

經濟部暨所屬機關因公出國人員報告書
(出國類別：專題研究)

報告書

出國人：服務機關：中油公司台探總處
職務：石油開採工程師
姓名：忻冠白
出國地點：美國休士頓
出國期間：89年11月5日至11月18日
報告日期：90年2月1日

92
108907543

海域平台油氣生產管理

摘 要

本公司之海域探勘肇始於民國六十一年，民國七十五年新竹外海之長康油氣田為我國首次海域油氣之開發，開發過程時程緊迫，生產後雖解決了當時城鎮家庭用氣緊迫的問題，但其經濟效益卻不算成功，平台投資費用過高、蘊藏量估算精確度不足、完井規劃不夠周延，生產管理亦未受到應有之重視，均有以改之。近年來高雄外海 F 構造鑽獲並證實蘊藏有相當數量之油氣，並作進一步開發可行性之評估，此次研習主要目的即為如何利用現有之技術增加油氣產量，減少費用以提高利潤，其強調整體性之生產管理，包括地質、油層、試油氣、完井修井、電測、激勵生產等領域及技術作全盤性之考量，以期對日後 F 構造油氣田進行開發時，能提高整個油氣田開發之效益。

目錄

摘要	-----	1
目錄	-----	2
壹、 目的	-----	3
貳、 行程	-----	4
參、 研習課程	-----	5
肆、 研習內容	-----	6
伍、 研習心得與建議	-----	29

壹、 出國目的

配合高雄外海 F 構造油氣田開發構想，引進國外對海域平台油氣生產管理之理念及技術，俾於日後 F 構造油氣田開發時提高經營績效，確保開發之經濟效益。

貳、行程

本次奉派赴美參加「海域平台油氣生產管理」研習，自八十九年十一月五日至八十九年十一月十八日，包括啟程、返程時間共十四天，其主要行程簡述如下：

起程日期	天數	地點	工作內容
89.11.5	1	台北—美國休士頓	啟程
89.11.6~89.11.16	11	休士頓	至休士頓 OGCI 訓練中心參加「海域平台油氣生產管理」研習
89.11.17~89.11.18	2	美國休士頓—台北	返程

參、 研習課程

- 一、 油氣生產有關地質之考慮因素地質及油層之性質在完井及操作上的考量(GEOLOGIC CONSIDERATIONS IN PRODUCING OPERATIONS GEOLOGY & RESERVOIR CONSIDERATIONS IN WELL COMPLETIONS AND PRODUCTION OPERATIONS)
- 二、 地層測驗(WELL TESTING)與油氣在地層之流動 (INFLOW)
- 三、 完井及修井流体(COMPLETION & WORKOVER FLUIDS)
- 四、 生產測錄(PRODUCTION LOGGING)
- 五、 下水泥 (PRIMARY CEMENTING)
- 六、 油氣生產地層之損壞 (FORMATION DAMAGE)
- 七、 表面活性劑(SURFACTANTS)
- 八、 石蠟及瀝青稀(PARAFFIN AND ASPHALTENES)
- 九、 酸處理(ACIDIZING)
- 十、 腐蝕控制(CORROSION CONTROL)
- 十一、 液裂(HYDRAULIC FRACTURING)
- 十二、 防砂(SAND CONTROL)
- 十三、 結垢(SCALE)

肆、 研習內容

一、 油氣生產有關地質之考慮因素地質及油層之性質在完井及操作上的考量(Geologic considerations in producing operations Geology & Reservoir Considerations in Well Completions and Production Operations)

地質上的研究可提供發現、開發、生產操作等的資料，工程師如同地質師也使用等厚圖、構造圖、等壓圖、岩心及電測資料、生產測試、及其他資料作為決定去開發生產一油氣田的重要參考指導。由過去研究得知，配合地質的資料作油氣的流動分析，能進一步了解油層之性質，同時其結果可使相當多的油田回收率增高 20%以上。因此以砂岩及碳酸岩油田為例說明使用地質的技術來解決生產的問題。

1.地質師在開發生產的工作項目大致如下

- 選岩心的樣本作為地質及油層的研究之用。
- 確認沉積的環境及生油岩。
- 作出沉積的模式並後續的沉積加以修正。
- 作構造圖。
- 作斷面圖表示出岩性在油層內的變化。
- 作出滲透率的變化在垂直方向及水平方向油流動的邊界線。

2.岩性及油的生產

- 發生油氣以頁岩最多，其次為砂岩、碳酸岩。而生產油氣最多的為碳酸岩其次為砂岩。
- 生產的油層多為新生代的地層，孔隙率較大。而古生代地層過於緻密，無生產價值。

3.砂岩儲油層

- 區分為陸相沉積(河床砂)、海相沉積、及過渡帶沉積(三角洲砂)。
- 陸相沉積如河床砂，砂層集中，海相沉積砂層寬廣有層次。
- 當有黏土侵入砂層如 2%以上會影響滲透率，9%以上則有相當大的阻礙油的流動。如有方解石之膠結物存在 5%以上會影響滲透率，15%以上則有相當大的阻礙氣的流動。
- 油氣層的沉積由電測資料顯示，如為河床砂滲透率由小變大，三角洲砂則滲透率由大變小。

4. 碳酸岩儲油層

- 碳酸岩的孔隙為沉積時其所含的泥為流、浪所沖走所留下的孔隙。沉積後由流体(水)經過內部，溶解其某種細粒，產生孔道。這些孔隙都缺乏連通性，需要裂縫作為連通，有無裂縫為碳酸岩儲油層的重要性質之一。
 - 由於沉積的位置不同，碳酸岩儲油層的形態有三種，分為礁、背礁、潟湖。礁為受到強烈浪流沖擊有高孔隙，潟湖為礁的殘餘物形成，為一種鈣泥的細粒，孔隙非常差，背礁受浪齶沖擊較小，孔隙較小。較好的碳酸岩儲油層應在礁的位置。
5. 在砂岩儲油層，依各項資料建立岩相圖、淨砂厚度圖，以利開發生產人員了解及溝通。
6. 在碳酸岩儲油層作注水、液裂等工作時，需就不同的沉積地區，分析其地質成份，才能提高其採收率。

二、地層測驗(Well Testing)與油氣在地層之流動 (Inflow)

