微體化石與石油探勘

吳榮章．紀文榮

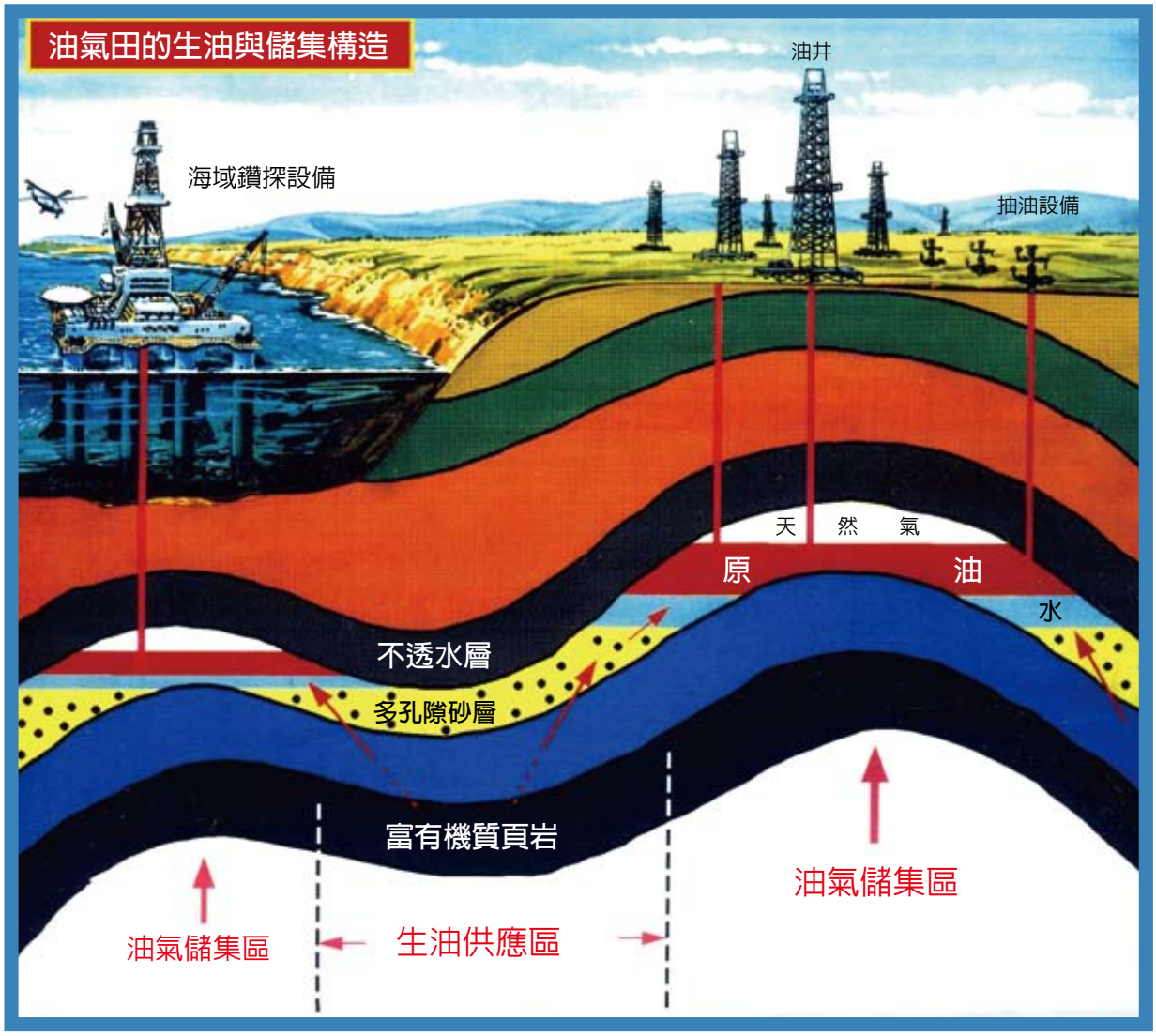
微小化石等於石油探井的眼睛，它隨時告訴我們樣品所在層位屬於什麼時代、實際含油層的深度、構造位置的高低等，這就是為什麼微體化石研究在石油公司中是不可或缺的主要探勘研究工作之一。

石油探勘是一種高風險、高利潤的工作。由於石油主要產自地表下的地層中，不能直接觀察，只能間接從地層中取得資料加以分析解讀，才得以了解沉積盆地中是否有油氣存在，然後再藉由實地鑽探，以證實是否找到大型的油、氣田。

在石油探勘工作上，正確把握地下地層的時空分布最重要，如此才能了解油氣儲積的實際狀況。而微古生物學研究最符合這方面的要求，除了能提供珍貴的盆地內地層分析資訊外，並能配合各種測勘資料，把盆地內的地層資料由點擴大到面（二度空間），甚至三度空間上，找出哪裡是可能儲積油氣的區域。因此，微古生物的地層分析，能使我們在最短時間內追蹤出生油岩、儲集層及蓋層的分布範圍，順利達成探勘目標，這些都是油氣探勘必須的基本工作。

