

# 台灣高屏地區油氣分析及生油潛能評估

沈俊卿、吳素慧、溫大任、林殷田、莫慧偵  
胡錦城、王明惠、張錦澤、楊志成、陳若玲、蕭良堅

中油公司探採研究所

## 摘要

高屏地區因出露僅為年青地層，而較老的地層亦因泥岩層而無法藉由震測資料來獲得其形貌與分布特性，藉由本區域出露甚多的氣苗及油苗的研究，以作為探勘新油氣藏的參考依據。本報告除了研究分析較易取得的泥火山流體，包括油、氣及水外，也嚐試進行前未曾做過的斷層帶逸出氣體偵測，在已進行偵測的斷層如旗山及月光山斷層與其西側的古亭坑斷層均偵測到氣體異常，這些氣體及各泥火山氣體之多次採集分析結果，顯示皆以甲烷氣體為主，而甲烷同位素分析結果若依一般第三類型有機物生成氣體之同位素解釋方式，包括烏山頂、烏山巷及新養女湖等大量冒氣的點，其氣體來源有機物成熟度介於1.9~2.5% Ro，與鳳山三號井之氣體皆為高成熟度來源，鳳山三號井之油與氣體皆顯示相同的成熟度。此兩個出現高成熟氣體區域南側均存在重力高區，顯示此兩個高區在蓋層封閉良好情況下，應有較大量成熟油氣封存；甲仙油礦巷的兩次分析值與鄰近祥和園分析值相近，二者冒氣量皆大，為同樣的氣體來源有機物成熟度約為2.2% Ro遠高於出露地層的成熟度，前述大量冒氣點的來源有機物成熟度為第三類型有機物之區段最大產氣量，這樣的有機物成熟度遠高於地表出露南莊層之有機物成熟度，顯示深鑽的可行性。介於燕巢及甲仙之間的杉林火山與同樣小冒氣量的高師大一樣，氣體來源有機物成熟度稍低為1.5~1.7% Ro，此區即平溪斷層右側下方可能存在背斜構造，深度約2.2公里，在剩餘重力圖也可見有一重力高區存在，深部高成熟度氣體可能儲集於背斜構造之中。位於燕巢泥火山區北方的中寮山空氣中也偵測到甲烷異常值，且兩次取得氣樣之同位素分析值相近，也與該區南勢湖取得之甲烷同位素值相近，屬低有機物成熟度或受生物性甲烷影響。若為前者則顯示中寮山下方較老儲層與泥岩側接的斷層封閉有機會儲集高成熟度油氣。

## 一、背景說明

多年來在南中國海的探勘結果，顯示不管南中國海的北部、南部及西部，均有大量油氣發現與生產。在大陸的東部沿海曾發現豐富的油氣藏，由於這些發現的油氣藏，大部份產生自早第三紀的斷陷盆地裡的藻類富集湖相生油岩地層，導致大陸成為發現陸相油藏最多、儲量最大的國家。這些早第三紀的陸相湖盆主要分佈在沿海的陸棚淺海中，在這一系列的湖盆外側同時存在著一些盆地，這些盆地亦發現大量油氣，如瓊東南、白雲凹陷、臺灣西北部及西湖凹陷等皆為含煤三角洲。臺灣位在南中國海的東北部，若以海洋地殼來區隔，臺灣屬於南中國海的北部，也就是大陸的東南沿海。上述區域的探勘結果雖顯示這些區域有探勘價值，然而湖盆外側實際探勘結果，卻顯示並非全面性僅前述少

