

阿尔金红柳沟蛇绿岩研究进展^{*}

吴 峻 李继亮 兰朝利 俞良军

(中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化开放研究实验室 北京 100029)

摘 要 实测了 2 条阿尔金地区红柳沟蛇绿混杂带的地质剖面。地球化学的研究发现混杂带中含有 2 种基性火山岩: MORB 型和 OIB 型, 其稀土配分型式分别为平坦型和轻稀土富集型, 结合同位素 ϵ_{Nd} 值, 推断混杂带中变基性火山岩来自于不同的岩浆源。变质橄榄岩稀土总量低, 具有亏损型和平坦型 2 种不同的稀土配分型式。这种 MORB 和 OIB 的组合代表了地幔柱物质与洋壳物质的混合作用。

关键词 红柳沟蛇绿岩 洋中脊玄武岩 洋岛玄武岩 阿尔金

1 区域地质概况

阿尔金断裂位于西藏、新疆、青海、甘肃 4 省区之间, 西起西藏拉竹龙, 东至甘肃金塔, 主体呈北东方向延伸, 全长约 1 600 km, 是亚洲大陆内部一条巨型左旋走滑断裂带, 明显地分隔了塔里木盆地和柴达木盆地, 它是青藏高原西北部的自然边界, 对我国西部的构造格局起着重要作用。蛇绿岩作为大陆造山带中残存的大洋岩石圈残片, 记录着地球壳-幔系统不同圈层及其相互作用、板块运动学与动力学的丰富信息。阿尔金蛇绿岩研究是探讨阿尔金地区乃至整个中国西部早期构造格局及其演化的关键, 长期受到高度重视(周勇等, 1998; 李锦轶等, 1999)。

阿尔金构造带由 2 个前寒武纪地块(阿北地块和米兰河-金雁山地块)和 2 条早古生代混杂岩带(红柳沟-拉配泉带和阿帕-茫崖带)构成(王焰等, 1999)。北部的红柳沟-拉配泉混杂岩带(图 1)呈近东西向分布在阿尔金北缘断裂, 向东延伸经安南坝、阿克塞至肃北一带变为北东向沿阿尔金主断裂展布(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993), 出露有几十个镁铁质-超镁铁质岩体, 保存有较好的堆晶岩块和辉绿岩块, 并发育有浅变质玄武岩、枕状熔岩、细碧岩、硅质岩、凝灰岩等。由于自然条件限制, 总体研究程度不高。已有的研究基本一致认同该套岩石具有蛇绿岩特征(何国琦等, 1994; 程裕淇, 1994; 赖绍聪等, 1996; 潘桂棠等, 1997; 郭召杰等, 1998, 1999; 刘良, 1999), 但在生成环境和生成时间上还存在争议。本文给出一些新的野外资料和地球化学分析数据, 为进一步探讨提供依据。

