

台灣西南海域天然氣水合物賦存區之地質與地球物理研究

文・圖／陳汝勤、劉家瑄（海洋研究所教授）

天然氣水合物（Gas Hydrate）屬於非傳統型之天然氣，雖然其開發技術有待更進一步的研發，目前推估全球陸地及海域蘊藏量約為 20×10^{15} 立方公尺，是我們現今使用傳統燃料儲量兩倍以上。以能源觀點而論，若能開發利用將對二十一世紀全球能源供應有相當幫助，而當今全球正倡導永續經營以調和各國環境能源與經濟均衡發展之際，相對於傳統化石燃料扮演潔淨能源之天然氣使用量已呈現逐年增加的趨勢。

天然氣水合物是天然氣體分子在高壓（一般 > 50 個大氣壓）及低溫（ $< 7^{\circ}\text{C}$ ）的環境下被呈籠狀架構的水分子所包合，而形成一種非化學計量、類似冰晶的籠型包合物，廣泛分布於極區的永凍層及陸緣深水海域的地層中。我國學者在台灣西南海域收集的地球物理資料當

中，發現天然氣水合物廣泛分布於南海大陸坡及南台灣增積岩體（圖1）之證據（劉家瑄等人,1999；陳格忠與劉家瑄,2002；Schnurle et al.,2002；劉家瑄,2003；劉家瑄等人,2004；鐘三雄等,2004；葉高華等人,2004），而常與泥火山有密切之關係（Yeh et al., in press）。

在海床下天然氣水合物常存於較均質的地層中，在天然氣水合物穩定帶基底因有游離氣（Free gas）之存在，故使反射震測調查中震波阻抗差異增大，造成一平行於海底表層，反射係數為負且對比強烈之介面，稱之為海底仿擬反射

BSR（Bottom Simulating Reflector）。在海域天然氣水合物之探測常以震測反射層之波速異常與海底仿擬反射BSR之存在為判釋指標（圖2）。

經濟部中央地質調查所委託本校海洋研究所執行之「台灣西南海域天然氣水合物賦存區地質調查研究」主要工作內容如下：

1. 沉積物粒度、礦物成分與物理性質，並建立其分布狀況及模式；
2. 沉積物中黏土礦物之特性；
3. 沉積物間隙水 SO_4^{2-} 、 Cl^- 濃度以及沉積物有機碳含量及硫化物物種及含量；
4. 沉積物中磁性礦物的磁學特性；
5. 海床底水與沉積物間隙水之鹽度、氣體化學特性及同位素組成；
6. 地質學（含沉積物中底棲性有孔蟲群落及種類）及地球化學特徵；

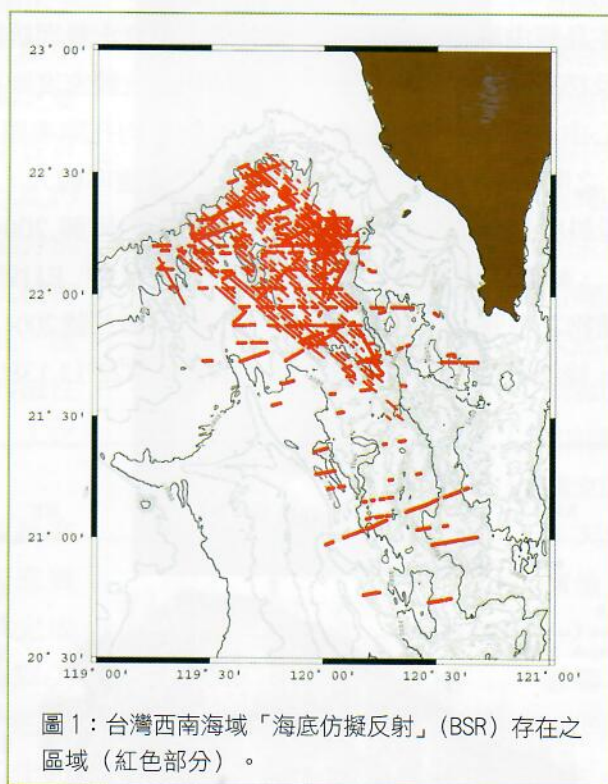


圖1：台灣西南海域「海底仿擬反射」(BSR) 存在之區域（紅色部分）。

7. 沉積間隙水硼和氫同位素研究；
8. 反射震測與海床底質聲納迴聲剖面調查研究；
9. 海底地震儀對天然氣水合物研究的應用；
10. 天然氣水合物賦存區之地熱調查；
11. 台灣西南海域區域沉積架構及震測地層研究；
12. 含天然氣水合物地層的構造與沉積特徵研究；
13. 台灣西南海域的水深與重、磁力研究；
14. 天然氣水合物資料庫與地理資訊系統建置。

