

出國報告（出國類別：實習）

## 天然氣井除液技術研習

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：郭彥汝 石油開採工程師

派赴國家/地區：美國/休士頓

出國期間：108年6月15日至6月23日

報告日期：108年7月8日



## 摘要

鑒於本公司陸上各礦區均已逐步邁入生產末期，隨著氣層壓力的下降，產率逐年下滑，致使伴產水無法隨油氣生產自然舉升至井口，進而造成油管内液體聚積(Liquide Loading)，初期會造成油氣產率降低，但當液體柱壓高於氣層壓力時，則會導致生產井被完全壓制，而無法正常生產。目前國內現行的解決方式係採用對空噴流排淨或撓曲油管洗井，藉此去除井內液體，作業較為費時且成效有限。

基於上述現場工作需求，藉由參與國外專業石油產業培訓機構所開設之人工舉升(Artificial Lift)或氣井除液(Gas Well Deliquification)相關課程，藉此學習解決井內液體聚積問題之最新方法與技術。

本出國計畫係參與 PetroSkills 公司針對油氣井生產領域所開設之「天然氣井除液技術研習課程，將人工舉升或氣井除液相關研習課程以應用於提升本公司之油氣井生產技術，並針對氣田特性篩選適合的生產井液體聚積之預防、改善與控制技術，若能成功應用於國內陸上礦區，將有助於活化舊氣田，延續既有礦區生產壽命，隨著生產井產率的維持甚至提升，亦可達成提升油氣自給率之公司長期策略目標；再者，人工舉升相關技術亦能應用於本公司其他國外礦區，協助解決類似生產問題，藉此提升礦區投資效益。



## 目次

摘要.....	1
目次.....	2
壹、 目的.....	3
貳、 過程.....	4
參、 心得及建議 .....	18



## 壹、目的

國內陸上礦區生產井維護、修繕與生產測試為本公司採油工程處主要工作項目，針對礦區進入生產末期階段，天然氣井皆有液體蓄積現象，如何施予有效的除液處理方式，將能決定將本公司現有礦區殘餘天然氣蘊藏量發揮其生產價值最大化。

因此本次出國計畫即以此為目標，透過參與專業油氣探勘訓練公司(PetroSkills)針對油氣田生產領域所開設之「天然氣井除液技術」(Gas Well Deliquification)研習課程，將有助解決井內液體聚積問題。因此本次公務出國之主要目的如下：

- 一、 學習辨別生產井液體聚積症狀及造成結果
- 二、 學習除液技術之內容、優缺點及適用性
- 三、 與具實務經驗之專家交流，探討液體聚積解決方案

## 貳、過程

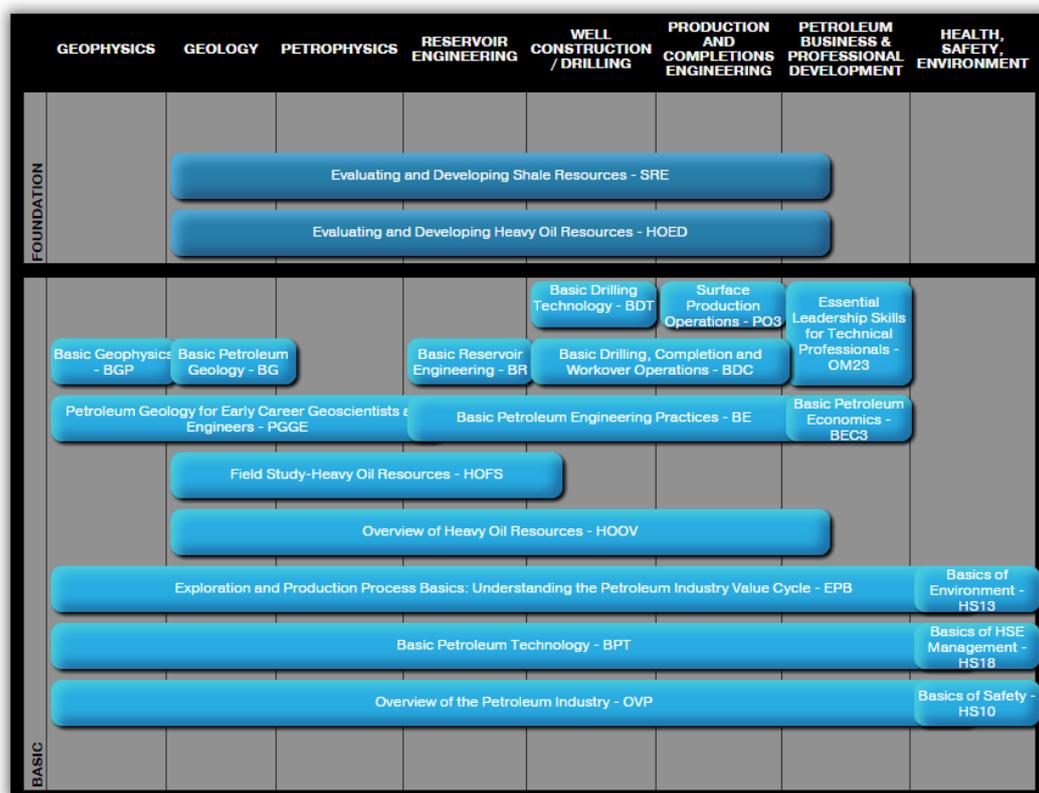
本次出國為期 9 天，詳細出國行程如表一，主要行程為參與 PetroSkills 公司針對油氣田生產領域所開設之「天然氣井除液技術」(Gas Well Deliquification)研習課程，課程為期五天(6/17-6/21)，內容包含問題判別、處理方法介紹與篩選等三個部分。

