

# 白云鄂博稀土矿床的形成年代: Sm-Nd 同位素数据

张宗清 叶笑江

袁忠信 白 鹤 吴澄宇

(中国地质科学院地质研究所)

(中国地质科学院矿床地质研究所)

**主题词:** 矿床; Sm-Nd年龄; 白云鄂博

**提 要:** 对采自白云鄂博矿床主铁矿体的6个稀土矿石样品进行了Sm-Nd同位素分析。其结果形成一条等时线:  $t = 1.58 \pm 0.36(2\sigma)\text{Ga}$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} (I_{\text{Nd}}) = 0.51090 \pm 12(2\sigma)$ ,  $e_{\text{Nd}}(t) = +6.1 \pm 2.4$ 。1.58Ga可能是矿床形成的时代。 $e_{\text{Nd}}(t)$ 值表明, 稀土元素来自亏损地幔源, 排除了大量陆壳物质加入的可能性。

白云鄂博铁铈稀土矿床的形成时代是长期争议的问题。自1958年对该矿床进行同位素年代学研究以来已用不同年代学方法(Pb-Pb, Th-Pb, U-Pb, Rb-Sr, K-Ar)测定过不少数据。但是, 结果分散, 至今仍没有一致的意见。本文简单报道近年笔者用Sm-Nd法对稀土矿石样品进行同位素研究所获得的初步结果。

## 一、样品位置

白云鄂博矿床位于中朝克拉通北部边缘。矿区出露地层主要为太古界二道洼群和元古界白云鄂博群。二道洼群由斜长绿泥片岩, 石英黑云绿泥片岩和石英岩组成。白云鄂博群由一套浅变质浅海相沉积物组成。区域北部为类复理石建造, 由砂岩、页岩、板岩和灰岩组成; 区域南部为海相火山建造, 由白云大理岩(白云岩)、砂岩、板岩、石英岩组成。白云大理岩和赋存其中的铁矿是稀土矿床的主要层位。样品采自主铁矿体, 采样位置和矿石类型如图1所示。

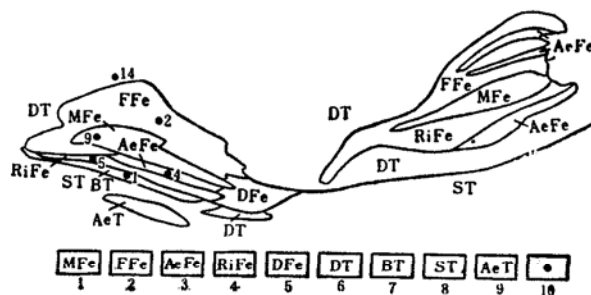


图 1 主、东铁矿地质示意图

Fig. 1. Sketch geological map of the main and east orebodies of the Baiyun Obo ore deposit

1—块状稀土铁矿石; 2—萤石型稀土铁矿石; 3—霓石型稀土铁矿石; 4—钠闪石型稀土铁矿石; 5—白云石型稀土铁矿石; 6—白云岩型稀土铁矿石; 7—黑云母型稀土铁矿石; 8—长石岩型稀土铁矿石; 9—霓石型稀土铁矿石; 10—采样位置

## 二、实验方法及结果

Sm、Nd 含量和 Nd 同位素比值测定实验方法张宗清和叶笑江已有专文报道<sup>〔1〕、〔2〕</sup>。Sm、Nd 用同位素稀释法分析。样品用 HF + HNO<sub>3</sub> 混合酸溶解, AG50w × 8(H<sup>+</sup>) 阳离子交换柱和 HDEHP 离子交换柱分离, MAT261 固体同位素质谱计测定, 双带, M<sup>+</sup> 离子型式, 可调多法拉第筒接收器接收。质量分馏用 <sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.7219 改正。标准测定结果: J, M Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (No. JMC321) <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.511125 ± 8(2σ), BCR-1 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.512643 ± 12(2σ)。Sm、Nd 流程空白 5 × 10<sup>-11</sup>g。

分析结果列于表 1。6 个样品的 Sm 含量为 25.5—1072 ppm, Nd 含量为 2.859 × 10<sup>2</sup>—1.345 × 10<sup>4</sup> ppm。 <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd 之比为 0.03746—0.06596。这反映样品轻稀土相对重稀土强烈富集 (f<sub>Sm/Nd</sub> = -0.73 ± 0.05(σ), 表 1)。6 个样品定义了一条等时线(图 2), 用 York(1969) 方法计算<sup>〔3〕</sup>, 等时年龄 t = 1.58 ± 0.36(2σ) Ga, I<sub>Nd</sub> = 0.51090 ± 12(2σ), e<sub>Nd</sub>(t) = +6.1 ± 2.4。 <sup>147</sup>Sm 衰变常数 λ = 0.00654 Ga<sup>-1</sup>。