2 地质特征和岩相学

图 2 和图 3 分别为红柳沟南口—塔特勒克布拉克剖面和红柳沟北口—伊特鲁普剖

^{*} 国家“九五”科技攻关“305”项目(96-915-06-03)资助。

吴 峻, 女, 1973 年 9 月生, 博士研究生, 大地构造专业。

2000-01-02 收稿, 2001-01-19 改回(f)。

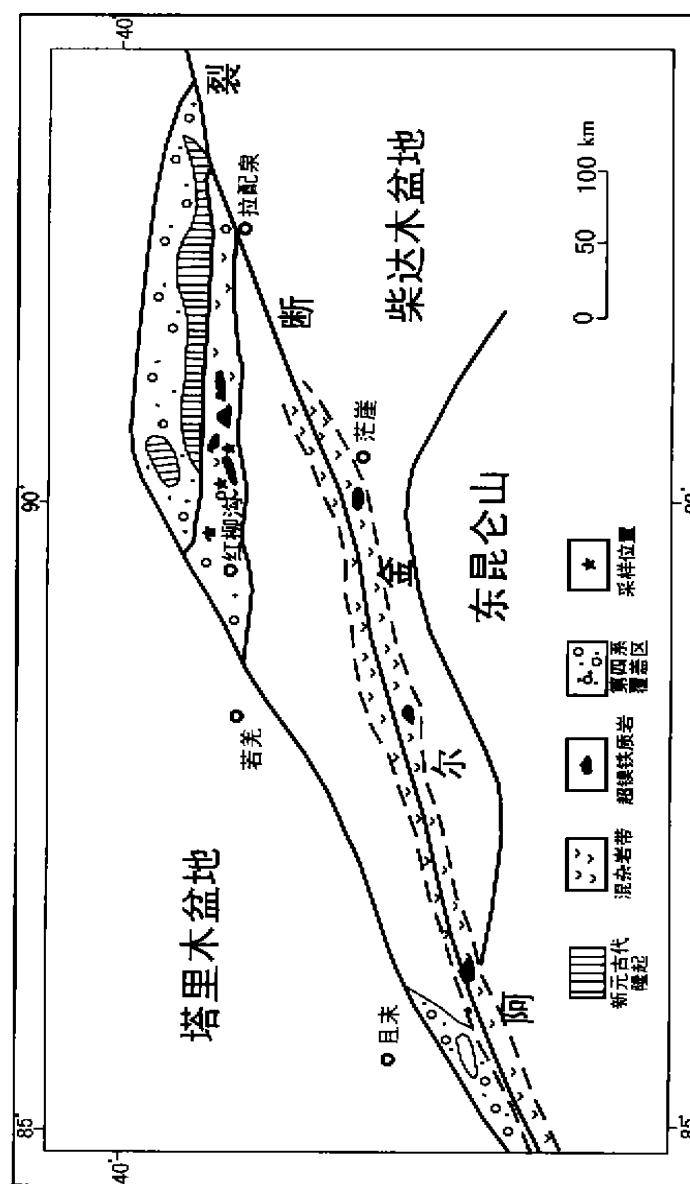


图 1 阿尔金红柳沟地区地质略图(转引自王焰等,1999)

Fig. 1 Sketch geological map of Honglingou area

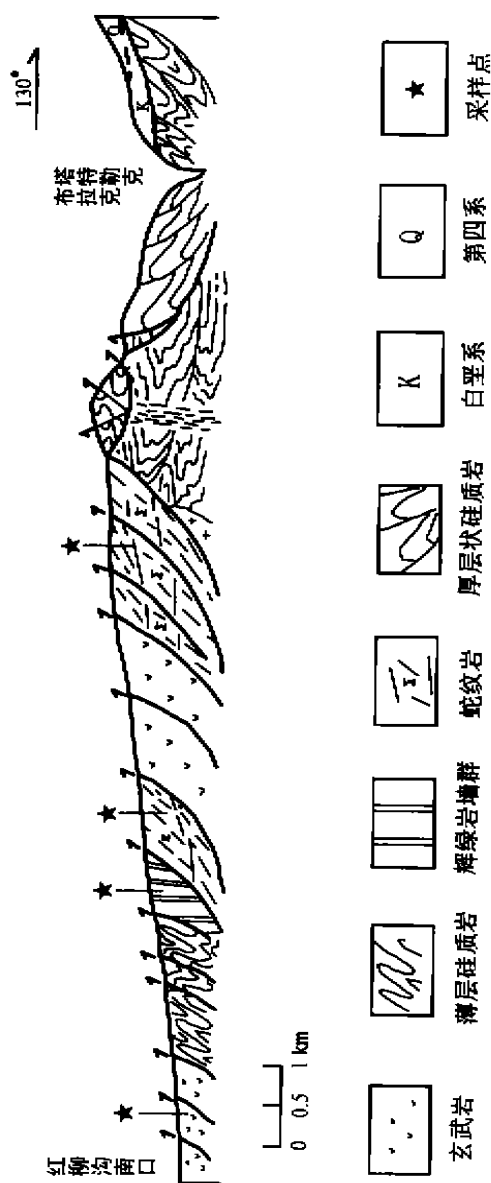


图 2 红柳沟南口至塔特勒克布拉克的地质构造剖面

Fig. 2 Geological structural section from Hongliugou south entrance to Tartekebulake

