

武当地块基性岩墙群及耀岭河群基性火山岩的 Sr、Nd、Pb、O 同位素研究*

张成立¹ 周鼎武¹ 金海龙² 韩松³ 刘颖宇¹

1. 西北大学地质系, 西安 710069;

2. 新疆师范大学地理系, 乌鲁木齐 830054;

3. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100081.

1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069);

2. Department of Geography, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054

3. Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081.

1998-05-31 收稿, 1999-01-15 改回.

Zhang Chengli, Zhou Dingwu, Jin Hailong, Han Song and Liu Yingyu. 1999. Study on the Sr, Nd, Pb and O isotopes of basic dyke swarms in the Wudang block and basic volcanics of the Yaolinghe Group. Acta Petrologica Sinica, 15(3):430~437

Abstract The Sr, Nd and Pb of Wudang basic dyke swarms and basic volcanics of Yaolinghe group display that they were derived from the same mixing source of multi-component. The Wudang basic dyke swarms have $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.6905 \sim 0.7061$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -1.9 \sim 5.0$, $\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 35.49 \sim 190.26$, $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 4 \sim 85$, low Th/Ta and wide range of La/Yb; and the basic volcanics of Yaolinghe group have $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ of 0.6487~0.7075, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 0.11 \sim 3.94$, $\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = -81.58 \sim 219.95$, $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 4.44 \sim 16.68$ and higher Th/Ta and La/Yb, indicating that their source was mainly combined by DM and EMII and the basic volcanics of Yaolinghe group was contaminated with crust materials en rout to the surface. Based on their geochemical feature with continental tholeiitic basalts and being products of different facies driven from the same source, it can be concluded that an important rifting in the south Qinling basement block occurred during Neo-Proterozoic, and then entered into a setting of ocean-basin in the early Paleozoic.

Key words Basic dyke swarms, Basic volcanics, Isotope, Geochemistry, Wudang block, Yaolinghe Group

摘要 武当地块基性岩墙群与耀岭河群基性火山岩的 Sr、Nd、Pb 同位素特征反映它们具相同的混合地幔源区。前者的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.6905 \sim 0.7061$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -1.9 \sim 5.0$, $\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 35.49 \sim 190.26$, $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 4 \sim 85$, Th/Ta 低, La/Yb 变化大; 后者的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.6487 \sim 0.7075$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 0.11 \sim 3.94$, $\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = -81.58 \sim 219.95$, $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 4.44 \sim 16.68$, Th/Ta 和 La/Yb 较高。这指示它们的源区以岩石圈亏损地幔和第 2 类富集地幔为主要混合组分, 耀岭河群基性火山岩曾遭受地壳物质的混染。结合它们具大陆拉斑玄武岩地球化学特征, 代表同源异相裂谷环境的产物推断, 南秦岭基底陆块在新元古代时曾发生过一次重要裂解作用, 并向早古生代秦岭洋盆转变。

关键词 基性岩墙群; 基性火山; 同位素; 地球化学; 武当地块; 耀岭河群

中图分类号 P597; P588.14

* 本文为国家自然科学基金 (No. 49572145) 资助项目的成果。

第一作者简介: 张成立, 男, 1956 年出生, 副教授, 岩石学、地球化学专业。

1 引言

基性岩墙群在世界范围内元古宙大陆岩石圈中广为发育，它们在研究早期大陆地壳演化中具有重要意义。南秦岭构造带前震旦纪武当地块内出露大量形成于 782Ma 的基性岩墙群（周鼎武等，1997，1998），这为探讨南秦岭构造带元古宙的地质演化提供了良好的物质基础，本文在区域地质研究基础上，结合武当地块基性岩墙群和耀岭河群基性火山岩地球化学特征，着重对它们的 Nd、Sr、Pb、O 同位素进行详细研究，以期对南秦岭中、新元古代地质演化提供约束条件。

2 地质简况

武当地块是南秦岭构造带前震旦纪基底岩块的重要组

成部分，主要出露中元古界武当岩群浅变质沉积-火山岩系，其上以不整合关系发育下震旦统耀岭河群变质沉积-火山岩系和上震旦统陡山沱组、灯影组及古生界沉积岩系。该地块武当岩群内普遍有基性岩墙的侵入，并多成群出现，仅有少数呈岩床状见于耀岭河群内。这些岩墙主要由辉长岩和辉绿岩组成，一般宽约 30~100m，长几公里到几十公里不等（图 1），现多已发生变质、变形，变质达低绿片岩相，个别可达绿帘石角闪岩相。