參與本計劃之研究人員除本校同仁外尚有中研院、成大、海大、中大等學者。海洋一號研究船曾於2003年10月9日至13日（即697航次）及2004年5月11日至16日（即718航次）赴目標區（圖1）作業，在35個測站採取活塞岩心及箱型岩心。

目標區之水深約在567 m至1363 m之間，其沉積物大部分為泥質（ $> 4 \phi$ 之含量平均在95%以上）。此等沉積物可能主要源於台灣本島經由壽山海渠、高雄海底峽谷、高屏海底峽谷，及枋寮海底峽谷傳輸至目標區。在已分析之十一隻岩心中，沉積物之淘選度（即標準差）介於1.51至3.02之間，絕大多數屬劣淘選（即S.D.=1.00~2.00），歪斜度多屬細歪斜（即Skewness介於+0.10~+0.30），峰度多屬中峰（即Kurtosis介於0.90~1.11）。沉積物之主要組成礦物為石英、長石、伊利石、高嶺石、綠泥石及方解石，組成礦物對石英比值隨深度略有變化。岩心沉積物之含水量介於5.61%至43.37%，孔隙率介於10.60（V%）~75.54（V%），統體密度介於1.61~2.22（g/cm³）。

孔隙率在某些測站隨岩心深度之增加有降低之趨勢，但大部分的測站中孔隙率隨岩心深度之變化不



圖3：海研三號2004年6月24日980航次所採取之重力岩心（北緯22度13.138分，東經120度10.243分，水深930公尺）顯示氣體逸出構造。（中山大學林慧玲教授提供）

大。目標區之岩心沉積物其含水量與孔隙率之間有正變關係，但含水量與統體密度之間有負變的關係。岩心沉積物之統體密度與孔隙率之間有負變關係，而岩心沉積物平均孔隙率與平均甲烷含量有正變關係。

本區沈積速率較大，約為1500 m/10⁶year（即1.5 cm/year）（俞何興,2004,submitted）。本計畫在G6測站（N22°13.57', E119°57.07', 水深567公尺）所採之岩心，及海研三號2004年6月24日980航次所採取之重力岩心（N22°13.138', E120°10.243', 水深930公尺）

