

# 青藏高原双湖地区二叠系玄武岩地球化学及其大地构造意义

赖绍聪, 秦江锋

西北大学 大陆动力学国家重点实验室; 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069

Lai Shaocong, Qin Jiangfeng

State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

**Lai Shaocong, Qin Jiangfeng. Geochemistry and Tectonic significance of the Permian basalt in Shuanghu Area, Tibetan Plateau. Earth Science Frontiers, 2009, 16(2): 070-078**

**Abstract:** This paper reports the petrological and geochemical characteristics of Permian alkaline and tholeiitic basalts in the Shuanghu Area, central Qiangtang Block. The alkaline basalts are enriched in LILE and LREE, compared with MORB; they have similar La/Nb ratios and higher Ti/V ratios; in the trace element tectonic setting discrimination diagrams, all the alkaline samples are plotted in the field of OIB. The tholeiitic samples have flat REE pattern that is similar to MORB; they have higher Ti/V ratios than those of the MORB; in the trace element tectonic setting discrimination diagrams, all the tholeiitic samples are plotted in the overlapping field between OIB and MORB; these features suggest that the tholeiitic basalt was derived from a relatively enriched mantle source. When coupled with the regional tectonic setting, it is considered that the Permian alkaline-tholeiitic basalts association in the Shuanghu Area was formed in the rift valley setting, and their occurrence may indicate a process from rift valley to juvenile oceanic crust along the Longmucuo-Shuanghu tectonic zone.

**Key words:** Qiangtang Block; Longmucuo-Shuanghu Suture; geochemistry; rift valley

**摘要:**对青藏高原羌塘地块中部双湖地区发育的二叠系碱性系列和拉斑系列玄武岩进行了详细的地球化学研究。碱性系列玄武岩富集 LILE 和 LREE, 其 La/Nb 比值和 OIB 相近, Ti/V 比值明显高于典型 MORB, 在微量元素构造环境判别图解上位于 OIB 区域。拉斑系列玄武岩具有相对平坦的稀土元素配分模式, 和典型 MORB 相比, 其 Ti/V 比值也明显偏高, 在微量元素构造环境判别图解上位于 MORB 和 OIB 重合的区域, 表明岩石起源于一个低度富集的地幔源区。结合区域地质背景, 认为双湖二叠系拉斑系列-碱性系列玄武岩组合可能形成于陆间裂谷到小洋盆环境, 这套玄武岩的产出可能代表古特提斯洋沿龙木错—双湖构造带在不同地区的发育程度不同, 双湖地区在二叠纪应为一个陆间裂谷到小洋盆环境。

**关键词:**羌塘地块; 龙木错—双湖缝合带; 地球化学; 裂谷

**中图分类号:**P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2009)02-0070-09

青藏高原特提斯演化与冈瓦纳大陆和欧亚大陆 随着近年来对青藏高原地质研究程度的逐渐提高, 的界线研究是国内外地质学家关注的焦点问题<sup>[1]</sup>。李才等<sup>[1-4]</sup>根据龙木错—双湖—吉塘一带发育的放

收稿日期: 2008-10-30; 修回日期: 2009-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572050、40272042); 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划项目(教人司[2002]383号)

作者简介: 赖绍聪(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 岩石学及地球化学专业。E-mail: shaocong@nwu.edu.cn

射虫硅质岩、蛇绿岩及羌塘地块南北不同的古生代沉积特征, 提出龙木错—双湖—吉塘构造带代表一条古缝合带, 这条缝合带可作为冈瓦纳大陆与欧亚大陆的边界。目前, 关于龙木错—双湖—吉塘构造带能否作为一条板块缝合带还存在争议<sup>[1-5]</sup>。邓万明等<sup>[6]</sup>提出羌塘双湖茶布地区的基性、超基性岩和火山岩不构成蛇绿岩组合, 火山岩的地球化学属性与 MORB 有本质的差别。火山活动发生在以陆壳为基底的初始拉张的板内裂隙槽环境。因此龙木错—双湖—吉塘构造带中发育的古生代火成岩的深入研究对于约束这条构造带的性质, 进一步探讨青藏高原古生代构造演化具有重要意义。

本文选取羌塘中部双湖地区东段阿木岗日二叠系玄武岩为主要研究对象(图 1), 详细的岩石学和地球化学研究表明, 该地区二叠系碱性系列玄武岩表现出陆间裂谷玄武岩的地球化学特征, 亚碱性玄武岩表现出初始洋壳的特征, 这套玄武岩的产出表明龙木错—双湖—吉塘缝合带在二叠纪期间并不具有大洋盆的环境, 而主要显示为陆间裂谷-初始洋盆的构造环境。

## 1 野外地质和岩石学特征

龙木错—双湖—吉塘一带的二叠纪蛇绿岩主要出露地点有羌塘中部的红脊山、角木日、雪水河、玛

依岗、日南坡和北坡, 角木茶卡东、纳若、恰格勒拉和双湖以东的才多茶卡等地也有出露, 断续延伸超过 450 km。蛇绿岩组合中主要岩石类型有辉石橄榄岩、橄榄辉石岩、辉长辉绿岩、橄榄辉长辉绿岩、块状玄武岩、枕状玄武岩和放射虫硅质岩。

研究区位于羌塘中央隆起的东部地区, 龙木错—双湖板块缝合带以南, 该地区奥陶系—泥盆系可与聂拉木和申扎地区对比, 均具有稳定的台型沉积特征<sup>[3]</sup>; 石炭纪沉积的碎屑岩中夹有的基性火山岩具有大陆裂谷型火山岩的特点<sup>[3,5]</sup>; 二叠系发育玄武岩和复理石沉积<sup>[3]</sup>; 中、下三叠统不发育, 上三叠统以碳酸盐岩沉积为主。双湖玄武岩多与基性、超基性岩共生, 与二叠纪灰岩、粉砂岩和板岩以逆断层接触, 可见基性岩墙穿切玄武岩的现象。玄武岩之上为硅质岩和玄武质凝灰岩、凝灰质角砾岩、玄武质角砾岩等火山碎屑岩, 以及浊积岩; 火山碎屑岩中见筵类化石, 时代为中二叠世<sup>[3]</sup>。火山岩向西南方向延伸与侏罗系火山岩以断层接触, 单层厚度从几十米到数百米不等; 东部与上石炭统木实热不卡群以断层接触。

