

出國報告（出國類別：實習）

永續能源－尋找與評估傳統油氣田 的新契機

服務機關：台灣中油股份有限公司探採事業部
技術評估室

姓名職稱：古月萍 地質師

派赴國家：法國石油研究院訓練中心

出國期間：105年6月04日至105年6月12日

報告日期：105年7月1日

永續能源 – 尋找與評估傳統油氣田的新契機出國報告

	頁次
摘要-----	1
壹、目的-----	2
貳、過程-----	3
參、心得及建議-----	4
一、井測資料量化解釋的關鍵技術-----	5
二、井測資料量化解釋預備工作-----	5
三、純淨砂層的解釋-----	5
四、泥質砂岩的井測資料解釋-----	6
五、整合解釋壓力試驗及岩芯分析試驗資料-----	9
六、查閱岩性、物性、電性及含油氣性之解釋的關鍵技術-----	9
七、利用井測解釋技術為老油氣田尋找且增加新契機的實際案例技術 細節-----	12
八、建議-----	14
肆、致謝-----	14

永續能源 – 尋找與評估傳統油氣田的新契機出國報告

摘要

井測資料量化解釋是尋找和評估油氣的關鍵技術，能提供油氣層或油氣田的精細岩性、物性、電性及含油性特徵，是整合實驗室裡小尺度岩樣及流體樣本分析結果與大尺度震測資料地下構造解釋的重要關鍵技術。在油氣探勘及開發的不同階段，井測資料的應用主要有：地層評估、儲集層靜態描述與綜合地質研究、油氣井檢測與儲集層動態描述與鑽井採油工程。因此，為了有效及準確地尋找與評估傳統油氣田的新契機、尋找老油氣田老井裡尚未被發現或忽略的儲集層與蘊藏量以及更為快速且準確地評估全球探勘或開發案與投資併購案釋放的新礦區的油氣潛力，邁向永續能源之增加自產油氣潛能，特擬「永續能源 – 尋找與評估油氣田新契機」研習計畫，研習主旨在研討井測資料量化解釋的關鍵技術。

壹、目的

在石油探勘開發具體操作過程中，產生的資料多元，包含源自地質普查、地質細查、地球物理探勘、鑽探及井測等，這些都是為老油氣田或全球新釋放礦區再評估、激發新思維及發現新契機的根基資料。而老井的井測資料更是尋找及評估油氣的關鍵。在2014年因公務參與地質調查工作而行經甘肅玉門老君廟油田；玉門老君廟油田是中國最早發現和投入規模開發的油田。玉門老君廟油田自1939年投產迄今已75年，走過輝煌、衰退及再現生機的完整過程。在1996年至2005年為該油田面臨最困難時期；油田產量下降，職工收入低、企業成本最高，玉門老君廟油田正面臨何去何從的一個重大問題。經從井下地質、電測資料去深化地質認識，以激發新思維，再運用傳統鑽採技術，為老油田尋獲新契機，達成穩產增效。在2014年，玉門老君廟油田日產油穩定在450噸，從1970年至今，老君廟油田平均年總遞減率僅1.7%。整體而言，能為老君廟老油田獲取新契機的核心探採哲學為-有創新思維則無報廢油田。

此外，根據Total的經驗方式，其利用油氣田鑽井設計與井測技術的結合，來檢視礦區的過去生產曲線，以確保在未來最長的可能生產期。因此，當礦區進入探採成熟期時，開始採取兩階段策略，先短期調停現有設置，同時對礦區的未來進行預期分析。進一步言之，在生產曲線下降時，第一階段會採取優化可採率的方式，最終，則會利用整合各式地質科學工具來協助重新評估剩餘蘊藏量的位置，再利用各式各樣的技術將其採出 (例如: 注入混合氣、使用多相泵、井下分離技術與注入表面分離劑)。在更探勘後期的階段，才會使用長的水平鑽井或加密鑽井的再工程化方式來開發追加的(保留的)蘊藏量。而建構上述各階段循序漸進式策略的基礎，除了岩石與流體樣本的分析數值之外，很大一部分是源自井測資料量化解釋的細緻技術。

