

出國報告（出國類別：開會）

2015 年非傳統資源技術研討會 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：王志文 研究員

派赴國家：美國

出國期間：104 年 7 月 15 日至 7 月 23 日

報告日期：104 年 09 月 02 日

摘要

當傳統油氣資源越來越少之際，世界各國的石油公司都在積極參與非傳統油氣資源(例如:頁岩油、頁岩氣等)的開發，以便能有效掌握油氣資源，增進公司的獲益與穩定國家經濟發展。此次的大會開幕主題以：在當前油價與競爭環境下，非傳統資源的未來發展?從 7 月 20 日至 7 月 22 日止(共三天)，與會的專家將從短期與長期的觀點來評價與開發非傳統資源，並討論非傳統資源對美國國內及全球供應的衝擊及影響。

本次出國是配合 104 年度石油基金「頁岩油氣礦區評估與應用」之執行，參加非傳統油氣資源評估、預測與決策訓練課程，並前往 Schlumberger 公司的研發中心參觀非傳統鑽井、完井與多階段液裂的最新技術，這些對於執行 104 年度石油基金研究計畫，及未來公司進行北美頁岩油氣礦區評估會有相當大的幫助。

目次

摘要.....	1
目次.....	2
壹、 目的	3
貳、 過程	4
參、 心得	15
肆、 建議	16

壹、目的

當傳統油氣資源越來越少之際，世界各國的石油公司都在積極參與非傳統油氣資源(例如:頁岩油、頁岩氣等)的開發，以便能有效掌握油氣資源，增進公司的獲益與穩定國家經濟發展。2014年的非傳統資源技術研討會(簡稱 URTeC 2014)在丹佛舉辦，共有超過 5000 位的石油工程師、地質學家及其他能源專家的共同與會，且歷年的舉辦規模更是以每年 20% 的成長，目前的 URTeC 已成為全球最大的非傳統技術研討會，2015 年的 URTeC 包含 300 多個技術報告(technical presentations)、9 個短期訓練課程(short courses)、5 個現地考察(field trip)及 180 多個現場展示(exhibitors)。

此次的大會開幕主題以：在當前油價與競爭環境下，非傳統資源的未來發展? 從 7 月 20 日至 7 月 22 日止(共三天)，與會的專家將從短期與長期的觀點來評價與開發非傳統資源，並討論非傳統資源對美國國內及全球供應的衝擊及影響。

本次出國是配合 104 年度石油基金「頁岩油氣礦區評估與應用」之執行，計畫以美國做為礦區評估的案例選擇，目前計畫進行中的礦區資料分別位於北達克達州(North Dakota)、克羅拉多州(Colorado)及德州(Texas)。另外，在正式研討會開始之前也有 9 種短期訓練課程，本次預計參加非傳統油氣資源評估、預測與決策訓練課程，並前往 Schlumberger 公司的研發中心參觀非傳統鑽井、完井與多階段液裂的最新技術，這些對於執行 104 年度石油基金研究計畫，及未來公司進行北美頁岩油氣礦區評估會有相當大的幫助。

今年的研討會與展覽會的盛況，並沒有因國際油價大跌而造成頁岩油氣鑽機數量大幅降低的影響，仍有超過 5000 位來自各個領域的石油工程師、地質學家及其他能源專家的共同與會，在研討會與展覽會中涵蓋最新技術與工程設備，對未來頁岩油氣開發仍相當樂觀。

貳、過程

本次出國為期 8 天，出國行程如下表一所示，主要行程為拜會 Schlumberger 公司研討非傳統相關工程技術及參加 2015 年非傳統資源技術研討會及訓練課程。

