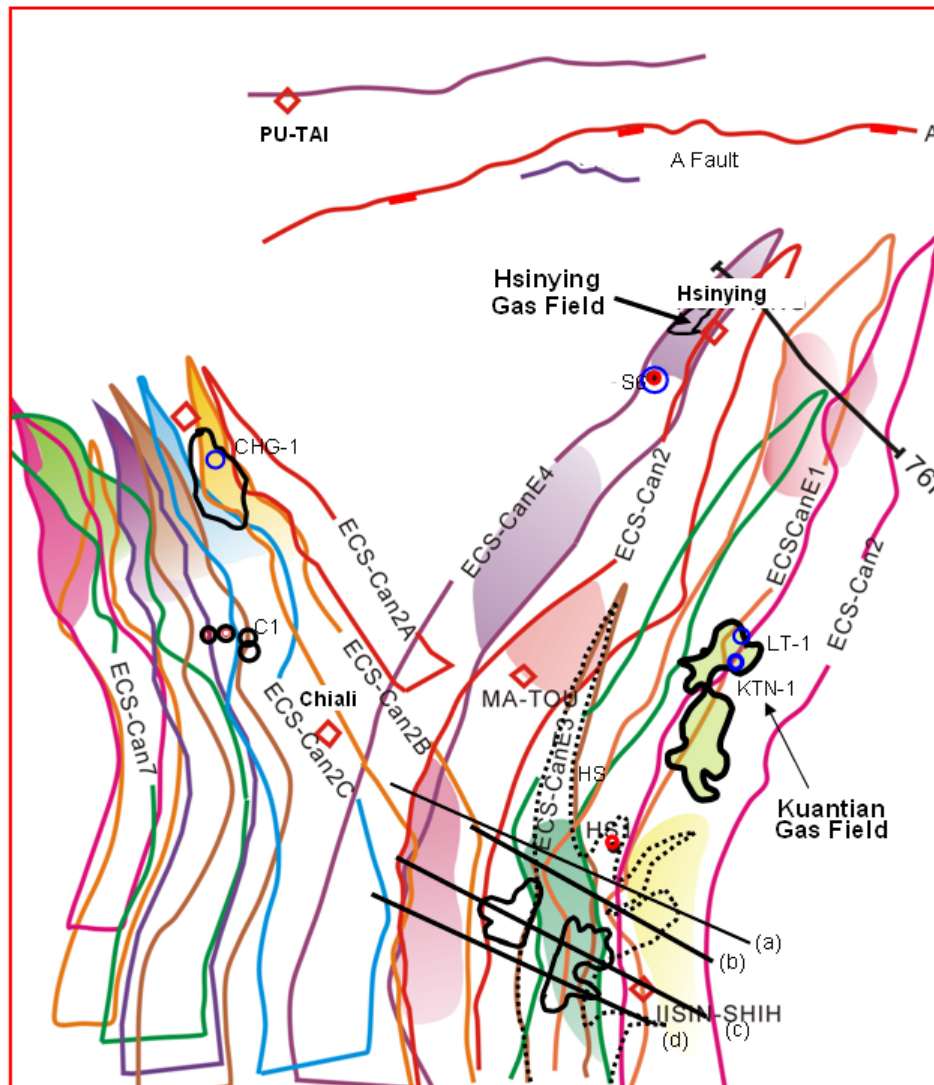


圖 1 二重溪中部 ECS<sub>1a</sub> 探勘目標層反射層面，進行區域性振幅摘取，其振幅亮點分布範圍（黑色實線）和二重溪古海底峽谷的關聯性分析。官田一號井（KTN-1）附近的粗黑線亮點分布，即為沉積於深切古的二重溪中部 ECS<sub>1a</sub> 儲集岩。此亮點分布帶，正位於可解析的黑虛線古海底峽谷往古陸（東北方）的方向不遠（Fuh et al., 2006; 2009）。



