

出國報告（出國類別：開會）

# 參加兩岸石油探勘上游技術交流研討會 出國報告

服務機關：台灣中油公司探探研究所

姓名職稱：李健平 地球物理探勘師

伍允豪 地球物理探勘師

派赴國家：中國大陸 北京

出國期間：106年11月27日至12月02日

報告日期：106年12月12日

## 摘要

本次出國計畫為參加賽吉紀 (CGG) 公司北京辦公室所舉辦之「查德項目震測重合前逆推地球物理技術交流會議」。出國行程自 106 年 11 月 27 至 106 年 12 月 2 日，為期六天，與賽吉紀公司北京辦公室的地球物理專家與井測專家針對查德項目的震測逆推結果進行技術交流，瞭解賽吉紀公司在查德項目震測逆推的分析經驗、所遇到的問題及解決方案。本研討會議主要針對本公司經營礦區震測逆推結果，從涉及儲層震測逆推相關的分析步驟與可能的問題，如井測、震測資料、速度場、漣波萃取、低頻模型與逆推參數等方面進行細部探討。在震測資料體部分，本公司目前礦區震測資料 PSDM 遠支距具有較大的噪音，建議於逆推時不參與重合前逆推；速度體資料將使用確定性重合後逆推資料與井下實測資料進行校正；低頻模型將使用校正過後速度資料體作為逆推之低頻模型；依據井下岩石物理分析結果將於逆推參數控制時，使用漣波因子微調增加近支距振幅，大幅度抑制中支距振幅；並依上述等流程進行儲層空間分布預測，繪製可能油氣藏範圍與機率。

## 目次

摘要.....	2
目次.....	3
目的.....	4
過程.....	4
出國行程.....	4
會議內容.....	5
心得與建議 .....	11

## 目的

本次兩岸石油探勘上游技術交流研討會的出國計畫為參加賽吉紀（CGG）公司北京辦公室所舉辦之「查德項目震測重合前逆推地球物理技術交流會議」。該會議以針對本公司 M 區塊震測逆推結果研討與技術交流為主要目標，為了充分瞭解地下儲油氣層特性與擬定未來油氣開發計畫，故結合并下岩心、井下井測資料、三維震測重合前（後）資料、油氣測試（Drill Stem Test, DST）、震測解釋及震測層序分析等資料進行震測逆推岩石彈性參數與統整性解釋。

本所近年來各項石油探勘相關研究題目，皆積極以朝向建立符合或接近地下實際狀態之數值模型為目標。為達成此目標，各項研究編組力求打破學科藩籬進行跨領域重整以求廣泛認識研究標的。岩石物理（rock physics）與大地力學（geo-mechanics）在石油地質、地球物理、地球化學、鑽採工程各探勘領域中之應用極為廣泛，其研究範圍主要是針對儲集層及其周遭圍岩物理特性進行分析。從石油系統中的沉積環境、盆地理藏作用起始，並利用井下量測與分析得到基本岩石物理參數，再結合地球物理震測資料逆推所得之岩石物理彈性參數，可推測出儲集層空間分布與蘊藏量；此外，震測逆推（seismic inversion）中的確定性（deterministic）或隨機性（stochastic）方法得到的儲集層彈性參數特性，對於油氣蘊藏量、井位選址、油層模擬、開發生產皆有重要幫助。同時，此項地球物理震測逆推技術對於頁岩油、頁岩氣、重油、地熱能源等開發均有其應用。

## 過程

### 出國行程

本次出國行程自 106 年 11 月 27 至 106 年 12 月 2 日，為期六天，除了第一天與第六天為搭乘飛機交通時間外，其餘四天參加賽吉紀公司的查德項目技術交流會議，行程如表一所示。在這四天中，與賽吉紀公司北京辦公室的地球物理專家與井測專家針對查德項目的震測逆推結果進行技術交流（圖一），瞭解賽吉紀公司在查德項目震測逆推的分析經驗、所遇到的問題及解決方案，且賽吉紀公司也分享過去案例遇到的問題與解決方案，以及震測逆推技術所需注意的事項。由於地下構造複雜度高，地球物理方法得到