1. 試油氣之目的：

了解油氣井之壓力與油氣產率之關係

可獲得滲透率、膚表效應

可求得生產壓力、邊際距離

可獲得生產層面積、形狀、井心位置及蘊藏量

可求最大生產量及生產力指數，作為訂定合理產率之依據

2. 油在地層流動到井心的能力相當小，需靠溶於油中的氣及氣頂或水壓產生的壓力驅動。在均勻的砂岩儲油層中，油由各方向流向井心，壓力愈靠近井心，壓力降愈大。如油由 500 呎半徑流向井心，在最近井心的 15 呎半徑範圍，約佔一半的壓力降。壓力降愈大流速也愈大。這 15 呎半徑範圍為關鍵區，如得到最大的生產率，必需排除關鍵區內可能妨礙油氣流動的因素。

3. 穩態軸向流

1). 達西定律:油井的產率和儲油層壓力及井底流壓的關係式。

$$Q_o = J * (P_r - P_{wf}) \text{-----單向流動}$$

Q_o 為油井的產率 bpd

其中 P_r 為儲油層的淨壓力(psi)

Pwf 為井心的流壓(psi)

J 為生產力指數

$$J=0.00708*k*h/(Bo*u*(Ln(Re/Rw)-0.75+S))$$

其中 k 為孔隙率(md), h 為儲油層厚(inch)

Bo 為油體積比，重油為 1.1~1.2

u 為油黏滯係數，1.25cp

Re 為儲油層的排掃半徑(ft)

Rw 為井心的半徑(ft)

S 為膚表效應

例 1:

測試 1	產率 400 桶	井底流壓 2000 磅
測試 2	產率 600 桶	井底流壓 1600 磅

求井底流壓 1000 磅時的產率為多少桶

$$J=400/(Pr-2000)=600/(Pr-1600)$$

得 Pr=2800psi, J=0.5

當 Pwf=1000 磅時，產率=J*(Pr-1000)=900 桶。

例 2:

k=100md	h=100ft
Pr=2500psi	Pwf=2000psi
Bo=1.25	u=1.1
Ln(Re/Rw)=7.6	S=5.0

求產率 Qo 為多少桶，及生產力指數 J

$$J=0.00708*k*h/(Bo*u*(Ln(Re/Rw)-0.75+S))$$

$$=0.00708*100*100/(1.25*1.1*(7.6-0.75+5))$$

$$=4.345$$

$$Qo=4.345*(2500-2000)=2,173 \text{ 桶}$$

4. 多相流動時，可使用 Vogel 公式

使用 Vogel 公式必須知道井的測試資料如：Pr 為儲油層的淨壓力(psi)、Pwf 為井心的流壓(psi)、產率

可求得各種不同流壓時的產率。

其公式為

$$Q1/Qmax=1-0.2*(Pwf/Pr)-0.8*(Pwf/Pr)^2$$

例如

Pr=4000psi	Pwf=3760psi	Q1=500 桶
------------	-------------	----------

求 Q_{max} 、 Q_2 當 $P_{wf}=1000\text{psi}$ 時

$$P_{wf}/P_r=3760/4000=0.94$$

$$Q_1/Q_{max}=1-0.2*(P_{wf}/P_r)-0.8*(P_{wf}/P_r)^2=1-0.2*0.94-0.8*0.94*0.94=0.105$$

$$Q_{max}=500/0.1=4761 \text{ 桶}$$

$$\text{新的 } P_{wf}/P_r=1000/4000=0.25$$

$$\text{新的 } Q_1/Q_{max}=1-0.2*0.25-0.8*0.25*0.25=0.9$$

$$Q_2=Q_{max}*0.9=4285 \text{ 桶}$$

5. 儲油層至井心的流動

- 1). 儲油層壓力如連續生產時，會逐年降低，井底壓力即維持不變時，產率將逐年降低，可得一預估的生產曲線。
- 2). 很多井生產一段時間後，生產地層近井心處產生損壞，產率急降，此稱為膚表效應。其對產率影響很大，此為達西定律中膚表摩擦係數，膚表效應愈大其數值愈大。
- 3). 當產率發生急降時，就有需要作改善的措施，如酸洗等。

三、完井及修井流体(Completion & Workover Fluids)

1. 影響完井之因素

- 油氣產率
- 井深及壓力
- 油氣層之驅動型式
- 生產年限
- 二、三期採油之考量
- 出砂之控制
- 激勵生產

2. 完井及修井流体必須能控制井，及能進行工作，並不損壞地層。

選擇最適當的完井及修井流体

如何準備乾淨的完井及修井流体

完井及修井流体的成份

填塞器所用的流体

壓井的程序

3. 地層的損壞由液体及固体的侵入所引起，固体的侵入通常只有數吋厚，液体的滲入為數呎遠，可能與地層的液体相容或不相容。

4. 流体選擇的標準

- 1). 流体的種類：原油有低密度無腐蝕性，但因含有過多的瀝青稀石蠟、表面活性劑、固粒等，不易清理乾淨。柴油較昂貴，且有添加劑。以清潔的淡水加鹽成鹽水最為理想，為了避免有黏土夾層發生膨脹的問題，加一些添加劑，如 氯化鉀
 - 2). 固体的含量：不得超過 25ppm，其顆粒大小如小於孔隙通道 1/3，可能會引起地層破壞。如小於孔隙通道 1/7，可能不會引起地層破壞，只穿過去。孔隙通道的大小為滲透率(md)的開方。
 - 3). 滲透性：使用的完井及修井流体必須加表面活性劑，以控制滲透性，避免擾動所含的黏土粒，使土層的破壞減至最低。
 - 4). 流体流失：避免過多的流体流失在地層中，可選適當大小的可溶於酸的碳酸鈣粒，或油溶性的樹脂顆粒、水溶性的鹽粒等，作為阻漏的添加劑。
 - 5). 有關黏度的性質：增加流体的黏度主要是能將砂屑等顆粒，帶至地表面來。但實驗室的測試發現，很多高黏度的添加劑，會導至地層的滲透率降低。高黏度的添加劑必須要適當選用。
 - 6). 腐蝕的產生：流体應避免鐵與氧結合成鐵銹，同時如有鐵粒會予以分離，不致沉積在地層中。
 - 7). 機械性質上的考慮：流体的選擇也應考慮現場鑽機設備的功能，如攪拌、儲存、固粒去除及循環等能力。
 - 8). 經濟上的考慮：流体的選擇除了對井損壞的敏感性加以考慮之外，尚要考慮到經濟性。
5. 結論：建議選用乾淨的鹽水，必須控制井內的情況，將地層的損壞，減至最小。將時間、液壓、固粒成份減至最少。

