

出國報告（出國類別：開會）

油氣增產技術相關研討會 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：葉庭瑜 石油開採工程師

派赴國家：阿拉伯聯合大公國

出國期間：108年11月09日至11月15日

報告日期：108年12月04日

摘要

本次出國參與油氣增產相關研討會，舉辦地點在阿拉伯聯合大公國首都阿布達比，會議全名為阿布達比國際石油展覽研討會，為中東地區一年一度的大型國際性石油研討會，集結世界各地大大小小的石油相關產業公司、技術服務公司、研究機構等專家學者於會中發表技術研究成果或展示產品技術，規模龐大，本出國計畫目的在於參加研討會以瞭解國外最新技術發展、應用現況及研究發展，參訪不同石油公司、技術服務公司及顧問公司等相關機構設置之展區，從中交流及蒐集相關新技術與資訊。

本研討會涵蓋主題極為廣泛，包含生產開發、鑽完井技術、激勵生產、非傳統油氣資源、人工智慧於油氣資源的運用及海域鑽井開發等相關議題，除了瞭解油氣增產技術的發展，亦針對本公司近年相關業務或個人感興趣之內容多加了解，本報告中摘要數篇研究論文，分別是關於機率式衰減曲線的計算、緻密氣層鑽井技術、井內人工舉升除液技術與創新的清蠟方法研究等相關議題。

透過本次出國參與研討會，參與多場不同議題的論文發表，了解現今探採領域的最新發展，以人工智慧應用於油氣產業為例，雖然目前技術尚未成熟，已有少部分測試階段的成功案例，各國致力於大數據處理及自動化分析，在未來，人工智慧的技術應用將會是一項重要的發展趨勢；本次研討會中部分討論到在鑽井技術或是油氣生產上遇到的問題，對應的措施或方法值得作為本公司國內外礦區面臨相關問題之借鏡。

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	27

壹、目的

本次出國目的為參加阿布達比國家石油公司(Abu Dhabi National Oil Company, 以下簡稱 ADNOC)主辦的阿布達比國際石油展暨研討會(Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 以下簡稱 ADIPEC), 該研討會自 1984 年成立以來, 每一年盛大舉行, 集結了世界各地的專家學者互相交流、分享知識, ADIPEC 仍然是世界上最受歡迎的三大石油及天然氣盛事。研討會主要分為兩大區塊進行, 其一為展覽部分, 包含了國際上的主流石油公司、鑽井設備公司、軟體技術公司、技術服務顧問公司、學術單位、研究機構及其他石油產業相關單位, 於展場解說最新公司發展動態、展示鑽井設備器材及分析軟體應用, 並與與會者進行交流; 另一部分為技術研討會, 主要由石油工程師協會(Society of Petroleum Engineers, 以下簡稱 SPE)統籌, 包含眾多主題, 如, 油田開發管理、探勘與生產、鑽完井工程、激勵生產、非傳統油氣資源、AI 人工智慧於油氣產業之應用等議題, 給予專家學者於各場次分享其研究成果, 並進行討論。期望藉由參與研討會的過程, 了解油氣探勘與開發的技術發展、關注最新的話題趨勢, 有機會與其他公司或廠商交流, 蒐集相關資訊。

貳、過程

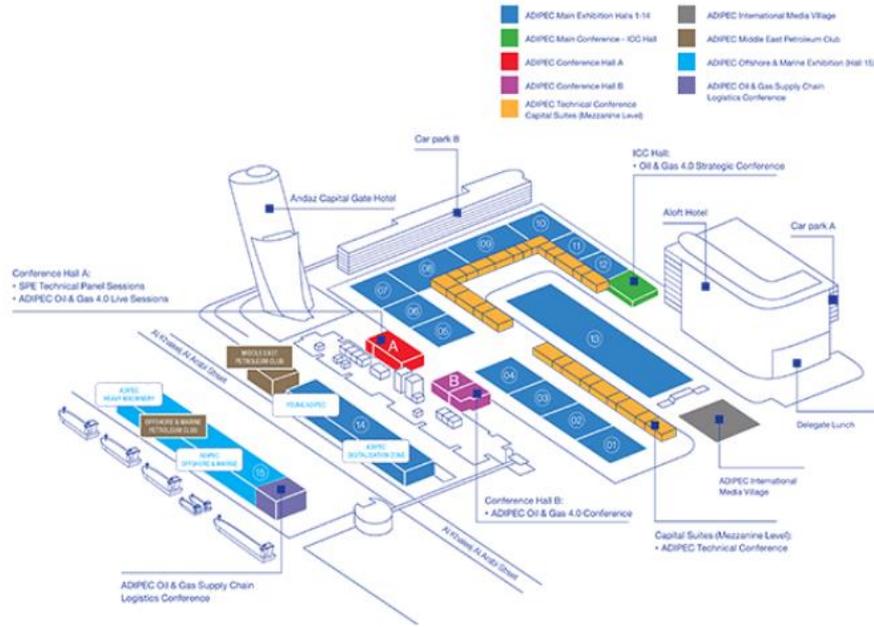
本次出國任務為期 7 天，主要行程為參加「阿布達比國際石油展覽研討會」，會議共四天(11/11 至 11/14)，舉辦地點位於阿拉伯聯合大公國首都阿布達比，詳細出國行程如表一所示。

表一、出國行程表

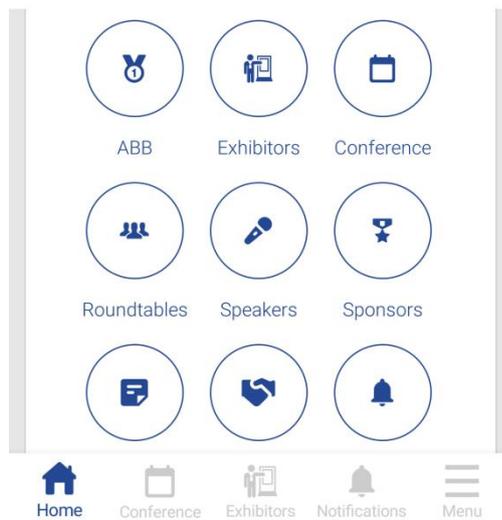
預定起迄日期	天數	到達地點	詳細工作內容
11/9-11/10	第一天至第二天	台北-阿布達比	啟程
11/11-11/14	第三天至第六天	阿布達比	參加油氣增產技術相關研討會
11/14-11/15	第六天至第七天	阿布達比-台北	返程
合計	7 天		