的多為非唯一解，且無法由單一方法解決所有可能遇到的問題，對方分享的這些案例皆可做為我們未來進行油氣探勘與震測逆推研究分析時的參考。

表一、本次參加兩岸石油探勘上游技術交流研討會行程

起迄日期	天數	地點	詳細工作內容
106/11/27	1	北京	啟程（台北-北京）
106/11/28 106/12/01	4	北京	參加賽吉紀（CGG）公司查德項目技術交流會議
106/12/02	1	台北	返程（北京-台北）



圖一、與賽吉紀公司地球物理專家研討交流

## 會議內容

地球物理油氣探勘是需要多方面地球物理專業緊密合作與處理方能提供較佳的分析成果，其中震測資料處理、井測（岩石物理、AVO 模擬）、震測逆推與地質背景等四

項為主要囊括的重點項目。井震關係（井測資料與震測資料）分析是震測定量解釋的核心；井震關係不僅反映時間-深度關係，更可延伸至地下岩性、流體等關係的分析；在進行井震關係分析時，井震關係中任何的異常現象均可能有其背景成因，值得深入探討。

本研討會議主要針對本公司目前經營礦區之震測逆推結果進行多方面的交流，從涉及儲層震測逆推相關的分析步驟與可能的問題，如井測、震測資料、速度場、漣波萃取、低頻模型與逆推參數等方面進行細部研討。以下針對研討項目進行說明：

## 1. 井測

低電阻油氣藏常見主要因為頁岩中黏土礦物束縛水、毛細水壓（capillary pressure）過高，或者砂泥岩互層、海相沉積環境含鹽度高的砂層厚度較薄，導致地層水低電阻率與油氣層之高電阻率無法產生有效的解析。解決方案通常利用核磁共振井測（Nuclear Magnetic Resonance, NMR）或者使用側（環）向電阻率等特殊井測工具進行量測與解釋。若地層中含有黃鐵礦（pyrite），則可由檢視密度測錄曲線是否有過高密度之異常，判別是否為黃鐵礦造成之低電阻影響，如果密度數值與背景值相當，則可排除黃鐵礦之因素。此外，面對淡鹹地層水之環境，需進行地層水電阻率分層計算，而地層水電阻率計算仍須倚靠地層水鹽度量測、自然電位（SP）、溫度、泥漿電阻率（ $R_m$ ,  $R_f$ ,  $R_c$ ）等資訊與 Pickett 圖的方法進行相互比較與驗證。