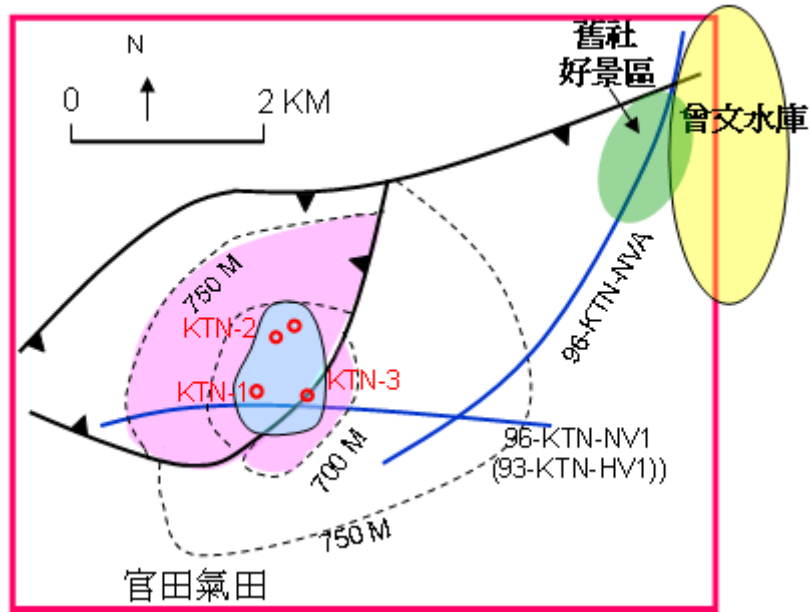


圖 2 研究區域內震測線及井位位置圖。

### 疊前部分重合同步反演

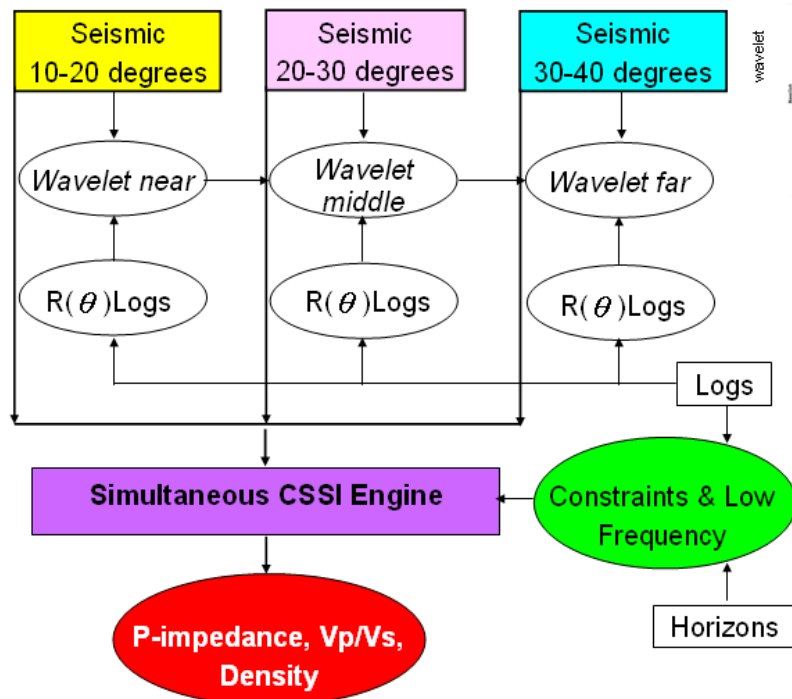


圖 3 疊前部分重合同步震測逆推的流程圖 (Jarvis et al. 2004)。