1. 阿布達比國際石油展覽研討會會議簡介

阿布達比國際石油展覽研討會每年在阿拉伯聯合大公國首都阿布達比城市舉辦，會場設置於阿布達比國家展演中心(Abu Dhabi National Exhibition Centre，簡稱 ADNEC)，為中東地區最大的展覽場地，展場距離阿布達比國際機場約 25 分鐘車程，阿布達比交通以計程車及公車為主，因研討會期間交通管制，且公車系統不易到達，主辦單位安排多個路線往返飯店及會場的接駁車，另外因為會場相當廣闊，甚至有會場內的接駁車。ADIPEC 研討會由當地國家石油公司 ADNOC 主辦，論文研討會部分主要由石油工程師協會(SPE)統籌。研討會會場分為廠商展覽、電子簡報(E-poster)、技術研究論文發表等區塊同時進行，會場地圖如圖一。廠商展覽分布在 15 個展覽大廳中(Hall 1~ Hall 15)，集結了國際主流的石油公司、鑽井設備公司、承包商、技術服務顧問公司、軟體分析應用公司及其他石油產業相關公司，在現場與參觀者進行專業知識及經驗交流、洽談商業合作機會、介紹產品及技術服務、開發分析軟體簡介及教學課程；技術研究論文發表分布在主場 2 樓共 13 個會議廳中，論文發表一天有 2~3 個時段，每個時段同時有 13 間會議廳進行不同議題的研究論文發表，每項議題共有 4 篇報告，四天下來有多達一百二十幾場的技術研究論文發表；電子簡報在每場論文發表之中場休息時間進行，地點在主場二樓走廊，同時間約有 12 篇簡報進行互動式的解說與討論。本次研討會論文發表篇數多達 677 篇，主辦單位已於會議期間開放論文電子檔下載點提供與會者下載。本次研討會另有 APP 應用程式免費讓參加會議者下載使用(如圖二)，其介面簡單明瞭，大會時常會運用此 APP 推撥通知演講資訊及公告相關訊息，在技術論文研討會部分，個人可以依據有興趣之議題加入名單，報告即將開始之前會推撥通知，也可以從中觀察哪一個議題較多人感興趣，由於展覽場地廣大，與會者可以使用 APP 查詢有興趣的廠商，立即得知正確的地點及路線引導，非常方便。



圖一、ADIPEC 會場地圖



圖二、ADIPC 推廣之手機應用程式

2. 阿布達比國際石油展暨研討會議程介紹

此次研討會主題內容非常豐富，包含油田開發管理、探勘與生產、鑽完井工程、激勵生產、非傳統油氣資源、AI 人工智慧於油氣產業之應用、海域鑽井等相關議題，研究論文發表四天下來有高達一百二十幾場，由於此次派員出國僅有一人，無法全盤參與大部分議程，在眾多研究論文主題取捨之下，僅能篩選出與公司或個人近年業務較相關及其他感興趣之議題聆聽，以下為本人參與之主題與場次：

- (一)成熟油田開發計劃之創新工作流程與技術(FIELD DEVELOPMENT: Novel Workflows and Technologies for Mature Fields Development)
- (二)二氧化碳封存與捕獲技術的優化(GAS TECHNOLOGY: CO2 Capturing and Storage Technology Optimisation)
- (三)非傳統能源於中東地區的機會?(UNCONVENTIONAL RESOURCES: An Opportunity for the Middle East?)
- (四)儲集層表現最大化的案例研討(FIELD DEVELOPMENT: Case Studies for Maximising Reservoir Performance)
- (五)人工智慧：儲集層特性的進階機器學習(ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OIL AND GAS: Advanced Machine Learning in Reservoir Characterisation)
- (六)高級儲集層特性(E&P GEOSCIENCE: Advances in Reservoir Characterisation)
- (七)完井管理系統及人工舉升技術(DRILLING AND COMPLETION TECHNOLOGY: Completion and Management Systems and Artificial Lift)
- (八)緻密儲集層、裂縫特性及模擬(E&P GEOSCIENCE: Tight Reservoirs, Fracture Characterisation and Modelling)

(九)探勘與儲集層特性所面臨的挑戰解決之道(E&P GEOSCIENCE: Challenges and Solutions in Exploration and Reservoir Characterisation)

3. 阿布達比國際石油展暨研討會參與過程簡述

研討會第一天(11/11)於上午 10 點開幕式，先於入口報到處完成報到手續，領取個人名牌、手冊及會議相關資料後，隨即前往各會議室聆聽論文簡報，由於技術研討主題涵蓋範圍廣，同時間有多個場次進行簡報，因此必須在會前規劃欲參與之場次，避免慌亂而錯失演講的時機。研究論文發表第一天有兩個時段，分為上午及下午時段，結束時間約下午三點半，利用會議間的休息時間，至電子簡報區聆聽有興趣之論文，或到展覽區了解最新的技術資訊並互相交流(圖三~圖五為會場及展覽區情景)。會議期間，尚有穿插多個不同的主題式演講，邀請各領域專家分享及討論當前熱門議題。研討會第二天及第三天各有三個時段的研究論文簡報，前往聆聽原本擬定參加之場次，其餘時間一樣至會場設置的展覽區域造訪不同的攤位，因時間有限，本次利用議題空檔時間造訪了 Schlumberger、KAPPA、Backer Hughes 等與本公司有在合作之相關廠商，聆聽該公司相關技術發展與亮點，參與軟體商功能說明簡報，並實際參與現場軟體操作課程等。研討會第四天有兩個時段的研究論文發表，本人前往聆聽論文簡報後，參加有興趣的主題演講，該演講邀請歐洲第一的道德駭客演說關於「產業走向數據化的時代，使得資料被竊取的風險呈指數型成長，產業及公司如何將這些威脅最小化？」等議題，下午時段展覽區由於阿拉伯聯合大公國副總統蒞臨，大量媒體湧至，使得參觀動線極為壅塞，研究論文簡報大約於下午一點左右結束，第四天研討會結束後隨即前往機場，並於當晚搭機返台。



圖三、會場一景



圖四、展覽區入口處



圖五、展覽區

參、具體成效

如何達到國內舊有油氣田增產目的、尋找更有效的開發技術，甚至是國外油氣礦區評估工作等方面，一直是本公司持續努力的目標。此次藉由參與研討會，吸收油氣產業相關研究資訊及了解時下熱門議題，並篩選出與公司近年業務較相關或個人感興趣之議題，以下節錄報告重點。