本项研究主要沿阿木岗日附近(N33°14'25.5", E88°42'02.6")的剖面采样(图 1)。基性火山岩主要为玄武岩, 倾向 SWW(260~265°), 倾角(40~45°), 呈层状或夹层状赋存于二叠系地层中, 岩石呈灰黑、绿黑色, 具斑状结构、块状构造, 并可见气孔-杏仁构

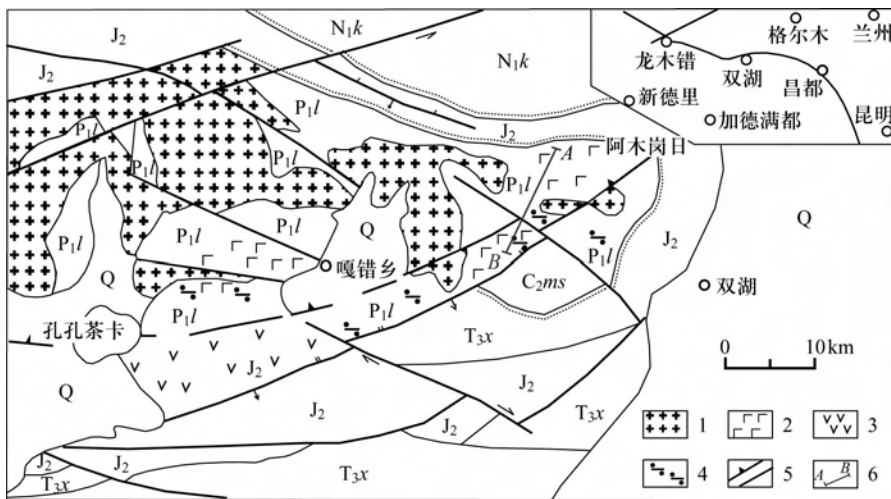


图 1 西藏双湖地区地质简图  
(据李才等<sup>[6]</sup>)

Fig. 1 Geological sketch map of the Shuanghu Area, Tibet

Q—第四系; N<sub>1k</sub>—新近系康托组; J<sub>2</sub>—中侏罗统; T<sub>3x</sub>—上三叠统肖茶卡组; P<sub>1l</sub>—下二叠统鲁谷组; C<sub>2ms</sub>—上石炭统木实热不卡群; 1—花岗岩; 2—玄武岩、蚀变玄武岩; 3—安山岩; 4—龙木错—双湖缝合带位置; 5—断裂; 6—取样位置及剖面编号

造, 基质为隐晶质结构, 斑晶矿物为板状斜长石和短柱状辉石。岩石有轻微的蚀变现象, 但并不显著, 主要表现为暗色矿物的绿泥石化、斜长石斑晶的钠黝帘石化等。

## 2 地球化学特征

### 2.1 火山岩系列与组合

根据本区火山岩化学成分分析结果, 利用  $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  图解(图 2a)可以看出, 本区玄武岩类可以明显地区分为两组, 一组位于碱性系列区内, 另一组位于亚碱性区内。Nb、Y、Zr、Ti 均为不活泼痕量元素, 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 值的区间范围十分稳定, 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  $\text{SiO}_2$  含量变化的影响。因此, Zr/TiO<sub>2</sub>-Nb/Y 图解可以有效地区分变质/蚀变火山岩的系列。从图 2b 中可以看到, 我们获得的 12 个玄武岩样品以及产于角木日地区的 13 个二叠纪玄武岩样品(引自翟庆国等<sup>[7]</sup>)可以区分为碱性玄武岩和亚碱性拉斑玄武岩两个不同的火山岩系列, 这与  $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  图解所获得的结论是基本一致的。

### 2.2 岩石地球化学

本区碱性系列玄武岩的  $\text{SiO}_2$  含量较高, 在 44.57%~53.69% 变化, 其  $\text{TiO}_2$  具有很高的含量(2.35%~3.7%), 明显高于典型的岛弧火山岩类, 而与板内火山岩通常具有高 Ti 含量的特征相吻合。岩石  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  (9.44%~17.17%) 和  $w(\text{MgO})$  (4.4%~10.6%) 含量变化较大, 其  $\text{Mg}^\#$  值在 42.2~62.6。岩石  $w(\text{K}_2\text{O})$  (0.18%~2.46%) 平均为 1.71%, 总体具有高 Ti、高 K 的常量元素地球化学特征(表 1)。

本区亚碱性拉斑系列玄武岩的  $w(\text{SiO}_2)$  (42.51%~51.52%) 和  $w(\text{TiO}_2)$  (1.37%~2.25%) 均明显低于本区碱性玄武岩类。岩石  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  (14.81%~15.45%) 和  $w(\text{MgO})$  (8.00%~8.3%) 稳定,  $\text{Mg}^\#$  值(58.4~64.6)明显高于本区碱性玄武岩类, 而其  $w(\text{K}_2\text{O})$  (0.28%~0.89%) 则明显低于本区碱性玄武岩类。

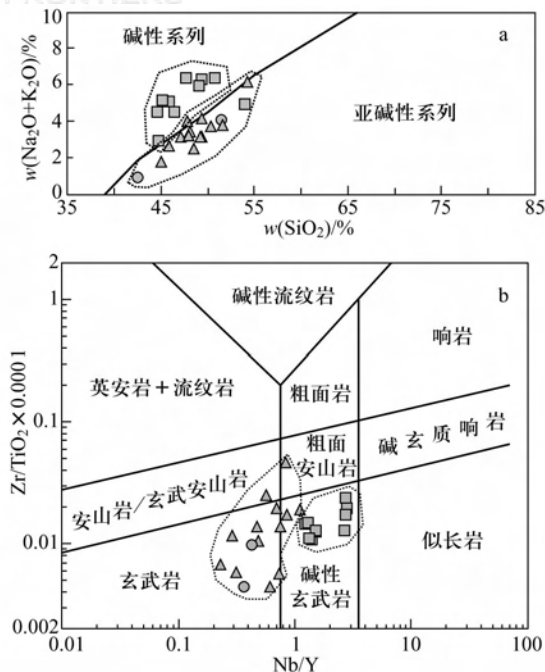


图 2 双湖二叠纪玄武岩  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  a 和  $\text{Nb}/\text{Y} - \text{Zr}/\text{TiO}_2$  b 图解<sup>[8]</sup>

