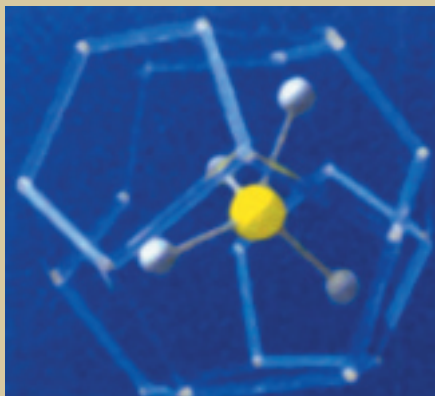


# 二十一世紀的 新能源 天然氣水合物

天然氣水合物是含天然氣的固態物。根據科學家估計，  
全球天然氣水合物中所含的天然氣（主要為甲烷氣）埋藏量，

約為全世界石油、天然氣，  
及煤等燃料資源埋藏量的兩倍以上。

天然氣水合物是由水分子組成的冰晶結構，結構中空隙包含天然氣分子，形成如籠狀結構，中間黃色分子為氣體分子，外圍被水分子包圍，氣體分子與水分子間不靠化學或離子鍵結合。



■ 鄧瑞彬 林再興

## 天然氣水合物是什麼？

天然氣水合物，簡稱氣水合物，是一種外觀很像冰的白色結晶固體，主要是由水和天然氣在低溫及高壓條件下所形成的固態物。例如，在攝氏0度，壓力大於25個大氣壓，或者溫度為攝氏零下10度，壓力大於17個大氣壓的條件下，甲烷氣與水混合即可形成固態水合物。

天然氣水合物是由水分子組成的冰晶結構空隙中包含天然氣分子，為一種籠形包合物。當天然氣由固態水合物中分解或熔解出來時，一立方公尺的天然氣水合物，在標準狀態的溫度及壓力下，可產生大約0.8立方公尺的水，及大約170立方公尺的天然氣，所解離出來的水及天然氣，會隨著天然氣水合物組成的不同，而有些微的差異。

由於從北極永凍帶及海底地層所發現的天然氣水合物中，包含的氣體以甲烷氣為主，所以又稱為甲烷水合物；另外，因甲烷氣是可燃的氣體，有時候也稱為可燃冰，而有些人則稱天然氣水合物為甲烷水合物。



水包合物或甲烷氣水包合物的名稱來作區別。

### 天然氣水合物的發現及分布

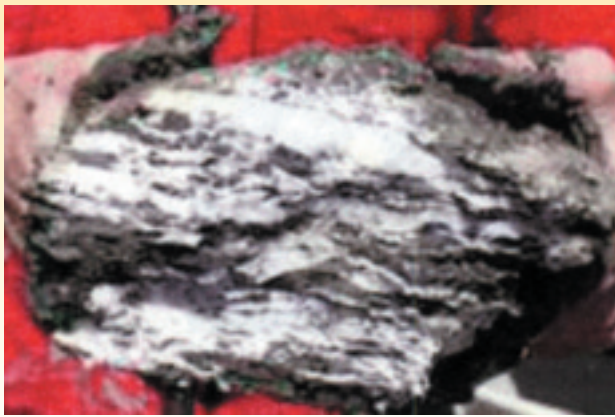
天然氣水合物的發現，起源於一九三〇年代，當時因為在天然氣的輸氣管線中常含有水分，約在溫度低於攝氏7度以及壓力大於65個大氣壓的條件下，水分子與天然氣分子形成固態的天然氣水合物，阻礙了天然氣的正常流動及輸送，甚至導致管路及設備

天然氣與水形成固態水合物的溫度及壓力條件，會隨著天然氣的成分而異，若天然氣含百分之百的甲烷氣時，其形成固態水合物需較大的壓力。若天然氣中除了主要的甲烷之外，還含有乙烷或丙烷等較重的碳氫化合物時，則與水形成水合物所需壓力較小，也就是說較易形成固態水合物。

因為天然氣分子只是被水分子包覆而形成固態晶體，所以，天然氣水合物的氣體分子與水分子之間的結合，並不需要藉由任何化學或離子鍵鍵結，這與一般以庫倫力鍵結所形成的結晶水合物完全不同。為了避免與一般結晶水合物在名稱上發生混淆，有些人採用天然氣

毀損，引起石油工業界對於天然氣水合物的注意與研究。只是當時的研究目的，主要是在防止輸氣管線被固態的天然氣水合物阻塞或損壞。

一九六五年，在西西伯利亞的麥蘇亞漢天然氣田中，首次發現含天然氣水合物的地層。後來於一九七〇年代，又在美國東岸大西洋中布萊克外脊的海底沉積物裏發現天然氣水合物。在該處的震波反射中，含有擬似海底反射的現象，並且在擬似海底反射上面的地層，發現震波速度異常的現象。所以，史托（R.D. Stoll）於一九七一年認為擬似海底反射的震波反射現象，是一種天然氣水合物存在的跡象。



