

出國報告（出國類別：開會）

參加地球化學協會舉辦之 國際研討會出國報告

服務機關：台灣中油公司探採研究所

姓名職稱：林殷田 地球化學探勘師

派赴國家/地區：阿曼/馬斯開特

出國期間：107年9月29日至10月6日

報告日期：107年10月31日

摘要

由國際地球化學協會舉辦之 Second EAGE Workshop on Geochemistry in Petroleum Operations and Production 於 10 月 1 日至 10 月 4 日在阿曼馬斯喀特洲際酒店 (Intercontinental Muscat) 舉行。參與者多為各大油公司、服務公司或研究單位之地化部門主管 (eg. SHELL, Total, Schlumberger, TNO, Helmholtz Centre Potsdam GTZ, IPGP 等)。其目的是為油公司、服務公司和學界提供一個論壇，分享石油地球化學的任何和所有方面的發展、想法、案例研究，成功和失敗的經驗，並重點介紹油氣田中流體相互作用。

利用捕獲的原油和天然氣的量，配合石油地球化學分析所得的許多變量來提高勘探效率，包括烴源岩分佈及其豐度和質量、熱成熟度以及相對於生成 - 移棲 - 累積的時間。更重要的是需要與其他學科交互驗證，例如震測層序地層學和儲層特性，才能達到最有效運用。

岩石-流體相互作用是多方面的，並且可以導致儲層和流體性質的顯著改變。所有過程都在界面 (水-岩及水-油) 進行，是由油氣中有機化合物轉化控制的複雜水文地球化學反應。研討會之焦點為從納米尺度到油藏規模乃至於盆地範圍之有機和水文地球化學過程，並分為不同的議程階段進行討論。包括油氣及礦物作用導致 CO_2 和 H_2S 的形成、油藏的比例預測，地球化學建模和分析技術的演進，採樣的創新以及針對特定主題的案例研究。研習內容非常豐富，聆聽各國學者的最新研究動態，覺得受益良多。

目 次

摘 要.....	1
目 次.....	2
圖目錄.....	3
一、目的.....	4
二、過程.....	5
(一) 本任務行程.....	5
(二) 研討會議程.....	6
三、具體成效.....	8
四、心得及建議.....	15

圖目錄

圖 1、會議場地：阿曼馬斯喀特洲際酒店 (INTERCONTINENTAL MUSCAT)	5
圖 2、議程封面頁	6
圖 3、與各參與者進行討論、學習與交流。	7
圖 4、 $\Delta^{37}\text{Cl}$ 組成應用實例	9
圖 5、成熟度對濃縮的吡啶 N1-NSO 和 N1S1-NSO 的 DBE 類別的相對分佈的影響。 10	
圖 6、利用硼同位素解析水岩交換作用。	11
圖 7、阿爾伯塔 (ALBERTA) 盆地不同地區的生物降解程度	12
圖 8、顯微照片顯示了溶蝕孔中與 TSR 相關的方解石和元素硫。	13
圖 9、碳酸鹽岩流動耦合係數與飽和度的相關性	14
圖 10、相同量的表面活性劑濃度，泡沫在 400 分鐘後衰減，但聚合物的量從左到右增加。	14

一、目的

油-氣-水為同一儲藏體系，因此油、氣、水交互之地化特性對儲集層之油氣相關性研究有著關鍵作用。職欲利用參與世界性地球化學技術研討會增加經驗，在日後進行礦區地化資料整合並配合石油地質與地物資料，進一步對數據進行歸納，研究盆地油氣成藏的水文地球化學演化規律，以利後續應用於評估盆地含油氣遠景及預測油氣賦存好景區。

四個關鍵技術里程碑構成了大多數現代地球化學應用於勘探的基礎；(1) 石油系統和勘探風險的概念和應用，(2) 生物指標、穩定同位素相關的多變量統計和油-油和油源岩之相關性 (3) 熱流及流體移棲之模擬，以及 (4) 二次裂解之油氣組成。這些關鍵技術協助尋找油源及油廚。

然而計算油氣生成量用以幫助開發和生產，則仰賴油藏地球化學的評估。油藏地球化學的一些技術里程碑包括 (1) 垂直和側向流體連續性評估，(2) 共串生產之混合比例的確定，(3) 儲層區油品質量預測，(4) 預測油/氣、油/水界面。因此，未來地球化學研究發展方向，除了新技術之開發外，地化模擬將更加重要。然而，好的地化模型則需要有詳盡的地質模型、岩心調查等基礎資料來預測石油生成，移棲和積累的地化盆地模型，如何客觀地確定這些參數，是很多石油學家一直致力解決的問題。

