

出國報告（出國類別：其他）

## **SPE APOGCE 亞太油氣資源研討會**

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：張國峯 石油開採工程師

派赴國家：澳大利亞

出國期間：107年10月21日至10月27日

報告日期：107年11月15日



## 摘要

本次奉准出國之主要目的為赴澳大利亞布里斯本參加SPE APOGCE亞太油氣資源研討會及其會後附屬訓練課程，藉由參與本研討會可望瞭解亞太地區海域氣田生產技術發展現況與應用成果，並透過與國外專家學者進行技術研討，從中獲得實務經驗。同時蒐集地質力學研究相關資料，有利既有礦區開發規劃之執行，提升研發能量。

研討會同時涵蓋油氣探勘、開發、鑽井、生產、增進採油技術研發與應用，透過參與本研討會，瞭解了部分油氣資源生產開發最新技術發展與應用現況，吸收油氣田技術服務公司的豐富工程實務經驗。攜回超過 150 篇論文在探勘、開發、鑽井、生產與強化採油等最新技術分享供同仁研究參考，以評估新技術應用在本公司國內外礦區上之可行性。

例如流入控制裝置搭配膨脹封隔器於水平井之應用，可有效防止出水問題。天然裂隙發達的 F 構造礦區及國內許多舊礦區同樣面臨了嚴重的出水問題，採用此一裝置或可有效延長生產井壽命。藉由水平井搭配液裂工程，使得已生產數十年的老油田重獲新生，而國內同樣有位於緻密層的錦水礦區待重新開發，此一舊礦區評估流程值得借鑑。澳洲依序思氣田因其高產量面臨出砂磨蝕問題，因而採用新技術陶瓷篩管作為防砂工具，其所進行之一系列測試及評估，增進我們對依序思氣田完井設計之了解，有助於技術委員會議上發言提問。以上新技術可應用於 F 構造及其鄰近區域、及其他國內、外油氣礦區，期望解決礦區生產所遭遇的問題，或增進目前油氣礦區的生產量，降低生產成本並提高採收率，提升本公司在相關領域之應用技術。

非傳統資源的快速發展，急劇地提升了油氣產量。在美國有 90%的新鑽井為水平井或液裂井，在亞洲及非洲亦有超過 50%的新鑽井為非傳統井，液裂增產工程在全世界皆已被認定為發展成熟的技術。咸認為台灣中油公司若欲自身想投入頁岩氣或緻密氣之開發，可透過與技術服務公司合作，從中汲取經驗以快速切入此技術之核心，除此之外更要在探勘研究上精密規劃，擴大專業人員，引進新設備，並於非傳統能源生產及鑽井開發研究領域上應更增加深度及廣度。

## 目次

摘要.....	1
目次.....	2
壹、 目的.....	3
貳、 過程.....	4
參、 具體成效.....	9
肆、 心得及建議 .....	25

## 壹、目的

本公司近年來投資與開發國內外新礦區，其中澳大利亞依序思（Ichthys）氣田與普陸（Prelude）氣田已成功進入生產階段，為提高自產油氣比例為公司帶來實質貢獻。公司近期亦積極檢視國內既有老氣田以新觀念新技術重新開發之可行性。在檢視這些已停止生產或開發計畫處於擱置階段之礦區時，發現部分礦區並非油氣已枯竭，而是於生產過程遭遇較為棘手的工程問題。例如錦水礦區產層較緻密，須以高角度定向井或水平井增加單井排掃範圍，深部產層開發亦須克服鑽井時地層穩定性問題；或是南部礦區高細粒含量泥質砂岩面臨之出砂問題，這些工程問題皆與地質力學有著高度相關性。

本計畫為「參加歐美區 SPE 年會或油氣生產技術相關研討會議」。為了更深入取得澳大利亞依序思、普陸氣田相關資訊，以利於參與礦區技術委員會議，以及了解海域礦區開發過程遭遇之問題與相應之處理技術工法應用；同時亦可在計畫預算額度內研習地質力學訓練課程，因此選定參加澳洲布里斯本舉辦之「SPE APOGCE 亞太油氣資源研討會」。

透過參與本研討會，可瞭解油氣資源生產開發最新技術發展與應用現況，並吸收油氣田技術服務公司的豐富工程實務經驗及蒐集世界各國在探勘、開發、鑽井、生產與強化採油等最新技術，並將此技術嘗試應用於 F 構造及其鄰近區域、及其他國內、外石油或天然氣礦區，期望解決礦區生產所遭遇的問題或是增進目前油氣生產礦區的生產量，以降低生產成本並提高採收率，提升本公司在相關領域之應用技術。

透過參與會後地質力學訓練課程，學習建構一維大地力學模型所需的基本數據，岩石測試規劃，地質力學研究，模型校準以及在傳統與非傳統油層中定向、水平鑽井和液裂工程的應用，以精進本公司之開發技術。另外，與具實務經驗之專家學者研討公司目前所面臨的開發技術問題，以研擬具體解決方案，藉此提升本公司技術層級。

## 貳、過程

本次出國任務為期七天，主要行程為參加 10/23 至 10/25 於澳洲布里斯本國際會議廳舉辦之「SPE APOGCE 亞太油氣資源研討會」，以及參加 10/26 同樣由 SPE 舉辦之「地質力學-於傳統與非傳統油氣資源之運用」訓練課程。詳細出國行程如表 1 所示。

表 1 出國行程表

預定起迄日期	天數	到達地點	詳細工作內容
107.10.21 (日) ~ 107.10.22 (一)	2	台北-澳洲布 里斯本	出國啟程
107.10.23 (二) ~ 107.10.25 (四)	3	澳洲 布里斯本	參加 SPE APOGCE 亞太油氣 資源研討會
107.10.26 (五)	1	澳洲 布里斯本	參加地質力學訓練課程
107.10.27 (六)	1	澳洲布里斯 本-台北	出國返程
合計	7 天		

## 一、APOGCE亞太油氣資源研討會簡介

石油工程師協會（Society of Petroleum Engineers, SPE）成立於 1957 年，目前在全球 144 個國家共擁有超過 16 萬名會員，其成員涵蓋工程師、科學家、石油公司經理和教育工作者。其使命為收集、傳播與交流有關勘探、開發、生產油氣資源及其相關技術與知識，提供專業人員強化技術和專業能力的機會。SPE 的技術資料庫擁有超過 50,000 篇技術論文，其舉辦會議文章及期刊之出版品亦能提供給石油產業作為參考。

本次油氣資源研討會主題為『向傳統挑戰』。隨著油價起伏劇烈變化，能源公司需要在適應新的環境保護規則與公眾壓力下，提供低碳且使得民眾負擔得起的能源。面對此一矛盾的挑戰，2018 年 APOGCE 亞太油氣資源研討會為與會成員展現優良成效案例，提供成功創新經驗，並促進參與者之間的協同合作與知識共享。會議中呈現一系列高品質的主題演講和小組討論，涵蓋廣泛挑戰傳統的主題，包括煤層氣，數據分析，人工智慧發展，資產完整性管理等等。

本會議議程共包含 29 個主題，分布在一間專題討論會議室及三間技術發表會議室，另設有一間主展場。同時段最多會有四篇主題進行發表及討論。每個時段的主題結束後及中午時段會有各 30 分鐘的電子壁報發表展示。本次會議議程如表二。

表二 研討會議程

<b>Tuesday, October 23</b>	<b>Schedule</b>
09:00 - 09:45	<b>01 Opening Session and Keynote Session</b> (開幕式及主題演講)
09:45 - 10:15	<b>02 Keynote Session</b>
10:45 - 12:15	<b>EP01 Executive Plenary Session:</b> <b>Challenge the Conventional</b> (開幕演說:挑戰傳統)
13:30 - 14:00	<b>00 ePoster</b>
14:00 - 15:30	<b>PS01 Panel Session 01:</b> <b>The Impact of Public Perception of Oil and Gas Industry on Development Decisions</b> (民眾意識對石油業發展決策之影響)
14:00 - 15:30	<b>TS01 Technical Session 01:</b> <b>Maximizing Opportunity through Integrated Data Analysis</b> (透過整合資料分析提升成功率)