表一、出國行程

日期	地點	工作內容
108.06.15~16	台灣-休士頓	自桃園機場出發，前往休士頓
108.06.17~21	休士頓	參加 PetroSkills 公司開設之「天然氣井除液技術」研習課程
108.06.22~23	休士頓-台灣	自休士頓機場出發，返回桃園機場

## 一、 PetroSkills簡介

PetroSkills 公司係一油氣探勘專業訓練機構，致力於提供油氣上游產業完善的訓練課程、解決方案與諮商服務，其中，每年開設的訓練課程方面主要包括地球物理、石油地質、岩石物理、油層工程、鑽井工程、生產與完井工程、石油商業與生產開發、工安與環保等類型，各類別詳細內容如圖一所示。此外，為強化合作與增進員工專業能力，以及提供一致且高品質的訓練與學習計畫，Shell、BP 與 OCGI 等石油公司亦於 2001 共同成立 PetroSkills Alliance，目前累積已超過 30 個成員(圖二)，主要成員包括國際石油公司(如 Shell, BP, ConocoPhillips 與 Chevron 等)、石油服務公司(如：Halliburton, Baker Hughes 與 Weatherford 等)與國營石油公司(如 CNPC)等。



圖一、PetroSkills 訓練課程

資料來源：<https://www.petroskills.com/progression-map/introductory>



圖二、PetroSkills Alliance

資料來源：<https://www.petroskills.com/about-us-ps/about-petroskills>

## 二、天然氣井除液技術

PetroSkills 公司所開設之「天然氣井除液技術」(Gas Well Deliquification)研習課程，由具超過 30 年油氣探勘業經驗之 James F. Lea 博士擔任講師，講授內容包括井內液體聚積介紹、解決液體聚積方法簡介及經濟分析選擇方法(詳細研習內容如表二)

表二、天然氣井除液技術課程大綱

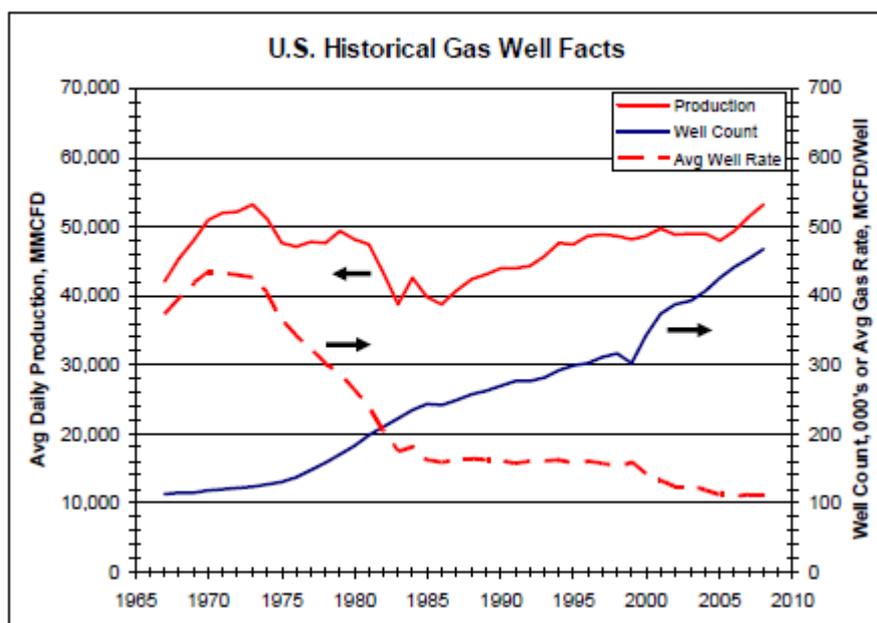
日期	課程內容
6 月 17 日	<ul style="list-style-type: none"><li>• Introductions</li><li>• Course Overview</li><li>• Introduction of Liquid Loading</li><li>• Introduce, Overview Loading Solutions</li></ul>
6 月 18 日	<ul style="list-style-type: none"><li>• Velocity Strings</li><li>• Compression</li></ul>
6 月 19 日	<ul style="list-style-type: none"><li>• Plunger</li><li>• Beam pumps</li></ul>
6 月 20 日	<ul style="list-style-type: none"><li>• Beam pump (continued)</li><li>• ESP</li><li>• PCPs</li></ul>
6 月 21 日	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gas lifting</li><li>• Foaming</li><li>• Selection</li></ul>

