



台灣的泥火山

文・圖／楊燦堯（地質科學系副教授）

泥火山是火山？

地表下的天然氣體沿著地下裂隙上湧，沿途混合泥砂與流體，形成泥漿，並被帶至地表堆積，凡是經由這種過程所形成的地形均稱為泥火山(mud volcano)。形成泥火山需有三個要件：（1）地底有高壓儲氣層；（2）岩層有裂隙，可供氣體與流體流至地面；（3）岩層中有膠結鬆散、易被流體帶動的泥質物。類似的逸氣現象，若是沒有泥質物，便只能形成只有噴天然氣的噴氣口（如關仔嶺水火同源、與恆春出火）。

泥火山一般分佈於板塊交界，受到大地應力作用由深海沈積處擠壓而成，有些分佈於海底，有些則被擠壓而出露於陸上。所以泥火山雖名為「火山」，卻大多與火山活動無關。

泥火山研究的價值

泥火山所攜帶出來的物質（包括泥漿、流體、與氣體），代表著板塊擠壓過程中，地底下岩石與周圍流體交互作用結果的產物。一般說來，欲瞭解板塊間交互作用過程，必需要花費大量經費，於板塊邊界鑽取深井，才能取得地底下樣品，予以進一步研究；而陸上泥火山則為一現成廉價的研究素材，成為學者們爭相研究的熱門題材。最近的研究結果顯示，泥火山的噴氣量與所噴發氣體的成份變化，與鄰近的地震及斷層活動可能有密切關連，而成為學者們監測地震活動的另一項有利工具。

近年來天然氣水合物（Gas hydrate）在世界各處陸續被發現，依其廣大的蘊藏量而被認為有機會取代石油而成為二十一世紀的新能源；台灣西南海

域，也被辨識出有廣大的天然氣水合物分佈，海床上更可發現許多正在冒氣的海底泥火山；這些海底泥火山，推測為天然氣水合物受到源自於地底深部的熱液影響水解融化，而釋放出大量天然氣。

除了能源考量以外，泥火山持續噴發至地表大量的溫室氣體，對於環境所造成可能的影響，也正被學者們密切評估中。

台灣泥火山的分佈

早年學者對於台灣陸上的泥火山便已有相當詳細的調查研究，據石再添在民國 56 年的調查，當時台灣共計有 64 座泥火山分佈於 17 個地區（Shih, 1967）；然經過多年環境變遷與人為破壞，許多泥火山已不再活動或已不見蹤跡（王等，1988；謝，2000；葉，2003）；依據目前可以發現而仍在活動的泥火山，可以分為以下五個主要活動區：

（1）觸口斷層活動區

這個活動區在台灣西南部內位置最北，主要分佈於觸口斷層沿線，比較著名的噴發地區有：嘉義中崙濁水潭、與關仔嶺溫泉、與長年不滅的水火同源。

由於本區的泥岩分佈不若其他地區的廣泛，所以地表沒有顯著泥火山地形的出露，但因為本區地底蘊含有不同的儲氣層，沿著斷層帶這些天然氣（包括二氧化碳與甲烷氣）很容易地便逸散至地表，成為特殊景觀。因此其中位於中崙地區的濁水潭，其噴氣成份便有高達 75 ~ 90% 的二氧化碳及較為少量的甲烷（5 ~ 15%），與其他地區泥火山之噴氣往往含有 > 95% 的甲烷明顯不同。

由於處於深斷裂的觸口斷層帶上，位於深部的熱泉亦相對容易湧出至地表，所以除了中崙地區終年

常溫的大小泥水潭外，本地區亦有全省僅見的泥溫泉（關仔嶺溫泉、與規模較小的中崙溫泉）。

此外，本活動區中著名的水火同源，因為其逸出氣體以甲烷為主（～95%），在逸散至地表的過程中，沒有通過泥岩層，且出口位置正位於水潭處，故而生成終年不滅自燃的特殊景觀。

（2）古亭坑背斜活動區

本活動區出露的岩層以泥岩為主，厚度在2,000公尺以上，岩性鬆軟，極易風化，許多地區已成爲惡地地形。本區的泥火山大多分佈在古亭坑背斜軸沿線上，由於背斜構造本有利於油氣匯聚，因此水氣容易沿著軸部之張力裂隙流動，湧冒至地表而形成泥火山。

