

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 北秦岭西峡二郎坪群枕状熔岩中一个岩枕的年代学和地球化学研究

孙卫东 李曙光

孙 勇 张国伟

(中国科学技术大学地球和空间科学系, 合肥) (西北大学地质系, 西安)

张宗清

(中国地质科学院地质研究所, 北京)

**内容提要** 河南省西峡县二郎坪群绿片岩相枕状熔岩岩枕保存完整, 受构造改造轻微。在海水蚀变和后期变质作用过程中 REE, Zr, Th, Nb, Sr, Ti, P 等元素的变化较小, 基本上仍能反映原岩的特点, 而 Ba, U, Rb 等元素受到了明显的改造, 含量变化较大。上述相对稳定的元素的地球化学特征表明, 二郎坪群枕状熔岩具有典型的岛弧蛇绿岩的特点。Rb-Sr 全岩等时线年龄为 401.9±6.3Ma, 代表了其绿片岩相变质的时代, 表明二郎坪群蛇绿岩遭受了加里东期变质作用。

**关键词** 痕量元素 同位素 年代学 枕状熔岩 二郎坪群 北秦岭

二郎坪群蛇绿岩是秦岭北带蛇绿岩的重要代表, 出露于商县断裂南侧, 以断裂关系夹于“宽坪群”和“秦岭群”之间, 在秦岭造山带演化中占有重要的地位, 长期以来一直受到较为广泛的重视<sup>[1-7]</sup>, 争论较大。争论的焦点集中在其形成环境、形成时代、变质时代等问题上。由于二郎坪群蛇绿岩普遍遭受海水蚀变和后期变质作用, 给研究工作带来很大困难, 尤其是关于蛇绿岩原岩恢复和形成环境的研究带来不便。因此, 要解决上述争论, 首先弄清海水蚀变及变质作用对蛇绿岩组成及其同位素体系的影响。

枕状熔岩岩枕的体积较小, 从岩浆均一化尺度的角度来看, 单个岩枕尺度内的岩浆, 在喷发冷凝前基本上是均一的。而喷发后, 岩枕的不同部位的结晶程度不同, 受到海水蚀变及后期变质作用也略有差异, 这些差异为查明海水蚀变及变质作用对熔岩痕量元素和同位素体系的影响创造了条件。

本文选用了二郎坪群枕状熔岩中受后期构造改造轻微的岩枕进行地球化学研究, 分析了各元素在海水蚀变和变质作用过程中的稳定性, 用稳定元素分析了其原岩的生成环境, 并在此基础上, 利用岩枕体积小、Rb-Sr 同位素体系易于均一的特点, 获得较为可靠的变质时代。

## 1 地质背景及样品

河南省西峡县二郎坪群蛇绿岩位于商县断裂南侧(图 1), 是秦岭北带蛇绿岩的典型代表, 出露比较完整, 主要由超镁铁质岩、镁铁质岩(枕状、块状)组成, 上覆大量陆源碎屑岩以及碳酸

本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49070165)。

本文 1995 年 3 月收到, 5 月改回, 郝梓国编辑。

盐岩，并夹有条带状放射虫硅质岩。岩石普遍遭受了绿片岩相到低角闪岩相变质，构造变形十分强烈<sup>[1, 3]</sup>。其中，二郎坪群火神庙组枕状熔岩受后期构造改造较轻，经历了绿片岩相变质，岩枕保存完好，可见清晰的内粗外细的结晶环带，斑晶为斜长石，含量<5%，斑晶直径在0.5—1mm之间。手标本可见少量的碳酸岩细脉贯入。

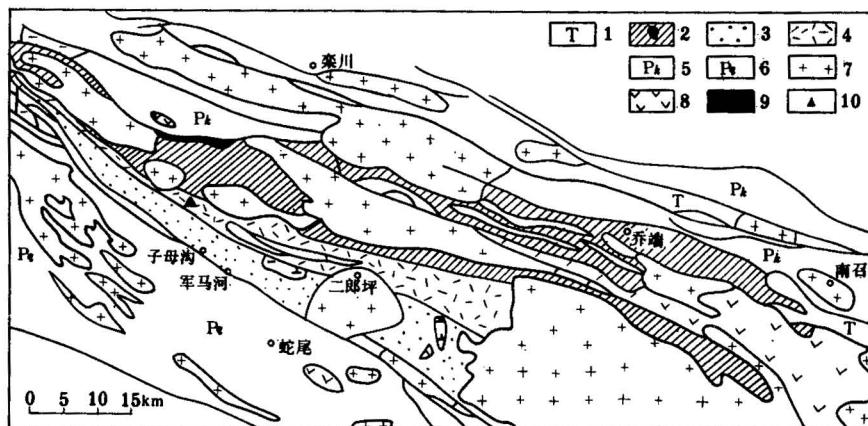


图1 河南西峡二郎坪地区地质略图

(据河南省区域地质志,1989)

