苏皖鲁某些新生代火山岩的钕同位素组成及意义

陈 道 公　　杨 杰 东　　王 银 喜

(中国科学技术大学地球与空间科学系，合肥 230026)　(南京大学现代分析中心，南京 210008)

关键词　玄武岩、钕同位素、地幔混合

江苏安徽和山东一带广泛分布第三纪至第四纪更新世的玄武质火山岩，其中早第三纪以拉斑质玄武岩为主，晚第三纪为碱性玄武岩，更新世为碱性玄武岩、碧玄岩和霞石岩，以晚第三纪中新世火山岩分布最广．一般说来时代越新，岩石越碱性．本文测定了上述三省 18 个新生代玄武质岩石样品的 Sm、Nd 含量和 Nd 同位素组成，结合该地区已有的 Nd 同位素和相应的 Pb、Sr 同位素资料[1—3]，讨论它们的相互关系及成因意义．图 1 表示采样点位置．

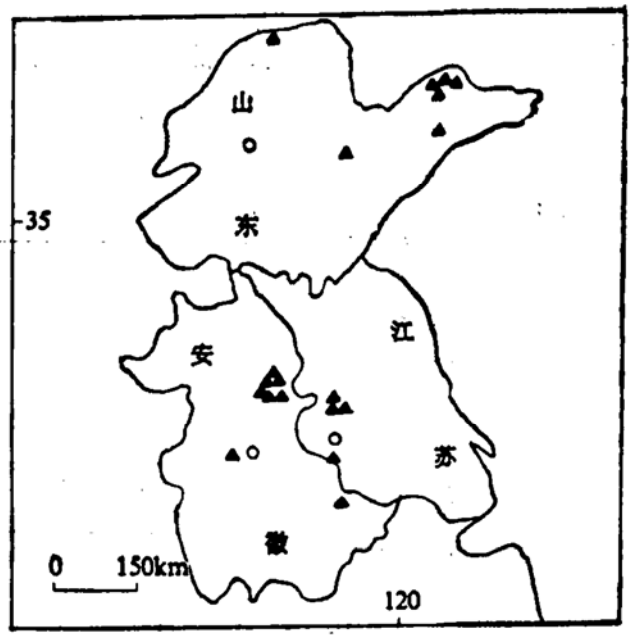


图 1　采样位置简图

▲表示每一个采样地点

一、分析方法和结果

样品中 Sm、Nd 含量及 Nd 同位素分析均在 VG-354 同位素质谱计上进行，有关化学分析流程及质谱技术细节参阅文献[4]，测定结果列于表 1．Sm、Nd 的含量范围分别为 2.19—12.2ppm 和 8.19—58.5ppm，$^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值为 0.512395—0.512966．随着岩性由拉斑到碱性、时代由老到新，岩石中 Sm、Nd 含量和 Nd 同位素组成总趋势是逐渐上升的．

在 $^{143}Nd/^{144}Nd$~$^{87}Sr/^{86}Sr$ 关系上(图 2)，它们落入大多数洋岛玄武岩以及北美哥伦比亚河、印度德干高原及西非大陆玄武岩区，跨越相当大的区域，表明其组成上的差异，很明显，碱性和强碱性玄武岩和拉斑质玄武岩相比，有较高的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 和较低的 $^{87}Sr/^{86}Sr$，其 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 集中在 0.5128—0.5129 之间，接近某些洋脊玄武岩．拉斑玄武岩的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 值低于 0.5128，个别接近全球平均值或出现在负 εNd 和正 εSr 的区域．这些样品的 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 和 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 有大致的正相关．已经知道，皖苏和山东地区这些岩石的 $^{87}Sr/^{86}Sr$~$^{206}Pb/^{204}Pb$ 同位素反相关．同时这些玄武岩的 Nd、Sr、Pb 同位素组成对于由 Zindler 根据海洋玄武岩所提出的“地幔面”方程的偏离很小[5]，仅万分之几．

