

地球上古老岩石的来源:基于太古宙岩石¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd同位素证据

皮桥辉 陈岳龙 李泳泉 刘雪敏

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

摘要:通过构筑¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd同位素体系,应用于冥古宙(4.6~4.0Ga)时期地幔演化的研究,可以了解这一时期地幔演化过程。对太古宙岩石中¹⁴²Nd的研究发现早期地幔出现明显的不均一性,造成这种不均一性的原因应该来源于地幔的分异作用。加拿大Nuvvuagittuq绿岩带来源于富集地幔和亏损地幔混合,但以富集地幔为主,格陵兰杂岩和变质砂岩来源于亏损地幔,而西澳大利亚伊儿岗片麻岩来源于富集地幔和亏损地幔的混合带,但主要以亏损地幔为主。

关键词:早期演化;太古宙;¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd同位素

中图分类号:P597+.3

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2009)10-

地球早期演化产生化学不均一性亏损地幔已被科学家所证实,产生化学不均一性很可能是均一球粒陨石型地幔不均一性分异产生亏损地幔,但是这种球粒陨石型地幔不均一性演化缺乏令人信服的证据。

由于¹⁴⁶Sm核素在太阳系初始丰度比较低且半衰期短(103Ma),所以它是早期行星演化十分灵敏的指示剂,因此¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd短寿命同位素系统是研究早期地幔分异的重要工具。本文从¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd、¹⁴⁷Sm-¹⁴³Nd同位素体系出发,推导地球早期壳幔分异时间的计算公式及¹⁴²·¹⁴³Nd同位素演化图解绘制。最后以加拿大Nuvvuagittuq绿岩带、格陵兰、西澳大利亚伊儿岗地区等地球最古老的岩石为研究对象对不均一性地幔演化过程提供有力的证据。

1 ¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd同位素表示方法及标准

Sm有7个天然同位素的稀土元素,Nd也有7个天然同位素。Sm-Nd之间有两对母子同位素即¹⁴⁷Sm衰变¹⁴³Nd,以及¹⁴⁶Sm衰变¹⁴²Nd。

$$^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd} + \alpha + Q \quad T_{1/2} = 1.06 \times 10^{11} \text{a} \quad (1)$$

$$^{146}\text{Sm} \rightarrow ^{142}\text{Nd} + \alpha + Q \quad T_{1/2} = 1.03 \times 10^8 \text{a} \quad (2)$$

¹⁴³Nd, ¹⁴²Nd增长可用(3)和(4)式来表示:

$$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_i + \frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} (e^{\lambda_{147}t} - 1) \quad (3)$$

$$\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} = \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_i + \frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} (e^{\lambda_{146}t} - 1) \quad (4)$$

$$\epsilon^{143}\text{Nd} = \left(\frac{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{Sample}}}{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{Standard}}} - 1 \right) \times 10^4 \quad (5)$$

$$\epsilon^{142}\text{Nd} = \left(\frac{\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{Sample}}}{\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{Standard}}} - 1 \right) \times 10^4 \quad (6)$$

其中, $\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{Standard}}$ 有两种参考标准,即球粒陨

石标准(Ames标准)和现代地球标准(La Jolla标准),球粒陨石标准(Ames标准)¹⁴²Nd/¹⁴⁴Nd=1.141791^[1],现代地球标准(La Jolla标准)¹⁴²Nd/¹⁴⁴Nd=1.141839^[2],本文采用后一种标准。

收稿日期:2009-03-04;改回日期:2009-12-04

基金项目:国家自然科学基金项目(40673046,40234052)资助。

作者简介:皮桥辉,男,1973年生,博士生,地球化学专业;E-mail:piwenxuan3572@sina.com。

2 分异时间公式推导及 $^{142}, ^{143}\text{Nd}$ 同位素演化图解绘制

地球作为一个行星,在约46亿年以前起源于原始太阳星云,同其他行星一样,经历了吸积、碰撞这样一些共同的物理演化过程。由于陨石物质的轰击,放射性衰变致热和原始地球的重力收缩,才使地球温度逐渐增加。随着温度的升高,地球内部物质就具有越来越大的可塑性,且有局部熔

