

出國報告（出國類別：實習）

測井資料整合判釋_由地層傾角及環
孔影像電測進行構造及地層解釋
(Structural and Stratigraphic
Interpretation of Dipmeters and
Borehole-Imaging Logs)

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：地質師 杜開正

派赴國家：美國

出國期間：107年5月12日至5月20日

報告日期：107年6月15日

摘要

為提高本公司的高階電測解釋能力，本公司探採事業部測勘處擬定 107 年出國計畫「測井資料整合判釋研習」。選派本人於 107 年 5 月 12 日至 5 月 20 日赴美國休士頓 PetroSkills 機構，參加「由地層傾角及環孔影像電測進行構造及地層解釋(Structural and Stratigraphic Interpretation of Dipmeters and Borehole-Imaging Logs)」課程。

環孔影像電測資料能提供我們許多訊息以判斷地下地質，如斷層、裂隙、古水流、次生孔隙、沉積特徵等，但需要有經驗的解釋技術才能了解這些儲油氣層或是儲熱層的岩石物理與地質特徵。課程由基本的資料取得與品質控管開始，讓學習者能先刪去非原生的雜訊，接下來再就各種線性關係判識正逆斷層、裂隙面位態與玫瑰圖、最大主應力方向、地層位態、交錯層及交錯層方向顯示的沉積構造與古水流方向等，最後再藉由以上綜合資訊尋找高潛力的儲油氣層或是儲熱層。此課程以工作坊的型式進行，培養解決問題的能力。

參訓人員來自世界各地，除兩家美國當地石油公司派員參加之外，尚有馬來西亞及巴基斯坦國家石油公司人員。足見各地油氣田皆需要藉由環孔影像電測幫助儲油氣層或是儲熱層在更高解析度資料分析下增加生產開發之能力。



全體學員與教師合影。右三女性為授課教師 Laura Foulk，右一為作者本人。

目次

目的	1
過程	2
具體成效	7
心得及建議	8

目的

台灣中油股份有限公司(以下簡稱：本公司)為提高綜合電測解釋能力，本公司探採事業部測勘處擬定 107 年出國計畫「測井資料整合判釋研習」。選派社員於 107 年 5 月 12 日至 5 月 20 日赴美國休士頓 Petroskills 機構，參加「由地層傾角及環孔影像電測進行構造及地層解釋(Structural and Stratigraphic Interpretation of Dipmeters and Borehole-Imaging Logs)」課程。

此課程主要邀請對岩石物理學、地質學及電測解釋具有基本認知的岩石物理師、地質師與地球物理師，透過課程講解與討論，學會整合不同電測資料以更合理解釋整體儲油氣層或是儲熱層表現。

此課程講授的背景知識，足以讓學員於探勘、佐證及生產階段時針對複雜儲油氣層或是儲熱層評估與激勵生產進行解釋。為解決上述問題，課程回顧環孔影像電測歷史、電測儀器、岩石特性與生產資料等基本知識。隨著課程進行，複雜儲油氣層或是儲熱層的概念將由一系列真實案例所闡述。

此堂課程的主要目的如下：

1. 了解環孔影像電測解釋及其原理。
2. 解釋斷層及裂隙，並其所代表之初始應力。
3. 解釋古水流與地層分層，量化次生孔隙，分析沉積特徵。
4. 判釋儲集層特徵與古沉積環境。

過程

「由地層傾角及環孔影像電測進行構造及地層解釋(Structural and Stratigraphic Interpretation of Dipmeters and Borehole-Imaging Logs)」課程於 107 年 5 月 14 日至 5 月 18 日舉行，地點位在美國休士頓西側的凱蒂市。課程舉辦單位為 Petroskills，乃係一間以教授完整石油業技術聞名國際的私人機構。

本公司派遣一員(即本人)參加本次訓練課程。本人於 107 年 5 月 12 日從桃園國際機場出發，並於 107 年 5 月 19 日由休士頓機場返程，抵臺時間為 107 年 5 月 20 日上午。

課程舉行之日程為上午 8 時至 12 時，下午 1 時至 5 時。授課講師為 MS. Laura S. Foulk，目前為 Integrated GeoSolutions, Inc. 公司之主席，該公司專門針對井下電測影像並綜合地質與工程資料提供解釋及建議。從事石油相關事業 25 年以上，學經歷皆相當豐富。Foulk 女士為 5 天的課程設計了 24 個主題，將分別敘述如下：

