

出國報告（出國類別：其他(開會)）

非傳統油氣資源探勘、佐證與開發  
實務研討會  
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：黃乙倫 研究員

派赴國家：澳洲

出國期間：106年11月18日至11月23日

報告日期：106年12月11日



## 摘要

為達成提升油氣自給率之長期策略目標，本公司探採部門近年除積極進行國內陸上與海域之既有油氣田探勘與開發外，亦將美國、加拿大、非洲、澳洲與印尼等列為目標區，積極爭取上述地區之併購與合作機會。此外，針對煤層氣、頁岩油氣與緻密油氣等非傳統油氣礦區之評估亦不遺餘力，同時已完成多項油氣資產評估工作，並建立相關評估技術。

本次奉派出國參與「非傳統油氣資源探勘、佐證與開發實務研討會」，此會議為非傳統油氣產業之年度盛會，與會成員係來自各大石油公司、技術服務公司、顧問公司與研究機構等經驗豐富之研究人員與專家學者，於會中發表甜蜜點識別、開發規劃、鑽完井策略、生產實務最佳化與技術發展方向等技術論文，使與會者得以針對各項議題進行研討與交流。透過參與是項會議，和與會者交流及學習，以瞭解非傳統油氣領域之市場動態、技術現況及未來發展方向，有助於激發後續研究工作想法，並期望未來能應用於現場工作中，以精進本公司非傳統油氣資源之評估與開發技術。



## 目次

摘要.....	1
目次.....	2
壹、 目的.....	3
貳、 過程.....	4
參、 具體成效.....	11
肆、 心得及建議.....	20



## 壹、目的

礦區資產評估與油氣田開發規劃係鑽井採油組核心工作之一，近年已協助探採事業部完成多項傳統與非傳統油氣礦區併購案評估。同時，亦完成查德自營礦區之油田開發計畫，並協助 OPIC 非洲公司於今年 7 月順利取得開發許可，邁入開發階段。

基於提升油氣自給率之公司長期策略目標，本公司探採部門除應積極爭取可能的油氣礦區併購與合作機會外，亦須多瞭解油田開發技術發展，因此期望透過參與國際性研討會，多與國外油公司、技術服務公司、顧問公司及研究機構交流，汲取實務經驗，以精進礦區評估與油氣田開發技術。

本次奉派出國參與澳洲非傳統油氣資源研究領域之年度盛會「SPE 非傳統油氣資源探勘、佐證與開發實務研討會」(SPE Workshop: Unconventional Resources - Tools and Practices for Optimal Exploration, Appraisal and Development)，主要目的如下：

- (一) 瞭解非傳統油氣資產市場動態，學習礦區資產評估相關技術，以提升礦區評估技術與調整礦區併購策略。
- (二) 學習非傳統油氣資源開發相關技術與實務經驗，以設法應用於國內類似非傳統油氣礦區(如鳳山)中，以提升國內油氣產量。
- (三) 瞭解非傳統油氣資源之開發規劃與鑽完井設計等相關新穎技術，藉此精進本公司之研發能力。

## 貳、過程

本次出國為期 6 天，詳細出國行程如下表一所示，主要行程係參與非傳統油氣資源探勘、佐證與開發實務研討會，會議為期 2 天(11/20-11/21)，內容涵蓋市場動態交流、研究成果與技術發展方向研討。

表一、出國行程

日期	地點	工作內容
11/18-11/19	台灣-布里斯本	啟程
11/20-11/21	布里斯本	參加「非傳統油氣資源探勘、佐證與開發實務研討會」
11/22-11/23	布里斯本-台灣	返程

非傳統油氣資源探勘、佐證與開發實務研討會係非傳統領域之重要年度盛會，會議今年訂於布里斯本萬豪酒店(Brisbane Marriott Hotel)舉辦，研討範圍包括甜蜜點識別、開發規劃、鑽完井策略、生產實務最佳化與技術發展方向等，參與人員包括來自美國、加拿大、馬來西亞、南韓、澳洲、紐西蘭與台灣等國家之 76 位專家學者、研究員、地質師、地物師與工程師等(圖一與圖二)，會議內容豐富，總計 31 篇研究成果發表，議程如表一至表三所示，主要議題包括：

- (一) 儲集層甜蜜點鑑別、聚焦與開發策略(Strategies to Identify, Target and Develop Reservoir "Sweet-spots")
- (二) 最佳化井位配置(High-Grading Drilling Acreage and Well Targeting)
- (三) 建立目標導向之評估資料需求與工作流程 (Establishing Fit-for-Purpose Data Requirements and Workflows)
- (四) 提升對非傳統油氣層之岩石與流體行為之瞭解(Improving the Understanding of Rock and Fluid Flow Behavior in Unconventional Reservoirs)
- (五) 針對具挑戰性的大地應力情境之鑽完井策略(Drilling and Completion Strategies for Challenging Geomechanical Scenarios)
- (六) 煤層氣最佳生產實務-流體最佳化、人工提舉與固粒控制(Optimising Production Practices - Flow Optimisation, Artificial Lift, and Fines Management - CSG)
- (七) 緻密氣最佳生產實務-流體最佳化、人工提舉與固粒控制(Optimising Production Practices - Flow Optimisation, Artificial Lift, and Fines Management - Tight Gas)
- (八) 基於最佳化井距與經濟性之加密開發(Infill Development based on Optimising Well Interference and Economics)
- (九) 辨識非傳統油氣蘊藏之新技術與機會(Identifying New and Emerging Technologies and Opportunities Relevant to Unconventional Reservoirs)



