

經濟部暨所屬機關因公出國人員報告書
(出國類別：實習)

地層測驗工程出國實習報告書

出國人：服務機關：中油公司臺探總處
職務：石油開採工程師
姓名：陳勁甫
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02月07日

GZ/
CO9000087

目 次

壹、出國實習目的	1
貳、出國實習過程	1
參、實習地層測驗工程心得	
一、前言	2
二、地層測驗工程理論	2
三、地層測驗器材名稱用途及發展趨勢	2
(一) 地層測驗器材名稱及用途	2
(二) 地層測驗井底測驗器特性及發展沿革	5
(三) 填塞器的特性及發展沿革	11
四、地層測驗測試作業實務	13
五、地層測驗之井底資料	15
肆、實習水平導向鑽孔(HDD)工法心得	
一、土壤性質對 HDD 工法施工之可行性評估	16
二、井底馬達維修後之測試	16
三、HDD 工法回拉大管徑管線之浮力控制	17
四、HDD 工法所需皂土使用總量計算方法	17
五、HDD 工法回拉管線時管件承受應力計算方法	18
伍、結論與建議	24

壹、出國實習目的：

- 一、地層測驗工作是鑽探工作重要項目之一環，科技發展日新月異，為求地層測驗工程技術提昇，急需加強訓練地層測驗工程人員相關工作技巧，適時的派員前往美國觀摩學習地層測驗工程之最新發展趨勢及最先進設備器材，俾能維持高品質地層測驗作業。
- 二、學習最新之地層測驗工程施工技巧，並適時引進與改革現用舊式設備器材，以期盡速趕上新的地層測驗施工概念與潮流趨勢，有利於地層測驗工程業務之推展。

貳、出國實習過程：

- 89.12.01.~89.12.01. 啟程：台北→洛杉磯→休士頓
- 89.12.02.~89.12.10. 實習地點：SCHLUMBERGER 公司
實習內容：(一)地層測驗工程理論
(二)地層測驗器材沿革發展趨勢
(三)地層測驗測試工作實務
- 89.12.11.~89.12.12. 實習地點：INROCK 公司
實習內容：(一)井底馬達維修後之測試
(二)水平導向鑽孔工法工程技術
(三)水平導向鑽孔工法工程計算
- 89.12.13.~89.12.14. 返程：休士頓→洛杉磯→台北

參、實習地層測驗工程心得

一、前言：

地層測驗是以鑽桿組接壓力記錄器，井底開關測驗器，逆循環接頭和環孔填塞器……等器材組成測驗管串下至井底測試位。以填塞器封閉隔絕欲測試地層，當井底測驗器打開時，被測試之地層內的流體，在壓力驟減的情況下，沿鑽桿內上升至地面，直接為吾人觀察到地層內之產物是油、是氣或是無價值的地層水，同時並可估算其產率。將此結果再輔以井底壓力記錄之分析，以判定地層真正的生產潛能，供完井工作的參考。

二、地層測驗工程理論：

地層測驗主要的工程理論就是利用組下之地層測驗管串，先暫時隔離環孔以解除測驗地層受泥漿柱壓的束縛，應用地層測驗管串的功能營造被測驗地層之流壓高於測驗管串內柱壓，迫使地層產物(流體)因差壓關係，進入測驗管串內或引導流出地面被計量。換句話說就是應用中空或加入制壓液之鑽桿，組接橡皮填塞器及井底測驗器下至井內預定深度，將填塞器擠脹後，封塞住鑽桿與井壁間之環孔，隔離泥漿柱壓然後打開井底測驗器。使填塞器下部井孔與鑽桿內部連通，讓地層內所含之流體，經由地層孔隙，流經穿孔位，經孔管、井底開關閥而流入鑽桿內部，引導流至地面經採樣計量；或盡量讓地層產物進入，達到內外壓力平衡。在測驗終了時，關閉井底測驗器，此時便將測驗器上方管串中流體捕捉住，起鑽前再拉開填塞器旁通閥，以使填塞器上下方之壓力平衡，最後釋放填塞器，並起揚地層測驗管串至地面，完成測試過程。

三、地層測驗器材名稱用途及發展趨勢

(一)地層測驗器材名稱及用途

1.底塞(Bull Plug)

組接於測驗管串之最底端，為測驗管串接觸底之座墊，於裸

孔測驗中使用。

2. 壓力記錄器(Pressure Recorder)

為記錄測驗中之井底各種壓力變化，以供油氣層性能分析。

3. 孔管(Anchor Pipe)

供地層流體進入測驗管串之通道，裸孔測驗使用者由鑽筴製成，套管內測驗者，因其無須承受設置填塞器時之坐重，一般均用鑽桿或油管製成。

4. 尾管(Tail Pipe)

於裸孔測驗中組接於填塞器下端用以調節填塞器離井底之適當位置者。

5. 裸孔填塞器(Open Hole Packer)或套管填塞器(Casing Packer)

用以隔絕於地層的泥漿柱壓，以引導地層流體沿測驗管串自噴。裸孔填塞器必須利用測驗管串坐於井底，以承受坐重推下滑動頭而擠脹填塞器之橡皮。套管填塞器則係選用適當尺寸之卡瓦，利用其自動J型凹槽裝置控制卡瓦坐掛於套管。當卡瓦坐掛於套管時，由上方管串施以坐重，即可擠脹橡皮而發生封塞作用。

6. 安全封塞器(Hydrostatic Bias)

分為裸孔用與套管用兩種；裸孔安全封塞器係利用其液壓安全封塞裝置蓄貯坐重，迫使已經坐妥之填塞器，於上下管串操作測驗器之開關時，仍坐置完整。套管安全封塞器係利用其向下偏軸力迫使旁通閥及填塞器封塞完整。

