

凝結油及天然氣組成成份分析技術與石油探勘上應用

張錦澤¹、林詩佳¹、林殷田¹、許峻嘉¹、郭昱賢¹

林政遠¹、莫慧偵¹、吳素慧¹、李沅銘¹、古佳艷¹

王志文¹、黃旭燦¹、沈俊卿¹、蕭良堅¹、林麗芬²

魏裕中²、黃偉恆²、廖姿盈²、汪宜瑾²

台灣中油股份有限公司探採研究所¹

逢甲大學統計學研究所²

摘要

穩定油源和增加油氣蘊藏量，尋找新的油氣田是台灣中油公司當務之急，新觀念持續在台灣陸海域地區尋找新油氣潛能區之外，加強技術與運用在國內生根已成為中油的主要探勘策略之一。本計畫延續中油探採研究所過去的研究，針對台灣陸海域曾鑽獲或已開發生產之礦區油氣藏，蒐集及統整歷年油氣樣品物性、地化特性分析數據，建置便利資料保存及查詢；引進全台首見的凝結油二維氣相層析方法，解決一般組成份分析方法需經多次分離方能解析之成份特性；並結合資料庫及新舊方法數據，嘗試運用多變量統計，發展台灣地區油氣藏產狀評估、成熟度、沉積環境判識的新探勘解釋方法，進而提升實地應用效益與應變能力，輔助探勘及鑽井過程即時決策。

本研究以台灣凝結油及天然氣為研究對象，總計完成石油探勘應用的技術引進與創新共 12 項，包含(1)天然氣與凝結油分析技術的引進應用 8 項，(2)凝結油參數與成份分析新應用 2 項，(3)階層式曼哈頓距離華德法統計分析技術應用 2 項。以上導入的新分析技術和統計方法，為快速辨識油、氣性質差異，包含成熟度與來源相，在油氣探勘上可快速提供現場鑽井單位油氣資訊，亦可提供研究單位做礦區探勘參考。

一、研究技術說明

(一)樣品採集

採集台灣 14 個礦區之凝結油樣品及苗栗大坑、嘉義中崙、甲仙天然逸氣、高屏泥火山等野外逸氣，並蒐集台灣與國際期刊分析之油氣樣品資料進行研究。

(二)資料彙整

凝結油及天然氣分析數據整合及區域特性彙整，主要包含台灣油氣區十六處，整合台灣礦區歷來累積之原油、凝結油及天然氣樣品分析資料，主要

包含油氣基本物性及特性分析、天然氣組成份分析、天然氣同位素分析、凝結油/原油輕碳氫化合物分析、凝結油/原油同位素分析、凝結油/原油生物指標分析，彙整分析結果應用於研究成果的解釋。

(三)分析方法

1.油樣輕碳氫化合物氣相層析分析與鑑定

油樣輕碳氫化合物氣相層析分析使用 Agilent 6890 型 Detail Hydrocarbon Analyzer 氣相層析儀(DHA-HP6890GC)將原油直接注入，分析結果利用 DHA 的微量碳氫化合物分析軟體系統計算每一成份含量，採用美國標準分析方法 ASTM D5134 方式對比，每一成份含量計算依理論反應參數(Responsibility Factor)計算而得(ASTM, 2008; Canipa-Morales et al., 2003; Manzur et al., 2004; Chang et al., 2007)。

2.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，將天然氣直接注入氣相層析儀，鑑定成份以 Air Liquid 品牌之標準品加以校正，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、C₆⁺、CO₂、O₂ 及 N₂ 等。

3.氣相層析-同位素比值質譜(GC-IRMS)分析

液、氣態樣品經過氣相層析管柱時，依其中個別化合物在層析管柱滯留時間(retention time)的差異被分離，以碳化合物而言，各化合物分離後依序進入高溫轉化爐(Oxidation reactor)，經 940°C 的反應轉化成 CO₂，最後進入比值質譜儀測定其碳同位素，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 H₂ 的氣體型態，最後才進入比值質譜儀分析，研究期間儀器的準確度(precision)，由觀察已知 δ¹³C 與 D 的正烷烴混合物分析得知，其再現性對碳與氫同位素分別為 0.3‰ (1σ) 與 3‰ (1σ) 以內。

4.全二維氣相層析技術(GC×GC)分析

將適量的油品樣品裝於適當容器，置於氣相層析儀上的樣品轉盤上，在樣品進樣前，需先設定兩根毛細管柱串聯之間的調控器參數，此將影響當分析物從第一根毛細管柱導入到第二根毛細管柱時的時間調配，直接影響分析中之圖譜解析度良好程度。設定好參數及溫度梯度後即可進樣，經由一級與二級毛細管柱進行成份分離，以火焰離子(FID)或質譜儀(MS)偵測分離出來的成份，找出最佳分析條件，有效地解決過去對複雜樣品的分離。

二、研究成果

(一)天然氣與凝結油分析技術的引進應用

1.凝結油中 $nC_{5-7}(\%)$ - $iC_{5-7}(\%)$ - $cyC_{5-7}(\%)$ 碳氫化合物組份三角圖在油氣來源型態上應用

典型的油樣碳氫化合物 C_5 、 C_6 與 C_7 組成經由 DHA 氣相層析鑑定 C_5 、 C_6 、 C_7 共 29 個成份，針對油樣 C_5 至 C_7 (戊烷至庚烷)分析結果(Wu, 2008 ; Ren, 2014)，發現礦區油氣來源可利用 $C_5\sim C_7$ 共 29 個成份，以 $nC_{5-7}(\%)$ - $iC_{5-7}(\%)$ - $cyC_{5-7}(\%)$ 成份三角圖來做對比，區分油氣來源屬煤型氣及油型氣(圖 1)， nC_{5-7} - iC_{5-7} - cyC_{5-7} 定義分別為：

$$nC_{5-7}=nC_5+nC_6+nC_7$$

$$iC_{5-7}=2,2\text{-dimethylpropane}+i\text{-pentane}+2,2\text{-dimethylbutane}+2,3\text{-dimethylbutane}+2\text{-methylpentane}+3\text{-methylpentane}+2,2\text{-dimethylpentane}+2,4\text{-dimethylpentane}+2,2,3\text{-trimethylbutane}+3,3\text{-dimethylpentane}+2\text{-methylhexane}+2,3\text{-dimethylpentane}+3\text{-methylhexane}+3\text{-ethylpentane}$$

$$cyC_{5-7}=\text{cyclopentane}+\text{methylcyclopentane}+\text{benzene}+\text{cyclohexane}+1,1\text{-dimethylcyclopentane}+1c,3\text{-dimethylcyclopentane}+1t,3\text{-dimethylcyclopentane}+1t,2\text{-dimethylcyclopentane}+1c,2\text{-dimethylcyclopentane}+\text{methylcyclohexane}+\text{ethylcyclopentane}+\text{toluene}$$

