

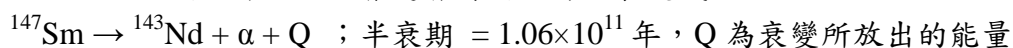
等時線 (Isochron)

等時線 (或稱等年線)

我們在定年岩石或礦物時，會利用子母元素間的關係 (例如： $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 和 $^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$) 作圖，將實驗所測量到的比例關係投在關係圖上並做線性回歸可得到一條直線 (圖一)，藉由此直線的斜率等於 $(e^{\lambda t} - 1)$ ，我們可由此得知此岩石或礦物的形成年代；由於此直線上的每一點所代表的時間皆相同，因此我們稱此直線為等時線或等年線。(其詳細原理見下列計算公式和說明)

以釷 (Sm) - 釷 (Nd) 系統為例：

(1) 釷的放射性同位素 ^{147}Sm 會隨著時間進行 α 衰變成 ^{143}Nd



(2) 放射性同位素的衰變速率與時間的關係為：

$$d^{147}\text{Sm}/dt = -\lambda^{147}\text{Sm} ; \lambda \text{ 為 } ^{147}\text{Sm} \text{ 之衰變常數, } t \text{ 為時間}$$

(3) 將 (2) 式積分得到下列關係：

$$^{147}\text{Sm} = ^{147}\text{Sm}_0 e^{-\lambda t} ; ^{147}\text{Sm} \text{ 為現在的 } ^{147}\text{Sm} \text{ 含量, } ^{147}\text{Sm}_0 \text{ 為未衰變前的初始 } ^{147}\text{Sm} \text{ 含量}$$

(4) 衰變產生的 ^{143}Nd 含量 (以 $\Delta^{143}\text{Nd}$ 表示) 為 ^{147}Sm 的原始含量減去現在的含量：

$$\Delta^{143}\text{Nd} = ^{147}\text{Sm}_0 - ^{147}\text{Sm} = ^{147}\text{Sm} (e^{\lambda t} - 1)$$

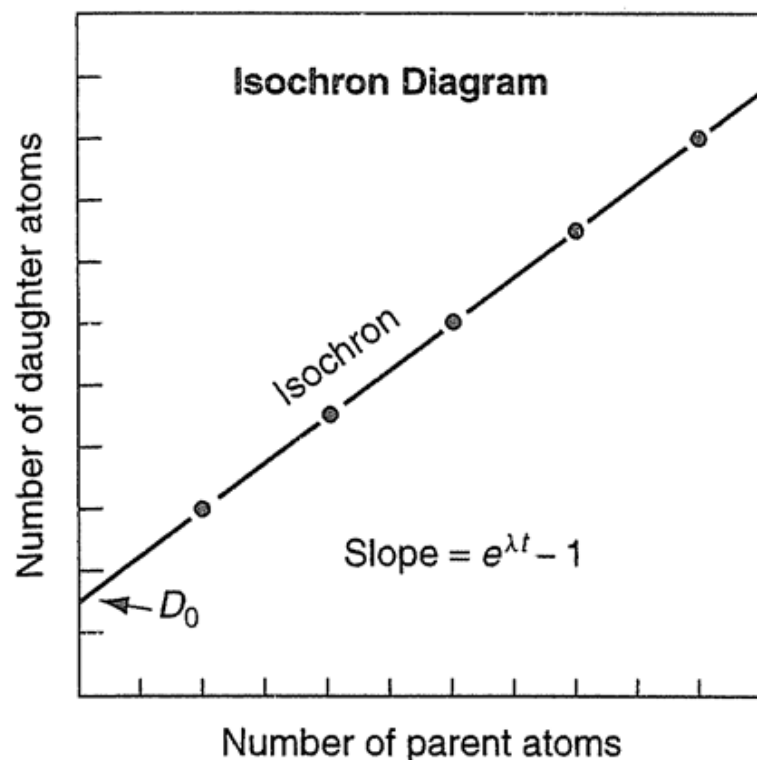
(5) 現有的 ^{143}Nd 含量為初始 ^{143}Nd 含量再加上由衰變而來的 ^{143}Nd 含量