Section 1：課程簡介

五天課程的整體介紹與重點提醒，並說明我們可以從這次課程學習到甚麼。

Section 2：地層與構造

介紹地質學中對於地層與構造的基本定義，如小層、斷層、褶皺、裂隙、赤平投影圖、玫瑰圖。

裂隙通常被定義為因為大地應力所產生將同一塊岩石分成兩塊以上的面理，但是兩塊岩石互相沒有明顯的錯移，若有錯移則為斷層。而赤平投影圖在裂隙解釋上能提供許多統計上的解釋，使我們能從大量數據中理出可能的最大主應力方向及裂隙傾角，使用前須先了解是上半球還是下半球投影。玫瑰圖則為統計該面理方向在量測時所量到的次數，僅指示方位，而無傾角，亦可以看出最大主應力方向。

Section 3-4：地層傾角與環孔影像

課程講授到因為採取岩心昂貴且具工程風險，傳統電測解析度(15cm 左右)又無法符合現今對於地下儲集層增產的需求，所以解析度介於岩心與傳統電測間的環孔影像電測便營運而生。環孔影像電測現今已有多家電測公司可以提供服務，如 Schlumberger、Halliburton、Baker Atlas、Weatherford 等公司。

藉由磁性定位儀器中各個不同 Pad，而連續施測後同一電測反應連比，可以假設為同一地層面，再經過井程校正後即可知道該地層面位態(真傾角)。電測原理中的電阻、聲波、密度、GR 等特性皆可以成像，如此我們便能取得整段裸孔環孔表面的影像，類似岩心採集出來後環岩心的照相，只是岩心照相是可見光反應，環孔影像為其他岩石物理特性的反應，且解析度稍差(5mm-13mm)。

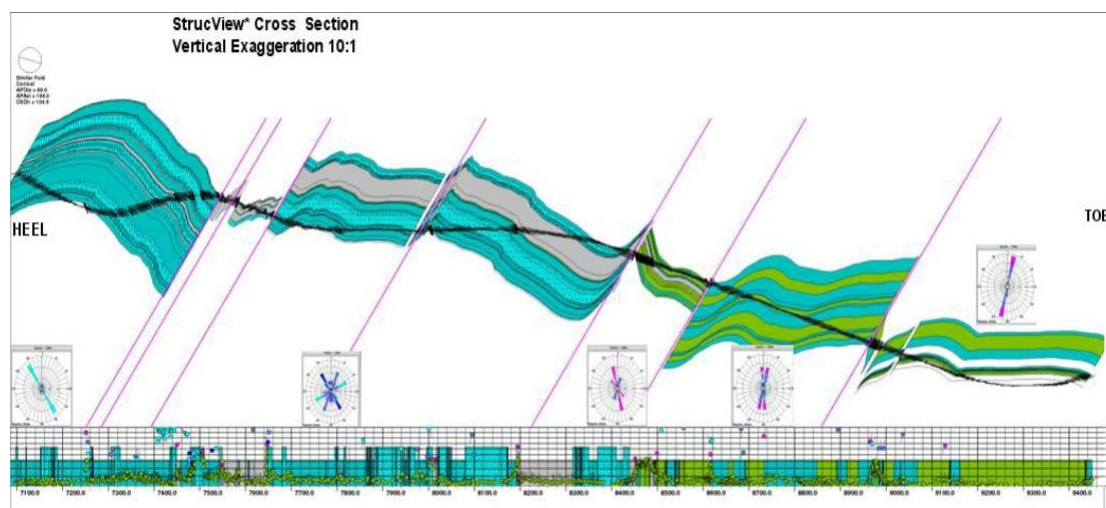
課程介紹如何品管環孔影像採集，了解那些資料是工程因素造成，那些資料

是真實地質因素造成。並實作如何計算地層位態。

環孔影像電測儀器又可以分為水基泥漿專用、油基泥漿專用及不導電泥漿專用。課程亦介紹了多種儀器特色。

Section 5：隨鑽電測

通常隨鑽電測適用於水平鑽井，為了確認是否一直在目標層內鑽進，也會使用環孔影像電測協助判斷。藉由鑽屑與環孔影像電測統計的地層面資訊，可以即時了解井程在地層中的關係如下圖。



Section 6：構造解釋

課程重點為藉由「累計傾角」及「傾向向量累計圖」的變化，可以找到斷層或是不整合最有可能發生的位置，課程中完成數項作業活動以加深認知。

Section 7：裂隙與斷層儲集層

本主題討論裂隙或小於震測尺度的微斷層對於儲集層能力的影響。裂隙或小於震測尺度的微斷層可能提高儲集層的滲透率(孔喉增大)，也可能使資源洩漏，並影響鑽井工程安全、採收率及排掃半徑。而環孔影像電測可以有效提供我們各種裂隙或小於震測尺度的微斷層之空間分布與密度。藉由前述資料，可以協助決策適合的生產區段以及生產方式。在水基泥漿中，通常裂隙在環孔影像中呈現黑色代表開放孔隙，呈現白色代表礦物充填(石英、方解石)之封閉孔隙，顏色介於中間代表部分礦物充填。

