

出國報告（出國類別：開會）

參加國際石油地球科學會議心得

服務機關：台灣中油公司探採研究所

姓名職稱：蕭良堅 地球化學探勘師

派赴國家：西班牙

出國期間：108年08月15日至108年08月24日

報告日期：108年09月19日

摘要

赴西班牙參加 2019年Goldschmidt地球化學會議，行程自108年08月15日至108年08月24日，共為期十日，會議在西班牙巴塞隆納國際會議廳主辦，議程分為14項大主題，121項專題，發表方式分為壁報(Poster)論文及口頭(Oral)論文，涵蓋所有地球化學領域，其中亦包括與石油地球化學或地質資源的部分，包括分析新技術、儲集岩地球化學、非傳統油氣資源探勘等。本研究所亦於研討會上發表一篇關於台灣南部油氣探勘的論文。

大會亦提供多個短期課程，本次會議亦參加其中一個反應傳輸模式（reactive transport modeling）訓練課，該課程主要探討如何應用反應傳輸模式，研究化學物質在地層孔隙傳輸過程中所發生的反應變化以及傳輸過程。對於本所未來地球化學油氣探勘與污染物傳輸過程研究有相當大的參考價值。

目次

摘要.....	1
壹、目的.....	3
貳、過程.....	4
參、具體成效.....	19
肆、心得與建議.....	20
伍、附錄.....	21

壹、目的

新技術開發應用為本公司的主要探勘策略之一，隨著科技的進步，相關技術與觀念不斷地推陳出新；而參加國際學術會議是獲取新知的有效途徑之一。基於研發與探勘工作的需求，今年出國參加於西班牙巴塞隆納所舉辦的2019 Goldschmidt Conference（2019 Goldschmidt 會議，圖1），以瞭解地球化學領域的新進展。Goldschmidt 會議是地球化學領域規模最大的國際會議之一，每年在世界各地主辦，主要探討內容為地球化學領域發展與應用為主，同時也常邀請相關領域專家對於地球化學各領域開設相關課程，因此每年均吸引許多地球化學研究人員與學生與會。



2019 Goldschmidt會議 (2019 Goldschmidt Conference)。
地點：西班牙巴塞隆納 (Barcelona, Spain)
時間：108年8月17-23日
會議網址：
<https://goldschmidt.info/2019/index>

圖1、2019 Goldschmidt會議網頁。

探採研究所地球化學組（以下稱本組）目前正在進行幾項地球化學探勘技術開發，包括應用氣相層析串聯質譜儀（GC/MS/MS）、氣相層析同位素質譜儀（GC/IRMS）、二維氣相層析飛行質譜儀分析（GC × GC-ToFMS）、氣相層析-感應電漿耦合質譜儀（GC/ICPMS），以及對於固態樣本使用熱裂氣相層析質譜儀（Py-GC/MS）分析原油、生油岩與環境樣品的碳氫化合物、生物指標、微量元素及其穩定碳、氫同位素組成；除了傳統油源對比外，生油岩特性分析也應用在環境整治相關問題上。

除了上述儀器分析新技術外，同時結合傳統生油岩評估的項目，如油母質觀測與鏡煤素反射率，可進一步探討原油或岩石樣品有機物來源，形成之原油特徵，區分生

油岩的類型，以及評估其成熟度。另外結合化學實驗與盆地模擬的技術，有助於改進傳統與非傳統油氣資源的評估工作。過去本組已大量應用這些技術於公司油氣探勘工作，以及環境污染鑑識工作上。Goldschmidt會議有部分議程與本組工作項目有關，故參加此會議瞭解地球化學與油氣探勘新技術，對本組的研發工作預計有相當幫助。

貳、過程

今年Goldschmidt會議有14項大題（圖2），涵蓋所有地球化學領域，包含行星科學、固態地球、礦物岩石、生物地球化學、資源探勘、氣候變遷與環境污染等各領域。這14項大題下面又有各自有些子題，如與本組業務最相關的第五大題：高科技社會中礦物與能源（Minerals and Energy for High Tech Societies）下尚有13個子題，除了礦物資源探勘外，也有一些與油氣或地熱資源有關的議程，如油氣儲集層地球化學（Geochemistry in Hydrocarbon Reservoirs）、非傳統油氣探勘之標的地球化學（Geochemistry of Unconventional O&G Plays），以及地熱能、天然氣水合物與非傳統天然氣採收技術新進展（New Advances in Recovery of Geothermal Energy, Natural Gas Hydrates and Unconventional Gas）等。這部分都與公司進行中的業務，如油氣或地熱資源探勘有所關聯，同時也是過去本組較少投入的領域，相關研究計畫較少，也因此前往吸收相關技術的最新發展，並且建立相關技術以因應未來相關業務進行。

除了會議議程外，Goldschmidt會議本身也提供許多短期課程（workshop）。本次會議共有22短期課程，涵蓋許多地球化學領域，包括儀器分析、數值模擬、資料處理等課程，時間在1~2天之間，於會議正式開始前進行。這些課程通常由該領域的專家講授，對於研究人員是個提升專業能力的好機會。

本次會議除了發表論文外，同時也參加一個2天的反應傳輸模擬操作課程（A Hands-on Course in Reactive Transport Modelling，圖3）。這課程主要是討論如何使用電腦軟體，模擬在地質環境中的流體，如地下水或油氣中所含的物質在孔隙之間流動過程中，同時進行化學反應的過程。課程內容包括流體行為、物質結合與膠體傳輸、反應動力學、生物降解、流體中物質溶解與沉澱，微生物催化與生長在孔隙流體中模擬等。反應傳輸模擬目前在油氣探勘領域的應用主要在生產過程中流體與儲集層性值得探討，包括低溫成岩作用（diagenesis）期間有機物轉化過程、探討碳酸鹽質或矽酸鹽質儲集岩性質，特別是儲集岩中油氣在生產過程中的化學作用（如注



- Full list 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14
- 00: Plenary Sessions
 - 01: Early Solar system and early planets
Vinciane Debaille, Shogo Tachibana, Hanika Rizo
 - 02: Mantle and Core
James Day, Anat Shahar, Julien Siebert
 - 03: Earth's Lithosphere Formation, Evolution and Recycling
Cin-Ty Lee, Janet Hergt, Sonja Aulbach
 - 04: Nano to Microscale processes
Sumit Chakraborty, Steven Reddy, Dominique Tobler
 - 05: Minerals and Energy for High Tech Societies
Sarah Gleeson, Sasha Wilson, Jianwei Li
 - 06: Magmas and Volcanoes
Tamsin Mather, Alessandro Aiuppa, Fidel Costa
 - 07: Co-evolving life and environments through deep time
Axel Hofmann, Aubrey Zerkle, Tais W. Dahl, Benjamin Johnson
 - 08: Climate of the past, present and future
Heather Stoll, James Rae, Jess Tierney
 - 09: Weathering, erosion and the critical zone
Heather Buss, Clifford Riebe, Philip Pogge von Strandmann
 - 10: Chemistry of the Oceans and Atmosphere
Laura Robinson, Alex Baker, Thomas Weber
 - 11: Geobiology and biomarkers
Drew Gorman-Lewis, Jennifer Glass, Ricardo Amils, Laura Villanueva
 - 12: Metals and nutrients in terrestrial and freshwater systems
Ruben Kretzschmar, Laura Wasylenki, Jeffrey Catalano
 - 13: Biogeochemistry of contaminants and pollutants
Karen Hudson-Edwards, Jiubin Chen, Carl Lamborg
 - 14: Communicating Science
Sarah Simpson

