

經濟部暨所屬機關因公出國人員報告書
(出國類別：其他)

SPE/AAPG/SEG 非傳統資源技術大會
出國人員報告書

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：黃啟倫 石油開採工程師

派赴國家：美國

出國期間：105 年 7 月 31 日至 8 月 5 日

報告日期：105 年 8 月 25 日

摘要

為落實「老油田新觀念」，以新技術來提高國內油氣蘊藏量，本公司除積極探勘與開發國內陸上與海域之既有油氣田外，亦長期學習國外非傳統資源技術。近年非傳統技術以液裂技術作為目標之一，並積極爭取在台灣使用液裂技術開發油氣田的機會，在國內陸上近期亦針對舊有氣田，如錦水、鳳山地區氣田，進行液裂增產可行性評估，本單位於 107 年度之軟體預算中，亦有編列液裂軟體之預算，期望未來實際在台灣能有執行液裂增產的機會。

經過多年的努力，本公司在油氣探勘與生產開發領域，具有豐富的實務經驗與專業人力。然而，近年油價處於相對低點，如何在資源有限的環境下，將開發量達到最大化，新技術的導入扮演十分重要的腳色。液裂技術在美國非傳統資源開發當中，扮演影響非傳統資源之開發成本最重要的角色，也使得美國由原本天然氣輸入國，轉變成輸出國，非傳統油氣資源價格也隨之驟降。本出國計畫係參與 SPE/AAPG/SEG 非傳統資源技術大會，針對液裂相關之研究論文發表，瞭解液裂技術之成功關鍵，與目前突破的方向及相對應之困境，以利於後續進行液裂技術時，能清楚掌握關鍵技術。

目次

摘要.....	1
目次.....	2
壹、 目的	3
貳、 過程	4
參、 心得及建議.....	14

壹、目的

本次參加的 SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference 2016 為國際研討會，共有 13 項非傳統技術主題，包含此次出國與會主要目的之液裂技術，其中美國液裂技術之突破，不僅是非傳統能源之油頁岩開發，更是扮演石化資源快速增加之關鍵。目前台灣如火如荼的地熱再生能源，液裂技術也扮演地熱井修井及創造人工裂隙的選項之一，今年公司也將地熱能源開發規劃至新能源開發的研究項目內，加以國內舊氣井也考慮引進相關技術，故藉此出國機會多蒐集相關技術，可對於目前液裂方式選擇、技術及成本考量具有更明確的概念，同時可應用於非傳統資源、地熱開發、油氣田增產等三個方面。

貳、過程

本次出國為期六天，詳細出國行程如表一所示，主要行程為參與 SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference 2016，會期為三天 (8/1 至 8/3)，內容涵蓋非傳統資源技術，另會場也展出包含技術展覽、電子簡報 (e-paper)、研究論文發表，該會場包含 150 坪的展場及八間可容納百人的會議室，展場入場時間為早上十點至下午一點，會議室開放時間為早上八點至下午六點，最多同時有八間會議室同時發表研究論文，此次大會於會後也提供研究論文之電子檔，共計 250 篇。

表一、出國行程

日期	地點	工作內容
105.07.31	台灣-舊金山-聖安東尼奧	啟程
105.08.01~03	聖安東尼奧	參加 SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference
105.08.04~05	聖安東尼奧-舊金山-台灣	返程

一、 SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference簡介

SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference 係非傳統油氣資源技術大會，大會可分為訓練課程、技術展覽、電子簡報、主題式報告、名人餐會，此次參與部分，主要為技術展覽(如下圖一)與主題式報告，主要報告人包括國際石油學校(如 University of Oklahoma, University of Calgary 等)、石油公司(如 Shell, BP, ConocoPhillips 與 Chevron 等)、石油服務公司(如：Halliburton, Baker Hughes 與 Weatherford 等)與國營石油公司(如 CNPC)等，此次大會合作夥伴如圖二所示。



圖一、 Unconventional Resources Technology Conference 會場

資料來源：<http://urtec.org/2016/>

The integrated event for unconventional resource teams.