在個人探勘工作經驗裡，工作內容曾涉略台灣海域探勘的震測、井測及岩樣分析資料，以及參與過幾個處於探勘、佐證、開發或生產階段的新礦區讓入或投標機會的油氣潛能技術評估工作。在分析或評估過程中，了解到井測資料量化解釋是尋找和評估油氣的關鍵技術，能提供油氣層或油氣田的精細岩性、物性、電性及含油性特徵，是整合運用實驗室裡小尺度岩樣及流體樣本分析結果與大尺度震測資料地下構造解釋的重要關鍵技術。在油氣探勘及開發的不同階段，井測資料的應用主要有: 地層評估、儲集層靜態描述與綜合地質研究、油氣井檢測與儲集層動態描述與鑽井採油工程。因此，為了有效及準確地尋找與評估傳統油氣田的新契機、尋找老油氣田老井裡尚未被發現或忽略的儲集層與蘊藏量以及更為快速且準確地評估全球探勘或開發案與投資併購案釋放的新礦區的油氣潛力，邁向

永續能源之增加自產油氣潛能，特擬「永續能源－尋找與評估油氣田新契機」研習計畫。

研習主旨在「井測資料量化解釋」。擬探討兩項核心問題：

- 一、查閱岩性、物性、電性及含油氣性之解釋的關鍵技術；
- 二、利用井測解釋技術為老油氣田尋找且增加新契機的實際案例技術細節。

研習計畫預期執行效益如下：

- 一、短期效益：
 - (一) 精進井測資料量化解釋技術；
 - (二) 學習國外專家在增加老油氣田蘊藏量的關鍵地質科學技術。
- 二、中期效益：
 - (一) 建立各油氣田精細的岩性、物性、電性及含油性與分布；
 - (二) 應用至老油氣田的老井以找尋尚未被發現或忽略的儲集層與蘊藏量；
 - (三) 加強老油氣田開發利用；
 - (四) 更為快速且準確地利用井測資料解釋評估探勘開發案與投資併購案的油氣潛力，減少蘊藏量被誇大的情況發生；
 - (五) 更有效計算同一礦區在不同開發方案下的最終可採蘊藏量，以選出最優化生產方案。
- 三、長期效益：

增加自產油氣潛能。

貳、過程

- (一) 研習日期: 105 年 6 月 4 日至 105 年 6 月 12 日，共計 9 日。
- (二) 研習內容: 研習內容主要以井測資料量化解釋為主，結合岩芯試驗數值、泥漿測錄資料與壓力試驗資料，描述厚層儲集層的岩性、物性、電性及含油氣等特性，再進階至薄層儲集層的描述。透過案例的實作與研討，來強化尋找與評估油氣田新契機的技術。探討岩性、物性、電性及含油氣性之解釋的關鍵技術，以及利用井測解釋技術為老油氣田尋找且增加新契機的實際案例技術方法。
- (三) 出國行程: 茲將出國行程、研習內容、研習主旨與探討的核心問題整理如表一所示。

研習地點在大巴黎呂埃馬爾松(Rueil-Malmaison)城鎮的法國石油研究院訓練中心。講師是法國石油研究院邀請的資深岩石物理顧問師 Gonzalo Ruiz Cebrian 博士。Gonzalo Ruiz Cebrian 博士在業界

已有超過 20 年的經驗，其專長為地質沉積學、層序地層、電測分析、構造-沉積學、量化計算、滲透率與毛細壓分析等。曾服務於 Repsol、Schlumberger、Gessal 及 U. Wisconsin-Madison 等公司，目前於法國 CVA Engineering 擔任顧問並在法國石油研究院訓練中心擔任岩石物理進階課程訓練講師。Gonzalo Ruiz Cebrian 博士曾評估的油氣田位置座落在西班牙、北海、巴基斯坦、委內瑞拉、菲律賓、北美、北極及北非等地區，油氣田類型包含傳統與非傳統。此外，參與進階岩石物理訓練的學員總計有 10 位，其餘九位學員裡，兩位來自法國 Total 公司、兩位來自非洲尼日、一位來自瑞士、四位來自法國較小型的上游油氣公司。

表一、出國行程。

	日期	時間	研習內容	研習主旨/探討的核心問題
1	6/4 6/5	啟程(台北-巴黎)		
2	6/6	9:30-12:30 13:30-17:00	井測資料量化解釋預備工作: 內容包含岩石物理觀念與關聯，資料品質管理，岩層與儲集層的決定，資料的環境校正。	1. 井測資料量化解釋的關鍵技術。 2. 查閱岩性、物性、電性及含油氣性之解釋的關鍵技術。 3. 利用井測解釋技術為老油氣田尋找且增加新契機的實際案例技術細節。
3	6/7	9:00-12:30 13:30-17:00	純淨砂層的解釋: 研習內容包含流體界面的決定，儲集層骨架與流體特徵的決定，岩性、孔隙率、流體類型、油氣水的飽和度的決定。	
4	6/8	9:00-12:30 13:30-17:00	泥質岩層的井測資料解釋: 研習內容包含泥岩對井測工具響應的影響、泥岩特徵的決定、油氣對井測資料的影響與校正方法、油汽水飽和度的決定、井測解釋與岩樣解釋的比較以及淨砂與儲集層厚度的決定。	
5	6/9	9:00-12:30 13:30-17:00	整合解釋壓力試驗及岩芯分析試驗資料。	
6	6/10	9:00-12:30 13:30-15:00	習題練習與研討。	
7	6/11 6/12	返程(巴黎-台北)		