圖2、2019 Goldschmidt大會主題。

水、熱硫還原反應、圍岩膠結性質改變等），還有化學變化如何改變油氣生產過程的流體條件，以及探討如何改變物理條件以增進重油產率等。目前本組主要工作集中在樣品分析上，較少對油氣在自然界與生產過程中的化學行為進行探討，因此值得進一步瞭解反應傳輸模擬的相關知識。

★ A Hands-on Course in Reactive Transport Modelling
Saturday 17th August 08:30 - Sunday 18th August 17:00
Contacts: Craig Bethke, Kate Maher, Brian Farrell, Qusheng Jin
Website
Price: 120€
Buy

時間8/17-18



Please join us for two days of hands-on training in reactive transport modelling using The Geochemist's Workbench®. Following a fully hands-on format, you will learn to construct, trace, and interpret models of transport in reacting geochemical systems. Specific topics covered include: an introduction to geochemical modelling; transport in flowing groundwater; dual porosity models (stagnant zones); K_d , Freundlich, and Langmuir sorption; surface complexation; colloid-facilitated transport; reaction kinetics; biodegradation; dissolution and precipitation; microbial catalysis and growth; effective graphical presentation; and creating animation and video. The topics will be illustrated by the instructors through a series of case studies.

圖3、反應傳輸模擬操作課程介紹。

參加研討會的主要目的在於吸取新知，並藉由與他人腦力激盪而對油氣探勘能有新的想法，並且瞭解國際間地球化學以及非傳統能源的地化探勘技術發展之新趨勢，引進相關的探勘新技術與觀念，加強我們的專業技能並進一步瞭解我們公司所擁有的油氣資源，避免在研發與探勘過程中人物力的損耗。最終目的是能在本公司研發出實用之石油探勘技術，協助本公司國內外油氣探勘，降低探勘風險與節省探

勘所需巨額委託分析費用，並期望發現具經濟價值之油氣田。整個研討會會議期間筆者行程如下表。

預定起迄日期	天數	到達地點	詳細工作內容
108.8.15~108.8.16	2	台北-西班牙巴塞隆納	啟程
108.8.17~108.8.18	2	西班牙巴塞隆納	參加反應傳輸模擬操作課程。
108.8.19~108.8.22	4	西班牙巴塞隆納	參加2019 Goldschmidt會議，蒐集最新國際發展技術。
108.8.23~108.8.24	2	西班牙巴塞隆納-台北	參加會議與返程

筆者主要行程包括短期課程與會議的部分；8月17日~18日參與「反應傳輸模擬操作」課程。8月19~23日參加會議，並於大會進行中發表壁報論文「Organic Geochemical Characteristics of Miocene and Pliocene Sedimentary Rocks in the Southern Taiwan」一篇，探討台灣南部沉積岩有機地球化學特性，及其所反映的台灣南部沉積環境與構造活動的演變史。期待能藉由參加會議與討論過程，取得一些新想法，以在未來應用於台灣南部陸地與海域的油氣探勘上。以下將依時間順序分別敘述之。

一、8月17~18日：短期課程：反應傳輸模擬操作課程（A Hands-on Course in Reactive Transport Modelling）

本課程由Goldschmidt會議與The Geochemist's Workbench公司提供。課程內容包括反應傳輸模擬理論，以及使用The Geochemist's Workbench[®]（以下簡稱GWB）軟體來進行相關操作。講師共四位，包括Craig Bethke、Brain Farrell、Kate Maher以及Qusheng Jin四位學者。課程內容包括理論與軟體簡介（Introduction to the GWB）、質量傳輸（mass transport）、雙孔隙模型（dual porosity）、溶質吸附（sorbing solutes）、表面錯合過程（surface complexation）、放射污染整治（uranyl remediation）、膠體傳輸（colloid-facilitation transport）、流體混合與結垢（fluid mixing and scaling）、反應動力學（reaction kinetics）、生物降解（biodegradation）、物質溶解於沉澱（dissolution and precipitation）、微生物催化等作用（microbial catalysis）。課程表如圖4。課程進行方式

主要由講師簡介相關理論，接著有實例，以GWB軟體進行練習，在實例操作過程中有助於瞭解相關理論。

<i>Saturday</i>	
8:30 – 9:00	Welcome and Overview
9:00 – 9:50	1. Introduction to the GWB
10:00 – 10:50	2. Mass Transport
11:00 – 11:50	3. Dual Porosity
11:50 – 12:50	Lunch
12:50 – 1:10	Animation and Video
1:10 – 2:00	4. Sorbing Solutes
2:10 – 3:00	5. Surface Complexation
3:10 – 4:00	Case study: Uranyl Remediation
<i>Sunday</i>	
8:30 – 9:00	Welcome and Perspectives
9:00 – 9:50	6. Colloid-facilitated transport
10:00 – 10:50	7. Fluid Mixing and Scaling
11:00 – 11:50	8. Reaction Kinetics
11:50 – 12:50	Lunch
12:50 – 1:40	9. Biodegradation
1:50 – 2:40	10. Dissolution and Precipitation
2:50 – 3:40	11. Microbial Catalysis
3:40 – 4:00	Wrap-up and Discussion

圖4、反應傳輸模擬課程表。

首先簡介GWB軟體使用方式，包括資料輸入，繪製地球化學常用圖表，以及在GWB軟體中編輯物質反應方程式，相關反應物理條件，如溫度、反應速率等。並以長石風化（feldspar weathering）為實例，計算各種化學元素在流體中的溶解度。

第二部分簡介質量傳輸。以反應傳輸模擬而言，不單只考慮溶質受流體傳輸，更重要的是溶質在傳輸過程中的反應過程。對於溶質於流體中的主要傳輸方式包括(1)平流（advection），溶質沿著流體流動方向移動。(2)水動力擴散（hydrodynamic dispersion），流動中的流體發生混合現象，使溶質於其中擴散之現象。(3)分子擴散（molecular diffusion），此為流體中的溶質分子藉由布朗運動（Brownian motion）隨機擴散所致。對於溶質在流體中運動並發生反應的模擬，主要考慮溶質在不同時間的流動方式、以及於特定時間的反應過程。其流程如圖5所示。在設定初始與邊界條件（initial and boundary conditions）後，計算單位時間流體溶質移動與其化學反應過程。