均明確顯示氣體逸出構造（圖3），為天然氣水合物 gas hydrate 存在之有力證據。

在岩心沉積物中曾發現有黃鐵礦化之管狀生物體及黃鐵礦化之有孔蟲殼體顯示還原環境之存在，而此以一還原環境之形成是否與甲烷之存在有關是值得探討的問題。研究計畫中亦分

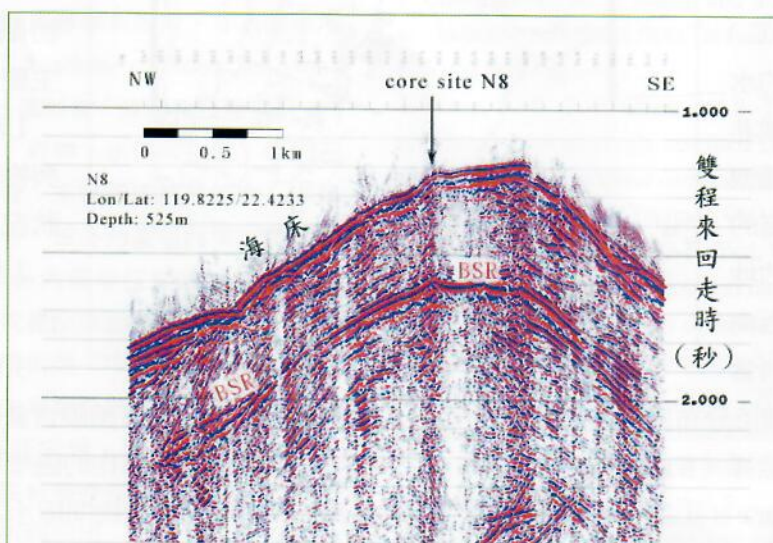


圖2：測站N8（北緯22度25.66分，東經119度49.58分，水深911公尺）反射震測圖顯示「海底仿擬反射」(BSR)之存在。

析海床底水與沉積物間隙水之鹽度、氣體化學性質及同位素組成，在測站 G23 (N22°21.15', E119°48.90', 水深 1229 公尺) 之岩心沉積物中發現甲烷 (CH_4) 之平均含量高達 81,247 (microliter/liter)，而一般沈積物之甲烷含量僅約 100 (microliter/liter) 左右。本計畫將繪製目標區之海床溶解性甲烷濃度分布圖以供進一步探勘之參考。在岩心沉積物中平均有機碳含量約為 0.5%，而硫酸鹽之還原作用快速並伴隨著高含量可溶性 S^{2-} 之存在，均顯示目標區屬還原環境。岩心沉積物孔隙水中之氯與鈉濃度之變化均小於 10%，顯示成岩作用扮演關鍵性角色。在孔隙水中硼濃度呈現較大幅度之變化（介於 2~8 ppm），而孔隙水中硼同位素 ($\delta^{11}\text{B}\text{‰}$) 顯示主要為沉積來源硼所釋出者。孔隙中氯同位素 ($\delta^{37}\text{Cl}\text{‰}$) 有明顯之變化需進一步探討其原因。磁學性質研究顯示：G6_P2 (20-57cm) 及 G2_P3 (0-55cm) 兩根岩心其磁傾角值分別為負值及趨近水平，反映出沉積物之殘磁方向有異常的現象。此一現象起因於沉積物中有還原態的磁性硫化鐵礦物，如 Greigite (Fe_3S_4) 之生成。

有關地球物理之研究主要是在目標區進行反射震測與海床底質聲納迴聲剖面調查研究，已完成多頻道震測普查工作，收集到 2,500 公里反射震測資料，並完成反射震測普查部分之資料處理與 BSR 辨識工作。此外沿反射震測線收集到海底聲納迴聲剖面資料，並完成海底聲納迴聲剖面基本影像檔 321 張。

海洋大學同仁將置備海底地震儀進行海底地震儀試驗，處理與分析海底地震儀資料並建立資料分析與模擬技術。本校海洋所亦將研發附著於活塞岩心採樣系統上之長地熱量測系統，彙整與分析台灣

西南海域現在之熱流量測資料，進而推估天然氣水合物賦存下限深度。在震測地層、震測相及層序地層方面亦將加以分析，並進行沉積及震測綜合解釋，探討區域性的地殼剖面、沉積作用與構造活動的關係對重點構造的幾何型態與沉積特徵亦將加以研究。此外將收集整編台灣西南海域現存的水深、重力、磁力等資料並作構造反演及製作屬性資料表

及圖檔，建置於資料庫中。對現有 BSR 資料庫與海底迴聲剖面資料庫將加以地理資訊系統化。

配合「非核家園」與「二氧化碳減量」的既定政策，潔淨的天然氣使用量將來可能大幅提高，如何確保天然氣的供應來源，將是很多國家要面臨的問題。台灣西南海域之天然氣水合物所含的甲烷總蘊藏量，最保守的推估亦在千億立方公尺以上（經濟部中央地質調查所, 2001）。事實上，台灣近五十年來所發現的天然氣總量尚未及千億立方公尺。到目前為止，台灣陸上累計生產約 500 億立方公尺天然氣，產值約 2,150 億元。台灣西南海域天然氣水合物產值潛力甚大，如能順利進行商業性開發，必能促進國家的經濟成長。

天然氣水合物具有潛在的能源價值，被稱為『可燃燒的冰』（圖 4）。其對地球環境亦可能造成影響，因甲烷亦屬溫室氣體。目

前世界上許多國家均已積極進行天然氣水合物的調查及研究。日本、印度、韓國、美國、加拿大、英國已成立了國家型研發計畫，積極進行有關天然氣水合物的研發工作，預定在 2020 年前，達成商業化開採天然氣水合物的目標。

為因應我國未來面臨之能源與環境問題，在台灣西南海域天然氣水合物賦存區進行系統性的地質與地球物理研究實屬必要，進一步將評估其賦

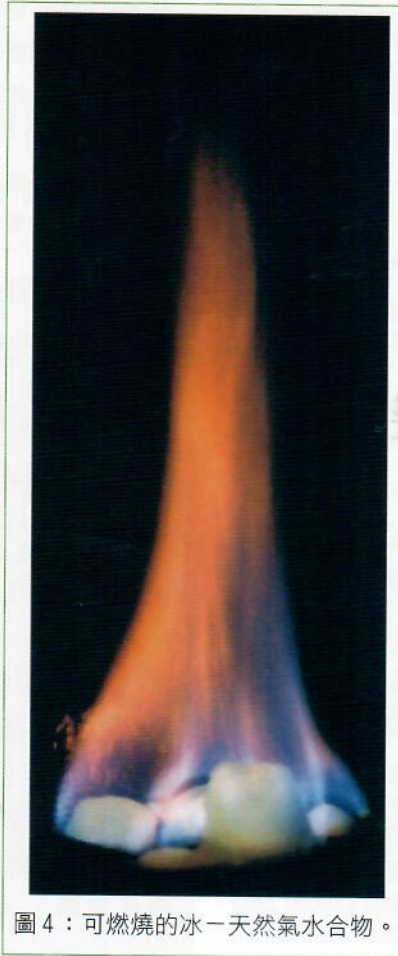


圖 4：可燃燒的冰—天然氣水合物。



陳汝勤教授 小檔案

1940 年生。現任：台大海洋研究所教授 (1974-)。1962 年台大地質系畢業，分別於 1965 年及 1967 年獲美國萊斯大學地質學碩士、地球化學博士。1967~1970 年曾任美國西南研究中心地質部門研究科學家。專長：地球科學。曾獲學術榮譽：1972 年十大傑出青年、1973 年中山學術著作獎、1985~1987 年 NSC 傑出獎、1987~1989 及 1992 年 NSC 優等獎、1989 年教育部教學特優獎、原委會委辦計畫優等獎 (中山計畫)、2001 年行政院一等服務獎、2001 年台大教學優良教師、2001 年 GSA Fellow (美國地質學會會士)、2004 年台大教學傑出教師。