據文獻報導，本活動區有五個主要的泥火山區，由北往南依序爲：鹽水坑泥火山區、龍船窩泥火山區、烏山頭泥火山區、大滾水泥火山區、與小滾水泥火山區。前三者泥火山活動規模都很小，且不易尋獲；後兩者則持續活躍，其中大滾水噴泥口位於一座直徑約爲50公尺的池塘中央，不時傳來如水沸騰般的聲音；而小滾水是本活動區最南，恰巧位於著名的「月世界」風景區，是本活動區泥火山群中最活躍的一區，不時有泥漿湧出，並發出隆隆的響聲，其勢甚爲壯觀。

（3）旗山斷層活動區

本活動區的泥火山群大多沿著旗山斷層發育，大多分佈於高雄縣燕巢鄉，可以分爲小份尾泥火山區、南勢湖泥火山區、千秋寮泥火山區、烏山頂泥火山區、與深水泥火山區。

前二者的噴發規模都不大，噴泥量小。著名的養女湖與新養女湖則位於千秋寮泥火山區。養女湖的噴泥量驚人，周圍數十公尺方圓內都被泥漿覆蓋，形同一泥湖；除了噴發巨量泥漿以外，還會間歇噴發大量天然氣，點燃後火勢可持續數秒鐘之久。離養女湖南方約400公尺處，還有一座噴泥更旺盛的泥火山，名曰新養女湖；它的噴口呈長約3公尺的橢圓形，連續噴發著大量泥漿及天然氣，天然氣一

旦點燃後可以持續燃燒達數十秒。

其南邊則爲烏山頂泥火山區，共有數座泥火山分佈於本區，其中最高大的一座泥火山，每隔數秒即噴發一次，高約3.5公尺，坡度約50度，是一座標準的噴泥錐，具漂亮的火山錐外觀；其旁約50公尺處，有另一座較低的泥火山錐，只偶而冒氣泡一次。這兩座泥火山是台灣最具規模、並保存良好的泥火山，最具觀賞價值。

烏山頂南方則爲深水泥火山區，許多休眠的泥火山群沿著溪谷分佈，噴發之泥漿充填整個溪谷，目前已經乾涸。其中一座位於高師大燕巢校區內，目前仍持續活動噴氣中；校區外圍仍可發現數座小規模活動中的泥火山。

（4）高屏海岸平原活動區

本活動區的泥火山位於高屏海岸平原上，有數個獨立的泥火山。本區內主要仍在活躍中的泥火山爲滾水坪泥火山區，本區位於高數公尺面積達350,000平方公尺的平頂丘上，平頂丘上有一噴泥口正不斷的噴著泥漿與天然氣。

著名的屏東鯉魚山泥火山，平常則處於休眠狀態，每隔一段時間（半年至數年），便有大規模噴發，每次噴發時都非常壯觀，除了震耳欲聾的噴發聲及熊熊沖天的火光外，並伴隨有大量的泥漿。

（5）海岸山脈南部活動區

本活動區的泥火山群分佈在海岸山脈南段利吉層泥岩出露區，主要的泥火山有花蓮縣的羅山鹽埕泥火山區、及台東縣的電光雷光火泥火山區。二者的泥火山噴發規模皆不大，因為噴發出泥漿的水分含量高，黏稠度低，無法形成壯觀的火山錐外形。

台灣泥火山流體來源之探討

除了少數幾座泥火山以外，採自噴發口以下的泥漿水皆有固定的組成，可以代表其源自於地底的原始組成。由已有的分析資料顯示，台灣東部泥火山的泥漿水有較輕的氧同位素比值，顯示這些泥火山在噴發過程中，明顯受到天水再循環影響。

而台灣西南部泥火山的泥漿水成份則可以分爲兩

The map displays the island of Taiwan with its characteristic mountainous topography. Key features include the Central Mountain Range (中央山脈) running north-south, the Coastal Range (海岸山脈) along the eastern coast, and the surrounding waters of the Philippine Sea (菲律賓海) to the north and the South China Sea (南中國海) to the east. Major cities like Taipei (台北), Taichung (台中), and Keelung (基隆) are marked. The map also shows the Taiwan Strait (台灣海峽) to the west. Latitude lines are marked from 22°N to 25°N, and longitude lines from 120°E to 122°E.



