

出國報告（出國類別：實習）

赴美國休斯頓參加
「防砂控制技術訓練」課程報告

服務機關：台灣中油公司探採事業部

姓名職稱：賴佑欣 石油開採工程師

派赴國家/地區：美國/休斯頓

出國期間：107 年 10 月 13 日至 10 月 24 日

報告日期：107 年 11 月 23 日

摘要

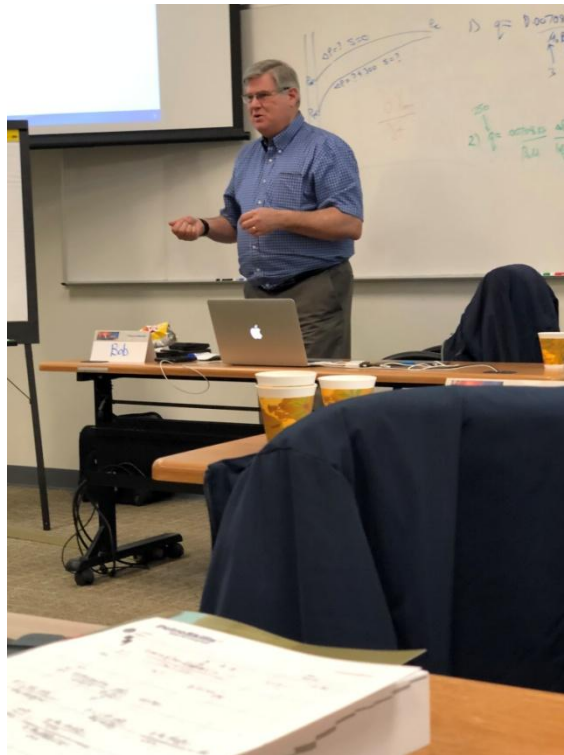
本次目的為達到觀摩學習及吸收新知的效果，俾利未來可開採台灣南部陸上或國外礦區出砂之油氣井，於 107 年 10 月 15 日至 10 月 19 日赴美國休士頓參加防砂控制（Sand Control）技術訓練課程，課程於休士頓 PetroSkills 公司訓練教室舉辦（25403 Katy Mills Pkwy, Katy, TX），講師為 Dr. John Robert（Bob）Nichol，擁有三十五年以上石油工程經驗，現服務於加拿大 Alberta 政府能源部門，在油田生產、開發與油層工程等方面經驗豐富。參與者多為各大油公司之生產或完井部門員工（eg. Chevron, Pan American ENERGY 等），課堂中亦互相分享防砂控制案例，收穫頗豐。防砂控制其實就是地層固粒控制（Formation Solids Control），談到地層固粒應先區分為承受負荷之固粒及細砂。細砂與孔隙架構無關，且為承受負荷，因此常隨流體流動，細砂如在孔隙間沉積下來則會阻塞通路，影響產率，如伴隨流體產出，利於通道之暢通，對於產率反而有益，但不宜過量以免設備受其侵蝕。是否過量沒有一定標準，一般如超過 1%（體積比）即過量，惟必須視個別情況而定。以礫石填充及篩管防砂之目的，一方面為維持地層固粒原有之架構，保持孔隙率避免損及生產潛能，一方面儘量防止細砂之流動，以避免阻塞通路及過量產出。因此篩管之開孔間隙及礫石之大小，須配合地層固粒而定。

目次

<u>摘要.....</u>	<u>1</u>
<u>目次.....</u>	<u>2</u>
本 文	
<u>壹、目的.....</u>	<u>3</u>
<u>貳、過程.....</u>	<u>4</u>
<u>參、具體成效及心得及建議.....</u>	<u>13</u>
<u>肆、參考文獻.....</u>	<u>14</u>

壹、目的

本次目的為達到觀摩學習及吸收新知的效果，俾利未來可開採台灣南部陸上或國外礦區出砂之油氣井，於 107 年 10 月 15 至 10 月 19 日赴美國休士頓參加防砂控制（Sand Control）技術訓練課程，課程於休士頓 PetroSkills 公司訓練教室舉辦（25403 Katy Mills Pkwy, Katy, TX），講師為 Dr. John Robert（Bob）Nichol，擁有三十五年以上石油工程經驗，現服務於加拿大 Alberta 政府能源部門，在油田生產、開發與油層工程等方面經驗豐富。參與者多為各大油公司之生產或完井部門員工（eg. Chevron, Pan American ENERGY 等），課堂中亦互相分享防砂控制案例，收穫頗豐。