資料來源：天然氣井除液技術課程資料

### 三、 課程重點摘錄

天然氣井除液技術課程主要探討如何解決天然氣井液體聚積問題(Liquid Loading)，當天然氣井中開始出現液體聚積現象時，表示地層的生產能力開始降低，油管內累積液體現象越嚴重，產氣量越少，天然氣井的壽命越短，甚至於無法再繼續生產。

根據 EIA 資料，如下圖一所示，在 2006 年美國境內約有 448,641 口天然氣井，產量約 17,942,493 MMscf。平均每口井產氣量大約 110Mscf/D，但以 2-3/8"油管、井口壓力 100 psia 在液體聚積臨界產率應為 300 Mscf/D，表示大部分的氣井都已經面臨液體聚積。(資料來源：James F. Lea, Gas Well Deliquification, 2<sup>nd</sup> edition)

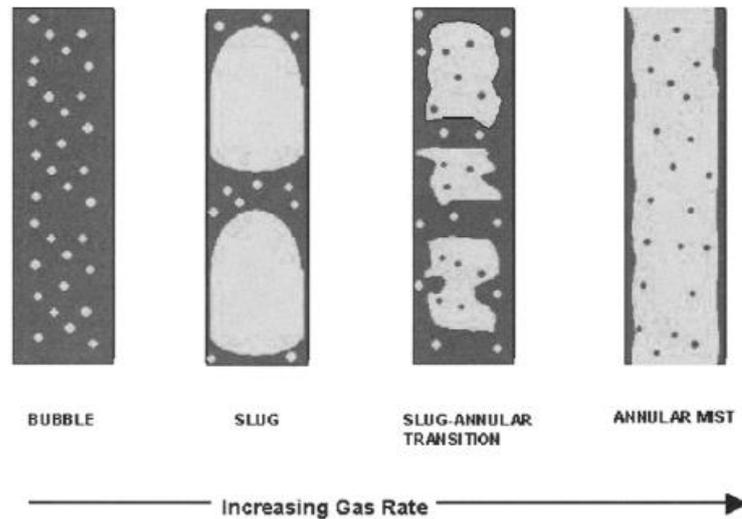


圖一、美國天然氣井數量及氣量取線圖

資料來源：天然氣井除液技術課程資料

### (一) 何謂液體聚積(Liquid Loading)

天然氣井生產過程中，多相流動大致分為四階段，如圖二所示。流動的型態是根據氣體及液體流動之速度及數量來區分。



圖二、天然氣井油管内多相流動式意圖

資料來源：James F. Lea, Gas Well Deliquification, 2<sup>nd</sup> edition

#### (1) 氣泡流(Bubble Flow)

管內大部分皆為液體，游離氣體(free gas)以微小氣泡形式存在於液體中，氣泡僅做為降低比重之用，此為天然氣井生產最終階段。