四、 生產測錄(Production Logging)

生產工程師井完成後會要求作測錄，生產一段期間亦要作測錄，以評估或診斷井內管串流動，井的完整性，有無漏泄。測錄所得的資料生產工程師需要作分析判斷的事項為

- 井的設備狀況
- 各種流体狀況
- 評估完井的績效

- 設計及評估維護處理的方法
 - 油氣層的管理方式
1. 生產測錄的種類
 - 溫度的量測
 - 流量計測
 - 地層梯度計測
 - 輻射度追蹤
 - 噪音計
 - 脈衝式中子量測
 - Gamma 射線量測
 - 井底壓力記錄
 2. 生產測錄設備

需有鋼線操作設備(Wire Line Surface Equipment)，將儀器由管串中放入井中測錄井內的情況。
 3. 生產測錄時注意事項
 - 須有適當井壓控制設備
 - 預先作好井的詳細圖說
 - 量測須加以核對—特別是必須在正確的深度
 - 業主必須派代表在現場
 - 生產操作人員必須與服務公司人員合作發揮團隊精神
 - 對發生的事取得一致的意見，並記錄下來
 - 將所有發現的資料線索，集中一起找出答案
 - 對發生的事提出意見及看法

五、 下水泥 (Primary Cementing)

在完井最重要的工作之一就是得到完美滿意的下水泥工作。有缺陷的下水泥工作，對以後的操作工作都會有負面的影響。雖然下水泥是鑽井人員的工作，但影響完井人員、生產操作人員及以後的修井人員的工作。本項所要說明的是下水泥的工作事項。

1. 水泥成份以 API Class G 水泥為準如下

1. Tricalcium Silicate	51%
2. Dicalcium Silicate	31%
3. Tricalcium Aluminate	3%
4. Tetracalcium Aluminoferrite	12%

5. Gypsum	3%
-----------	----

2. 水泥乳的性質及設計

- 1). 黏度保持相當的低。
- 2). 稠化時間以 API 方式測試通常以 2.5 至 3 小時最為適當。
- 3). 水的分離不超過 1%。
- 4). 24 小時的強度須超過每平方呎 500 磅。
- 5). 抗硫酸鹽小於 3%。
- 6). 密度每加侖大於泥漿 1 磅。
- 7). 拌加的水需使用乾淨的淡水，每袋水泥 5 加侖水。
- 8). 與鹽酸反應很輕微。
- 9). 液体的流失控制在每 1000 磅的壓力下，30 分鐘約在 125 至 500 立方公分。
- 10). 滲透率小於 0.1 毫達西(md)。

3. 調整水泥乳的性質—添加劑

添加劑作用為調整水泥乳的性質

- 1). 改變水泥的密度。
- 2). 增加或減少其強度。
- 3). 加速或減緩其稠化的時間。
- 4). 控制其滲透的速率。
- 5). 減少其黏度。
- 6). 作循環失敗控制的橋樑。
- 7). 改善其經濟性。

4. 影響凝固的因子

- 1). 地層溫度與壓力
- 2). 水泥成分
- 3). 水泥乳性質：脫水、黏度

5. 移動的機制---關鍵所在

影響水泥移動的主要為凝結的泥漿留在套管外的環孔中，阻礙水泥乳移動的通道。排除泥漿的力量靠水泥乳的拉應力管子移動的拉應力及兩者密度差產生的浮力。有助於水泥乳於環孔流動及排除原有泥漿的

方法如下：

- 1). 增加流速及套管移動速度。
- 2). 減少水泥乳黏度。
- 3). 減少膠結時的強度。
- 4). 套管位置保持對中。
- 5). 儘量使環孔流動的模式趨向牛頓型態。
- 6). 使用 Scratchers /Stirrers。
- 7). 恰當的循環及水泥乳量。
- 8). 適當的水泥接觸時間。

建議的水泥乳的性質如下

Yield Point	<10lb/100ft ²	較大的傾角 YP 要大些。
Plastic Viscosity	<20cp	
Fluid Loss	<15cc	
Gel Strength	<10lbf/100ft ²	2 秒至 10 分間強度平緩

6. 費用考量的項目

- 1). 水泥乳及添加劑的費用
- 2). 泵入的設備費用
- 3). 鑽機的費用
- 4). 以後維護操作的費用

7. 特殊的問題

下水泥除了以上的問題，還有較特殊的問題，如超過 15000 呎深井，及井溫超過 250 度華密氏，井孔較小，通過氣層有連通的現象，高傾角的側鑽井，地熱井或冷凍的地層，各有其特殊的水泥材料及控制方式及添加劑。

8. 結論

井下水泥的作用主要是阻制各層的流体間的流動，其次為支撐套管的重量及負荷，及保護套管免於銹蝕。下水泥的問題大多為原有泥漿排除不足，水泥乳循環不足等問題，因此在鑽井時就要改善泥漿漏失的問題，下水泥時使用動力水龍頭使套管來回轉動，並加裝找中器使漿液流動良好，如此可增加成功率，免除要擠注水泥的工作，造成費用的增加。

六、油氣生產地層之損壞 (Formation Damage)

在井眼四周最表層的數吋厚地層最為重要，受損時影響油的產量最大，例如一 6 吋的井孔，10 呎厚的地層穿孔生產，在原孔隙率為 10md 時，每日可生產 100 桶黏度為 0.5cp 的原油，如離井眼 2 呎半徑範圍內地層因損壞而孔隙率降為 1md 時，每日只可生產 5 桶的原油。

地層損壞的原因為

外來的溶液及物質接觸到地層

地層曝露在溶液的長時間過久

過高的壓力施於地層

結垢、石蠟及瀝青稀、管子表面的塗料等污染地層

地層損壞發生的時間為

鑽進至生產層時損壞

- 1). 泥漿顆粒阻塞地層空隙。
- 2). 泥漿滲入地層內部使黏土或其他細粒發生收縮、膨脹、移位等變化而阻塞地層。

下套管及水泥時損壞

- 1). 水泥或泥漿顆粒阻塞地層大的空隙、裂縫等。
- 2). 下水泥前清洗井心的化學藥劑引起地層內黏土的變化。
- 3). 水泥漿之水分流失過多，使地層產生變化。