圖一、本次課程講師 Dr. John Robert（Bob）Nichol

貳、過程

(一) 出國行程：

DAY1~2	啟程	桃園-休士頓
DAY3~7	參加防砂控制 (Sand Control) 技術訓練課程	
DAY8~10	自請休假 (市區觀光)	
DAY11~12	返程	休士頓-桃園

(二) 課程內容：

防砂控制其實就是地層固粒控制 (Formation Solids Control)，談到地層固粒應先區分為承受負荷之固粒及細砂。細砂與孔隙架構無關，且為承受負荷，因此常隨流體流動，細砂如在孔隙間沉積下來則會阻塞通路，影響產率，如伴隨流體產出，利於通道之暢通，對於產率反而有益，但不宜過量以免設備受其侵蝕。是否過量沒有一定標準，一般如超過 1% (體積比) 即過量，惟必須視個別情況而定。以礫石填充及篩管防砂之目的，一方面為維持地層固粒原有之架構，保持孔隙率避免損及生產潛能，一方面儘量防止細砂之流動，以避免阻塞通路及過量產出。因此篩管之開孔間隙及礫石之大小，須配合地層固粒而定。

當從未固結的儲層生產石油和天然氣時，出砂會引起各種代價昂貴的問題，最昂貴的問題通常是由於計劃不周或執行防砂控制方法時造成地層損壞導致的生產損失。本課程將分享在選擇要使用的防砂技術時必須考慮的參數及檢查案例及生產問題和案例歷史等導致早期油氣井無法生產的問題類型。課程將導入幾種新的防砂技術，例如幾種不同類型的可擴展篩管 (Expandable screens)，還將涵蓋這些新技術的正確應用。與會者將完全了解在生產井和注產井中設計和實施具有成本效益的防砂措施的必要性。

Day1

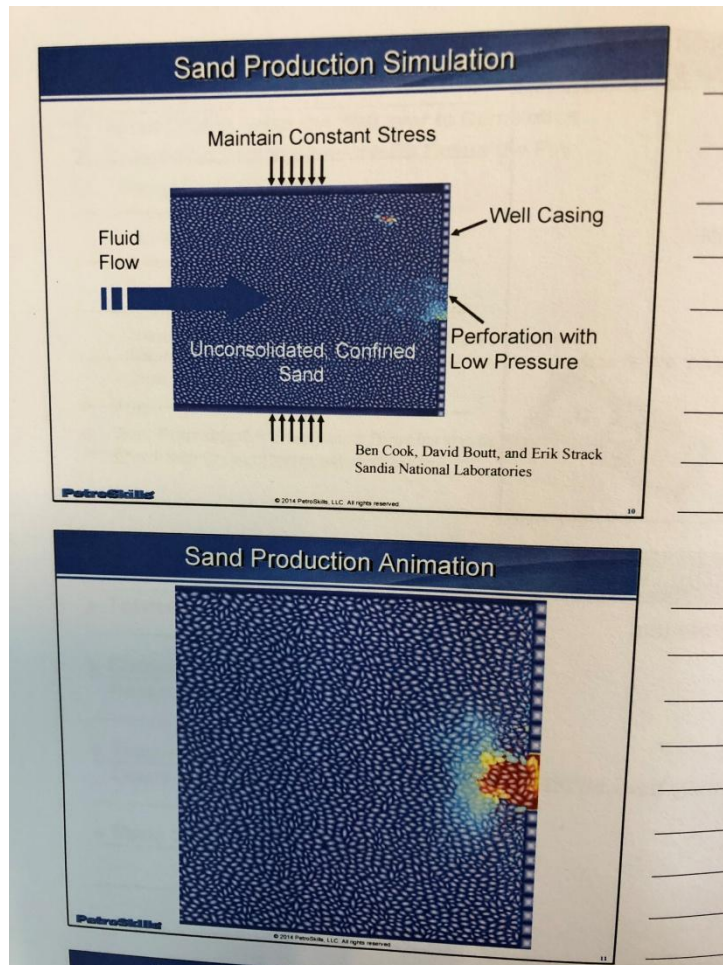
搭乘長榮航空抵達休士頓，翌日早上於 PetroSkills 公司訓練教室舉辦 (25403 Katy Mills Pkwy, Katy, TX) 為期五日的防砂控制訓練課程。首日為課程介紹，講師就本身學經歷，課程目標進行解說，藉由案例講解與各項防砂控制技術介紹，以達到深入淺出的訓練效果。分述如下：介紹如何選擇最適合之防砂控制方法，分析各項參數如儲集層類型、生產井作業限制、經濟分析、風險分析等要素，來決定是否需要作防砂控制或以現有條件繼續生產。過去同類型生產井案例也可作為