數區域有油氣發現，如何在此區域尋得油氣藏？勢必深入探究其形成油氣藏的原因，方能有效鎖定有利構造並精準鑽探得油氣。

在南中國南側的南沙(禮樂平台)南端曾鑽探Sampaguita構造，在井下白堊統的頂部至上覆層(下始新統)的底部有鑽獲豐富油氣。生油岩層為下白堊系及中始新統外淺海相頁岩，有機富集度高，屬自生自儲型油氣。但南沙(禮樂平台)東側即巴拉望西側曾鑽得豐富油氣的Malampaya油氣田。其生油岩除Nido Limestone的深海相泥灰岩及碳酸岩，且其有機富集度高。尚有古第三紀同張裂沉積的深海相泥灰岩及頁岩，有機碳含量也屬良好級，另外始新世煤層及下部中新統泥岩，此區域在新生代海底擴張之前，它們位於古南海北部邊緣，新生代時期的海底擴張，將南海陸緣分裂為南、北兩部分。從南北陸緣構造層序及物源之分析，顯示早白堊紀時南沙(北巴拉望)地塊與南海北緣曾發生碰撞併合。在早白堊紀時期南海北緣地區沉積環境係由海陸過渡相變成陸相，而同時南沙(北巴拉望)地塊則與臺灣近似係由淺海相向濱海相演化，南海南北兩側同樣的皆有向上變淺的沉積現象，這是南、北陸緣併合才有一致的構造沉積升降變化。陸塊抬升的結果到晚白堊紀末期成為陸地而受到剝蝕；南海北緣地區上白堊統已然被剝蝕，而距隱沒帶較近的禮樂地區上白堊系則全部被剝蝕殆盡(李伍志等，2011)。

台灣西南部因活躍的地體運動，致使本區域出現極多的氣苗及油苗，油、氣苗通常是探勘一個新油氣藏相當經濟的參考指標，早期的油氣田之發現均係依據地表面所發現的油氣徵兆作為參考依據，再進行鑽探而發現的。苗栗出磺坑構造上的大坑有大量熱成熟氣逸出，其分析結果證實本研究的可行性。即藉助油、氣苗的特性與組成分析，可以瞭解地底下可能蘊藏的是什麼？在封閉不良且地質狀況不甚明確的情況下，油、氣苗的特性與組成甚至可以讓我們推估斷層的形態與深度。台灣地區不分南北均存在不少的油、氣苗，而所出露油氣的型態可分為氣苗、油苗及泥火山三種(圖一、二)，在數量上高達百處以上油、氣苗(含泥火山)。分布最多的是在南部麓山區，其次才是北部麓山區。南部地區則有嘉義縣中埔鄉、台南縣白河鎮、六甲鄉、龍崎鄉、楠西鄉，高雄市的田寮、燕巢、旗山、杉林、甲仙及六龜附近、屏東縣萬丹等地區(圖二)。

台灣南部存在一般較為少見的地質特色即泥貫入體，泥貫入體出露於地表的則稱為泥火山(圖二)，故其與岩漿噴發的火山全然不同。泥火山成因雖然有許多種，臺灣地區泥火山通常出現的幾個地質特徵，一為存在泥岩層，作為供應泥火山噴發的泥漿材料來源；二是有伴產天然氣的冒出，故點火可燃；第三則是通常出現在斷層活動帶，這可從台南縣與高雄縣的泥火山呈現兩個帶狀分布，而分布點則與背斜構造上出露地表的斷層成平行排列看出。大多數的泥火山其出露處，多分布在新生代末期第三紀上新世至第四紀更新世的地層分布區內。

依據民國56年石再添教授的調查，發現當時全省共有17處活動的泥火山區，以及總數為64座的泥火山。但在民國75年王鑫教授的“泥火山地景保育區調查報告”裡只發現15處，數目的減少被歸因於地點偏遠以及噴發規模小的泥火山，已難以尋獲。此研究的採樣過程，如烏山頂的噴發點也改變了，此區域之泥火山主要係沿斷層分佈，泥火山的形成主要因素為壓差或通道。造成壓力差的可能因素如水頭壓力差，另外高壓泥岩存在下方。泥岩能穿刺進入上方較年輕地層，

