

台灣中油股份有限公司人員從事兩岸交流活動報告書

2018 年參加油氣探勘及開發技術研討  
會議  
出國人員報告書

研提人單位：探採研究所 鑽採組  
職務：石油開採工程師  
姓名：潘時瑜

參訪期間：107 年 10 月 17 日至 10 月 20 日

報告日期：107 年 10 月 31 日





## 摘要

石油及天然氣為一國重要資源，因此，如何增加油氣產量與穩定油氣供應，成為目前世界各國極為重視之課題。本次出國計畫為配合本公司欲提高掌握自有能源之政策，故需精進油氣礦區生產及工程技術以開發自有礦區，並可擴展中油探採研究所研發範圍，協助解決探採事業部現場問題，故參加大陸油氣探勘及開發技術研討會議。

本次於 10 月 17 日至 10 月 20 日期間，出國參加北京石油大學舉辦之大陸油氣探勘及開發技術研討會議，討論為期 2 天（10 月 18 日至 10 月 19 日）。本次討論屬於地方規模之會議，主要探討重油開採技術的發展方向、趨勢及重油開採的新理論、新方法、新技術、新工法。以往重油開採多使用化學藥劑及水沖排，但目前已可以使用聲波或超音波提高重油採收率，且可防垢、防蠟、降黏、破乳脫水、驅油等優點，或能應用於查德及出磺坑的防蠟及地熱井的除垢。此次會議以與業界交流及交換意見，體認業界有時在技術發展上比國營公司快速，因此與業界人士交流可更快速習得技術。此次與業界交流得知帶壓作業施工工法，此工法可以提高生產效率及經濟成本，還可能應用於出磺坑除蠟作業。此外，若能推動創新中心，以大型國家級科研項目為重要載體，聚焦於產業欲發展之計畫方向，如北京石油大學所實行成立創新中心，推動計畫快速發展，此機制值得學習。



## 目次

摘要.....	1
目次.....	2
壹、 目的 .....	3
貳、 過程 .....	4
參、 心得及建議.....	22

## 壹、目的

本出國計畫一方面為因應本所今年度石油基金計畫「F 構造油層模擬與周邊油氣聯合開發可行性研究」計畫海域鑽探範疇；另一方面為本組之主要研究範圍包含鑽井及生產開發（包含海上及陸上）等部分，而目前本所及本組的主要業務包含模擬、注產營運成本估算、協助解決探採事業部現場問題及國內外陸上海上油氣藏生產規劃評估等，因此規劃本次出國計畫。近年來，大陸積極併購國外油氣田資產，於南海等地區發現重大油氣埋藏，且各項技術與開發技術發展日新月異，本計畫希望以參加大陸於北京舉辦之探勘與開發技術交流研討會，與大陸業界石油公司或與北京中國石油大學學術界，交流油氣田探勘與開發技術經驗，本次研討會議題包括水驅強化採油技術（注水提高採收率，或稱二級採油）、化學驅提高採收率（三級採油）、重油熱力採油技術、重油開採技術的發展方向和趨勢及重油開採的新理論、新方法、新技術、新工法等。進一步能洽談合作研究、技術發展與投資國內外礦區之可能，以達成厚植探勘與開發技術、強化兩岸合作交流之目的。與大陸油公司與學術研究單位交流技術經驗，精進採油技術，提高本公司目標礦區之採油率，擴展本所油氣田探勘與開發應用技術。藉由石油工程技術，如：重油熱力採油技術且應用於其他領域，如：地熱計畫，擴展本公司應用廣度。再由拜會石油公司，爭取洽談合作研究與國外油氣田投資之機會。透過研討會方式擴大交流，開拓實習機會培訓本所人員。

## 貳、過程

本次出國為期 4 天，詳細出國行程如表一所示，主要行程為參與 2018 年油氣探勘及開發技術研討會議，本討論會議為地方學校舉辦之區域性研討會，規模不大，會期為 2 天（10 月 18 日至 10 月 19 日）。

議題內容涵蓋水驅強化採油技術（注水提高採收率，或稱二級採油）、化學驅提高採收率（三級採油）、重油熱力採油技術、國內外重油開採技術的發展方向和趨勢及重油開採的新理論、新方法、新技術、新工法。

由於航班時間限制，因此需凌晨出發，深夜回國。討論會議以半天為一單位：

1. 第一天上午著重於海域探勘介紹。
2. 第一天下午則介紹此種大型計畫之前的實驗室建置過程，因中油探採研究所性質，因此個人聚焦於實驗室設備，若能在研究所內成立先導試驗中心，也較為符合研究所性質。第一天下午另一部分亦進行基礎重油採收技術之探討。
3. 第二天上午則接續重油採收先進技術議題討論，重油的採收不再限於傳統重油水沖排、火燒、化學藥劑採收法，甚至定向井、聲波、超聲波都能應用於重油採收。
4. 第二天下午則與業界討論帶壓生產作業方式。

詳細實驗室建置過程及方法與工法如後所述。

表一、出國行程

日期	地點	工作內容
107.10.17	台灣-北京	啟程
107.10.18~19	北京	參加 2018 年油氣探勘及開發技術研討會議
107.10.20	北京-台灣	返程