本項出國計畫即規劃參與此類世界性地球化學技術研討會，藉由此專業場合發表論文，不但可提高中油在國際上之能見度，且藉由各多專業意見，提昇本公司油氣田地球化學之技術能力。並希望藉由參加此類技術會議蒐集資料，快速累積經驗與技術，並應用於本公司未來油氣田之探勘作業。

二、過程

由國際地球化學協會舉辦之 Second EAGE Workshop on Geochemistry in Petroleum Operations and Production 於 10 月 1 日至 10 月 4 日在阿曼馬斯喀特洲際酒店 (Intercontinental Muscat) 舉行。參與者多為各大油公司、服務公司或研究單位之地化部門主管 (eg. SHELL, Total, Schlumberger, TNO, Helmholtz Centre Potsdam GTZ, IPGP 等)。其目的是為油公司、服務公司和學界提供一個論壇，分享石油地球化學的任何和所有方面的發展、想法、案例研究，成功和失敗的經驗，並重點介紹油氣田中流體相互作用。

(一) 本任務行程

9/29 出發，9/30 抵達阿曼馬斯開特，開始準備本次出國任務，行程如下：

10/1~10/4 參加研討會：「Second EAGE Workshop on Geochemistry in Petroleum Operations and Production」；聆聽口頭報告及與學者討論交流。

10/5 離開阿曼馬斯開特；

10/6 抵達台灣。



圖 1、會議場地：阿曼馬斯喀特洲際酒店 (Intercontinental Muscat)

