

台灣中油股份有限公司人員從事兩岸交流活動報告書

報告書

參加「裂縫儲層與非傳統資源技術」

研討會

服務機關：台灣中油公司 探採研究所

姓名：古佳艷

職務：地球物理探勘師

出國期間：中華民國 108 年 9 月 1 日至 9 月 4 日

報告日期：中華民國 108 年 9 月 18 日

摘 要

本次出國計畫之執行為因應台灣中油公司探採研究所規劃「地物探勘技術相關研討會」之任務，參加國際探勘地球物理學家學會（Society of Exploration Geophysicists, 簡稱 SEG）與中國石油勘探開發研究院西北分院共同主辦之「裂縫儲層與非傳統資源技術研討會：大數據時代的機遇與挑戰」，會議舉辦地點為大陸甘肅省蘭州市，舉辦日期 9 月 2 日至 3 日，為期兩天。

本次大會討論主題主要聚焦於裂縫儲層與非傳統資源的技術，口頭論文發表 34 篇，海報論文共 13 篇，關注議題涉及利用整合型資料（包含震測逆推或震測屬性分析方法）探討裂縫或非傳統儲層的儲集岩特徵及孔隙內流體特徵、裂縫與斷層的偵測技術的改進、裂縫與斷層的發展模式研究，以及利用不同演算法分析裂縫或流體系統。參與本會吸收不少報告者的最新研究進展。另大會於第一天下午安排參訪中國石油勘探開發研究院西北分院的幾個重點實驗室：油藏描述重點實驗室、物聯網重點實驗室、數據處理中心。由於中石油研究院西北分院因其地理位置之重要性，過去 30 多年肩負中國西部內陸盆地的探勘與開發研究，對於裂縫與緻密油氣藏類型的技術已研究相當久，故油藏描述實驗室的規劃與設備相當值得我們做為參考。

裂縫與非傳統儲層為本公司較少參與探勘的類型，卻也是未來必然趨勢。參加本次會議能了解與會專家對裂縫及非傳統儲層探勘的最新相關技術及未來發展重點，提升個人及公司視野。此項出國計畫亦獲得 108 年度石油基金計畫「查德 BCOIII 礦區東部區塊油氣潛能評估」之經費補助，感謝准予執行。

目 錄

| | |
|-------------------------------|-----|
| 摘 要..... | ii |
| 目 錄..... | iii |
| 一、目 的..... | 1 |
| 二、過 程..... | 2 |
| (一) 參加裂縫儲層與非傳統資源技術研討會..... | 2 |
| (二) 參訪中國石油勘探開發研究院西北分院重點實驗室... | 7 |
| 三、具體成效 | 16 |
| 四、心得及建議 | 17 |

參加「裂縫儲層與非傳統資源技術研討會」

一、目的

本次執行出國計畫是為因應台灣中油公司探採研究所規劃「地物探勘技術相關研討會」之任務，於9月1日至4日赴大陸甘肅蘭州市參加由國際探勘地球物理學家學會（Society of Exploration Geophysicists, 簡稱SEG）與中國石油勘探開發研究院西北分院（RIPED, PetroChina）共同主辦之「裂縫儲層與非傳統資源技術研討會：大數據時代的機遇與挑戰」，會議為期兩天。

本次會議地點舉辦於甘肅省蘭州市中石油勘探開發研究院西北分院（以下簡稱西北分院）園區的石油科技賓館。中石油西北分院因其地理位置重要性，過去30多年肩負中國西部內陸盆地的探勘與開發研究，其研究領域包含岩性地層、碳酸鹽岩、前陸逆沖斷層帶、古潛山(*)。隨著油氣資源的減少和開發成本上升，傳統油氣探勘均將面臨挑戰，此會議討論之主題為裂縫儲層與非傳統儲層，與西北分院的研究成果有密切關連；而裂縫儲層與非傳統儲層為本公司比較少參與探勘的類型，卻也是未來探勘趨勢。此會議細部議題也是自地球物理技術層面著手，希望解決儲集層甚至孔隙內流體的識別方法。希望藉由參加本次會議，能了解與會專家對於裂縫及非傳統儲層探勘的最新相關技術及成果，提升油氣探勘人員的視野。

*資料來源：中石油新聞中心-石油商報 (2018-11-07)

