

經濟部暨所屬機關因公出國人員報告書
(出國類別：開會)

參加海域探採技術會議

出國人：服務機關：中油公司台探總處
 職 務：副總處長
 姓 名：陳成興
出國地點：美國
出國期間：91年5月5日至5月12日
報告日期：91年7月10日

摘 要

- 一、 雖然近年來深海（水深超過 500 公尺）油氣探採活動蓬勃發展，且深海油氣發現量快速上升，但已發現之深海油氣蘊藏量仍低於全球油氣總蘊藏量的 5 %。目前深海探採集中在墨西哥灣、巴西及西非海域。由於不斷研發、創新的工程技術，鑽井、完井器材與輸送體系的進步，及海底完井及浮動式生產、儲存與卸收(FPSO)技術的發展，使得海域油氣探採向愈來愈深的海域邁進，此即為今年年會主題「深入未來」(Deep into the future)的由來。目前深海探採以原油為主，深海天然氣探採技術尚未成熟，但由於海底管線及氣體液化技術的進步，以及市場消費量的增加，深海天然氣的探採活動將持續上升，未來將成為海域探勘的主要焦點。

- 二、 海域鑽井及生產操作時所產生的廢棄物如含油鑽屑、泥漿廢液及伴產地層水等的處理是環境保護措施也是油氣探採作業的一大挑戰。現在有多種廢棄物處理方式可供選擇，其中以擠注到適當的地下地質構造，不需排放也沒有搬運及洩漏的風險，且設備投資及操作費用較少，是比較受歡迎的一種。雖然鑽屑、泥漿廢液及伴產地層水等擠注地層的處理方式已經成功的應用於世界各

地，但仍然存有相當多的課題，有待繼續努力克服。

三、可擴張管件(Expandable tubulars)的技術，因為可以顯著的降低鑽井及油氣採收費用，且可以改善油氣井的生產能力，因而深獲重視。已經有現場實際應用的案例包括：可擴張鑽井襯管 & 襯管掛 (Expandable Drilling Liners & Liner Hangers)、可擴張防砂篩管 (Expandable Sand Screens)、可擴張套管內襯系統 (Expandable Casing Cladding System)，其中可擴張防砂篩管 (ESS) 及其設置系統已經成為完井防砂的一種成熟技術。

四、本項會議為一年一度最大型之海域石油探採技術會議，會中有最新的海域油氣探採與環保技術的論文發表，也有各專業服務公司的新器材與技術服務的展示，建議每年派員參與，藉以瞭解國外油氣探採技術的發展趨勢，並衡酌引進及推廣應用，以提昇本公司之技術水準及作業效率。

目 次

<u>一、 參加會議目的及行程</u>	1
<u>二、 2002 年海域探採技術會議議程概要</u>	1
<u>三、 會議心得</u>	4
<u>(一) 深海油氣之探採 (Deepwater Exploration and Production)</u>	5
<u>(二) 工安環保 (Industry Safety and Environmental Protection)</u>	7
<u>(三) 可擴張管件之應用 (Application of Expandable Tubulars)</u>	9
<u>四、 建議</u>	12

海域探採技術會議

(Offshore Technology Conference)

一、 參加會議目的及行程

2002 年海域探採技術會議於 5 月 6 日至 5 月 9 日在美國休士頓市舉行，本項會議為一年一度最大型之海域石油探採技術會議，會中有最新的海域油氣探採與環保技術的論文發表，也有各專業服務公司的新器材與技術服務的展示，參加此會議可蒐集國外海域油氣發展的技術資訊及瞭解國外海域油氣探採技術與環保方面的最新發展趨勢，並配合國內情況及未來業務需要，引入相關之先進技術，以提昇國內海域或國外合作礦區之探採技術水準與邊際型油氣田之開發效益。

本人於 5 月 5 日起程抵休士頓，6 日至 9 日參加 2002 年 OTC 會議，10 日拜訪本公司休士頓分公司(OHI)，瞭解其業務概況，11 至 12 日返國。

二、 2002 年海域探採技術會議議程概要

今年本項會議(OTC 2002)於 5 月 6 日至 9 日在美國休士頓(Houston)市 Reliant Park 的 Reliant Center 舉行。會議的主題是「深入未來」(Deep Into the

Future), 亦即在超深水的海域鑽井, 挑戰新的領域探勘生產油氣, 並與全球商圈 (Global Market) 接軌營運, 已經不是未來的希望。拜探採科技及設備進步所賜, 上述的希望目前已可做到, OTC 即展示及說服石油界如何在海域探採「深入未來」。

