陕西西乡群火山-沉积岩系形成构造环境：火山岩地球化学约束*

赖绍聪[1]　**李三忠**[2]　**张国伟**[1]

LAI ShaoCong[1], LI SanZhong[2] and ZHANG GuoWei[1]

1. 西北大学大陆动力学教育部重点实验室，西北大学地质系，西安　710069
2. 青岛海洋大学，青岛　266003
1. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an* 710069, *China*
2. *Ocean University of Qingdao, Qingdao* 266003, *China*

2001-10-08 收稿，2002-03-27 改回.

Lai SC, Li SZ and Zhang GW. 2003. Tectonic settings of the volcano-sedimentary rock association from Xixiang Group, Shaanxi province: volcanic rock geochemistry constraints. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1):143－152

Abstract　The detail research indicates that the volcanic rock association of Xixiang group exhibits distinctive geochemical characteristics of volcanic-arc origin. Basalts, andesites and rhyolites in the studied area show remarkable depletion of elements Nb and Ta. Among the Xixang group, the Baimianxia basalt association might be related with a partial depleted mantle source and formed in a within ocean island-arc (immature island-arc) tectonic setting. And the Sunjiahe, Sanlangpu, Dashigou volcanic-sedimentary rock series that distributed in Liushudian-Sunjiahe-Sanlangpu area should be a tectonic allochthon. It was formed during Devonian-Carboniferous period and developed in an active continental margin, which was the result of the oceanic crust subduction of Mianlue limited oceanic basin and /or developed in a special tectonic setting which belongs to a rift valley within an island-arc type crust. This tectonic allochthon should have close relationship and initially connected with the Mianlue suture zone, south Qinling.

Key words　Geochemistry, Tectonic settings, Xixiang Group, Shaanxi province

摘　要　详细的地球化学解析表明，西乡群火山岩系具有 Nb、Ta 亏损等弧岩浆系列特征，其中白勉峡组火山岩与一个部分亏损的地幔源区有关，形成于洋内岛弧(或初始岛弧)的大地构造环境。而局限于柳树店-孙家河-三郎铺一带分布的孙家河组、三郎铺组和大石沟组火山-沉积岩系可能为一外来构造移置体，形成于泥盆-石炭纪，与一个活动大陆边缘及加积增生岛弧型地壳裂陷形成的初始弧间盆地环境有关，并在区域上与勉略缝合带相关联，原应为该缝合带的一个组成部分。

关键词　地球化学；构造环境；西乡群；陕西

中图法分类号　P588.14

1　引言

陕西西乡县柳树店-孙家河-三郎铺-白勉峡地区位于扬子地块边缘，习惯称汉南-米仓山隆起，或称汉南地块。解放前将这里的地层岩石统称汉南杂岩。六十年代进行 1∶20 万区调，圈出了区内的各类侵入岩体，余下的变质火山-沉积岩系称西乡群(黄懿，1948；陕西省区域地层表编写组，1983)。1974～1980 年，西安地质学院西乡群专题科研组对汉南地区进行了 1∶5 万地质调查和西乡群专题研究，进一步划分了地层，将白龙塘-白勉峡-曾溪以北的岩层定名为三花石群，其南为西乡群(图 1)。并根据变质程度和同位素年代将三花石群定为中元古代，西乡群划为晚元古代(陕西省地质矿产局，1989；陶洪祥等，1982；陶洪祥等，1993)。王宗

* 国家自然科学基金重点项目(49732080)、教育部高等学校骨干教师资助计划及陕西省教委专项科研基金资助.
第一作者简介：赖绍聪，男，1963 年生，博士后，教授，岩石学及地球化学专业.

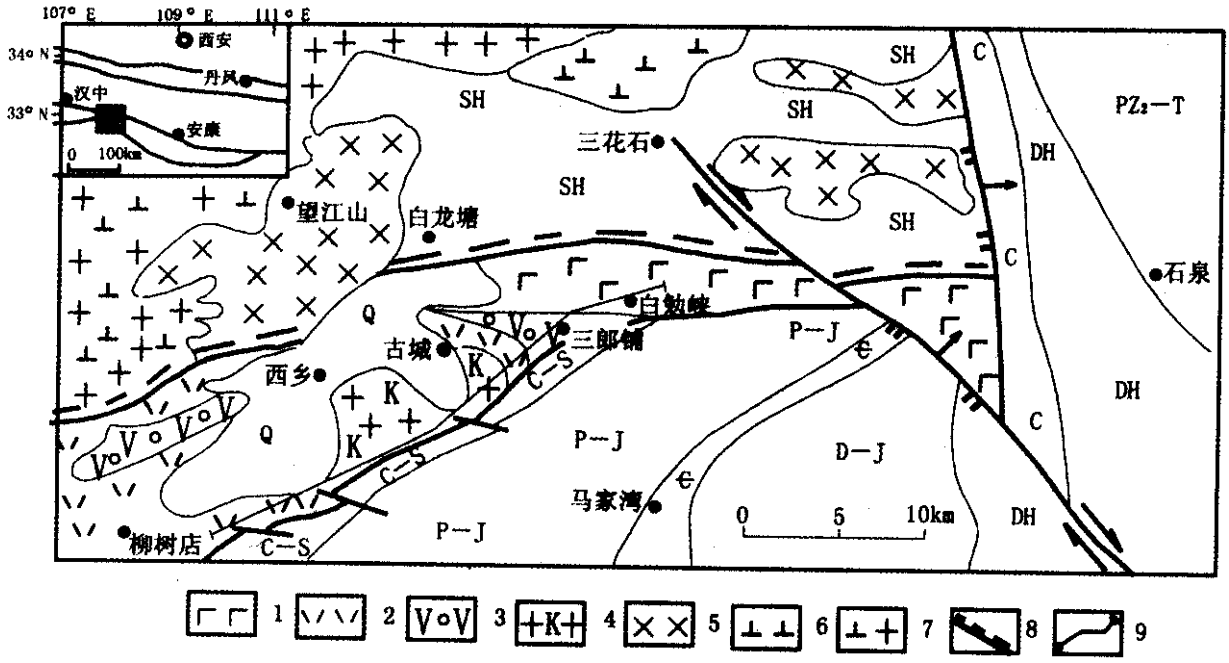

图 1 陕西西乡地区地质构造简图

1-白勉峡组火山岩；2-孙家河组火山-沉积岩；3-三郎铺组和大石沟组火山-沉积岩；4-钾长花岗岩；5-辉长岩；6-闪长岩；7-中酸性侵入岩；8-韧性剪切带；9-野外取样剖面位置

Fig. 1 Sketch geological and structure map of the Xixiang area

起等(1999)的最新研究结果表明(王宗起等,1999),在西乡群孙家河组上、中、下各段火山岩所夹泥、硅质岩层中,均发现了放射虫化石,将其时代厘定为晚泥盆-早石炭世。这一重要发现对南秦岭地区传统地质认识提出了挑战。因而,重新分析和精确厘定西乡群火山-沉积岩系的形成大地构造环境,对于重新认识该套火山-沉积岩系的大地构造归属具有重要意义。本文依据西乡群孙家河组、三郎铺组、大石沟组和白勉峡组中火山岩的岩石地球化学特征,对该套火山-沉积岩系形成大地构造环境进行了重新划分和厘定。

2 区域地质概况

综合已有的划分命名方案(陶洪详等,1982; 陕西省地质矿产局,1989),西乡群应包括白勉峡组的变质中基性火山岩夹细碎屑岩; 孙家河组和大石沟组的中、酸性为主的火山岩和沉积岩夹层; 以及三郎铺组的砂砾岩和火山岩。白勉峡组火山岩以基性熔岩为主,其主要岩石类型有玄武岩、玄武安山岩、安山岩、安山质凝灰岩等。火山碎屑岩与陆源碎屑岩互层,喷溢火山熔岩以夹层产出。孙家河组主要由基性-中基性-酸性火山岩和凝灰岩、沉凝灰岩、泥岩、硅质岩组成,其上被三郎铺组砂砾岩不整合覆盖,火山岩主要岩石类型为中酸性-中基性火山碎屑岩以及玄武质-安山质火山熔岩。火山熔岩类主要为灰绿色、褐紫色玄武岩,褐紫色安山岩以及少量杂色英安岩和流纹岩。为一套低绿片岩相浅变质火山岩系。三郎铺组为一套厚度巨大的紫红色砾岩、砂砾岩、砂岩和粉砂泥岩,夹较多基性-酸性火山熔岩及火山碎屑岩。三郎铺组由下到上大致构成了 5 个大旋回层,每个旋回均以砾岩、砂砾岩、砂岩或凝灰质砂岩等陆源沉积开始,向上为玄武岩、流纹岩等喷发岩,形成火山喷发与沉积交互的旋回层。火山岩以基性熔岩和酸性熔岩为主导,未见中性火山岩类,显示了双峰式火山岩的岩石组合特征。大石沟组下部为灰紫色玄武岩、杏仁状玄武岩; 中部为灰紫色玄武岩、杏仁状玄武岩夹紫红色杏仁状安山岩,含凝灰质细砂岩; 上部为紫红色凝灰质砂砾岩、凝灰砂岩、紫红色安山岩夹紫色玄武岩。岩性较稳定,与三郎铺组陆相砂砾岩过渡、相变,受断裂破坏未见顶。为明显的陆上喷发,在竹林坡和大石沟可见到爆发角砾岩。具多个旋回层,每个旋回自下而上为凝灰质砂砾岩→安山岩→玄武岩。

