

經濟部暨所屬機關因公出國人員報告書
(出國類別：實習)

撓曲油管 (COILED TUBING) 鑽井技術研習

出國人：服務機關：中油臺探總處
職務：鑽採室副組長
姓名：黃慧彥

出國地點：美國

出國期間：89年12月01日至12月14日

報告日期：90年01月30日

92/
CO9000088

摘 要

撓曲油管(Coiled Tubing, 簡寫 CT)之應用及相關技術近年來於國外極為蓬勃發展,其應用領域除修井作業外並拓展及於鑽井工程,近年來已成為一種常見且經濟的鑽井方式。

撓曲油管應用範圍雖然日趨擴大,但使用於鑽井(CTD)時不論地面設備包括泥漿處理、防噴設備及井下鑽串組合等與傳統鑽井設備有相當之差異,且存在諸多的限制及特別事項必須考量,如:

- 1.撓曲油管之重量及尺寸限制.
- 2.撓曲油管材質強度限制.
- 3.使用井底馬達鑽井時撓曲油管最大允許工作扭力.
- 4.撓曲油管壽命限制.
- 5.流率與鑽屑之排除.
- 6.深度誤差及校正.
- 7.測井方式

目 次

| | |
|---------------------------|--------|
| 壹、目的----- | 第 3 頁 |
| 貳、過程----- | 第 3 頁 |
| 參、心得----- | 第 3 頁 |
| 一、撓曲油管應用近年來快速發展主要因素----- | 第 3 頁 |
| 二、使用撓曲油管鑽井之優點----- | 第 4 頁 |
| 三、近年國外以撓曲油管鑽井概況----- | 第 5 頁 |
| 四、撓曲油管鑽井相關設備----- | 第 6 頁 |
| (一) 撓曲油管鑽井主要地面設備----- | 第 6 頁 |
| (二) 撓曲油管鑽井鑽串組合----- | 第 7 頁 |
| 五、撓曲油管鑽井時之限制及應特別考慮事項----- | 第 8 頁 |
| 六、撓曲油管鑽井參考實例----- | 第 9 頁 |
| 肆、建議----- | 第 11 頁 |

壹、 目的

撓曲油管(Coiled Tubing, 簡寫 CT)之應用及相關技術近年來於國外極為蓬勃發展，由於其機具及技術之長足進步以及經濟效益，使得其應用領域除修井作業外，拓展及於鑽井工程，近年來已成為一種常見且經濟的鑽井方式。本次研習在於了解其在國外發展及應用情形，並期引進相關技術以提升國內鑽井技術及效率，降低鑽井成本。

貳、 過程

12月01日 啟程，赴美國休士頓。

12月04日 赴 National Oil (Down Hole Tool Division, Bowen)
研習撓曲油管相關設備。

12月05~08日 赴 Schlumberger 公司研習撓曲油管鑽井井下器具/導向等相關設備。

1. 於該公司位 Sugarland 之 Product Center 研習 MWD/LWD 鑽井井下器具及測井導向儀器。
2. 於該公司位 Rosharon 之 Reservoir Completions Center 研習 CoilDRILL 撓曲油管設備及應用情況。
3. 其間並參觀該公司海域激勵生產工作船 DeepSTIM II 啟用典禮。

12月11日 赴 Stewart & Stevenson 研習撓曲油管相關設備。

12月12日 赴 Baker Hughes Inteq. 研習撓曲油管鑽井井下器具/導向等相關設備。

12月13~14日 返國

參、 心得

一、撓曲油管應用近年來快速發展主要因素

- ◎ 製作撓曲油管之合金材質及品質之改善。
- ◎ 撓曲油管之可靠性增高。
- ◎ 可供高流量及提高管身剛性之大尺寸撓曲油管之生產。

- ◎ 設備簡單，鑽快。
- ◎ 起下管快速。
- ◎ 可於生產井內作業。

其應用領域已由初期之修井作業拓展至鑽井及各項特殊工程，涵蓋甚廣，如：

- 鑽井(Coiled Tubing Drilling, CTD)
- 洗井(Wellbore Cleanout)
- 流體置換(Fluid Displacement)
- 激勵生產 (Stimulation)
- 防砂(Sand Control)
- 穿孔作業 (Perforating)
- 下水泥(Cementing)
- 設置及回收腰塞器(Setting & Retrieving Bridge Plug)
- 下填塞器(Running Packer)
- 打撈(Fishing)
- 作為噴流管及噴流控制(Used as Flowline or Flow Control)