完井時損壞

- 1). 穿孔時的雜物及穿孔時溶液中顆粒阻塞在孔內。
- 2). 下管串及填塞器時產生的雜物顆粒可能阻塞地層。
- 3). 開始生產時，如清洗用的循環液不適合地層或有雜質或循環過快，可能使地層阻塞。

激產時損壞

- 1). 未過濾好的循環泥漿、水、油等所含的雜質或管串及套管表面掉落之雜質，可能引起。
- 2). 酸裂時可能引起砂粒表面的水泥收縮，產生垂直通路，導入不必要的水或氣進入。
- 3). 以氟氫酸處理砂岩時，如未適當設計處理時可能產生不溶性的沉積物在地層內引起阻塞。
- 4). 液裂時溶液內的雜質，可能引起裂縫阻塞。

清除管串內之石蠟及瀝青稀時，石蠟及瀝青稀循環入地層內產生阻

塞。

井生產時引起

- 1). 注入的防蝕劑、防石蠟、防結垢等藥劑，如接觸生產地層，會使孔隙率降低。
- 2). 如有伴產水發生時，沉積的垢物可能在地層內產生阻塞。
- 3). 生產時，瀝青稀可能沉積在地層井眼周圍，而成為高黏度油，致產生乳化現象，阻塞地層。

注水時引起

- 1). 注入的水可能經由儲槽、加熱器含有油溼性表面活性劑，致可能在地層井眼周圍，產生乳化現象，阻塞地層。

注氣時引起

- 1). 注氣管路內表面掉落之雜質、黃油、銹等可能引起地層阻塞。
- 2). 注氣壓縮機的機油可能在地層井眼周圍，產生乳化現象，阻塞地層。
- 3). 注入氣中所含的防蝕劑，會使孔隙率降低。

由於上述各項工作，使得地層受外物阻塞或水飽和度增加，或乳^化而黏度增加、瀝青稀沉積，致井的產出或注入量減少。各項改正及預防的措施說明如下：

1. 減少黏土產生的損壞

- 1). 事先的防範是最重要。
- 2). 判定黏土的類型、數量、位置。
- 3). 適合其離子性的需要。
- 4). 固定其黏土的位置。

根據以上的方法原則選用適當的藥劑，並經實驗證實有效後處理，砂岩中的黏土類粒如受擾動重新排列，是很難再回復原狀，因此事先的預防是最好的方法，X光繞射放大照片通常最常用來判斷黏土的類型、數量，岩心薄片可決定其位置，由實驗證實 2% 的氯化鉀溶液，足夠在大都的情況下，讓黏土保持穩定。

2. 避免所有可能雜物阻塞地層的方法為

- 1). 儲槽、管路在工作前必需清除乾淨。
- 2). 裝設 2-micron 的濾網。
- 3). 加裝除氧設備，避免有鐵銹形成，落入地層中。
- 4). 減低液柱於井底壓力，使其與地層壓力相當。

七、 表面活性劑(Surfactants)

表面活性劑其分子能找到界面，並有能力改變界面的狀況。如氣水界面的表面張力，油水界面的介面張力，液体及固体的濕潤度。

1.其應用的效能為

- 1).降低表面及介面張力。
- 2).防止乳膠的發生。
- 3).破壞乳膠。
- 4).使乳濁化。
- 5).分散及懸浮微小顆粒。
- 6).泡化及防止泡化。
- 7).溼潤:水溼及油溼。
- 8).黏土的控制。
- 9).酸的反應。
- 10).沉積物的防止。

2.表面活性劑應有的性質為

- 1).與處理的溶液及添加劑有相合性。
- 2).在低濃度時仍有強的活動力。
- 3).儲油岩對其有吸收率低。
- 4).產生及維持適當的濕潤性。
- 5).在處理溶液中有高的溶解性。

3.表面活性劑能處理的阻塞問題為

- 1).地層的油濕性。
- 2).水的阻塞。
- 3).黏狀乳膠阻塞。
- 4).介面層阻塞。
- 5).顆粒分散、絨毛化或黏土、其他細粒移動所引起的阻塞。
- 6).流動受限---高表面或介面張力。

4.表面活性劑的分類如以溶解性可分為

- 1).油溶性
- 2).水溶性

5.如以分子離子性質可分為

- 1).正離子型
- 2).負離子型
- 3).中性型

4). 雙性型

6. 正離子型表面活性劑的作用為

- 1). 油濕潤砂、頁岩或黏土
- 2). 水濕潤或讓水濕潤的石灰岩、白雲岩的 PH 值維持在 8 以下。
- 3). 油濕潤石灰岩、白雲岩的 PH 值維持在 9.5 以上。
- 4). 破壞油在水的乳化。
- 5). 使水在油中乳化。
- 6). 使細粒或黏土在油中分散。
- 7). 使黏土在水中聚合。

7. 正離子型表面活性劑的作用為

- 1). 水濕潤或讓水濕潤砂、頁岩或黏土
- 2). 油濕潤的石灰岩、白雲岩的 PH 值維持在 8 以下。
- 3). 破壞水在油的乳化。
- 4). 使油在水中乳化。
- 5). 使矽酸鹽細粒或黏土在水中分散。

8. 處理的阻塞問題為

- 1). 水的阻塞處理。

加表面活性劑或吸水劑如 Methanol、Isopropanol、Glycol。亦可表面活性劑吸水劑兩者都加。或用氮氣、二氧化碳驅動流体。

- 2). 黏狀乳膠阻塞。

事先添加表面活性劑防止乳化發生。如發生乳膠要消除時，將需 20~30 倍的劑量。

- 3). 流動受限---降低表面或介面張力。

處理降低水阻塞，增加水濕潤，減低阻塞效應。改善處理溶液的回收量。

9. 處理時的注意事項為

- 1). 將處理液流通至各所需之處為要點。
- 2). 可用隔離的填塞器改善流動範圍。
- 3). 限制每次處理地層長度在 50 呎以內。
- 4). 使用預沖洗的方式。
- 5). 必須將處理液壓力控制在壓裂壓力以下。

不當的使用表面活性劑處理，會產生乳化、降低油滲透率、會擾動黏土、與防蝕劑添加劑發生干擾。因此使用前，必須查使用手冊、參考現場過去的經驗、並在實驗室作實驗。同時表面活性劑並非萬能的，未經適當的實驗，不可中途更換。表面活性劑可能解決一項問題，但產生另一項問題，在選用時

