

文章编号: 1000- 6524 (2001) 03- 0255- 08

# 南秦岭元古宙板内火山作用 特征及构造意义

徐学义, 夏祖春, 夏林圻

(西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 南秦岭元古宙火山岩主要由两大类岩石构成, 一类为  $\text{SiO}_2$  45% ~ 57% 的基性火山岩系, 另一类为  $\text{SiO}_2$  67% ~ 78% 的酸性火山岩系, 主要岩石类型为细碧岩、玄武岩和石英角斑岩、流纹岩。基性火山岩整体上属拉斑玄武岩系列, 酸性火山岩属钙碱系列。火山岩强烈富集稀土元素, 尤其是轻稀土元素, 酸性火山岩和基性火山岩有相似的稀土元素特征, 显示了源区特征的不同。基性火山岩富集强不相容元素, 相对亏损 Nb 和 Ti, 形成于大陆裂谷环境, 具有大陆拉斑玄武岩的特征。同位素特征表明基性火山作用与地幔柱活动密切相关。南秦岭的中、晚元古代大陆拉张及由古地幔柱活动所引发的陆裂火山岩浆活动是古秦岭洋打开的先兆。

**关键词:** 火山岩; 元古宙; 地球化学; 构造背景; 南秦岭

**中图分类号:** P588. 14; P541

**文献标识码:** A

在南秦岭地区, 即扬子克拉通北缘, 从东至西分布着一套中、晚元古代火山岩系, 它们分别是陕西群、耀岭河群、西乡群及碧口群<sup>[1]</sup>。这些火山岩均属古老变质火山岩系, 其中陕西群、耀岭河群在牛山和平利构成两个大的双峰式火山岩穹。西乡群由下部浅海相火山岩、中- 上部陆相火山岩组成, 火山熔岩以玄武岩为主, 上部出现少量粗安岩- 流纹岩。碧口群火山岩位于扬子地块北缘秦岭造山带西南侧碧口微地块上, 从下至上可划分为 3 个火山旋回, 每一旋回下部为基性火山岩, 上部为酸性火山岩, 其中含有极少量的中性火山岩, 这些中性火山岩依其岩石地球化学特征可以划分为与基性火山岩具亲缘关系的细碧岩及与酸性火山岩具亲缘关系的角斑岩, 总体上构成双峰式火山岩套<sup>[2]</sup>。查明上述火山岩系的特征, 对于认识秦岭造山带基底的性质以及板块构造体制活动的发育时限均具有很重要的意义。本文将针对古老变质火山岩的特点, 主要阐述火山岩石共生组合及不活动元素地球化学特征, 进一步论证其大陆裂谷的构造属性及其对秦岭造山带构造演化的意义。

## 1 岩石共生组合特征

南秦岭元古宙火山岩主要由两大类岩石组成: 一类为  $\text{SiO}_2$  含量 45% ~ 57% 的基性火山岩系, 另一类为  $\text{SiO}_2$  含量 67% ~ 78% 的酸性火山岩系。其中陕西群主要为石英角斑岩, 耀岭河群主要为细碧质岩, 二者是同时期连续火山活动的产物, 酸性火山作用较早, 基性火山作用较晚<sup>[2]</sup>。西乡群火山岩系下部白勉峡组和三湾组是浅海环境火山喷发产物, 为玄武质火山岩系, 由变玄武岩、千枚岩化细碎屑岩及凝灰质细碎屑岩组成, 含少量灰岩透镜体和硅质岩石; 上部三花石组、孙家河组和大石沟组属陆相火山活动产物, 为玄武质- 流纹质火山岩系组合, 具特征的火山泥球构造, 火山岩岩相变化迅速, 在相距不远的地方出现不同的岩石组合, 流纹质岩石中广泛出现熔结凝灰岩, 为特征陆相火山作用产物<sup>[1]</sup>。碧口群火山岩的 3 个旋回

收稿日期: 2001- 04- 27; 修订日期: 2001- 07- 01

作者简介: 徐学义(1966- ), 男, 副研究员, 主要从事火山岩石学研究。

均为细碧质火山岩-石英角斑质火山岩组合<sup>[1]</sup>。

## 2 地球化学特征

南秦岭元古宙火山岩系的主量元素化学成分及微量元素、稀土元素分析结果列于表1。从表中可以看

表1 南秦岭元古宙火山岩主量及微量元素含量

Table 1 Major and trace elements analyses of Proterozoic volcanic rocks from South Qinling