耀岭河群以基性熔岩及凝灰岩为主，伴有少量角斑岩、石英角斑岩、粗面岩、流纹岩和凝灰岩类，间或有少量沉积岩（碎屑岩和碳酸盐岩）层，也均已变质、变形，变质程度为低绿片岩相。

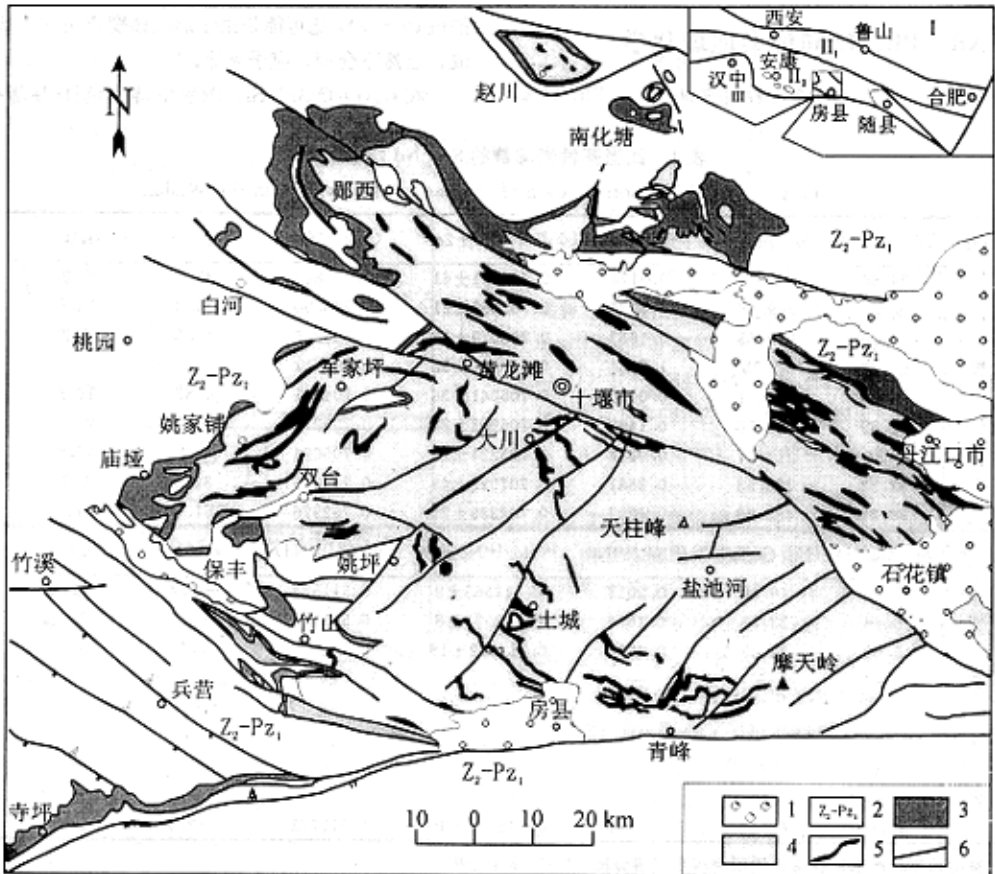


图 1 武当地块地质略图

1. 第四系-白垩系; 2. 上震旦统-古生界; 3. 耀岭河群; 4. 武当岩群; 5. 基性岩墙; 6. 断层

Fig. 1 Sketch geological map of Wudang block

3 样品采集与分析

用以研究的样品是在对武当地块内规模较大的岩墙进行了详细野外工作基础上, 选取弱变形岩墙共采集了 22 组岩样。在对这些岩样进行了详细的显微镜观察及主量、微量和稀土元素研究后, 精选出新鲜、有代表性的 9 个变辉绿岩样品进行了 Sr、Nd、Pb、O 同位素测试分析。其中 Sr、Nd 和 O 同位素在中国地质科学院地质研究所同位素研究室完成。Sr、Nd 同位素分析测定在 MAT-261 固体同位素比值质谱仪上进行, 实验方法及流程见张宗清等 (1994)。Sr 同位素质量分馏用 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}=8.37521$ 校正, Rb/Sr 比值测定精度优于 0.1%。Nd 同位素质量分馏 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 校正, Sm/Nd 比值测定精度优于 0.1%。Pb 同位素由中国科学院地质研究所同位素室测试分析。