本文 1989 年 10 月 12 日收到．

表 1　苏皖鲁新生代玄武质岩石 Sm、Nd 含量和钕同位素组成

NO	采样点	岩　性	Sm(ppm)	Nd(ppm),	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	年龄(Ma)
AJSN-3	嘉山女山	碧玄岩	9.46	44.59	0.1283	0.512966	0.55
AJSN-1	嘉山女山	碧玄岩	8.12	43.17	0.1139	0.512964	0.72
SWD-10	无棣大山	霞石苦橄岩	12.19	58.53	0.1260	0.512864	0.75
SBL-06	蓬莱五里井	苦橄玄武岩	10.50	52.10	0.1219	0.512898	5.03
SBL-09	蓬莱五里桥	苦橄玄武岩	8.32	38.51	0.1308	0.512885	5.11
SBL-10	蓬莱赤山	碱性玄武岩	9.73	51.57	0.1146	0.512924	5.17
SBL-G7	蓬莱铜井	碱性玄武岩	8.77	42.57	0.1246	0.512807	5.62
SQX-05	栖霞唐山硼	苦橄玄武岩	8.32	40.00	0.1258	0.512853	6.45
JLHF-1	六合方山	碱性橄榄玄武岩	4.74	18.14	0.1583	0.512887	9.07
JLHF-5	六合方山	碱性橄榄玄武岩	3.73	17.70	0.1274	0.512840	9.41
JJNF-3	江宁方山	碱性玄武岩	6.65	30.48	0.1320	0.512838	10.69
SYS-15	沂水太平顶	碱性玄武岩	6.11	30.06	0.1226	0.512966	14.02
AJSQ-2	嘉山清明山	拉斑玄武岩	5.47	23.39	0.1414	0.512615	15.41
JLHT-5	六合塔山	碱性橄榄玄武岩	4.07	15.92	0.1548	0.512933	16.27
AHFD-2	合肥大蜀山	碱性辉绿岩	2.62	11.19	0.1418	0.512803	36.19
AJSD-1	嘉山大横山	拉斑玄武岩	2.19	8.19	0.1621	0.512395	37.58
ADTF-4	当涂釜山	拉斑玄武岩	8.57	44.16	0.1173	0.512748	53.18
AJS-5	嘉山明光	拉斑玄武岩	4.01	20.37	0.1189	0.512446	54.79

注：年龄数据引自文献[1,2]，

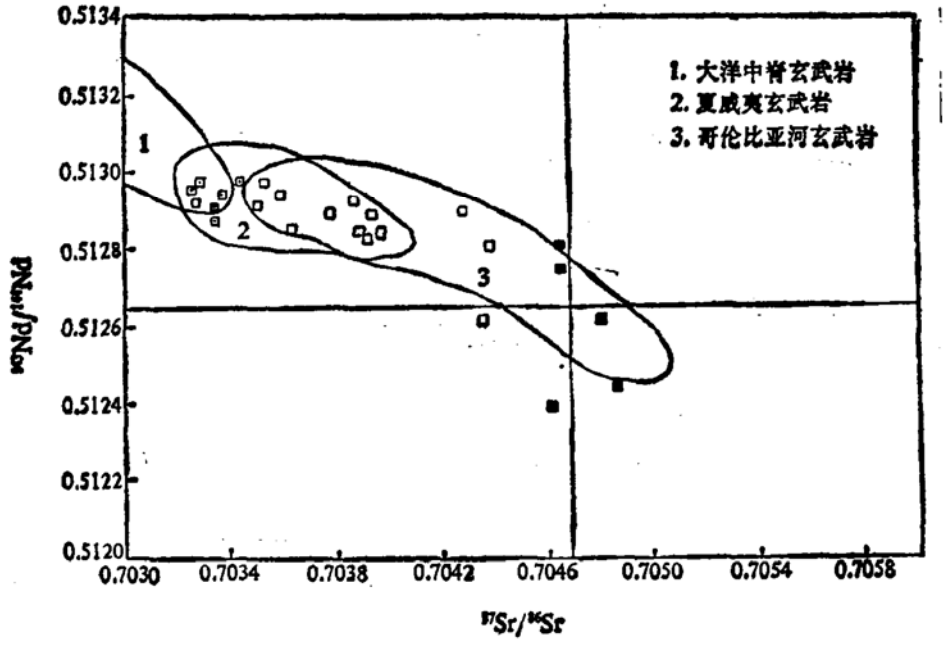


图 2　苏皖鲁玄武质岩石的 $^{143}Nd/^{144}Nd \sim ^{87}Sr/^{86}Sr$ 关系

图中 1、2、3 区域分别代表大洋中脊、夏威夷和哥伦比亚河玄武岩同位素变化范围，个别数据点引自文献[3]．■表示早第三纪岩石；□表示中新世岩石；⊡表示更新世、上新世岩石