SPONSORING ORGANIZATIONS:



SUPPORTING ORGANIZATIONS:



圖二、Unconventional Resources Technology Conference Alliance

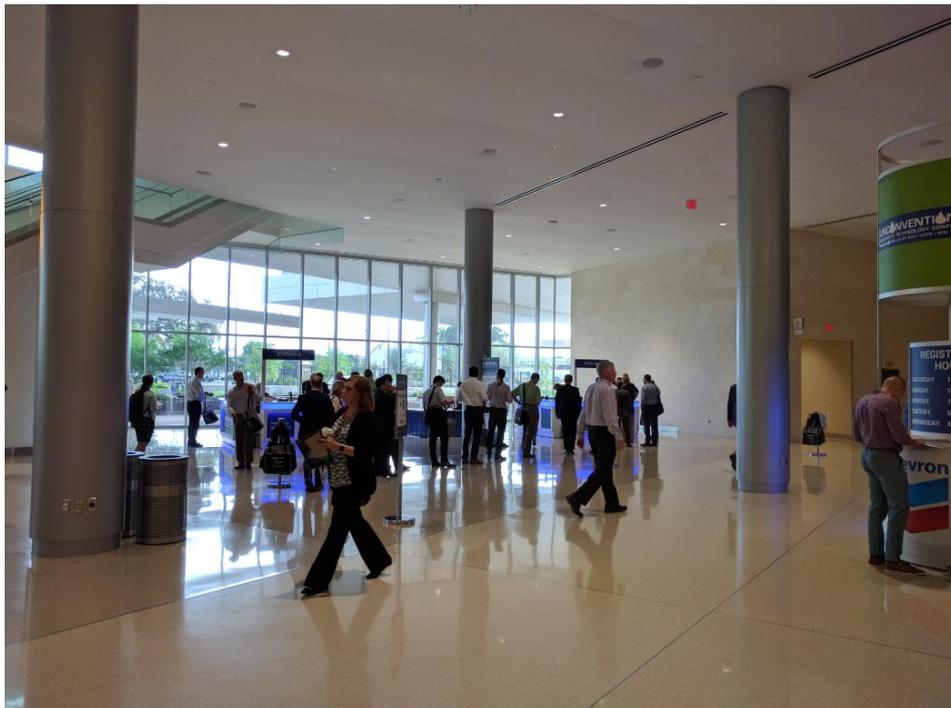
資料來源：<http://urtec.org/2016/>

二、 Unconventional Resources Technology Conference 會場介紹

此次大會主要分為展場及會議室(如圖三)，主要展場位於一樓，而會議室位於展場之二樓及三樓，共八間會議室同時報告，如有遺漏或因同時報告而作取捨的報告，在展場亦有電子簡報的部分

本次參加之主要活動為八點後展開(如表二)，於展場二樓及三樓，共八間會議室內舉辦研究論文發表，而展場則是早上十點後才能開放入場，但因參加廠商較少，故場地部分未開放，而廠商亦有定時介紹說明與大會提供電子檔案報告(e-paper)，所以還是值得入場參觀(如圖四)。

最後一天原定下午一點結束，但展場二樓及三樓則持續報告至下午五點，因此大會結束時間仍為下午五點至六點間，視各會議室時間表差異，加上論文發表總數超過兩百份，所以三天發表時間都十分密集、緊湊。