參、心得及建議

茲將參與此次研習訓練的心得，依據研習目的(表一)，將學習到的關鍵技術

分別予以敘述，並提供兩點建議。分述如下：

一、井測資料量化解釋的關鍵技術

井測資料量化解釋的關鍵技術，簡言之，是在各資料數值的品管以及解釋者的觀念。否則，量化解釋不但被錯誤資料誤導，量化解釋結果也將誤導後續作業。關鍵技術包含，

- (一) 取得的各式資料是否可信，是否落實真實資料的校正，例如利用泥漿測錄、岩芯分析、岩屑、油氣徵與螢光試驗資料等校正電測資料。
- (二) 找尋岩石物理參數時，腦海裡需要有影像與想法，才能選出物理參數。
- (三) 選出的物理參數是對或錯，須由駐井地質資料描述、泥漿測錄、岩屑、油氣徵、特殊岩芯分析試驗等綜合資料的比對，方能判斷選取參數的對或錯。比對後，發現有誤，則須重新尋找對的參數。
- (四) 須從地質根基著手。雖然，透過公式與圖表查詢，可以得到或讀到數值，但是，數值背後的意義，須要解釋者與查核者從地質角度思維，否則，會有問題並出錯。
- (五) 軟體雖然可以做出視覺化圖，但是，須留意其真實性。

二、井測資料量化解釋預備工作

在進行井測資料量化解釋之前，須具備各式知識。包含電測原理、井場鑽井工程與電測實際操作、幾何關係與電測工具的響應。分述如下：

- (一) 了解各電測工具量測原理和限制。
- (二) 掌握駐井現場的鑽井工程和電測實作情況。包含鑽井工程數據、泥漿成分、井徑、電測工具的設計與幾何型態、現場電測工具施測的拉提速度是否合宜、現場是否有在固定測深時從事工具校正作業、是否有數據被人為刪除等情況。
- (三) 利用上述訊息做綜合判斷哪些工具在那些層段可以使用或不能使用。
- (四) 具備岩礦、沉積作用、成岩作用與地體運動等知識。
- (五) 了解且腦海裡須有實際或假想的井測工具與岩層組構的幾何型態。
- (六) 具備岩石、礦物與流體的電性、物性基礎認識與不同尺度的組構特徵觀念。
- (七) 試想鑽井工程參數對組構特徵與岩層電性響應的可能影響。
- (八) 試想岩層或泥漿的氫離子與氯離子可能對電測工具響應的影響。

三、純淨砂層的解釋

經典的 Archie 公式簡單表示了純淨砂層的岩層電阻率、孔隙率、含水飽和度與水電阻率的關係。但是，輸入錯參數，得到的結果也會錯。此

外，孔隙率又受膠結程度、岩礦潤濕性與幾何空間形貌(簡稱膠結參數 m) 控制，含水飽和度又受飽和度參數(n)影響，岩層的岩性參數(a)會影響岩層電阻率、孔隙率、含水飽和度與水電阻率。因此，三個參數的決定，也影響 Archie 公式的整體演算，與演算的水飽和度。演算得的含水飽和度出錯時，會讓水層誤判為油氣層，或是誤以為油氣層是水層而漏掉此油氣層。在各參數決定過程中，須注意如下事項：

- (一) 依據礦物組成，選取適宜電測工具做量化解釋的數值根據。
- (二) 膠結參數(m)的品管，須要與駐井地質資料描述、泥漿測錄資料、岩屑、油氣徵、特殊岩芯分析試驗等綜合資料比對，方能判斷選取參數的對或錯。檢視後，發現有誤，則須重新找尋對的參數。
- (三) 儲集岩的真實情況，膠結參數(m)與含水飽和度(n)並不是永遠都落在軟體建議的數值範圍。在一些案例裡，其 m 值與 n 值為 4-6，但是使用這設定數值的條件是，必須有岩礦組成與組構的相關信息以及有良好數值品管作為支持。
- (四) 砂層存在裂隙時，須排除人為裂隙，並為自然裂縫與被裂縫截切的岩層，各自選取適宜的膠結參數(m)。在使用 Pickett Plot 決定 m 數值時，亦然。如果砂層存在自然裂隙，卻只放一個 m ，此時，許多信息會失去與誤導。
- (五) 受膠結、岩礦潤濕性與幾何空間形貌(直接影響電流流動路徑, m) 影響的孔隙率若有良好的品管控制，則可利用孔隙率與滲透率的交會圖，來了解滲透率。否則，得到的滲透率亦未受品管保證，進而影響油氣采收率的估計。