Fig. 1 Geological sketch map of Erlangping area in the North Qinling belt

(after Geological Memoirs of Regional Geology of Henan Province, 1989)

1. 三叠系;2. 二郎坪群大庙组(Pz);3. 二郎坪群小寨组,子母沟组;4. 二郎坪群火神庙组;5. 宽坪群;

6. 秦岭群;7. 花岗岩;8. 闪长岩;9. 超基性岩;10. 采样点

1. Triassic system; 2. Damiao Formation of Erlangping Group; 3. Xiaozhai and Zimuguo Formation of Erlangping Group; 4. Huoshenniao Formation of Erlangping Group; 5. Kuanping Group; 6. Qinling Group; 7. granite; 8. diorite; 9. ultrabasic rock; 10. sampling point



图2 样品切块示意图

Fig. 2 Sketch map of sample partition

本文所用枕状熔岩岩枕(QXE11)采自河南省西峡县二郎坪湾潭，在西峡至二郎坪公路674km处路边小河的对岸。样品呈半椭球形，长约40cm，宽约20cm。将岩枕沿长轴方向切成6块，去掉边部风化部分，依次编号为QXE11-1—6。然后将QXE11-3分为3块，编号为QXE11-3、—31、—32，QXE11-3位于岩枕的核心部位(图2)。岩枕靠QXE11-6一端与其它岩枕相临，在采样时边缘部分断裂，因而样品较新鲜，蚀变轻微，斑晶含量最少。

## 2 海水蚀变及后期变质对痕量元素的影响

可以引起岩枕成分不均一的主要地质过程有：海水蚀变，变质作用和结晶作用。对于QXE11岩枕，斑晶含量<5%，主要是斜长石。如此小的结晶比例对不相容元素含量的影响可以忽略不计(<5%)；即使是作为相容元素的Sr( $D=1.3-2.9$ )，斑晶所产生的影响也小于土

10%。因此,在分析不相容元素含量变化时,我们忽略了结晶作用的影响。

二郎坪群枕状熔岩  $\text{CO}_2$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量较高,含量变化也很大(表 1),前者显然与后期变质过程中的碳酸盐脉的加入有关,而后者则是海水蚀变的结果。在所有样品中,QXE11-6 的  $\text{CO}_2$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  的含量明显低于其它样品,表明该样品受海水蚀变和后期变质作用的影响最小,与手标本观察结果一致。因此,利用 QXE11-6 对所有样品进行均一化处理,可以比较清楚地看出海水蚀变和后期变质对各元素的影响(图 3)。

表 1 二郎坪群枕状熔岩的主要元素含量(%)

Table 1 Major chemical compositions(%) of pillow basalts from Erlangping Group

野外编号	岩石类型	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{MnO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{H}_2\text{O}^+$	$\text{CO}_2$	Total
QXE11-1	枕状熔岩	46.36	0.62	12.66	2.64	5.57	5.41	12.83	0.16	0.74	4.26	0.11	2.41	5.86	99.79
QXE11-2	枕状熔岩	44.54	0.61	12.43	2.99	5.47	5.70	14.03	0.16	0.58	4.10	0.12	2.58	6.22	99.67
QXE11-3	枕状熔岩	43.61	0.61	11.76	2.25	5.81	6.14	14.25	0.17	0.59	4.15	0.12	2.52	7.31	99.43
QXE11-4	枕状熔岩	45.88	0.59	12.85	2.40	5.93	6.53	11.90	0.16	0.49	4.43	0.12	3.02	5.44	99.80
QXE11-5	枕状熔岩	48.75	0.57	13.95	2.41	5.20	6.19	10.03	0.15	0.34	5.24	0.11	2.97	4.24	100.24
QXE11-6	枕状熔岩	42.30	0.82	13.44	4.44	8.45	9.95	11.64	0.19	0.36	1.88	0.13	4.74	1.95	100.30
QXE11-31	枕状熔岩	44.84	0.57	12.30	2.12	5.23	5.33	13.98	0.16	0.49	4.81	0.12	2.46	7.65	100.31
QXE11-32	枕状熔岩	45.42	0.59	2.28	2.45	6.11	6.71	12.44	0.16	0.53	4.04	0.13	3.09	5.91	99.93

分析单位:地质矿产部武汉岩矿综合测试中心。

表 2 二郎坪群枕状熔岩的稀土元素含量( $\times 10^{-6}$ )

Table 2 REE concentrations( $\times 10^{-6}$ ) of pillow basalts from Erlangping Group