表一、出國行程

日期	地點	詳細工作內容
7/15	苗栗-桃園-休士頓	路程
7/16	休士頓	拜會 Schlumberger 討論美國頁岩油氣礦區鑽井、完井與多段液裂最新技術
7/17	休士頓--聖安東尼奧	路程
7/18-20	聖安東尼奧	參加非傳統油氣資源評估、預測與決策訓練課程(Assessment, Forecasting and Decision-Making in Unconventional Resource Plays)(2 天)及 2015 年非傳統資源技術研討會(2015 Unconventional Resources Technology Conference, URTeC)(1 天)
7/21	聖安東尼奧	因班機時間，已簽准自費請假觀光
7/22-23	聖安東尼奧-休士頓-桃園-苗栗	回程

一、拜會Schlumberger討論美國頁岩油氣礦區鑽井、完井與多段液裂最新技術

7/16 前往 Schlumberger Digital Technology Theater (DTT), San Felipe office 進行研討，研討內容包含：(1)水平鑽井(Horizontal Drilling)；(2)水力液裂(Hydraulic Fracturing)；(3)多階段液裂技術(Multi-stage Stimulation)及(4)非傳統油氣模擬技術(State of Art Simulation)，分別說明如下：



1. 在水平井鑽井方面：

此次與 Aboyi Olokpo 先生進行水平鑽井相關議題討論，首先從最基本的油氣垂直井與水平井差異談起，也就是為什麼要鑽水平井?除了大家知道的非傳統油氣地層的滲透率較低(例如：緻密氣、頁岩油、頁岩氣)，需要水平鑽井及液裂外，對於具有天然裂縫地層(Natural Fracture)、生產層比較薄(Thin Zones;7-10 英尺厚地層)、



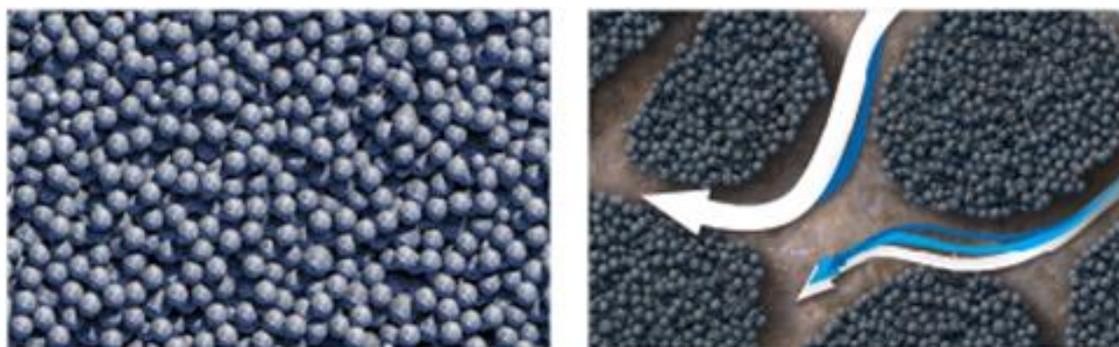
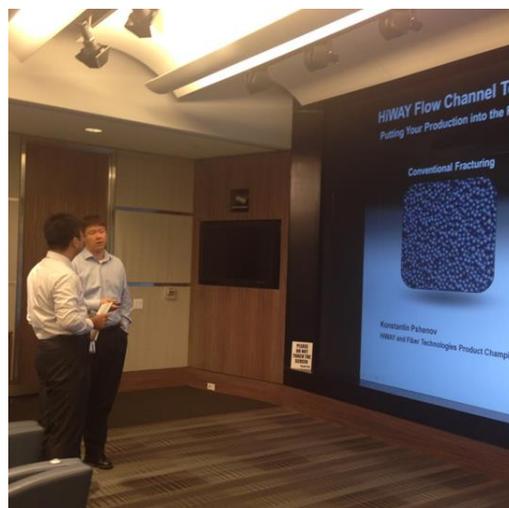
水錐或氣錐(Water or Gas Coning)、加密井(Infill Drilling)、水沖排(Waterfloods，例如：德州、猶他州、加拿大或中東)、二氧化碳沖排(CO2 Floods，例如：西德州)、重油或油砂(Heavy Oil or Oil Sands，例如：加拿大、加州、委內瑞拉)、煤層氣(Coal Bed Methane)。

