

# 滇西北金沙江结合带霞若—拖顶地区 两类中—基性火山岩的多元地球化学示踪

马振东 葛孟春 冯庆来 谢德凡 陈颖军

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

**摘要:**应用常量元素、微量元素对火山岩进行构造环境、成因及岩源示踪时,首先必须在宏观区域地质、地球化学调查基础上,结合当时所形成的各类地质体岩石类型组合来恢复,它是宏观构造环境判别的基础;其次,由于构造环境时空复杂性,需采用“两结合”的研究方法,一是多元地球化学信息示踪,二是不同岩类的时空配套;第三,在选择判别图解时,弄清前人图解的应用前提、适用范围和条件,切忌乱套瞎投。在此思想指导下,侧重对滇西北金沙江结合带霞若—拖顶地区两类中—基性火山岩进行了多元地球化学示踪,获得了较好的效果:(1)金沙江蛇绿混杂岩带东侧的基性火山岩产于大陆裂谷环境,而西侧中—基性火山岩具岛弧火山岩特征;(2)两者火山熔浆均源自富集地幔,东侧来自均一的富集地幔,而西侧富集地幔具不均一性;(3)在此基础上讨论了它们形成的构造演化特征。

**关键词:**中—基性火山岩;多元地球化学示踪;霞若—拖顶地区;金沙江结合带。

**中图分类号:** P588.14;P595 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2001)01-0025-08

**作者简介:**马振东,男,教授,1943年生,1966年毕业于北京地质学院勘探系,1981年于武汉地质学院北京研究生部获理学硕士学位,现主要从事地球化学、同位素地球化学的教学和科研工作。

滇西北金沙江结合带处于“三江”古特提斯构造域东部,中咱地块与昌都—思茅地块结合处,而霞若—拖顶地区位于金沙江结合带中段的关键部位,构造上素有“蜂腰”和“构造结”之称(图1)。在结合带两侧不同时期不同性质的地质体频频亮相,其中处于金沙江蛇绿混杂岩带及东西两侧的中—基性火山岩格外引人注目,其成岩时的构造环境、成因、岩源及时代等问题屡屡为人们所关注<sup>[1~5]</sup>。不同研究者对各类中—基性火山岩所涉及的有关问题提出了不同的认识和看法,这些研究无疑给该地区“构造结”的开启注入了丰富的信息。在本次1:5万霞若、中甸幅区域地质调查过程中,对金沙江蛇绿混杂岩带及两侧的各类中—基性火山岩进行了详细的基础地质、地球化学的调查研究,本文仅从各类中—基性火山岩的常量、微量元素(稀土元素)等多元地球化学示踪的侧面,着重对霞若—拖顶一带各期各类火山

岩所处的构造环境、成因、岩源等方面作一探讨。

## 1 地质特征

金沙江结合带霞若—拖顶地区及其东西两侧出露三类中—基性火山岩(图1),自东至西有:(1)出露于洛沙及阿独里西侧的石炭纪基性火山熔岩(多见火山角砾岩)和洛沙东至罗双一带的二叠纪喀大崩组枕状微晶玄武岩;(2)金沙江蛇绿混杂岩带内基性熔岩(另文发表);(3)三叠纪崔以比组各磨茸玄武安山岩,出露于金沙江蛇绿混杂岩带西侧的吉义独—各磨茸一带。

工作区内石炭纪火山岩主要出露在洛沙及阿独里西侧一带,其岩性是爆发相的火山角砾岩、熔岩和凝灰岩,岩石类型主要为微晶玄武岩、微晶安山玄武岩,熔岩中气孔和杏仁构造发育(伴生的沉积岩以厚层灰岩为主,含珊瑚、筴等化石,反映水体较浅)。岩石具微晶玻基结构,片状构造,主要由斜长石、绿泥石、绿帘石、纤闪石等矿物组成,局部见白钛矿。二叠