野外编号	岩石类型	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
QXE11-1	枕状熔岩	16.61	39.45	4.70	8.10	3.64	1.04	3.17	0.44	2.71	0.54	1.52	0.23	1.47	0.22	13.92
QXE11-2	枕状熔岩	17.88	36.64	4.91	17.93	3.68	1.03	3.05	0.45	2.73	0.54	1.49	0.23	1.37	0.20	13.72
QXE11-3	枕状熔岩	18.24	40.01	5.08	18.75	3.82	1.04	3.16	0.47	2.85	0.56	1.59	0.25	1.52	0.23	14.55
QXE11-4	枕状熔岩	16.60	38.25	5.12	18.28	3.72	1.08	3.21	0.47	2.78	0.57	1.64	0.25	1.63	0.23	14.65
QXE11-5	枕状熔岩	18.85	40.40	5.17	19.40	3.91	1.08	3.39	0.50	3.06	0.60	1.71	0.26	1.63	0.24	16.01
QXE11-6	枕状熔岩	20.79	45.82	6.36	24.16	5.08	1.45	4.36	0.65	4.00	0.78	2.28	0.34	2.19	0.32	20.41
QXE11-31	枕状熔岩	17.74	38.48	5.11	18.45	3.66	1.01	3.17	0.48	2.87	0.58	1.65	0.25	1.54	0.23	15.27
QXE11-32	枕状熔岩	18.15	41.00	5.15	18.28	3.73	1.01	3.27	0.50	2.91	0.58	1.64	0.26	1.58	0.24	14.63

分析单位:地质矿产部武汉岩矿综合测试中心。

由表 2,表 3 和图 3(a)可知,REE 和 Zr 等元素的变化范围在 -20%—0 之间,Ni 元素的变化范围在 0—20% 之间,表明上述元素在海水蚀变和变质作用过程中含量变化很小,基本上仍能反映原岩的特点。

Nb, Th 的变化幅度在 ±30% 左右。出现上述现象的原因很可能是:(1)元素含量太低(只有百万分之几),测定误差较大的结果;(2)或者只是原岩不均一的反映,与后期改造无关;(3)也可能是由于海水蚀变和后期变质对 Nb, Th 的含量影响不同,其中一个过程使之增加,另一

个过程使之降低,而且不同样品的海水蚀变和变质程度不同,两个过程叠加使不同样品表现出不同的特点。从总体上看,Nb,Th受后期改造不大。

表 3 二郎坪群枕状熔岩的痕量元素组成( $\times 10^{-6}$ )

Table 3 Trace element concentrations ( $\times 10^{-6}$ ) of pillow basalts from Erlangping Group

野外编号	岩石类型	Rb	Sr	Th	Cr	Ni	Zr	Ba	Nb	U
QXE11-1	枕状熔岩	23	169	6	646	163	64	304	5	2
QXE11-2	枕状熔岩	18	184	5	548	135	65	252	6	2
QXE11-3	枕状熔岩	17	133	3	593	170	63	268	4	4
QXE11-4	枕状熔岩	12	135	4	575	138	61	258	4	4
QXE11-5	枕状熔岩	6	123	6	531	159	60	199	4	2
QXE11-6	枕状熔岩	10	209	5	758	154	79	133	5	2
QXE11-31	枕状熔岩	14	116	4	488	163	64	225	5	4
QXE11-32	枕状熔岩	15	130	5	621	150	65	317	4	4

分析单位:地质矿产部物化探研究所。

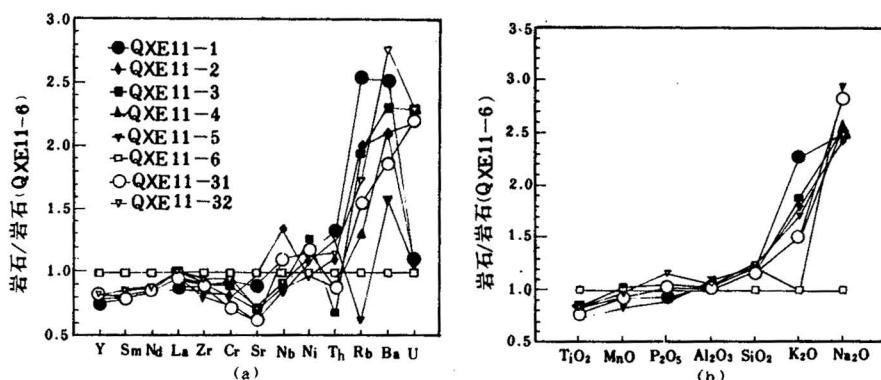


图 3 二郎坪群枕状熔岩对于 QXE11-6 均一化图

Fig. 3 Relative content plot for pillow basalts of Erlangping Group

Sr 元素的变化范围在-40%—0 之间,与前人的研究结果相比有较大差异:在海水蚀变过程中 Sr 基本上没有发生变化<sup>[8]</sup>。此外,Sr 是斜长石的相容元素,而 QXE11-6 是斑晶含量最少的样品,斑晶的影响的结果应使 QXE11-6 中的 Sr 含量减少。因此,Sr 元素的含量变化应是后期变质作用的结果。

