

文·圖 何恭算、鍾坤煒、洪誌楨

從揭開生命的起源，到探尋地球最古老的岩石或礦物晶體，一直是科學家們關注的焦點。隨著科學技術的進展，人們對解開大自然奧秘的能力也大大的提昇。科學家利用高解析度二次離子探針質譜儀(簡稱SHRIMP)，來測定岩石中所含鋯石顆粒的鈾-鉛年齡即是一個成功的例子。

鋯石的優勢在哪裡？

鋯石不論是歷經風化作用從母岩中移走而成碎屑堆積，或是發生熱液換質還是變質作用，它在形成當時的相關訊息仍能完整的被保存下來。由於鋯石可以提供結晶時的年齡、岩漿內氧十八同位素值、岩漿內微量元素成分等訊息，部分還含有一些共生的包裹體，因此，鋯石的研究在近年來已蔚成風潮，科學家以鋯石為工具，作為解開岩石身世和探索地球早期的一把鑰匙。

解開岩石身世之謎

科學家將野外採集回來的岩石樣品予以壓碎、淘洗後，再用重液和磁選等方式將鋯石從母岩中分離出來，最後利用實體顯微鏡挑出最純淨的顆粒。一個鋯石晶體可能是在穩定環境下持續發育形成，但也可能是在不同時期生長或成長過程周遭溶液的成分發生改變，所以經常可以發現具有環帶結構的現象。

我們以選自台灣北部瑞芳基隆山(圖1)安山岩內的鋯石顆粒為例，它清楚顯示具有環帶的特徵，經過SHRIMP分析發現，這顆鋯石的核心與外緣的鈾-鉛年齡相距甚大(圖2)。在外緣部分，它的鈾-鉛年齡為0.93百萬年(Ma)，與該區安山岩利用鉀-氬和核飛跡等方法所測定出來的年齡相當類似，說明鋯石外緣是在基隆安山岩岩漿活動時直接從岩漿晶出的產物，又稱為「岩漿型鋯石」。但在鋯石的核心處所分析的鈾-鉛年齡為125Ma，與外緣的年齡相比，明顯高出許多，此種年齡偏高的鋯石，我們稱它為「殘餘鋯石」。亦即它是在安山岩岩漿形成之前就已經存在的晶體，研判是岩漿上升途中從周遭混染進去的物質。所以從

小兵立大功 讓人著迷的礦物—鋯石



圖1. 位於北部濱海公路旁的基隆山是由安山岩所構成

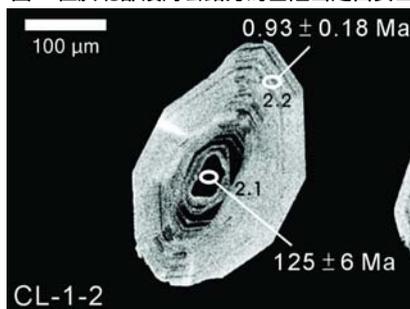


圖2. 基隆山安山岩內之鋯石的環帶影像及其鈾-鉛年齡

鋯石的樣貌與形成年齡，對基隆安山岩的成因過程能夠提供有利的線索。

揭開地球早期的面貌

科學家普遍認為地球的年齡大約是45億年，由於地球形成初期是顆炙熱的熔融火球，地殼形成之後又有活躍的板塊運動，因此，在40億年以前的岩石或礦物十分罕見，而人類對於地球形成初期的了解也就相當貧乏。但自從1986年澳大利亞研究人員在澳洲西部發現42億7千萬年的鋯石晶體，2001年更測出地球已知最老的物質：44億年前結晶的鋯石，被包裹在相對年輕的岩石裡，地質學界便颯起從中探尋地球起源奧秘的一股旋風。根據鋯石內氧十八同位素值研究發現，在地球形成之後約2億年，部分大陸地殼已經形成，而且地表溫度也下降，足以使水凝結成液態的海洋，這與過去科學家們大都認為距今約40億年前，即在地球誕生5億年後地殼才開始形成有明顯的差別。



圖3. 刻面型的風信子如同鑽石般具有「出火」的現象(產地：緬甸；重量：9.82及5.16克拉，張介宇攝)