必須非常小心，要注意到全面的問題。

八、石蠟及瀝青稀(Paraffin and Asphaltenes)

原油中大多含有液狀及膠狀瀝青稀的成份，如漸出後沉積在地層的孔隙中，則會產生問題，石蠟為為高分子量的烷由 C18 至 C70，當溫度降低至凝結點以下時，開始漸出成固體狀的石蠟。瀝青稀的沉積不僅溫度、壓力的降低會引起，如有其他的接觸如酸、二氧化碳、溶劑等都有可能。在生產時如有沉積，應予以分析其成份，適當的設計及進行處理，避免再發生為最經濟的方式。如需移除則有機械刮除、化學溶劑及分解藥品處理，都為相當有效的方法。

石蠟形成的原因

1). 氣體的膨脹：

--由於油由地層移到井心再到井口時的壓力降引起。

--由於油經過穿測孔、節流口及其他限流的地點時的壓力降引起。

2). 溶於油內的氣揮發。

3). 生產速率降低。

4). 形成石蠟的核心物體的存在。此大都為瀝青、地層微粒、鐵銹等。

5). 以下各種情況亦有利於沉積物的產生：

--間歇性的生產。

--管子接觸到冷的含水土層。

--管子內部表面粗糙。

--地層細粒的影響。

石蠟去除的方法

1). 熱油溶解移除

2). 蒸氣溶解移除

3). 溶媒溶解移除

4). 水基溶液移除

5). 機械移除

石蠟去除的注意事項

1). 處理的程序方法必須仔細的規範。

2). 處理的次數儘可能減少。

3). 必須使用品質良好的溶解液。

4). 溶解液必須由環孔注入，管串內流出，以免污染地層。

5). 管串中必須充滿油。

- 6).每小時注入的熱值，放到最大。
- 7).注入的體積必須加以限制。
- 8).選擇熱油或熱水，不可只考慮熱量的問題。亦須考慮是否會損壞地層的因素。

選用溶解液的比較方法：在透明的玻璃容器中，浸泡石蠟於不同的溶解液中，再比較其溶解的時間。

常用的溶解液為凝結油、煤油、柴油、二甲苯、甲苯。

減少石蠟沉積的方法

- 1).注意生產的技術，避免間歇性的生產，溫度壓力的過度降低，至凝結點以下。
- 2).使用塑膠內襯的鋼管，保持內部平滑。
- 3).加表面活性劑。
- 4).加結晶緩慢劑。如聚乙烯、醋酸鹽、及其他異量分子聚合物。

使用分解液時，使用水溶性的藥劑，含水量約 90%~98%，如熱有助於石蠟的溶解，浸泡 4 小時可有助於移除很硬的石蠟。

其他的移除方法

- 微生物分解石蠟等沉積物
- 磁力減少石蠟等沉積物的產生
- 以異金屬管串放入井內，減少石蠟等沉積物的產生

九、 酸處理(Acidizing)

酸處理使用的目的是用來減少井眼附近的阻塞，其可以使用在各種不同的地層，無機酸、有機酸或兩種混合，加上各種的活性劑的酸處理，可用在許多的井，來作井的激產處理。如為碳酸鹽的地層，可產生裂縫，使油氣直接經由裂縫流出。

酸處理主要分為兩種方式，一為基質酸處理，其處理壓力低於地層破壞壓力。另一為裂縫酸處理，其處理壓力高於地層破壞壓力。

基質酸處理

用在除去井眼附近阻塞的物質，這些物質為鑽井、完井、修井、注入處理液時所引起，或在生產時伴產水引起的結垢沉積。砂岩的地層能滲入的深度只有數呎，所需的時間也相當短。如為清除井眼的阻塞，不論是砂岩、石灰岩等都能使井改善得到很好的產能。

裂縫酸處理

裂縫酸處理用在碳酸岩地層，能侵蝕出溝紋，並溝紋內製造裂縫，而產生相

當多的流通空間，能提高其井的產量。但有細粒沉積及乳化的問題而注意及預防。

處理用的酸

可用來作井處理的酸基本為氯酸、醋酸、蟻酸、氯酸-氯酸等單獨及混合使用。

1). 15%氯酸為最常使用，但其濃度在 5%~35%之間變化使用。一千加侖的 15%氯酸，可溶解石灰岩 2050 磅，效果好最為經濟。對鋼鐵有腐蝕性，使時需加防蝕劑。

2). 醋酸為弱酸，反應較慢，一千加侖的 10%醋酸，可溶解石灰岩 704 磅，相當容易作到防蝕，可以放在管串中數天，而不會有嚴重的腐蝕發生。和氯酸比較其優點為

--其本性為抗鐵離子沉澱。

--不會引起高張力鋼的脆化及裂痕。

--不會侵蝕鋁金屬

--到 200 度華氏也不會侵害鉻表層

3). 蟻酸為弱酸，其性質同醋酸，但通常只加少量到氯酸中減少氯酸的腐蝕性。

4). 氟酸通常和氯酸混合使用，其比值為 1.5%HF,13.5%HCL 及 1.5%HF,6%HCL 及 0.5%HF,3%HCL。它是用來溶化砂岩中的黏土，這些黏土已移棲到油氣移動的孔隙通道上。一千加侖的 4.2%氟酸，可溶解黏土 700 磅，但氟酸不可用在石灰岩的地層中，因為會產生不溶解的氟化鈣。

酸處理時的添加物

1). 表面活性劑

能防止乳化、減少表面張力，但使用前需事先作適當的測試。

2). 懸浮劑

能使酸處理產生的細粒，懸浮在溶液中，不致產生沉積在地層中。

3). 反沉積劑

防止油與氯酸接觸時發生泥濘狀的沉積物。

4). 防蝕劑

防止鋼鐵受到酸的腐蝕。

5). 控制漏液劑

防止酸處理時其溶液大量漏入地層中。

6). 發散劑

使酸處理時其溶液平均地滲入地層的孔隙中。

基質酸處理程序

如果基質地層或阻塞物成份為石灰岩，則使用氟酸，如果為砂砂，則使用氯酸氟酸來處理，但砂砂岩內如石灰岩含有 15%~20%則不可使用氟酸。

1). 氟酸處理的設計分為三段，預先沖洗、處理、後沖洗。

預先沖洗：氟酸處理前，先用氯酸沖洗將井眼及近井眼附近的地層中，所含的石灰質確實清洗乾淨，如管串中有結垢亦可一併處理。一般沖洗的氯酸為 5%~15%，並加防蝕及活性劑。所需的量為每呎地層為 50~100 加侖。

