

出國報告（出國類別：開會）

參加 2013 SPE-ATCE 年度技術研討會

服務機關：台灣中油公司探採研究所

姓名職稱：陳冠志 研究員

派赴國家：美國/紐奧良

出國期間：102年9月29日至10月4日

報告日期：102年11月19日

摘要

本出國計畫係 102 年度石油基金計畫「緻密氣層液裂增產技術評估與應用」所編列之派員出國計畫，派員出國參與國際石油工程研討會之目的，希望了解目前全世界在緻密氣層與頁岩氣開發生產之技術發展現況與應用，如液裂增產技術，以便有助於中油公司未來進行國外緻密氣層礦區評估及國內緻密氣層潛能評估工作。

ATCE 為石油界每年所舉辦超大型國際研討會，本次有機會參與獲益良多，本次會議仔細觀察三天之議程內容，不難發現八九成以上幾乎都是非傳統能源開發之相關議題，其中生產與開發技術仍為最熱門之主題，反倒是水平鑽井技術並無過多專題，可見水平鑽井技術目前在國外之頁岩油氣與緻密氣層開採，已經是相當成熟之技術；反而是液裂流體與支撐劑研究，目前還是一個發展中的研究領域，也非常受到業界重視；再者，整個頁岩油氣之鑽井、完井及液裂操作管理，在本次會議上也是一個重點項目，經濟分析在本次議程也是偶有佳作，多集中在液裂成本之降低議題上，反應出頁岩油氣與緻密氣層之開採，如何操作管理與成本控制仍是能否獲利的最大因素。

關鍵詞：2013 ATCE、頁岩油氣、緻密氣層、液裂

目 次

摘 要.....	I
目 次.....	II
壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、心得.....	3
肆、建議事項.....	55

壹、 目的

本出國計畫係 102 年度石油基金計畫「緻密氣層液裂增產技術評估與應用」所編列之派員出國計畫，派員出國參與國際石油工程研討會之目的，希望了解目前全世界在緻密氣層與頁岩氣開發生產之技術發展現況與應用，如液裂增產技術，以便有助於中油公司未來進行國外緻密氣層礦區評估及國內緻密氣層潛能評估工作。

中油公司近來積極取得國外緻密氣層礦區或頁岩氣礦區之參與機會，但相關的水平井生產與液裂開發技術尚未全盤了解，對於後續之油層模擬與油氣蘊藏量評估將會造成極大之不確定性。因此，希望透過本次參與國際石油工程研討會的機會，能夠蒐集與交流上述相關資訊，有助於未來公司在國外緻密氣層或頁岩氣礦區之評估工作，併協助本年度石油基金計畫能順能完成。

貳、 過程

	過程
Day 1	啟程前往美國路易斯安那州紐奧良，中途首先過境日本東京成田國際機場轉機，再度啟程前往美國。
Day 2	抵達美國丹佛國際機場，再度轉機前往目的地紐奧良，於當地時間晚間 8:35 抵達紐奧良機場；隨即搭乘 2013 ATCE 契約之接駁巴士(shuttle bus)前往住宿飯店 Country Inn.，於當地時間晚間 10:30 抵達住宿飯店。
Day 3	上午前往 2013 ATCE 會場，進行現場報名並完成註冊手續。開始 2013 ATCE 第一天議程，上午議程僅安排學生知識競賽，因此上午報名結束後，隨即前往競賽會場觀摩；下午則前往各專題演講會議室聆聽簡報，並前往廠商展場拜會 Kappa 軟體公司(陳志成)進行交流。
Day 4	參加 2013 ATCE 第二天議程，上午及下午各有諸多場次之專題演講可供與會者選擇聆聽交流。
Day 5	參加 2013 ATCE 第三天議程，上午之活動內容仍以專題演講為主，下午則選擇前往廠商展場，觀摩各石油產業相關廠商之技術發展現況及互動交流，最後結束最後一天之議程。凌晨搭機啟程離開紐奧良，中途抵達丹佛國際機場進行轉機，並再度啟程前往日本東京成田國際機場。
Day 6	抵達日本東京成田國際機場進行轉機，再度轉機啟程返回桃園國際機場，於台灣時間晚間 8:35 抵達桃園國際機場。

參、心得

本次 2013-ATCE 國際石油研討會共舉行三天，會議舉辦地點位於紐奧良市之 New Orleans Ernest N. Morial Convention Center，會場除了石油業界之專題演講外，尚有提供諾大之展場空間供石油相關產業之公司參展。



2013 ATCE 國際石油研討會會場 New Orleans Ernest N. Morial Convention Center

會場入口立牌



一進入會場大門迎接來賓的第一張立牌即寫著 Hydraulic Fracturing(液裂)，似乎已經為這次的國際研討會點燃非傳統領域之狼煙。

本次國際會議每天均會發送當日之報紙，讓與會者了解目前石油相關產業之動態消息。



會場每日現場發送之報紙 SPE TODAY

本次參加會議採用現場報名方式，除了提早報名有早鳥優惠 100 美金外，線上報名與現場報名之報名註冊費用是一致的，若擔心線上報名會有遺漏，建議可以採用現場報名方式，以信用卡付款也是一個途徑。報名費用高達 900 美金，可說是相當昂貴，報名費用雖高，但並非所提供之服務就完備，本次研討會並不供應午餐，相關會場之茶點也均為廠商贊助，亦並非常態，如 Weatherford 就在 e-Poster 會場有贊助茶飲供與會者使用。



與入口議程立牌合影留念



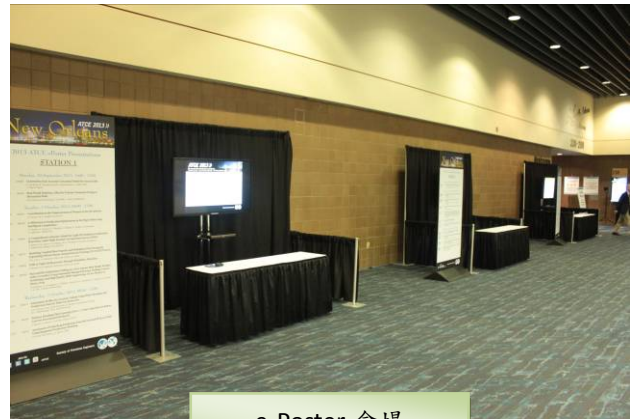
Weatherford 贊助之 Coffee Break

會場提供給廠商之展場空間可說是相當廣大，僅是拍攝其中一隅就包含了好幾十家的廠商參展，可說是共襄盛舉的盛況。



產商展覽會場

本次會議除了口頭發表之外，尚有會場規劃為 e-Poster，有別於傳統所看到之 Poster 會場，發表者完全不需要準備紙張壁報張貼，現場為每位發表者準備了一台液晶電視，可直接攜帶筆電連結進行研究成果展示，可說是相當方便與先進。



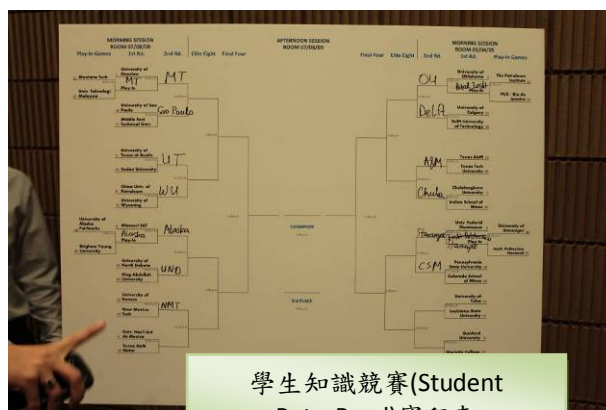
e-Poster 會場



3.1 第一天議程

上午參加之議程內容

第一天議程之上午以學生知識競賽(Student PetroBowl)及廠商參展為主，下午大會才有安排相關專題演講，故完成報名註冊手續後，隨即前往學生知識競賽會場。



學生知識競賽每年幾乎所有全美之石油相關學校都會組隊前來參加競賽，尚未進入到會場前，迎面而來一群大學生，看起來雄赳赳氣



參加學生知識競賽(Student PetroBowl)學生

昂昂的表情，一開始還不太能體會為何如此，後來親自參與了他們的學生知識競賽後，才恍然大悟，那種榮譽感真的會使人抬頭走路的。

一進入到會場，兩邊學校各派出四位學生上台參加競賽，觀眾席之加油隊伍可說是壁壘分明，每答對一題下面之同學隨時歡聲雷動，競賽規則採取答對可繼續回答的規則，因此如果能持續答對問題，隨時都有可能



造成結果翻盤。所提問的內容包羅萬象，舉凡與石油產業相關之工程、理論、經濟、人文、機械、產業發展動態等等，均有可能是題庫之一，因此上場之四位同學可說是該校之箇中高手，本場次最終之結果，去年獲得第三名優異成績之賓州州立大學，今年以 28 比 203 的懸殊比數慘敗給科羅拉多採礦學校 CSM，有點令人意外。



下午參加之議程內容

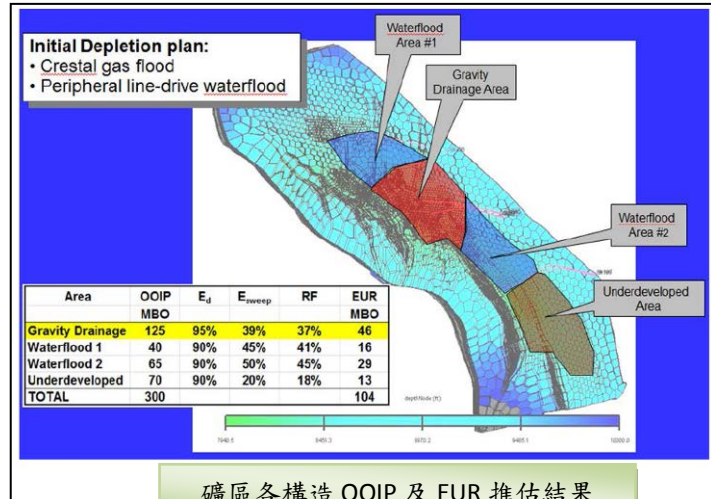
大會上下午之專題演講，大約各會安排 6~7 篇之專題可供聆聽。
在此摘錄幾篇與業務相關及對單位未來探勘發展有助益之研究專題演講。

	專題演講題目	Room
1	SPE 166317 Assessing the Accuracy of a Production Forecast: West Africa Field Case History	Room 252/253/254
2	SPE 166202 Meeting the Challenge of Reservoir Simulation in the World's Largest Clastic Oil Field—The Greater Burgan Field Complex, Kuwait	Room 252/253/254
3	SPE 166078 Design and Execution of a Polymer Injection Pilot in Argentina	Room 252/253/254
4	SPE 166470 Standards for Characterization of Rock Properties in Unconventional Reservoirs: Fluid Flow Mechanism, Quality Control, and Uncertainties	Room 338/339
5	SPE 166176 Production Analysis in the Barnett Shale—Field Example for Reservoir Characterization Using Public Data	Room 252/253/254
6	SPE 166307 Fracture Characterization in Unconventional Reservoirs Using Active and Passive Seismic Data With Uncertainty Analysis Through Geostatistical Simulation	Room 342

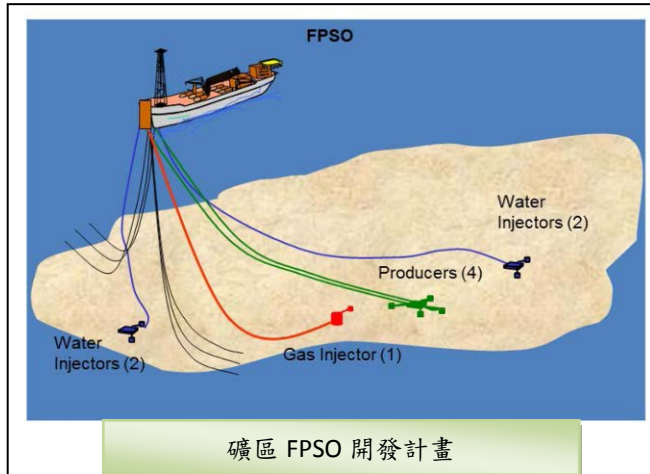
(1) Assessing the Accuracy of a Production Forecast: West Africa Field

Case History

本目標礦區位於西非之深水礦區，已生產超過七年，生產層為 Lower Miocene channel，尖峰產率約 90,000 BOPD，且已生產將近 100 MMBbls 之原油。本礦區開放提供一個單獨的機會，參與者可利用經營者所提供之最終實際井產能狀態資料，針對原始預測模式進行檢視與修正。



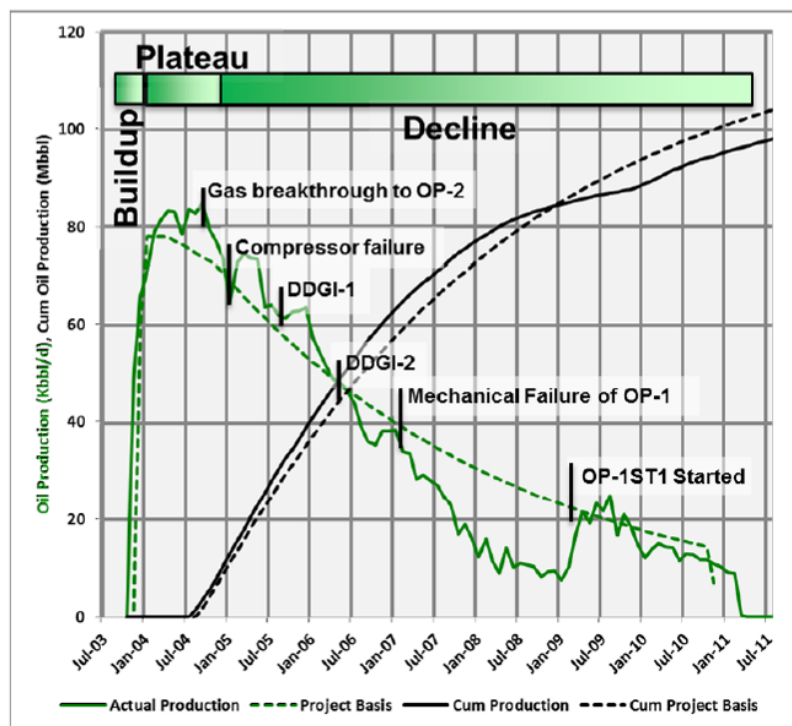
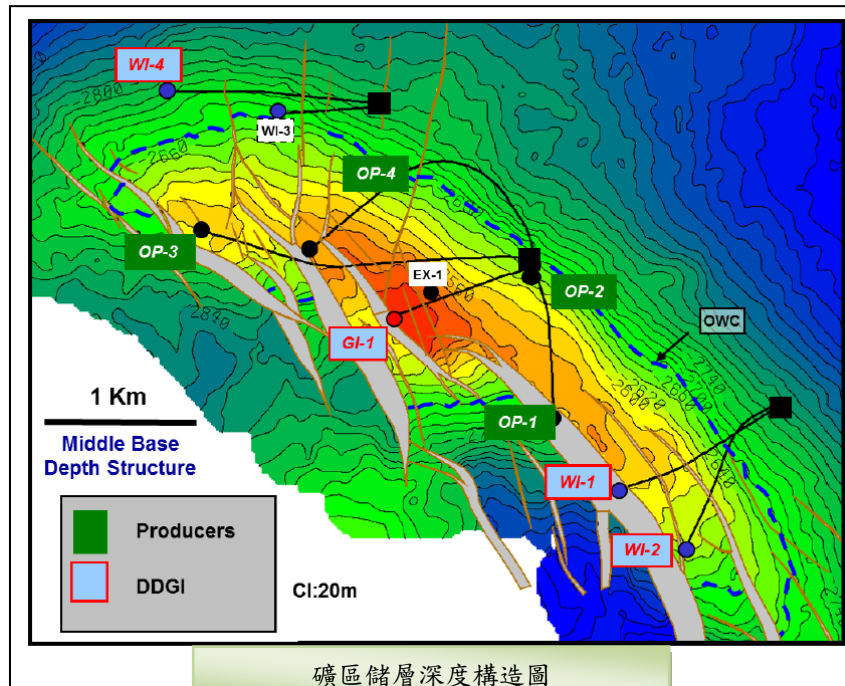
礦區各構造 OOIP 及 EUR 推估結果



本礦區採用 FPSO 來進行開發生產，相關油層模式一開始採用 3D 震測資料及一口探勘井資料來進行建構，然而後續之實際油氣水生產狀態，與一開始模式所預測仍存在有不小之差異，尤其是

氣及水產出時間比原始預期還要提早許多。因此，開始生產三年後，進行了 4D 震測，本礦區也利用了新的 4D 震測解釋結果，更詳盡描述了氣與水在儲集層流通通道之構造，而隨著新資料之加入，後續之生產操作策略也因此一併進行調整，也確實提高了採收率，所建立之新油層模式與產能分析結果，也更能與實際生產資料相擬合。