<http://center.cnpc.com.cn/sysb/system/2018/11/06/001709756.shtml>

二、過 程

(一) 參加裂縫儲層與非傳統資源技術研討會

由於大陸已探明的油氣田約之儲集層有 60% 為裂縫相關之儲層(包含碳酸鹽岩、碎屑岩、火山岩)，因此大陸油氣探勘機構對於裂縫儲集層的預測與識別的技術已研究相當久，而本次大會討論主題主要聚焦於裂縫儲層與非傳統資源的技術，口頭論文發表 34 篇，海報論文共 13 篇，相關議題涉及利用整合型資料(包含震測逆推或震測屬性分析方法)探討裂縫或非傳統儲層的儲集岩特徵及孔隙內流體特徵、裂縫與斷層的偵測技術、裂縫與斷層的發展模式研究及利用不同的演算法來偵測裂縫或流體系統等。以下分述參與會議後對各主題的心得整理。

1. 目前世界油氣田開發情勢及非傳統探勘開發策略

中石化公司領導人 Jiajie Chen 分享世界油氣田開發情勢及非傳統探勘開發策略，(1) 傳統 (conventional) 資源部分，在陸上地區仍有成熟的油氣田，可重新進行探勘開發活動；淺海油氣田近年來已較少新的發現；深海油氣田的生產開發較具高風險、需要大筆資金、資金回收期長、且高峰期可能已過。隨著水平或多期側向鑽井、液裂技術的進展，未來幾年非傳統 (unconventional) 資源油氣開發仍然相當有前景。(2) 在美國 Permian Basin 及東北美地區仍有具經濟價值的凝結油田。但值得注意並非所有的頁岩油氣田儲集層都是”真正的頁岩”，有部分偏向”傳統儲集層”，但須使用”非傳統”方式生產開發；要採用密集、滾動式生產開發策略並創造更多現金流；在緻密層必需以水平鑽井及多期液裂 (multi-stages fracturing) 進行生產開發。(3) 對於非傳統油氣田潛能評估，關鍵點為整合所有資料，除了傳統資源探勘的資訊，如區域地質、沉積環境、構造、沉積相，還需考慮有機物成熟度、流體類型、流體是否可流動、有機物富集度、岩石脆性等，且需整合岩心分析、岩石物理分析、震測逆推後岩性分布、裂縫分析、盆地分析、油母質類型分析、有機物成熟度分析等分析結果，提供至

3D 儲集岩建模，最後才能最佳化水平鑽井與完井設計。

2. 利用震測資料預測裂縫技術的發展趨勢

中國石油西北分院 Wuyang Yang 博士談論自 2000 年起至今隨著震測採集技術的進步，推動裂縫預測技術的快速發展。震測資料裂縫預測技術的發展趨勢的演變為：重合後屬性（post-stack attribute）→重合前方位屬性（pre-stack azimuthal attribute）→方位各向異性（azimuthal anisotropy）→多尺度（井資料的微觀尺度、中等尺度、震測資料大尺度）聯合解析→裂縫建模→複雜裂縫網絡→裂縫評估。大方向均從定性至定量分析；從重合後至重合前震測資料。

目前裂縫識別與裂縫評價，仍存在幾個關鍵問題需要解決：(1)裂縫參數的定量預測問題；(2)裂縫儲層預測多解性問題；(3)裂縫與孔隙度、滲透率關係問題；(4)裂縫儲層的含油氣性問題；(5)裂縫體系的連通性問題；(6)裂縫儲層描述與建模問題。具體來說目前常用的儲層滲透性評估方法，是透過重合後震測逆推（seismic inversion）得到的波阻抗（P Impedance），經線性模擬求得孔隙度參數，再透過線性模擬求得滲透率而進行三維資料體的滲透率評價。但是震測得到的參數之間缺乏直接的物理關係，並非建立真正準確的計算模型；另外孔隙度、孔隙結構型態亦同時會對速度和滲透率造成影響，因此孔隙度與滲透率的關係存在多解性，導致滲透率定量預測困難，預測誤差大。在此會議中中石油公司也順便廣告其開發的 GeoFrac 軟體，對於震測綜合裂縫預測與解釋有相當程度的進展。

任職於 BP 的 David Li 分享在四川盆地的震測方面研究經驗，提出裂縫特徵研究需從原始震測資料蒐集、資料處理就開始改善。以四川盆地為例，目標層為 Permian 層的碳酸鹽岩及頁岩儲層，原先震測資料受限於震測解析度低、複反射干擾嚴重，裂縫描述和應力場分析結果可信度低。新採集的震測為高密度震源炸點、全方位震測（Full Azimuth Seismic）、高重合數（fold）。震測處理流程須消除層間複反射（Radon plus predictive

interbed de-multiple), PSDM 格點依據 TOMO 速度模型處理, 並加入各方位角的速度處理 (Radio domain interpolation, azimuthal velocities, AVAZ 等)。再加上由 Vibroseis VSP 提供的時深對應關係 (比 seismic-well tie 的時深關係佳), 搭配地表上的單分量和三分量 (three components) 的微震 (Microseismic) 監測儀器的應力方向與破裂面分析資料, 可大幅提升震測解析裂縫的識別能力。