(二) 研討會議程

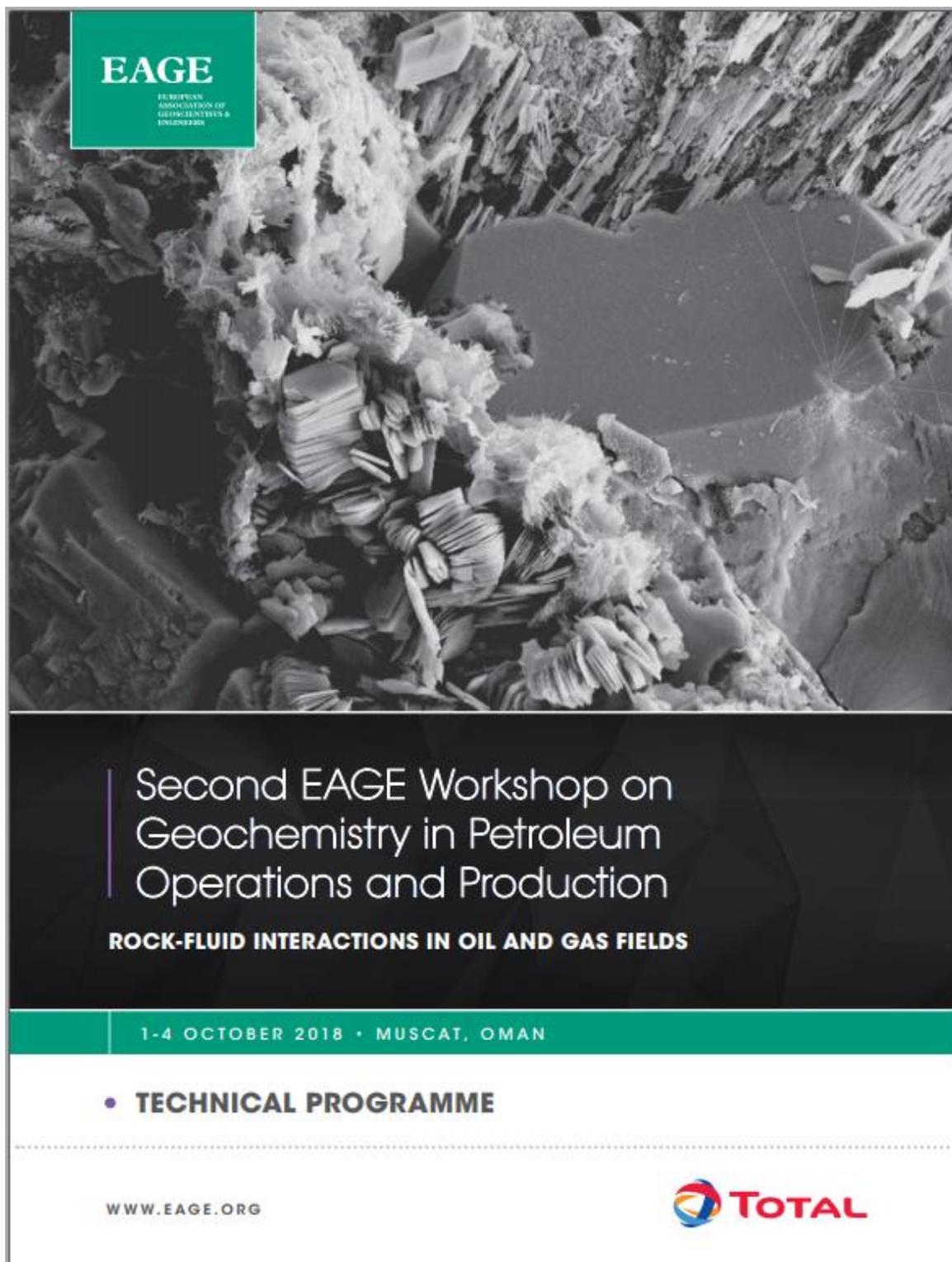


圖 2、議程封面頁

此次研討會會共分為 4 大主題依序進行：

1. Geofluids as New Indicators For Source, Thermal Maturity, Fluid Migration, Mixing, Compartmentalization and Proximity to Pay Zone.
2. Rock-fluid Interactions Leading to Oil Degradation, H₂S and CO₂ Formation.
3. Rock-fluid Interactions Controlling Porosity/ Permeability Development and Changes in Wettability.
4. Rock-fluid Interactions During Enhanced Recovery Procedures.

此外，此次與會除了對地化探勘的前端研究有更深入的了解外，亦與各參與者進行討論、學習與交流，獲益良多（圖 3）



圖 3、與各參與者進行討論、學習與交流。

三、具體成效

參加本研討會，學習了許多新技術及新觀念，以下茲就本次會議研討內容進行節錄，心得敘述如下：

1.

(1) **New Indicators For Source:** 世界上多數沉積盆地的深部都含有大量鹵水，通常富含鉀、硼、鋰、溴、碘、銣、銻、稀有氣體及重金屬元素等。但預測其賦存位置和資源量卻很困難，除非獲得這些水體的來源以及隨時間變化化學作用演化等。大陸地區地下鹵水中鹽分的主要來源包括：① 海侵的海水；② 海相沉積物風化釋放的鹽分；③ 大陸地表岩石的風化產物；④ 火山噴發物質和熱水鹽分。而水的主要來源包括外源的大氣降水和內源的盆地封存水體及地殼流體或幔源水。由此可知，沉積盆地中鹵水的物質來源和演化包含了一系列複雜作用。因此，長期以來的學術爭論可以歸結為 2 個問題：一是鹵水最初水的來源；二是鹵水中的鹽分從何而來，又通過怎樣的方式富集。而進來快速發展的 $\delta^{37}\text{Cl}$ 組成可以用來指示演化過程中鹵水的蒸發濃縮程度、可能的補給來源和控制因素，進而推測在不同演化時期盆地周圍環境的變化。氯在自然界中存在 ^{37}Cl 和 ^{35}Cl 兩種穩定同位素，二者豐度分別為 24.22% 和 75.78%。由於二者相對質量差達 5.7%，相對大的質量差使得氯同位素在自然界的不同地質體中存在較大的分餾特性。隨著蒸發濃縮的進行和鹽類礦物的析出， ^{37}Cl 相對 ^{35}Cl 優先進入鹽類沉積物中，殘餘鹵水和對應析出礦物的 $\delta^{37}\text{Cl}$ 值不斷降低，所以晚期階段的析出鹽比早期階段的析出鹽更貧 $\delta^{37}\text{Cl}$ 值（圖 4），因此 $\delta^{37}\text{Cl}$ 值是反映鹵水濃縮演化階段的良好指標，同時也為研究盆地的演化提供依據。

