

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

台灣地區弧陸碰撞前緣泥火山噴氣成份與成因研究 (I)

Geochemical surveillance of fumaroles and bubble gases for the potential magma activity in N. Taiwan (I)

計畫編號：NSC 90-2116-M-002-031-

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 8 月 31 日

主持人：楊燦堯

執行機構及單位名稱：國立台灣大學地質科學系

一、摘要

台灣西部天然氣之氦同位素比值成份與其所含二氧化碳含量呈線性相關，暗示著台灣西部至少需要兩個氣體來源端成份：(1) 以含二氧化碳為主的地函源端成份；(2) 以甲烷氣為主的地殼源氣體端成份。可是此二端成份似乎無法解釋台灣西南部地區所有氣體成份分佈，另一個以含甲烷氣為主卻有較高氦同位素比值的端成份是必要的，以解釋中崙濁水潭及八掌溪氣井氣體成份。此一結果顯示，台灣西部天然氣成份中之二氧化碳主要源自於地函源；可是以甲烷氣成份為主的地表天然逸氣與深鑽氣井之成份，卻有不同的氣體來源。來自於較深部氣井的甲烷氣，明顯受到地函源成份影響；而地表甲烷逸氣則以地殼源為主。

關鍵詞：天然氣、泥火山、溫泉、地函源

Abstract

Representative samples of natural gases, including mud volcano and gas well sources, were collected for analysis of gas composition. Overall, the helium isotopic ratios of the natural gases are proportional to the CO₂ contents. Those samples with higher CO₂ contents usually exhibit higher ³He/⁴He ratios. For example, the samples collected from deep gas wells usually contain a slight amount of CO₂ (up to 42%) and exhibit higher helium isotopic ratios (0.51~2.99Ra) than those from “normal”

natural gases at the surface. Hence, at least two components can be identified in natural gases in Taiwan. One is the crustal component, which is methane dominated with very low ³He/⁴He ratios (0.02 Ra); the other is a mantle-derived component with higher ³He/⁴He ratios and enriched in CO₂. The composition of most natural gases in Taiwan can be well explained by different proportions of the above two components. However, the other component which dominated with CH₄ and high ³He/⁴He ratios is necessary to account for Chung-lun mud pool and Pa-Chiang-Chi gas well samples.

Keywords: Natural gases, mud volcanoes, hot springs, mantle source

二、計畫緣由與目的

當海洋板塊隱沒至較熱的地函深處時，會使得深部地函生成新的對流系統，並帶來了較多的揮發性成份與放射性成份的物質，這些原本為地球表面的物質便與地函成份產生一連串的反應，造成地函組成變得更多樣性。這些複雜的反應，我們可以稱之為「隱沒再循環作用」(subduction recycling)。

台灣處於弧陸碰撞造山帶，增積岩體得以被擠壓而露出地表，其中泥火山分佈於台灣東南與西南部地區，代表著增積岩體中流體成份仍受壓持續逸散至地表中，提供我們研究上述主題珍貴而「廉價」的素材。

一般說來，形成泥火山的條件有三：

(1) 地底有岩漿活動或儲油層發育，因而在

儲氣層孕育了高壓氣體。

- (2) 儲氣層上部覆有泥岩及地下水。
- (3) 有背斜軸或斷層通過，使地層產生裂隙，導致高壓氣體上湧，夾帶地下水在泥岩中形成泥漿後噴出地表。

上述形成泥火山的條件中，三者缺一不可，以恆春東門外的「出火」為例，地底雖有高壓氣體，附近雖有恆春斷層通過，但無泥岩覆蓋且缺乏地下水，而台南關仔嶺之「水火同源」，亦缺乏泥岩之條件，故都無法形成泥火山。