3 样品与分析方法

我们在西乡县柳树店-孙家河-三郎铺-白勉峡地区,沿垂直火山岩走向方向采集一组系统样品,首先经镜下观察,去除有后期交代脉体贯入的样品,然后用牛皮纸包裹击碎成直径约 5mm 的细小颗粒,从中细心挑选 200g 左右的新鲜岩石小颗粒,HCl 浸泡 24 小时,洗净烘干,最后在振动盒式碎样

机(日本理学公司生产)内粉碎至 200 目。除 G05、G06 号样品外，其余样品主元素均采用湿法分析，痕量及稀土元素采用 ICP-MS(酸溶)法分析。全部测试工作(除 G05、G06 外)均由中科院地化所资环测试中心完成。考虑到我们对火山岩环境的判别主要依赖于 Ta、Nb、Th、La、Yb、Zr、Y 等不活动痕量元素，而国内部分学者提出，在 ICP-MS 分析方法中，由于溶样稀释过程中，存在部分难溶矿物未完全溶解而造成分析结果中某些元素偏低(如 Zr、Hf、Nb、Ta 等)的可能性。为慎重起见，我们将该批次 ICP-MS 分析样品全部送中科院高能所采用中子活化法进行复测。结果表明，两种不同方法获得的分析结果(如 Ta、Th、Yb、Zr 和 Hf 等)基本一致，符合规定的误差范围。其中，Ta 中子活化/Ta ICP-MS 平均为 1.1317；Th 中子活化/Th ICP-MS 平均为 1.1587；Yb 中子活化/Yb ICP-MS 平均为 1.0422；Zr 中子活化/Zr ICP-MS 平均为 0.9070；Hf 中子活化/Hf ICP-MS 平均为 0.8156。这说明本文所采用的地球化学元素分析结果具有较高的分析精度和很好的可信度。

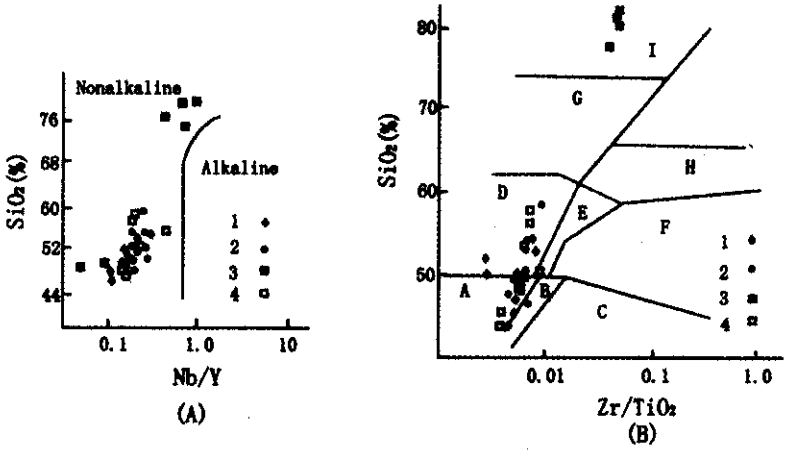

图 2 火山岩 SiO_2－Nb/Y 图解(A)和 SiO_2－Zr/TiO_2 图解(B)(Winchester *et al.*，1977)

Alkaline-碱性系列；Nonalkaline-非碱性系列；A. 亚碱性玄武岩类；B. 碱性玄武岩类；C. 粗面玄武岩、碧玄岩、霞石岩；D. 安山岩类；E. 粗面安山岩类；F. 响岩类；G. 英安流纹岩、英安岩；H. 粗面岩类；I. 流纹岩类；1. 白勉峡组火山岩；2. 孙家河组火山岩；3. 三郎铺组火山岩；4. 大石沟组火山岩

Fig. 2 SiO_2－Nb/Y (A) and SiO_2－Zr/TiO_2 (B) diagrams of the volcanic rocks(Winchester *et al.*，1977)

4 火山岩地球化学特征及其形成环境

本区火山岩化学成分及微量元素、稀土元素分析结果列于表 1、2、3 中。考虑到本区火山岩曾遭受过一定的蚀变作用并可能受到过微弱的变质作用影响。本文将通过对火山岩岩石—构造组合类型、岩浆系列、稀土及痕量元素地球化学特征的分析研究，来阐明火山岩形成环境及其大地构造意义。痕量元素尽可能采用相对不活动的高场强元素及其比值所提供的地球化学约束。SiO_2－Nb/Y 图解可以有效地区分变质/蚀变火山岩的系列(Winchester *et al.*，1977)。从图 2A中可以看到，本区火山岩均属非碱性系列火山岩。SiO_2－Zr/TiO_2 图解被认为是划分蚀变、变质火山岩系列和岩石名称的有效图解(Winchester *et al.*，1977)，从图中可以看到(图 2B)，本区火山岩主要岩石类型为亚碱性玄武岩、亚碱性安山岩和流纹岩类。

分析结果(表 1，2，3)表明，白勉峡组火山岩总体具有高钛的特点，TiO_2% 平均为 1.55%，与大洋拉斑玄武岩(1.5%)平均值接近(Pearce，1984)，而高于活动陆缘和岛弧拉斑玄武岩(0.83%)(Pearce，1984)。该组中玄武岩类稀土总量较低，变化不大，平均为 135.78×10^{-6}。LREE/HREE 平均为 1.27，岩石 $(La/Yb)_N$ 介于 1.31～4.15 之间，平均 2.71；$(Ce/Yb)_N$ 介于 1.43～3.82 之间，平均 2.53；δEu 平均 0.97。说明玄武岩轻重稀土分异不强，基本无铕异常(图 3a)。该组玄武岩 Nb＜La，Nb/La 均小于 0.64，平均为 0.48；Th/Ta 在 3～6 之间，平均 4.43；Th/Yb 介于 0.26～0.98 之间，平均 0.54；值得注意的是，白勉峡玄武岩 Ta/Yb 值很低且稳定，平均为 0.12，均小于 0.20，这与活动陆缘环境(大陆边缘弧)钙碱性玄武岩(其 Ta/Yb 值一般均＞0.20)明显不同(Pearce，1984)，而与洋内岛弧拉斑玄武岩的特征十分相似。白勉峡安山岩类地球化学特征与玄武岩接近，仅轻稀土富集度略高(图 3b)。岩石微量元素 N 型 MORB 标准化配分型式被认为是判别火山岩形成环境的有效途径(Pearce，1983；1984)。

表 1 白勉峡组火山岩的主元素(%)和微量元素(10^{-6})分析结果

Table 1 Major (%) and trace element (10^{-6}) analyses of volcanic rocks from Baimianxia area