另有兩位報告者亦呈現應用寬方位震測 (Wide Azimuth Seismic) 蒐集及改進的處理技術如何增強渤海古潛山和松遼盆地的震測影像及裂縫、小斷層預測。整理其結論, (1)寬方位震測資料包含各方位角對應不同支距的信息, 是後續非均向性 (anisotropic) 研究的基礎; (2)不同方位的速度分析和 NMO 校正最後能得到全方位角的傳播速度, 進而製成玫瑰圖, 可反應該區域的裂縫走向; (3)寬/全方位角震測能提供更精確的不同角度的速度模型, 提升信號解析度、提昇信噪比、空間連續性, 進而改善震測成像、小斷層及裂縫成像。

3. 偵測裂縫和非傳統儲層的方法改進

傳統震測資料相干性 (coherence) 屬性分析能提供大斷層的偵測, 一位中石油報告者 X. Guo 改進傳統相干性計算方法, 提出雙向相干性 (bidirectional coherence) 的演算法, 亦即採用計算三維體的相干性, 應用於四川盆地高解析度震測資料, 對於小斷層與裂隙有較好的偵測結果。

微震監測資料可以解析地層中裂縫發生數量及位置, 通常置於井底的微震監測儀器相較置於地表的有好的信噪比。講者 Fang Guangjian 透過置於地下 30 公尺的 6 台微震監測儀器, 該處低速的風化層厚度僅 5 公尺, 亦即儀器置於較為堅硬的地層中, 當在 2700 公尺深處的頁岩層進行人工液裂時可偵測微震發生位置有不錯的結果。但施測於不同地點, 因信噪比太差無法偵測到任何的微震活動, 推測該處有較厚的黃土地層, 地表起伏較複雜, 震波能量完全被地層吸收無法傳到微震儀器中。顯現置放於地表的微震監測方法可用, 但有其侷限性。

4. 實驗室分析岩石樣品的非均向性特徵

不同岩性/礦物組成有不同的非均向性特徵。CNPC 公司 Pinbo Ding 利用人工的乾頁岩（黏土比例固定 40 %，不討論加水後的變化，也不考慮孔隙結構和全岩心礦物組成）於實驗室測量比較三種黏土礦物的非均向性特徵。實驗結果表明：(1) S 波速度的非均向性對三種黏土差異不大；(2) 但 P 波速度的非均向性對不同黏土的差異性很大，伊利石（illite）最為敏感，其次為膨潤石（smectite），高嶺土（kaolinite）的非均向性差異較小；(3) 受壓後的產生裂隙密度，高嶺土較高，其次為膨潤石，伊利石較少；(4) 本實驗亦指出岩心礦物組成是更非均向性的主要影響因素。

中石油的 Guidong Di 則分享利用四川盆地不同 V_p/V_s ratio 的純白雲岩（dolomite）經由受壓實驗測量建立異向性分析。在圍壓增強時，岩樣會產生整齊排列（aligned）的和散亂（random）兩種排列型態的裂隙，隨著受壓增大其裂隙密度（fracture density）呈指數型反比。而在乾的白雲岩中 V_p/V_s ratio 與裂隙密度呈負相關；而濕的白雲岩 V_p/V_s ratio 與裂隙密度呈正相關。



圖 1、開會會場



圖 2、海報展覽會場

(二) 參訪中國石油勘探開發研究院西北分院重點實驗室

中國石油公司與油氣探勘相關的研究單位為勘探開發研究院，共有四個單位，除了北京院區，亦包括廊坊分院（河南）、西北分院（甘肅）、杭州地質研究院（浙江）。本次大會舉辦地點位於蘭州市石油科技賓館四樓會議廳，該棟建築坐落在中國石油勘探開發研究院西北分院園區的一隅，園區包含研究院西北分院的辦公大樓、研究大樓、實驗室、社區公寓與幼稚園等。本次大會除了於室內舉辦研討會，第一天下午 3:00 至 4:00 大會亦安排與會來賓分三隊至研究院西北分院的重點實驗室進行參訪。