14:00 - 15:30	<b>TS02 Technical Session 02:</b> Cementing and Drilling Fluids (水泥及鑽井液)
14:00 - 15:30	<b>TS03 Technical Session 03:</b> Modeling: Unconventional (非傳統油氣層數值模擬)
16:00 - 17:30	<b>PS02 Panel Session 02:</b> Making Low Permeability Reservoirs Work
16:00 - 17:30	<b>TS04 Technical Session 04:</b> EOR/Nanoparticle and Polymers (強化採油/奈米粒子及聚合物)
16:00 - 17:30	<b>TS05 Technical Session 05:</b> Sustainability, HSE and Well Integrity (環境永續發展)
16:00 - 17:30	<b>TS06 Technical Session 06:</b> Value Creation through Better Decision Making (透過良好決策以創造價值)
<b>Wednesday, October 24</b>	<b>Schedule</b>
09:00 - 15:00	Teacher's Day
09:00 - 17:00	SPE Asia Pacific Regional Student Paper Contest
09:00 - 10:30	<b>PS03 Panel Session 03:</b> Big Crew Change-Learning from the Past, Driving Future Success
09:00 - 10:30	<b>TS07 Technical Session 07:</b> Shale, Deep, Coal, Tight Gas Evaluation and Case Studies (頁岩、深層、煤層、緻密氣層評估及案例分析)
09:00 - 10:30	<b>TS08 Technical Session 08:</b> Improved Oil Recovery: Water Flooding (增進油採收率:水沖排)
09:00 - 10:30	<b>TS09 Technical Session 09:</b> Sand Control (防砂工程)
11:00 - 12:30	<b>TS10 Technical Session 10:</b> Geomechanics and Integrated Workflows (地質力學及工作流程整合)
11:00 - 12:30	<b>TS11 Technical Session 11:</b> Well Testing and SCAL (地層測驗及 SCAL)
11:00 - 12:30	<b>TS12 Technical Session 12:</b> Integrated Field Evaluation (油氣田評估整合)
14:00 - 15:30	<b>PS05 Panel Session 05:</b> R&D in Current Industry Scenario
14:00 - 15:30	<b>TS13 Technical Session 13:</b> Enhanced Oil Recovery (EOR) (強化採油)
14:00 - 15:30	<b>TS14 Technical Session 14:</b>

	Stimulation 1:Hydraulic Fracturing (激勵生產:液裂)
14:00 – 15:30	TS15 Technical Session 15: Emerging Drilling Technologies 1:Using Data Effectively (新興鑽井技術:數據使用有效化)
16:00 – 17:30	PS06 Panel Session 06: CSG Production: Past, Present and Future
16:00 – 17:30	TS16 Technical Session 16: Advance Information Analysis/Artificial Intelligence (預先信息分析/人工智能)
16:00 – 17:30	TS17 Technical Session 17: Modeling : Conventional (傳統油氣層數值模擬)
16:00 – 17:30	TS18 Technical Session 18: Performance Excellence
<b>Thursday, October 25</b>	<b>Schedule</b>
09:00 - 15:00	Education Day
09:00 – 10:30	TS19 Technical Session 19:Charaterising Coal Seam Gas Reservoirs (特徵煤層氣)
09:00 – 10:30	TS20 Technical Session 20:Production Conformance and Water Flooding Technologies (生產一致性及水沖排技術)
09:00 – 10:30	TS21 Technical Session 21:Case Studies :Drilling and Completion (案例分析:鑽井及完井)
09:00 – 10:30	TS22 Technical Session 22:Advances in Optimisation
11:00 – 12:30	PS07 Panel Session 07:Delivering on Long Term Value
11:00 – 12:30	TS23 Technical Session 23:CSG and Deep Bowen Basin Drilling (煤層氣及盆地鑽井)
11:00 – 12:30	TS24 Technical Session 24:Emerging Production Technologies (新興生產技術)
11:00 – 12:30	TS25 Technical Session 25:Artificial Lift (人工舉升)
14:00 – 15:30	TS26 Technical Session 26:Production Technology: CSG (生產技術: 煤層氣)
14:00 – 15:30	TS27 Technical Session 27:Emerging Drilling Technologies 2 :New Tools and Methods (新興鑽井技術:工具與方法)
14:00 – 15:30	TS28 Technical Session 28:Stimulation 2 :Acidising (激勵生產:酸處理)
14:00 – 15:30	TS29 Technical Session 29:Logging, Fluids, Capillar Pressure (測井、流體及毛細壓力)

## 二、會後附屬訓練課程介紹

本次附屬訓練課程題目為「地質力學於傳統及非傳統資源之應用」，地質力學在開發傳統與非傳統資源（如煤層氣與頁岩氣）方面發揮越來越重要的作用。參與本課程可了解地質力學的基本原理及其在傳統與非傳統油層中的應用，有助於油氣田開發決策。課程中將學習建構一維地質力學模型所需的基本數據，岩石測試規劃，地質力學研究，模型校準以及在傳統與非傳統油層中鑽井和液裂工程的應用。

訓練課程綱要：

1. 建構地質力學模型之基礎資訊
2. 岩心試驗與均向、非均向性岩心選擇
3. 孔隙壓力
4. 大地應力與應力方向
5. 非均向性參數與聲波測井
6. 一維地質力學模型實作
7. 三維地質力學模型展示
8. 地質力學應用案例

## 參、具體成效

### 一、論文簡介

本次研討會主題及發表論文眾多，以下節錄數篇與本次出國計畫相關性較高之論文依序進行簡介。

1. SPE-191941-MS 介紹了流入控制裝置搭配膨脹封隔器於水平井上之應用，可有效防止堵水問題。天然裂隙發達的 F 構造礦區及國內許多舊礦區同樣面臨了嚴重的出水問題。採用此一裝置或可有效延長生產井壽命，值得參考。
2. SPE-192047-MS 說明如何藉由水平井搭配液裂工程，使已生產數十年的老油田重獲新生。國內同樣有位於緻密層的錦水礦區待重新開發，本文對於舊礦區之評估流程或值得借鑑。
3. SPE-191961-MS 介紹了對於高二氧化碳含量之海域碳酸鹽氣田，將二氧化碳回注鹽水層中進行封存並提供產層壓力支撐之技術研討，國內雖不具備此一類型礦區，但仍可作為二氧化碳捕捉與封存之技術參考。
4. SPE-192047-MS 說明澳洲依序思氣田因其高產量面臨出砂磨蝕問題，因而尋求新技術採用陶瓷篩管作為防砂工具。文中詳盡地描述對陶瓷篩管所進行之測試及評估，增進吾人對依序思氣田完井設計之了解。

以下分別對四篇論文進行詳細說明。

### 二、SPE-191941-MS

**Use of Passive ICD and Swellable Packer for Successful Horizontal Well Completion in Unconsolidated Sand Stone Reservoir to Eliminate Sand Breakthrough Problem Having Active Aquifer Drive: A Detailed Case Study in Assam-Arakan Basin**

水平井由於增加了與油氣層的接觸面積因而可有效的提升產量，然而也面臨了與傳統井不同的挑戰。包括防止水侵阻斷生產油管、平衡長水平井前端與後端可能產生的逆壓差、降低流體環孔流動及減少油管滯留效應以提高採收率，為目前水平井生產時面臨最大的挑戰。