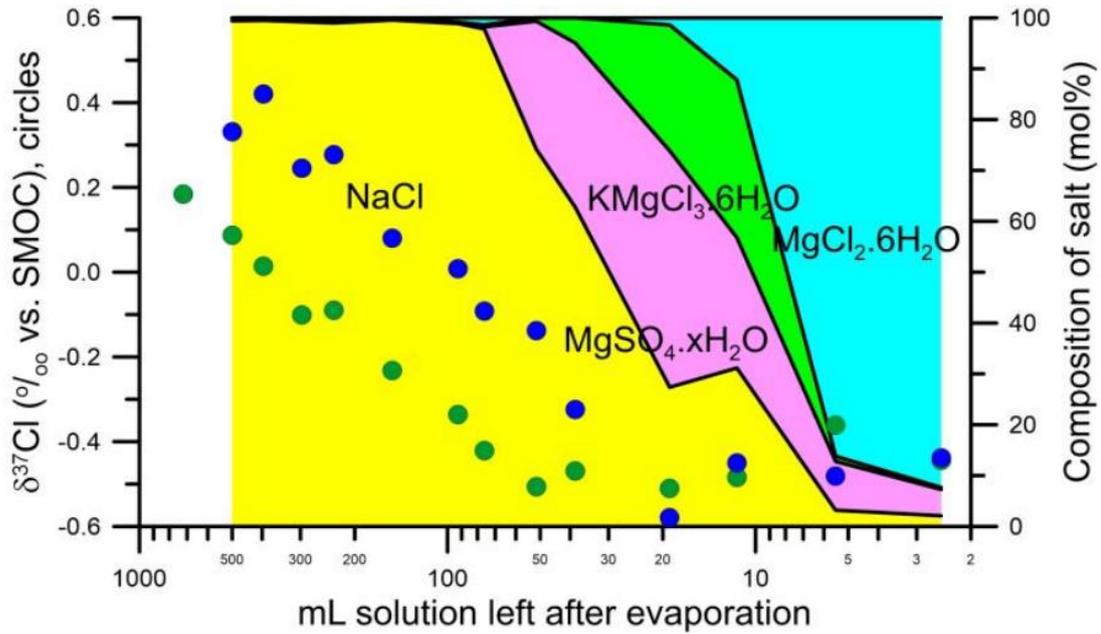


圖 4、 $\delta^{37}\text{Cl}$ 組成應用實例

(2) Thermal Maturity: 此次研討會，迴響聲量很高的新技術，過去分析油氣成熟度有許多方法，例如利用 MPI 指數等。此研究利用 NSO（非烴）的組成來計算成熟度，且有相當好的相關性。此研究是利用 FT-ICRMS 進行分析，鑑定 NSO 組分、基本 NSO 物種的相對豐度，包括每個物種中雜原子的數量和類型以及由芳環和雙鍵數表示的不飽和度。研究結果顯示，隨著油成熟度的增加，NSO 化合物類別的組成和分佈發生了顯著變化。例如檢測到的含氮（N1）和氮 - 硫（N1S1）化合物的相對豐度隨著較油的成熟度變高而系統性地降低（圖 5）。