Cr 的变化范围在-30%—0 之间,Ni 的变化范围在 0—30% 之间,变化幅度也较小。

Rb,Ba,U 等元素的含量变化大,表明海水蚀变和后期变质作用对它们的影响较大。其中,Ba 元素的稳定性与前人的研究结果相比有较大的差异,显示了变质作用的影响。根据前人的研究结果,在海水蚀变过程中,Ba 元素含量的变化幅度很小<sup>[8]</sup>,因此,二郎坪群枕状熔岩中 Ba 的含量变化应主要是后期变质作用的结果。

由图 3(b)表明,主要元素中  $TiO_2$ , $MnO$ , $P_2O_5$ , $Al_2O_3$ , $SiO_2$  的含量变化较小, $K_2O$ , $Na_2O$  的

含量变化幅度较大。

综上所述,在海水蚀变和变质作用过程中,REE,Zr,Th,Nb,Sr,Ti,P 的含量变化较小,基本上仍能反映原岩的特点,可以作为判断其原岩生成环境的标准。

### 3 二郎坪群枕状熔岩的地球化学特征

将本区蛇绿岩中不相容的痕量元素用原始地幔组成标准化,并按分配系数大小排序,做痕量元素丰度模型图<sup>[9]</sup>(图 4a)。该图显示,二郎坪群枕状熔岩具有明显的 Nb,Ti,P 负异常,Th 呈现正异常。一般认为,Nb,Ti,P 负异常与俯冲作用有关<sup>[10,11]</sup>。二郎坪群枕状熔岩的上述特点指示了它可能生成于岛弧或弧后盆地环境,是古生代沿商丹构造带发生的洋壳向北俯冲的产物。

二郎坪群枕状熔岩的 REE 分配模型与岛弧玄武岩(IAB)相似,呈现轻稀土富集的特点(图 4b)。Eu 无异常,显示在其岩浆演化过程中斜长石分离结晶作用不明显。

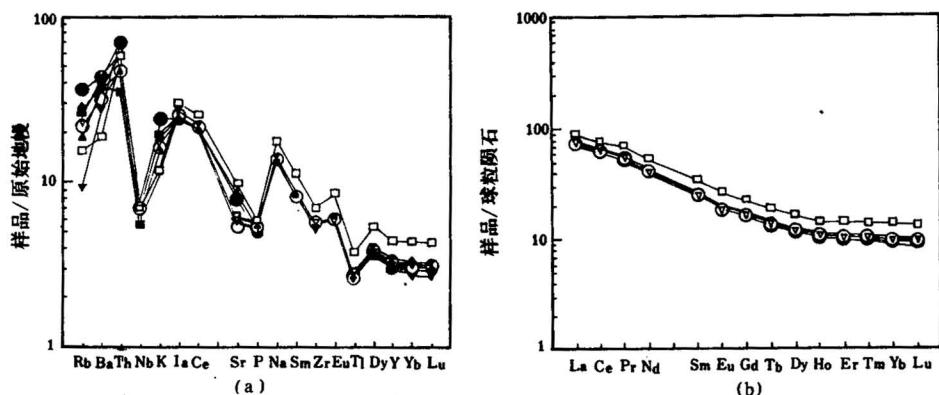


图 4 二郎坪群枕状熔岩中不相容元素原始地幔标准化和 REE 球粒陨石丰度图

Fig. 4 Primitive mantle normalized trace element patterns and chondrite normalized REE patterns of pillow basalts from Erlangping Group

蛇绿岩生成构造环境判别图也表明二郎坪群枕状熔岩生成于岛弧环境。在 Nb/Th-Nb 和 La/Nb-La 图<sup>[8]</sup>上,所有样品点都落在岛弧玄武岩(IAB)区(图 5)。

由于二郎坪群枕状熔岩中 Ba 元素的含量在后期变质作用过程中受到了明显的影响,原则上讲,与 Ba 元素有关的蛇绿岩构造环境判别图已不适宜作为判断其生成的构造环境的依据。这里将 Ba/Nb-Ba 和 Ba/Nb-Th/Nb 图列出,仅供参考。在上述两图上,所有样品点同样都落在 IAB 区(图 5)。

Ti/100-Zr-Y×3 和 Ti/100-Zr-Sr/2 图解(图 6)也支持了二郎坪群枕状熔岩生成于岛弧环境的判别结果。在图 6(a)中,大部分样品落入 C 区,少数样品落在 B 区与 C 区的交界线上,排除了它们是板内玄武岩(WPB)的可能。在图 6(b)中,所有样品均落在 A 区和 B 区的交界线上,进一步排除了它是洋中脊玄武岩(OFB)的可能。结合主要元素组成,可以推断二郎坪群枕状熔岩属于岛弧钙碱玄武岩(CAB)。

