

出國報告（出國類別：實習）

套管開窗設備操作及技術研習報告

服務機關：台灣中油股份有限公司 探採事業部 鑽探工程處

姓名職稱：林垠成 井務工程組組長

許瑞育 石油開採工程師

派赴國家：美國

出國期間：105年11月20日至11月26日

報告日期：105年12月21日

套管開窗設備操作及技術研習

摘 要

目前中油公司在出磺坑、錦水地區舊有油氣田，已歷經數十年生產，其中部分井因過於老舊致套管破掉(如：錦水 72 號井)，倘若能透過套管開窗設備，開創出新的井孔使其重新生產，甚至利用此項工具，鑽入之前未探索之地層，必能替公司帶來更多的可採資源量。

本次為能更了解套管開窗設備操作原理及其技術發展，筆者與本組林垠成組長，特地前往美國休士頓，參訪貝克休斯(Baker Hughes)及斯蘭卜吉(Schlumberger)兩家全球前三大的石油服務公司；就套管開窗設備而言，目前發展十年餘，可分為機械式(Mechanical)與液壓式(Hydraulic)兩種形式。機械式為較早期之產品，穩定可靠但較費時，液壓式技術也日趨成熟，可直接透過液壓設置，未來將逐漸成為主流。若要引進套管開窗設備，本次出國所獲得的新知與文件，可作為日後招標作業之重要依據。

另外，在定向鑽井時(Directional Drilling)，也可使用此設備於裸孔或是已經下套管的井孔中，來強迫井程能沿著預定的方向和軌跡，鑽達目標層。尤其過去在出磺坑地區，因地質構造特殊(如：斷層、地層傾角太大等)，往往定向、或是增角不易，亦可使用此設備來輔助定向鑽井或是側鑽工作，以利於油氣的探勘開發。

此次也順道參訪了貝克休斯的下水泥設備(Cementing Pump and Mixing System)工廠、定向鑽井(Directional Drilling)設備的生產製造工廠與保養、維護部門及鑽頭(Bits)生產製造工廠等項目；以及斯蘭卜吉的下水泥設備等；深覺本公司在設備、技術上落後先進國家至少十年，期待能逐步追上，讓中油公司採事業部可以在國際間有更強的競爭能力。

本公司為石油公司，鑽井為獲得油氣之必要手段；因此，本次安排人員出國

培訓以了解套管開窗的服務，對於未來油氣可採資源量的提升，有所助益。將來引進此項技術後，可再邀請國外專業技術人員來台授課及現場作業指導，以促進本公司現場工程師及技術人員操作技巧及能力。

目錄

摘要	-----	1
目錄	-----	3
壹、 目的	-----	4
貳、 過程	-----	5
參、 現場實地學習	-----	6
肆、 心得與建議	-----	20

壹、目的

目前中油公司在出磺坑、錦水地區舊有油氣田，已歷經數十年生產，其中部分井因過於老舊致套管破掉(如：錦水 72 號井)，倘若能透過套管開窗設備，開創出新的井孔使其重新生產，甚至利用此項工具，鑽入之前未探索之地層，必能替公司帶來更多的可採資源量。

本次為能更了解套管開窗設備操作原理及其技術發展，筆者與本組林垠成組長，特地前往美國休士頓，參訪貝克休斯(Baker Hughes)及斯蘭卜吉(Schlumberger)兩家全球前三大的石油服務公司；就套管開窗設備而言，已發展十年有餘，可分為機械式(Mechanical)與液壓式(Hydraulic)兩種形式。機械式為較早期之產品，穩定可靠但較費時，液壓式技術也日趨成熟，可直接透過液壓設置，未來將逐漸成為主流。若要引進套管開窗設備，本次出國所獲得的新知與文件，可作為日後招標作業之重要依據。

另外，在定向鑽井時(Directional Drilling)，也可使用此設備於裸孔或是已經下套管的井孔中，來強迫井程能沿著預定的方向和軌跡，鑽達目標層。尤其過去在出磺坑地區，因地質構造特殊(如：斷層、地層傾角太大等)，往往定向、或是增角不易，亦可使用此設備來輔助定向鑽井或是側鑽工作，以利於油氣的探勘開發。

此次也順道參訪了貝克休斯的下水泥設備(Cementing Pump and Mixing System)工廠、定向鑽井(Directional Drilling)設備的生產製造工廠與保養、維護部門及鑽頭(Bits)生產製造工廠等項目；以及斯蘭卜吉的下水泥設備等；深覺本公司在設備、技術上落後先進國家至少十年，期待能逐步追上，期待能逐步追上，讓中油公司探採事業部可以在國際間有更強的競爭能力。

本公司為石油公司，鑽井為獲得油氣之必要手段；因此，本次安排人員出國培訓以了解套管開窗的服務，對於未來油氣可採資源量的提升，有所助益。將來引進此項技術後，可再邀請國外專業技術人員來台授課及現場作業指導，以促進本公司現場工程師及技術人員操作技巧及能力。

