

南沙海域的油氣資源

蕭良堅、沈俊卿

南海蘊藏豐富的油氣資源，周邊國家無不積極探勘。但像南沙群島這樣政治形勢複雜，研究資料又稀少的海域，在積極投入油氣探勘之前，我們可以先做些什麼？

南海海域油氣蘊藏豐富，周邊國家自上世紀 50 年代就開始對南沙海域進行油氣探勘與開發。南海南部已開發或探勘程度高的盆地主要分布在陸棚區，而其他深水區的盆地雖探勘程度較低，仍可能蘊藏許多尚未發現的油氣資源。

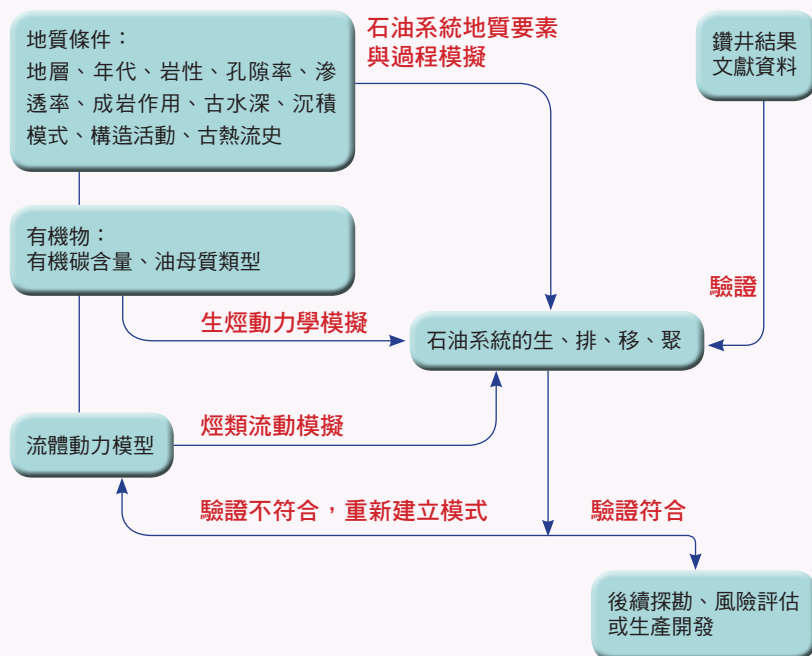
分布在南海南部陸棚區的盆地，除禮樂灘盆地外，南崑山盆地、大沙勞越盆地、汶萊—沙巴盆地、西北巴拉望盆地等都發現多個油田、油氣田或含油氣構造、油氣圈閉，有的油氣田甚至已投入生產。

禮樂灘盆地靠近我國的太平島，在我國經濟海域可及的範圍內，目前探勘程度甚低。2006 年菲律賓在這盆地發現桑帕吉塔氣田，儲量有 20 兆立方英尺，顯示有油氣潛能。然而，因南沙群島複雜的政治因素，同時水下暗礁面積廣，航行有其危險性，因此要進行大規模海洋地質或油氣資源調查並非易事。目前，僅能以有限資料運用盆地油氣模擬的技術，來討論這盆地的油氣潛能。

石油系統的觀念

馬貢 (L. R. Magoon) 與道 (W.G. Dow) 在 1994 年提出石油系統的觀念，用來描述油氣從生油岩生成後，流體自生油岩排出再進入周圍岩層中的孔隙或裂隙中流動，直至受到較緻密的岩層阻止，並把它封閉在特定儲集層裡的過程。

南海南部已開發或探勘程度高的盆地主要分布在陸棚區，而其他深水區的盆地雖探勘程度較低，仍可能蘊藏許多尚未發現的油氣資源。



應用盆地油氣模擬技術進行石油探勘流程示意圖

石油系統的地質要素包括生油岩、儲集岩、蓋岩與上覆岩。生油岩是指有機質含量較高的岩石，通常以頁岩為主，而有機質的含量會影響油氣生成量的多寡；儲集岩是油氣積聚的地方，需要有較大的孔隙，通常是以砂岩或孔隙較大的石灰岩為主；蓋岩主要功能在封住油氣，避免向外散失，以頁岩為主；上覆岩是指覆蓋在生油岩之上的岩層。