二、使用撓曲油管鑽井(Coiled Tubing Drilling) 之優點

撓曲油管應用在鑽井方面，包括新鑽井、舊井加深、由舊井經油管/套管開窗重行水平側出及暫時水泥封塞或廢棄層重鑽，特別是環保敏感區鑽井時更為有利，其優點包括：

- 於經濟效益上，因無需龐大成套鑽機節省大量時間及費用。
- 有利壓力控制，可採用負壓方式鑽井(Underbalanced Drilling) 避免因泥漿所造成之地層污損 (Formation Damage) 提升產率。
- 不必接管可連續循環有利井控作業，並大大減少起下鑽時間。
- 鑽井時之撓曲油管可直接作為生產管串 (Production String)
- 接點少，管串洩漏之機會降低。
- 設備少體積小，約僅為傳統鑽機之十分之一，有利搬遷運輸、

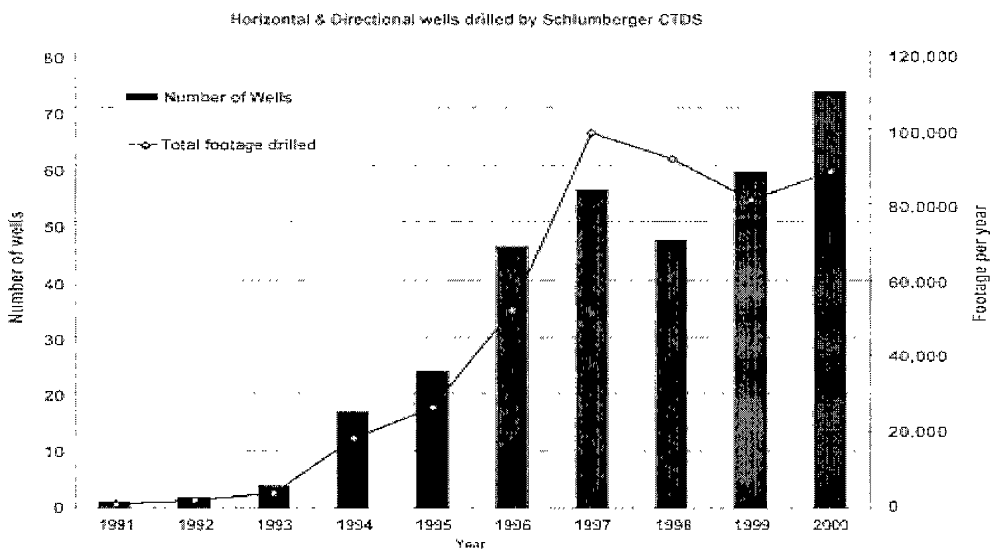
工安及最低視覺影響、最低噪音量等。

- 採小徑井孔鑽井泥漿成本低，減少鑽井泥漿量及鑽屑排出量，有利環保。

三、近年國外以撓曲油管鑽井概況

撓曲油管設備近年來應用於鑽井作業，不論在鑽井數量或進尺上均成倍數成長，且應用範圍及技術亦急速發展，以油氣服務之 Schlumberger 公司為例，其概況如下：

Schlumberger 公司近 10 年撓曲油管鑽井統計



Schlumberger 公司近 10 年撓曲油管鑽井應用進展

- 1991 首度以 CT 鑽井及採岩心。
- 1992 首度於 CT 鑽井運用隨鑽測井儀 MWD。
- 1993 。首度於油管內以 CT 側出鑽水平井。
 - 首度以 CT 由地面起鑽新井。
 - 首度以 CT 空氣鑽井
- 1994 。首度於套管內水泥回堵處以 CT 開窗側出
 - 以 CT 採負壓方式鑽水平井，水平段長達 1009 m。
- 1995 。以 CT 於 8-1/2" 井孔鑽取岩心。
- 1996 。以 CT 鑽最大孔徑，13"。