SPE-197142-MS

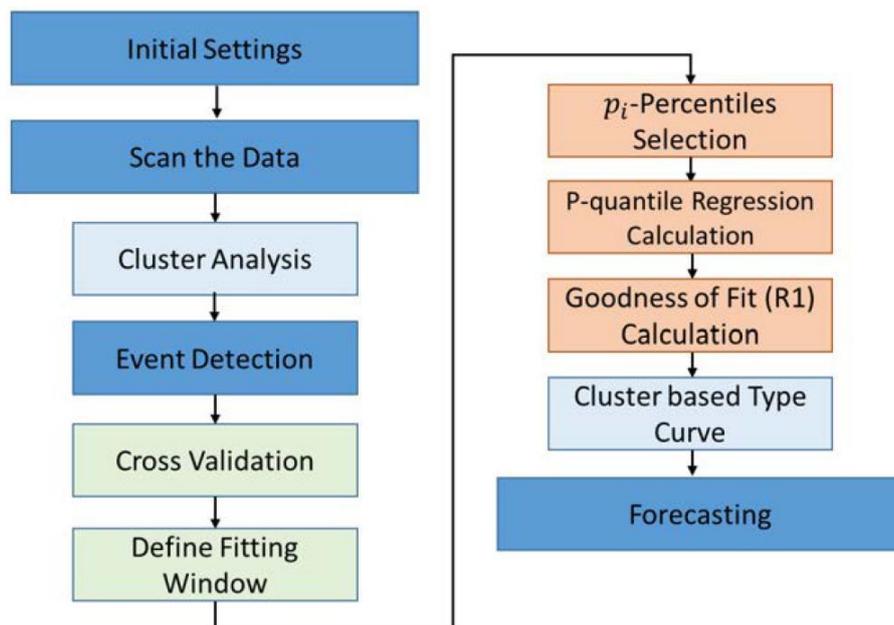
Artificial-Intelligence-Based, Automated Decline Curve Analysis for Reservoir Performance Management: A Giant Sandstone Reservoir Case Study **基於人工智慧之自動化衰減曲線分析：以中東地區大型砂岩儲集層的 案例研究為例**

Amir Kianinejad, Rami Kansao, Agustin Maqui, Rahul Kadlag, Gill Hetz, Fayadhoi Ibrahima, Vural Suicmez, HamedDarabi, and David Castineira, Quantum Reservoir Impact, LLC

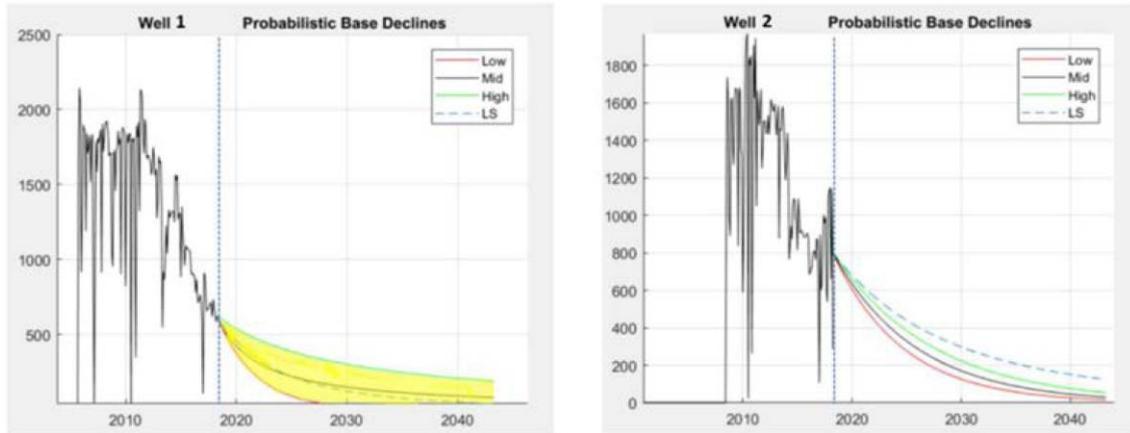
衰減曲線分析法(Depcline Curve Analysis)是根據過去生產歷史資料預測未來氣/油產量的一種常見的方法，亦可用來估計最終採收率(EUR)或是油氣儲量資產，一般來說此分析通常需花費大量的時間在曲線擬合的部分，當井數眾多的時候，需要更多的地質及工程因此考慮在內，因為這些因素終將導致結果的正確性及可靠性，且擬合結果常因人而異，因此偏差頗大。過去在衰減曲線分析中常基於定值法(deterministic approach)的概念，但實際上此類問題是以機率式分布，也就是說衰減曲線分析結果應是落於一個範圍區間，因此本篇研究將原本之定值法修改為機率式衰減曲線分析。另外，隨著計算能力進步，人工智慧可以大大地提昇分析上的效率並有能力處理龐大的數據及資料。本篇研究修改過去定值法分析衰減曲線模式，建立了一套結合人工智慧及機器學習的科技，在分析當中考慮地質、工程上的特性，及操作條件上的改變(如穿孔區間改變、節流嘴大小、修井等)，以達到更精確可靠的預測結果，衰減曲線分析方面考慮機率式的分布，並使

用分量迴歸(Quantile Regression)法進行機率式的計算，此迴歸法將計算出不同的信心區間(例如:P90、P50及P10)估算結果，本研究最終使用中東地區的砂岩儲集層資料來驗證本分析流程的應用性。

圖六為本篇研究使用的機率式衰減曲線分析流程，在第一步資料品質檢驗過後，第二步驟為透過機器學習的群集分析，依據資料本身的地質及工程特性，自動識別資料的特性，進行分組，第三步主要根據產量上的顯著變化來區分一個生產期間，作為後續衰減曲線分析計算的區間，第四步為交叉驗證，由於生產資料的變化與生產資料相關性極高(如修井、氣舉，節流嘴大小等)，因此將根據這些資料與生產資料相互交叉驗證，來確保資料的穩健與精確性。第五步進行機率式衰減曲線分析，回歸方法採用分量迴歸，此階段可得到不同機率性的衰減曲線(如圖七)。上述流程用於建立單井的衰減曲線，對於整個油氣田的衰減曲線，本篇研究利用蒙地卡羅法隨機取樣單井的衰減曲線並作加總，一樣得到不同機率性的衰減曲線。