參觀規劃為三站：(1)油藏描述重點實驗室，包含地震物理模擬實驗室、三維動態構造控藏物理模擬實驗室、地震岩石物理實驗室；(2)物聯網重點實驗室；(3)計算機處理解釋系統機房，即中石油的非傳統能源油藏模擬數據處理中心，但本站點由於時間因素後來沒參觀。

1. 地震物理模擬實驗室

地震物理模擬實驗室是個人於參訪中國石油西北分院覺得最具特色的實驗室。內有三維雷射列印機、模型掃瞄機暨震測採集機。其規劃概念即是將現有地質模型概念輸入電腦，讓三維列印機完成一縮小版的真實塊狀模型，並利用震測採集機將模型進行地表或水下的震波施測，接收其反射信號，經震波處理，最終得到反射震測影像，以驗證原先的地質模型。模型掃瞄機暨地震採集機器是中石油研究院自行設計開發的儀器。

三維雷射列印機（圖 3），可以將自己設計模型輸入置電腦中，讓機器用樹脂原料打印製作岩心或縮小實體塊狀模型（圖 4）。可用不同材料製成不同密度之模型，精度可達 0.1 公分，模型最大尺寸約 1*1*0.8 公尺。

模型掃瞄機，可以高精度的進行切片掃描實體模型或岩心，可置於空氣中或置於水中（底下有一水槽）（圖 5-6）。

震測採集機器將模型進行震測採集，利用超聲波掃描模型，一個是震源一個是接收器，精度可達 2 ms。一個模型施測時間相當於實際施測時間，

約 3 個月，震測資料交由處理中心處理。

2. 三維動態構造控藏物理模擬實驗室

內有構造物理模擬實驗裝置、高能量工業斷層掃描動態監視系統、壓力流體注入監測裝置（可注入油水，尚未能注氣，但已採購裝置），可完成在受壓下的構造變形監測，在一定壓力下多相流體充注的監測，含壓力和流體的構造控制物理模擬試驗（圖 9-10）。

3. 地震岩石物理實驗室

可控制高溫、高壓情況下岩石物理與地震物理模擬參數測試系統為共同研製，岩心變形、滲流測試等各種岩石物理參數測試。（圖 11）

4. 物聯網重點實驗室

物聯網是指讓所有能獨立行動功能的普通物體能互聯互通的資訊承載體。物聯網重點實驗室是中石油西北分院第一個物聯網信息化實驗室（圖 12-13），特色為『載荷位移一體化標定』系統。由西北分院負責上游物聯網應用研究、物聯設備檢測；規劃總院負責下游物聯網應用研究，東方物探信息中心負責工程技術及裝備製造物聯網應用研究。由於中國內部的物聯網相關行業非常發達，因此此實驗室亦接受外界委託進行標準化的檢測檢驗，故也是本次參訪中具相當特色的實驗室。

可檢驗物聯網儀器的環境試驗、可靠性試驗、互連互通檢測、電磁兼容性測試。可進行溫度、壓力、電量校正；位移量、速度、加速度等一體化的校正。另可驗證油田生產工況示功圖(*備註)逆推、油田現場生產物理模擬、油氣田生產軟體模擬。