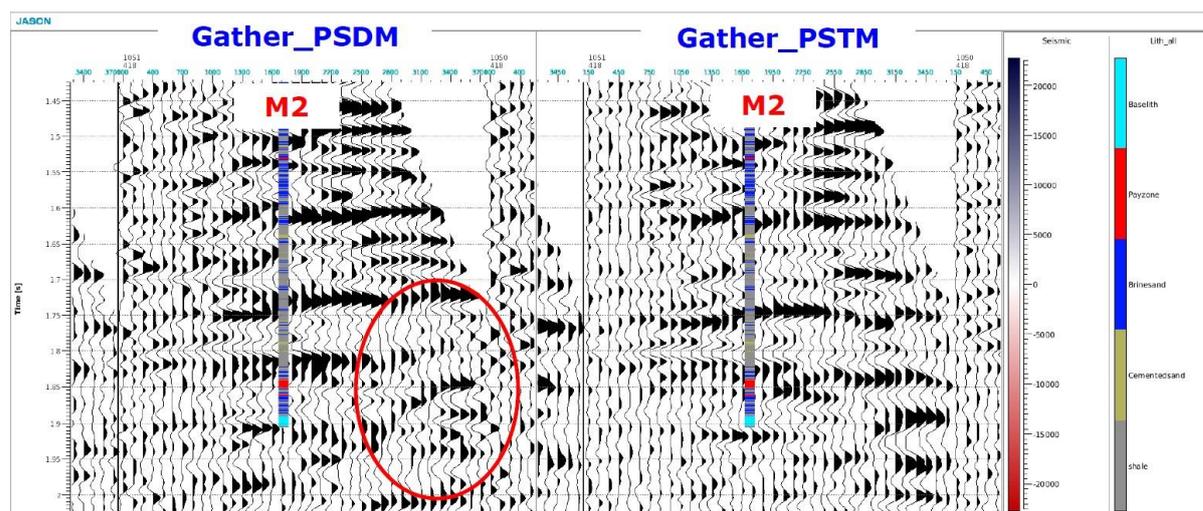
## 2. 震測資料

本公司礦區 M 區塊三維震測深度域資料 PSDM 相較於時間域資料 PSTM 的遠支距聚排（far-offset gather）資料能量與成像軸並不良好（圖二），且與井測資料進行 AVO 模擬的第一類異常並不相符，而位於 M1 層頂部之強縱波阻抗現象並不支持 AVO 第三類異常，故於重合前確定性震測逆推使用漣波刻度因子（wavelet scale factor）來抑制中支距聚排（mid-offset gather）能量過高的現象，並捨棄遠支距聚排資料，只取近支距與中支距聚排資料進行逆推；因捨棄遠支距聚排資料，將影響震測逆推中 Aki-Richard 方程的密度逆推結果，造成無法提供良好密度結果，將只限於利用縱波阻抗與縱橫波速度比（ $V_p/V_s$ ）結果進行儲集層辨識。

M1 層在井測結果中屬於指標層態，因此在速度模型需以該層進行井震速度校正，其上部速度則使用原有震測速度場資料。在低頻模型方面則倚靠修正後之速度模型進行

重合前逆推所需 0 到 2 Hz 的低頻趨勢。

後續若需進行隨機性逆推計算，則需進行 M1 層重新解釋，可利用確定性逆推之結果進行修正（確定性逆推之低頻模型未使用改正後之速度場資料），並重新檢視是否需加入兩井間斷層解釋；此外，可考量是否選用重合後 PSDM 資料或使用捨棄遠支距聚排之資料直接進行隨機性逆推計算。



圖二、PSDM 遠支距之震測資料明顯相較於 PSTM 含有較大的噪音。

### 3. 速度場

速度建模方面，目前賽吉紀公司擁有 VelPro<sup>®</sup> 軟體，主要在同一個 Geoscience Workbench 平台下，方便調用 Jason<sup>®</sup>、Powerlog<sup>®</sup>、EMFT<sup>®</sup> 等資料（井下數據、層態解釋、地質框架...），可視窗化、互動式進行速度資料點展示、編修、處理與分析，分別根據不同需求與目的進行速度場建立與修正，可在不同層位中，自定垂向分層數，提供使用者在不同深度區間數值計算之空間解析調整功能，並在輸出時可任意選擇時間域或深度域之平均速度、層間速度、瞬時速度等資料直接加載儲存回 Jason<sup>®</sup> 資料結構之下。其速度模型建立的計算方法依需求可有下列三種方式，如：1. 使用單純井的分層與震測時間域的速度空間散點，將在時間域震測資料解釋之層位（horizon）與井下分層資料進行配對，依照理論公式（ $V_i = V_o + kT$ ）方法建立速度體；2. 單純使用井下校正炸測資料，本身含有時間-深度配對關係，在空間中利用地質框架進行內插求得三維空間速度場；3. 先將確定性震測逆推得到的三維縱波阻抗體，依據井下縱波阻抗與縱波走時之關係式轉換成三維速度資料體，然後用井下資料（包含合成震波比對所得之時間-深度關

係、校正後之聲波速度、校正炸測或垂直震測剖面等資料)校正三維速度資料體,對於速度建模成果將同時包含井下垂向上控制點以及震測速度場側向約束等資訊,可完整提供較為精細之三維速度體資料。此外,根據探採研究所今年升級 Jason<sup>®</sup> 9.6 版本中,包含一組 DepthMod<sup>®</sup> 模組,提供流程化表單進行速度場編修與校正功能,為 VelPro<sup>®</sup> 軟體簡易版本,可提供相關操作與流程製作。當前 Jason 9.6 版本是將 DepthMod<sup>®</sup> 與 VelPro<sup>®</sup> 功能分開成兩套不同軟體功能,預計於民國 107 年初 Jason<sup>®</sup> 9.7 版本推出時,將 VelPro<sup>®</sup> 功能完全整合於 DepthMod<sup>®</sup> 模組之中;在 Jason<sup>®</sup> 9.6 版本之 DepthMod<sup>®</sup> 僅提供現有速度資料體編修與加入新鑽井資料更新處理等功能,而 VelPro<sup>®</sup> 則提供完整速度資料體之建立與快速編輯散點、成圖、內插、分析與建立。

