

知識天地

白色燃料：漫談氣水化合物

前言

如果有人說：「有一種冰可以燒」，想必很多人會覺得奇怪，然而在這個世界上，有不少人曾有過用手盛著一塊燃燒中的冰的神奇體驗（圖一）。這個埋藏在海底沉積物中的冰塊，一點火就可以燃燒，能具有這種冰火同源天賦的東西叫作「氣水化合物」，我們又稱之為「可燃冰」。由於其與生俱來的燃燒能力更勝天然氣，使得目前各國科學家正積極地進行大型研究計畫，冀望能進一步地了解它與人類及世界環境之間的關係，並期盼有朝一日能善加利用其特性，解決日趨嚴重的能源緊縮問題。

天然氣水合物

天然氣水合物（gas hydrate），又稱氣水化合物，乃氣體分子被呈籠狀架構的水分子所包含，而形成一種類似冰晶狀的固態物質（圖二）。由於自然界中存在的天然氣水合物之氣體絕大部分（>95%）是甲烷，因此又稱為甲烷水合物（methane hydrate），當中亦包含少量的乙烷、丙烷、及二氧化碳。天然氣水合物之所以又被稱為「可燃冰」，就是它的高壓低溫下是像冰一樣的狀態，移至常溫常壓下便會破壞籠狀架構而自行解離出來，因此，只要在可燃冰上點火觸發甲烷氣，裡面的甲烷氣就會釋放出來；然而具有可燃性的甲烷氣不斷釋出，可燃冰便會持續燃燒。通常1單位體積的天然氣水合物，可以分解產生150~180單位體積的甲烷和0.8單位體積的水（圖二）。

天然氣本身為較易燃燒完全的能源，並產生較少量的二氧化碳，因此屬於相對乾淨的能源。但當我們耗盡了容易獲得的陸上天然氣儲量，我們便需要往較困難的環境中採集天然氣。例如：要由高壓的深海環境中取得天然氣水合物，存量探勘及採集安全策略的考量都是重大考驗。專家粗估甲烷水合物在地球所佔的含量，約為化石燃料的兩倍；也有人大大膽地將甲烷水合物視為二十一世紀最有潛力的新能源。因此許多先進國家包括日本和美國，皆已紛紛投入開發此項新能源的行列。

哪裡可發現天然氣水合物？

除了極區永凍土，甲烷水合物亦可在大陸邊緣的沉積物孔隙中形成。當孔隙中有足夠的甲烷及其他瓦斯，且在海底水深超過約400米的低溫高壓環境中，甲烷水合物即有可能形成。海床底下數十至數百米深處的沉積物，稱之為「天然氣水合物穩定帶」。一旦超過這個深度，便會因地溫梯度的升溫現象使得水合物解離成瓦斯及水。在穩定帶深度的底界處，甲烷氣體層的狀態變化，往往可以造成強烈的反射地震記錄，其約略平行海床變化並造成遵循等溫度線的強振幅訊號。因此，這項開闢震測探勘主要判斷依據的訊號又名為「海底仿擬反射層」（Bottom-Simulating Reflector, BSR）。

開採天然氣水化合物之方法與成果

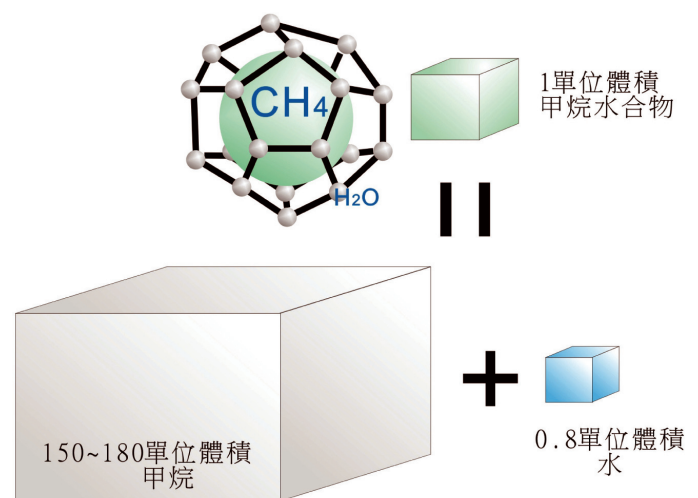
開採氣水化合物的方法可分成三大類，包含：（1）利用減壓方式，使水合物解離；（2）運用增溫法，使水合物自行解離；以及（3）注入二氧化碳，將氣水化合物中的甲烷置換出來。

在陸地上，加拿大率先於2002年3月在麥肯齊三角洲試驗，成功的從永凍土區域下水合物開採天然氣（圖三A）。這實驗提供了第一個直接證據，證實水合物可經濟地回收。美國於2012年在阿拉斯加的北