四、泥質砂岩的井測資料解釋

泥質砂岩的井測資料量化解釋，須要從了解泥岩體積、有效孔隙度與岩芯分析試驗(如孔隙率與滲透率)等信息來著手。在薄層砂岩環境裡，須知道這段砂為薄層砂，才可能做正確解釋。反之，則無法做正確的解釋。茲將泥質砂岩井測資料量化解釋的關鍵，整理如下：

- (一) 須了解井測工具與岩層組構的幾何型態。
- (二) 利用岩礦組成及產狀，了解及校正電測曲線數值。
 1. 須對礦物有所了解，才能做較為正確的計算。而最好的方法是對傳統岩芯、井壁岩芯、岩屑樣本進行觀察、分析與比對。
 2. 頁岩若含有油母質，則電阻率會高。因此，若見到高電阻，即以為含有油氣，是不完全適用的。因為，經驗顯示，非儲集岩卻也有高電阻率，是因為泥質砂岩所致。因此，在薄互層，見到高電阻率，須要綜合全井眼地層微成像、電阻率、岩層傾角、岩性、泥漿特性、孔隙率等信息，以思維背後含意。
 3. 傳統的井測解釋方法，會利用電阻率隨深度的變化關係，來

界定油氣產層的厚度。然而，砂岩若含有雲母、重礦物、綠泥石、黃鐵礦等，會導致油氣層呈現低電阻率，但實際上此段為產油的砂岩層。此外，油氣的電阻率高，水的電阻率較低。然而，利用電阻率數值無法區分鍵結水。因此，若砂岩存在鍵結水，油氣層的電阻率會偏低，會被誤判為頁岩。因此，若對這段岩層，腦海無泥質砂岩的觀念與組成的觀念，則這段儲集層會被忽略，以為是水層，實際卻不然。

4. 提醒，在市面上，有工具軟體可根據不同電測曲線進行礦物組成與比例的演算，但是，卻發現，其計算之結果與岩芯實際觀察不符合的情形。軟體計算複合礦物模型，其依據各電測曲線以及給定的岩石礦物組分在各自 100%時應該有的岩礦物理參數反應數值，來為各組分該有的體積進行演算，過程裡，有許多演算者無法控制的參數，須要重複進行演算試驗。因此，對組成礦物的錯誤認識，會導致含水飽和度誤判與忽略油氣層。
5. 須做好岩芯試驗分析的品管，或是找具知名度與品管保證的岩芯分析試驗實驗室進行分析。因為，不同實驗室的品管控制有別，一些產生的分析數據結果可能無實質意義，可能進而誤導電測校正。

(三) 泥質砂岩的含水飽和度，是與有效孔隙率及頁岩體積的決定息息相關。在使用 Archie 公式為泥質砂岩進行水電阻率計算時，電阻率會受到頁岩體積影響，因此，若能了解頁岩體積，則可以幫助了解算得的水電阻率是否可信。反之，若頁岩體積無法控制，進一步利用其演算得到的含水飽和度、含油飽和度或含氣飽和度也都會不可信。

(四) 在為頁岩進行解釋時，常使用的電測工具為伽瑪射線、自然電位、岩性、密度、中子與電阻率等。儲集岩的孔隙率，係先以密度、中子及聲波電測工具量測值進行計算，再考量頁岩的體積，並計算儲集岩有效孔隙率，目的是扣除頁岩水的體積。然而，鍵結水、毛細水這一部分，卻無法被扣除，因此，利用密度、中子及聲波電測工具量測值計算得到的有效孔隙率，會比真實自由流體所佔的體積來的大，進而影響含水飽和度的估計。這是，進行評估須注意的。

若該井應用了核磁共振電測工具，可較準確地區分並給定含有自由流體(可流動流體)的孔隙率體積，此時，無須透過計算的頁岩含量來演算有效孔隙率，而泥質砂岩的頁岩含量與有效孔隙率無須知道，也無妨。反之，若無核磁共振電測工具時，須注意，利用各式電測曲線演算得到含水飽和度，均會包含束縛流體，導致