研究以台灣凝結油樣及大陸油型氣樣本來進行比對(Cheng, 2013)，比對結果得知煤油型之油氣 cyC_{5-7} 佔成份含量 50% 以上，在三者成份中含量最大，分別為 cyC_{5-7} 佔 66-95%， iC_{5-7} 佔 2-21%， nC_{5-7} 佔 2-16%， $cyC_{5-7}\%$ 遠大於 $iC_{5-7}\%$ 及 $nC_{5-7}\%$ 。

而油型氣之油氣其 nC_{5-7} 佔成份含量 37% 以上，在三者成份中含量最大，分別為 cyC_{5-7} 佔 22-36%， iC_{5-7} 佔 15-34%， nC_{5-7} 佔 37-49%， $cyC_{5-7}\%$ 成份小於 50% (圖 1)。

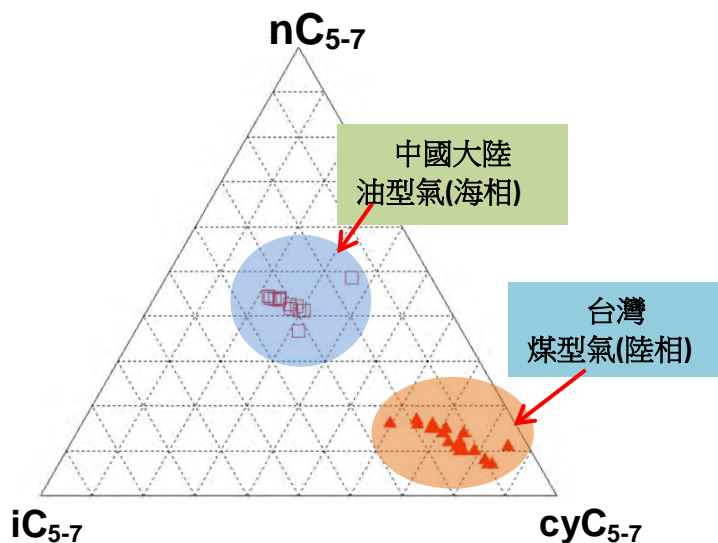


圖 1、台灣凝結油與中國大陸油氣 $nC_{5-7}(\%)$ - $iC_{5-7}(\%)$ - $cyC_{5-7}(\%)$ 組份三角圖

2. 利用石油碳氫化合物成份之氣相圖譜主峰碳數與 $\Sigma nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 判識油氣品質特性

從地底下開採出來的原油，提煉出的產品可分為氣體、液體以及固體。本研究分析國內外油樣，以氣相層析分析圖譜加以鑑定原油成份，逐一辨認正烷烴碳數分佈狀況 (ASTM D5134, 2008; D. S. Edwards et al., 2004)，由油氣中碳氫化合物正烷烴比值特性進行探討，並計算 nC_5 至 nC_{21} 之 ΣnC_{21^-} 值及 nC_{22} 至 nC_{54} 之 ΣnC_{22^+} 值加以比較，藉由 $\Sigma nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 比值地球化學特性，發現以 $\Sigma nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 比值可以分辨原油屬重質原油、中質原油或輕質原油。

一般重質原油 $\Sigma nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值介於 0.01 至 1 之間，主峰碳數大於 26 以上；中質原油 $\Sigma nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值介於 0.1 至 6.0 之間，主峰碳數介於 20 至 26 之間；輕質原油 $\Sigma nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值介大於 1.0，主峰碳數介於 10 至 20 之間。研究結果得知：

- (1) 台灣凝結油氣相層析圖譜凝結油主峰碳數介於 10 至 17 之間， $nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值介於 2.12 至 6.02 之間， $nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值大於 1.0，顯示台灣原油多屬輕質原油 (圖 2)。
- (2) 中國大陸油田原油樣品分析資料顯示 (Hu, 2016)，部份輕質油的原油主峰碳數介於 13 至 15 之間， $nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值介於 1.019 至 1.226 之間， $nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值大於 1.0，中質油的原油主峰碳數為 22， $nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 為 0.349，部份重質油的原油主峰碳數介於 28 至 31 之間， $nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值介於 0.024 至 0.678 之間， $nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 值小於 1.0，顯示利用石油碳氫化合物成份 $\Sigma nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 比值，可將大陸渤海油田之輕質油、中質油及重質油加以區別 (圖 2)。

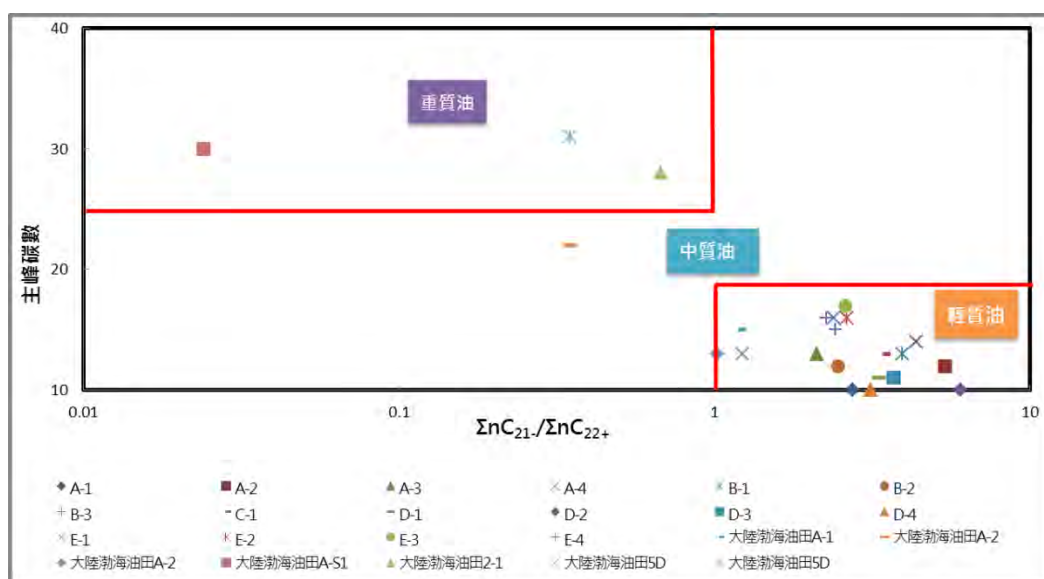


圖 2、台灣及大陸渤海地區油樣之主峰碳數 vs. $\Sigma nC_{21^-}/\Sigma nC_{22^+}$ 原油性質判識圖 (中國大陸油田樣本引用自 Hu 等, 2016)