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
样号	94_26	94_58	94_43	87_122	94_31	94_33	87_124	93_64	93_66	93_70	93_71	93_72	94_21	93_84	
层位	陕西群				耀岭河群			西				乡			群
岩性	石英角斑岩				细碧岩			玄武岩				流纹岩			
SiO <sub>2</sub>	75.37	71.57	74.96	78.73	48.78	48.63	56.10	49.25	47.19	46.84	45.52	56.07	49.52	74.01	
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.37	0.27	0.23	1.53	1.38	1.17	1.43	2.23	2.21	2.11	1.58	1.30	0.37	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.21	14.31	11.92	10.82	18.84	18.10	16.66	17.77	17.3	18.47	18.54	18.01	18.60	15.03	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.85	1.41	0.53	1.56	4.97	5.41	0.33	5.51	6.40	3.94	3.34	3.13	7.23	2.09	
FeO	2.15	1.00	0.01	0.34	5.33	4.29	6.97	4.67	7.65	6.72	8.16	4.63	2.17	0.63	
MnO	0.06	0.06	0.12	0.05	0.17	0.18	0.16	0.17	0.24	0.27	0.26	0.15	0.14	0.03	
MgO	0.11	0.30	0.70	0.27	6.10	6.70	4.94	3.80	6.00	2.90	4.70	3.10	4.41	0.7	
CaO	0.51	0.70	1.80	0.18	3.80	6.80	3.74	6.50	4.7	7.50	8.90	3.50	7.40	0.30	
Na <sub>2</sub> O	4.18	4.91	5.40	4.45	4.30	4.39	6.40	4.90	4.51	2.72	2.4	4.65	4.90	1.53	
K <sub>2</sub> O	3.41	3.25	1.21	2.36	0.09	0.13	0.35	0.05	0.14	2.00	1.74	2.09	0.07	3.60	
H <sub>2</sub> O	0.59	1.14	1.45	0.40	2.81	1.00	2.38	2.28	2.17	2.24	1.39	1.36	1.01	1.19	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.04	0.12	0.05	0.49	0.45	0.27	0.23	0.30	0.36	0.28	0.34	0.21	0.08	
CO <sub>2</sub>					2.00	2.04		3.02	1.05	3.41	2.40	1.07	2.07		
总和	99.68	99.06	99.49	99.44	99.21	99.50	99.47	99.58	99.88	99.58	99.75	99.68	99.03	99.57	
Sr	154	113	135	4.04	109	10	262	154	213	418	107	181	358	50.3	
Rb	42	53.6	23.9	29	39.8	12.2	11	42	50.6	134	99.8	42	37.7	113	
Ba	105	864	496	356	50.3	74.3	138	105	107	317	361	495	82.3	403	
Th	1.12	6.06	7.68	6.64	1.02	1.11	1.17	1.12	1.35	2.09	1.26	6.13	2.03	15.9	
Ta	0.428	0.512	0.732	0.62	0.554	0.514	0.20	0.428	0.331	0.527	0.313	0.604	0.269	0.817	
Nb	9	8	8	14	7	6	6	9	8	9	6	14	3	11	
Zr	158	192	147	238	196	144	172	158	276	283	370	205	117	271	
Hf	4.02	8.06	5.52	8.90	4.78	4.37	2.67	4.02	4.82	5.53	3.73	5.86	3.71	6.42	
Y	32	35	20	46	34	27	15	32	41	29	31	32	29	21	
La	10.4	33.1	40.1	38.2	21.5	22.4	10.7	10.4	13.8	17.6	7.97	29.2	15.2	21	
Ce	59.4	72.6	65.3	79.4	43.7	45.5	25	59.4	47.9	40.9	21.4	69.5	29.1	52.8	
Nd	17.2	40.6	27.5	37.1	31.1	24.1	14.6	17.2	22.9	25.5	16.2	30.0	20.6	21	
Sm	5.08	8.36	4.22	9.52	8.05	6.67	4.04	5.08	6.69	6.18	4.48	6.16	5.32	3.88	
Eu	1.78	2.15	0.806	2.19	1.98	2.27	1.31	1.78	2.23	2.18	2.25	2.09	1.73	0.621	
Tb	0.962	1.54	0.812	1.66	1.36	1.20	0.93	0.962	1.40	1.26	0.992	1.04	1.03	1.03	
Yb	3.58	4.57	2.64	6.62	3.88	3.64	3.08	3.58	4.53	3.70	3.73	3.43	3.71	2.44	
Lu	0.565	0.68	0.406	1.09	0.524	0.520	0.50	0.565	0.657	0.450	0.503	0.475	0.514	0.368	
ΣREE	98.97	163.60	141.78	175.78	112.09	106.30	60.16	98.97	100.11	97.77	57.52	141.90	77.20	103.14	
ΣLREE	93.86	156.81	137.43	166.41	106.33	100.94	55.65	93.86	93.52	92.36	52.30	136.95	71.95	99.30	
ΣHREE	5.11	6.79	3.86	9.37	5.76	5.36	4.51	5.11	6.59	5.41	5.23	4.95	5.25	3.84	
(La/Yb) <sub>N</sub>	1.96	4.88	10.24	3.89	3.74	4.15	2.34	1.96	2.05	3.21	1.44	5.74	2.76	5.80	
(Ce/Yb) <sub>N</sub>	4.29	4.11	6.40	3.10	2.91	3.23	2.10	4.29	2.74	2.86	1.48	5.24	2.03	5.60	
δEu	1.05	0.78	0.57	0.71	0.77	1.04	0.88	1.05	0.95	1.02	1.39	1.06	0.96	0.41	