石油主要產自地表下的地層中，只能間接從地層中取得資料加以分析解讀，才得以了解沉積盆地中是否有油氣存在，然後再藉由實地鑽探，以證實是否找到大型的油、氣田。

微古生物的地層分析，
能使我們在最短時間內追蹤出生油岩、儲集層及蓋層的分布範圍，
順利達成探勘目標，這些都是油氣探勘必須的基本工作。



形成油氣田的基本條件：生油岩、儲集層及生產層。（圖片來源：改繪自讀者文摘，1994）

什麼是微體化石

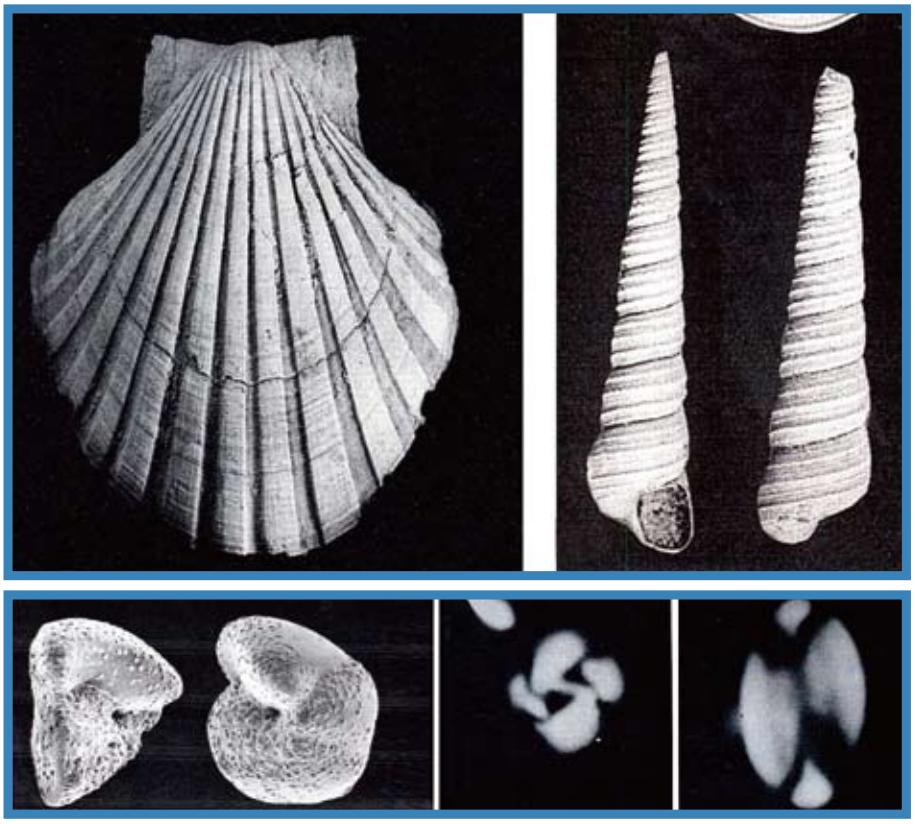
什麼是微體化石（microfossil）？它到底和石油探勘有什麼關聯？要解答這些問題，得先了解化石的意義。

所謂化石，就是過去地質時代生物殘留下來的遺體或遺跡，它包括古代生物硬體部分的遺骸，例如外殼、肢體及其痕跡化石，例如足跡、排泄物等。這些生物硬體部分的遺骸，經過地層深埋與成岩作用後就變成化石。

化石到底有什麼用途呢？要回答這個問題，必須先知道化石在地層中所扮演的角色。由於化石絕大多數產自沉積岩中，而地層是沉積物隨時間的增長，逐層向上覆蓋累積而成的。如何才能知道地層的形成時間？只要分析其中所含的化石，就可以解開地質時間之謎。

簡單地說，地球上的各種生物都有它生存及繁盛的時代，例如：4～5億多年前的古生代是三葉蟲最繁盛的時代；恐龍雄霸中生代的侏羅紀與白堊紀，約有1億3千萬年之久。這些生物死亡以後，就與沉積物一同埋藏在地下，經過相當時間就變成了化石。因此，只要在地層中發現有三葉蟲化石，就可以知道這一地層是古生代地層；如果發現恐龍化石，就可以研判這一地層是中生代地層。換句話說，不同的化石代表不同的沉積及形成地層的年代。

這種以化石爲研究對象的科學稱爲古生物學，是研究地史學非常重要的工具。地層中的化石是過去地質時代中生物餘留下來的重要紀錄，因此，研究各種化石的垂直分布、外觀形狀等，除了可判斷岩層的上下層序與年代外，並可推測過去地質時代中的古氣候變遷、海面上下移動的狀況、海岸線的變化、山脈的形成、火山活動和生物的演化等。這種研究地球歷史的科學，就是所謂的地史學。



（上）大型化石與（下）微體化石（有孔蟲及超微化石）。

在油氣鑽探過程中，要在一個岩心內找到完整的大型化石，機會可以說相當渺茫。相反地，由於微體化石或小化石的體型微小，在鑽探過程中不易遭到破壞。

根據古生物化石的大小，可區分爲大型化石和微體化石。所謂大型化石，就是用肉眼就可以分辨出它的形態和特徵，並可加以分類的化石，例如恐龍骨骼、貝殼及魚類化石等。而微體化石就是用肉眼無法分辨出形狀和特徵，必須借助顯微鏡放大，才能加以鑑定和分類的化石，所需放大倍率可由幾十倍到二千倍以上，例如有孔蟲及超微化石等，有些小化石甚至須用電子顯微鏡放大到幾萬倍才可辨認。

為什麼研究微體化石

爲什麼石油探勘的地質師們只研究小化石或微體化石，而不研究大型化石呢？這個問題的答案和鑽井岩屑及岩心的大小有密切的關係。

因爲石油公司在鑽探石油時，從井底帶上來的多是地層的岩石碎屑，採上來的岩心大多很小，像一般鑽探3,000公尺深所採取的岩心，直徑大約3.5～4英寸左右。然而，一般如貝殼等的大型化石，大小多在3～4英寸以上，甚至更大。因此，在油氣鑽探過程中，要在一個岩心內找到完整的大型化石，機會可以說相當渺茫。至於岩屑，那就更不用說了，即使遇到保有許多完整化石的地層，經過岩屑帶上來的，也多是些化石碎片和粉末了。

相反地，由於微體化石或小化石的體型微小，大多小於5毫米，在鑽探過程中不易遭到破壞。而且，一般在3～4英寸的岩心中，就可找到千千萬萬個小化石。以超微化石爲例，在每立方公分的海洋軟泥中，約含1兆個超微化石。因此，只要有少量的岩心或岩屑，就可分離出足夠的小化石。根據這些微古生物來判定層位、決定地層年代等，準確性自然很高。這也是爲什麼石油公司只研究微體化石，而不做大型化石研究的主要原因。

爲什麼石油公司的老闆們肯花大筆的經費研究小化石呢？簡單地說，微小化石等於石油探井的眼睛，隨時告訴我們樣品所在層位屬於什麼時代、實際含油層的深度、構造位置的高低等，這就是爲什麼微體化石研究在石油公司中是不可或缺的主要探勘研究工作之一。