$$^{143}\text{Nd} = ^{143}\text{Nd}_0 + ^{147}\text{Sm} (e^{\lambda t} - 1)$$

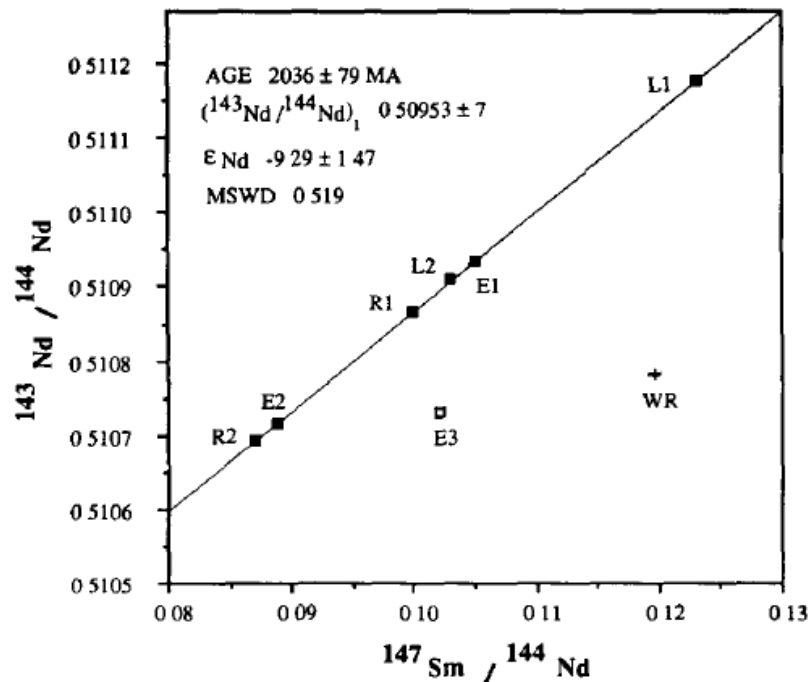
(6) 由於質譜儀是測量同位素比值，因此將 (5) 式除以釷的穩定同位素 ^{144}Nd

$$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_0 + (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})(e^{\lambda t} - 1)$$

(7) 對一樣品而言， $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_0$ 為一常數，故 (6) 式中之 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 與 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 為線性關係，其斜率為 $(e^{\lambda t} - 1)$ 。同時間形成之岩石或礦物會形成一 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 等時線，由其斜率可計算出該群岩石或礦物之形成時間。



圖一·等時線之示意圖：橫軸為母元素 (P)，縱軸為子元素 (D)， $D = D_0 + P(e^{\lambda t} - 1)$ 。



圖二·Bros 等人利用 Sm-Nd 同位素定年法分析西非加彭地區編號 3004 的黑色油頁岩樣品所得到的等時線實例，顯示出此樣品的形成年代約為 20 億年 (E：未經淋溶處理之樣品，L：處理後之淋溶液，R：淋溶處理後的殘留物，WR：全岩，粒徑編號 1：$0.2 \mu\text{m}$，2：$0.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$，3：$0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$)，圖片與資料來源：Bros et al. (1992)^[3]。

致謝：

撰寫本篇詞彙期間承蒙成功大學地球科學系楊懷仁教授的指導，並悉心修訂文稿，謹此誠摯感謝楊教授的協助。

參考資料：

1. 自然與人文數位博物館--火成岩的年代測定
<http://digimuse.nmns.edu.tw/Default.aspx?tabid=369&ObjectId=0b00000181da5429&D omin=g&Field=ri&ContentType=Exhibit&Language=CHI&FieldName=>
2. 郭龍泉 (1981) 鉍、鋇同位素定年法。科學月刊，第十二卷，第十一期，p. 56.
<http://campus2.chgsh.chc.edu.tw/science/content/1981/00110143/0014.htm>
3. Bros, R., Stille, P., Gauthier-Lafaye, F., Weber, F., and Clauer, N.(1992) Sm-Nd isotopic dating of Proterozoic clay material: An example from the Francevillian sedimentary series, Gabon. *Earth and Planetary Science Letters*, 113, 207-218.

撰稿：郭清順