岩性	玄武岩							安山岩		
编号	B02	B04	B07	B08	B09	B12	B13	B03	B10	B11
SiO_2	47.26	48.61	52.51	51.52	50.21	52.63	52.41	54.96	56.21	54.12
TiO_2	2.14	1.58	0.63	1.09	2.09	1.54	1.79	0.61	2.11	1.88
Al_2O_3	14.82	16.31	13.77	15.13	14.15	16.27	15.67	12.21	12.01	15.14
Fe_2O_3	10.87	10.49	6.52	8.95	6.32	3.92	3.95	2.54	4.46	3.80
FeO	4.66	3.60	3.22	3.46	7.97	6.67	7.68	5.52	7.92	6.14
MnO	0.30	0.22	0.15	0.20	0.26	0.17	0.26	0.16	0.21	0.21
MgO	6.54	5.81	7.76	4.37	4.45	4.66	4.92	9.98	3.72	4.50
CaO	5.14	5.31	9.57	9.77	7.74	5.10	4.73	5.63	7.32	5.90
Na_2O	3.87	4.78	1.67	2.48	4.00	4.45	3.77	1.87	2.22	3.70
K_2O	0.85	0.36	0.09	0.38	0.21	0.77	1.13	0.08	0.13	1.37
P_2O_5	0.27	0.22	0.12	0.15	0.20	0.16	0.19	0.17	0.21	0.20
H_2O^+	2.36	2.42	3.25	2.08	2.28	2.84	2.99	4.95	2.88	2.28
H_2O^-	0.52	0.75	0.36	0.46	0.58	0.33	0.23	1.00	0.30	0.34
总量	99.60	100.46	99.62	99.77	100.46	99.51	99.72	99.68	99.70	99.58
Sc	43.4	42.7	41.0	40.3	40.9	28.1	28.1	29.5	32.9	27.1
V	406.2	362.5	266.6	330.9	382.3	229.1	243.7	200.0	349.0	247.2
Cr	125.0	173.5	330.0	185.6	116.3	118.1	166.7	678.7	75.7	117.8
Co	44.8	42.9	40.2	47.6	40.5	40.4	40.6	44.1	30.3	36.2
Ni	34.0	33.8	60.8	69.0	42.1	50.8	61.4	224.6	25.9	45.7
Cu	76.7	91.5	62.4	21.3	111.5	73.4	47.6	69.8	128.9	68.5
Zn	145.1	118.5	73.2	91.4	123.6	144.3	133.6	233.0	116.8	103.5
Ga	21.1	21.8	13.3	23.5	23.1	21.0	21.8	14.4	22.5	20.5
Rb	21.4	8.6	1.5	12.4	3.3	18.8	30.3	1.9	1.5	29.7
Sr	202.2	334.3	581.8	336.0	385.0	321.8	312.8	153.8	322.6	427.0
Y	51.1	43.2	13.1	37.9	51.9	32.8	35.5	16.6	66.0	33.7
Zr	202.0	173.0	37.6	131.0	227.0	170.0	197.0	99.4	308.0	108.0
Nb	5.3	4.8	1.9	6.3	8.3	6.3	7.4	7.9	12.1	7.0
Sn	1.68	1.56	0.60	2.19	2.09	1.55	1.83	0.92	3.15	1.59
Cs	0.85	0.40	0.07	0.33	0.12	0.54	0.72	0.14	0.26	0.53
Ba	291.8	217.9	58.0	127.4	160.7	354.6	589.9	94.3	91.8	565.5
Hf	6.26	5.58	1.33	4.14	6.65	5.20	6.03	3.06	9.97	4.01
Ta	0.35	0.31	0.13	0.49	0.60	0.42	0.53	0.36	0.99	0.52
W	0.18	0.33	0.23	0.38	0.39	0.50	0.85	0.50	0.78	0.55
Th	1.40	1.06	0.52	1.56	2.77	2.78	2.74	2.35	5.40	2.48
U	0.32	0.25	0.15	0.37	0.75	0.65	0.58	0.55	2.83	0.73
La	9.4	7.5	6.1	10.8	16.6	16.5	18.7	12.1	26.6	20.2
Ce	27.6	21.2	13.2	26.5	36.7	39.2	45.7	25.7	59.8	45.5
Pr	4.62	3.93	2.0	4.01	5.75	5.84	6.51	3.02	8.03	6.31
Nd	21.9	18.8	8.0	18.0	25.1	22.8	25.2	11.3	33.4	26.1
Sm	6.51	5.60	1.91	5.07	6.70	5.30	6.02	2.69	8.71	6.16
Eu	2.18	2.04	0.75	1.77	2.08	1.83	2.01	0.81	2.46	2.12
Gd	8.05	7.33	2.22	6.15	8.22	5.72	6.58	2.84	10.46	6.46
Tb	1.30	1.09	0.37	0.99	1.37	0.90	1.03	0.41	1.72	1.01
Dy	8.58	7.34	2.24	6.44	8.89	5.61	6.23	2.71	11.36	5.96
Ho	1.76	1.50	0.44	1.30	1.81	1.08	1.20	0.56	2.29	1.18
Er	5.65	4.64	1.43	4.06	5.88	3.46	3.75	1.75	7.34	3.60
Tm	0.76	0.68	0.21	0.58	0.83	0.46	0.51	0.26	1.05	0.49
Yb	4.87	4.09	1.22	3.49	5.04	2.85	3.38	1.60	6.59	3.02
Lu	0.67	0.60	0.17	0.51	0.70	0.38	0.46	0.23	0.92	0.45

注：SiO_2－H_2O^- **由中国科学院地球化学研究所湿法分析**(1999)；Sc－Lu **由中国科学院地球化学研究所** ICP-MS **分析**(1999).

表 2 孙家河火山岩的主元素(%)和微量元素(10^{-6})分析结果

Table 2 Major (%) and trace element (10^{-6}) analyses of volcanic rocks from Sunjiahe area

岩性	安山岩				玄武岩					
编号	SJ01	SJ02	SJ07	SJ15	SJ03	SJ04	SJ09	SJ10	SJ11	SJ12
SiO_2	53.16	55.23	56.27	59.88	49.52	52.14	52.12	51.21	51.49	50.74
TiO_2	1.09	1.02	0.98	0.85	1.24	1.11	1.23	1.27	1.26	1.53
Al_2O_3	18.11	17.42	16.89	15.54	18.48	16.55	17.55	16.84	17.03	17.24
Fe_2O_3	5.32	4.72	2.44	2.44	4.53	3.26	4.25	4.57	4.53	4.40
FeO	4.27	2.83	5.81	4.32	4.70	4.94	5.23	5.86	5.52	6.10
MnO	0.18	0.15	0.16	0.16	0.25	0.15	0.18	0.19	0.20	0.22
MgO	4.22	2.42	2.80	2.30	3.93	6.19	4.56	5.62	4.80	4.93
CaO	4.78	7.65	4.11	3.56	7.33	7.59	4.96	4.79	5.42	6.87
Na_2O	5.45	4.95	4.60	4.74	3.92	2.28	3.91	3.69	3.44	4.10
K_2O	0.28	0.25	2.39	2.75	1.76	1.59	2.01	1.50	1.57	0.52
P_2O_5	0.14	0.23	0.14	0.21	0.17	0.16	0.19	0.16	0.19	0.20
H_2O^+	2.13	2.69	2.66	2.52	3.26	3.22	3.35	3.94	3.70	3.04
H_2O^-	0.48	0.68	0.35	0.51	0.61	0.51	0.71	0.53	0.53	0.46
总量	99.61	100.24	99.60	99.78	99.70	99.69	100.25	100.17	99.68	100.35
Sc	21.5	19.2	21.1	14.4	23.6	21.8	26.7	26.3	26.3	28.4
V	206.7	185.3	193.7	120.8	231.3	202.4	220.9	229.4	229.3	246.6
Cr	54.2	39.2	54.3	74.2	47.5	143.5	72.6	76.5	64.0	93.7
Co	29.7	21.0	27.1	18.1	30.0	38.0	33.8	36.3	33.7	36.4
Ni	23.6	17.0	26.9	15.1	23.1	105.8	31.6	33.7	29.1	32.2
Cu	46.0	56.0	74.4	56.8	48.5	48.7	59.7	56.3	52.6	157.9
Zn	87.5	67.6	98.5	135.4	93.4	87.1	88.8	101.8	146.0	320.7
Ga	19.9	21.7	21.4	19.1	22.8	18.7	20.5	20.4	19.3	20.3
Rb	7.9	3.3	45.0	50.4	48.5	36.1	60.1	52.8	47.1	20.0
Sr	567.3	814.4	479.1	345.3	476.4	565.9	419.2	445.7	506.5	363.3
Y	25.0	23.3	20.6	23.7	29.5	19.7	26.1	27.4	24.9	28.1
Zr	143	142	138	157	177	118	129	150	126	133
Nb	5.0	4.6	5.0	5.5	6.0	4.8	4.9	5.8	4.8	5.1
Sn	1.09	1.09	1.45	1.61	1.65	1.40	1.15	1.65	1.17	1.11
Cs	0.39	0.10	0.81	1.51	1.94	1.20	3.90	1.99	2.00	1.13
Ba	156.8	176.8	855.2	930.2	544.7	465.0	594.3	509.1	707.5	192.0
Hf	4.35	4.11	4.49	5.08	5.01	3.56	4.07	4.56	3.99	4.15
Ta	0.32	0.28	0.34	0.37	0.38	0.32	0.32	0.41	0.33	0.35
W	0.36	0.43	0.77	0.62	0.61	0.34	0.43	1.32	0.46	0.72
Th	2.97	2.32	3.88	3.86	3.56	1.78	2.99	3.44	3.31	3.49
U	0.81	0.64	0.80	0.72	0.95	0.40	0.76	0.97	0.84	0.89
La	20.5	16.8	19.7	21.4	25.8	16.2	21.8	24.8	22.5	26.6
Ce	44.8	38.7	40.0	44.6	53.3	33.8	46.9	52.9	49.2	52.2
Pr	5.93	5.21	5.74	6.03	7.54	4.18	6.38	6.87	6.45	6.76
Nd	22.1	20.3	22.3	24.0	29.1	16.8	25.1	28.2	25.6	28.1
Sm	5.10	4.48	4.86	5.24	6.16	3.60	5.63	5.87	5.79	5.99
Eu	1.56	1.51	1.57	1.58	2.02	1.25	1.80	1.90	1.79	1.84
Gd	4.78	4.48	4.53	4.82	6.00	3.65	5.22	5.71	5.36	5.71
Tb	0.69	0.67	0.64	0.68	0.86	0.54	0.73	0.79	0.76	0.78
Dy	4.18	3.99	3.85	3.92	5.03	3.33	4.60	4.68	4.38	4.67
Ho	0.80	0.78	0.71	0.79	0.95	0.68	0.86	0.88	0.88	0.93
Er	2.48	2.47	2.27	2.50	2.95	2.19	2.71	2.81	2.64	2.80
Tm	0.36	0.34	0.31	0.35	0.40	0.31	0.36	0.40	0.39	0.43
Yb	2.25	2.14	1.92	2.41	2.59	1.73	2.22	2.47	2.22	2.43
Lu	0.31	0.32	0.28	0.30	0.38	0.23	0.33	0.37	0.32	0.36

注：SiO_2－H_2O^- **由中国科学院地球化学研究所湿法分析**(1999)；Sc－Lu **由中国科学院地球化学研究所** ICP-MS **分析**(1999).