本文作者認為應對以上生產問題，採用流入控制裝置（Inflow Control Device, ICD）搭配膨脹封隔器（Swellable Packer）進行完井，乃是目前最具可行性的前瞻應用。在本文的案例介紹中，於未固結砂岩地層中的長水平段採用被動式流入控制裝置（Passive Inflow Control Device）搭配膨脹封隔器有助於緩解水侵、降低產水量和出砂量。當長水平井某一段遭遇水侵時，被動式 ICD 可阻斷水使其無法流入井孔，如此，未受水侵影響的生產區段便可持續生產，不因井孔積水導致後端無法繼續生產。

ICD 的原理基於白努利定律，當黏度不均勻的流體通過 ICD 上的噴嘴欲進入油管時，低黏度高流速流體（在此例中為水）會產生較高的回壓而被引流至特殊設計的排水孔中，使而得低流速流體（此指油）流入的比例高於流經一般篩管的油水比例。當油與水的流動性差異越大時，ICD 降低水流動性的效果會更加明顯。圖 1 為流入控制裝置表面安裝噴嘴的孔洞及外蓋，圖 2 為不同尺寸的噴嘴。



圖 1 流入控制裝置表面安裝噴嘴的孔洞及外蓋



圖 2 不同尺寸的噴嘴

ICD 上的噴嘴需針對不同的流體流速採用不同的尺寸及數量，因此規劃採用流入控制裝置完井時需考量各井段的地層孔隙率、滲透率、含水飽和度、內外壓差及流體 PVT 性質。針對各井段採用相對應的噴嘴設計，並以膨脹封隔器加以分

隔。本文案例中採用之 ICD 完井設計如圖 3 及圖 3.1 所示，在前段 (F6-F9) 採用 14 個 4mm 的噴嘴；中段 (F10-F12) 採用 8 個 4mm 的噴嘴及 6 個 2.5mm 的噴嘴；後段 (F11-F15) 採用 28 個 4mm 的噴嘴。

Item	Description
<b>ICD Schematic</b>	
F1	RR 7 X 4.000 QUANTUM (26-29), 4130/4140 (80), NITRILE (90), 4.500-4 LH SQUARE BOX X 5.00 (18) VAM TOP BOX
F2	Mill-Out Extension
F3	RR 7 LBFV, 2250 PSI, 4130 (110), 4-1/2 (15.1) LTC BOX X 4-1/2 (15.1) STC PIN
F4	Crossover: 4.5 LTC Box X 4.00 9.5 NUE Pin
F5	4.00" 9.5 PPF NUE Blank Pipe Full Joint
F9	4.0" ICD: 434 SS Mesh, Mild Steel Shroud Premium Screen.
F9	Swell Packer with 10ft Blank Pup
F6	4.0" ICD: 434 SS Mesh, Mild Steel Shroud Premium Screen
F7	Swell Packer with 10ft Blank Pup & swell packers
F8	4.0" ICD: 434 SS Mesh, Mild Steel Shroud Premium Screen
F9	Swell Packer with 10ft Blank Pup & swell packers
F12	4.0" ICD: 434 SS Mesh, Mild Steel Shroud Premium Screen
F10	Swell Packer with 10ft Blank Pup
F11	4.0" ICD: 434 SS Mesh, Mild Steel Shroud Premium Screen
F12	Swell Packer with 10ft Blank Pup
F13	4.0" ICD: 434 SS Mesh, Mild Steel Shroud Premium Screen
F14	Swell Packer with 10ft Blank Pup
F15	4.0" ICD: 434 SS Mesh, Mild Steel Shroud Premium Screen
F7	4.00" 9.5 PPF NUE Blank Pipe Full Joint Qty 01
F16	O-Ring Seal Sub
F17	Spacer Blank Pipe Pup Joint: 1 joint
F18	DUAL VALVE FLOAT SHOE

圖 3 流入控制裝置完井設計

比較採用 ICD 完井與採用一般篩管完井的生產剖面，圖 4 顯示 Assam-Arakan 礦區採用 ICD 完井的六口水平井出水量的變化；圖 5 則是同產層採用一般篩管完井的四口水平井出水量的變化。儘管 ICD 完井的井相對較年輕，但仍可看出產水趨勢具有明顯的差異。採用一般篩管完井的井約在第二年末或第三年初已開始產水，ICD 完井則仍可保持生產初期的低產水量。