- 於 3-1/2" 油管內下 2-3/8" 定向管串組 BHA.
- 1997 ◦ 於 24 小時內鑽 3-3/4" 水平孔 290 m.
 - 以 CT 組下及定向可回收式起斜器 Whipstock.
 - 於 4-1/2" 及 9-5/8" 管內同時開窗.
- 1998 ◦ 完成 122° 高傾角側鑽.
 - 首度於 Mexico Gulf 以 CT 鑽井後完井.
 - 完成最大增角率，100° /30 m.
- 1999 ◦ 於委內瑞拉 Lake Maracaibo，因淺層瓦斯 (Shallow gas) 問題困擾表層鑽井，以 CT 鑽 13" 孔穿過瓦斯段至 488 m 後下 10-3/4" 套管.
 - 於舊生產井 4-1/2" 及 9-5/8" 管內同時開窗側鑽兩孔，並作酸處理.
 - 某井於鑽 17-1/2" 孔至 170 m 時發生噴井，以 CT 鑽救援排放井 (vent well) 進入原井孔控井成功.

四、撓曲油管鑽井相關設備

(一) 撓曲油管鑽井主要地面設備(參考規格，以 Baker Hughes Inteq. 之「迦利略 Galileo #1/#2」撓曲油管鑽井成套設備為例)

* 撓曲油管操作系統(Coiled Tubing Operating System)

- 撓曲油管/捲筒：一般採用 2"，2-3/8" 或 2-7/8" 油管
- 液壓動力組：1135 lpm
- 控制室 (Control Cabin)

* 工作台面設備(Work Floor Equipment)

- 推擠頭 (Injector Head)：油管處理尺寸可至 7-5/8" 拉力能力(Capacity-pull) 100000 Lb / 200000 Lb 推擠能力(Capacity-snub) 60000 Lb

* 泥漿處理系統(Fluids Handling System)

- 調泥設備(Mixing Unit)- 2x3x13 離心泵 220 psi/3600 rpm

- 泥漿罐(Fluid Tank) - 6 KL x 5
- 除氣機(Degaser) - 42 KL/min, 45psi (ASME V111)
- 雙層泥漿篩(Double Screen Shaker) - 1040 lpm ~ 4510 lpm (Brand ATL 1000)
- 泥泵(Fluid Pump) - 兩台, 2112 lpm (SPM 600)
- 泥泵動力(Pump Engine) - 兩台 420 BIIP (Detroit Diesel 8V 92TA)

* 防噴設備(Blowout Prevention Equipment)

- 側開式滑管器 (Side Door Stripper) - 4-1/16" 10000 psi
- 全徑式滑管器 (Full Bore Stripper) - 5-1/8" 或 7-1/16" 10000 psi
- 環式防噴器 (Annular Preventer) - 7-1/16" 或 11" 5000 psi
- 剪切盲瓣 (Blind Shear Ram) - 7-1/16" 或 11" 10000 或 5000 psi
- 管瓣 (Pipe Ram) - 7-1/16" 或 11" 10000 psi

(二) 撓曲油管鑽井鑽串組合 (Coiled Tubing Drilling String Assembly)

- 撓曲油管 - 標準 2", 2-3/8" 或 2-7/8" 油管
- 撓曲油管接頭 (Connector)
- 上部快速接頭附 CCL (Upper Quick Connect w/ Casing Collar Locator)
- 下部快速接頭 (Lower Quick Connect) - 含鑽重(WOB)、環孔壓力、及溫度之施測。
- 測井工具 (Logging Tool) - 內置電子導向系統組 (Steering System), 施測項目可依需要包括迦瑪線 (Gr Ray)、傾角 (Inclination)、工具面定向 (Toolface Orientation)、溫度、方位角 (azimuth)。