大群：一群為古亭坑背斜與高平海岸平原活動區的泥火山，另外一群則為旗山與觸口斷層活動區的泥火山。前者有較輕的氧同位素比值，若是配合泥漿水中的氯離子成份，可以發現這些泥漿水成份恰好落在海水與天然氣水合物的混合線上；這代表著天然氣水合物的解離水是泥火山流體的一個重要端成份，同時也說明了這些泥火山甲烷逸氣的來源，可能是台灣西南海域海床底下結冰的天然氣水合物，受到熱液與板塊碰撞擠壓影響而解離出來的產物；唯其二者間的關係，還需要進一步的詳細研究予以釐清。

台灣西南部處於斷層沿線的泥火山，則有比較重的氧同位素組成，代表著這些泥漿水可能源自於地底深處，高溫下黏土礦物脫水過程中，流體與礦物間交互作用後的產物。利用泥火山所噴出泥漿中黏土礦物與泥漿水的氧同位素比值，我們可以進一步推算出其平衡當時的溫度約為 160 ~ 210°C；假設台灣西南部平均地溫梯度約為 30°C/km，則我們可以初步估算出這些泥漿水源自於地底深 5 ~ 7 公里處。

泥火山的噴氣與溫室效應

除了少數地區，台灣主要泥火山的噴氣成份皆以甲烷氣為主（> 95%），且其氣體成份亦如預期與典型地殼來源氣體一樣有較低氮同位素比值，顯示源自大陸地殼的沈積物為其主要氣體原源；而初步的碳氫化合物成份與其碳同位素研究結果亦顯示，泥火山所噴出之甲烷氣是以熱分解來源為主，而源自地表淺處生物作用所生成的甲烷氣所佔比例應屬少量。台灣西南部的關仔嶺水火同源、與恆春出火終年不滅的自燃景觀所噴氣的氣體亦是以甲烷氣為主，其主要成份與其他地區泥火山所噴出的氣體相近。

值得一提的是除了甲烷氣以外，有些地方的泥火山底下，可能蘊藏有不只一種儲氣層，亦會沿著深斷裂，與甲烷氣一起噴出地表。如位於觸口斷層的中崙濁水潭與溫泉水，其噴氣成份便以二氧化碳為主（> 80%），甲烷氣反而只佔少量（< 15

楊燦堯 小檔案

簡歷：

1983/6 國立台灣大學地質學系學士

1992/6 國立台灣大學地質學研究所博士

1993/10 ~ 1994/9 美國 Woods Hole 海洋研究院教育部公費博士後研究

1998/9 ~ 1999/1 日本大阪大學行星與地球科學系訪問研究

1995/8 ~ 迄今 台大地質科學系副教授

專長：地球化學

最近研究興趣：

地震與火山活動監測、溫泉與泥火山的成因研究、台灣西南海域天然氣水合物的分佈調查

%)，鄰近的關仔嶺溫泉與水火同源便或多或少受到此深源氣體影響，而與西南部其他地區泥火山噴氣成份有所不同。此外，海岸山脈的泥火山噴氣成份，明顯有較高量的氮氣含量，由氮同位素比值分析結果顯示，這些噴氣都伴隨有相當比例的岩漿源成份，顯然台灣東部地底下仍然有殘餘的岩漿熱源影響著當地，而造成有較高的地溫梯度，而形成局部的溫泉（如安通與利吉溫泉、及著名的綠島海底溫泉）。

由於甲烷氣體和同量的二氧化碳氣體相較起來，可造成 20 倍的溫室效應，故而自然界少量的甲烷氣釋放，便可能對全球環境造成深遠的影響。最近的研究報導，單一個泥火山所噴發出來的甲烷量每年可達 1,000 公噸以上。若進一步估算全球泥火山所噴發出來的甲烷氣，保守估算每年可達 3,000 ~ 7,000 萬公噸，已佔生物活動所生成量的 8 ~ 18%；此一估算，尚未包含醞藏於海底大量的天然氣水合物，因故所釋放出大量的甲烷氣。此一估算結果，遠超過以往被人們長期所忽略由泥火山所釋放出來的甲烷量，因而再度引起學著們重新評估其對環境可能所造成的影響。