參考，再經由長時間、高產率地層測驗、生產出砂模擬等作總體考量，以決定最適合之方案。非防砂控制常見方案例如：維持原狀生產、Cyclonic Surface 分離、依產率排除、選擇適合完井類型、指向性穿孔作業、高密度穿孔作業、水平完井、液裂（Fracturing）等。防砂控制方案例如：化學物質固結、以樹脂固結礫石、襯管或篩管開孔（不含礫石填充）、襯管或篩管開孔（含礫石填充）、壓裂填充（FracPacking）及液裂、Multiple Fracpacks、Multilaterals with Fracpacks、可擴展篩管（Expandable screens）、Vent Screens 等方法。但大部分時候生產井資料是不足的，因此經常需要比對過去類似案例生產井地層及生產資料用以決定。

Day2

學習輻射流（Radial Flow）與地層污損公式，及井內輻射流流向，並配合達西定律參數計算井內流率，瞭解地層污損原因，決定膚表因子（Skin），計算流動效率（Flow efficiency），並討論對井眼生產所造成的污損影響類型，研究何種方式可減少對生產井的污損影響。學習生產時為何會導致出砂及其影響，分析不同類型的出砂地層，一般 UCS（Ultimate Compressive Strength）<10Psi 為極極弱岩層，10<UCS<1000Psi 為極弱岩層，UCS>1000Psi 為弱岩層，弱岩層可穿孔，生產時出砂風險也較小。壓降（Drawdown Pressure）為儲集層至井口之壓力差，是重要的防砂控制參數之一，當壓降大時流速也高，但也會造成大量出砂，因此如何控制壓降便成為生產時需考慮之因素。一般會使用節流嘴、油管尺寸大小、分離器壓力、泵速等方式進行控制。

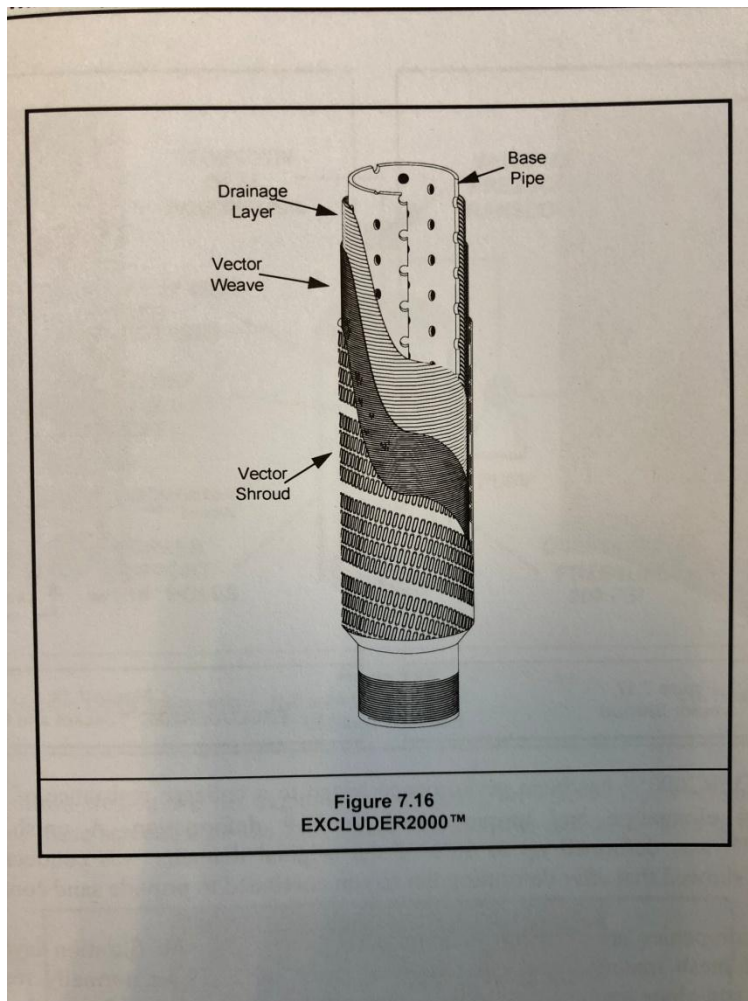
預測生產出砂可藉由地層測試（DST）或附近相同儲集層生產井以得知，或參考過去類似井資料，穿孔或電測資料或出砂模擬軟體等也可作為協助判斷資料。擠注樹脂以固結地層砂技術，討論不同類型的樹脂固結地層系統，是否一併使用礫石填充等技術，於井眼填充被覆樹脂之礫石，以達成增加滲透率、地層抗壓應力，減少出砂污損地層的效果，但一般只能在小範圍內使用。礫石填充（Gravel Pack）選擇一方面維持地層固粒原有之架構，保持孔隙，避免損及生產潛能，一方面儘量防止細砂之流動，以免阻塞通路及過量產出。因此篩管之開孔間隙及礫石之大小，須配合地層固粒而定。包括取樣及過篩分析、粒徑分佈與均勻度，均勻度計算公式 $C_u = d_{40}/d_{90}$ （累積殘留篩網重量百分比之粒徑），一般而言， $C_u < 3$ 可算是均勻度良好， $3 < C_u < 7$ 均勻度不佳， $C_u > 7$ 則屬極不均勻。礫石選擇填充時，使用愈小之礫石，愈能達到防砂效果，但產率將相對的降低，因此礫石之尺寸應配合地層固粒大小分佈狀況，來作最適合之搭配，另一因素為選擇礫石材質，須考慮其強度、重量、價格、是否具有高滲透率等。