表 3 三郎铺组和大石沟组火山岩的主元素(%)和微量元素(10^{-6})分析结果

Table 3 Major (%) and trace element (10^{-6}) analyses of volcanic rocks from Sanlangpu and Dashigou areas

岩性	流纹岩				玄武岩				安山岩			
编号	S01	S02	S03	S04	G05	G06	T05	T06	T03	T11	T13	T14
SiO_2	78.58	79.85	76.11	79.45	48.85	50.00	47.38	48.56	55.65	58.05	53.06	59.11
TiO_2	0.29	0.36	0.55	0.28	1.05	1.06	2.71	2.71	1.06	0.90	0.93	0.95
Al_2O_3	8.69	7.80	9.60	6.96	16.67	16.63	13.06	12.76	16.24	15.38	15.24	15.41
Fe_2O_3	1.47	1.58	2.43	1.41	7.55	7.86	9.42	10.70	4.22	6.19	5.83	6.32
FeO	0.62	0.58	0.72	0.62	2.51	2.62	5.86	5.14	4.90	1.15	1.25	1.34
MnO	0.08	0.06	0.07	0.09	0.16	0.18	0.22	0.22	0.14	0.12	0.16	0.10
MgO	0.22	0.17	0.34	0.07	7.81	7.78	4.87	4.94	3.85	3.95	3.03	4.26
CaO	0.23	0.19	0.48	0.30	9.53	9.54	7.27	5.11	3.84	6.89	15.87	1.87
Na_2O	3.16	4.30	3.10	4.19	2.73	2.41	4.04	4.10	3.66	2.99	0.26	5.16
K_2O	4.31	2.69	4.96	4.66	0.27	0.21	0.38	0.19	2.06	0.89	0.29	1.75
P_2O_5	0.15	0.17	0.13	0.17	0.24	0.25	0.18	0.18	0.21	0.23	0.19	0.12
H_2O^+	1.15	1.26	0.67	0.97			3.22	3.38	3.35	2.66	3.76	2.21
H_2O^-	0.58	0.56	0.46	0.37	2.73*	1.91*	0.95	1.54	0.56	0.87	0.58	1.57
总量	99.53	99.57	99.62	99.54	100.10	100.45	99.56	99.53	99.74	100.27	100.45	100.17
Sc	2.5	2.0	3.3	1.4	27.2	27.5	38.9	42.5	19.7	21.7	17.9	22.2
V	11.2	32.3	26.4	11.8	153.0	148.0	459.1	497.1	203.4	159.8	229.8	167.8
Cr	26.1	34.3	35.4	41.9	359.0	360.0	80.5	73.2	256.9	126.0	95.8	134.2
Co	2.4	2.3	3.1	1.8	85.0	84.0	43.1	44.4	39.0	25.4	20.6	27.3
Ni	7.3	7.7	9.0	10.1	125.0	112.0	43.7	38.9	113.5	48.9	37.6	55.4
Cu	11.0	10.4	16.5	13.9	57.0	78.0	54.1	58.9	41.4	22.4	25.8	30.8
Zn	33.8	26.6	41.2	20.7	55.6	53.2	121.4	128.5	91.3	82.8	81.9	77.5
Ga	17.0	14.9	18.8	16.2	15.0	17.0	21.9	21.9	24.1	21.7	34.4	17.2
Rb	116.8	58.3	110.4	104.7	16.2	9.43	8.3	4.1	53.7	39.4	3.7	61.0
Sr	66.2	84.1	86.1	34.2	471.0	458.0	350.7	253.9	240.4	683.0	107.2	292.9
Y	19.5	12.4	16.4	10.1	23.0	21.0	47.4	49.9	20.0	22.5	27.8	22.5
Zr	249.0	301.0	413.0	224.0	55.3	58.5	214.0	213.0	145.0	132.0	176.0	137.0
Nb	9.3	8.8	11.3	9.9	1.0	2.0	7.3	6.8	8.9	4.1	5.9	4.3
Sn	3.10	2.57	2.70	2.53			1.97	1.79	1.18	1.45	1.59	1.81
Cs	3.47	2.03	3.82	3.26	0.899	1.44	0.45	0.25	3.12	1.36	0.09	2.29
Ba	589.8	763.9	730.3	689.2	171.0	223.0	229.2	165.8	596.3	127.0	87.5	635.8
Hf	8.16	8.86	12.1	7.1	1.67	1.47	6.56	6.42	4.28	4.13	5.42	4.19
Ta	0.88	0.77	0.88	0.91	0.143	0.508	0.51	0.49	0.65	0.33	0.44	0.33
W	2.03	2.20	3.61	2.25	21.8	25.4	0.50	0.53	1.03	0.59	0.47	0.57
Th	9.72	8.56	8.92	5.25	0.425	0.354	1.92	1.85	4.26	3.84	4.52	3.95
U	1.03	1.73	2.05	0.95	1.12	1.08	0.58	0.58	1.00	0.88	1.17	0.84
La	23.2	19.5	25.0	16.6	7.17	7.71	15.5	16.1	20.9	16.3	19.1	16.0
Ce	47.3	38.0	50.8	30.3	16.0	17.4	36.3	37.5	37.7	34.8	40.8	34.2
Pr	5.15	4.34	5.61	3.59			5.74	5.65	5.02	4.50	5.39	4.52
Nd	17.1	14.5	18.3	11.6	10.2	11.1	23.9	25.0	18.5	16.8	19.2	15.9
Sm	2.99	2.46	3.46	1.91	2.94	3.21	6.52	6.54	3.89	3.70	4.13	3.84
Eu	0.56	0.53	0.78	0.37	1.15	1.25	2.32	2.34	1.24	1.11	1.17	1.17
Gd	3.10	2.08	2.95	1.60	3.37	3.89	7.66	8.18	3.96	4.12	4.73	3.97
Tb	0.47	0.32	0.44	0.24	0.56	0.703	1.24	1.26	0.58	0.60	0.73	0.61
Dy	3.21	1.92	2.52	1.60			8.02	8.23	3.49	3.73	4.38	3.78
Ho	0.61	0.40	0.53	0.33			1.55	1.66	0.66	0.75	0.94	0.76
Er	2.09	1.33	1.82	1.12			5.24	5.20	2.05	2.36	2.94	2.45
Tm	0.32	0.21	0.27	0.17			0.72	0.74	0.29	0.33	0.41	0.34
Yb	2.15	1.38	1.93	1.11	1.60	1.69	4.35	4.54	1.72	2.05	2.55	2.15
Lu	0.29	0.20	0.29	0.17	0.244	0.258	0.58	0.64	0.25	0.29	0.35	0.29

注：G05 和 G06 样品：$SiO_2-P_2O_5$，V，Cu，Ga，Y，Nb 由西北大学大陆动力学重点实验室 XRF 法分析，* 为烧失量；其它元素由中国科学院高能物理研究所中子活化法分析。其余样品 $SiO_2-H_2O^-$ 由中国科学院地球化学研究所湿法分析(1999)；Sc－Lu 由中国科学院地球化学研究所 ICP-MS 分析(1999)。S01～S04，G05～G06 为三郎铺组；T03～T14 为大石沟组。