Reliant Center 是 OTC 的新家 (OTC 在 1969 年創立時在休士頓市的 Albert Thomas Convention Center 舉行, 後來改在 Astroarena 及 Astrohall, 其後改名 Reliant Arena 及 Reliant Hall, 經過 30 多年, 今年才改在 Reliant Center), 在 OTC 的歷史上, 與會人員第一次可在同一個地點及同一個屋頂下參加各項會議及所有的展示活動。

OTC 為美國參加人員最多的十個大型會議之一, 吸引國際上 80 多國與油氣相關行業的執行長、經理、工程師、科學家、學生等前來共襄盛舉。今年共有 49 項技術討論會 (Technical Sessions), 發表論文計 285 篇, 估計參加人員超過 45,000 人, 參加展示之公司超過 2,000 家。

底下即為各項技術討論會的名稱、所屬類別 (Category) 及時程安排 (5 月 6 日星期一, 5 月 9 日星期四):

Category and session	Day/time
<u>Deepwater design</u>	
1. Deepwater Seismic Imaging: Case Studies From the Gulf of Mexico, Brazil and West Africa	Mon. 9:30 a.m. – noon
2. Malampaya Project	Mon. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
3. Unmanned and Autonomous Solutions for Deep Water	Mon. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
4. Accelerating the Commercialization of Deepwater Technology: Global Overview	Tues. 9:30 a.m. – noon
5. Truss Spars: Nansen and Boomvang	Tues. 9:30 a.m. – noon
6. The Girassol Development: Deepest Field Development in West Africa I	Wed. 9:30 a.m. – noon
7. Deepwater Pipelines and Flowlines	Wed. 9:30 a.m. – noon
8. The Girassol Development: Deepest Field Development in West Africa II	Wed. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
9. Deepwater Systems Design	Thurs. 9:30 a.m. - noon
<u>Subsea systems</u>	
1. Subsea Operational Experience	Mon. 9:30 a.m. – noon
2. Status of Composite Riser Technology	Mon. 9:30 a.m. – noon
3. Spoolable Composite Products	Mon. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
4. La Ceiba Development	Tues. 9:30 a.m. – noon
5. Materials Technology for Thermal insulation of Subsea Equipment and Pipelines	Tues. 9:30 a.m. – noon
6. Typhoon development	Tues. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
7. Dynamic Pipelines and Riser System Design	Tues. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
<u>Geophysical/reservoir management</u>	
1. Natural Hydrates	Mon. 9:30 a.m. – noon
2. International Exploration	Mon. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
3. Integrating Surface and Borehole Geophysics	Mon. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
4. Interpretive Applications of International Geohazard Surveys	Tues. 9:30 a.m. – noon
5. Multicomponent Seismic in Offshore Exploration and Production	Tues. 9:30 a.m. – noon
6. Advances in High-resolution Survey Instrumentation: AUVs, Deep Tow, ROVs	Tues. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
7. Seismic Reservoir Properties	Tues. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
8. Geohazards and Seafloor Imaging	Thurs. 9:30 a.m. - noon

Category and session	Day/time
<u>Facilities/equipment design</u>	
1. Brutus TLP: Project Execution	Mon. 9:30 a.m. – noon
2. FPSO Concepts and Development	Mon. 9:30 a.m. – noon
3. Flow Assurance Field Experiences	Mon. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
4. Floating LNG Facilities	Tues. 9:30 a.m. – noon
5. Design Strategies for Fire and Blast	Tues. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
6. New Strategies for design in TLPs	Wed. 9:30 a.m. – noon
7. Structural Failure and Strength Design	Wed. 9:30 a.m. – noon
8. Control and Instrumentation	Wed. 9:30 a.m. – noon
9. Project Challenges: Insiders' View	Wed. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
10. FPSO: Design and Analysis Tools	Wed. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
11. Suction Pile Foundations	Wed. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
12. Polyester Mooring Lines and Anchors	Wed. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
<u>Well completion technology</u>	
1. Flow Assurance	Mon. 9:30 a.m. – noon
2. Expandable Technology	Wed. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
3. Intelligent Well Completions	Thurs. 9:30 a.m. – noon
4. Deepwater Drilling and Well Control Solutions	Thurs. 9:30 a.m. – noon
5. Drilling and Completion Techniques	Thurs. 9:30 a.m. – noon
<u>Management and economics</u>	
1. Energy and the Environment: A global View	Mon. 9:30 a.m. – noon
2. General Session: Offshore Gas Development – A Critical Factor in Global Energy Markets	Tues. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
3. e-Bizz: Adding Value to the Upstream Energy Business	Tues. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
4. Offshore Safety and Security	Wed. 9:30 a.m. – noon
5. Field Development Strategies	Wed. 9:30 a.m. – noon
6. General Session: What is the Future Model for Offshore Project Execution?	Wed. 2:00 p.m. – 4:30 p.m.
7. Environment	Thurs. 9:30 a.m. – noon
8. Designing Around Human Factors	Thurs. 9:30 a.m. – noon