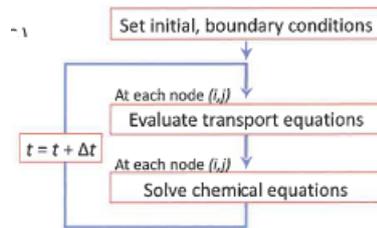


圖5、反應傳輸模型運作流程。

接著課程是雙孔隙模型（dual porosity model）介紹。雙孔隙模型如圖5所示。流體在流動過程可分為自由流動與停滯兩個部分（free-flowing and stagnant fractions）。溶質在流動過程中可因擴散作用（diffusion）分別自自由流動區往停滯區移動，若考慮雙孔隙模型，則溶質濃度變化會因流體移動距離而有濃度變化，不若在均勻流體中所有物質均隨流體一同前進（圖6）。

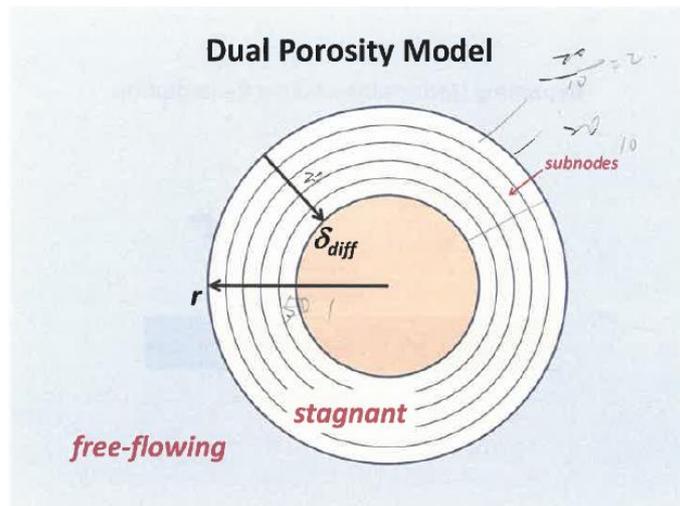


圖6、雙孔隙模型示意圖。

接下來探討溶質吸附（sorbing solutes）過程。溶質吸附有多種模式，首先是分配係數（distribution coefficient, K_d ）方法。被吸附濃度以 S 表示，流體中溶質濃度以 C 表示，吸附關係如下式：

$$S = K_d * C \quad (1)$$

另外尚有 Freundlich 方法，其被吸附濃度與流體中的溶質關係和分配係數法相近：

$$S = K_f * C^n \quad (2)$$

其中 K_f 為 Freundlich 係數， n 為 Freundlich 指數。另外還有 Langmuir 方法，考慮流體還有沉積物之間物質交換與平衡反應。其關係如下所示。



- Mass action $K'_L = \frac{m_{>L:} \cdot m_{Cd^{2+}}}{m_{>L:Cd^{2+}}}$ (3)

- Mass balance $(m_{>L:})_T = m_{>L:} + m_{>L:Cd^{2+}}$ (4)

- Langmuir eqn $m_{>L:Cd^{2+}} = (m_{>L:})_T \frac{m_{Cd^{2+}}}{m_{Cd^{2+}} + K'_L}$ (5)

以不同模式計算探討流體中溶質的吸附過程，對於流體中溶質吸附程度也會有差異（圖7），需要依實際情況選擇合適模式。

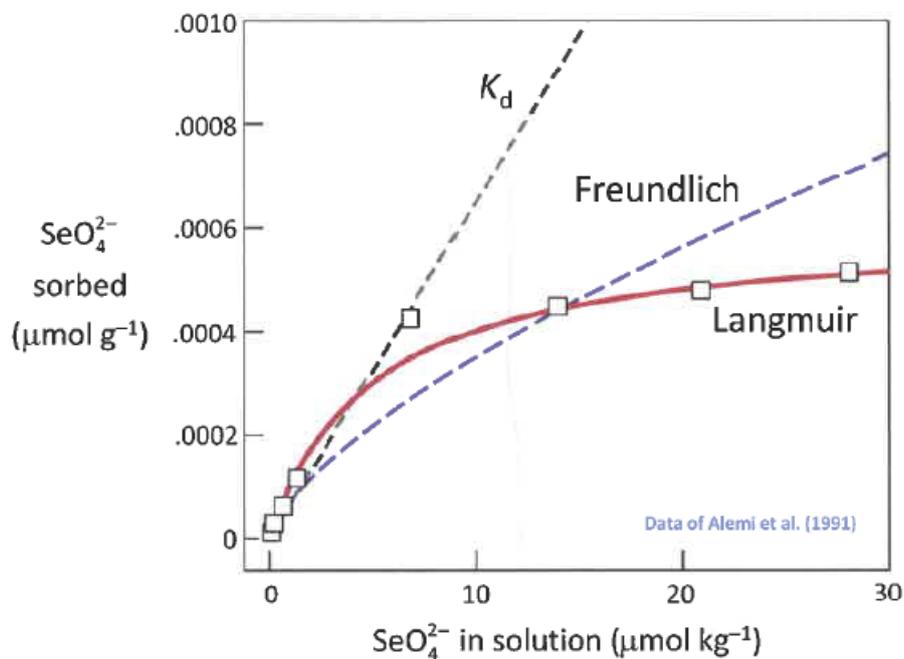


圖7、使用不同吸附模式計算，結果各有差異。

關於物質之吸附，尚有一個部分需要考慮，即表面錯合作用（surface complexation）。這考慮流體中的離子與沉積物間的交互作用（圖8）。其吸附能力也與pH質有相當大的關係，不同pH值可影響離子的吸附行為（圖9）。