续表 2

序号	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
样号	97b_32	97b_30	93_51	93_17	93_18	87_104	93_16	97b_7	95_27	97b_22	98b_34	87_91	87_95
层位	碧 口 群 I			碧 口 群 II				碧 口 群 III					
岩性	细碧岩	石英角斑岩		细碧岩	石英角斑岩		细碧岩	石英角斑岩	细碧岩	石英角斑岩		细碧岩	石英角斑岩
SiO <sub>2</sub>	48.48	67.69	65.36	54.01	48.54	54.57	68.46	68.69	46.55	48.93	45.29	75.67	75.54
TiO <sub>2</sub>	1.75	0.32	0.33	1.65	2.23	2.00	0.35	0.21	2.45	1.65	1.43	0.33	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.90	16.60	17.30	17.51	16.84	14.97	15.20	16.84	16.11	16.60	18.60	12.03	12.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.5	0.20	1.36	5.36	5.70	4.31	1.33	1.00	5.05	3.85	5.25	3.04	1.45
FeO	7.70	2.78	1.39	5.50	6.30	6.70	2.68	0.78	8.48	8.85	6.75	1.05	0.83
MnO	0.22	0.08	0.05	0.23	0.23	0.15	0.04	0.04	0.22	0.37	0.17	0.06	0.06
MgO	5.10	0.60	0.50	2.31	3.50	3.29	0.30	0.50	5.26	4.20	6.90	0.10	0.38
CaO	7.40	0.20	3.10	4.00	6.10	5.18	0.50	1.50	7.33	7.70	6.50	0.90	0.97
Na <sub>2</sub> O	1.26	5.35	5.11	5.31	4.50	4.70	5.30	3.57	1.52	1.68	3.20	5.00	5.85
K <sub>2</sub> O	0.36	1.95	1.73	0.98	0.41	0.40	2.81	2.99	1.52	0.05	0.45	1.02	0.96
H <sub>2</sub> O	1.25	3.12	1.35	1.33	2.21	3.04	1.94	3.40	4.86	2.40	3.42	0.70	0.64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32	0.14	0.11	0.51	0.77	0.69	0.11	1.17	0.50	0.27	0.18	0.11	0.07
CO <sub>2</sub>	3.10		1.54	1.01	2.08	0.08			0.24	2.57	1.05		0.40
总和	99.34	99.03	99.23	99.71	99.41	100.08	99.02	100.89	100.09	99.12	99.19	100.01	99.99
Sr	714	70.1	183	183	86.8	287.29	42.3	329	555	1490	520	71.2	71.63
Rb	63.4	50.3	47.4	30.9	18.1	6.46	50.1	90.5	45.5	62	50.	23.2	17.25
Ba	136	715	612	362	209	207	513	1100	450	652	132	53.0	565
Th	0.947	6.41	5.51	4.22	2.45	4.10	20.8	4.32	0.801	0.826	0.687	5.84	7.66
Ta	0.604	0.602	0.312	0.806	0.492	0.26	1.41	0.354	0.537	0.511	0.626	0.520	0.82
Nb	24	4.2	6	18	10	11	27	3.6	14	21	9.8	10	10
Zr	78.1	113	71.3	290	318	153	296	44.4	251	219	197	153	111
Hf	3.86	8.78	3.36	7.01	3.36	5.80	15.7	3.22	3.96	3.23	3.06	4.47	2.61
Y	19	30	8	64	39	40	83	4.8	34	30	24	10	18
La	17.4	44	22.3	46.4	26.1	31.3	74.5	14.1	12.2	19.4	9.09	30.3	12.6
Ce	35.4	74.6	44.3	101	64.3	61.3	158	26.1	26.3	37.5	21.2	58.3	23.8
Nd	25.8	39.3	16.7	53.0	36.7	37.8	70.1	11.4	17.5	21.9	14.8	19.8	8.15
Sm	7.40	9.17	2.70	11.0	8.02	9.20	14.4	2.2	5.79	6.60	4.05	3.15	2.21
Eu	2.63	2.11	0.844	3.72	3.24	2.86	1.93	0.558	1.33	1.17	1.44	0.664	0.83
Gd			2.25	11.4	8.35		13.6		5.64				
Tb	1.63	1.41	0.36	1.96	1.45	1.98	2.48	0.353	0.94	1.18	0.843	0.405	0.60
Ho			0.437	2.71	1.94		3.50		1.34				
Tm			0.162	1.11	0.778		1.52		0.58				
Yb	4.03	4.57	0.941	6.68	4.54	4.67	9.67	0.897	3.53	4.02	2.67	1.54	1.80
Lu	0.593	0.758	0.136	1.02	0.58	0.88	1.55	0.144	0.518	0.597	0.379	0.247	0.25
ΣREE	94.88	175.92	91.13	240	156.00	149.99	351.25	55.75	75.67	92.37	54.47	114.41	50.24
ΣLREE	88.63	169.18	86.84	215.12	138.36	142.46	318.93	54.36	63.12	86.57	50.58	112.21	47.59
ΣHREE	6.25	6.74	4.29	24.88	17.64	7.53	32.32	1.39	12.55	5.80	3.89	2.19	2.65
(La/Yb) <sub>N</sub>	2.91	6.49	15.98	4.68	3.88	4.52	5.19	10.60	2.33	3.25	2.30	13.26	4.72
(Ce/Yb) <sub>N</sub>	2.27	4.22	12.18	3.91	3.66	3.40	4.23	7.53	1.93	2.41	2.05	9.79	3.42
δEu	0.99	0.75	1.02	1.01	1.20	0.87	0.42	0.81	0.70	0.54	1.02	0.73	0.94

