

經濟部暨所屬機關因公出國人員報告書
(出國類別：實習)

儲氣窖注氣井注產操作報告書

出 國 人：服務機關：中油公司
台灣油礦探勘
總處

職務：石油開採工程師

姓名：沈望陸

出國地點：美國休斯頓

出國期間：90年8月20日至8月29日

報告日期：90年10月18日

摘 要

本公司為因應國內天然氣市場規模日益擴大，規劃鐵砧山儲氣窖為天然氣調節供應之重要樞紐中心。儲氣窖井內設備設計及施工是否完善對於儲氣窖整體操作營運關係重大。

水平井防砂完井是儲氣窖工程規劃考量重點之一，水平井防砂完井是石油業界近十年來發展之新技術，本公司擬考量引進該技術應用於鐵砧山儲氣窖，職此趟赴美研習即針對該項議題與美國業界深入研討，期對本公司儲氣窖工程有所助益。

目次：

1、 目的	-----	1 頁
2、 過程	-----	2 頁
3、 心得	-----	3 頁
4、 建議	-----	10 頁

一、目的

鑑於國內天然氣市場日益擴大，本公司規劃鐵砧山儲氣窖為天然氣調節供應之重要樞紐中心，尖峰時充份供應國內消費市場，離峰時將多餘之天然氣注存於儲氣窖，使進口天然氣與自產天然氣能夠適當的調配供應。

儲氣窖工程包括：(1)地面擠注及生產設備(2)井內設備。井內設備與油氣層接觸之部份尤其重要，其設計與施工是否完善將影響儲氣窖整體運轉操作，特別對高產量、高擠注量之儲氣窖更為顯著。

本總處「鐵砧山儲氣窖擴大注儲方案」原規劃 7 口水平井，各井每日交互注產天然氣 (Daily Cycling)，各井水平段距離約為 300 公尺，預估各井注產氣量約為每日 3 百萬立方公尺。

為因應上述高產量、高擠注量及 Daily Cycling 之規劃，解決地層出砂問題及防止油氣層遭受破壞，完井之防砂設計必須善加考慮。水平井與直井、斜井之完井設計理念並不相同，其施工方式較具風險。目前國外石油業界對於水平完井技術主要是採下列二種方式：Standalone Screen 及 Gravel

Packing 礫石填充。水平裸孔礫石填充防砂完井(Horizontal Gravel Packing Open-Hole Completion)技術是國外石油業界近十年來發展之新技術，成功率約八成，適用於高擠注量及高生產量之儲氣窖，本公司正考量引進該項新技術應用於鐵砧山儲氣窖。

Schlumberger 及 Baker Hughes 是目前石油業界水平井防砂技術較為著名、經驗較為豐富之二家公司，其水平井防砂完井技術較為成熟，職此趟赴美研習即參訪上述二家公司，針對水平井防砂完井議題深入研討，期對本公司儲氣窖工程有所助益。

鐵砧山儲氣窖完井設計及施工如不夠完善，則儲氣窖喪失其注氣、產氣功能，影響公司營運績效甚大，對於消費市場亦造成莫大損失。

二、過程

8 月下旬參訪位於美國休斯頓地區：

- 1、 Schlumberger 公司完井防砂部門
- 2、 Schlumberger 公司相關襯管製造工廠、
- 3、 Baker Hughes 公司完井防砂部門
- 4、 Baker Hughes 公司水平井礫石填充現場模擬 Simulator

三、心得

分別與 Schlumberger 及 Baker Hughes 兩家公司防砂部門洽談類似鐵砧山儲氣窖油氣層操作環境應採用之完井方式，對方均建議採用水平裸孔礫石填充防砂完井(Horizontal Gravel Packed Open-Hole Completion)技術，其理由及建議事項詳述如下：