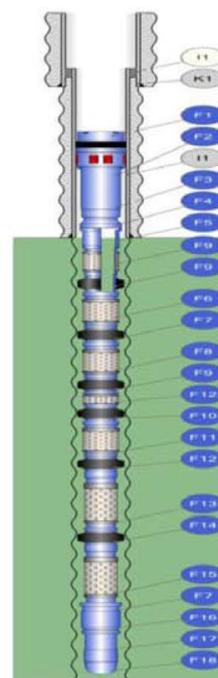


圖 3.1 流入控制裝置完井設計

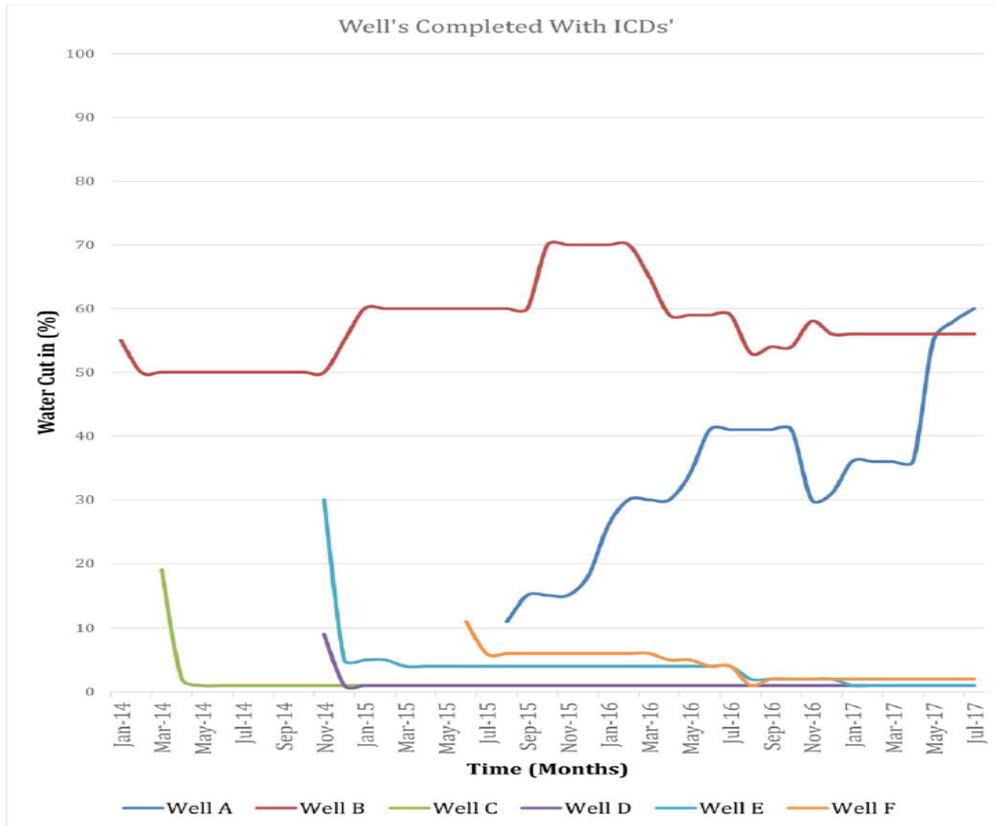


圖 4 採用 ICD 完井之水平井含水量生產剖面

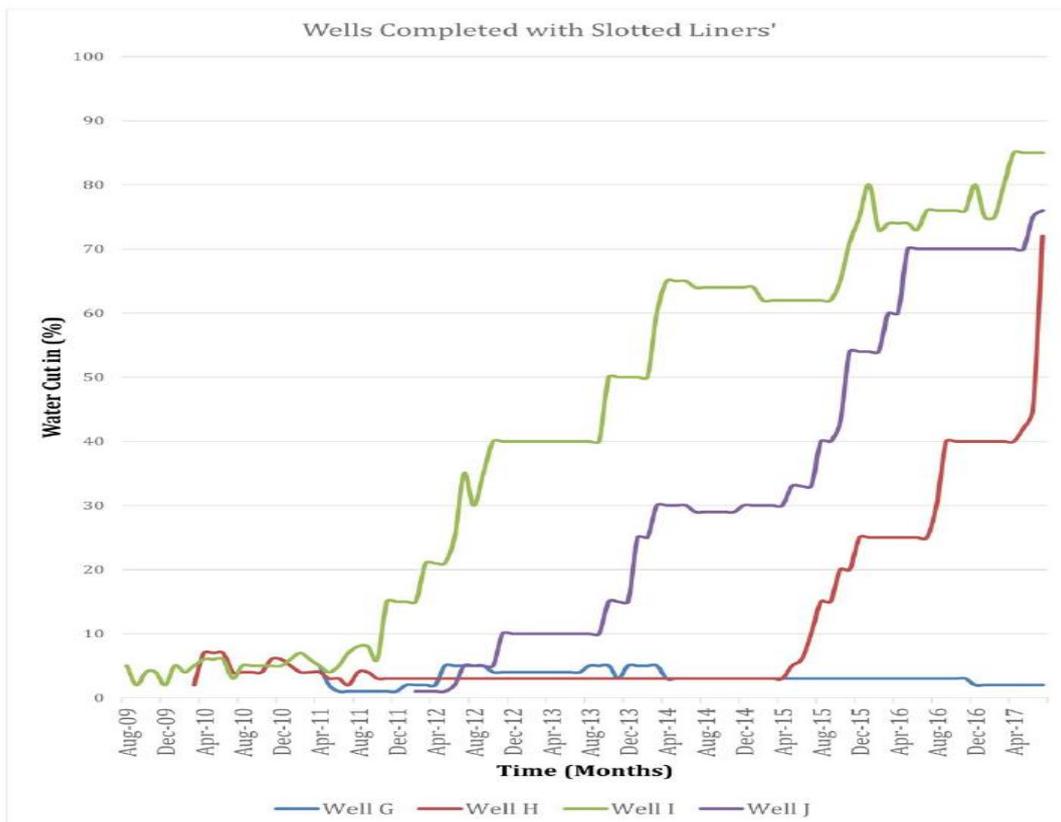


圖 5 採用一般篩管完井之水平井含水量生產剖面

### 三、 SPE-192047-MS

#### Maximising the Opportunity in Multi-Layered Tight Sand Reservoirs in a Mature Field by Hydraulic Fracturing: A Case Study of Tight Sand Development Project in Thailand

Sirikit 礦區是泰國最大的陸上緻密油田。在經歷數十年的生產歷史後，傳統油井的產量已明顯下降，因而規畫改以液裂增產緻密砂層。經過詳盡的井下資料分析及地質力學研究，液裂先導試驗井大獲成功。液裂後單井產能分析結果顯示，最終採收量為原先預估值的八倍。基於經濟分析可行性超乎預期，此礦區展開了大規模的液裂增產計畫。液裂增產計畫的主要策略為：

1. 於已證實液裂成效區域持續施作液裂作業。
2. 對於未經開發的新產層進行評估。
3. 全面檢視舊井資料，評估現有井施作液裂之可行性。

進行液裂設計時，首先必須取得地下構造資料以及進行地質力學分析。地下地質構造關係到井程設計與液裂施作範圍的選擇。液裂工程可適用於傳統直井與水平井，對於多層次緻密薄砂岩，直井搭配多段液裂即可產生驚人的增產效果；而對於產層厚度較厚的單一層次則以水平井搭配液裂效果為佳。圖 6 為兩種液裂井之示意圖。

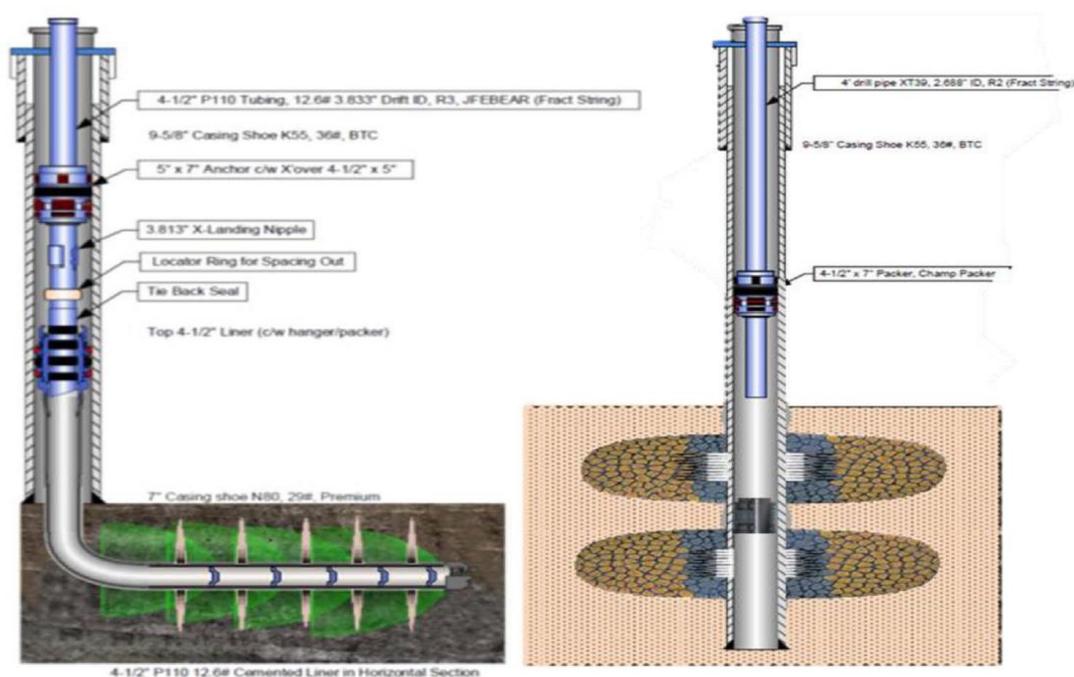


圖 6 水平井與垂直井液裂施作示意圖

地質力學分析極大影響到液裂施作的成效，包含液裂流體與支撐劑的選擇、泵入程序的設計、人工裂隙的長寬高、皆與地質力學分析有關。於已證實可行性之區域可以現有試驗井所得出之資料進行液裂設計。然而對於未開發之區域及現有井之評估，往往需取得額外的資料，特別是聲波測井及滲漏試驗，目的是得到關鍵的岩體性質及大地應力資訊。液裂評估流程如圖 7 所示。對於礦區內現存 16 口垂直井液裂可行性之評估則以表 3 條件進行篩選。