## 一、 油氣探勘及開發技術研討會議會議簡介

2018 年油氣探勘及開發技術研討會議範圍其實不限陸上或海上、傳統或非傳統油氣資源技術，會議以開會報告形式進行，主辦單位為北京石油大學（圖一），此學校有非傳統油氣協同創新中心、提高採收率研究院、城市油氣輸配技術實驗室、井孔複雜流動與完井工程實驗室、海洋油氣研究中心虛擬現實與仿真實驗室及聲波測井實驗室，日後可規劃對此學校之參訪行程。

其中非傳統油氣協同創新中心，於 2012 年 7 月，由北京石油大學帶頭，與華東石油大學、中石油、中石化、中海油、重慶國土局等單位共同組建”非傳統油氣協同創新中心”。實體部分以北京石油大學為基地，建立非傳統油氣探勘、開發與工程技術三平台。進行體制與機制創新，建設基礎理論創新、先導技術研發與工程示範、人才培養與匯聚平台，目前培育進行成果卓著，共建立 12 個研究團隊，人員規模達到 147 人。

創新中心以大型國家級科研項目為重要載體，聚焦於緻密油氣、頁岩油氣、煤層氣及重油等，圍繞埋藏機制與資源評評估、高效鑽完井和測井評估、儲層高效改造與有效動用三大核心問題開展協同創新活動，目標為推動非傳統油氣行業的快速發展（如：酒泉盆地評估及西北區頁岩氣的調查）。此種成立創新中心，推動大型計畫之機制值得我們學習。



圖一、北京石油大學



圖二、圖中為非傳統天然氣研究院暨創新中心

## 二、 重點報告摘錄

此次會議著重於海洋採油技術、重油採油技術、重油開採的新理論、新方法、新技術、新工法及其他等。其重點如下：

### 1. 海洋採油設備技術

隨著本公司澳洲西北海域 Prelude 氣田開發的推進，採用一種全新的浮式液化天然氣生產儲存裝置（Floating Liquefied Natural Gas, FLNG）（圖三），該裝置借鑑 Floating Production Storage and Offloading（FPSO）的發展理念，具備天然氣的開採、處理、液化、儲存及外輸多種功能，也算是實現對傳統氣田開發模式的重大創新。在本議題中，個人著重於 FLNG 在出廠前的裝置試驗，也就是實驗室設備（謝彬等人，2018）。



圖三、Prelude FLNG（資料來源：謝彬等人，2018）

例如水池試驗，FLNG 裝置的水池試驗與傳統的 FPSO 水池試驗類似，但 FLNG 在船艙搖晃、停泊定位、外輸可行性面臨諸多問題，需要施行水池試驗。圖四~圖七為試驗之初的準備工作及模型製作圖。摘錄在 FLNG 水池實驗必須包括內容及具體目的如表一，日後若有需要施行水池實驗可參閱此表（資料來源：謝彬等



人，2018)。



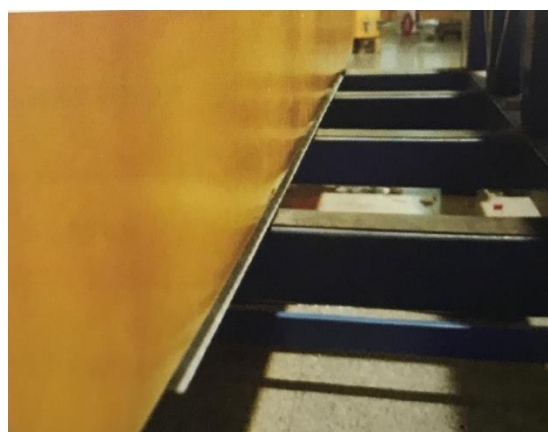
圖四、FLNG 船體轉動慣量調整  
(資料來源：謝彬等人，2018)



圖五、液艙模型  
(資料來源：謝彬等人，2018)



圖六、船體運動採集系統  
(資料來源：謝彬等人，2018)



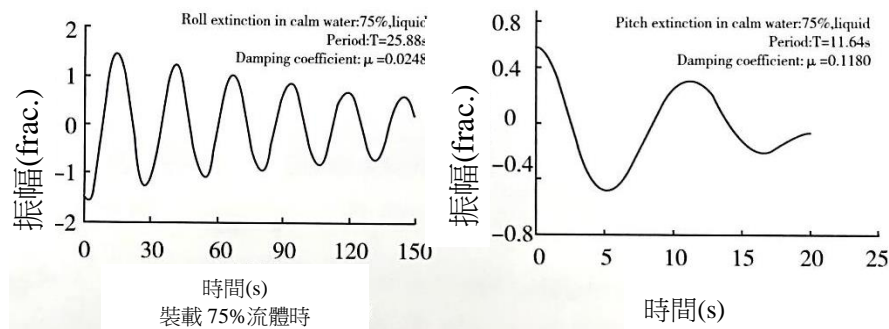
圖七、龍骨模型  
(資料來源：謝彬等人，2018)

表一、FLNG 水池實驗主要工程實驗及實驗目的 (資料來源：謝彬等人，2018)

序號	名稱	主要內容	具體目的
1	船體耐波性實驗	靜水衰減工程實驗	獲得 FLNG 船體運動固有運動週期與阻尼系數
		白噪音工程實驗	獲得 FLNG 船體運動以及艙內液面
		風浪流組合工程實驗	獲得船體在實際條件下的船體運動響應
2	單點定位	單船環境載荷標定工程實驗	標定 FLNG 船體上所受到的風、流負荷