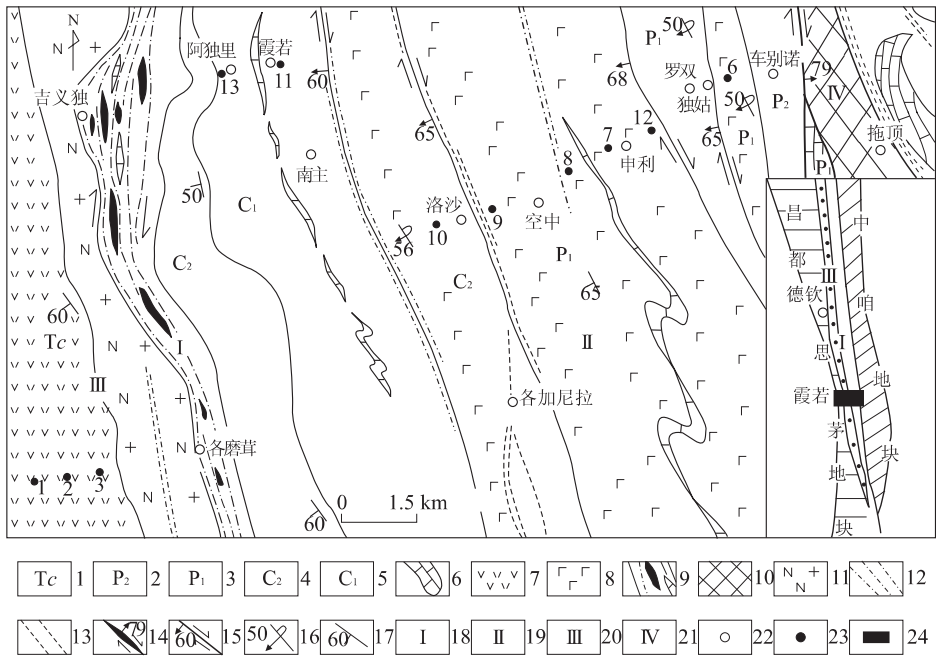


图1 滇西北金沙江结合带霞若—拖顶地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Xiaruo-Tuoding areas in Jinsha River combination zone, Northwest Yunnan Province

1. 三叠纪崔以比组; 2. 晚二叠世奔子栏组; 3. 早二叠世喀大崩组; 4. 晚石炭世响姑岩组; 5. 早石炭世申洛拱组; 6. 灰岩; 7. 中一基性火山岩夹碎屑岩; 8. 玄武岩; 9. 蛇绿混杂岩; 10. 前志留纪变质杂岩; 11. 各磨茸石英闪长岩—花岗闪长岩; 12. 右行剪切糜棱岩带; 13. 右行初脆性剪切带; 14. 主斜向走滑断层; 15. 次斜向走滑断层; 16. 倒转地层产状; 17. 地层产状; 18. 吉义独—各磨茸蛇绿混杂岩带; 19. 晚石炭世—早二叠世裂谷带; 20. 早—中三叠世岛弧带; 21. 中咱地块; 22. 地名; 23. 采样点及编号; 24. 工作区

纪基性火山岩分布于洛沙东至罗双一带, 以发育枕状构造为特征, 常见有厚层状灰岩、泥岩、火山碎屑岩及浅水生物组合, 火山岩中杏仁和气孔构造发育。岩石的矿物组合与石炭纪玄武岩十分相似, 均遭受后期挤压应力、热变质等作用叠加。从以上玄武岩的产出特征、火山—沉积岩系组合来看, 从晚石炭世至早三叠世, 霞若—拖顶一带及邻区遭受强烈拉张、沉降作用, 形成了一套由深至浅的沉积组合, 并伴有大量基性火山喷发, 在纵向序列中构成两个火山喷发旋回, 每个火山旋回均具有从强烈爆发→喷溢→溢流的特征, 相应形成了火山角砾岩—块状(枕状)玄武岩—沉凝灰岩+灰岩的沉积—火山岩系。这套岩系是大陆裂谷阶段的产物。

吉义独—各磨茸一带的三叠纪崔以比组分布于金沙江蛇绿混杂岩带西侧, 以灰色、深灰色中一基性火山岩夹板岩、结晶灰岩等为主, 与上覆晚三叠世歪古村组紫红色、杂色砾岩、含砾砂岩、砂岩及板岩呈角度不整合接触。火山岩以安山岩类为主, 包括含斑玄武安山岩、角闪安山岩, 及少量玻基安山玄武岩和辉石玄武岩。含斑玄武安山岩具玻基含斑结构, 气孔构造, 斑晶为半自形板状斜长石(4%~6%), 多为更

中长石, 个别具环带构造; 基质为微晶长条状斜长石(30%~50%), 杂乱排列, 其间为玻璃质(60%~63%)充填。岩石中气孔(2%)多为圆形(2~4 mm), 为方解石和绿泥石充填。结合区域剖面观察, 三叠纪崔以比组中一基性火山岩是早期产物, 而中晚期以流纹岩—英安岩为主。别具特色的是南北向岛弧花岗岩类——各磨茸石英闪长岩—花岗闪长岩体与之呈侵入接触<sup>[6]</sup>。在金沙江蛇绿混杂岩带西侧发育的这套岩类的时空组合, 可能是昌都—思茅地块东缘与中咱地块挤压碰撞前的标志——弧火山岩和弧花岗岩。

## 2 岩石化学特征

本区中基性火山岩的岩石化学成分见表1, 根据Irvine 1971年(据文献[7])推荐的适用于中一基性火山岩的 $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$ —“An”(“An”为阳离子标准矿物计算所得, “An”= $\text{An} \times 100 / (\text{An} + \text{Ab} + 5/3 \text{Ne})$ )图解, 其均属拉斑玄武岩系列, 但金沙江蛇绿混杂岩带西侧的玄武岩接近钙碱性系列(图略)。从表1清楚可见, 西侧玄武岩显示低 $\text{TiO}_2$ (0.68%~1.28%,

表 1 金沙江结合带霞若—拖顶地区两类中—基性火山岩岩石化学成分

Table 1 Chemical compositions for two kinds of intermediate-basic volcanic rocks in Xiaruo-Tuoding areas of Jinsha River combination zone