Fig. 2  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  a and  $\text{Nb}/\text{Y} - \text{Zr}/\text{TiO}_2$  b diagrams for the Permian basalt from Shuanghu Area<sup>[8]</sup>  
 ■本区碱性系列玄武岩; ●本区拉斑系列玄武岩; ▲角木日拉斑玄武岩

### 2.3 稀土和微量元素地球化学

本区碱性系列玄武岩稀土元素总量较高,  $\sum\text{REE} = (247 \sim 580) \times 10^{-6}$ , 轻重稀土分异显著,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 10.6 \sim 25.8$ ,  $(\text{Ce}/\text{Yb})_N = 9.2 \sim 23.2$ ,  $(\text{La}/\text{Sm})_N = 2.3 \sim 3.3$ , 岩石的 Eu 异常不显著,  $\text{Eu}^*/\text{Eu} = 0.84 \sim 0.98$ 。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(图 3a, 3b)显示为右倾负斜率轻稀土强烈富集型, 与裂谷型或洋岛型玄武岩的配分型式类似。在 N-MORB 标准化微量元素蛛网图上(图 3e, 3f), 碱性系列玄武岩总体表现出富集大离子亲石元素的地球化学特征。

和碱性系列玄武岩相比, 本区两个拉斑系列玄武岩稀土元素总量明显偏低,  $\sum\text{REE} = (59 \sim 199) \times 10^{-6}$ , 岩石的  $(\text{La}/\text{Sm})_N = 1.1 \sim 2.1$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 1.5 \sim 4.3$ ,  $(\text{Ce}/\text{Yb})_N = 1.6 \sim 3.8$ , 轻重稀土分异不明显, 轻稀土富集度低。岩石的  $\text{Eu}^*/\text{Eu} = 0.85 \sim 0.91$ , 表明 Eu 异常不显著。在球粒陨石标准化稀土元素配分图中(图 3c), 表现出相对平坦的稀土元素分配模式, 曲线总体呈平坦型或轻微右倾型配分

型式,与洋中脊玄武岩的配分型式有较大的类似之处。在 N-MORB 标准化微量元素蛛网图上(图 3g),本区拉斑系列玄武岩也同样表现出相对平坦的

分配型式,岩石/N-MORB 比值大多在 1~10,这些地球化学特征类似于双湖西部角木日二叠纪拉斑玄武岩的地球化学特征(图 3d,3h)<sup>[7]</sup>。