一談到水平井，大家常會覺得鑽井費用高，通常鑽至相同地層深度的水平井費用大約是垂直井的 2-2.5 倍，但水平井的穩產率也會是垂直井的 2-4 倍，決定鑽鑿垂直井或是水平井的真正考慮應該是兩者之間的生產能力(Productivity; kh)，水平井的生產能力大約是垂直井的 3-5 倍，比較 5 年後的累積生產量，水平

井大約是垂直井的 1.5-3 倍。雖然水平鑽井費用比較高，但其生產量也較大，在合理的油價之下仍比垂直井更具有生產競爭力，且較少有生產問題發生(例如：水錐)。

2. 在水力液裂方面

此次與 Konstantin Pshenov 先生討論水平井在進行水力液裂時，所使用的流體特性與發展，傳統液裂流體的支撐劑顆粒較大，並利用樹脂塗層來增加油氣的流動，但受到重力影響會使支撐劑較快下沉，使得上方液裂又閉合。最新的液裂流體技術稱為 HiWAY，這項技術是從 2010 年開始發展，使用特定的調和與控制系統，將纖維(Fiber)及較小粒徑的支撐劑瞬時脈衝地打入地層，由於纖維可以減緩支撐劑下沉速度，不僅不會造成上方裂縫閉合，且會產生高傳導率(High Conductivity)的通道。



傳統支撐劑(左圖)與新技術 HiWAY(右圖)所形成的通道比較圖

根據該公司在 Eagle Ford 的實際應用中，使用 HiWAY 技術平均增加 20%以上的生產量；平均減少 40%的支撐劑用量；平均減少 25%的用水量。這項技術已使用在 15 個國家；超過 80 個石油公司；超過 10,000 次的液裂段。這總共可以節省 3 億 5 千萬加侖的水、減少 12 億噸的支撐劑用量、減少 1 千 2 百萬噸的 CO2 排放。

3. 在多階段液裂方面：

此次與 Avo Keshishian 先生討論水平井多階段液裂施作設計及步驟，第一項工作是封塞及穿孔(Plug and Perf)，可依據裸孔(Open Hole)、或下套管(Cased Hole)後的差異選擇不同的設備，將不同形式的封塞器泵送至預定深度或位置，接著利用射孔槍進行穿孔，此時以高壓(例如：10,000psi @ 350°F)泵送液裂流體進入井孔中而產生壓裂，接著回收泵送的液裂流體。這個階段完成後，接下來的封塞器和穿孔器再往下一個深度或位置移動，重複完成上面的步驟。



Schlumberger 公司的封塞器(Plug)有下列幾個型式：(1)響尾蛇組合可鑽壓裂封塞(Diamondback Composite Drillable Frac Plug)；(2) 銅斑蛇可鑽橋塞壓裂封塞(Copperhead Drillable Bridge and Frac Plug)；(3) 銅斑蛇大孔徑流通型壓裂封塞(Copperhead Big Bore Flow-Through Frac Plug)及(4) KickStart 的爆破片閥(KickStart Rupture Disc Valve)。以下僅說明第三種的步驟流程：



Step1.設備外觀



Step2.隨著穿孔器泵送至液裂位置前端



Step3.穿孔器後退至液裂位置或深度



Step4.放置高強度液裂球(High-strength frac balls)