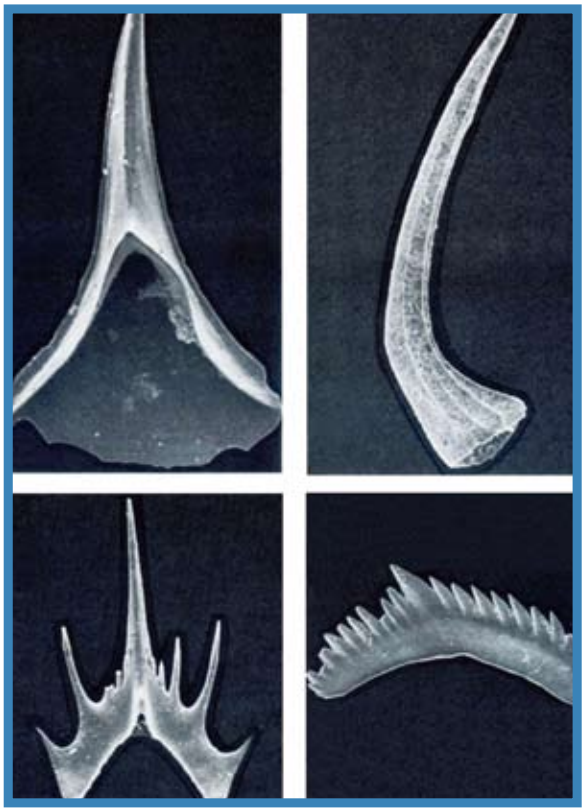
常見的微體化石有哪些

既然需借助顯微鏡放大以後，才能辨認出微體化石的特徵和形態，在沉積岩中到底有哪幾類化石是常見的我們所要的小化石呢？

到目前爲止，主要而常見的微體化石有：有孔蟲、超微化石、花粉及孢子、放射蟲、矽藻、介形蟲、雙鞭毛藻、牙形蟲等。在以上幾種小化石中，只有超微化石、花粉、孢子、雙鞭毛藻及矽藻化石需要放大到1,000倍以上，其他的只要放大到80～500倍左右就可觀察。

矽藻化石　矽藻是屬於黃褐藻植物門、矽藻綱的單細胞藻類。它的骨架是由色彩美麗而具有寶石光澤的外殼所組成，是一種最低等的浮游性植物，可行光合作用。它的生存範圍極廣，有海相的、半鹹水相的，也有淡水相的。因爲它對於鹽度的反應相當敏銳，所以是優良的環境指標化石。如果在沉積岩中找到這類化石，就可以判斷它是屬於海相地層。

矽藻的外殼形態變化多端，有圓形、近球狀、栓狀、長方形、針狀或棒狀等，大小通常在100～1,000微米之間。矽藻在海水中含量很多，



牙形蟲化石外形很像脊椎動物的牙齒（圖片來源：Fabriage & Jablocski, 1979）

但隨地理位置而異。在高緯度地區，有些深海的黏土幾乎全由矽藻的遺骸所組成，稱爲矽藻土。

由於它的分布廣泛、產量多，地質時代分布由侏羅紀早期一直到現世都有，因此成爲高緯度地區劃分地層帶及地層對比的主要工具。台灣的沉積物中雖有這種化石出現，但還沒有做有系統的研究。

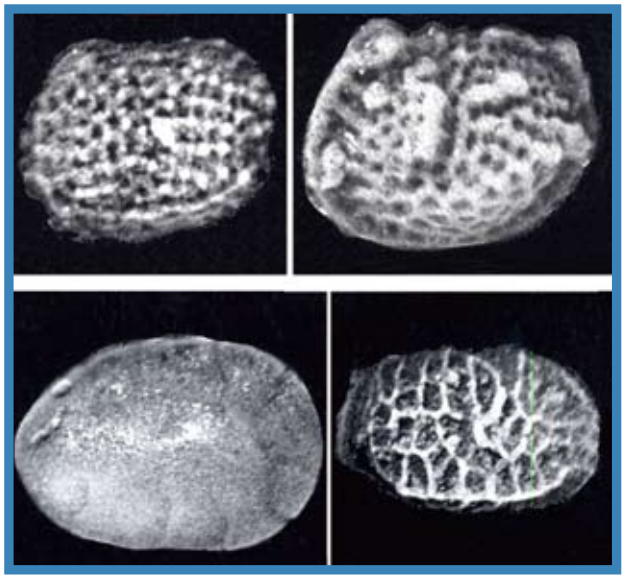
放射蟲化石　放射蟲類是完全浮游在海中的單細胞動物，分類上屬於原生動物門、肉質蟲綱、放射假足亞綱。牠由軟質部的原形質及硬質部的骨骼所組成，骨骼則大部分由非晶質的矽酸鹽所組成。放射蟲類骨骼的外形有球狀、透鏡狀、鈴狀、盤狀、錐狀等，甚至花邊網狀，外形優美而變化多端。牠的大小約在0.1～2.5公釐之間，但如果是群體生活的放射蟲，則可大至15公釐以上。

矽藻化石（圖片來源：Fabriage & Jablocski, 1979）

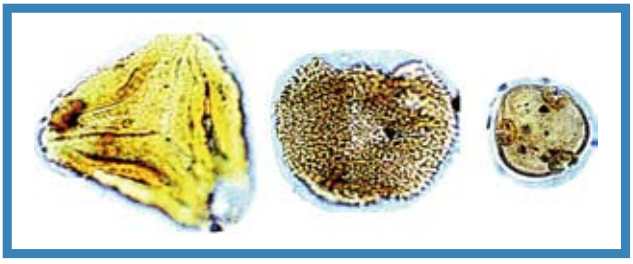
放射蟲化石的外形優美且變化多端（圖片來源：葉貴玉，1992）

放射蟲的地質時代分布甚早，由古生代的寒武紀到現代都有，自古生代以後，形態變化甚大。現代的放射蟲分布在赤道至兩極的海洋中，在赤道地區也有由大量的放射蟲遺骸堆積成的放射蟲軟泥。放射蟲化石多發現於燧石、泥灰岩、矽質頁岩及石英岩中，經常與火山岩伴生，因爲火山岩能供給大量的矽元素以製造放射蟲骨骼。