综上所述,根据痕量元素丰度模型图和蛇绿岩生成构造环境的 Nb/Th-Nb,La/Nb-La 图

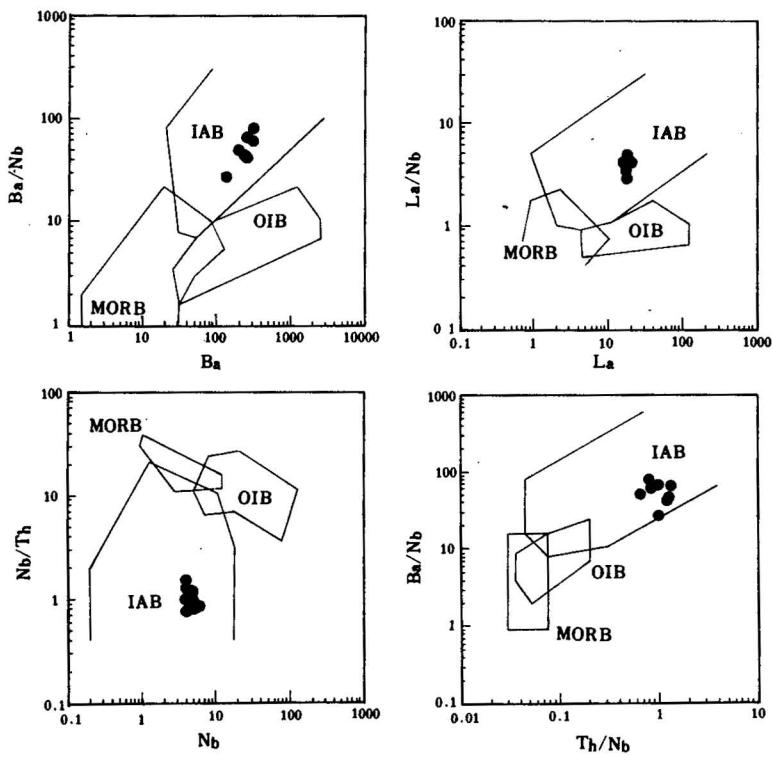


图 5 Ba-Th-Nb-La 蛇绿岩构造环境判别图

Fig. 5 Ba-Th-Nb-La diagrams of the ophiolitic tectonic environments

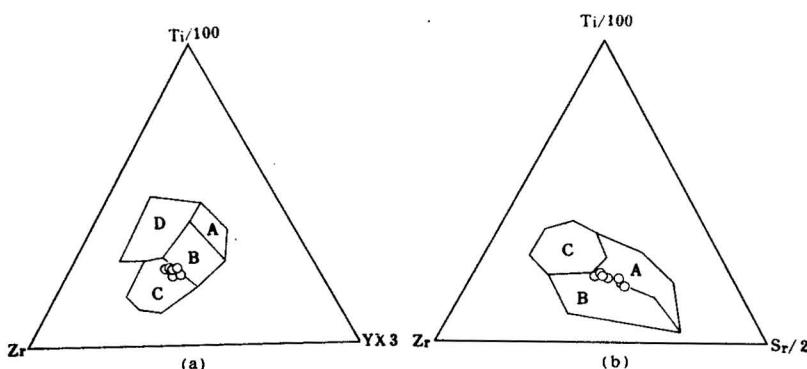
以及  $Ti/100-Zr-Y \times 3$  和  $Ti/100-Zr-Sr/2$  判别图解, 可以推断二郎坪群枕状熔岩是形成于岛弧环境的蛇绿岩。

#### 4 Rb-Sr 等时线年龄及 Sr, Nd 同位素地球化学

二郎坪群枕状熔岩样品的 Sm-Nd 同位素分析是在中国地质科学院地质研究所进行的, 由于样品尺度太小等原因, 未能形成很好的等时线。测定结果列于表 4, 模式年龄( $T_{DM10}$ )在 924—1109Ma 之间, 略低于西峡长探河二郎坪群火神庙组的石英角斑岩的模式年龄, 而与其中的细碧角斑岩的模式年龄相似<sup>[12]</sup>。

Rb-Sr 同位素组成由南京大学现代分析中心测定, 结果列于表 5。全岩 Rb-Sr 等时线示于图 7。年龄计算用 YORK-I 双误差回归法, 计算所用的  $\lambda_{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ , 给出的年龄值为  $401.9 \pm 6.3 \text{ Ma}$ 。由于二郎坪群枕状熔岩的 Rb、Sr 含量都在变质过程中发生了较大的变化(图 3, 表 3), 由此推断上述年龄应代表二郎坪群枕状熔岩的变质时代。 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.70553 \pm 3 \times 10^{-5}$ 。 $\epsilon_{\text{Sr}} = 21.2 \pm 0.4$ 。