## ATTENDEE REPRESENTATION

---

**76 participants representing 35 organisations from 7 countries**

### COMPANIES

- Advisian
- Arrow Energy Pty Ltd
- Baker Hughes, a GE Company
- Beach Energy Ltd
- Bazan Consulting Inc
- Bridgeport Energy
- Chi Oil & Gas
- ConocoPhillips
- CPC Corp. Taiwan
- CSIRO
- CSIRO Energy
- Department of Natural Resources & Mines
- Geoscience Australia
- Halliburton
- Haskett Consulting International
- HIS Markit
- Inha University
- Jet Lift Australia
- Kevin Hadfield Oil & Gas Consultants
- LogiCamms
- Oilfield Data Services, Inc
- OptaSense
- Origin Energy
- Queensland Dept Nat Researches/Mines
- Santos
- Santos Ltd.
- Schlumberger
- Shell
- Shell QGC
- TAG Oil Ltd
- The University of Adelaide
- The University of Queensland
- The University of Texas
- The University of Utah
- Tri-Star Petroleum Company
- Weatherford
- WellDog
- WestSide Coporation

### COUNTRIES

- Australia
- Malaysia
- United States
- Canada
- Taiwan
- New Zealand
- South Korea

圖一、與會人員所屬機構與國家



**SPE Workshop:  
“Unconventional Resources – Tools and Practices for Optimal Exploration, Appraisal and Development”  
20 – 21 November 2017  
Brisbane Marriott Hotel, Brisbane, Australia**

圖二、與會人員合影

表一、研究成果簡報

<p><b>Session 1: Welcome and Introduction, Joint Keynote Addresses</b></p>
<p><b>Session 2: Strategies to Identify, Target and Develop Reservoir “Sweet-spots” .</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Can the Pursuit of Sweet Spots and Low Cost Operations Co-exist? Dustin Fife, <a href="#">Westside Corporation</a></li> <li>• What if We Are Wrong? (You Should Expect to Be) William(Bill) Haskett, <a href="#">Haskett Consulting International</a></li> <li>• Sweetspots – Worthwhile or False Hope? Alexander Cote, <a href="#">Origin Energy</a></li> <li>• Introduction to Key Principles of Sweet Spot Determination Ray Johnson Jr, <a href="#">University of Queensland</a></li> </ul>
<p><b>Session 3: High-Grading Drilling Acreage and Well Targeting</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High Grading Unconventional Wells for Long Term Secured Wellhead Assembly: Annulus Erosion Mitigation Kevin Hadfield, <a href="#">Kevin Hadfield Oil &amp; Gas Consultants</a></li> <li>• Integrating Disparate Data Types from Unconventional Plays – a Key to Holistic Understanding David Close, <a href="#">Origin</a></li> <li>• Data Collection Can Lead to “Sweet Spot” Identification: Is There Some Critical Data Required at the Appraisal and Development Phase Sufficient to Mitigate the Risks of Heterogeneity of Unconventional Resources Development? James Walker, <a href="#">WellDog</a></li> </ul>
<p><b>Session 4: Establishing Fit-for-Purpose Data Requirements and Workflows</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CBM Field Data Analysis and Modelling – What Is “Fit For Purpose” ? Mark Burgoyne, <a href="#">Santos</a></li> <li>• Is Conventional Slickwater Treatment Good Enough in Shale Gas Plays with High Tectonic Stresses? Liu Hai, <a href="#">Schlumberger</a></li> <li>• Fit for the Future? Work Flows and Data Collection in the Post – Mega Project Era Nick Lee, <a href="#">QGC / Shell</a></li> <li>• Use of Advanced Reservoir Simulation to Understand Key Production Challenges and Improve Reservoir Performance Ron Dusterhoft, <a href="#">Halliburton</a></li> </ul>

表二、研究成果簡報(續)

<p><b>Session 5: Improving the Understanding of Rock and Fluid Flow Behaviour in Unconventional Reservoirs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nano-scale Flow Modelling <a href="#">Khoa Bui, Texas A&amp;M University</a></li> <li>• Fluid Rock Interaction During Fracturing – Mechanisms, Mitigation and Opportunities <a href="#">John McLennan, University of Utah</a></li> <li>• Production Data Analysis <a href="#">Dilhan Iik, DeGolyer and MacNaughton; Tom Blasingame, Texas A&amp;M University</a></li> </ul>
<p><b>Session 6: Drilling and Completion Strategies for Challenging Geomechanical Scenarios</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydraulic Fracturing Treatment Designs for Walloons Coals <a href="#">Vibhas Pandey, ConocoPhillips</a></li> <li>• Geomechanics in Unconventional Plays <a href="#">Emma Tavener, Santos</a></li> <li>• Hydraulic Fracturing In Naturally Fractured Reservoirs <a href="#">John Olson, University of Texas</a></li> </ul>
<p><b>Session 7: Optimising Production Practices – Flow Optimisation, Artificial Lift, and Fines Management – CSG</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Well Construction and Servicing Costs Are Down. Where Do We Go from Here? <a href="#">Imran Abbasy, Santos</a></li> <li>• Origin’s Journey to Solid Management <a href="#">Bagus Setiadi, Origins</a></li> <li>• New Well Designs Opening Roads to Well Stock Remediation <a href="#">Max Engels, Shell</a></li> </ul>
<p><b>Session 8: Optimising Production Practices – Flow Optimisation, Artificial Lift, and Fines Management – Shale and Tight Gas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The Impact Of Measuring Bottom Hole Pressure on The Economic Sustainability of Unconventional Reservoir Development: Illustration via Case Studies <a href="#">James Walker, WellDog</a></li> <li>• Multi-lateral Technology For Unconventional Reservoirs <a href="#">Brendan Knox, Baker Hughes</a></li> <li>• US Unconventional Developments: Lessons Learned for Australia <a href="#">Simon Chipperfield, Santos</a></li> <li>• The Evolution of Fracture Stimulation Deployment <a href="#">Rair Barraez, Stage Completions</a></li> </ul>