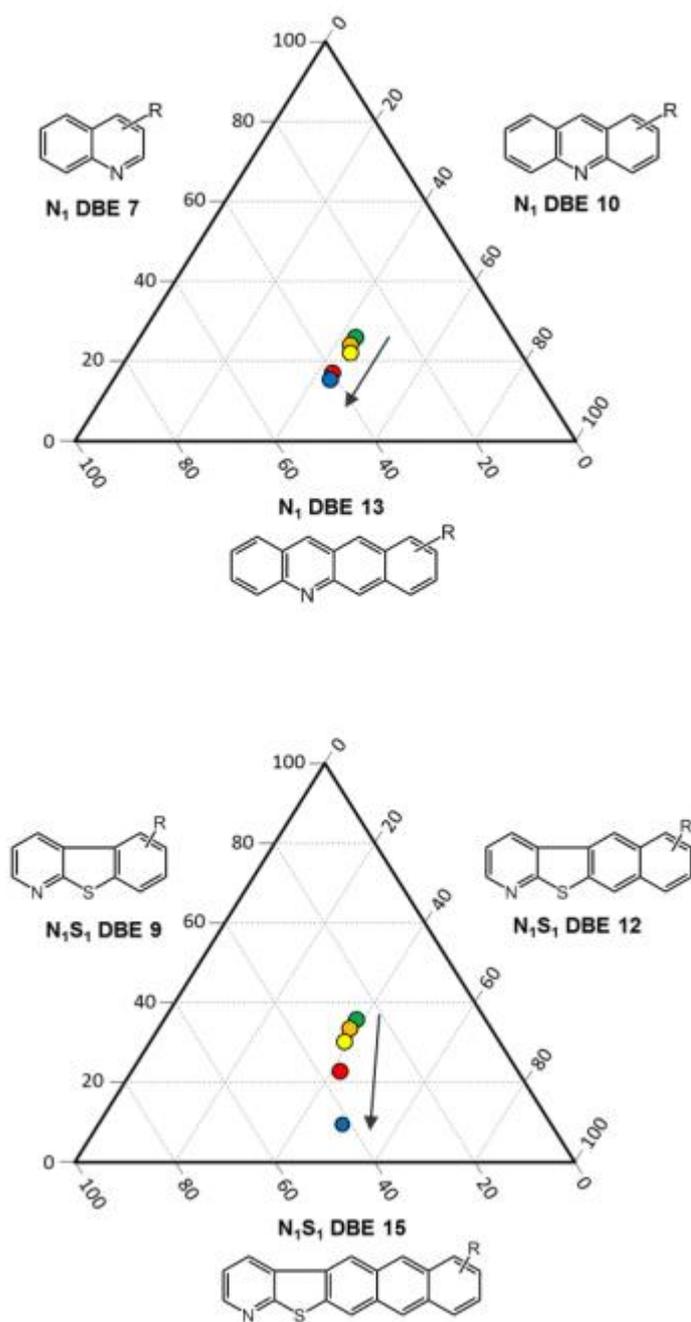


圖 5、成熟度對濃縮的吡啶 N₁-NSO 和 N₁S₁-NSO 的 DBE 類別的相對分佈的影響。

(3) Fluid Migration, Mixing, Compartmentalization and Proximity to Pay Zone: 水 - 岩相互作用過程的影響對於儲層性質可能不易分辨，由於影響儲層的最基本過程是：1) 由長石溶解和成岩高嶺石沉澱形成次生孔隙，2) 石英膠結，3) 烴飽和對成岩作用的影響，4) 伊利石的沉澱和其前體礦物之關連。沉積盆地中最常見的二次蝕變過程是：1) 不同時期的鹽析海水蒸發階段，2) 蒸發岩層或結構的地下溶解，3) 斜長石和鉀長石礦物的鹼化，4) 碳酸鹽礦物的白雲石化，以及 5) 通過粘土解吸積累伊利石。利用取得的岩石和水樣的地球化學分析。除標準水化學(主要, 次要和微量元素)和環境同位素(δD 、 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 、 $^{87}Sr / ^{86}Sr$) 技術外，新型同位素工具如 6Li 、 ^{11}B 、 ^{37}Cl 、 ^{81}Br 和 ^{129}I 越來越多地應用於石油系統中儲層流體與主岩之間的離子交換過程(圖 6)。此次利用來自紅海北部海域選定近海井的地層水得多重同位素交互解釋，以測試和證明這些地球化學同位素工具在勘探和生產中的實際適用性。