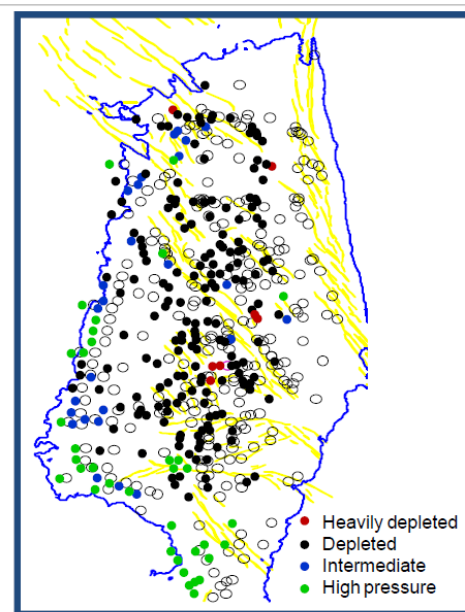
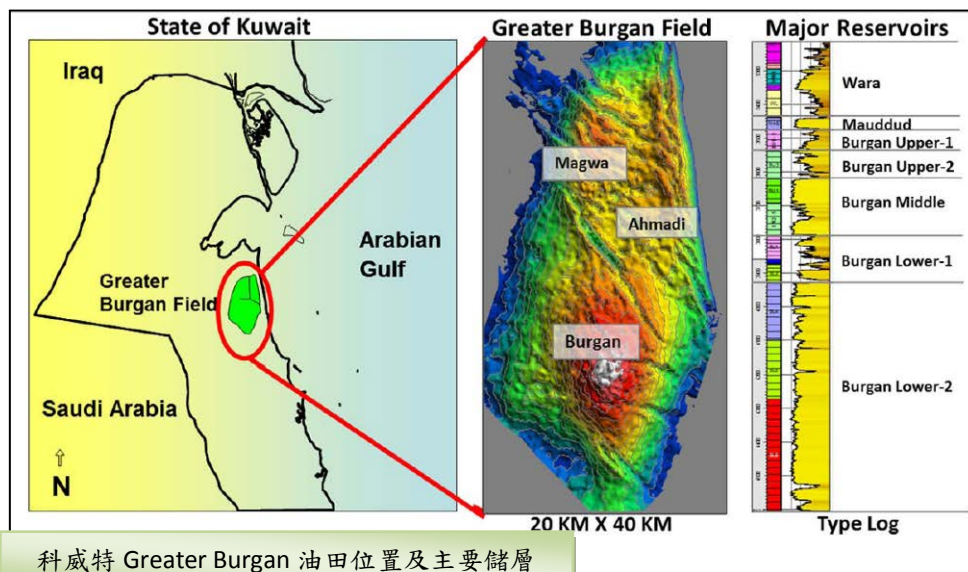
本研究結果顯示，地質模式或油層模式均應該隨著新資料的取得而進行更新調整，而礦區之生產操作策略也不應是一成不變，才能創造更高之油氣產量。



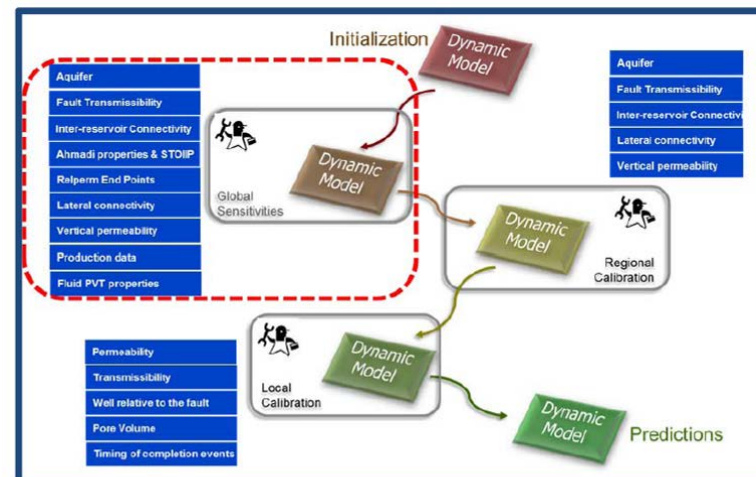
(2) Meeting the Challenge of Reservoir Simulation in the World' s

Largest Clastic Oil Field—The Greater Burgan Field Complex, Kuwait

科威特之 Greater Burgan 油田是全世界最大的一個碎屑沉積油田，生產歷史達 65 年，完井數更達 2,200 口，其複雜的地質構造加上錯綜複雜的地表設施網絡，使得本礦區之油層模擬乃一項大挑戰。



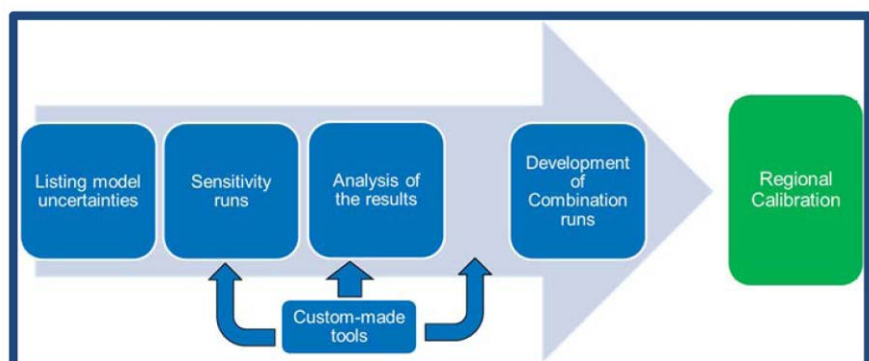
過去二十年來，不管針對全區域礦區或部分區域礦區，Burgan 油田已發展了許許多多的油層模擬及管理模式，而最新 2011 年所建立之油層模式，不單單只是一個新的油層模式，更是考慮了技術面及人類資源面的一個全方位模式。不論是在模式規模、技術創新、資源供應、工作流程整合及計劃嚴謹度，在 Burgan 油田開發歷史上均是史



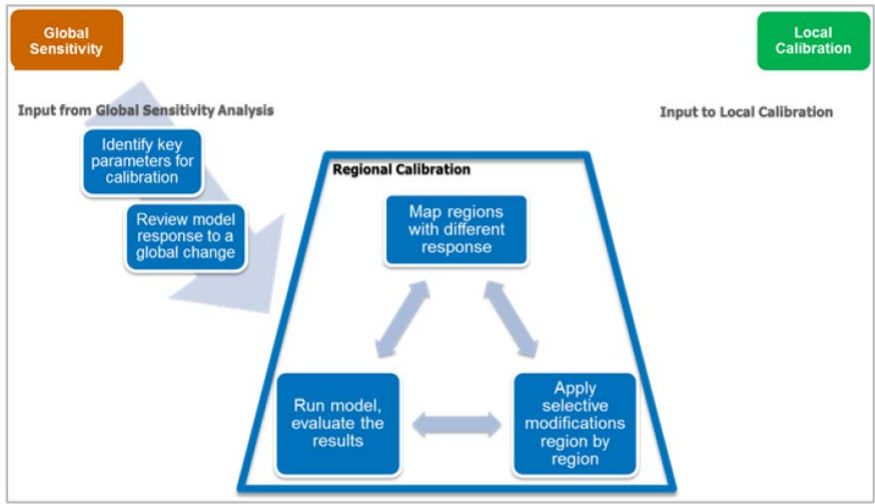
歷史調諧-模式校正工作流程圖

無前例，本文章詳實描述了相關之油層數值模式及其結果，可供作 Burgan 油田在剩餘開採年限下之生產最佳化規劃。

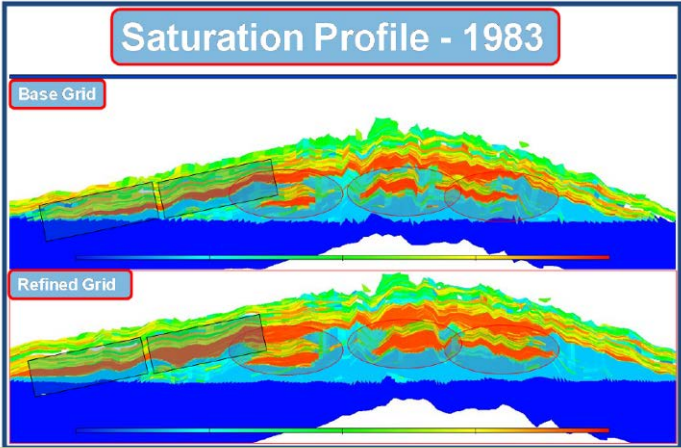
本模式最大之特點在於，利用所謂的 Cascade 方法，可針對全礦區、部份礦區或各井來進行歷史資料調諧工作，研究結果也顯示，此模式可提供全礦區精確之油層模擬模式，並且對於礦區歷史產量、壓力及油飽和度均有相當好之調諧結果，未來針對不同之生產情境方案規劃時，可提供準確性高之預測結果，提高整體採收率。



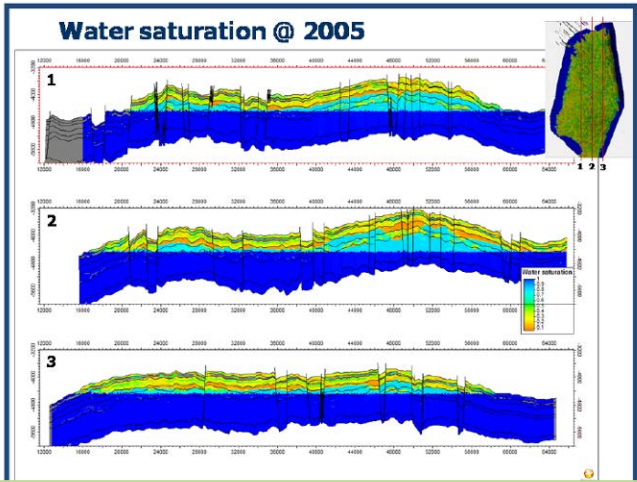
全礦區區域敏感度分析工作流程圖



區域性模式校正工作流程圖



油飽和度剖面圖-顯示網格粗細對於模擬結果確實會產生影響

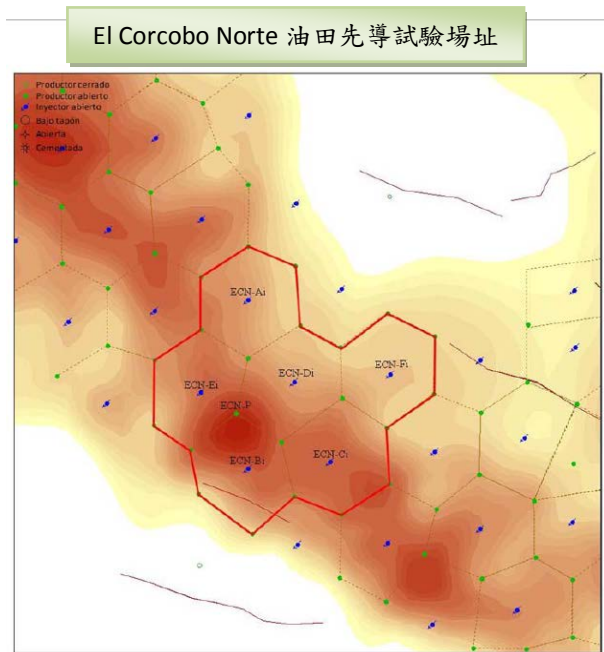


水飽和度之南北三條剖面圖

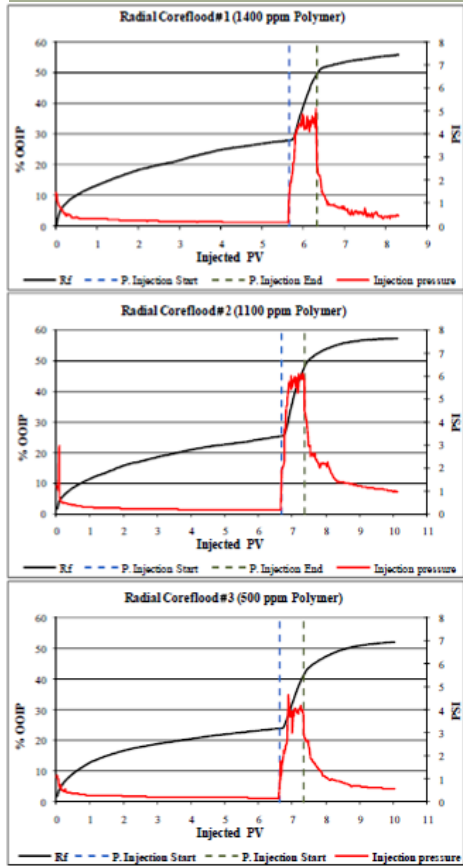
(3) Design and Execution of a Polymer Injection Pilot in Argentina

2012 年一月開始，阿根廷之 El Corcobo Norte 油田著手進行一項聚合物注入先導試驗，目標為了改善非固結 Lower Centenario 生產層之體積效率(volumetric efficiency)，進而提高最終可採量。El Corcobo Norte 油田以生產中度至重度原油為主，並且從 2006 生產初期開始即利用水沖排來增加生產，事實上 El Corcobo Norte 油田屬於一個親水性之油田，相當有助於使用水沖排來增加產能。

本次聚合物注入先導試驗場址大小約 60 英畝，其間規劃了七個區塊來進行試驗，整體生產策略牽涉到完井階段之高度出砂生產，以及生產開始後之低度出砂生產，而出砂則歸咎於地層水通道之砂體流出及孔洞之影響，均會影響到可採量，相關聚合物實驗設備可同時用在室內規模及先導試驗現場規模之數值模式設計與校正。

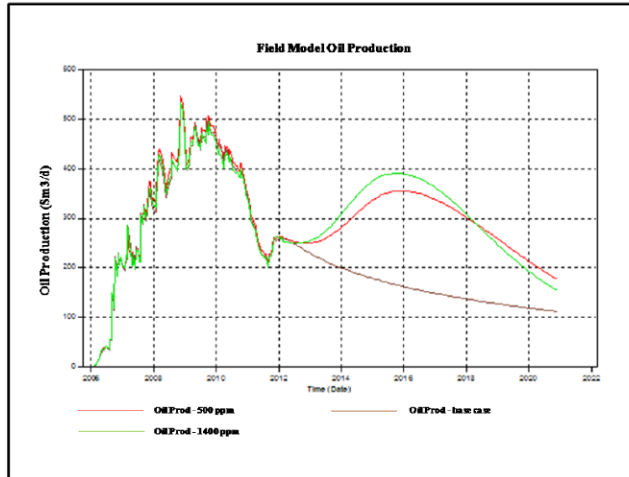


聚合物注入壓力與產量之關係

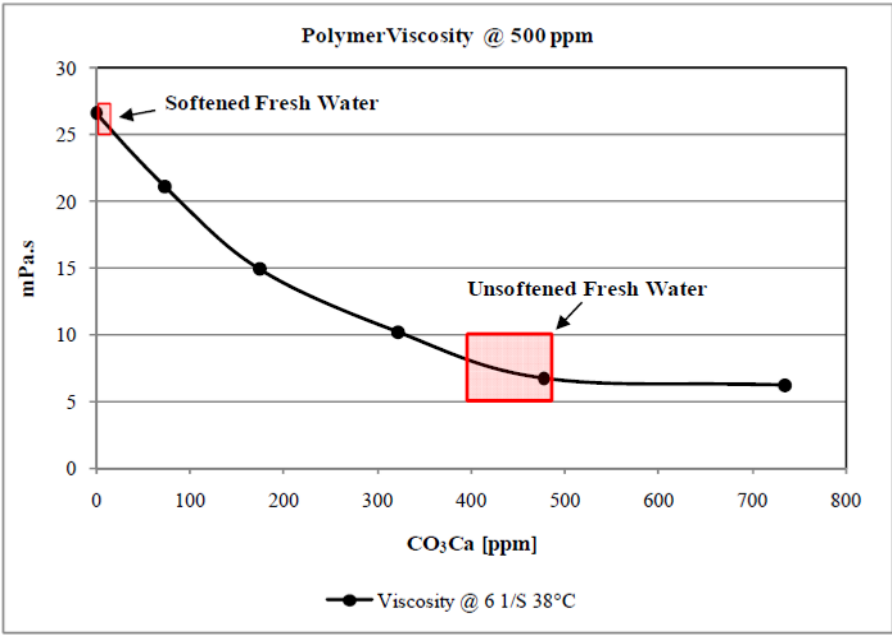


聚合物注入初期各注入井之井底壓力顯著上升，而限於生產操作壓力之限制，各注入井之注入量則逐漸開始遞減。聚合物注入之前，本礦區之油產量已呈現逐年下降之趨勢，開始執行聚合物注入後，油產量不再下降且已開始維持平穩狀態，經過 16 個月的聚合物注入，相關現場資料也與模式預測相當一致，因此研究結果預期於 2013 年底應可顯著提升重油產量。