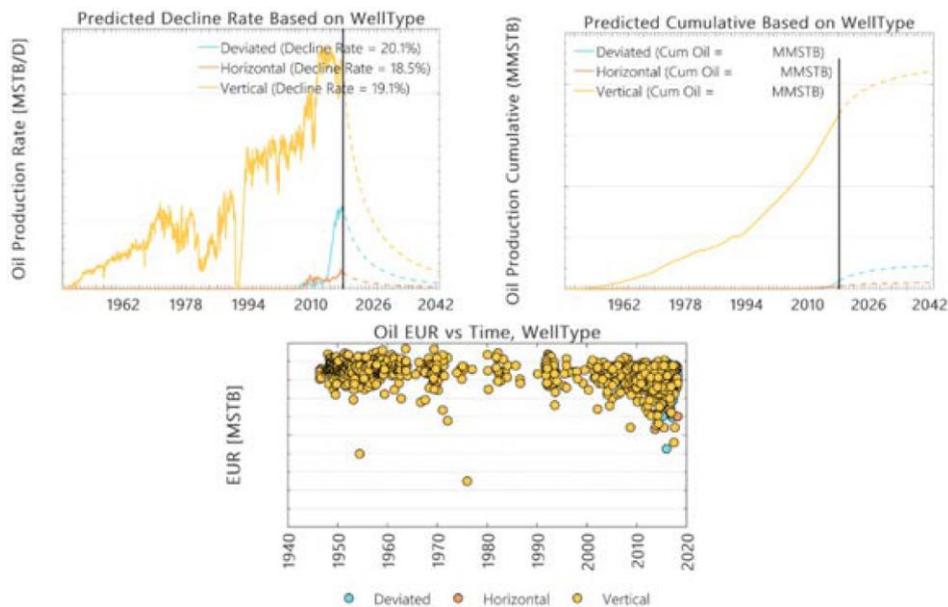


圖六、機率式衰減曲線分析流程



圖七、基於分量迴歸之不同信心區間衰減曲線

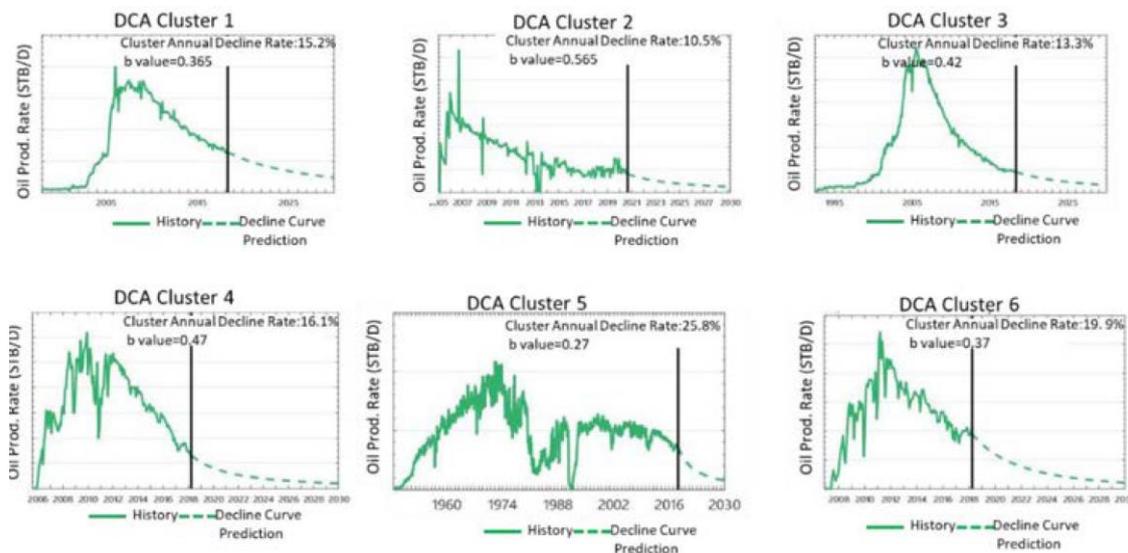
本篇研究其中一項重要的成果在於分析不同資料群的衰減特性，如使用井的類型(直井、斜井、水平井)作區分的衰減曲線如圖八，可以觀察到水平井有較低的衰減曲線而直井最高，由於本篇研究使用的中東儲集層資料大部分為直井，因此主要偏向較高的衰減曲線。



圖八、不同類型井的衰減曲線(左)、累積油產量(右)及 EUR 變化(下)

另一項亮點在於本篇研究的衰減曲線分析部分，利用機器學習的方法，並根

據地質工程特性來將資料分為「內部同質」(Internally homogeneous)及「外部相異」(Externally distinct)的群集(Cluster)，此分類主要是依據群體內部或群體之間的相似性做區分，這樣一來可以得到更多不同細部的衰減曲線(如圖九)，有了這些更具代表性的衰減曲線類型，即可增加預測結果的準確性。



圖九、不同群集(Cluster)的生產剖面及衰減曲線預測結果

本篇研究結論為以下幾點：

- 自動化的衰減曲線分析可以更快速的處理大量的資料，且結果穩定並無其他人為的偏差，使工程師專心於後續解釋及分析。
- 基於機器學習的方法可得到更精確的衰減曲線，甚至可以提供某些生產資料不足的井做類比。
- 使用分量迴歸法的機率性衰減曲線分析，得到不同信心程度區間的估計結果，而非只有一個定值的結果。
- 分析流程皆可應用在單井、整個油/氣田或群組的資料。

SPE-197831-MS

Full-Automated Managed Pressure Drilling System Facilitates Unlocking Unconventional Gas Reservoir Potential in United Arab Emirates

利用全自動化壓力控制鑽井系統提升阿拉伯聯合大公國之天然氣儲集 層潛能

Khaled Al Hadidy, Ibrahim Hamdy, and Musabbeh Al Samahi, ADNOC; Ayoub
Hadj-Moussa and Mujahed Saleh, Weatherford International

滲透率小於 0.1mD 及孔隙率小於 10% 的氣層通常被定義為緻密氣層 (Tight gas reservoirs)，這些油氣資源常被困在滲透率極差或堅硬的岩石中，當進行緻密氣層的鑽井工作時，最主要的問題就是泥漿濾液入侵造成地層汙損，除此之外，還有低鑽進率 (Rate of penetration，簡稱 ROP)、衝噴 (Kick)、甚至是難以辨認進入井筒的氣體來源等問題，可能增加昂貴的非生產時間 (Non-Productive-Time，簡稱 NPT)，另外，孔隙及裂隙壓力的不確定性高，在某些地方可能會遇到地層壓力及溫度的突升，因此鑽井時如何控制泥漿比重也是一個棘手的問題。

本篇研究區域位在阿布達比陸上非傳統的氣井，該氣田屬於緻密氣層，A 井是此區第一口野貓井，由於上述提及的狀況，在鑽井時遇到相當多問題，例如：為了與地層壓力平衡，需要頻繁地增加泥漿比重；提取岩芯組件時遇到井孔位移；增加泥漿比重造成超出地層完整性測試限度等等問題。B 井計畫在 A 井完成後啟動，由於 A 井遭遇一系列問題的經驗，勢必須要改變鑽井的策略，鑽井團隊深入分析後決議採用壓力控制鑽井技術 (Managed pressure drilling，簡稱 MPD)，當鑽井目標層為緻密氣層時，MPD 是一項用來減輕鑽井災害的關鍵技術，且得到世界上多方經營者的認可，本篇文章整理比較過去研究提出的緻密氣層鑽井技術如圖十，根據 IADC 的定義，MPD 是一種能夠精準控制整個井筒內環孔壓力的鑽井技術，該技術的目標在於了解井底壓力環境限制，並相對應地控制環孔內液壓。

Comparing Different Drilling Methods						
Drilling Method	Conventional	Casing	Coiled Tubing	Overbalanced	Underbalanced	Managed Pressure
Drilling problem: lost circulation, stuck pipe, etc.	May increase	Lower	No effect	May be high	Lower	Much lower
Reduce formation damage	No	Little	No	No	Yes	Yes
Kick detection				Yes	Yes	Yes
Equipment complexity	Low	Medium	Medium	Low	High	High
Rate Of Penetration (ROP) improvement	No	Little	Yes (smaller diameter)	No	Yes	Yes

Modified from Pilisi et al. (2010).