放射蟲多生存在開闊海洋中，淡水及小海灣中未見分布，但大的海灣或風力海流影響所及的大港灣中則偶爾可見。台灣到目前爲止尚未發現放射蟲化石。



介形蟲化石中的介形蟲外形很像貝殼（圖片來源：胡忠恆，1992）



花粉和孢子化石在不含海相浮游性化石的陸相及極淺海地層，能確定其層位及古環境。（圖片來源：蕭承龍，2001）

介形蟲化石　介形蟲的外形看起來很像貝殼，是節足動物中唯一有雙殼的生物，牠與螃蟹或龍蝦是近親。介形蟲長約0.5～4毫米，也有達10毫米的，有浮游生活的、穴居的，也有棲息於淡水中的，但大多生活在近海環境的淺水中，是指示環境的良好化石。

介形蟲的地質時代分布由寒武紀到現代都有。在過去的地質時代中，由於快速演化，牠的外殼表面裝飾及外形也隨著變化，這些特徵是指示時代及地層對比的極佳工具之一。介形蟲化石在台灣的上新世及更新世地層中非常普遍。

花粉化石　花粉化石包括花粉和孢子化石，是過去地質時代中所遺留在地層中的植物遺體，大多可藉由物理方法和強酸、強鹼等藥劑的處理從岩石中分離出來。

花粉化石一般須放到1,000倍以上的顯微鏡下觀察和鑑定，並需統計各類花粉化石的含量和比率，根據這些資料可以建立花粉生物地層層序，和進行剖面與剖面間、地區與地區間的地層對比。同時可以利用某些植物只生存於某種環境等特性，推測當時的氣候、古海岸線，以及可指出與石油有關的沉積環境和有利於石油儲積的地區等。尤其在不含海相浮游性化石的陸相及極淺海地層，花粉化石更能發揮其最大功效，確定其層位及古環境。

花粉或孢子的大小一般介於10～200微米之間，形狀有圓形、橢圓形、三角形、菱形、腎臟形、方形、有翼形等，外形變化多而複雜。一般鑑定多依照花粉或孢子的形狀、管口（或花粉口）的位置、大小、排列及花粉外壁的飾紋等而分類。

花粉化石的時代分布範圍頗廣，自古生代以來到現代都有大量分布，尤其古生代的石炭紀時期更是植物的天下。

台灣的花粉化石研究正在積極推展中，已經知道的地層如木山層、大寮層、石底層、南莊層煤系地層都富含花粉化石。

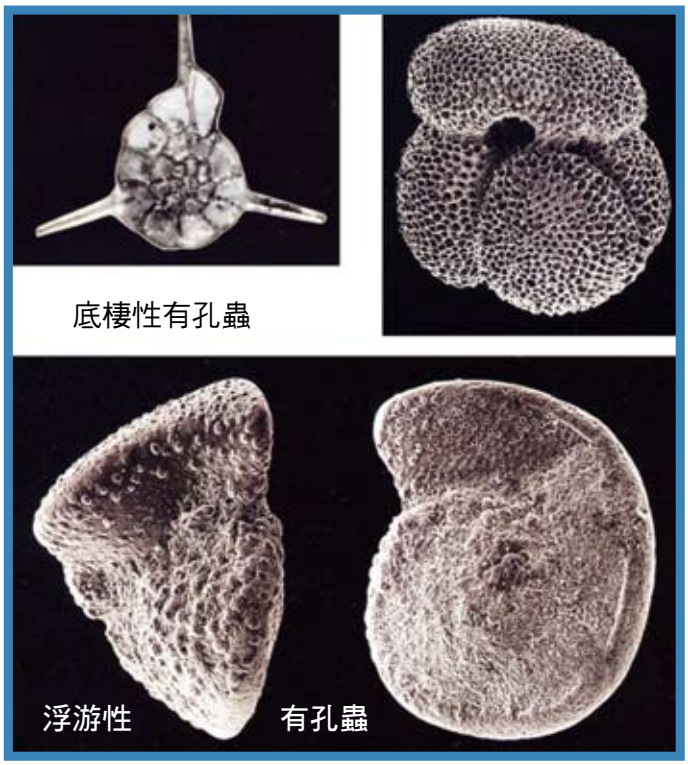
有孔蟲化石　有孔蟲化石是一種分布廣泛、種類繁多，且地質時代分布短暫的小型化石，到目前爲止，在石油探勘上牠是決定地層層位、地層對比和了解古生態環境的最有效工具之一。

有孔蟲屬原生動物或單細胞動物的外殼通常由二種物質組成，一種稱爲鈣質殼，是由海洋中的碳酸鈣直接沉澱而成，另一種稱爲矽質殼，是以砂粒、雲母片、海棉針或有孔蟲的死殼碎屑物集聚而成。外殼的大小不一，隨種、屬的不同而異，大多在0.2到2毫米之間，但也有大至15毫米以上的。

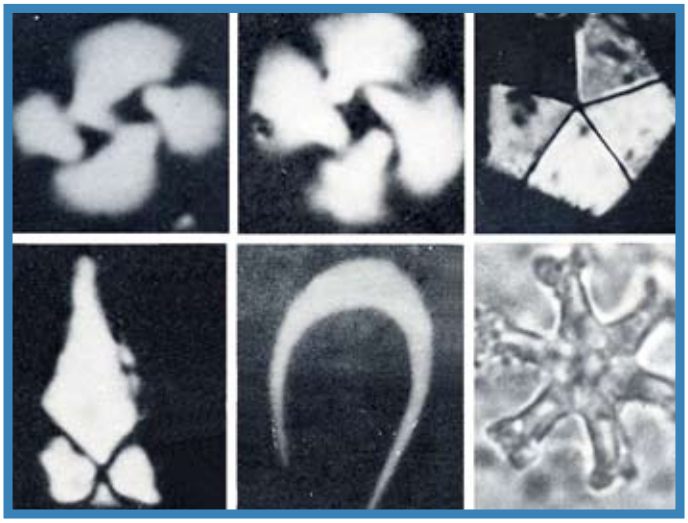
有孔蟲的殼由一間一間的小房室所組成，房室數目從兩個到數十個，很少只有一個房室的。房室的外形不但富於變化，外殼上的口孔、裝飾等也多隨著種類的不同而變化無窮。這些特徵就是古生物學家分類的主要依據。