2007年德國和澳大利亞地質學家又在澳洲西部的傑克丘陵(Jack Hills)，年代為31至43億年的鋯石內發現許多微小的鑽石，並將研究成果刊登在8月份的《自然》雜誌而再度吸引眾人的目光。如果這些鑽石與包裹它們的鋯石晶體具有相同的年齡，那麼它們將是已知最古老的鑽石，也比先前發現的鑽石還要早10億年。由於鑽石是在高壓環境下形成的，43億年鑽石的出現是否意味著當時已有巨厚的准陸殼？雖然這群鑽石是何時被包裹在鋯石晶體內的？形成機制又是如何？仍有待進一步釐清，不過對於探索地球早期形成的歷史，古老鋯石及其包裹體扮演著極為重要的角色，已是不爭的事實。閃亮的風信子——鋯石的另一種魅力

鋯石除了傳達重要地質科學訊息而具有學術研究價值外，也富有極高的經濟效益。鋯石是一種富含鋯的矽酸鹽礦物，其中部分的鋯常被鈿所置換，所以是人類

提煉氧化鋯和氧化鈿的主要來源。此外，鋯石又名風信子石，在寶石界的名氣也不小，因硬度高，具金剛光澤，透明典雅，所以早在古希臘時期就受到人們的喜愛，後來阿拉伯人、印度人也很喜歡，而在現今寶石界裡，還被評選為12月份的生日石。

鋯石的色散值很高，折射率可達1.810至1.984之間，在天然寶石中僅次於鑽石，加工琢磨成刻面型的裸石有如鑽石般會有「出火」的現象(圖3)；因此，無色透明的鋯石常被用來做為鑽石的替代品。

在自然界雖有各色鋯石產出，但在市面上多數是經過加熱處理的，例如：藍色鋯石常是黃色鋯石加熱而成；越南和泰國所產的紅褐色鋯石經加熱處理後，也可變成無色、藍色或金黃色，以增加經濟價值。此外，人工合成的立方氧化鋯(圖4)，其成分雖與鋯石相去甚遠，但在光學上與鑽石相近，因此也被用來作為「仿鑽」的材料，「蘇聯鑽」即是此類合成物質所琢磨出來的產品。

鋯石何處尋？

鋯石多產在火成岩中，尤其在正長岩、二長岩、閃長岩、花崗岩和偉晶花崗岩內含量最多(圖5)，因抵抗磨蝕能力強且比重大，所以也常殘留在河床或海岸的重砂中。世界出產鋯石的國家很多，但可作為寶石的卻相當有限，斯里蘭卡產量最多，且大部分為綠色鋯石，法國則以出產紅色鋯石較為知名。台灣雖然沒有寶石級鋯石，但是細小晶體卻相當普遍，在中央山脈東斜面的變質岩、東北部偉晶花崗岩、新竹縣竹東關西一帶的鹼性玄武岩(圖6)、基隆火山群安山岩，以及台灣各地的重砂礦床中，都有它的蹤跡。

鋯石因具有經濟價值而受到普羅大眾的青睞，但也富有學術研究價值而博得地質學家的關愛。一沙一石一世界，為揭開大自然神秘面紗，鋯石已為我們開啟了一扇窗，要探尋深藏其中的奧秘，解開更多的密碼，仍賴地質學家戮力來達成。



圖4. 人工合成的立方氧化鋯常作為「仿鑽」之用

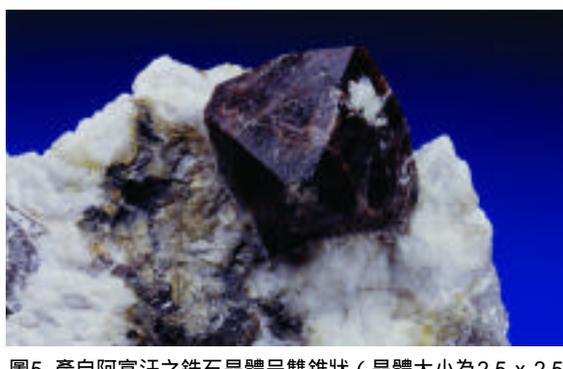


圖5. 產自阿富汗之鋯石晶體呈雙錐狀(晶體大小為2.5 x 2.5公分，張介宇攝)



圖6. 新竹關西馬武督一帶的紅褐色鋯石