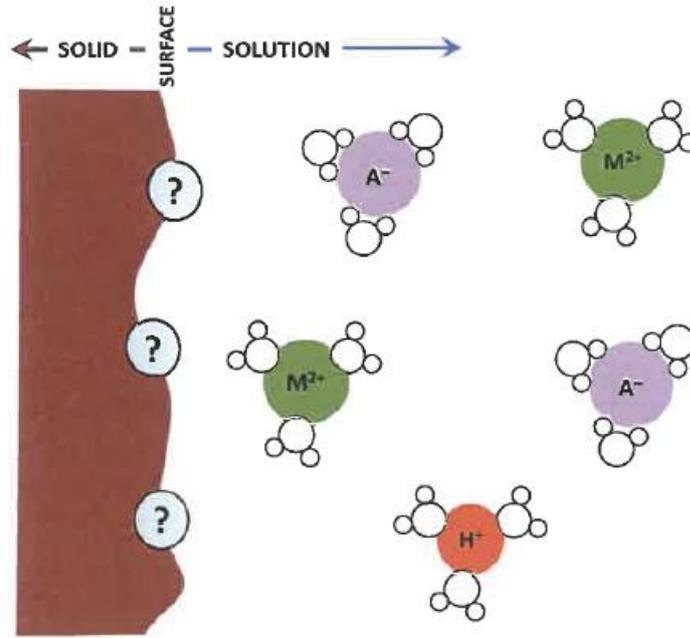
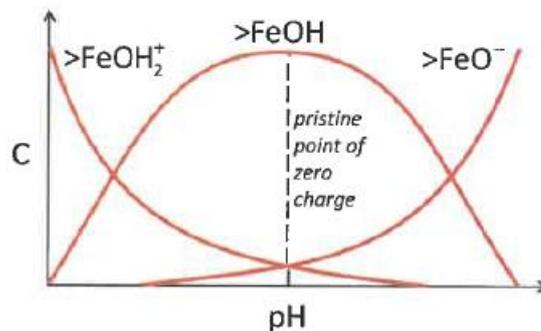
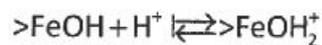


圖8、表面錯合作用示意圖，顯示流體中離子與沉積物之交互作用。



- Protonation



- Deprotonation

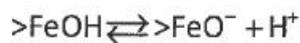


圖9、pH值變化影響離子吸附行為。

流體中除了離子外，尚有需多膠體物質（colloids）。膠體物質為流體中直徑小於1 μm 的顆粒，具有很大表面積，因此很容易與各種物質發生化學反應。這些顆粒包括黏土礦物、氧化鐵、矽酸鹽、腐植酸、以及微生物等。這類膠體物質由於具有很強的反應能力，本身流動過程膠體也會發生凝結（coagulation）、絮凝（flocculation）等作用結合成更大的顆粒並沉降，因而隨時間與移動距離，膠體物質減少可能比單純離

子更快（圖10）。

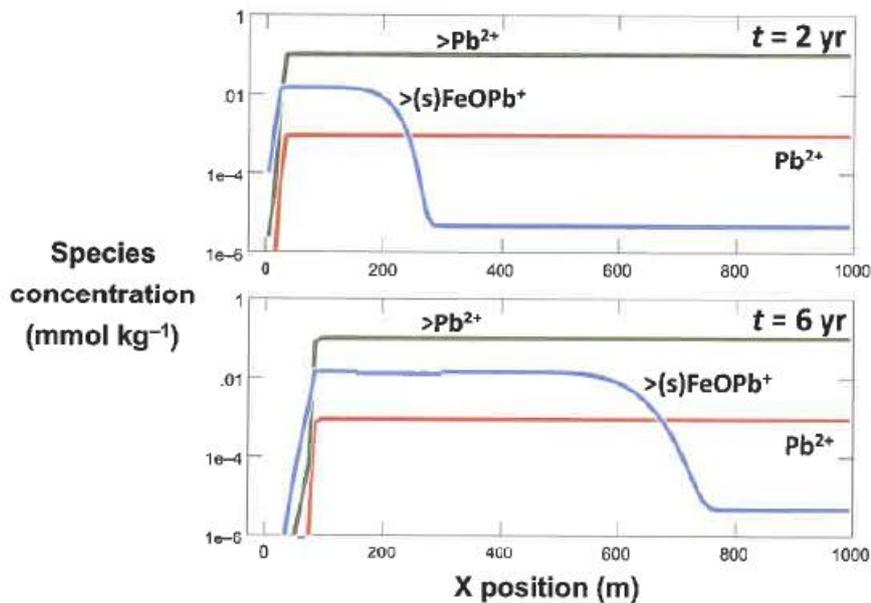


圖10、隨時間與距離演進，膠體物質（ FeOPb^+ ）會先自流體中被清除。

此外，關於反應傳輸模式尚有討論結垢（scaling）的問題。結垢問題其實與石油探勘及開採密切相關。一般而言，在生產後期，石油工程師通常以注水方式增加油氣產量，但這些被用來的液體性質各異，可能在注水過程中與地層或井壁物質發生反應，造成某些物質析出沉澱形成結垢。在這課程中介紹一個北海的例子，該處使用海水激勵生產，但海水中的鋇離子與硫酸根離子發生反應形成重晶石（barite）會堆積在管線中（圖11）。因此也能使用反應傳輸模式預測這些硫化物的飽和度與沉澱量（圖12），進一步可估算清管時機。

之後課程繼續探討物質反應之動力學（reaction kinetics），範圍包括礦物溶解與沉澱、氧化還原反應（redox transformations）、微生物代謝與生長（microbial metabolism and growth）、溶質和錯合物形成（redox transformations）、以及氣體傳輸（gas transfer）等等。動力學有許多模型可用，最常用的為Arrhenius方程，表示為：