盆地油氣模擬技術

盆地油氣模擬是利用已建立的地質模式，如地層、年代、岩性、沉積與構造事件，並輸入有機物化學特性與盆地熱演化史，基於石油系統的觀念模擬計算油氣在盆地中的生、排、移、聚過程。

油氣盆地模式的建立需要二維或三維的震測資料，同時需配合已有的鑽井或電

測與地質資料，決定地層分界、年代、岩性與斷層分布以及沉積環境變遷過程，以建立所欲研究盆地的現代地質模式。接著，以理論計算反推在不同時間，隨著構造活動的進行與沉積環境的改變，地層孔隙率與滲透率等岩石物理數據、沉積岩的成岩作用、沉積與構造演化的分析等資料，建立提供油氣生、排、移、聚的時空架構。

模擬的另外一個部分是應用化學動力學。石油源自生油岩中所含的油母質，油母質依沉積環境與有機物來源不同，分別有產油與產氣等不同類型。以化學動力學的理論，計算不同類型油母質於埋藏、受熱過程中逐漸成熟，進而生成石油或天然氣等烴類化合物及其自生油岩中排出的過程。

石油或天然氣自生油岩排出後，進入傳輸層或儲集岩，之後便以流體運動的模式計算油氣沿著地層中孔隙與裂隙的流動

方向與速度，直到遇上地層或構造封閉處才停止流動，油氣就聚集在此。而在烴類化合物移動的過程中，或聚集在儲集層之後，可以再加入烴類受熱裂解或微生物活動等條件，模擬油氣在地層中受破壞的情形。

盆地油氣模擬技術能在電腦上重建盆地自生油岩開始沉積埋藏，有機物持續受熱進入成熟階段產生油氣。之後油氣開始沿傳輸層移動，在移動過程中油氣可能經歷裂解或生物降解等現象，改變油氣化學性質，直到最後進入受構造或地層所封閉的儲集岩的過程。這時若儲集岩中的油氣能不受破壞而保存到現代，就有機會形成油氣田。

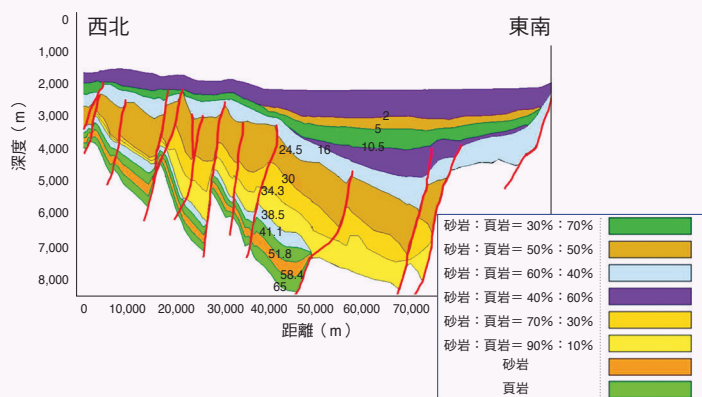
目前，進行盆地油氣模擬可使用商業套裝軟體，輸入已知的地質與地球化學資訊，再應用軟體以理論所內建的工具計算，就可了解研究區域油氣的生、排、移、聚過程。因此，若只有有限的資料，在油氣探勘上仍可應用盆地油氣模擬技術評估一個礦區是否值得探勘。

此外，現在盆地油氣模擬的軟體都可搭配風險評估的套件，評估該礦區最主要的風險在哪，是有機物富集度不夠，或是缺乏良好蓋岩等，有助於石油公司決定是否投入或研判開發該礦區的成功率。