表 1 Sm-Nd 同位素分析结果

Table 1. Sm-Nd isotopic data for REE ore samples from the main orebody

样品	类型	Sm(ppm)	Nd(ppm)	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd <sup>①</sup>	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd <sup>②</sup>	± 2σ	t <sub>DM</sub> (Ga) <sup>③</sup>	f <sub>Sm/Nd</sub> <sup>④</sup>	e <sub>Nd</sub> (0) <sup>⑤</sup>
By-1	黑云母型钕稀土矿石	3.391 × 10 <sup>3</sup>	3.110 × 10 <sup>3</sup>	0.06596	0.511570	13	1627	-0.66	-20.9
By-2	萤石型钕稀土铁矿石	7.740 × 10 <sup>2</sup>	1.250 × 10 <sup>4</sup>	0.03746	0.511300	9	1597	-0.81	-26.1
By-4	霓石型钕稀土铁矿石	1.072 × 10 <sup>3</sup>	1.345 × 10 <sup>4</sup>	0.04821	0.511378	13	1629	-0.75	-24.6
By-5	钠闪石型钕稀土铁矿石	1.194 × 10 <sup>3</sup>	1.231 × 10 <sup>3</sup>	0.05867	0.511535	11	1585	-0.70	-21.6
By-9	块状钕稀土铁矿石	2.551 × 10	2.859 × 10 <sup>2</sup>	0.05397	0.511480	8	1590	-0.72	-22.6
By-14	白云岩型钕稀土矿石	2.986 × 10 <sup>2</sup>	3.687 × 10 <sup>3</sup>	0.04899	0.511373	13	1641	-0.75	-24.7

① 误差 0.1%, ② 采用 <sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.7219 标准化;

③  $t_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{(\frac{143}{144}Nd/\frac{144}{144}Nd)_s - 0.51315}{(\frac{147}{144}Sm/\frac{144}{144}Nd)_s - 0.2137} + 1 \right]$ , 下标 S 代表样品, 下同;

④  $f_{Sm/Nd} = \frac{(Sm/Nd)_s}{(Sm/Nd)_{CHUR}} - 1 = \frac{(\frac{147}{144}Sm/\frac{144}{144}Nd)_s}{0.1967} - 1$  ⑤  $e_{Nd}(0) = \left[ \frac{(\frac{143}{144}Nd/\frac{144}{144}Nd)_s}{0.51264} - 1 \right] \times 10^4$

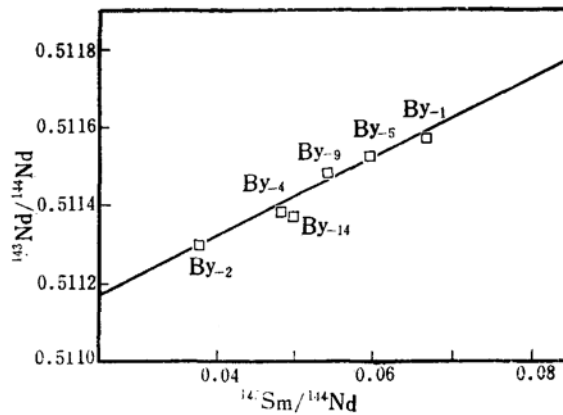


图 2 白云鄂博稀土矿石样品等时线图

Fig. 2. Sm-Nd isochron diagram for REE ore samples

### 三、讨 论

1. 白云鄂博稀土矿床的形成年龄 已获得的同位素年龄数据很分散, 介于0.22—1.68Ga之间<sup>(4)(5)</sup>。易解石Th-Pb年龄、长石岩K-Ar年龄、Rb-Sr年龄都较低, 由0.22Ga到0.35Ga。最老年龄为磷灰石U-Pb年龄(1.59Ga)和独居石Th-Pb年龄(1.68Ga)。它们被认为是白云鄂博群地层的形成年龄<sup>(6)</sup>。白云鄂博地区遭受过多次变质热事件, 有多期岩浆侵入活动, 同位素系统遭受不同程度破坏, 长石岩K-Ar、Rb-Sr年龄及易解石Th-Pb年龄可能是后期热事件和岩浆作用的结果。由笔者分析的6个稀土矿石样品得出的等时年龄 $t = 1.58 \pm 0.36(2\sigma)$  Ga, 可能是稀土矿床的形成时代。其值和样品的模式年龄 $t_{DM}$  ( $1.61 \pm 0.02(\sigma)$  Ga, 表1)一致, 和已获得的磷灰石U-Pb年龄(1.59Ga)、独居石Th-Pb年龄(1.68Ga)也十分接近。Sm、Nd都是稀土元素, 对于稀土矿床年龄测定, Sm-Nd法是最直接最有效的方法。

2. 稀土物质来源 由上面结果可以看出, 在1.58Ga时,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51090 \pm 12(2\sigma)$ , 相应的 $\epsilon_{Nd}(t) = +6.1 \pm 2.4$ 。 $\epsilon_{Nd}(t) \gg 0$ 说明, 矿床稀土元素来自亏损地幔源。

图3表示样品 $\epsilon_{Nd}$ 值随时间的演化。可以看出, Nd同位素以亏损上地幔为原点呈一簇发散的射线。这进一步说明: (1) 矿床稀土元素来自亏损地幔源, 看不出有大量陆壳物质加入的迹象; (2) 1.58Ga是矿床形成年龄, 而不是变质改造时间。1.58Ga后也未见Nd同位素强烈被改造的特征。