$$K = A e^{-E/RT} \quad (6)$$

這也是油氣生成計算時常用的模式。實際上進行模擬時，必須視需要選擇符合實際要探討之現象的模式。如探討礦物沉澱或氧化還原作用有不同動力學模型。

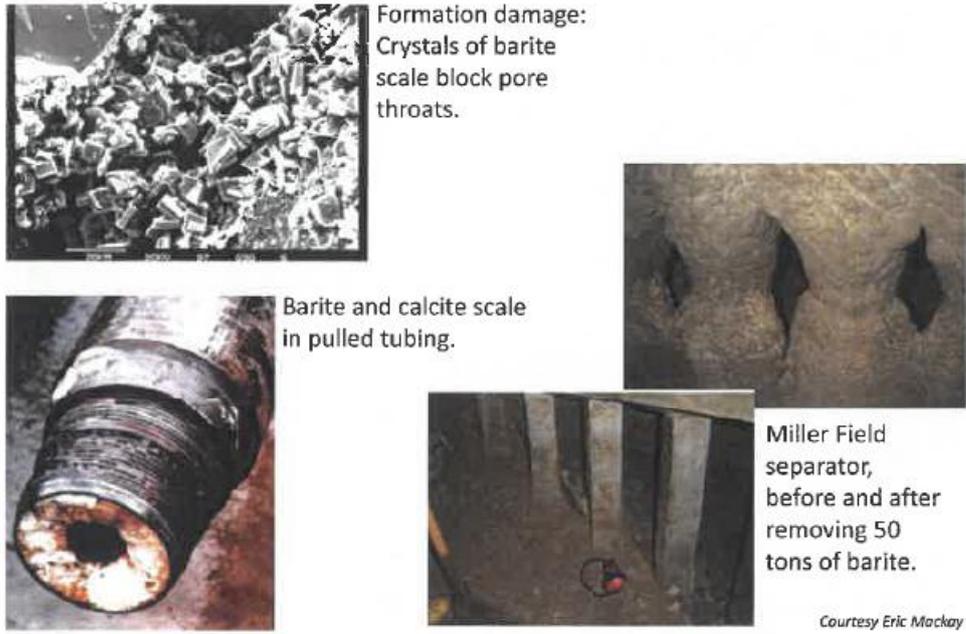


圖11、北海油田管線中的結垢。

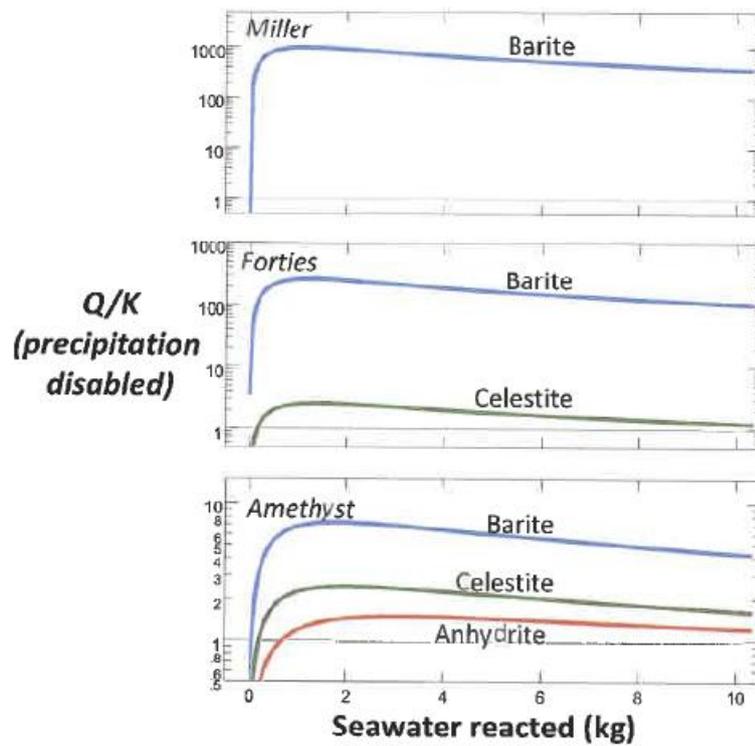
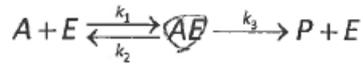


圖12、管線中硫化物之飽和度。

生物降解 (biodegradation) 也是很反應傳輸模式重要的一環，其中最主要討論的部分為酵素催化 (enzymatic catalysis) 作用。如下列反應：



反應方程式依循Michaelis-Menten方程，其描述如下：

$$r^+ = k_+ m_E \frac{m_A}{m_A + K_A}$$

其中

k_+ : rate constant

m_E enzyme concentration

m_A substrate concentration

$K_A = (k_2 + k_3) / k_1$

微生物降解反應速率常數受微生物所需養分濃度以及酵素濃度所控制（圖13）。

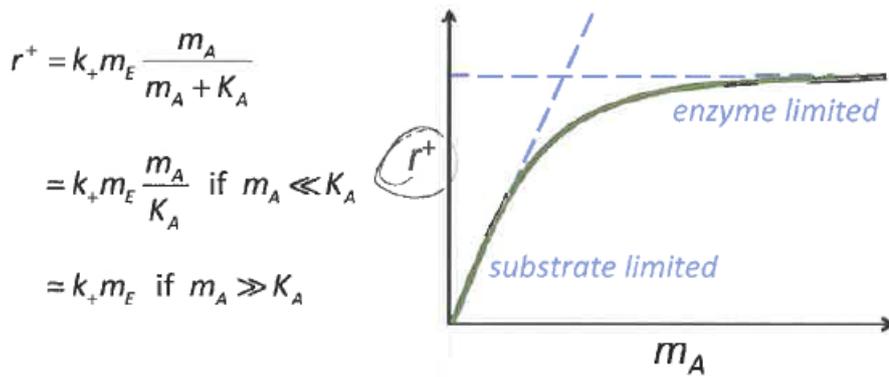


圖13、反應速率常數與養分以及酵素濃度的關係。

此外尚有個案例討論苯在環境中的生物降解。案例中分別模擬有無生物降解反應的差別，結果顯示加入生物降解作用後在多年後濃度會大量降低（圖14）。同時進一步考慮微生物代謝反應，可以預測污染物消長情形。如砷（As）為有害生物的物质，使用反應傳輸模式可模擬經過生物代謝作用後，不同砷物種彼此間消長變化情形（圖15）。除此之外，如核廢料進行貯存後，也能使用反應傳輸模式追蹤核廢料貯存設施周邊的放射性核種濃度，達到周邊環境監測之目的。這些結果指出反應傳輸模式在污染防治上有相當多的應用。

對於油氣探勘或本組業務而言，反應傳輸模式最顯著的應用在於油氣生產與污染防治方面。在油氣生產部分最主要可討論管線結垢的與防治。不過這個模式目前的討論多集中在無機物，在有機物的部分，如高蠟份原油中的蠟份析出與沉澱相關探討較

少，也可能因為有機物質種類更多，需要設計更複雜之模式。而在環境污染的部分，特別對於油污染，搭配反應傳輸模式與生物降解或許能追蹤油污染物質在環境中的變化情形，提供新的油污染防治之道應用於污染場址與其周邊的環境整治。而在傳統探勘部分，也能使用反應傳輸模式，搭配微生物相關培養實驗，與微生物代謝物分析，探討自然界中原油生物降解過程的控制因子，也將有助於油氣資源探勘與開發。