*示功圖：由指示器(indicator)所繪出的往復式壓縮機壓力對活塞位移關係圖。示功圖反應深井抽油機抽吸工作狀態的好壞。

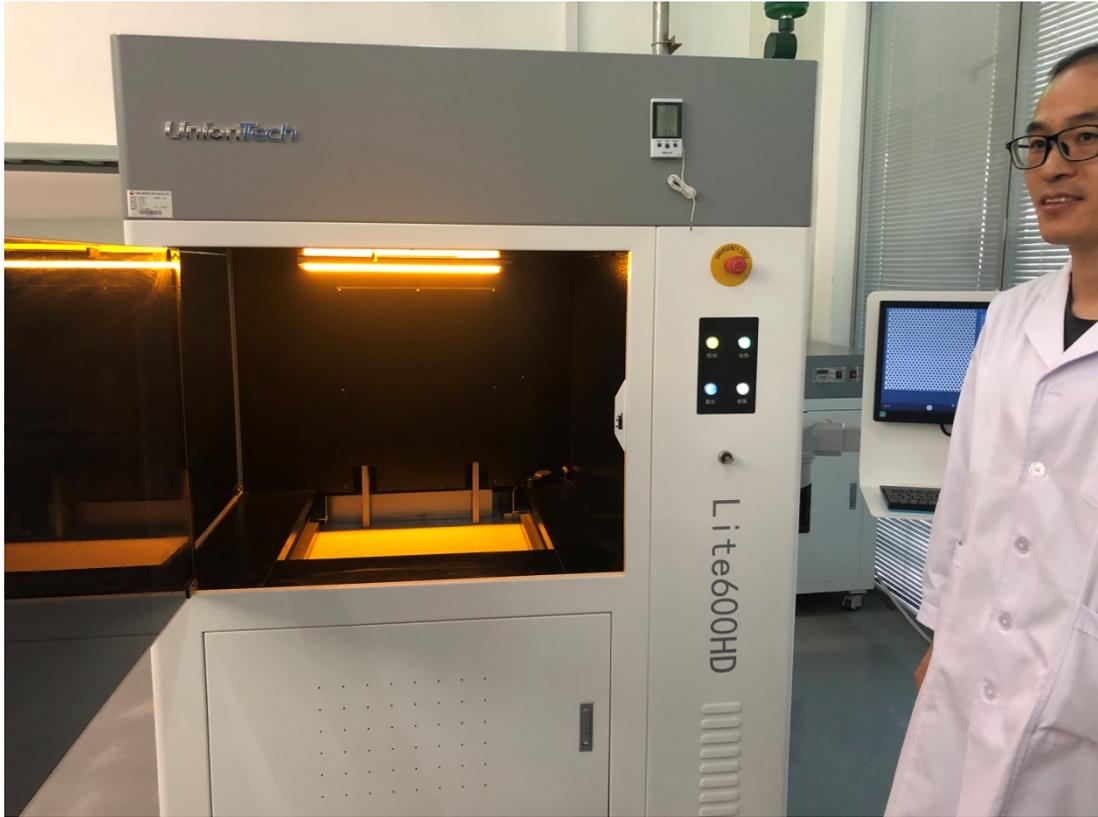


圖 4、三維雷射列印機