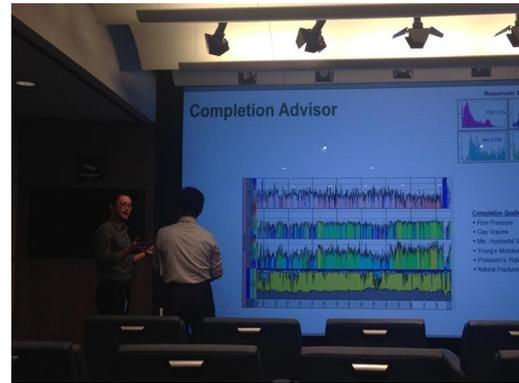
Step5. 高強度液裂球形形成封塞



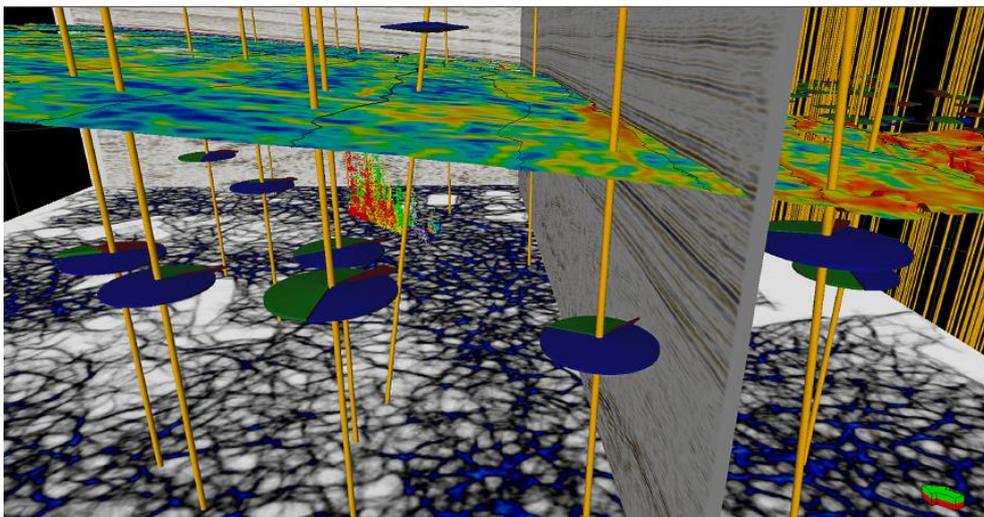
Step6. 注入高壓液裂流體形成人工裂縫

4. 在非傳統油氣模擬技術方面：

Schlumberger 公司針對非傳統頁岩油氣評估，特別在其 Petrel 建模軟體中延伸出 Shale 模組，此模組具有整合電測解釋分析軟體所估算的 TOC 及地層應力-應變資料進行建模，評估頁岩油氣在空間上的 Sweet spot 後，再結合鑽井設計與水力液裂功能進行生產井佈井與水力裂縫分佈，將所建立的模式與該公司的油層模擬軟體(Eclipse)進行生產動態模擬。



Petrel 頁岩模組雖具有強大功能，但實際上要完成這些工作項目，必須要有震測資料、電測資料(特別含 S 波電測)、工程資料甚至是微震資料等才能進行，大多石油公司會缺乏部分資料，實際上很難完全應用。



Petrel 頁岩模組三維可視化功能

二、非傳統油氣資源評估、預測與決策訓練課程(Assessment, Forecasting and Decision-Making in Unconventional Resource Plays)

7月18至19日是一個兩天的訓練課程，課程內容從整個非傳統油氣資源的大架構談起，並不僅只專注在頁岩油氣，並將各種不同非傳統能源(頁岩油、頁岩氣、油頁岩、緻密氣、油砂、煤層氣與天然氣水合物)的優劣性及目前的問題做說明與討論。從討論中可以了解，非傳統頁岩油氣、緻密氣與緻密油在某些評估方法是相同的，但其在地層的分類上、生產特性、鑽井密度等是有差異的，且因為地質上的異質性差異，造成非傳統油氣礦區評估的不確定性。