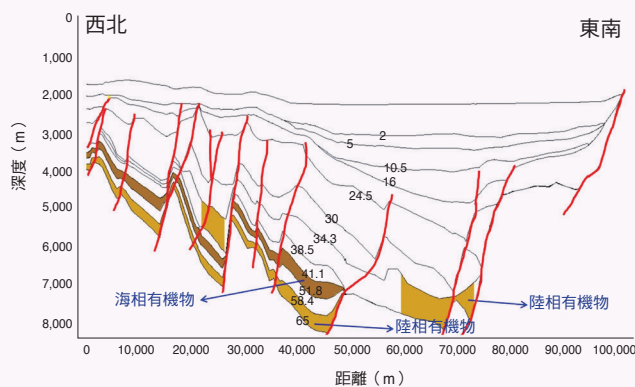
禮樂灘盆地石油系統

禮樂灘盆地在中生代（2.5 億～6,500 萬年前）之前原是華南大陸的一部分，自新生代漸新世（3,390～2,303 萬年前）中期南海海底擴張之後，逐漸往南移到現今南沙群島的位置。

禮樂灘盆地內發育有 3 套石油系統，生油岩計有中生界、古新統一始新統、

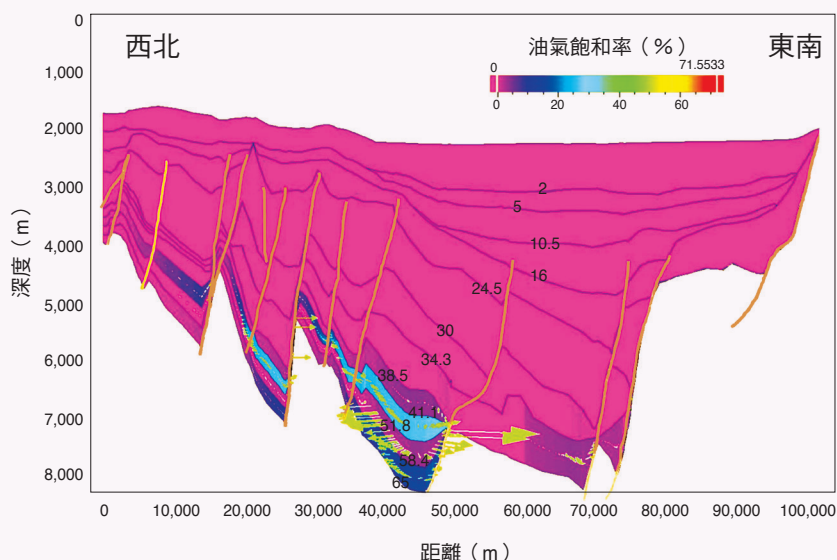


禮樂灘盆地剖面新生代地層的岩性輸入值，剖面中的紅色線是斷層。地層面上的數字表示該地層面的年代，單位是百萬年前。



禮樂灘盆地剖面生油岩有機物類型的輸入，古新世以三角洲為主的沉積環境的有機物設定為陸相來源，而以淺海為主的始新世沉積環境的有機物設定為海相來源。地層面上的數字表示該地層面的年代，單位是百萬年前。

下漸新統 3 套，其中以中生界、下漸新統 2 套生油氣潛能較好。砂岩、碳酸岩和生物礁是盆地的主要儲層，砂岩儲層在中、新生界地層內廣泛發育，碳酸岩和生物礁儲層則主要發育於上漸新統一第四系地層。整體而言，盆地缺少廣泛發育、封蓋性能



禮樂灘盆地剖面的油氣飽和率模擬結果。箭頭大小與方向表示油氣移棲速度與方向，土黃色線標示斷層所在。以已知的條件模擬，油氣主要仍在生油岩，尚未移棲到周邊或淺層的儲集岩儲聚。地層面上的數字表示該地層面的年代，單位是百萬年前。

良好的區域性蓋層，但局部性蓋層發育且封閉性能良好。

禮樂灘盆地中心在構造作用的控制下，發育了不少晚漸新世到晚中新世形成的生物礁。其中，中生代的石油系統是盆地內較具探勘潛能的一套含油氣組合，然而古第三紀石油系統卻是盆地最主要的探勘目標。新第三紀石油系統因盆地中部褶皺而難以形成良好的油氣組合關係，但在盆地凹陷區可能仍有機會。

