

# 安徽歙县—休宁一带海相火山岩的 Sm-Nd 同位素研究及其地质意义

张光弟 姚士新

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

主题词 Sm-Nd 同位素 等时线年龄 火山岩 安徽南部

提要 火山岩及其相关岩石的全岩 Sm-Nd 等时线年龄测定表明, 安徽省歙县—休宁一带广泛分布的海相火山岩形成于 12.86 亿年前。这一结果证实皖南地区与江南古陆东南缘其它地段一样, 也存在两个元古代岛弧系, 即位于南部江湾—街口一带的晚元古代岛弧系及位于北部歙县—休宁一带的中元古代岛弧系。Nd 同位素特征研究表明, 歙县—休宁一带的火山岩的  $S_{m}/N_{d}$  比值都大于或接近于 0.318 (球粒陨石的现代标准值), Nd 的初始值  $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i = 0.51118$ ,  $\epsilon_{Nd}(t) = +3.9 \pm 0.4$ , 位于亏损地幔演化线附近。因此推断, 歙县—休宁一带海相火山岩可能来自亏损地幔源。

## 1 概述

在安徽南部歙县、休宁、黟县一带的元古界上溪群中发育一套基性—中、酸性火山岩系, 呈近东西向带状分布, 长约 90 km (图 1)。这些岩系在 1971 年编印的 1/20 万区测报告中均被认为是一些顺层侵入的辉绿岩脉或岩墙。1985 年白文吉提出歙县伏川的基性熔岩是细碧岩, 它构成了伏川蛇绿岩的上部层位, 以后人们逐渐将本区大部分原来认为是辉绿岩脉或岩墙的岩石均改为细碧岩、角斑岩或石英角斑岩, 并发现了碧玉等海相火山岩的证据。

由于这套海相火山岩的出露与该区两个铜矿床(点)密切共生, 因此人们的研究兴趣越来越强。但是, 关于这套火山岩是何时形成的, 是何种构造环境下的产物, 不同的研究者有不同的观点, 因此有必要对这套火山岩系进行年龄测定, 这样有利于该地区地层学、大地构造学及矿床学研究工作的开展。

该火山岩系地层由于时代的古老, 已经经受了不同程度的变质与蚀变作用。由于 Sm、Nd 元素性质相似, 在自然界活动性相对较小, 在变质、蚀变及风化过程中容易保持封闭体系, 因此 Sm-Nd 法对本区的老地层岩石(特别是全岩样品)比较适合。