在速度場建立與編修上,常使用上述第三種方法融合井震對比、校正炸測與震測處理之速度資料體建立一全面且適當的速度體。而在由淺至深之大時窗內進行井震對比通常需進行分段比對,漣波長度若約 160 ms,時間視窗常選 3 倍以上(500 ms 至 700 ms),並挑選岩性分層(砂頁岩)而非地質分層(時間層序)作為分層依據。在分層的上下層邊界分別向上與向下延伸約 10 至 20 ms 區間,做為分層拼接時的緩衝,可柔化與降低分層位置處過度伸張或壓縮造成之速度突變。此外,在檢視與修正埋深造成之壓實趨勢後,震測信號隨深度由淺而深時,主要頻帶會由高變低,如漣波需因分層而變化時,不同分層所使用的漣波主要變化是為頻率(主頻)與振幅(能量),相位則不需調整,一般均使用常相位(constant phase)進行合成震波比對。

#### 4. 漣波萃取與合成震波比對

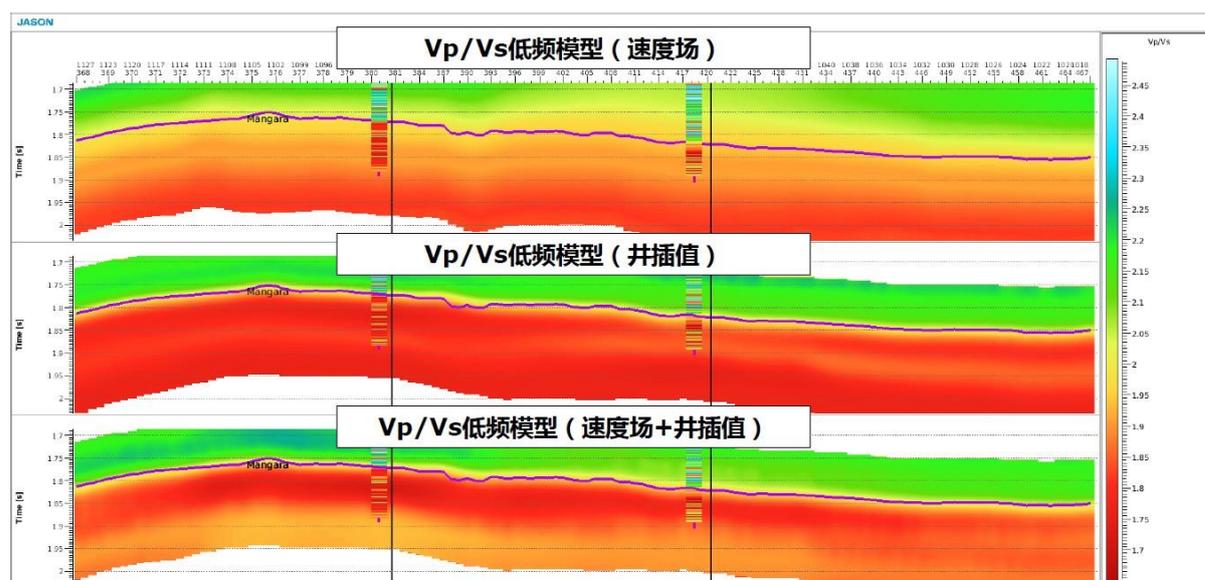
在進行井測合成震波比對震測資料(well-tie)時,需進行多次反覆標定。在探勘區塊首井第一輪進行合成震波比對時,若該井具有垂直震測剖面(VSP)或校正炸測(checkshot)的時間-深度關係,則同時分別使用時間-深度配對與聲波積分方法進行初步合成震波比對;使用大時窗由淺層至目標層段之波形特徵比較,因對於震測資料漣波(wavelet)相位並不知悉,設置相關係數尺標數值範圍為-1 至 1,以確認所得之漣波為零相位或-180 度相位。在第一輪大時窗內挑選時間-深度配對或單純聲波積分的結果後,確認整體波形特徵在震測資料與合成震波之一致性,做為後續第二輪儲集層精細比對的參考依據,若兩者均無法提供良好的相關性,則需與井測(岩石物理)解釋人員詢問與討論,是否需要進行井測數據一致性校正、裸孔垮塌修正或岩石物理模擬等檢視或