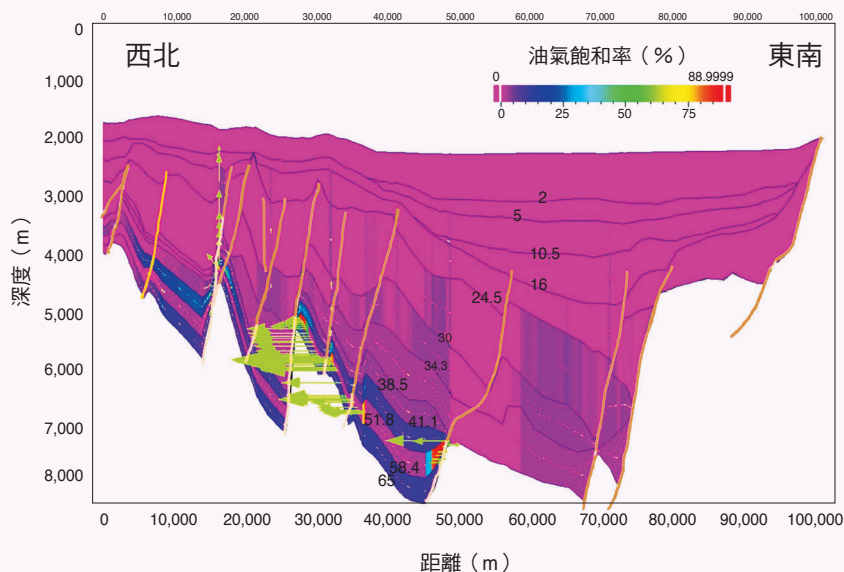
迄今，南海已發現的油氣田多屬新生代的石油系統。而禮樂灘盆地南部凹陷的新生代沉積物埋深厚度最深可達 6,000 公尺以上，可能是較有產油潛力的地區。因此以禮樂灘盆地南部凹陷一條已發表的震測剖面，針對新生界地層進行二維盆地油氣

模擬，而中生界的地層因為缺乏足夠資料，在此暫不討論。

禮樂灘盆地沉積環境

在沉積環境的變動方面，禮樂灘盆地南部凹陷在新生代初期是淺海環境，主要發育半遠洋、淺海與三角洲沉積相，沉積物主要來自西北方。自漸新世起南海開始擴張，到上新世（533 ~ 250 萬年前）為止，這段期間禮樂灘盆地以淺海沉積相為主，同時在盆地中心開始發育珊瑚礁，盆地南部以淺海三角洲為主。上新世之後到現代是深海沉積。

基於這樣的沉積模式，在新生代早期的古新世（6,600 ~ 5,600 萬年前）到始新



增加熱流量後，可發現有油氣移到生油岩周邊砂岩聚集，同時油氣沿斷層向上運移。但淺部地層可能因缺乏較緻密的地層做為蓋岩，因此封阻效果不佳。地層面上的數字表示該地層面的年代，單位是百萬年前。

世（5,600 ~ 3,390 萬年前）屬三角洲到淺海環境，盆地南部沉積物來自盆地西北側中國大陸南方，有機物來源從陸相演變至以海相為主。自漸新世後，沉積物主要改由盆地東南方供應。

油氣模擬

從對禮樂灘盆地沉積環境的研究，可以得到研究區域新生代時期地層的岩性變化。依沉積環境也能推測所埋藏的可能有機物類型，即古新世的三角洲沉積相以陸相有機物為主，而始新世的淺海沉積以海相有機物為主。另外，可取得以理論模擬的盆地熱流史資料，把這些資料輸入軟體中，就可對禮樂灘盆地南部凹陷新生代的層進行盆地油氣模擬。