## 2 样品的采集与分析结果

本区火山岩呈带状分布, 根据其地质环境, 其形成年龄可能相差不大。但是, 各种岩石

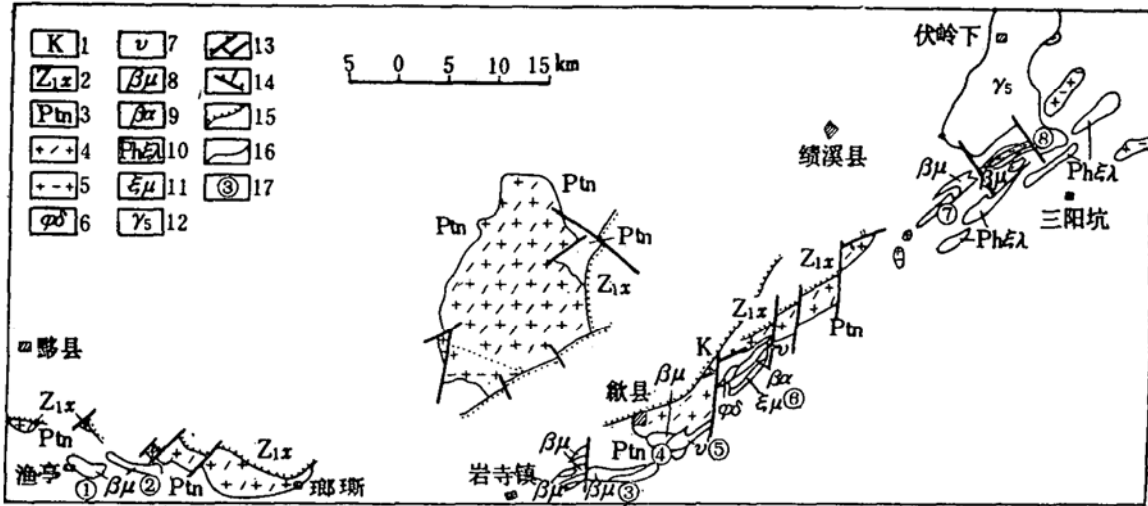


图 1 歙县—休宁一带岩浆岩分布略图

Fig. 1 Sketch map showing the distribution of magmatic rocks along Shexian—Xiuning belt

1—白垩系；2—休宁组；3—牛屋组；4—花岗闪长岩；5—片麻状花岗闪长岩；6—蛇纹石化辉橄岩；7—辉长岩；8—细碧岩；9—玄武安山岩；10—英安一流纹质凝灰岩或凝灰质千枚岩；11—安山质碎屑熔岩；12—燕山期花岗岩；13—逆、横断层；14—正断层；15—不整合；16—地质界线；17—基性火山岩体编号（①渔亭；②黄土岭；③南山；④琳村；⑤后坞；⑥伏川；⑦大备坑；⑧水竹坑）

类型在该带的分布是不均匀的，在西部的渔亭—艾坑—黄土岭一带岩性较为单一，而在东部的南山—大备坑—水竹坑一带岩性较为复杂。从本区火山岩及其有关岩石的Sm、Nd含量及Sm/Nd比值（表1）可以看出，同一地段同一类岩石的Sm/Nd比值比较接近，这样的样品组合对等时线年龄测定一般不利，而不同类岩石之间的Sm/Nd比值相差较大，有利于等时线年龄的测定。因此，我们的样品采集原则是以该带东部地区为主，同时采集该带各代表性地段的各种类型的岩石，保证所采集样品的全面性、典型性，使测试结果可信、可靠。

本次研究除采集了专门作稀土元素地球化学研究的样品（表1）外，还采集了Sm-Nd等时线年龄测定样品（7件）。等时线年龄样品选取了其岩石类型不同而成因接近或相同的岩石，尽量避免了矿层附近和蚀变较强的岩石样品以保证线性拟合度，因此选取了水竹坑、大备坑、艾坑和南山的细碧岩、细碧质辉长岩和阳起石化玄武岩以及相应的凝灰岩，另外还采集了本区出现的另外几种岩石以作对比之用。测试结果列于表2。

### 3 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义

图2是根据表2中前7个样品测定值所拟合的一条Sm-Nd等时线。从图中可以看出，线性拟合度非常好，相关系数达0.998，是一条非常理想的等时线。从这条等时线可得到如下信息：1）细碧岩、细碧质辉长岩、阳起石化玄武岩、中酸性凝灰岩、凝灰质千枚岩等都是在1286百万年时形成的，其时代为中元古代中期；2）这些岩石具有相同的 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ 比值，表明它们具有相同的成因，即这些火山岩的“火山源”是相同的；3）这些岩石形成之后，基本上保持封闭状态。