處理：處理時所用的為 1.5%氯酸 13.5%氯酸並加防蝕及活性劑(負離子或無離子型)，標準程序為每呎地層注入 75~150 加侖處理液(地層破裂壓力以下)，黏土粒分布面積愈大，所需量愈多，如經 X 光照相及薄片分析後發現黏土粒集中分布在井眼附近，則每呎地層注入量可減少到 50 加侖。

後沖洗：此時所用的為 5%~10%氯酸，2%氯化氫及 5%~10%溶解液(清潔的柴油、煤油、原油)，同時必添加 0.1%活性劑(水濕、非乳化性)。其量約與處理時所用的量相同，主要為將注入的氯酸自地層中取代出來。

緩和劑：如對砂的溶解減緩的時候，可加氯化鋁形成氯化鋁的合成物，在以礫石作防砂處理的井，就有此需要。

裂縫酸處理程序

裂縫酸處理設計時要考慮的因素為酸的穿透力、泵浦停泵時酸的最遠距離、最大的酸蝕深度。其處理大都為多段處理以下是一實例。

順序	液体成份	泵速(bpm)	液量(桶)
1	加膠的水	38	150
2	10%濃度乳化的氯酸	30	300
3	加膠的水	40	300
4	10%濃度乳化的氯酸	30	300
5	加膠的水	38	300
6	10%濃度乳化的氯酸 10% 氫氣	29	300
7	加膠的水	25	300
8	15%濃度加膠的氯酸	25	50
9	加膠的水	38	150
10	10%濃度乳化的氯酸	30	300
11	加膠的水	30	300
12	停泵		
13	10%濃度乳化的酸 30% 氫氣	5	150
14	加膠的水	9	266

15	10%濃度乳化的酸 30%氮氣	3	175
16	加膠的水	8	473

十、腐蝕控制(Corrosion Control)

1. 腐蝕發生

油田中的槽、管子、套管、鋼板等，使用一段時間後，會發生穿孔、變薄，仍因其變成氧化鐵、硫化鐵等物，腐蝕需要有四種元素才能發生。

正極、負極、電解液(水)、電子流動的金屬通路。

當以上四種元素存在時，腐蝕就發生了。不同的金屬可形成正負極，生鏽的和不生鏽的也可形成正負極，只要連接在一起，形成通路，油田中的帶鹽的水、土壤中的水氣、及海水都可作為電解液，造成腐蝕的發生。

2. 腐蝕的原因

如井內套管、管串等發生腐蝕而損壞，經分析大都是有二氧化碳、硫化氫、氧的存在。管材的組織有不同時，其會形成正負極，如有二氧化碳、硫化氫、氧的存在，則這片區域會以相當高的速率腐蝕。

3. 腐蝕的量測

早期的量測有助於預防及控制，不致變成嚴重的腐蝕。點蝕、裂痕、溝蝕、管壁變薄等，以目視的方式可以察覺，但需要仔細的研究，才能發現它的原因，其步驟為。

- 1). 確認潛在的腐蝕源，如水、二氧化碳、硫化氫、氧、土中的厭氧菌、不同金屬接觸等。
- 2). 測試及分析：所需分析油中所含的鐵離子、水中的氧濃度、氣體的成份、土壤的電阻值、管線的電位等這些得到的資料可作為控制效果比較用。腐蝕速率的測試可用超音波測厚，管內裝試片，定期拆下量其重量損失。如為硫化氫可用測氫壓力管探測。惠斯頓電橋電阻法，其電阻絲因腐蝕直徑變小電阻變大，可精確量測。三電極法，為外加電流維持量測電極的一定電位，由外加電流的大小可量測腐蝕速率。如為氣井含二氧化碳，其鐵成碳酸氫鐵的可溶性物質，則量測其鐵離子濃度，就可得知測腐蝕速率。
- 3). 腐蝕記錄：管槽等受蝕的記錄及測試的記錄應同時保留在一齊，如某一處受蝕修復後，由其所得最新資料，可預估將來受損的時間。以作最經濟的維修。

4. 腐蝕的控制

腐蝕是無法完全控制，只能控制到一能允許的速率，此一允許的程度依安全性、政府的規定、環保的考慮而定。有很多的方法可去作腐蝕的控制，如材

料的選擇、工程的設計、防蝕劑的使用、漆上保護層、移除有害的氣體、陰極防蝕、及使用非金屬的材料。

最常用的控制方法是使用防蝕劑，其效能約在 90% 以下。主要是簡單、經濟。但使用前必需加以測試選擇。

十一、液裂(Hydraulic Fracturing)

1. 液裂的目的

液裂是用來增加地層的油氣通路，提高井的產率。其通路是由擠入的砂，來保持的，而酸裂是以酸蝕出來的空間。

液裂時泵入適當的液體，泵速需大於漏入地層內的體積，使液壓升高足以破壞地層強度，石層會沿應力集中的地方裂開。如繼續泵入液體時，裂縫會開始延伸，等有足夠的長度及寬度時，加入砂使它隨液體帶至裂縫處，使裂縫停泵時仍繼續保持張開狀況。

2. 基本要求

液裂時裂縫需達到所設計的長度及寬度時，才能減緩泵速，讓砂沉積在裂縫內，如裂縫未有足夠的長度及寬度，因其他原因減緩泵速，砂沉積出來後，妨礙液體的前進，必須提高更大的壓力才能前進。

3. 岩石力學

就岩石力學來說明液裂的原理

- 1). 岩石受液壓時會裂開，一旦壓力消除時，即閉合。除非以砂擠入。
- 2). 低黏度的溶液，很容易漏失，不易持壓，因此並無法製造出較大的裂縫面積。
- 3). 雖然套管外的水泥受到的液壓較地層大，裂縫仍會在地層中沿著井心往外發展，而不會在水泥面上發展出裂縫。