圖二：出砂生產模擬

Day3

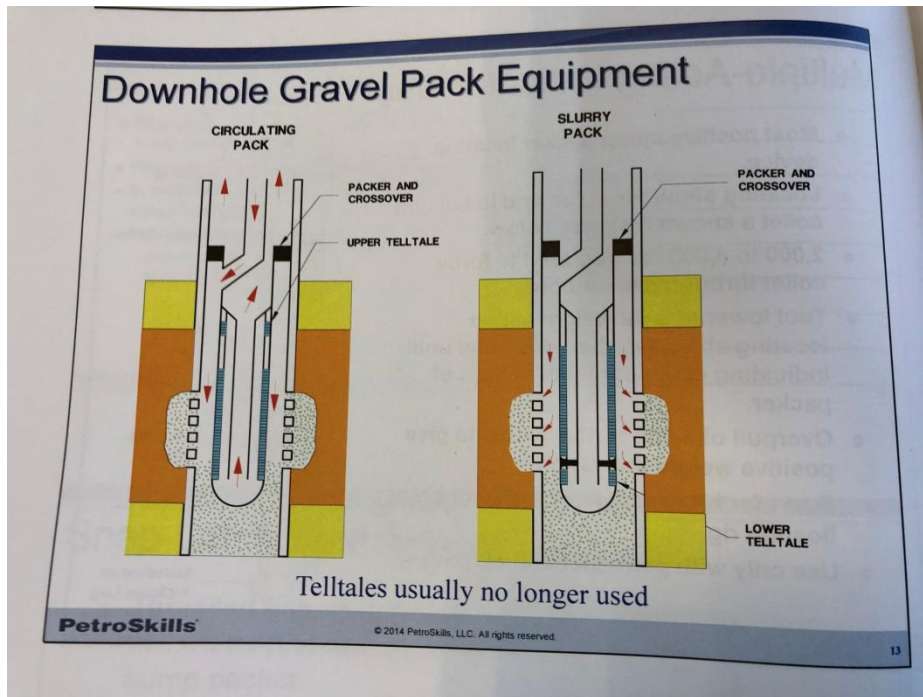
研討各種開孔襯管及篩管，或可配合礫石填充、可擴展篩管、FracPack（壓裂填充）使用。篩管是以鋼條纏繞及焊接而成，鋼條間隙既能提供流體通過之廣大面積，又可阻止礫石通過，維持礫石填充層之穩定。篩管由於其纏繞及焊接方式與構造之不同，不但價格有差異，流動能力及強度亦有區別，主要可分為管身纏繞型（Wire-Wrapped Screen）、全焊型（All-Welded Screen）、無孔管式篩管（Rod-Base Screen）、預製套焊型（Prepacked Screen）等，不同公司製造篩管會有不同名稱，本公司106年完成兩口鐵砧山注產C井所使用的防砂篩管即為 Baker Hughes EXCLUDER2000™。若井內張力過高時篩管亦會斷裂或破損，因此如何控制產率避免篩管提早損壞亦需納入考量。在篩管測試中可先於地面作堵塞測試、侵蝕測試等測試。



