

月球年齡可能少了兩億年？

月亮，自古以來一直是人們欣賞觀想和詩人吟詠的對象，各民族關於月亮的傳說更是不勝枚舉。對於月球是怎麼形成的？又是在什麼時候誕生的？一直是千百年來人們極欲探索的問題。

在太陽系形成初期，剛形成的地球與一個火星大小的天體（Theia）相撞，其相撞的殘骸混合著被撞出地球的碎屑（包含了地殼和地函物質），形成了現在的月球，此即目前學術界最主流的月球誕生理論——大碰撞說^{[1][2]}。

根據大碰撞說，月球形成初期由於碰撞的巨大能量而形成岩漿海，之後才逐漸冷卻形成我們現在看到的月亮，而 FAN（含鐵鈣長石，ferroan anorthosite）被認為是最早從岩漿中結晶並且由於密度比岩漿小而浮於岩漿海上層，因此根據此理論定出 FAN 的年紀應可代表月球的生成年齡。

然而僅靠 Pb 同位素系統定年有可能因為樣品在帶回地球的過程中受到含 Pb 同位素粉塵的污染而充滿不確定性。Borg 等人同時使用 ^{207}Pb - ^{206}Pb 、 ^{147}Sm - ^{143}Nd 和 ^{146}Sm - ^{142}Nd 同位素系統定年月岩樣品 FAN 60025，測量出其年紀約為 43.6 億年（4,360 ± 3 Ma），而此結果竟比之前認為的月球年紀（≈45 億年）年輕了許多，表示從岩漿海結晶形成月球的時間遠比之前預期的晚，或是長久以來認為的 FAN 堆積於岩漿海上層的理论是錯誤的（Borg, 2011）^[4]。而不論為何者原因，我們之前所認識的月球歷史都需要更新。

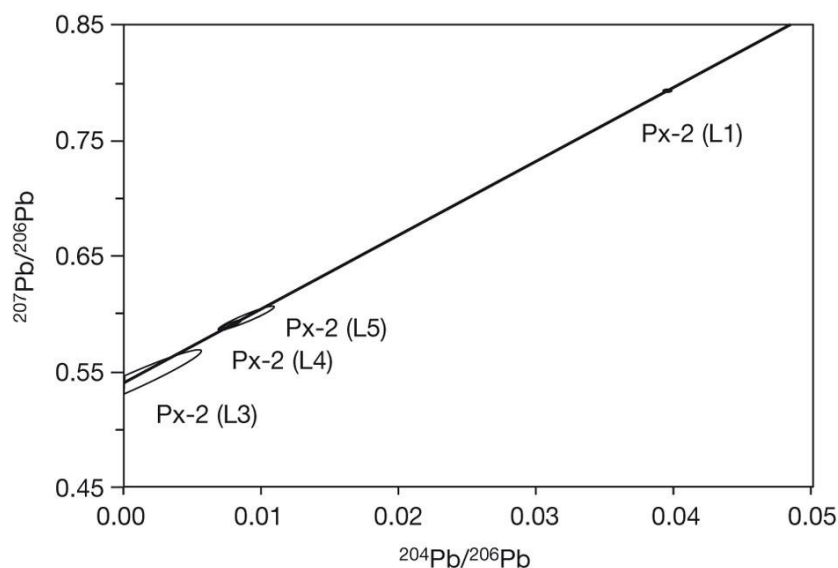
定年方式：

Borg 等人的研究為首次利用同一塊 FAN 樣品分別使用多組同位素系統來做定年，且得到一致的結果，而此結果提供強烈的證據指示出岩石結晶的年紀為 43.6 億年。