7. 退扣接頭(Safety Joint)

必要時可利用地面操作，使地層測驗管串退扣之接頭，假使測驗後發生異變，致使填塞器無法拉鬆時，可自此接頭退扣而起出其上方之管串，餘留井底之部份器材再另設法予以撈出。

8. 液壓活環(Hydraulic Jar)

係一安全器材，此活環可因受強拉而產生強有力之向上衝擊作用，第一次衝擊作用產生後，可使其滑軸恢復原位，再做多次之引拉衝打，以幫助鬆脫測驗管串。

9. 旁通閥(By-Pass Valve)

分為裸孔旁通閥及套管旁通閥；係多次噴流測驗器以下之測驗管串與環孔相連之通路。當起揚或下降測驗管串中，如遇到井眼之較緊小部份時，可供泥漿經過填塞器內部而進入環孔，增加泥漿旁通之面積，以防下降管串中地層受衝壓而引起漏泥。下至測試深度坐填塞器同時將其關閉。當施測完畢，擬拉鬆填塞器起揚時，則先打開此旁通閥使填塞器上下兩端差壓平衡，以便退鬆填塞器。

10. 多次噴流測驗器(Multi-Flow Evaluator)

主要包括測驗器開關機構與採樣室，當測驗管串下降時，它保持關閉狀態，以阻止泥漿進入測驗管串。下至預定位置後可施以適當坐重，將其開啟作噴流試驗。停留在井底時，僅靠測驗管串之上下操作，即可任意做無數次之井底關井或噴流試驗。

11. 捕捉接頭(Catcher Sub)

用以承接自井口投入以打開斷塞式循環閥之衝擊棒，俾使其不致掉落損及下端之測驗器。

12. 循環閥(Circulation Sub)

分成斷塞式循環閥及旋轉式循環閥兩種，前者須投入衝擊棒方能將其打開，於裸孔測驗及套管內測驗中均可使用。後者則靠管串之旋轉即可開啟，通常僅於套管內測驗時使用。當測驗完成關閉測驗器後，必要時即可打開循環閥，此時因差壓關係泥漿即進入測驗管串，排除積存之地層流體直至管內外差壓平衡為止。

13. 鑽鉞：

供設置填塞器和打開測驗器之坐重用，在裸孔測驗時必須使用，以防測驗管串彎曲過大。如套管內測驗之管串重量夠時，則可不必使用。

14.鑽桿：

供調節填塞器之深度及採收地層產物之用。

15.投棒器(Bar Dropper)

用以裝接衝擊棒，以便測驗完成後可在壓力下投入，以打開斷塞式循環閥。

16.井口噴流裝置(Flowing Head)

具有主閥及旁通閥各一個，用以控制測驗管串在井口之開關。

17.節流歧管(Choke Manifold)

係一組合固定節流嘴與可調整式節流嘴於一體之控制閥體，它可代替井口噴流裝置之開關作用，及任意更換適當之節流嘴，以測定不同之油氣產率。

18.短管(Pup Joint)

組接地層測驗管串長度之調節用。

(二)地層測驗井底開關測驗器特性及發展沿革

地層測驗井底開關測驗器(簡稱測驗器)是安全的控制井底多次開與關的主要機構，其發展順序如下：

→多次噴流測驗器(Multi-Flow Evaluator 簡稱 MFE)

→環孔加壓測驗器(Pressure Controlled Tester 簡稱 PCT)

→最新型的智慧型遙控雙開關閥測驗器(Intelligent Remote Implementation System Operated Dual Valve 簡稱 IRDV)

其各式測驗器詳細構造及操作如下：

1.多次噴流測驗器(MFE)：包括有指標，延帶和採樣三部份。

(1)指標部份

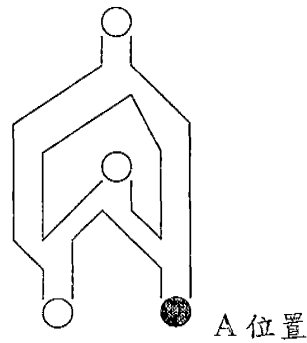
指標部份有槽軸(Spline Mandrel)，槽筒(Spline Sleeve)及“J”

型梢(J-Pin)所組成。靠槽軸之上下移動可使測驗器做多次週期性之開啟關閉。下降時使其呈關閉狀態，阻止泥漿進入測驗管串內。下至預定位置後可施以坐重將其開啟做噴流試驗。當其停留在井底時，僅靠地面操作即可做多次之井底關井和噴流。

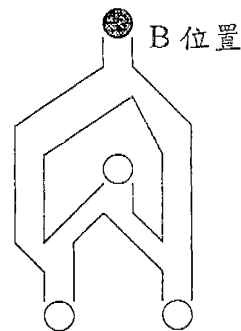
槽軸僅能做縱向之上下移動而不能旋轉，槽筒則僅能做180度之弧形旋轉而不能縱向運動，故當槽軸作向上或向下移動時，則固定於槽筒上之J型梢即由於槽筒之旋轉而沿槽軸之凹槽滑移。這種向上或向下移動，可不受限制的在地面操作測驗管串而獲得，以達開啟或關閉之目的。