	性能實驗	波浪漂移力標定工程實驗	獲得船體受到的平均波浪漂移力
		風浪流組合工程實驗	獲得船體在系泊完整及單纜破損工況下的纜繩張力與平台偏移量
3	外輸工程實驗	雙船環境載荷標定工程實驗	標定 FLNG 船體與 LNGC 船體上受到的風、流載荷，研究在不同環境入射方向條件下載荷的遮蔽效應
		白噪音工程實驗	獲得 FLNG 與 LNGC 船體耦合運動大小，標定兩船之間水體的耗散系數等
		風浪流組合工程實驗	獲得在實際外輸海況下單點系統、外輸系泊系統極端載荷，以及外輸臂位置處於兩船相對運動、位移與加速度，船體艙向角等
		尾部側推系統工程實驗	研究尾部側推系統對於船體運動及極端系泊載荷的改善程度

對於靜水衰減工程實驗，先給予船體一個搖盪的位移，船體會逐漸趨於靜止，在這情況下紀錄船體運動，獲得不同模式下的運動時間歷程及結果，從結果可看出有裝載液體時，振幅及停止震盪時間確實比較大及需要比較久的時間（圖八左及表一）。



圖八、FLNG 船體自由衰減時間歷程

表一、船體固有週期與阻尼的測試結果

裝載量	0		裝載 75% 固體		裝載 75% 液體		100%	
	固有周期	阻尼	固有周期	阻尼	固有周期	阻尼	固有周期	阻尼
垂直搖晃	11.31	0.1434	11.87	0.1513	11.85	0.1467	12.02	0.0866
X 方向搖晃	23.25	0.0158	23.95	0.0122	25.88	0.0248	28.27	0.0229
Y 方向搖晃	12.05	0.1192	11.53	0.1269	11.64	0.1180	11.74	0.1307

固定 FLNG 船體之後，對波浪製造白噪音波浪，就是說在較寬的頻率範圍內，波高相同，而頻率不同的隨機波浪，目的是在測試船體在一般情況下，經歷一段時間，所會遇到的浪高。

此外，為獲得 FLNG 在目標氣田實際海況的運動響應，必須進行風浪流組合試驗，此時可先做縮小版的船體模型，在實驗室內模擬遇到颱風或東北季風時的反應（圖九及圖十）。由於 FLNG 在颱風狀態下停產，因此耐波性實驗主要關注船體在遇到颱風及季風條件下的運動能否滿足設備正常作業要求，同時參考船體在十年與百年遇到颱風下的運動反應（表二）。其實，如上述，在中油研究所也可以成立相關先導試驗實驗室，在施行各項大型計畫前，模擬可能會遇到的天然災害所帶來的損害。



圖九、遇到季風的實驗現場



圖十、遇到颱風的實驗現場



表二、作業工程實驗下 FLNG 運動統計結果

通道	項目	單位	最大值	最小值	平均值	標準差	正有意義值	負有意義值	正負有意義值
1	surge	m	2.96	-13.26	-4.60	2.99	5.90	-5.67	10.32
2	sway	m	16.48	-19.20	-0.12	7.10	5.28	-3.69	8.83
3	heave	m	1.23	-1.13	0.07	0.33	0.65	-0.66	1.28
4	roll	deg	0.33	-0.24	0.05	0.07	0.14	-0.13	0.25
5	pitch	deg	1.20	1.36	0.01	0.36	0.71	-0.7	1.39
6	yaw	deg	6.96	-8.62	-0.78	3.18	3.57	-4.76	7.06
25	Ace X1	m/s <sup>2</sup>	0.37	-0.39	-0.02	0.10	0.19	-0.19	0.37
26	Ace Y1	m/s <sup>2</sup>	0.21	-0.31	-0.07	0.05	0.10	-0.10	0.19
27	Ace Z1	m/s <sup>2</sup>	1.24	-0.94	0.06	0.28	0.55	-0.52	1.05
28	Ace X2	m/s <sup>2</sup>	0.38	-0.43	-0.03	0.09	0.18	-0.17	0.34
29	Ace Y2	m/s <sup>2</sup>	0.17	-0.14	0.01	0.03	0.05	-0.05	0.08
30	Ace Z2	m/s <sup>2</sup>	0.37	-0.27	0.04	0.08	0.15	-0.15	0.29
31	Ace X3	m/s <sup>2</sup>	0.39	-0.32	0.03	0.09	0.18	-0.17	0.33
32	Ace Y3	m/s <sup>2</sup>	0.19	-0.23	-0.02	0.05	0.10	-0.10	0.19
33	Ace Z3	m/s <sup>2</sup>	0.56	-0.62	0.00	0.18	0.34	-0.34	0.67

在單船環境載荷標定工程實驗中，因為 FLNG 體型更為龐大，因此更可借助水池試驗對風的流動與水的流動對船體負荷進行記錄（表三及表四），由此表可得知 90 度風向乘載較大的壓力，而有流體在船體內時，水的流動係數較高，但風的流動係數較低。

表三、風流動之負荷係數

載荷方向	180°		90°	
	風力	風負載係數	風力	風負載係數
	kN	kN/(m/s) <sup>2</sup>	kN	kN/(m/s) <sup>2</sup>
壓載	-523.65	-0.33	1714.03	1.09
75%滿載	-507.79	-0.32	1462.46	0.93
滿載	-489.68	-0.31	1449.88	0.92