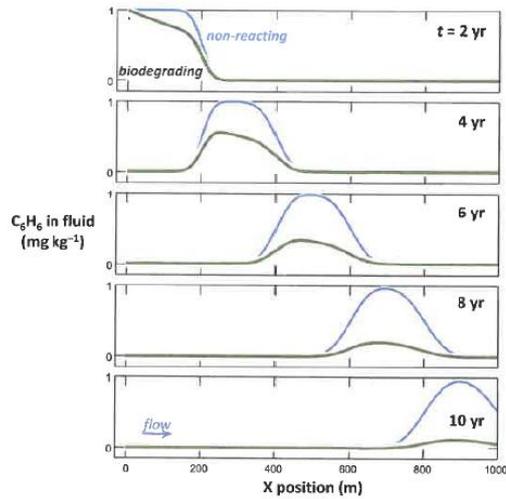


圖14、加入生物降解，多年後苯濃度大量降低。

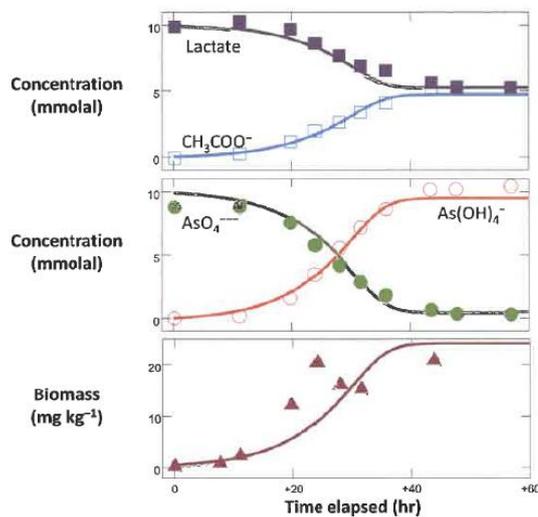


圖15、考慮生物生長與代謝，不同砷物種濃度變化情形。

二、8月19日~8月23日：正式會議

8月19~23日為正式會議期間。議程共14項大主題（themes），121項專題（

sessions) ，發表方式包括壁報(poster)論文及口頭(oral)論文。其中壁報論文總有2208篇，口頭發表有2395篇。大會演講(plenary speakers)有5個。這是個規模相當龐大的會議，涵蓋地球化學各種領域，為國際地球化學領域之年度盛事。會議進行方式為上午及下午均為口頭報告，中午為大會演講，下午17:30~19:30為壁報時間。就議程而言，壁報時間安排在口頭報告之後，可使與會者不需擔心壁報與口頭報告時間相衝突，可儘量觀看有興趣的部分。然而因為會議規模太大，筆者亦非專精所有的領域，因此本報告著重在與油氣探勘有關的領域。以下敘述過程將以與油氣探勘有關的主題為主。

8月19日：

這一日與油氣探勘有關的專題為油氣儲集岩之地球化學(Geochemistry in Hydrocarbon Reservoirs)。在這天上午的專題中，有相當多口頭報告討論儲集岩中天然氣的叢同位素(clumped isotopes)組成。叢同位素是指與化合物中所鍵結的原子由較重之同位素所取代。以甲烷而言，其分子式為 CH_4 ，分子量為16，但自然界中仍存在有兩種分子量為18的甲烷分子，包括 $^{13}\text{CH}_3\text{D}$ and $^{12}\text{CH}_2\text{D}_2$ ，以及兩種分子量為17的 $^{13}\text{CH}_4$ and $^{12}\text{CH}_3\text{D}$ 。拜現代同位素質譜儀技術與設備更為精進，過去這些自然界中相對豐度較低的重同位素現在也能偵測且應用。而叢同位素的形成、平衡目前研究與溫度關係密切。因此目前有許多研究應用分子量18的甲烷估計熱成熟來源之甲烷的形成溫度。以這點而言，對於台灣南部油氣探勘或許能提供一些新的探勘方向。對於台灣南部有許多氣苗，特別分布在龍船斷層東，目前已知主要為熱成熟氣。若能測量這些氣苗天然氣的叢同位素組成，瞭解其形成時溫度，結合1D盆地模擬技術，或許對於油氣來源可以有新的認識。

除了叢同位素測量外，尚有許多相關研究。如在實驗室內進行熱裂解實驗，測量樣品熱裂解後叢同位素分異情形，甚至進一步探討C2+氣體在自然界中熱裂解，生物降解等作用下其叢同位素的變化。而且在這些報告中，筆者注意到作者群有許多是來自石油公司，如ExxonMobil的研究人員，顯示國外在這領域有不少工作是學術機構與石油公司合作進行。相對而言，以叢同位素探討天然氣是較新的領域，目前國內學界已經有學者進行研究中，在2019台灣地球科學聯合會有一則研究台灣西南部泥火山氣體叢同位素，而本公司目前尚未進行相關工作。叢同位素目前仍是發展中的技術，目前尚未有商業化的質譜儀專供叢同位素分析使用；台灣雖有學者以泥火山氣體進行這

方面研究，但這是與國外合作結果。因此，若需進行叢同位素相關研究台灣地區熱成熟氣苗，或許未來能先以產學合作方式進行，藉由產學合作支持學界進行研發，也同時訓練公司的相關研究人員瞭解這項技術。另外也結合本公司現有其他技術，或許能有機會區分出台灣地區天然氣的源岩，特別是對台灣南部的熱成熟氣。目前台灣南部油氣的源岩仍有待釐清。待之後叢同位素技術更成熟，或是有商業化的產品再進行購置設備並在本所建立相關實驗室。

同一專題下午的議程內容較多樣化，其中有些報告討論到反應傳輸模式在油氣探勘的應用。該報告中的研究人員以機器學習的概念嘗試發展新的演算法，以處理儲集岩中大量化學平衡與化學動力學反應，目的是要改進分析速度。還有一個報告為描述如何使用反應傳輸模式預測管線結垢的狀況。除了反應傳輸模式的應用外，還有NSO化合物的應用。NSO為含氮、硫、氧元素之高極性化合物，普遍存在原油中。分析不同成熟度原油中的NSO物種也發現其變化有規律性，也能與傳統自生物標記（**biomarker**）建立之成熟度指標對比。還有一個報告不在這專題，但與油氣探勘有關。該報告內容是偵測海床可氧化碳氫化合物微生物所產生之完整極性脂質（**intact polar lipid**）來偵測油氣存在。該研究也篩選出一些分子，可藉由分析海床中沉積物中這些分子，搜尋海域油氣所在。偵測可氧化代謝碳氫化合物微生物的完整極性脂質可應用在台灣西南海域相關探勘，這地區過去已知海床有許多氣苗存在，也有國內學者進行這一帶海床微生物調查。不過完整極性脂質相對於石油探勘所用的生物標記有更大的分子量，或是更多極性官能基存在，這些化合物並無法以本組現有設備氣相層析質譜儀量測，需要使用液相層析質譜儀（**Liquid Chromatography Mass Spectrometry, LC/MS**）進行。同時這種方法仍在學術研究階段，因此目前也能以產學合作方式進行相關研究。若有機會進一步發展，或許除了應用在海域探勘外，同時也能應用在海域油氣洩漏偵測與漏油防治。

同時，於本日壁報時間筆者亦發表一篇壁報論文，探討台灣南部沉積岩有機地球化學特性，及其所反映的台灣南部沉積環境與構造活動的演變史，顯示晚中新世以來因造山運動，有些年代較老的沉積物會混入中新世晚期以後所沉積的地層。不過從筆者成熟度相關指標來看，顯示以甾烷化合物和芳香烴所表示的成熟度有出入。有學者指出這部分或許更要討論相關構造活動的進行，如盆地沉降速率會造成飽和烴與芳香