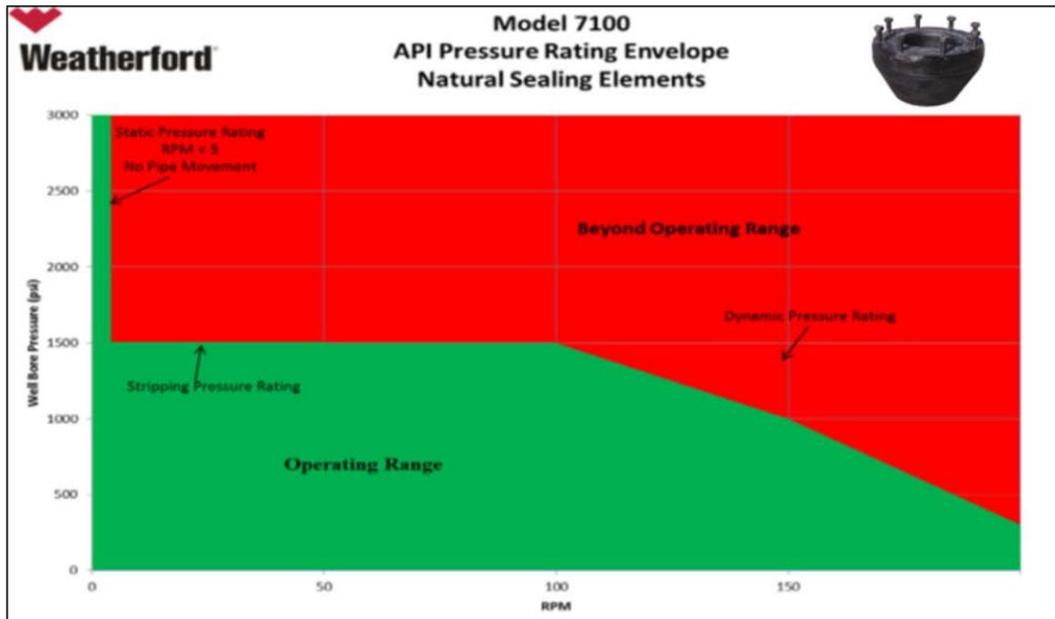
圖十、比較用於緻密氣層的不同鑽井技術

MPD 鑽井系統設備：

- 旋轉控制裝置 Rotating control device (RCD)：井內第一道防線，RCD 建立了一個封閉迴路的环境來控制井內壓力與流體，RCA7100 操作規格如圖十二，在轉速低於 5 且無管串活動時，RCA7100 可以處理高達 3000psi 的地表狀態下壓力。

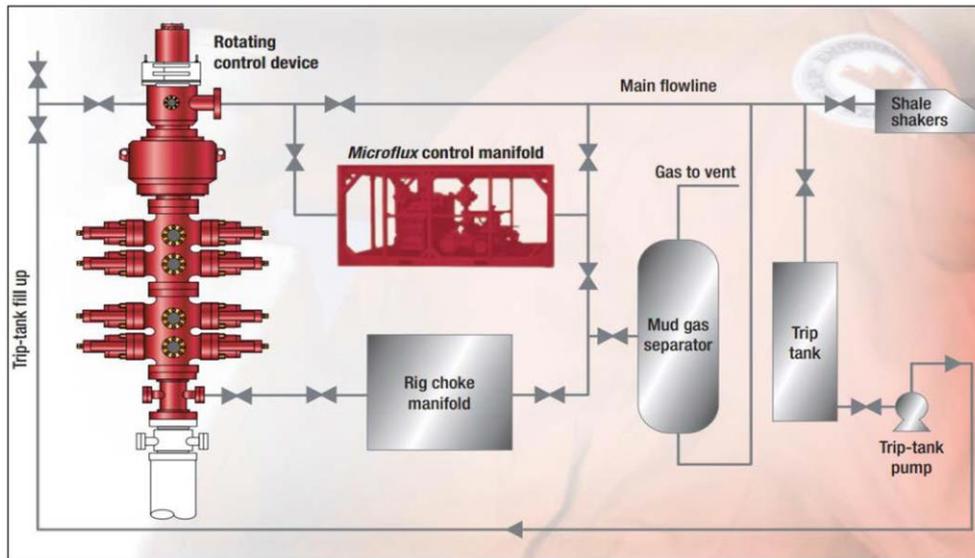


圖十一、Weatherford 公司的 RCD 設備



圖十二、RCA7100 操作規格

- 全自動 MPD 控制系統及節流歧管站：自動控制地表背壓、立管壓力、井底及環孔壓力、偵測前期衝噴與泥漿漏失，並自動控制衝噴或自動調整(降低)泥漿比重。
- 泥漿氣體分離器：本篇研究在 MPD 系統設計上加入 MPD Mud Gas Separator，即泥漿氣體分離器，用來分離泥漿及天然氣，減少後續需要針對氣體額外處理的時間，且 MPD 分離器相較一般常用鑽機的分離器能夠更快速處理大量氣體，MPD 整體系統設備如圖十三。



圖十三、MPD 系統設備

- 輔助幫浦：在鑽串中沒有鑽井液流動的時候將流體通過井口，使 MPD 系統能夠對井施加壓力。

本篇研究結論如下：

1. B 井成功實行 MPD 系統，且沒有造成資產、人員或環境上的損害。
2. 利用 MPD 有助於驗證孔隙壓力的預測，B 井鑽井泥漿比重相較 A 井低 16%，且 MPD 系統證實有高估孔隙壓力的突升現象，實際上不需要增加過多的泥漿比重。
3. 降低泥漿比重確保 9-5/8" 套管鞋不會因靜水壓力大於地層壓力導致破裂(A 井有此問題)。
4. 相較過去鑽井技術，MPD 明顯降低鑽井時泥漿比重，對於低層汗損方面效應可再進一步研究。
5. A 井的非生產時間(NPT)有 16%，相較之下 B 井只有 5%，明顯降低不少。

Completion Solutions to Enable Well Kick-Off and Liquid Unloading for Downhole Gas Compression Applications
應用於井底濕氣壓縮技術的完井方案用以避免衝噴及液體聚積

Rafael Lastra, Saudi Aramco; Cesar Montoya, Terry Bussear, and Scott Strattan, Baker Hughes, a GE Company