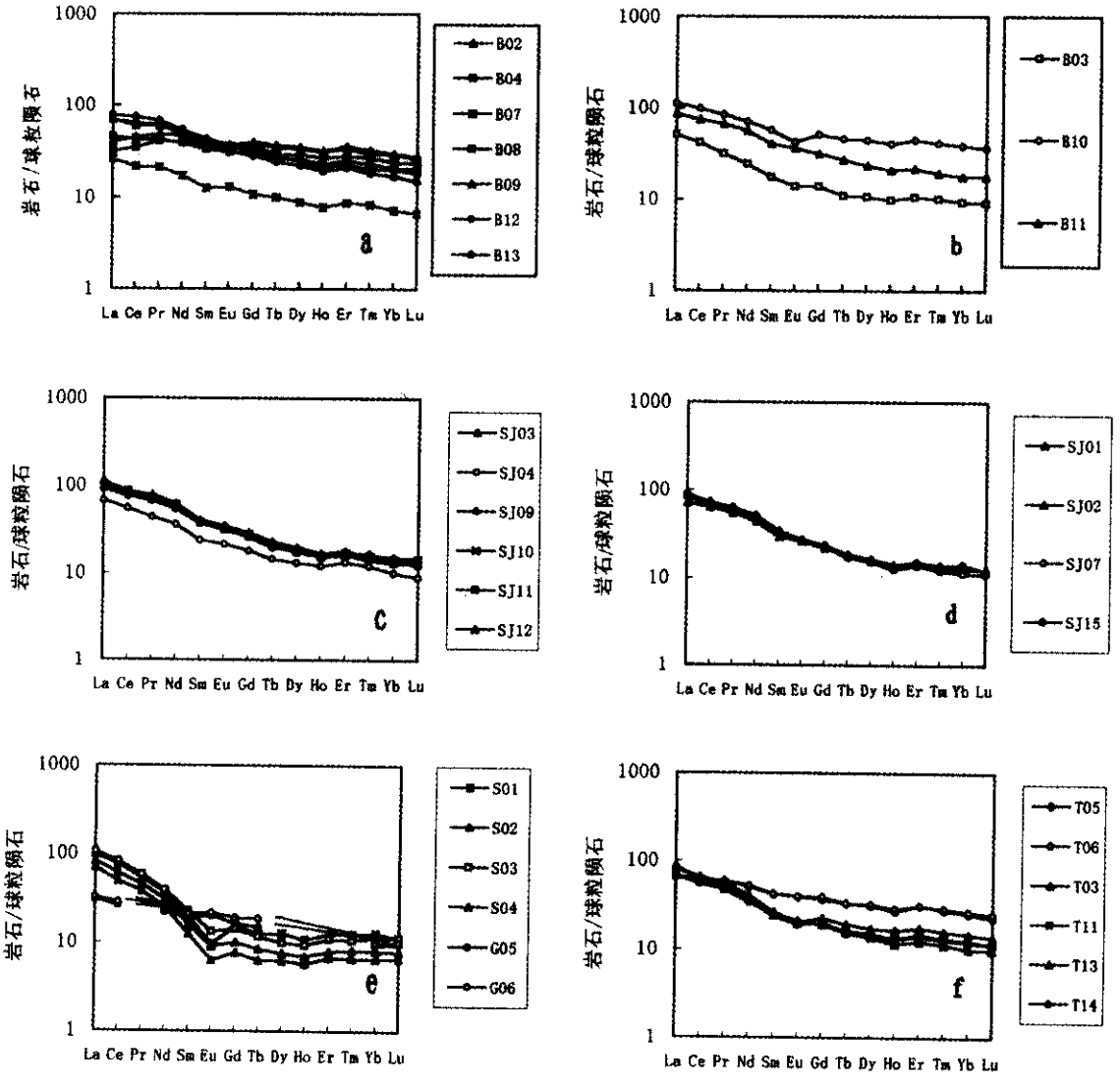

图 3　稀土元素球粒陨石标准化配分型式

a. 白勉峡玄武岩；b. 白勉峡安山岩；c. 孙家河玄武岩；d. 孙家河安山岩；e. 三郎铺流纹岩和玄武岩；f. 大石沟火山岩；球粒陨石标准值据 Sun and McDonough，1989；图中编号对应于表 1，2，3 中的样品编号

Fig. 3　Chondrite-normalized REE distribution patterns

从图 4a、b 中可以看到，白勉峡火山岩总体显示为高 Ba，Nb 和 Ta 亏损的配分型式。这种配分型式与大陆板内火山岩的“驼峰式”配分型式明显不同，而更类似于弧岩浆系列的地球化学特征。显然，如果我们的微量元素分析资料是可靠的话，那么将白勉峡组火山岩认定为板内环境产物是不能令人信服的（张国伟等，1988；夏林圻等，1996）。我们更倾向于认为该组火山岩形成于与俯冲作用有关的大地构造环境（Pearce，1984；Wilson，1989）。

孙家河组玄武岩类稀土总量平均为 153.07×10^{-6}，略高于白勉峡玄武岩，其轻重稀土分异（LREE/HREE 平均 2.56）和轻稀土富集程度（岩石 $(La/Yb)_N$ 平均 7.21，$(Ce/Yb)_N$ 平均 5.85）也都明显高于白勉峡玄武岩（图 3c、d）。岩石 Th/Ta（8～10，平均 8.78），Nb/La（<0.30），Th/Yb（1.03～1.49，平均 1.35），Ta/Yb（0.14～0.18，平均 0.16），总体上显示为岛弧火山岩的地球化学特征。从图 4c、d 中可以看到，孙家河组玄武岩和安山岩类均呈特征的“三隆起”形态，以 K、Rb、Ba 和 Th 的较强富集，并伴有 Ce 和 Sm 的弱富集为特色。这与大陆边缘弧钙碱性玄武岩的微量元素配分型式完全一致（Pearce，1983；Wilson，1989）。

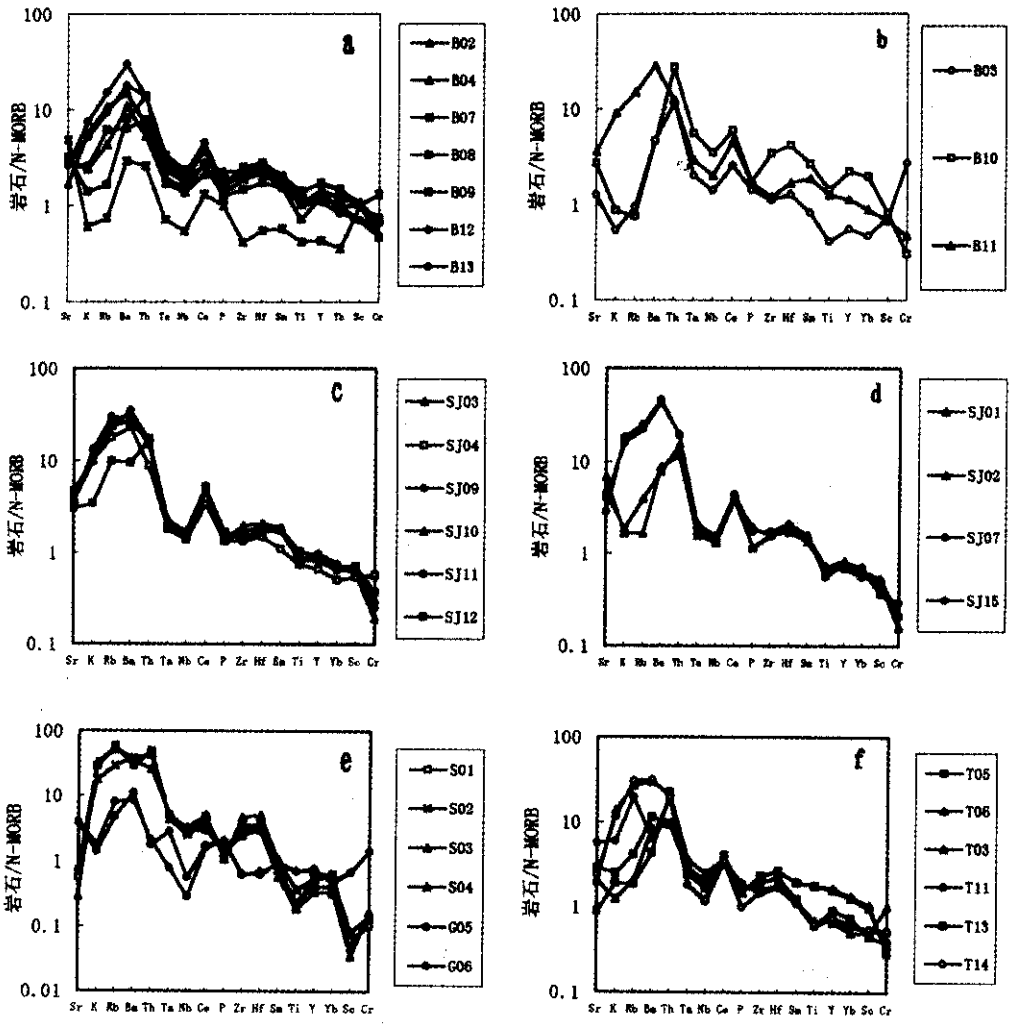

图 4 火山岩微量元素 N 型 MORB 标准化配分型式

a. 白勉峡玄武岩; b. 白勉峡安山岩; c. 孙家河玄武岩; d. 孙家河安山岩; e. 三郎铺流纹岩和玄武岩; f. 大石沟火山岩; N-MORB 标准值据 Pearce, 1984; 图中编号对应于表 1, 2, 3 中的样品编号

Fig. 4 N-type MORB normalized trace element distribution patterns

大石沟组玄武岩 LREE/HREE 平均 1.17, $(La/Yb)_N$ (2.55)、$(Ce/Yb)_N$(2.30)和 δEu(0.99)与孙家河组玄武岩基本一致。而安山岩类稀土总量平均 120.32×10^{-6}, LREE/HREE(平均 2.20)和 δEu(平均 0.89)表明其轻重稀土分异略有增强, δEu 略有降低, 但不明显。大石沟组玄武岩 Nb/La(0.42～0.47)、Th/Ta(3.76～3.78)、Th/Yb(0.41～0.44)和 Ta/Yb(0.11～0.12)同样表明了其典型的岛弧岩浆成因的地球化学特点, 这与岩石 N 型 MORB 标准化配分图解所显示的特征是一致的(图 4f)。