三、 會議心得

(一) 深海油氣之探採

(Deepwater Exploration and Production)

1984 年巴西海域 Marlim 油田第一口深海井（水深 501 公尺）開鑽，同年 12 月，第二口深海井（水深 853 公尺）開鑽，至 1989 年，共鑽 10 口井，評估蘊藏量約 90 億桶原油。在 80 年代，Marlim 油田的開發計畫，因海水深度及含高比重原油等因素，被認為風險非常高。經小規模試採後，開始規劃、設計及施工，總共鑽（完）井 129 口，預計 2002 年完成整個開發計畫。90 年代，十年之間，全球深海（水深超過 500 公尺）油氣探採行動蓬勃發展，雖然深海油氣發現量快速上升，但仍低於全球油氣總蘊藏量的 5%。目前深海油氣探勘集中在墨西哥灣、巴西及西非海域，其他海域深水沉積盆地較少油氣探勘行動。受經濟條件限制，目前深海探採以原油為主，深海天然氣探採技術尚未成熟，但未來將成為油氣探採的重要焦點。

過去 10 年，在 6 個國家的 18 個海域深水沉積盆地共發現約 580 億桶油當量的油氣，其中原油及凝結油約 390 億桶、天然氣約 112 兆立方英尺，已開發及正在開發的部份約佔 25%，而油氣總採收量不到 5%，絕大部份是在墨西哥灣、巴西及西非。在 1985 年之前，全球深海油氣探勘成功率約 10%，但自墨西

哥灣及西非海域探勘成功後，平均成功率上升至約 30 %。西非的探勘成功率最高，而亞州地區最低。自 1970 年代深海開始鑽井以來，共發現 33 個蘊藏量大於 5 億桶油當量的巨型油氣田。1990-1999 十年間所發現的 58 個巨型油氣田中，有 1/3 是在深海，深海巨型油氣田含原油約 66 %，而其他巨型油氣田含原油約 36 %。

不斷研發、創新的工程技術，鑽井、完井及輸送體系的進步，及浮動式生產、儲存與卸收（FPSO）技術的發展，使得海域油氣探採向愈來愈深的海域邁進。技術改進提高了鑽井效率及降低鑽井費用，而且 3D 震測解釋也改善了探勘成功率，使得海域油氣發現成本大為降低；以墨西哥灣為例，從 1986 年每一油當量美金 15 元，到 1996 年降至每一油當量美金 5 元。海底完井技術的研發，讓邊際型油氣田有開發的經濟效益，估計約 40 % 的深海氣田及 25 % 的深海油田採用海底完井方式完成。

未來海域探採將趨向水深更深的海域發展，及鑽探更深的井。由於海底管線及氣體液化技術的進步，以及市場消費量的增加，深海天然氣的探採行動將持續上升，總而言之，深海油氣探勘開發將是石油界未來深入拓展的新天地。

(二) 工安環保

(Industry Safety and Environmental Protection)

海域鑽井及生產操作所產生的廢棄物如含油鑽屑、泥漿廢液及伴產地層水等的處理是環境保護措施也是油氣探採作業的一大挑戰。現有多種廢棄物處理方式可供選擇，其中以擠注到適當的地下地質構造，不需排放也沒有搬運及洩漏的風險，且設備投資及操作費用較少，是比較受歡迎的一種。