通常係因孔隙水排移不及，造成地層無法正常壓密，結果是形成顆粒間膠合不良的低密度高壓地層，高壓泥岩是有能力將泥岩中的孔隙水排移出地表。惟詹博舜(2001)長時間監測台灣泥火山流體的氫氧同位素比值變化，發現其氫氧同位素比值隨時間的變化很小；而經由氧同位素地溫計顯示，位於古亭坑背斜與高屏海岸平原活動區的泥火山流體來源溫度約為100°C(其埋深近三千公尺，地層未達油窗)，而位於旗山與觸口斷層活動區的泥火山流體來源溫度約為160°C(其埋深近4,500公尺，地層達油窗末期約1.2% Ro)。烏山頂泥火山的「氣體」、「液體」與「噴泥」的來源深度與溫度皆不相同。「液體」形成溫度約攝氏159度，來源深度推斷為5,300公尺(詹博舜，2001)。「噴泥」的溫度平均約為攝氏25.8度，並且與氣溫變化呈現高度的正相關，推測噴發物質可能是在深部形成，但儲存於217公尺以內的淺層內(吳唐竹，2003)。

泥火山氣體成分趙鴻椿(2003)分析結果，西南部泥火山區，甲烷(90~98%)、空氣(1~8%)、二氧化碳(0.5~5%)，除養女湖地區為熱形成來源氣體外，多屬於生物源以及混和來源。

「液體」的成分分析，從噴泥中液體的氫氧同位素，液體的來源不含天水，主要來自地層源生水和礦物的脫層水。

本研究項目即針對高屏地區氣苗與泥火山之分布與組成進行野外調查，參照前人分析結果，選取重要具代表性之路線剖面，運用本所新購置之可攜式溫室氣體分析儀，現地偵測地表甲烷或二氧化碳之氣體濃度，並就初步調查所得之高異常濃度樣區再作追蹤。於現地獲得初步分析結果後，再將代表性樣品採集氣樣或泥樣後攜回實驗室後，進行整體碳同位素或分子間碳同位素分析。

## 二、研究技術說明

### (一) 野外現地甲烷逸氣分析調查

針對本研究目標區即旗山斷層沿線之週邊，初步進行調查即沿旗山斷層、木柵斷層、龍船斷層及古亭坑斷層沿線，包含大寮剖面，而沿旗山斷層則包含旗山—杉林、中寮山剖面，應用本所新購置之可攜式溫室氣體分析儀及雷射甲烷偵測儀，針對地表逸氣進行甲烷氣體與一、二氧化碳等氣體濃度進行偵測。在現地獲得初步分析結果後，將濃度較高且具代表性樣品，將氣樣或泥岩樣品採集後攜回，進行室內儀器分析。

#### 1. 油苗與凝結油樣品

油苗樣品先經前處理，再進行油樣碳氫化合物組成特性分析，藉由油樣生物指標特性分析探討有機物來源與沉積環境、有機成熟度等，及進行比對參考。

## 2. 泥漿

採集的泥漿經烘乾(<50°C)和磨粉後，分為三部份，分別進行：

- (1) 取一部份，以本所之熱裂分析儀及碳/硫分析儀分析其中所含之遊離性(S<sub>1</sub>)、裂解性碳氫化合物(S<sub>2</sub>)及有機物碳含量(Total Organic Carbon, TOC)，建立泥漿地化資料。
- (2) 取一部份岩樣，以鹽酸、氫氟酸去除碳酸岩及部份矽酸鹽，再以重液(ZnCl<sub>2</sub>)浮選油母質。部份油母質做成反光片，以量測其鏡煤素反射率，以瞭解岩樣成熟度；部份油母質進行同位素分析。
- (3) 取一部份泥漿粉末(約 100 克)以有機溶劑(二氯甲烷及甲醇，9:1 比例)萃取其中可溶有機物(Total Organic Extract, TOE)。部份 TOE 以正己烷、苯及甲醇為沖提溶劑進行管柱分離，得飽和煙、芳香煙、土瀝青及含氮硫氧化合物，以進行組成與同位素分析。