4 Sr、Nd、Pb、O 同位素地球化学

表 1、2 列出了武当地块基性岩墙的 Nd、Sr、Pb、O 实

测同位素分析数据。由表中所列 Sr、Nd、Pb 实测同位素数据, 利用该区现已获得的 Sm-Nd 同位素等时年龄对放射成因的 Sr、Nd、Pb 同位素进行校正后得到 Sr、Nd、Pb 同位素初始比值、 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 及 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 等。计算时选用的参数分别为: $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}=0.512638$, $\lambda_{\text{Sm}}=6.54 \times 10^{-12}\text{a}^{-1}$ (Hugh, 1993)。此外, 根据 Hart (1984) 计算方法, 计算了 $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 ΔSr , 计算参数 $\mu=8.8$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}=3.6$ (Zartman and Dos, 1981)。这些数值也列入表 1、2 中。

4.1 Sr 同位素组成

武当地块基性岩墙的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.6905~0.7061 ($t=782\text{Ma}$) (周鼎武等, 1998), 耀岭河群基性火山岩的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.6487~0.7075 ($t=805.8\text{Ma}$)^①。它们的 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 分别为 -11.1~33.9 ($t=782\text{Ma}$) (表 1) 和 14.8~53.6 ($t=805.8\text{Ma}$)。其中, 一个样品的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 低于球粒陨石的值 (0.699), 这可能是由于后期蚀变作用导致 Sr 活动所造成, 显然不合理, 应予剔除。

在 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ - $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 图解中, 除个别样品落在大陆岩石

表 1 武当基性岩墙群的 Sr、Nd 同位素分析

Table 1 Sr and Nd isotopic data of the basic dyke swarms in the Wudang

序号	岩性	Rb ($\mu\text{g/g}$)	Sr ($\mu\text{g/g}$)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	$\epsilon_{\text{Sr}}(0)$	$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$	ΔSr
1	变	26.64	242.3	0.3174	0.707361 \pm 61	0.703817	37.8	0.9	73.6
2		8.96	209.40	0.1235	0.707469 \pm 21	0.706090	39.3	33.9	74.7
3		16.96	299.85	0.1633	0.706079 \pm 15	0.704255	19.6	7.2	60.8
4	辉	58.27	94.75	1.7764	0.710346 \pm 32	0.690511			
5	绿	1.46	470.71	0.0090	0.705041 \pm 36	0.704941	4.83	16.9	50.4
6		11.59	223.36	0.1498	0.706903 \pm 24	0.705230	31.3	21.0	69.0
7		0.86	212.97	0.0116	0.705224 \pm 45	0.705094	7.4	19.0	52.2
8		32.58	326.53	0.2881	0.707022 \pm 49	0.703805	33.0	0.7	70.2
9		80.28	482.69	0.4803	0.708339 \pm 25	0.702976	51.6	-11.1	83.4
		岩							

序号	岩性	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$
1	变	5.46	16.40	0.2013	0.512565 \pm 9	0.511533	-1.4	-1.9
2		6.46	23.38	0.1673	0.512571 \pm 8	0.511713	-1.3	2.0
3		5.60	22.39	0.1516	0.512662 \pm 18	0.511885	0.5	5.0
4	辉	—	—	—	—	—	—	—
5	绿	—	—	—	—	—	—	—
6		—	—	—	—	—	—	—
7		—	—	—	—	—	—	—
8		—	—	—	—	—	—	—
9		—	—	—	—	—	—	—
		岩	13.60	63.42	0.1297	0.512438 \pm 10	0.511773	-3.9

表中数据由地质矿产部地科院地质研究所张宗清分析。‘—’ 示未分析。

① 鄂西北地质矿产研究所, 1995. 鄂西北地区耀岭河火山岩系含金银多金属矿产的控矿因素、成矿规律及找矿标志成矿预测研究。

表 2 武当基性岩墙群的 Pb、O 同位素分析
Table 2 Pb and O isotopic data of the basic dyke swarms in the Wudang