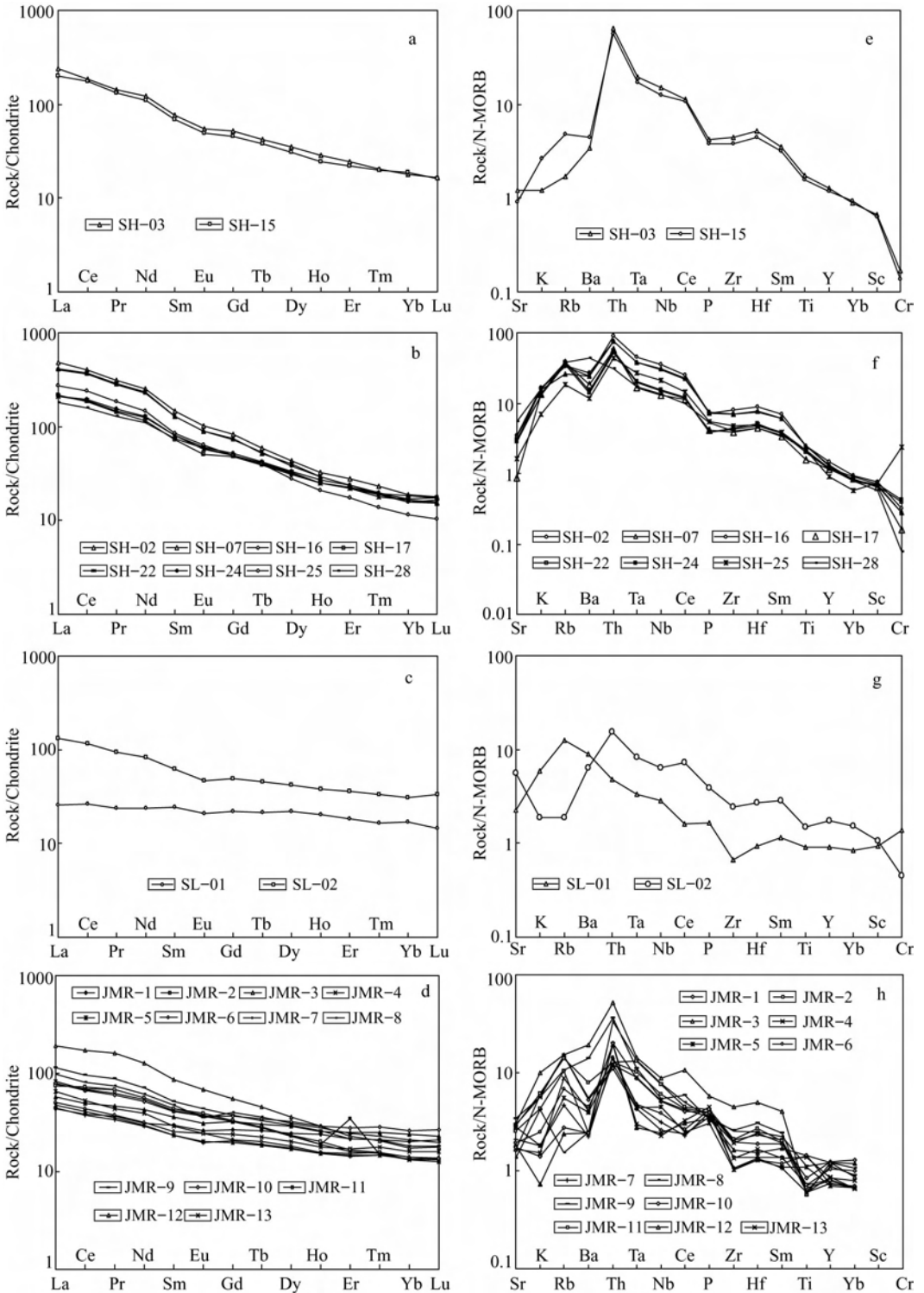


图 3 双湖二叠纪玄武岩球粒陨石标准化稀土元素图解和 N-MORB 标准化微量元素蛛网图 (球粒陨石和 N-MORB 标准化值据文献[9])

Fig. 3 Chondrite-normalized REE pattern and N-MORB normalized trace element spider diagrams for the Permian basalt from Shuanghu Area



表 1 青藏高原双湖地区二叠纪玄武岩主量及微量元素分析结果

Table 1 Major and trace element analyses of the basalts from Shuanghu Area, Tibetan Plateau

编号	$w_B/\%$													Mg <sup>#</sup>			
	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>	LOI	Total				
SH-03	46.42	2.6	17.17	6.1	4.9	0.2	6.8	4.8	4.32	0.18	0.5	5.38	99.37	57.85			
SH-15	47.74	2.35	16.96	5.7	3.7	0.13	5.3	4.3	6	0.4	0.46	6.58	99.62	55.73			
SH-02	45.92	3.7	12.16	7.28	6.02	0.13	6	8.3	2.62	2.46	0.86	3.9	99.35	50.02			
SH-07	44.57	3.68	12.52	7.7	5.1	0.17	5.9	10.5	2.21	2.33	0.87	3.82	99.37	50.70			
SH-16	45.22	3.7	9.88	7.72	5.38	0.17	5.4	10.2	2.74	2.41	0.9	3.51	99.33	47.88			
SH-17	53.96	2.35	15.45	5	3.6	0.1	5	4.4	3.01	1.98	0.5	3.91	99.26	56.42			
SH-22	49.4	3	15.02	5.8	5.1	0.1	5.6	4.6	4.38	1.92	0.46	3.94	99.32	53.23			
SH-24	50.75	3.05	13.95	5.7	4.7	0.1	5.6	4.9	4.43	1.93	0.47	3.68	99.26	54.44			
SH-25	44.82	3.25	9.44	5.92	6.28	0.16	10.6	9.3	1.9	1.05	0.66	5.92	99.3	65.70			
SH-28	49.09	3.25	12.45	5.65	6.05	0.12	4.4	7.2	3.59	2.4	0.63	4.5	99.33	45.32			
SL-01	51.52	1.37	15.45	4.9	3.8	0.17	8.3	8.6	3.22	0.89	0.2	1.2	99.62	67.95			
SL-02	42.51	2.25	14.81	6.45	4.25	0.16	8	16.3	0.69	0.28	0.47	3.39	99.56	62.53			
JMR-1	49.36	1.06	14.3	1.71	8.75	0.26	6.41	8.17	3.29	0.88	0.43	4.5	99.77	56.64			
JMR-2	49.28	1.07	13.51	2.99	6.7	0.21	8.29	9.49	2.5	0.64	0.47	4	99.85	64.93			
JMR-3	48.53	2.17	17.58	0.26	10.98	0.37	4.82	8.99	2.44	0.11	0.41	3.11	99.77	47.41			
JMR-4	47.8	2.07	21.7	0.18	6.24	0.17	5.38	7.77	3.78	0.23	0.54	4.05	99.91	63.80			
JMR-5	47.09	1.63	17.58	0.57	6.76	0.25	7.62	10.88	2.93	0.27	0.37	3.35	99.75	68.72			
JMR-6	44.98	2.13	19.5	2	5.69	0.25	2.68	13.72	1.46	0.37	0.51	5.51	99.7	42.87			
JMR-7	45.87	0.9	13.51	2.93	6.5	0.23	9.39	13.46	2.42	0.27	0.47	1.91	99.56	68.31			
JMR-8	47.94	1.67	17.75	5.89	7.7	0.14	5.35	3.46	2.62	0.62	0.43	5.91	99.48	46.32			
JMR-9	51.58	0.93	15.89	4.09	7.3	0.18	7.33	8.61	2.94	0.84	0.4	2.3	99.89	58.33			
JMR-10	48.1	1.27	15.1	2.85	7.95	0.29	5.14	9.16	3.24	0.21	0.47	2.1	96.78	50.62			
JMR-11	50.28	1	13.89	3.76	5.95	0.27	6.15	11.49	2.8	0.92	0.5	1.3	99.41	58.01			
JMR-12	54.25	0.87	14.24	3	6.65	0.14	3.34	5.92	4.66	1.49	0.7	4.67	99.93	42.83			
JMR-13	49.37	0.9	14.3	4.47	6.4	0.19	6.49	10.6	2.36	0.84	0.43	1.75	99.4	56.63			
编号	$w_B/10^{-6}$																
	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U	La	Ce
SH-03	69.4	53.1	78.1	52.3	409	39.4	627	107	24.6	491	18.2	6.82	10.5	15.4	3.64	99.1	227
SH-15	33.8	36.3	16.2	9.47	110	35.5	342	44.1	2.9	87.7	10.7	3.12	8.9	11.4	1.41	47.3	106
SH-02	79.6	54.6	105	65.2	412	44.6	725	125	9.74	486	21.2	8.04	11.2	18.3	5.15	114	250
SH-07	42.3	42.6	31.7	3.37	146	37.9	397	52.3	1.66	68.7	12.4	3.54	13.1	12.8	1.24	56.2	114
SH-16	70.4	56.1	70.9	69.2	356	38.6	632	106	25.7	542	17.8	6.78	10.8	14.9	3.48	95.2	221
SH-17	40.3	36.4	10.4	75.3	106	34.8	349	45.1	5.84	371	10.5	3.01	8.2	11.5	2.8	51.7	114
SH-22	96.9	45.7	45.2	69.8	337	34.3	380	52.3	42.8	279	11.6	3.54	9.89	10.3	8.71	49.4	115
SH-24	105	50.2	43.3	76.6	359	35.4	392	53.5	40.9	293	12.1	3.61	8.29	11	9.43	49.8	120
SH-25	597	71.4	304	36.6	195	27.1	421	72.7	7.55	231	11.9	4.87	8.39	8.77	2.02	64.6	146
SH-28	19.1	45.4	59.3	76.3	654	35.6	359	46.8	4.8	885	10.7	3.05	3.25	6.19	1.77	42.2	97.9
SL-01	348	43.4	115	25	269	27.1	60.3	9.92	3.14	178	2.26	0.59	9.04	0.97	0.61	6.12	16.2
SL-02	112	38.2	29.3	3.71	671	52.1	222	22.4	2.48	127	6.52	1.49	2.45	3.08	0.76	31.3	71.7
JMR-1	/	/	/	29.8	194	31.29	124	9.11	/	106	3.3	0.78	/	2.2	0.44	10.33	23.6
JMR-2	/	/	/	20.7	306	24.39	186	20.9	/	48.8	5.6	1.83	/	2.59	0.75	18.55	42.93
JMR-3	/	/	/	4.8	223	36.49	147	8.43	/	48.4	3.7	0.5	/	3.82	0.78	13.69	30.66
JMR-4	/	/	/	17.7	198	25.4	122	7.94	/	81.9	4	0.54	/	3.9	0.74	15.54	32.49
JMR-5	/	/	/	11	335	21.17	92.4	15.6	/	79.7	3.1	0.79	/	2.46	0.54	11.18	24.78
JMR-6	/	/	/	13.8	233	22.07	95.2	13.6	/	90	3.1	0.86	/	2.89	0.52	12.02	26.6
JMR-7	/	/	/	9.3	252	22.41	95.9	11	/	44.4	3.2	0.84	/	2.78	0.57	10.67	22.74
JMR-8	/	/	/	3.02	161	36.14	229	27	/	49.5	5.9	2.4	/	6.65	1.12	23.32	49.95
JMR-9	/	/	/	21.3	406	33.31	234	19.1	/	281	7.4	2	/	7.3	1.9	27.33	59.01
JMR-10	/	/	/	5.5	208	37.19	176	17.7	/	48.2	4.5	1.57	/	4.02	0.81	18.88	40.68
JMR-11	/	/	/	28.3	343	23.81	190	26.7	/	159	6.5	2.35	/	2.57	0.74	17.53	44.82
JMR-12	/	/	/	30.4	358	36.58	403	30.7	/	386	11.9	2.56	/	10.5	2.01	45.36	106.3
JMR-13	/	/	/	29.9	349	26.1	175	18.2	/	111	5.8	1.62	/	2.42	0.63	19.48	41.75