融现象,地幔分异演化开始。在地幔演化作用过程中, Sm/Nd 发生明显的分异, ^{142}Nd 的地球化学异常只可能发生于 ^{146}Sm 衰变灭绝之前,即在地球形成最初的~300Ma内,因此研究 ^{142}Nd 的异常特征,可以了解地球最早期的演化历史^[3-9]。

假设地球形成初始时刻 t_0 ,在壳幔分异时间为 t_d ,形成地壳岩石的时间为 t ,地球演化至现在时间为 t_p ,如图1所示。



图1 地球演化序列图

Fig. 1 Evolution sequence of the Earth

在 $^{147}\text{Sm}-^{143}\text{Nd}$ 体系中,根据两阶段壳幔演化模式和衰变方程,在时间 t_d 可得:

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{chur}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} + \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} (1 - e^{-\lambda_{147}t_d}) \quad (7)$$

在壳幔分异时间 t_d 时刻:

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{chur}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{DM}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} + \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} (1 - e^{-\lambda_{147}t_d}) \quad (8)$$

上式中 chur 代表球粒陨石, DM 代表亏损地幔。亏损地幔从 t_d 时刻演化至 t 时刻的 $\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{\text{DM}}$ 值等于 $\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{DM}}$ 加上亏损地幔从 t_d 时刻演化至 t 时刻放射性衰变成因增量。由于无法知道 $\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{\text{DM}}$ 的值,所以在计算增量值,我们用亏损地幔从 t_d 时刻演化至 t_p 时刻放射性衰变成因增量减去亏损地幔从 t_d 时刻演化至 t 时刻放射性衰变成因增量。

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{\text{DM}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} + \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} (1 - e^{-\lambda_{147}t_d}) + \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{DM}} (e^{-\lambda_{147}t_d} - e^{-\lambda_{147}t}) \quad (9)$$

在 $^{146}\text{Sm}-^{142}\text{Nd}$ 体系中:

$$\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{chur}} = \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} - \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} (e^{-\lambda_{146}(t_0-t_d)} - 1) \quad (10)$$

由于 ^{144}Sm , ^{144}Nd 是稳定同位素核素,故:

$$\left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_0}^{\text{chur}} = \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{\text{chur}} \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_0}^{\text{chur}} = \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{\text{chur}} \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} \quad (11)$$

把(11)式代入(10)式,可得出:

$$\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{chur}} = \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} - \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{\text{chur}} \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{\text{chur}} (1 - e^{-\lambda_{146}(t_0-t_d)}) \quad (12)$$

在壳幔分异时间 t_d 时刻:

$$\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{chur}} = \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{DM}} \quad (13)$$

亏损地幔从 t_d 时刻演化至 t 时刻的 $\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{\text{DM}}$ 值等于 $\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_d}^{\text{DM}}$ 加上亏损地幔从 t_d 时刻演化至 t 时刻放射性衰变成因增量。由于无法知道 $\left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{\text{chur}}$ 的值,所以在计算增量值我们用亏损地幔从 t_0 时刻演化至 t 时刻放射性衰变成因增量减去亏损地幔从 t_0 时刻演化至 t_d 时刻放射性衰变成因增量。故方程可变为:

$$\begin{aligned} \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{DM} &= \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{chur} - \\ &\left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{chur} \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{chur} \left(e^{-\lambda_{146}(t_0-t)} - e^{-\lambda_{146}(t_0-t_d)}\right) - \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{chur} \\ &\left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{DM} \left(e^{-\lambda_{146}(t_0-t)} - e^{-\lambda_{146}(t_0-t_d)}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

整理得:

$$\begin{aligned} \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{DM} &= \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{chur} - \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{chur} \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} \times \\ &\left\{ \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{chur} \left(e^{-\lambda_{146}(t_0-t)}\right) + \right\} \\ &\left\{ \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{DM} \left(e^{-\lambda_{146}(t_0-t)} - e^{-\lambda_{146}(t_0-t_d)}\right) \right\} \end{aligned} \quad (15)$$