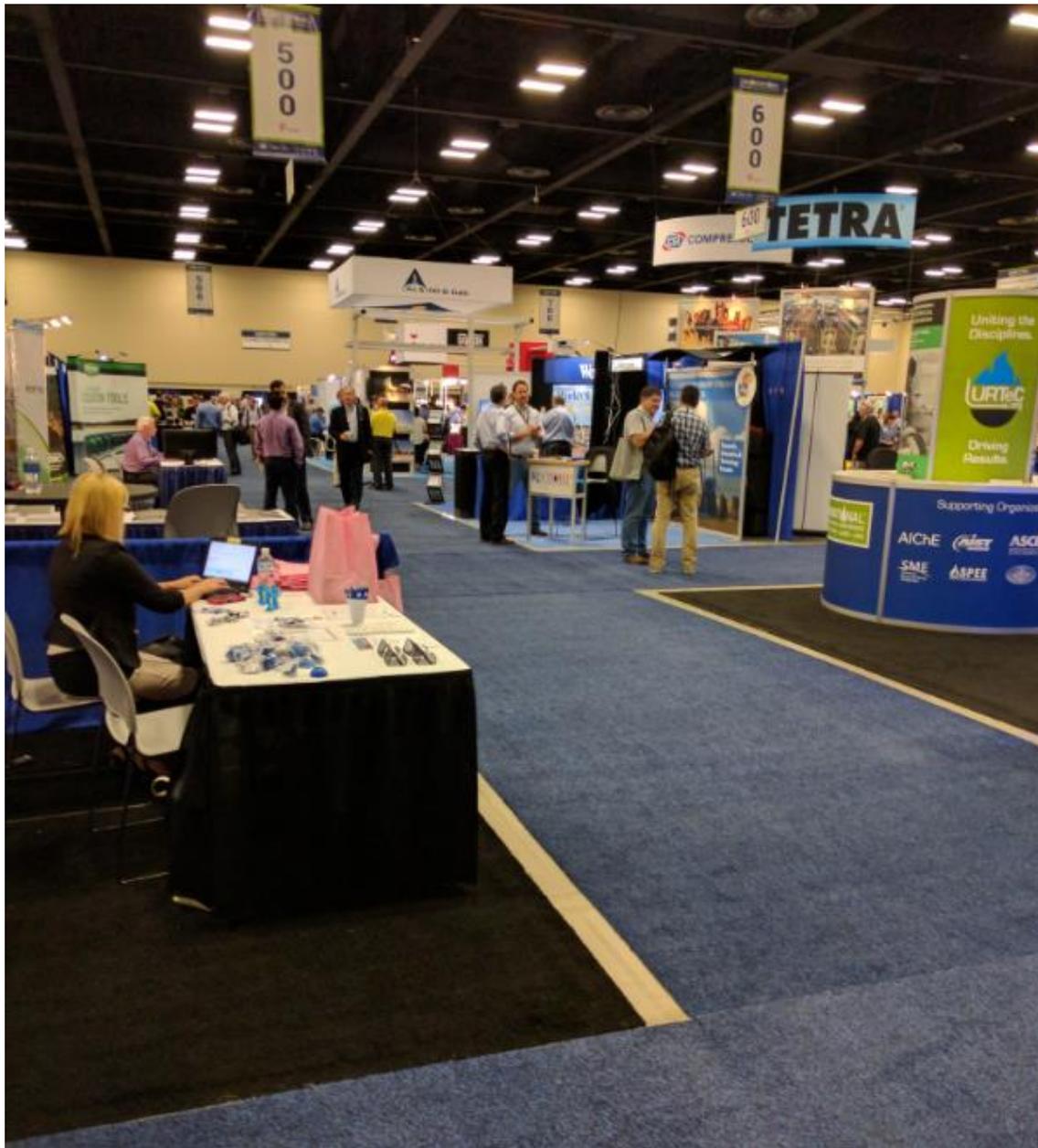


圖三、大會報名及簽到現場

表二、Unconventional Resources Technology Conference 大會時間表

日期	會場時間	內容
8月1日	• 07:30~17:30	• 展覽、研究論文發表
8月2日	• 06:30~17:30	• 展覽、研究論文發表
8月3日	• 06:30~17:00	• 展覽、研究論文發表

資料來源：<http://urtec.org/2016/>



圖四、Unconventional Resources Technology Conference 展場

三、 重點報告摘錄

此次研討會報告內容及範圍十分廣泛，與非傳統資源相關皆涵蓋其中，會後大會亦提供電子檔案共計 250 個檔案，但因本次僅一人參加，故能參與研討的場次有限，以下節錄參與到的報告重點。