序号	岩性	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}), (^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}), (^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}), \Delta$	$\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\delta^{18}\text{O}$		
1		18.0060	15.5685	38.2669	16.87106	15.49450	37.01722	12.57	87.06	9.0
2	变	17.3226	15.4438	37.4314	16.18766	15.36975	36.18170	7.50	86.14	7.8
3		18.3692	15.5654	38.6822	17.23423	15.49120	37.43249	8.30	84.69	7.6
4	辉	17.7437	15.5176	37.7984	16.60875	15.44358	36.54866	10.32	71.92	7.1
5		18.0587	16.2449	39.2401	16.92373	16.17089	37.99039	79.63	178.01	7.6
6	绿	17.9346	15.5128	37.8563	16.79969	15.43873	36.60657	7.76	54.62	7.2
7		18.0479	15.5015	37.6794	16.91299	15.42748	36.49969	5.41	23.24	7.6
8	岩	18.0496	15.5858	38.2813	16.91461	15.50074	37.03162	21.02	83.23	7.3
9		18.5667	15.5915	39.0113	17.43170	15.51742	37.76162	8.78	93.72	7.7

Pb 同位素数据由中国科学院地质研究所同位素室分析; O 同位素数据由中国地质科学院地质研究所同位素室分析。

圈地幔范围外,多数样品投影点落在大陆岩石圈地幔范围内的 OIB 区或其邻近区域。指示它们主要来源于与 OIB 相类似的地幔源区。此外,武当基性岩墙群特别是耀岭河群基性火山岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 变化不大,而 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$, 相对有较大的变化范围,随 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 增大而升高,有向大陆岩石圈地幔区迁移的趋势(图 2),反映耀岭河群基性火山岩受到大陆地壳物

质污染的影响。

4.2 Nd 同位素组成

武当地块基性岩墙的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值相对较低,变化于 0.5124~0.5127 之间,按其 Sm-Nd 全岩等时年龄 782Ma (周鼎武等, 1998) 计算的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -1.9 \sim 5.0$ 。耀岭河群基性火山岩的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值变化范围与其基本相同,在 0.5123~0.5128 之间,按其 Sm-Nd 全岩等时年龄 805.8Ma 计算出的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 0.22 \sim 3.94$ 。表明它们的源区为未亏损或弱亏损地幔源区。若假定现代地幔的 $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = +10$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.2137$, 那么武当地块基性岩墙在 782Ma 时的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为 +8.34, 耀岭河群基性火山岩在 805.8Ma 时的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 约为 +7.68, 它们均位于典型大洋中脊玄武岩 ϵ_{Nd} 演化线以下的位置,指示它们的地幔源区有富集地幔物质的加入。

4.3 Pb 同位素组成

武当地块基性岩墙及耀岭河群基性火山岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分别变化于 17.7437~18.5666 和 17.2060~18.2780 之间; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分别为 37.4314~39.2401 和 37.9090~38.9200; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.4438~16.2449 和 15.4366~15.5520 (表 2)。在 Pb-Pb 图中,样品投影点相对集中于零等时线左侧,落在北半球参照线(NHRL)之上的具 DUPAL 异常的洋岛玄武岩低放射性 Pb 的区内(图 5)。它们的 $\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 大部分大于 80, $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 4~85 之间(表 2),与南半球具 DUPAL 异常省的偏离量大致相当(Hart, 1984),暗示它们的源区与南半球具 DUPAL 异常的

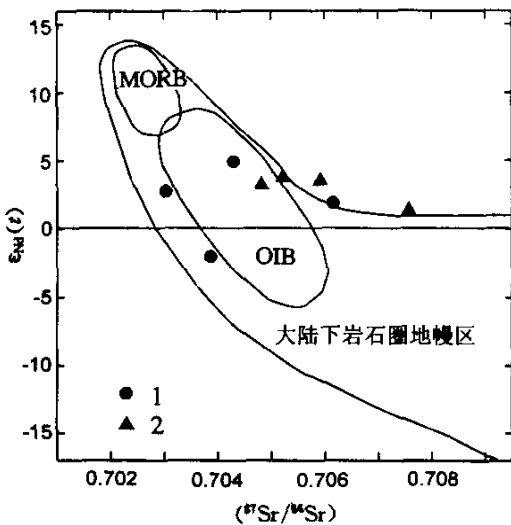


图 2 武当基性岩墙及耀岭河群基性火山岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 变异图 (Wilson, 1989)

1. 武当基性岩墙; 2. 耀岭河群基性火山岩 (数据据鄂西北地质矿产研究所, 1995①)

Fig. 2 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ vs. $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ diagram for basic dykes in Wudang block and basic volcanics of Yaolinghe Group

① 鄂西北地质矿产研究所. 1995. 鄂西北地区耀岭河火山岩系含金银多金属矿产的控矿因素、成矿规律及找矿标志成矿预测研究。

洋岛玄武岩源区相似。 $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 相关图判别显示,它们的源区为亏损软流圈地幔与第 2 类富集地幔 (EMII) 相混合的异常地幔 (图 4)。