有孔蟲依據其生活的型態，可區分爲浮游性和底棲性二種。浮游性有孔蟲漂游在優光帶水深約80公尺以內的海水中生活，外形比較簡單，它旋轉成小螺旋形，與普通田螺的旋轉方式相似。旋轉方向向左的稱爲左旋，有些則是右旋。這些左右旋旋轉方向的變化，可能是古氣候變化所引起的，因此這些資料提供地層對比及古氣候研究非常好的依據。

浮游性有孔蟲雖然只占有孔蟲全數的1%左右，但牠在現代大洋的沉積物中，有些可達99%。有些沉積物幾乎全由浮游性有孔蟲所組成，稱爲白堊。浮游性有孔蟲因分布廣泛、數量多，且地質時代分布短暫，是長距離地層對比的極佳工具之一。

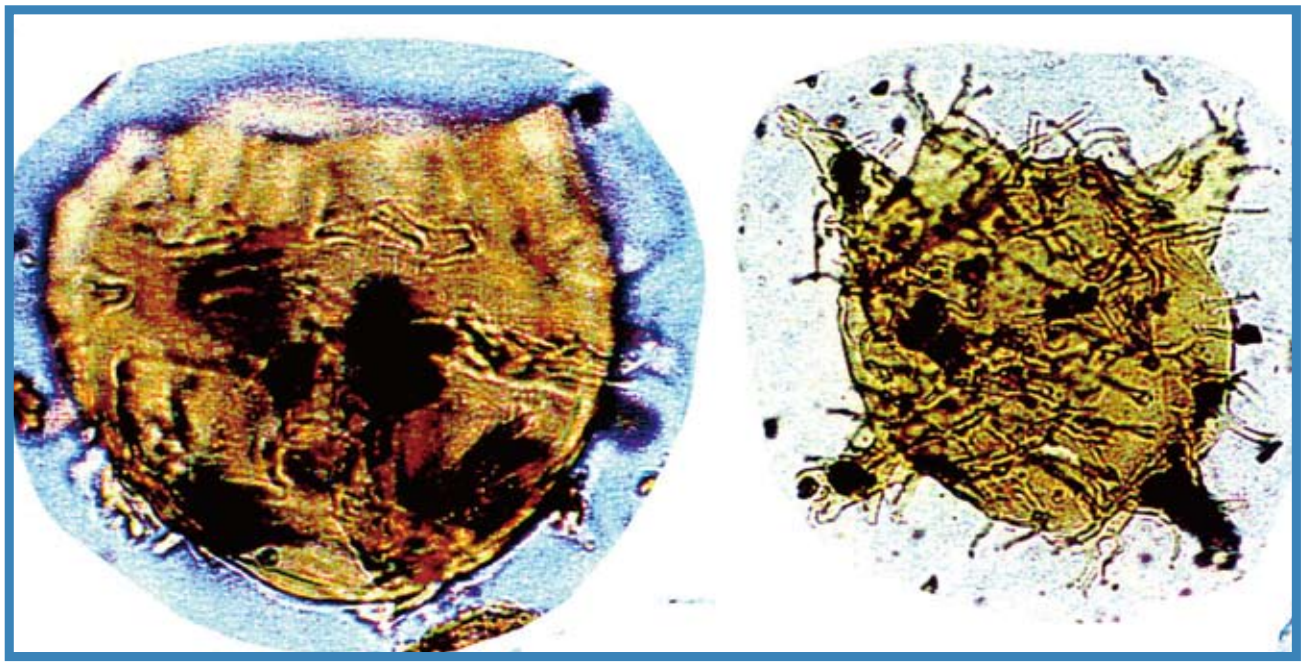


有孔蟲依據其生活的型態，可區分為浮游性和底棲性二種。（圖片來源：黃敦友，1997）



超微化石極微小，有生存期限短暫、地理分布廣泛、化石含量豐富等優點，已成為地層對比的極佳工具。（圖片來源：紀文榮，1981）

自侏羅紀到現今，
超微體浮游生物在海洋的食物鏈中都扮演著非常重要的角色。



雙鞭毛藻化石以具有鞭毛為其特徵（圖片來源：蕭承龍，2001）

另外一類是附著於岩石表面或生活在海洋底部的有孔蟲，稱爲底棲性有孔蟲。牠們藉著僞足緩緩地移動，有時每小時只能移動幾公分。這類有孔蟲多受生存環境如海水深度、溫度、鹽度等因素的影響而有不同的分布狀況，因此底棲性有孔蟲是辨認古沉積環境及古生態的極佳指標。