注: 岩石主量元素及 Nb, Y 系 X 射线荧光光谱分析数据, 其它微量元素系中子活化分析数据。

出, 本区火山岩的 H<sub>2</sub>O 及 CO<sub>2</sub> 含量相对较高, 表明本区火山岩经历过一定的蚀变作用和变质作用。这种蚀变/弱变质作用可能影响到部分活泼元素(如 K, Na, Cs, Rb, Sr 等)的地球化学行为。因此, 本文将重点对

那些不活动元素(如 Nb、Ta、Zr、Hf、Th、REE、Ti)进行元素地球化学讨论。

## 2.1 火山岩系列

Nb、Y 均为不活动微量元素,较少受到蚀变和变质作用的影响,对于碱性(alkaline)和非碱性(nonalkaline)系列火山岩,其 Nb/Y 值的区间非常稳定,尤其对于基性、中基性和中酸性火山岩,其碱性和非碱性系列的区分主要取决于 Nb/Y 值,而较少受到 SiO<sub>2</sub> 含量变化的影响,因此 SiO<sub>2</sub>-Nb/Y 图解可以有效地区分变质蚀变火山岩的系列。南秦岭元古宙火山岩样品大部分落入非碱性区(图1),只有碧口群第一旋回基性火山岩样品属碱性系列。

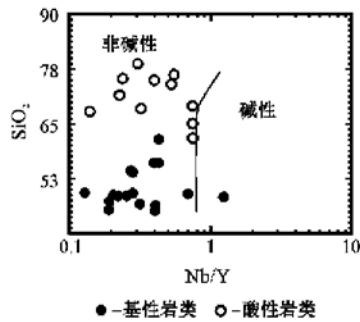


图1 南秦岭元古宙火山岩 SiO<sub>2</sub>-Nb/Y 图解

Fig. 1 SiO<sub>2</sub>-Nb/Y diagram of Proterozoic volcanic rocks from South Qinling (据 Winchester and Floyd, 1977)

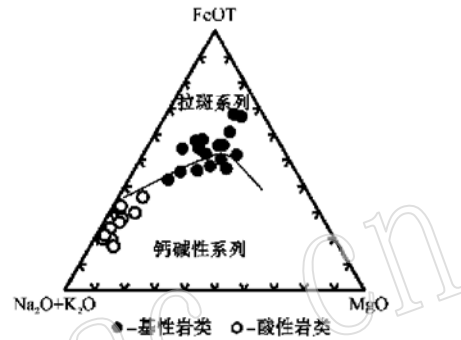


图2 南秦岭元古宙火山岩 AFM 图解

Fig. 2 AFM diagram of Proterozoic volcanic rocks from South Qinling

由于非碱性钙碱系列和非碱性拉斑系列这两个系列岩浆演化趋势截然不同,变质和蚀变作用只能使其演化趋势变得模糊,而不能将其改变,因此,对于它们的区分,一般的岩浆系列判别图解仍然适用。AFM 图解(图2)表明,本区基性火山岩类主要投点于拉斑系列区或拉斑系列与钙碱性系列的交界区,整体应属拉斑系列,酸性火山岩则均属于钙碱性系列。

## 2.2 火山岩稀土元素地球化学特征

分析结果(表1,图3)表明,本区玄武岩稀土元素总量较高,轻稀土元素富集。陕西群石英角斑岩稀土元素总量平均为  $145.03 \times 10^{-6}$ ,轻重稀土元素分异明显,有弱的 Eu 负异常。耀岭河群稀土元素总量平均为  $92.85 \times 10^{-6}$ , $(La/Yb)_N$  介于 2.34~4.15 之间,平均为 3.41, $(Ce/Yb)_N$  介于 2.10~3.23 之间,平均为 2.75, Eu 负异常不明显。西乡群玄武岩稀土元素总量平均为  $95.58 \times 10^{-6}$ ,轻稀土元素富集,岩石基本上无 Eu 异常;流纹岩(仅1个样品)稀土元素总量为  $103.14 \times 10^{-6}$ ,轻稀土元素富集,具负 Eu 异常。碧口群基性火山岩稀土元素总量平均为  $123.34 \times 10^{-6}$ ,轻重稀土元素分异明显,岩石基本上无 Eu 异常;酸性火山岩稀土元素总量变化大,在  $50.24 \sim 352.25 (10^{-6})$  之间,岩石  $(La/Yb)_N$  介于 4.72~15.98 之间,平均为 9.37, $(Ce/Yb)_N$  介于 3.42~12.18 之间,平均为 6.89,具负 Eu 异常。由图3可知,碧口群第二旋回基性火山岩稀土元素总量最低,第三旋回基性火山岩稀土元素总量最高,第一旋回基性火山岩位于两者之间。