4.4 O 同位素组成

武当地块基性岩墙的全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值 (7.1‰~9.0‰) 和耀岭河群基性火山岩的全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值 (8.0‰~13.8‰) 都明显高于大陆拉斑玄武岩及洋岛玄武岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值 (5‰~7‰) (Wilson, 1989)。在 $\delta^{18}\text{O}-(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 图中,武当地块基性岩

墙及耀岭河群基性火山岩的样品投影点相对散乱,未呈现明显混染趋势,但耀岭河群基性火山岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值相对有较大的变化范围,并略有沿陆壳混染趋势的分布 (图 5),因而暗示在岩浆上升过程中曾受到地壳物质混染的影响。另一方面,由于热液蚀变及低温的水-岩交换可使 $\delta^{18}\text{O}$ 有明显升高 (Barrett *et al.*, 1989)。因此,耀岭河群基性火山岩及武当地块少数基性岩墙有较高的 $\delta^{18}\text{O}$ 并散乱分布很可能主要是后期遭受低温蚀变所致。

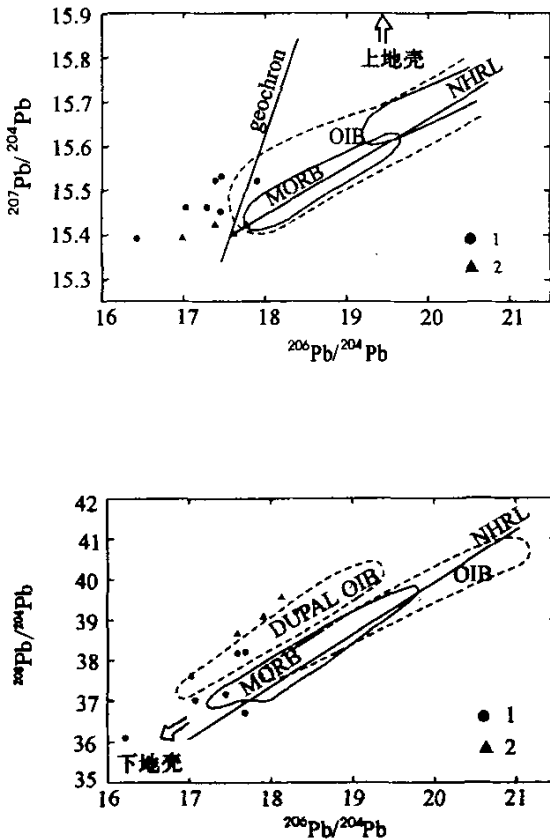


图 3 武当地块基性岩墙和耀岭河群基性火山岩的 Pb-Pb 变异图 (Wilson, 1989)

NHRL 为北半球参照线; Geochron 为零等时线; MORB 为洋中脊玄武岩; OIB 为洋岛玄武岩; DUPAL OIB 为具 DUPAL 异常的洋岛玄武岩; 图中样品点同图 2

Fig. 3 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagrams for basic dykes in Wudang block and basic volcanics of Yaolinghe Group

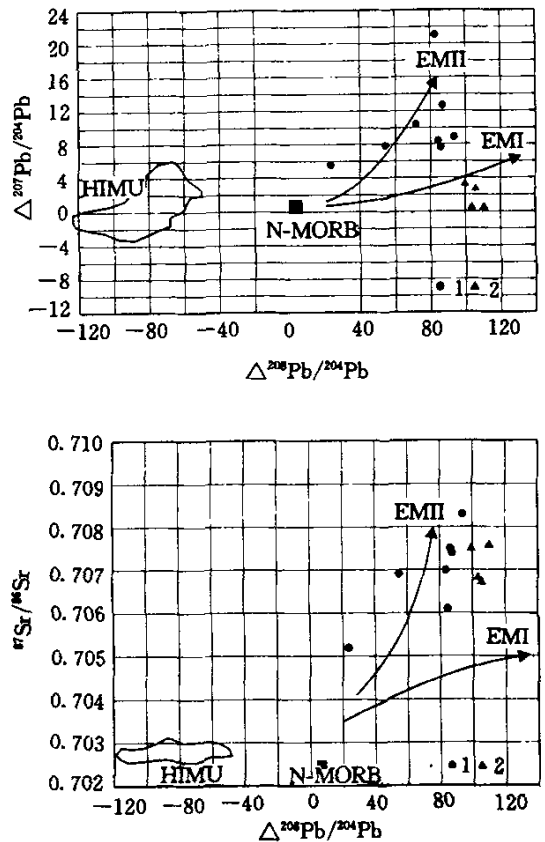


图 4 武当地块基性岩墙和耀岭河群基性火山岩的 $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 相关图 (Hart, 1988)