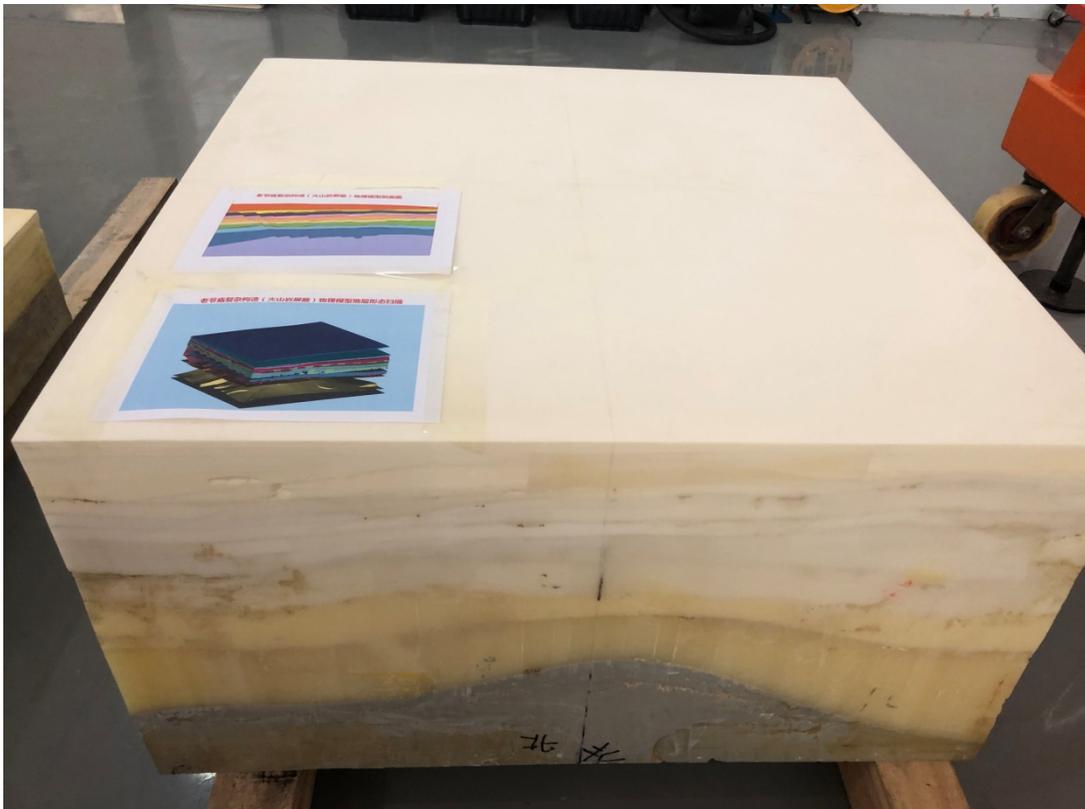


圖 4、三維雷射列印機製作的模型，為真實地層縮小版



圖 5、右後側大型機器為模型掃描機，左後側大型機器為震測採集機



圖 6、模型掃描機及震測採集機，左後方藍色處為水槽



圖 7、各式各樣的 3D 列印模型