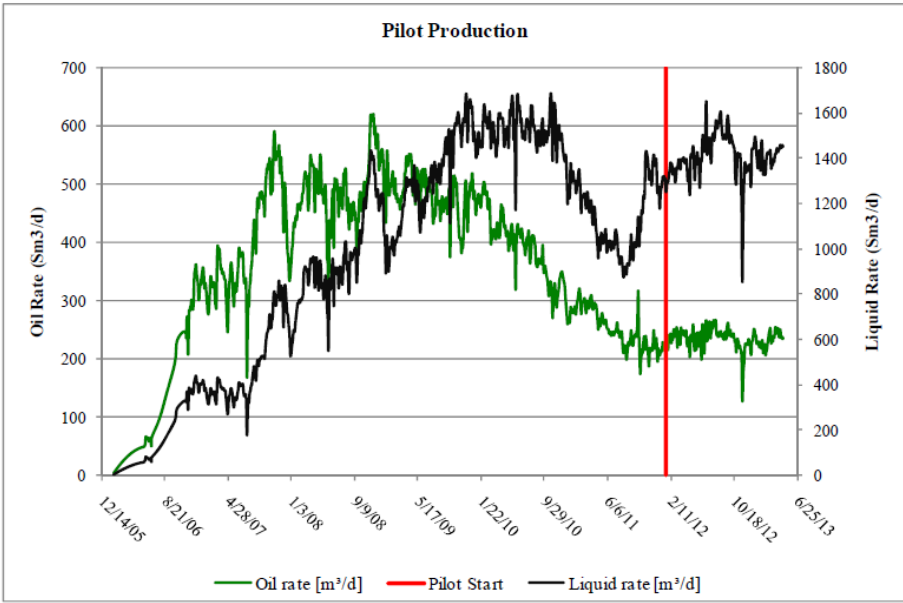
不同聚合物濃度對原油產量之敏感度分析



聚合物黏滯度與水硬度之關係

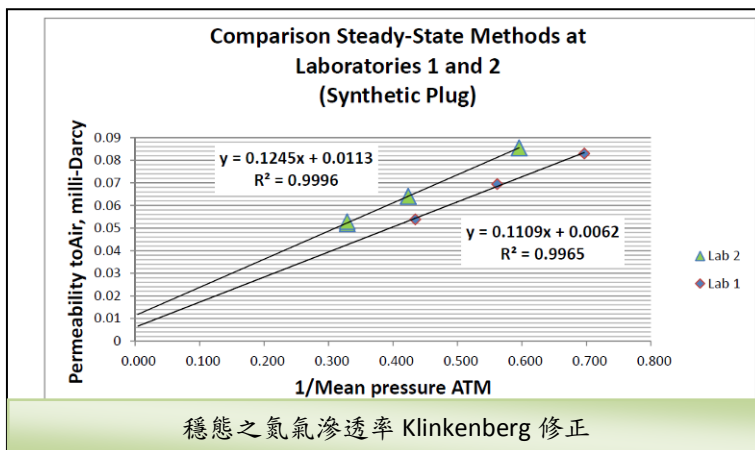


聚合物注入先導試驗對產量之影響



(4) Standards for Characterization of Rock Properties in Unconventional Reservoirs: Fluid Flow Mechanism, Quality Control, and Uncertainties

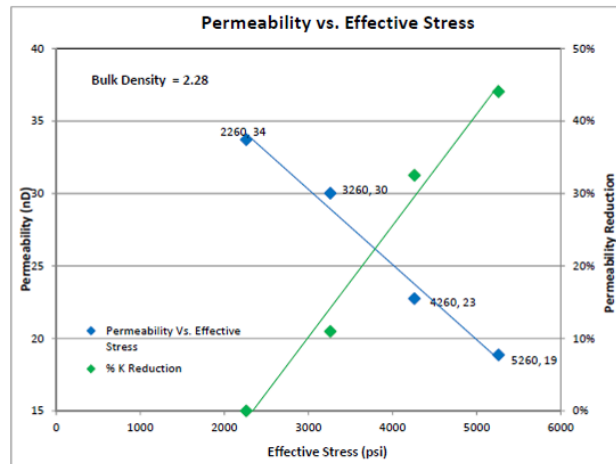
非傳統頁岩儲集層之基本特性量測，如滲透率及孔隙率，對於油層評估、地層污損預測、液裂設計及單井產能分析都具有相當程度之重要性，目前許多技術被用在頁岩之滲透率及孔隙率量測，然而，這些技術用在非傳統儲集層岩石量測時並非完全恰當。本研究展示了不同商業機構及實驗室所作之頁岩滲透率及孔隙率量測結果，稱作 round robin 試驗，滲透率範圍從 10 nano-darcy 至 10 micro-darcy，孔隙率則介於 5~10 %。



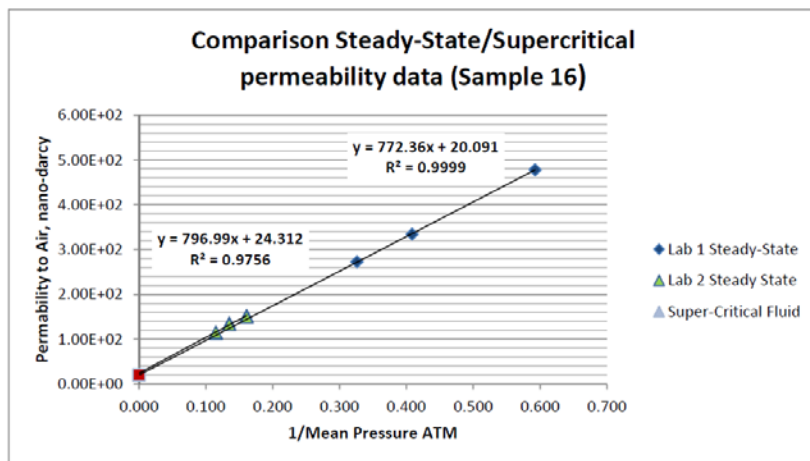
round robin 試驗所得之孔隙率及滲透率實驗結果顯示，對於滲透率極低至 10 nano-darcy 之頁岩，主要由達西流 (Darcy flow) 所控制著流

體之流動行為；當滲透率為 10 nano-darcy 至 10 micro-darcy，操作壓力為 4 00~5,000 psi 之間時，在合理之不確定性範圍內，滲透率之量測結果是具有可重現性的；孔隙率資料顯示天然取樣之不確定性介於 ± 1.0 p.u.；利用穩態條件之實驗方法，即使不同之研究機構仍獲得相

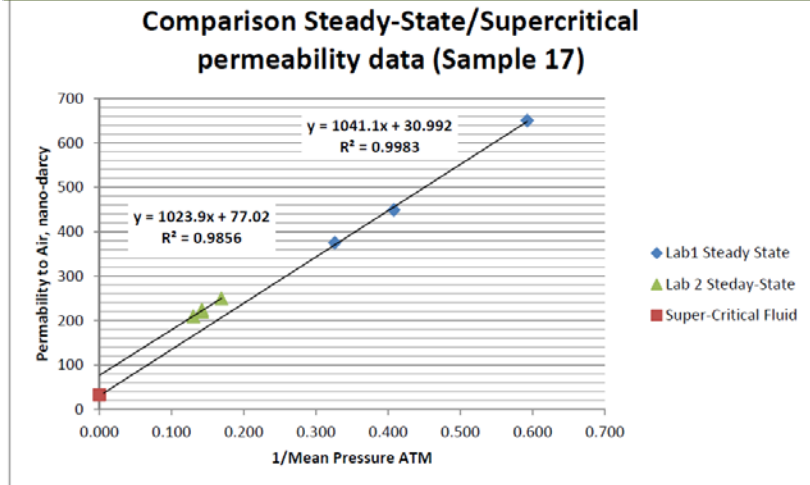
似之實驗結果；穩態條件所量測而得之滲透率資料，其不確定可能高達±150%，此時若使用超臨界流體或實驗流體(Decalin)之液體滲透率試驗，將能提供一個互補且有價值之參考基準；進行頁岩特性實驗時，Rotary sidewall 岩心取樣較能提供一個高品質之岩心樣品，因為取樣乃處於頁岩儲層之現地溫度及應力條件下。



滲透率與有效應力之關係



穩態/超臨界流之滲透率量測比較(sasample 16)



穩態/超臨界流之滲透率量測比較(sasample 17)

round robin 試驗結果總表

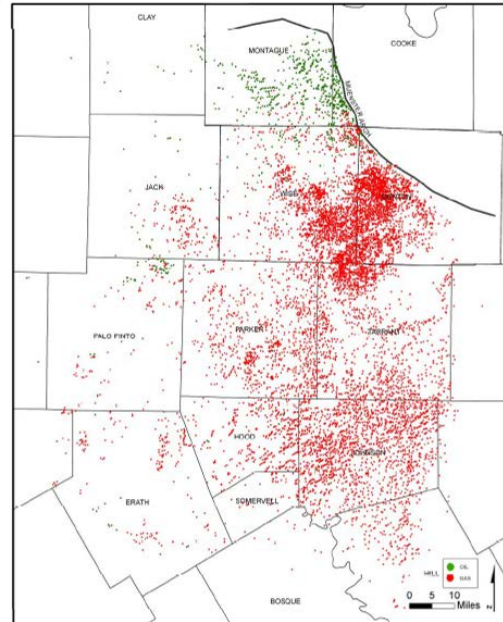
Table 3—Summary of the Round Robin results					
Laboratory	Sample 16	Sample 23	Sample 17	Sample 19	Synthetic
Lab1	2250psi PD = 10nd ϕ =8.78%	2250psi PD = 20nd ϕ =6.97%	Unconfined MI = 929nd ϕ =10.73%		2250psi SS = 0.0061md PD = 0.0076md ϕ =34%
	2250psi SS = 20nd ϕ =8.61%		2250psi SS = 31nd		2250psi/dried SS = 0.0065md PD = 0.0076md ϕ =34.33%
Lab2	2250psi SS=24nd ϕ =8.6	2250psi SS=11nd ϕ =7	2250psi SS=77nd ϕ =10.1	2250psi SS=49nd ϕ =8.1	2250psi/dried SS = 0.0113 md ϕ =34.2%
	2250psi Dried SS=20nd ϕ =9.4	2250psi Dried SS=20nd ϕ =7.8	2250psi Dried SS=77nd ϕ =10.1	2250psi dried SS=51nd ϕ =9	
Lab3	2250psi PD=28nd ϕ =4.5	2250psi PD=17nd ϕ =6.8			
Lab4	2250psi PD=805 nd ϕ =8.03	400psi PD=378 nd ϕ =9.36	2250psi PD=642 nd ϕ =6.6	400psi PD=2258 nd ϕ =7.6	
	2250psi dried PD=581 nd ϕ =9.75	400psi dried PD=154 nd ϕ =10	2250psi dried PD=610 nd ϕ =8.67	400psi dried PD=2046 nd ϕ =8.26	
Lab5	2250psi SS-supercritical fluid = 20.46nd		2250psi SS-supercritical fluid = 33 nd		
Lab6		Unconfined LB= 202nd ϕ =6.8		Unconfined LB= 644nd ϕ =8.4	Unconfined LB= .140 md ϕ =27.4
Lab7	2250psi PD=179nd ϕ =5.3			2250psi PD=222nd ϕ =8	

PD stands for Pulse-Decay (transient methods). SS stands for Steady-State methods. LB stands for Lattice-Boltzmann (FIB-SEM) methods. MI stands for Mercury Injection.

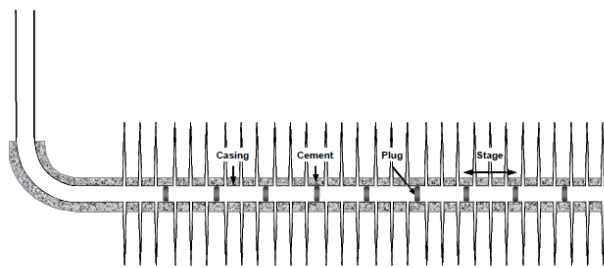
(5) Production Analysis in the Barnett Shale — Field Example for Reservoir Characterization Using Public Data

Barnett Shale 是北美第一個進行開發之非傳統構造型態，截至 2012 年七月，Barnett Shale 已經有超過 13,000 口多段液裂水平生產井，其中將近 2,500 口更已生產超過五年，而除了水平生產井，Barnett Shale 更擁有將近 3,000 口之垂直生產井。

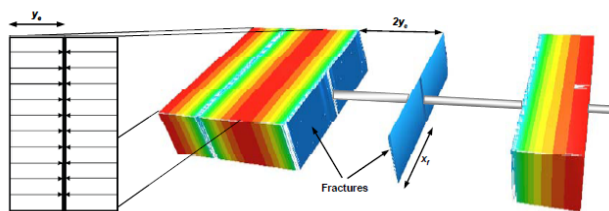
Figures



Barnett Shale 之垂直井及水平井分布
(綠色:油井;紅色:氣井)



a) Multi stage horizontal well completion design — current Barnett shale well completion (number of fractures are shown for illustration purpose only).

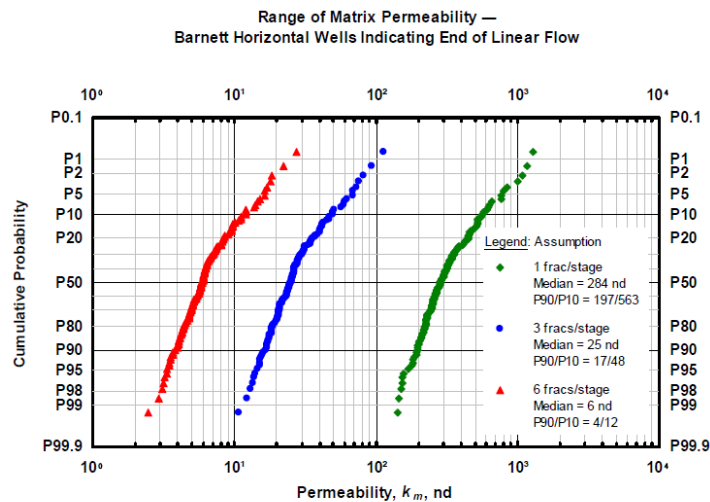


b) Cross-sectional view of single fracture numerical model — horizontal well homogeneous completion, no flow from fracture tips (modified from Ambrose et al. 2011).

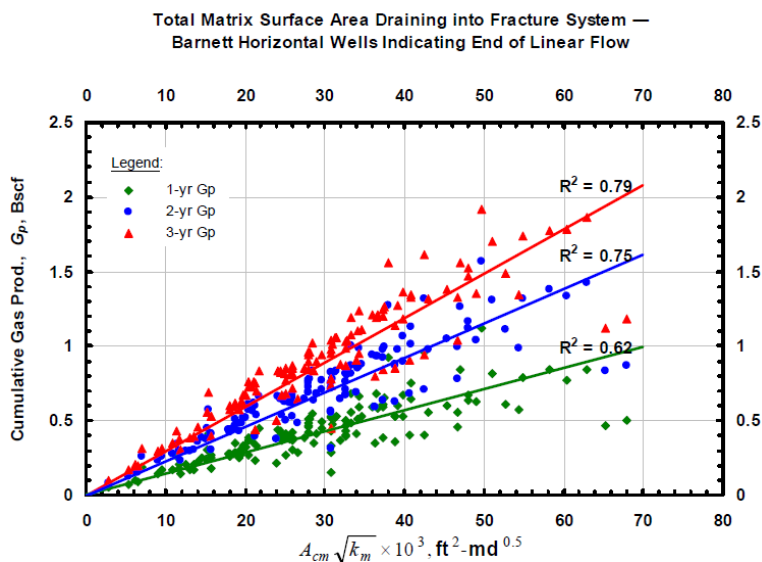
多段液裂之完井方式示意圖

井間距一直是非傳統頁岩油氣開發之重要評估參數，而且在佐證階段即必須進行確認，藉由多段液裂水平生產井之早期生產資料解釋與分析，將有助於了解頁岩儲層及裂隙特性，然而在井孔周圍流體流動尚未達到線性流末期前，這些解釋所獲得的結果通常並非唯一。

本研究使用公開之生產資料進行 Barnett Shale 頁岩構造型態之解釋分析，且所挑選之生產井均已確實達到線性流末期，且因已達到線性流末期狀態，液裂後之頁岩儲層滲透率、裂隙半長度及初始氣體埋藏量也能加以確定。透過所獲得之頁岩儲層滲透率及裂隙半長度，利用數值模擬及經濟分析就能進行最佳之水平生產井間距推估工作。