Urtec : 2448066 Fracture Properties characterization of shale rocks 一文中，作者探討頁岩之礦物成分對於應力的影響，對於現場人員量測岩石之楊氏係數或是破裂壓力都較困難，而分析礦物成分比例(如圖五、表三)，機台要求相對較簡易、輕便，因次目前學術單位對於岩心礦物成分之研究也越來越豐富及多元化，檢測儀器大眾化，對於現場與實驗室互相結合也更有幫助。

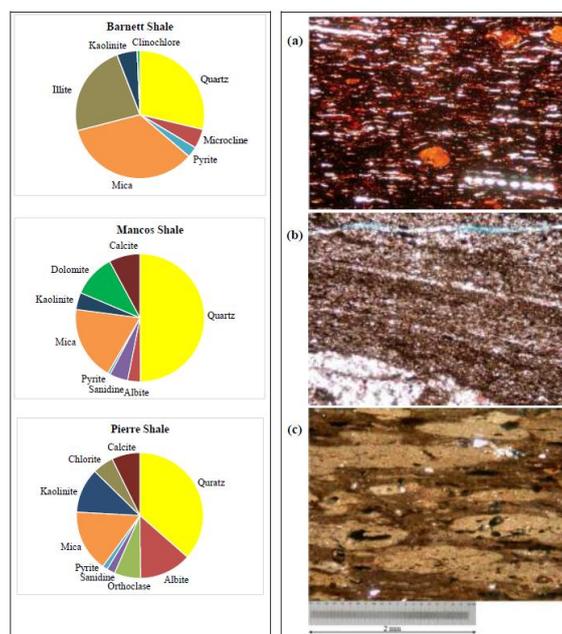


Figure 1. Mineralogy Composition of Outcrop Shales.

Figure 2. Thin Sections of Barnett (a), Mancos (b) and Pierre (c) Shales.

圖五、目標頁岩之礦物成分比例

表三、目標頁岩之詳細礦物成分(重量比)

Shale Sample Type	Quartz, wt%	Clay, wt%	Carbonate, wt%	Feldspar, wt%	Pyrite, wt%
Barnett	28.7	63.6	0	4.9	2.7
Mancos	49.9	23.1	18.6	7.8	0.6
Pierre	36.5	32.8	7.3	22.1	1.3

作者使用三軸萬用試驗機台，如下圖六所示，分別做出應力與位移的實驗，研究數種頁岩間受壓產生之位移，並分析其內含礦物種類之影響，實驗室使用三軸試驗，產生壓力及量測位移，研究發現石英含量高會造成位移變大，而黏土含量高則反之。

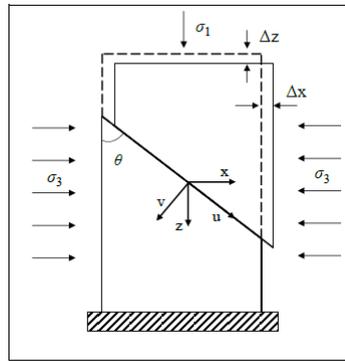


Figure 4: Fracture Deformation during Triaxial Shear Tests.

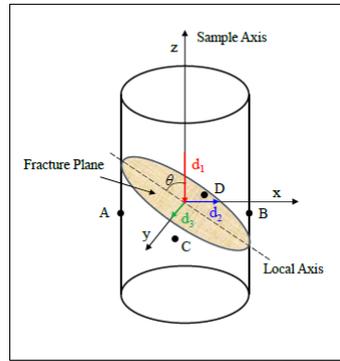
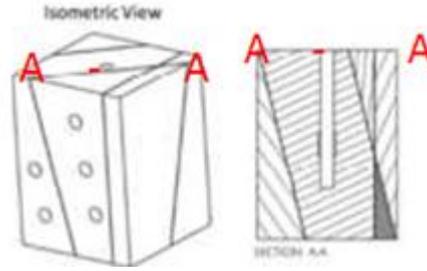


Figure 5: Displacements of Triaxial Shear Test (after Rosso, 1976).