表 1 火山岩及有关岩石的 Sm、Nd 含量及比值

Table 1 Sm and Nd contents and ratios in volcanic and related rocks

序号	样号	岩石名称	采样地点	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Sm/Nd	资料来源
1	H-9	细碧岩	黄土岭	6.5	2.2	0.338	本 文
2	H-10	细碧岩		6.6	2.6	0.393	
3	H-11	细碧岩		7.2	2.7	0.375	
4	H <sub>5</sub> -10	绿泥石片岩		8.3	3.1	0.373	
5	89-18	绿泥石片岩		4.6	1.6	0.348	
6	A-3	玻屑晶屑凝灰岩	艾坑	25.3	6.4	0.253	
7	Yt-3	层凝灰岩	渔亭	28.3	6.3	0.223	
8	Yt-4	碳酸盐		34.8	8.2	0.236	
9	Sh-7	含矿绿泥石片岩	水竹坑	11.9	3.1	0.261	
10	Sh89-10	阳起石化玄武岩		6.8	2.9	0.426	
11	Sh89-13	阳起石化玄武岩		4.1	1.7	0.415	
12	Sh89-16	英安质凝灰岩		34.3	8.2	0.239	
13	D-1	细碧岩	大 备 坑	8.4	2.3	0.274	332 地质队区调队 (未发表)
14	D-2	细碧岩		12	2.8	0.233	
15	D-3	细碧岩		8.1	2.5	0.308	
16	F-1	英安质碎屑熔岩	伏 川	33.21	6.59	0.198	安徽地质科学研究所(1986)
17	F-2	玄武安山岩		25.06	5.5	0.219	白文吉等(1986)
18	F-3	玄武安山岩		26.25	5.67	0.216	
19	F-4	玄武安山岩		13.86	3.32	0.240	
20	F-5	玄武安山岩		15.67	3.84	0.245	安徽地质科学研究所(1986)

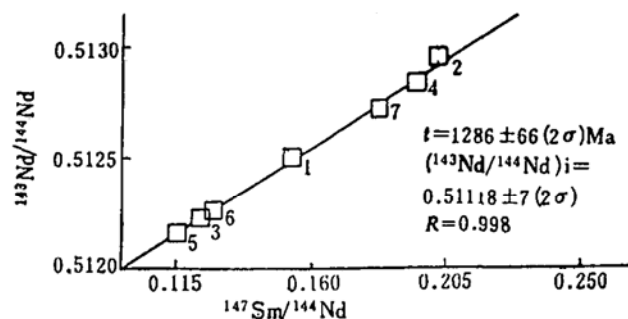


图 2 歙县—休宁地区火山岩系 Sm-Nd 等时线

Fig. 2 Sm-Nd isochron line of volcanic rocks in Shexian-Xiuning area

表 2 Sm-Nd 同位素年龄数据及计算结果

Table 2 Sm-Nd isotope data for age determination and their calculated results

序号	样品号	采样地点	岩石名称	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$	$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \pm 2\sigma$	模式年龄 tDM (Ma)	$\epsilon_{\text{Nd}}^{(t)}$	Sm/Nd	
1	A-0	艾坑	细碧岩	5.752	22.636	0.1537	0.512498	22	1653	-2.8	0.254
2	D <sub>89</sub> -1	大备坑	辉绿岩	2.440	7.243	0.2037	0.512944	18	3118	5.9	0.337
3	Sh <sub>89</sub> -21	水竹坑	变英安质凝灰岩	7.034	34.685	0.1227	0.512219	15	1556	-8.2	0.203
4	Sh <sub>89</sub> -22	水竹坑	阳起石化玄武岩	4.156	12.796	0.1965	0.512828	11	2836	3.7	0.325
5	Sh <sub>89</sub> -24	水竹坑	含硅质条带凝灰岩	7.214	37.981	0.1149	0.512151	19	1538	-9.5	0.190
6	S <sub>x</sub> -10	新庄村	变英安质层凝灰岩	8.516	40.577	0.1270	0.512252	12	1576	-7.6	0.210
7	N-12	南山	细碧质辉长岩	5.519	18.191	0.1835	0.512714	14	2192	1.4	0.307
8	D <sub>89</sub> -4	大备坑	石榴石石英岩	$7.604 \times 10^{-2}$	$3.366 \times 10^{-1}$	0.1366	0.512426	36	1429	-4.2	0.226
9	Sh <sub>89</sub> -2	水竹坑	黑云母花岗闪长岩	6.760	33.760	0.1211	0.512057	13	1794	-11.4	0.200
10	F <sub>89</sub> -0	伏川	斜辉辉橄岩	$1.963 \times 10^{-1}$	$6.669 \times 10^{-1}$	0.1780	0.512811	20	1445	3.3	0.294
11	J-2	井潭	英安一流纹质凝灰岩	8.889	41.835	0.1285	0.512182	21	1727	-8.9	0.212