3. 利用凝結油 Toluene/Methylhexane vs. Benzene/Cyclohexane 判識油氣成熟度高低

測有機物成熟度的方式最廣為知悉的表示法即為鏡煤素反射率即%Ro，因為鏡煤素係為固體且存在於地層中不游移，代表地層之成熟度，同樣將油氣的組成成份加以定性及定量，再配合所衍生的地球化學成熟參數，可推測油氣的成熟度(%Ro)(Lin 1991)。

本研究以凝結油 Toluene, Methylhexane, Benzene, Cyclohexane 四個成份，製作 Toluene/Methylhexane vs. Benzene/Cyclohexane 關係圖作為判識油氣成熟度之方法，分析 58 個台灣礦區凝結油樣，包含 A 礦區 3 個油樣、B 礦區 22 個油樣、C 礦區 11 個油樣及 D 礦區 22 個油樣，鑑定油氣中 Toluene, Methylhexane, Benzene, Cyclohexane 四個成份含量，同時計算 Toluene/Methylhexane 和 Benzene/Cyclohexane 值，研究觀察台灣礦區油氣成熟度大致的趨勢為 A > B > C > D (圖 3)。

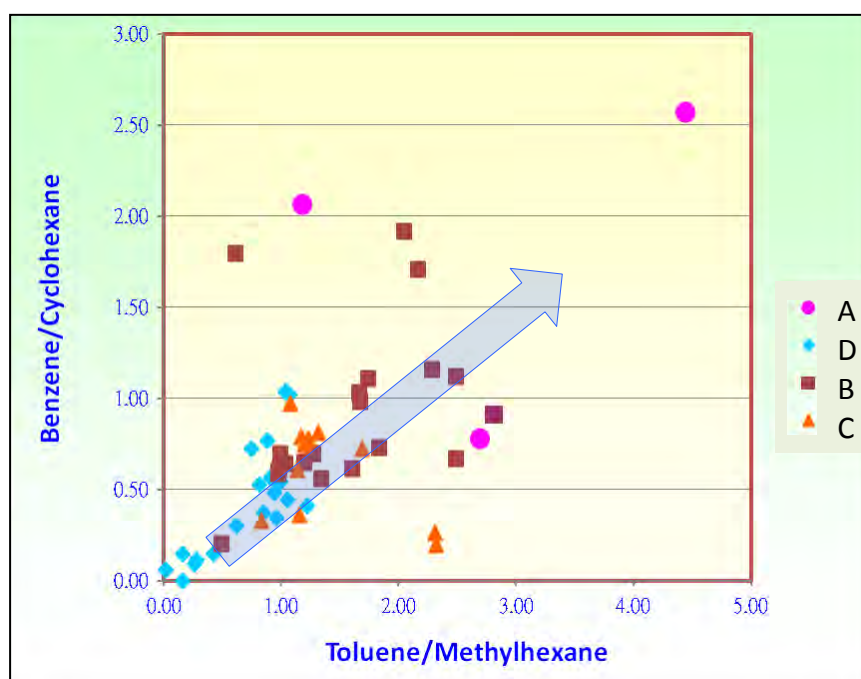


圖 3、台灣 A、B、C 與 D 礦區油氣 Toluene/Methylhexane vs. Benzene/Cyclohexane 關係圖

4. 利用氣體 C₁ 至 C₃ 成份估計天然氣成熟度

以 A、B、C 三個礦區樣本進行分析，在成熟度大小已知條件下，選取 A 礦區 125 個樣本、B 礦區 155 個樣本、C 礦區 159 個樣本之天然氣，利用 $\ln(C_1/C_2)$ 與 $\ln(C_2/C_3)$ 關係圖(圖 4)進行分析，已知三個礦區天然氣成熟度大小，分別為 A 礦區 > B 礦區 > C 礦區。即 A 礦區油氣田成熟度最高，其次為 B 氣田礦區，最後為 C 氣田礦區，本研究發展以 $\ln(C_1/C_2)$ 與 $\ln(C_2/C_3)$ 關係圖除可辨認成熟度高低趨勢，同時也可粗估天然氣成熟度大小值，本實驗結果估計：

A 礦區天然氣成熟度約為 1.6%Ro-1.8%Ro

B 礦區油氣田天然氣礦區成熟度約為 1.5%Ro-1.7%Ro

C 礦區油氣田礦區天然氣成熟度約為 1.4%Ro-1.55%Ro

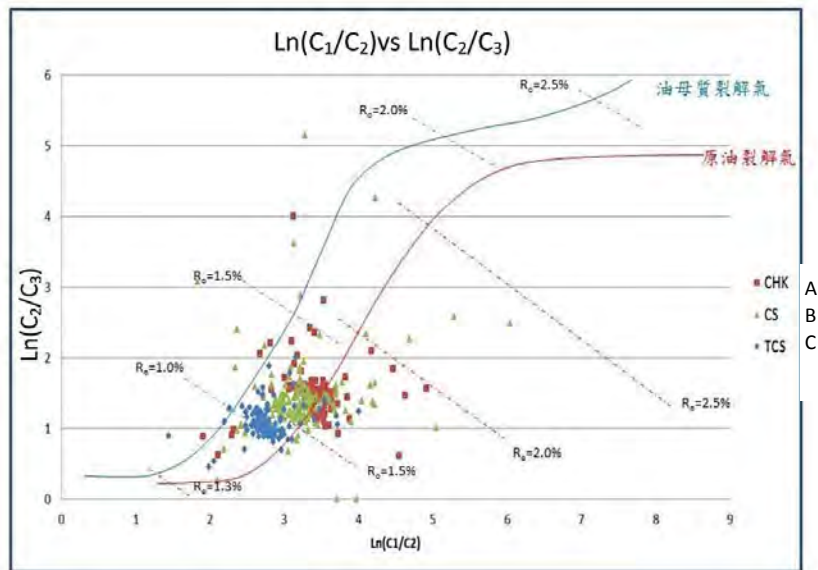


圖 4、A、B、C 礦區天然氣之 $\ln(C_1/C_2)$ 與 $\ln(C_2/C_3)$ 關係圖(修改自 Xie et al, 2020; Wei et al, 2018)

5. 利用泥漿測錄之全烴指數與烴類氣體組成特性比辨識油氣層之產狀

鑽井工程中之泥漿測錄(Mud logging)為鑽進過程之泥漿循環至地面，透過氣相層析儀分析泥漿中的總氣體含量和氣體成份，而氣體成份基本分析甲烷至戊烷(C_1-C_5)，通常更高碳數烴類氣體與輕碳數烴類成份氣體相比其含量通常極低導致無法偵測，因此僅取基本分析之泥漿氣體成份進一步計算全烴指數(TG Index)與烴類氣體組成特性比(Hydrocarbon Character Ratio, 以下簡稱 Ch Ratio)，本研究將結合上述兩者計算公式並帶入實際礦區資料，作為描述地層與辨識油氣層產狀之評估。