貳、過程

本次奉派赴美貝克休斯(Baker Hughes)及斯蘭卜吉(Schlumberger)，進行套管開窗設備技術實地學習，自 105 年 11 月 20 日至 105 年 11 月 26 日，包括啟程、返程時間共 7 天，其主要行程簡述如下：

起程日期	天數	地點	工作內容
105.11.20	1	臺北－美國休士頓	啟程
105.11.21-22	2	美國休士頓	拜訪貝克休斯公司、聽取簡報(套管開窗設備、定向設備、地層評估技術)，參訪研發部門、檢驗部門、套管開窗設備及工廠、鑽頭工廠、下水泥設備
105.11.23-24	2	美國休士頓	拜訪斯蘭卜吉公司、聽取簡報、參觀套管開窗設備工廠、下水泥設備工廠
105.11.25-26	2	美國休士頓－臺北	返程

參、現場實地學習

職等於 105 年 11 月 20 日晚上 10 點 10 分啟程，搭乘長榮航空直飛休士頓，抵達時間為當地時間 11 月 20 日晚上 9 時 40 分；21 日與 22 日前往貝克休斯公司拜訪，由市場及銷售執行總監(Hu, Po)引領，23、24 日則由斯蘭卜吉公司中國區技術經理(Kwok, Yabin)陪同，與中油公司人員參訪各項設備及工廠。

本次主要目標為套管開窗設備，套管開窗(Casing Exit System)設備操作原理是利用磨銑管串、導斜器及錨定工具組合，將套管開窗，鑽出新井孔，以增加可探勘（電測）地層及獲得更多可採資源量，通常在此項設備上方會連接隨鑽測井儀(MWD)，確定井底管串方向，以符合預期要鑽出的方向。首先說明此項工具，各主要部件，由上而下可分為(詳細圖可參考附錄 A，9-5/8” TorqueMaster Bottom Trip Anchor System BHA)，實際構造依不同型號略有不同)：

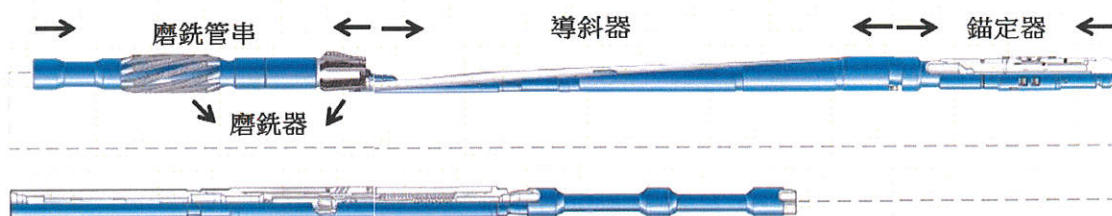


圖 1、套管開窗設備，主要分為三部分：Milling assembly (磨銑管串)、Whipstock (導斜器)及 Anchor (錨定器)

(1) Milling assembly (磨銑管串)：

通常由三組(也有二組或是四組的)磨銑器及管件組合而成，最底下的磨銑器(引導磨鞋，Window Mill)，如同金剛石鑽頭般，透過管串加重，可以順著導斜器的角度往套管外逐漸磨出開口，因此會依不同狗腿度(Dog leg)來選定用哪一種磨銑管串，尺寸依井孔大小可以選擇，為全尺寸(Full gauge)；中間的磨銑器(次級磨鞋)根據本次在貝克休斯與斯蘭卜吉的資料，不同廠家、型式有不同設計，有的尺寸會比最底下的磨銑器略小(Under gauge)，其到上方磨銑器(導向磨鞋)之間距通常

大於下方磨銑器之間距，透過管串加重，以中間的磨銑器需作為槓桿支點，上方短節可彎曲(撓性短接，)；上方磨銑器大多為為全尺寸(Full gauge)。而在磨銑器上的切削齒可依不同地層或客戶要求，選用 PDC 或者是金剛石。