圖三：鐵砧山注產 C1、C2 井所使用防砂篩管

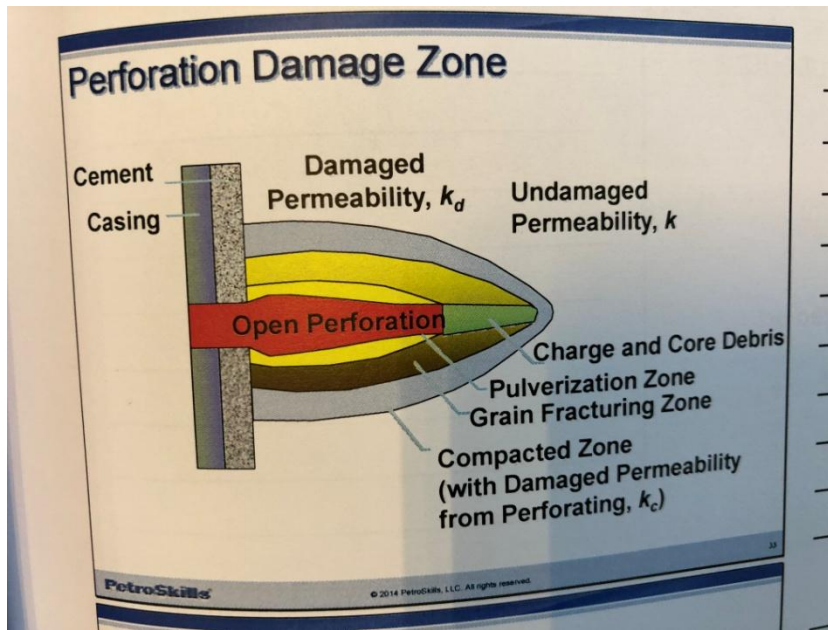
Baker Hughes EXCLUDER2000™

認識礫石填充（Gravel pack）所需設備工具（在套管中或裸孔），瞭解各項設備的功能，選擇礫石填充適合篩管型式，計算 Blank Pipe 所需長度，機械性控制流體流失方法，如使用檔板閥（Flapper Valves）、Double Flapper Valves、選擇適合篩管、設置獨立填塞器等。化學性控制流體流失方法，如添加顆粒鹽、油溶性樹脂、碳酸鈣、礫石填充砂、聚合物等填充材料。本公司完成鐵砧山注產 A、B 井時即有使用礫石填充技術，委託 Schlumberger 公司施工。

