

這是國內第一部介紹石油與石化的叢書

來自地心

石油與石化工業

1

天涯何處覓油蹤



來自地心

石油與石化工業



天涯何處覓油蹤

序

石油是廿世紀最重要的能源，也是石化工業賴以生存發展的命脈。由於其產品範圍廣泛，無所不在，因此石油與石化工業不但被視為一國經濟生產力的指標之一，更與國防民生息息相關。

中國石油公司於民國卅五年六月成立於上海。隨政府播遷來台後，自力更生，於廢墟中重建起我國之石油事業，除充份供應石油產品外，更帶動相關工業之起飛，使台灣得以締造舉世聞名的經濟奇蹟。惟近數年來，由於國人對環境品質惡化頗感憂心，兼之部份民衆對石油科技一知半解，以訛傳訛，竟以石油與石化工業為「污染」的代名詞，時加阻擾，成為台灣未來經建發展的隱憂。

為消弭誤解，使國人得以正確認識石油及石化工業，中油公司乃著手編寫此一叢書，供一般社會民衆及青年學生閱讀，全套叢書依主題共分六冊，各冊均以深入淺出筆法介紹相關資訊，藉此建立共識，進而關心、支持台灣石油事業之發展；同時亦期許有志青年加入石油事業，共同努力，為廿一世紀的台灣經濟再創奇蹟。

書成之日，適逢中油公司成立五十周年，謹將此書獻予所有曾為台灣石油事業奉獻心力的人。

中國石油公司 謹誌



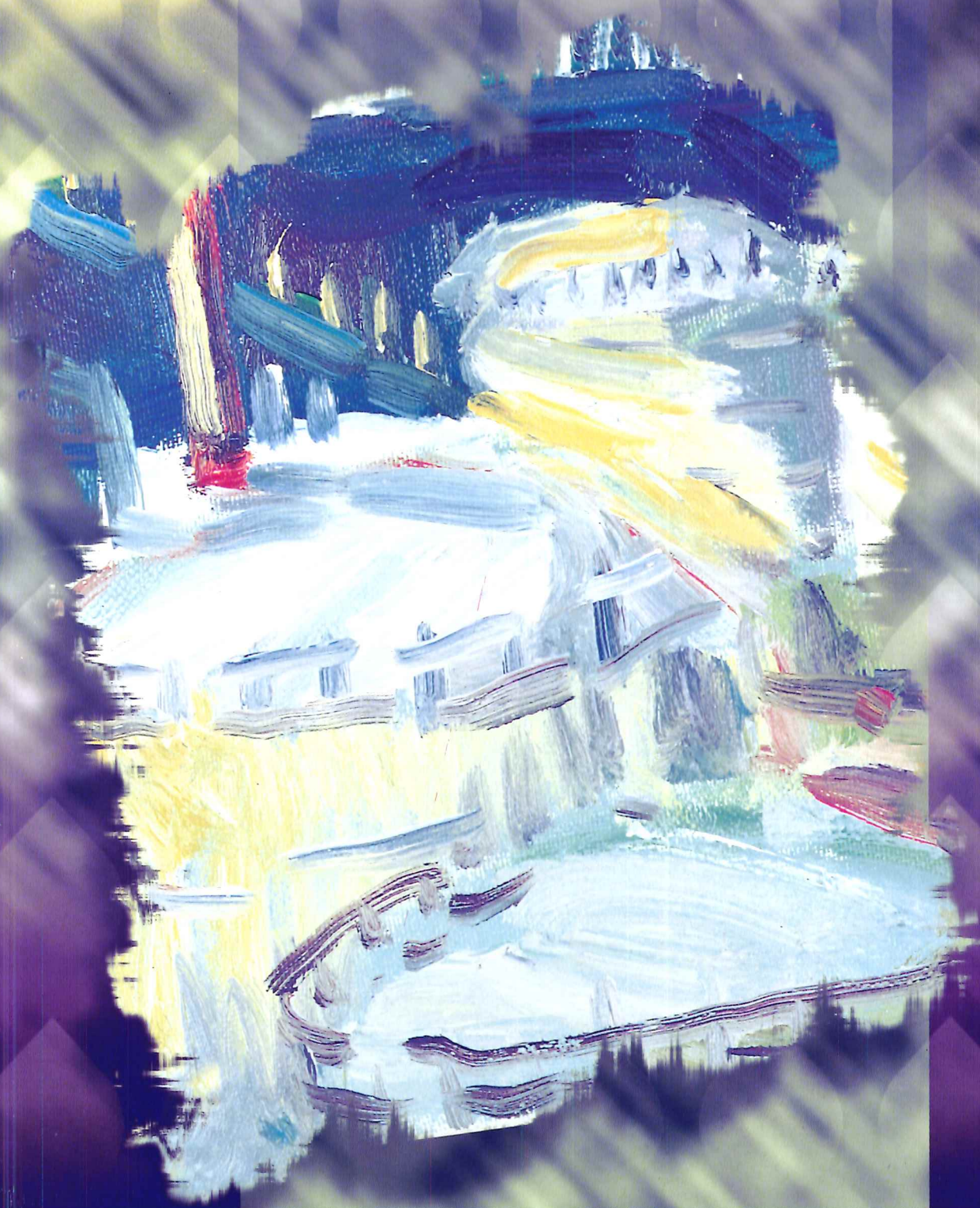
天涯何處覓油蹤

目 錄

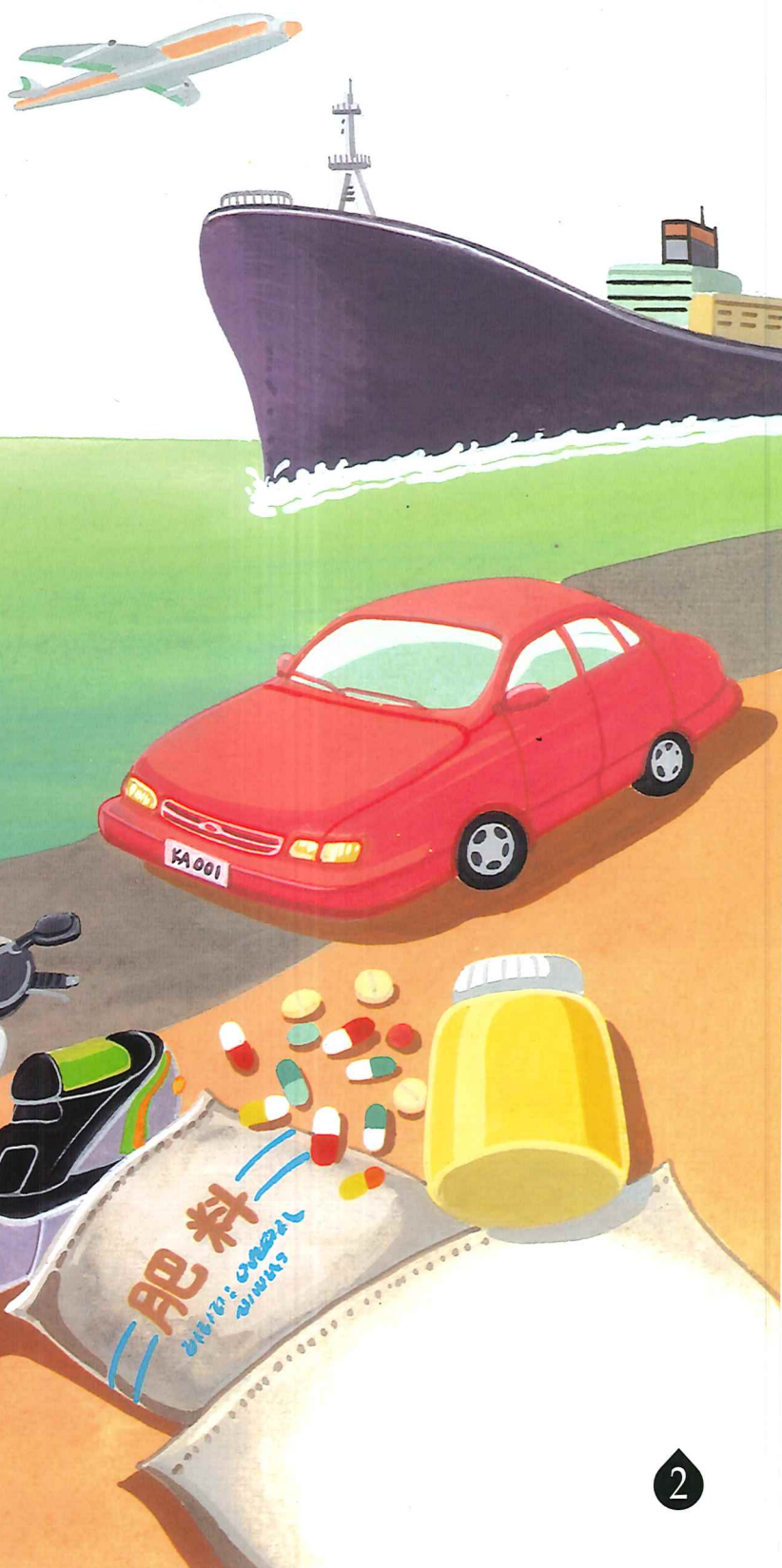
前言	1
油氣是什麼？	7
油氣的形成	10
無機生成論	11
有機生成論	13
油氣的聚集	15
生油層	17
儲集層	17
蓋岩或冠岩	18
油氣的移棲	19
促使油氣移棲的外來動力	20
石油是「想」出來的？	23
地層的祕密	29
會「說話」的化石	32
石油盆地分析技術	36
石油地質研究	38
地球物理測勘	48
地球化學研究	50
油氣田經濟評估	52



前言



石油是人類目前最重要的能源之一。它和我們的日常生活息息相關，無論衣、食、住、行、育、樂幾乎樣樣都少不了它。這是由於從地底下的地層內所汲取出來的原油和天然氣，不僅可以提煉出工廠生產所需的鍋爐燃料油，以及飛機、船舶、汽車、機車等所使用的動力油料及潤滑油，還可生產石油化學工業基本原料，供製造塑膠、合成纖維、人造橡膠、藥品、肥料等眾多石化產品，以及各種有機化學原料，甚至於還可做成人類的營養食品蛋白質等。而即使是石油煉製後的殘餘物——柏油(asphalt)，除了可以用來鋪設馬路，或用作建築物防水、金屬物防銹的塗料，也可用作電氣產品的絕緣體。由此可見，石油從頭到尾都是具有實用價值的寶物。





小 檔 案

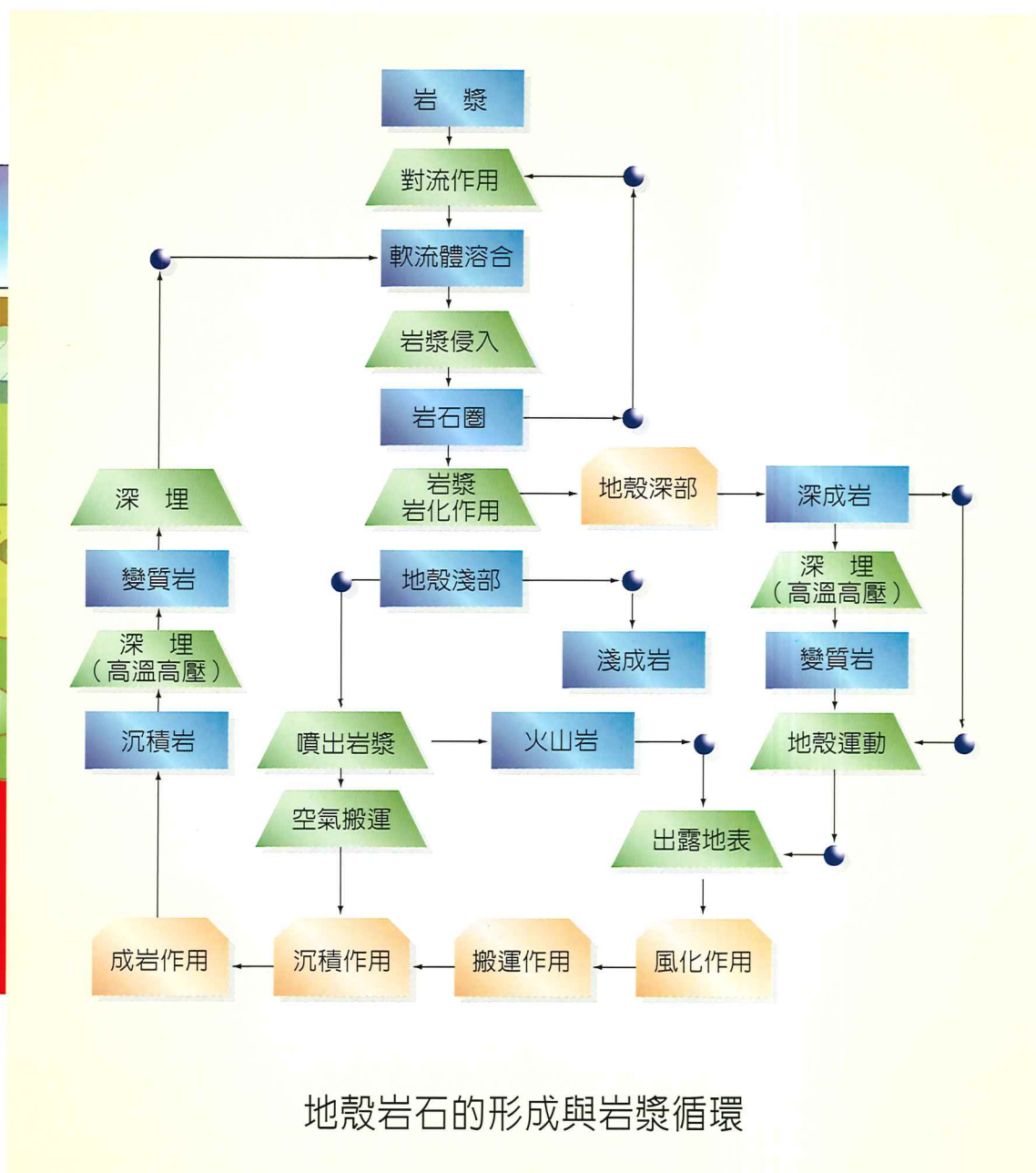
認識沉積岩層

由於地球形成物質密度不同，密度輕或熔點較低的物質會漂浮在地球結構的上層，形成同心圓的環狀構造。地球構造由外而內可大概分為地殼、地函及地核(核心)三個部份。而其中地殼又可分為岩石圈(即大陸地塊及海洋地塊的基礎)以及軟流體兩部份。

觀察地球的剖面圖，我們可以看到從地球表面的沉積岩層到地函的概略分佈狀況。圖中數目字就是平均岩性的密度，可見密度大的沉到地函內，密度小的漂浮在軟流體上面。

地殼岩石的形成是由於地球體內溫度上升，軟流體中所含溶岩入侵到地殼岩塊(如表)：圍岩接觸後，溫度及壓力減低，因而產生化學作用造成沉澱。這些沉澱的物質，會結晶成為礦物岩體(岩化作用)，而後這些在地球深部的岩體，包括火成岩、變質岩等，經過地殼運動，又被搬出暴露在地表上，由於受到風吹雨打等侵蝕，它們剝落成碎塊(風化作用)，再經水或風吹等搬運而沉積一處(搬運作用或沉積作用)；另一方面，火山噴出的物料在空中飛揚，由空氣吹動，再落下沉積，稱之空氣搬運。時日一久這種沉積物質越積越厚，再經化學反應，形成堅硬的地層岩層，也就造成所謂的沉積岩層(成岩作用)。

沉積層雖佔整個地球的體積不及百分之一，可是，卻是地面上萬千生物，包括人類，所賴以生長的泉源，因為它的表層不僅生長出人類需要的五穀雜糧和蔬菜水果，地層內更有我們需要的豐富礦產，石油及天然氣的生成就和沉積岩有密切關係。





深色部份是含油砂岩。



小檔案

砂岩與泥岩

要找出生油的沉積岩首先要辨別它的形狀。我們在野外活動時，常常可以發現靠近河流的源頭處，石塊都呈尖銳多角狀，而順著河流越往山下走，其所含的石塊碎屑卻越來越呈圓滑形。這是因為石塊經水流搬運或相互摩擦，越滾越圓的關係。

如果你有興趣，不妨以碎屑岩顆粒的圓度對照測定表與河谷及河床的岩塊作一對比，就可以發現沿河石塊圓度的順序變化。台灣台東縱谷河床上就有極為完整順水流向的鵝卵石梯疊的排列構造。

其次，我們要注意的是沉積岩顆粒的大小。首先要認識什麼是砂岩？什麼是頁岩？砂岩(sandstone)和頁岩(shale)的分別，只在於它所含顆粒的大小成份。以沉積岩專家們普遍應用的Udden和Wentworth岩石顆粒大小標尺度來看，直徑萬分之卅九毫米以下的就是黏土(俗稱泥土)，當黏土膠結成硬塊就是頁岩；而若鬆軟呈團塊狀則稱之為泥岩。我們用手指壓磨頁岩或砂岩的小石片使之粉碎，假若有粉末狀物質嵌入手指紋溝內，則該粉末即是黏土；而若有黏附在紋溝旁的較粗顆粒粉末，則多是粉粒大小的砂岩；此外，感覺粗糙，磨擦手指面的，當然就是砂岩了。

常用岩石顆粒大小尺度表

Udden-Wentworth標尺

最大長度

粗石 (Cobbles)

64 mm

中石 (Pebbles)

4 mm

細石 (Granules)

2 mm

極粗砂 (Very Coarse sand)

1 mm

粗砂 (Coarse sand)

0.5 mm

中砂 (Medium sand)