把等式(15)中 $Y = \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{DM}$, $X = \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{DM}$ 构筑线性

关系。那么方程:

$$\begin{aligned} Y &= \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{chur} \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} \left(e^{-\lambda_{146}(t_0-t)} - e^{-\lambda_{146}(t_0-t_d)}\right) \times \\ X &+ \left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{chur} - \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{chur} \times \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} \\ &\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{chur} \left(e^{-\lambda_{146}(t_0-t_d)}\right) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\text{斜率 } K = - \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{chur} \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} \left(e^{-\lambda_{146}(t_0-t)} - e^{-\lambda_{146}(t_0-t_d)}\right) \quad (17)$$

由于地壳岩石的形成年龄远远大于 $^{146}\text{Sm}-^{142}\text{Nd}$ 半衰期,因此

$$\begin{aligned} \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{147}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{chur} \left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} e^{-\lambda_{146}(t_0-t)} &= 0 \\ t_d = t_0 + \frac{1}{\lambda_{146}} \text{Ln} \left[K * \left(\frac{^{144}\text{Sm}}{^{146}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_p}^{chur} \right] \end{aligned} \quad (18)$$

这就是地幔分异时间计算公式。

在有些情况下, $\left(\frac{^{142}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_t^{DM}$, $\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{DM}$ 难以拟合直线关系, 采取另一种方法, 采取 Sigmaplot 软件模拟方法绘制图版。具体步骤如下:

1) 参数的选择: $\lambda_{147} = 6.54 \times 10^{-12} \text{yr}^{-1[5]}$, $\lambda_{146} = 6.74 \times 10^{-9} \text{yr}^{-1}$ (Bennett et al., 2007),

$$\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_p}^{chur} = 0.512638^{[1]}, \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{t_0}^{chur} = 0.1966^{[1]},$$

$$\left(\frac{^{146}\text{Sm}}{^{144}\text{Sm}}\right)_{t_0}^{chur} = 0.008^{[1]}, \text{La Jolla 标准 } ^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} =$$

1.141839^[2]。令成岩年龄为 3800Ma;

2) $\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$ 的值选择范围为 0.165~0.255, 步长为 0.01; 由于 ^{146}Sm 的半衰期比较短, 在地球形成最初的 ~300Ma 内基本衰变完, 所以设拟合时间区间为 4.56~4.25Ga, 步长为 0.05 Ga;

3) 联立(5)、(6)、(12)、(15)计算 $100 \varepsilon^{142}\text{Nd}$, $\varepsilon^{143}\text{Nd}$ 的值, 运用 Sigmaplot 软件模拟成图版(见图 2)。样品归一到现代地球岩石标准(La Jolla 标准) 投图再估算地幔分异时间。

3 古老岩石分异时间

加拿大魁北克东北部 Nuvvuagittuq 绿岩带、格陵兰、西澳大利亚伊儿岗地区出露地球上最古老的岩石, 它们年龄都在 3800Ma 左右, 研究这些区域的 ^{142}Nd 的分异特征, 可以了解地球形成初期演化的历史。下面对以上地区地质特征以及分异年龄进行讨论。

3.1 加拿大 Nuvvuagittuq 绿岩带

Nuvvuagittuq 绿岩带位于加拿大哈得孙湾东北部^[3], 露出一套变质火山与变沉积岩, 并被 3.66Ga 的英云闪长岩所围绕, 同时超镁质和辉长岩岩床侵入其中。该带的地质年代主要由稀少的斜长石、黑云母、石英组成的长英质条带(0.5~1m 宽)限制, 得到的锆石不一致线年龄为 $(3817 \pm 16) \text{Ma}$ 。类似岩性中发现的锆石 U-Pb 离子探针分析也获得 3750Ma 的最小年龄, 因此该绿岩带大概年龄为 3800Ma^[2,3]。O'Neil et al. 根据(13)、(14)解出分异年龄 $t_d = 4.28 \text{Ga}$ 。Nuvvuagittuq 地区岩石中的 $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值 $(\varepsilon^{142}\text{Nd} = [(^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{样品}} / (^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{标准}} - 1] \times 10^6)$, (现代地球标准)一般在 -18~-6ug/g, 介于球粒陨石和地球岩石之间^[2]。