圖 8、各式各樣的 3D 列印模型與原料



圖 9、三維動態構造控藏物理模擬實驗室介紹情形

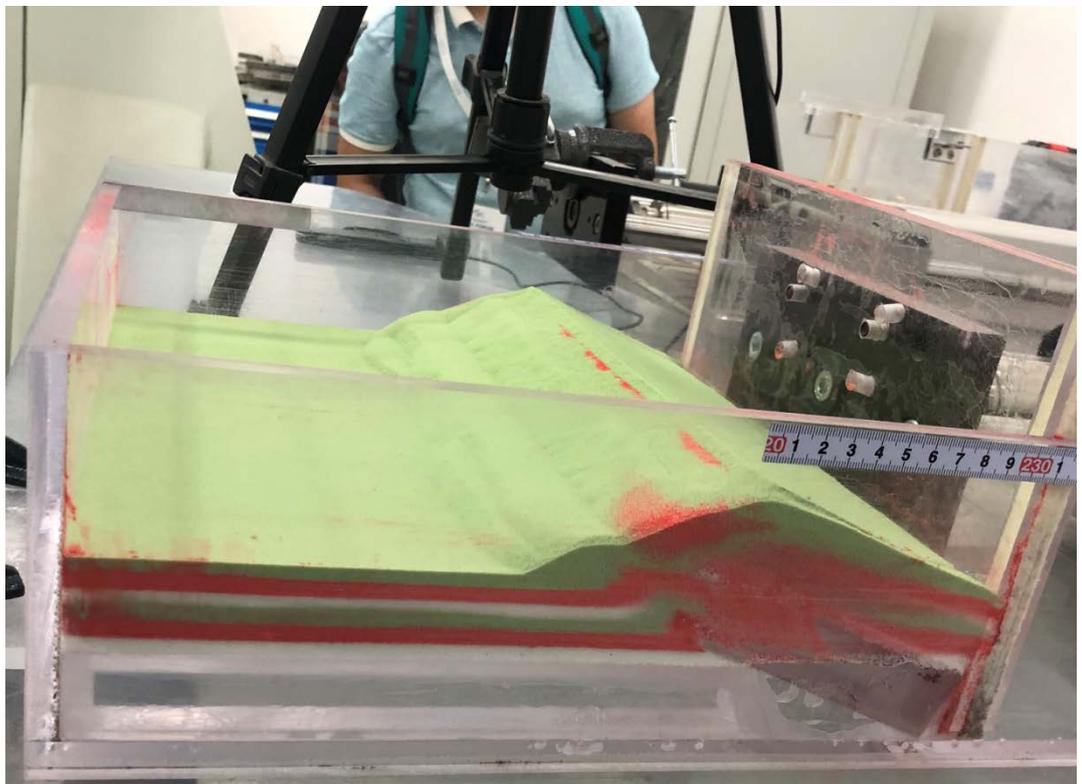
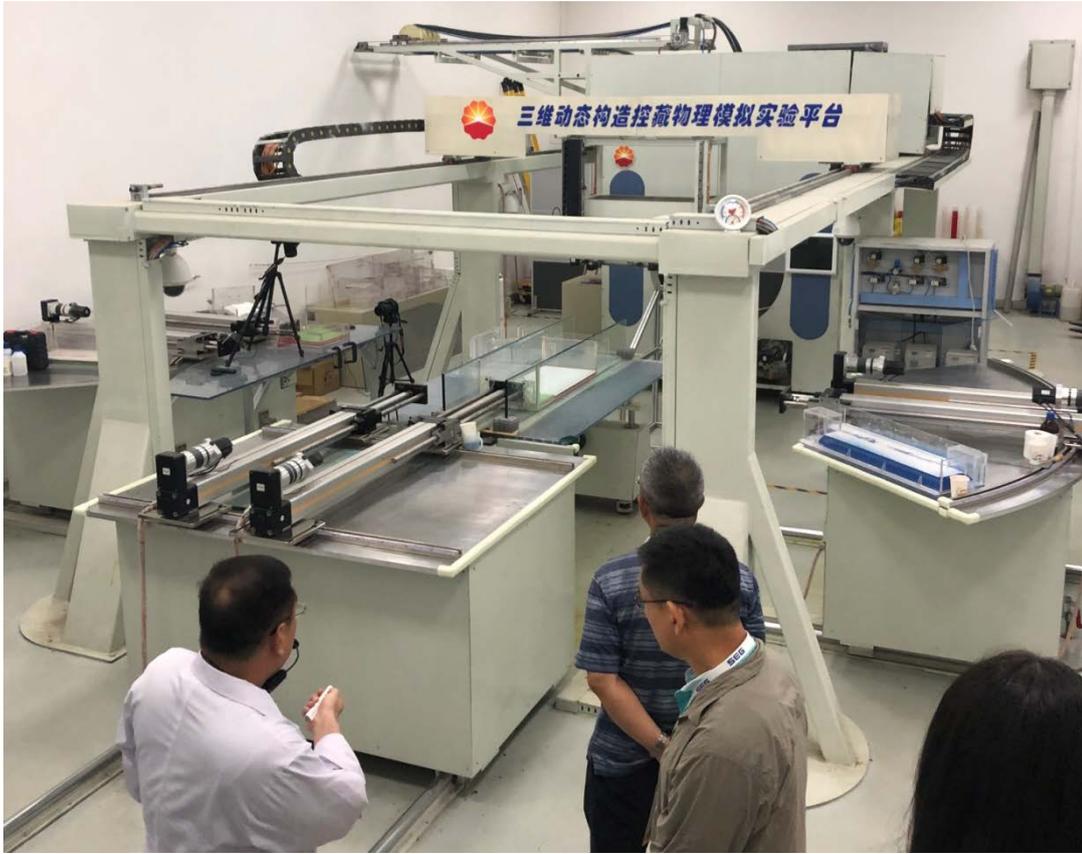