戚務正副研究員（地球科學研究所）



圖一 地質調查所陳柏淳技士手持天然氣水合物的白色冰體，並點火使其燃燒。合成天然氣水合物乃為其論文之重大研究貢獻。（摘自地質調查所<http://img3.epochtimes.com.tw/20080308/a1-1.jpg>）



圖二 甲烷水合物之籠晶構造型貌以及其具有強大的儲氣能力，常溫、常壓下從固態解離，可產生150~180單位體積的甲烷氣（繪自陳麗雯）。

坡，因尼克絲庫米 (Ignik Sikumi) 氣水化合物的實驗生產并成功的利用注入的二氧化碳將氣水化合物中的甲烷置換出來。此項研究無疑是為目前地球迫切需要的開源及減碳任務，樹立了重要的里程碑 (圖三B)。

在海域上，2002年從美國奧勒岡州外海的化合物海脊 (Hydrate Ridge) 採集到富含氣水化合物的岩芯標本 (圖三C)。自此，美國及德國陸續發表了許多近年來氣水化合物生產技術方面之成果。2013年3月12日，日本宣布其成功完成測試，於該國外海採集到蘊藏豐富的氣水化合物天然氣，可謂近年來最振奮人心之消息。

台灣有天然氣水合物嗎？

在中央地質調查所過去十年來的主導與支持之下，台灣多位科學家例如劉家瑄教授、楊燦堯教授、林曉武教授以及戚務正博士等多人進行的研究發現，在西南海域具有豐富天然氣水合物蘊藏的潛能。藉由證據顯示，評估該海域天然氣水合物儲量高達5千億立方公尺，其可生產之能源可供台灣民眾使用50年。

相關成果發表於國際期刊會議後，吸引世界各國研究團隊的注意並開始與我國合作。

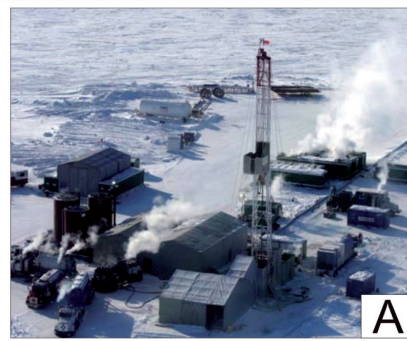
台灣與國際團隊的跨國合作

2010年，法國籍研究船 (Marion Dufresne) 前來台灣進行岩芯採樣工作；2013年德國籍研究船 (R/V Sonne) 前往西南海域，利用三維震測系統 (P-Cable)、海底電磁 (OBEM)、側掃聲納 (Side scan) 與即時影像採集器 (TV-grab) 等現今最先進的海洋探勘設備進行為期一個月的資料收集以及探測區的精查作業。結果不僅顯示出該海域天然氣水合物的特殊條件，也證實了本區域在議題上的獨特性，更藉由跨國交流使我國團隊於天然氣水合物研究上逐步躍進。

結語

天然氣水合物的研究在全球自然環境的貢獻中，不僅為能源耗竭帶來新希望，對於全球碳循環以及海底甲烷崩移等事件皆息息相關。重要的是能源使用的天然氣水合物產生的甲烷，其燃燒較完全，比起其他燃料所產生的污染而言，相對來說危害較低，因此使用天然氣水合物的甲烷作為能源資源，無疑是較好的選擇。

雖然證據顯示台灣西南外海富含大量氣水化合物，但技術以及資金等多方嚴峻的考驗將會是開採時所要面臨的難題。倘若我們可克服障礙並順利採集再加以利用，勢必將對台灣尋求替代能源方案有卓越貢獻。因此，刻不容緩的加緊腳步落實台灣西南海域開採天然氣水合物將是我們的首要目標。目前除了國家型能源計畫已朝此方向努力，尚有許多優秀的專家學者為了替代能源的開發而默默耕耘；此舉不僅是為了解決台灣能源缺乏的問題，更為了後人以及地球的明天。



圖三A 加拿大的麥肯齊三角洲，首度成功地開採到天然氣水合物的井貌 (摘自Geo ExPro期刊網頁版http://www.geoexpro.com/article/Gas_HydratesNot_So_Unconventional/b9d997f9.aspx)。

圖三B 阿拉斯加的北坡，嘗試以二氧化碳置換出天然氣水合物的成功景象 (摘自Geo ExPro期刊網頁版http://www.netl.doe.gov/technologies/oilgas/FutureSupply/MethaneHydrates/rd-program/ANSWell/co2_ch4exchange.html)。

圖三C 美國奧勒岡州外海取得的天然氣水合物岩芯 (摘自Energy Lab報告網頁版http://www-odp.tamu.edu/publications/204_IR/204ir.htm)。