烴對於熱有不同反應，而導致這兩類化合物所反映的成熟度有明顯差異，而不能單純歸因於老的物質再沉積。此外目前筆者著重在晚中新世以來地層，但是最大問題是這段時間以來地層有機物豐度較低，未來仍需再進一步探詢有機物豐度較高的地層，方有助於台灣南部的探勘活動。

從本日與油氣相關專題報導發表人員來看，有不少來自各大石油公司，顯示各石油公司對於地球化學探勘的工作一直持續進行，也不斷地開發新技術，走在相關領域的前沿。

8月20日

本日較少與油氣探勘相關的主題，但在其中一個主題地球化學解救世界（**Geochemistry Saves the World**）有一則報告，討論如何從油砂中的重油提出氫。現代因溫室氣體持續排放導致全球暖化，導致極端氣候事件頻繁發生，造成需多災害。因此需要相對乾淨之能源，減少溫室氣體排放。在這則報告中，研究人員藉由通入氧氣，在含重油之儲集岩中製造一系列反應，包括一氧化碳加水生成二氧化碳與氫氣之水煤氣反應，接著利用一系列薄膜將各種產物除去，只留下氫氣排出。然而可能因為這研究成果正在申請專利中，所以研究人員在報告中並未透漏完整過程。不過若此研究可商業化，則對乾淨能源而言是一項突破。這研究也是由大學與能源業合作，顯示在資源與能源探勘常倚靠學術與業界攜手合作。

8月21日

本日較少與油氣探勘有關之主題，不過下午有一個短演講（**flash talk**）的專題與油氣相關。短演講專題的報告時間較短，一般報告為15分鐘，短演講只有5分鐘，主要是給壁報發表者另一個機會介紹其研究成果。其中有項技術開發為使用軟離子化技術（**soft ionization technique**）。此方法有別於一般GC/MS使用電子游離法或化學游離法，使用電漿（**plasma**）作為離子源。主要分析對象為短碳鏈正烷烴。其原理為利用空氣中的臭氧，在離子化過程中與正烷烴反應形成 $[M+O-3H]^+$ 離子，在質譜中進行定量；主要應用在天然氣等碳鏈較短的烴類化合物。另外也有報告討論不同類型鹽湖（**salt lake**）生成油氣的時間。鹽湖可分為兩種類型，分別為碳酸鹽類型湖泊（**carbonate lake**, CO_3^{2-} : 多； Ca^{2+} :少）與硫酸鹽類型湖泊（**sulfate lake**, Ca^{2+} :多； SO_4^{2-} : 多； CO_3^{2-} :少）。對這兩種環境的有機物質進行封閉金管水合熱裂，發現以下數個特徵：(1)硫酸

鹽類型湖泊產生的氣體較多；(2)硫酸鹽類型湖泊在開始加熱時生成之液態烴較多；(3)碳酸鹽類型湖泊達到產油高峰較早，但產氣高峰則晚於硫酸鹽類型湖泊。同時該研究也討論黏土礦物的影響。分析結果顯示碳酸鹽類型湖泊含有較多蒙脫石（smectite），而這種黏土礦物和油母質（kerogen）之間鍵能較低，因此在受熱過程容易受破壞，造成碳酸鹽類型湖泊先達到產油高峰。

8月22日

本日沒有油氣探勘相關之口頭報告，只有壁報展示。其中有個壁報使用水域中常見的二枚貝（bivalve）作為樣品，分析其中主要元素（Ba、Sr、Ca）、環烷烴、與 ^{226}Ra 及 ^{228}Ra 核種來追蹤油污染。其中主要元素與環烷烴明顯會累積在二枚貝殼體與軟組織中，可用來追蹤水質與污染物來源；然而 $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ 在二枚貝殼體或組織並無顯著變化，其所反映為水體環境特徵。

8月23日

本日有較多非傳統油氣的報告，包含緻密油氣、頁岩油氣等。主要內容以這些頁岩氣來源與沉積環境討論為主。還有尋找頁岩氣之甜點（sweet point）的討論。頁岩氣甜點指探勘最佳目標。方法包括使用惰性氣體（noble gas）、筆石化石分帶等。除此之外，尚有應用紅外光譜原子力顯微鏡（infrared spectroscopy-atomic force microscopy）觀察頁岩氣源岩層。其中有觀察這些油氣排放過程中，隨著被排出的分子移動距離增加，源岩的C=O官能基減少， CH_3/CH_2 增加；此研究反映在油氣在排放時，油氣與源岩間的有機分子在奈米尺度下的變化。

除了探勘外，非傳統油氣生產時的廢水整治也是較受關心的主題。有個報告對美國North Dakota溢流廢水做研究，發現這些廢水有較高Na、Cl、Ba、Sr、Li、 NH_4 、與微量碳烴化合物。另外部分頁岩氣礦區有較高有害元素，如Se或As。這些元素存在於頁岩中，但使用液裂時會加速頁岩之風化，導致這些元素排入地下水中，對環境造成衝擊。

雖然Goldschmidt會議較大，涵蓋整個地球化學領域；但仍有為數不少與油氣探勘有關之發表。而且不單是學術機構，也有許多能源或石油公司研究人員參與，因而為了培養公司地球化學探勘或環工人才，未來也是值得派員參加該會議。

參、具體成效

本年度參加 2019 Goldschmidt會議，於會議期間參與大會所提供之兩天會前短期課程—反應傳輸模擬操作課程，以及參與會議全程，具體成效如下：

1. 參與反應傳輸模擬操作課程，瞭解反應傳輸模式在地球化學的應用。未來若有軟體或適合的資料，則能推廣應用反應傳輸模式，用來探討油氣的生產地球化學，如管線或生產井結蠟或結垢；或是儲集岩中原油生物降解過程，以及油污染場址整治與污染物追蹤，或是其他地熱井相關地球化學問題。
2. 發表國際會議論文一篇，增加本組論文績效，並有機會交流工作心得。
3. 瞭解地球化學新技術發展，特別是叢同位素在天然氣探勘之應用。這項技術或許有助於氣苗分布廣泛的台灣南部探勘。
4. 瞭解部分非傳統油氣相關進展，還有開發這類非傳統油氣所會遇到之環境問題，以及可能整治思考方向。

肆、心得與建議

本次出國開會時間共10日，因事前已做好規劃與準備，因此行程、議程等均順利進行，全程專心參與各項議程，以了解目前世界各國油氣地球化學探勘發展之趨勢及可借鏡之處，獲致心得如下：