台灣正處於弧陸碰撞帶，斷層羅列到處可見，中新世以來地底岩漿活動亦十分頻繁，且中央山脈以西地區大都為海相沈積物，受板塊推擠，儲油層異於地底發育，自南而北分佈極廣；然而卻僅在台灣西南部有厚達二千公尺的南化泥岩層，及東部海岸山脈南段有厚達一千公尺以上的利吉泥岩層，因此台灣的泥火山遂僅分佈在這兩個區域。

莊文星（1992）將在台灣西南部之泥火山分成三群：（1）嘉義中崙一帶；（2）平原區泥火山；（3）古亭坑泥岩層泥火山。王鑫等（1988）以目前仍在活動的泥火山，依其地質上的特性，分成四大活動區：

- (1) 台南、高雄兩縣交界處的「古亭坑背斜軸」沿線。
- (2) 高雄縣燕巢鄉境內的「旗山斷層」沿線。
- (3) 高屏海岸平原。
- (4) 東部海岸山脈西南段。

這四大活動區內，以燕巢鄉深水村的「烏山頂」泥火山，為最壯觀的噴泥錐；而燕巢鄉金山村的千秋寮「養女湖」泥火山，為一持續噴發最猛烈的噴泥盆；而最大的噴泥盾為以台東縣鹿野鄉的「電光泥火山」。

本研究對台灣西南部地區陸上現有的泥火山噴氣從事有系統採樣分析研究。配合其他天然氣（溫泉氣、鑽井氣）之氣體

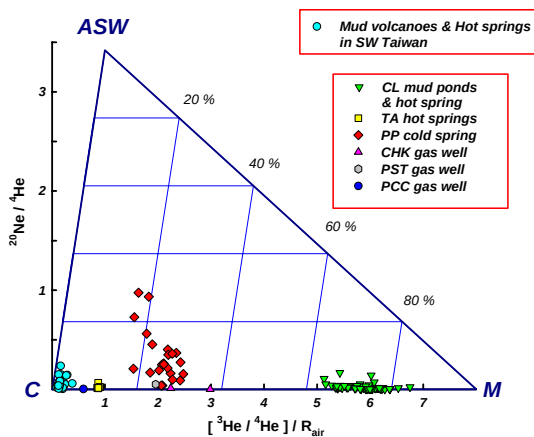
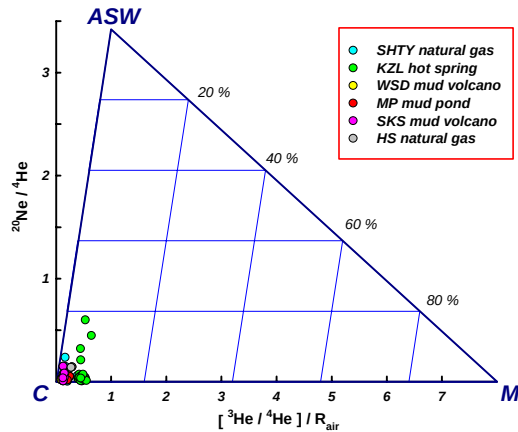
成份分析，討論其可能來源組成，並進一步探討隱沒板塊所釋放出來的流體成份，及板塊碰撞過程中地函源與地殼物質間交互反應之關係。

三、結果與討論

本研究中大多數的天然氣體成份以甲烷氣為主，且有較為一致的氦同位素比值成份（ $0.08 \sim 0.25R_a$; $R_a = [^3\text{He}/^4\text{He}]_{\text{air}}$ ），代表著這些氣體主要是源自於地殼源成份；可是這些氦同位素比值卻比一般大陸地殼來源的氣體成份比值（ $0.02R_a$ ）還要高，暗示可能有部分地函源氣體端成份（ $\sim 8R_a$ ）加入因而提高其比值（圖一）。