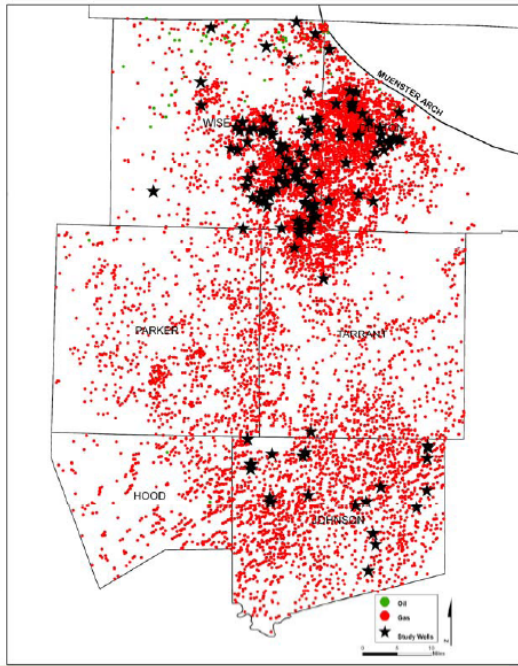


不同液裂階段之滲透率累積機率分布圖

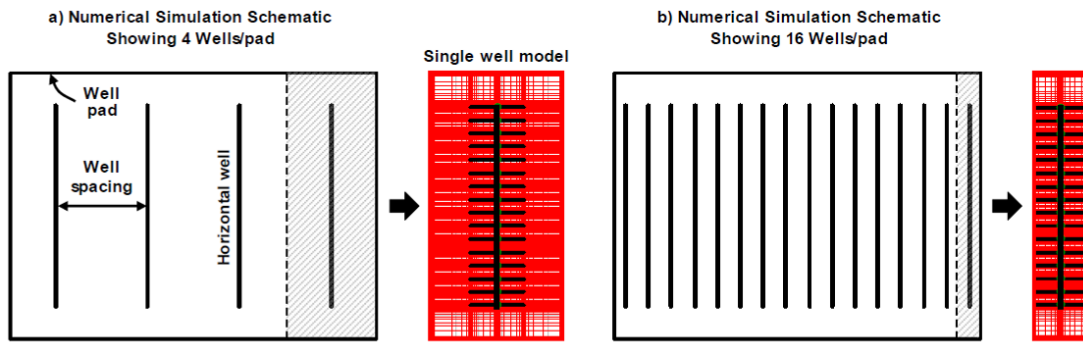


累積氣體產量變化-顯示天然氣已流入裂隙系統之中，線性流即將結束

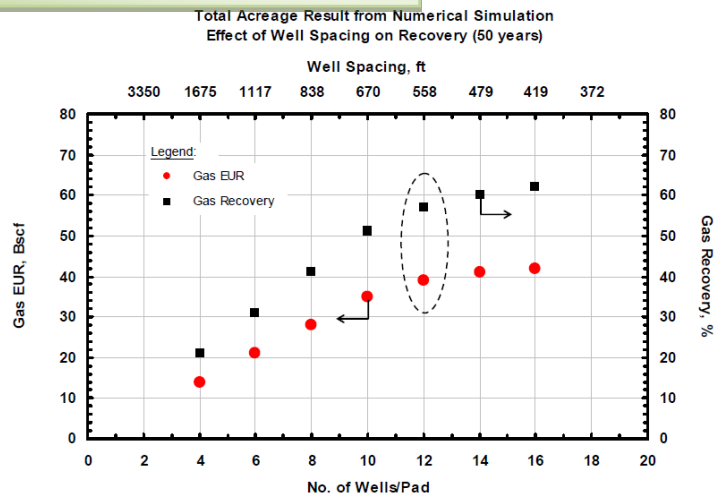
本研究檢視了 Barnett Shale 將近 2,500 口之多段液裂水平生產井生產資料，其中發現超過 100 口水平生產井可清楚從生產特性上觀察到已接近線性流末期，根據這些資料即可進行滲透率及裂隙半長度之推估，本研究並透過單井模擬輔以經濟分析，提出最佳水平生產井開發井間距之建議。



已達線性流末期之水平井分布圖



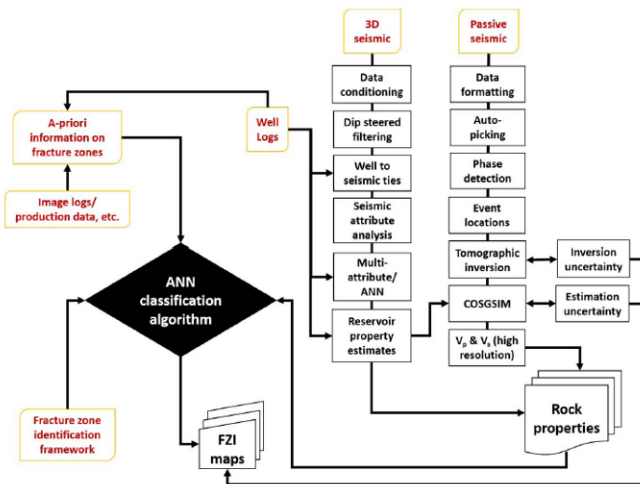
不同水平井數設計之數值模擬模式



水平井間距對天然氣 EUR 之敏感度分析

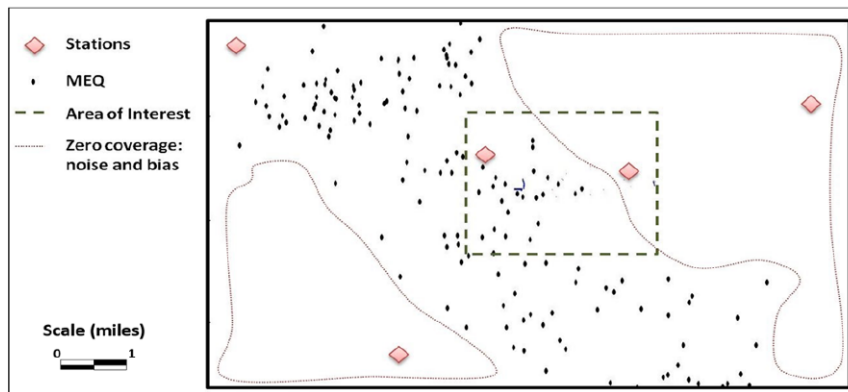
(6) Fracture Characterization in Unconventional Reservoirs Using Active and Passive Seismic Data With Uncertainty Analysis Through Geostatistical Simulation

本研究利用地球物理資料(微震及 3D 地表震測)並提出新的工作流程，進行非傳統儲層液裂後之裂隙特性描述及模擬，相關研究架構可適用在頁岩氣或緻密氣構造型態。透過被動震測資料分析結果，及結



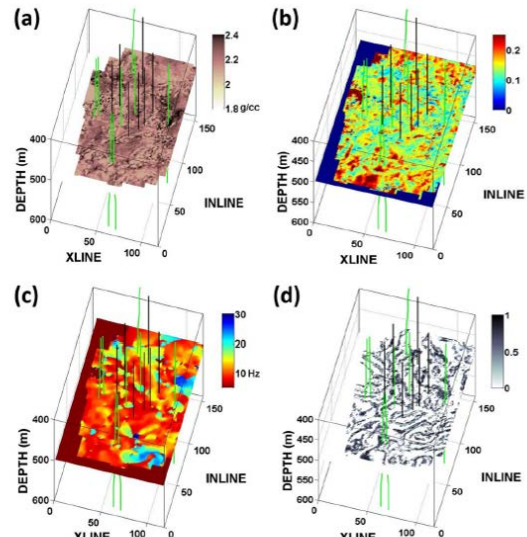
合 3D 震測資料與 ANN 儲層特性模式架構所推導出之震測屬性資料，本研究之工作流程進行了地質力學特性參數之推估，包含應力及弱面之推估。

裂隙屬性特性描述工作流程圖-
利用 3D 地表震測、被動式震測及井下電測資料



研究區域、地表震測事件發生點位及紀錄站(station)位置

本研究分享了如何從 ANN 模式進行不同特性參數之推估流程，以及如何從裂隙範圍訂定改善非傳統儲層特性之不確定性分析方法，最後，針對研究區域獲得裂隙特性之推估結果，以用在未來之非傳統儲層模擬工作上。



利用注入井及生產井資料建立之(a)密度(b)孔隙率(c)瞬間頻率(d)非連續(ANN)分布圖

本研究透過裂隙之描繪確實改善了對頁岩儲層或非傳統儲層之了解，並提供一套新的工作流程，可藉由裂隙模擬來訂定非傳統儲層之體積。本研究之研究成果亦證實了，利用地質統計方法確實可將原本相對低解析度之震測資料，用來改善非傳統儲層之特性描述。

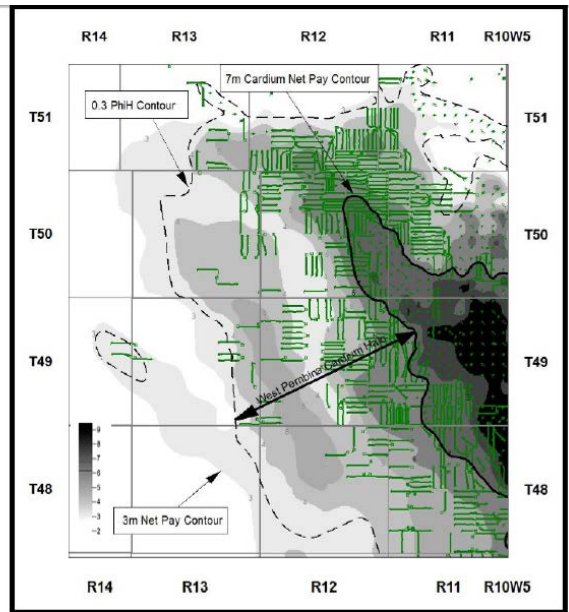
3.2 第二天議程

上午參加之議程內容

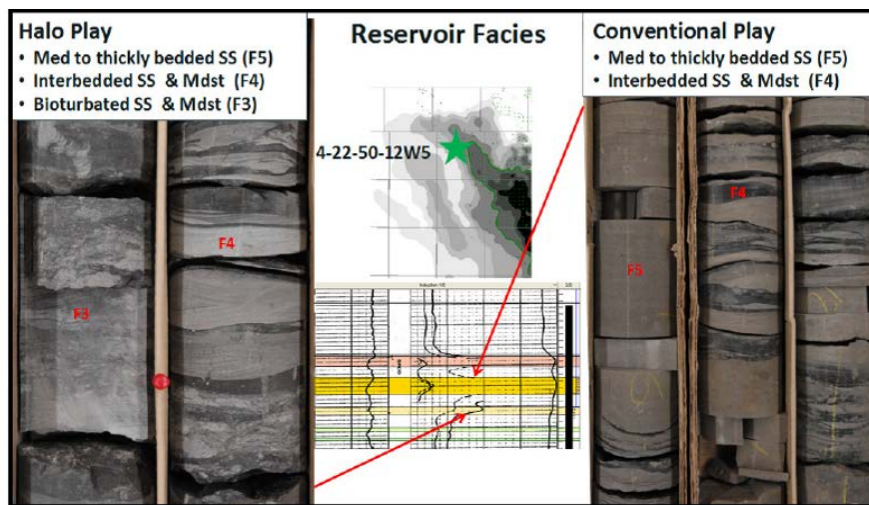
	專題演講題目	Room
1	SPE 166268 An Unconventional Approach to a Conventional Field. How the Slickwater has Changed the Game in the Cardium	Room E2
2	SPE 166101 Factors Affecting Early Well Productivity in Six Shale Plays	Room E2
3	SPE 166505 Defining Three Regions Of Hydraulic Fracture Connectivity, In Unconventional Reservoirs, Help Designing Completions With Improved Long-Term Productivity	Room E2
4	SPE 166146 Environmental Regulation of Hydraulic Fracturing in Queensland	Room 243
5	SPE 166482 FreezeFrac Improves the Productivity of Gas Shales	Room E2

(1) An Unconventional Approach to a Conventional Field. How the Slickwater has Changed the Game in the Cardium

Pembina 油田位於加拿大亞伯達省之中西部，是一個面積廣達 70 萬英畝之大油田。最主要的油氣被包覆在 Upper Cretaceous Cardium 鈣質地層中，Cardium 鈣質地層主要組成為海相砂岩，大量的砂岩層中間夾雜坩砂及坩質泥岩。從 1950 年代開始，Cardium 地層已生產了將近 13 億桶之輕質原油，以及將近 12 Tcf 之天然氣，從現地原油埋藏量有 80 億桶來看，Cardium 鈣質地層仍然還有許多可生產發展的空間存在。

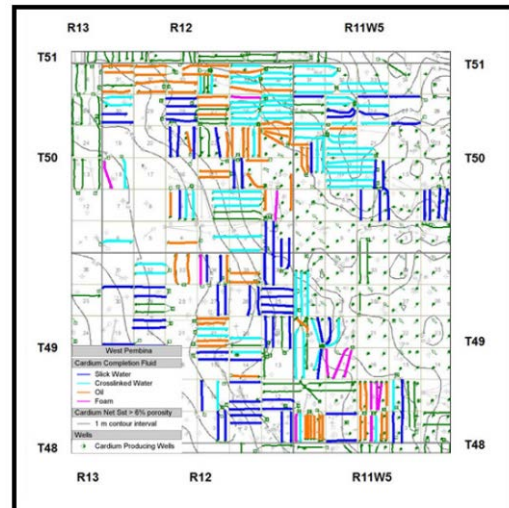


Cardium 鈣質地層淨砂等厚度圖(砂岩孔隙率>6% Neutron density 孔隙率)

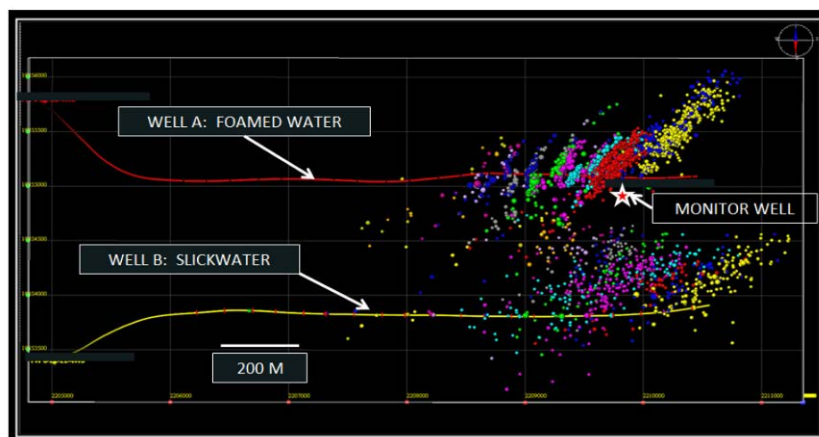


West Pembina 區域之 Halo 構造型態與傳統鈣質構造型態之岩相(FACIES)

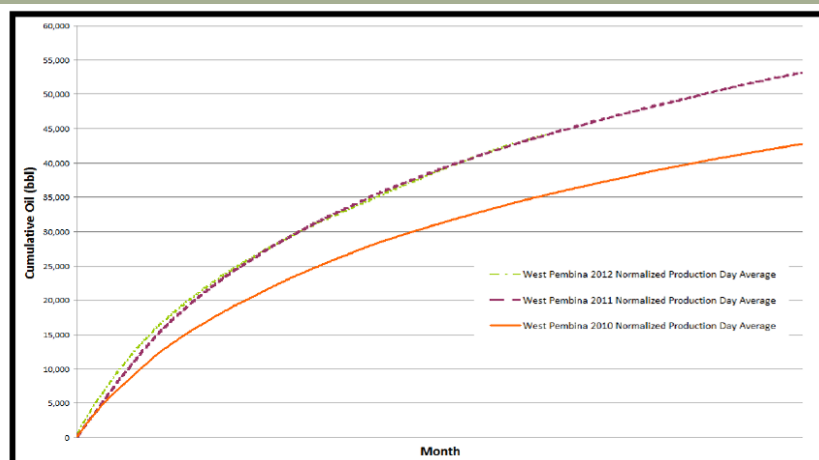
在 2009 年，Pembina 油田開始引進水平井及多段完井技術，此舉使得原本較為薄層且低滲透率與低孔隙率之儲層油氣，得以被開發生產出來，也因此原本使用在 Cardium 地層之激勵生產方法與技術也重新被開始評估。本研究結果顯示，傳統思維所考慮之流體系統也逐漸發展成使用滑溜水(slickwater)之非傳統流體系統，並成功地將非傳統完井技術應用在傳統油氣資源之開發生產上。



礦區及礦區外之水平井流體系統變化



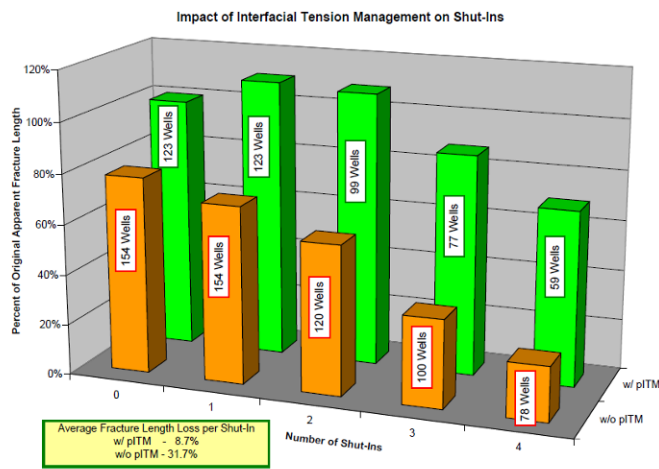
利用滑溜水(slickwater)及泡沫水(foamed water)激勵增產之震測事件訊號變化