測驗器槽軸之凹槽構造及開啟和關閉位置操作程序如下：

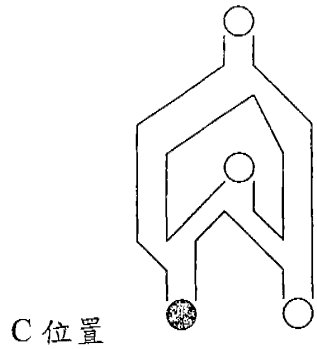
- ①下降測驗管串，J型梢在A位置，測驗器關閉。



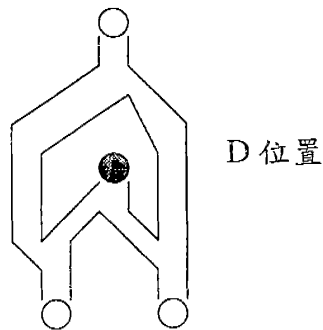
- ②下至預定位置，施以適當坐重，經短時間之延滯後J型梢自“A”點滑至“B”點位置，測驗器開啟。



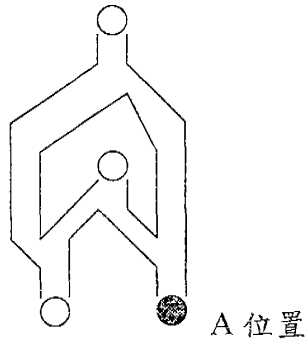
③ 提拉測驗串，J-型梢自“B”點移至“C”點位置，測驗器關閉。



④ 施回坐重，J-型梢自“C”點移至“D”點位置，測驗器關閉。



⑤ 提拉測串，J-型梢自“D”點移至“A”點位置，測驗器仍關閉。



⑥ 反覆②-⑤項之操作，可再度開啟或關閉測驗器。

(2) 延滯部份：

為了易於確定測驗器是否開啟或關閉，此測驗器內有一延滯裝置，其原理與一般之液壓延滯相同。當承受外來之坐重時，能產生短時間之延滯作用，但為提拉使其恢復原位時，則又不受牽制。

當測串下至預定位置，施加坐重於測驗管串，此時延滯部份即開始作用，經短時間之延滯方行開啟測驗器。測驗器開啟時測串會突然下降一吋左右。此乃 J-型梢自“A”點位置移至“B”點位置之故。如無此突然下降之顯示，即註明測驗器未開啟，此可能因下管前誤將 J-型梢裝在“C”點位置，經施以坐重後，J-型梢自“C”點位置移至“D”點位置，仍成關閉狀態之故。此時則需再提拉測驗串，使 J-型梢在“D”點位置移至“A”點位置後，施以坐重即可開啟測驗器。

2.環孔加壓測驗器(Pressure Controlled Tester 簡稱 PCT)

(1)PCT 的構造：PCT 是一種以環孔加壓方式來操作控制測驗器

的開關，有別於 M.F.E.係以上下管串來開關測驗器，液壓操控系統為一具有彈簧之氮氣室，環孔壓力使彈簧及氮氣室內之氮氣受壓縮，並帶動樣品室之閥而將之開啟，洩放壓力即可因彈簧及氮氣之彈力使閥回復至關閉之位置。

(2)功能及操作：

液壓操作系統之氮氣室下方有一液壓平衡活塞。下鑽時泥漿壓力經此活塞下端之孔道作用於活塞上，與經氮氣室來自活塞上方之泥漿壓力恰成平衡狀態，下鑽至井底預定位置，設置填塞器之坐重可同時關閉此平衡活塞下端之流孔，將泥漿柱壓封存在平衡活塞下端。此時，氮氣室內彈簧之彈力為整個液壓操作系統內唯一不平衡之壓力，自環孔施加約 1,000psi 之壓力即能使此彈簧壓縮並使閥向下移動而開井。反之，如洩放壓力則彈簧即可回升，將閥往上頂起而關閉。

環孔加壓測驗器亦可視需要情況加裝超壓關井裝置。係於液壓操作系統中加裝一剪切閥，在開井中如果施加壓力超過 2,500Psi(正常操作壓力為 1,000Psi)操作系統之閥心軸被向下壓縮，即可將此剪切閥切斷而開啟，環孔壓力即可經此閥進入測驗器內，將操作系統之閥往上頂起並固定於關井位置，其後不

論環孔再加壓多寡均無法將之開啟。

最後一次開井完畢後，即可施加 2,500psi 以上之環孔壓力，使超壓關閉裝置發生作用，將測驗器鎖固於井底關井位置。此時測驗器之可卸式樣品室內即可採收約 2,000CC 在井底壓力狀態下之地層產物。同時井底以超壓關閉方式關井後，因測驗管串無法再開啟，可以施加環孔壓力依正常施工方式做逆循環，排除測驗管串內之地層流體。再者，如測驗過程中，由於管串洩漏或其他原因致使環孔壓力高於泥漿柱壓 2,500psi 以上時，亦可自動將測驗器關閉，以策安全。

(3)預注於氮氣室之氮氣壓力

由於液壓平衡活塞之作用，氮氣室之預注壓力，泥漿柱壓及井底溫度對整個測驗器之操作而言皆非極重要因素。一般泥漿柱壓低於 3,000psi 之淺井，氮氣室之預注壓力恆比泥漿柱壓低 500psi，如在泥漿柱壓大於 3,000psi 之井眼內使用，則氮氣室之預注壓力恆為 2,500psi。不論用於淺井或深井，井底溫度並非決定性因素，可以不必考慮。

(4)開關測驗器所需之環孔壓力：

推動環壓式測驗器液壓操作彈簧之力量為 600 磅，將之完全壓縮所需之力量為 1,200 磅。液壓操作活塞之面積，有超壓關井裝置者為 2 平方吋，無超壓關井裝置者為 1.5 平方吋，假設彈簧與測驗器本體內之摩擦力為 300 磅，則操作環孔加壓測驗器之壓力計算如下：