富含天然氣水合物的土壤樣品



在實驗室中製造的天然氣水合物

一九七四年，北加拿大三角洲地帶的淺部地層，也發現天然氣水合物。因此，有人認為天然氣水合物可能遍布北極圈地區。後來，擬似海底反射在世界各海洋的海底沉積物中陸續發現，例如，北太平洋的白令海域、北極洋的畢佛特海、北大西洋的西部、台灣西南海域等。

希聰 (B. Hitchon) 於一九七四年的研究認為，具有商業開採價值的天然氣水合物地區包括美國阿拉斯加的北極邊坡石油區、加拿大的麥肯辛三角洲及北極群島、俄羅斯的西西伯利亞北方及薇利亞盆地等。

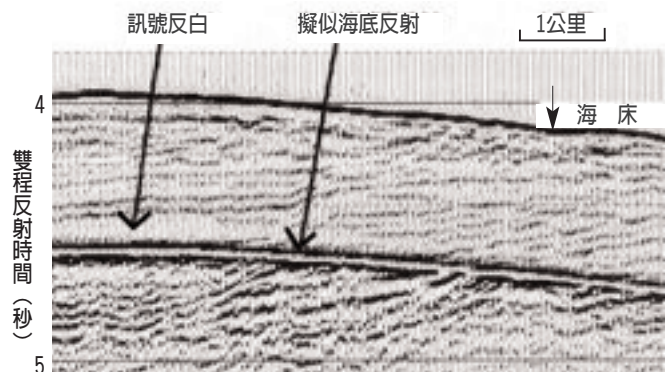
## 天然氣水合物的埋藏量

天然氣水合物主要是埋藏在永凍土帶和海洋沉積物中，永凍土帶的天然氣水合物約為海底天然氣水合物總量的四分之一。卓菲馬克等人 (A.A. Trofimuk) 於一九七七年估算，世界上水深介於300公尺至600公尺之間的海底沉積物中約有  $15 \times 10^{15}$  立方公尺的天然氣水合物，在永凍帶的埋藏量約為  $5.7 \times 10^{13}$  立方公尺。麥克當勞 (G. J. MacDonald) 於一九九〇年估算天然氣水合物在海底地層的埋藏量約為  $2.1 \times 10^{16}$  立方公尺，在永凍帶約為  $7.4 \times 10^{14}$  立方公尺。

在各個不同研究的估算中，以一九八一年都布雷寧 (V.M. Dobrynin) 等人的估算值最為樂觀——海底埋藏量

約為  $7.6 \times 10^{18}$  立方公尺，永凍帶約為  $3.4 \times 10^{16}$  立方公尺；而以一九八一年馬克艾維爾 (R.D. McIver) 估算值為最小——海底埋藏量約為  $3.1 \times 10^{15}$  立方公尺，永凍帶約為  $3.1 \times 10^{13}$  立方公尺。雖然這些估算值差異很大，但是，保守估計全球天然氣水合物的埋藏量，也遠超過目前已知天然氣及石油的總蘊藏量，其總資源量約相當於全世界已知煤、石油和天然氣總量的二倍。

中國大陸以及台灣研究學者於最近指出，在中國南海的震測剖面上，識別出天然氣水合物埋藏的顯示標誌



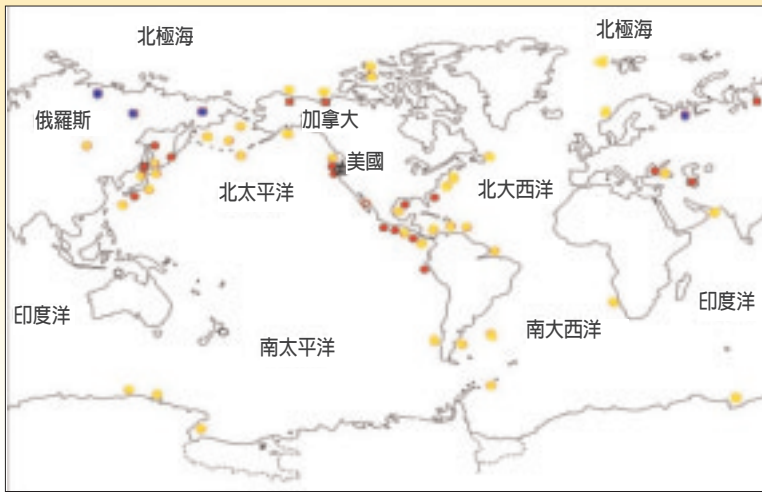
在探測到埋藏天然氣水合物處的震波反射剖面圖中，可發現一個大致平行海床地形面的強反射現象，稱為擬似海底反射。在強反射上方的區域，由於沉積物被天然氣水合物膠結而均質化，導致反射振幅降低，造成反白現象，反白程度越大，即反射振幅越小，代表該區域沉積物中含天然氣水合物的可能性越高。