0.25 mm

細砂 (Fine sand)

0.125 mm

極細砂 (Very fine sand)

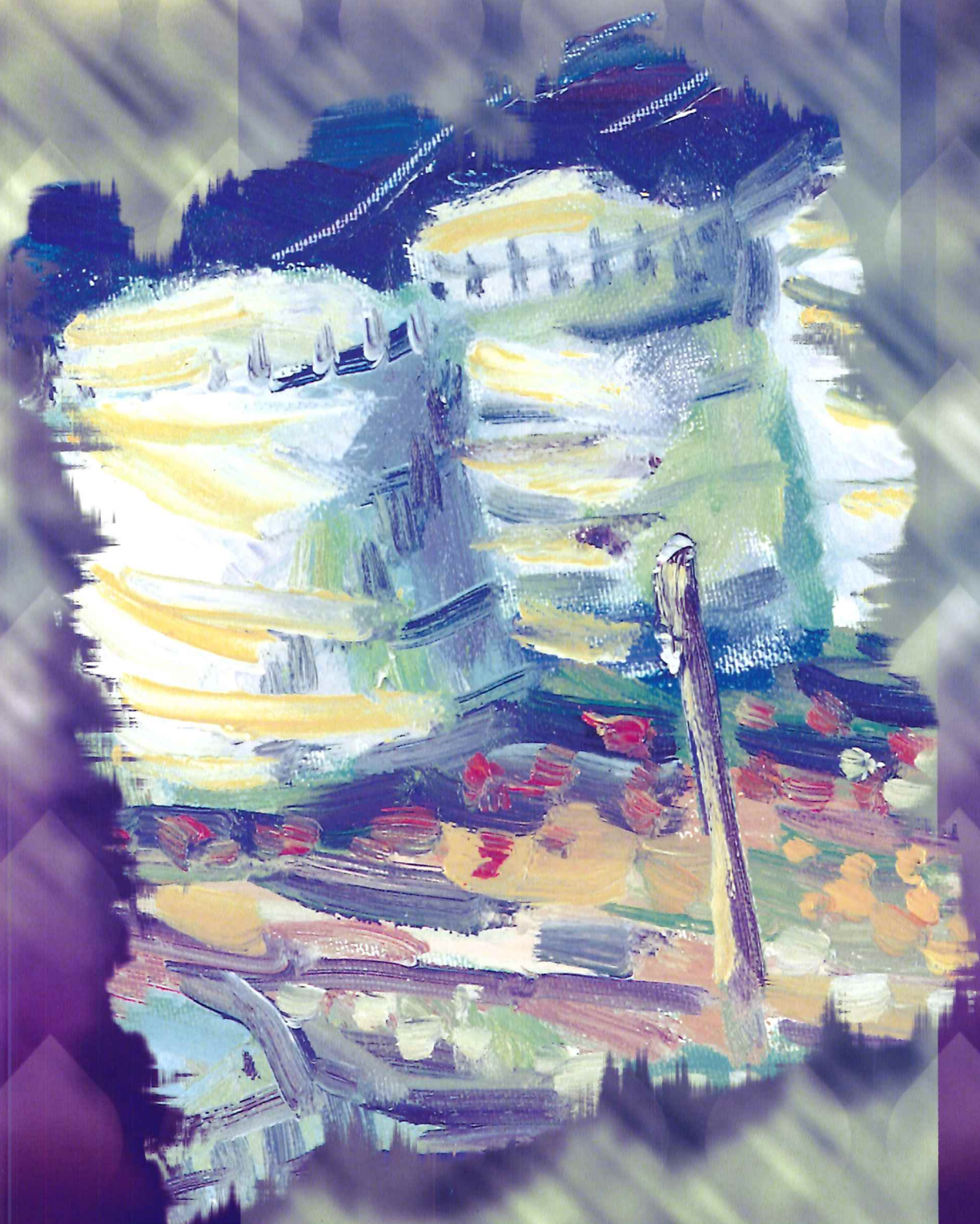
0.0625 mm

粉砂 (Silt)

0.039 mm

泥岩 (Clay)

油氣是什麼？



所謂的油氣，就是石油和天然氣的綜稱。石油或稱原油，和煤類、油頁岩或部份硫磺等都是自然界常見的可燃礦產。

油氣雖然具有很複雜的化學組合，並且因產地不同而有成份的差異，然而，其中仍有共同點，因為它們都含有碳、氫、硫、氮、氧等元素。一般來說，原油中含

碳量最高，佔84~87%，氫佔11~14%，二者並且以烴類(hydrocarbons)分子組合出現，佔原油97~99%，所以油氣也被歸類為碳氫化合物。

油氣中也含有少量的硫、氮和氧，約佔1~4%。各地所產油氣在硫的含量上有極大差異。中國新疆克拉瑪依原油的硫含量只有0.05%，而墨西哥原油含硫量則高達3~5%。通常我們把含硫量少於1%的油氣稱為「甜(sweet)」或低硫油氣，相對的就是「酸(sour)」或高硫油氣。煉油廠提煉酸油氣必須要有特別的去硫裝備，否則，硫化物不但會腐蝕煉油器材，更會造成環境污染。油氣中氮和氧的含量則很少超過1~2%。



小檔案

原油與天然氣

原油是指採自大自然，未經煉製的石油，是一種碳氫化合物。其所含的烴類包括有飽和烷屬烴(又名石蠟烴 paraffins)、環烷烴(naphthalene)、芳香烴類(aromatics)以及其他非烴類混合物。有些石蠟烴內所含碳元素數甚至高達七十八個以上；只有少數的原油含有不飽和碳氫化合物，也就是所謂烯屬烴(olefin type)。

原油的顏色也不一致，一般都是深色，如黃褐色、深褐色、黑色至黑綠色；部份原油較淡色，如無色、淡黃色等，如美國加州、蘇聯巴庫、羅馬尼亞、伊朗、印尼蘇門答臘和特拉尼達所產原油即是。至於其色彩較淡的原因可能是由於油中的膠質和瀝青質已被岩石吸收。一般而言，原油的顏色和其膠質、瀝青質的含量成正比；膠質、瀝青質含量越高，顏色就越深。

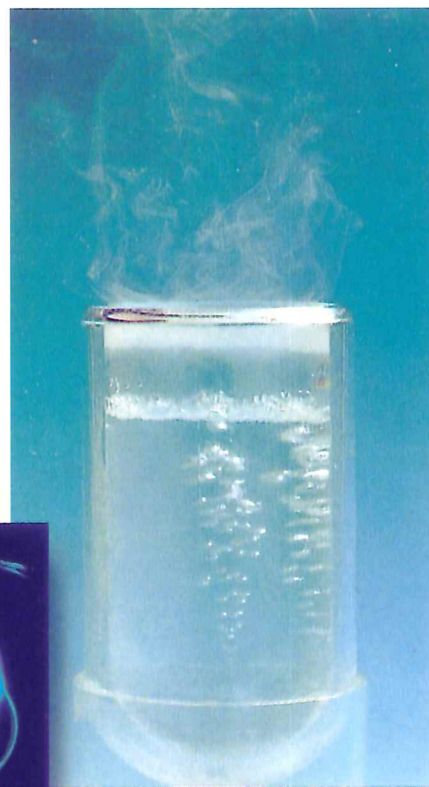
我們一般所謂天然氣，專指和原油有關的天然碳氫化合物氣體，主要供作燃料用。

天然氣的化學成份主要是由甲烷 加上一些其他高分子群屬的石蠟系列，如苯和一些環屬烴類而成。另外，也有相當的二氧化碳、氮氣(Nitrogen)和硫化氫，甚至微量的硫醇類和氨氣等。

所謂濕氣是指除了甲烷之外還含大量乙烷、丙烷、丁烷、液態烴等成份的氣體，是從油田中原油內釋放出來的；反之，不帶原油的純氣體，且不含上述甲烷以上高分子烴者即為乾氣。



這些元素在自然界中為近似有機物組成，因此，研究這些元素組成，可以幫助我們了解石油成因和移棲過程。



液化天然氣



小檔案

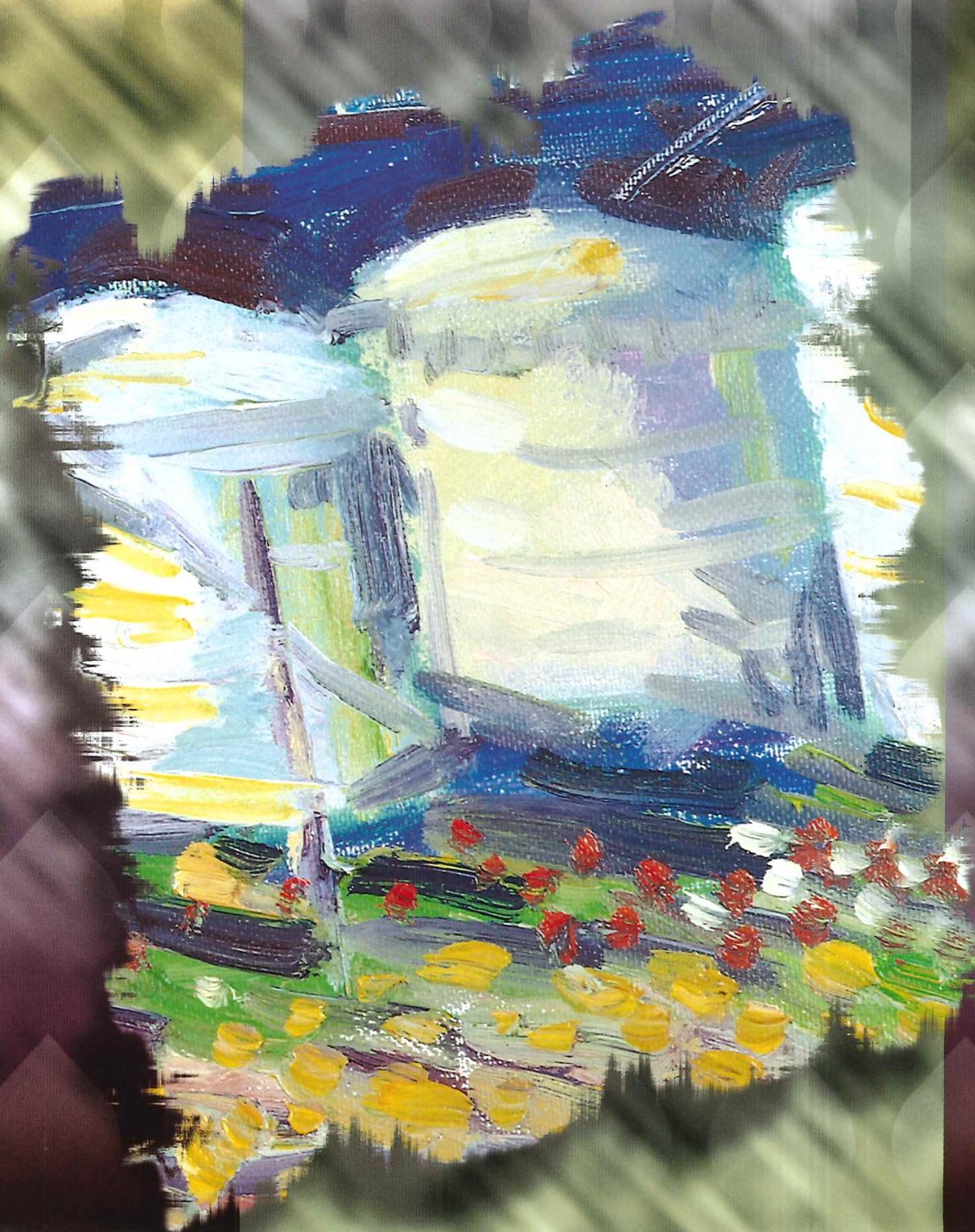
在常溫攝氏溫度下，原油的比重在0.75至1.00之間。原油比重也和其顏色有關，一般比重越大，顏色越深。但這也和它的組成物質之分子量與溶解氣多寡有關。通常比重較大的原油含高分子，瀝青質較多；比重較輕的原油顏色較淡，多為石蠟質，含油質較多，當然，經提煉所得輕質油料的比例也多。國際上多用美國標準API來測定比重。

$$API = \frac{141.5}{15.5^{\circ}\text{C時的比重}} - 131.5$$

以中油公司所進口的原油來看，其API值約介於三十至五十之間。伴隨天然氣產生的凝結油其API值約為五十左右。目前世界原油中以中東地區原油比重較大，API值較小；東南亞地區原油則比重較小，API值大。比重較大的原油，含硫量通常也較高，在「環保世紀」的今天，必需先經過脫硫處理的過程，處理費用較高。

黏度是原油一個很重要的物理特性，而油料在開發井或輸油管的流動速度，對相關作業也有極大的影響；如果氣溫降低，油料的黏度會增大，使輸送速度減緩。此時可藉由加溫方式來減低其黏度，或以保溫管線運送。

油氣的形成





油氣的真正成因究竟是什麼，目前仍是許多專家所熱烈討論的重點；歸納各種不同的看法，基本上可分為無機生成和有機生成兩種不同的理論。

無機生成論

十九世紀時的化學家認為當地球構造岩漿由熱變冷時，會釋放出大量的氣體，這些氣體存在於深部地層，經化學作用而轉換為油氣。1866年泊第洛(M. P. Berthelot)從事鹼金屬自由離子的試驗，認為在地球深部的含鹼金屬若遇到含二氧化碳的水，就會產生氫元素，而在高溫化學作用後，會生成乙炔化物並遇水而轉換為原油。

1879年蘇聯化學家蒙德吉拉夫(Mendeljeef)發表著名的文獻，認為地球深部存有大量的碳化鐵，會在高溫高壓下和水作用形成油氣。這之後，還有更多的無機成因學說，大多認為油氣的形成和溶岩以及火山作用有關，因為溶岩冷卻或火山爆發都會產生大量的氣體，這些氣體中都含有氫、氮以及乙炔等等天然氣，而這些天然氣則會在深壓地層內，轉換為各類碳氫化合物。

但無機生成論也留下許多無以解釋的謎團，例如：



為何原生油氣蘊藏只存在於沉積岩層，而不會在火成岩體或變質岩體產生？



利用光性顯微鏡以偏光狀態觀察原油，會出現旋光反應，這一特性是有機物質特有的現象。並且，它含有血紅素和吡啶(pyridine)等成份，這也是有機體的產物。



倘若油氣是因溶岩釋出氣體而成，則應該越深入地殼靠近地函的區域，就越有油藏存在，但這和事實不符。



無機生成論無法進一步解釋有關油氣內複雜化學成份的組成因素。

...



有機生成論



綜合過去以至現代科學技術所作過的研究，結果多顯示油氣生成的條件偏向有機物成因，其理由如下：



絕大部份的油氣田都分佈在沉積岩層中，而且多集中在淺海相、三角洲和深湖相沉積層。



在中國大陸古老地層自寒武紀到第四紀的更新世時代，以至新疆省內的上及中元古界都找到油（請參考本書「地層的祕密」一章）。由此可見油氣雖分佈不勻，但大多和地層中有機質有關，和煤或油頁岩等礦產的形成時代也很吻合。



近代科學家研究海相和湖泊相的沉積物，已發現有機物轉化為油氣的過程。中國青海湖及洞庭湖、美國加州陸棚沉積層以及蘇聯裡海、黑海和謝萬湖等都有豐富的有機物質轉化為石油類碳氫化合物的證據。美國P. V. Smith於1954年曾以碳同位素測得其絕對年齡為九千到一萬四千年，並且發現這些有機物愈在深層處，其特質愈接近石油。



世界上各地所產原油雖不盡相同，但其化學組成中均有共同的地方，比如：較老的古生代原油多屬烷類，年輕的第三紀原油則以環烷族為主。而且，原油的化學成份與重量比也相當接近。這些正好說明，油氣的可能成因大致相同，但由於原始生油物質及環境不同，加上生油後經歷不同的變化過程，而造成成份上的差異。



根據光譜分析，更證明中、新生代的石油灰是以氧化鐵為主，約占70%，古生代的石油灰卻以氧化鈣和氧化鎳為主，在60至80%間。比較石油灰和地球的岩石圈所含元素，石油灰中鈣、銅、鎳、鈷等均較岩石圈中高出很多，這些跡象顯示出煤和原油都是有機生成的關係。



由所有油氣田所測資料顯示，油層環境很少超過攝氏一百四十度；並且，原油所含芳香烴成份中，二甲苯多於甲苯多於苯，然而當溫度提高到攝氏七百度時，則此比例成逆向變化。另外，原油含卞啉化合物，具旋光性；以及環己烷、環戊烷和其同系物等的存在關係，都證明原油是在低溫條件下形成。