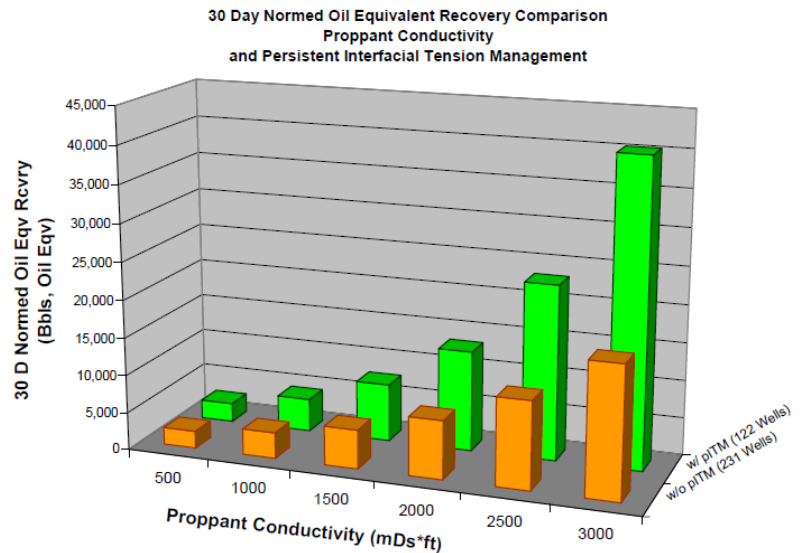
West Pembina 2010~2012 之單井累積原油產量

(2) Factors Affecting Early Well Productivity in Six Shale Plays

本研究針對 6 個頁岩油氣構造型態，分析調查超過 360 口之生產井資料，以便進行生產初期之操作管理策略對產量之影響。其中激勵後至生產開始間之延遲階段更是研究的重點，包含關井後之生產行為變化、支撐劑所造成之滲透率變化及界面張力管理等。

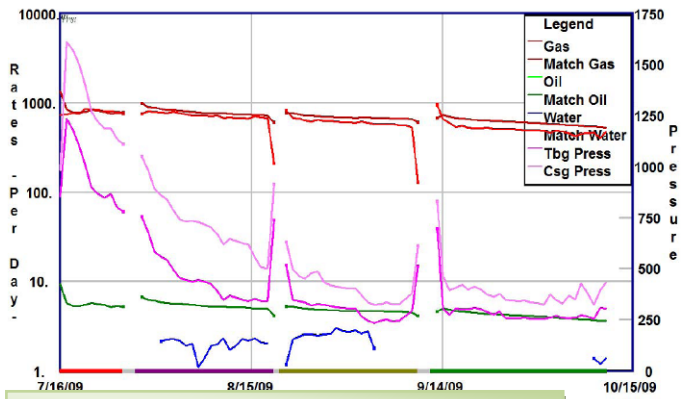


關井次數對視裂隙長度(apparent fracture length)之影響

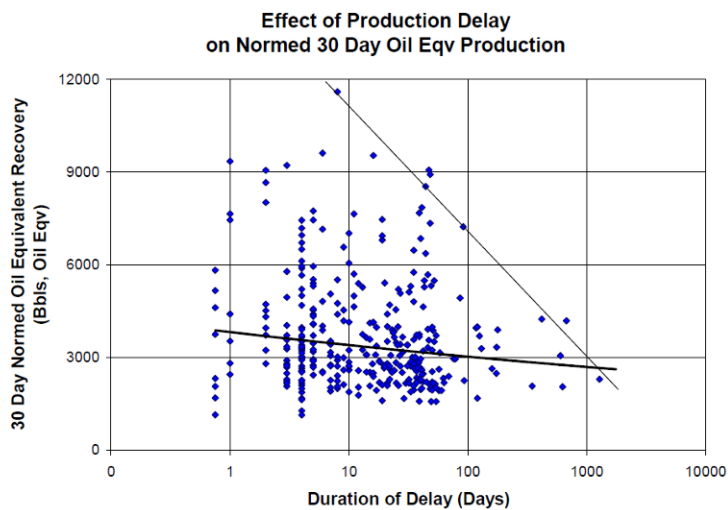


支撐劑滲透率對原油產量之影響

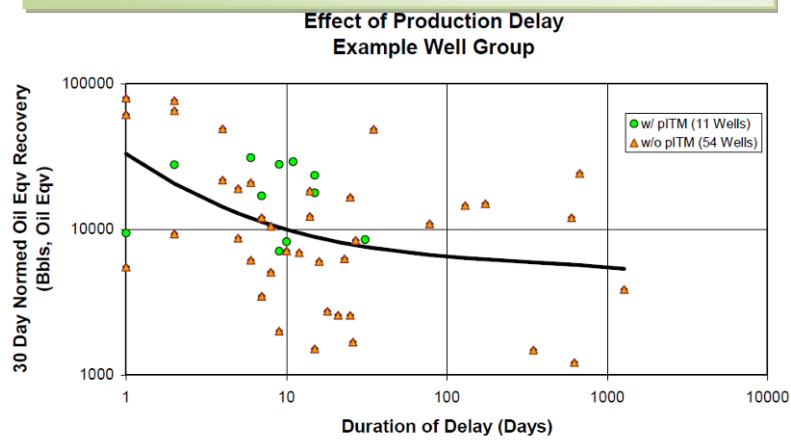
研究結果顯示，進行頁岩儲層激勵後到開始生產間之延遲等待，不見得對頁岩油氣之產量有幫助；關井欲使地層壓力回升，通常也不利於產量提升，因為反而可能會使得地層污損增加；一但生產開始後，盡可能持續進行生產，此舉將有助於維持儲層與井孔之流通性；關井時間的長短對於地層污損目前尚無明顯之相關性存在；井口流壓之快速遞降，對於儲層與井孔之流通性是有害的。



實際資料顯示關井反而將導致產量遞減



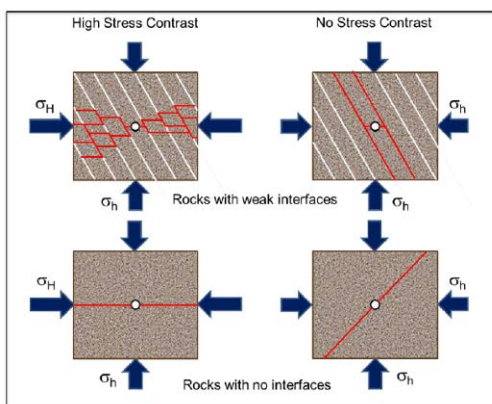
延遲初始生產時間對產量之影響(1)



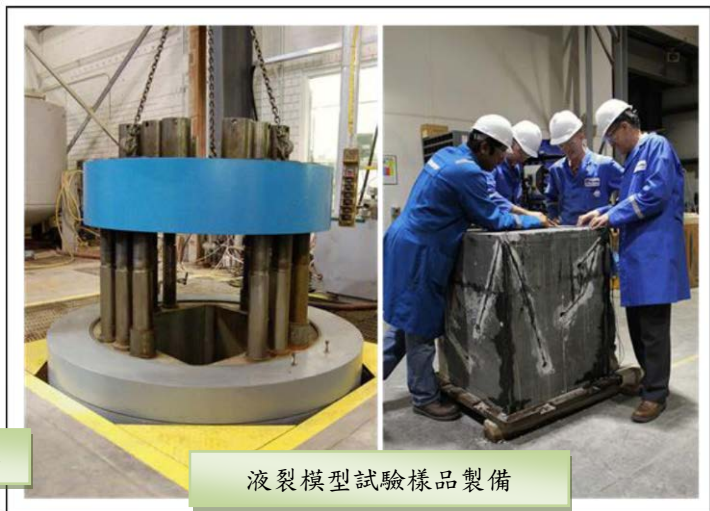
延遲初始生產時間對產量之影響(2)

(3) Defining Three Regions Of Hydraulic Fracture Connectivity, In Unconventional Reservoirs, Help Designing Completions With Improved Long-Term Productivity

本研究針對緻密氣層礦區之露頭，進行了大尺度之液裂模型試驗，試驗樣品之大小為 3×3×3.5 ft，可說是相當大尺寸之室內試驗，並以正向應力 3,500 psi 及側向應力 1,500 psi 來進行試驗。

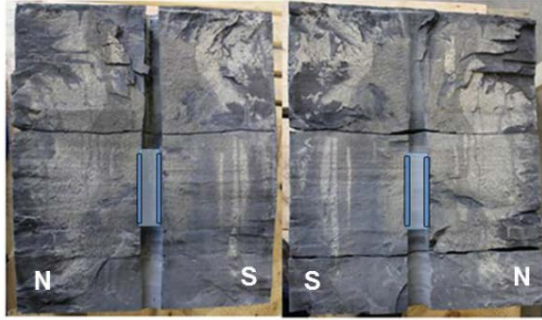


岩石弱面與裂隙幾何型態對應力分布之影響



液裂模型試驗樣品製備

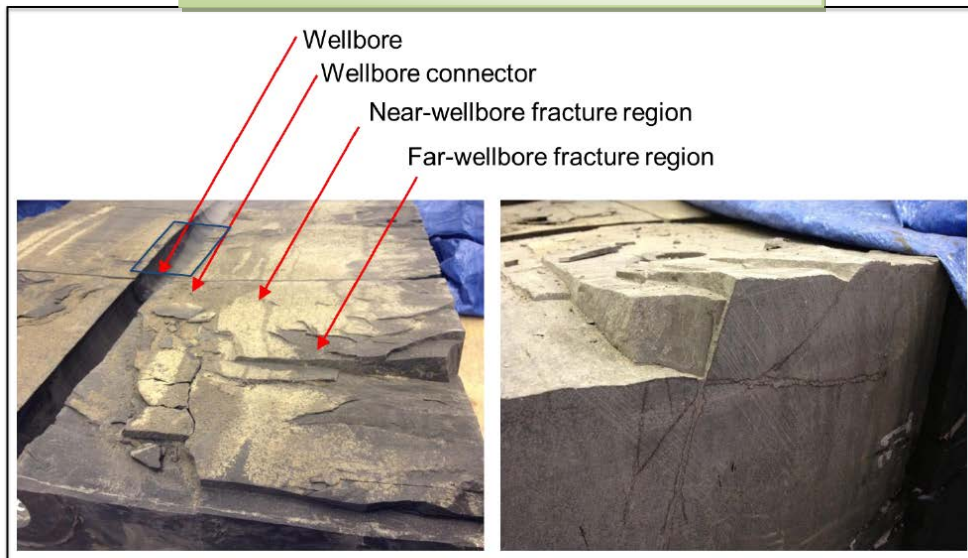
本研究針對三個區域來解釋如何控制生產行為，三個區域包含井孔與裂隙系統間之連通區域、靠近井孔之裂隙網路及遠離井孔之裂隙網路。研究結果顯示，井孔與裂隙系統間之連通區生產能力，取決於流動機制之穩定性與否，與儲層之品質優劣無關；靠近井孔之裂隙網路生產能力，則大大受制於支撐劑之填塞好壞；而遠離井孔之裂隙網路生產能力，則取決於裂隙滲透性能維持多久。相關研究成果可提供做為改善液裂設計及長期生產設計，藉由對三個控制區域之了解，也能取得一個最佳的開發設計。



液裂模型樣品之東、西兩半面裂隙生成情形



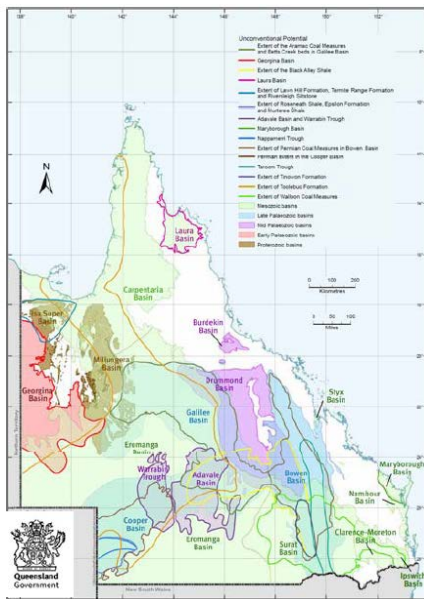
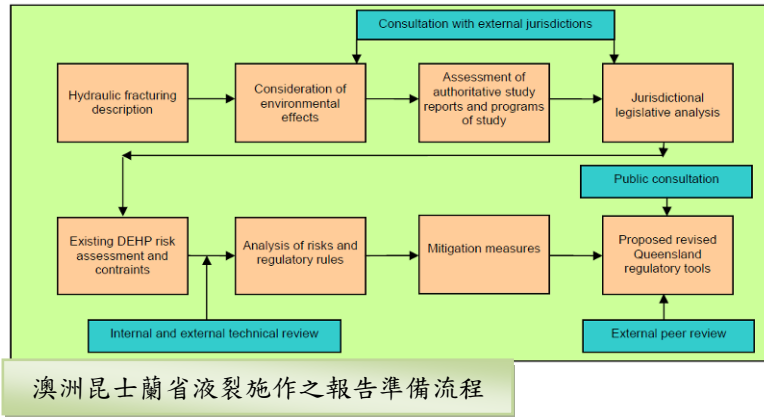
東半面液裂模型樣品上部之裂隙呈現階層堆疊情形



井孔周圍之裂隙生成情形，(1)井孔內(2)井孔與裂隙連通處(3)靠近井孔周圍(4)遠離井孔

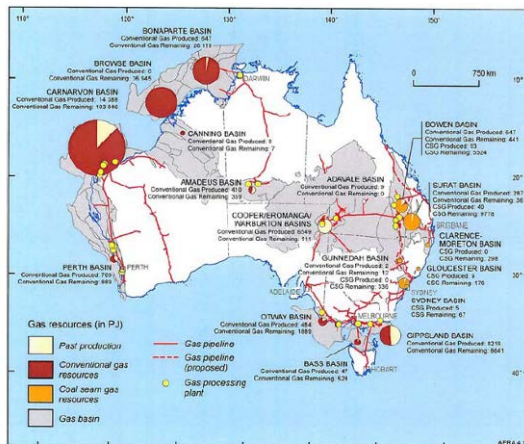
(4) Environmental Regulation of Hydraulic Fracturing in Queensland

自從 1990 年代澳洲昆士蘭省開始開發生產煤層氣(CBM)且成為重要經濟收入後，昆士蘭省對於開發煤層氣(CBM)之相關環境法規也隨之逐漸建立起來，對於空氣品質、水源及飲用水等，均訂定了國家級之規範綱領。

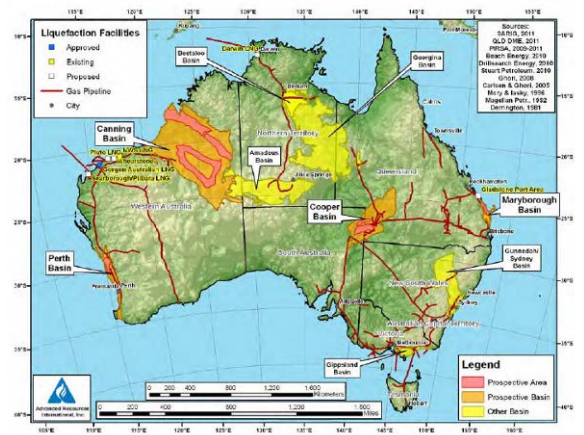


澳洲昆士蘭省之頁岩油氣分布

後期隨著頁岩油氣/緻密氣之開發，水平井及液裂技術之引進，使得昆士蘭省對於液裂技術所造成之環境影響愈發重視，並初步提出幾項重要之準則供經營者遵循與執行，希望進行非傳統能源之液裂開發時，能儘量降低對環境之影響與衝擊。