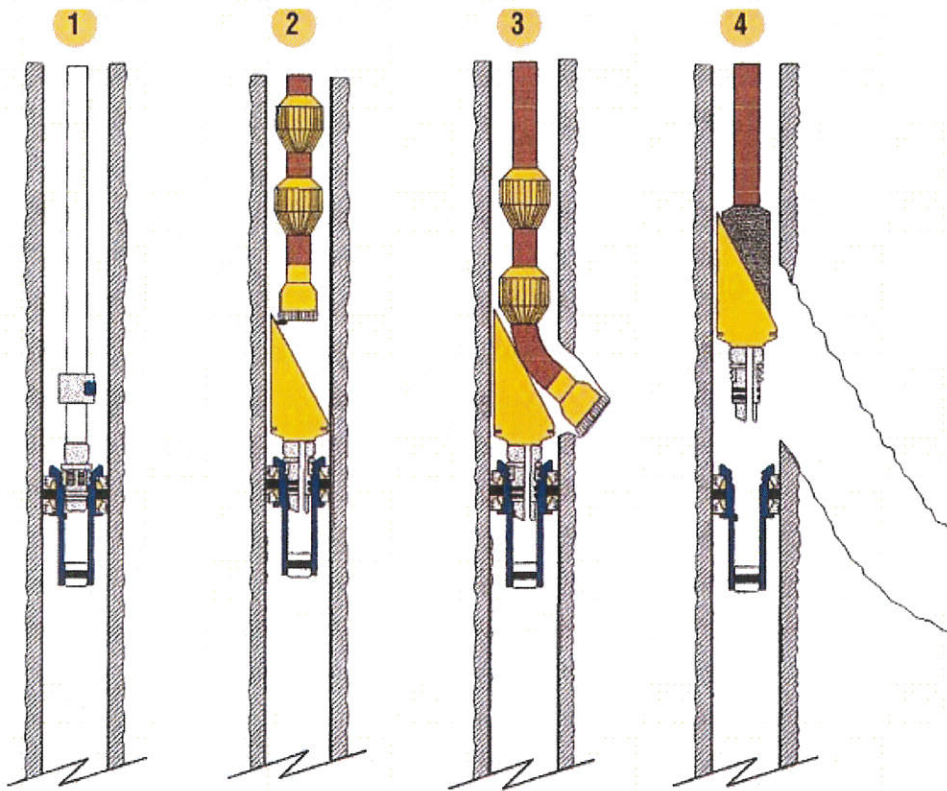


圖 2、套管開窗設備，開窗流程示意圖



圖 3、在工廠內以開窗工具下入井底完成開窗後，與計畫線偏移誤差僅 0.3 度。

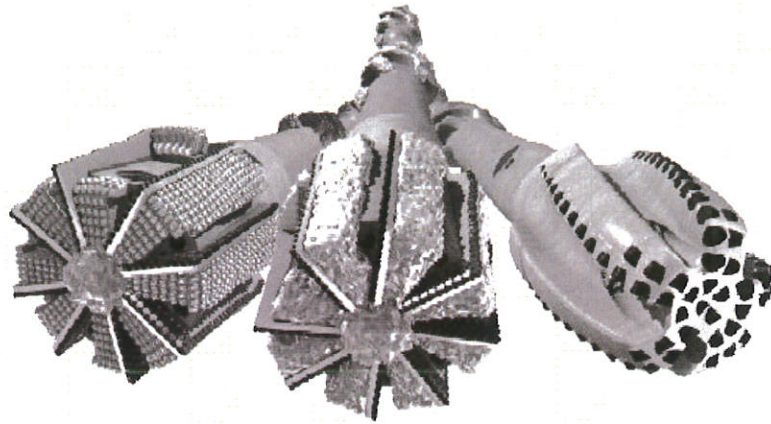


圖 4、可依不同地層屬性，選擇不同種類磨銑器。



圖 5、現場參訪套管開窗工具情形，及圖 6、磨銑管串與導斜器連接處。

(2) Whipstock (導斜器)：

透過錨定，使導斜器可以穩定在套管內發揮導斜作用，可依不同狗腿度(Dog leg)來選定用哪一種導斜器，基本上直接影響套管開窗的速度，導斜角度越大，越快開窗，狗腿度越高；反之，導斜角度越小，開窗速度較慢，狗腿度較低。其上方有顆 Shear Bolt(剪切螺栓)，利用管串加重將錨定器錨定後，續加壓可以剪切掉 Shear Bolt 讓導斜器與磨銑管串脫離，此部分可依實際狀況選擇是否回收。據貝克休斯及斯蘭卜吉公司資料表示，貝克休斯之導斜器角度較為低緩，狗腿度較少，並且可避免最底下的磨銑器在磨銑套管時，減少震動及跳動；而斯蘭卜吉之導斜器有一專利，其在導斜器中有一小段增角之設計，可使開窗速度加快，讓磨銑管串提早進入地層，並透過磨銑管串及磨銑器設計可讓開窗的井孔更為平順。

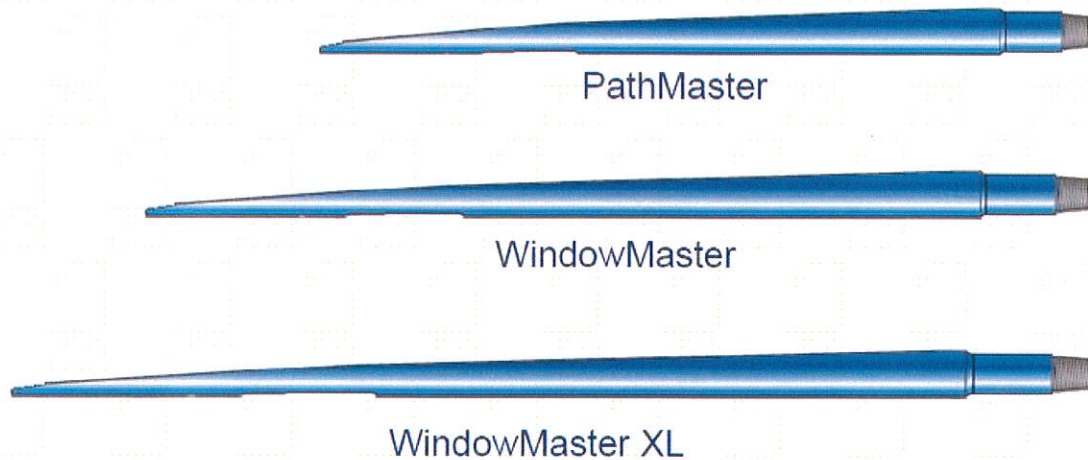


圖 7、貝克休斯提供不同角度之導斜器，可依不同地層、狗腿度，採用適當之設備。

(3) Anchor (錨定器)