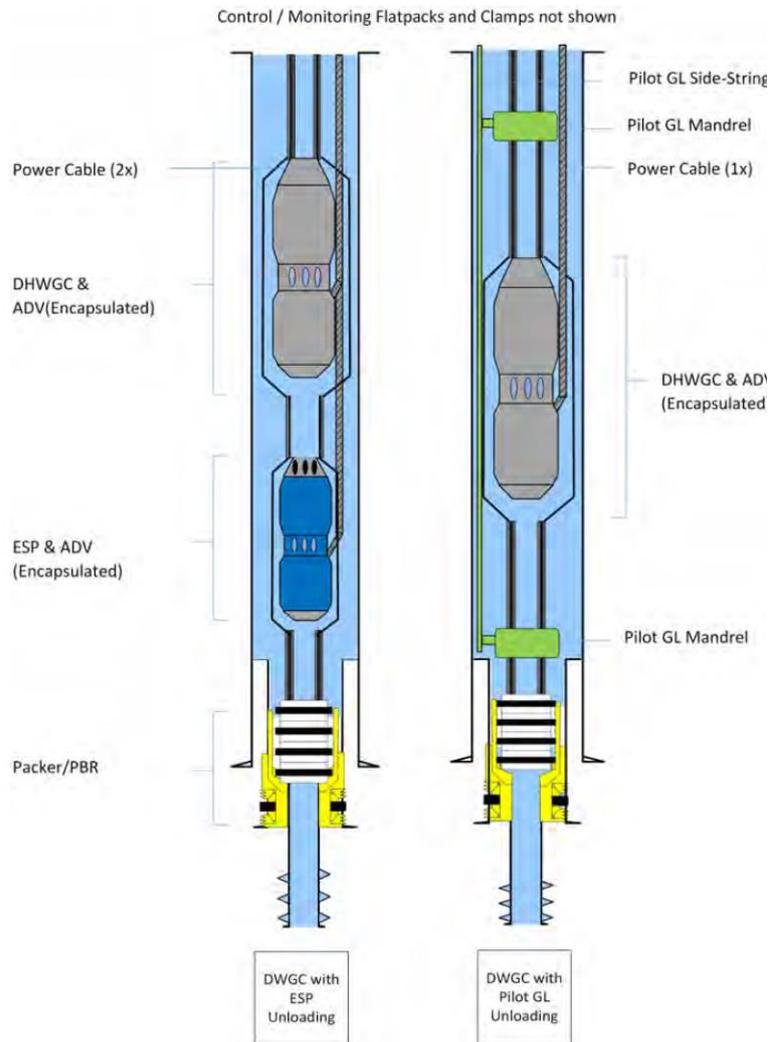
井底濕氣壓縮技術(Downhole wet gas compression, 簡稱 DHWGC)是一項相對較新的氣井人工舉升技術, 其目的在降低井底流壓促進生產並延遲液體聚積的發生。根據定義, 氣體壓縮機可以處理部分存在天然氣中的水, 但壓縮機設備放置深度受到一些限制, 使得設備通常置於穿孔區間上方, 而大量的水將隨著生產聚積在壓縮機設置深度的下方, 需要被移除方可使氣體流動。井干預活動(Well intervention)¹或自然生產下的凝結水累積都會使液體聚積在壓縮機下方, 因此, 此篇研究目的在找出一套能夠解除壓縮機下方液體聚積的完井方式。

氣井的人工舉升(Artificial lift)通常被認為用來排除井內液體, 相關技術包含抽油桿舉升(Rod lift)、柱塞抽油泵(Plunger lift)、電潛泵(Electrical submersible pumps)、撓曲油管注入氫氣舉法等等, 這些技術目的不是增加氣產量, 而是維持氣生產, 然而, 前述之 DHWGC 技術是其中一項能夠增加氣產量且加速氣採收的方式。本篇研究使用了兩種不同的除液方式在 DHWGC 的應用上, 分別是:

- ESP Unloading
- Pilot-Gas Lift Unloading

¹ 譯自英文 Well Intervention, 井干預活動是指對井做維護工作, 目的在延長井的壽命, 可分成輕度或重度井干預, 輕度干預活動允許井口有壓力下進行, 只需將工具或探測器下到井內; 重度干預則需要在停止生產活動下進行。

井內剖面示意如圖十四，ESP Unloading 設計上需要用到兩條鋼線分別將電潛泵及壓縮機下到井內，Pilot-GL Unloading 只需一條鋼線連接壓縮機下至井內，在壓縮機上下方皆有一個氣舉軸心，從地表注入氦氣至井內。



圖十四、除液的兩種最佳完井方式

表二比較了兩種除液完井方式的優缺點及限制，綜合來說，兩種方式都有其適用空間，在選擇之前需要先了解井可能的設計形貌及儲層特性，ESP 除液完井在使用時機上較有彈性，有液體聚積問題時，隨時可以啟動這套系統，但是受到某些條件限制，如 ESP 的位置要夠深，使得液面完全蓋過 ESP；Pilot-GL 除液完井

在設計上較簡單，不需要擔心移動組件就可以達到合適的深度，然而 Pilot-GL 除液完井需要高壓氣體來源或在地表打入氮氣的幫浦裝置，機動性較低，總歸來講，這兩項除液完井方式都是可行的，但是相較之下 ESP 除液完井包含了一些關鍵性的缺點，像是設置深度的限制、操作壽命和系統複雜性等等，Pilot-GL 除液完井克服了這些缺點，主要限制在於需要高壓氣源或氮氣提供氣舉。

表二、ESP 及 Pilot-GL 除液完井優缺點

	ESP Unloading Design	Pilot GL Unloading Design
Unloading Depth	(+) Limited only by setting depth (-) Must have sufficient fluid head over the pump to operate	(+) Unlimited; probably greater low-reservoir pressure capability (greater gas-to-liquid ratio) (-) Limited by nitrogen injection pressure available
Reliability	(+) Known proven technology (-) Potential for gas lock and overheating of motor	(+) Simple, no continuously dynamic parts (-) Reliability of check valve (non-serviceable below DHWGC)
Lift Point Based on Liquid Level	(+) Deeper = better (-) May be inadequate liquid height to be effective (-) Limited by DLS	(+) Smaller downhole form factor; easier to get deeper (+) Multi-point (-) Selective reliability (pop-off vs. closure)
Permanently-Deployed Coiled Tubing	N/A	(+) Simple; no annulus pressurization (-) Long-term integrity (produced gas in annulus)
Surface / Tree Modifications	(+) Existing solution/known Cost (-) Additional power, variable frequency drive, tree and tubing hanger cost	(+) One-time cost (-) Tree and tubing hanger cost
Lift Rate Volume	(+) Limited only by pump/motor size (-) May be excessively long/limited by dogleg severities of individual wells	(-) Limited by mobile nitrogen delivery capacity (-) May be limited by size of CT/depth of lift required
Cost	(+) Favorable OPEX (no wellsite service for shut-down/restart) (-) CAPEX: limited utilization vs. cost	(+) Low CAPEX (-) Higher OPEX; restarts require mobile nitrogen pumping at tree