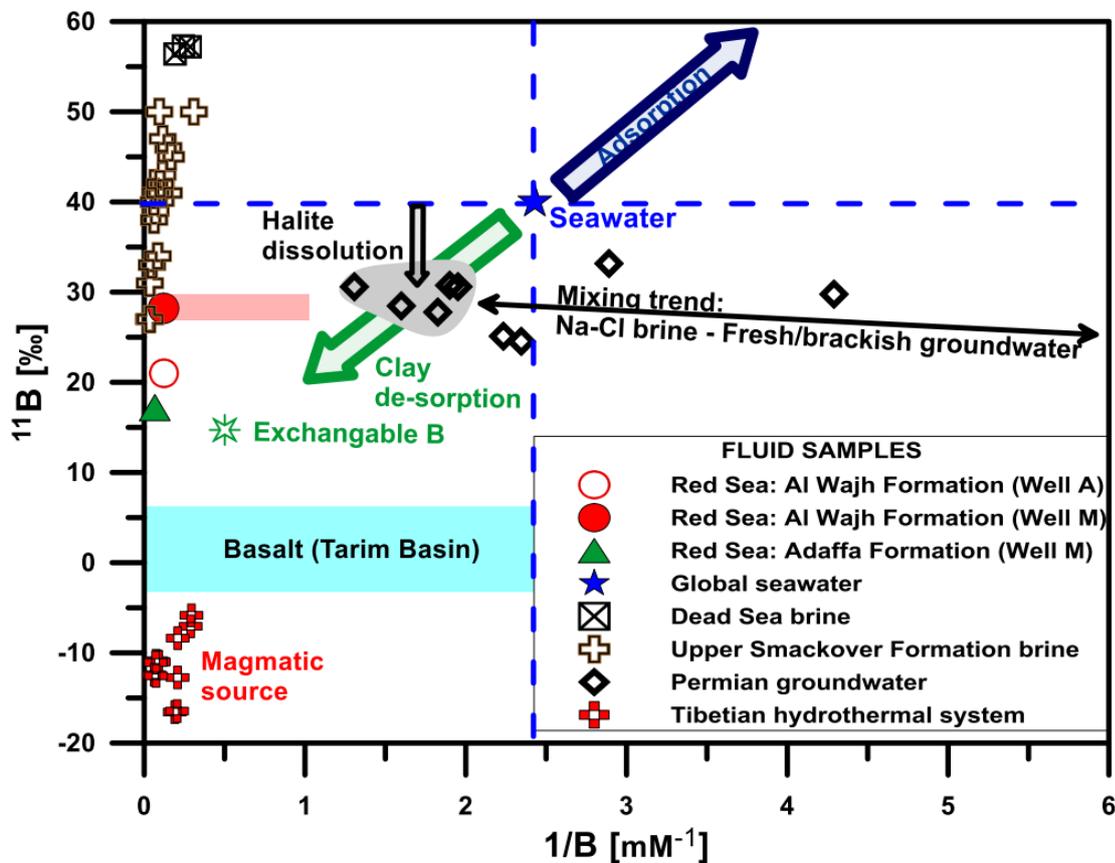


圖 6、利用硼同位素解析水岩交換作用。

2.

(1) Oil Degradation：幾十年來，重油田中的非均相石油成分與由儲層中的生物作用引起的石油生物降解之間的關係已眾所周知。生物降解會對油質產生不利影響，但是，有機體所涉及的厭氧、生物、物理和化學過程之間的空間關係，在過去二十年左右才確定了儲層內石油生物降解的時間尺度。一般而言，油藏溫度史和油混合是油生物降解的主要控制因素。使用關鍵控制可以預測生物降解的影響，例如儲層溫度，充油/溢油率，儲層形狀等。生物降解發生在油水接觸（OWC）或過渡區，水在生物降解過程中起著重要的間接和直接作用。因此本次研討會，回顧了油藏內油生物降解及其主要控制因素導致的分子組成的系統變化（圖 7），並提供了一些案例歷史，以證明這些過程如何影響重質和超重油積累中 API 比重和粘度。