我们获得的三郎铺组两个玄武岩样品的 $(La/Yb)_N$ 为 3.21～3.27, $(Ce/Yb)_N$ 为 2.78～2.86, δEu 为 1.08～1.11。表明岩石属轻稀土轻微富集型, Eu 也有微弱的富集现象。该组玄武岩 Nb/La 为 0.14～0.26, 平均 0.20; Th/Ta 为 0.70～2.97, 平均 1.84; Th/Yb 为 0.21～0.27, 平均 0.24; Ta/Yb 为 0.09～0.30, 平均 0.20。在稀土元素球粒陨石标准化配分型式图上(图 3e)可以看到, 三郎铺玄武岩稀土曲线为平坦型, 与白勉峡尤其是孙家河和大石沟组玄武岩配分曲线有较大差异, 其轻稀土(如 $La=7.17\sim7.71\times10^{-6}$, $Ce=16.0\sim17.4\times10^{-6}$)丰度值也显著低于孙家河和大石沟组玄武岩类, 从而表明三郎铺组玄武岩的源区类型和形成机制应与孙家河、大石沟组玄武岩类有差异。而三郎铺组流纹岩稀土总量平均值仅为 109.88×10^{-6}, 岩石 $(La/Yb)_N$ 介于 7.74～10.73 之间, 平均为 9.48; $(Ce/Yb)_N$ 介于 6.11～7.65 之间, 平均为 7.16; δEu 平均 0.66。这表明三郎铺组流纹岩与本区白勉峡、孙家河和大石沟组玄武岩并非同源岩浆分异演化的产物。因为, 如果流纹岩和玄武岩为共源岩浆系列, 则流纹岩的稀土总量应明显高于玄武岩类, 且其 Eu 亏损也应十分显著(Marlina *et al.*, 1999; Coish *et al.*, 1982)。另外,

从图 3e 中可以看到，自三郎铺玄武岩→流纹岩，轻稀土富集度增高，Eu 由微弱富集转变为弱-中等亏损。说明三郎铺组玄武岩和流纹岩类应为具有成因联系的一套双峰式岩石组合。据此可以看出，三郎铺玄武岩和流纹岩尽管在空间上与孙家河、大石沟及白勉峡组火山岩密切相伴，但它们的岩浆源区有明显差异，并非同源岩浆分异演化的产物。值得注意的是，在岩石 N 型 MORB 标准化配分图解中(图 4e)，三郎铺组玄武岩除 Rb、Ba 和 Ce、P 的相对富集外，还显示了 Nb、Ta，尤其是 Nb 的相对亏损。而三郎铺组流纹岩类则更明显的显示了 K、Rb、Ba、Th 和 Ce 的较强富集，以及 Nb、Ta 的相对亏损。从而表明，三郎铺组火山岩有其自身的独特性。其玄武岩和流纹岩类具有裂陷环境下双峰式岩石组合以及 Nb、Ta 亏损等弧火山岩系列的双重特征。

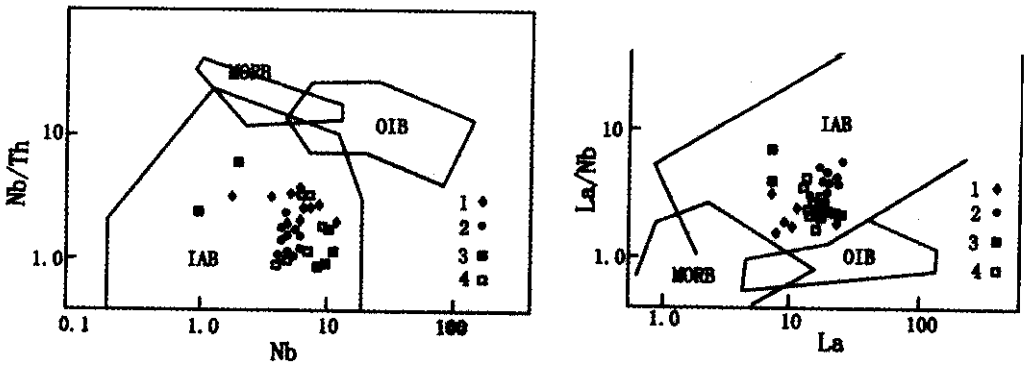

图 5　火山岩 Nb/Th－Nb 和 La/Nb－La 图解(据李曙光，1993)

1. 白勉峡组火山岩；2. 孙家河组火山岩；3. 三郎铺组火山岩；4. 大石沟组火山岩

Fig. 5　The Nb/Th－Nb and La/Nb－La diagrams(after Li SG, 1993)

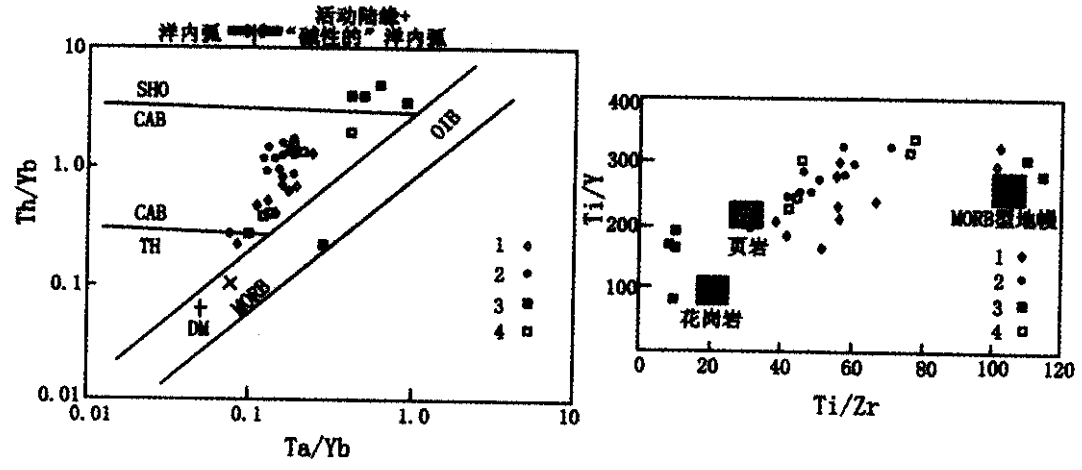

图 6　Th/Yb－Ta/Yb 和 Ti/Zr－Ti/Y 图解(据 Pearce，1983；Hergt *et al.*，1991)

1. 白勉峡组火山岩；2. 孙家河组火山岩；3. 三郎铺组火山岩；4. 大石沟组火山岩

Fig. 6　The Th/Yb－Ta/Yb and Ti/Zr－Ti/Y diagrams(after Pearce, 1983; Hergt *et al.*, 1991)

Th、Nb、La 都是强不相容元素，可最有效地指示源区特征(李曙光，1993)。Nb、La、Th 在海水蚀变及变质过程中是稳定或比较稳定的元素，所以利用 La/Nb－La 和 Nb/Th－Nb 图解可以区分洋脊、岛弧和洋岛玄武岩(李曙光，1993)。从图 5 可以看出，本区火山岩均处在典型的弧火山岩范围内。Ta/Yb 主要与地幔部分熔融及幔源性质有关，对于鉴别火山岩的源区特征有重要意义(Pearce，1983)。区内玄武岩在 Th/Yb－Ta/Yb 图解(图 6)中均位于 MORB-OIB 趋势线的上方，处在活动陆缘火山岩区域。这种特征的地球化学指纹，表明本区火山岩总体形成于大陆边缘弧的大地构造环境。

Zr 和 Y 是蚀变及变质过程中十分稳定的痕量元素，而火山岩中 Ti 丰度与火山岩源区物质组成及火山岩的形成环境有密切关系(Pearce，1983)。根据 Ti/Zr、Ti/Y 比值特征及