全烴指數參考 Tan et al. (2016)之計算方法，烴類氣體組成特性比則是依據 Haworth et al. (1985)所換算之含烴比值率，計算公式如下：

$$\text{全烴指數 TG Index (ppm)} = 1 * C_1 + 2 * C_2 + 3 * C_3 + 4 * C_4 + 5 * C_5$$

$$\text{烴類氣體組成特性比 Ch Ratio} = \frac{(C_4 + C_5)}{C_3}$$

本研究利用礦區 Block I 和 Block II 之鑽井資料進行分析，Block I 主要以產油為主，Block II 則是以產氣為主並伴隨些微凝結油。藉由上述鑽井進行鑽桿測試(Drill Stem Test, DST)或完井之結果，區分出產氣層、產油層、產油及水層和產水層，對比泥漿測錄氣體分析結果並計算全烴指數和組成特性比，對比其結果如圖 5。

藉由 Block I 和 Block II 地層測驗之流體產狀結果對比全烴指數與烴類氣體組成特性比圖(圖 5)，本研究嘗試將地層流體產狀分為產氣層(Gas Zone)、產油層(Oil Zone)、產油及水層(Oil/Water Zone)和無生產價值層(Nonproductive)。此方法界定方式在全烴指數大於 10,000 的條件下，烴類氣體組成特性比小於 0.5 指示為產氣層，大於 0.5 時則為產油層；當全烴指數小於 10,000 且烴類氣體組成特性比小於 1 指示為無生產價值層，而當烴類氣體組成特性比大於 1 且全烴指數介於 5,000-10,000 之間指示為產油層，全烴指數介於 1,800-5,000 之間指示為產油及水層，全烴指數小於 1,800 時則為無生產價值層(表 1)。

此方法用於 Block I 和 Block II 礦區成功辨識產油層機率約為 61 %、產氣層約 45 %、產油及水層為 100 % 和無生產價值層約 88 %。本研究所提出之全烴指數 vs. 烴類氣體組成特性比可以和常用的分析方法做對比，例如烴類氣體濕度比(Wetness Ratio)、平衡比(Balance Ratio)和 Pixler Plot 等分析方法，若上述分析方法所指示之地層流體產狀皆一致，便可以降低僅用單一方法而將地層流體產狀判釋錯誤的風險。此外，未來可嘗試將此劃分規則套用於其他礦區或井資料，瞭解其他礦區資料應用下的狀況，並修正出更精確的劃分數值，找出最佳的應用方式。

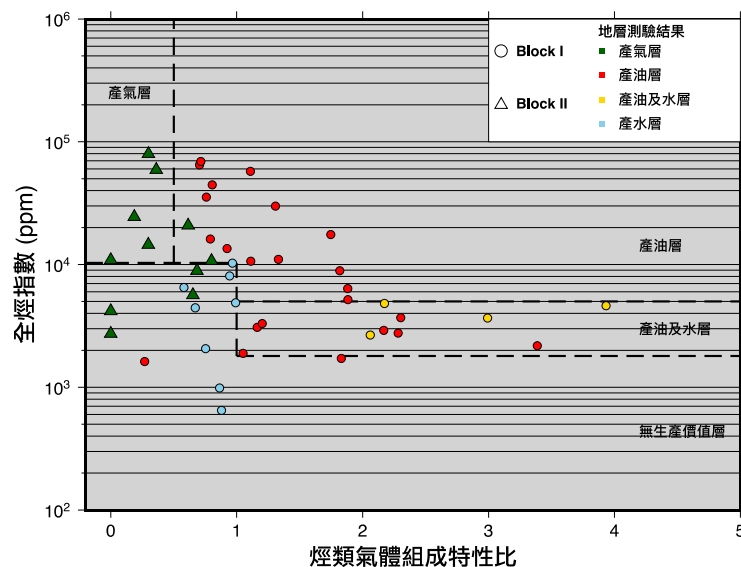


圖 5、全烴指數與烴類氣體組成特性比圖；圓形及三角形符號分別代表 Block I 和 Block II，符號內之顏色代表地層測驗之地層流體產狀

表 1、全烴指數與烴類氣體組成特性比和地層流體產狀關係表

全烴指數 (ppm)		烴類氣體組成特性比	地層流體產狀
> 10,000		> 0.5	產油層
		< 0.5	產氣層
< 10,000	5,000-10,000	> 1	產油層
	1,800-5,000		產油及水層
	< 1,800		無生產價值層
< 10,000		< 1	無生產價值層

6. 利用全二維氣相層析技術快速量化凝結油之烷烴及芳香烴相對比例

高解析之全二維氣相層析儀引進維度觀念，克服傳統氣相層析方法共析問題，也避免進行樣品前處理過程中衍生之眾多缺陷，包含時間及人力浪費、接觸大量有機溶劑、人為誤差及樣品損失等。另一方面，全二維氣相層析儀可適度分離烷烴及芳香烴組份，劃分組份效果為傳統氣相層析方法不可及之優勢。

本研究透過全二維氣相層析分析數個凝結油樣品，僅以五個較具代表性樣品呈現，個別礦區為：A-1、B-2、C-3、D-4 及 E-5，如圖 6。因 GC×GC 於國內尚無其他可比性，因此橫向連結相對較成熟之 C₇ 分析技術(Heptane value 及 Isoheptane value)獲知各油品相對成熟度為基礎，藉其驗證全二維氣相層析圖譜碳數範圍 C₇-C₄₀ 匡列之範圍中烷烴及芳香烴之整體相對比例合理性。分析結果得知 A-1 屬低成熟油區(菌蝕作用區)，芳香烴總量高於飽和烴；B-2 屬標準油區內，飽和烴總量略高(或相等)於芳香烴總量；C-3 及 D-4 則屬於標準油區及成熟油區之間，飽和烴總量高於芳香烴；E-5 正式進入成熟油區內，飽和烴總量高於芳香烴，如圖 7。證實目前透過全二維層析圖譜吻合各油品相對成熟度結果；未來可利用此研究所匡列範圍及界定的邊界之模式直接應用於不同凝結油來快速量化烷烴及芳香烴組份相對比例。同時避免樣品前處理的過程，濃縮工作時間及精簡人力，也符合環保避免接觸、使用大量有機溶劑，以及降低人為誤差、珍貴樣品消耗等優勢。