4. 液裂的實驗

依實驗及研究發生的如下

- 1). 水平的起始液裂壓力必須超過地層本身的垂直方向張力強度及其本身受到的垂直應力(即其深度所產生的重力負荷)。
- 2). 垂直的起始液裂壓力必須超過地層本身的張力強度及井眼處所受到的應力值(即其深度所產生的重力負荷)。

裸孔時起始液裂壓力可減少 25~40%。在有套管水泥時，起始液裂壓力因穿孔的數目、排列而不同。數量愈多則所需壓力降低，如穿孔方向和地層軸向成垂交，則所需壓力增大。

5. 液裂的實例

液裂處理

液裂溶液為 33%鹽水-67%油
每磅的鹽水加 0.5 磅的膠
液裂長度為 906 呎
液裂寬度為 0.192 吋
溶液效率為 60%
預測激產效果為 3.68
泵送速度 10 桶/分
泵送溫度 100 度華氏
初始泵入量 100 桶
第一段 150 桶及每加侖 2 磅的砂
第二段 150 桶及每加侖 2 磅的砂

6. 裂縫的走向

一開始發生液裂，液体進入裂縫中，井眼附近的集中應力就不會發生，裂縫沿著垂直於最小應力方向的平面進行，一般最小應力是水平方向，所以會產生垂直方向的裂縫。

7. 液裂的封閉壓力量測

維持裂縫開口不致閉合的壓力稱為封閉壓力，約略大於地層的最小應力。量測的方法有立即關閉法及泵入/流出法、加速注入法三種。

- 1). 立即關閉法：液裂後泵浦停止時連續記錄井口壓力，由於液体由裂縫進入地層，壓力不斷降低，但當裂縫封閉時壓力會迅速下降，此一點的壓力加上井口至井底的液柱壓即為關閉壓力。壓力不斷降低壓力會迅速下降
- 2). 泵入/流出法：當關閉泵等待壓力降低，常需等待相當久的時間，為減短等待的時間，在井口裝一節流開關，可讓液体定量流出，得到關閉壓力的點。
- 3). 加速注入法：將注入地層裂縫的量逐漸的增加，其壓力發生轉折的點為關閉壓力的點。

封閉壓力受到地層孔隙壓力的影響，如在測量過程增加了孔隙壓，封閉壓力亦會增加。

8. 生產的提昇

液裂後生產提昇的理由為

- 1). 曝露出新的油氣生產區域。
- 2). 井眼附近建立新的通道，將孔隙率降低而阻礙油氣經過的地層旁通。
- 3). 油氣流動的模式，由徑向流動轉變為線性流動，阻力大為減少。

9. 液裂的溶液

• 溶液名稱	• 說 明
--------	-------

• 原油	• 價格低，因高摩擦損失用在淺的地層及低注入量的井。
• 加凝膠的水	• 低的摩擦損失，可用在高注入量的井。
• 結合形的水膠	• 高黏度，可製造寬裂縫，用在低滲透率的井。
• 乳狀液	• 有很好的攜帶能力，且價格適中。
• 凝膠及油	• 最適宜用在對水敏感的地層。
• 泡沫液体(加氮氣)	• 很好的清洗功能。
• 酒精	• 用在低滲透率及乾的氣井。
• 弱酸及凝膠	• 用在較髒的砂層內，而黏土需要穩定。

10. 液裂的設計

最重要的步驟首先為選對正確的井來作液裂，避免產生不想要的通道，選出其井況及生產地層，能適合增大其產能井。

下列情況有危險，最好避免作液裂

- 1). 液裂地層和氣或水層的頁岩隔層的厚度小於 15~20 呎。
- 2). 液裂方向可能會向上延伸。
- 3). 液裂方向可能會遇到附近的氣或水層。
- 4). 有出水或氣的井。

分析地層的岩性、成份分析、作溶解性及沉澱測試，作溶液滲失測試。

測地層強度、泊松比及邊界地質。

油層流体(油、氣)及能量(壓力)的分析。

井的結構(套管、井口、穿孔、管串及填塞器)。

液裂的費用及增產率的計算及決定。

十二、防砂(Sand Control)

油井出砂的問題大多發生在淺層新生代的地層，但有時在 12000 呎深的地層也會發生。最好的防止出砂的方法，就是不發生出砂。在完井的方式是最關鍵的地方，穿孔過少，或穿孔堵塞引起流速過快及壓降過大而出砂，如再穿孔是為解決出砂的最好方法，而不是作防砂的工作。

1. 出砂的原因

- 1). 油氣流動產生的拉力引起：較高的流速及高的黏度產生較大的拉力，引起較多的砂。

- 2).地層的強度降低：多為出水而將水泥之成份顆粒溶解，或水飽和率增加毛細壓降低而產生。
- 3).由氣或水的飽和率增加，使油流通時的壓降增加，對油的相對滲透率降低。
- 4).地層的油氣壓力遞減，使地層各顆粒逐漸壓密，而擾動各顆粒的黏結狀態。

2. 防砂處理的方法

防砂的基本原理就是減少油氣流動產生的拉力，增加地層的強度，保持地層的油氣壓力。

- 1). 減少油氣流動產生的拉力，為最經濟有效的方法。在一定產率下增加流通的面積，其方式為

--在生產層面提供清潔大的穿孔。

--增加穿孔的密度。

--加長穿孔的長度。

另一為限制生產的產率，不得超過某一產率，其值以階段式提高產率和出砂量來測得。通常其最大的產率為生產系統所能忍受及處理的出砂量。

- 2). 裝設層或篩孔防砂，要解決的問題是如何不致影響油的產量。在設計上要考慮的為如何選擇礫石的大小。如何選擇篩孔的寬度。如何施工裝設。

3. 礫石大小及篩孔寬度的選擇：從地層的取樣及分析大小並作統計，礫石大小及篩孔寬度約為砂的平均大小的4~6倍。主要將砂阻擋在礫石的最外層，以免降低礫石的孔隙率。其厚度至少需3吋以上。

4. 礫石護襯的注意事項

- 1). 選擇礫石大小應愈大愈好，但必需將砂阻擋在礫石的最外層。
- 2). 礫石大小不得大於砂的40%最大平均大小的6倍。
- 3). 如有很細小的砂粒，必須特別留心，尤其是高流速、產率變動及有氣伴產的井。
- 4). 礫石需加以壓實其各顆粒之間不要有空間。
- 5). 礫石厚度至少需3吋以上。高流速需更厚。