3.2 西格陵兰 Itsaq 杂岩和 Isua 变质砂岩

Itsaq 杂岩位于格陵兰的西南部, 主要岩性为一套高角闪岩相变质岩石, 由花岗质片麻岩、辉长岩

以及超镁质岩石组成,主体年龄都在3800Ma左右^[5]。Caro et al.^[4]分析了7个角闪岩相变沉积岩来自西格陵兰 Isua 绿岩带,它们的沉积源岩被解释为镁铁质源区碎屑侵蚀产物,这7样品的¹⁴⁷Sm-¹⁴³Nd研究与17个其他密切相关的IGB(Isua greenstone belt)变沉积岩得到的全岩回归年龄为(3744 ± 46) Ma,初始 $\epsilon^{143}\text{Nd} = 1.9 \pm 0.6$ 。在误差范围内,此年龄与附近IGB长英质岩石的锆石U-Pb年龄(3708 ± 3) Ma、(3807 ± 2) Ma相吻合,说明这些岩石自沉积以来保持Sm-Nd系统封闭。Isua 变质砂岩的 $\epsilon^{142}\text{Nd}$ (La Jolla 标准)的平均值为 $15 \pm 4 \mu\text{g/g}$,明显的高于地球岩石^[1]。Itsaq 杂岩 $\epsilon^{142}\text{Nd}$ (La Jolla 标准)的值为9~20 $\mu\text{g/g}$,与Isua 变质砂岩类似^[5]。

3.3 西澳大利亚伊儿岗片麻岩

西澳大利亚伊儿岗片麻岩主要位于伊儿岗克拉通地块 Narryer 地区,也称 Narryer 片麻岩,发育

有古老的英云闪长岩和年轻的花岗岩,形成年代为3.73Ga^[10]。 $\epsilon^{142}\text{Nd}$ (La Jolla 标准)的值约为 $5 \mu\text{g/g}$ ^[11]。

4 讨论

通过对上述地区的太古宙岩石的¹⁴²Nd/¹⁴⁴Nd值的分析,可以发现西格陵兰地区¹⁴²Nd有大的正异常(La Jolla 标准),西澳大利亚伊儿岗地区¹⁴²Nd一般正异常,而加拿大 Nuvvuagittuq 地区出现负异常,将各个地区测试的样品¹⁴²Nd值,投点到¹⁴²·¹⁴³Nd同位素演化图上,如图2所示。

一般认为地球发生核幔分异后,主要由硅酸盐组成的地幔物质与球粒陨石相当,而现代地球岩石和地幔物质明显出现¹⁴²Nd的正异常(球粒陨石标准),而¹⁴⁶Sm的衰变期短,在地球形成后的400~500Ma几乎衰变完全,因此在地球形成后4.56Ga~4.0Ga的时间段内,存在较大范围的地幔分异,形成