①使用具有超壓關井裝置之測驗器時：

開始推動測驗器之閥所需之環孔壓力

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{彈簧之彈力(1bs)+摩擦力(1bs)}}{\text{操作活塞面積(in}^2\text{)}} \\ &= \frac{600 \text{ lbs}+300 \text{ lbs}}{2.0 \text{ in}^2} \\ &= 450 \text{ psi} \end{aligned}$$

使測驗器閥全開所需之環孔壓力

$$= \frac{1,200 \text{ lbs} + 300 \text{ lbs}}{2.0 \text{ in}^2}$$
$$= 750 \text{ psi}$$

②使用無超壓關井裝置之測驗器時

開始推動液壓操作閥所需之環孔壓力

$$= \frac{600 \text{ lbs} + 300 \text{ lbs}}{1.5 \text{ in}^2}$$
$$= 600 \text{ psi}$$

使測驗器閥全開所需之環孔壓力

$$= \frac{1,200 \text{ lbs} + 300 \text{ lbs}}{1.5 \text{ in}^2}$$
$$= 1,000 \text{ psi}$$

為確使測驗開啟，不論有無超壓關井裝置，一般皆施加 1,000psi 左右之環孔壓力，以操作環孔加壓測驗器。

3. 智慧型遙控測驗器(Intelligent Remote Implementation System Operated Dual Valve；簡稱 IRDV)：

IRDV 測驗器是目前最新一代的地層測驗器，它結合了一個測試開關閥及一個循環閥於壺體。它是由一個智慧型遙控執行系統來操控，內部使用電子處理機和壓力操控機構運作來執行整個 IRDV 測驗器操作。利用泥泵送出低階壓力波(Low-level Pressure Pulse)訊號下達指令。由 IRDV 的偵測器接收壓力訊號，經由電子處理機解碼成指令，再由電子系統及液壓系統執行指令。

IRDV 測驗器的構造分為三個部份；上部為循環閥，中間部份為測試開關閥，下部為電子及液壓操控機構，內含有一個大氣壓力室；一個靜壓壓力室；一套電池組；一個壓力偵測器及電子操控系統。液壓操控是利用切換大氣壓力與靜壓壓力操作壓力達到操作測試閥開關目的。

IRDV 測驗器特徵功能：

① 250psi 左右的環孔壓力波訊即可指揮操作測驗器。

- ② 測驗器的操作不受井溫高低、井壓高低及井偏高低影響。
- ③ 單一化的液力操作設計可免除泥漿渣物及固粒的困擾。
- ④ 下指令自動化方式操作。
- ⑤ 大面積、高流量的循環閥。
- ⑥ 記憶體記錄全程操作過程。

(三) 填塞器的特性及發展沿革

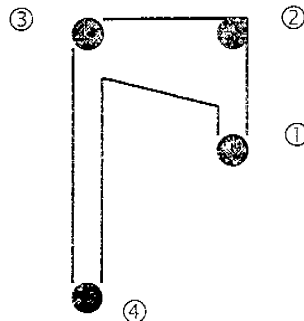
傳統的填塞器係於實施地層測驗時，利用管串之提拉及坐重，使其卡瓦坐掛於套管壁，並擠脹填塞橡皮封住環孔以隔絕環孔泥漿柱壓，使地層流體得以進入測驗管串內。由於科技的發展已由坐重式設置裝置改革至新型液壓設置操作型式。

1. 坐重式設置填塞器

此種填塞器裝有一套以“J”型槽(J-Slot)和凸柄(Lug)所構成之操作控制機構，可以在地面利用管串之旋轉及上下，以達到填塞器設置，拉鬆、收回等三個步驟。分述如下

(1) 設置填塞器：

組下含填塞器之測驗串至預定設置之深度，上下管串查提管及降管時之自重；再提管後、(此時梢由①位置移至②位置)，右轉管串使 1/4 轉扭力傳至填塞器(此時梢由②移至③位置)，在保持右轉扭力下，降管至指重表之吊重比原降管時之自重少 10,000 lbs-15,000 lbs(此時梢由③位置移至④位置)。因此填塞器即掛住套管壁，並擠脹橡皮封閉環孔，同時關閉旁通閥。如此，即可開關測驗閥，而進行噴流測試工作。



(2)拉鬆填塞器：

當測驗完畢，直接提管打開旁通閥，並拉鬆填塞器。

(3)收回填塞器：

於拉鬆填塞器後，繼續提拉起揚。如管串尚存有正轉扭力，則施予少許倒轉扭力，使起鑽無阻力。

2.高性能液壓型填塞器(High-Performance Packer)

此種填塞器結合了可回收填塞器和液壓設置固定填塞器之特性；它是由插梢軸和填塞器本體兩大部份組成，當下井時，插梢軸扣在填塞器本體之封塞軸套內孔中。液壓設置機構是由環孔加壓致使設置破裂盤擊破而引發設置動作，柱壓加上所加的壓力逐漸推動雙動設置卡瓦。同時關閉旁通閥和擠脹填塞器之橡皮，而防倒滑棘輪裝置卡住設置軸套使填塞器固定於設置位置。

當設定填塞器機構移至最終位置；此插梢軸凸輪脫離牽掣，管串插梢軸不再被鎖扣於填塞器本體，此時插梢軸油封將自由的在填塞器封塞軸套內上下滑動。

當測試工作完畢時，在填塞橡皮下部之循環閥(Below Packer Circulating Valve)將可打開，則任何進入填塞器橡皮下方之流體將可有效率之逆循環排出地面。直接向上提拉測驗管串將可釋退填塞器，在插梢軸底部之釋回收卡筭將切斷釋退環之定址梢(Retaining Pins)。當釋退環向上提拉時，設置時被棘輪環鎖扣住的力量馬上疏解及卡瓦馬上移動至釋放位置和縮入填塞器本體，以消除起揚填塞器所造成的抽刷作用。