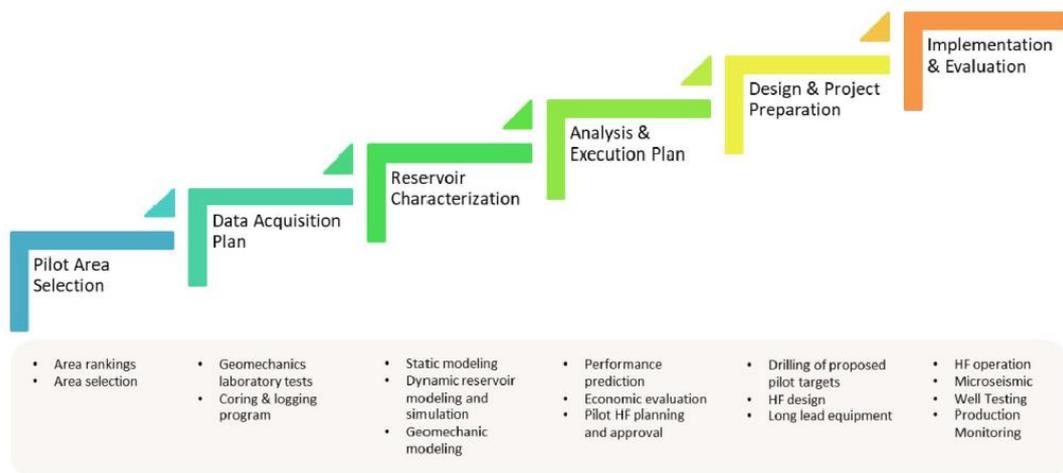


圖 7 液裂評估流程

表 3 現有井液裂施作選擇條件

井下條件	淨沙層厚度	單層:10 米以上 多層:3-5 米
	與水線深度距離	正負 15-20 米
	與主要斷層距離	大於 80 米
	與鄰井距離	大於 150 米
	砂體連續性	中等以上
	水泥封固性	中等以上
產能	低產能	小於 50 STB/d
	GOR	小於 1,000 scf/STB
	水切	小於 70 %
	非目標產層	低潛能
其他	井齡	小於 20 年
	已完井產層數低	剔除
	產層間壓差大	剔除
	預計鑽井區域	剔除

經過以上篩選原則，規劃施作 11 口液裂生產井。其中 5 口為垂直井、6 口為水平井。若以新舊井來區分，其中 9 口井為新鑽井，2 口為現有井；而在已證實可行性區域內有 9 口井；證實區域外則為 2 口井。藉由建立一套完整的液裂評估流程，成功完成此一多層次緻密老礦區的重新開發。並且為泰國首次全面施行液裂工程的礦區。主要的關鍵為施作先導試驗井前詳盡地收集了地下資料，並進行完整的地質力學分析，由先導試驗井的大成功獲得後續大規模開發的支持。此一增產策略和最佳化經驗亦可應用於全球範圍。

#### 四、 SPE-191961-MS

##### **Injectivity and Well Deliverability Test and Analysis in an Offshore Complex High CO<sub>2</sub> Gas Carbonate Asset**

對於開發高二氧化碳含量之海域碳酸鹽氣田，關鍵的風險與不確定因素為蓋岩完整性及產出之二氧化碳後續處理。在進一步的分析評估後發現，將二氧化碳回注鹽水層中進行封存是最具經濟性及技術可行性的選擇。因此在目標含水層的注入能力及其對氣層提供的壓力支撐成為研究的重點。

礦區地層剖面圖如圖 8，於氣層及水層分別進行鑽桿測試，並由多產率噴流試驗（Multi Rate Test, MRT）取得壓力回復資料及樣品。圖 9 及圖 10 為水層及氣層的垂直舉升／地層流入（VLP/IPR）擬合曲線，經估算水層穿孔區間平均滲透率為 33 mD。其於初始壓力下之絕對噴流性能（Absolute Open Flow, AOF）為 101.6 Mstb/day；另一方面氣層穿孔區間之平均滲透率為 355 mD。若以使用 60/64 尺寸之阻塞閥（Choke）進行計算，所得出之單井產能為 38 MMscf/day。

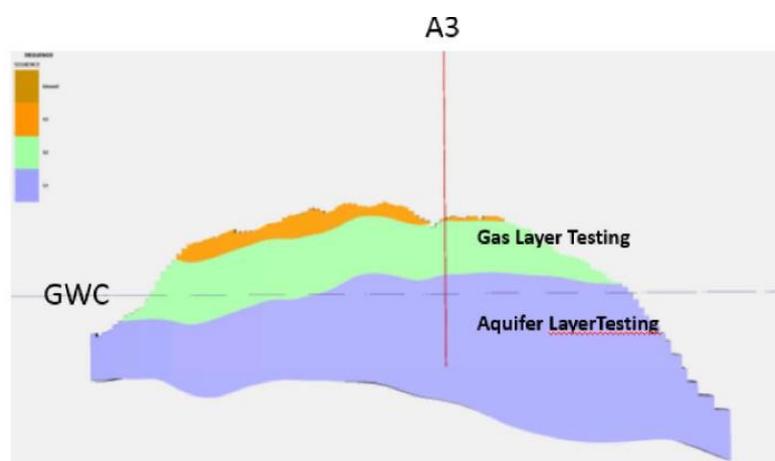


圖 8 通過 A3 井之地層剖面圖

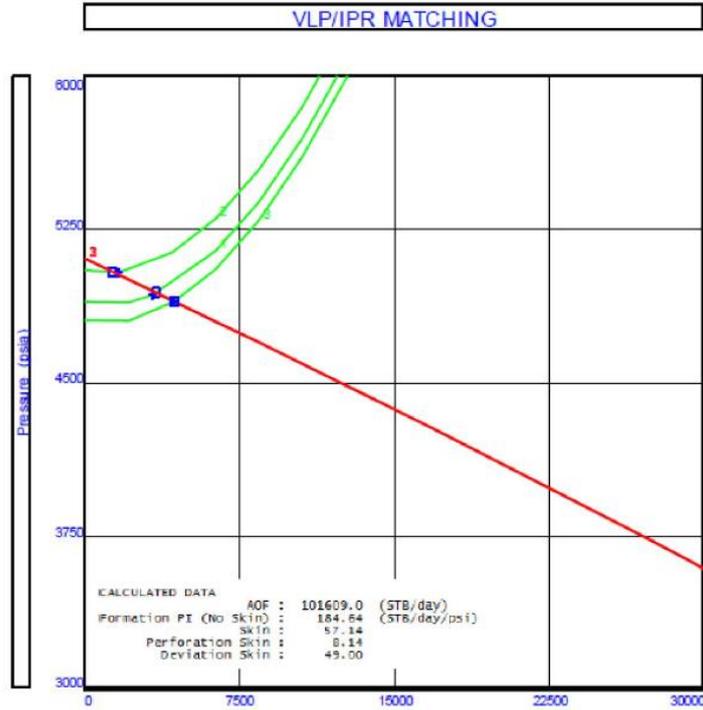


圖 9 水層之 VLP/IPR 擬合曲線

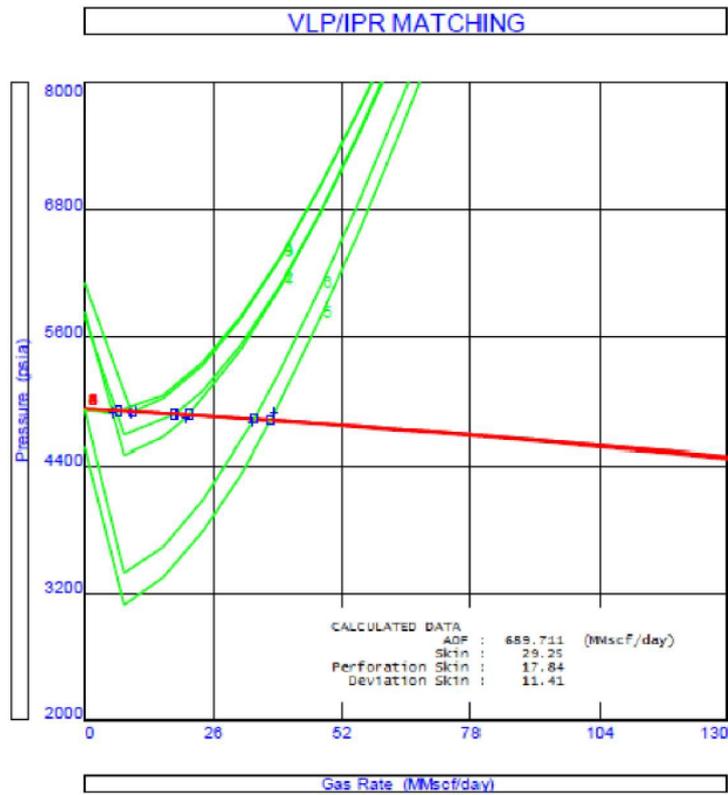


圖 10 氣層 VLP/IPR 擬合曲線

最後進行液態二氧化碳注入水層之試驗。在產氣層噴流及關井後開始注入二氧化碳並記錄氣層之壓力。在考量岩石強度及二氧化碳液化設備性能下，將注入水層的流率由 1.7kb/day 逐漸加大至 3.7kb/day。噴流-關井-注水過程壓力紀錄如圖 11。分析注氣試驗，模擬注氣對產層之壓力維持得出之注氣率與產層壓力如圖 12。