錨定器分為機械式與液壓式，機械式需於預開窗深度位置下方，先回堵水泥或是設定橋塞器(Bridge Plug)，以坐重方式設定，使其固定於套管內特定深度。液壓式則是可以直接將套管開窗設備至於定位後，以泵壓加壓方式，經過磨銑管串、導斜器，將壓力傳送至錨定器後伸出 Slip 坐掛設置妥，有的型式則是另帶有封塞橡膠(Packer)，直接封隔錨定器以下區段；也有用在大範圍(7~20 吋)井孔尺寸之錨定器，其好處是一支錨定器可應用在不同尺寸套管內，回收再利用。

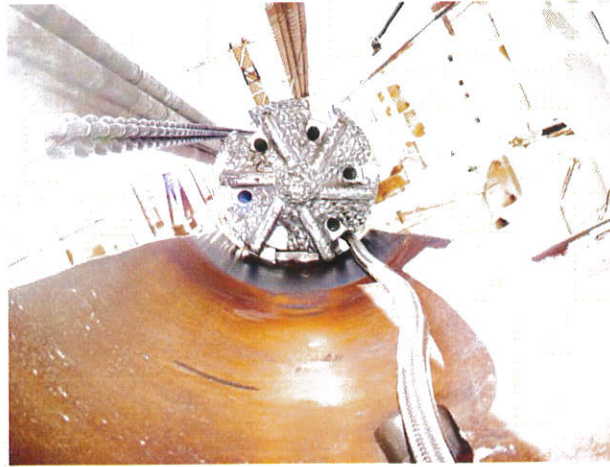
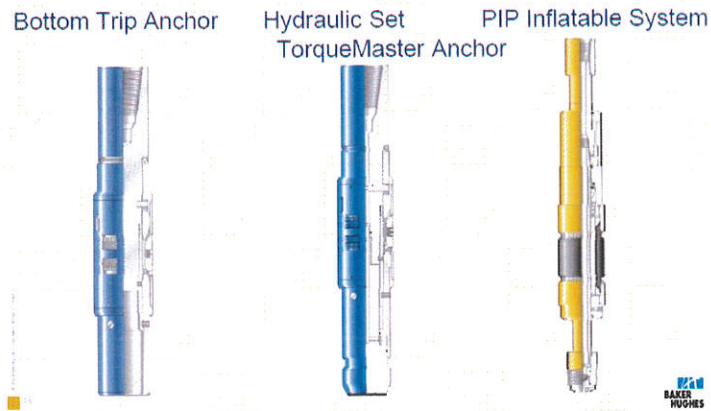