高性能填塞器特徵功能：

- ① 下井、設置、回收可隨地層測驗管串同時操作。
- ② 採用液力設置，設置時不需考慮管串重量是否足夠。
- ③ 採用液力設置，免除上下地層測驗管串的困擾。

- ④. 採用液力設置，在高角度井、深井增加操作成功率。
- ⑤ 因有填塞橡皮下部之循環閥(BPCV)，逆循環時較有利。
- ⑥ 插梢軸可以緊密的在填塞器封塞軸套內上下自由滑動。

四、地層測驗作業實務

1. 器材之準備：

- (1)依現場泥漿比重，施測深度選用適當壓力等級的井底記錄器及套管安全封塞器尺寸。
- (2)依測試區間深度，估計填塞器設置位置，選擇適合該套管磅數的填塞器橡皮組及卡瓦組。
- (3)依電測之井底溫度，選擇黏度合適的油液來調整測驗器的液壓系統。
- (4)依井況，井斜來考慮循環閥種類、安全位置，並決定設置填塞器之坐重大小。
- (5)依填塞器設置深度之泥漿柱壓與泥漿種類，選擇制壓液的種類，同時決定該制壓液柱壓力。

2. 地層測驗前井場之準備工作：

- (1)擬設置填塞器部位之套管及測驗區間之套管必須先刮洗清淨，以利填塞器之掛坐與封閉環孔。
- (2)調整泥漿至最適當之特性以避免測驗管串降管中所引起之擠壓發生漏泥或增加測驗管串阻塞機會及事後發生噴井。
- (3)在裸孔地層測驗之前必須循環泥漿一段相當時間，徹底清除井內岩屑及其他污物，減少測驗串阻塞機會。
- (4)嚴格執行安全措施，嚴禁煙火，管制車輛進出，點火線附近地物之清除及必要之滅火器材準備，檢查防噴器，高壓壓井線，引擎滅火花裝置等設備之功能是否正常。

- 3. 為避免測驗器打開之瞬間造成震動過劇或地層差壓太大而造成填塞器設置失敗，測驗管串內通常須酌加制壓液。裸孔測驗所加入之制壓液壓力與泥柱壓之差壓一般設在 2,000psi 左右，在套管內

施工，則在 4,000psi 左右。

4. 測驗管串降管至預定位置後，為坐掛填塞器，關閉套管旁通閥和打開地層測驗器。

5. 自由點之操作：

開啟、關閉測驗器之操作均以自由點為依據，也就是測定自由點為操作多次噴流測驗器之先決條件。所謂自由點係當提拉測驗管串過程中，指重錶針指示的重量逐漸增加，至一短時間重量停滯之點。測驗管串提拉至自由點即呈懸吊狀態，自由點在多次噴流測驗器之凹槽部份內自由移動，為移動至凹槽頂點時，指重錶之指示會因管串上升受阻而增加。測驗器之開關操作而依此為憑據。

6. 測驗完成後使測驗器呈關閉狀態，打開循環閥，一面排淨管內殘留氣體一面自環孔補滿泥漿，直至殘留氣體排完為止。如果無油氣生產或洩放管內油氣後不致引起管串頹毀者，可不必打開循環閥，在關閉測驗器測靜壓後即可拉鬆填塞器起揚。

7. 測驗終了起揚測驗管串時，需先拉開填塞器上之旁通閥以平衡填塞器上下兩端之壓力，使填塞器易於鬆拉；打開旁通閥所需之拉力應等於測串重量與旁通閥內外差壓所得阻力之總和。萬一填塞器上下之差壓無法去除，只要對測串施以稍長之引拉，於安全範圍內強拉測驗管串，讓液壓活環產生強力之向上衝擊作用，直到管串鬆脫。

8. 井底壓力記錄器或儀錶所記錄之壓力資料或所繪之壓力曲線係用以估算油氣層儲藏量及油層特性判斷之重要參考資料，因此對井底記錄資料或曲線必須詳細判讀及解釋，才能有正確的詮釋，得以估算蘊藏量。

9. 起揚完地層測驗管串，應立即下鑽調整泥漿，排除氣切為下一階段工作預做準備。如地層測驗使用可回收型橋塞器來隔絕時，可先組下橋塞器回收管串到橋塞器上方之位置，先循環排除氣切

後，再回收橋塞器。回收操作中應密切留意橋塞器滑動情形，起完回收管串後，由安裝在橋塞器下方之壓力記錄器可判讀隔離效果，有無達到隔離之目的。

10.地層測驗管串及可回收橋塞器之回收管串起揚時，應以上旋方式起揚，以防管串之配件或橋塞器退扣掉落井內。

五、地層測驗之井底資料

地層測驗時在測驗串之下端可組接壓力記錄儀，隨管串下至井底，可將測驗過程之各項壓力，溫度連續記錄，於測驗完成後，再隨測驗管串帶出地面。亦可使用地面壓力解讀儀(Surface Pressure Read Out System; SPRO)以鋼纜方式，將井底壓力、溫度資料經由電纜傳輸至地面，再由電腦即時分析供工程人員參考應用。

(一)井底記錄儀種類及特徵

- 1.機械式記錄器：保受壓力感應後由傳壓設備及鐘錶帶動，可將測驗過程中之各項壓力連續記錄在記錄紙上，縱軸表示壓力；橫軸表示時間。
- 2.電子式壓力溫度記錄儀：可以利用程式下達指令依需要及記憶體容量設定記憶的頻率，是用電池供應電力，且記憶數據資料，較機械式記錄器精確，且減少人為量測誤差。