河水入湖處，由於流速驟減，形成河口三角洲。

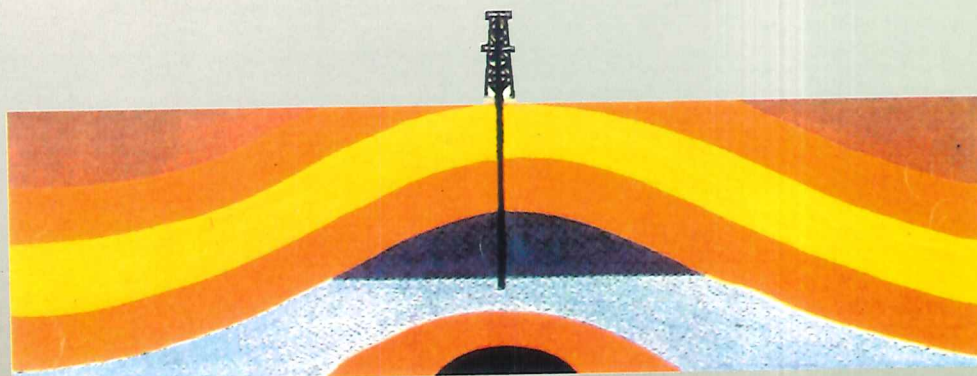
石油的形成



水中生物的遺骸下沉而埋沒於地下。



因地熱或地壓等作用而變成石油。



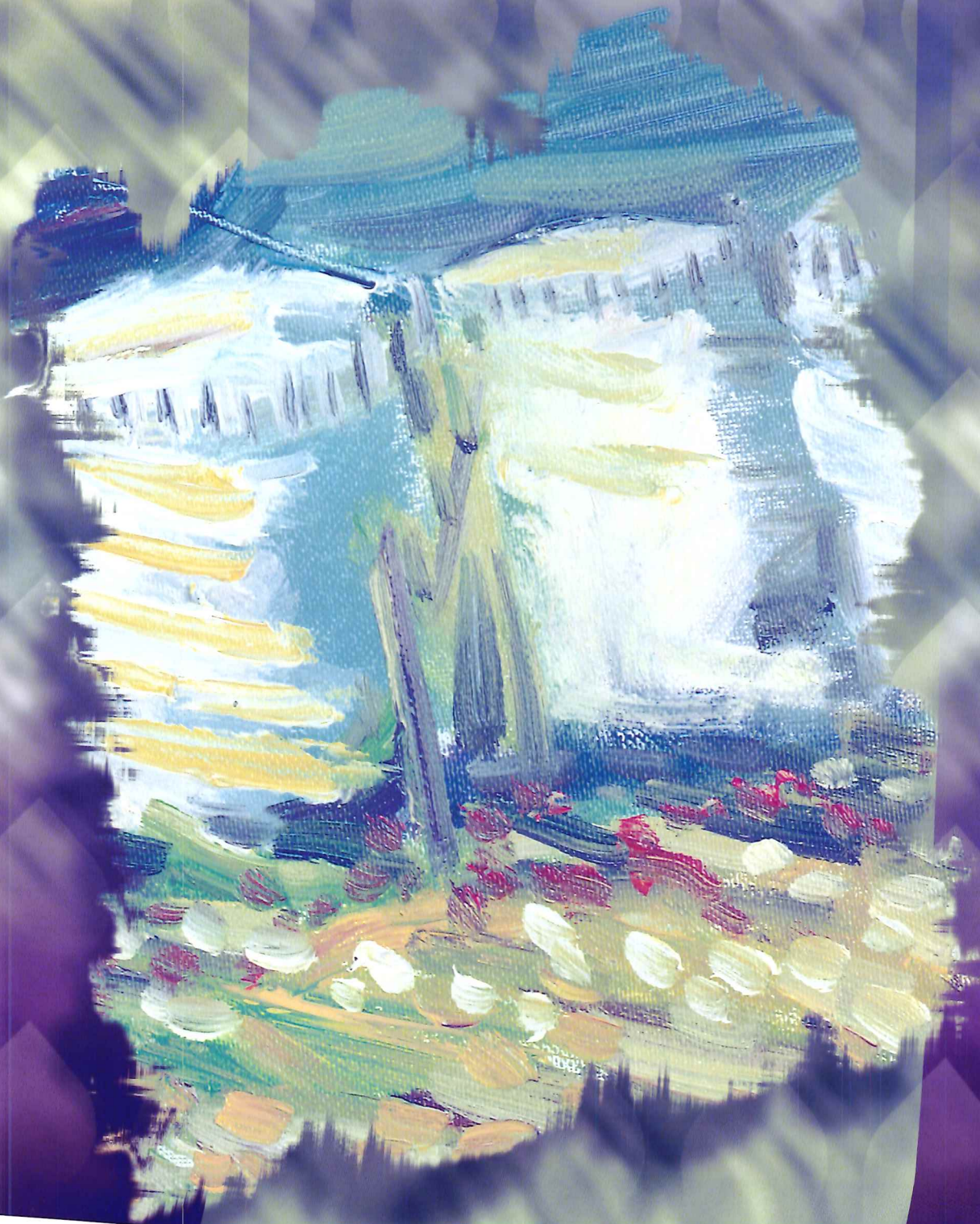
石油大多集中在地層的背斜構造部分，像砂岩之類空隙較多的岩石地區等。



在年輕地層如上新世至更新世地層中所發現的油藏，其生成時間都不過一百萬年。在委內瑞拉東部佩德納爾斯，有一個封閉在帕里亞粘土層內厚約六公尺的砂層，它含烴類濃度比其圍岩的粘土層和地表砂層高出四倍之多。以碳十四元素測帕里亞粘土層的

年齡不過一萬年，該被封閉的砂岩層卻只有五千年左右。以該砂岩層所含平均烴濃度150ppm(百萬分數——微量物質濃度之比，百萬分之一個單位)減去地層平均含烴量25ppm，所剩125ppm就是砂層內後來聚集烴的量，相當於平均每年增加0.025ppm，以此推論，只要一百萬年，該封閉就可成為大油田了。

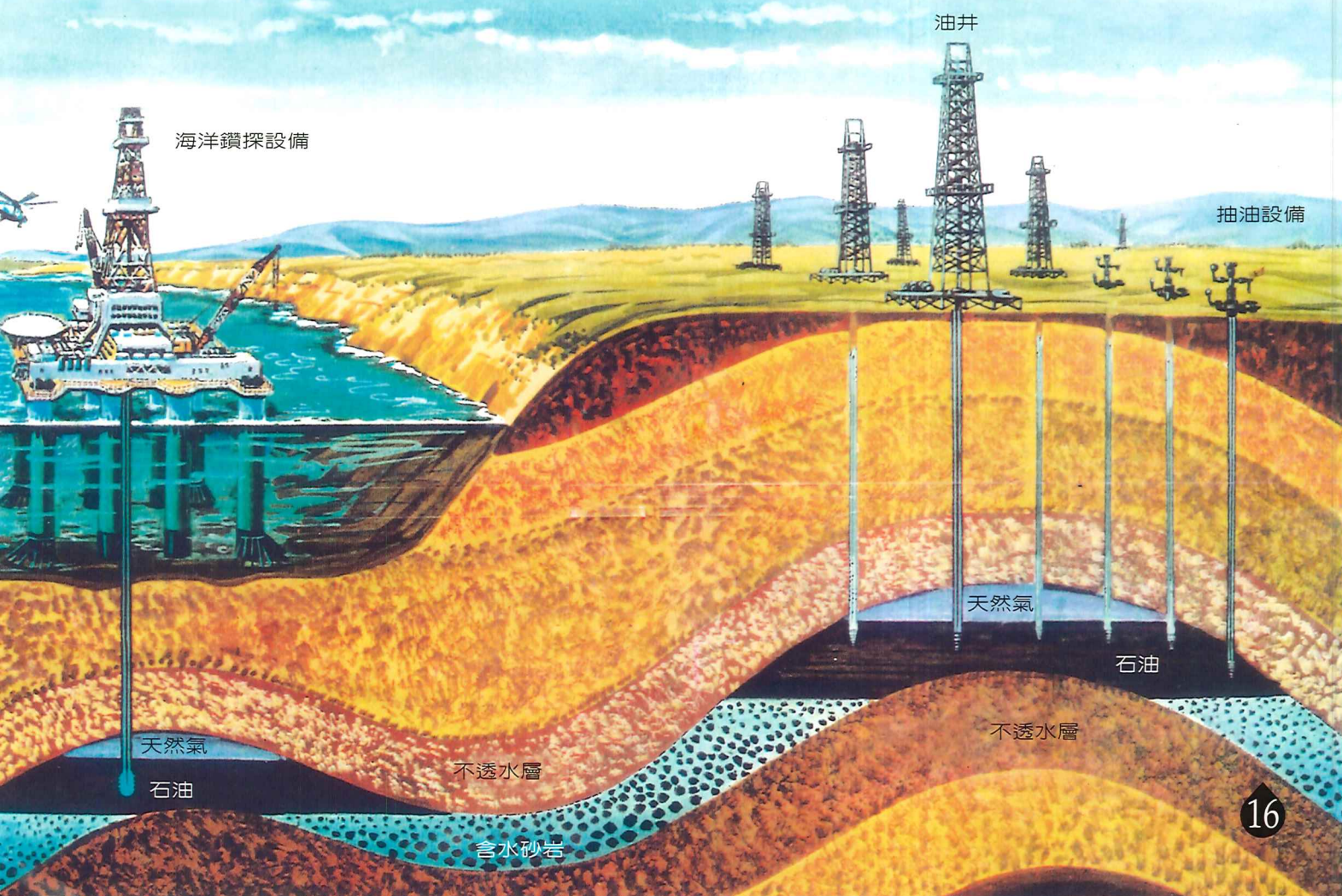
油氣的聚集





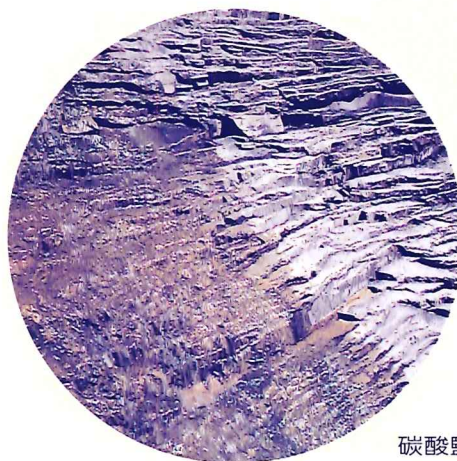
要成爲一個有經濟效益，也就是有生產價值的油氣田，必須具備三大條件，也就是所謂的生儲蓋層。「生」就是生油層(source rocks)，「儲」就是儲集層(reservoir rocks)，而「蓋」就是蓋岩或冠岩(cap rocks)。

油田地區的地質構造



生油層

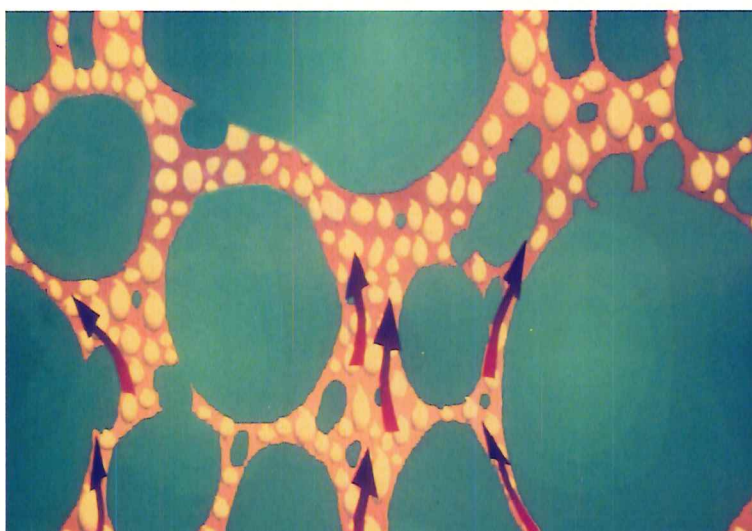
良好的生油層不但必須含有豐富的有機物成份，而且還要能把這些成份完整保存，使它們不會被氧化，以便在適當條件下進行去氧、加氫、集碳等過程，之後再加上生化作用、溫度和無機質的催化等，以至時間的作用，才能達到成熟而生出油氣。主要的生油層多為鹽岩和碳酸鹽岩二大類。



碳酸鹽岩

儲集層

儲集層，顧名思義，就是具有儲存油、氣空間的岩層。所以，儲集層必須有良好的孔隙率與滲透率。所謂孔隙率就是岩石中含有許多的空隙，而且這些空隙必需能夠互相溝通，這是儲集油氣必需的條件；例如比重輕、可浮於水面的浮石雖然有極高的孔隙率，但由於孔隙間互不溝通，就不可能是儲油岩。至於滲透率是指在有壓力差的情況下，岩石本身能讓流體通過的性能。儲集層通常以砂岩、碎屑岩、碳酸鹽岩為主，小部份為變質岩體。



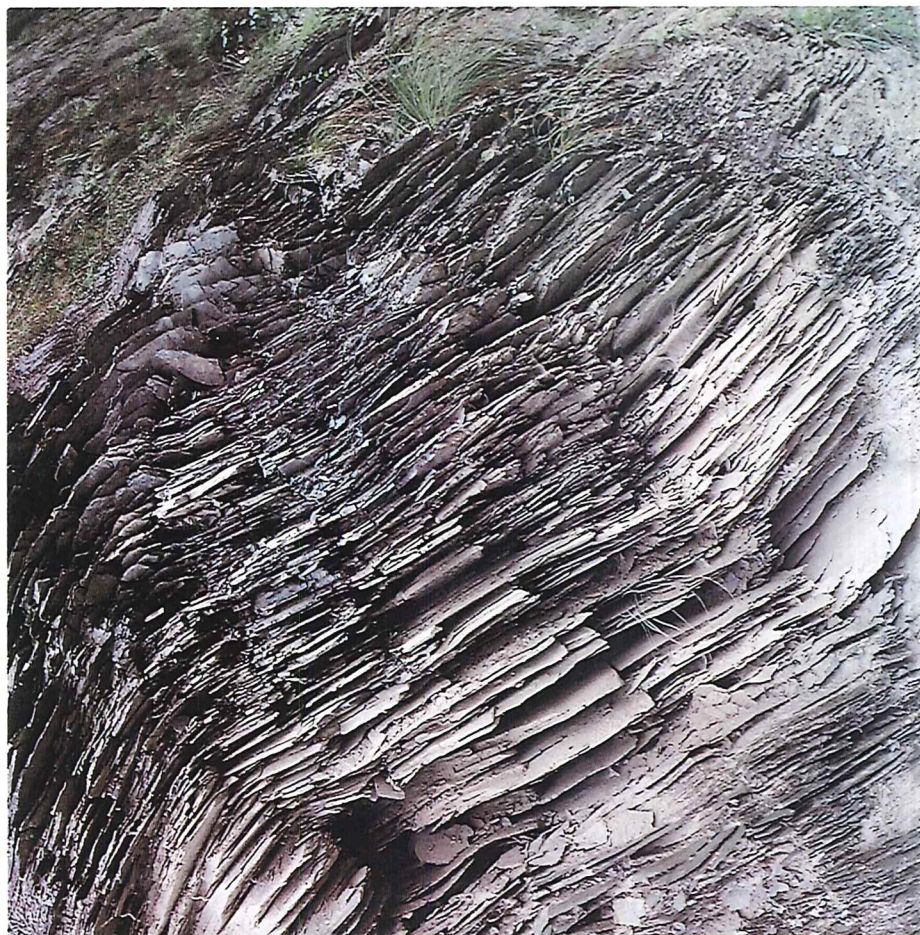
油氣儲存在互相連通的孔隙中

蓋岩或冠岩

有了生油層及儲集層，當然，儲集層上部還必需要有一個冠頂，以便圍合，使油氣不致跑掉、漏失，這一岩層就叫做蓋岩。通常蓋岩能封合的範圍就叫做封閉(trap)。當然，封閉範圍越大，儲存的油氣量也越多。蓋岩通常都由很緻密、不透水的頁岩層所組成。

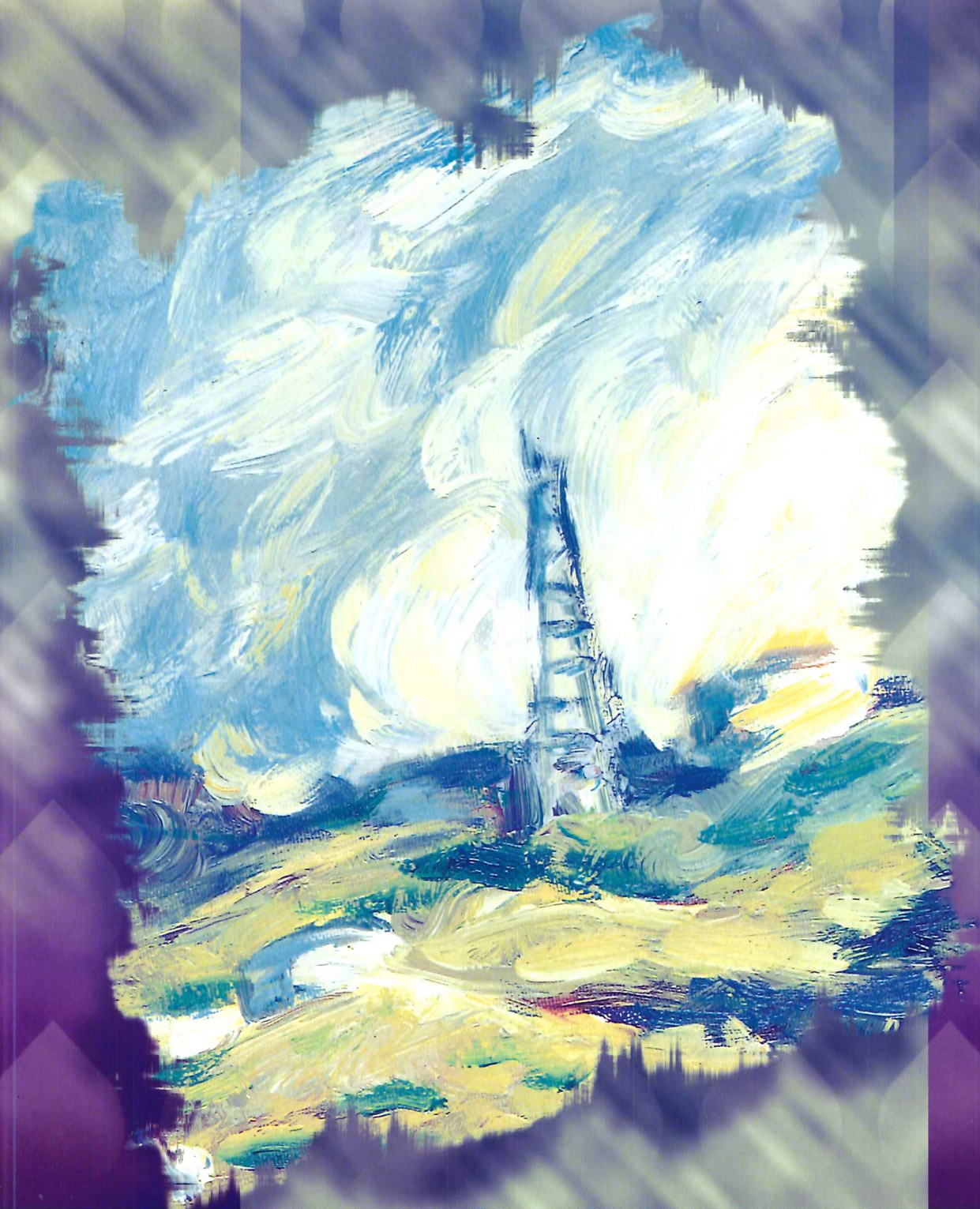


綜合封閉構造



頁岩

油氣的移棲



促使油氣移棲的外來動力



油氣在生油層產生之後，原來是呈分散、點滴的釋出，這些點點滴滴的油氣分子，必需仰賴某種動力使它們慢慢循著一定管道而聚集在一個封閉裏頭，並累積相當時日至一定數量之後，才能成為具生產價值的油氣田。這種使原生油氣分子逐步匯集的過程，就是移棲作用。