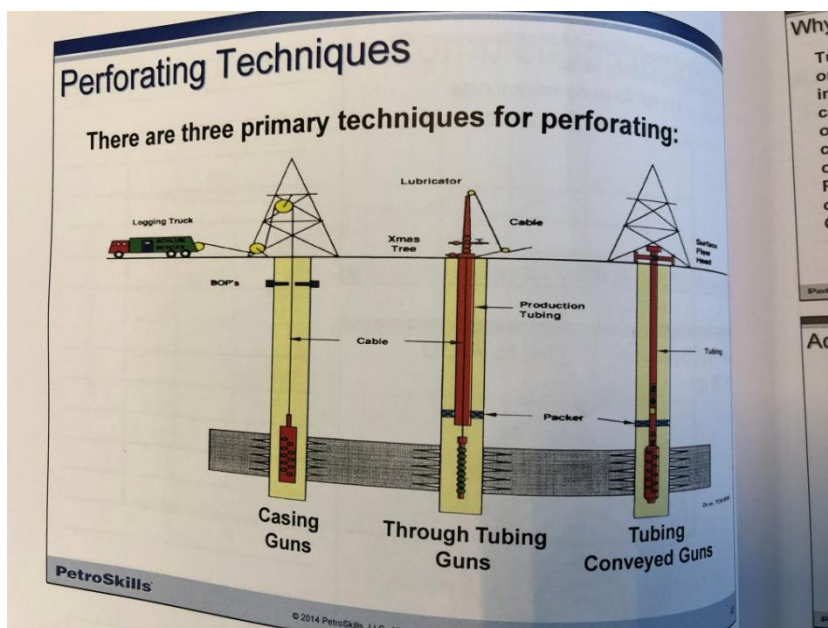


圖四：礫石填充（Gravel pack）井內設備圖

穿孔作業（Perforation）係使用穿孔器再由氣層部位予以穿孔，貫穿套管至地層，使地層內之油氣沿穿孔孔道進入套管內而達生產之目的，除了生產目的施行穿孔外，為了下完套管後之水泥封固不良時擠壓水泥、液裂、酸處理或其他特殊作業時亦需施行穿孔。穿孔器可分為子彈式穿孔器（Bullet Perforating）、噴射式穿孔器（Jet Perforating）、水力噴射式穿孔器（Water-Jet Perforating）等，早期台灣採用 Mccullough M-3 子彈式穿孔器，其構造如同普通槍支，只是縮短了槍管之距離。新的噴射式穿孔器有一次可多量發射、深度控制確實、富高度選擇性、可經油管穿孔等優點，因此子彈式穿孔器已無生產使用。穿孔一般有三種主要方法，套管穿孔（Casing Perforating）、穿過油管穿孔（Through Tubing Perforating）、油管傳輸穿孔（Tubing-Conveyed Perforating），其中油管傳輸穿孔法簡稱 T.C.P，係將大直徑高密度穿孔器組接懸掛在油管中底端，下至井內穿孔的方法，在某些完井設計和條件下，比電纜線組接下井穿孔具有明顯的優越性能。本公司目前是採用電纜線穿孔法（Wireline Perforating）。