#### (2) 段塞流(Slug Flow)

段塞指氣泡在上升過程中膨脹合併成較大之氣泡。連續液體流相仍包圍著段塞，生產過程中會因為一段氣體一段液體造成壓力梯度有明顯變化。

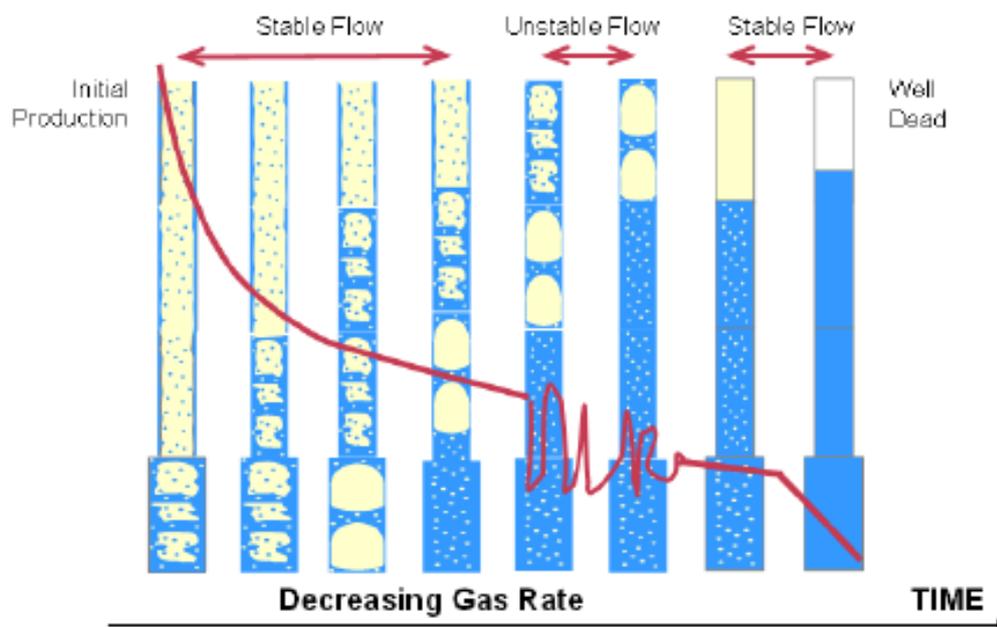
#### (3) 環孔段塞流(Slug-Annular Transition)

此現象為連續氣體流相包圍著液體，部分液體以液滴形式進入氣體中，氣體主導大部分壓力梯度變化。

#### (4) 環孔霧狀流(Annular Mist Transition)

這階段的氣相是連續性的，且大部分的液體是以霧滴的形式隨著氣體生產，此時管壁上會形成一層液體薄膜，氣體流動主導壓力梯度變化。

多數天然氣井生產週期皆包含上述四個階段，由圖三顯示整個生產週期中液體聚積造成的影響。主要造成的影響包含：氣體流動速度下降至無法再將液體帶出、液體則緩慢累積於油管底部、最終導至液柱壓高於地層壓力，無法再繼續生產天然氣。



圖三、天然氣井生產歷程

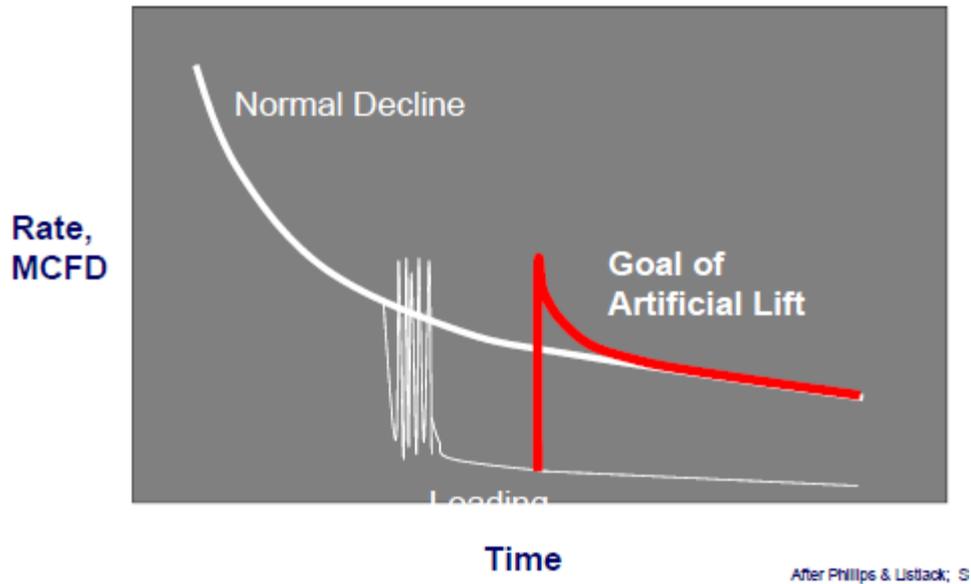
資料來源：天然氣井除液技術課程資料

#### 液體聚積會造成生產過程中的問題：

- (1) 降低產量或無法生產
- (2) 液體(水或凝結油)可能造成地層潛在危害
- (3) 油管腐蝕
- (4) 人工舉升(Artificial Lift)相關額外費用

從生產井隨時間產量遞減曲線 (Decline Curve) 中，可看出液體聚積對於生產井生命週期的影響，由圖四可知當井內開始出現液體聚積現象，產量會因為液體產量增加而開始出現不穩定的尖峰值，最後因出水而產量大減至原遞減曲線之下，這都是油公司所不樂見的情形。