## 3. 天然氣成份分析與鑑定

天然氣成份分析是利用快速氣相層析儀(RGA-HP7890 GC)進行天然氣分離後再以安捷倫(HP-1)30 m × 320 μm × 8 μm管柱加以分流，並以FID偵測器與TCD偵測器二組偵測器(Detector)偵測，本實驗共鑑定11種天然氣成份分別為Methane、Ethane、Propane、iso-Butane、n-Butane、iso-Pentane、n-Pentane、C<sub>6</sub><sup>+</sup>、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>及N<sub>2</sub>等。

### ● 甲烷與 CO 值偵測：

甲烷與 CO 氣體偵測器係利用 GT200-3G 攜帶式三用氣體偵測器偵測。甲烷則應用兩種雷射甲烷偵測器，也同時也應用紅外線甲烷含量分析。

## 4. 分子間同位素分析(Compound-Specific Isotope Analysis)

本分析方法主要針對氣體。由各組成成份同位素的變化探討其生成關係。氫同位素分析則須在氣相層析管柱之後，再經過熱化學反應器(GC/TC)1450°C的反應，將個別化合物分別轉換成H<sub>2</sub>的氣體型態，最後才進入比值質譜儀分析。

天然氣樣本以GS-Q(30 m × 0.32 mm)毛細管柱分析，注射口溫度設定為250°C，載氣流速條件為：1 ml/min(8 min)→2 ml/min @ 1 ml/min(12 min)，升溫條件為：45°C(8 min)→165°C @ 20°C/min → 240 @ 25°C/min(5 min)。原油與TOE所分離出的飽和煙樣本以DB-1(60 m × 0.25 mm × 0.25 μm)毛細管柱分析，注射口溫度設定為290°C，毛細管柱初始溫度為50°C，並以每分鐘4°C的速度升到300°C，最後保持此溫度37.5分鐘。分析時以超高純度氦氣為載氣，以30 psi等壓控制載氣流量，載氣與樣本的分流比設定為1:1。

氫同位素比值通常是以相對於國際公認的V-SMOW標準樣本的 $\delta D(\text{‰})$ 表示，樣本分析所得的D/H與經過校正的氫氣標準氣體做比較之後，即可得知其 $\delta D$ 值，其轉換公式為：

$$\delta D \text{ sample} = \left[ \left( \frac{D/H \text{ sample}}{D/H \text{ standard}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

## (二) 生油岩潛能評估之分析方法

採集的岩樣經清洗、低溫( $<50^{\circ}\text{C}$ )烘乾、和磨粉後，分為三部份，分別進行熱裂分析、總有機碳分析、及鏡煤素反射率觀測。

熱裂分析：熱裂分析採用法國石油研究院(IFP)研發之Rock-Eval(II)熱裂儀來進行分析。

總有機碳分析：總有機碳分析採用日本Horiba公司之碳硫分析儀。

鏡煤素反射率分析：以油浸法在顯微鏡下量測其中鏡煤素之反射率。鏡煤素為植物的木質部，本單位測量之鏡煤素反射率為每個樣品約100個測量點之平均值。

## (三) 野外地質及井下地質資料整合

高屏地區原為台南盆地的一部份，受南側南中國海板塊隱沒進入菲律賓海板塊下的碰撞壓縮後，抬升而出露在高屏麓山帶最老的地層為南莊層(中新世中期)。往南出露地層的年代變成較年輕。因此較老的地層也因泥岩層而無法藉由震測資料來獲得其形貌與分布特性，藉由本區域出露極多的氣苗及油苗的研究配合重力資料，提出可鑽探方向以作為探勘新油氣藏的參考依據。