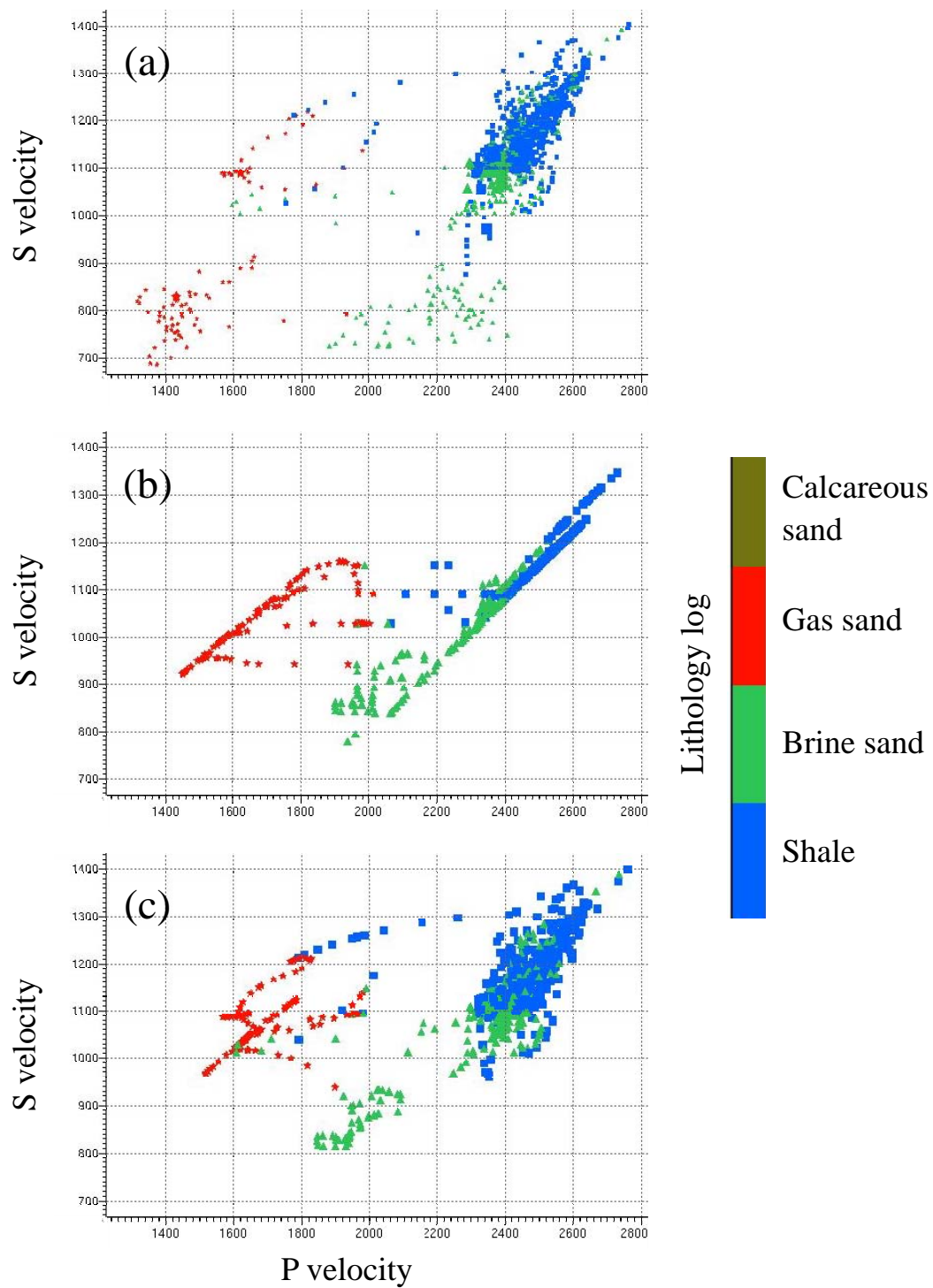


圖 4 井測資料修正前後的比較。(a) 修正前井測資料。(b) 岩石物理模擬之井測資料。(c) 第一氣層 S sonic 異常區間以模擬的測錄取代，其餘測錄資料維持不變。