- 定向工具 (Orienting Tool) - 為電力/液壓操作定向器 (Electrical/Hydraulic Orienter), 具左右雙向 400° 範圍旋轉調整工具面。
- 瓣閥接頭 (Flapper Valve Sub) - 防噴用
- 兩段式釋退器 (Two-stage Release Tool) - 於下端鑽具阻卡時釋退以回收撓曲油管, 採機械及液壓兩段式釋退以增安全。
- 井底馬達 (Motor)
- 鑽頭 (Bit)

五、撓曲油管鑽井時之限制及應特別考慮事項

撓曲油管應用範圍雖然日趨擴大, 但使用時仍有諸多的限制及特別事項必須考量:

- (一) 撓曲油管之重量及尺寸限制: 撓曲油管長度及重量受道路交通法規限制。依美國道路限載規定, 撓曲油管捲筒最大可設計為直徑 146 吋, 寬度 72 吋, 捲筒心則依管徑大小設計, 因此管徑愈大長度愈短。
- (二) 撓曲油管材質強度限制: 撓曲油管鑽井時, 井深受鋼管壁厚, 鋼材屈服強度和泥漿重量之限制。而在斜井時撓曲油管易因磨擦阻力形成螺旋狀彎曲, 甚而發生「螺旋卡鎖」, 致壓擠力無法傳至底端。操作中須隨時以井孔模擬器 (Wellbore Simulator) 及油管受力模式 (Tubing Forces Model, TFM) 軟體分析, 予以掌控。
- (三) 撓曲油管鑽井時油管無法旋轉, 扭力無從確知, 對於小徑撓曲油管應特別留意其最大允許工作扭力, 尤其是於大井徑中使用小徑撓曲油管以井底馬達鑽井時所產生之回扭力 (Back Torque), 特別是馬達失速時所造成之扭力, 應特別留意。
- (四) 撓曲油管壽命限制: 影響撓曲油管壽命的兩大因素為捲撓

彎曲半徑與其管內液壓力，以及來自外部之磨損。撓曲油管內部之龜裂裂隙易因管內液壓之「液劈效應」

(Hydrowedge Effect) 致使裂隙加大。根據試驗，以內部屈服強度彈性限度 (Elastic limit) 10000 psi 之撓曲油管，於無內部液壓力時其壽命可達 200 次之彎曲捲次 (Bending Cycles)，於承受 5000 psi 內壓時其壽命則減至 40 捲次。鑽井前預估其可使用壽命較為安全，鑽井中則以油管整體偵測器 (Tubing Integrity Monitor) 輔以即時 (Real Time) 之油管金屬疲勞損壞檢測軟體 (Coiled Tubing Life Software Modeling)，隨時預估撓曲油管殘餘壽命。

- (五) 流率與鑽屑排除：小徑井孔之撓曲油管，泵量與壓損為困擾鑽井兩大重要因素。泵量低加上管串無法旋轉，致鑽屑排除為影響撓曲油管鑽井之重要課題，特別是高角度與水平段。不過，鑽井中可利用撓曲油管不必剝接管與可連續循環之特性，適期抽刷管串帶動鑽屑至直井段以排除之。
- (六) 深度誤差及校正：因管徑小，撓曲油管於操作起下井孔中，極易發生彎曲 (Buckling)、伸展 (Stretching)、膨脹 (Expansion) 及收縮 (Contraction) 使深度產生極大誤差，必須隨時仰賴 CCL (套管內) 及 GR (套管外，地層對比) 測井作深度之校正。
- (七) 測井方式：撓曲油管是一種不須接管之連續鋼管，經常應用於採用充氮或泡沫泥漿 (Nitrified Fluid or Foams) 之負壓狀態鑽井且不能旋轉，其測井方式與傳統管串鑽井所用之泥漿脈衝式測井 (Pulse Telemetry) 有極大差異，因於充氮或泡沫泥漿中以泥漿脈衝式測井時，數據將不準，故通常須採用電纜式測井 (Wireline Telemetry)。