例如：油頁岩(Oil Shale)和頁岩油(Shale Oil)是不相同的，油頁岩屬於富含未成熟油母質的頁岩，可以利用採礦的方式生產，但其油品需要改質，這點和加拿大油砂類似，雖然理論上說可以利用現地電熱井的方式生產及改質油頁岩，但其經濟成本與生產效益仍相當差。頁岩油又稱為頁岩流體，屬於成熟油母質頁岩，可以利用現地方式生產，可能產出的流體包括：石油、液態天然氣(NGLs)及逆變凝結油(Retrograde Condensate)，因此，開採頁岩油需要高密度的鑽井、水力液裂及具有多項流體流動的生產設備。

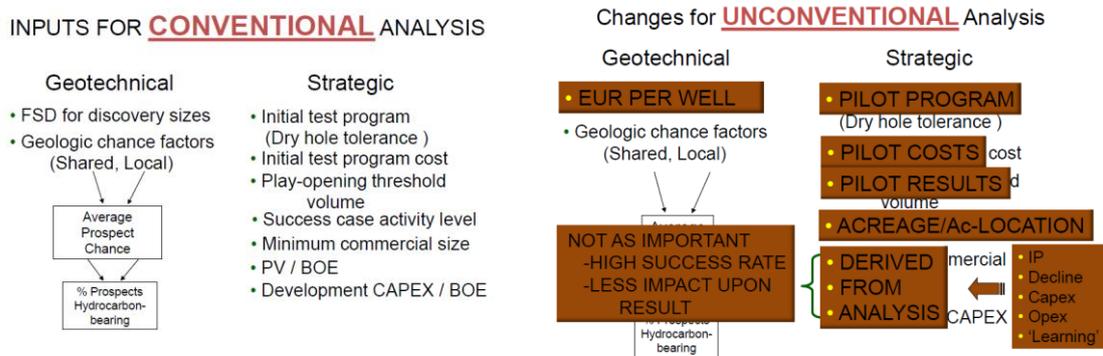
基於非傳統資源的不確定性，成功的非傳統資源探勘與開發需要具備以下條件：

- 以人、時間和資本為最優先 (Prioritization of People, Time, and Capital)
- 能夠辨識已知及不確定的資訊(Recognition of Know and Uncertain Information)
- 用一致的方式來優先和加值新的資訊(A Consistent Way to Prioritize and Value New Information)
- 了解新資料後要做些甚麼(Knowing What to Do with New Information)

因此，投入非傳統油氣資源宛如一場遊戲或賭注，你的公司是否投入這場遊

戲，決定於你的公司了解了些甚麼?這或許是一個機會，你可能贏得這場遊戲而獲利，也可能輸了這場遊戲而血本無歸。在非傳統資源的最佳商業決策中，必須將沉末成本移除來做考量，投資的不確定性可以基於經驗、知識、信仰與資料的機率性來清楚且定量的評估。

另外，如何分析非傳統油氣資源呢？還是以傳統油氣資源評估作為基礎，進行傳統與非傳統油氣資源的對比分析，比較大的觀念轉變是礦區的面積大小與鑽井井數的差異，由於非傳統油氣在地層中的流動範圍有限，區域地質評估後的單井產能、成本等分析變變得相當重要。



從傳統到非傳統油氣資源對比式評估

在非傳統資源量的評估工作上，可利用礦區的不確定性分析來描述好景區 (Play) 的潛能及體積量，這和在傳統油氣資源評估時，利用體積法結合蒙地卡羅模擬法估算出機率性(P90、P50 及 P10)的資源量或蘊藏量，這是課程的一個範例，未來可以讓公司其他同仁一起學習使用。

在非傳統的生產資料分析上，課程主要探討傳統的 Arps(1945)方程式在非傳統油氣評估的適用性，並比較不同方程式所代表流體在地層中的流動行為，在傳統分析上，指數 $b=0$ 為指數型(Exponential)方程式；指數 $b=1$ 為雙曲線型(Hyperbolic)方程式；指數 $0 < b < 1$ 為調和型(Harmonic)方程式，但若使用於非傳統的緻密氣時，指數介於 $1.6 < b < 1.8$ 間，極少數的情況下也會有 $b > 2$ 的情況。