圖 10、三維動態構造控藏實物理模擬驗室內部儀器及砂箱模型



圖 11、高溫高壓岩石物理與震測物理模擬參數測試系統



圖 12、物聯網實驗室看板介紹

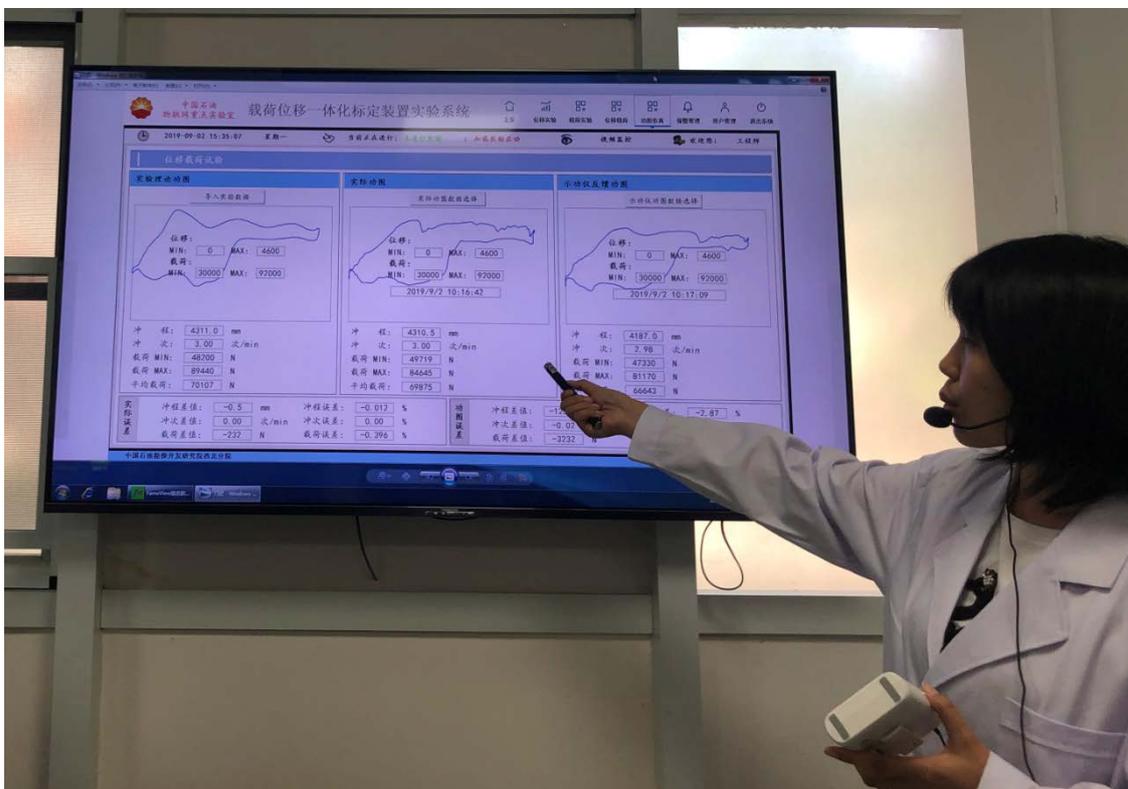


圖 13、物聯網實驗室一體化的大型測量儀器與測量結果展示

三、具體成效

大陸對於本次探討的裂縫與非傳統技術主題關注已久，因此參與本次會議對於裂縫及非傳統儲層的相關議題有不少收穫，例如探討裂縫或非傳統儲層的儲集岩特徵及孔隙內流體特徵；裂縫與斷層的偵測技術；裂縫與斷層的發展模式研究；利用不同的演算法預測裂縫或流體系統等。裂縫與非傳統儲層為本公司較少實際操作的探勘類型，卻也是未來必然發展趨勢。參加本次會議能了解與會專家對裂縫及非傳統儲層探勘的最新相關技術及未來發展重點，以及何處是油藏評價關鍵點，避免應用新技術時重蹈覆轍。

本次參與會議的最大收穫，是若對裂縫儲集層或非傳統儲集層的裂縫或小裂隙有明確需求，需要從震測資料採集時就規劃採用寬方位角、寬頻帶、高密度的施測，並且有相對應方位角的震測處理流程，否則不但影像模糊、速度不佳、無法有效識別裂縫或斷層，甚至無法進行後續的非均向性分析，將會浪費大量付出的資金與時間。其次，精確的裂縫建模、裂縫評價、裂縫的聯通性，以及測井和震測資料逆推供的孔隙率與滲透率參數的相關聯性，是目前操作裂縫或非傳統儲層尚需克服的方向。當我們查閱擬投標礦區資料時，在這些方面需要謹慎小心。

過去職個人工作經驗中並沒有實際操作過裂縫儲集層，均是以傳統油氣探勘的資料解釋與評估為主，非傳統油氣田的資源評估的案例不多。參與本次大會之後學習接觸到的新知已整理於前述小節內文中。本所明年將會接觸中東地區碳酸鹽岩儲集層的評估工作，其儲集層是以碳酸鹽岩為主，若其有裂縫儲層特徵，或可利用本次交流接觸到的新技術應用於評估項目中。

本次會議所取得的數位論文摘要檔，將會提交至探研所圖書館留存。

四、心得及建議

本次是個人第一次參加 SEG China 於中國內地主辦的研討會。會議議程時間雖然僅兩天，但是主辦方安排有 8 場特邀演講，再加上大陸地區油氣相關從業人員人數眾多，且大陸對於本次探討的裂縫與非傳統技術主題關注已久，投稿踴躍，會議議題小而美，因此參與此次會議對於裂縫與非傳統技術方面的討論內容有不少的片段收穫。若要獲得整體性的技術知識，無法僅從參與本會而全面瞭解，仍須會後自身努力。同時本次會議討論機器學習的論文較少，也許表示機器學習的應用尚未普及化。或是由於 SEG 2019 年會即將於兩週後於美國境內舉辦，故兩相抉擇下選擇參加年會。本次會議參與者幾乎皆為華人，僅非常少部分的外國學者因為特邀而前來參與。自台灣參加的也僅我一人。

本次會議有機會與 SEG China 員工進一步溝通，得知近年來 SEG China 亦於中國舉辦多場的研討會與短期訓練課程，其課程資訊仍是每年年初公布在 SEG 總會的網站中，部分會議是每年/兩年/四年舉辦一次，部分是不定期舉辦。因此未來本公司人員可將 SEG China 舉辦的會議或課程納入選擇中，甚至投稿進行論文宣讀。個人覺得 SEG China 僅提前 7 天才公布會議議程且 SEG 網站上看不到論文摘要，無法提前準備有點太匆促，已當場反應給大會工作人員。

本次大會安排一小時參訪中國石油勘探開發研究院西北分院，是本次行程中個人覺得最有特色的安排，在會議議程尚未公布前，就希望有機會參訪。參訪後個人對『油藏描述重點實驗室』中的『地震物理模擬實驗室』非常驚艷，在大陸當地亦是相當少見且極具創新的規劃。由於中石油研究院西北分院過去 30 多年負責中國西部內陸盆地的探勘與開發研究。裂縫分析及模擬需要先進的電腦及網路設備作為支援，而油藏描述實驗室的規劃與設備相當創新。若本公司探採研究所希望走向具特色、具領導性的發展，中國石油勘探開發研究院西北分院實驗室的規劃方向或許可以作為參考。