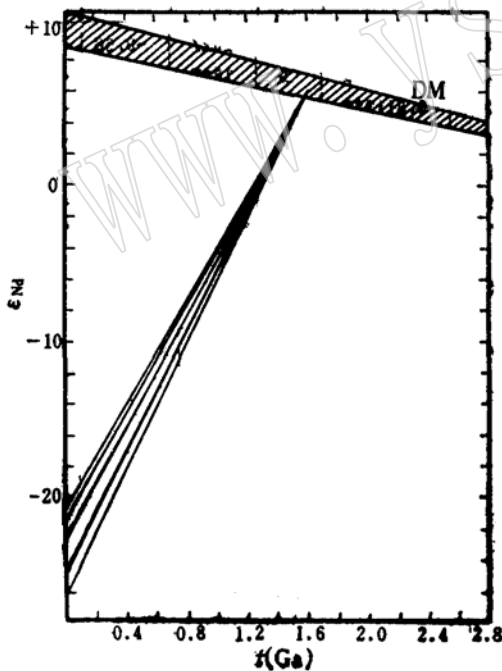


图3 稀土矿石样品Nd同位素随时间演化图

Fig. 3. Diagram showing Nd isotope evolution of REE ore samples with time

DM—亏损地幔

3. Nd同位素分散原因 由图2可以看出, 样品沿等时线有一定分散性, 年龄结果在95%置信度水平有0.36Ga的不确定性。其原因可能是: (1) 样品Nd同位素系统受到后期热事件扰动; (2) 在矿床形成时有少量地壳物质加入, 受到不同程度污染; (3) 地幔不均匀性。这三个原因都不能排除, 但是, 笔者认为最可能的原因是(2)、(3), 即少量地壳物质污染和地幔的不均匀性。很可能, 地幔不均匀性是更重要的原因。表1中的样品的Sm、Nd含量表明, 相对重稀土来说轻稀土强烈富集, Sm、Nd平均分馏系数 $f_{Sm/Nd} = -0.73 \pm 0.05(\sigma)$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_n$ 高达500<sup>(4)</sup>。然而, 同位素结果表明, 样品稀土元素来自亏损地幔源。由亏损上地幔直接部分熔融产生像白云鄂博这样大型的、轻稀土强烈富集的稀土矿床是困难的。很可能, 稀土元素来自变质(交代)地幔富含稀土和挥发分的地幔流体或熔体。由于白云鄂博矿床稀土储量十分巨大, 因此不是一个小的地幔区域能够富集的, 也不可能在一个极短的时间间隔内形成。地幔

的不均匀性和时间效应可能是引起Nd同位素小的分散的主要原因。

4. 白云鄂博群的年龄 白云鄂博群是一套浅变质沉积岩系, 其厚度达9千余米。该群时代长期争议, 分别划为中、晚元古代或寒武—奥陶纪。根据笔者所获得的Sm-Nd年龄数据, 白云鄂博群应划归中元古代。

### 参 考 文 献

- [1] 张宗清、叶笑江, 1987, 稀土元素的质谱同位素稀释分析和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值的精确测定方法, 中国地质科学院地质研究所所刊, 第17号, 108—128页。
- [2] 叶笑江、张宗清, 1990, Nd比值测定中的Sm、Nd分离——HDEHP分离法。分析测试通报, 第9卷, 第3期, 6—10页。
- [3] York, D., 1969. Least squares fitting of a straight line with corrected errors. Earth Planet. Sci. Letters, v.5, P. 320—324
- [4] 白 鸽、袁忠信, 1985. 碳酸岩地质及其矿产, 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 第1号, 第107—140页。
- [5] 中国科学院地球化学研究所, 1988, 白云鄂博矿床地球化学, 科学出版社。

## Age of the Baiyun Obo Nb-REE-Fe Deposit in Inner Mongolia; Sm-Nd Isotopic Data

Zhang Zongqing, Ye Xiaojiang

(Institute of Geology, Chinese Academy  
of Geological Sciences)

Yuan Zongxin, Bai Ge, Wu Chengyu

(Institute of Mineral Deposits, Chinese  
Academy of Geological Sciences)

Key words: Ore deposit; Sm-Nd age; Baiyun Obo

### Abstract

The Baiyun Obo ore deposit in Inner Mongolia of North China is the largest REE ore deposit ever discovered in the world, whose geology has already been described by Bai Ge et al. The six ore samples from the main orebody were isotopically analysed and an isochron age of  $1.64 \pm 0.38$  ( $2\sigma$ ) Ga has been obtained, with the initial  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratio ( $I_{\text{Nd}}$ ) being  $0.51088 \pm 12$  ( $2\sigma$ ), corresponding to  $e_{\text{Nd}}(t) = +6.1 \pm 2.4$ . The age is interpreted as the time of the emplacement of the Nb-REE-Fe ore deposit. The positive  $e_{\text{Nd}}(t)$  value (+6.1) shows that the REE of the ore deposit was derived from the depleted mantle sources. The result seems to exclude any possibility of the mixing of significant crustal materials during the ore deposition.