地層靜壓

油氣的原生地層會受地心引力(即重力)的影響，逐漸因負重而下沉，當壓力越大，地層內的液體包括油滴、氣泡、水等等，即被擠出往壓力較低的區域搬移。

水力浮動

這是1921年J. L. Rich等提倡的學說。大家都知道，油或氣的比重都比水小，而氣又比油小。故地層內油氣分子若在地層水內，必受水力帶動，同時油氣分子也因比重而移動，經水的最上端移棲到達頂端覆蓋有不透水層的冠岩為止。

水動力

地層內的水滲透到地層顆粒間，透過孔隙往下流，會帶動溶解在水內的油氣分子，使其隨水的運動而搬移。人們後來也利用這一原理，在二次生產的生產井（請參考本叢書第二冊「上山下海鑽井忙」）內，用水灌進油田儲集層內，以便利用水的壓力把油氣逼出來，增加生產。

構造運動力

地殼運動如地震時，會使地層內的壓力產生變動，因而使地層內液體動盪而產生游移，當然也同樣會帶動油氣的運動。



其他動力：

造成油氣移棲的外來動力，除了上述的因素外，還有如地層內顆粒間孔隙所產生的毛細管壓力 (capillary pressure)。毛細管壓力大小與其孔隙所造成的管口徑大小成反比。也就是說，毛細管管徑越小，則吸入的作用力就越大。所以，地層內眾多的顆粒間的大小孔隙，就會形成很大的壓力差，而使

得液體流動。此外，地層內岩石中的礦物成份，在進行成岩作用的期間，經水份、溫度、以及地層壓力所產生的作用，也會造成地層內壓力差，這也是一種動力的因素。

地層內液體常是由壓力大的區域被擠往壓力低的區域，因此，只要地層內不斷的有壓力上的變化，則液體就會不斷的移動。



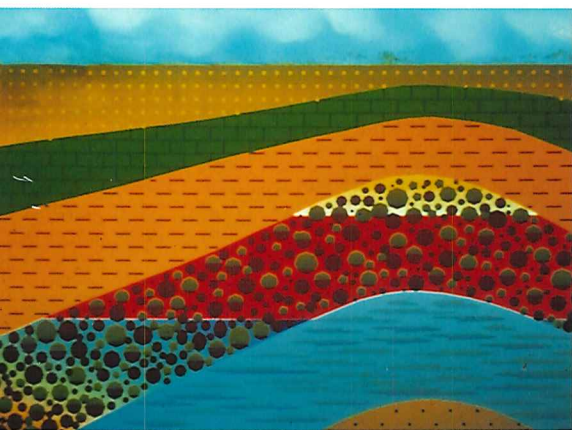
毛細管作用

油氣的移棲分有二種行程區別，也就是短程移棲(或稱初次移棲)和長程移棲(或稱二次移棲)。初次移棲就是原生油氣從生油層(即源岩層)內釋放出來，游運到儲集層內；由儲集層再移棲到適當的封閉匯集後靜止不動，就稱為長程移棲或二次移棲。

如果我們知道某一區域地層內有源岩層(即生油層)，只要研究該區域內地層的壓力分佈，掌握油氣移棲的方向後，就有助於找出相關的封閉構造，以便作為決定鑽探井位的依據。



第一次移棲



第二次移棲



小檔案

油氣封閉構造的類別

只要找到適當的油氣封閉構造，就可以找到油氣蘊藏。有時同一構造內不單只有一個儲集層；若是儲集層被斷層切斷所形成的封閉，又可分為上盤蘊藏和下盤蘊藏。

而封閉的類型，依其油氣的產狀，可歸納為四種狀態：

一、構造封閉：是因地殼運動造成地層褶皺、斷裂而形成。如背斜構造、斷層封閉構造等都是多層蘊藏的油田。

二、地層封閉：由於海進海退使得沉積間斷，或因地殼運動被沉積物覆蓋而地表下陷後，造成的封閉，都屬於地層封閉。部份不整合封閉儲集層上下都有被封閉的條件，故能有好的蘊藏。

三、岩性封閉：是由於儲集層在沉積期間的岩相變化，因半路受阻擋造成封閉，或岩層顆粒越來越小，形成不透水層或頁岩造成封閉等條件造成。儲集層沉積時，沉積物來源若間斷會造成凸鏡體狀的沉積。其上下周圍都是不良透水層所封閉，故可以蘊藏油氣。

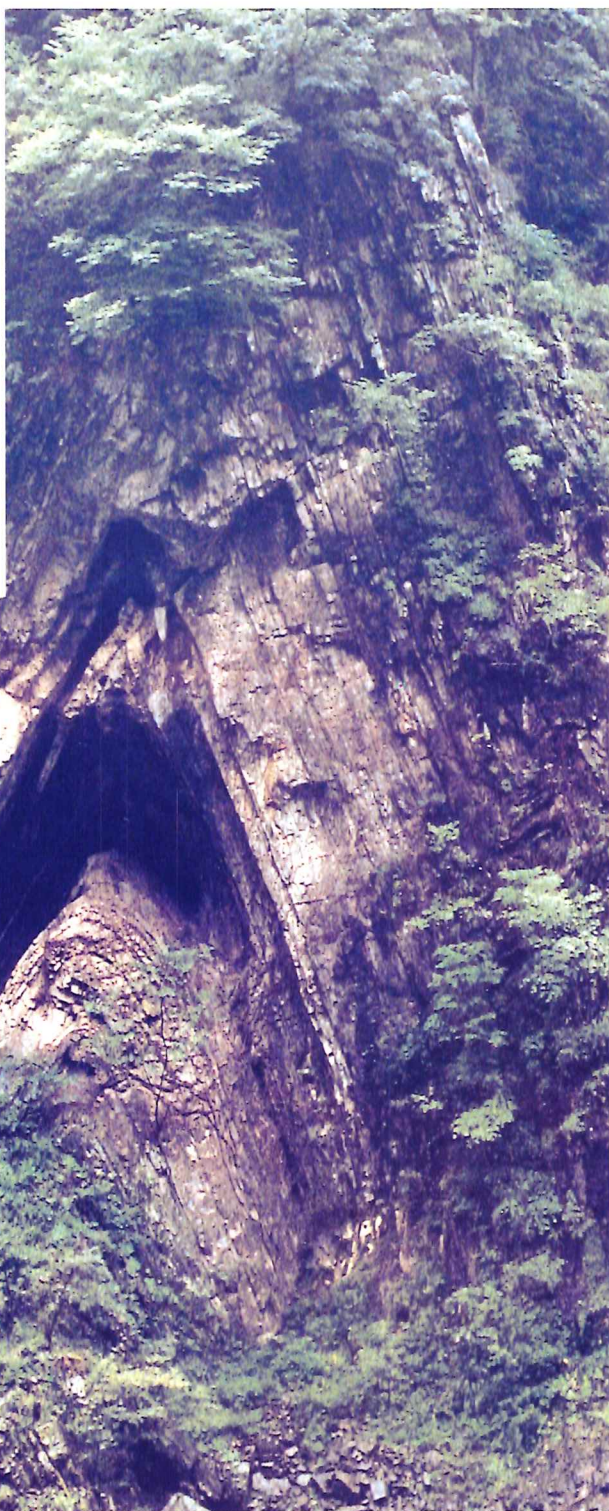
四、綜合性封閉：就是集合上述二類以上封閉的構造。其實，大部份油氣田構造都是綜合性封閉。

石油是「想」出來的？

原油與天然氣既是大自然的產物，尋找石油最原始、最方便的方法，就是直接在地面上有石油滲出的地方鑿井，這就是直接找油法；但是很快地，所有發現地面滲油的地方也都被找光了。於是，人們又動腦筋想找出地下為什麼產生石油的道理，因為只要掌握了出產石油的「規律」，就可以用間接的方法找到石油了。



可惜，我們人類至今仍未能完全掌握前述原油生產的規律，所以「石油探勘」至今仍是風險很高的事業。



新中橫公路上明顯的背斜軸

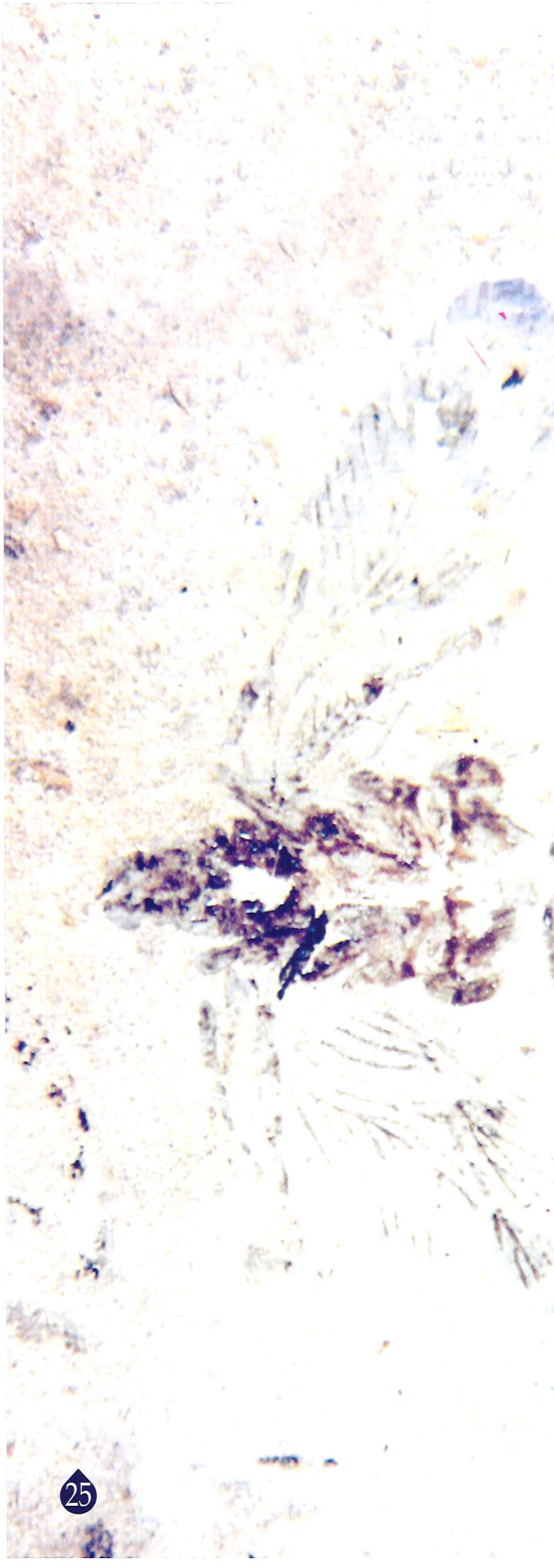
也有人說，石油不是「找」出來的，而是「想」出來的，這種說法在早期確有幾分道理，美國早年尋找石油的故事，就有不少是「異想天開」及「誤打誤撞」而成功的。但後來檢討發現，其成功的原因還是有脈絡可尋，換句話說，是有其地質上的意義的，只是當時以為「純屬巧合」而已。例如，當年有人把兩處發現石油的地點加以連線，就在這連線上打井獲得成功。而如以石油地質的原理來解釋，這是因為他們正沿著「背斜」的軸部打井，而石油就常儲藏在背斜的軸部。由此可知，找到石油的關鍵就在於解開儲存石油的地方——岩層的祕密；而要解開岩層的祕密，又必得從瞭解地質學著手。



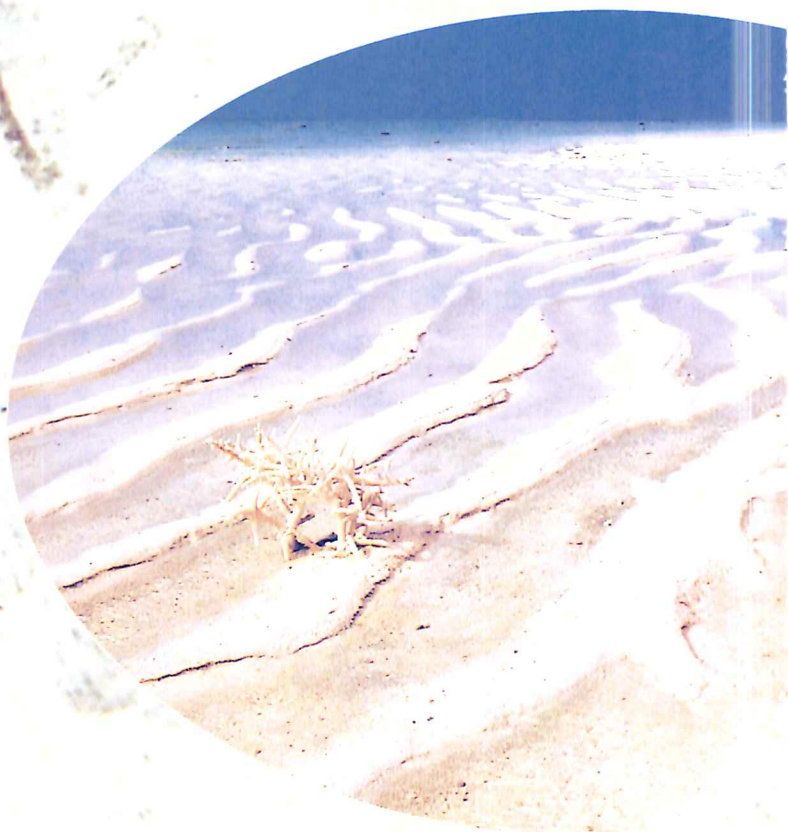
新中橫背斜軸



大漢溪背斜軸



地質學就是研究地球歷史的科學。說起來好像很複雜，其實整個地球漫長四十六億年的歲月都完整地記載在大自然的山川水石之中。舉例來說，我們去野外郊遊、旅行時，常常看到海灘上千奇百怪的嶙峋奇石：地面上巍峨起伏的山嶽衆嶺；而蜿蜒曲折的河流，或切割山谷，或沖刷平原，形成湖泊、沼澤；或直奔斷崖峭壁，下瀉爲萬丈瀑布，引人遐思；這一切一切的大自然景觀，都是地質學的重要線索。此外，我們漫步在峽谷、河溝時，也會看到兩崖露出各種大小不同、軟硬不等、顏色不一的地層；這些地層也都代表著它們各自的生成年代、沉積環境、物料



來源、沉積方式以及保存條件等等，並可能夾帶有在當時環境下

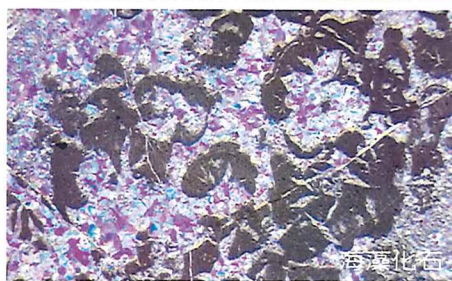


昆蟲化石

生存活躍過的生物，如大型動物中的恐龍、哺乳類、鳥類、貝類、昆蟲或蜥蜴等，及小型生物如花粉、有機蟲、微小化石、介形蟲、桿菌類以及植物的枝桿、葉草、根果等。而這種種生物殘骸、餘物或痕跡，或它們的分泌物、排泄物等等，都稱為化石(fossils)。這些地層特徵和其化石內容形態，就如同是自然界的文字記載，地質學家們就是靠研讀這些記錄，整理出地球本身的滄桑記事，作為石油探勘的判斷依據。