(二)井底壓力記錄之意義

地層測驗結果的適當評估，需用壓力記錄分析獲得，只靠視覺觀察地層流體常導致誤解，有許多例子顯示強大的流體徵兆往往被証實為不具商業價值者。測驗有效的結果只能靠壓力記錄的正確解釋才能確定。井底基本壓力記錄大致分為下列項目：

- 1.下鑽記錄(RIH)、2.泥漿柱壓(IHP)、3.填塞擠壓(PSP)、
- 4.最低下降壓(IFP)、5.初測流壓(FIFP)、6.初測靜壓(ISIP)、
- 7.終測流壓(FFP)、8.終測靜壓(FSIP)、9.泥漿終壓(FHP)、
- 10.起鑽記錄(POOH)。

肆、實習水平導向鑽孔(HDD)工法心得

一、土壤性質對 HDD 工法施工之可行性評估

1. 硬岩石層在岩石結合強度(Compressive Strengths)超過 12,000psi 以上或莫氏硬度(Mohs Scale Of Hardness)指數超過 7 時不適合採用 HDD 工法施工。

2. 其餘的土壤地層可採用下表評估施工可行性

<u>土壤型態</u>	<u>礫石比例(%)</u>	<u>採用 HDD 施工可行性</u>
(1) 黏土層	0 %	可行→極可行
(2) 鬆至密砂層	0-30 %	可行→極可行
(3) 礫石砂層	30-50 %	接受底線的可行性
(4) 礫石砂層	50-85 %	可行性極低
(5) 礫石層	85-100 %	不可行
(6) 岩石層	0 %	極可行→不可行

二、井底馬達維修後之測試

一般井底馬達在井上定向鑽井使用過後，必須送回竹東鑽探工程處維修保養。為確認保養後井底馬達品質已否達到可再使用的水準，必須經過保養後功能測試。目前我們的功能測試做法是將保養後的井底馬達以高壓管線組接至高壓泵，再以高壓泵送水經井底馬達來測試是否會轉動。或也可以在下井前接方鑽桿及水龍帶以泥泵送泥漿來測試井底馬達。

專門做 HDD 工程業務的 INROCK 公司對井底馬達保養後的測試工作，就做得相當科學化、實際化。INROCK 公司將井底馬達組接至泥泵及井底馬達測試器(Downhole Motor Tester)，測試器包含有轉速計、扭力計、壓力計及流量計分別安裝在泥泵及井底馬達上。並模擬井底負載(即加重)來測試出保養後井底馬達的差壓(Differential Pressure)、輸出扭力、轉速，以評鑑保養後井底馬達的品質。並且印出測試報告表供工程人員參考應用。

三、HDD 工法回拉大管徑管線之浮力控制

在 HDD 工法施工時，大管徑管線拉管時，由於浮力所造成的上揚力是存在的，所以在拉管必須克服上揚力所造成的上揚力問題，一般解決的方式是注水入管內來平衡浮力的問題。但必須在管內預置補給線以準備在拉管至中途管頭往上拉昇時適當的抽出注入的水來調整最恰當浮力。同時亦須預置一條空氣注入線以適時的在管頭往上拉昇時補入空氣，來防止管頭向上拉昇時造成管內真空。

四、HDD 工法皂土(Bentonite)使用總量計算方法

1. 漏泥係數(F_L)

<u>土壤分類</u>	<u>漏泥係數(F_L)</u>
Silt; Sand; Clay	0.5
Gravel	0.8
Soft Rock	0.2
Hard Rock	0.2

2. 鑽導孔時所需泥漿量(V_p)計算

$$V_p = Q_p \times (L/P) \times F_p \times F_{LP}$$

Q_p =泵送量；BPM

L =累計進呎；FT

P =每小時鑽進進呎；FPH

F_p =泵送係數；每小時泵送的時間以分計

F_{LP} =漏泥係數

3. 擴鑽時所需泥漿量(V_R)計算

$$V_R = Q_R \times (L/T_R) \times F_{LR}$$

Q_R =泵送量；BPM

L =累計進呎；FT

T_R =每分鐘擴孔進呎；FPM

F_{LR} =漏泥係數

4. 回拉管線時所需泥漿量(V_B)計算

$V_B=Q_B \times (L/T_B) \times F_{LB}$

Q_B =泵送量；BPM

L =累計進呎；FT

T_B =每分鐘回拉管線速率；FPM

F_{LB} =漏泥係數

5. 所需泥漿使用總量(V_{CONS})計算

$V_{CONS}=V_P+V_R+V_B$

6. 所需皂土使用總量計算

$V_{VIS}=[(V_{CONS}/Y)/W_{DRY}] \times 74.07$

Y =Bentonite 85 Barrels/Ton or

Polymer 200 Barrels/Ton

W_{DRY} =55 Pounds/Cubic Foot For Packaged Bentonite.