修正。而於第二輪進行精細比對時，是針對目標層段進行精細小尺度伸張或壓縮修正，並可將相關係數尺標範圍調整為 0 至 1 區間，以突顯比對良好程度。

在漣波萃取前，可利用震測資料屬性分析之自相關方法進行初步且快速的檢視其漣波是否符合零相位狀況。針對震測資料成像不佳的區塊，漣波萃取則以越接近零相位、低頻、長波長的漣波做為單純化的主要準則；其中長波長的漣波則需經過三倍時窗做為比對時窗為考量，且波長越長，旁瓣效應越為明顯，則需特別注意。

## 5. 低頻模型與逆推參數

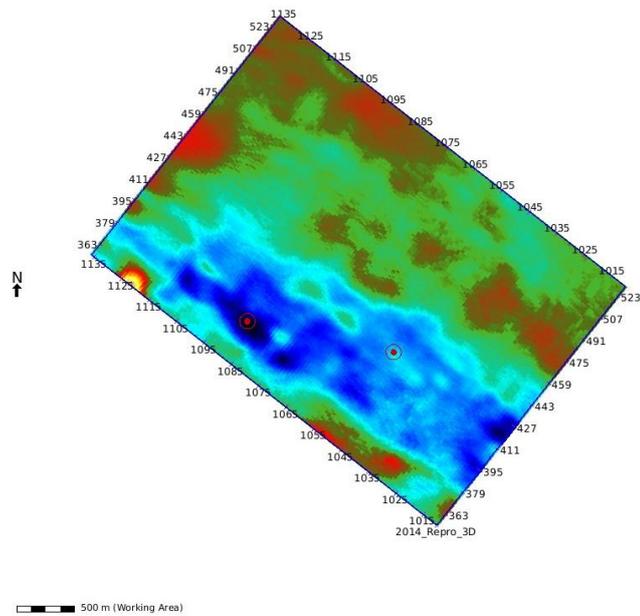
低頻模型為進行確定性震測逆推前所需的初始低頻縱波阻抗體(或縱橫波速度比資料體)，一般以井測資料的縱波阻抗(或縱橫波速度比)，配合解釋層面建立縱波阻抗(或縱橫波速度比)低頻趨勢模型，然而三維速度體可提供 0 到 2 Hz 的低頻訊息，因此可依據井下縱波阻抗與縱波走時之關係式轉換三維速度體至三維縱波阻抗體，並進行低通濾波得到一 2 Hz 以下的低頻模型，結合速度場與井測的低頻訊息，則可提供更為完整且具側向控制的低頻模型(圖三)。而逆推參數設置方面，主要依據井下 AVO 模擬結果，在漣波係數輸入時，稍微提升近支距聚排震測資料振幅與大幅抑制中支距排聚震測資料能量，以符合井下岩石物理模型所模擬之結果。