1、Schlumberger 公司建議採用礫石填充完井理論依據

該公司蒐集近十年水平井裸孔完井施工方式資料，詳加分析及研究，建立下列之水平井裸孔完井經驗法則：

- 選擇 Standalone Screen 之粒徑考量

$$D_{10}/D_{95} < 10$$

1) Wire-Wrapped Screen

$$D_{40}/D_{90} < 3 \text{ and Fines} < 2\% \text{ by Wt.}$$

2) Prepacked or Premium Screen

$$3 < D_{40}/D_{90} < 5 \text{ and } 2\% < \text{Fines} < 5\% \text{ by Wt.}$$

- 選擇 Gravel Packing 之考量

$$1) D_{10}/D_{95} > 10 \text{ 或 } D_{40}/D_{90} > 5 \text{ 或 Fines} > 5\% \text{ by Wt.}$$

2) 擠注井

$$3) \text{ Gas Rate} > 25,000 \text{ SCF/D/FT}$$

鐵砧山粒徑篩選分析(Sieve Analysis)如下：

- 1) D_{10}/D_{95} 約等於 8
- 2) D_{40}/D_{90} 約等於 3
- 3) Fines 約等於 2

鐵砧山儲氣窖之粒徑分析依據上述選擇方式，應可選用 Standalone Screen 完井方式，但是鐵砧山儲氣窖屬於高產量(Gas Rate = 107,000 SCF/D/FT)及擠注井，若依據上述經驗法則，應考量採用 Gravel Packing 完井方式較為適宜。

2、Baker Hughes 公司建議採用礫石填充完井理由如下：

- Standalone Screen 壽命年限約 2 至 4 年。
- Gravel Packing 使 Screen 承受來自地層壓力較低，可維持較長使用年限。
- 另外 Standalone Screen 完井規劃應用於 Daily Cycling 時，由於裸孔並未完全填充，在高產率及高擠注率狀態下，地層細砂雙向移動過於頻繁，易造成細砂堆積及設備蝕損。

3、二家公司建議成功之水平裸孔礫石填充防砂完井

(Horizontal Gravel Packed Open-Hole Completion)技術

應包括下列步驟：

- 徹底瞭解儲氣窖油氣層性質
- 規劃適當之鑽進流體，油氣層鑽進期間，能夠形成適當之泥壁，保護油氣層
- 選擇適當之襯管
- 規劃適當之礫石填充器材
- 礫石填充設計與施工必須完善，適當置換鑽進流體為 Brine
- 必須注重施工之安全、操作及管理

水平裸孔礫石填充完井如果未能百分之百達成目標，可能的原因如下：

- 裸孔空間不夠(襯管阻塞、油氣層損害)
- 地層混雜頁岩(襯管阻塞)
- 出現交錯斷層
- 流體流失(無法控制液壓，井況不穩定)

成功的完成水平裸孔礫石填充完井因素如下：

- 適當的清洗裸孔，300ft/min
- 配合油氣層操作環境及井況壽命，選擇適當之襯管
- 沖洗管串與襯管 OD/ID 比例維持 0.75-0.85 之間，以避免無法執行打撈工作

- 確實組下沖洗管串至襯管底部
- 泵速必須能夠達成回流速度 1ft/sec 之表面速度
- 於礫石填充施工時，必須確認地層無裂縫產生
- 建立完井管串流體循環，擠注礫石時確認前述之循環
- 於較長水平段距離，使用低濃度礫石(< 1ppg)
- 高泵速及高回流速度較能夠達成礫石填充施工完善

4、 Baker Hughes 公司有關 Horizontal Gravel Packing 之經驗及應用於儲氣窖如下：

- 迄今已完成水平礫石填充完井約 350 口
- 水平段最長距離約為 1200 公尺
- 水平段井孔尺寸通常為 4-3/4", 6-1/2", 8-1/2"
- 本身具有水平井礫石填充模擬器(Simulator)，分別為 30 呎及 600 呎水平段，模擬不同泵速、壓力、溫度及具裂隙之地層，實際觀察礫石在裸孔中流動狀況。

該公司有關儲氣窖防砂完井經驗如下：於 1996-97 年為波蘭 Nafta Gas Sanok 公司 Strachocina UGS Project 完成 4 口直井，9-5/8" 套管位於生產層上方，生產層擴孔，組下 Standalone Screen。於 1999-2000 年為波蘭 Nafta Gas Sanok 公司 Husow Field UGS Project 完成 8 口礫石填充直井，部