测试单位: 地矿部地质研究所

等时线(1-7)年龄  $t = 1286 \pm 66(2\sigma)\text{Ma}$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i = 0.51118 \pm 7(2\sigma)$

$\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +3.9 \pm 0.4$

模式年龄计算参数:  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.2137$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.51315$ ,  $t_{\text{DM}}$  相当于亏损

地幔模式年龄 (引自江博明, 1988)

$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}^{(0)} = 0.51264$ ,  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$

我们所测得的 Sm-Nd 全岩等时线年龄(1286 百万年)是目前本地区所获得的最老年龄, 并且与地质事实相符。在以前的区测工作中, 已经通过区域地层对比认为上溪群属中元古界。而歙县-休宁一带的火山岩发育于上溪群牛屋组地层中, 已经发现的很多证据可以说明这些火山岩与牛屋组之间为火山-沉积接触关系, 因此, 这些火山岩的年龄可以代表牛屋组的形成年龄。

根据我们的研究, 伏川蛇绿岩可能是岛弧蛇绿岩, 它的上部熔岩与本区其它地方分布的基性熔岩一样属于岛弧型拉斑玄武岩系列。火山岩的 Sm-Nd 年龄数据表明这些岛弧火山岩可能是中元古代喷发的, 蛇绿岩也可能在这一时期形成。另外还有一些证据(沉积、矿物、地球化学资料)也表明本区在中元古代曾有一次岛弧发育和演化过程(我们将另文发表)。如果这样, 本区发育的中元古代岛弧带与其南部江湾-街口一带的晚元古代岛弧带可能是前后两个时期形成的。这与马杏垣等(1987)在江南古陆发育了元古代二个岛弧系的思想是一致的。但是由于后期断层的逆冲推覆, 伏川蛇绿岩被叠置于歙县花岗闪长岩体(8 亿年左右)之上, 它可能是无根的。因此蛇绿岩的产状有待进一步研究。

#### 4 Nd 同位素特征及其地质意义

Sm-Nd 年龄测定不仅可以给出一个年龄值, 还可给出一个 Nd 同位素初始比值( $^{143}\text{Nd}/$

$^{144}\text{Nd}$ )<sub>i</sub>，这个比值与 Sr 同位素初始比值类似，在岩石成因研究中有较大意义。由于 Nd 同位素受外界因素（如变质作用、蚀变作用及风化作用等）的影响较小，因此它的应用比 Sr 同位素更可靠。

随着地球的演化，于不同时期形成的岩石的  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$  比值具有一定的演化规律。一般说来，古老岩石特别是大于 20 亿年的岩石  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$  比值随时间的演化曲线与球粒陨石均质体 (CHUR) 的演化曲线非常一致，这说明该岩石的源区与球粒陨石类似，通常认为是未经分异的均匀地幔。20 亿年之后，地幔发生分异形成地壳，Nd 比 Sm 优先进入地壳，这时地壳中的 Sm/Nd 比值小于球粒陨石中的比值，从而导致地壳中的  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比值也比球粒陨石中的比值小；相反，亏损地幔中的 Sm/Nd、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比值大于球粒陨石中的比值。这时可以引用参数  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  (据 Depaolo 和 Wasserburg) 来表示样品的  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$  比值与球粒陨石均质体中的  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$  比值的偏离程度。通常用于判别球粒陨石均质体 (均匀地幔) 的标准为  $\text{Sm}/\text{Nd}=0.318$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51264$ ,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)=0$ <sup>[3]</sup>。如果样品中的计算结果大于上述值，则为亏损地幔源，如果小于上述值，则为地壳源。