圖 8、液壓式設置，有一液壓管從磨銑管串經導斜器至
 錨定器下圖為貝克休斯之錨定器型式：

Side Tracking Equipment - Anchors



Side Tracking Equipment - Anchors



圖 9、貝克休斯之錨定器種類，可依需求選擇，是否要回收、液壓設置、適用大範圍井孔、封隔裝置等。

(4) Retrieval Tool 取回工具

取回工具分兩種，一種是以特定形狀的鉤子，從導斜器上方吊孔鉤入上提，連同錨定器一起取回；另一種是以套抓的方式，套入導斜器後加以坐重後上提，將導斜器及錨定器取出。

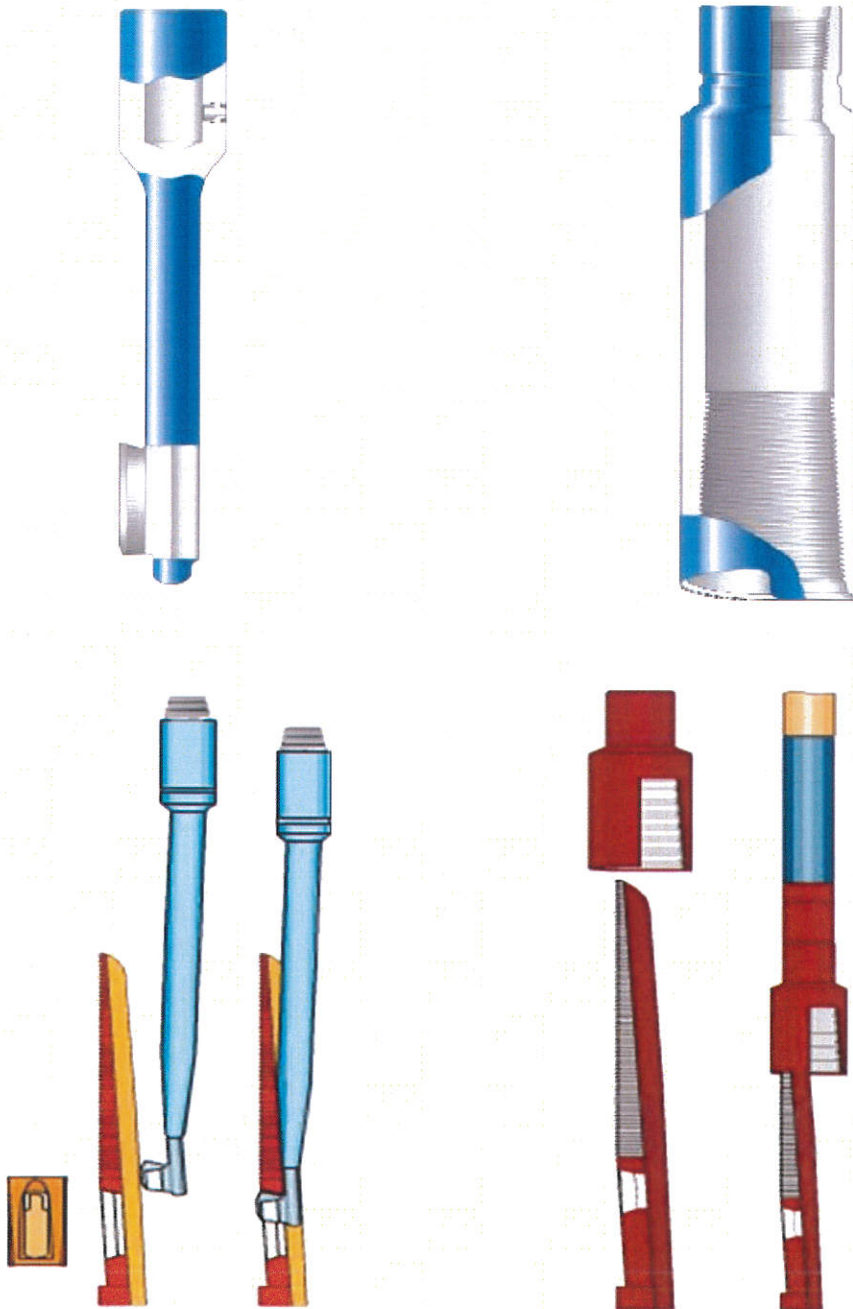


圖 10、取回工具及取回機制示意圖

實際套管開窗設備施工結果 (Top View 及 Bottom View)如下：

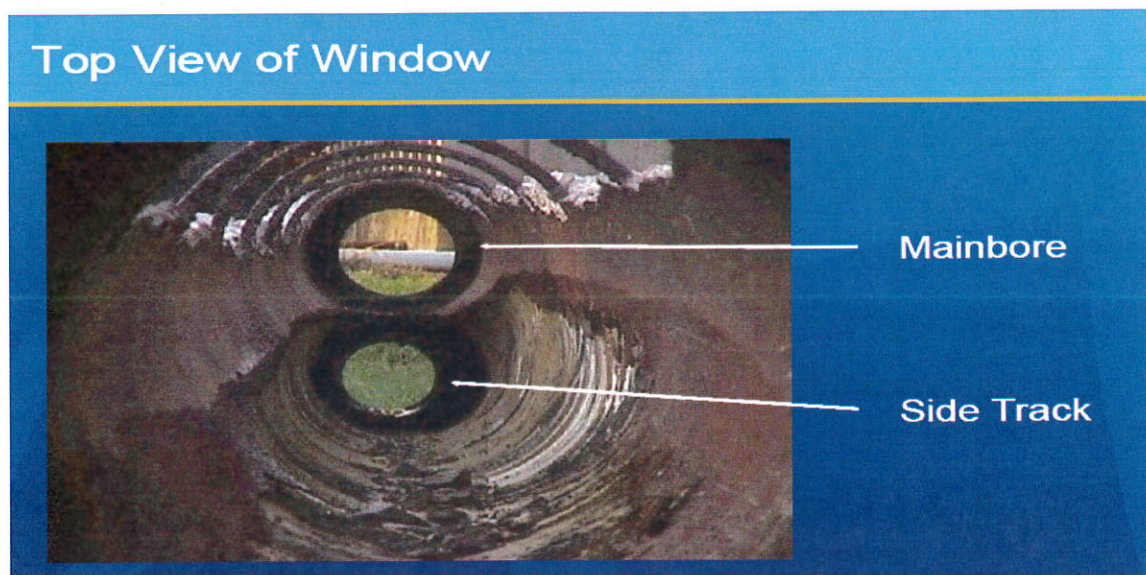


圖 11、套管開窗設備施工結果 (Top View)