圖三、校正後的速度場作為低頻模型之改正效果與差異。

On	QC parameter	Info	Current	Lower	Upper	Select
<input checked="" type="checkbox"/>	Soft trend misfit multiplier		1			<input type="checkbox"/>
	Soft trend misfit relative P-Impedance uncertainty [%]		2			<input type="checkbox"/>
	Soft trend misfit relative Vp/Vs uncertainty [%]		1			<input type="checkbox"/>
	Soft trend misfit relative Density uncertainty [%]		5			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Gardner uncertainty		0.1			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Mudrock uncertainty		0.1			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	SVD uncertainty		0.1			<input type="checkbox"/>
	Relative SVD threshold [%]		1			<input type="checkbox"/>
	Gardner slope		0.25			<input type="checkbox"/>
	Mudrock slope		0.86			<input type="checkbox"/>
	Contrast misfit multiplier		1			<input type="checkbox"/>
	Contrast misfit P-Impedance uncertainty		0.02			<input type="checkbox"/>
	Contrast misfit Vp/Vs uncertainty		0.01			<input type="checkbox"/>
	Contrast misfit Density uncertainty		0.0025			<input type="checkbox"/>
	Seismic misfit multiplier		1			<input type="checkbox"/>
	Seismic misfit signal to noise ratio 3-1 [dB]		8			<input type="checkbox"/>
	Seismic misfit signal to noise ratio 3-2 [dB]		12			<input type="checkbox"/>
	Contrast misfit power		0.9			<input type="checkbox"/>
	Seismic misfit power		2			<input type="checkbox"/>
	Wavelet scale factor 3-1		1			<input type="checkbox"/>
	Wavelet scale factor 3-2		3.5			<input type="checkbox"/>
	Merge cutoff frequency [Hz]		11			<input type="checkbox"/>
	Rock physics equations cutoff frequency [Hz]		10			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Soft spatial misfit correlation length [m]		1000			<input type="checkbox"/>
	Soft spatial misfit relative P-Impedance uncertainty [%]		60			<input type="checkbox"/>
	Soft spatial misfit relative Vp/Vs uncertainty [%]		60			<input type="checkbox"/>
	Soft spatial misfit relative Density uncertainty [%]		60			<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Wavelet scale optimization fudge factor		5			<input type="checkbox"/>
	Iterations pressure contrast inversion		20			<input type="checkbox"/>
	Sparsity iterations contrast inversion		4			<input type="checkbox"/>
	Objective function iterations contrast inversion		4			<input type="checkbox"/>
	Sparsity iterations P-Impedance, Vp/Vs, Density inversion		3			<input type="checkbox"/>
	Objective function iterations P-Impedance, Vp/Vs, Density inversion		4			<input type="checkbox"/>

圖四、逆推參數設置之控制選項。



圖五、重合前逆推 Vp/Vs 成果與已鑽井之對應空間分布。

## 心得與建議

本次出國參加賽吉紀（CGG）公司北京辦公室所舉辦之「查德項目震測重合前逆推地球物理技術交流會議」，與賽吉紀公司的地球物理專家針對震測逆推技術進行交流與經驗分享，收穫良多。根據此次交流研討的結果，針對本公司礦區項目中之各項資料與地球物理逆推方法，做出以下幾點心得與建議：

1. 在震測資料進行震測逆推方面，將捨棄遠支距排聚資料，將使用部分重合之近支距與中支距資料做為重合前逆推主要之資料來源，逆推結果可得到縱波阻抗資料體、縱橫波速度比資料體與密度資料體，依據 Aki-Richard 理論，逆推之密度資料的不確定性高，將不予以採用；
2. 在漣波部分，將採用固定相位之漣波進行井震合成震波對比，尤其要注重漣波的主頻以及漣波隨支距的變化；
3. 三維速度模型要結合實際地下岩性，尤其是在岩性界面明顯的位置；
4. 根據更新之後的速度場，建立逆推所需之低頻模型，將速度資料體的低頻分量與井測資料的低頻阻抗信號進行結合，以求得更為完整的低頻模型；
5. 在逆推參數設置中，需特別注重漣波比例因子的控制，以符合井下與岩石物理模擬之結果。
6. 在合併震測資料與井測資料進行震測逆推時，其合併的截止頻率設定可略大於震測資料所缺失之低頻頻帶。
7. 地球物理震測逆推是一個綜合多種儲層訊息的技術流程，在其中每一個過程都需要合理的質量控制（quality control, QC），其結果均要回歸到實際鑽井狀況與地質解釋。

本次地球物理技術交流會議與內容，非常適切於當前公司地球物理探勘技術提升與實際礦區資料處理之需求，可即時應用於礦區評估與建立地球物理探勘標準化流程，期望公司未來能繼續支持並將此類石油探勘上游技術交流會議納入每年出國項目，以增進探勘專業人才之礦區評估水準與能力。