利用人工舉升的方式就是目標能將已經出水的井回到原本遞減曲線位置，延續該井的生產量，以維護公司的利益。



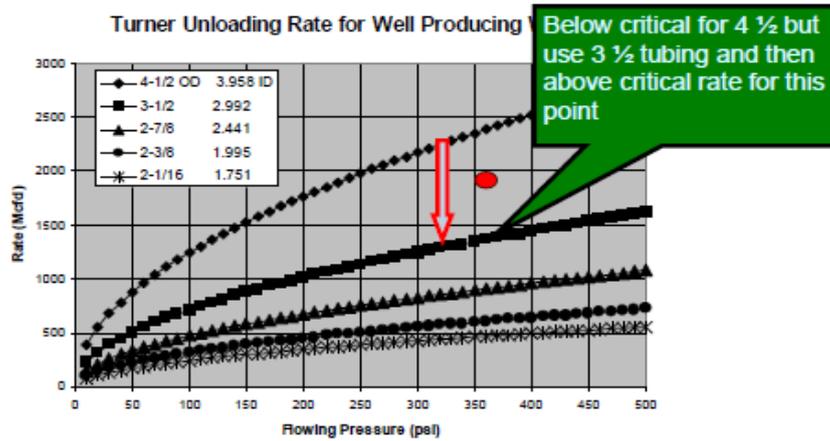
圖四、天然氣井遞減曲線液體聚積現象

資料來源：天然氣井除液技術課程資料

## (二) 如何解決液體聚積(Solution Methods for Gas Well Liquid Loading)

針對天然氣井液體聚積現象的處理方式，包括：

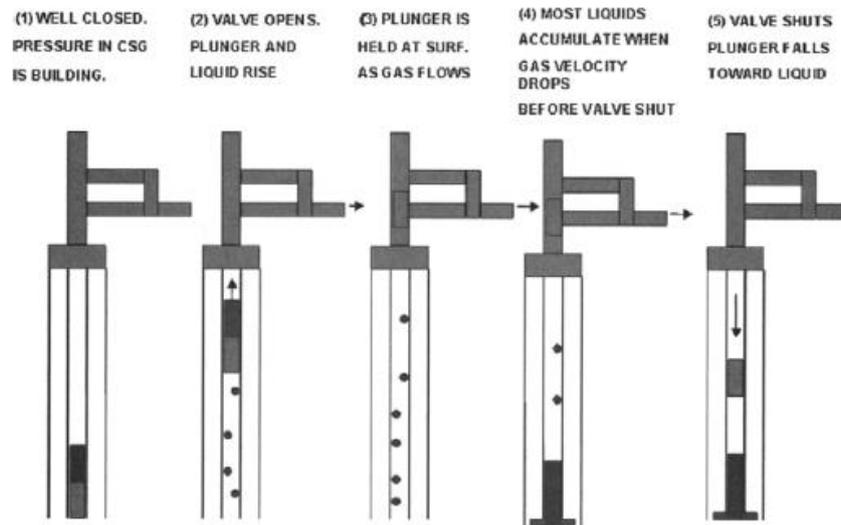
- (1) **管串設計(Velocity String)**：油管內徑越小，流速越快，但摩擦力亦越大。由圖五 Tuner IPR 曲線圖可得，原本 4-1/2"油管的井產率已經在臨界產率之下，表示已經開始液體聚積。但從圖上可見，只要改用較小管徑之油管，皆在臨界產率之上，可減少液體聚積現象。



圖五、Turner IPR 曲線圖

資料來源：天然氣井除液技術課程資料

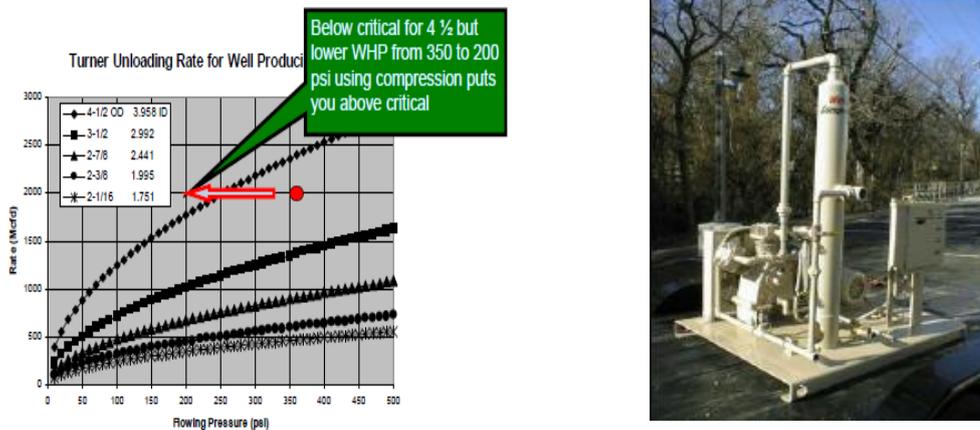
(2) 柱塞舉升(Plunger Lift)：可間歇性循環人工舉升方式，利用可自由活動於管串內活塞。關井時，自井口掉落至井底，蓄壓一段時間後，開井，再藉由上升過程將管內液柱帶出。初期建構成本低、維護費用低，但大多用於油管完井(Packer-less completion)設計。小尺寸油管、出砂地層亦會有所限制。圖六為柱塞舉升循環操作示意圖。