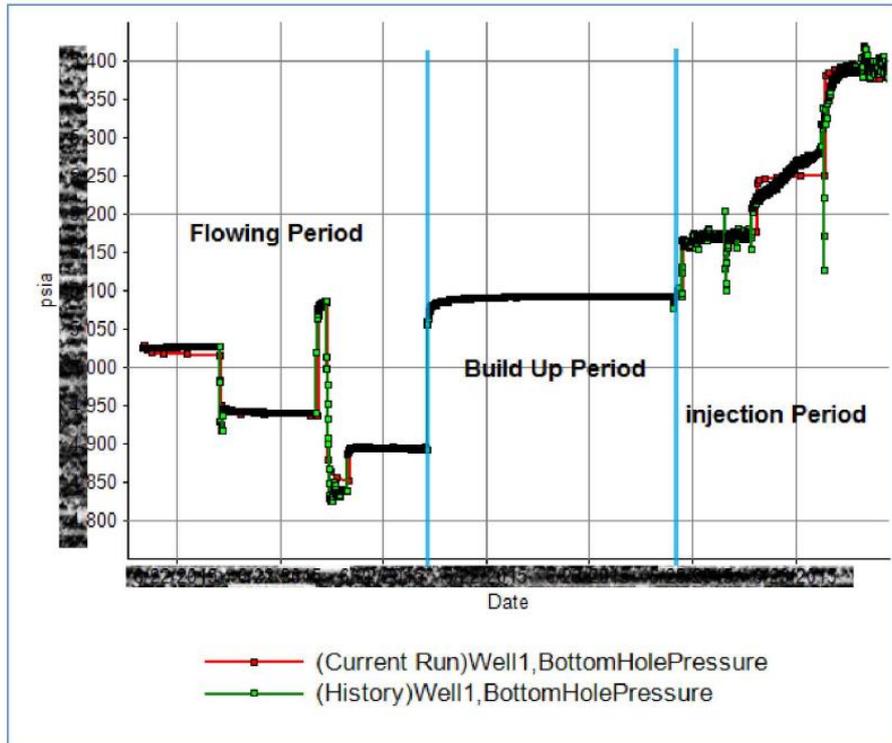


圖 11 氣層噴流-關井-注水壓力分析

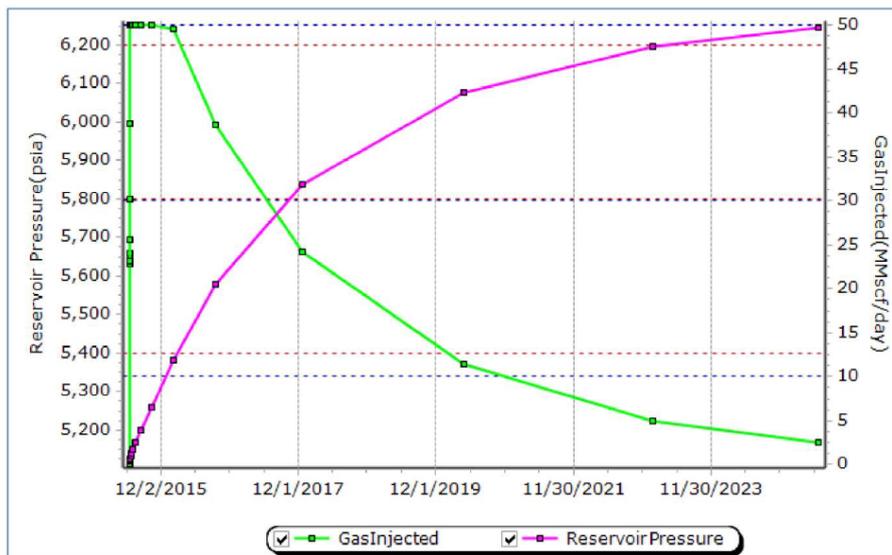


圖 12 模擬注氣率與產層壓力剖面圖

本研究收集了蓋層、碳酸鹽層及含水層超過 200 米的井測及岩心資料進行實

驗分析，目標為建立儲集層屬性模型、量測地層壓力、分析流體樣本、計算目標區間注入能力及生產性能、流動性保障分析、生產設施設計和油管套管材質選擇，以作為生產規劃之依據。本研究設計之數據採集和後期分析成果有助於解決碳酸鹽氣田發展規劃的若干不確定因素和問題。

## 五、 SPE-191942-MS

### Performance of Ceramic Sand Screen for High Rate Gas Application - Gas Sand Screen Erosion Testing

在開發依序思氣田時，因生產規劃的需要，必須長時間維持高單井產量。由於依序思氣田產層岩體壓實度較低，若長時間以高流量進行生產，將遭遇現有防砂篩管無法負荷之磨耗問題。在經過出砂粒徑分析和詳細的磨耗試驗後，決定採用專為依序思氣田研發之陶瓷篩管作為主要的防砂工具。

本研究首先對陶瓷篩管進行了產氣出砂篩管磨蝕試驗（Gas Sand Screen Erosion Test）。欲進行試驗之陶瓷篩管如圖 13，初始篩管開孔間隔如表 4 所示，篩管間隙大小採用 3M 公司生產之 MarShaft 750 Plus 電子顯微鏡進行測量。

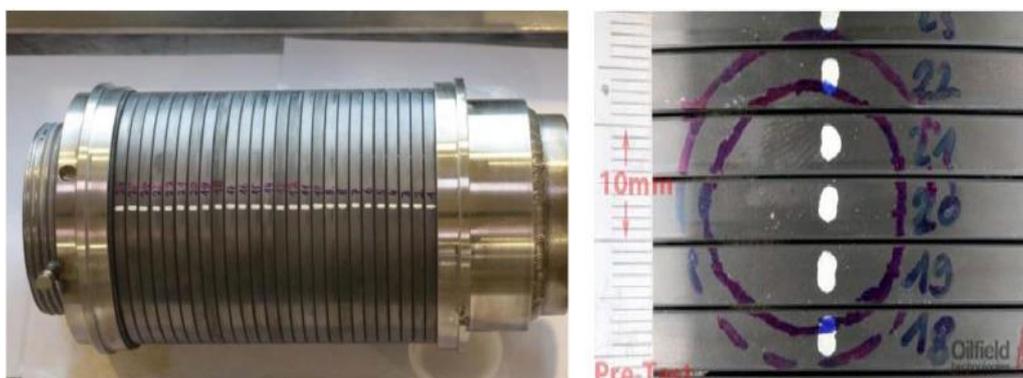


圖 13 試驗前陶瓷篩管

表 4 試驗前篩管開孔間隔

Initial Gap Measurements	3M MarShaft 750 Plus
Gap #	Average ( $\mu\text{m}$ )
18 to 19	333.1
19 to 20	390.8
20 to 21	340.3
21 to 22	370.4
22 to 23	308.4