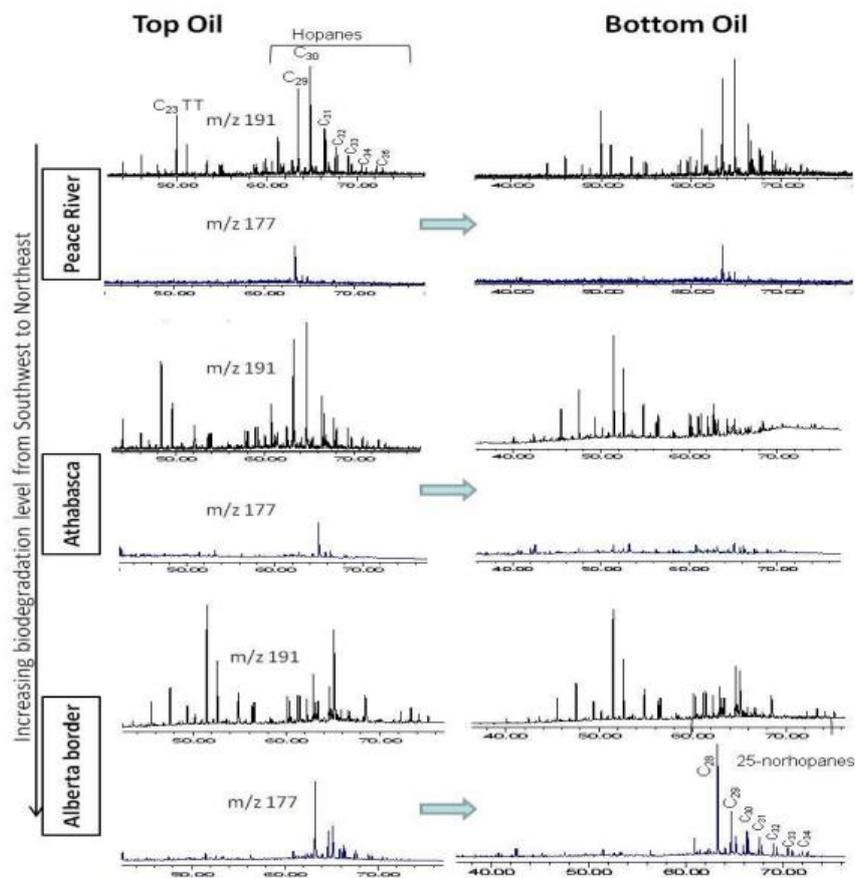


圖 7、阿爾伯塔（Alberta）盆地不同地區的生物降解程度

(2) H_2S and CO_2 Formation：熱化學硫酸鹽還原可以提高碳酸鹽岩油藏的質量，熱化學硫酸鹽還原（TSR）是在升高的溫度（通常高於 $110^{\circ}C$ ）下硫酸鹽（由於沉積盆中的硬石膏，天青石和重晶石的溶解）對烴類的非生物性氧化（圖 8）。石油的重大改變，硫（S 和 H_2S ）還原形式的生成以及碳的氧化形式（碳酸鹽礦物和 CO_2 ）通常是 TSR 的結果，且會造成石油品質的改變。TSR 還可以生成水，金屬硫化物，有機硫化合物和瀝青等。

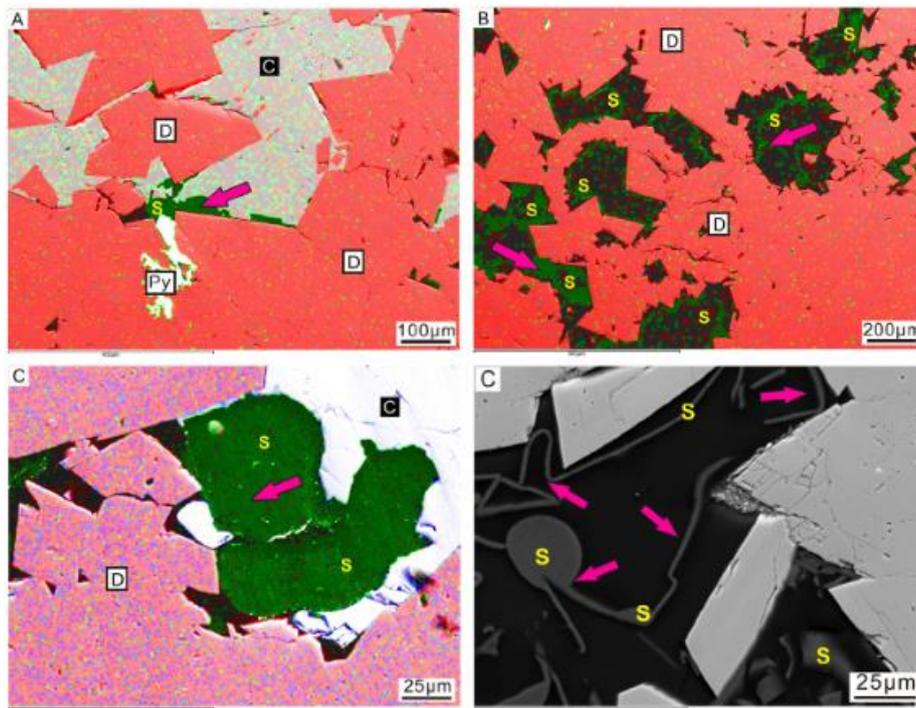


圖 8、顯微照片顯示了溶蝕孔中與 TSR 相關的方解石和元素硫。

3. 自電位監測是一種基於地球地下自然電場測量的被動地球物理方法，提供對水流敏感的數據。過去在不飽和或沙質土壤中有許多研究了電子動力學過程，但是在不飽和的石灰岩中沒有特別研究。在過去十年中越來越多的研究，藉由分析 CO_2 或從碳酸鹽中萃取油探討水 - 方解石界面。而絡合模型可與電雙層理論一起使用，以計算水 - 方解石界面的電化學性質。本研討會發表的研究為碳酸鹽岩流動耦合係數與飽和度的相關性提供新的實驗證據，結果顯示表明，相對滲透率，相對流動電位耦合係數和毛細管壓力可以使用 van Genuchten 方法以一致的方式描述碳酸鹽（圖 9）。