五、HDD 工法回拉管線時管件承受應力計算方法

水平導向鑽孔工法敷設之管線所承受的拉力及應力不同於傳統的明挖施工法，由於施工過程的特殊性可能對管線造成高拉力、高彎曲率及較高之管內外壓差的額外負荷，在有些情況這些負荷高出管線完工後使用的負荷甚多。為了避免於管線敷設時損毀的風險；管件的材料性質(即管件厚度、管件鋼材等級)與井程狀況均須加以選擇。

(一) 水平導向鑽孔工法管件承受應力分類：

1. 拉力(Tension)：將管線回拉入擴好的弧形孔內所需的力，它由下列各力合成。

(1) 摩擦拖曳力 (Frictional Drag)：來自管線外部與井壁土壤的濕摩擦。

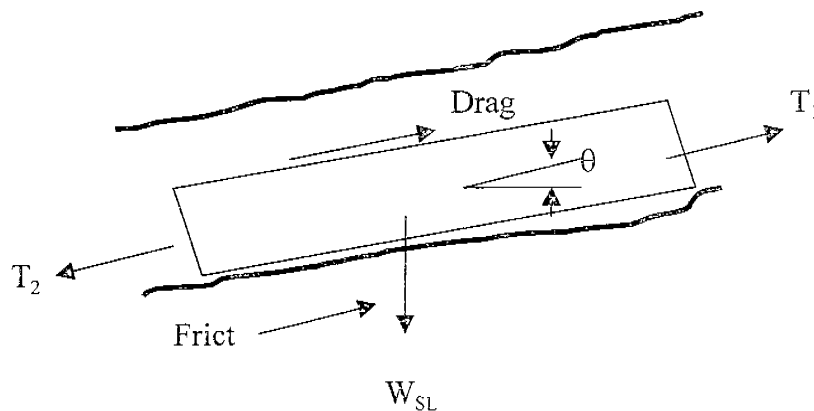
- (2)管線拉經擴好的弧形孔內黏稠泥漿所產生的拖曳力(Fluidic Drag)。
- (3)管線拉經不同海拔高度之不平衡重量。
- 2.彎曲應力(Bending)：管線克服弧形孔的力。
- 3.外環液壓力(External Hoop)：管線在擴好的弧形孔內所受泥漿柱壓力。

(二) 水平導向鑽孔工法拉力計算方法

將水平導向鑽孔分為直線孔部份(Straight Section)和弧形孔部份(Curved Section)來各別計算，總拉力是管線拉經每個分段直線孔部份和弧形孔部份之總合。