圖五：穿孔破損區

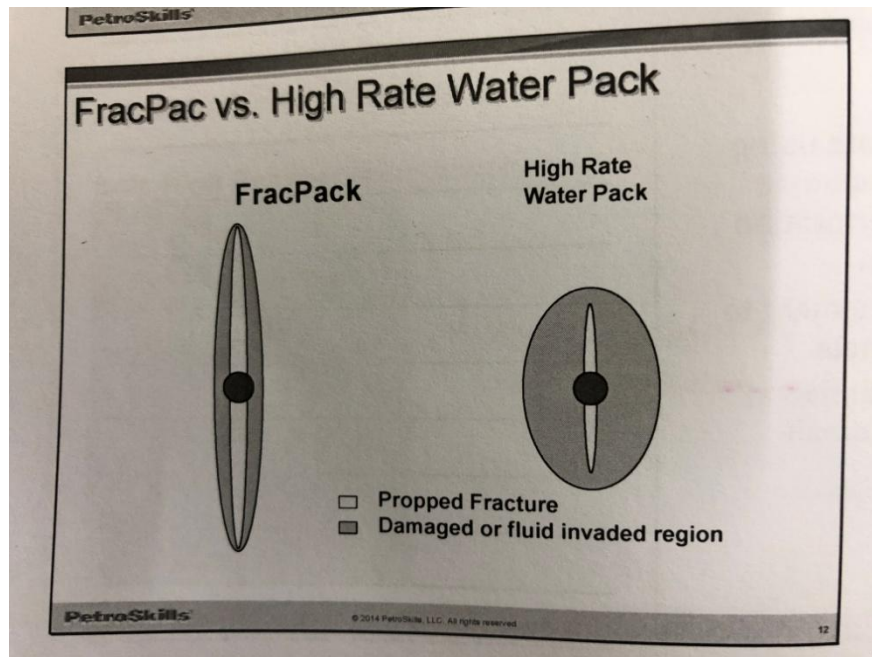


圖六：穿孔技術主要可分三大類

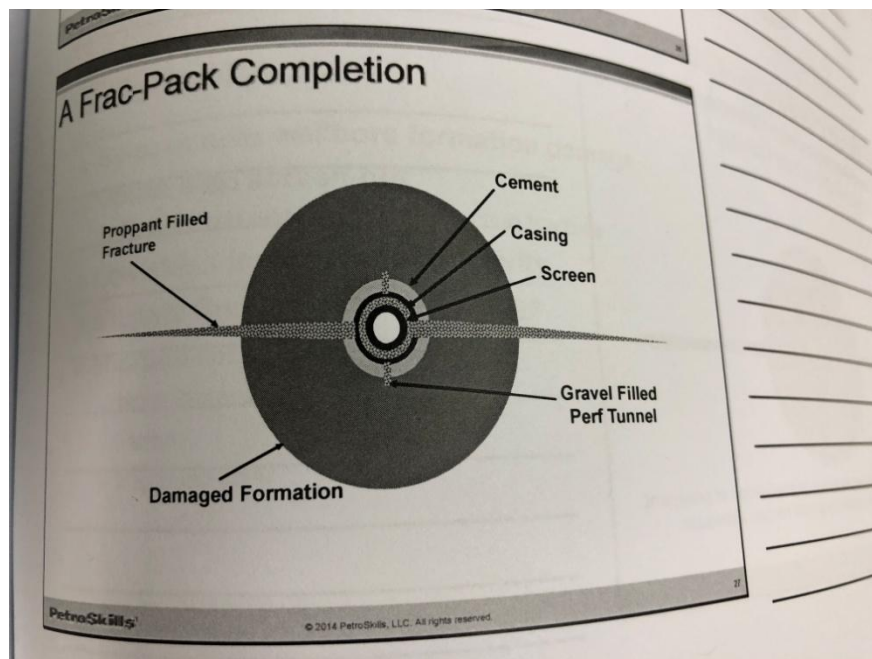
Day4

壓裂填充（Frac-Pack）概念自 1959 年被提出，直到 1980 年代才較被廣為運用。壓裂填充與水力壓裂（Hydraulic Fracturing）不同，是一種特別方法針對間隔短、範圍廣的地層進行。水力壓裂則是注入含礫石的泥漿流體進入地層，使地層加速產生破裂，使硬質、低滲透率地層，轉變成高滲透率且有連通孔道至井口。壓裂填充選項例如 High Rate Water pack、水力壓裂（Water Frac）、Extension

Pack、Linear Gel 等支撐劑。其中 High Rate Water pack 因所需注入流體較少，對地層汙損程度較低，且可適用較窄之儲集層、及角度較大之井，因此較常被使用。另外注入之流體黏度等也必須考慮對地層之適用性。壓裂填充一般可增加地層生產率為傳統礫石填充的五倍以上，但增加成本也高於礫石填充（高出多少視地點而定），現已可使用壓裂填充模擬軟體進行最佳化分析。



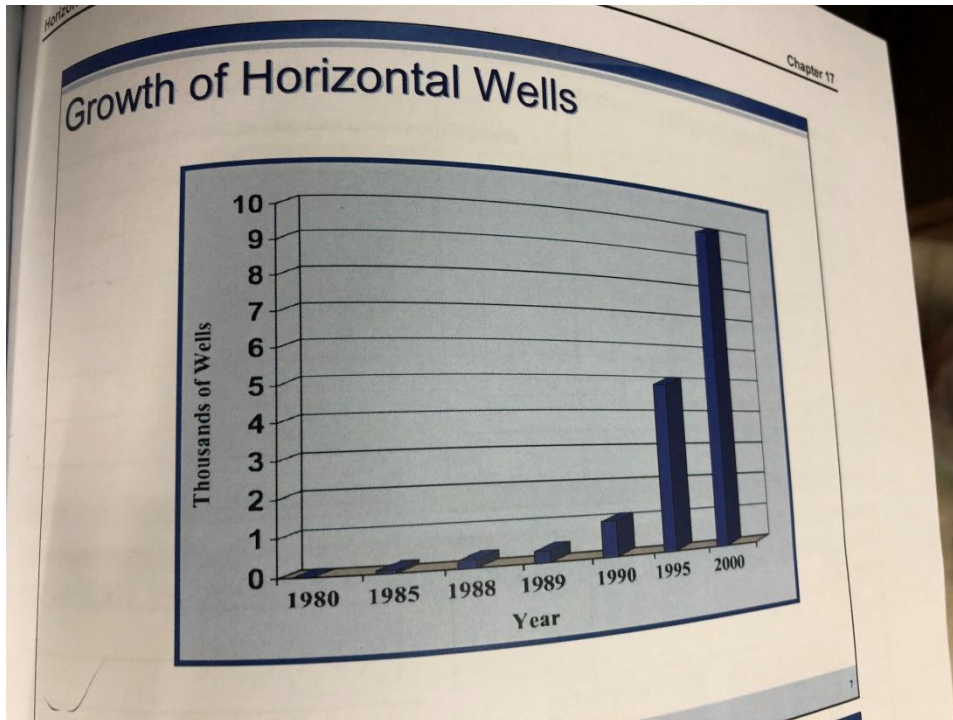
圖七： Frac-Pack vs. High Rate Water pack 完井