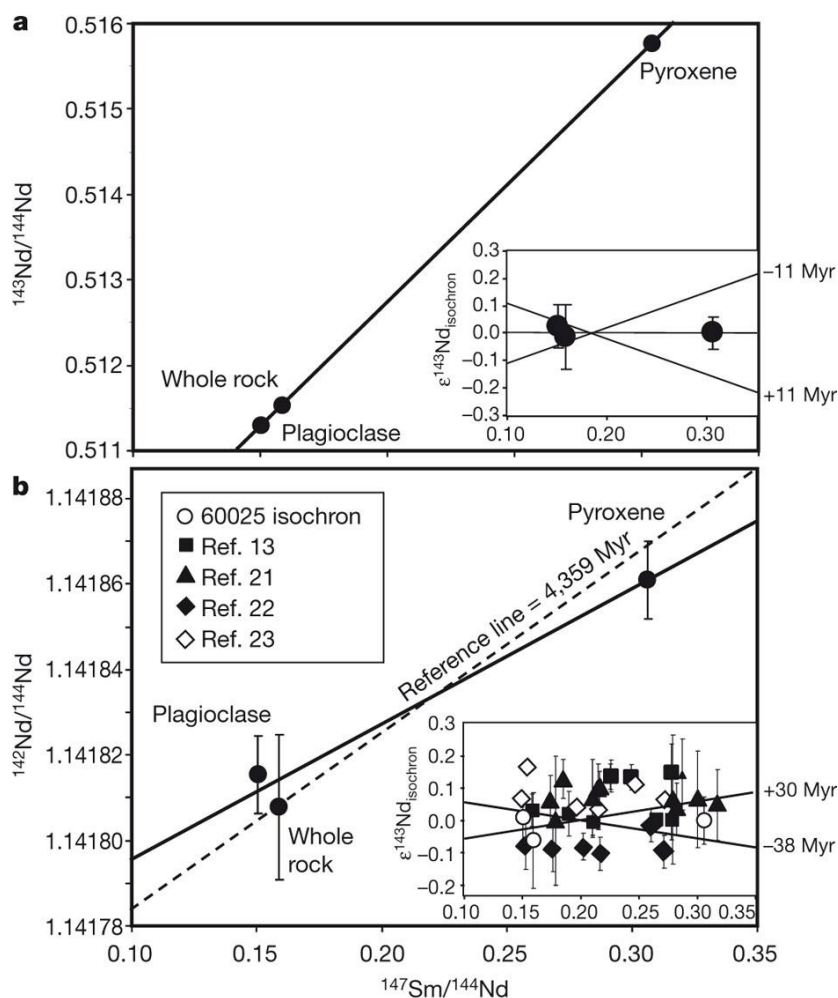
鉛系定年得自於將 FAN 中分離出的 105.4 mg 輝石，經過五次的淋溶後，其中四次的結果回歸出一條等時線（圖一），將年齡限制於 $4,359.2 \pm 2.4$ Ma。其中 Px-2 (L3) 的 $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比例為 0.000774，顯示其鉛的主要來源為由放射性元素衰變而來，因此可準確的限制此系統的時間。另外，Px-2 (L2) 為經由 1M 的 HF 淋溶，而經此步驟可將大量的地球來源的鉛污染溶解出，因此 Px-2 (L2) 沒在等時線上出現並不奇怪，而作者表示就算將 Px-2 (L2) 納入回歸計算，也僅會造成 10 Ma 的誤差。

Sm-Nd 同位素系統為利用全岩、輝石和長石作等時線定年，得到 ^{147}Sm - ^{143}Nd 等時線年紀為 $4,367 \pm 11$ Ma（圖二 a），比起前人研究的 FAN 60025 結果還要年輕 73 Ma。而將此文獻利用 IsoPlot program（作者使用的計算方式）重新計算後得到兩者的年紀僅相差 22 Ma。配合與鉛系定年相符的結果，顯示現在的定年技術比起早期更為準確。

此外作者亦有測量 ^{146}Sm - ^{142}Nd 的等時線（圖二 b 實線），儘管它的年紀比起 ^{147}Sm - ^{143}Nd 和鉛系定年少了 41~49 Ma，但它相對大的誤差範圍使得它們可能只相差 8~9 Ma，而此誤差可能來自於測量 $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值的誤差。另外將鉛系得到的年紀投到此圖上當作參考線（圖二 b 虛線），可發現此斜率坐落在 $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 的誤差範圍內。因此若忽略些微誤差，此結果亦符合鉛系和 ^{147}Sm - ^{143}Nd 定年的實驗結果。



圖一、鉛系同位素定年。使用 FAN 60025 分離出之輝石 105.4 mg，經過五次的淋溶後，其中四次的同位素比例得到等時線年齡為 $4,359.2 \pm 2.4$ Ma。



圖二、Sm-Nd 同位素系統定年。使用 FAN 60025 的長石、輝石以及全岩由 $^{147}\text{Sm}-^{143}\text{Nd}$ 得到 4367 ± 11 Ma 的等時線 (a 圖)，由 $^{146}\text{Sm}-^{142}\text{Nd}$ 得到 $4,318 \pm 38$ Ma 的等時線 (b 圖)。a 圖的插圖代表將等時線各點轉換成 ϵ_{Nd} 後的偏移程度；b 圖插圖則為比較其他文獻的等時線偏移程度。

參考資料：

1. 月球是如何形成的？
<http://www.tas.idv.tw/faq/98010911.htm>
2. 大碰撞說
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A7%E7%A2%B0%E6%92%9E%E8%AA%AA>
3. David, S. (2011) Moon may be 200 million years younger than thought. *New Scientist*, 2826
<http://www.newscientist.com/article/mg21128265.100-moon-may-be-200-million-years-younger-than-thought.html>
4. Borg, L.E., Connelly, J.N., Boyet, M., and Carlson, W. (2011) Chronological evidence that the Moon is either young or did not have a global magma ocean. *Nature*, 477, 70-72.
<http://www.nature.com/nature/journal/v477/n7362/full/nature10328.html>

撰稿：郭清順