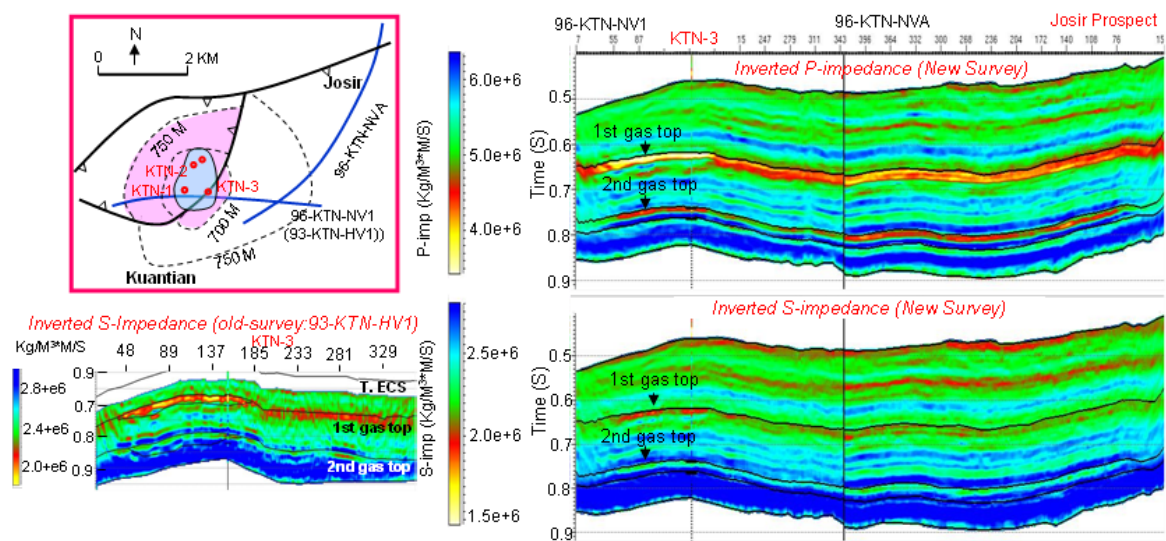


圖 5 右上與右下圖分別為跨越 KTN-3 井和舊社好景區的 P 阻抗與 S 阻抗剖面。左上方的深度構造圖中，藍線表示測線位置。原始氣田延伸區域用粉紅色表示。經由油層工程師所做的井間干擾測試，以天藍色區域為其預估的氣田橫向延伸。左下圖為用 2004 年測線逆推 S 阻抗的剖面。

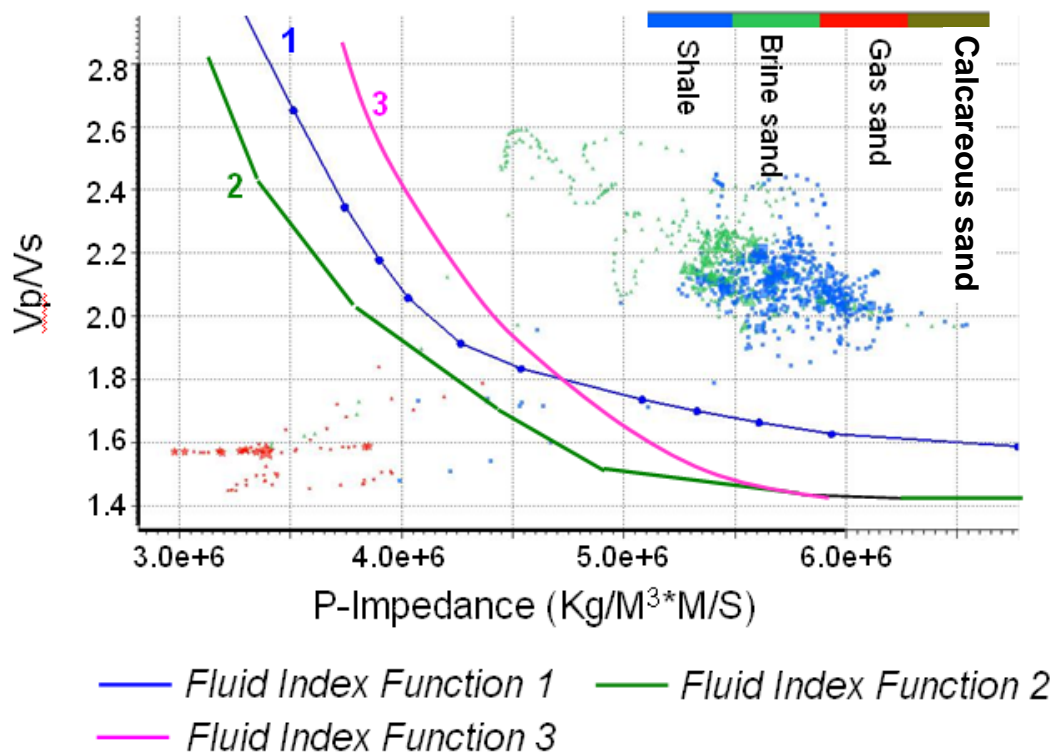


圖 6 P 阻抗與  $V_P/V_S$  交叉圖。流體指標函數 1 是由第一氣層 S-Sonic 異常區間以模擬之測錄取代，其餘測錄資料維持不變之修正後測錄，進行第一氣層頂部至第二氣層頂部間資料點 P 阻抗與  $V_P/V_S$  分析所定義出來的函數。流體指標函數 2 則是以原始測錄進行第二氣層頂部至第三氣層頂部間資料點 P 阻抗與  $V_P/V_S$  分析所定義出來的函數。流體指標函數 3 井是利用 KTN-3 的模擬測錄資料分析所得到的。