丘陵往往是各種風化剝蝕作用特別強烈的地區



分枝化石

繁殖於熱帶淺海中的珊瑚、層孔蟲、藻類也是判斷地層是否富集油氣的依據。



形成辮子狀的河流



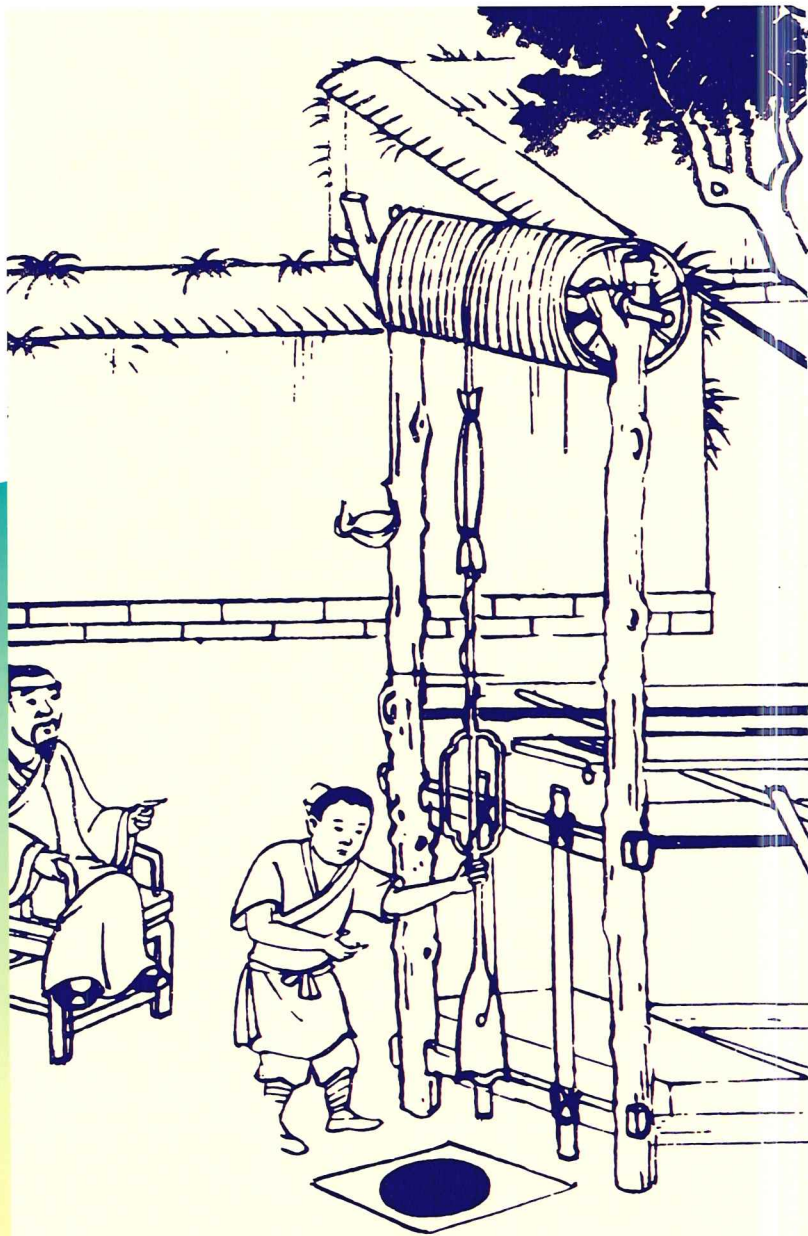
小檔案

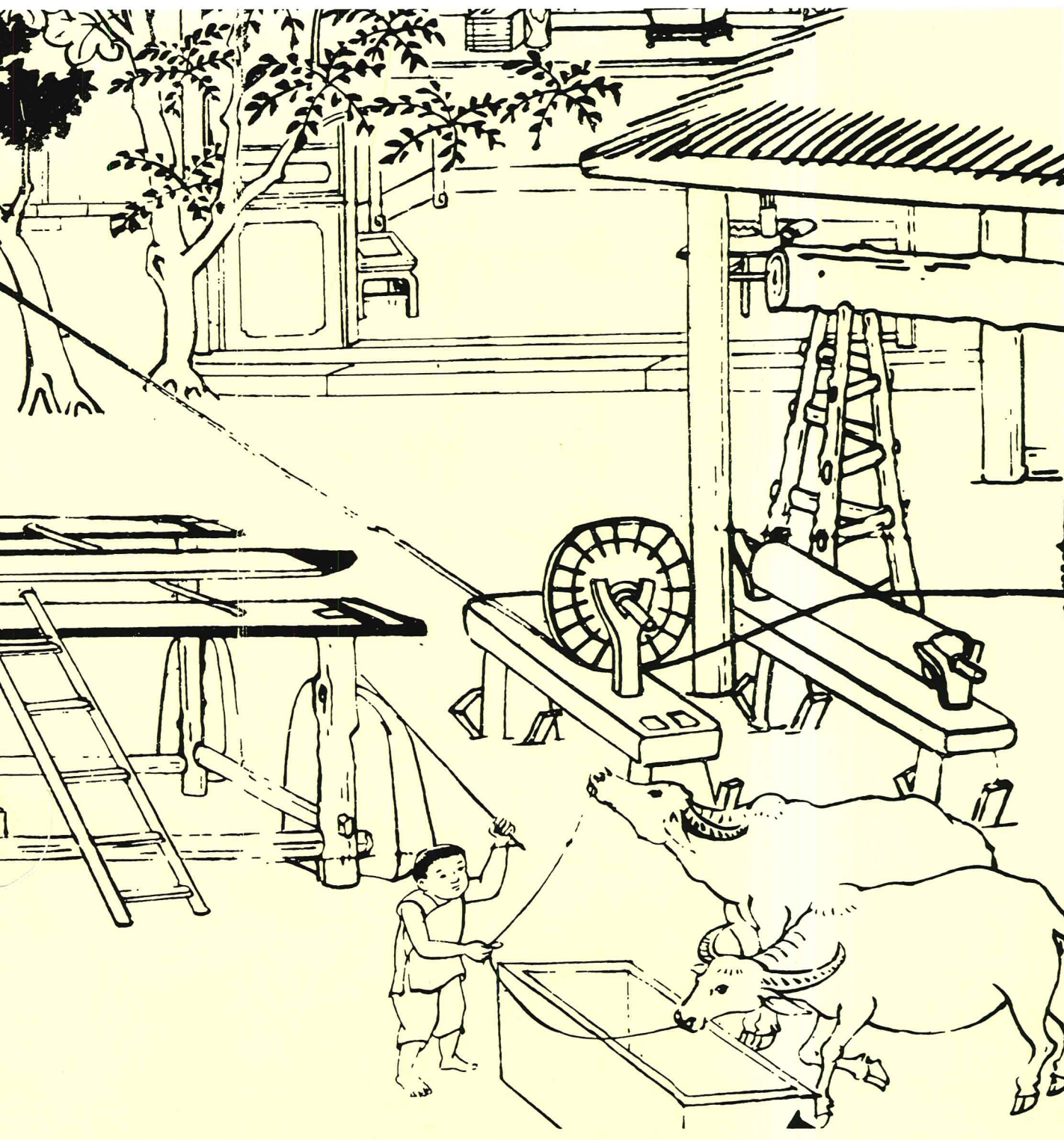
中國歷史中有關油氣的記載

早在三千多年前，中國就有使用油氣的記錄。周代「易經」就有「上火下澤」、「火在水上」和「澤中有光」等記述，說明水面上有可燃火的原油或天然氣的溢出。晉朝(公元267年)張華所著的「博物志」中，更描述寧夏省酒泉縣的石油特徵：「酒泉延壽縣南山出泉水，大如筰，注地為溝，水有肥，如肉汁，取著器中，始黃後黑，如凝膏，燃極明。……彼方人謂之石漆水。」當時的人所說的石漆水就是石油。

而石油這個專門術語最早出現在北宋名科學家沈括的「夢溪筆談」中：「鄜延境內有石油，舊說高奴縣出脂水，即馱。」又有「石油……生於水際沙石，與泉水相雜惘惘而出」，描述了石油的特徵和產地、以及用途，更有沈括對石油的前瞻看法：「此物後必大行于世，……蓋石油至多，生於地中無窮，不若松木有時而竭。」

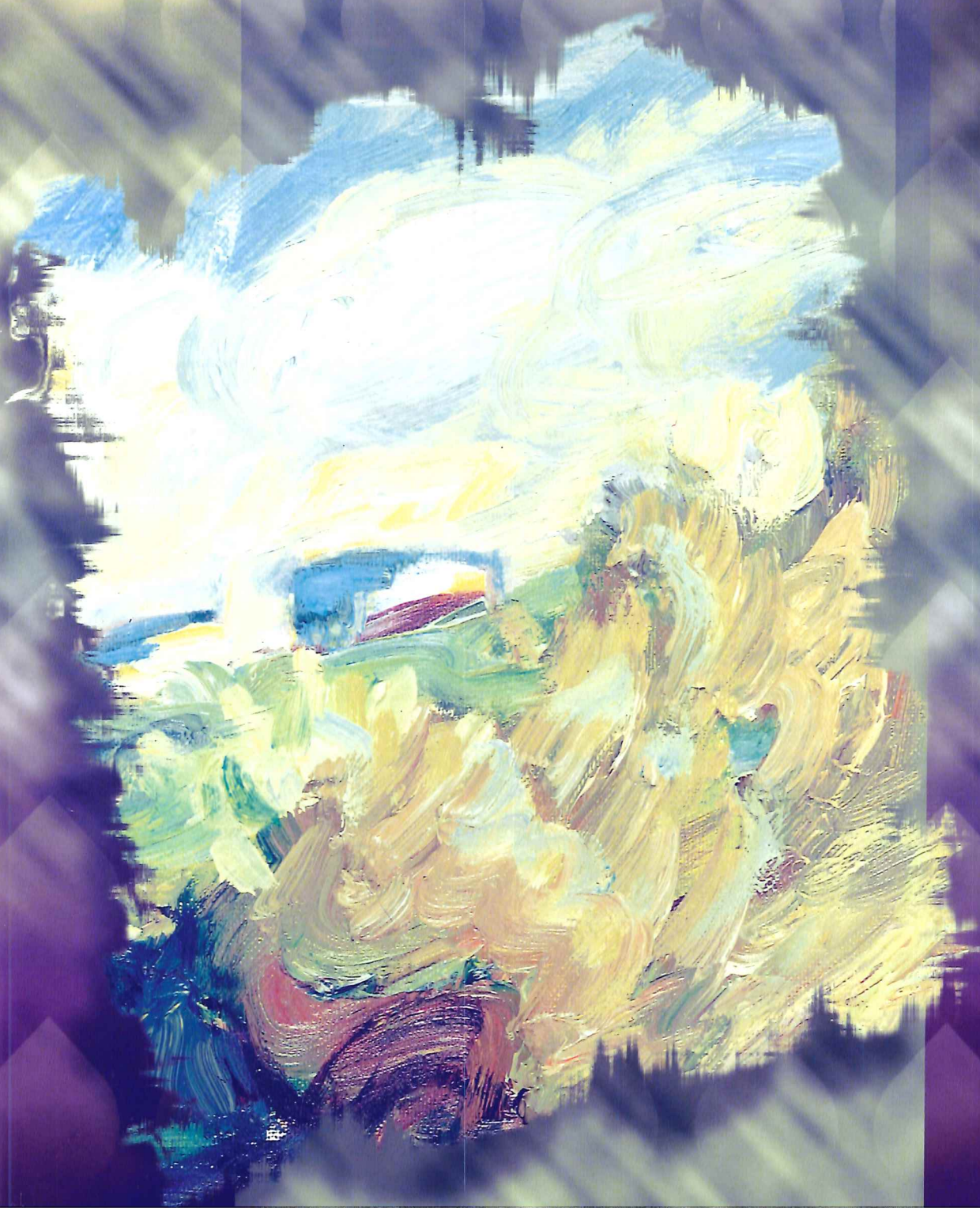
古代中國極早就知道在日常生活中使用油氣，供潤滑、照明、燃料、醫藥及軍事等用途。其中最早的實例為四川省普遍使用天然氣來煮鹽。晉朝常璩在「華陽國志」曾記載二千二百多年前秦始皇時代，四川臨邛縣郡鑽井開採天然氣煮鹽的情況。而秦朝李冰更發明了頓鑽，成功地鑽了中國第一口採鹽井，揭開了中國鑽採工程的第一頁。可惜這一技術也如中國許多古老而卓越的發明一樣，因未能「百尺竿頭，更進一步」而停留在原始的階段，並逐漸沒落失傳。





天工開物圖

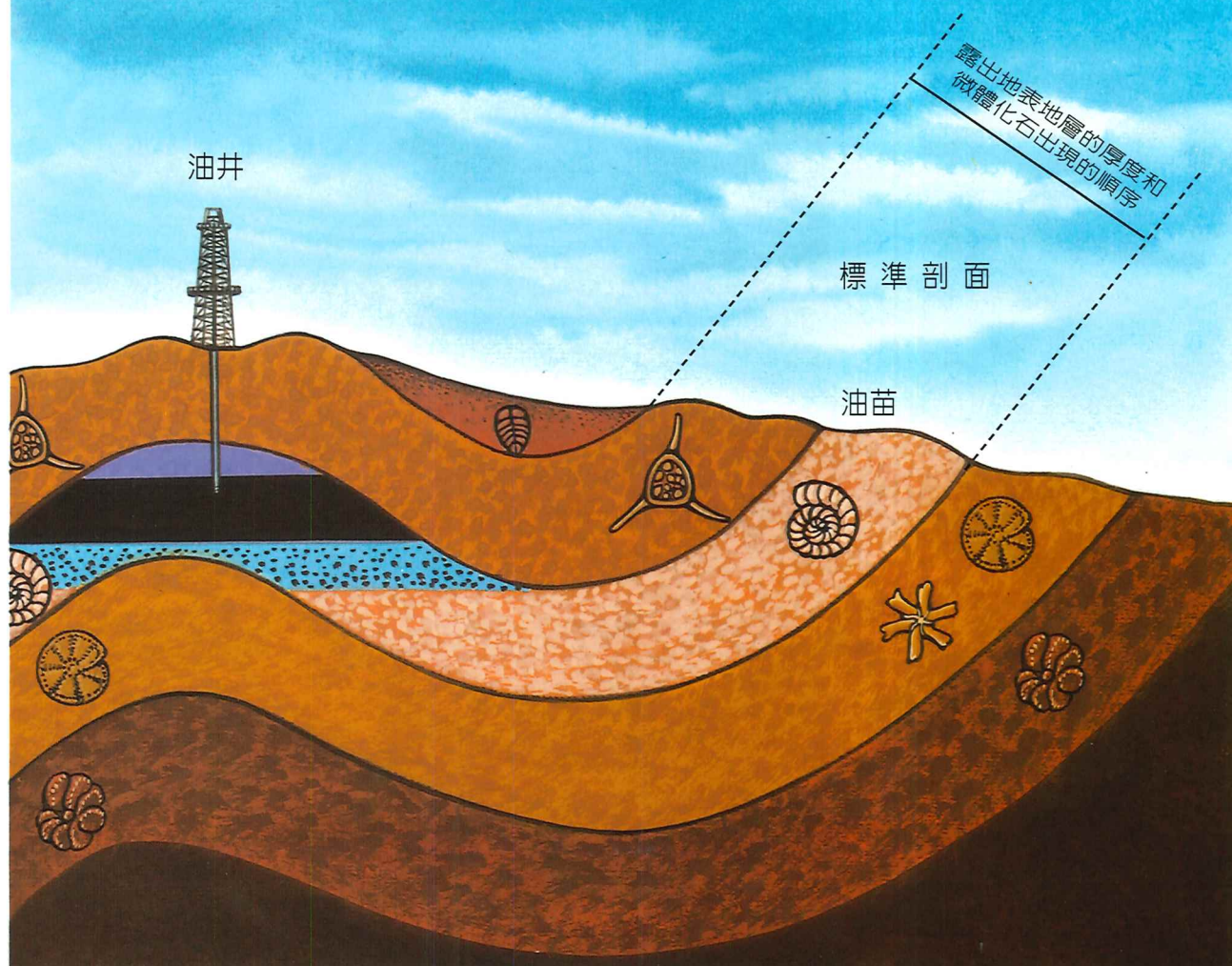
地層的祕密



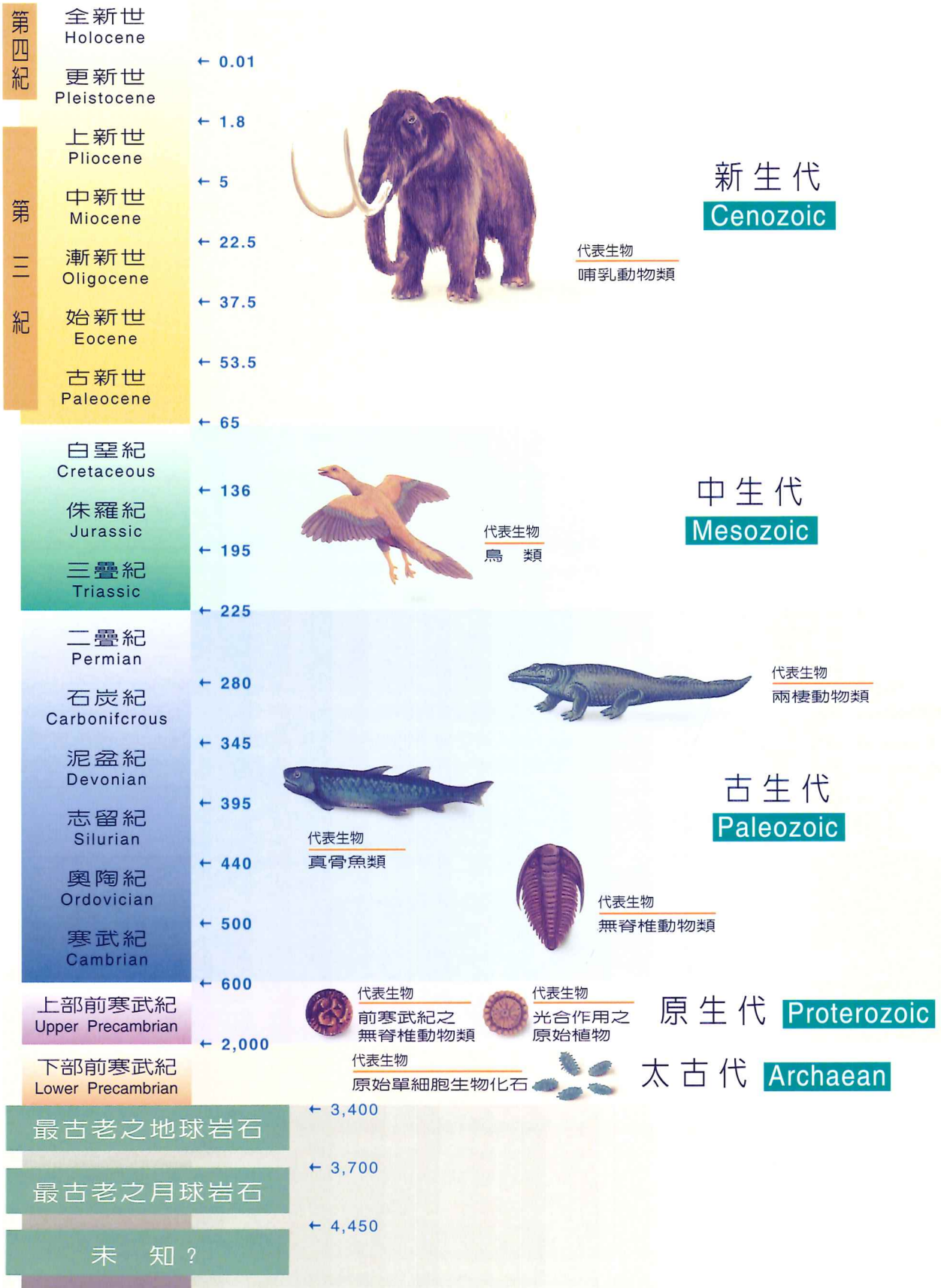
地層是沈積物隨著時間一層又一層地累積而成。因此，不同的地層就代表不同的形成(沈積)年代和沈積環境。在地球四十六億年的歲月中，根據近代油氣探勘史的紀錄，我們發現從古生代寒武紀開始往前，最遠達新生代的第四紀地層都有石油生產。而寒武紀距我們現在是五、六億年前，前後持續一億多年。