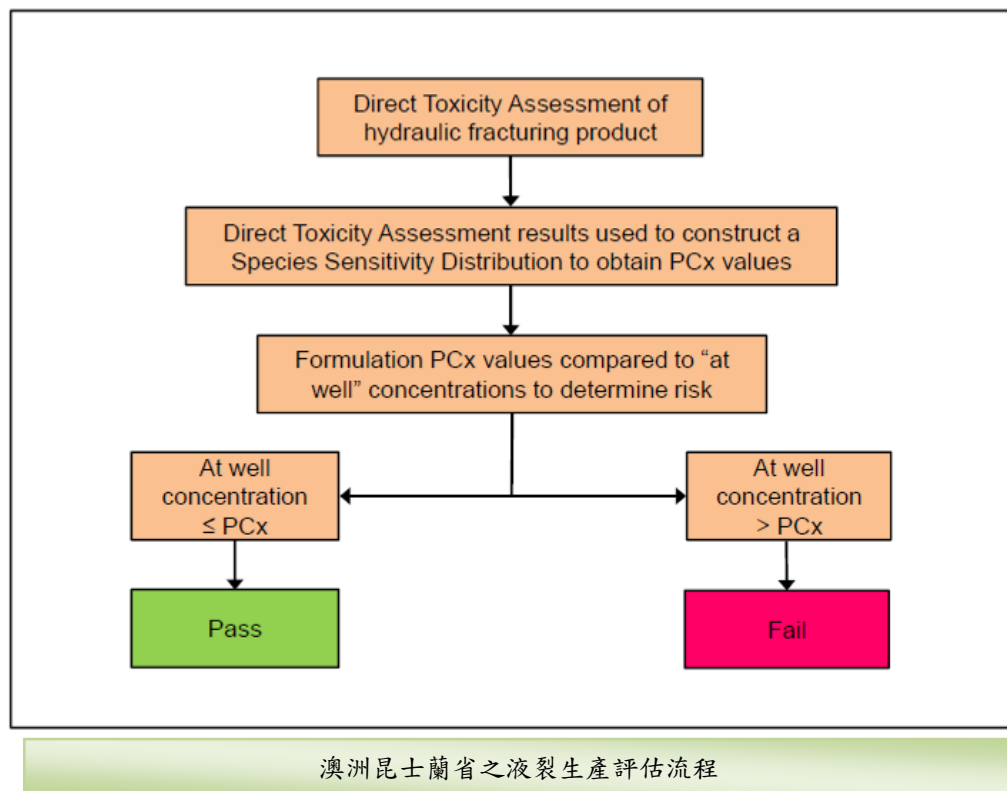


澳洲傳統天然氣及煤層氣分布



澳洲之頁岩氣分布

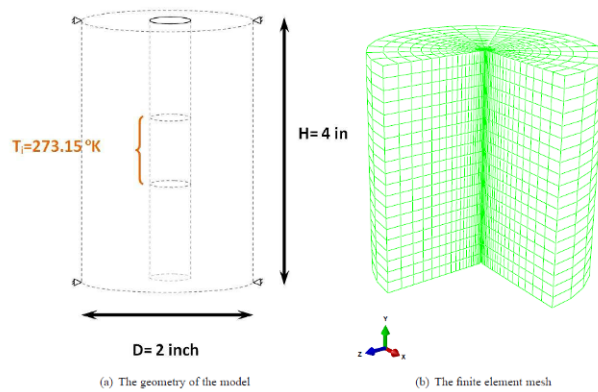
(a)對於區域之含水層、斷層、線形構造特徵、滲透性、孔隙率、震測風險及地下水等，均需進行詳細調查了解;(b)液裂所施加之應力對於含水層之洩降，以及裂隙上方與下方之含水層連通性研究，均是經營者要去執行的;(c)裂隙區域與含水層間須有垂直之不透水層存在;(d)必須設置多層套管管串，以確保油氣與含水層保持隔絕;(e)必須確保所注入之流體為符合國際標準之低毒性流體，並且不會累積且永久停留在生物體內;(f)必須進行液裂之及時監控，如微震觀測技術，以便了解液裂對於誘發地震之影響;(g)與當地水源使用者、鄰近居民、公眾單位及地方政府，均須保持高度聯繫。



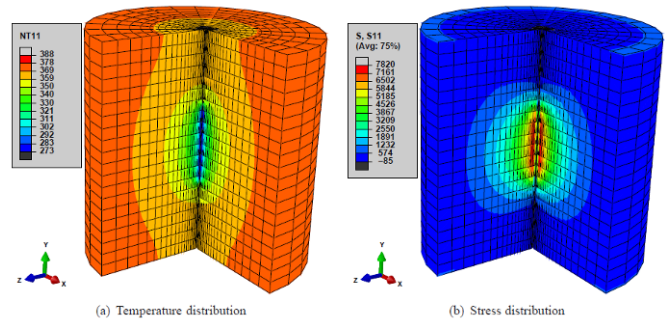
本次會想參與此篇論文之發表演說，乃是想了解國外對於液裂所造成之環保議題重視程度，然而本會場與其他談論技術性(可獲利之議題)之會場相比，參與人數可說是少的可憐，可見並非國外對於環保議題就會比國內來的重視，應該也僅是為了取得油氣利益而去遵守當地國家政府法令而已，但相關內容仍相當具有參考價值。

(5) FreezeFrac Improves the Productivity of Gas Shales

緻密岩層之天然氣要產出，靠的是地層天然裂縫與液裂裂隙之相交，才得以流動到井孔產出，本研究針對緻密氣層，利用熱漲冷縮之原理，改變地層天然裂縫之應力狀態，使之產生張力應力之破壞，進而造成裂縫之擴張與流通通道之增加。



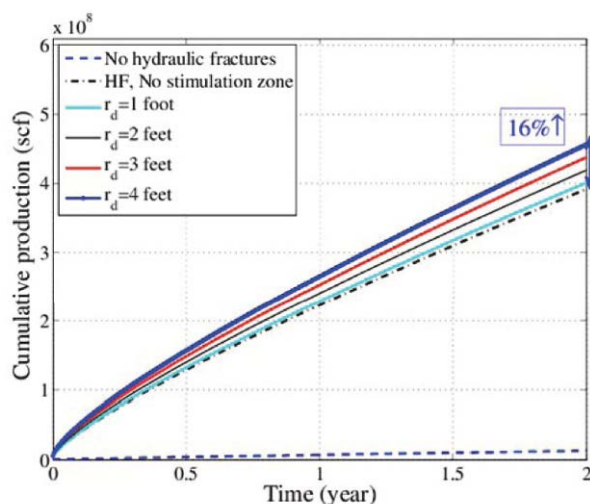
數值模式網格建立



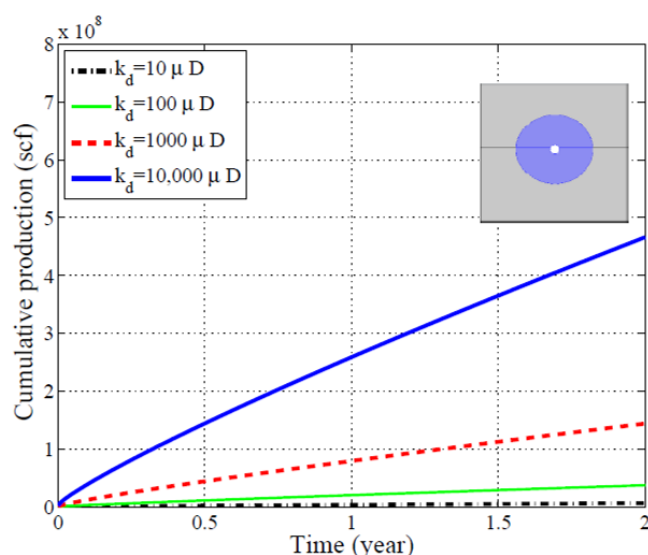
溫度及應力分布狀態(2,000 秒後)

本研究並非使用室內試驗，僅採用數值模式來進行相關裂隙生成模擬。本研究成功的利用有限元素法去推估井孔周圍因熱漲冷縮所形成之裂隙範圍，至於裂隙生成型態則留待後續之研究；研究顯示井孔附近之熱激勵方法確實可顯著提高整體天然氣產量，研究假設井孔周圍之裂隙滲透率可因熱漲冷縮增加 10~10,000 倍，所生成之裂隙深度達 4 ft 半徑。

研究結果則顯示，對於緻密氣層之氣體採收率最高可提高將近 16%；有限元素法雖然可有效地預測儲集岩之熱擴散狀態，然而若要進行裂隙之生成型態預測，則須利用離散元素法才能獲得；本研究所建立之數值模式也可同時應用在緻密氣層之水平與垂直生產井開發。



井孔周圍熱激勵增產方法對產量之影響



熱激勵液裂後對滲透率增加與累積產量之影響

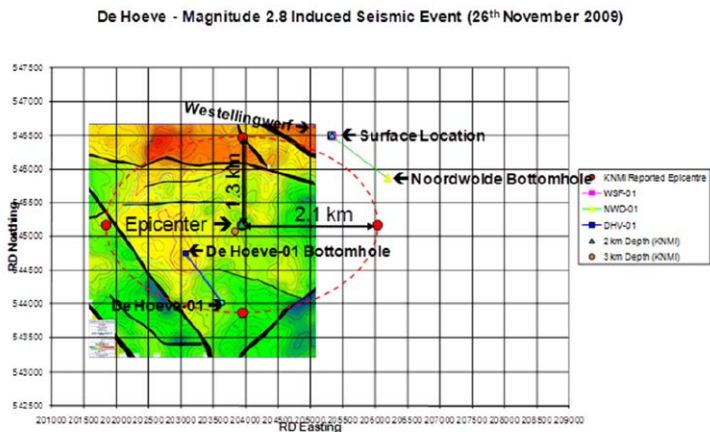
本研究雖然只是學術上之結果，然而卻是提供一個相當新穎之液裂方式，有別於目前業界之液裂做法，完全不需注入支撐劑也無環境污染問題，本技術短時間內雖難以商業化，但卻是個相當有趣的研究主題。

下午參加之議程內容

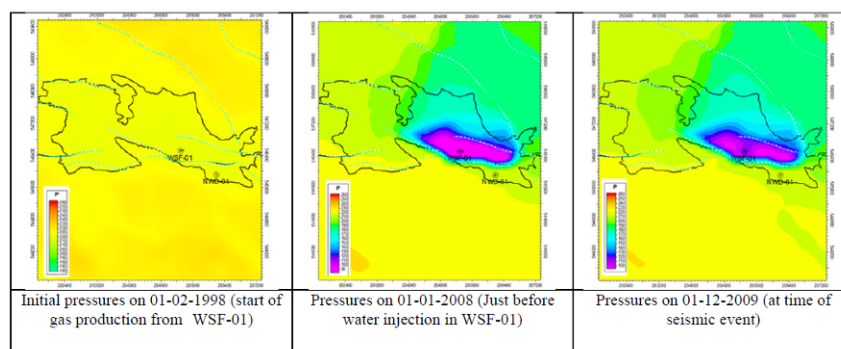
	專題演講題目	Room
1	SPE 166430 Inducing Earthquake By Injecting Water In A Gas Field: Water-Weakening Effect	Room 338/339
2	SPE 166113 A Day in the Life of a Barrel of Water: Evaluating Total Life Cycle Costs of Hydraulic Fracturing Fluids	Room E2
3	SPE 166090 Modeling Viscosity Responses of Fracturing Fluids Formulated from Flowback and Produced Water Using Advanced Cooperative Optimization Algorithms	Room E2

(1) Inducing Earthquake By Injecting Water In A Gas Field: Water-Weakening Effect

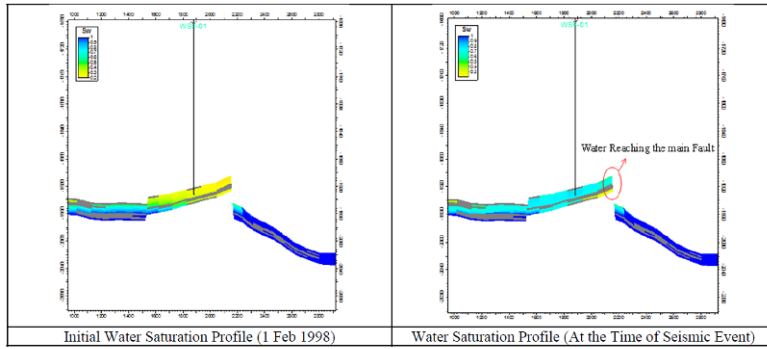
2009 年 11 月 26 日，荷蘭西南部之 Friesland 發生了規模 2.8 之地震，震源深度僅有 2 公里深，由於震源深度過淺，因此被認為並非天然狀態所產生之地震，極有可能是導因於人類活動所造成，而鄰近恰好為 Weststellingwerf 氣田礦區，正有一口探勘井 DHV-01 及注水井 WSF-01，因此，當 DHV-01 在地震後開始生產，經營者即著手進行相關誘發地震的研究。



本研究的目的是為了確認，是否未來天然氣生產及注水會引起如同之前所發生之地震，研究重點包含地震來源、未來是否會因為注水而再次誘發地震及地震規模的量測。需進行之相關研究工作包含(a)震測解釋;(b)地質模式建構;(c)油層模擬模式建構;(d)兩口井之歷史資料擬合以及相關壓力與溫度資料之紀錄;(e)建立 2D 地質應力模式，輸入參數包含地質與構造資料，壓力與溫度資料，並進行應力計算，以便了解鄰近斷層之潛在位移情形。



Weststellingwerf 氣田之壓力變化(1998~2009 地震發生)

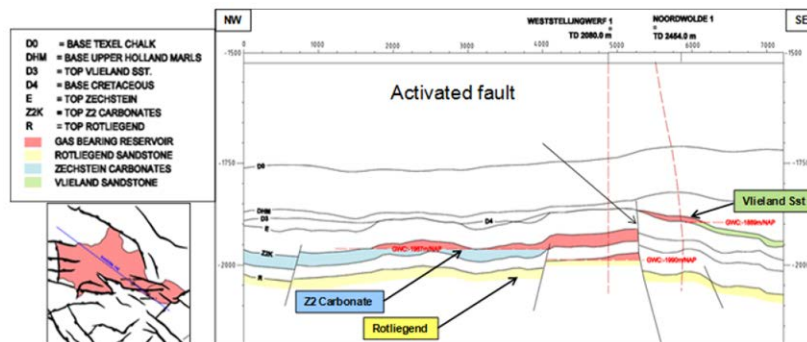


儲層水飽和度剖面(1998 初始生產及 2009 地震後)

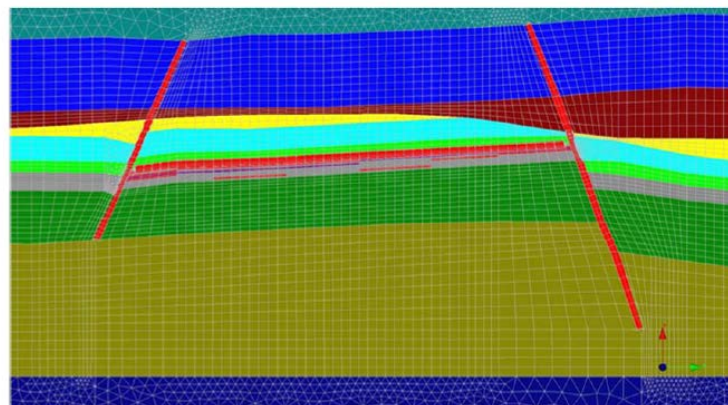
此外，本研究也針對五個可能誘發地震的機制進行試驗，包含(a)鹽體溶解試驗；(b)氣體產出所造成之壓力耗竭；(c)因注水所

導致之壓力再次提升；(d)因注入冷水所導致之熱應力變化行為；(e)因注入冷水會導致化學置換作用，對斷層所造成之弱面研究。

研究結果顯示，地震之發生並非因為斷層面之應力變化所造成，而乃因斷層與注入冷水之接觸面所形成之弱面有關，後續之模擬結果也認為，持續之注水並不會使得上次地震源再次有誘發地震之風險。



礦區南北剖面與 Weststellingwerf 斷層相對位置



數值模擬層面及網格設置

(2) A Day in the Life of a Barrel of Water: Evaluating Total Life Cycle Costs of Hydraulic Fracturing Fluids

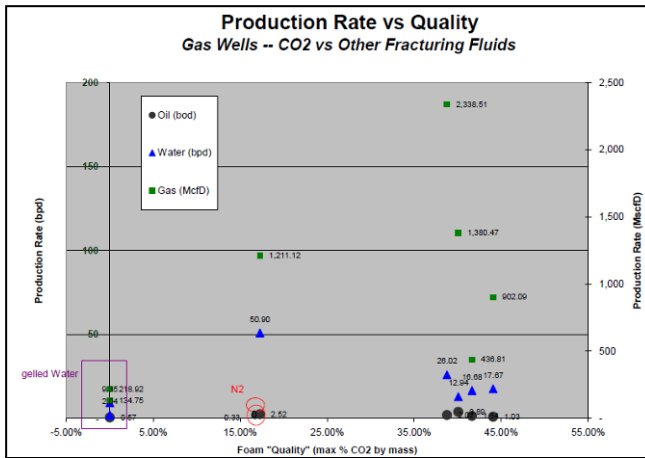
近年來，美國EPA、API及CSSD均針對如何改善油氣探勘工作所造成之水資源管理，提出相當多之建議、法規、執行標準及準則，而如要完整評估液裂所需之液裂流體成本，當然包含水，此時液裂流體購買成本、管理成本及處置成本均需要一併進行檢視。