圖六、柱塞舉升循環圖示

資料來源：James F. Lea, Gas Well Deliquification, 2<sup>nd</sup> edition

(3) **壓縮舉升(Compression)**：降低管內壓力、增加流動速度，使其高於臨界產率，以 Turner IPR 曲線，4-1/2"油管天然氣井，原井口壓力 350 psi，低於臨界產率，井口加裝壓縮機後，井口壓力降至 200 psi，高於臨界產率，減少液體聚積問題。且壓力越低，WOR(Water in Gas ratio) 越低。同樣可用於降低管線壓力，當天然氣井生產壓力降低時。初期建構成本及後續維修成本較高，在縮機前端必須要有額外除水設備。可以與其他舉升方式並行(泡沫法、氣舉法、柱塞法)。未來出磺坑低壓生產規畫便是與此方式相似。

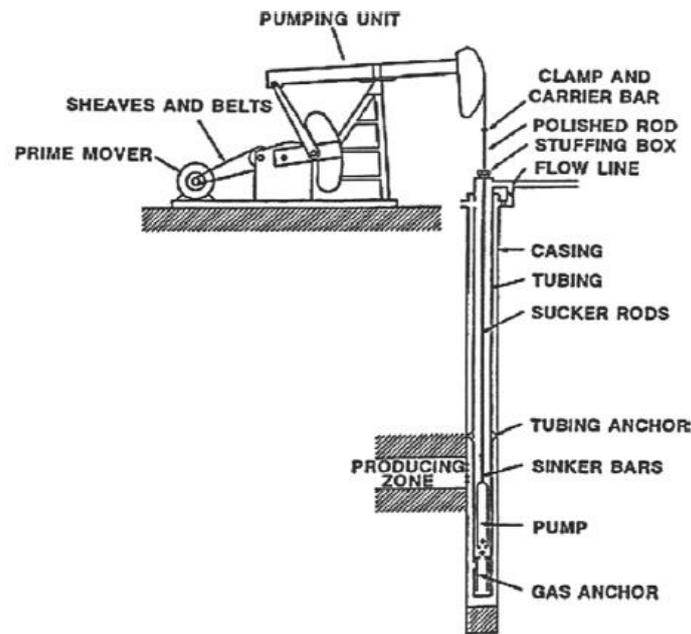


圖七 壓縮舉升在 IPR 曲線上表現及單口井壓縮設備

資料來源：天然氣井除液技術課程資料

(4) **桿式抽泵(Beam Pump, Sucker-Rod Pump)**：普遍適用於低流率之油管完井(Packer-less completion)設計，藉由抽取泵將液體由油管内抽出，而氣體經由套管繼續生產。井口改裝設備較多故初期建構成本高，維