圖 六、三軸萬用試驗機台實驗

Urtec : 2448745 Brittleness Index - A parameter to Embrace or avoid ?一文中，作者亦利用地層中礦物成分比例，來估計地層脆性指數(Brittleness Index)，藉此選擇適合液裂的區段，作者利用七種礦物，設計孔隙率 0~15%，求出三種模式的差異，此三種公式具有重合之處，而範圍亦在合理誤差範圍之內，故以礦物種類及比例，可用來估計地層脆性指數(Brittleness Index)，脆度越好，液裂的效果越好，包含裂縫之延伸與裂縫之寬度都有影響，若以精確數值比較，利用礦物成分估計的數值會略大於應力公式計算所得。

Urtec : 2460449 Experimental study of hydraulic fracture/natural fracture interaction on a tight sandstone formation 一文中，作者研究天然裂隙對於人工裂隙發育的影響，經由下圖七之模型，表面上粗線段代表天然裂隙，此實驗選擇距離天然裂隙遠近不同位置、有無貫穿天然裂隙作為差異性分析，而研究顯示天然裂隙會吸收人工裂隙之能量，形成緩衝區，並且對於擴張天然裂隙之縫隙寬度效果不佳，因此液裂施作區域，選擇遠離天然裂隙位置效果較好。



圖七、天然裂隙模型

Urtec : 2461190 Geomechanics of fault activation and induced seismicity during multi-stage hydraulic fracturing 一文中指出，液裂會造成微震發生，但如果壓力控制得當，可預測微震發生之強度與時間，如下圖八所示，當液裂壓力上升時，地層產生應變造成微震發生，而當強度逐漸上升時，不斷產生新裂縫與裂縫延伸，反之將液裂壓力保持固定時，如圖九所示，在液裂期間保持定壓，相對應產生之應變會以水平方向之裂縫延伸為主，產生之微震也會較少，也可控制微震發生之時間點，下圖藍色圈圈縱軸為地震強度，橫軸為發生之時間點。

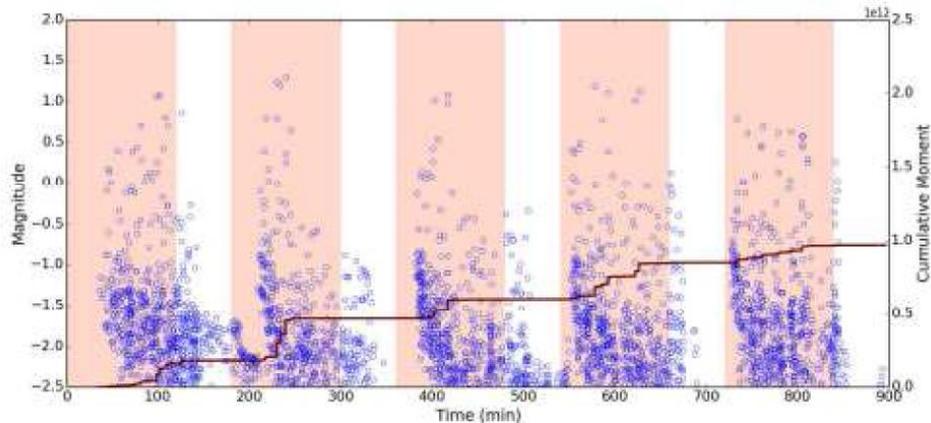


Figure 4: Temporal evolution of microseismic events magnitudes (blue circles) and cumulative seismic moment (brown curve). Injection periods are highlighted in pink.