Section 8：井下因為鑽井工程產生的徑擴現象(breakout)與誘導裂隙

此主題提及藉由環孔影像電測所同時測得的環孔井徑資料可以知道徑擴現象(breakout)與誘導裂隙的方向。而通常誘導裂隙的方向平行現今的最大主應力方向，徑擴現象的方向垂直現今的最大主應力方向。在解釋環孔影像電測時，雖然會剔除此鑽井工程所造成的現象，但是對於最後一期大地應力方向的解釋卻可

以提供幫助，並成為人工誘導裂隙可能產狀的參考。

Section 9：薄層

此主題主要介紹藉由環孔影像電測可以達到 5mm 的解析度之優勢，綜合岩心的相片及滲透率試驗，建立對比目錄(Catalog)，取得薄層互層岩段中相對生產能力更優良的區段。

Section 10：沉積學與環孔影像電測

此主題主要介紹各個沉積環境可能形成的沉積學特徵，特別是沉積構造之概敘。包含向上變細層序、層序邊界、交錯層、波痕、挖蝕面、角礫、旋卷或脫水構造、崩移構造、縫合線及生痕化石。從前僅依靠地層位態電測判斷構造容易發生誤判，因為不同的構造可能產生相同的特徵。但是現今利用環孔影像電測，可以獲得更多有助分辨構造的資訊。

Section 11：古水流方向

環孔影像電測可以利用交錯層特徵判斷古水流方向。首先為利於交錯層進行傾角方向的判定，需先做主要層面(通常是頁岩)的傾角方向旋轉，將其傾角歸零，則可以恢復原始沉積時(假設近乎水平)其他交錯層的傾角方向，再由統計結果推論古水流方向。通常交錯層的傾角方向平行古水流方向。

Section 12：蝕洞的量化

通常在碳酸岩儲集層中，可以發現許多蝕洞，原因可能為出露水面後的白雲岩化作用或是成岩作用中交代換質所造成。這些蝕洞若是連通，或能成為提供流體高滲透率的通道，使生產能力增高。環孔影像電測經由與岩心試驗所得的孔隙率校正後，再與岩心斷層掃描後所得之三維資料對比其有效孔隙率，則可以判斷優良儲集層所在區段。

Section 13：風成砂岩

風成砂岩通常具有巨型交錯層，藉由環孔影像電測可以判斷其次層序並古風力方向(通常受行星風帶及區域氣候地形影響，方向性可能變化多端)。

Section 14：河流營力砂岩

河流營力沉積環境又可分為辮狀河系統與曲流河系統，兩者皆可以形成交錯層。其中辮狀河因為坡度較陡，流速較快，易形成河道沙洲，河道沙洲中的交錯層傾角方向大約與河流流向平行。曲流河因為坡度較緩，流速較慢，易形成側向加積之點沙洲，點沙洲中的交錯層傾角方向大約與河流流向垂直。所以透過環孔影像電測分析交錯層層理傾角方向分布特徵可以推論該岩段古沉積環境是河流營力中的那一種，並幫助我們了解沉積物來源方向，以推論可能具潛力儲集岩的

所在。

Section 15：三角洲環境砂岩

三角洲環境具有河海交界的特色，通常由上游至下游可以分為三角洲平原、三角洲前緣及前三角洲等次環境。在主要營力上又可分為河流、潮汐及波浪等三種。所以儲集岩古環境為三角洲者，其環孔影像電測呈現的特徵會最為多樣化。古環境為三角洲平原者易發現煤層、樹根、生痕化石、交錯層與薄層等，若潮汐影響大，其交錯層傾向統計後或可以發現魚骨狀交錯層。古環境為三角洲前緣及前三角洲者易發現生痕化石、底蝕殘留角礫、交錯層、低角度平行層理與波痕等，甚或發現崩移構造，其交錯層傾向統計後通常與古水流方向平行。

Section 16：濱面環境砂岩

濱面環境主要受波浪營力影響，在正常天氣浪基面以上為上濱面，以下至暴風浪基面為下濱面，暴風浪基面以下為遠濱。與三角洲環境相比，濱面環境的環孔影像電測呈現的特徵較單純，大多為中低角度的交錯層、低角度平行層理與波痕，偶可見生痕化石與底蝕殘留角礫(海進殘留)，交錯層傾角方向通常垂直古海岸線。較具特色者為若交錯層傾角方向統計後呈現東西南北各向，且交錯層傾角小，則此很有可能是 HCS(Hummocky Cross Stratigraphy)，便能推論該岩段古環境為下濱面。

Section 17：下切河谷充填砂岩

在海退時期，大陸棚或是大陸棚邊緣容易發生下切河谷，而後海進時下切河谷再充填堆積河流環境、潮汐環境至濱面環境的沉積物。所以在此古環境岩段中環孔影像電測常能辨識到層序邊界。

