

臺灣西南海域沉積物之礦物自生作用：甲烷冷泉滲流之隱示

江威德

國立成功大學地球科學系

摘 要

臺灣西南海域數個海脊地區之沉積物岩心礦物學分析顯示含有黃鐵礦(pyrite, FeS_2)、磁黃鐵礦(pyrrhotite, Fe_{1-x}S)、酸可萃取硫化物(acid volatile sulfide, AVS)、富鐵膨潤石(ferric smectite)、含鎂方解石(calcite, CaCO_3)為主之碳酸鹽、鎂藍鐵礦(baricite, $(\text{Mg,Fe})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)、石膏(gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)和重晶石(barite, BaSO_4)等自生礦物或物質，這些物質的生成反映沉積物中化學環境多變之紀錄，其中部份可能直接或間接與冷泉滲流或逸洩相關。本文旨在介紹這些礦物之生成及其與冷泉活動之可能關係。

黃鐵礦莓狀體或集合體深度蔓生和高密度黃鐵礦基質晶粒常見於海脊，具有異常強烈冷泉地球化學徵兆之處，例如具有較淺之硫酸鹽—甲烷過渡帶或介面(sulfate-methane transition or interface, SMT or SMI)，但此等產狀亦有反映冷泉遺址者。磁黃鐵礦可見於少數岩心，可能生成於先前冷泉緩慢逸洩或擴散之情況，使硫化氫相對於鐵離子之生成速率適合形成磁黃鐵礦；磁黃鐵礦之後期黃鐵礦化及再生長可能反映冷泉逸洩狀況之變化。AVS 出現之深淺不一，顯示有複雜因素控制，部份 AVS 可鑑定是以四方硫鐵礦(mackinawite, Fe_{1+x}S)、硫複鐵礦(greigite, Fe_3S_4)和非晶質硫化鐵為主要組成，此等假穩定相顯係相對於單硫化鐵快速過飽和情況下生成，鐵離子濃度快速升高是控制因素之一；有些 AVS 包裹或填隙黃鐵礦莓狀體，另可見部份 AVS 團塊有高密度黃鐵礦散佈晶粒生成其中，反映化學環境之動態變化。

由富鎂方解石、白雲石或霏石構成之碳酸鹽結核粒與黃鐵礦顯著蔓生共存，且和冷泉地球化學特徵密切相關；菱鐵礦或鐵白雲石生成於片狀矽酸鹽解理面間，屬於相對緩慢擴散生長之產狀。自生重晶石可見於部份岩心，可能記錄著與現今或先前 SMI 相關之重晶石前緣(barite front)。自生石膏膠結碎屑沉積物，部份則膠結或包圍黃鐵礦。

鎂藍鐵礦可見於有冷泉活動徵兆之海脊，亦可見於 $\text{SMI} > \sim 10$ 公尺之岩心，多出現在 SMI 下方，形成放射狀晶簇，大多有鐵鎂比例變化，有些岩心中可見黃鐵礦晶粒填隙其中，有些則可見鎂藍鐵礦膠結包裹黃鐵礦莓狀體，且晶束間隙及外圍另為 AVS 包覆，顯示硫酸鹽還原及反應性鐵溶解之條件轉變。

富鐵膨潤石常見充填有孔蟲殼體，亦生成丸粒或團塊包裹部份殘存之碎屑物，常見伴隨顯著蔓生之黃鐵礦，同時可見棉絮狀黃鐵礦生長於黏土縫隙之間，推測富鐵膨潤石丸粒生成於沉積物—海水介面附近，富鐵條件或與甲烷冷泉溶解反應性鐵相關，而富鐵膨潤石丸粒本身亦可為反應性鐵的來源之一，與硫酸鹽還原產物反應，形成黃鐵礦。

前述這些自生礦物或物質之初探顯示海洋沉積物中化學環境之多變，特別是甲烷冷泉帶來的還原氧化作用，直接或間接地影響這些物質的形成及反應，多數為新奇的發現或觀察，惟尚待深入分析，以瞭解其礦物學特性、晶相生長關係和可能生成模式。