表四、水的流動之負荷係數

載荷方向	180°		90°	
	風力	風負載係數	風力	風負載係數
	kN	kN/(m/s) <sup>2</sup>	kN	kN/(m/s) <sup>2</sup>
壓載	-84.26	44.89	3606.60	1921.57
75%滿載	-117.63	62.67	3815.82	2033.05
滿載	-181.83	96.88	4031.18	2147.79

在波浪漂移力標定工程實驗中，波浪漂移力是影響船體運動的一個重要環境外力，在實際條件下，該波浪搖晃的力量與停泊系統頻率接近，很容易引起共振而導致更大的危害，而波浪的搖晃又與船體的外型有關，因此可在此實驗中施行不同船體造型實驗，選擇共振最小的船體造型。

而在風浪流組合工程實驗中，對於單點系統的校正指標只要包括纜繩張力、船體艙向角以及單點位置的水平偏移為重點。在外輪工程實驗中，再加入另一船隻，重複上述實驗即可。

## 2. 重油開採技術

重油即高黏度重質原油，在油層中的黏度高，流動阻力大，甚至不能流動，因而用傳統技術難以經濟有效地開發。大陸目前已在 12 個盆地發現了 70 多個重油油田，目前，重油儲量最多的是東北的遼河油區，其次是東部的勝利油區和西北的克拉瑪依油區。大陸陸上重油油藏多數為中新生代陸相沉積，少量為古生代的海相沉積，儲層以碎屑岩為主，具有高孔隙、高滲透、膠結疏鬆的特徵。重質油主要分佈在盆地邊緣斜坡帶、凸起邊緣或凹陷中斷裂背斜帶的淺層。陸相重質油由於受成熟度較低的影響，瀝青含量低而膠質含量高（郭尚等人，2016）。

總結重油開採方式有以下方式：

**(1) 降黏法：**在水中加入一定量的水溶性環氧乙烷、環氧丙烷、十二醇醚、烷基苯磺酸鈉等活性劑，配成活性水溶液。按一定的比例注入井內，靠機械作用使活性水溶液與井內的重油混合，形成不穩定的、黏度較低的水包油乳狀液，再用傳



統方法開採。適用於有稀油資源地區。這就是所謂的用化學藥劑增產。

**(2) 熱力開採法：**用加熱的方法使油層中的重油黏度降低。蒸氣吞吐（注一段時間，悶一段時間）是指將蒸氣注入生產井中，然後關井一段時間，重新開井生產的重油熱採方注入的蒸氣，一方面加熱原油，降低原油黏度，降低油流動阻力；另一方面，注入的蒸氣為油層提供了一定壓力，使稀化的原油能夠流到地面。蒸氣吞吐的一個最大優點是可以一直生產，因為注入蒸氣及關井時間很短，而且投資少，成本低。蒸氣驅動是指蒸氣從注入井進入油層，加熱油層及原油，蒸氣穿過整個油層，把原油推進生產井而產出地面。蒸氣驅動需要至少一口注入井和一口生產井，而不像蒸氣吞吐只需一口生產井即可。蒸氣驅動與蒸氣吞吐相比能更大範圍地加熱油層，從地層中產出更多的重油，採收率更高。

**(3) 火燒：**油層的過程指將空氣注入油層，然後在井底點火，使部分原油產生就地燃燒，燃燒產生的熱量加熱油層，產生的燃燒氣體驅動原油。火燒油層方法是在地下就地產生熱量，而不像蒸氣驅動一樣地面用鍋爐產生熱蒸氣。優點為採收效率很高，可高達 80% 以上，缺點為施工難度大，不容易控制燃燒範圍。新疆、玉門、勝利、吉林和遼河等油田其實有火燒油層試驗研究，但應用直到目前還為數不多。

**(4) 電熱法：**是用井下電爐加熱油層以降低重油黏度。此法耗電量太大，加溫井孔周圍地層的範圍有限，工法複雜，僅可用於重油試油或不具備其他開採方法的地區，像是不能或當局不准使用其他開採方法（比如火燒有危險）的地區。

**(5) 重油聲波採油技術：**20 世紀 70 年代初，蘇聯發現西伯利亞鐵路附近油井產量較高，對此進行了振動頻譜分析(Spectrum analysis)，認為低頻(Low frequency)振動對增加石油天然氣產量有明顯影響，美國加州德哈比培克費爾地震後，使附近的石油產量提高了一倍，並達數周之久。因此開啟聲波採油的研究，根據聲波採油技術實際應用過程中所使用的聲波頻率的不同，可以分為低頻聲波(Low frequency)採油技術及超聲波(Ultrasound)採油技術。