含水飽和度會視岩礦的潤濕性為親水性(親油性)而被高估(被低估)。

(五) 泥質砂岩的頁岩體積或泥岩體積的決定，可以從伽瑪射線、自然電位、電阻率、中子孔隙率、密度-中子孔隙率、密度-聲波電測等方法計算。利用頁岩體積或泥岩體積，與頁岩或泥岩孔隙率，以及泥質砂岩總孔隙率，則可算得泥質砂岩的有效孔隙率。

1. 在眾多的計算方法裡，對於頁岩體積或泥岩體積的決定，較建議使用的方法有二：線性法的伽瑪射線法以及密度-中子孔隙率法。因為，目的在探究儲集岩，且基於井測資料數值的品質管控難易程度。因此，建議使用上述兩種方法進行計算，再思維岩層的孔隙率，並將其內部的流體性質一併納入，進行思維。

2. 在不了解岩石礦物特徵時，伽瑪射線也不建議使用。

3. 在運用密度-中子作圖法時，須綜合駐井地質描述、岩屑分析、泥漿黏滯性與密度等信息，為計算之泥質含量結果與真實信息做交互比對，若兩者不符合，則調整計算過程中使用的參數。

4. 在密度-中子孔隙率演算法裡，若有必要，則建立各儲集層的三端點(100%砂岩、100%頁岩與 100%流體)密度-中子孔隙率關係圖，即可思維落於三端點之中的資料點數值意義。例如，含有不同成分的油或氣，資料落點會有何趨勢。倘若有泥漿入侵儲集岩，流體端點資料會如何改變等，此時，須要從泥漿成分、添加物與密度，以及若岩層被泥漿入侵，中子孔隙率數值會變小等信息，綜合理學概念，著手思維。若三端點思維模式錯誤，會直接影響其決定的孔隙率。

5. 在密度電測工具的解釋，須考量岩性的控制。例如長石的密度較輕，不含油氣的長石砂岩呈現的輕密度特徵，會被誤以為是含有氣的砂岩。反之，含有黃鐵礦或重礦物或雲母的砂岩，其密度較大，含有油氣時，會被忽略。

(六) 對於泥質砂岩含水飽和度的計算，Simandoux、Hossin、Poupon 及 Juhaze 等曾提出不同公式，這些不同公式的主要項次均為泥岩組成成分，因為，泥岩成分控制了總表面積與黏土的水鹽度。Simandoux 係應用中子電測數值輔助含水飽和度的決定。和其它計算泥質砂岩含水飽和度的公式比較，在 Simandoux 公式，可以被控制的參數較多。因此，利用 Simandoux 公式計算得的含水飽和度，也會有較好的管控。因此，在為泥質砂岩計算含水飽和度時，建議選用 Simandoux 公式作為計算公式。

(七) 關於膠結參數(m)，理論上，利用岩層電阻率與孔隙率作圖法

-Pickett Plot，資料群左下側的切線斜率即為 m ，但是若能有實驗室的實際 m 數據，會較佳。與純淨砂岩計算經驗一樣，若無良好品管控制下決定的 m 數值，代入 Simandoux 公式計算，得到的泥質砂岩含水飽和度，也無實質代表意義。

五、整合解釋壓力試驗及岩芯分析試驗資料

岩芯分析試驗資料有助於了解真實岩層束縛水體積、滲透率及孔隙率等岩石物理參數。再根據這些真實數值，為電測演算參數做校正。

(一) 在流體注入岩芯並量測所需壓力數值的特殊岩芯分析試驗裡，滲透率愈低的岩石，初始注入的壓力需愈大，突破這初始注入壓力，流體才會開始進入岩石，並進行充注。因此，試驗的結果會顯示含水飽和度與注入壓力的變化關係。透過關係圖，可以標示出最初進水壓力(entering pressure)以及該岩石的含水飽和度極限。

1. 含水飽和度極限值與數值 1 的差值，即代表不能產出的鍵結水(束縛水)體積。
2. 最初進水壓力(entering pressure)與岩石的滲透率有關連，代表流體是否容易進去該岩石。
3. 可搭配岩石薄片照片，了解孔隙樣式與孔喉大小。

(二) 通常不同實驗室的品質管控有差異，會導致同一樣本分送至不同實驗室卻有不同數值結果的情況。因此，使用特殊岩芯分析試驗數值為井測量化解釋進行校正時，須注意到其實驗室的管控以及分析結果的可信度。因為，岩芯分析試驗數值，會影響井測量化解釋的校正。

(三) 岩芯分析試驗結果和電測計算結果進行比較時，須考量鑽井採集岩芯施作時，產生的人為裂隙，或是岩芯從深部地層至淺層地表因為壓力釋放而生成的裂隙，及其對岩芯分析數值的影響。