不同地層即代表不同的形成年代及沈積環境



地層年代表



代表生物
哺乳動物類

新生代 Cenozoic



代表生物
鳥類

中生代 Mesozoic



代表生物
真骨魚類



代表生物
兩棲動物類

古生代 Paleozoic



代表生物
無脊椎動物類



代表生物
前寒武紀之無脊椎動物類



代表生物
光合作用之原始植物

原生代 Proterozoic



代表生物
原始單細胞生物化石

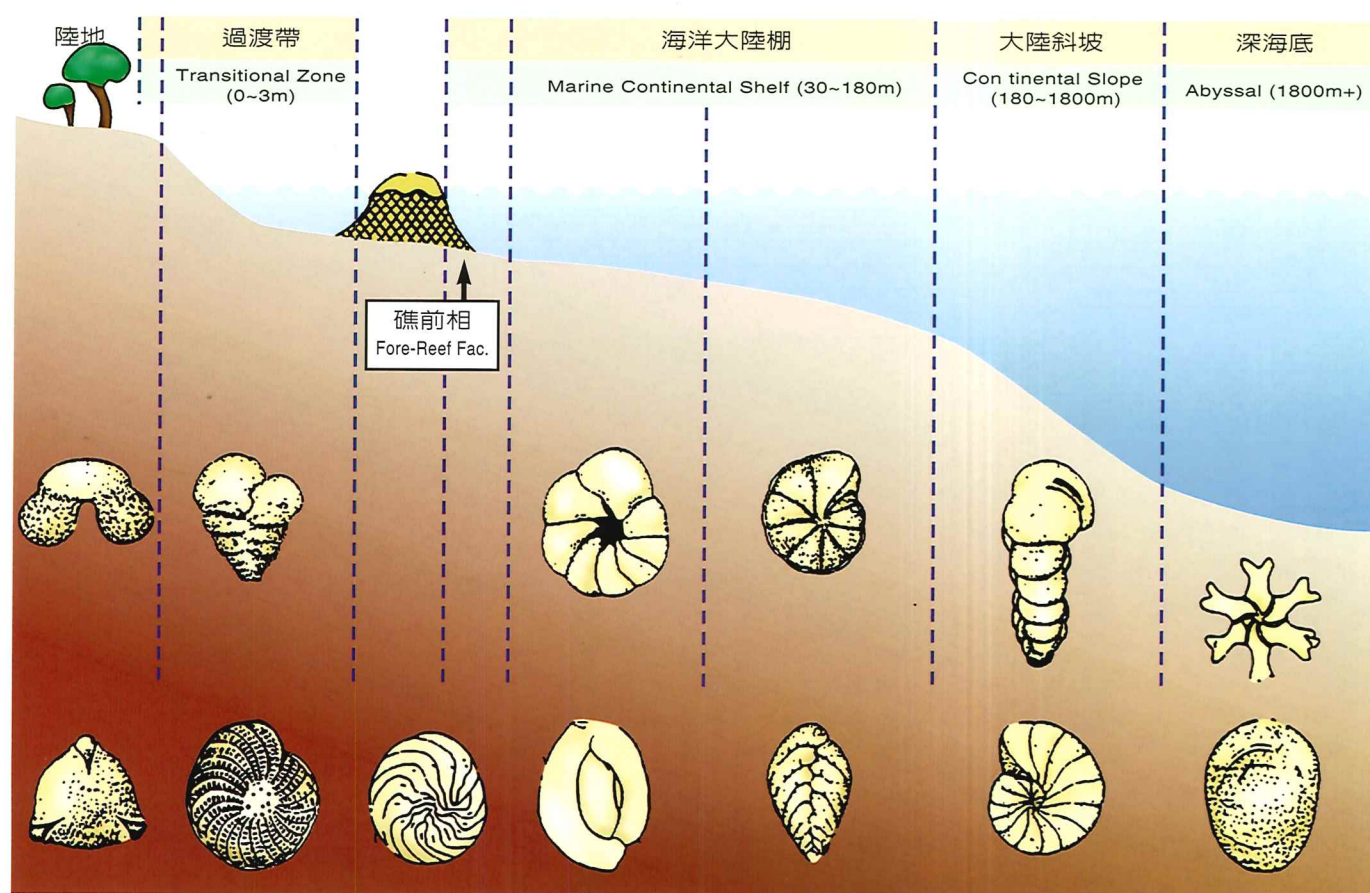
太古代 Archaean

會說話的「化石」

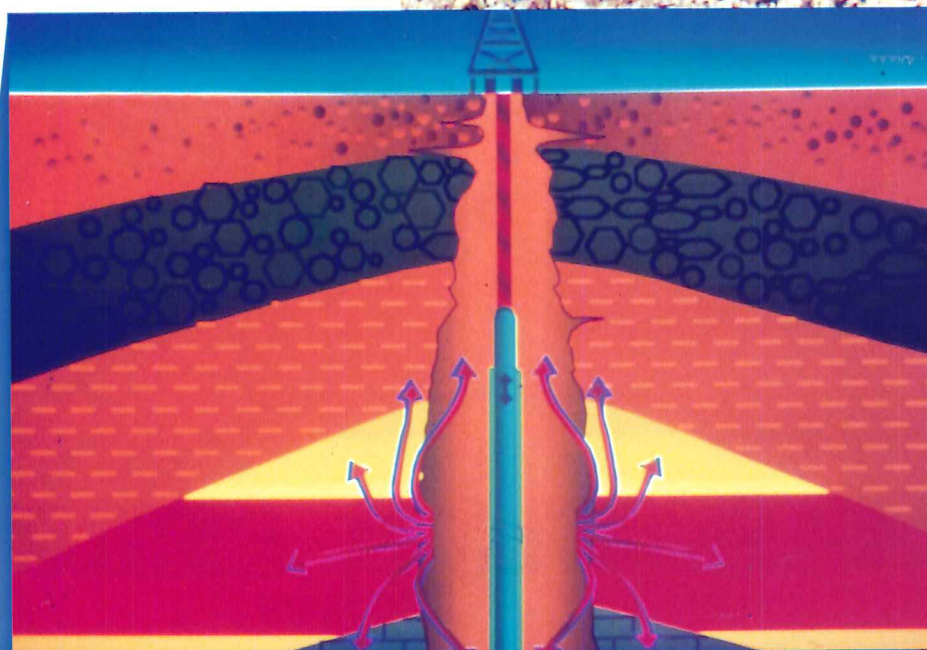
我們要怎樣才能知道地層的形成時間呢？解析地層中所含的化石可以解開時間之謎，因為地球上各種生物都有其繁盛的時代，例如一億多年以前，地球上充滿了許多巨大的爬蟲類——恐龍，當他們死後埋在地下，就慢慢變成了化石。因此，我們只要發現地層有恐龍的化石，就可以知道這一地層就是恐龍時代所形成的。不過，石油工程師所要找的化石，不是這種

大型化石，而是像砂粒一般大小甚至更微小的化石。因為石油公司在鑽井找尋石油時，從井底所帶上來的多為岩石的碎屑，其中已不可能有保存完整的大化石，只有砂粒般大小的化石，不致遭受到破壞。因此，石油地質學家就把取自地層中的碎屑加以分析，以確定它是不是和附近有石油的地層所含的化石相同或有關。

微體化石與沉積環境



我們看不到地下地層，所以除了依靠由井裡帶出來的岩石碎屑，分析其中所含的成份外，研判電測記錄也是判斷地層中油氣含量的可靠方法。因為每個地層都有其物理特性，就好像每個人都有他的特徵，我們雖然沒有看見有誰來過，但看到某人的鞋印或聞到某位小姐慣用的香水，也可推斷他們來過一樣。鑽井時，雖然由於石頭都磨碎了，不容易研究地層的物理性質，但在鑽井以後將一套儀器下到井裡，可以測量地層的物理特性。由於這種作業是用電纜來操作和記錄，所以就被稱為「電測」。石油地質研究人員分析電測記錄，也可獲得很多地層的祕密，例如孔隙的多少，甚至其中有沒有、或含有多少石油也可判定。





位於大陸賀蘭山系的三疊系褶皺

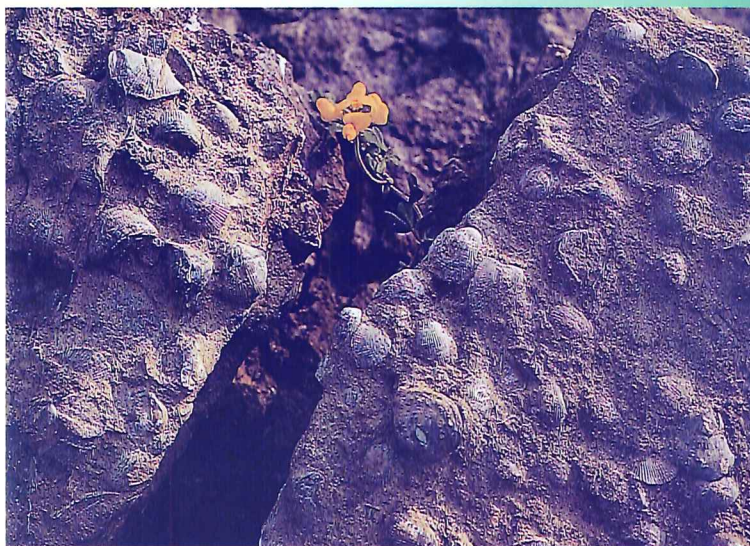


地層褶皺

石油地質研究工作除了研究儲存油氣地區的地層年代之外，也要研究地層是如何形成的？形成後到今日的漫長歲月中又曾經過了什麼樣的變化？

地層原本是砂、泥顆粒，在較安定的水下環境沉積下來，並逐漸累積深埋，等到受負荷的重量愈壓愈緊，就逐漸減少體積、硬化，並且因化學作用，而顆粒膠結成一體，變成岩層。但這是理想而未經變動的狀況，通常地層在硬化前或硬化後，還會受到外來的力量而變形、彎曲、褶皺甚至破裂。這種形貌上的變化對石油能不能儲存，並且聚集在一起，有很大的影響，所以，要找到潛存油氣的地層，我們就要研究這些地層的變化史。

而如果把上面這些點點滴滴的現象，運用各種科學方法加以分析、歸納及整理，就可以得到一套較完整的產油規律，這也就是所謂的石油盆地分析。



地層裡的化石是判斷地層年代的重要依據

石油盆地分析技術



石油盆地分析技術是一種綜合科學技術，牽涉相當廣泛，除了眾所周知的「石油地質研究」外，還包括了「地球物理測勘」、「地球化學測勘」及「油氣田的經濟評估」等技術。

其中，石油地質研究能幫助我們很快地瞭解某一沈積盆地是否具有油氣潛能，以便能掌握探勘先機；節省時間及人力；地球化學研究能使我們瞭解該盆地的生油岩狀況及潛能，以及是否有成為大型油、氣田的機會；地球物理研究則可將各種探勘資料，由「點」擴大到「面」或「三度空間」，使我們快速而方便的瞭解地下構造形貌；而如果進一步配合井下地質資料，更可追蹤出生油岩、儲集層及蓋層的分佈範圍，這些都是油氣探勘工作的必備條件。



油氣探勘是一種高風險、高利潤的工作，其最主要的研究對象是地層與岩石，然而大部份的地層與岩石都隱藏在地表之下，不能直接觀察，只能間接取得一些資料來加以分析解釋，再藉由實地開採來證實所作的解釋是否正確，這是多麼富有挑戰性的工作啊！



石油地質研究

石油地質研究通常需赴野外進行實地地質調查，再以所獲取的資料進行各種對比、研究、分析，以了解其地質概況。一般常用的方法包括尋找地表油氣徵兆、進行野外調查、或利用更先進的航空攝影及遙感測勘技術等。



尋找地表油氣徵兆

雖然地表的油氣徵兆不一定就表示其地下的儲油氣層具有經濟開採的價值，但仍不失為探勘新油氣田的重要線索，因此，早期的石油探勘工作常選擇在油氣苗附近鑽井。清咸豐十一年(西元1861年)，番通事邱苟無意間在苗栗出磺坑後龍溪畔發現冒著石油的油苗露頭，於是他手掘一口三公尺深的淺井，日產原油約10公升，挑到市集販賣，供人點燈及醫療之用，這就是台灣油氣探勘的開端。





一般來說，地表油氣徵兆主要有下列幾種型式：

1 地表氣苗

天然氣可沿地下裂隙（如節理、斷層）游移而到達地表，所以任何地區若有天然氣逸出，均表示地下可能有油氣蘊藏存在。此外，某些地區若有由火山噴發出來的氣、油和鬆散的沉積物，可在地表上造成土丘，稱之為泥火山，這種現象也是含氣地層的特徵。



養女湖泥火山，中央部份有瓦斯噴出，點火可燃。

泥火山地貌
大陸準噶爾盆地的阿爾欽溝

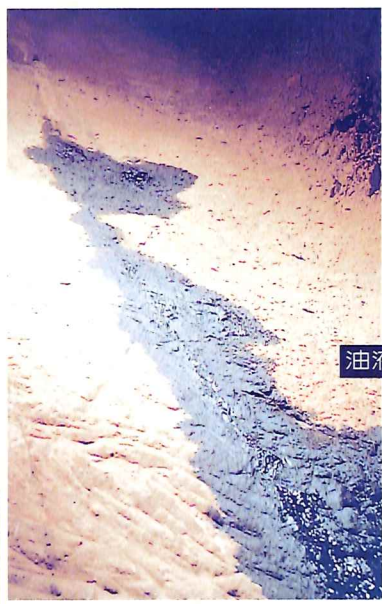


泥火山發育區的地貌景觀

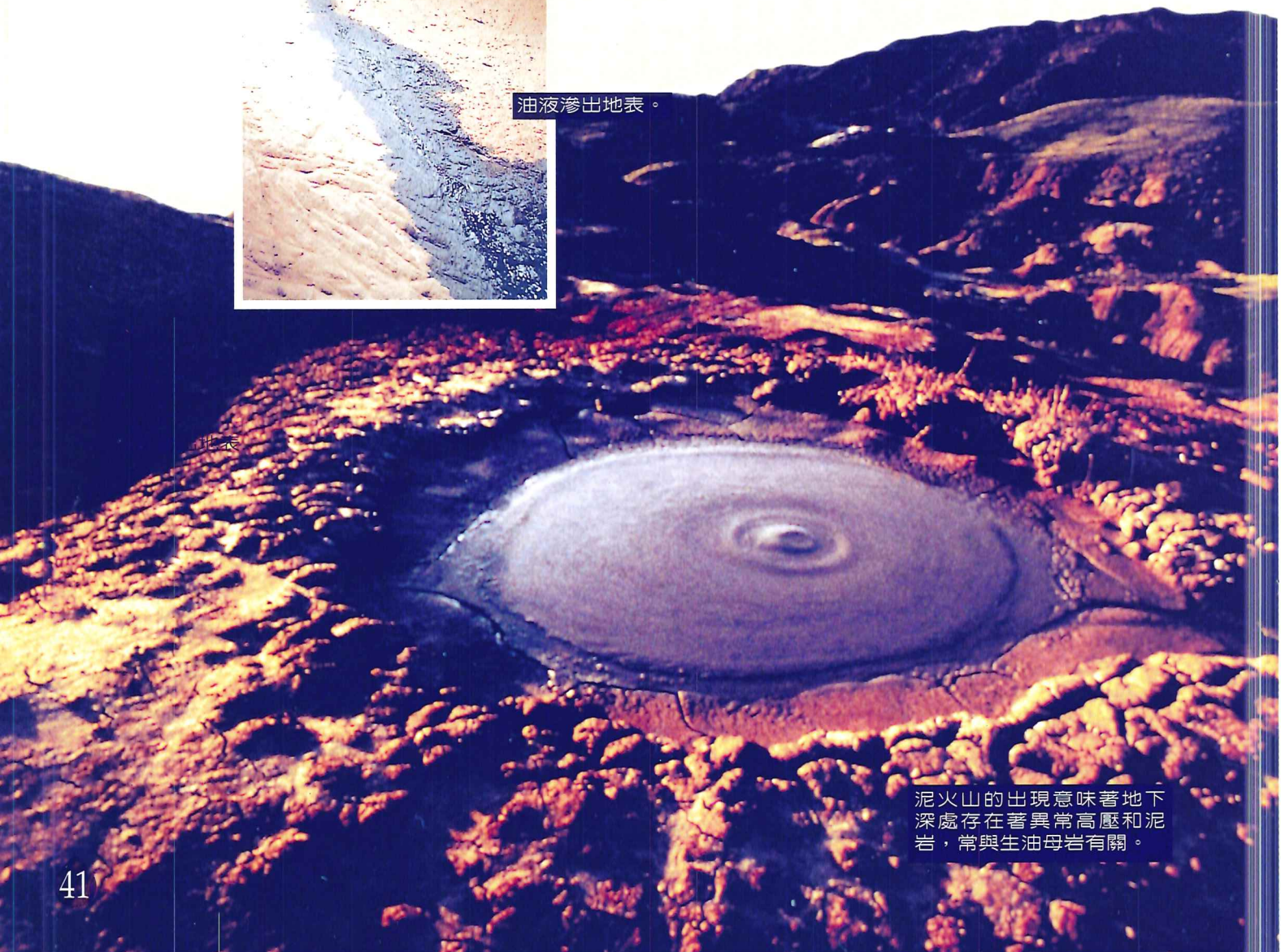
2 地表油苗

液體石油徵兆可以油池或油液滲出地表等形式出現，油苗通常呈黏稠液狀，這是因為它暴露在大氣中，加上受細菌

的破壞，很容易造成原油的氧化和聚合(如瀝青基原油)。輕質流動的油苗雖較為罕見，但也不乏其例，如印尼婆羅洲和東委內瑞拉的原油可直接用作內燃機的燃料，此種石油多半為濕氣凝結後的產物。