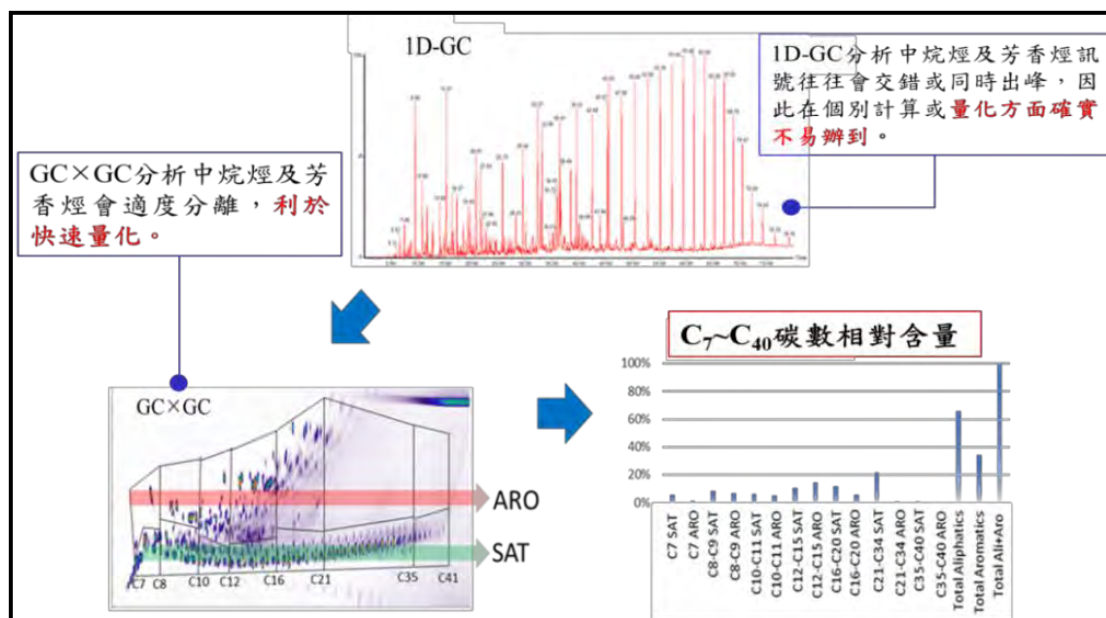


圖 6、全二維層析圖譜有利於量化組份相對比例

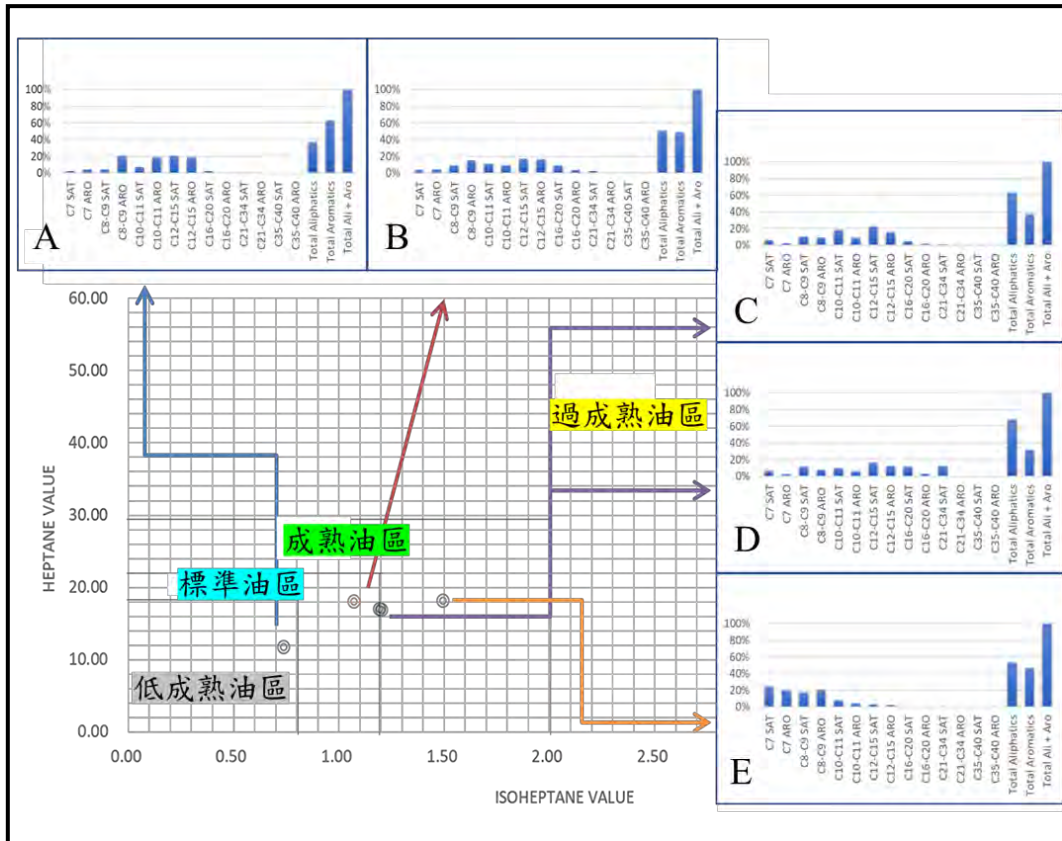


圖 7、各油品特性及對應各碳數範圍相對含量圖

7. 利用天然氣成份及甲乙丙烷穩定碳同位素分群南部地區露頭

台灣南部，嘉義、台南和高雄地區過去曾採集野外露頭的天然氣，同時記錄採集地點和分析成份，為進一步區分差異性。直接透過天然氣成份觀察差異性，實屬不易，故藉由統計方法來進行分群。本研究選取其中 63 個樣本進行統計分群，由結果顯示，單由天然氣成份資料來做依據，分群效果不彰，難以顯示各露頭天然氣的差異性。但加入甲烷、乙烷、丙烷穩定碳同位素資料後，分群效果有明顯提升。比較各種統計方法，發現以歐式距離華德法的效果較佳，並將分群結果套用在地質圖上(圖 8)，並以顏色區分不同的分群。

結合地質圖可以觀察到各群間有較顯著的劃分界線，以黃色標示的群體為例，發現在構造線(以紅線標示)兩側，大致可以劃分不同顏色的群，黃標群體則有顯著的空間分布，推測可能是受逆斷層分隔所致，斷層上盤的氣樣可能屬於同一成因來源。本研究結果提供日後露頭天然氣採集可利用天然氣成份及甲乙丙烷穩定碳同位素作為判識的來源參考。