Section 18：深水環境砂岩

此環境基本上泥多沙少，偶發現的砂岩成因多為水下土石流與濁流營力。環孔影像電測常能辨識到挖蝕面、崩移構造、頁岩角礫、平行薄層、旋卷構造等特徵，或能建立鮑馬序列。

Section 19：環孔影像電測相

課程介紹到目前沒有統一規則，但是同一區域取得之環孔影像電測，可以綜合以上 18 個主題提到的特徵，由解釋者建立「相」以作為各井間對比的目錄。

Section 20：可見光錄像

課程介紹到井下「可見光」錄像技術，目前 Haliburton 公司有提供此服務。主要可以非常直觀的了解井下狀況，但是井下溫度不能超過攝氏 40 度，且泥漿需乾淨。因為諸多限制，目前主要用來觀察了解鑽井工程情況，如套管洩漏、打

撈等。

Section 21：層序地層

本主題內容綜合前 1-18 個主題協助各井間建立更為正確的層序連比關係。

Section 22：流體單位

利用環孔影像電測與岩心校正後所得到的有效孔隙率資料，將地層分段，成為流體單位，可以幫助建立儲集岩模式。

Section 23 與 24：問題討論與學員交流

具體成效

在完成此課程後，立即將本公司在查德礦區施測之部份 FMI 電測資料再行分析，除了再次確認主斷層解釋是否正確外，也更了解電測影像分析的原理。對於電測服務承攬商過去解釋的成果也有更多的認識，也在影像中發現可能為樹根、崩移構造、泥質角礫、徑擴現象、荷重構造、斷層等其它的影像特徵。

另一方面，本公司在宜蘭仁澤地區地熱鑽井工作在即，由於此區域的地熱儲集層皆為板岩，孔隙率低，地熱流體的通道應都為裂隙，所以此區域的地熱鑽井將要進行環孔影像電測，以了解過去因技術較不成熟，而無法詳細了解的井下裂隙面理分布。未來亦可將此資料跟地表地質資料及其它技術資料相結合，以推測未來可能好景區的位置，並勘定之後的探勘井井位。

心得與建議

獲派參加這次的測井資料整合判釋研習，本人感到十分榮幸。正式上課後，與許多學員交談，發現各大國際石油公司皆派員來參加這場所費不貲的訓練課程，足以知道環孔影像電測在石油業界佔有相當重要的地位。

本次共五天的課程，Foulk 講師提供了共 24 個主題數百頁的講義與許多課後習題，內容相當扎實，而講師也將其豐富的經驗傳承給學員。

對於本公司在探勘工作上的運用，最直接的幫助便是在過去鑽井所獲得的 FMI 資料上，加入新的觀念與導入不同的沉積構造解釋，使電測數據可重新獲得更多細節的資訊。特別是針對過往的沉積環境解釋、井下工程應力參數等都能提供更多及更仔細的詮釋。

另外，進行本課程當中發現，背景橫跨地質、地物與工程經驗的解釋人員相當重要，如此才能提出真正增加產量讓公司獲利的解決方案。因此建議本公司在環孔影像電測的解釋可廣納不同領域人才，在任何解釋都不違背地質等實際觀察資料(如：岩屑岩心的岩性判定、震測資料的斷層解釋....等)的最基本的解釋原則下，進行整合性的解釋(Integrated Interpretation)。

本次課程的另一個重點是了解到環孔影像電測連接了岩心與傳統電測解釋的空缺，使各個石油公司在進行金額龐大的鑽井工程及電測資料採集後，能獲得更多更全面有意義的資料，我想這點對於本公司在台灣陸上、海域及海外礦區等皆會有實質的幫助。特別是本公司查德礦區的儲油氣層並非簡單的塊狀儲油氣層，而是以砂泥互層的複雜儲油氣層為主，測井影像詳細及正確的解釋應可提高對儲層的了解。

對於本公司最近仁澤地區地熱工作而言，環孔影像電測對於井下裂隙面理分布的解釋，則更顯必要。上完課後，除了許多觀念與定義得到澄清與改正之外，透過案例的學習過程，對日後儲集層評估有很大的幫助。

此次五天課程較類似整合性的課程，其中有不少單獨章節的重要性就需要數周的課程講解，因此建議本公司可持續派員學習完整且詳細的相關內容。再者，以 Foulk 講師為例，他本身是一位地質學者，在工作階段即投入大量心力於環孔影像電測的研究，這門學科對於儲集層的沉積環境解釋(可進一步推估儲油氣層品質、規模及分布型態等重要資訊)運用已成熟，但本公司較少專人負責此學科，如有專人負責環孔影像電測資料的解釋，對本公司在這方面的專業技術能力可以有所提升。

在完成此次國外實習課程後，本公司已規劃於 107 年辦理「環孔影像電測解釋訓練班」課程，並將以本次課程內容為藍本進行培訓。