油液滲出地表。

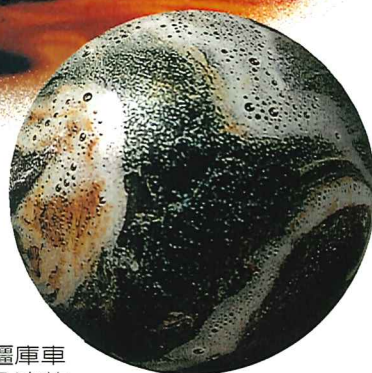


地表

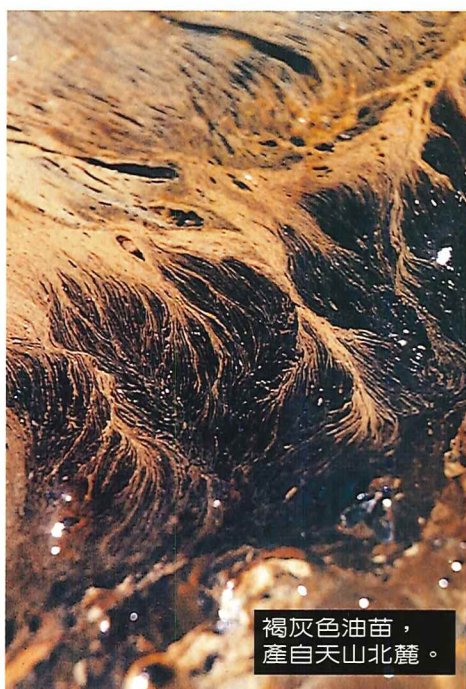
泥火山出現意味著地下深處存在著異常高壓和泥岩，常與生油母岩有關。



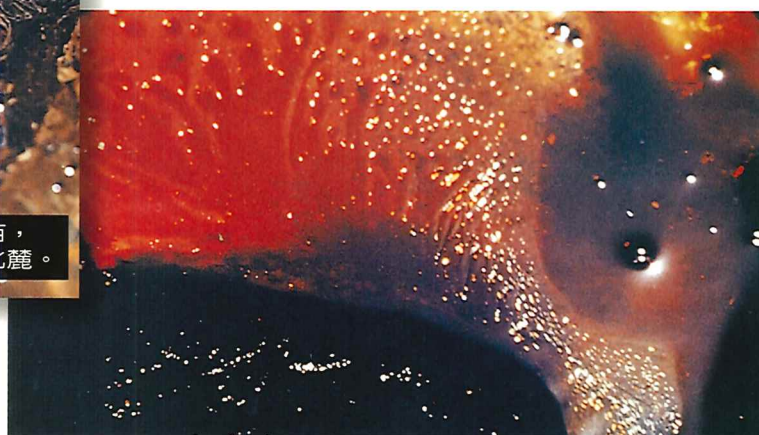
黃褐色油苗，
呈油蝌蚪形狀出現。



產於新疆庫車
的深綠色油苗。



褐灰色油苗，
產自天山北麓。



橘紅色油苗。

3 石油浸染

原來已在孔隙性地層聚集的原油，經地殼運動，再度暴露於地表或地表附近時，就會形成油浸岩石。油浸岩石一般較堅硬且耐風化；其中，油浸泥岩多呈黑色，油浸泥灰質泥岩呈藍色，油浸石灰岩則具有暗色斑點。



地表的瀝青礦常常和深部的原油有關係，是找油的直接證據。

4 瀝青脈

瀝青可能以各種固體形態出現，但通常以近乎垂直的脈狀貫穿地表地層。其主要特徵為可溶於氯仿(chloroform)和四氯化碳液體中。瀝青脈的儲藏量如果達到經濟價值時，可以像挖煤一樣，用淺坑道方法進行開採。

黑色的瀝青脈是原油沿背斜頂部裂縫外溢散失而成。

5 礦蠟

礦蠟為固體蠟狀，與石蠟基(和瀝青基相對應)原油浸染和油苗有關。最著名的天然石油蠟是地蠟(Ozokerite)，其顏色依所含雜質的數量而有深淺的變化，可由透明的淡黃色至深褐色，其切斷面呈現貝殼狀，並具有典型的蠟狀光澤。

6 焦油砂

我們習慣上常把出露在地表或地表附近的重質殘餘性石油浸染砂岩專門稱為焦油砂。但由於焦油一詞也指有機物乾餾後的最終產物，為避免混淆，有人認為應叫重油砂(heavy sand)更為恰當。焦油砂中的石油推斷是來自經過移棲的瀝青基原油，此瀝青基原油在移棲過程中或隨後因細菌作用結果，失去了其中較輕質的成份，造成重質殘餘性石油浸染砂岩。

7 地瀝青湖

在世界上某些地方具有大規模的固態或半固態地瀝青的水平沉積，就稱為地瀝青湖。地瀝青湖是因為位於其地下的大型油田被破壞後，瀝青基原油中的輕質成份已大量逸散殆盡，其殘留物再經氧化和聚合作用後而形成。



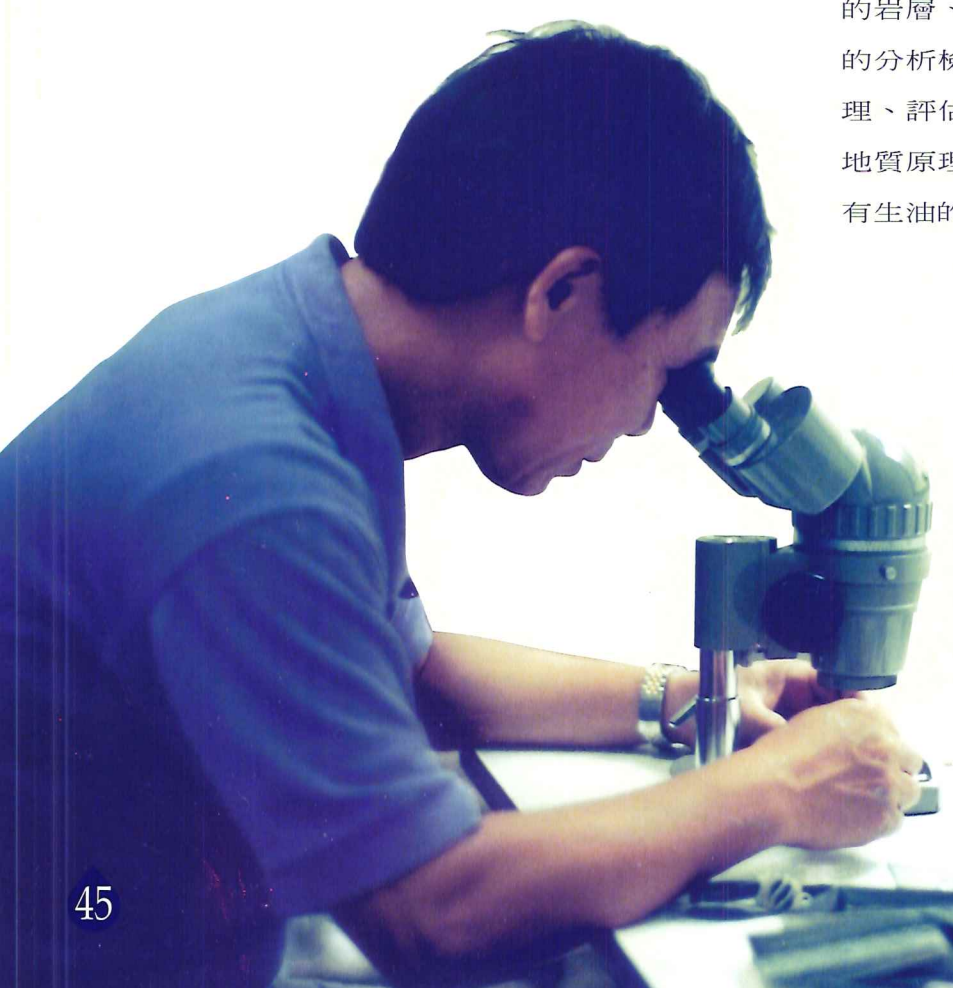
深處的液體石油沿裂縫移到地表，經過氧化聚積成黑色的固體瀝青。

進行野外調查

地質人員「跑野外」的主要目的是在調查地層的岩性、特徵、位態(包括走向及傾角)以及區域性的延伸範圍(包括其垂直及水平方向的分佈情形)。地層的「走向」就是指岩層面與水平面交線的方位，「傾角」則是指在地層走向的垂直方向上岩層與水平面間的夾角，各地層的走向與傾角在野外地質工作上是非常基本、也非常重要的數據。爲了能夠清楚地觀察寶貴的露頭，野外地質人員常放著好好的山

路不走，不是爬上峭壁，便是在濕滑難行的河溝中躍上躍下，因爲山徑旁的岩層暴露在地表的時間較長，往往已風化成土壤或滿佈雜物，根本無露頭可供觀察，而河川切割山崖兩旁的岩壁所顯露的岩層露頭較爲清楚，可以取得較完整的資料以供分析；同樣地，懸崖、採礦挖掘的坑道、鐵路的開鑿工程等也都是主要觀察的地方。野外地質人員便是要從這些零星的露頭加以仔細的觀察、描述與量測，然後繪出一幅完整的地質圖。

野外地質調查工作結束並不意味著測勘工作的完成，而是測勘工作另一個階段的開始。野外採集的岩樣或先前鑽井所獲的岩層、岩心，必須經過實驗室各種儀器的分析檢驗，再將檢驗所得的數據綜合整理、評估後，配合區域地質的研究及各種地質原理作合理的解釋，以了解其是否具有生油的潛能，供做鑽井的參考。



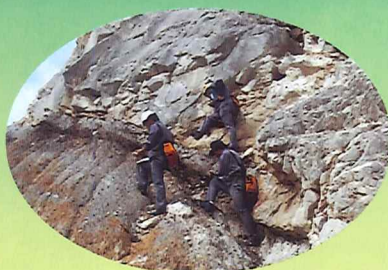
駐井地質人員在井場
以顯微鏡鑑定岩性及化石。



地質調查工作是
油氣探勘的先鋒。

小檔案

如何進行野外地質調查？



野外調查可分成三個階段來執行：

一、事前的計劃作業：

包括收集探勘區域內前人做過的調查或研究報告，及準備生活必需品與調查用具(如調查區域地形(圖一)地質圖或航照圖、傾斜儀、地質鎚、放大鏡、野外記錄簿、標本採樣袋、色筆、及照相機……等)。若調查區內並無前人做過調查，或沒有詳盡資料時，則須先進行「地質普測」，由一組地質人員就大區域中找出幾個較有油氣聚集希望的地區，而後在這些區域進行「地質精測」。

二、野外測繪、觀察及蒐集資料：

野外工作首先要確定岩層露頭在地形圖上的位置，而後要判別及描述岩層的各項性質，包括岩石的種類、顏色、顆粒大小、砂岩的淘選度與砂粒的圓度、膠結物、化石的種類與密集程度、特殊礦物及沉積構造的種

類等；並估計地層厚度、地層形貌、各種不同岩性地層的出現比例、區域性的沉積過程及構造特徵，如褶皺及斷層等。傾斜儀與地質鎚是調查人員的兩項主要工具，前者可量取地層的走向及傾角，後者用於敲出岩石的新鮮面以作觀察，或尋找化石，然後敲得代表性的岩樣攜回實驗室分析。薄層的燧石質或作狀石灰岩、鐵質的燧石砂岩夾層、明顯的化石帶及煤層等，常可作為極佳的指準層(Index Bed)，可用於作出構造之傾斜、傾沒和圈合狀況，以便作為詳查及進行地球物理探勘之用。

三、繪製地質圖幅及撰寫報告：

在地質條件合適而擬進行鑽探的地區，地質人員最重要的工作是將地質調查所得的資料加以整理，繪製地面地質圖及撰寫報告。地質圖需表示出區域的地層特性、地層分佈、地質構造，並推測可能發生的地質變動及所造成的結果，製圖時也必需以大家公認的簡單符號來標示(如中國地質學會所編的「石油探勘與開發的標準圖例」)。而後再根據地質圖來繪製地下地層的等高線圖，以作為未來鑽井的依據。野外工作人員常在白天跑野外，晚上回到帳篷或旅社中仍要互相討論，以繪製地質圖草圖，工作十分辛苦，然而當地質圖繪製完成，或發現了適當的探勘構造後，所有的辛勞都有了代價。



最新地質測勘科技

由於人類的科技愈來愈進步，因此近年來人們更利用航空攝影、衛星成像及遙感測勘技術，來協助收集地質資料，以便進行石油地質研究。航空攝影技術可補充並加速地面、地質測勘工作，指出地質構造的特徵和可能的地質界線：在岩層出露良好的地區，航空照片甚至可直接指出地面岩層中存在的背斜和穹隆等構造，也可利用露頭形狀、水系格局、地形表現及傾角與走向變化等資料，來進行地質構造解釋。例如樹枝狀水系為平緩地層的表現，而平行的帶狀水系則代表地層的傾角甚陡。

應用衛星成像不但可成功地發現淺海地區的油苗，以及因天然氣逸出而造成的土壤顏色變化，它也能探測深部地層的形式和特徵，了解影響油氣深部斷層儲聚的重要資料。

而遙感測勘方法中，紅外線及熱紅外線照相常可提供有價值的地質資料，近年來也被廣泛地應用於油氣探勘工作中。



探勘人員在野外以傾斜儀量取地層傾斜及走向。



野外航照判讀。

地球物理測勘



地球表面的地層主要由岩石組成，不同的岩石其密度、磁性、導電性及傳波速度也不一樣，簡單的說就是有不同的物理特性。地球物理探勘就是利用物理學上的一些原理及性質，來尋找石油(或其他礦物)，一般常用的有動力、磁力、電力及震波測勘等。

磁力測勘

應用磁力法可以尋找地下磁力異常地區，並測定沉積岩的厚度及基盤面的起伏情形。但由於陸上磁測容易受建築物、鐵路、鐵管及高壓電線的影響，今日所有的磁力測量幾乎皆為空中磁測。其優點為迅速、經濟、方便，且不受地表磁性干擾。

重力測勘

在地球表面上的任何一點，物體所受到的重力都有其理論值，也就是地心引力與地球旋轉離心力的合力。但如果淺部地層岩石比重分佈不均勻，該地區實際量測的重力值大小會有不同。將實際量到的重力值減去理論重力值，就是該地的重力異常值，可反映出當地的地下狀況。當重力異常值偏高時，表示地底下有山脊或背斜構造；反之，當重力異常值偏低時，即表示地下可能存在有岩鹽等比重較低的物質。