表三、研究成果簡報(續)

<p><b>Session 9: Infill Development based on Optimising Well Interference and Economics</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• What If We' re Wrong? (Field Efficiency) – Optimized Learning with Asymmetric Penalty in Field Development <a href="#">Bill Haskett, Haskett Consulting International</a></li> <li>• Overview – GTI / Laredo Joint Industry Permian Test Site Well Interference Observed in Re-frac and New Well Completion <a href="#">Ron Dusterhoft, Halliburton</a></li> <li>• Considerations for Economic Infilling of CSG Projects <a href="#">Ray Johnson Jr, University of Queensland</a></li> </ul>
<p><b>Session 10: Identifying New and Emerging Technologies and Opportunities Relevant to Unconventional Reservoirs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Computational Modelling of Hydraulic Fracturing Fluids: Implications for Complex Formulations and Fractures <a href="#">Chris Leonardi, University of Queensland</a></li> <li>• Fluid Rock Interaction During Fracturing – Mechanisms, Mitigation and Opportunities <a href="#">John McLennan, University of Utah</a></li> <li>• Distributed Acoustic Sensing (DAS): Accelerating Unconventional Field Development while Saving Millions <a href="#">Tim Morrish, OptaSense</a></li> <li>• New And Emerging Applications for FiberOptic Technologies in Unconventional Reservoirs <a href="#">Ron Dusterhoft, Halliburton</a></li> </ul>
<p><b>Session 11: Workshop Summary and Closing Remarks</b></p>

## 參、具體成效

本次會議之研究成果豐碩，從巨觀的市場概況至微觀的孔隙中地層流體流動行為均有涉略，難以一一詳述，會議所提供之資料與檔案將存放於本所圖書館，供需要的同仁取閱。本報告僅摘錄部分與鑽採工程相關之發表內容與討論重點如下：

### (一) Sweetspots - Worthwhile or False Hope, Alexander Cote

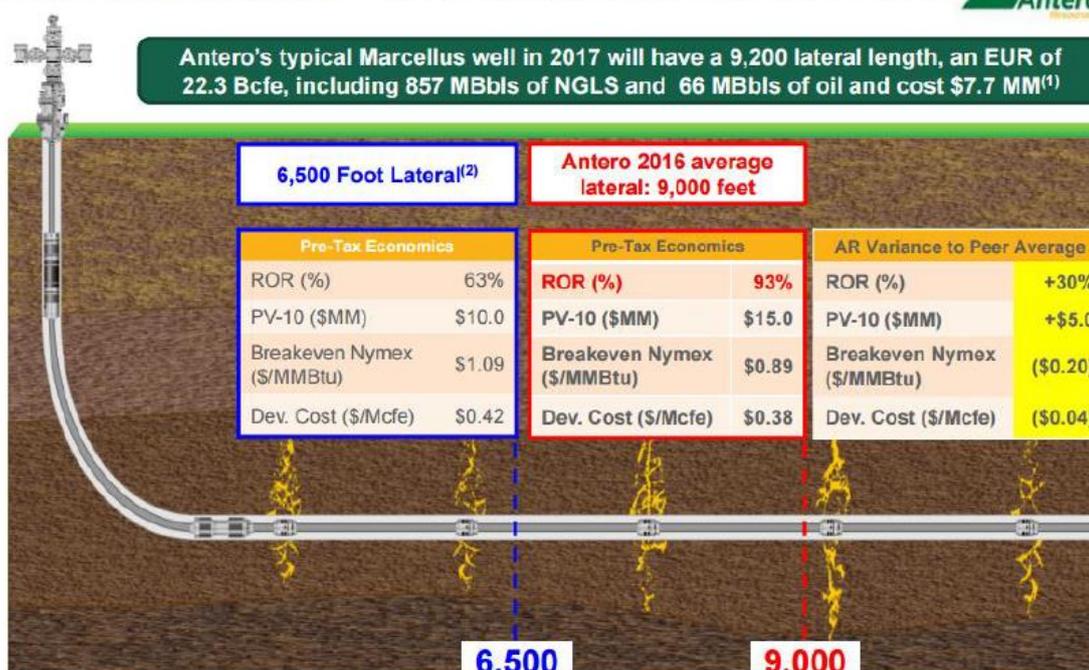
2014 年原油價格的驟降，原先預想會使得當時損益平衡價格(breakeven price)高達每桶80美元之頁岩氣產業退出市場，但由於石油工程師們的努力不懈，使得工程技術不斷提升，開採成本接連下降(表四)，經濟效益亦持續提高(圖三)，美國非傳統油氣產業得以蓬勃發展，各主要產區甚至呈現出鑽井數減少，但新井產量逐年提高的現象(圖四)，此顯示出工程技術的進步足於克服惡劣的市場環境。