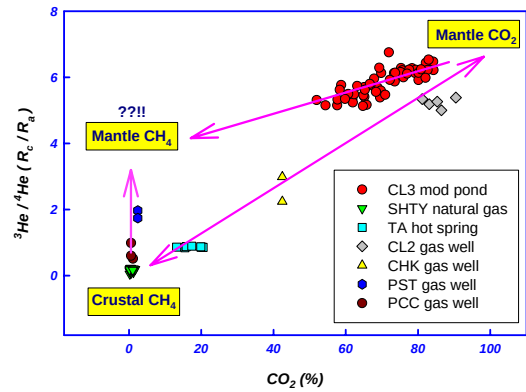
中崙濁水潭雖一般亦被視為泥火山的天然逸氣，可是其氣體成份卻與其它地區截然不同，具有異常高的二氧化碳含量（67 90%）與氦同位素比值（ $5.3 \sim 6.3R_a$ ），顯示其具有明顯地函來源組成（圖一與圖二）；由其 $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ 比值（ $2 \sim 8 \times 10^9$ ）與洋中脊玄武岩相似（ $2 \sim 5 \times 10^9$ ）看來，二氧化碳即是攜帶此地函來源主要介質。反之，其它地區以甲烷為主要氣體成份之泥火山噴氣（ $\text{CH}_4 > 92\%$ ），其氦同位素比值（ $< 0.2R_a$ ）與地殼源成份相近，暗示甲烷主要為地殼來源。

整體說來，台灣西部天然氣之氦同位素比值成份與其所含二氧化碳含量呈線性相關（圖二），暗示著台灣西部至少需要兩個氣體來源端成份：（1）以含二氧化碳為主的地函源端成份；（2）以甲烷氣為主的地殼源氣體端成份。可是此二端成份似乎無法解釋台灣西部地區所有氣體成份分佈，另一個以含甲烷氣為主卻有較高氦同位素比值的端成份是必要的，以解釋中崙濁水潭（CL3）、白沙屯氣井（PST）及八掌溪氣井（PCC）氣體成份（圖二）。



圖一：台灣西部天然逸氣與深鑽氣井氣體之氦同位素比值三端元成份投圖。ASW=含飽和空氣之地下水；C=地殼源；M=地函源。（SHTY：水火同源；KZL：關仔嶺；WSD：烏山頂；MP：燕巢；SKS：小滾水；HS：出火；CL：中崙；TA：泰安；PP：北埔；CHK：出磺坑；PST：白沙屯；PCC：八掌溪）

此一結果顯示，台灣西部天然氣成份中之二氧化碳主要源自於地函源；可是以甲烷氣成份為主的地表天然逸氣（如水火同源、出火、及各地區泥火山）與深鑽氣井之成份，卻有不同的氣體來源。來自於較深部氣井的甲烷氣，明顯受到地函源成份影響；而地表甲烷逸氣則以地殼源為主。



圖二：台灣西部天然氣成份需要三個端元成份來源以不同比例混合而成。

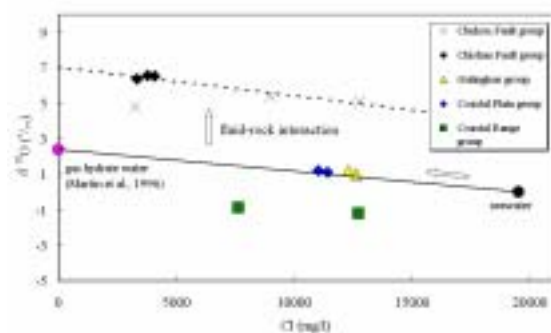
此外，採集台灣西南部旗山斷層帶（烏山頂、新養女湖）、古亭坑層（小滾水）與海岸平原（滾水坪）的泥火山流體，與觸口斷層帶（關子嶺、中崙）的泥溫泉流體以作為比較。

歷次海域天然氣水合物與海底泥火山的鑽探研究均指出，天然氣水合物的融化水是一種 $\delta^{18}\text{O}$ 介於 2-3‰ 的淡水，可以對岩心孔隙水或海底泥火山的流體造成離子濃度降低與 $\delta^{18}\text{O}$ 升高的影響（Hesse et al., 1981; Martin et al., 1996）。而台灣西南部海岸平原與古亭坑層的泥火山液體，除了具有海洋沈積水的成分以外，另一個端源就符合這種天然氣水合物融化水的特徵（圖三）。此外，台灣西南部泥火山的氣體皆以甲烷為主，佔 90% 以上。所以這些泥火山流體可以解釋為是海洋沈積水與天然氣水合物的混合物。然而，台灣西南部的陸地並不存在天然汽水合物的生成條件，何以對泥火山流體提供這種來源呢？