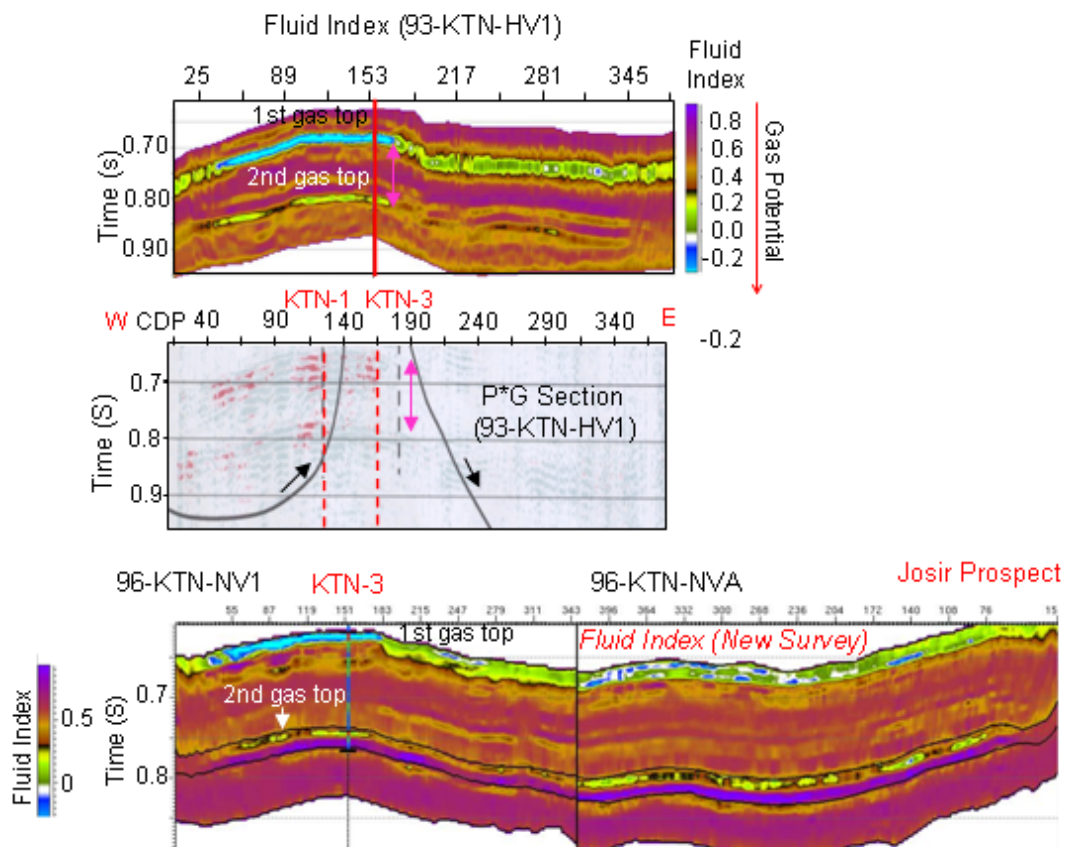


圖 7 2008 年分析 93-KTN-HV1 測線所得到的流體指標剖面（上圖）和 P\*G 剖面（中圖）。相較於 P\*G 剖面，流體指標剖面提供較好的解析度，可描繪出含氣儲集層。下圖為新測線資料逆推的 P 阻抗和  $V_P/V_S$  所計算出流體指標剖面。