一般而言，在非傳統油氣資源領域，甜蜜點被廣泛地定義為可鑽完井、激勵與生產之最多產地點(prolific location)。隨著分析技術的發展，目前已有許多指標可用於判斷儲集層品質(reservoir quality, RQ)，例如煤層氣可參考氣體成分(gas content)、吸附氣量(sorption capacity)、儲氣層流體壓力、等溫吸附特性(adsorption isotherms)、火成岩侵入(igneous intrusions)、割理(cleat)、飽和度及地層滲透率；頁岩氣可參考總有機質含量(total organic content)，鏡煤速反射率(vitrinite reflectance)，可裂性(fracability)。然而，要達到經濟上的成功，除了儲集層品質外，仍需具備先進且良好的完井品質(completion quality, CQ)。再者，非傳統油氣資源開發通常投資金額均相當龐大，十分重視經濟規模(economy of scale)，有質但無量，仍無法形成開發之必要條件，故作者建議探勘的過程中，應找尋的不再只是甜蜜點，而應以甜蜜團(sweet blob)為目標，萬萬不可勉強開發。

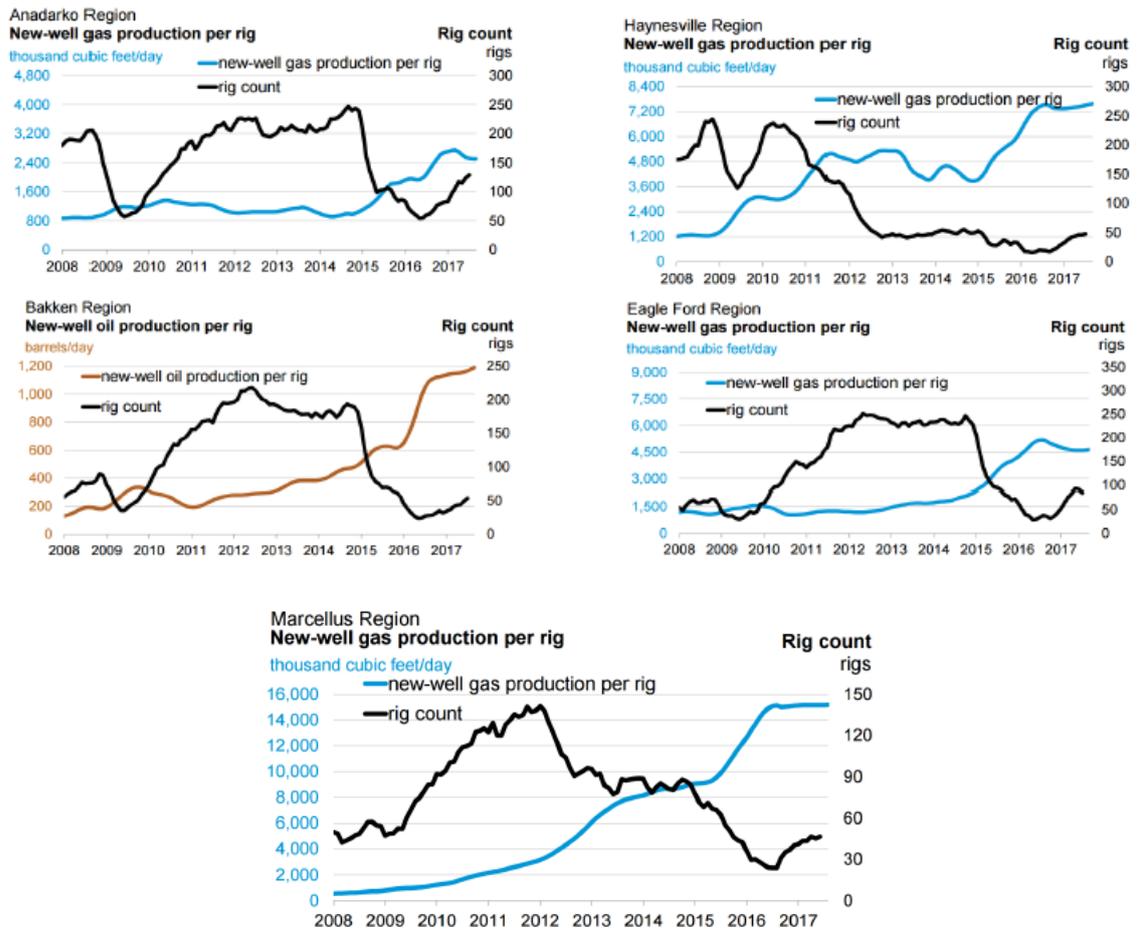
表四、鑽完井費用比較

	2014	2016
Well cost (\$m)	12.3	7.6
Lateral length (ft)	8,052	8,903
Drilling days	29	12
EUR per well (Bcfe)	14.5	22.3
F&D (\$/mcf)	0.88	0.40