值得注意的是,南秦岭基性火山岩与酸性火山岩的稀土元素丰度和配分曲线接近,表明两者并非同源岩浆分异演化的产物。因为,如果基性岩与酸性岩为同源岩浆系列,则流纹岩的稀土元素总量应当明显高于玄武岩类,它们的稀土元素分布将显示递进演化的规律性变化。稀土元素的特征暗示,本区基性火山岩和酸性火山岩不是同源岩浆分异演化的产物,尽管它们在空间上密切相伴,且为同时代产物,但它们的岩浆源区深度和源区物质组成应有明显不同,应分别为中下地壳和上地幔不同深度和压力下部分熔融的产物<sup>[3]</sup>。因此,南秦岭基性火山岩和酸性火山岩成因与典型的大陆裂谷式双峰式火山岩成因相似<sup>[4]</sup>。

### 2.3 基性火山岩微量元素地球化学特征

近年来,火山作用过程中微量元素地球化学研究已经从以现代和新生代火山岩为主,扩展到研究中生代—古生代以至更老的造山带火山岩。微量元素中的不活动元素由于具有相对的稳定性,受后期热事件影响较小,从而其丰度、组合、元素比值及演化特征已成为探讨火山作用过程、恢复和重溯古火山事件的发生、演化及其构造岩浆环境的重要地球化学指纹。

由微量元素的原始地幔标准化曲线(图 4)变化范围可知,南秦岭基性火山岩均属强不相容元素富集型,并具有 Nb 和 Ti 的适度亏损,这与世界许多地区大陆拉斑玄武岩具有 Nb、Ti 负异常<sup>[4-10]</sup>的特征相一致,表明本区玄武岩浆可能受过陆壳物质的一定混染,或者幔源岩浆在壳内次生岩浆房中曾发生过辉石和钛铁氧化物的分离结晶作用<sup>[10]</sup>。所有样品均显示出 Sr 的一定亏损,表明岩浆可能受到过陆壳物质的混染或者曾经在低压下经历过斜长石的分离结晶。

### 2.4 同位素地球化学特征

通过对较为新鲜的基性火山岩进行 Rb—Sr 和 Sm—Nd 同位素的测定,并依据其形成年龄分别进行了  $\epsilon Nd(t)$  和  $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  的校正。算得耀岭河群 ( $T = 1091 \text{ Ma}^{[1,2]}$ ) 两个样品的  $\epsilon Nd$  分别为 0.4 和 1.8,  $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  分别为 0.7043 和 0.7044; 西乡群下部的白勉峡组玄武岩 ( $T = 1451 \text{ Ma}^{[1,2]}$ ) ( $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  值为 0.70310~0.70594,  $\epsilon Nd(t)$  值为 +6.21~+7.44, 上部的孙家河组玄武岩 ( $T = 1104 \text{ Ma}^{[1,2]}$ ) ( $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  值为 0.70458~0.70495,  $\epsilon Nd(t)$  值为 +5.90~+5.97; 碧口群第二旋回的基性火山岩 ( $T = 1475 \text{ Ma}^{[1,2]}$ ) ( $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  值为 0.7042~0.7054,  $\epsilon Nd(t)$  值为 +2.09~+5.03, 第三旋回的基性火山岩 ( $T = 736 \text{ Ma}^{[11]}$ ) ( $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  值为 0.7069~0.7079,  $\epsilon Nd(t)$  值为 -5.01~-6.09。除碧口群第三旋回基性火山岩外,上述火山岩的  $\epsilon Nd$  均为正值,表明陆壳物质对其影响很小,而碧口群第三旋回火山岩的  $\epsilon Nd$  为负值,表明其经历了较强的岩石圈物质的混染。在  $\epsilon Nd - (^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  图中(图 5A),除碧口群第三旋回火山岩落入大陆岩石圈地幔区外,其余均落入 OIB 范围,且随  $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  增大,有向大陆岩石圈地幔区迁移的现象;在  $\epsilon Nd - Sm/Nd$ (图 5B)图中,碧口群第三旋回基性火山岩落入岩石圈—软流圈的混合线上,其它均落入 OIB 区及其附近。以上特征说明,耀岭河群、西乡群、碧口群第二旋回基性火山岩的源区为类似于洋岛玄武岩的富集地幔柱源,碧口群第三旋回基性火山岩的源区可能仍以地幔柱源为主体,但包含岩石圈地幔源熔体的混染。