生產遞降曲線分析(Decline Curves Analysis)雖然可以有效地擬合生產期間

的資料，並且適當的利用所回歸的趨勢來預測未來的生產率，但其預測的不確定性仍然相當高，主要是受限於未來預測無法即時反應油氣在地層中流動行為，但這個方法仍然是用來估算單井最終可採量(Estimated Ultimate Recovery，簡稱EUR)的實用方法之一。

非傳統油氣資源評估是一個整合型的評估工作，從地球科學人員(Earth Science)的資源量評估(Resources Volume)；工程人員(Engineering)的生產剖面預測(Production Profile)；鑽井技術(Drilling Technology)的鑽井規劃(Drilling Program)；財務與規劃人員(Finance & Planning)的成本控制(Cost)；水力液裂技術(Stimulation Technology)的試驗設計(Pilot Design)；土地人士(Land Personnel)的土地策略與規劃(Land Strategy)。

因此，中油公司若要投入非傳統油氣探勘與開發，必須先自我回答以下問題：

1.我們的土地策略為何?(What is the Land Strategy?)

選項 1：早期購買所有的土地；選項 2：早期只購買先導試驗(Pilot)的面積，待先導測試成功後保留其餘面積。除此之外，是否還有其他的選擇呢？

2.我們的最佳先導試驗大小為何?(What is the Optimal Pilot Size?)

選項 1：2 或 3 口井；選項 2：15 至 20 口井。

3.我們會面臨哪些負面風險呢?(What is the Downside Risk?)

了解我們一但面臨的錯誤決定，會造成的最大痛苦或損失是甚麼。

4.先導試驗會告訴我們真相嗎?(Is the Pilot Telling Us the Truth?)

發現先導試驗結果不佳時，我們是否能決定將此即早放棄。

5.我們何時可以回收呢?(When do We Get Payout?)

投入非傳統油氣資源的探勘的生產，要有可能 20 年後才回本的心理準備。

6.成功的條件是甚麼呢?(What Makes Us Successful?)

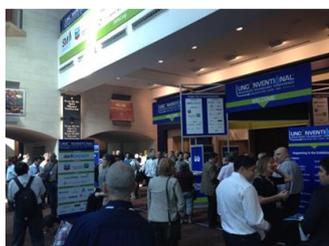
成本?經營效率?起始的生產率?蘊藏量?或是土地策略?



訓練課程照片

三、 2015年非傳統資源技術研討會(2015 Unconventional Resources Technology Conference, URTeC)

7月20至22日共有三天為本次會議暨展覽會的主要活動，礙於出國行程規畫僅參加第一天的活動，我這天的行程主要在展覽會場了解不同廠商在非傳統油氣資源最新技術與相關資源，說明如下：