**CAPITAL EFFICIENCY – LONGER LATERALS IMPROVE ROR** 



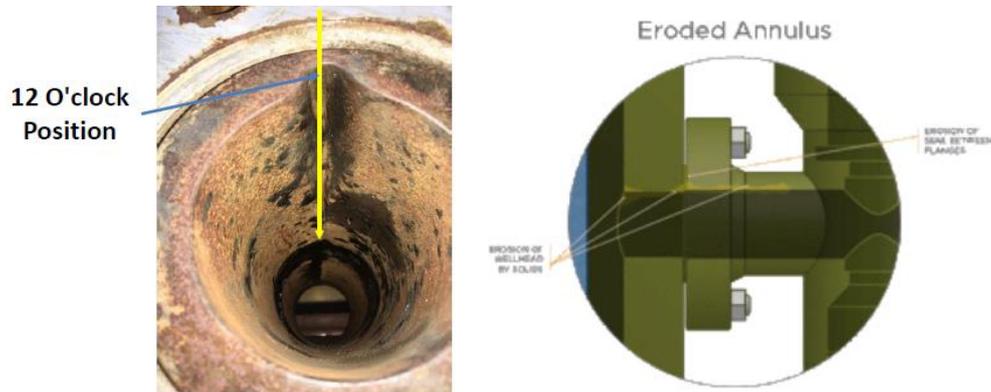
圖二、經濟效益比較



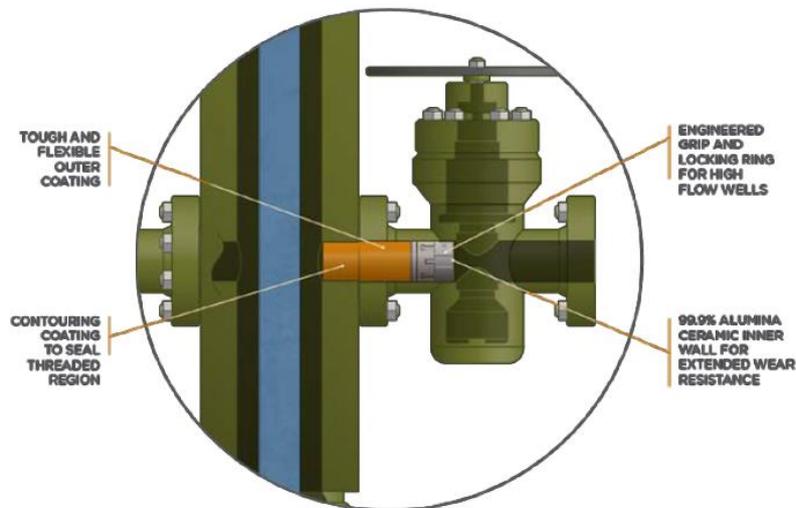
圖三、美國主要非傳統油氣產區鑽井數與新井產量

## (二) High Grading Unconventional Wells For Long Term Secured Wellhead Assembly: Annulus Erosion Mitigation, Kevin Hadfield

煤層氣井生產時，當流體的流速過大且內含固粒(如砂礫、煤、液裂材料)，就容易對井口設備產生磨蝕(erosion)，通常會發生在閥件絲扣的位置(圖四)。此時，若流體又含有腐蝕(corrosion)成分(如二氧化碳或硫化氫)則會加劇侵蝕的狀況，進而造成毀損與穿孔。此現象已讓煤層氣經營人困擾許久，目前普遍的做法是透過修井，更換井口設備，但相當耗時且昂貴。為此，WELLD OG 與 Keli Oil and Gas Holding Pty Ltd 合作開發了 ProSleave 井口設備防護系統(圖五)，此裝置之主要成分為高硬度陶瓷，直接安裝於絲扣處，可有效防止固粒直接衝擊與磨蝕管壁。為說明安裝流程，簡報時有撥放安裝影片，安裝程序相當簡易，約 4-6 小時即可完成。國內注產氣井若有類似問題，可考慮引進此項裝置。