图中符号同图 2

Fig. 4 $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagrams for basic dykes in Wudang block and basic volcanics of Yaolinghe Group

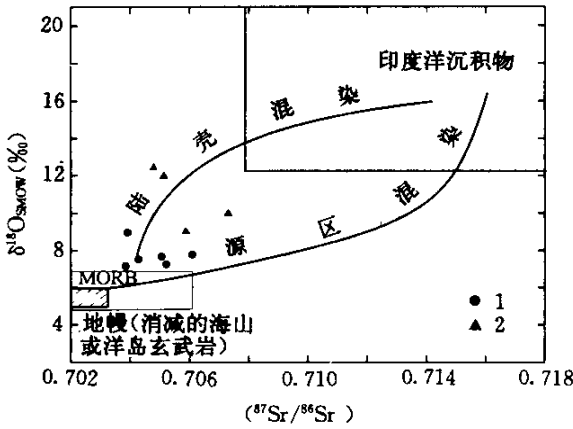


图5 武当地块基性岩墙及耀岭河群基性火山岩的 $\delta^{18}\text{O}$ - $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 变异图 (据 Von Blanckenburg *et al.*, 1992)

图中符号同图2

Fig. 5 $\delta^{18}\text{O}$ vs. $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ diagram for basic dykes in Wudang block and basic volcanics of Yaolinghe Group

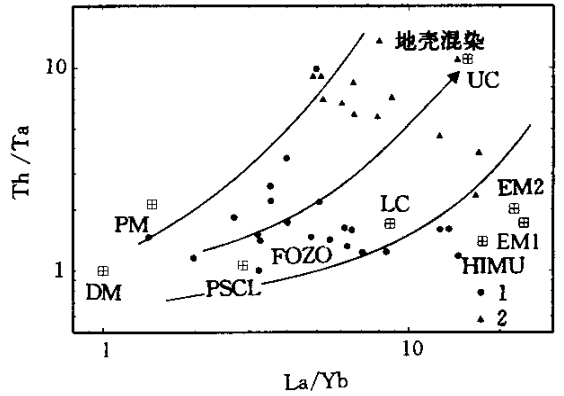


图6 武当地块基性岩墙耀岭河基性玄武岩的 Th/Ta-La/Yb 变异图 (Condie, 1997)

PM 为原始地幔; DM 为亏损地幔; PSCL 为太古宙后大陆下岩石圈; FOZO 为 Nd-Sr-Pb 同位素演化汇敛带; HIMU 为高 μ 值地幔, EM I 为第一类富集地幔; EM II 为第二类富集地幔; LC 为下地壳; UC 为上地壳; 图中符号同图2

Fig. 6 Th/Ta vs. La/Yb diagram for basic dykes in Wudang block and basic volcanics of Yaolinghe Group

5 讨论

武当地块的基性岩墙主要见于武当岩群中,也有少量发育于耀岭河群中。它们的 Sm-Nd 全岩等时年龄为 782Ma (周鼎武等, 1997), 耀岭河群变火山岩的 Sm-Nd 全岩等时年龄为 805.8Ma^①, 表明武当基性岩墙群与耀岭河群变火山岩是基本同期形成的。

Th/Ta-La/Yb 图 (图6) 中投影表明, 武当基性岩墙的 Th/Ta 较低, La/Yb 有相对较宽的变化范围, 投影点基本沿亏损地幔 (DM)、Nd-Sr-Pb 同位素演化汇敛带 (FOZO) 及富集地幔 (EM) 一线分布, 反映它们形成受多源区的控制。耀岭河基性火山岩的 Th/Ta 及 La/Yb 比值相对较高, 在图6中分布于富集地幔向上地壳过渡的范围, 指示曾受到地壳物质混染作用的影响。 $\Delta^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $\Delta^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 相关图 (图4) 表明, 它们的源区主要为亏损地幔与第2类富集地幔 (EMII) 相混合的异常地幔。武当岩群火山岩具岛弧火山岩岩石组成特征, 形成于活动大陆边缘, 曾经历过以消减为主的活动大陆边缘演化阶段 (Zhou Dingwu *et al.*, 1996; 刘国惠等, 1993; 陈晋铤和秦永正, 1991; 许继锋等, 1996)。因此, 极大的可能是这次消减作用造成了本区第2类富集地幔 (EMII) 的存在。