编号	$w_B/10^{-6}$												
	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma$ REE
SH-03	27.6	108	19.8	5.23	15.2	1.94	10.1	1.67	3.95	0.51	2.78	0.39	523.27
SH-15	12.6	51	10.5	2.85	9.33	1.4	7.73	1.39	3.67	0.51	3.19	0.41	257.88
SH-02	29.7	117	22.6	5.92	17.1	2.23	11	1.85	4.62	0.6	3.22	0.46	580.3
SH-07	13.7	56.4	11.6	3.2	10.6	1.57	9.01	1.59	4.01	0.52	3.02	0.42	285.84
SH-16	26.7	106	19.7	5.23	14.9	1.99	9.53	1.66	3.95	0.49	2.64	0.39	509.38
SH-17	13.7	54	11.2	2.89	9.83	1.44	7.84	1.44	3.73	0.49	2.9	0.44	275.6
SH-22	13.9	57.7	12.2	3.34	10	1.53	8.27	1.41	3.59	0.46	2.78	0.4	279.98
SH-24	14.8	60.2	12.4	3.51	10.7	1.58	8.48	1.53	3.9	0.5	3.09	0.44	290.93
SH-25	17.4	68.8	12.9	3.66	10.2	1.48	7	1.19	2.88	0.35	1.94	0.26	338.66
SH-28	12.2	51.9	11.5	3.46	10.2	1.51	8.01	1.42	3.64	0.48	2.65	0.42	247.49
SL-01	2.28	11.2	3.75	1.22	4.51	0.79	5.52	1.14	3.02	0.42	2.87	0.37	59.41
SL-02	8.96	38.4	9.43	2.71	10	1.71	10.6	2.14	5.9	0.85	5.18	0.85	199.73
JMR-1	3.48	14.41	4.54	1.5	5.48	0.97	6.26	1.34	3.54	0.54	3.43	0.53	79.95
JMR-2	6.55	26.63	6.72	2.18	6.63	1.05	5.77	1.06	5.69	0.38	2.23	0.32	126.69
JMR-3	4.44	19.95	5.54	1.8	6.64	1.13	7.43	1.44	4.16	0.64	4.05	0.58	102.15
JMR-4	4.11	18.16	4.47	1.41	4.95	0.84	5.13	1.01	2.81	0.45	2.7	0.4	94.47
JMR-5	3.33	13.96	3.6	1.16	4.03	0.69	4.34	0.87	2.41	0.37	2.28	0.33	73.33
JMR-6	3.53	14.84	3.92	1.42	4.3	0.76	4.59	0.89	2.54	0.4	2.39	0.35	78.55
JMR-7	3.21	13.68	3.55	1.15	4.19	0.7	4.43	0.87	2.39	0.37	2.27	0.35	70.57
JMR-8	7.1	28.56	7.31	2.06	8.15	1.34	7.84	1.58	4.01	0.59	3.61	0.5	145.92
JMR-9	8.42	33.32	7.94	2.52	7.67	1.24	7.52	1.48	3.57	0.54	3.05	0.46	164.07
JMR-10	5.72	24.06	6.26	2.14	7.51	1.29	8.12	1.66	4.62	0.72	4.39	0.67	126.72
JMR-11	6.48	26.14	6.69	2.25	6.81	1.06	5.94	1.14	2.75	0.4	2.24	0.34	124.59
JMR-12	15.21	58.93	13.38	3.93	11.31	1.71	9.12	1.64	3.77	0.53	2.92	0.45	274.56
JMR-13	5.92	25.35	6.39	2.14	6.65	1.04	5.89	1.08	2.66	0.39	2.23	0.32	121.29