## 三、研究成果

本研究嘗試以新的方法、新的儀器設備加上新的觀念，來分析及檢視臺灣南部的油氣探勘潛能，並藉由國外實例作參照提出臺灣南部探勘的新看法。臺灣西南部因活躍的地體活動，致使本區域出現極多的氣苗及油苗出現(圖一、二)，而這些出露於地表之油、氣苗的來源有機物類型、生成成熟度及沉積環境等特性，通常可提供地下未鑽遇地層與油氣藏的存在與否之推判參考。高屏地區因出露僅為年輕地層，老地層的資料無法由地表調查得知，同樣的也因泥岩層存在而無法藉由震測資料來獲得其形貌與分布特性，藉由本區域出露極多的氣苗及油苗的研究，以作為探勘新油氣藏的參考依據，是較具體可行的方法。

本報告除了研究分析較易取得的泥火山流體(圖二)，包括油、氣及水外，也嘗試進行前所未曾作過的斷層帶逸出氣體偵測(圖一)，在已進行偵測的斷層，如旗山及月光山斷層與其西側的古亭坑斷層均測獲氣體異常(圖一)，亦藉由這些斷層帶逸出的氣體找到新的氣苗位置，但這些甲烷氣出露異常點並未見有油的出現。中寮山兩次取得之甲烷同位素值相近，也與該區南勢湖取得之甲烷同位素值相近，顯示為剛成熟氣體或混合生物性甲烷的熱成熟氣體(圖三)。若為低熟氣體則顯示下方高度成熟氣體未經逸出，由於股古亭坑泥岩厚度大，深部高度成

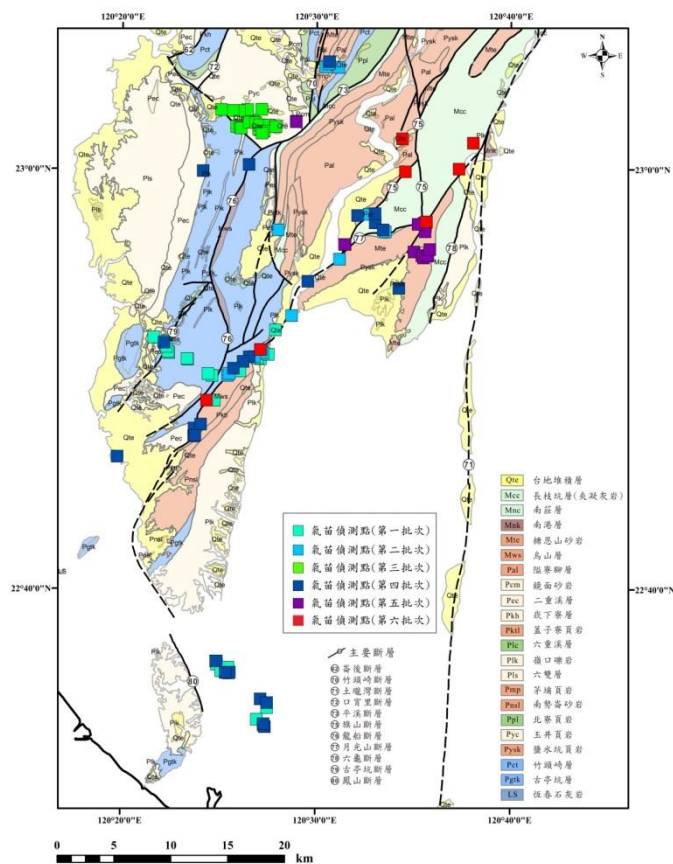
熟油氣可能儲聚於斷層側接泥岩層的封閉構造中，這顯示中寮山底下的封閉構造具探勘價值。