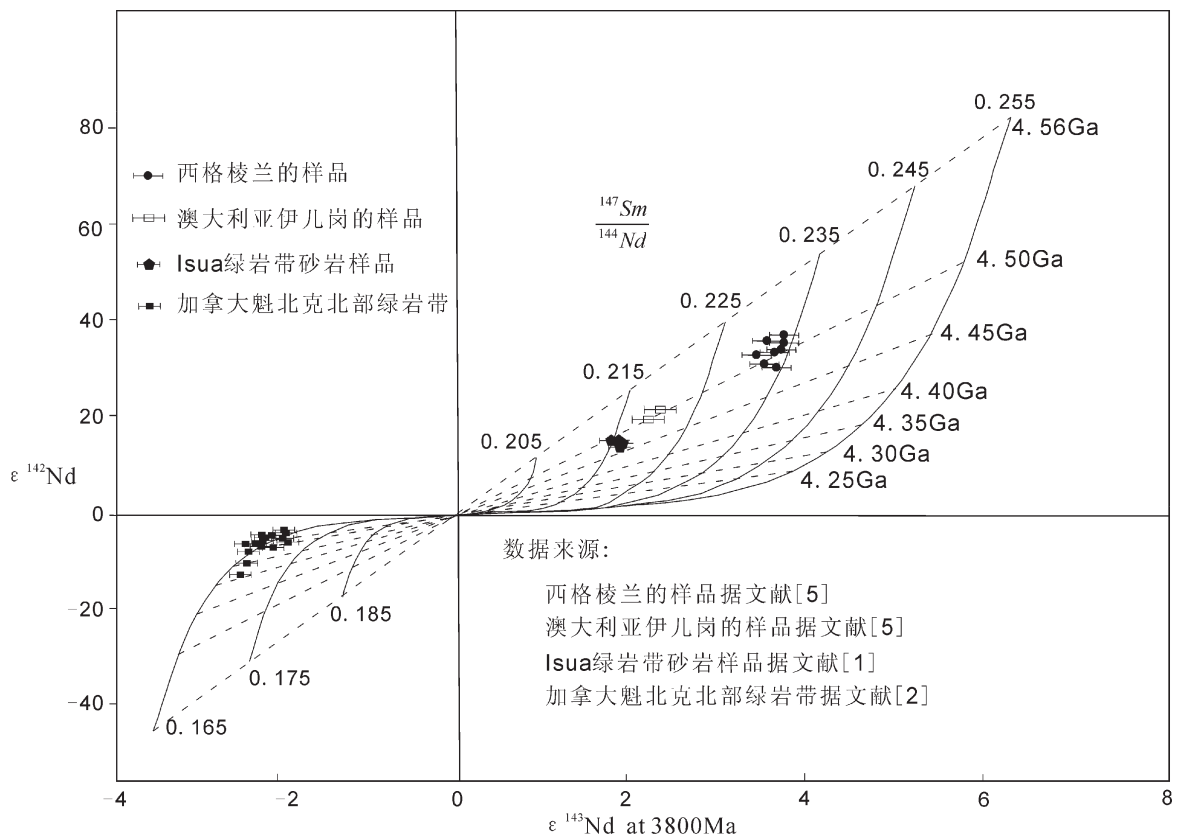


图2 ¹⁴²·¹⁴³Nd同位素演化示意图,岩石形成年龄为3800Ma

Fig. 2 Schematic diagram of ¹⁴²·¹⁴³Nd isotopic evolution of rocks 3800Ma B.P.

高 Sm/Nd 比值的亏损地幔和低 Sm/Nd 比值的富集地幔^[12-15]。西格陵兰地区 Itsaq 杂岩和 Isua 变质砂岩 ^{142}Nd 出现明显正异常,表明是来源于地球早期的亏损地幔。西澳大利亚伊儿岗片麻岩 ^{142}Nd 也出现正异常,可能形成于早期亏损地幔和富集地幔的混合,亏损地幔占的比例大,因此显示为正异常。加拿大 Nuvvuagittuq 地区 ^{142}Nd 为负异常,但与球粒陨石比,仍为正异常,和现代地球物质比,富含原始富集地幔的物质更多,表现为负异常。值得注意的是,早期地幔分异成亏损地幔和富集地幔这一理论是基于早期地幔是类似于球粒陨石成分的物质,因此可以推测在目前的下地幔存在一个富集地幔,只是目前还没有找到直接的证据,即找到 $^{142}\text{Nd}<0$ (与球粒陨石比)的样品。

5 结论

根据对地球太古宙地层出露的岩石的 ^{142}Nd 的研究发现,不同区域的 ^{142}Nd 的值存在较大的差异,格陵兰地区明显出现正异常,西澳大利亚伊儿岗地区异常不明显,而加拿大 Nuvvuagittuq 地区出现明显的负异常。这可能与地球形成初期(4.56~4.2Ga)出现的地幔分异作用有关,而分异的不同区域的 ^{142}Nd 的特征保留在后期(~3.8Ga)的地壳岩石中。