注:JMR-1—JMR-13 为角木日二叠纪拉斑玄武岩的数据,引自翟庆国等[7];其余由本文提供。SiO<sub>2</sub>—P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 由中国科学院地球化学研究所湿法分析;Li—Lu 由中国科学院地球化学研究所采用 ICP-MS 法分析。

### 3 讨论

#### 3.1 碱性系列玄武岩的成因

与原始地幔起源的初始玄武质岩浆相比,双湖碱性系列玄武岩具有较低的 Mg<sup>#</sup> 值和 Cr、Ni、Co 等元素含量。岩石的 Nb 含量(44.1~125)×10<sup>-6</sup> 远高于典型岛弧岩石的 Nb 含量(<2×10<sup>-6</sup>),表明该套碱性玄武岩不可能是岛弧岩浆作用的产物。大部分样品的 La/Nb 比值较小(介于 0.86~1.14),与 OIB 的 La/Nb 比值接近(约为 1),而远小于典型陆壳岩石的 La/Nb 比值(>12),表明岩石没有受到明显的陆壳岩石的同化混染作用。岩石的 Ti/V 比值(36~83)远高于典型 MORB 的相应值(约 25),表明双湖碱性系列玄武岩起源于一个相对富集的地幔源区。碱性玄武岩 N-MORB 地幔标准化配分型式(图 3e,3f),则呈较典型的隆起型(驼峰式)分布型式,以 Ba、Th、Nb 和 Ta 的较强富集为特征,这一显著的地球化学特征与岛弧火山岩和洋脊玄武岩均有明显区别,总体显示为板内火山岩的地球化学特征。

在 Nb/Th-Nb 和 La/Nb-La 构造环境判别图(图 4a,4b)中,本区碱性玄武岩类均无一例外地落入 OIB 区内。在 Th/Yb-Ta/Yb 图解中(图 4c),所有样品投影点均处在 OIB 趋势线上。Nb/Zr/Y、Ti/Zr/Y 和 Hf/Th-Ta 不活动痕量元素判别图解可以有效地判别火山岩的形成环境,在相关图解中(图 4d,4e,4f),本区拉斑和碱性玄武岩类分别落入 WPT 和 WPA 区内,与其他痕量元素判别结果以及稀土元素的分析结果完全一致。

#### 3.2 拉斑系列玄武岩的成因

双湖拉斑系列玄武岩也具有较低的 Mg<sup>#</sup> 值和 Cr、Ni、Co 等元素含量。岩石具有平坦的稀土元素分配模式,与 E-MORB 相似。本区拉斑系列玄武岩的 Nb/La=0.71~1.62,小于 1.7, Hf/Th=2.11~2.32,远小于 10; Zr/Y=2.22~4.26; Th/Ta=1.64~2.1,而 La/Ta=10~21, Ti/V=35~45, Th/Yb(0.33~0.59), Ta/Yb(0.20~0.28)。上述微量元素比值特征表明,本区拉斑玄武岩 Ti/V、Th/Ta、Th/Yb、Ta/Yb 比值等与来自亏损的软流圈地幔的 MORB 有明显类似之处。在 Hf/Th-Ta, Nb/Th-

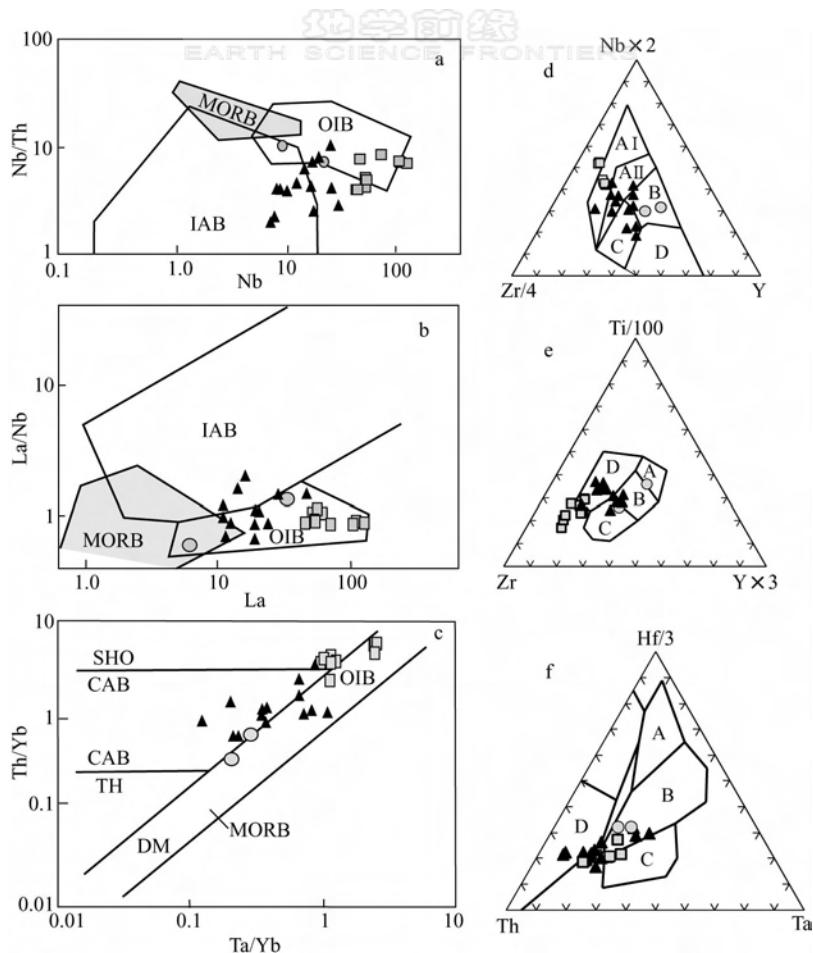


图4 双湖二叠纪玄武岩 Nb-Nb/Th(a)<sup>[10]</sup>、La-La/Nb(b)<sup>[10]</sup>、Ta/Yb-Th/Yb(c)<sup>[10]</sup>、Nb-Zr-Y(d)<sup>[11]</sup>、Ti-Zr-Y(e)<sup>[12]</sup>、Hf-Th-Ta(f)<sup>[13]</sup>图解