Ti/Zr、Ti/Y 图解(图 6)可以看到,区内孙家河组、大石沟组火山岩样品投影点均位于壳源与 MORB 型源区之间,说明它们既非典型的壳源成因,也非典型的 MORB 型幔源成因,而是兼具这两种源区的特征,这正是弧火山岩特有的地球化学指纹(Hergt *et al*.,1991),说明岩浆应来源于俯冲带楔形地幔区的局部熔融。值得注意的是,孙家河组火山岩中玄武岩类 K_2O 含量在 0.52%～2.01%之间,平均 1.49%,其 Ta/Yb 值平均为 0.18,在 Th/Yb－Ta/Yb 图中(图 6)处在活动陆缘钙碱系列火山岩范畴内,玄武岩轻稀土为弱-中等富集型;而且在孙家河组火山岩中除钙碱质玄武岩外,还出现大量安山质甚至流纹质的中酸性火山岩类。这些特征说明,它们与洋内岛弧环境的火山岩组合明显不同,而应属于大陆边缘弧(活动陆缘)的岩石组合和特点(Pearce,1984; Wilson,1989)。通常,洋内岛弧火山岩组合以拉斑质玄武岩和玄武安山岩为主体,而较少出现酸性火山岩类,其玄武岩类钾含量低,且 Ta/Yb 值大多<0.1 (Pearce, 1983)。因而,我们认为孙家河组火山岩应形成于大陆边缘弧(活动陆缘)的大地构造环境。而三郎铺双峰式火山岩与本区其它岩组火山岩不同。其玄武岩类投影点位于 MORB 型源区附近,流纹岩则位于花岗岩型源区附近(图 6),表明它们与本区其它火山岩组的源区类型及成因上有明显差异,且三郎铺组流纹岩的稀土配分型式表明它们并非孙家河组、大石沟组玄武质岩石的结晶分异产物。从岩石组合和沉积特征来看(王宗起,1998)①,三郎铺组双峰式火山岩与该组砂砾岩相间互层;由于岩浆的幕式喷发而形成沉积旋回,陆相冲积扇和湖泊沉积,岩相在横向上变化很大,局部有火山坍塌堆积。王宗起(1998)②的研究结果还表明,西乡城东、西的三郎铺组古流向相反。据此,我们认为三郎铺组双峰式火山岩很可能形成于裂陷环境。事实上,由于部分地壳也可以由岛弧拼贴加积增生形成,由这种岛弧加积增生形成的地壳局部熔融形成的中酸性岩浆将具有岛弧岩石的组成特征(如 Nb、Ta 亏损等)。因此,三郎铺流纹岩应为地壳局部熔融的产物,形成于岛弧型地壳的裂陷环境。而三郎铺组玄武岩类既具有弧火山岩系列特征,同时又显示了部分亏损地幔源特征。说明它们形成于岛弧型地壳裂陷的晚期阶段。其总体大地构造环境应相当于陆缘弧或洋内弧岛弧型地壳分裂而形成的初始弧间盆地类型。这与其沉积类型和沉积岩岩相学特征(王宗起,1998)③是一致的。而白勉峡组火山岩除总体具有岛弧的特征外,部分样品显示为 MORB 型源区特征(图 6),且其 TiO_2 含量明显偏高(平均 1.55%),说明该组火山岩岩浆起源与孙家河组和大石沟组有所不同,可能与一个部分亏损的地幔源区有成因联系。更值得注意的是,该组火山岩与典型的大陆边缘弧以安山质中性岩浆活动为特色且大多伴有流纹质等酸性火山岩和大量火山碎屑岩的大地构造环境有所不同,而是以玄武质岩石为主体,酸性火山岩和火山碎屑岩不发育。说明白勉峡火山岩的形成环境有一定特殊性,可能产于洋内岛弧(或初始岛弧)的大地构造环境。

关于西乡群火山岩的形成环境历来存在争议,主要有三种不同意见:一是岛弧(陶洪祥等,1993;凌文黎等,1996);二是裂谷(张国伟等,1988);三是大陆溢流(夏林圻等,1996)。而我们的研究表明,分布在柳树店-古城-三郎铺-白勉峡一带的原西乡群火山岩大体可解析为三套岩石-构造组合类型:(1)白勉峡组火山岩与一个部分亏损的地幔源区有关,类似于洋内岛弧(或初始岛弧)的形成环境;(2)孙家河组和大石沟组属于典型的活动大陆边缘岩浆活动产物;(3)而三郎铺组火山岩无论是其双峰式组合类型、微量、稀土元素特征,还是典型的陆源碎屑沉积系列(王宗起,1998)④,均表明它是加积增生岛弧型地壳的裂陷产物,其形成大地构造环境大体相当于初始的弧间盆地类型。

5 关于地层时代及其大地构造意义的讨论

南秦岭西乡群多年来一直被认为是前寒武纪地层。王宗起等(1999)在该群孙家河组上、中、下各段火山岩所夹泥、硅质岩层中均发现了放射虫化石,从而确定了该组下段为上泥盆统—下石炭统,中、上段为下石炭统。尽管这一结果与已有的有关西乡群的大量同位素年龄测定资料存在极大的矛盾,但泥盆-石炭纪化石的确认已成为难以否认的事实,这起码说明在原划西乡群火山-沉积岩系中存在有泥盆-石炭纪地层的组成部分(或构造岩片)。然而,孙家河组火山岩中出现的泥盆-石炭纪化石在区域上是否具有普遍意义,尚值得推敲。在无新的化石证据和新的同位素资料的前提下,仅据孙家河组中发现的放射虫,而将南秦岭地区广泛分布的原西乡群地层全部划归泥盆-石炭纪显然证据不足。我们的野外地质调查表明,三郎铺组火山-沉积岩不整合覆盖在孙家河组之上,其底部的砾岩层中含有大量火山岩砾石,这些砾石经野外观察和室内鉴定表明,主要为紫红色、肉红色安山岩和流纹岩,它们与孙家河组顶部层位的火山岩岩石类型、岩性、结构构造完全相同;而大石沟组火山-沉积岩系岩性较稳定,它们与三郎铺组陆相砂砾石呈过渡和相变关系。这说明三郎铺组和大石沟组火山-沉积岩形成时代应晚于孙家河组,而并非晚元古代的地层体系。白勉峡组火山岩与孙家河-三郎铺-大石沟组火山-沉积岩系呈明显的构造接触关系,接触带附近见有强烈的韧性变形和构造片理化现象,且白勉峡组火山岩的岩石类型、组合、地球化学特征均与孙家河-三郎铺-大石沟组火山-沉积岩系有差异。显然,已有的资料尚

① 王宗起. 1998. 南秦岭中段碰撞造山及其与陆缘盆地演化的耦合关系. 博士论文.

② 王宗起. 1998. 南秦岭中段碰撞造山及其与陆缘盆地演化的耦合关系. 博士论文.

③ 王宗起. 1998. 南秦岭中段碰撞造山及其与陆缘盆地演化的耦合关系. 博士论文.

④ 王宗起. 1998. 南秦岭中段碰撞造山及其与陆缘盆地演化的耦合关系. 博士论文.

不足以证明白勉峡组火山岩为泥盆-石炭纪地层体系。

鉴于西乡群火山-沉积岩系复杂的地质现象，客观地进行分析，并对其成因提出新的建议，这对于该区地质演化历史的再认识将是有益的。基于以上的研究结果，本文提出两种可能的成因解释建议：(1)西乡群火山岩均具有显著的 Nb、Ta 亏损，岩石 Th/Ta、Nb/La、Th/Yb 及 Ta/Yb 等特征微量元素指纹也显示了明显的弧岩浆系列的特征，它们总体应与一个活动大陆边缘的大地构造环境有关。并经历了由初始的洋内岛弧(白勉峡)→典型的大陆边缘弧(孙家河组、大石沟组)→岛弧拼贴增生地壳初始裂陷(三郎铺组)的一个复杂岩浆弧发展演化过程。(2)局限于南秦岭西乡地区孙家河-三郎铺一带分布的原西乡群孙家河组、三郎铺组和大石沟组火山-沉积岩系为一外来构造移置体，形成于泥盆-石炭纪，与勉略有限洋盆的发育时代相一致(冯庆来等，1996；李曙光等，1996)，它们的形成应与勉略缝合带的发展与演化密切相关。其岩石地球化学特征与勉县-略阳地区桥梓沟岛弧火山岩和三岔子陆缘弧火山岩具有一定的可对比性(张国伟等，1995；Lai Shaocong *et al*.，1996；赖绍聪等，1997，1998)，表明该套火山岩在区域上可能与勉略带相联，形成于勉略有限洋盆发育期间的一个活动大陆边缘构造环境或勉略洋发育期间形成的一个拼贴加积增生岛弧型地壳裂陷形成的初始弧间盆地环境有关。它们原应是勉略结合带的一个组成部分，其现在所处的部位，显然是构造就位所致，因其后来所受的构造改造移位而另行出露于扬子陆块的北部边缘(图 7)。

上述两种可能的成因解释中，我们更倾向于后者。

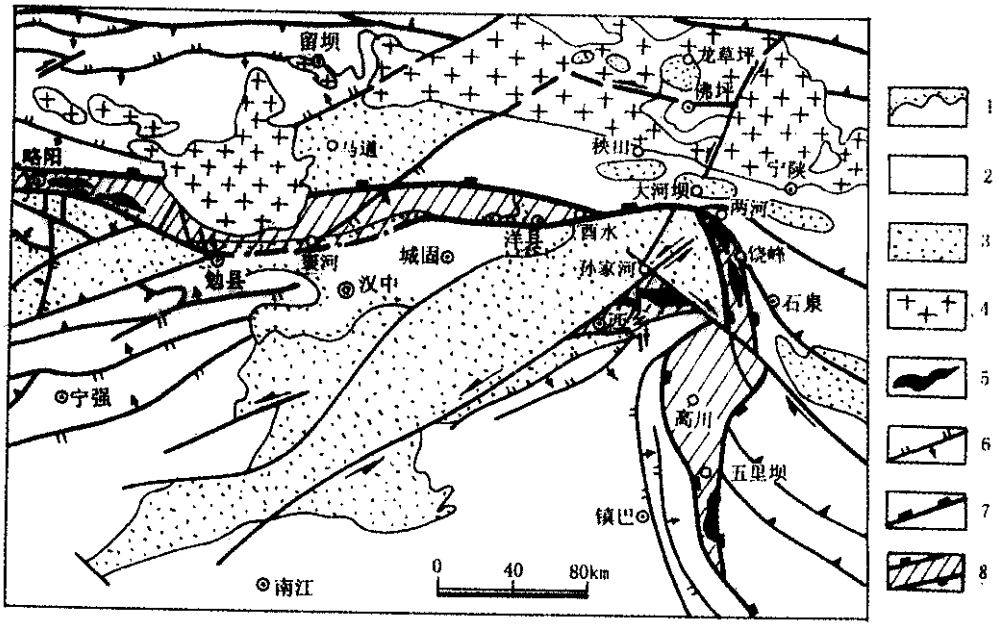

图 7　勉略缝合带组成及分布简图

1. 中新生代沉积盆地；2. 显生宙；3. 前寒武系基底；4. 花岗岩；5. 岛弧火山岩；6. 断裂构造；7. 缝合带边界；8. 勉略缝合带；9. 逆冲推覆断裂；10. 走滑断裂