通常, 基底地块内基性岩墙群的出现不仅指示在其形成之前曾有一相当规模的刚性、半刚性已固结陆块发育, 而且是陆块拉伸、裂谷形成作用的重要证据 (Windley, 1984)。在某些情况下, 基性岩墙群与大陆溢流玄武岩在时空上相关, 可能代表溢流玄武岩地幔羽岩浆系统的一部分。武当地块基性岩墙及耀岭河基性火山岩空间上密切相伴, 它们均具有裂谷环境形成的大陆拉斑玄武岩稀土及微量元素地球化学特征 (王寿琼, 1994; 张成立等, 1999), Sr、Nd、Pb 同位素特征指示它们来自于以亏损地幔与第2类富集地幔 (EMII) 为主要组成的混合地幔源区。因此, 武当地块基性岩墙和耀岭河群基性火山岩为同一地幔羽岩浆产物的不同部分, 它们的形成指示, 该区在 800Ma 左右曾发生了一次重要的裂解作用。

武当岩群和耀岭河群的岩石组合以及变质特征明显不同, 两群之间存在一重要不整合界面 (王宗合, 1989; 胡建民等, 1995; Zhou Dingwu *et al.*, 1996)。武当岩群的年龄早于 1018Ma, 变化于 1018~1930Ma 之间 (张宗清等,

① 鄂西北地质矿产研究所, 1995. 鄂西北地区耀岭河火山岩系含金银多金属矿产的控矿因素、成矿规律及找矿标志成矿预测研究。

1996), 耀岭河群的年龄在 700~1000Ma 之间, 主要集中于 700~800Ma 之间 (王宗合, 1989; Zhou Dingwu *et al.*, 1996), 表明两岩群形成之间存在一长的时间间断, 它们经历了完全不同的构造作用, 分属不同构造层。由此推测, 在武当岩群火山岩形成之后, 耀岭河群基性火山岩形成之前的 1000Ma 左右, 扬子地块北缘曾发生过一次强烈的构造运动 (胡建民等, 1995; Zhou Dingwu *et al.*, 1996), 并可能造成了武当地块基底的固化。该地块内基性岩墙群与耀岭河群基性火山岩的存在表明, 在 800Ma 左右该地区发生了陆块裂解作用。这标志着该区由南秦岭活动大陆边缘构造环境形成的固化基底在新元古代时开始了向裂谷环境的重要转变, 继而向早古生代秦岭洋盆环境的发展。

6 结论

南秦岭武当地块基性岩墙与耀岭河群基性火山岩源区与南半球具 DUPAL 异常的洋岛玄武岩源区相似, 是一以亏损软流圈地幔 (DM) 和第 2 类富集地幔 (EMII) 为主要端元组分的混合源区。它们是在 800Ma 时形成的同源异相的产物, 代表了南秦岭固化基底在新元古代时发生过一次重要的裂解事件。这一认识, 无疑对南秦岭新元古代的构造演化特别是晋宁期构造意义等长期有争议问题的解决提供了重要证据。