從各泥火山多次採集之氣體進行分析，其結果顯示皆以甲烷氣為主，除烏山頂前-1、高師大-1、深水及烏山巷皆含乙烷或以上成份，烏山巷氣體係於距噴氣孔5公尺外所採集低含量氣體，因此乙烷以上成份甚微。部份泥火山氣體如新養女湖、烏山頂含丙烷以上成份(顯示為熱成熟氣而非生物性甲烷)，而甲烷同位素分析結果若依一般第三類型油母質解釋方式，包括烏山頂、烏山巷及新養女湖等大量冒氣的點，其氣體來源有機物成熟度介於1.9~2.5%  $R_o$ ，與鳳山三號井之熱成熟氣體相近，皆為高成熟度來源，而鳳山三號井之油與氣體皆顯示相同成熟度。此兩個高成熟氣體區域南側均存在重力高區(圖四)，顯示該兩個高成熟氣體區在蓋層封閉良好情況下應有較大量油氣封存。而同區域較小冒氣量的高師大則顯示稍低的有機物成熟度，甲仙油礦巷的兩次分析值與甲仙祥和園分析值相近，同樣的氣體來源有機物成熟度介於2.2%  $R_o$ 遠高於出露地層成熟度，二者冒氣量皆大，顯示深鑽的可行性。烏山頂、烏山巷、新養女湖、甲仙油礦巷、甲仙祥和園等甲烷氣與苗栗大坑出露氣體相當，該氣體曾進行井下儲層氣體及泥漿氣體之比對。新養女湖與鳳山三號井之氣體之甲、乙烷皆為同樣來源(圖三)，不像深水苗圃受生物氣影響，而六龜出火坪及新養女湖氣體之甲、乙烷來源不同，新養女湖浮油亦與氣體之來源不同，浮油來源成熟度約僅0.7~0.8%  $R_o$ ，而六龜出火坪由變質岩出來的以甲烷為主氣體，經過與六龜出露地層相當的高成熟度岩層帶出其乙烷。前述大量冒氣點的來源有機物成熟度為第三類型有機物之區段最大產氣量(圖五)，換言之，就是第三類型有機物頁岩氣的甜點所在，為有機物成熟度遠高於地表出露南莊層之有機物成熟度，顯示氣體亦來自深部。

介於燕巢及甲仙之間的杉林火山與同樣小冒氣量的高師大一樣，氣體甲烷碳同位素比值別為-35.3‰，來源有機物成熟度稍低僅為1.5~1.7%  $R_o$ ，此區即平溪斷層右側下方可能存在背斜構造(圖六)，深度約2.2公里，在剩餘重力圖也可見有一重力高區存在(圖四)，深部高成熟度氣體可能儲集於背斜構造之中。

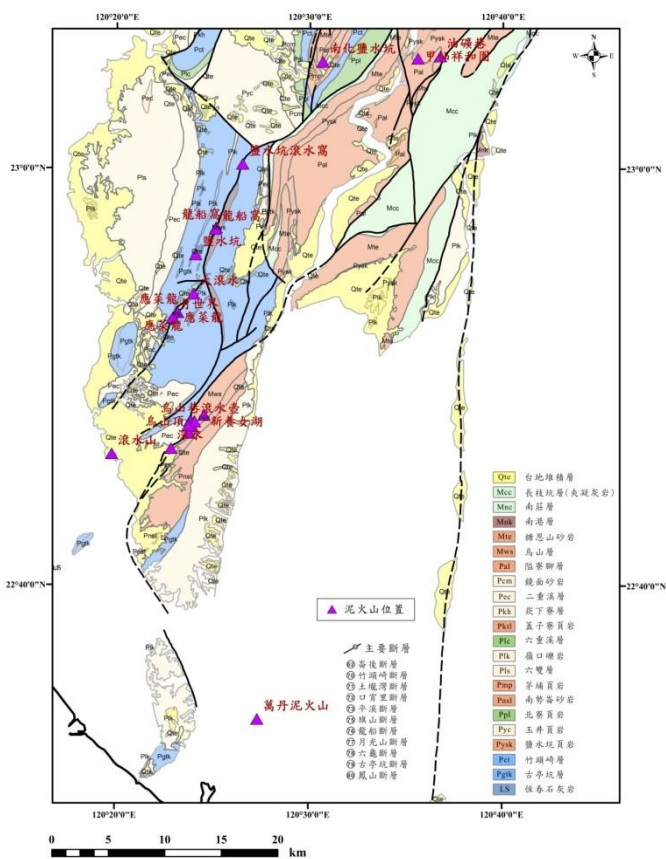
位於燕巢泥火山區北方的中寮山空氣中偵測到甲烷異常值，並於兩次取得氣樣同位素分析值相近，屬低有機物成熟度或受生物性甲烷影響。若為前者則顯示中寮山下方有良好蓋層的較老儲層，當其與泥岩側接時的斷層封閉有機會儲集高成熟油氣。