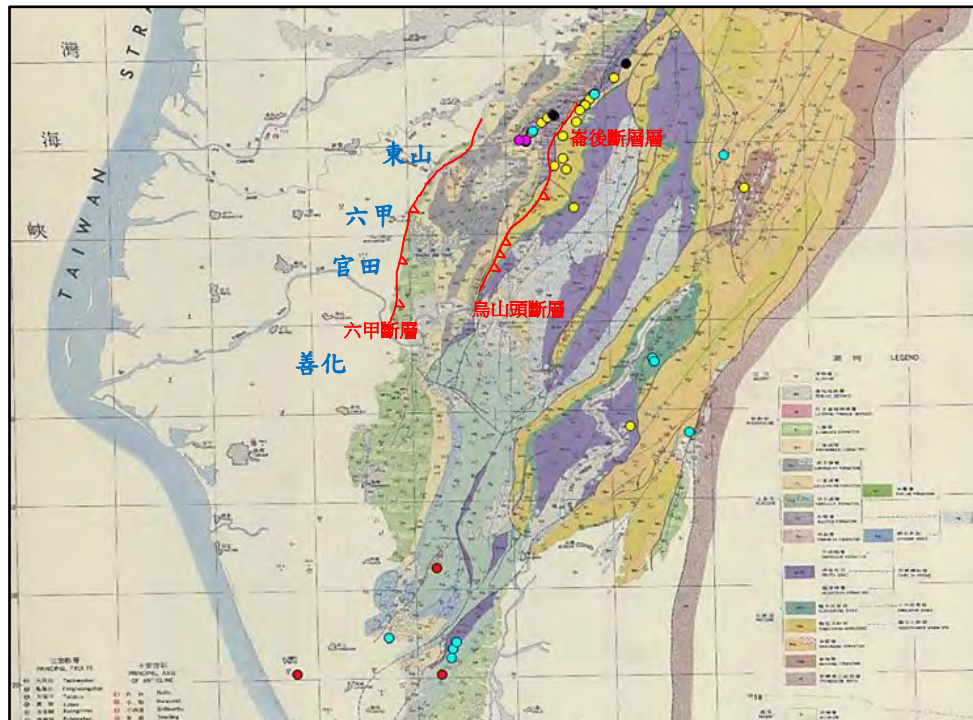


圖 8、台灣南部，嘉義、台南和高雄地區採集野外露頭天然氣之地點：從各顏色點的分布大致可以看出，黃色點分布於斷層線的東側，可推測天然氣受斷層阻隔而影響露頭分布。西側則歸類於另一群(藍色、紫色)，不同於東側的群

8. 利用碳與氫分子化合物之同位素辨識凝結油層位的特性

穩定同位素因為具有化學”指紋”的功能，已被廣泛的應用於有機地球化學領域的研究，碳同位素的技術因為發展的比較早，因此在原油來源的解釋，已有為數不少的應用，氫同位素因為受限於分析技術，起步較晚。氫元素的兩個同位素 H 和 D 因具有最大的質量差，故分異作用特別明顯。除非是受到高度的熱成熟作用，石油的碳、氫同位素主要還是受到源岩的成份所控制(Shoell, 1984)。原油的組成成份相當複雜，來源的特性是影響原油成份的主要原因。整體同位素分析所提供的是原油或生油岩萃取物巨觀之特徵，但單獨利用原油中的碳或氫同位素來區別海相和非海相的油，有時候並不客觀。因此，當進行油-油對比時，具類似生物指標的不同油之間，可利用分子化合物碳與氫同位素的差異來區分。觀察分析的全油樣本同位素組成發現， $\delta^{13}\text{C}$ 值隨儲藏深度或區域變化的趨勢並不明顯，而 δD 隨著深度或移棲距離的增加，其值變的更趨負值(圖 9)。

而個別分子化合物的同位素分析，則可提供更進一步的來源特性解析。飽和烴分子間同位素的分佈曲線，除了表現飽和烴的同位素成份外，所顯示的各分子化合物之間的同位素變化關係，更可提供來源

和油氣形成過程中所受的內、外營力所加諸之影響。利用飽和烴分子間氫同位素的分佈曲線，可將不同生產層之間的凝結油區隔開。觀音山砂岩、打鹿頁岩及北寮層的分佈曲線較為相似；木山層及五指山層的分佈曲線較為相似；而海域的分佈曲線則是另一種型態(圖 10)。因此可以由分析結果得知不同的源岩或者是移棲移時經歷不同的地質條件，都有可能造成兩者成份的差異。