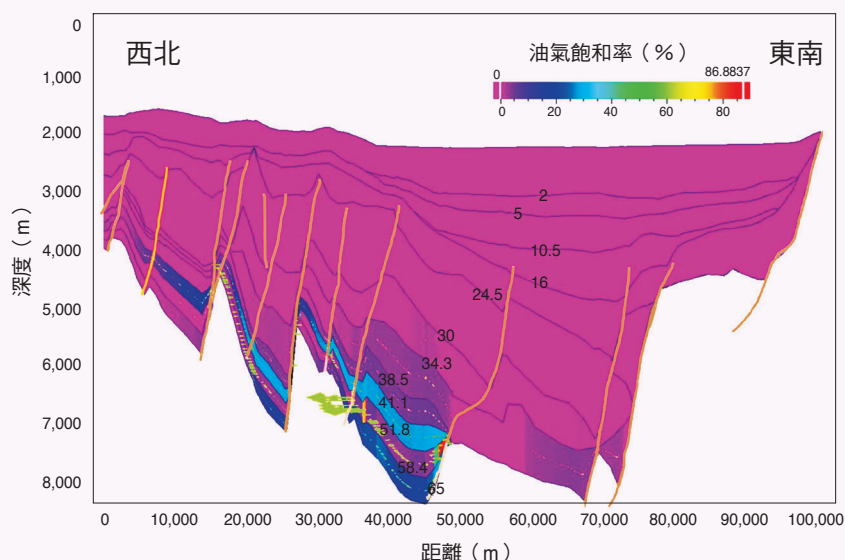
模擬結果顯示，埋藏於底部古新世到始新世的生油岩都已達到成熟階段。但從

油氣飽和率來看，現代油氣仍集中在生油岩，只有少量油氣排出移往生油岩周邊砂岩層儲集，或沿著斷層系統運移。

另外使熱流量增加，其他條件不變進行模擬。可以發現在高熱流的作用下，生油岩周邊的砂岩層有油氣聚集，並且有油氣持續沿斷層向上移棲。但淺部做為蓋岩的地層因孔隙率大的砂岩含量高，導致封阻能力不佳，無法留住油氣。

最後，提高有機碳含量，其他條件不變再次模擬。結果顯示生油岩周邊砂岩有油氣聚集，也有部分油氣沿斷層移棲，但不像在高熱流的情境裡油氣可快速移棲到淺層。

從以上簡易的模擬結果來看，有機碳含量與高溫是產生油氣的主要因素。同時地層中要有斷層或砂岩等可做為通道，讓生成的油氣得以運送，最後需要有蓋岩形成封閉系統才能形成油氣藏。



增加有機碳含量後，可以發現有油氣進入生油岩周邊地層儲聚，但油氣向上移棲速度緩慢。地層面上的數字表示該地層面的年代，單位是百萬年前。

整體而言，禮樂灘盆地南部凹陷新生代地層雖有產油氣潛能，但埋深太深，位於海平面下 7,000 公尺的地層，鑽探不易。而淺部可能因為蓋岩封阻效果不佳，導致即使油氣可以沿斷層向上移棲，但不容易在淺部聚集。就這單一剖面的結果看來，探勘條件不算很好。

另外，相對於南海南部其他已經有油氣開發的海盆，如南崑山盆地、大沙勞越盆地等具有較高熱流的盆地（熱流在 80 ~ 110 毫瓦 / 平方公尺），禮樂灘盆地的熱流較低（50 ~ 60 毫瓦 / 平方公尺），是比較冷的海盆，對新生代的油氣生成較不利。

以桑帕吉塔氣田鑽獲來自中生代晚期與新生代早期的天然氣與凝結油的經驗來看，或許可把目標轉往中生界地層。新生代以前，禮樂灘盆地與華南相連，應該與華南以至於台灣有相近的地質條件。過去台灣中油公司在台南盆地或北港高區探勘，

曾鑽遇來自中生代地層的良好生油岩，也發現鑽獲的凝結油有中生代生油岩的特性。進入新生代之後，到漸新世南海開始張裂之前，禮樂灘盆地沉積環境從近海逐漸變成半遠洋，因此也能由下而上依序沉積作為儲集岩的砂岩以及蓋岩的頁岩，形成一個石油系統。

禮樂灘盆地目前已有英國的石油公司在探勘，顯示當地的油氣潛能仍受到重視。若能進行更詳細的調查，尋找如中生代的沉積層，或有良好區域蓋岩的新生代地層，也許仍有機會找到有利的探勘標的。

蕭良堅、沈俊卿
台灣中油股份有限公司探探研究所