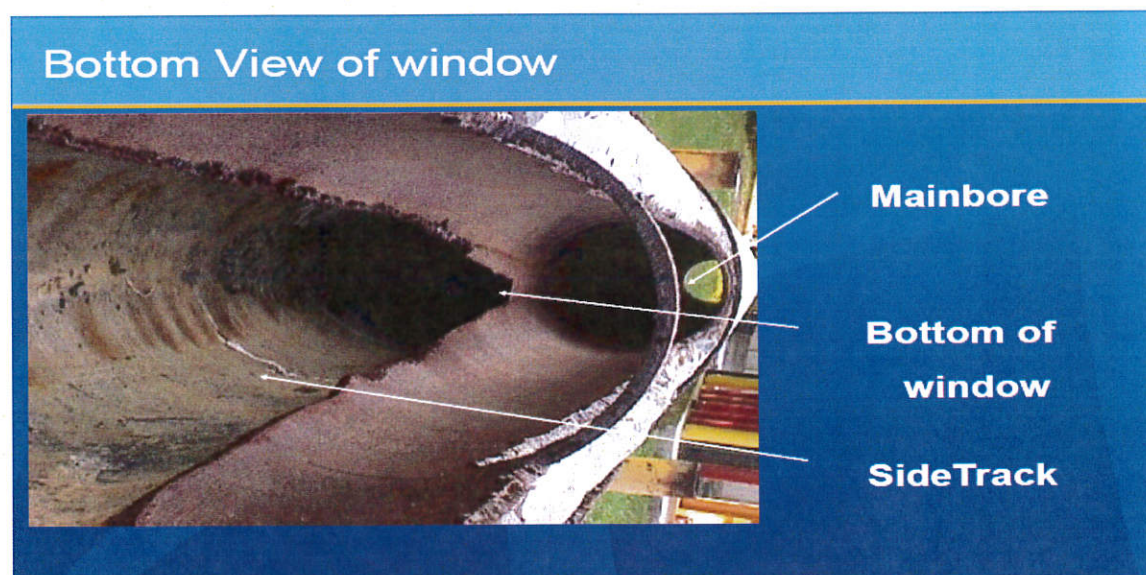


圖 12、套管開窗設備施工結果 (Bottom View)

利用導斜器，使磨銑管串漸漸地磨穿舊有套管，從上圖可看出，新開出的孔是平順地從原井孔 (casing hole) 鑽出。實際操作仍需有磨銑經驗之操作人員，調整坐重、轉盤轉速、泵壓等條件，或是採用模擬軟體，在施工前先進行模擬，輸入需要之參數，模擬使用此項設備時，過程中會遭遇之最大扭力、加重、轉速、泵量等各項參數之最佳化等。不過可惜的是此模擬軟體只有簡單展示，待往後引進此項設備時，可考量是否連同購買相對應的模擬軟體。

另外在參訪研發部門時，發現一新型工法—全可溶壓裂橋塞器，顧名思義是在做壓裂（如：水平鑽井液裂工程）時，此橋塞器在設置完成穿孔、壓裂（液裂）後，橋塞器可依需求客製化，於數小時至幾個月後自動全部溶解，包含橡皮及金屬部分，不須再去沖洗，把橋塞器給鑽穿。此項產品可應用在試油氣工程，以往為避免不同地層干擾或是要封隔特定區段地層，會設置橋塞器(Bridge Plug)或是可回收式橋塞器(Retrieveable Bridge Plug)，但在鑽穿橋塞器時，有時鑽頭與橋塞器會連動一起轉動，不易鑽穿，倘若改用全可溶橋塞器，將可省下不少時間，尤其在海上或是國外鑽井時，時間成本相當高，建議考量使用此項產品。