序号	样品号	采样地点	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	CO <sub>2</sub>	
1	12b <sub>2</sub>	金沙江带西侧	53.13	0.68	14.90	1.02	5.88	0.14	8.10	9.06	3.12	0.22	0.08	2.99	0.47	
2	12b <sub>4</sub>		各磨茸	51.65	1.24	14.16	1.23	7.78	0.15	4.87	7.37	3.08	0.29	0.18	4.02	3.82
3	13b <sub>1</sub>			52.28	1.14	15.13	2.02	7.28	0.16	6.65	7.99	3.06	0.09	0.16	3.54	0.31
4*	(3)		拱卡—书松	49.26	1.06	17.34	2.22	6.34	0.13	8.14	10.81	2.65	0.73	0.09		
5*	(4)			52.13	1.28	14.42	2.13	6.62	0.13	5.93	7.61	3.70	0.27	0.16	3.75	1.23
6	06-b <sub>9</sub>	独姑	49.04	2.24	14.13	5.35	6.37	0.18	6.35	9.67	2.26	1.23	0.30	2.57	0.05	
7	07-b <sub>25</sub>	金沙江带东侧	45.92	2.29	13.26	1.21	9.58	0.18	5.35	10.56	2.70	0.77	0.33	3.61	3.98	
8	07-b <sub>35</sub>		居家	45.76	3.46	12.86	3.04	9.38	0.17	4.64	9.67	2.66	0.79	0.45	3.66	3.14
9	07-b <sub>47</sub>		洛沙	50.03	1.39	9.94	3.67	4.48	0.13	3.94	12.80	2.02	1.11	0.17	2.65	7.43
10	07-b <sub>54</sub>		洛沙西	45.57	2.45	12.96	4.17	6.88	0.19	5.58	12.34	2.29	1.10	0.36	3.00	2.82
11	2509-b <sub>2</sub>		霞若	48.62	2.50	12.99	2.10	9.87	0.18	6.21	8.60	2.91	1.04	0.38	3.38	0.99
12	b <sub>19</sub>	申利东	49.34	1.97	12.80	2.74	6.98	0.15	5.26	12.35	2.85	0.27	0.25	3.25		
13	9G <sub>53</sub>	阿独里	48.15	2.24	14.04	2.79	8.47	0.18	5.99	11.28	2.12	1.34	0.30	2.93		

除 \* 引自文献[2]外(括号中为样品数),其余岩石化学成分分析由湖北省岩矿测试研究所分析(1998)。

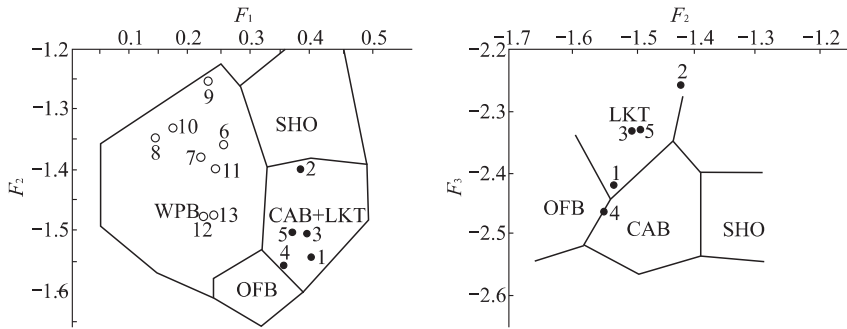


图 2 金沙江结合带霞若—拖顶地区两类中—基性火山岩构造环境的 F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub> 和 F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub> 图解判别

Fig. 2 F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub> and F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub> tectonic setting discrimination diagrams for two kinds of intermediate-basic volcanic rocks in Xiaruo-Tuoding areas of Jinsha River combination zone

WPB. 板内玄武岩; OFB. 洋中脊玄武岩; CAB. 钙碱性玄武岩; LKT. 低钾(岛弧)拉斑玄武岩; SHO. 钾玄岩(投点编号见表 1)。据 Pearce, 1976, 见文献[7]

平均 1.08%)；低 K<sub>2</sub>O (0.09% ~ 0.73%，平均 0.32%)；低 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.08% ~ 0.18%，平均 0.13%)。而东侧玄武岩则呈现较高 TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的特征，它们的变化范围及平均值分别为：1.39% ~ 3.49%，平均 2.31%；0.27% ~ 1.34%，平均 0.96%；0.17% ~ 0.45%，平均 0.32%。

从板块构造理论的观点出发，玄武岩岩石化学成分的差异与它们所形成的构造环境关系密切。Pearce(1976)通过对中生代以来各种典型环境中玄武岩常量元素的 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> 的计算，投影在 F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub> 关系图上，划分了五类构造环境中的玄武岩(图 2, 见文献[7])。在 F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub> 图上，金沙江东西两侧中—基性火山岩明显分成两个投影区，东侧玄武岩均落入板内玄武岩区(WPB)，而西侧玄武岩

则分布在岛弧拉斑玄武岩(LKT)和钙碱性玄武岩(CAB)区。在 F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub> 图解上，低 K<sub>2</sub>O 的(1, 2, 3, 5)样品均落在低钾拉斑玄武岩区(LKT)，而 K<sub>2</sub>O 相对较高(0.73%)的玄武岩投在钙碱性玄武岩区(CAB)。

### 3 构造环境微量元素示踪

就岩石常量元素整体而言，它对岩石定名、岩系演化有重要意义，但是它对岩石成因、岩浆起源及其产出的地质环境等方面的示踪就不如微量元素灵敏。由于不同构造环境产出的玄武岩具有不同的微量元素比值及组合特征，因此，近 20 年来，人们以更大的注意和兴趣着眼于微量元素的示踪作用。认识