展覽會準備進場現況



kappa公司最新非傳統評估流程



Deven公司對非傳統油氣看法介紹



CMG公司展覽位置



IHS的Petra簡介



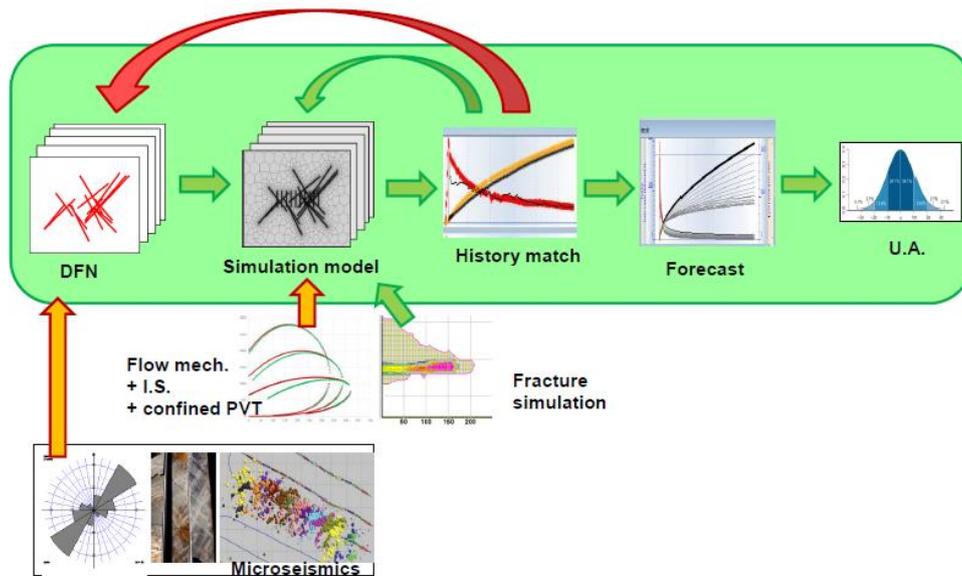
會議暨展覽會照片

1. KAPPA 公司研討非傳統評估流程：

探採研究所為 KAPPA Unconventional Resources Consortium(簡稱 KURC1)的首次會員，且使用該公司相關軟體進行傳統與非傳統油氣礦區評估工作，此次針對非傳統評估流程進行討論，在我們取得礦區生產資料時，可以利用生產遞降曲線分析軟體(Citrine)進行分析，除了估算每一口生產井的最終可採量(EUR)外，更可以將鄰近區域的生產井資料做分群分析，了解其在地理系統或空間上是否有產油量或產氣量大小的趨勢，做為未來鑽井的參考。

除此之外，若我們可以同時取得生產井的生產率與井底壓力資料，可以利用產率暫態分析軟體(Topaze)進行分析，有機會分析出該生產井的流動行為以及是否受到變界影響與干擾分析等，這對於未來鑽井的井位安排有幫助。

另外，現在的水力液裂流體仍持續在發展中，早期液裂流體中的水回收率常常不佳，導致有些水堆積在生產井下方的開裂裂縫中，這個現象就如同生產井受到污損而降低生產能力。這個結果常常導致利用生產資料分析預測的結果，在未來與實際生產會有落差，而有高估未來生產率或是最終可採量(EUR)的現象發生。實際上並非如此，若沒有透過其他方式(例如生產期間的壓力資料)判斷，很難了解這個問題。



KAPPA 非傳統評估工作流程

2. IHS 公司的 Petra 簡介

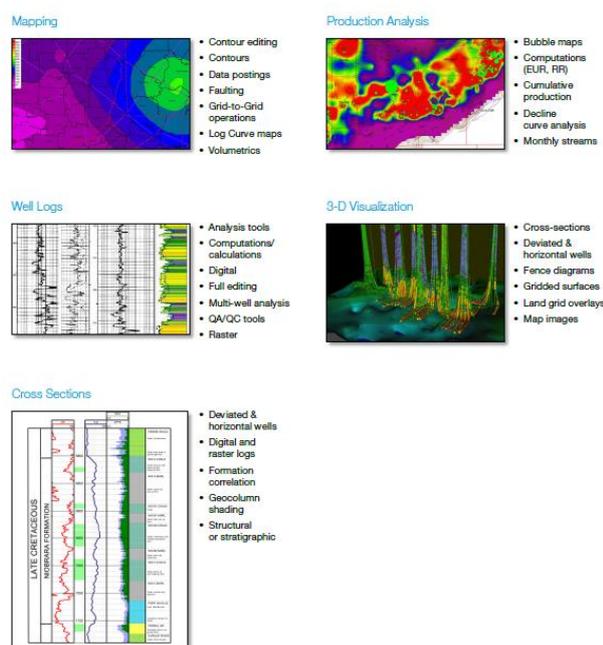
Petra 是一個整合型的資料管理系統，進行可視化與一體化的地質、地球物理與工程資料，使用者可以快速將結果進行映射、剖面連線、震測解釋、井測繪圖與連井線圖、生產與油層資料分析的三維可視化功能，可以幫助地質、工程師與技術分析人員的工作：