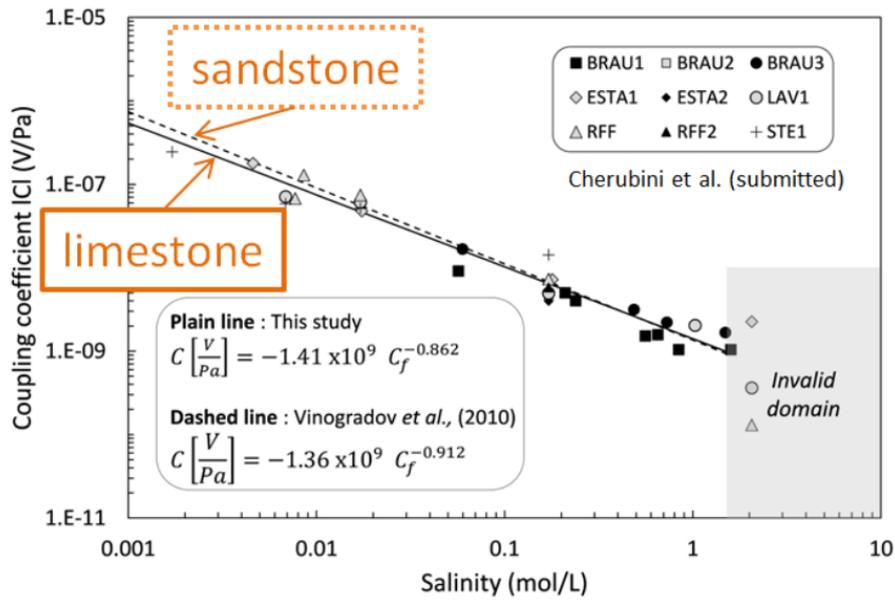


圖 9、碳酸鹽岩流動耦合係數與飽和度的相關性

4. 將二氧化碳 (CO_2) 注入油藏通常被認為是三次採油機制。有許多原因可以解釋為什麼二氧化碳被認為是一種優秀的注入劑，除了提高石油采收率外，它還通過將二氧化碳封存在地下來減少碳足跡。二氧化碳具有低的混溶壓力，導致原油膨脹並降低其粘度。另一個重要方面是環境，通過減少溫室氣體排放來緩解全球變暖。儘管已經在世界範圍內成功報導了二氧化碳注入，但使用這種 EOR 技術，波及效率仍然是一項關鍵挑戰。由於 CO_2 相對於儲層流體的密度和粘度較低，因此重力覆蓋，粘性指法是該技術所限制。泡沫產生被認為是通過改善 CO_2 的表觀粘度來克服氣體流動性問題的技術，進而改善儲層內的波及效率。本研討會發表的研究為使用各種試劑和組合物廣泛評估泡沫的行為，其穩定性和原油的存在效果（圖 10）。



圖 10、相同量的表面活性劑濃度，泡沫在 400 分鐘後衰減，但聚合物的量從左到右增加。

四、心得及建議

職很榮幸能代表中油探採研究所參加本次由國際地球化學協會舉辦之 **Second EAGE Workshop on Geochemistry in Petroleum Operations and Production**，內容非常豐富，除了聆聽各國學者的最新研究動態之外，對地化探勘的前端研究有更深入的了解外，更重要的是結識了許多地化界的專家，並與之交流。會中各自提出案例，藉由各專家其豐富之實務經驗給予建議及應對方案，透過交流增加合作機會。仍然再次建議可多編列此類預算，以外文進行人才交流，不但能提升國際性視野，增加膽量，對於精進本公司研發相關人才多有助益。

對於地化之應用，除了新技術的研發，地化在本研究所已發展許久，累積了許多寶貴的數據，實在應該好好分地區、分項收集和整理，將研發完成之新技術結合傳統的觀念及方法加以整合應用。並加強同仁對地化模擬的訓練，好的地化模型則需要有詳盡的地質模型、岩心調查等基礎資料來預測石油生成，移棲和積累的地化盆地模型，如何客觀地確定這些參數，是很多石油學家一直致力解決的問題。而同仁在地化建模時，可同時釐清許多石油地化中生、移、排、聚之觀念，對地球化學整體發展乃至於尋找油廚、預測油氣生成量都有很大助益，亦對生產開發提供實際的協助。