由表 1、表 2 可以看出，本区大部分细碧岩、细碧质辉长岩、玄武岩的 Sm/Nd 比值都大于或接近于 0.318，相应的  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比值和  $\epsilon_{\text{Nd}}$  基本满足亏损地幔源的条件，伏川的超基性岩也满足这些条件，等时线年龄计算中的 7 件样品的  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i=0.51118$ ,  $t=1286 \text{ Ma}$ ，在  $I_{\text{Nd}}$  ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  初始比值的缩写) 演化图上，其投影点落于球粒陨石  $I_{\text{Nd}}$  演化线的上方，即亏损地幔源区 (图 3)，样品的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)=+3.9 \pm 0.4$ ，在  $\epsilon_{\text{Nd}}$  演化图上，位于亏损地幔演化线附近 (图 4)，结果表明这些岩石都可能来自亏损地幔源。但在图 4 中我们可以看到， $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  投影点虽然靠近亏损地幔线，但并不正好位于其上，这可能是由地壳物质的混染

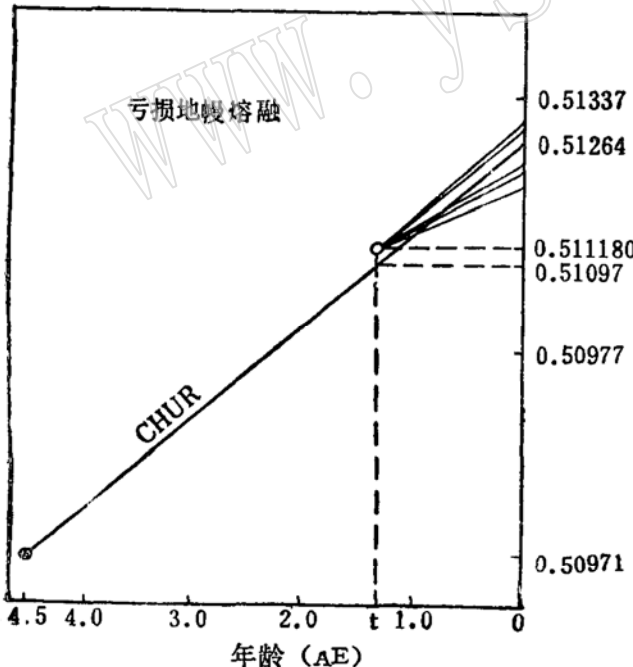


图 3 岩石年龄与  $I_{\text{Nd}}$  关系图

Fig. 3 Diagram showing the relationship between rocks ages and  $I_{\text{Nd}}$

直线：代表球粒陨石均质体 (原始地幔) 的演化  
t：样品等时线年龄

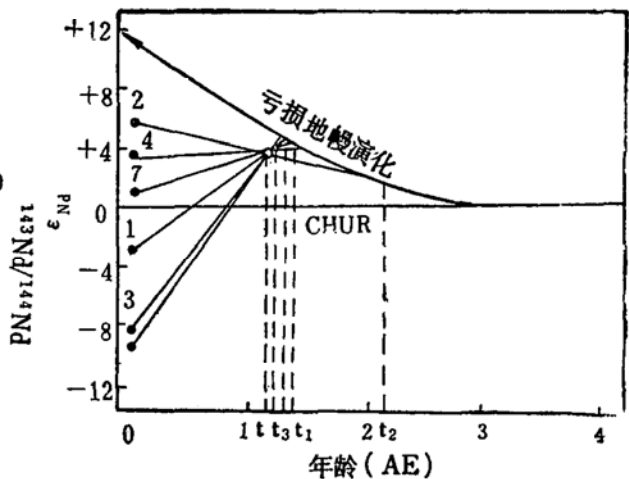


图 4  $\epsilon_{\text{Nd}}$  随地质年龄变化示意图

Fig. 4 Sketch diagram showing evolution of  $\epsilon_{\text{Nd}}$  with geological age

t 为等时线年龄，对应的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +3.9$ ，各岩石样品的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  由 1, 2, ..., 7 标出