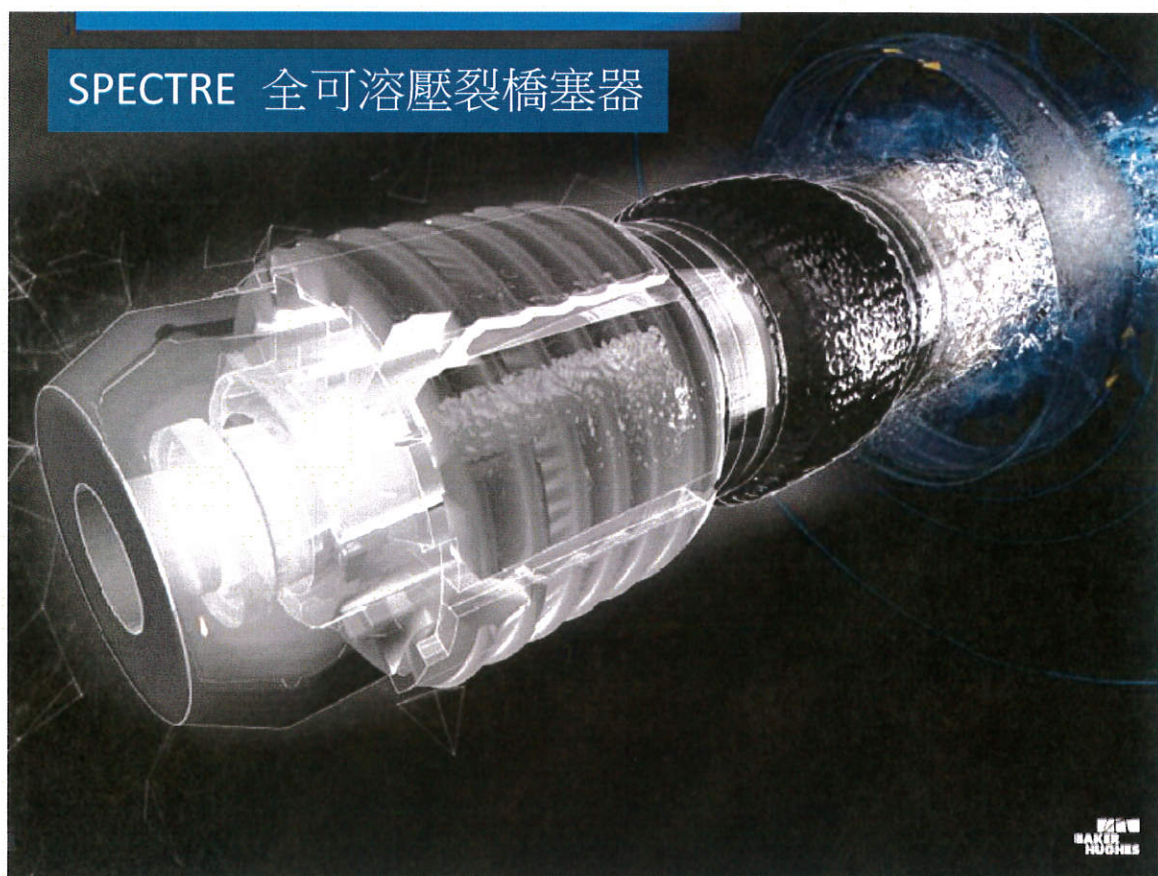


圖 13、全可溶壓裂橋塞器

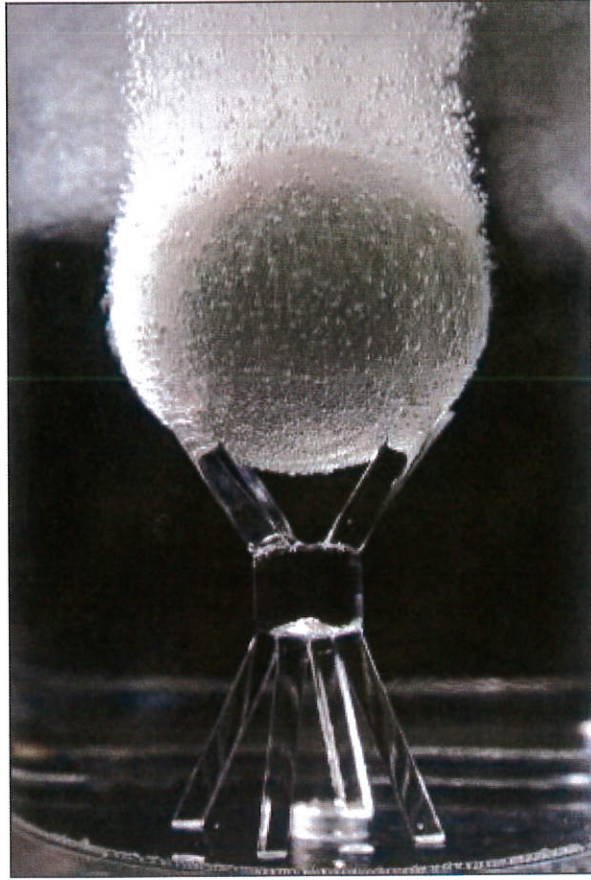


圖 14、橋塞器本體



圖 15、錨定卡瓦

全可溶橋塞器（圖 13）可分為橋塞器本體（圖 14）、橡膠、錨定卡瓦（圖 15），其特性說明如下：

全可溶橋塞器	特性
橋塞器本體（右圖）	溶解速率受鹽度及溫度影響，可計算出預計溶解時間。
橡膠	為特殊之聚氨酯，暴露在返出液（通常為泥漿）足夠時間後，開始溶解，最後完全溶解排出井孔。
錨定卡瓦	使用鎳基合金塗層技術，在返出液可以徹底溶解排出井孔。

鑽頭工廠部分，不乏一般的牙輪鑽頭、金剛石、PDC、取岩心鑽頭等，其中以複合鑽頭為目前的最新的鑽頭技術，貝克休斯有小尺寸、兩刀翼搭配雙牙輪，另一種為稍大尺寸、三刀翼搭配三牙輪，井孔中心位置由主刀翼的 PDC 來切削，井孔周圍的岩層由牙輪和刀翼上的切削齒共同破壞，此種鑽頭結合了牙輪及 PDC 的優點，可壓碎並同時切削地層以大幅增加鑽進率。可依不同地層或需求來設計，甚至有些尺寸較大的複合鑽頭中間會再多 2~4 個副刀翼，以避免鑽頭中間的地層沒有切削掉。