圖八、液裂壓力與微震發生關係圖(一)

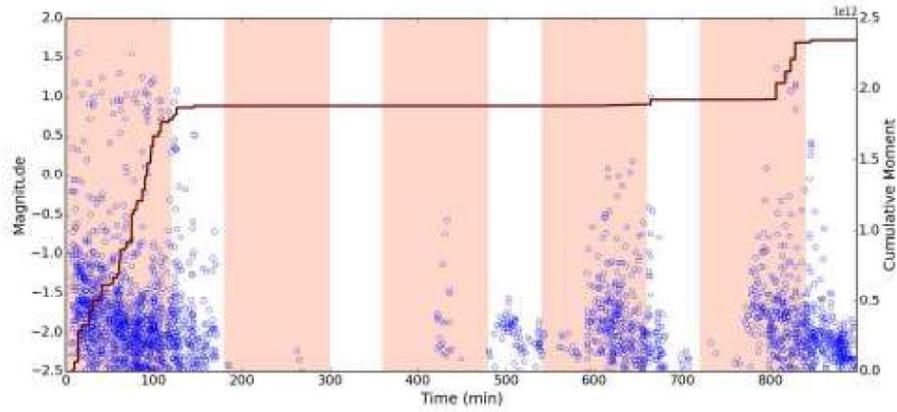


Figure 2: Temporal evolution of microseismic events magnitudes (blue circles) and cumulative seismic moment (brown curve). Injection periods are highlighted in pink.

圖九、液裂壓力與微震發生關係圖(二)

Urtec : 2394963 Geomechanical implications on unconventional reservoir fracturing in Saudi Arabia 一文中，作者利用地質模型，分析液裂施作時對地層造成三種不同情況的應變，其公式如表四所示。圖十為將應變加入方向性作表示，左邊為液裂施作應力藉由地層傳輸出去，中間為應力遇到破碎區產生位移，右邊為傳遞回壓力發生區的反作用力，此三種情況會隨時間而改變，當反作用力回傳至液裂發生區域，岩石的 Break down(此指破壞岩石產生裂縫的最小壓力)會大幅提高，如下圖十一所示，同一地層中，岩石之 Break down 會有突然異常偏高的情況，則為反作用力抵銷液裂壓力所致。

因此作者的模型為最佳化模擬多段液裂的路徑及施壓的間隔時間，避免反作用力造成液裂效果不彰，或是可省去過當的水利幫浦設施費用。

表四、水平井最小應力隨時間變化形態公式

Stress Regime	Breakdown Pressure	$\Delta\sigma$
Normal Stress Regime ($\sigma_v > \sigma_{HMax} > \sigma_{hmin}$)	$2\sigma_{HMax} - \Delta\sigma - \alpha P_p + T_0$	$\sigma_v - \sigma_{HMax}$
Strike-slip Stress Regime ($\sigma_{HMax} > \sigma_v > \sigma_{hmin}$)	$2\sigma_v - \Delta\sigma - \alpha P_p + T_0$	$\sigma_{HMax} - \sigma_v$
Reverse Stress Regime ($\sigma_{HMax} > \sigma_{hmin} > \sigma_v$)	$2\sigma_v - \Delta\sigma - \alpha P_p + T_0$	$\sigma_{HMax} - \sigma_v$

Table 1. Breakdown pressure for different stress regimes.