一般來說，經營者內部可將這些成本分成兩大類，例如分成完井與生產兩階段來看，此時在完井階段液裂流體之購買成本就顯得重要。本研究檢視了液裂流體之總成本，並以單純水基(water-based)及添加激勵溶劑相比較，當液裂流體添加二氧化碳或氮氣之激勵溶劑時，不僅可減少水資源之使用量，也能提升液裂成效。

		Fracturing Fluid Cost Comparison				
					Incremental Water	CO2
		unit	# units	unit costs	total costs	total costs
Acquisition	Water Purchase	bbl	-	\$ -	\$ -	
	CO2 Purchase	ton	-	\$ -		\$ -
Management (post-frac)						
	Storage at Wellhead - Tanks	# incremental tanks	0			
		months	-	\$ -	\$ -	na
	Storage at Wellhead - set up	per tank	hrs	-	\$ -	na
	Storage at Wellhead - Labor	monthly	hrs	-	\$ -	na
Disposal	Injection Wells		bbl	-	\$ -	\$ -
Acquisition, Management (post-frac), & Disposal Cost		TOTAL:			\$ -	\$ -
DELTA cost of water to CO2					\$ -	
		COST/bbl Equivalent	Water	CO2		
		acquisition, management, disposal				

液裂流體之成本比較

本研究透過液裂流體之選擇，進行了單位生產成本之對淨現值之改善分析，當使用水總成本逼近每桶5~10美金時，此時添加激勵溶劑(如



二氧化碳或氮氣)即具有降低水資源消耗及降低單位生產成本之價值，而即便使用水總成本低於每桶5美金，但是當添加激勵溶劑可使產量超過10%以上時，仍是具有添加價值的。

液裂流體混合 CO₂ 對油氣產量之影響

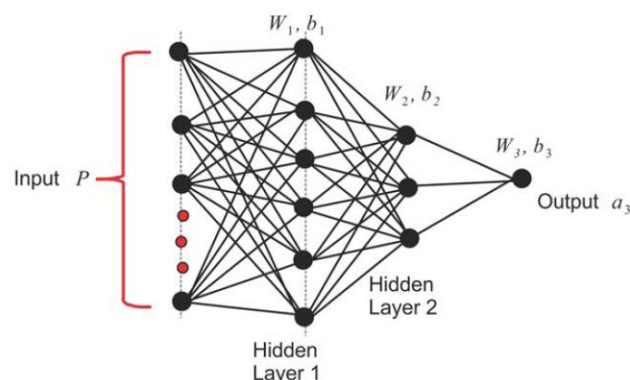
Marcellus 22 stage well	WATER	70 Quality CO2 FOAM	60 Quality N2 FOAM
Volume	110,000 bbl	71,000 bbl	71,000 bbl
Best, Costs	\$17.64 or 18.01 / bbl	\$18.70 / bbl	\$24.58 / bbl
Worse, Costs	\$35.90 or 36.26 / bbl	\$18.70 /bbl	\$24.58 / bbl
Productivity	1	1.1 ++	1.1 ++

不同液裂流體之成本及所需注入量比較

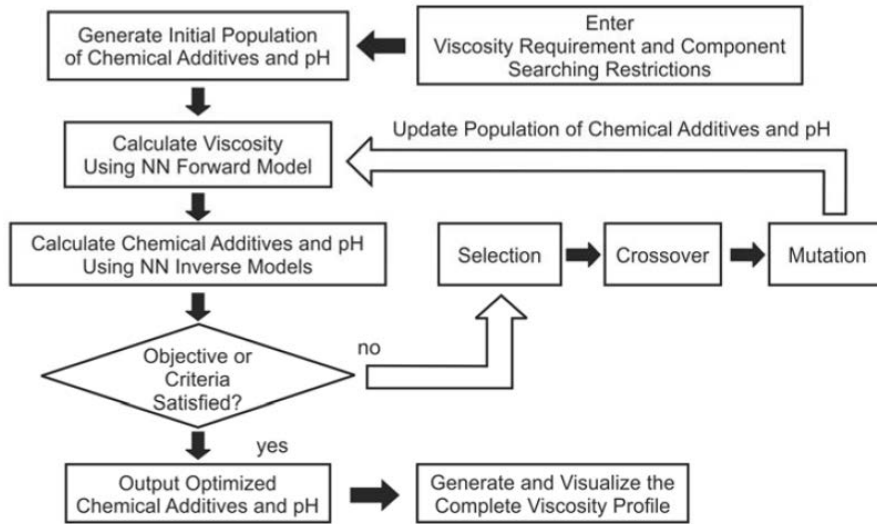
(3) Modeling Viscosity Responses of Fracturing Fluids Formulated from Flowback and Produced Water Using Advanced Cooperative Optimization Algorithms

水資源管理在油氣探勘工業的完井及生產階段，可說是越來越顯得重要，像是許多經營人已經開始使用回流水及伴產水取代新鮮水源來進行液裂操作，這些作為將可減少對新鮮水源的使用量，間接減少完井及生產階段對環境的衝擊。然而，液裂最重要的支撐劑傳輸控制，其所需最重要的液裂流體配方目前都仍是建立在使用新鮮水源的公式底下，因此，一但使用回流水及伴產水取代新鮮水源作為液裂流體時，這些配方公式將不再適用，使得使用回流水及伴產水也更具挑戰。

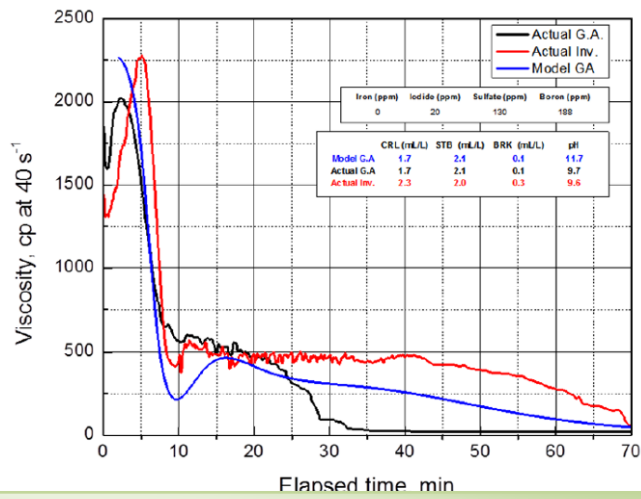
本研究提出一套新的方法，可依據液裂流體之來源水化學組成，決定出所需之最終化學公式組成，藉以調配出所需之液裂流體特定黏滯度，且組成公式可隨不同液裂階段來作調整，本研究所提之新方法乃依據類神經網路來模擬混合後之液裂流體，而研究所獲得之最佳流體公式，將利用多目標基因演算法來進行是否為最佳化學成分組成。本研究之流體模擬結果及實際測試結果，也證明可成功應用在不同的案例上。



液裂流體黏滯度模擬之 Feed-forward 類神經網路架構



液裂流體設計模擬器流程圖



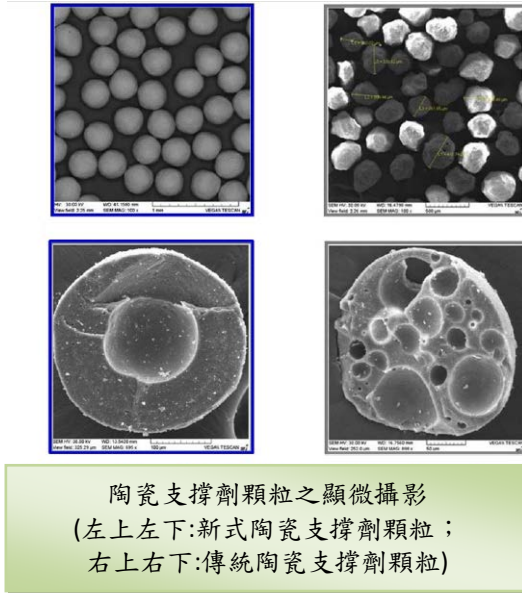
液裂流體黏滯度之模擬預測與實際量測結果

3.3 第三天議程

上午參加之議程內容

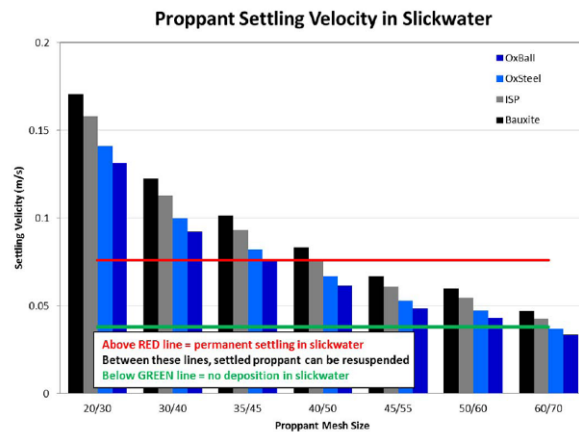
	專題演講題目	Room
1	SPE 166323 Development and Field Testing of Advanced Ceramic Proppants	Room E2
2	SPE 166251 Environmental Stewardship: Global Applications of A Non-Radioactive Method to Identify Proppant Placement and Propped Fracture Height	Room E2
3	SPE 166096 Transport and Distribution of Proppants in Multistage Fractured Horizontal Wells—A CFD Simulation Approach	Room E2
4	SPE 166299 Hydraulic Fracture Design Flaws—Proppant Selection	Room E2

(1) Development and Field Testing of Advanced Ceramic Proppants

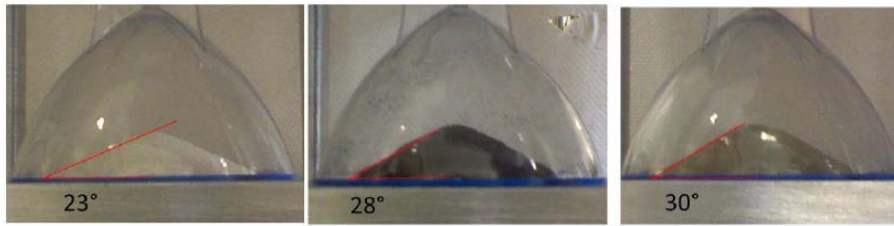


陶瓷支撐劑顆粒一般乃混合氧化鐵來製成，傳統上陶瓷支撐劑顆粒乃採用top-down之製造方式，而新型之製造方式乃採用bottom-up，此方式更堅固且質地更輕之陶瓷顆粒，對於填充孔隙後之孔隙率控制更佳，且顆粒粒徑分布更集中更均勻。

研究結果顯示，採用新式流程製造出來的陶瓷支撐劑顆粒，相較於傳統陶瓷顆粒，將可使滲透率提升高達40%。支撐劑透過滑溜水(slickwater)之傳輸行為主要受控於三種機制，第一為重力沉降(Stokes Law)，第二為沉澱，第三為跳躍(saltation)，本研究之新型陶瓷顆粒，具有低密度之特點，將有助於減緩顆粒之沉降速率，低摩擦力之特性可降低沉澱所形成之砂丘(dune)高度，最終可使支撐劑顆粒能夠傳輸到更深入之裂隙末端。



支撐劑顆粒在滑溜水中之沉降速率



Advanced Ceramic Proppant

- $\theta = 23^\circ$
- Static friction coefficient:
 $\mu = \tan(\theta) = 0.42$

ISP ceramic

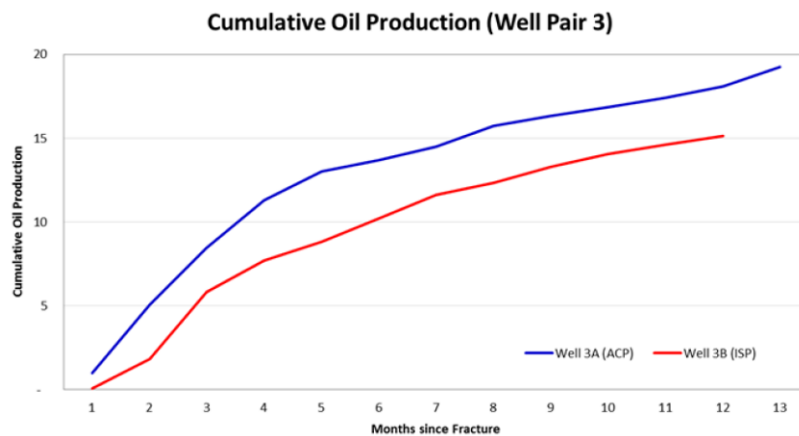
- $\theta = 28^\circ$
- Static friction coefficient:
 $\mu = \tan(\theta) = 0.53$

Resin-coated Sand

- $\theta = 30^\circ$
- Static friction coefficient:
 $\mu = \tan(\theta) = 0.58$

新型陶瓷支撐劑顆粒之摩擦角(摩擦係數)明顯小於傳統陶瓷支撐劑顆粒與樹脂砂

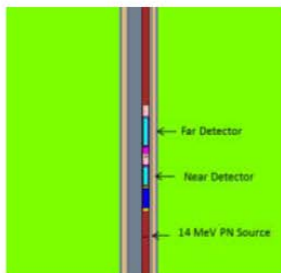
最著名應用本新型陶瓷顆粒的案例在Permian盆地，試驗使用十組對井進行對照，分別將新式及傳統之陶瓷支撐劑顆粒劑注入目標地層，結果顯示新型陶瓷顆粒在同時生產12個月的條件下，比傳統陶瓷顆粒增產20%，後續經濟分析結果也顯示，新型陶瓷顆粒可增加淨現值達25%，所增加之成本也可在3~4個月回收，可說是相當令人振奮之研究結果。本研究顯示，在液裂支撐劑顆粒之研究上，仍是一塊處女地，值得我們進行深入研究。



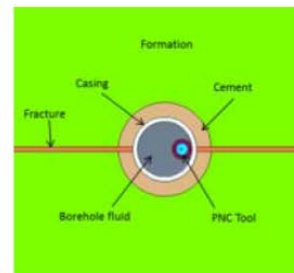
新型陶瓷支撐劑顆粒較傳統陶瓷支撐劑顆粒可增加產量 20%

(2) Environmental Stewardship: Global Applications of A Non-Radioactive Method to Identify Proppant Placement and Propped Fracture Height

在液裂工程上，支撐劑顆粒之傳輸位置描述與井孔周圍之裂隙高度預測，對於評估與最佳化激勵增產策略是相當重要的議題。傳統上對於支撐劑顆粒之傳輸位置定位，乃採用放射性示蹤劑來進行，然而放射性示蹤劑對環境具有相當程度之危害，在法規限制與公眾接受度之影響底下，尋求另一種對環境無害之放射性示蹤劑之替代品，也越來越受到重視，這也正是本研究之研究重點。新型非放射性示蹤劑可利用標準脈衝式中子捕捉或補償式中子電測工具，來加以準確定位出井孔附近之支撐劑顆粒傳輸位置，新定位方法更能準確描述出井孔附近之裂隙高度及裂隙涵蓋範圍，且同時適用在垂直與水平生產井，本研究之新技術已成功應用在世界許多案例，包含俄羅斯、中國、中東、南美洲，以及其他對放射性示蹤劑有使用限制之區域。



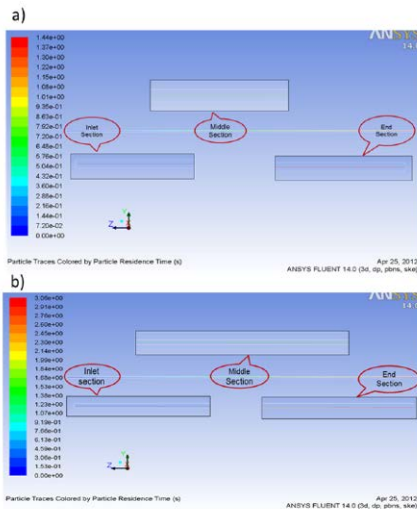
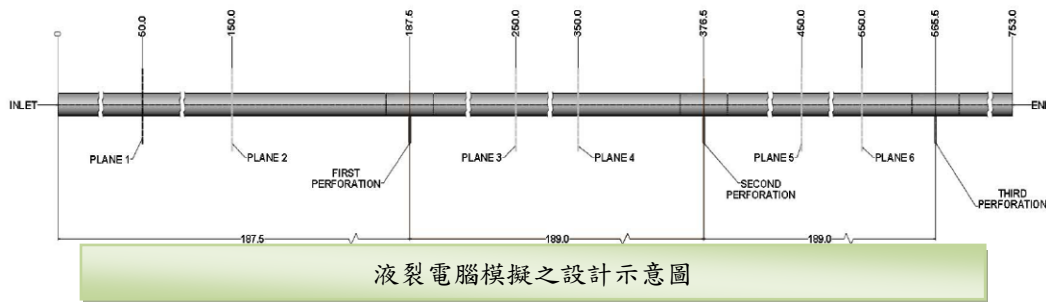
井下幾何構造量測 PNC tool 之側視圖



井下幾何構造量測 PNC tool 之上視圖

(3) Transport and Distribution of Proppants in Multistage Fractured Horizontal Wells—A CFD Simulation Approach