致谢 成文过程中, 高山教授给予许多帮助, 在此致谢。

References

- Barrett T J and Friedrichsen H. 1989. Stable isotopic composition of typical ophiolitic rocks from east Liguria, Italy. *Chem. Geol.*, 80: 71~84
- Brian F Windley. 1984. *The evolving continents*. New York: John Wiley and Sons
- Chen Jinbiao and Qin Yongzheng. 1991. Geological character of Wudang rock group. In: Tianjing, Translation press Co. of Science and Technology in Tianjing. (in Chinese)
- Condie K C. 1997. Sources of Proterozoic mafic dyke swarms: constraints from Th/Ta and La/Yb ratios. *Precambrian Research*, (81): 3~14
- Hart S R. 1984. A large-scale isotopic anomaly in the Southern Hemisphere mantle. *Nature*, 309: 753~757
- Hart S R. 1988. Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies. *Earth and Planetary Science Letters*, 90: 273~296
- Hu Jianming, Guo Liyu, Sun Zixin *et al.* 1995. Geological significance of unconformity between Wudangshan rock group, Yaolinghe group on the northern margin of Yangtze block. *Journal of Geological Institute in Xi'an*, 17 (1): 22~27 (in Chinese with English abstract)
- Liu Guohui, Zhang Shouguang, You Zhendong *et al.* 1993. Main metamorphic rock groups and their evolution in Qinling Orogenic Belt. In: Beijing, Publishing House of Geology. 106~114 (in Chinese)
- Rollinson H R. 1993. *Using Geological Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. New York: John Wiley & Sons, 266~294
- Von Blanckenburg F, Fruh-Green G and Diethelm K. 1992. Nd-, Sr-, O-isotopic and chemical evidence for a two-stage contamination history of mantle magma in the Central-Alpine Bergell intrusion. *Contr. Mineral. Petrol.*, 110: 33~45
- Wang Shouqun. 1994. Characteristics of REE and analysis of tectonic setting of Yaolinghe group in southern central Qinling. *Henan Geology*, 3: 318~327 (in Chinese with English abstract)
- Wang Zonghe. 1989. Division and correlation of Wudang Group in northwestern Hubei. *Hubei geology*, 3 (1): 17~29 (in Chinese)
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. London: Unwin Hyman. 325~374
- Xu Jifeng, Zhang Benren and Han Yinwen. 1996. Two kinds of Proterozoic crustal basements and crustal growth in eastern Qinling Orogenic Belt. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 21 (5): 476~480 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Chengli and Zhou Dingwu. 1999. A study on the geochemistry of basic dykes from Wudang Block and its tectonic significance. *Geochimica*, 28 (2): 126~135 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Guowei, Zhang Zongqin and Dong Yunpeng. 1995. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling orogen; implications for the tectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 11 (2): 101~114 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Zongqing, Liu Dunyi and Fu Guomin. 1994. Study on the chronology of Qinling metamorphic stratigraphy. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Fu Guomin *et al.* 1996. Ages of Qinling metamorphic stratigraphy and their tectonic significance. *Science in China*, 26 (3): 216~222 (in Chinese)
- Zhou Dingwu, Liu Liang, Hua Hong *et al.* 1996. A Discussion of the Middle and Late Proterozoic Tectonic Regime of Qinling-Dabie Orogenic Belt. *Journal of Northwest University*, 26 (1): 133~141
- Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Wang Juli *et al.* 1997. A study on the basic dyke swarms in Wudang block and its geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 42 (23): 2546~2549 (in Chinese)
- Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Liu Liang *et al.* 1998. Sm-Nd dating of basic dykes from Wudang block and discussion of related questions. *Acta Geoscientia Sinica*, 19 (1): 25~30 (in Chinese with English abstract)
- Zartman R E and Dos B R. 1981. Plumetectonic-The model. *Tectonophys.*, 75: 135~162

附中文参考文献

- 陈晋德, 秦永正. 1991. 武当岩群地质特征, 天津: 天津科技翻译出版公司
- 胡建民, 郭力宇, 宋子新等. 1995. 扬子地块北缘武当山岩群与耀岭河群不整合接触关系的地质意义. *西安地质学院学报*, 17 (1):

22~27

刘国惠, 张寿广, 游振东等. 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化, 北京: 地质出版社, 106~114

王寿琼. 1994. 中秦岭南端耀岭河群稀土元素特征及其构造环境分析. 河南地质, 3: 318~327

王宗合. 1989. 鄂西北武当山群的划分与对比. 湖北地质, 3(1): 17~29

许继锋, 张本仁, 韩吟文. 1996. 东秦岭造山带两类元古宙地壳基底及其地壳增生. 地球科学, 21(5): 476~480.

张成立, 周鼎武. 1999. 武当山地块基性岩墙群地球化学研究及其大地构造意义. 地球化学, 28(2): 126~135

张国伟, 张宗清, 董云鹏. 1995. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义. 岩石学报, 11(2): 101~114.

张宗清, 刘敦一, 付国民著. 1994. 秦岭变质地层同位素年代研究. 北京: 地质出版社

张宗清, 张国伟, 付国民等. 1996. 秦岭变质地层年龄及其构造意义. 中国科学, 26(3): 216~222.

周鼎武, 张成立, 王居里等. 1997. 武当山地块基性岩墙群研究及其地质意义. 科学通报, 42(23): 2546~2549

周鼎武, 张成立, 刘良等. 1998. 武当地块基性岩墙群的 Sm-Nd 定年及其相关问题讨论. 地球学报, 19(1): 25~30