表 2 金沙江结合带霞若—拖顶地区两类中—基性火山岩微量元素质量分数和比值

Table 2 Trace element mass fractions and their ratios for two kinds of intermediate-basic volcanic rocks in Xiaruo-Tuoding areas of Jinsha River combination zone

序号	1	2	3	4*	5*	6	7	8	9	10	11	12	13
样品编号	12b <sub>2</sub>	12b <sub>4</sub>	13b <sub>1</sub>	(3)	(4)	06-b <sub>9</sub>	07-b <sub>25</sub>	07-b <sub>35</sub>	07-b <sub>47</sub>	07-b <sub>54</sub>	2509-b <sub>2</sub>	b <sub>19</sub>	9G <sub>53</sub>
岩石类型	玄武安山岩	辉石玄武岩	玄武安山岩	玄武岩	玄武安山岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩
Rb	6.5	25.9	<1.0	13.8	6.6	24.1	16.7	11.9	20.0	27.3	17.1	6.3	34.0
Sr	258	104	173	239	124	280	202	189	148	433	284	195	340
Ba	96	69	61	148	107	338	331	652	551	433	278	259	220
Zr	65	140	103	85	97	190	180	288	197	184	194	127	157
Y	13.5	27.1	24.4	18.6	25.78	24.6	24.4	33.6	22.0	25.4	24.7	24	29
Nb	4.3	6.7	6.9	7.6	6.4	20.9	22.0	33.3	21.5	20.6	22.8	17.1	21.0
Th	8.8	7.3	8.9	4.6	9.4	11.6	12.2	15.1	11.3	14.5	13.3	2.5	3.3
Ta	0.8	<0.2	0.2	/	/	1.7	1.8	1.9	1.7	1.2	2.1	0.9	1.2
Hf	2.0	3.8	2.9	/	/	4.8	5.1	7.6	5.1	4.9	5.3	3.03	3.70
U	<0.2	<0.2	<0.2	/	/	0.40	0.22	0.22	0.43	0.49	0.31	0.59	0.69
La	6.27	6.72	6.96	4.71	6.46	19.28	20.33	34.37	21.62	19.85	15.78	17.5	23.0
Ce	10.56	18.08	14.34	12.56	16.20	43.22	43.57	78.34	45.39	50.50	49.13	37.4	48.4
Pr	1.34	2.17	1.95	1.81	2.29	5.73	6.00	9.81	5.86	6.27	5.95	5.11	6.60
Nd	5.30	10.25	9.00	7.59	10.04	23.58	24.68	41.22	23.42	27.98	26.39	20.9	26.6
Sm	1.54	3.20	2.66	2.20	2.76	5.22	5.34	8.54	4.91	5.97	5.64	4.85	5.90
Eu	0.48	1.13	0.98	0.81	1.02	1.59	1.57	2.49	1.38	1.91	1.85	1.71	1.90
Gd	1.91	4.10	3.48	2.78	3.61	5.08	5.20	7.99	4.56	5.62	5.26	5.17	6.20
Tb	0.33	0.68	0.61	0.55	0.68	0.80	0.81	1.20	0.71	0.85	0.79	0.78	0.94
Dy	2.20	4.75	4.12	3.26	4.30	4.68	4.70	6.73	4.17	5.08	4.75	4.20	5.10
Ho	0.47	0.96	0.83	0.70	0.91	0.89	0.91	1.23	0.80	0.92	0.89	0.84	0.99
Er	1.33	2.84	2.44	2.02	2.69	2.38	2.38	3.21	2.16	2.47	2.31	2.77	2.30
Tm	0.22	0.46	0.40	0.32	0.43	0.35	0.33	0.45	0.30	0.36	0.36	0.40	0.31
Yb	1.36	2.91	2.44	1.97	2.52	2.12	2.12	2.76	1.87	2.08	2.10	2.54	1.96
Lu	0.22	0.46	0.39	0.29	0.42	0.33	0.34	0.41	0.29	0.31	0.32	0.38	0.28
$w(\text{Nb})/w(\text{Y})$	0.32	0.25	0.28	0.41	0.25	0.85	0.90	0.99	0.98	0.81	0.92	0.71	0.72
$w(\text{Ti})/w(\text{Y})$	302	274	280	342	298	547	562	618	378	578	608	492	463
$w(\text{La})/w(\text{Yb})$	4.6	2.3	2.9	2.4	2.6	9.1	9.6	12.4	11.6	9.5	7.5	6.9	11.7
$w(\sum\text{REE})$	33.57	59.21	50.60	41.57	54.33	115.25	118.27	199.23	117.46	130.18	121.53	104.55	130.48
$\delta(\text{Eu})$	0.89	0.96	0.99	1.00	0.99	0.93	0.90	0.90	0.88	0.99	1.02	1.04	0.96

除 \* 引自文献[2]外(括号中为样品数),其余微量元素分析(1—3,6—11)由湖北省岩矿测试研究所分析,(12,13)由中国科学院广州地球化学研究所 ICP-MS 实验室分析(1998)。