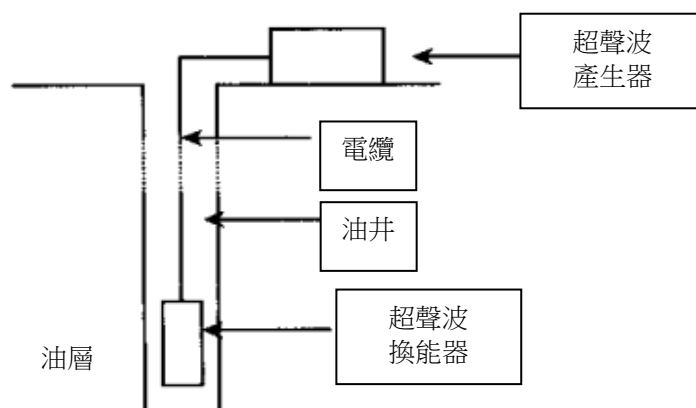
此次討論，聲波採油技術是較為創新的技術，近年來迅速發展起來一種新技

術，此技術應用範圍廣泛，如：聲波液裂（與其說液裂，不如說是震裂的）、提高油層滲透率、聲波防垢、防蠟、降黏、破乳脫水、驅油等（張福仁、王東，勝利石油管理局），因勝利油田主要為生產重油，對於針對勝利油田其油層不連續之特性，評價其適合之強化採收方式，如水驅、二氧化碳驅、泡沫驅、聚合物驅及熱蒸氣驅等方式外，並評估聲波用於勝利油田增產的可能性（張福仁、王東，勝利石油管理局）。

早在 20 世紀 90 年代（王陽恩，2002），中國科學院成都感測器研究所就研製出了可用於油田井下的大功率超聲波採油裝置，並在玉門、大慶等油田現場進行了超聲波採油技術的試驗，使作用油田油層物性明顯改善，流動係數、滲透率等均有大幅度提高。利用超聲波，可以提高原油產量 40%~50%，提高整體採收率 10% 以上，其成功率可達 80%，增產期可長達半年以上。

超聲波採油的原理是：當大功率的超聲波進入油層中時，油層中的毛細管直徑就會隨著超聲波的作用發生時大時小的變化，當毛細管直徑發生變化時，其表面張力、毛細壓力也隨之變化。

超聲波採油設備多為車載式，作業靈活方便（圖十一），由安置在地面上的超聲波發生器產生人耳聽不見的（20Hz~30kHz）的聲音，經電纜傳輸至位於井孔內油層段的超聲波換能器，超聲波換能器將電信號轉換成聲音信號，聲音信號經井孔內的原油傳播到油層中，目前，超聲波發生器的電功率已達上百千瓦，超聲換能器的形狀一般是圓柱形，長度約 1~2m，半徑約幾十毫米左右（王陽恩，2002）。



圖十一、超聲波採油示意圖（王陽恩，2002）

高能聲波增產技術，為一種利用增波降低地層汗損（Skin）程度的技術，主要方式係採用高頻與超音波聲波，將油井鑽完井或生產過程中阻塞的地層，以聲波方式將其凝聚體解開，以目前實驗室儀器來做對比，如同超音波細胞粉碎儀，如下圖十二，常用於極細尺寸的顆粒解凝或分散用途。



圖十二、超音波細胞粉碎儀（Ultrasonic Processor）（資料來源：宏濬儀器有限公司）

在中國專利文獻 CN1936266B 中敘述可知，為了克服高頻傳輸效果較差（波長較短），而改採低頻（波長較長）方式，將聲波傳遞效果提升，並且可以將儀器小型化，且不需要將現有油井停產，即可具有解凝效果，進而降低地層汗損程度。

在 SPE194031 文獻中提及，超聲波在使用上主要為減少毛細壓力及降低油水介面張力，使得提高增產效果，文獻以尼日河三角洲的原油進行實驗，以 Eclipse 模擬儲層之模型並搭配超音波（54kHz）與水驅後，對於相對滲透率的影響，並以 MATLAB 校正回收蘊藏量，步驟等同計算相對滲透率，在文獻中顯示可增加蘊藏量約 50%，主要是藉由聲波解凝，進而減少阻塞孔隙率的問題，使得儲層流體獲得更有效率的流動狀態，可有效影響殘餘油飽和度的比率。

此技術又分為低頻聲波採油技術及超聲波採油技術，聲波技術不再是只能用於探勘，而可直接用於開採油田了，以下詳細介紹此二技術。

## A. 低頻聲波採油技術

低頻聲波採油技術利用的是低頻波或次聲波，低頻聲波採油技術所使用的設備有井下低頻脈衝波發生器和地面震源兩種，產生聲波的頻率在 50 Hz 以下，頻率低於 10Hz，人耳也很難接收，只有被推動的感覺。因聲波波長與堵塞地層孔隙的顆粒尺寸相比要大得多，故低頻聲波採油技術不適用於近井地帶的修井，而是由於這種波能在較大半徑範圍內引起地層的振動，擴大、疏通儲層連通孔隙（波長較長），也就是用”推動”的方式，有助於改善其內部流體的流動狀況，降低原油黏度，促使殘餘油流動，提高油層原油的採收率。