台灣南部從陸地延續至恆春海脊是典型的增生楔（accretionary wedge）大地構造。增生楔前緣因快速的沈積作用產生巨厚的沈積物堆積，是孕育天然氣水合物的理想環境。而台灣西南海域的海底仿擬反

射層，正位處於增生楔的前緣海床裡。由於造山運動，增生楔前緣的沈積物受到擠壓而抬升，如果沈積物中含有天然氣水合物，將會融化成天然氣與水。大部分的天然氣都釋放至大氣中，並對地球的氣候產生影響（Hudson et al., 2002）。殘餘的天然氣與水，如果隨著造山運動而上陸，就提供海岸平原與古亭坑層泥火山流體成分的一個端源。

觸口斷層與旗山斷層的泥火山、泥溫泉流體，則具有很高的 $\delta^{18}\text{O}$ ，可能經歷水岩交換反應（圖三）。由氧同位素溫度計（詹，2001）推測其水岩交換反應的平衡溫度為 150°C ，暗示其流體曾被封存在 5km 的深處，後才經由較深的斷裂擠出。也由於如此，觸口斷層與旗山斷層的泥火山流體往往具有較高的溫度，有些因此而成為泥溫泉。



圖三：海岸平原與古亭坑層的泥火山流體可以解釋為是海洋沈積水與天然氣水合物的混合物。觸口斷層與旗山斷層的泥火山、泥溫泉流體，則具有很高的 $\delta^{18}\text{O}$ ，可能經歷水岩交換反應。

增生楔前緣海域所賦藏之天然氣水合物隨著造山運動的擠壓而融化，融化時造成沈積物液化與壓力遽增，因此擠出海床而形成海底泥火山。其釋放之甲烷提供泥

火山氣體的來源，而融化的水則混合海洋沈積水構成泥火山的液體。地層抬升至陸地後，殘餘的天然氣與水繼續藉由泥火山的管道釋放至地表。少部分流體則被封存在岩層中，深埋至 5km 處與圍岩發生反應，後才經由較深的斷裂擠出地表（圖四）。增生楔陸上的泥火山，實則與增生楔前緣海域的天然汽水合物賦藏有關。

由台灣西南部泥火山流體的地化特徵，支持台灣西南海域賦存甲烷氣水合物的可能性。



圖四：增生楔前緣海域所賦藏之天然氣水合物隨著造山運動的擠壓而融化，融化時造成沈積物液化與壓力遽增，因此擠出海床而形成海底泥火山。地層抬升至陸地後，殘餘的天然氣與水繼續藉由泥火山的管道釋放至地表。少部分流體則被封存在岩層中，後才經由較深的斷裂擠出地表。

參考文獻

- Hesse, R. and Harrison, W. E. (1981) Gas Hydrates (Clathrates) Causing Pore-water Freshening and Oxygen Isotope Fractionation in Deep-water Sedimentary Sections of Terrigenous Continental Margins. *EPSL*, 55, 453-462
- Hudson, T. L. and Magoon, L. B. (2002) Tectonic Controls on Greenhouse Gas Flux to the Paleogene Atmosphere from the Gulf of

Alaska Accretionary Prism. *Geology*, 30, 547-550.

Martin, J. B. and Kastner, M. (1996) Chemical and Isotopic Evidence for Sources of Fluids in a Mud Volcano Field Seaward of the Barbados Accretionary Wedge. *JGR*, 101, 20325-20345.

詹博舜（2001）由穩定氫氧同位素探討台灣西南活動構造帶泉水之來源。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文。