——擬似海底反射，其厚度約達80~300公尺。據估算，這一地區天然氣水合物總資源量達到  $469 \times 10^9$  至  $563 \times 10^9$  桶的石油當量，約相當於中國大陸的陸上和近海石油天然氣總資源量的二分之一。因此，天然氣水合物很可能取代煤和石油，成為二十一世紀全球新能源。

## 天然氣水合物對自然環境的影響

當含天然氣水合物地層的溫度或壓力發生改變時，天然氣水合物將由固體變成氣體及液體，而由地層中釋放出，若該地層位於陸緣大陸斜坡，則有可能造成海床崩塌或滑移等地質災害，所伴隨的大量天然氣逸出海床進入水中，甚至進入大氣圈，將對自然環境產生極大的影響。因此，近年來也有不少科學家，致力於天然氣水合物對於全球環境破壞的研究。

由於在西南非陸緣海域的大陸斜坡與隆堆、美國東部大西洋大陸斜坡、挪威陸緣海域，阿拉斯加陸緣蒲福



全球已探知埋藏有天然氣水合物的位置與分布圖。黃色點代表海域經由地球物理探測資料推測含有天然氣水合物的埋藏位置；紅色點代表實際採得含天然氣水合物的岩心；藍色點代表陸上經由地球物理探測資料推測含有天然氣水合物。(Sloan, E.D. Jr. (1998) *Clathrate Hydrates of Natural Gases*, 2nd Ed. Marcel Dekker, New York.)

海域等地的海底地層，可能含有天然氣水合物，因此，這些區域的海底崩塌與滑移的地質災害，可能與天然氣水合物的解離作用有關。另外，如裏海及巴拿馬北部遠濱海域的海底泥火山等地質災害，亦與天然氣水合物所分解出的天然氣向上逸散等地質作用有關。

### 天然氣水合物的開採及研究近況

一九六〇年代，在俄羅斯西西伯利亞的麥蘇亞漢發現天然氣水合物礦區。該礦區涵蓋約90%的海域和27%的陸地，主要是多年凍土區，都具備天然氣水合物埋藏的溫度和壓力條件。開發初期的主要目標，是生產1,500公尺深度以下地層中的天然氣。開始生產後，造成天然氣層上方的天然氣水合物埋藏地層（地面下500~1,500公尺）壓力減低，使得固態的天然氣水合物層逐漸分解成天然氣及水。換言之，生產天然氣造成的減壓效應，使得天然氣水合物層中的天然氣也同時被分解而開採。這是世界上最早開採的天然氣水合物礦區，至今已開採約有十七年之久。

此外，加拿大的馬根尼三角洲、美國阿拉斯加等地的地理位置都在北極圈附近，且都已確定埋藏有天然氣水合物。這些地區的特色是，多年凍土厚度大，（一般為400~500公尺）；天然氣水合物埋藏深度較深，為320~1,500公尺，且其天然氣水合物的主要氣體成分為甲烷。大陸青康藏高原的多年凍土區，主要分布在中緯度地帶，與極地多年凍土的狀態不完全相同，但是，青康藏高原多年凍土區具備形成天然氣水合物的溫度和壓力條件，有可能埋藏以硫化氫、乙烷和丙烷為主體的重烴

類天然氣水合物，其埋藏深度較淺，約為100~1,000公尺。

日本政府從一九九二年起開始關注天然氣水合物，一九九五年由通商產業省資源能

源廳石油公團，聯合十家石油天然氣私營企業，設立了「甲烷天然氣水合物研究及開發推進初步計畫」，為期五年，投入的研究經費高達九千萬美元。經由對日本周邊海域，特別是南海海槽、鄂霍茨克海的調查，初估天然氣水合物資源量可供日本一百年的能源消耗。

一九九五年冬，以美國為首的ODP164航次海洋探測計畫，在大西洋西部布萊克海臺針對天然氣水合物進行專門的調查，首次肯定其具有商業開發價值。同時指出，天然氣水合物礦層之下的游離氣（氣態天然氣）也具有經濟價值。初步估計，該地區天然氣水合物資源量多達一百億噸，可滿足美國一〇五年的天然氣消耗。美國參議院於一九九八年通過決議，把天然氣水合物作為國家發展的戰略能源，並列入國家級長程計畫，要求政府每年投入二千萬美元進行探勘，並計劃於二〇一五年進行商業性試採。

隨著深海鑽探計畫中鑽井工程與震測探勘工作的進行，陸續發現離陸地不遠的海域沉積物中，也有天然氣水合物的埋藏。因此，科學家相繼對天然氣水合物的物理與化學性質、地質產狀與分布、成因、探採技術等進行研究。

台灣西南海域的震測資料顯示有埋藏天然氣水合物的潛能，如果能更進一步地探勘與實際鑽探取樣，獲得岩心樣本和更多的地層參數，對於天然氣水合物的開採評估和研究，將有莫大的幫助，並且能有效地解決我國未來的能源短缺問題。 □

鄧瑞彬 林再興  
成功大學資源工程學系