初步估算台灣地區由泥火山噴氣口所釋放出來的甲烷量每年約為 30 公噸，若是再加上泥火山周圍由土壤所釋放出來的量，保守估計每年可達 350 公噸。此一估算結果，與世界上其他中小型泥火山的



台大人 談台大事

文・圖／陳汝勤（海洋研究所教授；本刊編委）

我第一次踏上台大的校園約在1957年的春天，那時我在師大附中唸高二，學校舉辦行軍活動，在台大大門口集合步行到新店碧潭再回到台大大門口解散，我的好友金昭興（前經濟部水資局副局長）戲稱，如明年起每天由台大往返成功新村（當時我與金君均住和平東路成功新村即今之成功社區）也是件美事，我回答說一定要打拚才能達到那個願望。1958年暑假經過大專聯考的劇烈競爭（錄取率約35%），我終於進入全國最高學府台大地質系就讀。我在地質系四年間修讀160學分，並以英文撰寫學士論文一篇（共65頁另加附

圖）。我的老師們—馬廷英、阮維周、畢慶昌、林朝榮、顏滄波、黃春江、陳培源、王超翔、王源等教授均為地質界飽學之士，教學熱心、認真，並且對學生的要求十分嚴謹。在地質系就讀期間，很多的時候都是在實驗室看岩石切片，繪製如同「照相版」的「切片圖」，並以英文書寫實驗報告，當時系裡的硬體設備十分缺乏，但老師們給予我們嚴謹的訓練，奠定了日後在國外留學生涯的良好基礎。當時地質系的課程中德文必修兩年，我也選了一年法文，所以後來我在美國唸博士學位時很快就能通過科學語文測驗（除英文以外之兩種外

（文承上頁）

噴發量相當，不過這僅是初步估算，並未包含當泥火山劇烈噴發時的噴發量，與海域大量泥火山與天然氣水合物可能的釋放量；我們需要更精確的逸氣量測與估算，以進一步評估其對環境可能之影響。

結語

泥火山為一地表特殊的地形景觀，除了可開發作為觀光景點，作為絕佳的鄉土教學題材外，更是大自然所賜予的天然實驗室。它透露出了隱藏於地底的訊息，藉由對它詳細的研究，讓人們可以更瞭解所處大地的生成環境與演化歷史，協助我們找尋可能的能源，及評估其對全球環境變化的影響。[圖]

參考文獻

1. 王鑫、徐美玲、楊建夫（1988）台灣泥火山地形景觀。台灣省立博物館年刊，第31卷，31-49頁。
2. 葉高華（2003）由流體地球化學探討台灣泥火山的成因。國立台灣大學海洋研究所碩士論文，共61頁。

3. 謝佩珊（2000）台灣地區溫泉與泥火山氣體來源之初探。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共77頁。
4. Gieskes, J.M., You, C.F., Lee, T., Yui, T.F. and Chen, H.W. (1992) Hydro-geochemistry of mud volcanoes in Taiwan. *Acta Geologica Taiwanica*, vol. 30, p. 79-88.
5. Shih, T.T. (1967) A survey of the active mud volcanos in Taiwan and a study of their types and the character of the mud. *Petroleum Geology of Taiwan*, no. 5, p. 259-310.
6. Yang, T.F., Chen, C-H., Tien, R.L., Song, S.R. and Liu, T.K. (2003) Remnant magmatic activity in the Coastal Range of East Taiwan after arc-continent collision: fission-track date and $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio evidence. *Radiation Measurements*, 36, 343-349.
7. Yang, T.F., Chou, C.Y., Chen, C-H., Chyi, L.L. and Jiang, J.H. (2003) Exhalation of radon and its carrier gases in SW Taiwan. *Radiation Measurements*, 36, 425-429.
8. Yang, T.F., Jiang, J.H., Chen, C-H., Chou, C.Y., Chyi, L.L., Song, S.R., Lee, C.Y. and Lee, M., Lin, C.W., Lin, C.C. and Liu, T.K. (2003) Seismo-geochemical variations in SW Taiwan: multi-parameter automatic gas monitoring results. *Pure and Applied Geophysics* (in review)
9. Yang, T.F., Yeh, G.H., Fu, C.C., Jiang, J.H., Wang, C.C., Lan, D. F., Chen, C-H., Walia, V. and Sung, Q.C. (2003) Gas exhalation from mud volcanoes in Taiwan. *Environmental Geology* (in review)