和研究岩浆岩(火山岩)所处的构造环境,通用而有效的方法是微量元素比值及蛛网图<sup>[8]</sup>。

(1)微量元素比值示踪。Nb, Ti, Y 等元素是场强稳定性好的元素(离子电位  $\pi > 3$ ),它们不但对示踪构造环境有较明显的指示意义,而且在后期作用叠加过程中性质较为稳定,因此其比值的示踪作用较为显著。表 2 和图 3 清楚显示,金沙江蛇绿混杂岩带西侧的中—基性火山岩  $w(\text{Nb})/w(\text{Y})$  为 0.25~0.41,  $w(\text{Ti})/w(\text{Y})$  为 274~342 ( $\leq 350$ );金沙江蛇绿混杂岩带东侧基性火山岩  $w(\text{Nb})/w(\text{Y})$  为 0.71~0.99,  $w(\text{Ti})/w(\text{Y})$  为 463~618 ( $\geq 350$ )。前者投影在岛弧玄武岩区,后者均落在板内玄武岩区。

(2)微量元素比值蛛网图示踪。微量元素比值蛛

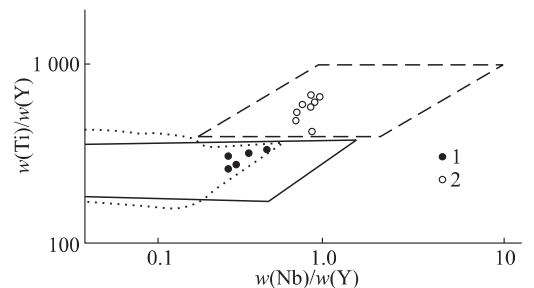


图 3 不同构造环境玄武岩  $w(\text{Ti})/w(\text{Y}) - w(\text{Nb})/w(\text{Y})$  判别(据文献[8])

Fig. 3  $w(\text{Ti})/w(\text{Y})$  vs.  $w(\text{Nb})/w(\text{Y})$  diagrams for different tectonic settings discrimination for basalts 实线,洋脊玄武岩;虚线,板内玄武岩;点线,岛弧玄武岩。1.金沙江西侧中—基性火山岩;2.金沙江东侧基性火山岩

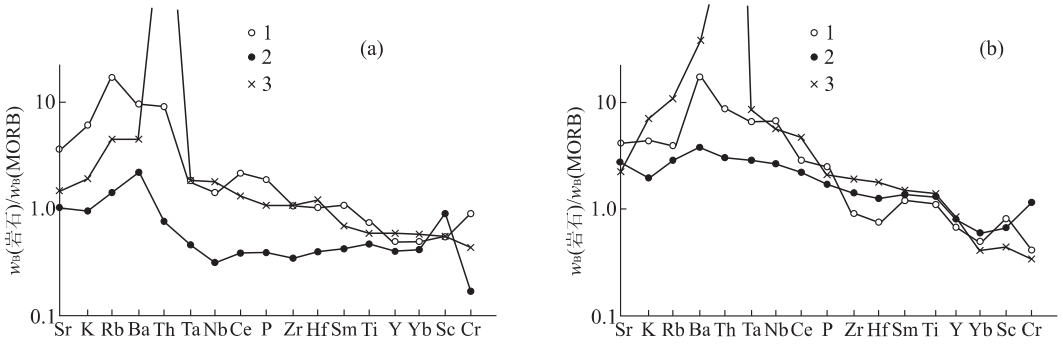


图 4 金沙江结合带霞若—拖顶地区中—基性火山岩以 MORB 标准化蛛网图

Fig. 4 MORB normalized trace element spider diagrams for two kinds of intermediate-basic volcanic rocks in Xiaruo-Tuoding areas of Jinsha River combination zone

a. 火山弧型玄武岩:1. 钙碱性;2. 拉斑质;3. 西侧中—基性火山岩平均值. b. 板内玄武岩:1. 拉斑—碱性;2. 拉斑质;3. 东侧基性火山岩平均值. a,b 中 1,2 据文献[8]

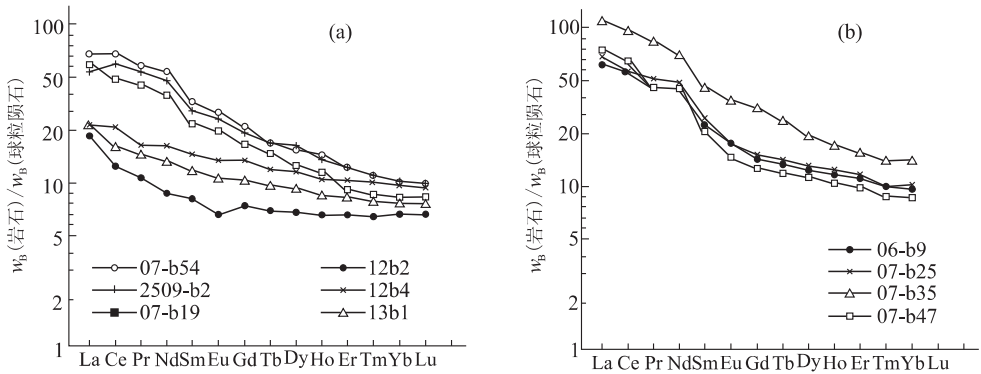


图 5 金沙江结合带霞若—拖顶地区中—基火山岩稀土配分模式

Fig. 5 REE distribution patterns for two kinds of intermediate-basic volcanic rocks in Xiaruo-Tuoding areas of Jinsha River combination zone

a. 西侧(下), 东侧(上); b. 东侧(样品编号见表 2)