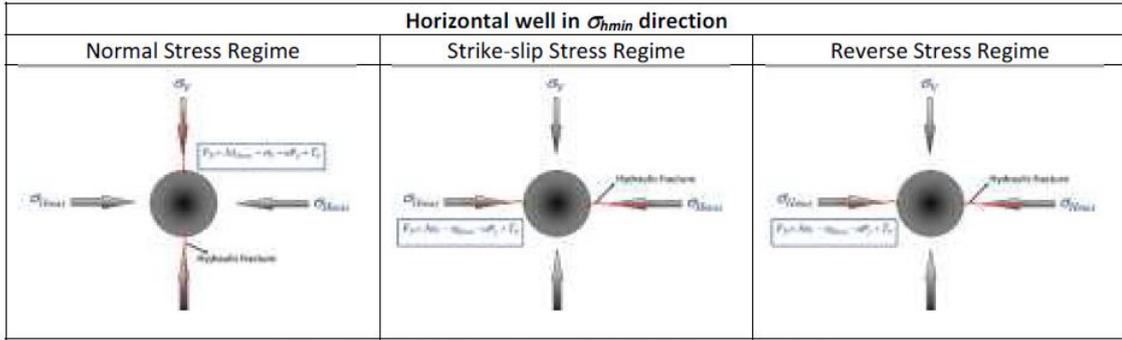


Figure 3. Breakdown pressure for different stress regimes.

圖十、水平井最小應力隨時間變化形態

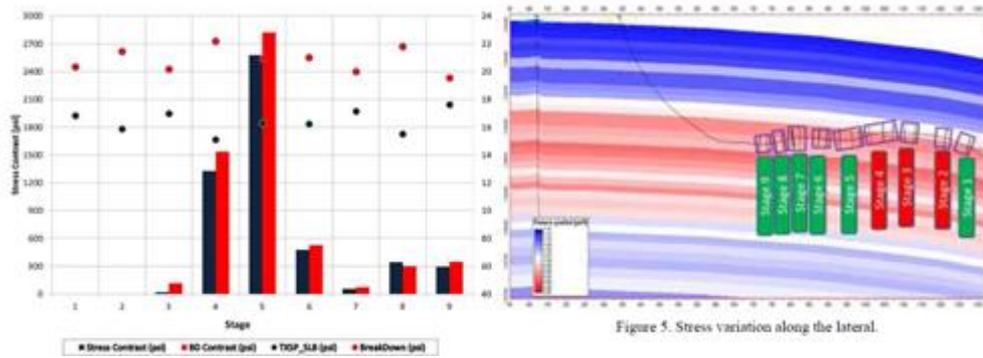


Figure 5. Stress variation along the lateral.

圖十一、多段液裂之 Break down 與時間的關係

參、心得及建議

本次奉派出國參加 SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference，藉由三天時間學習產學界之研究論文發表，藉此對於液裂技術進步的方向與關鍵技術，有了更深入的瞭解，獲益良多，茲提出以下幾點心得與建議：

一、低油價造成國際探勘速度減緩，但對於發展新技術卻是利多

對於許多國際型的大石油公司而言，目前低油價時期，會減少探勘的工作，而相對的探勘服務公司或部門，其設備與人力便會閒置出來，此時對於本公司即有機會租借到更多種類的設備，嘗試在台灣使用，如鳳山、錦水地區之液裂設備，租借設備選擇上更具彈性空間。

二、學界研究相對不藏私，對於關鍵成敗因素易於掌握

此次報告中，有一定比例為美加地區大學，如奧克拉荷馬、卡爾加里等知名大學，其報告敘述內容搭配實地說明，可瞭解關鍵技術之所在，以及現況與目標間的差異，包括問題解決，皆有詳細敘述，避免業界刻意誤導或隱瞞。

三、電子研究論文方便查詢及學習新知識

此次大會不再提供紙本研究報告集，改用下載電子研究論文方式，可達到節能環保、方便保存與快速搜尋。

四、利用知識管理系統，建立液裂技術資料庫

液裂技術可由地層特性方面來討論，亦可由壓力資料達到優化，牽涉到十分廣大的應用面，在此研討會有各式各樣的專家在討論優化液裂，而公司內部也有石油地質、地球物理、地球化學、鑽井工程、安環方面的專家，藉由目前推廣的知識管理系統，將研討會上的液裂技術文章分享出去，使得知識不再侷限，屬於全公司的資產。

五、拋磚引玉，技術分享

本報告內容主要摘要此次研討會有參與到的論文研討，受限出國費用，僅能以一大會一人出訪為標準，故本報告為拋磚引玉，吸引公司內部對液裂技術有研究與興趣之同仁，提供國外研討會電子論文，作為後續研究之參考。