这些事实说明该地区的玄武质岩石的同位素组成存在一定关系，这种关系是产生玄武质岩石源区物质简单的长期演化，还是存在其它过程的叠加呢？

二、讨　论

本区岩石的 $^{143}Nd/^{144}Nd \sim ^{87}Sr/^{86}Sr$、$^{206}Pb/^{204}Pb \sim ^{87}Sr/^{86}Sr$ 反相关、$^{143}Nd/^{144}Nd \sim ^{206}Pb/^{204}Pb$ 正

相关特征和绝大多数海洋环境玄武岩的 Nd~Sr、Nd~Pb 同位素反相关、Sr～Pb 同位素正相关显著不同，这种情况在其它大陆地区也有出现.产生这种现象的一个重要原因可能是 Pb 在大陆和大洋环境中有不同的演化方式.大洋中脊玄武岩（MORB）的 Nd~Sr、Nd~Pb 反相关特性要比洋岛玄武岩（OIB）明确得多，因为形成 MORB 的物质比较明确地来源于亏损的软流圈地幔，组成比较单一，而 OIB 的源区由于各种组分的加入而使这种关系减弱. 大陆地区岩石更由于陆下地幔的长期演化、陆下岩石圈地幔组分的多样性、大陆古老地壳的形成及其后续的壳幔物质交换使这一关系更加复杂，不同地区应有不同的解释.

图 2 的同位素关系表明，晚期的碱性玄武岩比早期的拉斑玄武岩亏损，但碱性玄武岩的不相容微量元素比拉斑玄武岩富化，稀土元素分异程度更高，这种微量元素高度富化同位素相对亏损的玄武岩，其源区必然存在一种近期过程(混合、交代)，使微量元素富集而同位素值不明显改变，否则岩石中的低 Sm/Nd 比不会产生高 $^{143}Nd/^{144}Nd$. 另一方面，如果岩石同位素组成单纯归结于源区的演化，既然存在子体同位素相关，二对放射性母子体 Sm/Nd 和 Rb/Sr 比也一定应该存在一定相关性[6]，实际上并未观察到. 这种子体同位素相关母子体比无关的现象也是近期混合过程的一个标志.

这种近期过程是发生在地幔内部还是壳幔之间呢？地壳混染是大陆玄武岩的一个严重问题. 关于上下地壳中 Nd、Sr 同位素组成看法接近一致，尽管本区 Nd、Sr 同位素有相当大的分散，但绝大部分都落入海洋玄武岩的地幔趋势内. 壳幔中 Pb 同位素组成比较复杂，目前尚未定论，按 Zartman 的全球构造模式[7]，上地壳是富放射成因铅的，但下地壳却比地幔还要亏损，是最亏损的单元，本区 Pb 同位素资料表明它们落入地幔源和地幔与下地壳之间区域.

因此 Nd 以及 Sr、Pb 同位素组成及关系表明，这种近期过程主要发生在地幔内部，不同源区组分的混合可能是造成岩石同位素变化的主要原因，如果岩石中有壳源成分的加入，应限制在下部地壳，拉斑玄武岩是有下地壳混染的最可能样品.

根据同位素组成，可将地幔源区鉴定出四个端元组分[8]，即亏损的 DMM、富集的 EMI 和 EMII，及具异常高 $^{238}U/^{204}Pb$ 的 HIMU，本区岩石同位素处于 DMM 和 EMI 之间，而 EMI 与再循环的下地壳和交代型地幔有关，这与我们的讨论是一致的. 结合本区岩石学特征，我们认为，早第三纪的拉斑质玄武岩其源区物质以 EMI 或接近原始地幔组分为主，可能来自较深部位，随着时代变新，岩石碱性增强，亏损的 DMM 端元组分明显增加，二者发生了近期的混合，因此就同位素和微量元素特征意义上而言，源区至少经历了二个阶段的演化.

参 考 文 献

[1] 陈道公、彭子成，地球化学，1985，4：293—303.
[2] 陈道公、彭子成，岩石学报，1988，2：3—12.
[3] Peng, Z. et al., *Chemical Geology*, **59** (1986), 3—33.
[4] 王银喜、杨杰东等，南京大学学报(自然科学版)，1988，2：297—308.
[5] Zindler, A. et al., *Nature*, **298** (1982), 519—523.
[6] Langmuir, C. H. et al., *Earth Planet Sci. Lett.*, **37**(1978), 380—392.
[7] Zartman, R. E., *Proceeding of the 27th Intern. Geol. Congre.* **12** (1984), 83—106.
[8] Zindler, A. et al., *Ann. Rev. Earth Planet Sci.*, **14**(1986), 493—570.