將鑽屑擠注到適當的地下地質構造的作業方式，已經成功應用於世界各地。簡單的說，就是把鑽屑磨細到 300microns 以下，再與泥漿廢液或海水攪拌後，將混合之液体以高壓擠裂地層造成裂縫，並留存於地層裂縫中。雖然自 1980 年代起，就有將鑽屑擠注地層的作業，但僅限於固定式海域平台。自 1993 年起，開始有移動式海域鑽機將鑽屑擠注到套管環孔的作法。其作業方式是先將海水從 20 吋 x13-3/8 吋套管間泵入並造成地層裂縫，再以高壓擠入鑽屑與泥漿廢液之混合液。但要特別強調，在擠注的套管鞋上方，還有兩層套管鞋。從 1997 年到 2000 年底，Statoil 公司在 Asgard 油氣田，已經將 12 口井的鑽屑擠注到 9 個環孔。挪威 Horsk Hydro 公司也研發出一套移動式海域鑽機的鑽屑擠注系統，21 口井中有 2 口井安裝鑽屑擠注系統，第一套安裝於 1999 年初，第二套

安裝於 2000 年夏季。混合液從 20 吋 x13-3/8 吋套管間泵入，到 2000 年年底，共有 22,000 桶鑽屑擠入第一口井。在擠注作業中也曾發生一些問題如；固粒沉澱及堵塞、過度磨蝕致套管破孔及擠注之混合液洩漏污染環境等。擠注系統應裝置地面自動監視系統以監控擠注壓力、速率、數量、混合液流動性、PH 值等，以避免類似事故再發生。

油氣生產所伴產出來之地層水處理，不論在陸地或在海域都是一個很重要的課題，伴產地層水處理原則及處理設備設計兩者相差不大。在陸地上，有較大的空間可以放置較多的處理設備，在海域作業，則空間較小。絕大部份的伴產水是利用擠注井擠回適當的地層內，少數經過處理後排放於河流或海洋。伴產水擠回地層也可能是為維持地層壓力或施行二期採油。選擇處理方式時，需考量伴產地層水的化學成份、系統作業流程、分離設備、是否有適當地層供作擠注還原、排放水放流之規範與法令及費用分析等。

雖然鑽屑、泥漿廢液及伴產地層水等擠注地層的處理方式已經成功的應用於世界各地，但仍然存有相當多的課題，有待繼續努力克服，以期計畫之順利成功。諸如：法律規範、地面設備與控制系統、井口及混合液之輸送系統、廢棄物的安全性、完井方式、混合液流動性之品質控制、操作程序及緊急應變措施

等。

(三) 可擴張管件之應用

(Application of Expandable Tubulars)

可擴張管件的技術，因為可以顯著的降低鑽井及油氣採收費用，且可以改善油氣井的生產能力，因而深獲石油界的重視。已經有現場實際應用的案例包括：可擴張鑽井襯管 & 襯管掛 (Expandable Drilling Liners & Liner Hangers)、可擴張防砂篩管 (Expandable Sand Screens)、可擴張套管內襯系統 (Expandable Casing Cladding System)，其中可擴張防砂篩管 (ESS) 已經上市，ESS[®]已成為 Weatherford Completion Systems 的註冊商標。

可擴張管件的種類及擴張方法：

(1) 金屬材質管子的擴張 (Solid Tubular Expansion)：

錐型擴張法 (Cone expansion)、旋轉擴張法 (Rotary expansion) 及錐型 / 旋轉混合擴張法 (Fixed/rotary expansion) 已經證明適用於旋轉擴張法的材質包括低合金碳鋼 L80 : 13Cr、改良 13Cr、超級不銹鋼 (Super duplex stainless steel)、奧斯田不銹

鋼(Austenitic stainless steel)及 825 鎳合金鋼(Nickel alloy 825) 等。

可擴張襯管掛 (Expandable Liner Hangers): 已研發並在現場測試成功，可以取代傳統的襯管掛。可設置在 9-5/8 吋 47-53.5 磅/呎的套管內，可吊掛最少 250,000 磅重的襯管串，迸裂壓力 8,000psi，頹毀壓力 4,000psi。Shell 公司曾在 Texas 的 Hinojosa No.8 井同時試用可擴張襯管掛及可擴張防砂篩管。襯管掛成功的擴張後，再擴張防砂篩管，兩者均以液壓 (4,000psi) 擴張。再以 Cailperl Log 測出可擴張襯管掛內徑為 7.58 吋，與預計值相同。最後在襯管串頂端設置試壓填塞器，套管試壓 3,800psi，持壓 45 分鐘不降。BP 公司亦曾在 Texas 的 McLean Heirs No.7 井測試可擴張襯管掛。以 5-1/2 吋鑽桿組下可擴張襯管掛及 7-5/8 吋/29.7 磅襯管串，襯管串底端位於 11,797 呎，頂端位於 8,211 呎，總長度 3,586 呎，重量約 80,000 磅。投入設定球 (Setting Ball) 後，加壓至 4,000psi 完成擴張，試壓 2,000psi 不降後，繼續鑽進至目標深度後完井。