造成的,这种混染可能是岩浆上移过程中引起的,也可能是岩浆喷出后由海蚀作用造成的,尤其是海相凝灰岩,海水中Nd的混染不可避免,造成岩石 $\epsilon_{Nd}(t)$ 偏低,而各种凝灰岩的 $\epsilon_{Nd}$ 值更低(见表2,图4)。

在计算中我们注意到,尽管每件样品 $\epsilon_{Nd}(t)$ 都大于0,但是变英安质凝灰岩样品 $Z_{Nd}^{(0)}$ 都小于0.51264 ( $Z_{Nd}^{CHUR(0)}$ ), $\epsilon_{Nd}(t)$ 也小于0,按判别准则,它们的岩浆应来自地壳,但其它的研究结果(如稀土元素地球化学)表明凝灰岩应与基性火山岩具有相同的岩浆来源,也就是说来自地幔源,这二者是相互矛盾的。一种可能的解释是,由亏损地幔源衍生的拉斑玄武质岩浆确实混入了大量的地壳物质,分异后生成了中酸性岩浆。

从以上研究可以看出,本区中元古代地层中广泛分布的基性岩及中酸性岩石的形成年龄为1286百万年,与其它有关岩类一起构成一套中元古代海相火山岩系,火山岩形成的大地构造背景可能为中元古代岛弧系,火山岩的岩浆来源以亏损地幔源为主,可能混入了部分地壳物质。

### 参 考 文 献

- 1 白文吉等. 江南古陆东南缘蛇绿岩完整层序剖面的发现和基本特征. 岩石矿物学杂志, 1986, 5(4): 289—298.
- 2 郭令智等. 华南的构造格架和地壳演化. 国际交流地质学论文集(一). 北京: 地质出版社, 1980. 109—116.
- 3 许荣华、张宗清等. 稀土地球化学和同位素地质新方法. 北京: 地质出版社, 1985. 65—120.
- 4 Бодошов Ю А. 锶、钕、氧同位素及稀土元素用作花岗岩类岩浆起源和演化的指示剂. 梅厚钧译. 地质地球化学, 1983, (9): 26—31.
- 5 徐树桐, 1987, 安徽省主要构造要素的变形和演化, 海洋出版社.

## Sm-Nd Isotopic Studies of Marine Volcanic Rocks along Shexian-Xiuning Belt of Anhui Province and Their Geological Implications

Zhang Guangdi, Yao Shixin

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

**Key words:** Sm-Nd isotopes; isochron age; volcanic rock; southern Anhui

### Abstract

A suite of basic to intermediate-acid marine volcanic rocks related to copper sulfide mineralization are developed along Shexian-Xiuning belt, which were formerly regarded as diabase veins or dikes. They are distributed in Niuwu Formation of Proterozoic Shangxi Group consisting mainly of slate-phyllite series with complete Bouma sequence and typical features of turbidite.

The Sm-Nd isochron dating of volcanic and related rocks appears as an

ideal straight line with a correlation coefficient 0.998. The isochron age is 1286 Ma, which seems to be the oldest age ever obtained for this area. These data suggest that the volcanic rocks along Shexian-Xiuning belt could not be products of Late Proterozoic back-arc extension. According to various aspects of studies carried out in this area, it is held that the geotectonic setting for volcanic rocks of this belt is a Middle Proterozoic island arc.

The Sm-Nd model age is not remarkably different from the isochron age. This has led us to consider that volcanic rocks were formed in a very active environment during Proterozoic, probably in an island arc along the margin of the Yangtze paleoplatform.

Nd isotopic studies of volcanic rocks show  $Sm/Nd=0.318$ ,  $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i=0.51118$  and  $\epsilon_{Nd}^t=3.9\pm 0.4$ , implying that the marine volcanic rocks along Shexian-Xiuning belt might have been derived from the depleted mantle.

www.yskw.ac.cn