网图,是岩石中不相容元素对于球粒陨石、原始地幔或洋中脊玄武岩的对应元素的比值,即标准化比值的配分型式图解,图解的横坐标等间距排列着不相容元素,排列的顺序由左向右从强不相容元素到弱不相容元素. 这次研究以标准洋中脊玄武岩为基准<sup>[8]</sup>,对金沙江带两侧的中—基性火山岩作图(图 4a,b). 图 4a 为金沙江带西侧三叠纪崔以比组中—基性火山岩(5 个样平均)的蛛网图. 图中可见它处于钙碱性的玄武岩与拉斑玄武岩的过渡分配型式之间,其特征是 Sr, K, Rb, Ba, Th 等元素较强富集(Th 元素为标准洋中脊玄武岩的 39 倍),而从 Ta 到 Yb 所有元素均为低丰度,图 4b 为金沙江带东侧基性火山岩(8 个样平均)的配分型式,它与板内钙碱性玄武岩的配分型式十分相似, K, Rb, Ba, Th, Ta, Nb, Ce 等强不相容元素呈“隆起”型. 表 2 列出

了上述微量元素的质量分数,从表中可见东侧基性火山岩的 Rb, Ba, Th, U, Nb, La, Ce, Sr, Nd 等强不相容元素明显比西侧中—基性火山岩富集,需要指出的是 Th 的富集尤为突显(是标准洋中脊的 50 多倍,原因不明).

(3) 稀土元素的示踪. 实验岩石学研究表明,地幔橄榄岩低程度部分熔融(约 < 10%) 产出碱性玄武岩,而较高程度部分熔融(约 15%~30%) 产生拉斑玄武岩. 在这样高的岩浆熔融程度下,岩浆中的 REE 丰度很大程度上取决于源区岩石的 REE 丰度,而与熔融程度的关系不大<sup>[9]</sup>. 金沙江蛇绿混杂岩带东西两侧拉斑质(或过渡为钙碱性)中—基性火山岩稀土总量的变化主要受源区化学组成的控制,显然处于不同构造环境中的火山岩其稀土元素特征迥然有别(表 2、图 5): ① 处于岛弧环境的西侧中—基



性火山岩,  $\Sigma$ REE 低, 为  $33.57 \times 10^{-6} \sim 59.21 \times 10^{-6}$ ,  $w(\text{La})/w(\text{Yb})$  比值小, 为  $2.3 \sim 4.6$ ; ② 处于板内环境的东侧基性火山岩,  $\Sigma$ REE 高, 为  $104.0 \times 10^{-6} \sim 199.23 \times 10^{-6}$ ,  $w(\text{La})/w(\text{Yb})$  比值大, 为  $7.5 \sim 12.4$ . 但两者亦有相似之处,  $w(\text{Eu})/w(\text{Sm})$  (西侧:  $0.31 \sim 0.37$ , 东侧:  $0.29 \sim 0.35$ ),  $\delta(\text{Eu})$  (西侧:  $0.89 \sim 1.00$ , 东侧:  $0.90 \sim 1.04$ ) 几乎重叠. 这说明从岩浆源区部分熔融出的拉斑质玄武岩熔体成岩过程中, 结晶作用是较迅速的, 斜长石、辉石等晶体未充分结晶分异熔体部分就固结了, 往往使熔体产生不了负 Eu 异常. 这与前述两者岩石的矿物组合及显微玻基结构的特征相吻合.

#### 4 火山岩源区的微量元素示踪

用微量元素 Nb 标准化 ( $w(\text{Nb}) = 0.62 \times 10^{-6}$ ) 来示踪地幔类型的方法是 1989 年由 Myers 等<sup>[10]</sup> 提出的. 由于 Nb 是 La, Ce, P, Zr, Ti, Y 7 个微量元素中最不相容的元素, 故在地幔—岩浆间的总分配系数 ( $K_D$ ) 最小, 这样在较低程度的部分熔融时易进入熔体, 而分离结晶时, 亦会一直保留在残余熔体中. 另外, 研究表明富集地幔源中 Nb 的丰度比亏损地幔高<sup>[10]</sup>. 根据以上原理对金沙江蛇绿混杂岩带东西两侧的中—基性火山岩与原始地幔之比进行作图 (图 6a), 同时对两侧的中—基性火山岩和原始地幔各自与 Nb 的标准化作图 (图 6b). 从图中清楚可见: 在图 6a 中东侧中—基性火山岩 ( $a_2$ ) 的 Nb, La, Ce, P, Zr, Ti, Y 元素明显比西侧基性火山岩 ( $a_1$ ) 高出好几倍. 这些元素在板内拉斑玄武岩中均呈“隆起”型,