(四) 利用泥岩體積可計算泥質砂岩有效孔隙率，但計算數值須要有品管控制與校正。

利用電測曲線計算得的含水飽和度數值，其包含不可產出的鍵結水(束縛水)體積，因此須扣除這一部分的流體體積。

若電測量化計算得到的含油飽和度高，卻未見到油，則須和上述岩芯分析試驗結果進行比較，思維是否是鍵結(束縛)流體。

(五) 核磁共振電測工具，可較準確地區分並給定含有自由流體(可流動流體)的孔隙率體積，但若利用特殊岩芯分析試驗的壓力試驗數值，校正由核磁共振電測工具自動判別的時間截斷值，會更妥當，以讓核磁共振電測工具判斷的自由流體特徵與泥漿測錄特徵相符合。

六、查閱岩性、物性、電性及含油氣性之解釋的關鍵技術

原則上，查核者須具有井測資料量化解釋的所有知識與技術。除了，

上述知識或技術之外，須特別注意下列事項：

- (一) 對於查閱的資料是否掌握下列信息：先前進行量化解釋者的聯絡方式、敘述當時計算參數選取過程的報告。
- (二) 依據查核的儲集層岩性，決定查核須注意事項。
例如，對薄砂層須注意電測工具的幾何排列、對緻密砂岩須小心其孔隙率數值的選取即便僅有些微差異，得到的含水飽和度差異會很大。
- (三) 注意含水飽和度、有效孔隙率、含油氣層的厚度的決定是否合宜。判別的依據，必須具有上述一至六項的各項知識，以進行交互驗證。
- (四) 在時間有限時，利用電測原始資料，以手持計算機的方式與理論圖表，來計算岩石物理參數，並和樣本值交互驗證，來幫助辨識所得參數值的對或錯。並透過手算方式，思維電測軟體計算可能出現的錯誤。
- (五) 注意岩石的滲透率與潤濕性，會影響油氣採收率與性能動態。
 1. 注意組成岩礦的潤濕性特質與孔隙表層特徵。潤濕性會影響油氣採收率與性能動態。因此，若只看含水飽和度，會錯估產油量。
 2. 如果為親油性，那些鍵結油將無法產出，只能產出被封閉在孔隙內可以自由流動的油，因此，含水飽和率極低，電阻率很高，油卻不能產出。因為，那些油被親油性岩礦表層吸附。
 3. 若為親水性，這些鍵結水無滲透率，會是束縛水。
 4. 岩石孔隙的表層若不平整，也會影響潤濕性與滲透率。若不了解，則無法進行控制。
 5. 滲透率的估算，可以透過 **Wyllie-Rose**、**Timur** 及 **Morris-Biggs** 等提出的公式，進行滲透率的估算。這些公式係利用有效孔隙率進行滲透率的計算。若是利用一口井的不同段砂岩進行滲透率的計算時，可以嘗試利用不同公式，來為不同段砂岩進行計算，並和岩芯分析試驗資料結果比較。
 6. 利用聲波、密度或中子電測數值計算得的有效孔隙率，均包含鍵結水的體積，這類型水並無滲透率可言，因此，若是將算得的有效孔隙率，代入上述 **Wyllie-Rose**、**Timur** 及 **Morris-Biggs** 等公式計算滲透率會有問題。
 7. 若是有核磁共振電測量測值，則可以準確地僅提供自由流體(可產出流體)的體積比例，因此，代入上述 **Wyllie-Rose**、**Timur** 及 **Morris-Biggs** 等公式計算得到的滲透率，會近似實際值。通常，會利用岩芯分析試驗得到的滲透率數值，來校正核磁共振電測計算的滲透率數值。

8. 束縛水的飽和度是利用壓力調整控制下的岩芯分析試驗而得；若是以電測曲線計算得的束縛水飽和度僅為假想值。也因此，利用聲波、密度或中子電測數值計算得的含水飽和度若為 10%，應該都為鍵結水；若為 15-18%時，或許可以代入上述 Wyllie-Rose、Timur 及 Morris-Biggs 公式進行滲透率計算；然而，由於泥質砂岩的原因，電測計算也只能解至含水飽和度為 40%，因此，含水飽和度若為 40%是較可能的。雖然，若有岩芯分析試驗資料則可能可以信任分析試驗的滲透率數值，但是前提必須為實驗室有好的品管。

(六) 須為油層計算決定參數的截斷值。截斷值的決定，須要利用深度剖面的數值變化來進行檢查，並搭配泥漿測錄資料，否則，可能會少截切或多截切了儲集岩，而高估或低估油氣量。