1. 目前對於地球化學所得資料，有越來越多的工具可供資料做進一步分析。如統計方法，或是地球化學模擬。如果能在資料分析完成後，進一步分析這些資料特性，如使用統計方法，或是應用如本次出國所學習之反應傳輸模式分析所得資料，則有機會對於油氣探勘，或污染整治做進一步研究，開拓更多視野。如此有機會提升研發績效，而非只停留在單純服務與化驗。
2. 從這次會議可觀察到，新技術仰賴許多產學合作機制。如天然氣叢同位素的研究與應用，以及從油砂中提取氫氣。在公司研發上可多利用產學合作方式，利用學界智慧來協助研發工作進行。增加與外界交流的機會，彼此提供腦力激盪，也有助於提升本公司的研發能量。
3. 如 Goldschmidt 這類地球化學領域的大型會議可依年度會議主題多派相關領域人員一同前往。一個人無法吸收會議所有內容，不同學科亦需要不同專才的人員學習，方有助於達到於會議吸收新知的目的。

伍、附錄

一、大會議程



詳細議程可參閱: <https://goldschmidt.info/2019/program/programViewDa>

Organic geochemical characteristics of Miocene and Pliocene sedimentary rocks in the southern Taiwan

L.-J. SHIAU*, J.-H. HSU, J.-C. SHEN, L.-T. LIN, H.-J. MO
EDRI, CPC Corporation, Taiwan, Miaoli, 36042, Taiwan. (*correspondence: shiaulj@cpc.com.tw)

Introduction

The Kaohsiung-Pingtung area in southern Taiwan has considerable seeps exposed shown to have oil and gas exploration potential. This study presents the hydrocarbon and biomarker results revealed by gas chromatography tandem mass spectrometry (GC-MS-MS) and pyrolysis-gas chromatography (Py-GC) from outcrop rocks in southern Taiwan. The age of these samples ranges from the mid-Miocene to late Pleistocene. The site locations and regional stratigraphic chart are illustrated on Fig. 1 and Fig. 2, respectively.

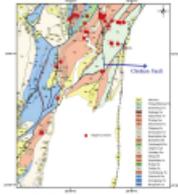


Fig. 1 The sites Map and the %Ro value of samples. In the east of the Chishan fault, the maturity of outcrop samples is significantly with higher value.

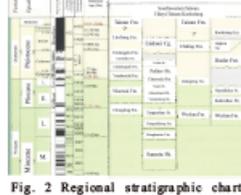


Fig. 2 Regional stratigraphic chart (Adapted from Chen et al, 2016).

Fig. 5 Cross-plot of Pristane/C_n n-alkane (Pr/n-C_n) and Phytane/C_n n-alkane (Ph/n-C_n). Most samples are mainly composed by humic kerogen.

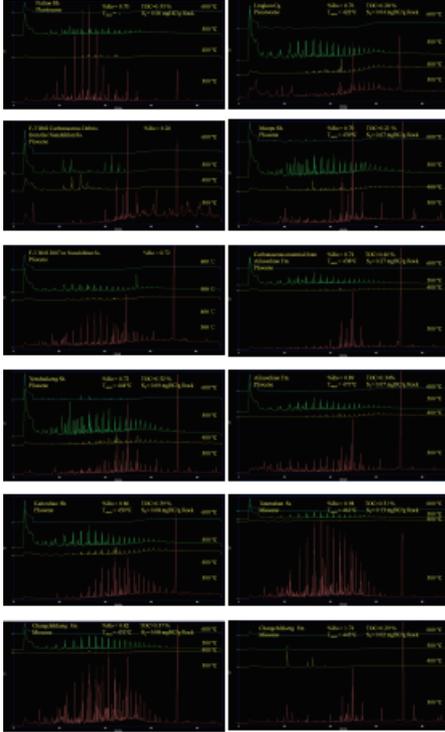


Fig. 3 The organic richness of rock samples in this study

Methods
The TOC (total organic carbon) contents were analyzed by element analyzer, and the hydrocarbon potentials were analyzed by Rock-Eval II. The GC-MS-MS could avoid the co-elute problems on the biomarker analysis and the Py-GC is useful to analyze compounds bound in the kerogen. We combined these two methods to discuss the outcrop samples from the southwestern Taiwan.

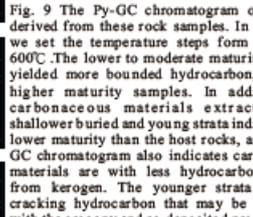
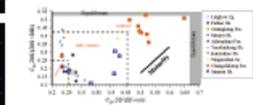
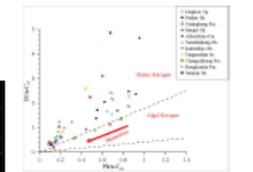


Fig. 9 The Py-GC chromatogram of kerogen derived from these rock samples. In this study, we set the temperature steps from 300°C to 600°C. The lower to moderate maturity samples yielded more bounded hydrocarbon, than the higher maturity samples. In addition, the carbonaceous materials extracted from shallower buried and young strata indicating the lower maturity than the host rocks, and the Py-GC chromatogram also indicates carbonaceous materials are with less hydrocarbon cracked from kerogen. The younger strata are with cracking hydrocarbon that may be associated with the orogeny and re-deposited processes.

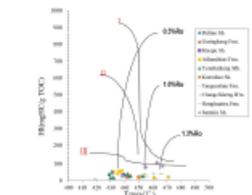


Fig. 4 The cross-plot of Hydrogen Index (HI) and T_{max}.

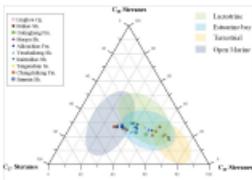


Fig. 6 Ternary diagram of C_n-C_{n+1} regular steranes.

Fig. 7 Cross plot of C_n steranes 20S/(20S+20R) and δββ/(ββ+αα)

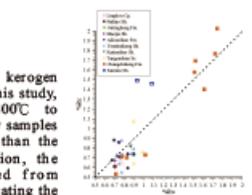


Fig. 8 Cross plot of Rc% (derived from the Methylphenanthrene Index) and Ro%.

Results and Discussion

The Rock-Eval analysis indicated that these samples are mainly composed of type III organic matter, and that the grades of organic matter contents are poor to fair. The GC-MS-MS analytical results of biomarkers extracted from the rock samples indicate that the strata are mainly of neritic facies.

The maturity revealed by biomarkers and vitrinite reflectance (%Ro) indicate that most of these samples are of low to moderate maturity, which is also supported by the Py-GC data of the kerogen pyrolysis results. However, we also found the %Ro in the carbonaceous materials from the Pliocene strata is lower than that in the host rocks in the borehole of this region, suggesting the young strata haven't be buried deeply and the %Ro of the strata should not be so high. Therefore, it might be attributed to the re-deposition processes that are associated with the erosion resulted from the intense orogeny and stronger precipitation, or other different depositional environments.

In addition, the Py-GC results revealed the cracking hydrocarbons exist in the kerogen of these mature rock samples collected from mid-Miocene to early Pliocene, which indicates the hydrocarbons of the seepages could come from the above-mentioned strata or earlier one. The results may provide an insight into the future exploration in onshore and offshore southern Taiwan.