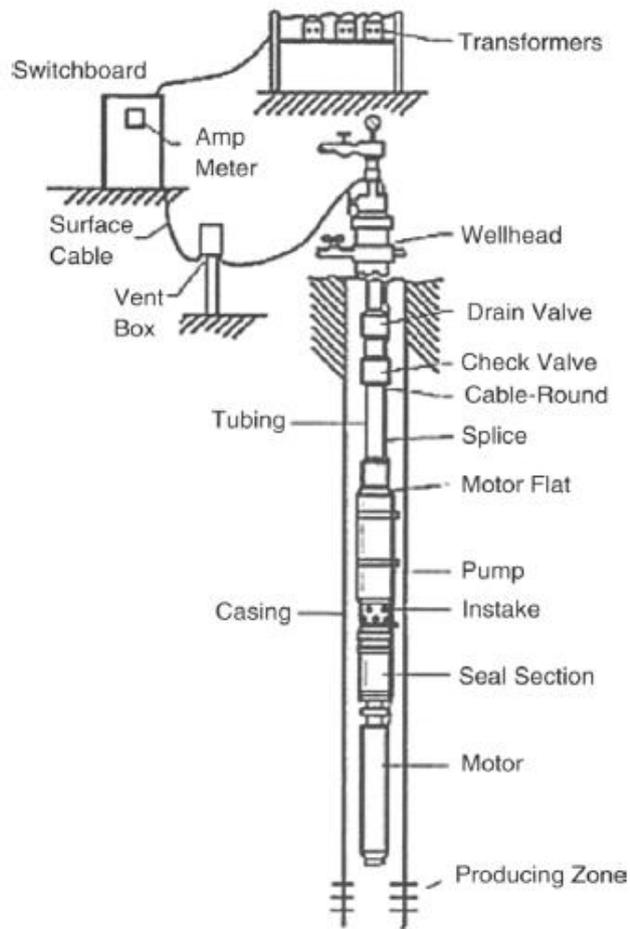
護 風 險 及 成 本 高 。



圖八桿式抽泵圖示

資料來源：James F. Lea, Gas Well Deliquification, 2<sup>nd</sup> edition

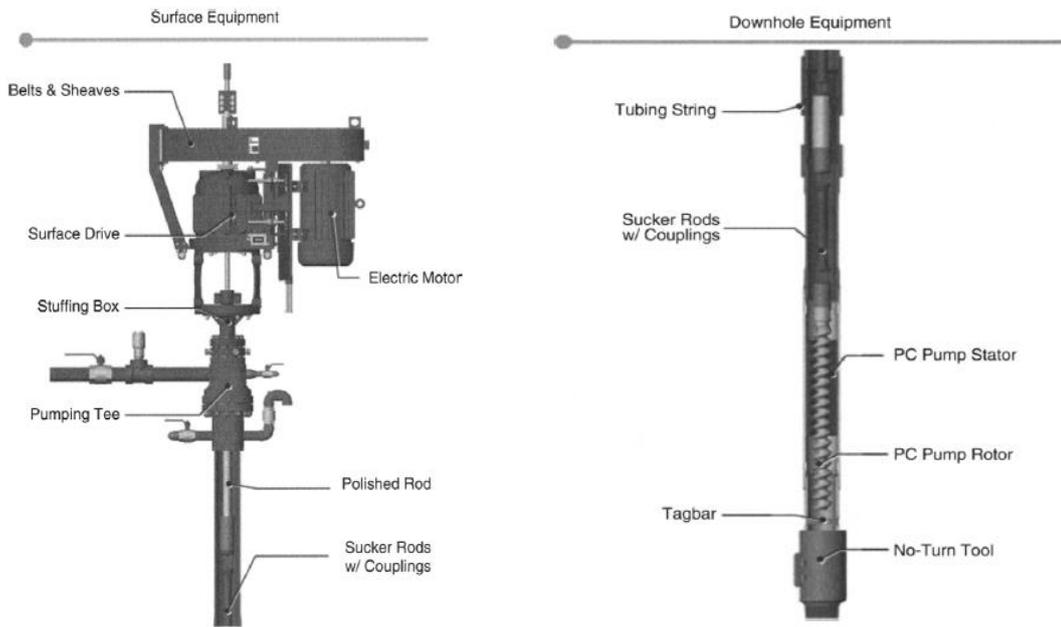
(5) **電潛泵(Electric Submersible Pump, ESPs)**：用於生產流體為主要為液體，氣體會造成泵浦損壞，因此 ESP 設計位置非常重要。若天然氣井含有大量液體，ESP 設置在恰當位置時如圖九，其除水效率更甚於桿式抽泵。大多用於油管完井(Packer-less completion)設計，自油管内抽出液體，自套管生產氣體。



圖九、電潛泵圖示

資料來源：James F. Lea, Gas Well Deliquification, 2<sup>nd</sup> edition

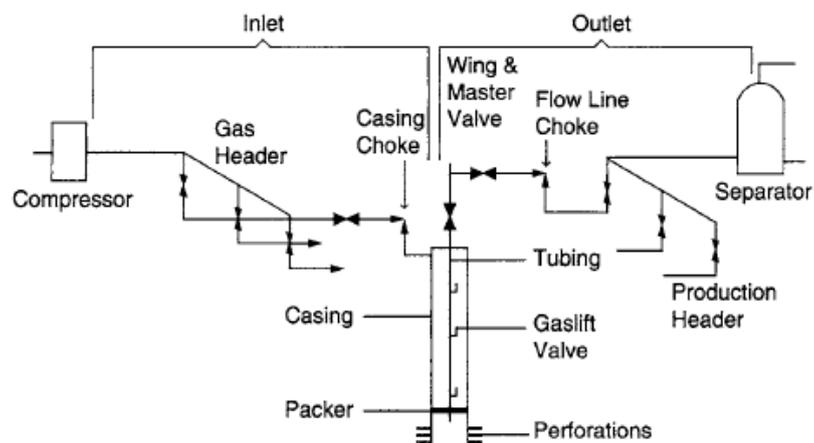
- (6) 螺桿泵(Progressing Cavity Pump, PCPs)：原理同 ESP，深度限制約 1,200-1,500m，選用適當螺桿材質可針對出砂地層，地面安裝設備簡單如圖十，初期建構成本低，適用水平井。