1. 這些截斷值共有三項:

決定淨砂岩厚度的頁岩體積截斷值。

決定淨儲集層厚度的頁岩體積及有效孔隙率的截斷值。

決定淨含油氣層厚度的頁岩體積、有效孔隙率及含水飽和度的截斷值。

2. 每一口井的每一油氣層之計算，均會顯示如下參數: 總厚度，淨厚度，淨砂比例，厚度與有效孔隙率乘積，厚度、有效孔隙率與含油飽和度乘積，平均孔隙率、平均水飽和度，以及平均泥岩含量。須小心平均孔隙率、平均水飽和度以及平均泥岩含量的意義，如果屬於鍵結油(束縛油)，是不能被產出的油。

3. 結合連井線與構造剖面圖，為上述數值進行綜合模式討論。

(七) 檢查確定性模型的參數

每一口井的每一油氣層的確定性模型的結果，會以多條曲線顯示各參數隨深度的變化。這些曲線包含伽瑪射線，岩石骨架密度與岩芯分析的岩石密度，電測計算的滲透率與岩芯分析的滲透率，含水飽和度與水電阻率與溫度，有效孔隙率及岩芯分析試驗之孔隙率，頁岩體積與有效孔隙率，產層與儲集層的頂部與底部深度標示。判別的依據，必須具有上述一至六項的各項知識，以進行交互驗證。

結合電測計算結果、岩芯試驗結果與 J Function，可以為這儲集岩建立一個屬於這儲集岩的模式或是找到屬於它的模式。電測資料的量化計算可以提供 J Function 裡的孔隙率、滲透率、以及利用含水飽和度計算得毛細壓。實驗室的傳統岩芯試驗與特殊分析試驗可以得到孔隙率、滲透率、毛細壓、流體接觸角度和張力。

(八) 地溫梯度

1. 要了解石油系統之生油岩成熟的時間和位置，須從古地溫梯度的了解來著手。

在地層溫度與古地下溫度方面，每一層岩層的熱導率與其地溫梯度的乘積，即為熱流值；換言之，若能對沉積盆地的古熱流有合理假設，則可以利用盆地岩層組成成分的熱導率，計算任一古時間點的地溫梯度與古地下溫度的分布。

2. 現今地層溫度的選取，對二氧化碳封存作業與水電阻率的計算，會有直接影響。

對於一地區的地溫梯度，可以利用許多口井的地溫與深度的關係來建立。然而，資料點會是分散的，建議在進行井測資料量化計算時，選取較高的地溫梯度曲線來做計算。因為，泥漿通常會讓地溫流失一部分。

- (九) 在 MDT 流體樣本方面，須有水泥封阻品管資料。若水泥未封阻好，在特定層位採集的 MDT 流體樣本，其流體可能來自其它未封阻好的非預計採樣地層，導致樣本無實質意義。

對於井孔水泥的封阻品質，可以利用井內的微震測技術，來進行了解。

- (十) 若經過品管控制後，含水飽和度仍與泥漿測錄不相符合時，可能原因為含水飽和度的計算仍不夠好，或是儲集岩未被油填充，而是油移棲過去了。

七、利用井測解釋技術為老油氣田尋找且增加新契機的實際案例技術細節

- (一) 須從岩性及礦物觀點著手，思維電阻率、密度等特徵，來尋找被忽略的油氣層。例如，低電阻油氣層、泥質砂岩

1. 低電阻油氣層

(1) 泥質砂岩

- 低電阻油氣層的主要形成原因，是泥質砂岩裡的黏土。泥質砂岩裡的黏土可以形成在沉積當時或是沉積之後。這些黏土在岩層裡的產狀，可以為層狀泥岩、分散黏土、具結構構造特徵的黏土(例如充填在生物鑿洞生痕構造裡的黏土)、孔隙充填、礦物表層的襯裡、黏土岩岩屑顆粒等。
- 在泥質砂岩裡，除了須注意到含油氣層的低電阻率特徵之外，若算出含水飽和度為 70%、含氣飽和度為 30%，此時，須想到，無法利用傳統方法將頁岩裡的氣作產出，僅可生產砂岩裡的氣，而這砂岩可能是薄層砂岩。此時，若能夠有核磁共振電測數據，則可以分辨頁岩及砂岩之邊界面深度位置以及薄砂岩層內的自由