而在岛弧拉斑质火山岩中所有元素都是低丰度<sup>[10]</sup>. 在图 6b 中, 两类中—基性火山岩均为负斜率倾斜, 这显示了它们源区的地幔均受到交代富集<sup>[10]</sup>. 虽然都是负斜率倾斜, 但是东西两侧曲线排列方式明显不同, 西侧 ( $b_1$ ) 曲线分布范围较大, 而东侧 ( $b_2$ ) 曲线近似平行, 且较集中. 这一信息示踪着地幔柱的时空活动性. 在晚石炭世至早二叠世, 在霞若—拖顶等地区拉张裂开的初期, 其拉斑玄武质岩浆来自均一的富集地幔, 玄武岩蜘蛛图呈密集型平行排列 ( $b_2$ ). 当裂谷作用继续发展, 大陆地壳伸展并减薄, 致使部分熔融产生的玄武质岩浆构成“洋壳”, 这些岩浆来自不均一的富集地幔源, 故在早—中三叠世, 金沙江带西侧形成的中—基性火山岩在 Nb 标准化比值蜘蛛图上 ( $b_1$ ) 呈发散状的放射线. 根据以上事实推测, 从晚石炭世—早二叠世至早、中三叠世, 霞若—拖顶地区随着幔柱活动相对往西移动, 金沙江“有限洋盆”向西往昌都—思茅地块俯冲. 本文提供了地球化学信息的佐证.

#### 5 讨论与结论

从金沙江结合带霞若—拖顶地区的中—基性火山岩常量元素、微量元素、稀土元素对构造环境及火山岩源区的多元地球化学示踪的结果可以看出: (1) 形成于晚石炭世—早二叠世金沙江蛇绿混杂岩带东侧的基性火山岩构造环境为大陆裂谷环境, 它们最明显的特征是 K, Rb, Ba, Th, Ta, Nb 等强不相容元素的明显富集及轻稀土元素 (LREE) 的较强富集. (2) 在金沙江蛇绿混杂岩带西侧, 形成于早、中三叠

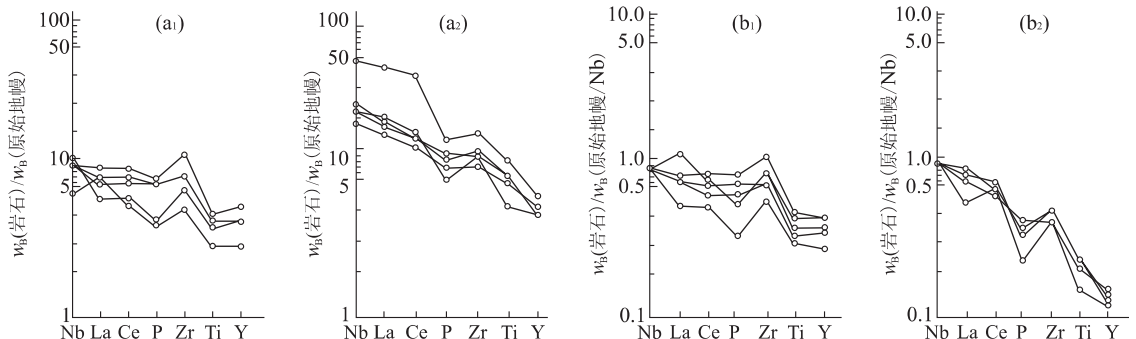


图 6 金沙江结合带霞若—拖顶地区中—基性火山岩微量元素比值蜘蛛图

Fig. 6 Trace element ratios and niobium normalized spider diagrams for two kinds of intermediate-basic volcanic rocks in Xiaruo-Tuoding areas of Jinsha River combination zone

a. 比值蜘蛛图;  $a_1$ . 西侧中—基性火山岩;  $a_2$ . 东侧基性火山岩. b. Nb 标准化比值蜘蛛图 ( $b_1, b_2$  同  $a_1, a_2$ )

世的崔以比组中—基性火山岩呈现岛弧火山岩构造环境特征,最突出的是 Sr, K, Rb, Th 等元素的较强富集,而从 Ta 到 Yb 所有元素为低丰度,及低稀土元素总量( $\Sigma$ REE)和低  $w(\text{La})/w(\text{Yb})$  比值。(3)从两侧火山岩微量元素 Nb 标准化蜘蛛图上显示,两侧火山岩源区都来自富集地幔,早期裂谷期间的东侧火山岩熔浆来自均一的富集地幔(后裂谷夭折),而经历了从早期裂谷到“有限洋盆”过程中的西侧中—基性火山岩熔岩则源自不均一的富集地幔。(4)从两侧中—基性火山岩的多元地球化学示踪所获得的启示,结合区域构造演化特征推测,扬子陆块陆内裂谷(霞若—拖顶地区是某裂谷的一段)及其和西缘的张裂作用是同时发育的,只是两者发展演化的结果不同而已。前者在大量基性熔浆喷溢后不久,裂谷就夭折封闭了;而后者张裂作用继续发展,最后在早、中三叠世扩展成金沙江“有限洋盆”(具岛弧性质),在金沙江“有限洋盆”向西往昌都—思茅地块俯冲时,形成了大量岛弧型基性—中性—酸性火山熔浆的喷溢,以及中酸性火山岛弧型岩浆岩的侵入(已另文发表),直到最后昌都—思茅地块与中咱地块碰撞而告终。(5)需要指出的是两者都是在扬子陆块岩石圈地球化学背景上演化的,故其火山岩及源区的岩浆特征有不少相似之处,如火山岩及熔浆源区均为富 Th 元素为特征的富集地幔等等。这与张晓猛等<sup>[5]</sup>从古生物地理学侧面的研究成果相吻合;金沙江蛇绿混杂岩带两侧皆属华夏生物地理区。