Fig. 4 Nb-Nb/Th(a), La-La/Nb(b), Ta/Yb-Th/Yb (c), Nb-Zr-Y(d), Ti-Zr-Y(e), Hf-Th-Ta (f) diagrams for the Permian basalt from Shuanghu Area

■本区碱性系列玄武岩; ●本区拉斑系列玄武岩; ▲角木日二叠纪拉斑玄武岩(据文献[7]); (d): AI, AII—板内碱性玄武岩; B—P型洋脊玄武岩; AII, C—板内拉斑玄武岩; D—N型洋脊玄武岩; C, D—弧火山岩; (e): A—洋岛拉斑玄武岩; B—岛弧拉斑、钙碱性玄武岩和 MORB; C—岛弧钙碱性玄武岩; D—板内玄武岩; (f): A—N-MORB; B—P-MORB; C—WPB; D—IAT

Nb, La/Nb-La 以及 Th/Yb-Ta/Yb 等环境判别图中(图 4a—f), 本区拉斑玄武岩和角木日二叠纪拉斑玄武岩表现出相似的地球化学特征, 明显落入 OIB 与 MORB 重合的区域, 表明岩石的源区与 OIB 和 MORB 均有一定的亲缘性(图 4a—f)。

### 3.3 大地构造意义

龙木错—双湖板块缝合带的厘定对于研究青藏高原古生代构造演化和古特提斯发育过程具有重要意义。近年来的大量证据支持龙木错—双湖板块缝合带的存在<sup>[1]</sup>。在羌塘中部的角木日、才玛尔错等地区发现了二叠纪蛇绿岩<sup>[7,14]</sup>。翟庆国等<sup>[14]</sup>对角木日二叠纪玄武岩的研究表明, 该套岩石包括碱性系列和拉斑系列, 具有洋岛和大洋中脊共有的特征,

可能形成于大洋中脊且距离洋岛不远的区域, 与三江地区准洋脊型玄武岩类似。说明羌塘地区早二叠世之前就可能存在洋岛型玄武岩, 即存在一定规模的洋盆。此外在羌塘中部许多地区发现含有放射虫的硅质岩: 才玛尔错以南发现三叠纪放射虫硅质岩<sup>[15-18]</sup>, 角木日和黑石山地区发现二叠纪放射虫硅质岩<sup>[3]</sup>。朱同兴等在双湖东才多茶卡以北的灰黑色硅质岩中, 获得大量晚泥盆世法门期的放射虫, 在同一条剖面上还获得了晚二叠世的放射虫化石<sup>[17]</sup>, 为确定羌塘古特提斯洋盆的形成和持续演化时间提供了重要信息。然而, 目前关于双湖地区是否存在古生代蛇绿岩以及其构造演化过程, 目前还没有很好的研究。

碱性系列玄武岩和拉斑玄武岩系列组合一般产生于陆间裂谷-初始洋盆或是洋岛环境。翟庆国等<sup>[14]</sup>通过对角木日地区二叠纪拉斑系列和碱性系列玄武岩组合的研究认为,该套岩石中拉斑系列岩石产出于洋中脊环境,而碱性系列玄武岩产出于洋岛环境。本文中的拉斑系列玄武岩不同于典型的MORB,其LREE稍显富集,代表有限洋盆环境,结合碱性系列玄武岩的产出,本文更倾向于认为双湖二叠纪拉斑系列-碱性系列组合更有可能形成于陆间裂谷-有限洋盆环境,这样表明古特提斯洋沿龙木错-双湖缝合带在不同地域上发育程度不同。