蛇绿岩作为古洋壳的一部分, 其 Sr 同位素体系常因受到海水蚀变的影响而发生变化, 蛇绿岩的 Sr 同位素组成可在较大范围内变化。而作为稀土元素的 Sm-Nd 同位素体系受后期改造的影响较小, 由图 3(a), Sm, Nd 含量变化幅度在  $-20\% - 0$  之间, Nd 同位素组成变化范围

图 6 枕状熔岩的 Ti/100-Zr-Y $\times$ 3(a) 和 Ti/100-Zr-Sr/2(b) 图解Fig. 6 Ti/100-Zr-Y $\times$ 3(a) and Ti/100-Zr-Sr/2(b)diagrams of pillow basalts

(a) 洋中脊玄武岩(OFB)投入 B 区, 岛弧低钾拉斑玄武岩(LKT)投入 A 和 B 区, 岛弧钙碱玄武岩(CAB)

投入 B 和 C 区, 板内玄武岩(WPB)投入 D 区; (b) 岛弧低钾拉斑玄武岩(IAB)投入 A 区,

钙碱玄武岩(CAB)投入 B 区, 洋中脊玄武岩(OFB)投入 C 区

(a) Ocean floor basalt (OFB) in quarter B, island arc low potassium tholeiite(LKT)in quarter A and B, island arc calci-alkalic basalt (CAB) in quarter B and C, within plate basalt (WPB) in quarter D; (b) island arc low potassium tholeiite in quarter A, calci-alkalic basalt (CAB) in quarter B, ocean floor basalt (OFB)in quarter C

小。因此, Sr, Nd 同位素研究可作为判断铁镁质杂岩是否是蛇绿岩提供可靠依据。

但是,由于二郎坪群枕状熔岩在加里东期变质事件中, Sr 同位素至少在整个岩枕范围内发生了均一化, 已很难确定岩石的初始 Sr 同位素组成。在  $\epsilon_{\text{Sr}}-\epsilon_{\text{Nd}}$  图解上(图 8)上,  $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$  值稳定在 +20—+22 之间,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  保持在 +0.5—+2.8 之间, 多数样品仍落在岛弧玄武岩区( $t$  取 Rb-Sr 全岩等时年龄  $401.9 \pm 6.3$  Ma), 少数样品落在蛇绿岩区。 $\epsilon_{\text{Sr}}(0)$  值变化范围较大, 则可能是 Sr 同位素后期演化过程中, 由于 Rb, Sr 含量不均一的结果。

表 4 二郎坪群绿片岩相枕状熔岩的 Sm, Nd 含量及 Nd 同位素组成

Table 4 Nd isotope compositions and Sm, Nd concentrations of pillow basalts from Erlangping Group

样品编号	Sm ( $\times 10^{-6}$ )	Nd ( $\times 10^{-6}$ )	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ $\pm (2\sigma)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	$T_{\text{DM}10}$ (Ma)
QXE-1	3.542	17.638	0.1215				
QXE-2	3.445	17.480	0.1192	0.512557 $\pm$ 5	-1.58	+2.43	957
QXE-3	3.464	17.459	0.1200	0.512582 $\pm$ 18	-1.09	+2.88	924
QXE-31	3.379	17.124	0.1194	0.512568 $\pm$ 10	-1.36	+2.64	941
QXE-32	3.668	18.545	0.1196	0.512573 $\pm$ 13	-1.27	+2.72	934
QXE-4	3.392	16.342	0.1256	0.512552 $\pm$ 11	-1.68	+2.00	1034
QXE-5	3.445	17.568	0.1186	0.512458 $\pm$ 17	-3.51	+0.53	1109
QXE-6	4.268	20.971	0.1231	0.512524 $\pm$ 10	-2.22	+1.59	1053

表 5 二郎坪群绿片岩相枕状熔岩的 Rb, Sr 含量及 Sr 同位素组成  
 Table 3 Sr isotope compositions and Rb, Sr concentrations of pillow basalts  
 from Erlangping Group

样品编号	Rb ( $\times 10^{-6}$ )	Sr ( $\times 10^{-6}$ )	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ ±(2 $\sigma$ )	$\epsilon_{\text{Sr}}(0)$	$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$
QXE-1	24.57	161.9	0.4235	0.708021±22	+49.98	+21.55
QXE-2	19.35	188.7	0.2907	0.707204±18	+38.38	+21.45
QXE-3	20.95	148.3	0.4026	0.707793±80	+46.74	+20.75
QXE-31	18.97	103.9	0.5203	0.708514±24	+56.98	+21.43
QXE-32	16.84	130.3	0.3683	0.707651±10	+44.73	+21.50
QXE-4	15.67	153.4	0.2912	0.707214±16	+38.52	+21.55
QXE-5	7.146	129.3	0.1575	0.706484±14	+28.16	+22.02
QXE-6	7.493	220.8	0.0968	0.706043±20	+21.90	+20.69