1. 直線孔部份(Straight Section)計算方法：

假設管線是由右邊往左邊回拉入孔，各別分段直線孔部份的模式與各個分力之分析如下圖：



在任何的直線孔部份，左邊的拉力 T_2 可由靜力平衡圖分析求得：

$$T_2 = T_1 + |\text{Frict}| + \text{DRAG} \pm W_s \times L \times \sin\theta$$

式中(±)取決於下列狀況

- (+) 若 T_2 往下降入鑽孔時
- (-) 若 T_2 往上爬升鑽孔時

(0) 若鑽孔為水平時； $\theta=0$

T_2 = 左邊的拉力；lbs

T_1 = 右邊的拉力；lbs

Frict = 管線外緣與土壤的摩擦力；lbs

DRAG = 管線外緣與黏稠泥漿的拖曳力；lbs

W_s = 管線單位浮重(含注入的水)；lbs/ft

L = 管線長度；ft

θ = 鑽孔與水平的夾角

其中；

$$\text{Frict} = W_s \times L \times \cos\theta \times \mu_{\text{soil}}$$

$$\text{DRAG} = 12 \times \pi \times D \times L \times \mu_{\text{mud}}$$

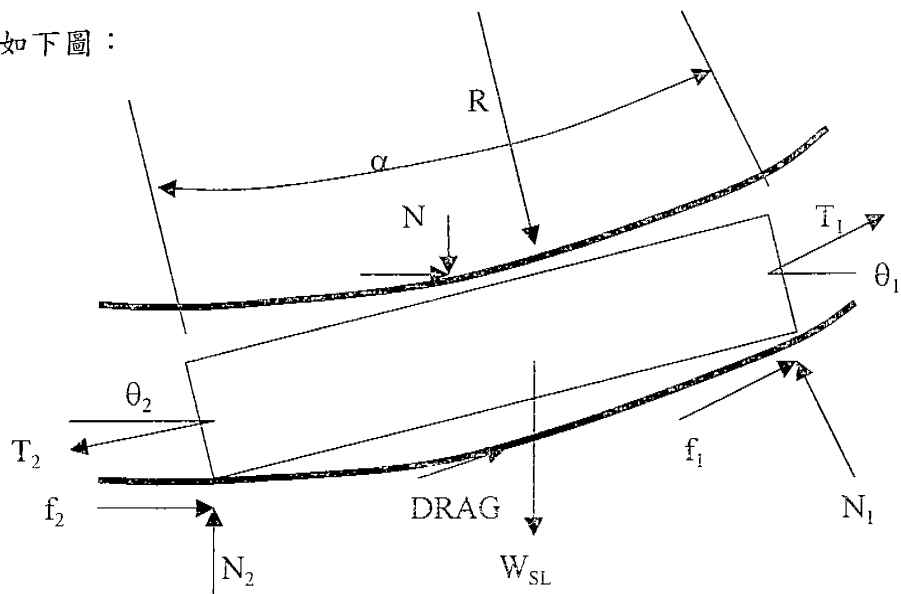
μ_{soil} = 管線外緣與土壤的摩擦係數；0.21-0.30

D = 管線外徑

μ_{mud} = 管線外緣與黏稠泥漿的拖曳係數；0.05 psi

2. 弧形孔部份(Curved Section)計算方法：

假設管線是由右邊往左邊回拉入孔，各別分段弧形孔部份的模式與各個分力之分析如下圖：



在任何的弧形孔部份，左邊的拉力 T_2 可由靜力平衡圖分析求得：

其中；

R = 該段弧形孔的曲率半徑

α = 該段弧形孔的曲率半徑的夾角

θ_1 = 該段弧形孔右邊 T_1 與水平的夾角

θ_2 = 該段弧形孔左邊 T_2 與水平的夾角

$\theta = (\theta_1 + \theta_2) / 2$

$L_{ARC} = R \times \theta \times (\pi / 180)$

N, N_1, N_2 = 中間、右邊、左邊的正向力

f, f_1, f_2 = 相對應 N, N_1, N_2 的摩擦力

應用材料力學簡支樑型式應力分析該段弧形管線可求得變形量 h 及正壓力

N ；

$h = R \times [1 - \cos(\alpha/2)]$

$N = [12 \times T \times h - (W_s / 12) \times \cos\theta \times Y] / X$

其中；

$X = 3 \times L_{ARC} - J/2 \times \tanh(U/2)$

$Y = 18 \times (L_{ARC})^2 - J^2 \times [1 - 1 / \cosh(U/2)]$

$J = (E \times I / T)^{1/2}$

E = 楊氏模數(鋼材： 2.9×10^7 psi)

I = 轉動慣性

$U = 12 \times L_{ARC} / J$

cosh = hyperbolic tangent

tanh = hyperbolic cosine

Frict = $N \times \mu_{soil}$

$T_2 = T_1 + 2 \times | \text{Frict} | + \text{DRAG} \pm W_s \times L_{ARC} \times \sin\theta$

式中(±)取決於下列狀況

(+) 若 T_2 往下降入鑽孔時

(-) 若 T_2 往上爬升鑽孔時

(0) 若鑽孔為水平時； $\theta=0$

3. 總拉力(Total Pulling Load)計算方法：

$$T_{\text{total}} = \sum_i (T_2 - T_1)$$

(三) 水平導向鑽孔工法管件承受應力分析

1. 拉應力(Tensile Stress)：

$$f_t = T/A$$

其中；

T =計算點所承受的拉力；lb

A =管壁的斷面積；in²

2. 彎曲應力(Bending Stress)：

$$f_b = (E \times D)/(24 \times R)$$

3. 環壓應力(Hoop Stress)：

$$f_h = (\Delta P \times D)/(2 \times t)$$

其中；

t =管壁厚度；in

ΔP =管線內外差壓；psi

D =管線外徑；in

4. 允許拉應力(Allowable Tension)

$$F_t = 0.9 \times \text{SMYS}$$

SMYS= Specified Minimum Yield Strength in psi

5. 允許彎曲應力(Allowable Bending)

若 $D/t \leq 1,500,000/\text{SMYS}$

則 $F_b = 0.75 \times \text{SMYS}$

若 $1,500,000/SMYS < D/t \leq 3,000,000/SMYS$

則 $F_b = [0.84 - \{1.74 \times SMYS \times D/(E \times t)\}] \times SMYS$

若 $3,000,000/SMYS < D/t \leq 300,000$

則 $F_b = [0.72 - \{0.58 \times SMYS \times D/(E \times t)\}] \times SMYS$

6. 允許環壓應力(Allowable Hoop Buckling Stress)

$$f_h < F_{hc} / 1.5$$

其中：

F_{hc} = 臨界環壓應力

彈性環壓應力 F_{he} 如下：

$$F_{he} = 0.88 \times E \times (t/D)$$

及

$$F_{hc} = F_{he} \quad ; \quad \text{當 } F_{he} \leq 0.55 \times SMYS$$

非彈性環壓應力時

若 $0.55 \times SMYS < F_{he} \leq 1.6 \times SMYS$

則 $F_{hc} = 0.45 \times SMYS + 0.18 \times F_{he}$

若 $1.6 \times SMYS < F_{he} \leq 6.2 \times SMYS$

則 $F_{hc} = 1.31 \times SMYS / [1.15 + (SMYS / F_{he})]$

若 $F_{he} > 6.2 \times SMYS$

則 $F_{hc} = SMYS$

伍、結論與建議

一、地層測驗工程基本原理並未有新的發展；但在地層測驗器材上因隨科技的進步已經有十足的演進改革：

1. 井底開關測驗器：

多次噴流測驗器 → 環孔加壓測驗器 → 智慧型遙控測驗器
(MFE) → (PCT) → (IRDV)

2. 填塞器

坐重式填塞器 → 高性能液壓式填塞器

3. 井底記錄儀器

機械式井底記錄儀 → 電子式井底記錄儀

二、目前臺探總處陸上地層試驗仍然使用坐重式填塞器和多次噴流測驗器，續用的理由不外乎成本低廉、操作熟練、成功率高。新式的智慧型遙控測驗器和高性能液壓式填塞器雖然性能極佳，但相對的使用成本一定相對的提高，而且本總處近年來地層試驗施工越來越少，若沒有發現大構造或在更深、更高角度的井做地層測驗，為了降低成本仍使用坐重式填塞器和多次噴流測驗即符合需求。

三、井底馬達不論在油氣井之定向鑽井或 HDD 工法施工皆扮演重要的角色，它的保養良窳直接影響工程成敗及施工成本高低，所以除了強化保養維修過程品質外，有必要對保養結果做科學化的驗證工作，INROCK 公司對井底馬達功能測試方式值得我們效法。

四、HDD 工法由於施工方法特殊，施工過程中管線所承受的拉應力、彎曲應力、環壓力有可能超出原始設計的使用負荷(Design Service Loads)。所以採用 HDD 工法敷設管線時除了使用負荷(Service Load)必須考量外，施工負荷(Installation Load)同時也必須詳細加以驗算，避免因施工負荷超過管件承受強度而損傷管線。

五、皂土是 HDD 工法之泥漿主要材料，佔泥漿成本之大部份，皂土耗用量計算公式可供預算泥漿成本及施工前申購使用量計算。