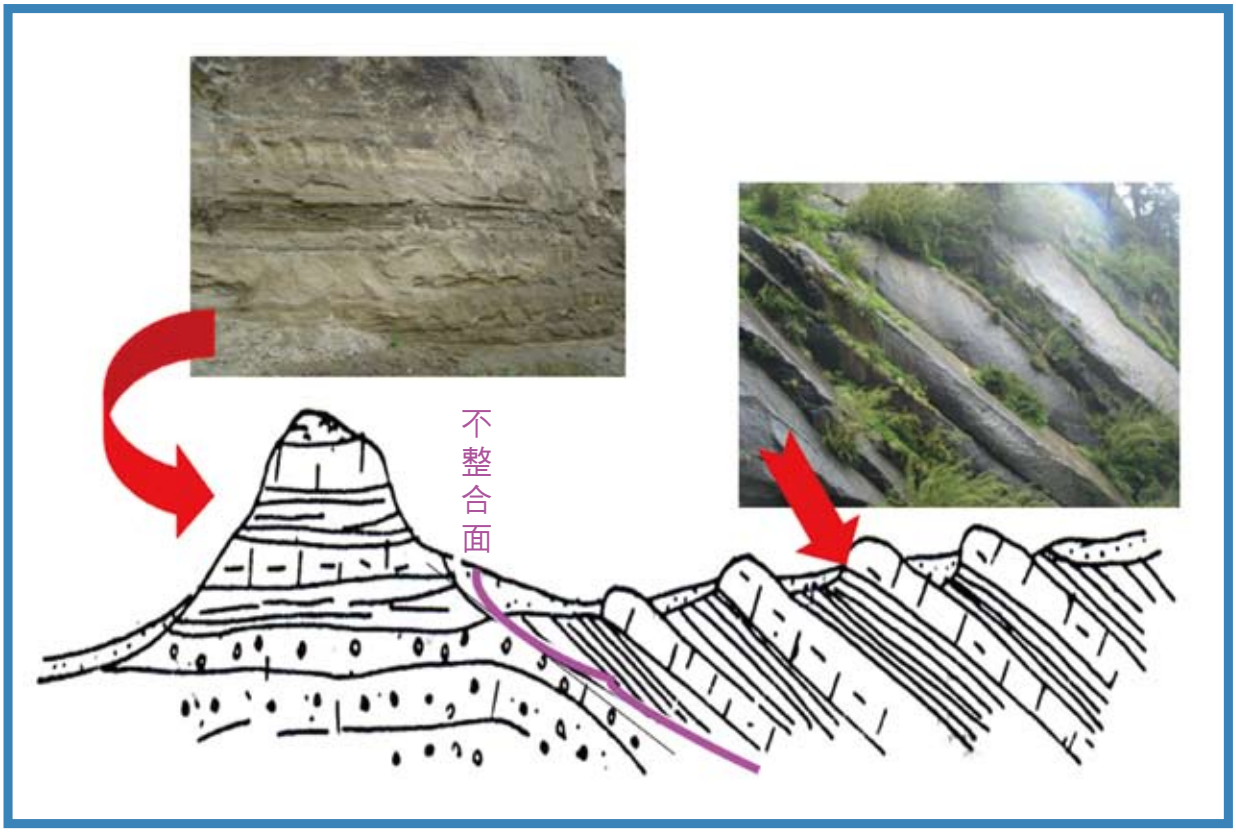
有孔蟲自古生代以來就已廣泛分布，經過長久的演化，成爲石油地質學家用來做地層對比的極佳工具。

我國在有孔蟲化石方面的研究已有數十年歷史，在石油探勘上也發揮了很大的功能。

超微化石　超微浮游生物的英文名稱Nannoplankton，是由Nanno與plank二字組成的。Nanno出自希臘語，是極微小的意思，大約5～16微米左右，與小型的有孔蟲、放射蟲、矽藻及鞭毛藻相近。

所謂超微浮游生物，是屬於植物藻綱的球石藻類。其中有一種外體表面含有鈣質的微小化石，稱爲鈣質超微體浮游生物，占所有超微體浮游生物的絕大部分。在鈣質超微體浮游生物中，有一種稱爲球石藻，是單細胞的鞭毛藻類。除了嚴寒的南北極及極前（polar front）外，這類生物幾乎出現在所有大洋的優光帶。這類生物利用太陽光行光合作用，與矽藻、雙鞭毛藻等構成浮游性生物的大宗。

球石藻的細胞呈球狀或卵狀，約2～2.5微米左右，在細胞的一端有二條游泳用的鞭毛，在生活史的某一階段中附有骨刺，細胞中心有一核，在核的周圍有二個黃褐色的色素粒。球石藻細胞死亡後，



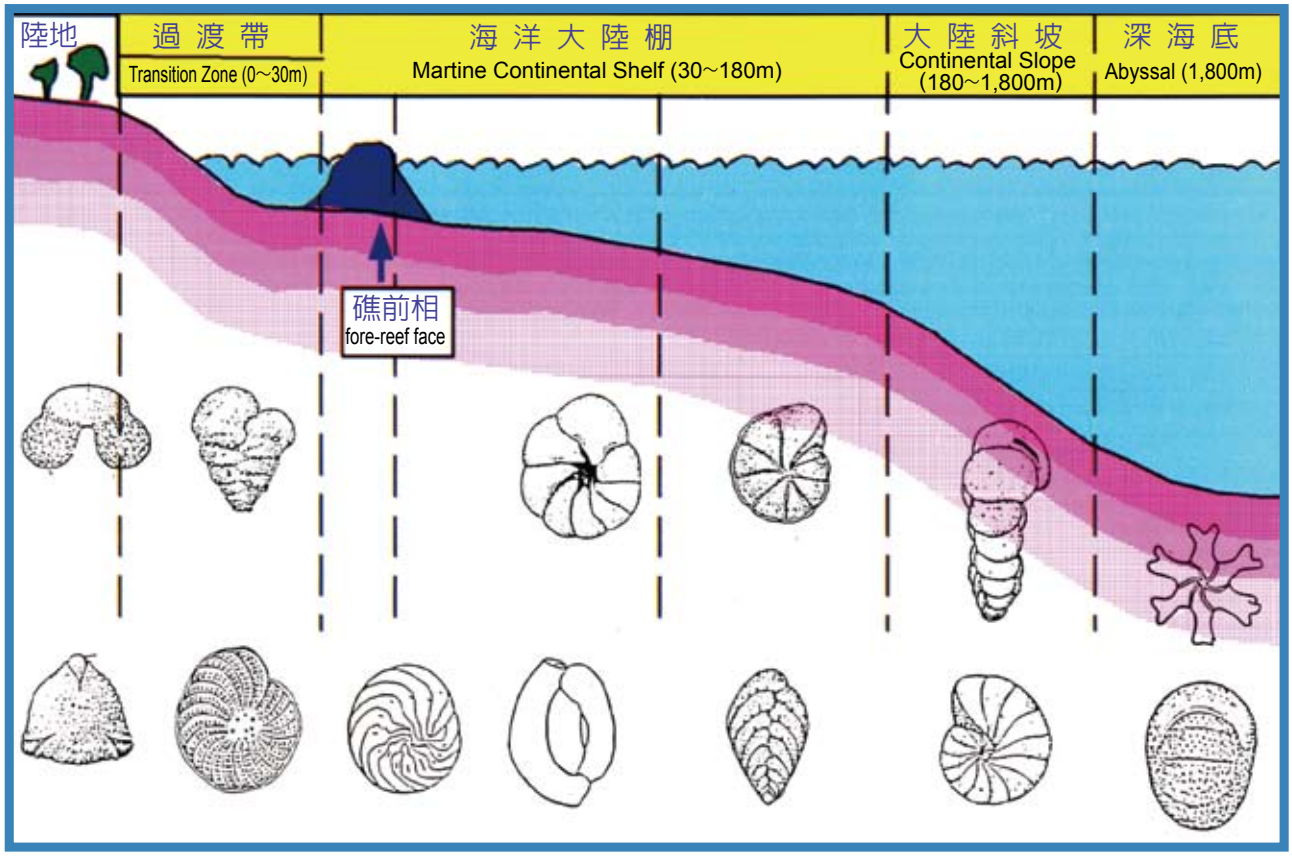
標準剖面的生物地層層序建立以後，可明瞭兩剖面間的上下關係，甚至如剖面有不整合的地層缺失或斷層截切，也可由剖面間的地層對比而獲知。