A Novel Technique for Removing Wax Deposition in the Production System Using Thermochemical Fluids

利用熱化學流體去除生產系統中蠟沉澱現象的創新方法

Amjed Hassan, Olalekan Alade, Mohamed Mahmoud, and Abdulaziz Al-Majed, King Fahd University of Petroleum & Minerals

在石油產業中，原油中蠟份的沉澱是一項重要的問題，蠟份可能會沉積在管內、地面設備及運輸管線當中，導致壓力下降而影響原油的生產與輸送上的問題，當溫度低於析蠟溫度(Wax appearance temperature，簡稱 WAT)時，原油中的蠟份便會開始析出，一旦產生蠟結晶，流體的呈現一種非牛頓流體的流動行為，而且存在流體中的蠟結晶使得流體黏度明顯增加，影響其流動性。一般來說，清除蠟的沉澱有許多種，可以分為加熱法、化學法及機械法，這些方法不外乎都是為了達到事前預防或事後清除的目的，在預防蠟結晶發生的方面，加熱法包含蒸氣法及熱覆法；化學法包含注入流動點抑制劑或界面活性劑；機械方式包含磁力法。在清除蠟沉澱方面，機械法包含鋼絲刮蠟器及管道清管作業；化學法有注入分散劑來溶解蠟固體或堵塞。

本篇研究提出了一項新穎且具有經濟效益的方式用以脫除沉澱在生產系統中的蠟份，使用的是一種對環境無害且成本較低廉的熱化學流體，此熱化學流體包含兩種可以除去沉積在管線中蠟份的反應物，該反應物會在某些條件下反應，並產生大量的熱能及壓力，根據前人研究，硫酸鎂、氯化銨或硝酸鈉等熱化學流體可以在井底壓力狀態中產生熱能及壓力，本文中並無提供熱化學流體的化學成分組成，可能是類似於上述提到的三種熱化學流體。此外，利用乙酸當作活化劑觸發化學反應，可以減少除蠟所需的操作時間。

本篇研究取自阿拉伯油田的含蠟原油來模擬實際上的蠟份沉積情形，結果顯示使用熱化學流體可以除去 95%沉積的蠟份，在某些條件下產生的化學反應，產生

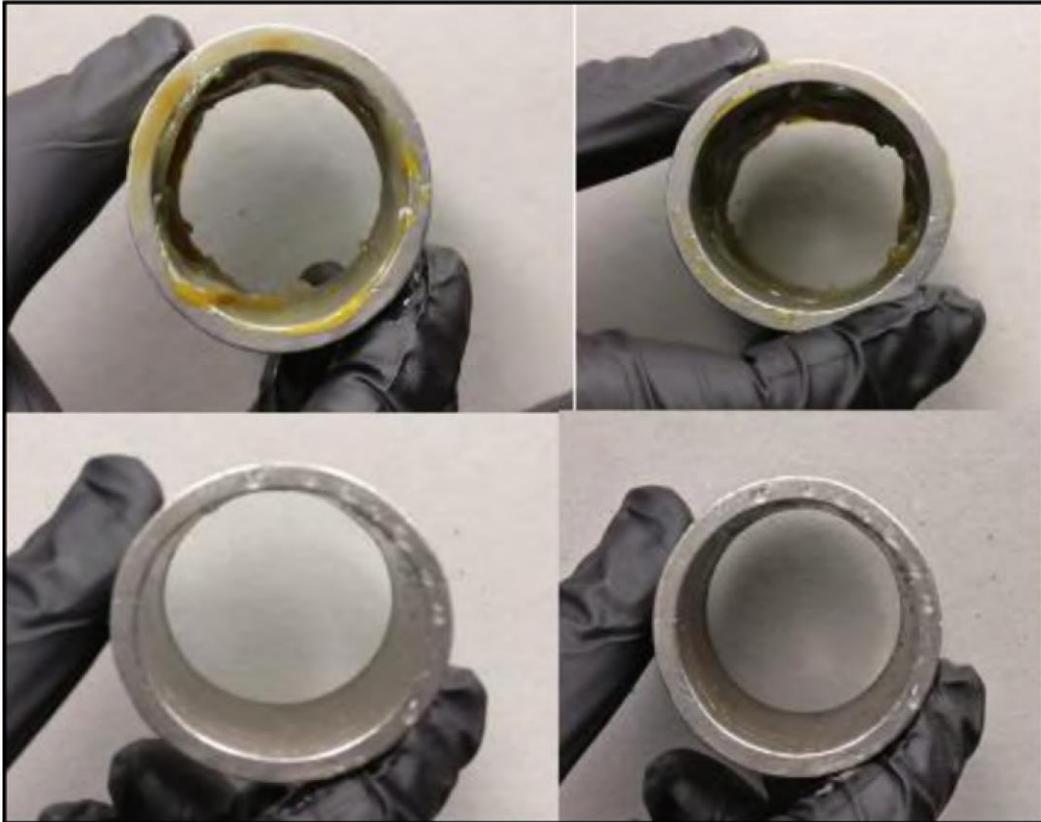
的熱能可以將析出的蠟份溶解液化、產生的壓力能夠將生產管線上的蠟沖刷去除，此外，前述提及熱化學流體中的反應物並不會對管線造成損害或腐蝕等現象，化學反應所產生的壓力不會影響管線的完整性，本篇研究使用的熱化學流體可以應用在高溫或高鹽度的惡劣環境。

圖十五為熱化學流體與阿拉伯油田中的蠟份做反應的實驗(Bench top reaction)，明顯觀察到因化學反應產生的熱使得蠟固體被液化。



圖十五、Bench top reaction 中熱化學流體與蠟固體反應情形

經過兩次熱化學流體試驗移除累積在管線上的蠟固體，試驗後高達 99.4%的蠟被去除，如圖十六可以觀察到試驗前後明顯差異。



圖十六、熱化學流體試驗前(上)後(下)的蠟份附著情形

本篇研究使用 Poiseuille 模式(如下式)來計算流體經過生產管線的壓力降，不同流速會有不同的壓力降，

$$\Delta P = \frac{16f\rho LQ^2}{2\pi^2 D^5}$$

ΔP ：壓力降 (N/m²)