份井是裸孔，部份井是 Cased Hole，7”套管。

5、Baker Hughes 公司建議水平井防砂系統及應注意事項

因應鐵砧山儲氣窖特殊之規劃，Baker Hughes 公司建議採用 Excluder 器材水平防砂系統，該系統依據多年現場實務累積經驗及實驗室 Simulator 多次模擬相互配合發展而來。襯管主要包括下列三項部份：

- 1) Bakerweld Inner Jacket
- 2) Vector Weave Membrane
- 3) Vector Shroud

Vector Shroud 之特點如下：

- 1) 提供設備保護之設計，在高產量時不會遭受油氣層砂粒侵蝕。
- 2) 在管串組下時，能夠保護襯管不受井眼雜物傷害。

Vector Weave Membrane 之特點如下：

- 1) 喉道通徑均勻。
- 2) 具固粒導流設計，減少侵蝕。
- 3) 流入表面積與油氣層表面積比例為 28%。

Bakerweld Inner Jacket 之特點如下：

- 1) 能夠支撐管內管外高差壓狀態。

2) 圓狀鋼絲能夠產生適當之聚流。

水平完井施工應注意下列事項：

- 載體溶液(Carrier Fluids)

1) 黏性載體溶液-Gel Pack

輸送礫石能力佳，但是礫石從底部堆積，易產生空洞 (Void)。

2) 非黏性載體溶液- 高速 Water Pack

輸送礫石能力差，礫石易從水中掉落。填充機制可隨速率及角度改變。

- 裸孔置換 Brine

1) 逆循環，環孔循環速度 300ft/min

2) 維持差壓 300-500psi

3) 迴流之 Brine 濃度維持於 100ppm

4) 清除水平段裸孔鑽進所建立之泥壁(Filter Cake)

- 形成穩定泥壁之鑽進泥漿

1) 形成穩定薄泥壁，厚度約 1.0-1.5mm，低滲漏率

2) 低穿透壓力

3) 高迴流滲透率

4) 表面過濾泥漿固粒

5) 易受化學藥品移除

6) 與油氣層及礫石相容

6、Schlumberger 公司建議水平井防砂系統

Viscous-Fluid Packing with Alternative-Path Technology

- Quantum Downhole Tool System & Accessories

- AllPAC Alternative Path Screen System

- ClearFRAC Fluid System

- ISOPAC Gravel System

- MudSOLE Open Hole Wellbore Clean up Engineering

System

- SandCADE 5.0 Simulation Software

7、其餘應注意事項

美國國內儲氣窖多以 Season Cycling 或 Month Cycling 為主，油氣層多為 Depleted 型態，二家服務公司均告知較少聽聞 Daily Cycling 之儲氣窖。歐洲包括德國、法國、比利時、波蘭等國家亦是儲氣窖較為發達之地區。

二家服務公司均告知儲氣窖之完井施工多為直井或斜井，較少聽聞將水平完井施工應用於儲氣窖。儲氣窖如採用 Daily Cycling 規劃，建議考量下列二項因素：

1)油管串設備

油管串生產時會增長，擠注時會縮短，Daily Cycling 易造成油管串移動過度頻繁，傷害井內設備，縮短設備使用壽命，增加修井費用。油管串設計時須多加考量伸縮問題及深思解決之道。

2)油氣層效應

Daily Cycling 造成油氣層相態變化頻繁，井眼附近易形成液體阻礙物，增加膚表效應，降低擠注功能。

四、建議

因應國內本身特殊環境之考量，本總處規劃將 Daily Cycling 及水平裸孔礫石填充完井技術應用於鐵砧山儲氣窖，如此規劃在石油業界或許較為少見，但也並非完全無法達成，既然已朝此方向規劃，本總處應更深入瞭解及掌握水平井防砂完井技術應用於儲氣窖之可行性，建議多派員赴儲氣窖發達之美國及歐洲等地區，參訪完井服務公司及 Gas Company，深入瞭解及考察國外儲氣窖之設計、施工、管理及營運等方式，以使本總處鐵砧山儲氣窖規劃設計及施工更臻完善，俾未來能夠順利運作，充份供應國內天然氣消費市場。