- 縮短評估期間並加快鑽井決策
- 整合 HIS 既有資料庫資料(包含井、生產及電測資料)
- 快速定義油氣層與專注資料分析而不只是製圖
- 進行礦區併購和取得評估

Petra 最主要的功能是連結 IHS 公司既有的資料庫，將生產井的生產資料繪製在二維空間的平面分佈圖或是將電測資料繪製成連井線圖或是三維空間分佈圖，這些對於非傳統評估有快速的幫助。

3. 其他參訪

除了在KAPPA與HIS公司了解非傳統評估相關軟體外，也聽取Deven公司對於非傳統油氣的未來看法，雖然因為目前國際油價持續低靡，但Deven公司仍然看好非傳統油氣資源的未來性。Schlumberger公司針對該公司可以供非傳統油鑽井、液裂與評估等新技術作介紹。會場也展示美國主要非傳統油氣盆地的岩心，透過實際觀察了解不同盆地的岩心分佈。



參、心得

本次奉派出國參與「2014 年非傳統資源技術研討會」是配合 104 年度石油基金「頁岩油氣礦區評估與應用」之執行，除了參加研討會與展覽會外，也參加「非傳統油氣資源評估、預測與決策」訓練課程，並前往 Schlumberger 公司的研發中心參觀非傳統鑽井、完井與多階段液裂的最新技術，這些對於執行 104 年度石油基金研究計畫，及未來公司進行北美頁岩油氣礦區評估會有相當大的幫助，相關心得如下：

- 一、與 Schlumberger 公司 4 位專家分別討論非傳統(頁岩油氣)水平井鑽井、液裂流體、液裂設備技術與模擬評估，可以了解非傳統油氣生產井在生產前的工程與評估技術，對於公司在未來進行非傳統礦區鑽井及液裂時的參考。
- 二、本次訓練課程共有近 30 位人員參加，課程由美國石油地質學會(AAPG)聘請 William Haskett 授課，課程涵蓋油氣資源量評估、生產預測及決策分析，提供未來公司投入非傳統礦區的評估技術與決策參考。
- 三、非傳統油氣資源探勘、開發、鑽井、生產與銷售是一件相當複雜的工作，在評估期間除了面對複雜且大量的資料處理與分析外，更需要整合不同領域的工作團隊共同進行，無論哪個公司所提供的評估流程，都在在顯示跨領域整合分析的重要性，許多成功或失敗的案例都顯示跨領域工作對於非傳統油氣的影響。
- 四、本次出國學習美國在非傳統油氣資源相關最新技術與現況，對於今年執行的石油基金計畫「非傳統油氣礦區評估與應用」有相當大的幫助，除了鑽井相關工程設備與技術外，在生產資料分析上也特別注意受到邊界影響厚的趨勢。
- 五、此次認識了許多不同領域的工作夥伴，回國後也有持續以 e-mail 與國外專家保持聯繫，對未來相關工作也會也幫助。

肆、建議

- 一、台灣中油公司同仁在近年來積極參與國外非傳統油氣礦區評估工作，特別是以美國為主要的目標礦區，在國內較缺乏這類的油氣資源可供評估或鑽井生產，建議政府或公司能多鼓勵同仁到國外參加相關研討會，以學習世界各國在頁岩油氣資源的探勘新技術與發展。
- 二、本次參加的非傳統資源技術研討會是全球有關非傳統資源的最大會議，由於頁岩油氣資源的評估工作需要跨領域(地球化學、地質、地球物理、工程開發與經濟評估)的結合，會議中會有各方面專家學者與會(例如：AAPG、SEG 與 SPE 會員)，建議一次可以選派各領域的優秀同仁至國外進行短期學習，所習得技術可以傳承給其他同仁外，更可實際應用於國外可能投資的頁岩油氣礦區評估工作上，所得評估結果可以提供給公司決策人員參考。