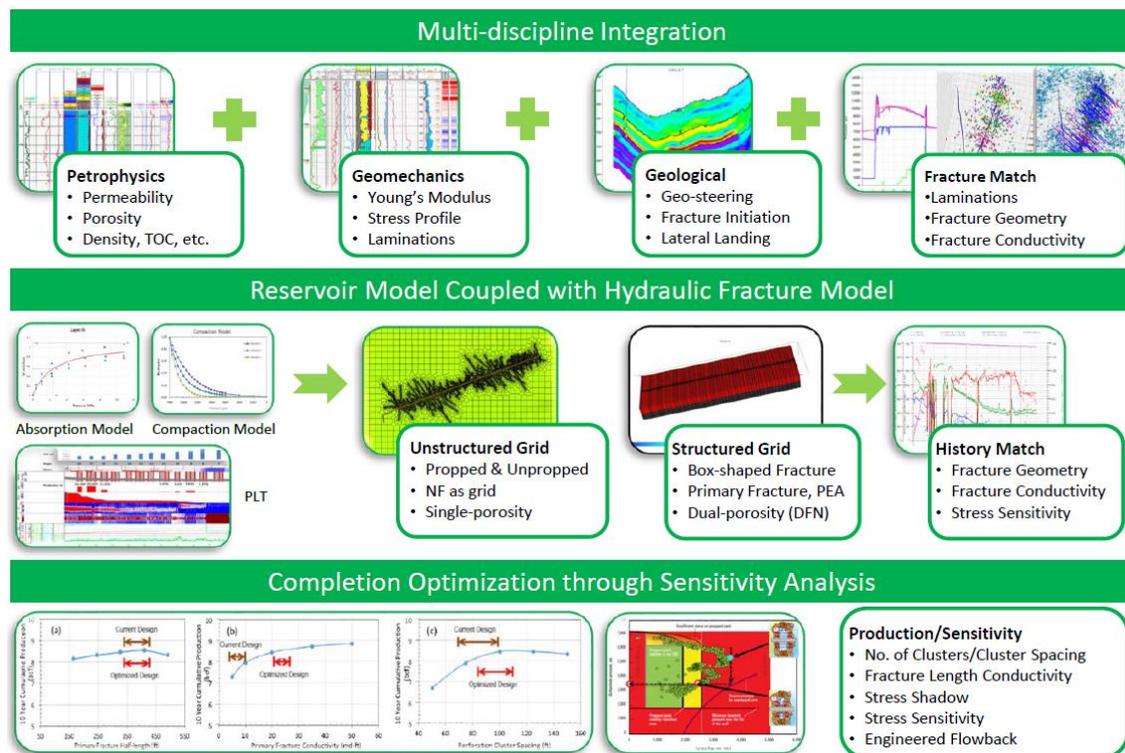
圖四、側翼閥磨蝕



圖五、ProSleave 井口設備防護系統

### (三) Is Conventional Slickwater Treatment Good Enough in Shale Gas Plays with High Tectonic Stresses, Liu Hai (SPE 181106)

滑溜水(slickwater)的低成本且有利於最大化受激勵體積(stimulated reservoir volume, SRV)使得液裂技術發展迅速，並進而促成了美國頁岩氣的成功。然而，美國之地質與應力條件相對單純，反觀其他地區(如中國)通常處於板塊應力環境，地質構造複雜，並常伴隨著發達的天然裂隙，在缺乏整合性生產評估的情形下，許多影響生產能力之液裂設計關鍵參數仍不夠明確。故此研究嘗試建立一套完整的生產評估流程(圖六)，並以四川盆地龍馬溪頁岩氣田為研究案例，從三維地質模式開始，整合岩性、大地應力、地質狀況與裂隙模式，再進行生產資料之歷史擬合，並透過敏感度分析最佳化完井設計。研究結果顯示在高大地應力區域，裂隙傳導率與受激勵體積同等重要，故需重新調整現行的滑溜水配方及支撐劑濃度。



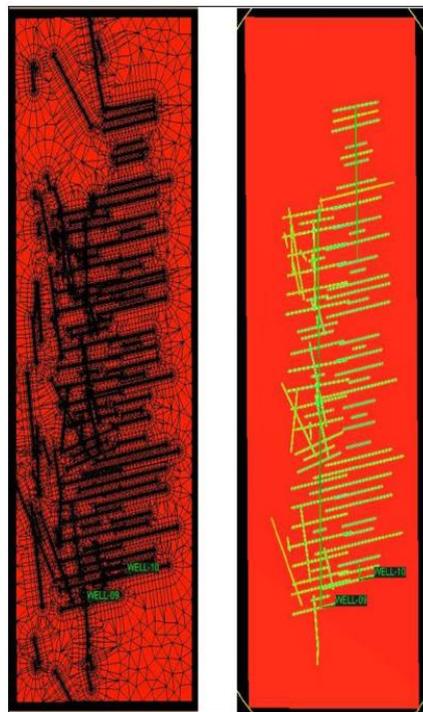
圖六、液裂生產能力評估流程

(四) Application of Micro-Proppant in Liquids-Rich, Unconventional Reservoirs to Improve Well Production: Laboratory Results, Field Results, and Numerical Simulations, Ron Dusterhoft (SPE 177663)

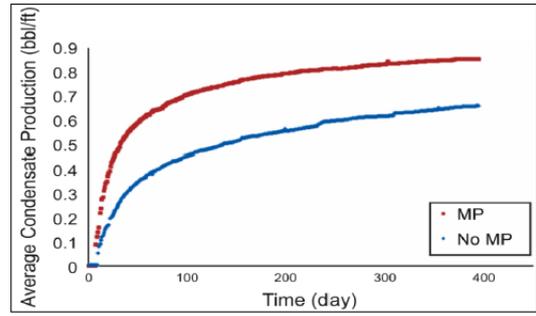
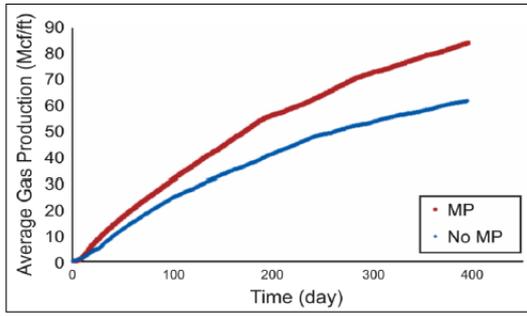
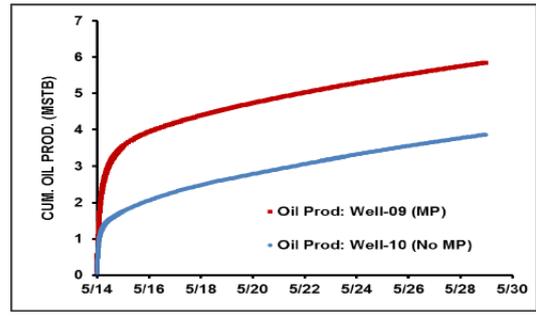
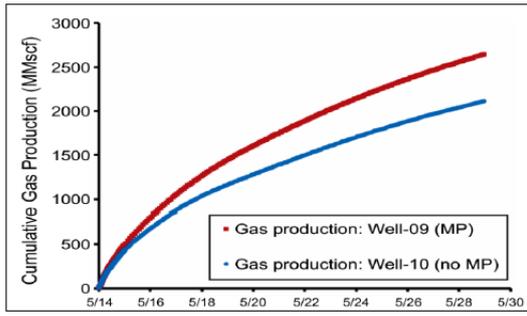
最大化天然裂隙系統與生產井之連通，同時避免損害天然裂隙係最佳化激勵生產之基礎理念，而要更強化激勵生產之效果則有賴以下條件之達成：