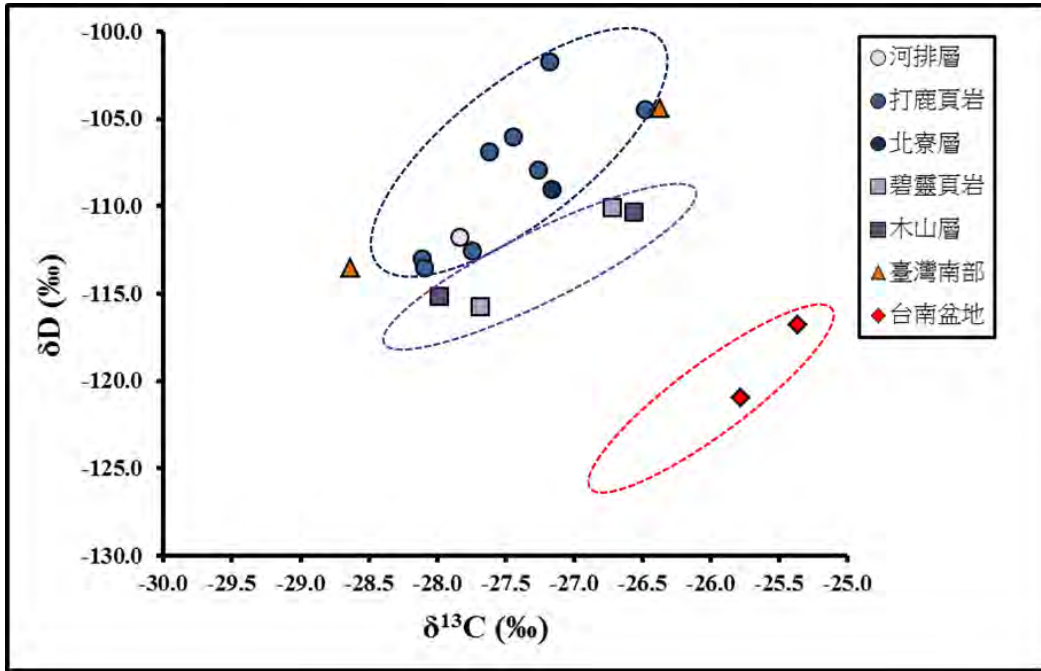


圖 9、凝結油全油碳及氫同位素關係圖

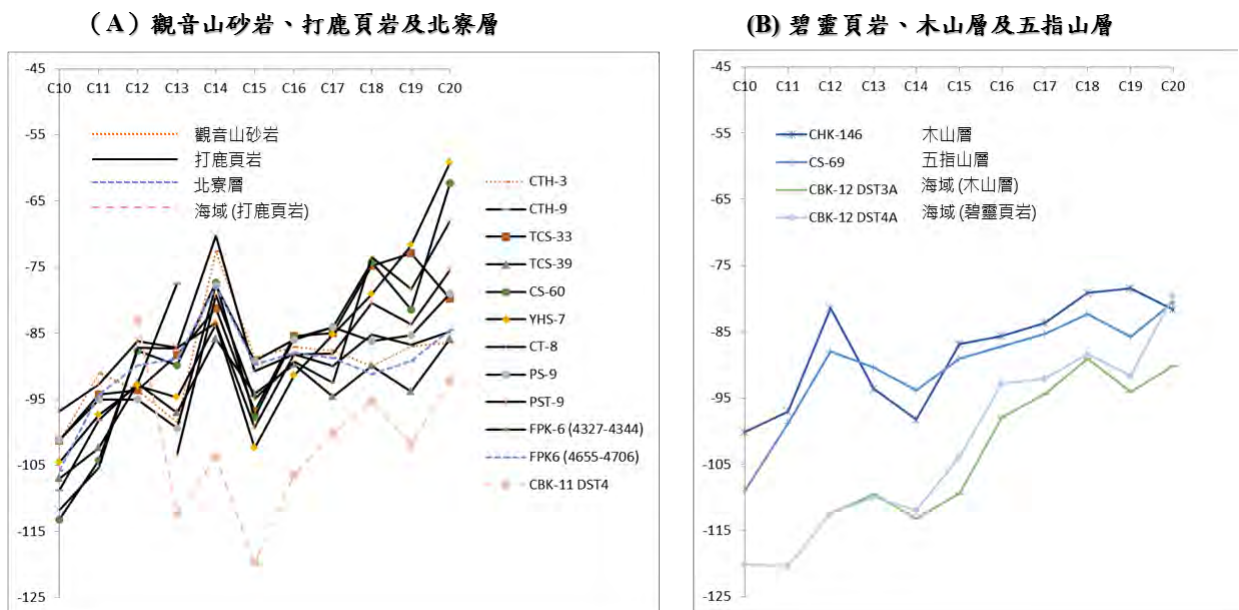


圖 10、凝結油飽和烴分子間氫同位素分佈曲線。(A)觀音山砂岩、打鹿頁岩及北寮層；(B)碧靈頁岩、木山層及五指山層

(二)凝結油參數與成份分析新應用

1.利用庚烷異構物主鏈、單支鏈及多支鏈判別凝結油成熟度高低新參數

利用庚烷異構物 17 種成份分為四大類別，即主鏈、單支鏈、多支鏈及環狀鏈。

P1：為主鏈，主要成份為 n-C₇。

P2：為單支鏈，主要成份為 2-Methylhexane、3-Methylhexane。

P3：為多支鏈，主要成份為 3-Ethylpentane、2.2-dimethylhexane、2.3-dimethylhexane、2.4-dimethylhexane、3.3-dimethylhexane。

P4：為環狀鏈，主要成份為 1,1dimethylcyclopentane、1c,3dimethylcyclopentane、1t,3dimethylcyclopentane、ethylcyclopentane、methylcyclohexane、1t,2dimethylcyclopentane、1c,2dimethylcyclopentane、toluene。

研究發現，利用主鏈、單支鏈、多支鏈三個參數，可區分油氣成熟度的高低，與正庚烷值與異庚烷區分有相同結果，一般而言在成熟度高的凝結油其主鏈、單支鏈、多支鏈含量都會相對較大，而成熟度低的凝結油其相對含量較小，主要原因是在較高溫環境中，凝結油中庚烷易裂解成主鏈、單支鏈、多支鏈庚烷異構物，本研究以台灣西北部地區較高成熟度凝結油 A、B 與台灣南部地區較低成熟度 C 凝結油進行比對，最後建立自有區分成熟度高低參數，即 P1 vs. P2、P2 vs. P3 及 P2 vs. P3 關係圖，在成熟度高的凝結油其主鏈介於 1.5-9.0 之間，單支鏈介於 1.2-9.0 之間，多支鏈介於 0.8-2.5 之間，而成熟度高的凝結油其主鏈介於 1.5-9.0 之間，單支鏈介於 1.2-9.0 之間，多支鏈介於 0.8-2.5 之間，而成熟度低的凝結油其主鏈介於 0-1.5 之間，單支鏈介於 0-1.2 之間，多支鏈介於 0-0.8 之間(表 2)。

表 2、庚烷異構物主鏈、單支鏈及多支鏈區分成熟油區與不成熟油區參數指標

參數 \ 成熟度	不成熟油區	成熟油區
正庚烷值	0-13	13-30
異庚烷值	0-1.0	1.0-2.6
P1	0-1.5	1.5-9.0
P2	0-1.2	1.2-9.0
P3	0-0.8	0.8-2.5

2.利用庚烷異構物主鏈(C₇%)、單支鏈(2MH%、3MH%)、多支鏈(23DMP%、24DMP%)判別陸相及海相凝結油沉積環境新參數

利用庚烷異構物主鏈(C₇%)、單支鏈(2MH%、3MH%)及多支鏈(23DMP%、24DMP%)可判別陸相及海相沉積環境，研究發現，以庚烷異構物主鏈、單支鏈、多支鏈之五個成份 C₇%、2MH%、3MH% 23DMP%及 24DMP%，可以清楚區分陸相與海相凝結油沉積環境，陸相凝結油沉積環境之五個成份 C₇%、2MH%、3MH% 23DMP%及 24DMP%相對含量較海相沉積環境少，主要原因是在陸相凝結油沉積環境中，此五個成份在庚烷異構物中存在百分比比較少，而海相沉積環境油樣其五個成份 C₇%、2MH%、3MH% 23DMP%及 24DMP%相對含量較多。

本研究以台灣礦區 A、B、C、D、E 等陸相凝結油與其它地區海相油樣進行關係圖比對，建立 2MH vs. C₇%、3MH vs. C₇%、2MH vs. 3MH、2MH vs. 23DMP%、2MH vs. 24DMP%、3MH vs. 24DMP%關係，在陸相凝結油沉積環境中，其主鏈(C₇%)介於 0-25 之間，單支鏈(2MH)介於 0-8.6 之間，單支鏈(3MH)介於 0-8.7 之間，多支鏈(23DMP%)介於 0-2.7 之間，多支鏈(24DMP%)介於 0-1.6 之間，而在海相油樣沉積環境中，其主鏈(C₇%)>25，單支鏈(2MH)>8.6 之間，單支鏈(3MH)>8.7，多支鏈(23DMP%)>2.7，多支鏈(24DMP%)>1.6(表 3)。

表 3、庚烷異構物 C₇%、2MH%、3MH% 23DMP%、24DMP%區分陸相與海相油區參數指標

成份 \ 相態	陸相	海相
nC ₇	0-25	>25
2MH	0-8.6	>8.6
3MH	0-8.7	>8.7
23DMP	0-2.7	>2.7
24DMP	0-1.6	>1.6

(三)階層式曼哈頓距離華德法統計分析技術應用

1.利用階層式曼哈頓距離華德統計法將不同油樣成熟度分群

階層式曼哈頓華德距離統計法為統計分析方法之一，利用二個不同重心性質的群組，分析不同二群的類別，本研究以台灣西北部成熟度較高，出磺坑、錦水礦區凝結油樣與台灣南部成熟度較低八掌溪凝