圖八：壓裂填充（Frac-Pack）完井

Day5

水平鑽井技術為垂直鑽井至所需深度，再橫向鑽探至氣田儲量豐富的位置。其優點有生產率高、流速低（出砂較少）、更經濟（減少鑽井口數）、減少出水圓錐效應、增加採收率等，缺點為鑽井較費時、工法較困難、隔離地層較困難、水平完井及穿孔難度較高、礫石填充困難等。近年來水平鑽井常配合水力壓裂技術用於開採頁岩油、重油等低孔隙率、滲透率地層，增加產率以達成經濟產量。一般水平井最終的開採儲量是直井的 3 倍以上，成本只相當於直井的 1.5 倍，因此水平鑽井在經濟性上仍優於一般井，近年來水平鑽井數量也持續呈上升趨勢。



圖九：近年來全球水平鑽井數量成長

可擴展篩管（Expandable screens）於 1999 年左右開始發展，其特點為完井後篩管可擴張緊貼井壁，且其濾網之開口大小不受篩管膨脹之影響，同時也因篩管管徑變大，減小篩管與井壁間之環孔。膨脹式篩管之流入面積較大，濾網堵塞及磨蝕機率較傳統篩管低，而且伸入井內時尚未膨脹，管徑較小易於施工，完工後篩管內徑較大，易於進行不同生產層次之隔離（Isolation），更因篩管膨脹後緊貼井壁而使井孔更穩定降低砂粒之移動。對淘選及均勻係數較大且細粒含量較多之生產層，遠較礫石填充完井適用，且其成本亦較低。目前主要有國外石油服務公司 Baker（GeoFORM）、Halliburton（PetroGuard）、Weatherford（ESS）公司擁有此項防砂技術。



圖十：各家廠商可擴展篩管（Expandable screens）

參、具體成效及心得與建議

本次出國訓練包括眾多防砂控制生產工程相關課程，石油專門訓練課程相當昂貴，以 PetroSkills 公司為例，一門五日的課程之註冊費約為台幣十三至十五萬元（含教材）。如邀請外國講師至本公司開班授課，或許可較派人出國受訓節省費用。

目前國內陸上油氣田（出磺坑、錦水、青草湖、鐵砧山、官田）已接近生產末期，若欲開發台灣南部構造，依照先前民國 102 年鑽探鳳山 3 號井出砂經驗，因出砂粒徑大小極細，類似粉砂狀，一般篩管無法物理性防砂，故須做其他防砂控制完井否則根本無法生產。但目前防砂控制之關鍵技術例如礫石填充、壓裂填充、水平鑽井及液裂、可擴展篩管等防砂生產技術本公司均無實作經驗，需依靠國外技術服務公司協助。其中僅有礫石填充技術曾於 87 年鐵砧山注產 A、B 井施作（配合下篩管防砂），其它技術並無於國內陸上施作過，因此如何將上述新技術在地狹人稠的台灣引入，並在工程進行時與附近居民溝通，不引起居民抗爭方為重點。

而其中在國內陸上可行性最高應為可擴展篩管技術，Baker 公司也曾來介紹過 GeoFORM 此項可擴展篩管產品，並對台灣南部出砂情況建議可用壓裂填充、可擴展篩管兩種方式做防砂控制，但壓裂填充經常需要注入化學性物質流體，且需要較大的井場空間放置大型液裂設備，如液裂液及支撐劑系統、加壓泵浦系統、攪拌裝置系統、監測操控系統等，較不適用於採收國內普遍地狹人稠的陸上油氣田。而可擴展篩管技術據 Baker 公司說明，防砂效能與壓裂填充相差不大，均約可維持五年左右防砂控制之功能，而井場所需空間又較壓裂填充小，惟工程價格是根據廠商報價而定。因此，目前台灣南部陸上容易出砂之油氣田構造若要規劃步入開發生產，建議可先與探採研究所合作以實驗井名義，進行可擴展篩管試驗井小規模生產，俾利進行開採可行性評估。

肆、參考文獻

范振暉（2006），參加泥質砂岩防砂技術研討會暨 2006 年國際石油工程學會 SPE 技術年會出國報告。