F：Moody 摩擦力係數

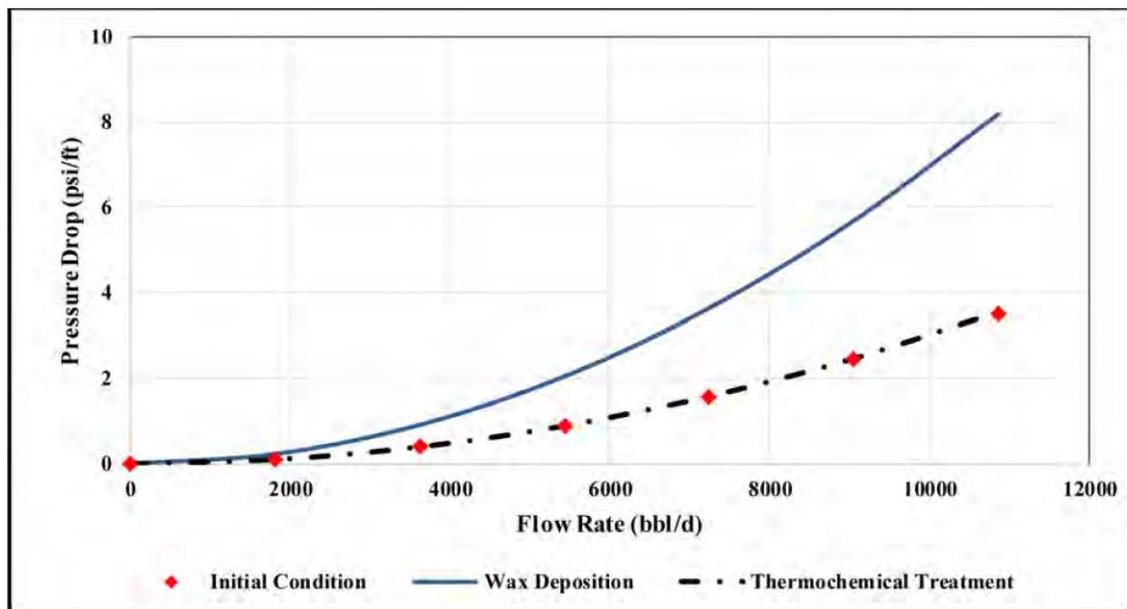
ρ ：流體密度 (kg/m³)

L：管材長度(m)

Q：流速 (m³/s)

D：管材內徑(m)

計算三種不同情況下的流速與壓力降關係，三種情況分別是蠟份沉積前、蠟份沉積後以及注入熱化學流體處理後，如下圖所示，可以發現蠟份沉積後壓力降明顯增加，代表由於蠟份沉澱累積在管壁上，使摩擦力增高，壓力損失變多，在注入熱化學流體處理後，壓力降明顯降低，幾乎回到蠟份尚未沉澱時的初始狀態，除此之外，注入熱化學流體去除蠟份的過程中並沒有對管材造成損害，也無腐蝕現象，可維持管線的完整性。



圖十七、三種不同情形下之壓力降與流速關係

本篇研究對管線的完整性做了進一步的確認，量測試驗前後管線的內徑及密度，假如密度在試驗後變低，可能是因為熱化學流體融蝕了部分管線材料，若密度變高，可能是注入的熱化學流體附著在管壁上，比較兩組不同試驗後發現注入熱化學流體前後的管材內徑及密度幾乎不變(如下表)，因此代表該流體不會和管材產生反應，確保管材保持完整性。

表三、注入熱化學流體前後管材內徑及密度比較

Treatment Index	Damage Type	Inner Diameter (in)		Density (gm/cm ³)		Wax Removal (%)
		Before Treatment	After Treatment	Before Treatment	After Treatment	
S1	Wax deposition	1.592	1.592	7.9337	7.9337	99.40
S2	Wax blockage	1.00	1.00	8.0672	8.0672	97.98

肆、心得及建議

1. 本次奉派參加阿布達比國際石油展覽暨研討會，為期四天的議程下來，深刻感受到國際研討會的盛大場面，尤其是在石油產業相關展覽區的部分，技術論文研討會的主題包羅萬象，同時間多達 13 個會議廳進行簡報，由於場地非常大，建議在研討會前就依據公布的議程預先規劃好時間表，提早到現場了解各會議廳分布位置，以免錯失演講的時機，另外，可以預先下載研討會 APP，方便查看議程及規劃，並即時接收大會的通知訊息。對於如此大型的研討會，建議增加出國計畫的人數，以達到更完整的資料蒐集。
2. 建議在研討會前，擬定好本公司相關硬體、軟體設備或技術的需求，以便在有限的時間內找到目標廠商與之交流，在其餘時間可以多多瀏覽、了解不同設備公司、軟體開發公司或技術服務公司的最新發展賣點，多方比較、蒐集資訊。
3. 在國際研討會上，外文能力是作為交流的一項基本技能，無論在聆聽論文發表、會議期間與人交談、與廠商洽談合作機會，甚至是會後的生活大小事，無時無刻都需要用到英文，因此建議未來有機會參與國際研討會的同仁，多充實英文能力，使出國任務發揮最大價值。
4. 國際性的研討會集結了來自世界各地石油相關產業的專家學者，是一個知識與經驗交流、切磋的難得機會，鼓勵同仁把握機會參與國際研討會，並嘗試投稿國際會議期刊，有機會在臺面上發表研究內容，了解別人的看法與觀點，或許會激發更多火花。
5. 本報告彙整研究論文之第一篇主要亮點在於機率式衰減曲線分析，並以機器學習的方式將資料作智慧分群，由於衰減曲線分析當中參數多少都含有不確定性，因此機率性衰減曲線分析較過去定值法更臻合理，未來用衰減

曲線分析計算剩餘埋藏量或預估未來產量時，可以採用此概念。

6. 第二篇文章主要在研討壓力控制鑽井技術應用在非傳統油氣資源的鑽探工作，當一般鑽井遇到像是泥漿漏失、地層汗損或衝噴等問題時，壓力控制鑽井技術可以克服大部分問題，該技術透過精準控制整個井筒內環孔壓力來進行鑽井工作，本公司在非傳統油氣資源的經驗雖不多，若未來有機會著手於相關工作，可以再進一步了解其適用性，納為鑽井方案的參考。
7. 井底濕氣壓縮技術是一種促進生產並延遲液體聚積的發生的人工舉升技術，搭配ESP或注入氮氣氣舉的方式可以將累積在壓縮機下方的液體帶出，相較之下氮氣氣舉的方式又有更多優勢，當氣井到了生產末期或遇到液體聚積的問題時，往往會因為壓力過低無法順利將天然氣產出，這時就需要施作人工舉升或除液工作，因此井底濕氣壓縮技術搭配氮氣氣舉可提供同時有液體聚積問題及需要人工舉升的氣井做為參考。
8. 高蠟份原油在生產或運輸過程往往會遇到問題，當溫度低於析蠟溫度時，原油中的蠟便會開始析出，嚴重程度輕則影響流動性、重則導致無法生產、造成大量金錢損失。此篇文章內回顧了多種防蠟及除蠟的方法值得參考之外，該研究提出以注入熱化學流體的方式除蠟，經試驗是一種創新、具經濟效益且環保的方式，原油中蠟分的問題不容小覷，查德 BCOIII 礦區原油具高蠟份特性，在面對蠟分的問題時，可以進一步了解其適用性，做為一個參考的方法。