## 3 成岩环境和构造意义

陕西群和耀岭河群、碧口群具典型的双峰式火山作用特征。双峰式火山岩并不只是大陆裂谷环境的

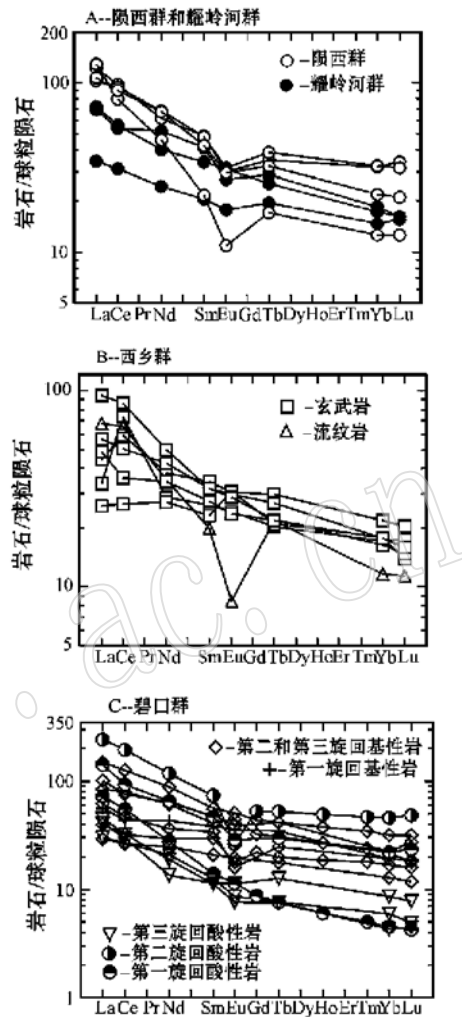


图 3 南秦岭元古宙火山岩稀土元素球粒陨石标准化配分型式

Fig. 3 Chondrite-normalized REE distribution patterns of the volcanic rocks from South Qinling

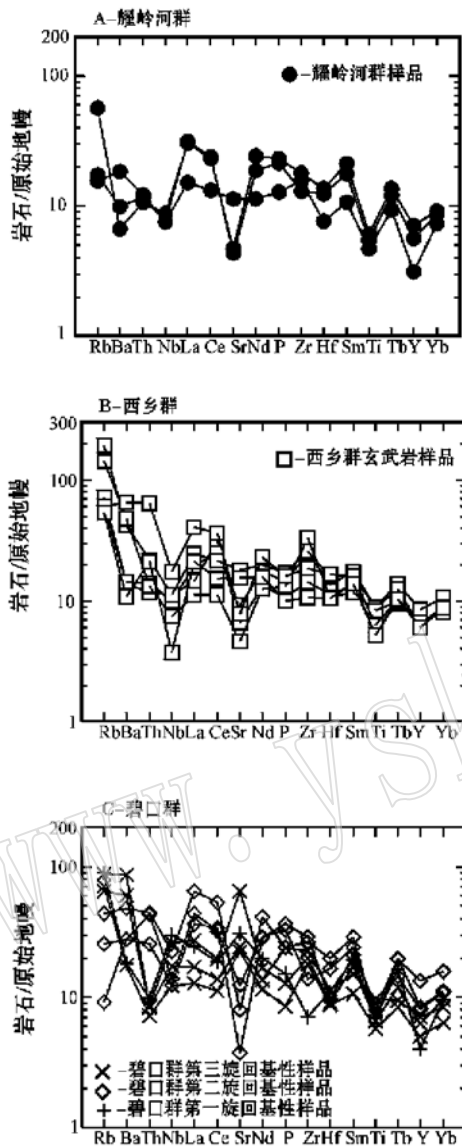


图4 南秦岭基性火山岩微量元素原始地幔标准化配分型式

Fig. 4 Primitive mantle normalized patterns of trace elements in basic volcanic rocks from South Qinling

产物,它可以产在洋岛、洋内弧中,或与成熟岛弧或陆缘弧中短暂的拉张环境有关<sup>[11-13]</sup>。然而,南秦岭元古宙双峰式岩系内酸性火山岩大量发育以及基性火山岩富含强不相容元素等特征,表明该岩系不是形成于洋岛或洋内弧环境。任何形成于陆壳基底上的岩浆弧,其岩浆活动总是以安山岩类的大量出现为特征<sup>[13,14]</sup>,而在南秦岭地区明显缺乏安山质岩石,已在勉略宁三角地带碧口群和震旦系内发现的超基性岩体、基性岩脉或岩墙,它们与碧口群火山岩系无任何亲缘关系,并不构成蛇绿岩套<sup>[2]</sup>。目前发现勉略蛇绿混杂岩带,其中包括蛇绿岩和蓝片岩,代表了华力西期的一次俯冲作用<sup>[3]</sup>。在该区至今未发现明确的元古宙大洋和海沟沉积物、蛇绿混杂岩、高压低温变质带和板块俯冲的其它证据,因此,陕西群和耀岭河群、碧口群火山岩系不是形成于洋中脊,也不是形成于岛弧,而是形成于以古老陆壳为基底的裂谷环境。