### 野外空氣中甲烷異常位置圖

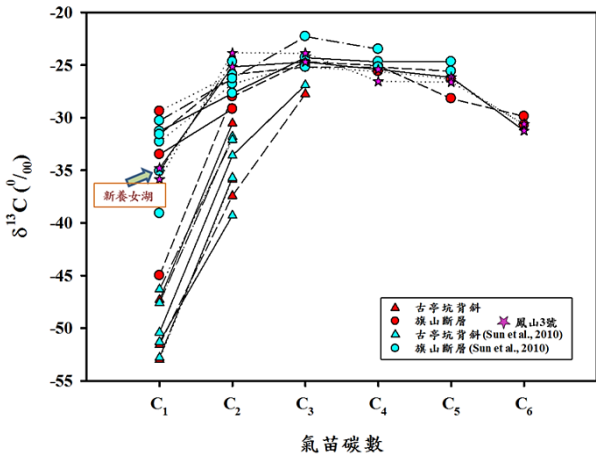


圖一、空氣中甲烷偵測異常分布位置及其與斷層關係。

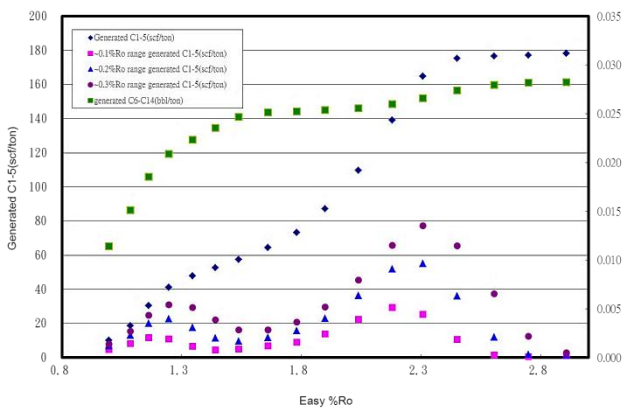
### 泥火山氣體及氣苗出露位置圖



圖二、泥火山分布位置及其與斷層關係。

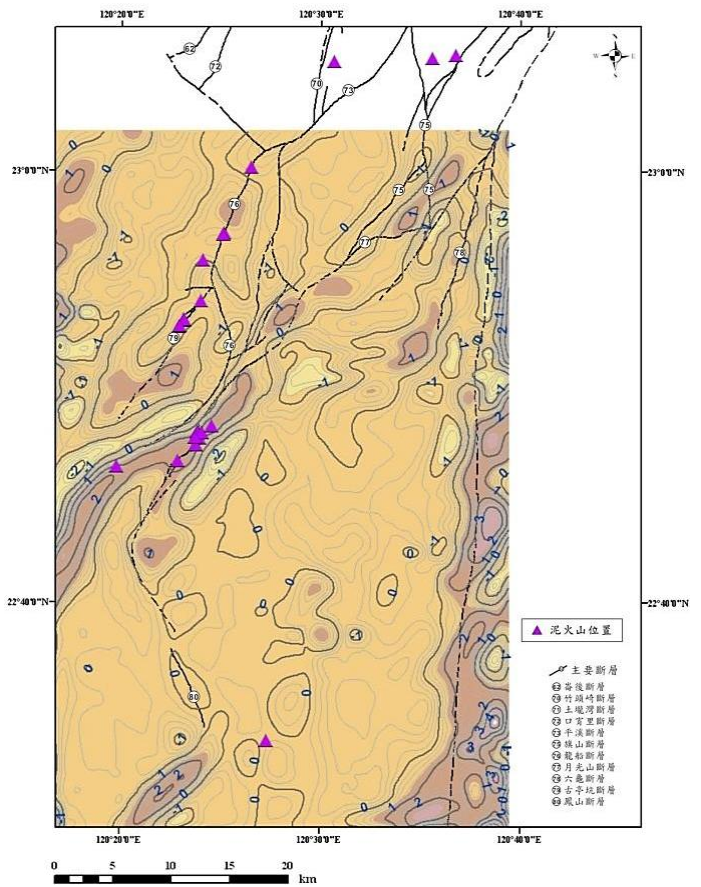


圖三、鳳山 3 號井天然氣與泥火山氣苗分子間碳同位素分佈圖。

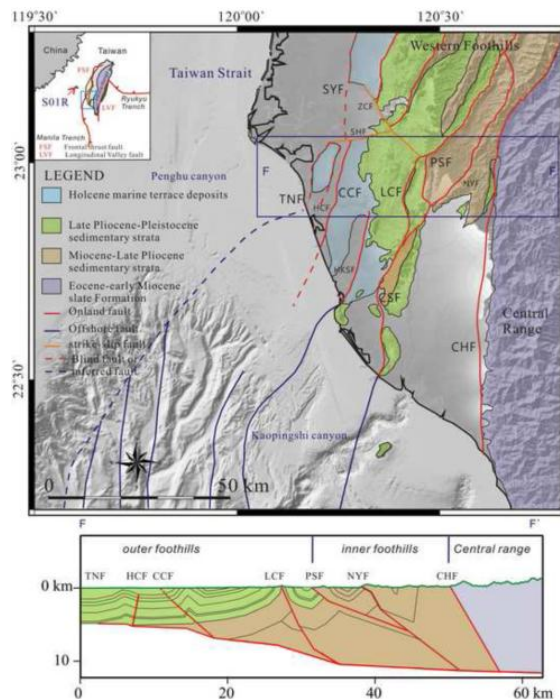


圖五、本研究區大量冒氣點的來源有機物成熟度為第三類型有機物之區段最大產氣量之階段。

泥火山氣體及氣苗出露位置與重力分布圖



圖四、台灣西南部區域地質與移動平均剩餘RA(1,3)重力圖，與泥火山及氣苗出露位置之關係。



圖六、龍船斷層正下方可能存在背斜構造，深度約 5 公里，平溪斷層右側下方可能存在背斜構造，兩構造為可探勘之標的。

#### 四、參考文獻

- 王鑫，1986，“泥火山地景保留區調查報告”，行政院農業委員會，台北。
- 石再添，1967，“臺灣活泥火山的調查及其類型與噴泥性質之關係的研究”，台灣石油地質，第5號，第259-311頁。
- 吳唐竹，“烏山頂泥火山噴發活動之研究”，國立高雄師範大學地理學系碩士論文，2003。
- 李伍志，王璞琚，吳景富，魯寶亮，郎元強，2011，“海南、北陸緣中生代構造層序及其沉積環境”，世界地質，第4期，第567-572頁。
- 孫智賢、張森吉、郭政隆、吳素慧、翁榮南、陳若玲，2007，“高屏前陸地區油氣產狀及來源研究”，台灣中油探採研究所彙報，第29期，第357-387頁。
- 詹博舜，“由穩定氫氧同位素探討台灣西南活動構造帶泉水之來源”，國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，2001。
- 趙鴻椿，“臺灣地區泥火山氣體成分分析及其對全球甲烷來源的可能影響”，國立成功大學地球科學系碩士論文，2003。