經過持續 48 小時加速試驗後的陶瓷篩管表面見圖 14，其開孔間隙變化如表 5 及圖 15。由於作為對照組的繞絲篩網於進行試驗的 2 小時後便會損毀，因此僅能將經過 2 小時試驗的繞絲篩管與經過 48 小時試驗的陶瓷篩管進行比較。表 6 及圖 16 為經過 2 小時試驗的繞絲篩管開孔間隙變化。陶瓷篩管與繞絲篩管平均開孔間隙變化比較如表 7，可見陶瓷篩管的抗磨蝕能力遠高於繞絲篩管。



圖 14 經 48 小時磨蝕試驗後陶瓷篩管

表 5 經 48 小時磨蝕試驗後陶瓷篩管開孔間隙變化

48 Hour Gap Measurements	3M MarShaft 750 Plus	
Gap #	Average ( $\mu\text{m}$ )	Difference to initial gap measurement ( $\mu\text{m}$ )
18 to 19	337.5	4.4
19 to 20	413.9	23.1
20 to 21	363.9	23.7
21 to 22	374.7	4.3
22 to 23	311.7	3.3

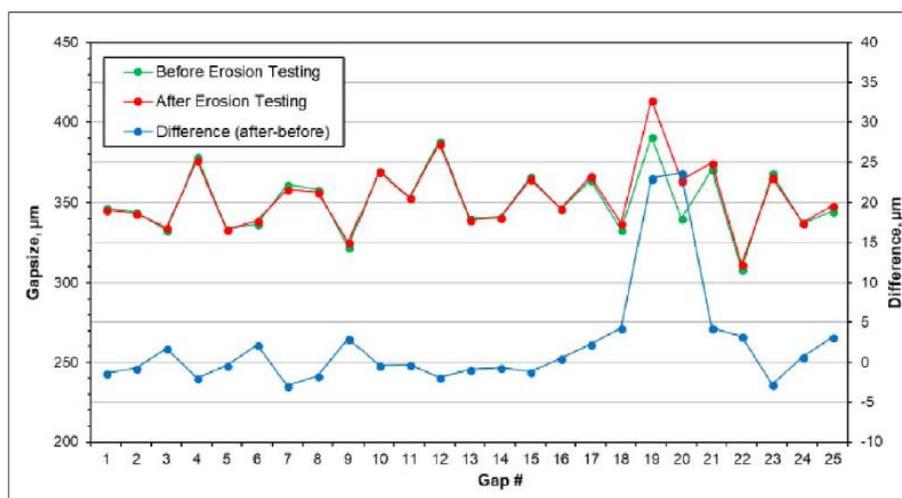


圖 15 經 48 小時磨蝕試驗後陶瓷篩管開孔間隙變化

表 6 經 2 小時磨蝕試驗後繞絲篩管開孔間隙變化

Hour Gap Measurements	Solarius SolarScan	
Gap #	Average ( $\mu\text{m}$ )	Difference to initial gap measurement ( $\mu\text{m}$ )
1	258.6	2.2
2	347.4	103.0
3	416.0	126.8
4	390.4	121.4
5	362.8	104.8
6	238.6	1.4

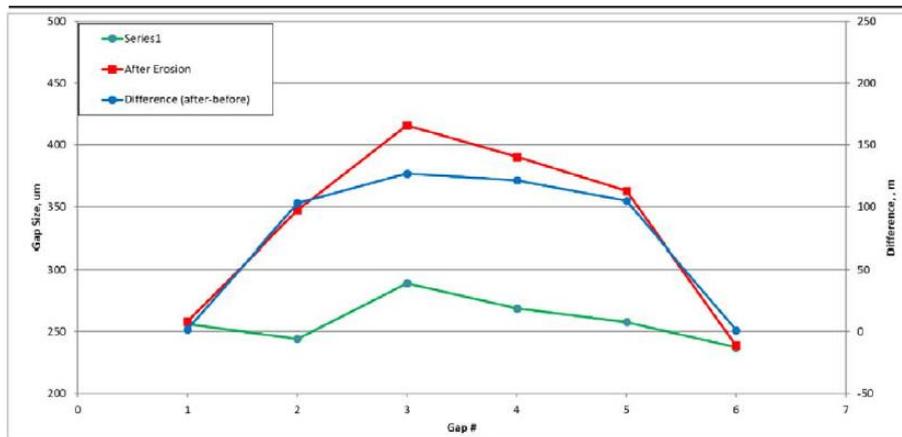


圖 16 經 2 小時磨蝕試驗後繞絲篩管開孔間隙變化

表 7 陶瓷篩管與繞絲篩管平均開孔間隙變化比較

Ceramic ( $\mu\text{m}$ )	WWS ( $\mu\text{m}$ )
48 Hours	2 Hours
23.4	114.0

陶瓷材質雖具有高硬度另一方面也代表了韌性較低，為了檢驗陶瓷篩管是否能負荷運送以及安裝時的撞擊與扭曲，本研究對陶瓷篩管進行了衝擊測試與撓曲測試（圖 17）以及動態垂直與水平抗張力試驗（圖 18）。



圖 17 陶瓷篩管衝擊測試與撓曲測試

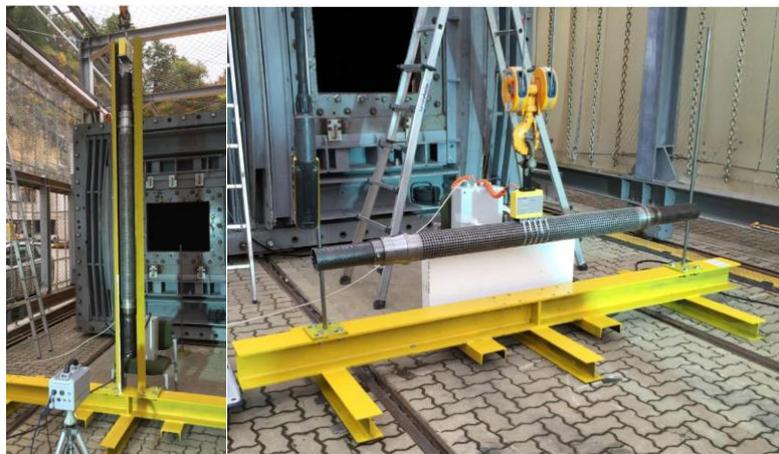


圖 18 動態垂直與水平抗張力試驗

透過以上試驗流程成功證實了陶瓷篩管於依序思氣田的適用性。雖然若要在其他礦區使用需要進一步的現地實驗，但作為高流量氣田防砂工具，陶瓷篩管具有極大潛能。

## 六、會後附屬訓練課程

本次出國計畫除了參加 SPE APOGCE 亞太油氣資源研討會，亦參與了會後舉行的教育訓練課程。主題為「地質力學於傳統與非傳統油氣資源之應用」。在短短的一日課程中，介紹了地質力學基礎參數的取得與運用、大地應力分析、岩心試驗規劃、孔隙壓力預測、建構一維地質力學模型(1 Dimensional Mechanical Earth Model, 1D MEM)、傳統與非傳統油層中鑽井和液裂工程的應用、以及實際案例說明 1D MEM 工作流程。雖然受限於時間，對於細節計算部分未詳加說明，但仍完整地介紹了地質力學在鑽井穩定性、防砂及液裂設計中之應用。

## 1. 基礎參數介紹

進行地質力學分析時必備的重點參數可分為岩體性質（內部）及大地應力（外部）兩大部分，表 8 為重要地質力學參數與取得方法。

表 8 重要地質力學參數與取得方法

參數分類	地質力學參數	參數取得方法
岩體性質	楊氏模數 $E$	聲波測井 dTs、dTc
	泊松比 $\nu$	聲波測井 dTs、dTc
	單軸抗壓強度 UCS	單軸實驗
	內摩擦角 $\psi$	單軸實驗
大地應力	上覆應力 $\sigma_v$	密度測井 RHOZ log
	最大水平主應力方向	成像測井 FMI
	$\sigma_{max}$	
	最小水平主應力方向	滲漏試驗 LOT、XLOT
	$\sigma_{min}$	聲波測井 dTs
	孔隙壓力 $P_p$	聲波測井 dTs、