## References:

- [1] Li C. A review on 20 years' study of the Longmu Co-Shuanghu-Lancang River suture zone in Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau[J]. Geological Review, 2008, 54(1): 105-119 (in Chinese).
- [2] Li C. The Longmucuo-Shuanghu-Lancangjiang Plate suture and the north boundary of distribution of Gongwana Facies Permian-Carboniferous System in Northern Xizang, China [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1987, 17(2): 155-166(in Chinese).
- [3] Li C, Zhai Q G, Dong Y S, et al. Longmu Co-Shuanghu Plate suture in the Qinghai-Tibet Plateau and records of the evolution of the Paleo-Tethys Ocean in the Qiangtang Area, Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(1): 13-21(in Chinese).
- [4] Li C, Zhai Q G, Chen W. Geochronology evidence of the closure of Longmu Co-Shuanghu suture, Qinghai-Tibet Plateau: Ar-Ar and zircon SHRIMP geochronology from ophiolite and rhyolite in Guoganzhajian[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(5): 911-918(in Chinese).
- [5] Deng W M, Yin J X, Wo Z P. Study on basic-ultrabasic and volcanic rocks of Chabu-Shuanghu in Qiangtang[J]. Science in China: Series D, 1996, 26(4): 296-301(in Chinese).
- [6] Li C, Li Y T, Lin Y X, et al. Sm-Nd dating of the protolith of blueschist in the Shuanghu Area, Tibet[J]. Chinese Geology, 2002, 29(4): 355-359(in Chinese).
- [7] Zhai Q G, Li C, Cheng L R, et al. Geochemistry of Permian basalt in the Jiaomuri Area, central Qiangtang, Tibet, China, and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(12): 1419-1427(in Chinese).
- [8] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magmas series and their differentiation products using immobile elements[J]. Chem Geol, 1977, 20: 325-343.
- [9] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[M]//Saunders A D, Norry M. Magmatism in the Ocean Basin. London: Journal of Geological Society Special Publisher, 1989(42): 313-345.
- [10] Li S G. The Ba-Th-Nb-La diagrams for the discrimination of ophiolitic tectonic settings[J]. Acta Petrologica Sinica, 1993, 9(2): 146-157(in Chinese).
- [11] Meschede M A. Method of discriminating between different types of mid-ocean Basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram[J]. Chem Geol, 1986, 56: 207-218.
- [12] Pearce J A, Cann J R. Tectonic setting of basaltic volcanic rocks determined using trace element analysis[J]. Earth Planet Sci Lett, 1973, 19: 290-300.
- [13] Pearce J A. Trace element characteristics of lava from destructive plate boundaries[M]//Trorpe R S. Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. Chichester: Wiley, 1982: 525-554.
- [14] Zhai Q G, Li C, Cheng L R, et al. Geological features of Permian ophiolite in the Jiaomuri Area, Qiangtang, Tibet, and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(12): 22-24(in Chinese).
- [15] Li Y J, Wu H R, Li H S, et al. Discovery of radiolarians in the Amugang and Chasang Groups and Lugu Formation in Northern Tibet and some related geological problems[J]. Geology Review, 1997, 43(3): 250-256(in Chinese).
- [16] Li C, Zhai Q G, Dong Y S, et al. Discovery of eclogite and its significance from the Qiangtang Area, Central Tibet[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(9): 1095-1100.
- [17] Zhu T X, Zhang Q Y, Dong H, et al. Discovery of the Late Devonian and Late Permian radiolarian cherts in tectonic mélanges in the Cêdo Caka Area, Shuanghu, Northern Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(12): 1413-1418(in Chinese).
- [18] Coish R A, Bramley A, Gavigan T, et al. Progressive changes in volcanism during Iapetan rifting: Comparisons with the East African Rift-Red Sea system [J]. Geology, 1991, 19(10): 1021-1024.

## 参考文献:

- [1] 李才. 青藏高原龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带研究二十年[J]. 地质论评, 2008, 54(1): 105-119.
- [2] 李才. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 长春地质学院学报, 1987, 17(2): 155-166.
- [3] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原龙木错-双湖板块缝合带与羌塘古特提斯洋演化记录[J]. 地质通报, 2007, 26(1): 13-21.



- [4] 李才, 翟庆国, 陈文. 青藏高原龙木错—双湖板块缝合带闭合的沉积学证据——来自果干加年山蛇绿岩与流纹岩 Ar-Ar 和 SHRIMP 年龄制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 911-918.
- [5] 邓万明, 尹集祥, 吕中平. 羌塘茶布一双湖地区基性超基性岩、火山岩研究[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(4): 296-301.
- [6] 李才, 李永铁, 林源贤, 等. 西藏双湖地区蓝闪片岩原岩 Sm-Nd 同位素定年[J]. 中国地质, 2002, 29(4): 355-359.
- [7] 翟庆国, 李才, 程立人, 等. 西藏羌塘中部角木日地区二叠纪玄武岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2006, 25(12): 1419-1427.
- [10] 李曙光. 蛇绿岩生成的 Ba-Th-Nb-La 判别图[J]. 岩石学报, 1993, 9(2): 146-157.
- [14] 翟庆国, 李才, 程立人, 等. 西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩地质特征及构造意义[J]. 地质通报, 2004, 23(12): 22-24.
- [15] 李曰俊, 吴浩若, 李红生, 等. 藏北阿木岗群、查桑群和鲁谷组放射虫的发现及有关问题讨论[J]. 地质论评, 1997, 43(3): 250-256.
- [17] 朱同兴, 张启跃, 董瀚, 等. 藏北双湖才多茶卡地区构造混杂岩中新发现晚泥盆世和晚二叠世放射虫硅质岩[J]. 地质通报, 2006, 25(12): 1413-1418.

## 《地学前缘》对作者撰写稿件的几点要求

### 一、对文字部分的要求

- (1) 文中使用顺序编码制(不是著者年制), 要按文献先后出现的顺序引入文中, 标在右上角。
  - (2) 摘要不得空泛, 要写出文中的主要内容。
  - (3) 中文参考文献要译成英文, 中英文参考文献要分列。
  - (4) 交稿时文章通栏排, 经编辑加工后才变为双栏排, 以免打字员误排段落。
- 以上要求可参考我刊近期出版的《地学前缘》。

### 二、对图件的要求

作者可提供直接排版的成图(见下面 6 条要求), 也可请编辑部绘图员清绘。

- (1) 图中字体字号: 汉字用华文中宋或宋体(一般为 7.8 磅或 6 号), 西文及数字用 Times New Roman 体(7.8 磅或 6 号); 图中字体江河湖海左斜, 山脉右斜; 变量符号用斜体, 单位用正体。
- (2) 图件大小: 双栏排图不宽于 8 cm; 通栏排图不宽于 16.5 cm, 整版图请控制在 16.5 cm×22.5 cm 内; 务必先定图件大小, 然后再敲字。
- (3) 分辨率: 线条图和灰度图分辨率存为 400 dpi, 彩图分辨率最低为 300 dpi。
- (4) 彩图: 彩图颜色格式选择 CMYK 四色图颜色(彩图千万不要选择 RGB 三色图颜色格式)。
- (5) 软件要求: 图件建议使用 CorelDRAW(存为 \*.cdr 格式) 或 Illustrator(存为 \*.eps 格式) 软件制图, 但不允许把 \*.jpg 和 \*.tif 格式的图件直接插入上述两个软件中。如用其他软件绘图, 请转成 \*.tif 文件格式。
- (6) 图件需提交打印件两份, 每图必须提供单独的图文件, 但纸样必须和电子文档是同样内容的图件, 图中使用线段比例尺, 图中内容要与图注和正文叙述相符。