1. 連通更多的天然裂隙
2. 增加二級裂隙(secondary fracture)之張裂
3. 提高二級裂隙之數量並確保其能長期張開

前述三項條件中，以第三項最難達成，故此研究即係以其為目標，選定富含凝結油之 Barnett 頁岩氣田為研究標的，嘗試採用微支撐劑(micro-proppant, MP)以增進氣井之生產能力，研究內容包括 MP 設計、現場應用、生產資料擬合及油層模擬。此外，在生產資料的歷史擬合係採用液裂結合天然裂隙複雜度之離散裂隙網路(discrete fracture network, DFN)模擬，藉此分析傳導率的增加如何增進氣井產能(圖七)。研究結果顯示 MP 可有效進入並支撐裂隙，進而提高氣井之生產能力(圖八)；配合歷史擬合之油層模擬可成功說明天然裂隙維持張開對於產能之貢獻。



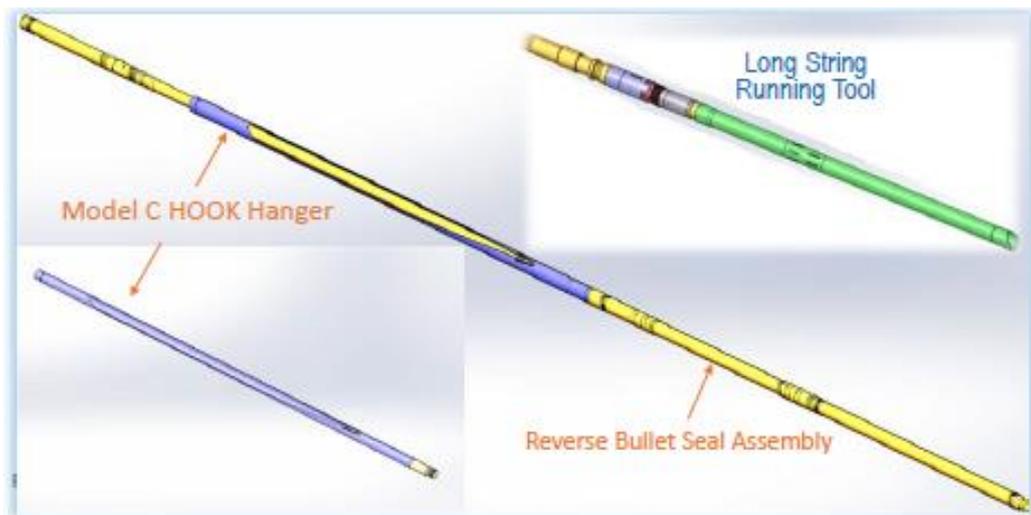
圖七、裂隙網路模型



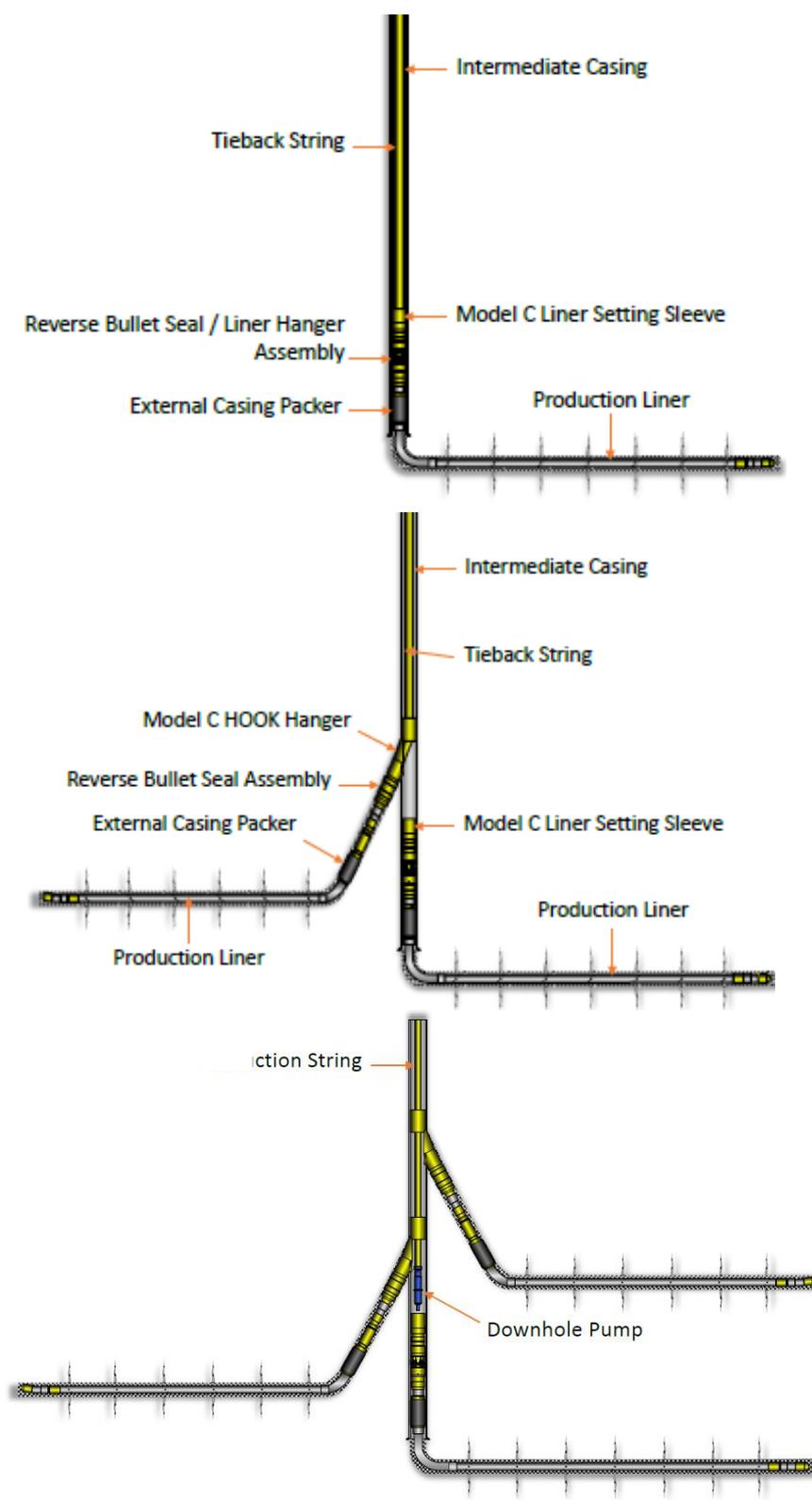
圖八、累積產量與產率比較

(五) Multi-lateral Technology for Unconventional Reservoirs, Brendan Knox

多層次鑽完井技術已廣泛地應用在地表面積受限的鑽井活動中，此技術之優點在於可以單一井孔同時生產多層次以達成快速回收成本之目的。然而，以往的多層次鑽完井技術之設置襯管、下水泥、多階段液裂等工作均須個別完成，需不斷地進行起下鑽，作業時間冗長，再加上鑽機日費高昂，使得成本居高不下，對於已深受低油價之苦的非傳統油氣礦區經營人較不具吸引力。為提高採用前述技術之誘因，Baker Hughes 開發了可於一趟次(single trip)即完成下襯管及水泥、多階段液裂並生產之專用工具(圖九)。其作業程序係在鑽完主要的層次後(下層)，以 Model C HOOK 及 Long String Running Tool (LSRT)下襯管與水泥，並進行液裂。完成後即起鑽，並進行第二層(上層)之套管開窗，接著重複前述程序；第三層之鑽完井程序與第二層相同。最後，下生產管串，同時生產三目標層次(圖十)。