由于篇幅所限,有关金沙江蛇绿混杂岩带的多

元地球化学示踪将另文发表。

#### 参考文献:

- [1] 莫宣学,沈上越,朱勤文,等.三江中南段火山岩—蛇绿岩与成矿[M].北京:地质出版社,1998. 86~107.
- [2] 莫宣学,路凤香,沈上越,等.三江特提斯火山作用与成矿[M].北京:地质出版社,1993.
- [3] 张旗,周德进,赵大升,等.滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回:岩浆活动记录和深部过程讨论[J].岩石学报,1996, 12(1): 17~28.
- [4] 从柏林,吴根耀,张旗,等.中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化[J].中国科学(B辑),1993, 23(11): 1201~1207.
- [5] 张晓猛,张保民,聂译同,等.滇西北金沙江带蛇绿岩、蛇绿混杂岩形成环境及时代[J].地质论评,1997, 43(2): 113~120.
- [6] 云南省地质矿产局.云南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1990. 392~398.
- [7] 邱家骧主编.岩浆岩岩石学[M].北京:地质出版社,1985. 213~214.
- [8] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries [A]. In: Thorpe R S, ed. Andesites [C]. New York: John Willey and Sons, 1982. 525~548.
- [9] 亨德森 P. 稀土元素地球化学[M]. 田丰,施焱,王希梁,等译.北京:地质出版社,1989. 138~158.
- [10] Myers R E, Breitkopf J H. Basalt geochemistry and tectonic settings: a new approach to relate tectonic and magmatic processes [J]. Lithos, 1989, 23: 53~62.

## MULTIPLE GEOCHEMICAL TRACES OF TWO TYPES OF INTERMEDIATE-BASIC VOLCANIC ROCKS IN XIARUO-TUODING AREAS, JINSHA RIVER COMBINATION ZONE, NORTHWEST OF YUNNAN PROVINCE, CHINA

Ma Zhendong Ge Mengchun Feng Qinglai Xie Defan Chen Yingjun

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** When using major and trace elements as a tool to trace tectonic settings, origins and magma sources of volcanic rocks, we must firstly reconstruct the elements on the bases of macro-regional geology and geochemical investigations, and of various kinds of rock-type assemblages in different geological bodies that occurred at that time. This reconstruction serves as the basis for the identification of the macro-tectonic settings. Secondly, we should adopt the research method characterized by the combination

of the multiple geochemical information tracing with the temporal-spatial matching of various kinds of rock types, due to the temporal-spatial complexity of the tectonic settings. Thirdly, we should fully understand the application premises, ranges and conditions, so as to identify correctly the corresponding illustrations. On the basis of the three points mentioned above, this paper focuses on the multiple geochemical tracing of the two types of intermediate-basic volcanic rocks in Xiaruo-Tuoding areas in the Jinsha River combination zone, Northwest of Yunnan Province, China. This research has already brought us the following three relatively excellent effects: (1) The basic volcanic rocks located on the eastern side of the Jinsha River ophiolitic mélangé zone occurred in the continental-rift setting. However, the intermediate-basic volcanic rocks are characterized by the island-arc volcanic rocks on the western side of Jinsha River ophiolitic mélangé zone. (2) The volcanic lava of the two types of volcanic rocks both originated from the lava-enriched earth mantle. Specifically, the volcanic rock on the eastern side originated from the homogeneous lava-enriched earth mantle, while those on the western side originated from the heterogeneous lava-enriched earth mantle. (3) Finally, the structural evolutionary characteristics of these volcanic rocks are discussed.

**Key words:** intermediate-basic volcanic rocks; multiple geochemical trace; Xiaruo-Tuoding area; Jinsha River combination zone.

\*\*\*\*\*

## 《地球科学——中国地质大学学报》 2001 年 第 26 卷 第 2 期 要目预告

研究矿床时间谱系的 GIS 途径 .....	池顺都	赵鹏大	刘粤湘
热水沉积过程混沌序列弱信号的提取 .....			金友渔
水力压裂角砾岩:一种重要的地质异常和找矿标志.....	李建威	李紫金	傅昭仁
柿竹园多金属矿床的分形时空结构——以矽卡岩矿物中 Sn 等成矿元素分布特征为例 .....			陆琦 刘惠芳
矿产勘查风险投资机制新探 .....	田入金	范永香	杨昌明
初论基于数字地球技术系统的巨型矿床统计评价 .....	王世称		陈永良
航空物探在土地资源综合评价中的应用研究 .....			王卫平
中国岩金矿床品位—吨位模型研究 .....	魏民	赵鹏大	刘红光等
面向野外地质填图的空间实体对象表达 .....	袁艳斌	吴冲龙	李伟忠
土地资源质量及可持续利用宏观评价指标与 TLEL 模式 .....	朱照宇	邓清禄	匡耀求等
开发利用 MapInfo 综合分析多源地学信息进行矿产预测 .....	黄旭钊	徐昆	梁月明
资源勘查信息系统中参数化图形设计方法的应用框架研究 .....	刘刚	韩志军	罗映娟等
浙江省诸暨地区元素地球化学分布与标度律 .....			施俊法