(可生產)流體體積。

(2) 特殊礦物組成的砂岩

若砂岩裡含有火山灰、黏土、黃鐵礦、雲母等導電性高的礦物，若未留意到這些礦物的存在和影響，則一些油氣層會被忽略。

2. 特殊礦石組成的砂岩

(1) 以深度剖面顯示密度曲線及中子孔隙率曲線交會圖，辨識油氣時，須要留意岩石的礦物組成、礦物密度及真實岩石密度值，真實岩石密度會影響交會圖交錯距離為寬或窄，而忽略一些油氣層。例如，碳酸鹽岩的密度為 2.71g/cm^3 ，石英砂岩的密度為 2.65 g/cm^3 ，將密度曲線與中子孔隙率曲線放置在一起，進行綜合分析時，會發現，在砂岩的交錯距離較寬，在碳酸鹽岩的交錯距離較窄甚至密合在一起。此時，建議搭配電阻率曲線與單位距離聲波傳播時間曲線，來辨識這段碳酸鹽岩是否有被忽略的油氣層或是其油水界面位置。

(2) 雲母的密度重($2.8\text{-}3.5\text{ g/cm}^3$)、導電性高且含有放射性鉀元素，若砂岩含雲母量 $10\text{wt}\%$ ，則會影響電阻率值，在含有油氣時，深層電阻具低電阻特徵且伽瑪射線數值高，而成為被忽略的油氣層。對於含有黃鐵礦的砂岩亦然，黃鐵礦密度為 5.01 g/cm^3 ，砂岩含 $5\text{wt}\%$ 的黃鐵礦時，在含有油氣時，深層電阻具低電阻特徵，而成為被忽略的油氣層。

(二) 從細緻地質思維模式來著手。例如，

1. 從岩石的沉積作用及成岩作用觀點著手，並思維細緻地層對比。
2. 將多口井計算的岩石物理參數與岩芯分析試驗測得的物理數值 (例如毛細壓力、滲透率、孔隙率、相對孔隙率、水的鹽度、含水飽和度等) 疊置在平面構造圖與構造剖面圖上，進行整體的綜合思維。
3. 整理各沉積相儲集岩層的毛細壓力與含水飽和度試驗結果，進行該區儲集岩、沉積相與構造部位的綜合分析。
4. 利用電測量化計算得到的含水飽和度隨鑽深變化的剖面，思維油水界面、沉積相、構造部位、毛細壓力與含水飽和度變化的含意，以及思維含水飽和度截斷數值的選取是否合宜。

(三) 利用新數據結合既有思維模式尋找被忽略的油氣層。例如，

1. 核磁共振電測費用昂貴，卻可以選擇幾口井施測核磁共振電測進行測量，再利用連井線對比方法，校正未施測的井孔電測資料。

2. 元素俘虜譜井測(ECS)工具通過測量地層元素的含量，提供精確的地層岩性及礦物組分，可以計算岩石密度，瞭解頁岩類型，可以讓井測解釋更為準確地計算頁岩含量及含水飽和度。然而，因其施測費用高，在幾口井進行施測即可。

八、建議

- (一) 提高或維持自有實驗室或各作業流程與數據的品質管控。資料查核亦從數據的可信度為始。雖然，軟體可以快速做出視覺化圖與數字，但是，看圖的人或聽故事的人，須留意其真實性。
- (二) 與資深專家研討習得技術的可應用空間，以應用至既有油氣田與老井。從建立各油氣田精細的岩性、物性、電性及含油性與分布來著手，地質人員反覆查看對比資料，對大量井測曲線進行分析、試驗及校正，結合對地層老井的重新認識，思維油氣移聚模式，嘗試找尋尚未被發現或忽略的儲集層與蘊藏量。再據上述細緻地質特徵思維將油氣產出的方法。以期未來達成計畫之中、長期效益。

肆、致謝

本次研習承蒙經濟部國際合作處與台灣中油股份有限公司全額補助研習費用，方得順利成行圓滿完成任務，僅此申謝。

此外，特別要感謝探採研究所翁所長榮南的推薦、探採事業部的支持、法國石油研究院訓練中心地質科學儲層工程師 Valerie Bernard-Esteves 的協助、講師 Gonzalo Ruiz Cebrian 博士的經驗傳授，在桃機停電與巴黎地鐵罷工期間提供服務的所有人員，令此次訓練順利進行，獲得成效。同時也要感謝參與本次進階訓練的所有學員，由於學員的踴躍提問，使得這次訓練能夠充分討論岩石物理實務經驗，並充分交流井測知識及技術應用，對於未來探勘及評估業務的進行，具有高度之參考價值。最後，感謝本公司曾教導職電測原理及計算和使用的幾位不具名退休前輩。僅在此深致謝意。