## 2. 一維地質力學模型應用案例

以阿拉斯加某礦區之水平井案例實際說明 1D MEM 於鑽井穩定性之工作流程。本案例水平井前兩井孔皆遭遇嚴重卡鑽問題，首先檢視包含兩次側鑽在內之鑽井事件，接著鎖定與造斜段相關之關鍵數值。分析鑽井事件並與地質構造進行比對和分類。整合電測和泥漿側錄資料並將資料導入地質力學分析。分析工作流程如圖 19，完成之 1D MEM 如圖 20。其後進行井壁穩定性分析，首先由井徑電測資料觀察井孔擴張位置，將其與經由岩石強度及大力應力所預測出之井孔不穩定地層進行比對，計算不穩定地層在塌井（泥漿比重過低）與漏泥（泥漿比重過高）之前的泥漿密度窗口，診斷塌井問題根源以提供鑽井修正建議，包含泥漿比重、材料之調整或鑽井方向修正。井壁穩定性分析如圖 21。依照修正後之鑽井規劃，第 2 口井未遭遇塌井問題，並成功提前 20 天達成預定進度。



圖 19 一維地質力學分析工作流程

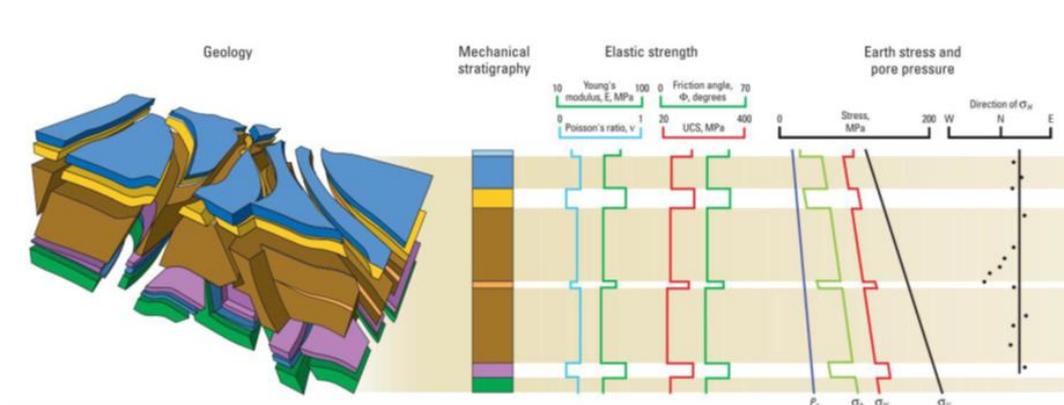


圖 20 一維地質力學模型

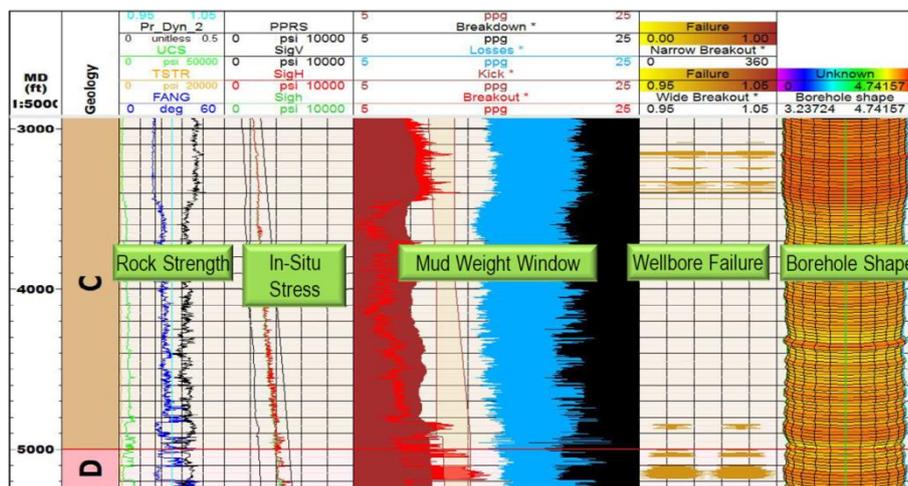


圖 21 井壁穩定性分析模型

過去地質力學主要用於事後搶救處理，建立三維地質模型的主要目的則是為了將地質力學的角色由事後治療，轉為預測鑽井風險以事前預防鑽井事故的發生。若將鑽井事故以工安事故進行比喻，相當於由事故搶救的消防員轉為預防工安事故發生的工安檢查人員。

在訓練課程中，授課教師多次強調，地質力學分析人員需牢記自己的工作目標是提供上級作為決策依據的資訊。因此數據分析的第一步驟便是進行自我評估，這項資料是否有助於上級進行決策，是否可能毫無助益或甚至帶來負面影響。其次為資料需進行重要性分級，在提供的報告中需釐清最為關鍵的數據背後的意義，使閱讀人可一目瞭然。以上觀念不僅僅適用於地質力學分析人員，對於所有研究人員皆值得參考。

## 肆、心得及建議

本次奉派出國參加 APOGCE 亞太油氣資源研討會，對於水平井技術、液裂增產、防砂完井工程等獲益良多，茲提出以下幾點心得與建議：

### 一、當非傳統成為傳統

今日美國已成為全球最大的油氣資源生產國及出口國，其主要因素為非傳統資源的快速發展，急劇地提升了油氣產量。在美國有 90% 的新鑽井為水平井或液裂井，在亞洲及非洲亦有超過 50% 的新鑽井為非傳統井。技術服務公司自信宣言，液裂增產工程在全世界皆已是發展成熟的技術。當非傳統資源已超過傳統資源，眾多石油公司對油氣資源的定位亦隨之改變，不再以傳統、非傳統對礦區進行分類。真正改變舊有的觀念往往是提升技術最重要的第一步。

### 二、提升產量關鍵在數據分析

過去 10 年，數據分析革命（Data Analytics Revolution）對於非傳統資源提升的重要性占比重超過 70%。一個成功的新鑽井技術可節省 5%~10% 的成本，但相較一個透過完整井壁穩定性分析，以避免卡鑽風險的海域定向井，後者節省了近乎 100% 的鑽井成本。透過大地應力分析預測天然裂隙分布，可對穿孔位置及角度進行最佳化，有效連通產層與井孔之通道，增加採收率。以上皆是數據分析提升產量的例子。

### 三、非傳統資源發展對能源安全、經濟及環境保護皆有重大價值

液裂增產工程往往直接讓人聯想到地下水污染，與環境保護背道而馳。然而數據顯示自 2007 年至今，由於天然氣產量的大幅提升，煤炭在世界各國的使用量銳減。大氣中的 CO<sub>2</sub> 濃度及許多污染物亦下降回復至 2000 年之水準。CO<sub>2</sub> 濃度降低固然尚有其他因素，但若缺乏頁岩氣技術之發展，對於高污染煤炭的需求便無從滿足。經預測到了 2050 年時，全世界能源的需求將會是現今的 2 倍，若缺乏非傳統資源，勢必無法補足能源的缺口。因而，非傳統資源發展對能源安全、經濟及環境保護皆有重大價值。

### 四、資料分析的目的是提供上級進行決策

研究人員需牢記自己的工作目標是提供上級作為決策依據的資訊。因此數據

分析的第一步驟便是進行自我評估，這項資料是否有助於上級進行決策，抑或是毫無助益或甚至帶來負面影響。其次為資料需進行重要性分級，在提供的報告中需釐清最為關鍵的數據背後的意義，使閱讀人可一目瞭然。以上觀念不僅僅適用於地質力學分析人員，對於所有研究人員皆值得參考。