結油樣進行群集分析，輸入七項地球化學參數於統計軟體中，分別為 Isoheptane Value、Heptane Value、 nC_7/MCH 、 T/nC_7 、P1、P2、P3 進行分群運算，經由統計分析成功將較高成熟油礦區(A、B)與較低成熟油礦區(C) 油樣分開成二大群，即較成熟 A、B 油樣成一群與較低成熟 C 油樣另成一群，其中 A 礦區油樣更將淺層(B-2 號井) 油樣與深層油樣區分出來， B-1、B-2、B-3、B-4 為較淺層凝結油樣，其餘皆為較深層凝結油樣。

2. 利用階層式曼哈頓距離平均統計法將不同礦區或生產層以油樣成份相似性分群

階層式曼哈頓距離平均統計法亦為統計分析方法之一，利用二個不同數值平均值特性，分析出不同群的類別(圖 11)。

本研究以台灣西北部 A、B、C、D、E、F 與南部 G 陸相凝結油樣及其它地區海相油樣進行群集分析，輸入十七項地球化學成份於統計軟體中，分別為 22DMP%、24DMP%、223TMB%、33DMP%、11DMCP%、2MH%、23DMP%、1C3DMCP%、3MH%、1T3DMCP%、1T2DMCP%、3EP%、 C_7 %、1C2DMCP%、MCH%、ECP%、TOL% 進行分群運算，經由統計分析成功將台灣陸相凝結油樣与其它地區海相油樣分成二大群，即台灣陸相凝結油樣成一群，其它地區海相油樣另成一群，其中更將台灣不同礦區凝結油樣，依其特性可加以細分，發現同一性質凝結油樣大致會歸類在一小群內。

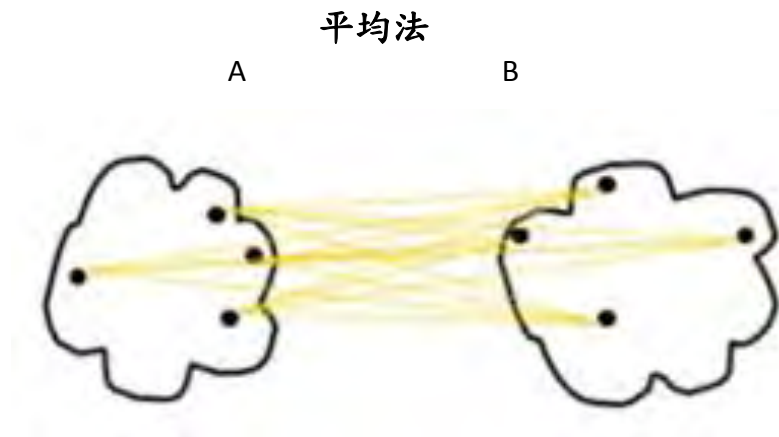


圖 11、平均法：計算 A、B 兩群集間每個資料點的距離平均，作為 A、B 兩群集間的不同

參考文獻：

- ASTM D5134, (2008), “Standard test method for detailed analysis of petroleum Naphthas through n-Nonane by capillary gas chromatography”.
- Cheng, B., Wang, T. G., and Chang, Z. C., (2013), “Application of C5-C7light hydrocarbons in geochemical studies:A case study of Ordovivian crude oils from the Halahatang Depression, Tabei Uplift”, *Natural Gas Geoscience*, Vol.24, No.2, pp. 398-405.
- Canipa-Morales, N.K., Galan-Vidal, C.A., Guzman-Vega, M.A., Jarvie, D.M., 2003. Effect of evaporation on C7 light hydrocarbon parameter. *Organic Geochemistry* 34, 813-826.
- Ching-Tse Chang, Maw-Rong Lee ., Li-Hua Lin., Cheng-Lung Kuo., 2007, “The application of C7 hydrocarbons technique to oil and condensate from Type III organic matter in Northwestern Taiwan,” *International Journal of Coal Geology*,71, 103-114.
- Edwards, D.S., Preston, J.C., Kennard, J.M., Boreham, C.J., van Aarssan, B.G.K., Summons, R.E., Zumberge, J.E., (2004). Geochemical characteristics of hydrocarbons from the Vulcan Sub-basin, western Bonaparte Basin, Australia. In : G.K. Ellis, P.W. Baillie, T.J. Munson(Eds), *Timor Sea Petroleum Geoscience : Proceedings of the Timor Sea Symposium, Darwin, Northern Territory, 19-20 June 2003, Northern Territory Geological Survey*, pp. 169-201.
- Haworth, J. H., Sellens, M., and Whittaker, A. (1985) Interpretation of hydrocarbon shows using light (C₁-C₅) hydrocarbon gases from mud-log data. *AAPG Bulletin*, 69 (8), 1305-1310.
- Lin C-Y, Chou T-H, and Chang C-T (1991) Characteristics and correlations of hydrocarbons found in the Miocene formations in western Taiwan. *Bulletin of Exploration and Production, Taiwan CPC Corporation*, 14, 296-314. (Bulletin)
- Manzur, A., Simon, C.G., 2004. Change in the molecular composition of crude oils during their preparation for GC and GC-MS analyses. *Organic Geochemistry* 35, 137-155.
- Ren Y-J, Lu Lin, Liu S, Zhou L-H, Pu X-G, 2014, Geochemical characteristics of light hydrocarbons in banqiao sag: *Natural Gas Geoscience* 25, 8,1218-1225.
- Schoell, M. (1984) Recent advances in petroleum isotope geochemistry. *Org. Geochem.*, 6, 645-662.
- Wei Guo-qi ,Li Jian ,Yang Wei ,Xie Zeng-ye ,Dong Cai-yuan ,She Yuan-qi ,Ma Wei., 2018, Major progress of the Chinese natural gas geological theory

and new exploration discovery since the Eleventh Five-year plan, *Natural Gas Geoscience* 29 (12), pp. 1691-1705

Wu X-Q, Liu Q-Y, Tao X-W and Hu G-Y., 2008, Geochemical characteristics of natural gas from halahatang sag in the Tarim Basin *Geochimica*, 43, 5, 477-488.

XIE Zeng-ye, YANG Chun-long, DONG Cai-yuan, DAI Xin, ZHANG Lu, GUO Jian-ying, GUO Ze-qing, LI Zhi-sheng, LI Jin, QI Xue-ning., 2020, Geochemical characteristics and genesis of Middle Devonian and Middle Permian natural gas in Sichuan Basin, China, *Natural Gas Geoscience* 31 (4), pp. 447-161

Y Hu, Z-J Tan, J-B Zhang, S-G Shang, J Chen, L Yang, and S-B Yuan (2016) A new method to discriminate crude oil properties with mud logging charts in Bohai oilfield, *China Offshore Oil and Gas*, 28, 44-48.