西乡群火山岩系主要由基性火山岩组成,目前对其形成的构造背景有裂陷槽和岛弧两种认识。依据夏林圻等的研究,西乡群火山岩具浅海—陆相火山岩组合,具大陆板内玄武岩地球化学特征,属大陆拉斑玄武岩系列,有共生的高位基性侵入岩。它在图4B中低度富集Nb、Ta,既有别于岛弧火山岩亏损Nb、Ta的特点,也有别于洋岛玄武岩富集Nb、Ta的特点。因此,西乡群形成于大陆板内裂谷环境,整体上具有大陆溢流玄武岩的特点<sup>[11]</sup>。

在不活动元素Zr/Y—Zr图(图6)<sup>[15]</sup>中,上述南秦岭火山岩均投于板内环境;在2Nb—Zr/4—Y图(图6)中投于板内拉斑玄武岩区,均表明它们形成于板内环境,是板内拉张环境的产物。碧口群、西乡群、耀岭河群基性火山岩的主体均属于大陆拉斑玄武岩,富集LIL及LREE,源于与洋岛玄武岩类似的地幔柱源。大陆拉张环境下岩浆的形成与地幔柱的活动密切相关,或是由于地幔柱主动上涌,或是由于岩石圈拉张导致地幔柱被动上涌,或是地幔柱上涌与岩石圈拉张同时发生。南秦岭基性火山岩同位素特征表明软流圈地幔柱组分对基性火山岩浆形成的贡献占主导地位,表明在中、晚元古代,南秦岭岩石圈有较大程度的拉张,导致下伏软

流圈地幔柱上涌并减压熔融。本区目前未发现碱性玄武岩,可能与岩石圈拉张强度大、速度快,地幔柱上升迅速有关。由于快速减压,加大了地幔柱的部分熔融,产生了大量拉斑玄武质岩浆。

从中元古代开始,扬子地块北缘发生陆裂拉张火山岩浆活动,并延续至晚元古代。中、晚元古代的陆裂拉张及火山岩浆活动对秦岭造山带的形成和发展有重要意义。首先,中、晚元古代的火山岩浆作用对秦岭地壳的形成有很大贡献,中、晚元古代火山岩系与太古宙结晶片岩共同组成了秦岭造山带的基底。已有的震旦纪沉积特征研究表明,震旦纪时南、北秦岭已经分离,古秦岭洋出现,导致华北与扬子板块的分离。

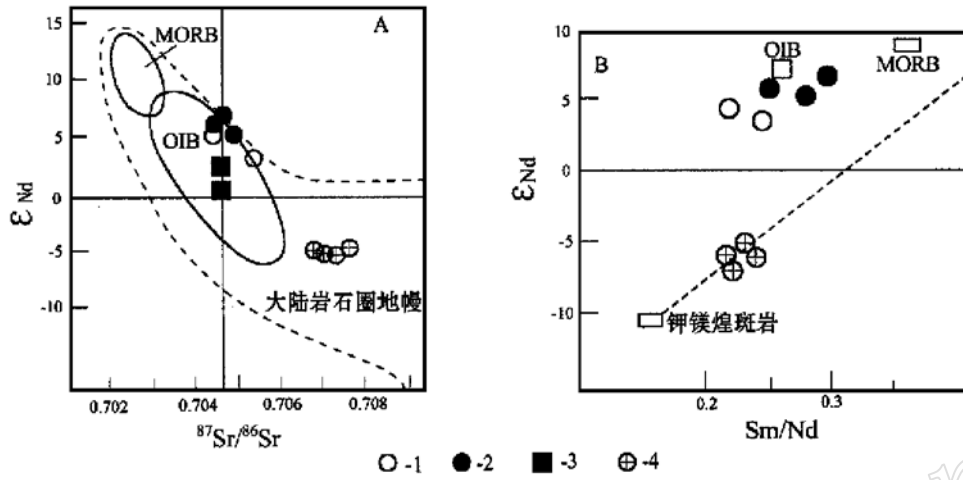


图5 南秦岭元古宙基性火山岩  $\epsilon Nd - (^{87}Sr/^{86}Sr)$  和  $\epsilon Nd - Sm/Nd$  图解

Fig. 5  $\epsilon Nd - (^{87}Sr/^{86}Sr)$  and  $\epsilon Nd - Sm/Nd$  diagrams for Proterozoic volcanic rocks from South Qinling