附著在細胞表面的球石則分離而沉積在大洋海底。

球石藻化石在中生代侏羅紀以後的白堊、泥岩及鈣質軟泥中含量甚豐，是鈣質沉積物的主要來源之一。第三紀地層的星盤石類及中生代地層內的Nannoconids等化石，屬於絕種的特殊化石，其關係在分類上不明，但由於它們常與球石藻共生，因此認爲是與球石藻有親緣關係的浮游生物遺骸。這3種生物化石一般統稱爲鈣質超微生物化石，須利用高倍的光學顯微鏡或電子顯微鏡辨認。

鈣質超微體浮游生物無論在遠洋、近海或陸棚地區的含量都很驚人，有的每立方公分海洋軟泥中達數千萬個，在赤道附近常常可見球石軟泥的大量分布。自侏羅紀到現今，超微體浮游生物在海洋的食物鏈中都扮演著非常重要的角色。

近年來，超微化石研究的發展一日千里，主要是因爲它的實用性和便捷性。它具有生存期限短暫、地理分布廣泛、化石含量豐富、標本處理容易、種和屬形態變化多、設備費用便宜等許多優點，正符合石油探勘工作的簡單、



根據地層中的小化石和岩性沉積環境研究，可以推測出當時的海岸線位置、海水深淺、環境變化等。

迅速、經濟而又實惠的最高要求，而且是地層對比的極佳工具，被世界各大石油公司所倚重。

台灣的超微化石研究，經過近幾年的努力，在石油探勘上也獲得非常豐碩的成果。

微體化石的應用

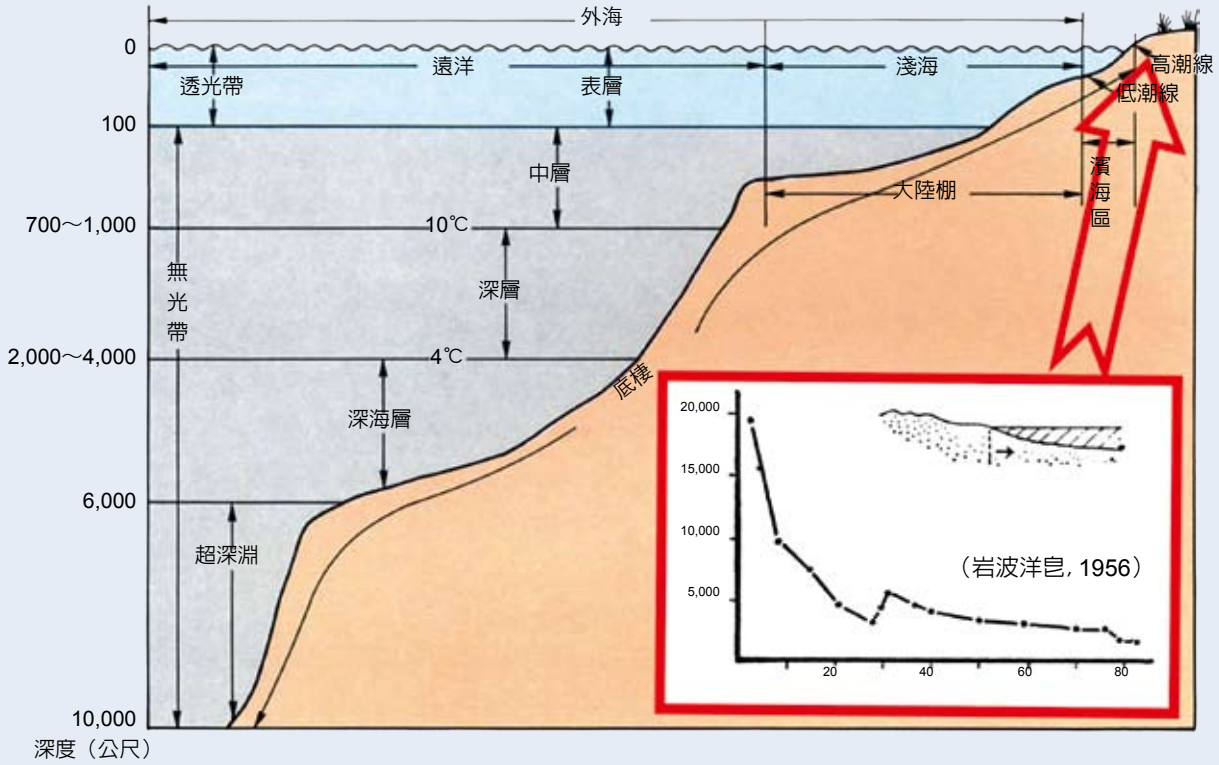
微體化石在石油探勘上主要有以下的功用：

建立標準生物地層層序　研究微體化石的最主要目的，就是建立生物地層層序。也就是由連續的標準地層剖面，經過詳細的採樣、分析和鑑定後，建立標準化石與化石帶，是日後與其他地區地層對比的主要依據。

確定地層層位及地質時代　地層中所含的化石，經與世界各地標準地層剖面的研究結果比對後，可以決定化石的年代與各個地層的層序和相互的層序關係，以及各化石的時代分布範圍。

決定鑽井井下地層層位與含油層的關係　確定儲油層及其上下地層的層位及深度，進而預估附近地區可能儲油層的深度。在鑽探中，也可以預估鄰近礦區高壓層的層位及深度，以提供鑽井工程人員預防及參考之用。