不論是在垂直井或水平井上，多段液裂是目前非傳統能源開採之完井主流方式，穿孔-封塞法(Perf and plug method)，可說是目前最常使用之多段液裂方式，而每一段之液裂目前均採用叢式穿孔方式，一次可鑽穿多組液裂孔洞，然而，如何設計使每一段之液裂叢式穿孔，均能獲得一致之裂隙分布型態，一直是一個極具挑戰的課題。



重力對支撐劑顆粒沉降之影響模擬(a)無重力影響(b)重力影響

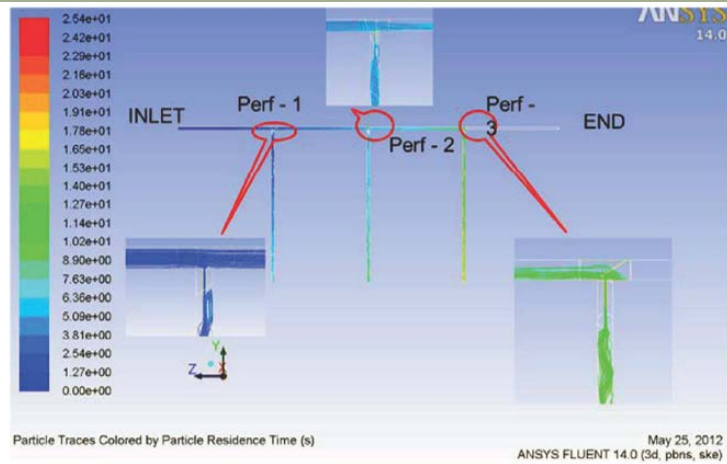
寸及液裂流體流速，進行分析其對支撐劑顆粒傳輸影響，所獲得之模擬結果並將與實驗結果相比對，以證明本方法之適用性。

本研究之結果指出，當支撐劑顆粒之沉降影響、密度驅動機制之流

本研究利用了所謂CFD技術 (computational fluid dynamics techniques)，針對單一段之液裂，進行叢式穿孔設計對於支撐劑顆粒傳輸之影響。本研究並針對不同之液裂流體、支撐劑比重、黏滯度、支撐劑顆粒尺

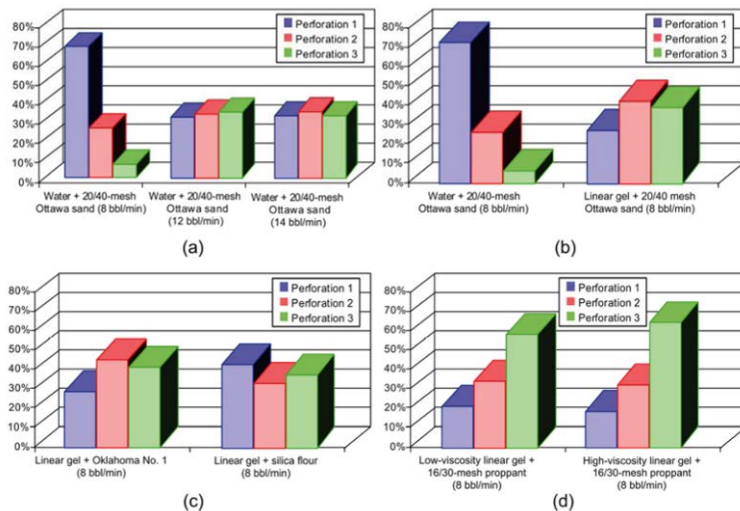
動行為、支撐劑顆粒之流動速率及液裂流體之流變行為均能一併考慮進去時，將能精確地預測支撐劑顆粒之傳輸位置，也驗證了CFD技術確實提供了一個精準預測支撐劑顆粒傳輸位置之另種方法。

案例分析:在 Linear Gel 條件下，三個穿孔之支撐劑顆粒分布均相當一致



Proppant distribution equally in all three perforations

Fig. 4—Linear gel + 100-mesh sand.

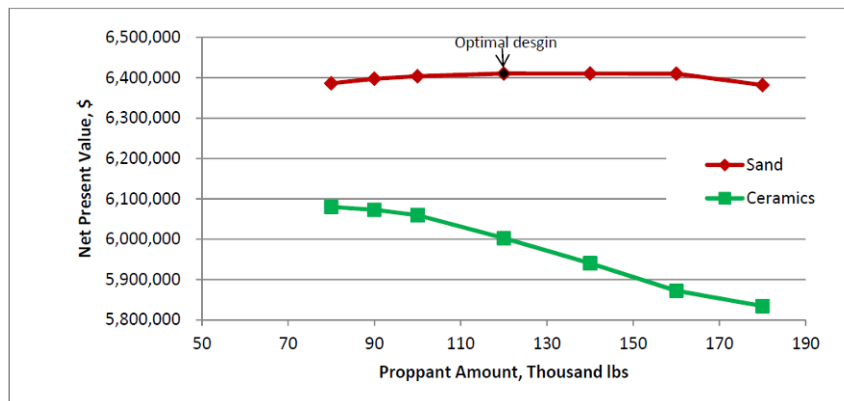


三個穿孔位置之支撐劑分布實驗結果

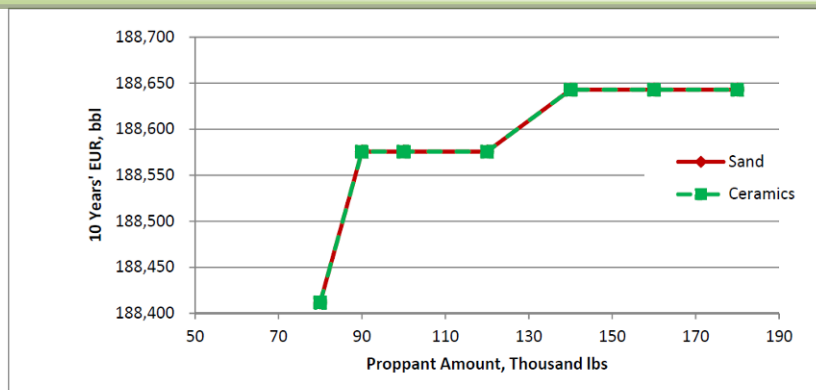
(4) Hydraulic Fracture Design Flaws—Proppant Selection

本研究針對支撐劑顆粒之型式、支撐劑顆粒之尺寸大小及支撐劑顆粒注入量來進行比較分析，並以單井最終可採量EUR及NPV來進行優劣比較。支撐劑顆粒之型式分為天然石英砂及陶瓷顆粒，支撐劑顆粒之尺寸大小則分為20/40及30/50網目(mesh)兩種，研究在不同之支撐劑顆粒注入量情況下，哪種支撐劑型態組合可獲得最佳之EUR及NPV。

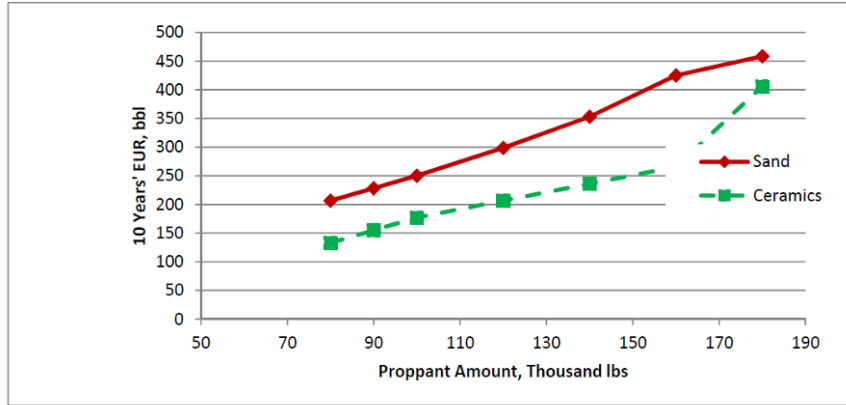
本研究並利用理論方法推估裂隙生成高度，也研究了支撐劑注入量對於裂隙寬度生成之影響，相關研究成果對於後續頁岩油氣在液裂工程施作上，可說是具有重要之參考依據，相當值得參考的一篇研究。



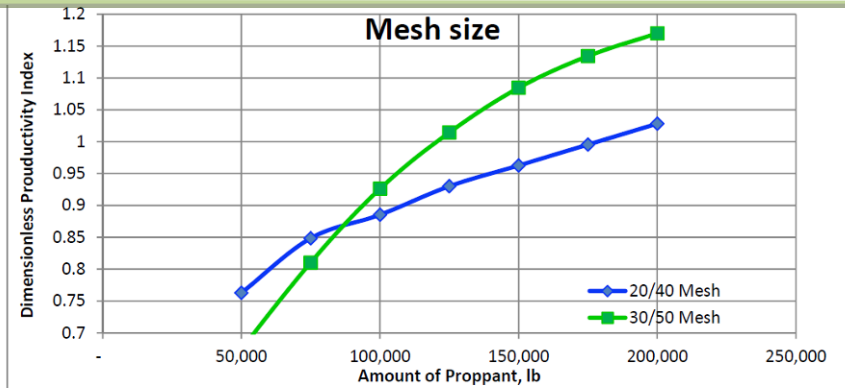
Case 1: NPV 敏感度分析(20/40 目之天然石英砂 vs. 20/40 目之陶瓷顆粒)



Case 1: EUR 敏感度分析(20/40 目之天然石英砂 vs. 20/40 目之陶瓷顆粒)



Case 1: 裂隙半長度之敏感度分析(20/40 目之天然石英砂 vs. 20/40 目之陶瓷顆粒)



Case 2: 產量與支撐劑顆粒粗細之關係

Case 1: NPV 經濟分析相關液裂與支撐劑工程施作成本分析

Natural Sand Scenario					
Fracturing Fluid Cost	0.15	\$/gal	Proppant	0.15	\$/lb
Ceramics Scenario					
Fracturing Fluid Cost	0.2	\$/gal	Proppant	0.6	\$/lb
Common Parameters					
Opex	20	%			
Mob&Demob&Cleanup	100,000	\$	Tax	30	%
Pumping Charge	30,000	\$	Oil Price	90	\$/bbl
Royalties	15	%	Discount Rate	10	%

下午參加之議程內容

本次會議最後一天之下午，進行了廠商展場之參觀，了解石油業界相關領域有哪些公司，各自公司目前之營運主流項目為何，由於廠商眾多，礙於行程無法進行過多之交流，在此列出一些與中油公司合作過或有業務上往來的公司照片供參考。



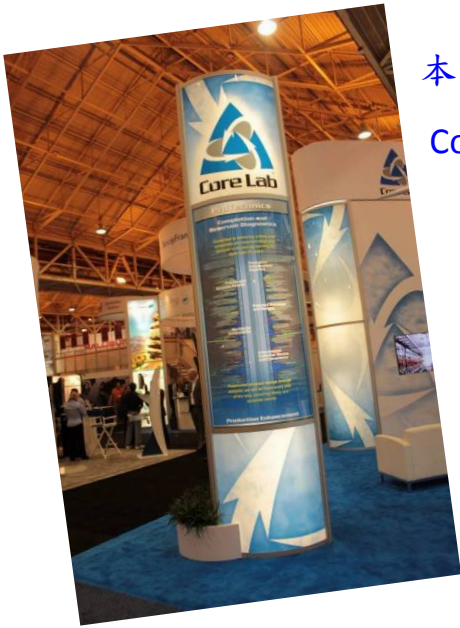
與KAPPA軟體公司陳志成(中)及本所李崇豪博士(左)合影，中油公司向KAPPA公司購買了相關的井測試與監控軟體，每年KAPPA公司也會派員前來進行人員訓練。



本所鑽採組採購了CMG油層模擬軟體，目前廣泛使用在國外礦區之油層模擬，包含傳統及非傳統礦區之模擬均能適用，如油砂、頁岩氣等，國內氣田油層模擬也是應用的一環，如鐵砧山儲氣窖擴大注儲模擬工作等。

探採事業部海域處購買了ROXAR公司之RMS三維地質建模軟體，原先用來建立F構造之複雜地質模型，目前資產已移交至本所鑽採組，以便本組進行鐵砧山儲氣窖地質模式建構使用。





本公司查德礦區所取得之油樣，預計將委託 Core Lab 公司進行PVT試驗。

Schlumberger 公司一直以來深耕台灣，與中油公司保持相當密切之業務往來，舉凡模擬軟體、井下電測委託及工程委託等，均有涵括。Weatherford 也承包本公司諸多鑽井泥漿測錄工作，如出礦坑-146 等。





肆、 建議事項

1. ATCE 屬於大型之國際石油研討會，因此會場同一時間之專題研討室相當多，研討室分別安排在不同講堂(Hall)且不同樓層，建議不要挑選太多不同研討室之專題演講聆聽，因為每個研討室之時間掌控不一，距離也不一，一直更換研討室反而會錯過想聽的專題內容，建議以一兩個研討室為主較恰當。
2. SPE 之 ATCE 年會其實廠商參展是一大重頭戲，現場會展示許多與工程相關之最新軟硬體設備，建議未來可派遣鑽井工程及採油工程之同仁前往參加交流，相信對於未來中油公司鑽井及採油工程會有相當之幫助。
3. ATCE 為石油界每年所舉辦超大型國際研討會，本次有機會參與獲益良多，本次會議仔細觀察三天之議程內容，不難發現八九成以上幾乎都是非傳統能源開發之相關議題，其中生產與開發技術仍為最熱門之主題，反倒是水平鑽井技術並無過多專題，可見水平鑽井技術目前在國外之頁岩油氣與緻密氣層開採，已經是相當成熟之技術，反而是液裂流體與支撐劑研究，目前還是一個發展中的研究領域，也非常受到業界重視。
4. 頁岩油氣之鑽井、完井及液裂操作管理，在本次會議上也是一個重點項目，經濟分析在本次議程也是偶有佳作，多集中在液裂成本之降低議題，反應出頁岩油氣與緻密氣層之開採，如何操作管理與成本控制仍是能否獲利的最大因素。
5. 中油公司近年來積極想參與北美頁岩油氣之探勘機會，乃至於欲開發國內頁岩氣潛能地層，經過本次參與 ATCE 研討會後彙整出幾

個研究方向，可供未來公司研究與培訓相關專業人才作參考。首先：

(1) 「頁岩油氣水平井鑽井、完井及液裂工程之知能與技術研究」

頁岩油氣開採之鑽完井及液裂工程雖然均委由顧問服務公司進行，然而本身對於相關工程知識與技術如能多所了解，才能肩負起監督的角色，更能有效地控管工程進度、施工品質及成本支出。

(2) 「頁岩油氣之流動與生產機制研究」

油層模擬與產能分析對於頁岩油氣之開採佔有舉足輕重的地位，所推估之頁岩油氣可開採量稍有偏差，將會影響到後續之經濟分析結果，直接左右了投資門檻。因此，唯有了解頁岩油氣之流動行為與生產機制，才能更準確地進行頁岩油氣之可開採量預測。

(3) 「液裂流體與支撐劑材料研究」

液裂工程是目前頁岩油氣開發居首之關鍵技術，而液裂流體與支撐劑材料更是左右液裂施工成效優劣的主要兩因素，選擇合適的液裂流體與支撐劑材料，不僅能提高頁岩油氣產能，更能降低過多之成本支出，最重要的更能減少液裂流體滲入地層之中，降低對環境之影響。

(4) 「操作管理與經濟成本分析」

工程操作管理應該是頁岩油氣開發過程裡最為困難的一環，管理團隊除了需具備高度專業知識與經驗外，還需熟稔相關成本項目之控管，對於開發計畫之進程掌握與當地政府之法

令規範了解，也是必要的。

中油公司未來若想朝頁岩油氣這條路前進，相關研究與人員訓練是必須著手開始規劃的，在未來取得相關頁岩油氣礦區之參加機會時，同仁才有足夠之能力去進行資料檢閱與分析，進而縮短評估時程與掌握標單遞送時效性。下面列出幾個研究方向供未來規劃參酌：

研究方向	預期效益
<p>(1) 地層應力模式建立研究</p> <p>(2) 液裂裂縫生成模擬研究</p> <p>(3) 水平井佈井規劃與生產模擬最佳化研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 了解欲液裂地層之應力分布與弱面位置，有助於進行液裂工程前之裂縫生成型態預測，提高液裂成功率與效益。 ● 降低鑽井與液裂成本，並增進油氣產量。
<p>(4) 液裂流體性質及成份研究</p> <p>(5) 支撐劑顆粒材料研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 藉由液裂流體之流動性質研究，配合支撐劑顆粒材料之基礎研究，可了解支撐劑顆粒對於人工裂隙之支撐效果，提高人工裂隙之滲透率，減緩裂隙閉合之程度。
<p>(6) 鑽井、完井及液裂操作管理研究</p> <p>(7) 液裂環保法規研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 藉由操作管理可降低工程操作費用，間接提高獲利。 ● 事先了解欲投資國家對於液裂環保法規之規範與遵循方向，不僅可提供給液裂工程施作參考，也能避免多餘的環境保育與整復支出，降低投資風險。