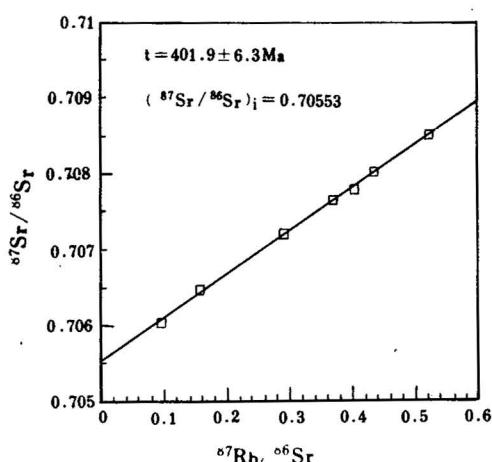


图 7 二郎坪群枕状熔岩 Rb-Sr 全岩等时线图

Fig. 7 Rb-Sr isochron diagram of pillow basalts from Erlangping Group

U, Rb 等元素含量变化范围较大, 显示了海水蚀变的影响, 表明了它是二郎坪群蛇绿岩套的一部分。在变质过程中, Ba 含量变化较大。

(2) 在海水蚀变和后期变质作用过程中 REE, Zr, Th, Nb, Sr, Ti, P 的变化较小, 基本上仍能反映原岩的特点。

(3) 上述稳定元素的地球化学特点表明二郎坪群枕状熔岩形成于典型的岛弧环境。

(4) 二郎坪群枕状熔岩典型的岛弧特点与同一构造带内其它各类蛇绿岩一起表明了成熟岛弧的存在。综合考虑秦岭群两侧的地质、地球化学特点以及二郎坪群与丹凤群、宽坪群初始裂谷的关系<sup>[1-3]</sup>, 认为二郎坪群形成于弧后盆地环境, 是宽坪群初始裂谷进一步发展的产物。

## 5 结论

关于二郎坪群蛇绿岩的形成环境有多种意见, 如洋壳、小洋盆、陆间盆地、大陆边缘盆地、弧后盆地、不成熟的岛弧等, 各种观点都有其依据<sup>[1-3]</sup>。这反映了造山带蛇绿岩的复杂性: 构造作用可以将形成于各种不同的构造环境的蛇绿岩混杂到一起, 而样品不同必然得出不同结论。但是, 如果从岛弧的发展过程考虑, 自洋壳俯冲到活动大陆边缘裂开弧后盆地产生, 到最后碰撞造山蛇绿岩侵位, 是一个连续的过程, 在其发展演化的不同阶段产生的蛇绿岩的特点各不相同, 它们共同记录了岛弧发展演化的整个历史过程, 因此, 各种类型蛇绿岩共存正是成熟岛弧存在的证据。根据上述分析并结合地球化学证据及前人的研究成果, 得出以下结论:

(1) 二郎坪群枕状熔岩的 Na<sub>2</sub>O, ε<sub>Sr</sub>(0) 及

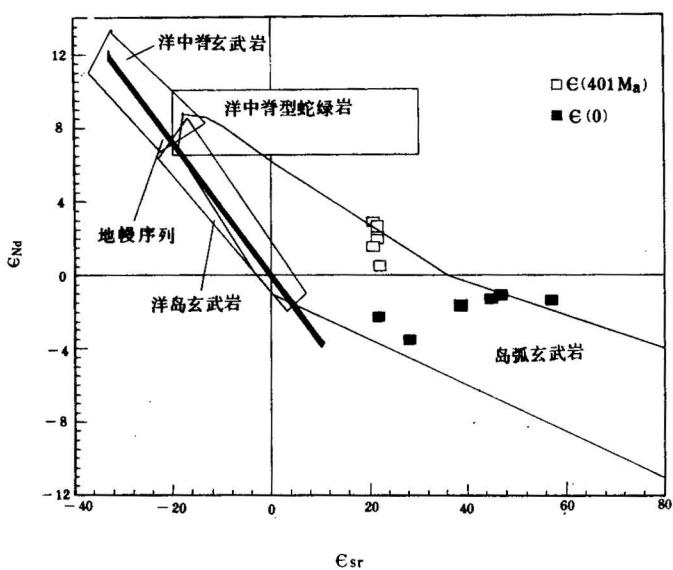
图 8 二郎坪群枕状熔岩的  $\epsilon_{\text{Sr}}-\epsilon_{\text{Nd}}$  相关图

Fig. 8  $\epsilon_{\text{Sr}}-\epsilon_{\text{Nd}}$  diagram for pillow basalt  
from Erlangping Group