圖九、BHGE Multilateral Multistage Fracturing System



圖十、多層次鑽完井作業程序

## 肆、心得及建議

本次奉派出國參與「非傳統油氣資源探勘、佐證與開發實務研討會」，有機會與非傳統領域之專家學者交流與學習，對於非傳統油氣資源現況及技術發展方向有了更一步的瞭解，確實獲益良多，相關心得與建議如下：

### 一、澳洲辦公室成立，有利於爭取投資機會

澳洲之非傳統油氣資源主要集中於內陸地區，並由東南向西北延伸連成一帶狀區域，相較於發展成熟的美國，其目前仍處於起步階段，CNPC 與 Total 等已陸續投入此區域，而隨著本公司澳洲辦公室的成立，將有利於爭取此區域之合作機會。

### 二、探採活動眾多與資訊公開透明促成美國非傳統產業發展

造就美國非傳統油氣產業發展興盛的主要原因在於其國內油氣探採活動多，基礎建設完善，器材調度便利，且政府要求資訊公開與透明，此有利於企業與學術機構推行相關研究發展工作。

### 三、多參與國外研討會，以激發研究想法

油氣探採在台灣係相對較冷門的產業，每年舉辦的研討會稀少，且通常討論較不熱絡，而為提升公司能見度與激發研究工作想法，建議可多參與國外相關研討會之論文發表。

### 四、研發必須訂定具體商業目標

工作上嘗試新的想法有助於激發創新，但畢竟非學術機構，純粹的好奇心無法為企業創造利潤，故必須訂定具體的商業目標。

### 五、參與 Workshop 有益於腦力激盪與意見交流

Workshop 與 Conference 的差異在於前者較重視與會者的腦力激盪與意見交流，簡報時間通常相當簡短，但討論卻十分熱烈；後者則比較重視研究成果的展現，提問時間較受限制。

### 六、研討會係展現最新技術之最佳舞台

研討會係服務公司展現最新技術的最佳場合，一方面可增加曝光度，延攬客源；另一方面，可透過和與會的專家學者研討與交流，調整與精進是項技術。