六、撓曲油管鑽井參考實例

(一) 澳洲某井

- 由原井 7" 套管 (位 1413.5 m) 下以 6-1/4" 孔加深

| | |
|-------------|---------------|
| 撓曲油管外徑 | 2" |
| 井底馬達型式 | 4-3/4" Mach 4 |
| 鑽頭型式 | 6-1/4" D331 |
| 定向工具 | 無 |
| 隨鑽測井儀 | 無 |
| 循環量 lpm | 500 |
| 鑽頭加重 ton | 1 - 2 |
| 套管尺寸 | 7" |
| 鑽深 (由~至~) m | 1413.5 ~ 1570 |
| 井孔傾角 | 17° |

(二) 阿曼某井

- 於 1546 m (井斜 83°) 4-1/2" 套管開窗起斜, 以 6° /30m 增角至 90°
- 鑽水平段至 1703 m, 並以 17° /30m 轉向 70°
- 負壓方式鑽進

| | |
|-------------|----------------|
| 撓曲油管外徑 | 2-3/8" |
| 井底馬達型式 | 3-1/8" MIX AKO |
| 鑽頭型式 | 3-3/4" PDC |
| 定向工具 | 3-1/8" 電氣/液壓 |
| 隨鑽測井儀 | 無 |
| 循環量 lpm | 300 (原油) |
| 鑽頭加重 ton | 1 / 2 |
| 套管尺寸 | 4-1/2" |
| 鑽深 (由~至~) m | 1546 ~ 1703 |
| 鑽進率 m/hr | 40 ~ 50 |

(三) 北海某井

- 於舊井 9-5/8" 套管內重新側出 (Re-enter) 並鑽 915 m 新孔
- 導孔: 27 m
- 起斜點: 2304 m
- 9-5/8" 套管開窗並磨洗水泥 6 m
- 增角段: 354 m x 3-1/2" 孔
- 水平段: 544 m x 3-1/2" 孔

| | 導孔 | 開窗 | 增角段 | 水平段 |
|------------------|------------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| 增角率 BUR(° /30 m) | - | - | 23 (平均) | - |
| 鑽頭型式 | 3-5/8" BOT Turbo Mill | 3-5/8" HC Mill | 3-1/2" HC GT20 | 3-1/2" HC R335G. GT20 |
| 循環量 (l/min) | 270 | 318 | 318 | 159 - 318 |
| 鑽頭加重 (ton) | 0.3 - 1.7 | 0.8 - 2.7 | 1.0 - 3.0 | 0.3 - 3.0 |
| 鑽深 (由~至~) m | 2296-2323 | 2323-2329 | 2329-2683 | 2683-3227 |
| 岩性 | 水泥 | 水泥/白堊岩 | 白堊岩 | 白堊岩 |
| 平均鑽進率 (m/hr) | 3.14 | 0.30 | 14.0 | 24.7 |
| 總泵時 (hrs) | 8.5 | 25.6 | 25.2 | 71.4 |
| AKO 設置 (°) | 0.70 | 0.70 | 1.69-1.37 | 0.36-0.69 |
| 撓曲油管外徑 | 2-3/8" | | | |
| 井底馬達型式 | 2-7/8" Drilex D287HP | | | |
| 定向/測井儀 | 具定向、環孔壓力、Gr 線、鑽頭加重等測井儀 | | | |
| 泥漿種類 | 海水 | | | |

肆、 建議

- 一、 撓曲油管鑽井開啟一成本績效之新技術領域，隨著測井導向技術及設備之改進，以撓曲油管鑽井之應用勢必更為廣泛。
- 二、 應用撓曲油管於鑽井前須有週詳之地質評估、鑽井計畫並採用適當之地面設備。包括撓曲油管設備、泥漿循環及處理設備、動力組等，儘量予以精減並整體化 (Package)。