参考文献(References):

- [1] Caro G, Bourdon B, Birck J L, et al. ^{146}Sm - ^{142}Nd evidence from Isua metamorphosed sediments for early differentiation of the Earth's mantle[J]. *Nature*, 2003, 423:428-431.
- [2] O'Neil J, Carlson R W, Francis D. Neodymium-142 Evidence for Hadean Mafic Crust. *Science*, 2008,321:1828-1831.
- [3] Cates N L, Mojzsis S J. Pre-3750 Ma supracrustal rocks from the Nuvvuagittuq supracrustal belt, northern Québec[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, 255: 9-21.
- [4] Caro G, Bourdon B, Birck J L, et al. High-precision $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ measurements in terrestrial rocks:Constraints on the early differentiation of the Earth's mantle[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, 70:164-191.
- [5] Bennett V C, Brandon A D, Nutman A P. Coupled ^{142}Nd - ^{143}Nd Isotopic Evidence for Hadean Mantle Dynamics[J]. *Science*, 2007, 318: 1907-1910.[6] Moorbath S. Oldest rocks, earliest life, heaviest impacts, and the Hadean - Archaean transition[J]. *Applied Geochemistry*, 2005, 20: 819-824.
- [7] Jacobsen S B, Wasserburg G J. Sm-Nd isotopic evolution of chondrites and achondrites, *Earth Planet.Sci.Lett.* 1984, 67:137-150.
- [8] Jagoutz E, Dreibus G. On the search for ^{142}Nd interrestrial rocks.8th kimberlite conference abstract. 2003.
- [9] Nyquist L E, Wiesman H, Bansal B, et al. ^{146}Sm - ^{142}Nd formation interval for the Lunar mantle material[J]. *Geochim.Cosmochim.Acta* 1995, 59:2817-2837.
- [10] Spaggiari C V, Wartho J A, Wilde S A. Proterozoic deformation in the northwest of the Archean Yilgarn Craton, Western Australia[J]. *Precambrian Research*, 2008, 162: 354-384.
- [11] Boyet M, Carlson R W. *Science*, ^{142}Nd Evidence for Early(>4.53 Ga) Global Differentiation of the Silicate Earth. 2005, 309:576-581.
- [12] Boyet M, Toft J B, Rosing M, et al. ^{142}Nd evidence for early Earth differentiation[J]. *Earth and Planetary science letters*, 2003,214: 427-442.
- [13] Boyet M, Carlson R W. A new geochemical model for the Earth's mantle inferred from ^{146}Sm - ^{142}Nd systematics[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 250:254-268.
- [14] Sharma M, Chen C. Neodymium isotope fractionation in the mass spectrometer and the issue of ^{142}Nd anomalies in early Archean rocks[J]. *Precambrian Research*, 2004, 135: 315-329.
- [15] Moorbath S. Oldest rocks, earliest life, heaviest impacts, and the Hadean - Archaean transition[J]. *Applied Geochemistry*, 2005,20: 819-824.

The Source of old terrestrial rocks: evidence from ^{146}Sm - ^{142}Nd isotopes of Archean rocks

PI Qiao-hui, CHEN Yue-long, LI Yong-quan

(Faculty of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Through the construction of the ^{146}Sm - ^{142}Nd system and the application of Hadean (4.6~4.0Gy) mantle evolution, we can get to know the evolutionary process of this early epoch. Based on the ^{142}Nd study of Archean rocks, the authors hold that early mantle was an inhomogeneous system because of the mantle differentiation. Canadian Nuvvuagittuq greenstone originated from the mixture of enriched and depleted mantle, with the enriched mantle playing the dominant role. Greenland mixtite and Isua metamorphosed sediments originated from depleted mantle whereas North Australian Yilgam gneiss originated from the mixture of enriched and depleted mantle, with the depleted mantle being dominant.

Key words: early evolution; Archean; ^{146}Sm - ^{142}Nd

About the first author: PI Qiao-hui, male, born in 1973, doctor candidate, major in geochemistry; E-mail: piwenxuan3572@sina.com.