圖 16、貝克休斯之複合鑽頭，搭載三片刀翼及三顆牙輪。



圖 17 貝克休斯公司鑽頭工廠內，陳列著鑽頭的發展演進過程。



圖 18 貝克休斯公司鑽頭工廠外，擺放著由各式鑽頭在試驗室之測試結果。

水泥泵浦部分，因本次出差時間較短，未能了解所有型式之水泥泵浦；不過在工廠內，有監控系統可以遠端操作泵浦(如圖 19)，也可以用模擬軟體，事先輸入泵入流體參數(泥漿、隔離液、水泥乳之比重、VP、YP、流動性質等)及井孔大小與套管尺寸後，即可設計出最適當之隔離液及水泥乳之體積與流動性，提高下套管水泥工程之安全性及可靠性。當然，也可以由人員直接在現場操作泵浦，在臨時需要應變的狀況下，可以更直接有效。由於水泥泵浦分布在各地廠區，距離甚遠，僅就現有的水泥泵浦進行觀察及說明。另在運輸方面可分為桁架式(Skid)及拖車式(Trailer)，都需考量台灣道路交通法規，單泵的泵浦符合台灣法規，但性能在泵送量在大井孔時恐不足，且馬力較小；具雙泵的泵浦則大多有超長、超寬、超高的問題，未來如要採購，恐怕在運輸或是領牌會有問題，建議將領牌的工作項目納入合約內，由得標商(民間)辦理，應較為合宜。



圖 19、遠端監控系統可以操作泵浦。



圖 20、現場參訪泵浦情形。



圖 21、林垠成組長與貝克休斯 Paul Unwin 討論泵浦設備情形；
左下方為放入水泥乳中藥品的入口。



圖 22、工廠廠區遼闊、整潔，左方為井架，電測工具的測試區。



圖 23、合照，左起為貝克休斯 Paul Unwin、CPC 林垠成組長、泰京公司劉繼業先生(代理商)、CPC 許瑞育工程師、貝克休斯市場與銷售執行總監 Hu Po。

職等於 105 年 11 月 24 日晚即前往機場，搭乘長榮班機於 11 月 26 日凌晨 6 點 10 分返抵台灣，結束本次行程。

心得與建議

此行實習《套管開窗設備操作及技術研習》，心得與建議整理如下：

一、 套管開窗設備優點如下：

1. 多用在舊有井，透過此方式可探明不同地層之油氣經濟價值，或是開窗側鑽出套管後往更深的地層，提高機會獲得更多的可採資源量，可望讓老井回春。
2. 由於不需重新取得用地來進行鑽井工程，尤其是在台灣近幾年環保團體及居民的問題，越來越難處理；若以此方式則在用地取得、申請地目變更等行政手續以及開坪的作業上，將可以大幅縮短時效，節省成本。
3. 此設備也可應用在叢式鑽井，在國外或許用地取得相對容易，進行叢式鑽井的技術成本可能比另外鑽一口井還高，但當此叢式鑽井的技術成熟時，用套管開窗的方式，將可以大幅節省成本，獲得更大效益。

二、 建議試油氣工程，可以考量使用全溶性橋塞器，尤其在國外或者是海上的時間成本較高，使用此項裝置至少可減少一趟起下鑽沖洗的時間。

三、 鑽頭的性能，直接影響鑽進的效率，在許多地質條件較差的地區，利用複合鑽頭，大幅縮短鑽進時間；當井越深所帶來的效益就越大，建議未來可考慮採購此種鑽頭，以提升鑽井效率。

- 四、 水泥泵浦部分：在採購的時候，除考慮實際需要之泵浦性能外，還需考量台灣交通法規，建議將交通上可能會遇到的問題，列入規範中，由得標商（民間）辦理，應較為合宜。
- 五、 工欲善其事、必先利其器，引進新技術、新設備，將更有機會獲得更多資源量及工程安全性。未來將持續了解國外最新之技術與設備，安排人員出國培訓或是聘請國外專業技術人員來台授課，以提升本事業部之鑽井核心能力。

附錄 A

9-5/8" 47# TORQUEMASTER BOTTOM TRIP ANCHOR SYSTEM

CUSTOMER: CPC Taiwan

DRAWING NO. APDFT044-08



COUNTRY: CHINA

FIELD: -

APPROVED BY: ERIK VAN STEVENINCK

DRAWN BY: TENG

DATE: 15 FEB 08

WELL NO. -

QUOTATION NO.

Baker Oil Tools

MAX. O.D.	MIN. I.D.	WELL SCHEMATIC	DESCRIPTION	LENGTH	DEPTH
8.500"			(R4) WATERMELON/STRING MILL SIZE: 8.5" THREADS: 4.5" STRESS RELIEF BOX X PIN MATERIAL: PRODUCT NO: H151-09-B507		
6.375"	2.250"		(R3) FLEX JOINT SIZE: 4.5" THREADS: 4.5" STRESS RELIEF BOX X PIN MATERIAL: PRODUCT NO: H150-01-4501		