究所周丽沂为样品测定提供了方便, 谨此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 孙勇, 于在平, 张国伟. 东秦岭蛇绿岩的地球化学. 见: 张国伟等著. 秦岭造山带的形成及其演化. 西安: 西北大学出版社. 1988. 65—74页.
- 许志琴, 牛宝贵, 刘志刚, 王永敏等. 秦岭一大别“碰撞—陆内”型复合山链的构造体制及陆内板块动力学机制. 见: 叶连俊等主编. 秦岭造山带学术讨论会论文选集. 西安: 西北大学出版社. 1991. 139—147页.
- 张国伟, 周鼎武, 于在平, 郭安林, 程顺有, 李桃红, 张成立, 薛锋, Kroner A, Reischmann T, ALtenberger U. 秦岭岩石圈组成、结构与演化. 见: 叶连俊等主编. 秦岭造山带学术讨论会论文选集. 西安: 西北大学出版社, 1991. 121—138页.
- 王鸿祯, 徐成彦, 周正国. 东秦岭古海域两侧大陆边缘区的构造发展. 地质学报, 1982, 56(3): 270—279.
- 王润三, 刘文荣, 车自成, 刘良. 二郎坪蛇绿岩的产出环境. 秦岭一大巴山地质论文集(一), 变质地质. 北京: 科学技术出版社, 1990. 132—141页.
- 金守文. 二郎坪群有关问题的商榷. 河南地质, 1988, 6(4): 21—26.
- 张秋生, 朱永文. 东秦岭古生代蛇绿岩套. 长春地质学院院报, 1984, 3: 1—13.
- 李曙光. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图. 岩石学报, 1993, 9(2): 146—157.
- Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, in “Magmatism in the Ocean Basins” edited by Saunders A. D. & Norry M. J., Geol. Soc. Special Publ., 1989, (42): 313—345.
- 李曙光, 陈移之, 张宗清, 张国伟, 郭安林, Hart S R. 北秦岭垃圾场苏长辉长岩的痕量元素和 Sr, Nd 同位素地球化学. 地质学报, 1993, 67(4): 310—322.
- Ryerson S J, Watson E B. Rutile saturation in magmas: implications for Ti—Nb—Ta depletion in island-arc basalts. Earth Planet. Sci. Lett., 1987, 225—239.
- 张宗清, 刘敦一, 付国民. 北秦岭变质地层秦岭、宽坪、陶湾群同位素年代学. 北京: 地质出版社. 1993.

(5)本文选用的二郎坪群枕状熔岩岩枕长轴长仅为40cm, 绿片岩相变质可以造成Rb-Sr同位素体系在整个岩枕范围内的均一化。Rb, Sr地球化学特点也表明它们在后期变质作用过程中发生了显著的变化。因此,我们认为该Rb-Sr全岩等时线代表了枕状熔岩发生绿片岩相变质的时代。这个年龄与加里东期北秦岭地区普遍遭受的区域变质作用时间一致,反映了两者间的内在联系,表明二郎坪群枕状熔岩卷入了加里东期变质作用。

本文在导师李曙光教授的指导下完成, 南京大学王银喜, 地质矿产部物化探研

## CHRONOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF A LAVA PILLOW IN THE ERLANGPING GROUP AT XIXIA IN THE NORTH QINLING MOUNTAINS

Sun Weidong Li Shuguang

(Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui)

Sun Yong, Zhang Guowei

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi)

Zhang Zongqing

(Institute of Geology, CAGS, Beijing)

### Abstract

Greenschist-facie lava pillows in the Erlangping Group in Xixia County, Henan Province, are well preserved. Geochemical studies have shown that the contents of REE, Zr, Th, Nb, Sr, Ti and P did not change appreciably during the sea-water alteration and metamorphism; so they can still reflect the characteristics of their original rocks; while the contents of elements such as Ba, U and Rb changed significantly. The geochemical characteristics of those stable elements mentioned above show that pillow lavas from the Erlangping Group have the features of typical island-arc ophiolite. For example, marked Ni, Ti and P depletion is shown by the trace element patterns, indicating its subduction-related origin. All samples fall into the island arc-basalt (IAB) field on the Ba/Nb-Ba, Nb/Th-Nb, La/Nb-La and Ba/Nb-Th/Nb diagrams. On the Ti/100-Zr-Sr/2 and Ti/100-Zr-Y×3 diagrams they fall into the calc-alkaline basalt field and island-arc calc-alkaline basalt field respectively. The  $\epsilon_{\text{Sr}} - \epsilon_{\text{Nd}}$  diagram also shows their IAB characteristics. The Rb-Sr whole-rock isochron age is  $401.9 \pm 6.3$  Ma, which implies that the Erlangping ophiolite was involved into Caledonian metamorphism.

**Key words:** trace element, isotope, chronology, pillow lava, Erlangping Group, North Qinling

### 作 者 简 介

孙卫东,男,生于1966年12月。1991年毕业于中国科学技术大学地球和空间科学系,1994年获中国科学技术大学硕士学位。现为该校博士研究生。通讯处:合肥中国科学技术大学七系,邮政编码:230026。