1—碧口群第二旋回; 2—西乡群; 3—耀岭河群; 4—碧口群第三旋回

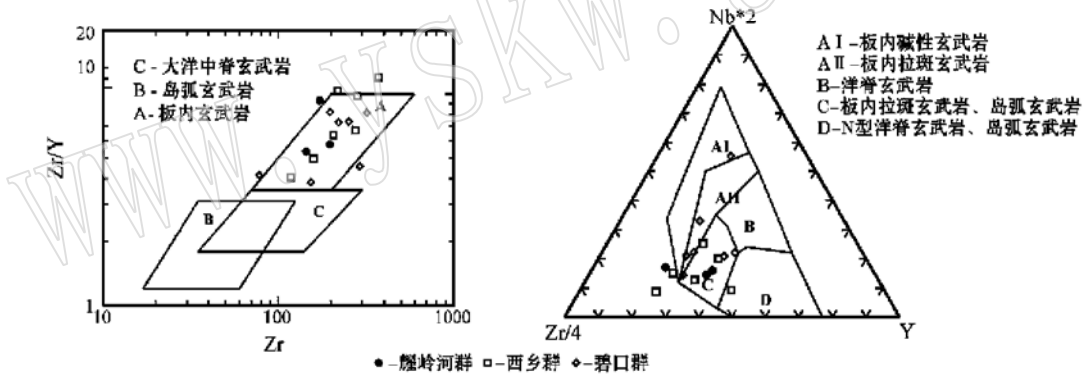


图6 南秦岭基性火山岩  $Zr/Y - Zr$  和  $2Nb - Zr/4 - Y$  图解

Fig. 6  $Zr/Y - Zr$  and  $2Nb - Zr/4 - Y$  diagrams of basic volcanic rocks from South Qinling

震旦纪至早奥陶世, 为古秦岭洋的最大扩张期。这一发展史表明, 发生于南秦岭的中、晚元古代大陆拉张及由古地幔柱活动所引发的陆裂火山岩浆活动是古秦岭洋打开的先兆。

参考文献:

[1] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 南秦岭元古宙西乡群大陆溢流玄武岩的确定及其地质意义[J]. 地质论评, 1996, 42(6): 513~ 522.

[2] 夏祖春, 夏林圻, 徐学义, 等. 碧口群火山岩性质及形成环境[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 681~ 688.

[3] 赖绍聪, 张国伟, 杨瑞英. 南秦岭勉略带两河弧内裂陷火山岩组合地球化学及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 317~ 326.

[4] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 东天山博格达造山带石炭纪火山岩及其形成环境[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 305~ 316.

- [5] Duppy C and Dostal J. Trace element geochemistry of some continental tholeiites[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1984, 67: 61~ 69.
- [6] Holm P E. The Geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hydromagmatophile element abundances of tholeiitic basalts and basaltic andesites[J]. *Chem. Geol.*, 1985, 51: 303~ 323.
- [7] Jolly W T. Geology and geochemistry of Huronian rhyolites and low-Ti continental tholeiites from the Thessalon region, central Ontario[J]. *Can. J. Earth Sci.*, 1987, 24: 1360~ 1386.
- [8] 李昌年. 火成岩微量元素地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992, 1~ 195.
- [9] Pegrarn W J. Development of continental lithosphere as reflected in the chemistry of the Mesozoic Appalachian tholeiites [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1990, 97: 316~ 336.
- [10] Pin C and Marini F. Early Ordovician continental break-up in Variscan Europe: Nd-Sr isotope and trace element evidence from bimodal igneous associations of the Southern Massif Central France[J]. *Lithos*, 1993, 29: 177~ 196.
- [11] Urabe T. Kuroko deposit modeling based on experimental petrology[A]. Perchuk L L and Kushiro I. *Physical Chemistry of Magmas*[C], 1991, 268~ 301.
- [12] 顾连兴, 郑素娟. 块状硫化物矿床的研究现状[J]. *地质科技情报*, 1989, 8(2): 67~ 73.
- [13] Pin C and Paquette J.L. A mantle-derived bimodal suite in the Hercynian belt: Nd isotope and trace element evidence for a subduction-related rift origin of the Late Devonian Brevenne metavolcanics, Massif Central(France)[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1997, 129: 222~ 238.
- [14] Gill J B. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*[M]. Springer-Verlag, 1981, 1~ 390.
- [15] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[A]. Thorpe R S. *Andesites*[C]. New York: John Wiley & Sons, 1982, 525~ 548.

## Proterozoic Intraplate Volcanic Rocks in South Qinling Mountains and Their Tectonic Implications

XU Xue\_yi, XIA Zu\_chun, XIA Lin\_qi

(Xí'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xí'an 710054)

**Abstract:** The Proterozoic volcanic rocks in South Qinling are dominated by basic volcanic rocks with SiO<sub>2</sub> 45% ~ 57% and acid volcanic rocks with SiO<sub>2</sub> 67% ~ 78%. The basic volcanic rocks with spilites and basalts as the major types are close to tholeiite series, whereas the acid rocks with quartz-keratophyre as the major type are close to calc-alkaline series. Both the basic and the acid volcanic rocks are enriched with REE, especially LREE, indicating that they were derived from different sources. Primitive mantle-normalized trace element patterns of the basic volcanic rocks exhibit the continental tholeiitic characteristics with highly-enriched incompatible elements and moderately-depleted Nb and Ti, suggesting that they were formed in the continental rift. According to the Sr-Nd isotopic study, the basic volcanism was closely related to the mantle plume upwelling. All the features demonstrate that the continental rift in South Qinling region was formed in Middle-Late Proterozoic, and the mantle plume activity was the precursor of the break-up of the ancient Qinling Ocean.

**Key Words:** volcanic rock; Proterozoic; geochemistry; tectonic setting; South Qinling