## B. 超聲波採油技術

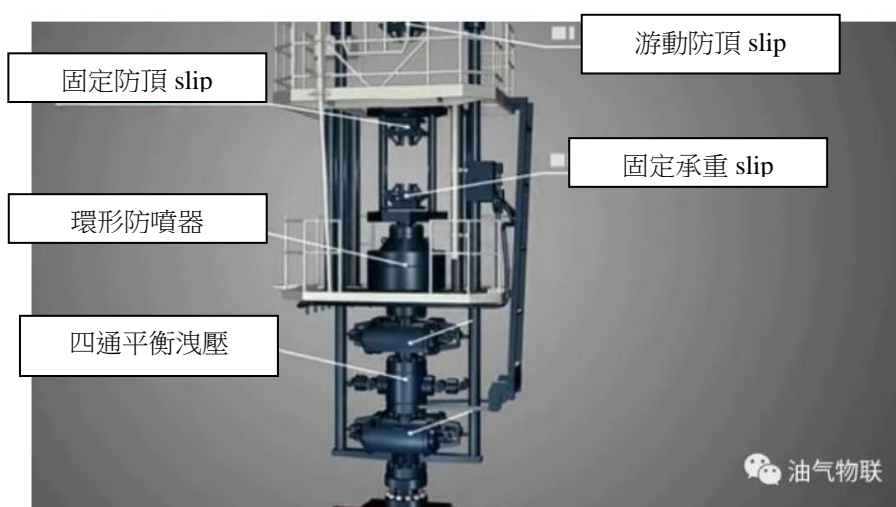
超聲波採油技術設備有地面的超聲波發生器、專用電纜及井下超聲波換能器（採用圓形磁滯伸縮或壓電陶瓷材料）組成，也可採用共振腔式井下聲波發生器產生超聲波。超聲波換能器採用徑向方式，頻率為 20 Hz~22 kHz（人耳聽不到），超聲波在井孔液體中形成局部的暫態高溫高壓區，使原油分子鍵斷裂，降低原油黏度，從而提高原油的流動性。超聲波的機械效應使井壁產生新的微裂縫，擴大、延伸裂縫，清除近井地帶的污染及堵塞物，以提高滲透率，同時還能降低儲層毛細壓力，促使毛細管中的殘餘油向井孔流動，增加油井的產量。在重油井中，多採用井下聲波發生器結合蒸氣注入，在井孔中產生油水乳化液，改善地層徑向滲透率，提高蒸氣注入效果，從而提高重油井的原油產量。

聲波採油技術用不同頻率和性質的聲波激勵油層，不同頻率和性質的聲波對油層的影響機制、處理效果、處理範圍也不相同。其中超聲波採油技術適用於處理井底近井地帶的污染及堵塞物，可在傳統修井作業後施工，加上成本低，配套設備少，易於操作和管理，對需要處理的目標油層能進行分層分段處理，對油層結構和油井套管無污染、無破壞作用，有利於採收率的提高和減少生產井維修費用。該技術主要適用於因各種原因造成的近井地帶的污染、堵塞而引起的減產。

超聲波（波長短、能量高）在原油中傳播時被吸收，使得聲能轉為熱能，在不同介質的分界處，邊界摩擦使油體溫度升高；在氣體崩潰時釋放出大量的熱能。頻率越高，吸收效果越好，邊界摩擦也越劇烈；強度越大，熱效應越顯著。

### C. 帶壓作業技術（資料來源：一龍恒業石油工程技術有限公司）

帶壓作業主要是指在油氣水井井口帶壓狀態下利用專業設備在井孔內進行的帶壓作業。施工中保持井孔內壓力，不需要壓（洗）井、放壓。對於油井而言，帶壓作業最大優點在於它可以保護和維持地層的原始產能，有效保護地層壓力，避免對油層的污染、減少酸化及液裂等增產措施的次數，為油氣田的長期開發和穩定增產提供良好的條件。對高壓油氣水井而言，作業前不需要停注放壓，可以縮短施工週期，省去傳統作業所需壓井液及其地面施工設備的費用，減少污染，保護環境。對於頁岩氣井帶壓作業不需要壓井，減少了壓井液對地層的污染，有效的預防了氣層被壓壞的發生。



圖十三、帶壓作業示意圖（資料來源：<https://zhuanlan.zhihu.com/p/37231343>）

帶壓作業技術優點，帶壓作業技術的使用為油氣田勘探開發提供了一種新思維。油氣井使用傳統壓井方式，是為了平衡地層壓力，防止井噴現象的發生。油氣井帶壓技術的應用，可以在油氣井帶壓情況下進行管串起下，完成各種評估測試和改變作業工序進行施工。最大限度地保持油氣層原始地層狀態，正確評估油氣埋藏。壓井液進入地層，造成了地層的污染，為後續資料錄取、完井作業、試油等環節帶來了負面的影響，從而影響到油層描述的結果，直至影響到採收率。採用油氣井帶壓作業使產層的物理特性得以最大的保護，避免了傳統開採過程中對新開採的產層造成的破壞，如新開油氣孔道的堵塞、泥餅現象造成地層解釋錯誤、水敏性礦物（黏土）膨脹造成產層物性的下降，從而在進行油層評估時取得準確的資料。傳統壓井液在作業過程中受氣侵或油侵，降低密度，一方面發生井

噴的危險性大，另一方面需要重複壓井，工序複雜，作業費用昂貴，帶壓作業解決了傳統壓井作業中的一些疑難問題，如氣井作業中，用壓井液壓井，一壓就漏，不壓就噴，低滲氣井則很容易壓死。還有由於應用不壓井作業技術，避免了高壓油井中壓井泥漿的頻繁更換、循環和配套設施的使用，避免了對地面環境的污染，以及可以解決注水井長時間放溢流的難題，避免壓井液的使用，防止產層受到污染，提高產能和採收率，從而使產層的開採產量和潛能得以最大的保護。由於作業時不需要進行壓井，一是節約了成本費用；二是縮短了作業週期，降低勘探開發成本，提高了油氣田的生產效率和經濟效益。壓井對地層的危害不言而喻，壓井液費用亦十分可觀，並且作業後還需抽排壓井液。而水井作業時，水井停注放壓時間長，有時甚至放兩三個月或半年，為了保持地層壓力場平衡，周邊水井也需停注，造成油井減產或停產，對生產影響較大，經濟效益低下。保護環境，避免壓井液對地面的污染，符合油田 HSE 的要求，具有重大的經濟和社會效益。此技術應用範圍廣泛，詳述如下：