圖十、螺桿泵裝置圖示

資料來源：James F. Lea, Gas Well Deliquification, 2<sup>nd</sup> edition

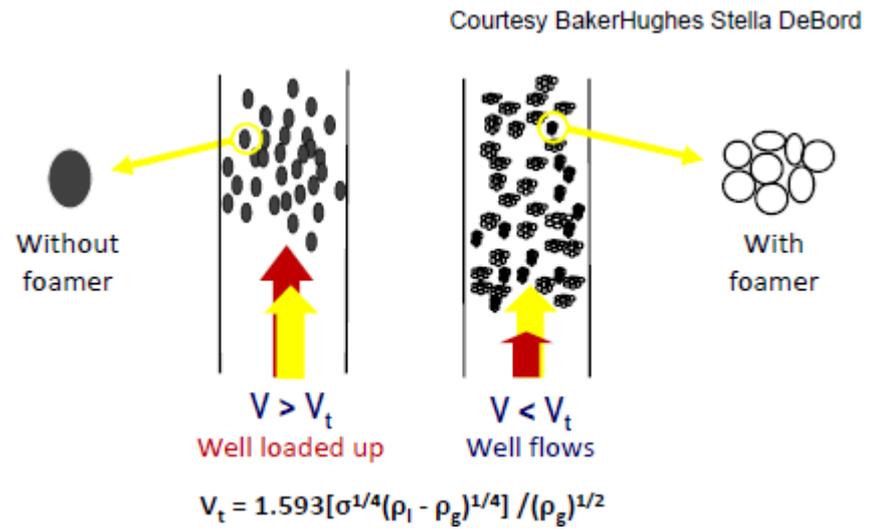
(7) **氣舉法(Gas Lift):** 在不同深度下，經由套管擠注氣體至油管內，增加管內流體流動性，增加產率至臨界產率之上，降低液體聚積可能性，可連續性舉升。不受限深度，適用出砂地層，井口需要壓縮設備如圖十一。



圖十一、氣舉法圖示

資料來源：James F. Lea, Gas Well Deliquification, 2<sup>nd</sup> edition

(8) 泡沫法(Foam): 擠注介面活性劑或泡沫，降低管內液體比重及氣液間表面張力，使之可以順利流動至地面。如圖十二示意。惟需考量產出流體之後續處理。



圖十二、泡沫法圖示

資料來源：天然氣井除液技術課程資料

## 參、心得及建議

本次奉派出國參與 PetroSkills 公司開設之「天然氣井除液技術」課程，藉由緊湊的課程內容，以及面對面與此領域之專業講師和來自各地的石油同業交流，使我對於天然氣井液體聚積及除液方式有較深入的瞭解，獲益良多，茲提出以下幾點心得與建議：

### 一、重新評估既有生產井，並引進適合的除液技術

歷經多年的生產，國內陸上氣田多以邁入生產末期，井內的液體聚積已成為氣井產率下滑甚至停產的主要原因，建議應針對既有井之井況與產能進行全面性的檢視與評估，並視各井生產潛力篩選適合且具成本合理之除液技術，藉此改善氣井產率並延長生產年限。

### 二、完井設計納入預防液體聚積措施

舊氣田出水已是本公司從事礦區經營管理無法忽視的問題，若地層先天條件無法避免氣井出水，建議公司可思考於完井設計即納入預防液體聚積之措施，連續性地將液體移出，直接從源頭端降低液體聚積的可能性，藉此確保氣井產率。

### 三、理論結合實務，共同提升探採績效

本公司探採研究所相當熟稔生產工程與油層工程之原理與理論，近年亦購入許多業界常用的應用軟體；而本事業部具備著多年氣田營運與生產操作實務經驗，若能有效結合雙方的技術與資源，將有助於釐清既有井井況與生產潛力，並協力篩選與應用新的產能改善技術，促進舊氣田的再開發，進而共同提升探採事業群之經營績效。