地層對比　當標準剖面的生物地層層序建立以

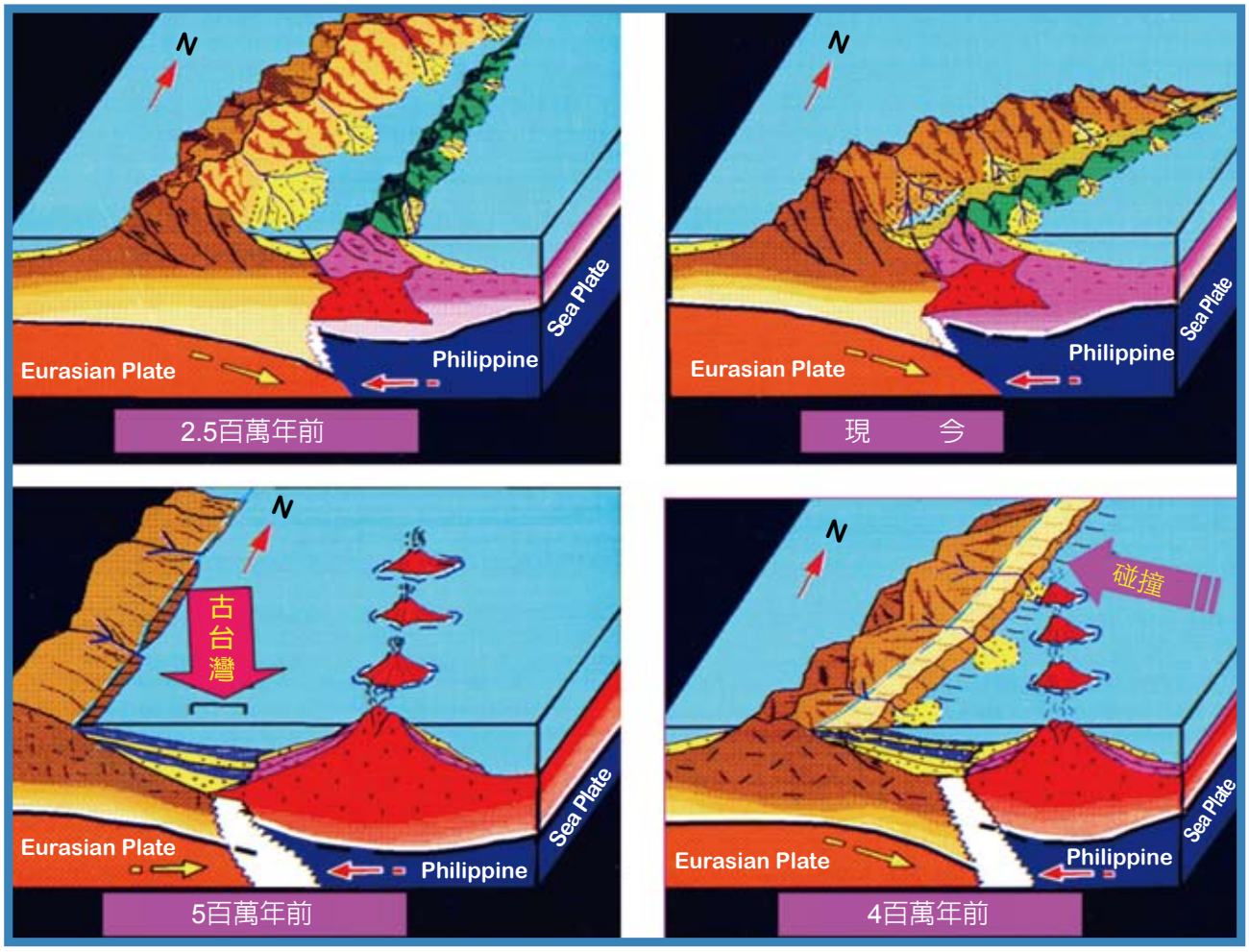


利用花粉及花子的含量曲線，可以決定離岸的遠近、方向、古海岸線位置等。（圖片來源：葉貴玉，1992）

後，如果附近地區有其他地層出露或鑽探井，就可以應用標準剖面的生物地層層序做井下地層間的地層對比，更可推展到兩個不同沉積環境的沉積盆地間的區域地層對比。例如，台灣北部的生物地層已經建立，到了南部以後，往往因岩相的變化，使得岩性對比似乎不太可能。但如果按上述辦法，針對南部地區的標準剖面，建立其生物地層層序和化石帶，南、北地層的岩層厚度、岩相及古沉積環境的變化也就可以明白了。

古生態及古沉積環境的研判　石油地質學家著重的是了解地層沉積時的沉積環境，根據沉積環境的研究，可以推測出當時的海岸線位置、海水深淺、環境變化等。而沉積環境的重建，大多靠地層中的小化石和岩性。換句話說，利用古生物及岩相研究，可以研判地層沉積當時的古沉積相與古沉積深度。例如，利用花粉及花子的含量曲線，可以判定海相地層離岸的遠近、方向，以及古海岸線位置等。利用底棲性有孔蟲化石的分布及外殼表面裝飾的變化，可判斷各時代的不同水深。

古構造運動的解釋　在連續的海相地層



根據超微化石的研究，在上新世中期即約4百萬年前，由於菲律賓海板塊向西運動，進而碰撞到今日台灣所在的歐亞大陸板塊，以致形成了現今的中央山脈。（圖片來源：紀文榮，1996）

中，如果由化石的研究發現其中的古水深有明顯的變化，就表示這地區在沉積當時有海進、海退及沉積環境的深淺變化，這些資料對於區域地史的解釋甚具價值。根據底棲性有孔蟲的研究，可判斷古海水深度變化，並顯示海洋的沉積循環狀況。

此外，根據地層年代的缺失狀況，可以判斷何時地殼隆起、何時地層發生侵蝕、何時地殼再度下降而沉積海相地層。化石的定年更可應用到計算地層的沉積速率，進而推測區域性的造山運動史。例如根據台灣島超微化石的研究，在上新世中期即約4百萬年前，菲律賓海板塊已與歐亞大陸板塊碰撞，因而形成現今的台灣島。

吳榮章
台灣中油公司探採事業部

紀文榮（退休）
台灣中油公司探採研究所