5. 礫石護襯的問題

- 1). 礫石要選擇品質良好的，即乾淨、強度高，外形為圓形，不溶於酸。
- 2). 施工時要避免其他物質的污染。並儘可能的壓緊。

6. 樹脂強化砂的強度：當一井已發生出砂的問題，以外層被覆樹脂的礫砂，擠入地層中，其壓力低於地層強度，然後以油將套管中帶樹脂的礫砂，清出，而樹脂的礫砂就留在穿孔的孔隙中，再加催硬劑，使其固結。此法不需加設篩管，此法經使用有相當的效果，但長時間而言大多失敗。

十三、結垢(Scale)

結垢的生成，主要是水中的礦物質結晶及析出，其沉積的地點相當的廣，如基層、斷層、井眼、井下泵浦、管串、管線、套管、加熱器、槽內壁、水線等地。其會沉積的原因是溫度壓力的下降，與其住他溶液混合或超過溶解度等。

結垢的生成有時會妨礙油氣的流動及生產。有時清除時需要昂貴的修井鑽機。

1. 結垢的成份及辨認

下表為各種發生在油井的結垢，依其可溶性分為三種，水溶性，酸溶性，酸不溶性。

• 水溶性	• 氯化鈉
• 酸溶性	• 碳酸鈣、碳酸鐵、硫化鐵、三氧化鐵、四氧化鐵、氫氧化鎂
• 酸不溶性	• 硫酸鈣、硫酸鋇、硫酸鋇、硫酸鋇鈣

利用各種不同的溶解性，在實驗室可辨認其成份，常用的溶解液為氯酸、蘇打水、純水等。碳酸鹽如放入氯酸，則有大量氣泡發生。X光繞射照相，是最常用的辨認方法之一。亦可用化學分析的方法，分析其成份及所含的比率。

各項結垢實驗結果如下表：

• 結垢的種類	• 溶解液	• 結 果
• 碳酸鈣	• 氯酸	• 大量氣泡發生
• 碳酸鐵	• 氯酸	• 氣泡發生，溶解液成黃色
• 硫化鐵	• 氯酸	• 氣泡發生，有硫化氫氣體
• 三氧化鐵、四氧化鐵	• 氯酸	• 不溶解，溶解液成黃色
• 氫氧化鎂	• 氯酸	• 不溶解，溶解液無色
• 硫酸鈣	• 蘇打水泡 12 小時，再以氯酸處理	• 大量氣泡發生
• 硫酸鋇	• 同上	• 不溶解
• 硫酸鈉	• 水	• 不溶解

2. 清除的方法

水溶性—以水沖洗。

酸溶性---以氯酸或醋酸清除。

酸不溶性---此大部份為石膏，需用藥劑將其轉為可溶的氫氧化鈣，可溶於水或弱酸，再以水或弱酸沖洗。

在管壁或地面之設備的結垢，通常以機械式工具括除可溶或不可溶的結垢。

3. 結垢的控制及預防

- 1). 注入多煙磷酸鹽顆粒，能將結晶之垢吸收溶解，阻止結垢的沉積發生。或用多煙有機酸如 Lp-55，可防止在套管壁等結垢。
- 2). 注入防垢劑：目前有 Exxon 化學公司的 Corexit 7605 Surflo H-372 及 Visco 化學公司的 950、930、959，可依結垢的成份選擇使用。
- 3). 地層壓力的維持也可防止結垢的發生。
- 4). 如有結垢影響生產的情形發生，清除後必須進一步作防止結垢產生的工作，如選用適當的防垢劑處理。

伍、 研習心得與建議

此次赴美前往休士頓 OGCI 訓練中心參加上述研習，課程之內容包羅極廣，由於研習時間短促，許多參考用之講義及資料均有賴日後作進一步之研讀與探討，而參加本課程最大之收穫應是體認到探勘此項領域包括了測勘、鑽井、生產各部分，如再予以細分，則還包括地質、地球物理測勘、地球化學測勘、鑽井泥漿工程、下水泥工程、電測、試油氣、油層工程、採油及完井、修井、二期採油、油氣激勵生產等項目，對於任何一項因素之漠視或疏忽，均可能導致油氣產能之減少，甚或探勘之失敗，本課程雖然著眼於完井及油氣之生產管理，然而授課講師 Dr. Jim M. Peden 特別強調基本之地質、油層知識將直接影響完井之效益及日後油氣之生產管理，諸如水沖排、酸處理、液裂等激勵生產，本次研習之成員包括來自阿拉伯、奈及利亞、委內瑞拉及美國各油公司之地質師、物探師、油層工程師、採油工程師及探勘經理等，在研習課程中即根據各個成員之專業背景進行分組，每一組均包含有地質、油層及採油等人員，並針對課程及問題進行研討，透過此種分組方式，可依照個人之專長對各個問題作全面性之溝通與探討。

經由此次赴美研習，檢討中油公司探勘部門數十年來之探勘績效無法進一步提昇，最主要之原因應在於各專業人員例如地質師、物探師、鑽井工程師、油層工程師、採油工程師等均埋首於本身之專業項目，而未能對各種探勘領域作整體之涉獵，加上組織架構上分工功能之不健全，進而造成探勘之本位主義現象，而探勘主管亦均係由各專業領域中之主管所拔擢產生，其所作決策亦僅能重視到本身所熟悉之專業範圍而往往忽略其他之領域，在無法顧及探勘整體考量之情況下，導致探勘績效不彰，甚至投資之完全失敗，如民國七十五年新竹外海之長康油氣田之開發即為一例，當時平台投資費用過高、未能詳實估算蘊藏量、完井規劃不當造成日後修井之困擾，均為失敗之主要原因，亦即未能有效地作好整體之油氣生產管理。此一課程內容每一部份看似均屬專業項目，然而卻是一切油氣探勘生產之基礎概念，因此建議每一位探勘成員乃至經理級人員均應有機會接受此一課程之訓練，以提高整體探勘之品質與績效。

近年來高雄外海F構造鑽獲並證實蘊藏豐富油氣，現正積極作進一步開發可行性之評估，如何利用現有之技術增加油氣產量，減少費用以提高利潤，應是開發之重點所在，冀望透過此次研習能提供對油氣田開發之整體性生產管理方面之意見，包括就地質、油層、試油氣、完井修井、電測等領域及技術作全盤性之考量，以期對日後F構造油氣田進行開發時，能提高整個油氣田開發之效益。