劉家瑄教授 小檔案

1952 年生。現任台大海洋研究所教授 (1994-)、國家海洋科學研究中心主任 (2003-)。1975 年畢業於中央大學物理學系地球物理組，1983 年取得美國加州大學聖地牙哥校區 Scripps 海洋研究所博士。曾任美國康乃爾大學博士後研究、美國標準石油公司 (現為英國石油公司) 研究員，1988 年進入台大服務 (海洋研究所副教授)，1996~1999 年擔任海洋研究所海洋地質及地球物理組主任，2002~2003 年擔任國家海洋科學研究中心副主任。曾獲學術服務與榮譽：2000 年台大優良教師、2001 年~中國地質學會理事、2003 年~中華民國地球科學聯合會理事、2004~國際海洋研究科學委員會 (SCOR) 中華民國分會主席、2004~總統府科技諮詢委員會委員。

存潛能與經濟效益，一旦開發技術成熟，我國很快即能與國際接軌，使我國能逐步邁向能源自主。 (本欄本期策劃/海洋研究所陳汝勤教授)

參考文獻

1. 劉家瑄、徐春田、史菲利、傅式齊、宣大衡 (1999) 台灣西南海域天然氣水合物潛存之分析。海域新資源探勘開發專題研討會論文集，93-107。
2. 陳格忠、劉家瑄 (2002) 台灣西南海域天然氣水合物分布初估。第九屆台灣地區地球物理研討會論文集，486-491。
3. 劉家瑄 (2003) 台灣西南海域天然氣水合物地球物理先期調查報告。經濟部中央地質調查所。
4. 葉高華、楊燦堯、李曉芬、陳于高、郭政隆、林曉武、陳汝勤 (2004) 台灣西南海域異常甲烷濃度分布：海研一號 697 航次氣體樣品初步分析結果。中國地質學會九十三年年會。
5. 劉家瑄、史菲利、宣大衡、張曉嵐、陳格忠 (2004) Distribution and seismic characteristics of gas hydrate offshore southwestern Taiwan. 2004 年海洋科學成果發表會，桃園龍潭。
6. 鍾三雄、王詠綸、張曉嵐、劉家瑄、史菲利、劉邵勇、陳之馨、賴國榮 (2004) 台灣西南海域天然氣水合物地球物理先期調查計畫。2004 年海洋科學成果發表會，桃園龍潭。
7. Schnurle, P., Hsuan, T.H., Wang, K., MacIntosh, Liu, C.S., Reed, D. and Nakamura, Y. (2002) Characteristics of gas hydrate and free gas offshore southwestern Taiwan: a combined seismic reflection/refraction analysis. 二十一世紀新能源天然氣水合物研討會論文集，73-87。
8. Yeh, G.H., T.F. Yang, J.C. Chen, Y.G. Chen and S.R. Song (2004, in press) Fluid geochemistry of mud volcanoes in Taiwan. In Martinelli, G. and Panahi, B. (eds) NATO Advanced Research Workshop, Mud volcanism, Geodynamics and Seismicity. Kluwer Academic Pub.

2005 年有夠台大 一臺大校友雙月刊募款專案一

去 (2003) 年，《臺大校友雙月刊》首度推出記事本募款專案，獲三百多位讀者的熱烈回響，暫時紓解了本刊經費不足的窘境。為了回報您的熱情，也希望能爭取更多讀者支持，今年，記事本專案加料不加價，凡捐款贊助本刊的讀者，每筆金額逾 2,000 元，除了那本「始終如一」單色的小冊子之外，再加贈一份神秘小禮物，如捐款 3,000 元以上，另贈一本《從帝大到臺大》或《臺北帝大的生活》(二選一，即將絕版)。讓您 2005 年過得有夠台大！

捐款專戶 (支票抬頭亦同)：

財團法人臺灣大學學術發展基金會
Academic Development Foundation, NTU

帳 號：華南銀行臺大分行 154200185065

郵政劃撥：16420131

支票請寄：106 台北市羅斯福路四段 1 號
台灣大學 台大校友雙月刊

本案有效期限：2004 年 12 月 31 日止

洽詢專線：23623727