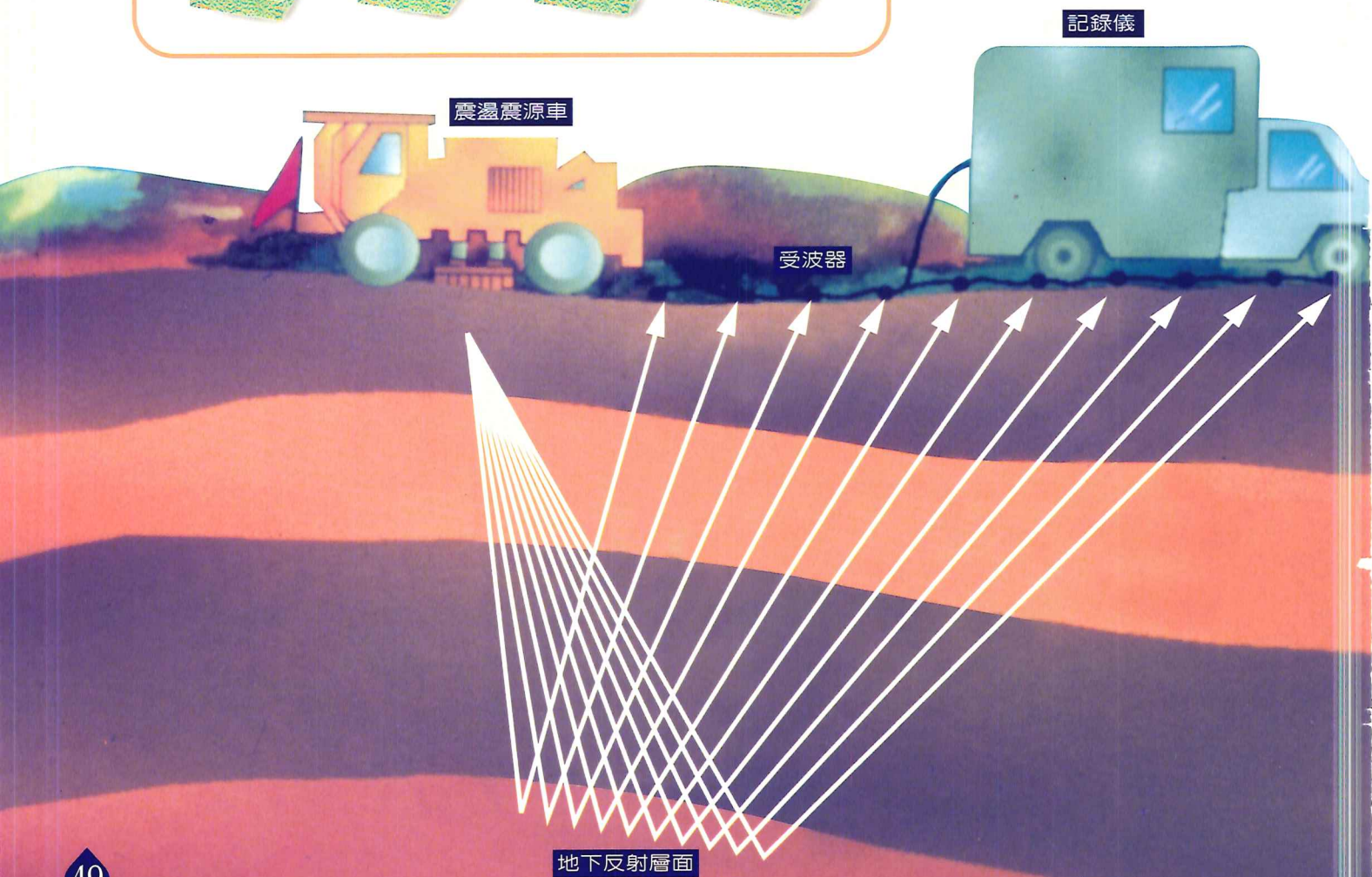
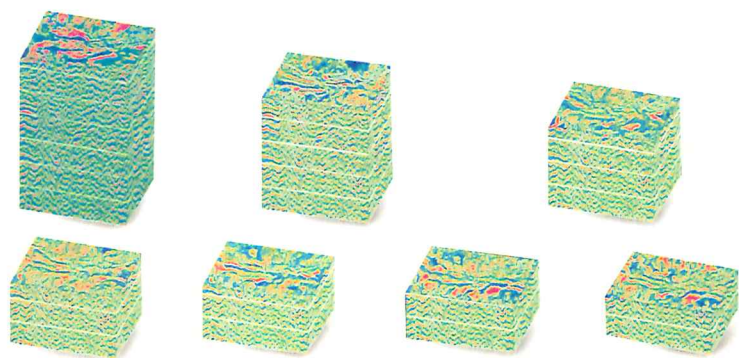
震波測勘

震波測勘是在地面或海面上製造震波，由於地下岩層的密度不同其傳波速度也會受到影響，因此震波在不同地層會有反射與折射的現象，使傳回來的震波經由接收器(Geophone)接收時，在時間上產生一些偏移。地質人員只要觀測震波傳播、及發生反射、折射的時間，即可瞭解地底下地質構造的形貌，藉此找出可能藏有油氣的位置。製造人工震波的方法一般有利用炸藥爆炸、空氣槍及震盪震源車等。

如果是在茫茫的大海或廣闊的陸地上，地球物理測勘方法如何覓「油蹤」？一般來說，開始時是用空中磁測法探勘，以確定當地沉積物的厚度、及

基盤的深度與形貌；然後再用重力測勘確定局部構造的高區位置；在確定井位以前，還需以震波探勘法來決定最有希望的構造位置，以便一「鑽」成功。

地質構造三維震測電腦圖



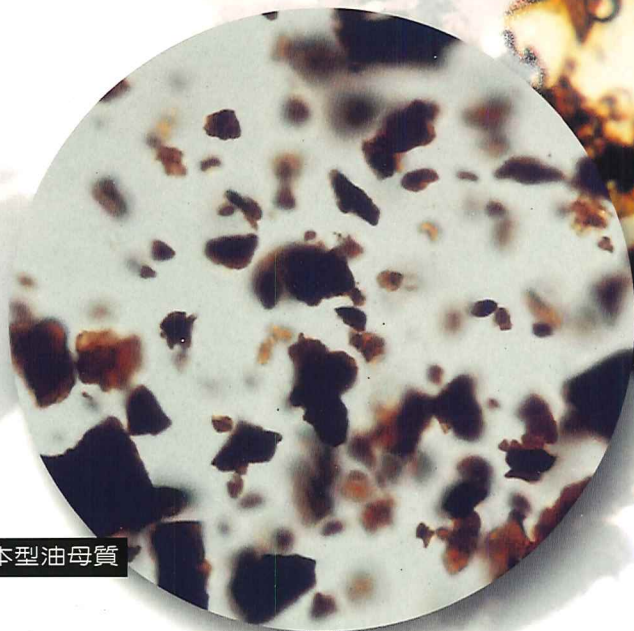
地球化學研究

油氣生成的三個必要條件——生油岩、儲油層以及封閉構造（蓋岩）中，生油岩是一切油氣的根本，因此，生油岩的研究就是地球化學研究的主要目標。

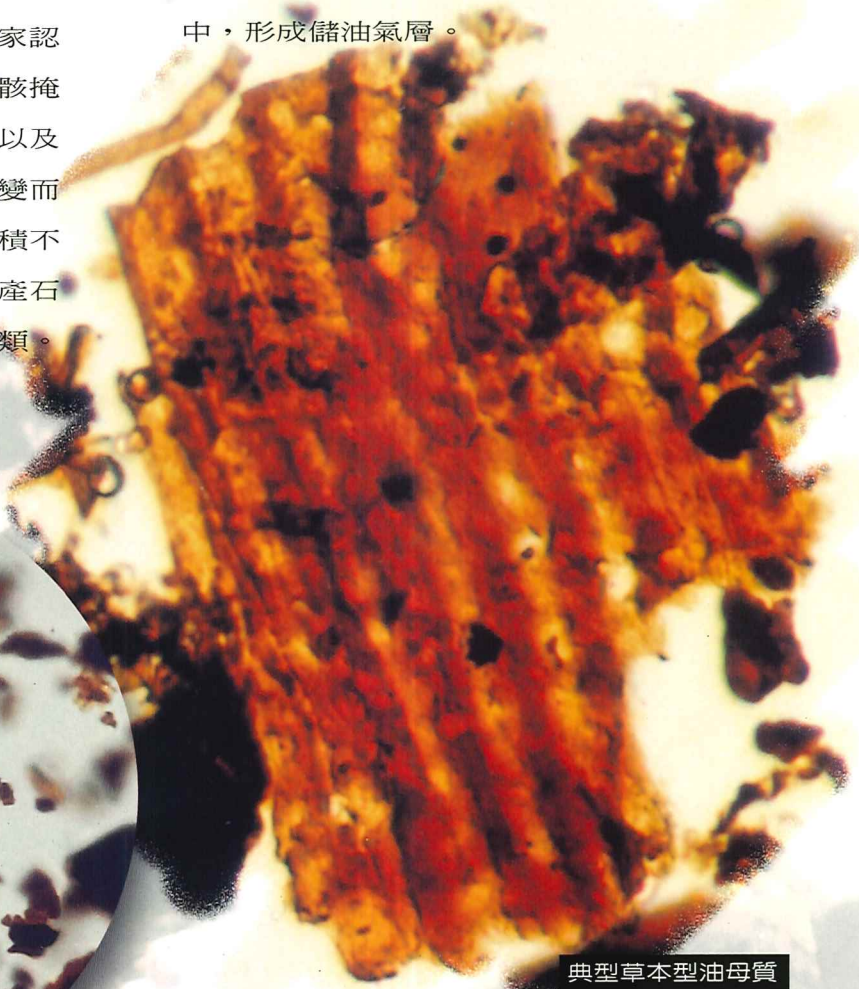
石油是一種化學成份複雜的有機流體（混合物），地球化學探勘即是分析地層岩石及流體的化學特性以尋找石油的蹤跡。前面提到的地球物理方法是尋找儲油氣的構造，地球化學方法則是判斷此構造有沒有油。

根據石油有機成因的理論，科學家認為石油是由海中及陸上動、植物的遺骸掩埋在沉積物中，長時間受地熱、地壓以及岩石中某些礦物的催化作用，逐漸轉變而成。其中，大部份的動物脂肪，在沉積不久後即被分解帶走，殘留下來能夠生產石油的主要仍是植物的遺骸，尤其是藻類。

大部份的生油岩是頁岩，在頁岩中有一種像煤一樣的黑色有機物，我們稱它為「油母質」（Kerogen），它既不溶於強酸、強鹼，也不溶於有機溶劑中，它是有機物遺骸，經細菌分解，去除醣類、胺基酸及脂肪酸後，所剩下的高分子聚合物。油氣即由油母質受熱裂解而來。油母質產生於富含有機物的緻密頁岩中，油氣在岩層中生成後，因其比重輕，隨即會向孔隙較大的岩層移動，而後聚集在適當的構造封閉中，形成儲油氣層。



木本型油母質



典型草本型油母質

但並非所有的頁岩都是好的生油岩，如何判斷生油岩品質的好壞？所生成的是油？還是氣？蘊藏量是多？還是少？這些都必須經由實驗室分析評估才曉得。生油岩的評估包括三方面——有機物富集度、有機物類型及成熟度，也就是用一些客觀的數據來判斷某一頁岩是否可能成為生油岩。

有機物富集度就是測定岩樣中有機碳含量的多寡，進而推算油氣的生成量：好比搾豬油一樣，有好的肥豬肉，才能搾得大量的豬油。根據研究顯示，在封閉、缺氧及以細顆粒沉積為主的環境中，比較可能保存較多的有機物，這也就是為什麼富含藻類的產油型生油岩常常位於湖泊中心的道理。

有機物的類型可以由顯微鏡觀測及化學分析等方法來判定，如果有機物主要以藻類的遺骸為主，即是典型的產油型油母質；而若主要為植物木質部及纖維素的遺骸，則以產氣為主。

光有大量的肥豬肉還不能得到大量的豬油，必須有適量的熱源加熱。同樣的道理，生油岩所受的熱，若不足以讓有機物轉化成油氣，那麼有機碳含量再高也是枉然。因此，成熟度夠不夠十分得重要。成熟度不足，會生成比重高、黏度大的原油；過於成熟則會形成天然氣，過與不及都不好。

有機物要轉變成石油必須經過化學反應，一般化學反應的速率有快有慢，生成石油的反應可以說是非常慢，甚至需要幾千萬年的時間才能完成，由此可知石油的珍貴。



褶皺構造

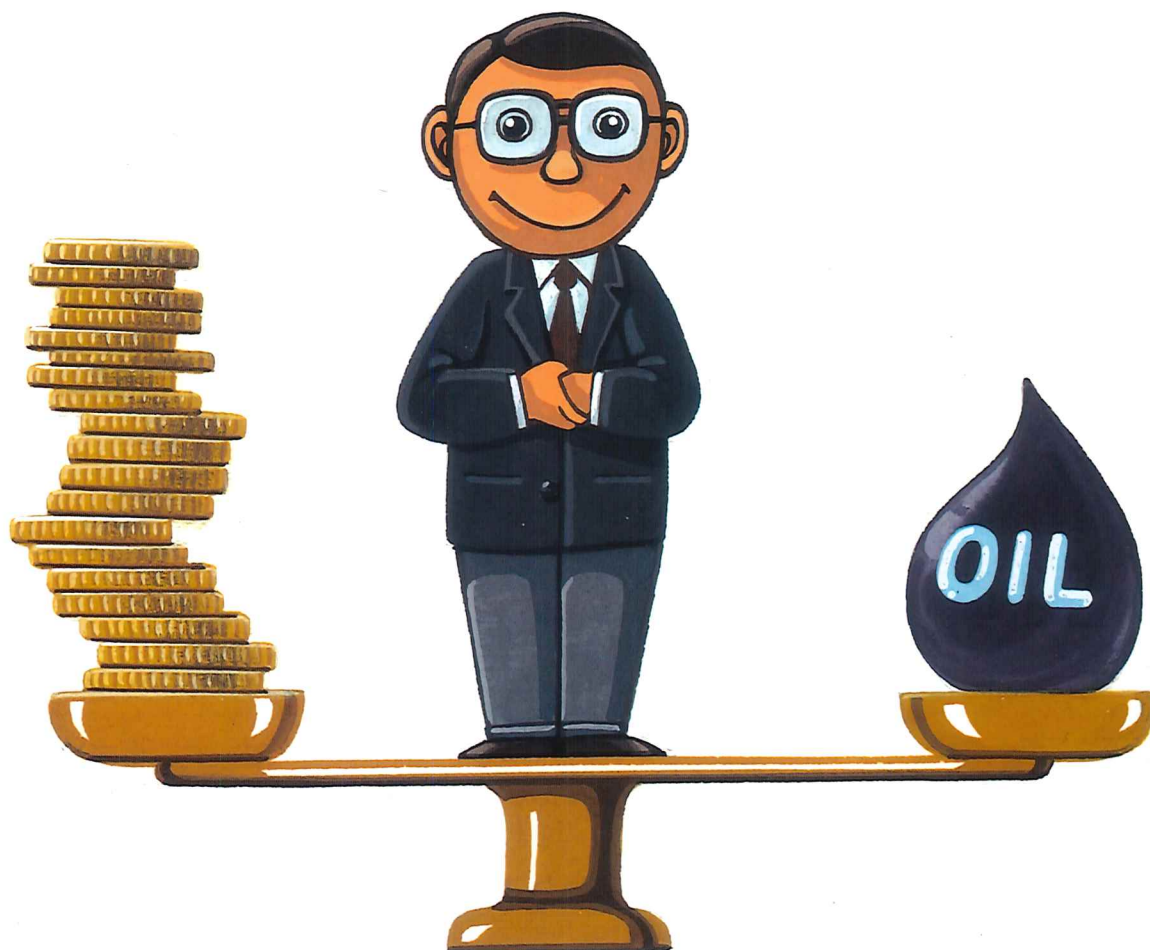
油氣田經濟評估

要老闆拿出一大筆錢來投資一項事業，尤其像石油探勘這樣高風險的事業，他心中盤算的第一件事必定是「能不能賺錢」？因此要如何才能說服負責公司成敗、一向精打細算的老闆掏錢出來呢？那就必須有一套合乎經濟學理的評估方法來讓他瞭解投資的遠景與可能收益，這套方法就是經濟評估。

經濟評估就是要告訴老闆他需要投資多少錢？同時告訴他會在多少年內，每年為他賺回多少錢？賺回來的錢會不會比存在銀行生利息划算？如果賺的錢比銀行利息多很多，老闆當然會很樂意拿出巨額的金錢來投資。但要如何評估投資某一油礦賺的錢比銀行利息多呢？

在石油礦藏經濟評估時，除了考慮投資報酬率之外，一般還需要考慮回收年限，也有人稱為還本時間，譬如說今年拿出一百萬元來投資，預計一年後可以賺五十萬元，二年後可以賺三十萬元，三年後可以賺二十萬元，也就是說三年後可以把投資的一百萬元賺回來，所以回收年限為三年，回收年限越短，當然越值得投資。

某些地區的油礦由於開發成本高，在市場油價低迷的時候，乏人問津；但一當油價飆漲，投資老闆預期利潤增加，這時就會「鹹魚翻身」，成為搶手的開發對象。





天涯何處覓油蹤

發行人：張子源

主任委員：陳國勇

總編輯：方義杉

副總編輯：陳春全

顧問：蔡信行

企劃編輯：林敏

執行編輯：伏文采

文字編審：柯惠瑛、周婷婷、黃萱

美術編審：郭雲清、郭日吉

資料編輯：林益舟、陳大麟

撰稿：林益舟、陳大麟、陳瑞瓊、王勝雄

梅文威、紀文榮

企劃設計：日創社文化設計印刷有限公司

圖片提供：中國石油股份有限公司

發行：程慧珠

出版者：中國石油股份有限公司

石油通訊編輯委員會

地址：台北市中華路一段83號

電話：(02)361-0221

印刷廠：國發企業股份有限公司

電話：(02)777-1860

初版：中華民國八十五年二月

版權所有·翻印必究





統一編號

008639850074



中油五十年・關心到永遠



中國石油股份有限公司

ISBN 957-00-6756-X