## 1. 帶壓完井或起下油管應用介紹

這項作業應用於在帶壓的情況下把井內的管串及工具串起出井孔，向井孔內下入新的設計管串，或者用於更換井內現有管串。目前帶壓作業部門已經在江漢油田和普光油田多次下入完井管串，該技術通過環形防噴器或倒換單閘板防噴器以及壓力控制與平衡的方式實現油管以及大直徑工具的起下，最大支持 180mm 直徑的井下工具。作業機的舉升能力最大為 120T，下壓能力為 60T，支援的井口壓力為 105MPa，目前該技術已經非常成熟。作業簡述：準備好帶壓作業設備，拆卸井口安裝防噴器及帶壓作業設備，帶壓下入完井管串等，安裝油管掛，試壓拆除帶壓作業，設備恢復井口，移交給生產部門。

## 2. 儲氣窖帶壓作業應用介紹

一些儲氣窖的排鹵管串，在排鹵水完畢後因井內含有高壓氣體，用傳統作業連續油管等技術無法實現排除目的，只能用帶壓作業。作業簡述：安裝油管橋塞、準備好帶壓作業設備，拆卸井口安裝防噴器及帶壓作業設備；在 7" 注採管串中取出 4-1/2" 排鹵管串，拆除不壓井設備及防噴器組，投產。

### 3. 新井完井穿孔、老井修井應用介紹

完井穿孔時，如果井深太長，水平段過長，並內崎嶇起伏，連續油管很難下入到目的段進行穿孔作業。而帶壓作業設備的提升力和下壓力都是連續油管的數倍，有能力將穿孔槍下入到目的段，然後通過打壓穿孔，射開最下面一層，為後面的電纜傳輸穿孔作好準備。帶壓作業設備還可以配合噴砂穿孔技術，射開岩性較硬的層位，可以實現一趟管串多次穿孔。作業簡述：準備好帶壓作業設備井下工具串及地面流程，在液裂大閘板閥上安裝防噴器及帶壓作業設備；把管串下到預訂位置，穿孔、帶壓起出管串，關閉大閘閥等待下步命令。

### 4. 酸化、液裂

帶壓作業設備可以配合酸化、液裂，實現尾管拖動液裂。引進的碗式封隔器可以妥善的解決該技術難題。先對套管進行穿孔，然後用帶壓作業設備下入兩個碗式封隔器，通過打壓座封，上提解封的方式，對需液裂的層位進行液裂。由於油管的選擇多樣，鋼級、壁厚、強度都大於連續油管，所以液裂時可以採取大排量，高壓力的液裂方式，讓液裂取得更好的效果，液裂後可以直接下完井管串，液裂，完井，安裝井口一次性完成，節約了大量的費用。

### 5. 帶壓鑽塞、沖砂、清蠟、帶壓打撈

帶壓作業設備將馬達、噴嘴等工具下入井中，將循環的液體或化學藥品泵入管串內，由於油管的扭矩、屈服強度及長度等改善優勢，在連續油管滿足不了井況要求時，利用帶壓作業的優勢解決，尤其是高壓、高產量、深井的鑽磨、沖砂、清蠟和打撈工作。鑽盤的扭矩高達 6,500 lb.ft，可以從事直井段的鑽磨、套銑工作，也有利於管串卡住時解卡工作。帶壓作業設備能力覆蓋面廣，作業能力強，適合處理高難度井，如一口井中同時包含沖砂，磨銑、打撈等工序的複雜井。有某案例井口壓力高達 86MPa，由於油管内結蠟嚴重，2012 年該井油管完全被堵死。甲方要求在一個月內必須解決該井蠟堵問題。解決方案：用帶壓作業設備下入了 1-1/4 吋小管串至油管内，用融蠟劑高壓清洗，下小管串至堵蠟頂部，然後建立循環，把溶蠟劑泵入井中，然後慢慢下入管串，一邊洗蠟，一邊把洗出來的蠟循環出井。

## 6. 含鉻油管及小油管（小管串）的下入

針對強腐蝕性井，高含硫井，高含二氧化碳井下入的防腐油管，含鉻油管，以及壁厚較小的小油管，如果油管下入過程中本體被卡瓦或液壓鉗劃傷，將影響油管的使用壽命。在油管帶壓下入過程中，井內巨大的上頂力和管串的自重都會作用在卡瓦（Slip）上，使油管本體出現卡瓦的咬痕，影響其正常使用。為此，引進無痕卡瓦牙，無痕鉗牙，無痕油管鉗，小油管絲扣工具，卡瓦適配器等先進工具配件，可以實現油管的起下過程中對油管零損傷，節省後期油氣井維護的成本，避免了油管腐蝕，損壞，斷裂等工況。在與海德瑞（Hydra Rig）工程師機械師討論過，創造發明卡瓦適配器，使獨立式帶壓作業機支持的管徑範圍擴大到 1 吋至 4 吋半，涵蓋了絕大部分小油管，而且配備了小油管專用油管鉗，絲扣工具等，保護了小油管的絲扣不受損傷。