Fig. 7　Sketch diagram illustrating the regional distribution and components of the Mianlue suture zone

6　结论

西乡群火山-沉积岩系位于扬子陆块的北部边缘，火山岩具有 Nb、Ta 亏损等显著的弧岩浆系列的特点，并可区分为三种不同的岩石-构造组合类型。白勉峡组火山岩以玄武质岩石为主体，与一个局部亏损的地幔源区有关，形成于洋内岛弧(或初始岛弧)的大地构造环境；孙家河组和大石沟组火山岩产于典型的活动大陆边缘构造环境；而三郎铺组火山-沉积岩系以双峰式火山岩和陆缘粗碎屑沉积岩系为特征，与一个加积增生岛弧型地壳的裂陷形成的初始弧间盆地环境有关。局限于柳树店-孙家河-三郎铺一带分布的原西乡群孙家河组、三郎铺组和大石沟组火山-沉积岩系形成于泥盆-石炭纪，可能为一外来构造移置体，并在区域上与勉略逢合带相关联，原应是勉略结合带的一个组成部分，其现在所处部位，显然是构造就位所致。

References

Bureau of Geology and Mineral Resources of Shaanxi Province. 1989. Regional geology of Shaanxi province. Beijing: Geological Publishing House, 1－698(in Chinese)

Coish R A, Hickey R, Frey F A. 1982. Rare earth element

geochemistry of the Betts Cove ophiolite, Newfoundland: complexities in ophiolite formation. Geochim. Cosmochim. Acta, 46:2117－2134

Editor Group of Shaanxi Regional Strata. 1983. Regional strata table of northwest area of China—fascicle of Shaanxi province. Beijing: Geological Publishing House, 1－258 (in Chinese)

Feng Qinglai, Du Yuansheng, Yin Hongfu *et al*. 1996. Carboniferous radiolaria fauna firstly discovered in Mian-Lue ophiolitic melange belt of south Qinling mountains. Science in China (Series D), 39(Supp.):87－92

Hergt J M, Peate D W, Hawkesworth C J. 1991. The petrogenesis of Mesozoic Gondwana low-Ti flood basalts. Earth Planet. Sci. Lett., 105:134－148

Huang Yi. 1948. Presinian crystalline rock in Xinji-Moujiaba area, south Shaanxi province. Geological Review, 13(1－2):131－132(in Chinese)

Lai Shaocong, Zhang Guowei. 1996. Geochemical features of ophiolite in Mianxian-Lueyang suture zone, Qinling orogenic belt. Journal of China University of Geosciences, 7(2):165－172

Lai Shaocong, Zhang Guowei, Yang Yongcheng *et al*. 1998. Geochemistry of the ophiolite and island-arc volcanic rocks in the Mianxian-Lueyang suture zone, southern Qinling and their tectonic significance. Geochimica, 27(3):283－293 (in Chinese with English abstract)

Lai Shaocong, Zhang Guowei, Yang Yongcheng *et al*. 1997. Petrology and geochemistry features of the metamorphic volcanic rocks in Mianxian-Lueyang suture zone, south Qinling. Acta Petrologica Sinica, 13(4):563－573(in Chinese with English abstract)

Ling Wenli, Zhang Benren, Zhang Hongfei *et al*. 1996. Isotopic geochemical evidence for the oceanic crust subduction and crust/mantle recirculation during middle-late Proterozoic era in north margin of Yangtze plate. Earth Science, 21(3):332－335 (in Chinese with English abstract)

Li Shuguang. 1993. The Ba-Th-Nb-La diagrams for the discrimination of ophiolitic tectonic settings. Acta Petrologica Sinica, 9(2):146－157(in Chinese with English abstract)

Li Shuguang, Sun Weidong, Zhang Guowei *et al*. 1996. Chronology and geochemistry of metavolcanic rocks from Heigouxia Valley in the Mian-Lue tectonic zone, South Qinling—Evidence for a Paleozoic oceanic basin and its close time. Science in China (Series D), 39(3):301－310

Marlina A E, John F. 1999. Geochemical response to varying tectonic settings: An example from southern Sulawesi (Indonesia). Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(7/8):1155－1172

Pearce J A. 1984. A "users guide" to basalt discrimination diagrams. Overseas Geology, (4): 1－13(in Chinese)

Pearce J A. 1983. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In: Continental Basalts and Mantle Xenoliths (Hawkesworth *et al*. eds.), Nantwich Shiva, 230－249

Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. in "Magmatism in the Ocean Basin" ed. by Saunders A D, Norry M J., Geol. Soc. Special Publ, (42):313－345

Tao Hongxiang, Cheng Xiangrong, Feng Hongru. *et al*. 1982. Strata classification and comparison for the "Xixiang Group", south Hanzhong. Journal of Xi'an College of Geology, 4(1): 32－44(in Chinese with English abstract)

Tao Hongxiang, He Huiya, Wang Quanqing *et al*. 1993. Tectonic evolutionary history of northern margin of Yangtze plate. Xi'an: Northwest University Press, 1－135(in Chinese)

Wang Zongqi, Cheng Haihong, Li Jiliang *et al*. 1999. Discovery and its geological significance of the radiolariae fossil in the Xixiang group, south Qinling. Science in China (Series D), 29(1): 38－44

Wilson M. 1989. Igneous petrogenesis. London: Unwin Hyman Press, 153－190

Winchester J A, Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magmas series and their differentiation products using immobile elements. Chem. Geol., 20:325－343

Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi. 1996. Identification and the geological significance for the Proterozoic continental flood basalt from Xixiang group, south Qinling. Geological Review, 42(6):513－522(in Chinese with English abstract)

Zhang Guowei, Mei Zhichao, Zhou Dingwu *et al*. 1988. Formation and evolution of the Qinling tectonic belt. Xi'an: Northwest University Press, 1－15(in Chinese with English abstract)

Zhang Guowei, Meng Qingren, Lai Shaocong. 1995. Structure and tectonics of the Qinling orogenic belt, Science in China (Series B), 25:994－1003

附中文参考文献

王宗起,陈海泓,李继亮等. 1999. **南秦岭西乡群放射虫化石的发现及其地质意义. 中国科学**(D辑),29(1):38－44

冯庆来,杜远生,殷鸿福等. 1996. **南秦岭勉略蛇绿混杂带中放射虫的发现及其意义. 中国科学**(D辑),26(增刊):78－82

张国伟,孟庆任,赖绍聪. 1995. **秦岭造山带的结构构造. 中国科学**(B辑),25:994－1003

张国伟,梅志超,周鼎武等. 1988. **秦岭造山带的形成及其演化. 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**,1－15

李曙光. 1993. **蛇绿岩生成构造环境的** Ba-Th-Nb-La **判别图. 岩石学报**,9(2):146－157

李曙光,孙卫东,张国伟等. 1996. **南秦岭勉略构造带黑沟峡变质火山岩的年代学和地球化学-古生代洋盆及其闭合时代的证据. 中国科学**(D辑),26(3):223－230

陕西省区域地层表编写组. 1983. **西北地区区域地层表. 陕西省分册. 北京:地质出版社**,1－258

陕西省地质矿产局. 1989. **陕西省区域地质志. 北京:地质出版社**,1－698

夏林圻,夏祖春,徐学义. 1996. **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. 地质论评**,42(6):513－522

凌文黎,张本仁,张宏飞等. 1996. **扬子克拉通北缘中、新元古代洋壳俯冲及壳幔再循环作用的同位素地球化学证据. 地球科学**,21(3):332－335

陶洪祥,何恢亚,王全庆等. 1993. **扬子板块北缘构造演化史. 西安:西北大学出版社**,1－135

陶洪祥,陈祥荣,冯鸿儒等. 1982. **汉南"西乡群"的地层划分与对比. 西安地质学院学报**,4(1):32－44

黄懿. 1948. **陕南牟家坝新集一带之震旦纪前结晶岩. 地质论评**,13(1－2):131－132

赖绍聪,张国伟,杨永成等. 1997. **南秦岭勉县-略阳结合带变质火山岩岩石地球化学特征. 岩石学报**,13(4):563－573

赖绍聪,张国伟,杨永成等. 1998. **南秦岭勉县-略阳结合带蛇绿岩与岛弧火山岩地球化学及其大地构造意义. 地球化学**,27(3):283－293