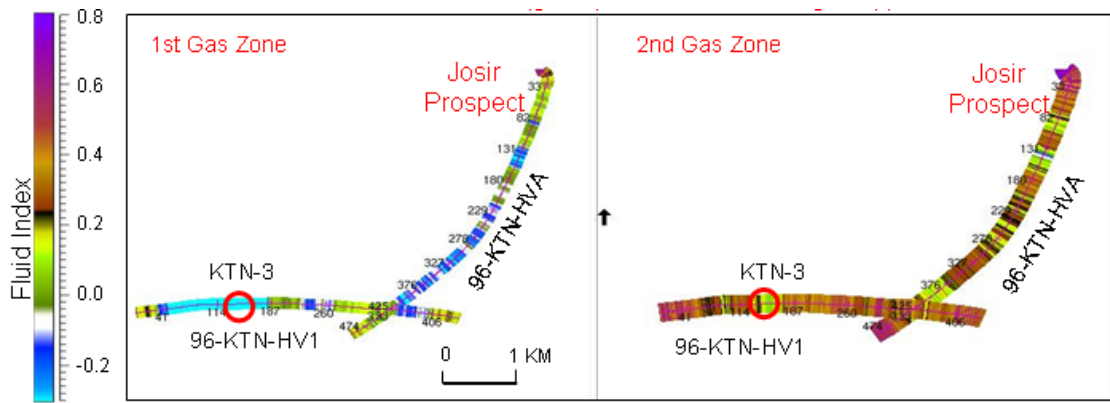


圖 8 第一氣層與第二氣層的最小流體指標分布圖。資料是由分析新測線所得到的結果。

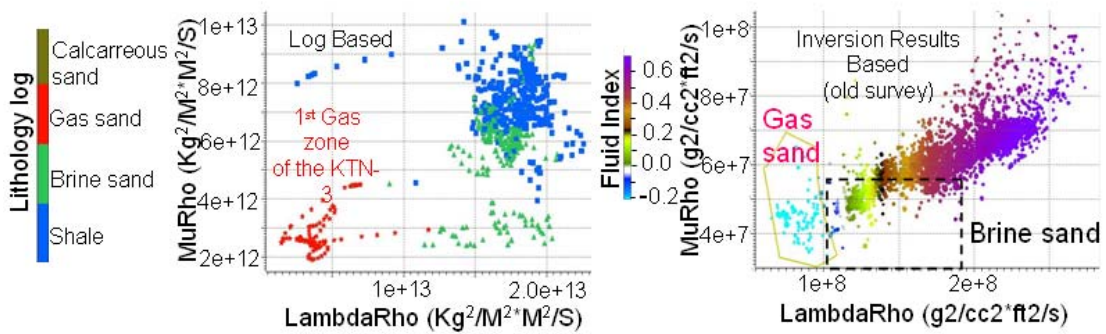


圖 9 用 Lambda-Rho 與 Mu-Rho 交叉圖的資料點來區分含氣砂和含水砂。(a) 由 KTN-3 井的第一氣層區間模擬測錄的結果。(b) 舊測線逆推的結果。



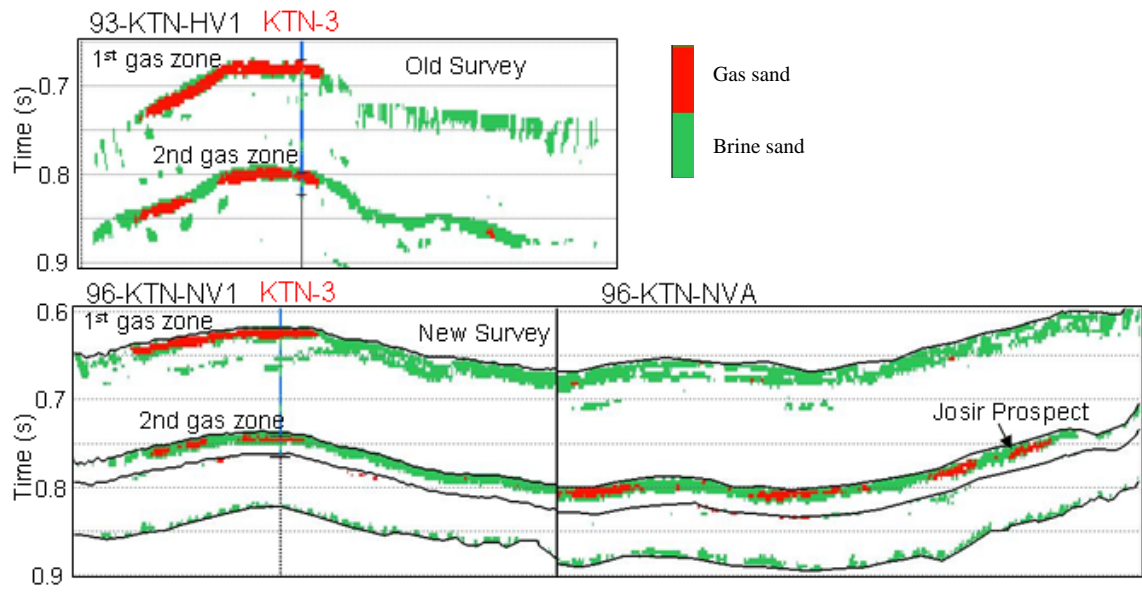


圖 10 由 Lambda-Rho 與 Mu-Rho 交叉圖的多邊形篩選出含氣砂和含水砂。