可擴張管 (Solid Expandable Tubulars SET): 在馬來西亞的 Sarawak 海域氣田，受到 9-5/8 吋生產套管的限制，天然氣井只能下 7 吋油管完成，即使修井改下 7-5/8 吋油管，也只能增加 10 % 的氣量，因而選

定 E11 號井作 SET 的現場試驗。修井時，改變完井設計，部份油管(長度約 4,200 呎)改用可擴張的 7-5/8 吋油管，經擴張後，內徑由原來的 6.276 吋(7 吋油管内徑)擴張至 7.8 吋。除因內徑增大外，也因 SET 內壁的平滑減少了氣體流動的壓力降，致使產量顯著提高。SET 的擴張是以液壓泵送錐型擴張器，輸送流体是鹽水加 3% 的潤滑劑，泵壓 1,800-2,100psi 時開始擴張，平均擴張速率是每小時 18-20 呎。經測試，生產能力與預期相當符合。該井的先導試驗，已明顯展示這項技術未來的發展潛力。

(2)可擴張防砂篩管

(Expandable Sand Screens ESS)：

井底防砂方式不外乎組下防砂篩管或採礫石充填，但都有其缺點。可擴張防砂篩管可以擴張至篩管緊貼井壁/套管內壁，減少篩管與井壁/套管內壁之間的空隙，使地層流体經篩管直接流入油管而不必先經過環孔，也減少地層細砂流動的空間，降低篩管沖蝕及砂粒堵塞，擴張後篩管內徑增大也增加流量。ESS 的內管 (Base Pipe) 是可擴張的槽孔管 (Expandable Slotted Tube)，接頭則是整體可擴張接頭 (Integral Expandable Connectors)，以確定沒有空心管 (Blank Pipe) 部份阻礙流動。內管及接頭外有四層金屬編織的三明治式過濾網，提供最大的過濾面積及防砂效

果。於 1999 年元月，第一次商業應用 5-1/2 吋 ESS 於 9-5/8 吋套管內，深度 2,909 呎、油層厚度 40 呎，採用 7 吋錐型擴張器。與傳統的礫石充填防砂方式比較，ESS 可以節省相當多的費用，ESS 及其設置系統已經成為完井防砂的一種成熟技術，至 2002 年元月，已有 100 多個使用 ESS 的案例，設置超過 60,000 呎的篩管，水平井孔部份也有 7,000 呎的篩管設置。

(3) 套管內襯 (Casing Cladding)

套管磨損破孔、部份生產層需要隔離或堵水時，常組下跨座式填塞器 (Straddle Packer) 或以水泥/化學物質封堵。跨座式填塞器的缺點是減小流通內徑，降低生產流量，減少收益；化學擠封法則較難控制，且地層要均質才能成功。井內油管串因腐蝕或其他原因造成管壁破孔時，修井換油管又無經濟效益，此時可採用可擴張管件封堵整段磨蝕管壁，以減少修井費用。可擴張套管內襯用於封堵腐蝕或磨損的管壁，所減少的套管內徑小於 1 吋，特別適合用於低壓、需要大孔徑之氣井。有防腐蝕功能的可擴張管件內襯已經上市，未來將被廣泛應用。

四、 建議

- (一) OTC 為一年一度最大型之海域石油探採技術會議，會中可獲得最新的海域油氣探採技術、環保技術與新器材發展的資訊，建議每年派員參加，藉以引進新技術及新設備，以提升本公司之探勘水準。
- (二) 由於國內的環保法規日趨嚴謹，加以民眾的環保意識抬頭，有關鑽屑、鑽井廢泥的處理，已成為鑽井、修井的成本負擔。至於生產井伴產地層水的處理，則常成為民眾抗爭的話題，引起不少困擾。由於國內未有此方面之環保法規可資依循，故建議多蒐集國外此方面之處理措施及相關法規，供他日參考採行。
- (三) 可擴張管件的應用屬於新發展的鑽採器材，未來預期將會廣受重視及採用。其中套管內襯(Casing Cladding)，值得進一步瞭解，並在遇到生產井套管破裂之情況，予以引進試用，以減少修井費用，恢復油氣井生產。