

試利用硼、氫及其同位素與硫酸根濃度比較台灣西南海域被 動大陸邊緣與主動大陸邊緣沈積物孔隙水之地球化學特性

趙鴻椿、游鎮烽*
國立成功大學地球科學系

摘要

硼和氫為地表水圈兩個重要的元素，在孔隙水中已被廣泛的應用於地球化學及水文學的示蹤劑。我們分析選取海研一號在台灣西南海域所採集之活塞岩心樣品（0-5 m）孔隙水中主要陰離子濃度，以及硼和氫的穩定同位素比值。分析結果顯示岩心中孔隙水的氫濃度變化不大、接近於海水。硼濃度略高於海水，但同位素比值低於海水，顯示出控制硼變化的主要機制是沈積物的成岩作用；主動大陸邊緣區域有著較高的硼濃度，指示著較強烈的成岩作用，與大地應力相符。氫同位素的結果則顯示出可能有深部流體的加入。硫酸根結果顯示著主動大陸邊緣有著較高的硫酸還原速率。總結來說，台灣西南海域岩心孔隙水的化學及同位素特性主要受控於在成岩作用時有機物的降解，伴隨著強烈的還原反應以及可能的深部流體加入。兩區域的泥火山皆為未來水合物的高潛力重點探勘區域。

前言

硼和氫皆有兩個自然發生的穩定同位素，而且他們的穩定同位素比值已被廣泛的應用於地球化學以及水文學領域，作為示蹤劑以及瞭解水體在岩層或地表水體的地球化學行為(You *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 1997; Gabler and Bahr, 1999; Lemarchand *et al.*, 2000; Kopf *et al.*, 2002)。硫酸根則會隨著孔隙水中氧化還原狀態而改變。台灣西南海域處於南中國海板塊與歐亞大陸板塊的交界，同時也是菲律賓板塊與歐亞大陸板塊碰撞的變形前緣，此區依變形前緣可粗分為兩大地質區域：東邊的主動大陸邊緣區域與西邊的被動大陸邊緣。除了海底海脊構造發達外，兩區域皆有海底泥火山的分佈。震測資料也顯示了大量海底擬反射層(BSR)的存在(Chi *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2005)。BSR 的存在代表了此區含有大量的甲烷水合物。本研究分析此區域岩心孔隙水以及底水主要陰離子、硼、氫同位素，試圖比較兩區域淺層沈積物孔隙水的地球化學行為及與甲烷水合物的關連。

研究方法

選擇台灣西南海域主動大陸邊緣 (ORI-697、ORI-718、ORI-758) 與被動大陸邊緣 (ORI-792) 區域所採集之活塞岩心及底水樣品 (core-top water)。岩心樣品以 5 cm 間距為單位裝入離心管中離心，離心後取上層之孔隙水，以 0.45 μm 之濾頭過濾後裝入 PP 材質的瓶中冷藏保存。利用離子層析儀 (Ion Chromatography) 分析孔隙水的主要陰離子 (Cl^- 、 SO_4^{2-}) 濃度，由薑黃素比色法所獲得孔隙水硼濃度。硼以及氦的同位素分析則是在國立成功大學地球科學系同位素地球化學實驗室進行，使用負離子源固態熱游離質譜儀 (n-TIMS) 技術測得。硼和氦同位素的比值分別將其標準化至 NBS 951 以及 NASS-5 的值。在分析精確度上兩種同位素在 95% 信心範圍內皆小於 0.5 ‰。

結果與討論

孔隙水中氦濃度在兩個區域皆接近海水、無明顯變化；指示雖然兩地質分區皆有明顯 BSR 分佈，但岩心並未取得水合物樣品。硼的方面，孔隙水中硼濃度大致上接近海水，但略高於海水，有隨著深度增加的趨勢；在淺部的海洋沈積孔隙水中，硼濃的增加主要指示的有機物的降解 (You *et al.*, 1995; Kopf *et al.*, 2002)。配合同位素的分析也顯示著相同的機制 (濃度增加，同位素比值變輕)。兩區域比較起來，主動大陸邊緣之岩心在岩心深部硼濃度較高，顯示了較劇烈的成岩作用發生。

大部分的站位顯示著隨深度遞減的硫酸根濃度，這在海洋沈積孔隙水中是普遍的現象；此機制為硫酸還原菌消耗甲烷、還原孔隙水中的硫酸根離子為硫化氫。當硫酸根離子濃度隨深度遞減至完全沒有硫酸根存在時，此深度就稱為 SMI (Sulfate Methane Interface) 深度 (Boroski *et al.*, 1996)；此深度的深淺主要取決於下方甲烷向上擴散的通量，通量越大，深度越淺；也因此成為水合物是否某存在的重要指標。兩個區域相比較，主動大陸邊緣有許多站位可以直接在岩心樣品中檢測出 SMI 深度 (小於 5 m)；而被動大陸邊緣除了泥火山的站位外，少有可直接檢測出 SMI 深度的站位，有些站位甚至無硫酸根濃度變化。

結論

採自台灣西南部海域的岩心孔隙水硼的濃度以及同位素比值顯示孔隙水硼的行為主要是受控於成岩作用發生時有機物的降解；主動大陸邊緣區域較被動大陸邊緣區域有較強烈的成岩作用發生，與大地應力符合。氦濃度與海水相似、無明顯變化，顯示在採集深度內並無水合物的產生。硫酸根濃度隨著深度遞減，甚至在淺處即可測得 SMI 深度，與強烈硫酸還原反應發生有關。主動大陸邊緣區域有著較淺的平均 SMI 深度，值得水合物方面的深度研究；被動大陸邊緣可聚焦於泥火山區域。

參考文獻

- Boroski, W. S., C. K. Paull and W. Ussler III, Marine pore-water sulfate profiles indicate in situ methane flux from underlying gas hydrate. *Geology*, **24**, 655-658 (1996).
- Chi, W. C., Reed, D. L., Liu, C. S. and Lausch, E., Distribution of the bottom-simulating reflector in the offshore Taiwan collision zone. *TAO*, **9**, 779-794 (1998)
- Gabler, H. and Bahr, A., Boron isotope ratio measurements with a double-focusing magnetic sector ICP mass spectrometer for tracing anthropogenic input into surface and ground water. *Chemical Geology*, **156**, 323-330 (1999)
- Kopf, A. and Deyhle, A., Back to the roots: boron geochemistry of mud volcanoes and its implications for mobilization depth and global B cycling. *Chem. Geol.* **192**, 195-210 (2002)
- Lemarchand, D., Gaillardet, J., Lewin, E. and Allegre, C. J., The influence of rivers on marine boron isotopes and implications for reconstructing past ocean pH. *Nature*, **480**, 951-954 (2000)
- Liu, W. G., Xiao, Y. K., Wang, Q. Z., Qi, H. P., Wang, Y. H., Zhou, Y. M. and Shirodkar, P. V., Chlorine isotopic geochemistry of salt lakes in the Qaidam Basin, China. *Chem. Geol.* **136**, 271-279 (1997)
- You, C. F., Chan, L. H., Spivack, A. J. and Gieskes, J. M., Lithium, boron, and their isotopes in sediments and pore water of Ocean Drilling Program Site 808, Nankai Trough: Implications for fluid expulsion in accretionary prisms. *Geology*, **23(1)**, 37-40 (1995)