## 7. 作業機

擁有美國 Hydra Rig 公司生產的 HRS-225K 型帶壓作業設備，計兩套 HRS-225K 型帶壓作業設備是獨立式設備，易於安裝、運輸，滿足現場帶壓作業需求。作業機的基本參數如下：

作業機最大帶壓提升能力：104T

作業機最大帶壓下壓能力：53.4T

轉盤旋轉扭矩：6,500lb.ft

作業機液缸衝程：3m

最大可作業井孔尺寸：280mm

作業機液缸工作模式：2 缸或 4 缸可轉換工作模式

最大可作業井口壓力：105MPa

可作業管串範圍：1-1/4" ~5-1/2"

## 8. 動力源

動力源位於地面或者平臺甲板上，為舉升機，防噴器組，卡瓦、轉盤，絞車（500kg）和動力鉗的操作，提供必需的液壓壓力。優點：動力源由 5 組泵單獨給



系統提供動力，一組出現故障不會立即影響其他一組施工；自帶的儲能裝置在設備故障等緊急停止後也會提供足夠的動力關閉防噴器、卡瓦、液動旋塞閥等。為了提高施工速度和增強設備壽命主系統採用三級供油系統，根據負荷的大小自動調節供油量。有備用動力源一套，在一些工期要求緊，井況複雜的環境中不會因動力源故障而影響施工。並有多種防噴氣可供選擇。

## 9. 防噴器

防噴器組是帶壓作業的核心設備，目前共有防噴器 14 個，主要由工作防噴器、安全防噴器、剪切／全封防噴器、卡瓦防噴器及環形防噴器組成，可以同時滿足 2 口井同時施工；現有：7-1/16” 105Mpa 喀麥隆 U 型單閘板防噴器 10 個，剪切防噴器 2 個，環形防噴器 7-1/16" 35Mpa 2 個。可進行密封 80MPa 以內的帶壓作業施工。工作防噴器組由工作防噴器、液動旋塞閥、手動旋塞閥、節流閥、防噴短節或扶正防噴器等組成。優點：根據不同工法和井控可以靈活組裝成不同樣式；2 個工作防噴器之間的距離足夠長，可以避免接箍卡在防噴器閘板上；可以滿足長工具串施工（表四及圖十五）。

表四、防噴器規格

名稱 Name	通徑 Through bore (mm)	額定工作壓力 Rated working pressure (Mpa)	備註 Remarks
工作防噴器 Stripper BOP	180	105	可以實現80Mpa以內的動密封 Dynamic sealing within 80 Mpa
安全半封防噴器 Safety BOP	180	105	可以實現105Mpa以內的靜密封 Static sealing within 105 Mpa
安全全封防噴器 Blind ram BOP	180	105	可以實現105Mpa之內空井全封 Sealing of empty hole within 105 Mpa
剪切密封防噴器 SBR BOP	180	105	可以實現105Mpa之內剪切後密封 Sealing after shearing within 105 Mpa
卡瓦防噴器 Slip BOP	180	105	可以實現105Mpa之內，支撐管柱重量 Support pipe weight within 105 Mpa
環形防噴器 Annular BOP	180	35	可用於21Mpa之內井下帶壓起下管柱作業 Be used for pipe string tripping-in operation within 21 Mpa



圖十四、防噴器組

## 參、心得及建議

本次奉派出國參加 2018 年油氣探勘及開發技術研討會議，藉由 2 天時間學習產業界及學術界之研究發表，藉此對於鑽井技術進步的方向與關鍵技術，有了更深入的瞭解，獲益良多，茲提出以下幾點心得與建議：

### 一、創新技術不斷被開發

以往重油開採多使用化學藥劑、水沖排、火燒或電熱，但目前已可以使用聲波或超音波提高重油採收率，使得聲波技術不再只是用在探勘，而能全面用於石油探勘、開採過程。雖然此法有其優點，但仍有發熱及震動的疑慮有待澄清。中油探採研究所也能學習其如何使用既有技術應用於其他領域，例如：應用於查德原油除蠟實驗；高能聲波增產技術，目前技術的效果，約為距離井孔周圍 1 至 2 公尺的地層，使用時設備藉由金屬套管將低頻震動傳至井底，再藉由井孔周圍液體將能量傳輸至地層區域，將此技術作換位思考，在地熱井常見之碳酸鎂、碳酸鈣沉澱，或許也能延緩其阻塞地層的時間。

### 二、學習技術為優先

學習技術為優先，再將技術應用於其他領域，例如：定向井可應用於重油開採及地熱等領域。

### 三、舊/成熟油氣田仍具開採價值

此次研討會中看到有些公司提出在成熟油氣田所做的一些研究，特別是針對重油油氣田的開發，因此探勘與開發國內陸上及海域既有或舊有油氣田也是趨勢之一。

#### 四、應多認識業界人士

業界有時在技術發展上比國營公司快速，因此認識業界人士可更快速習得技術，此次與業界交流得知帶壓作業施工工法，此工法可以提高生產效率及經濟成本，用於出磺坑除蠟，值得考慮引進。

#### 五、推動創新中心

以大型國家級科研項目為重要載體，聚焦於我們想要的計畫方向，如北京石油大學所進行的，推動計畫快速發展，此機制值得學習。