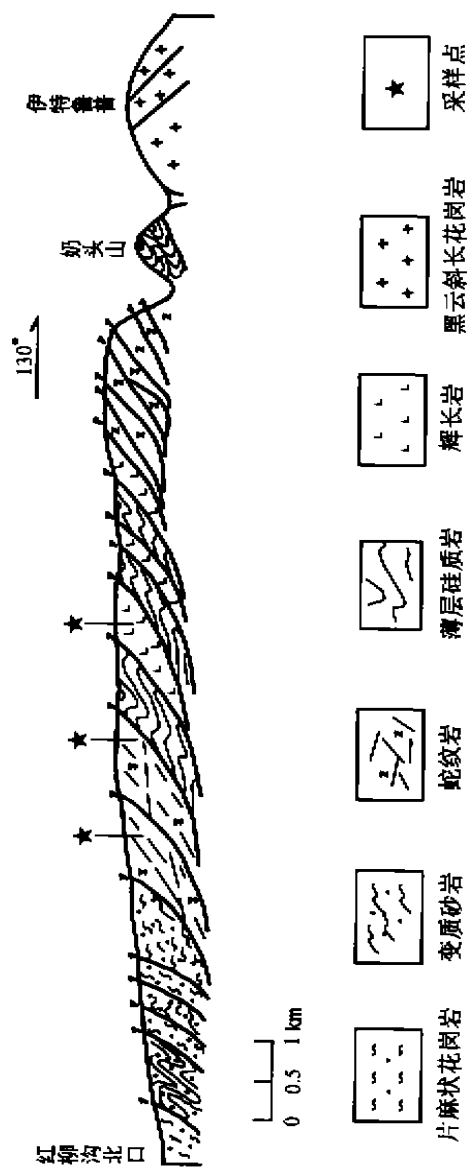


图 3 红柳沟北口至伊特鲁普地质构造剖面

Fig. 3 Geological structural section from Hongliugou north entrance to Yeteke

面,两者相距不到 1 km,而岩石的序列与组合显著不同,说明红柳沟地区是典型的混杂带。

沿红柳沟南口到塔特勒克布拉克的剖面主要出露玄武岩、辉绿岩墙群、蛇纹岩和硅质岩。蛇纹岩已强烈剪切,常见两组剪切面。辉绿岩墙群见于一个巨大的混杂块中,单个岩墙的宽度由 20 cm 至几米,岩墙群的总长度约为 20 m。在剖面上,叠瓦冲断发育在各种岩性之间,也发育在同一岩块内部。

由红柳沟北口入沟至伊特鲁普的剖面上,主要出露的岩石为蛇纹岩、辉长岩、硅质岩、韧性剪切的片麻岩、变质砂岩、花岗岩。变质砂岩是蛇绿岩块的复理石基质,砂岩中可见几条韧性剪切带。剖面上主要变形构造为叠瓦状冲断席。

红柳沟蛇绿岩中超基性岩主要是方辉橄榄岩,还有少量的橄榄辉石岩。大都强烈蛇纹石化,呈网格状,副矿物为尖晶石,少数样品较新鲜,保存有原生颗粒,可以观察到辉石、橄榄石具有波状消光和变形扭折带等变形结构。辉长岩发育有堆晶结构,镜下显示比较典型的辉长结构,因受到海水热液蚀变,常见绿泥石化。辉绿岩具有明显的辉绿辉长结构,经历了比较轻微的海水热液蚀变。玄武岩已强烈蚀变,由绿泥石、绿帘石、黝帘石和钠长石组成,只有很少蚀变残余的单斜辉石。

3 地球化学

3.1 常量元素和微量元素地球化学

本文样品的主量元素和微量元素的分析结果列于表 1。根据地球化学特征,研究区变基性火山岩($\text{SiO}_2 = 46\% \sim 52\%$)属于 2 种类型:一种是洋中脊玄武岩型(MORB)、另一种是洋岛玄武岩型(OIB)。这 2 种类型的变基性火山岩可分别与刘良(1999)区分出的红柳沟洋中脊玄武岩和贝克滩洋岛玄武岩对比(图 4)。

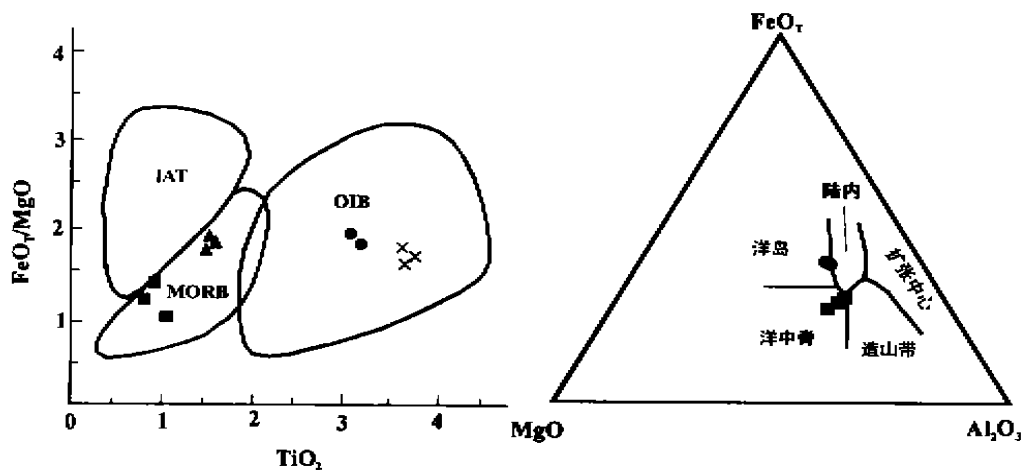


图 4 红柳沟变基性岩 $\text{FeO}_T/\text{MgO}-\text{TiO}_2$ 图解(左)和 $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}_T$ 图解(右)

IAT 岛弧拉斑玄武岩;MORB.大洋中脊玄武岩;OIB.洋岛玄武岩

(实心圆为本文 OIB;方块为本文 MORB;三角为刘良(1999)MORB;斜十字为刘良(1999)OIB)

Fig.4 $\text{FeO}_T/\text{MgO}-\text{TiO}_2$ (the left) and $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}_T$ (the right) diagrams of meta-basic rocks from Hongliugou

表 1 红柳沟蛇绿混杂带中代表性岩石主量元素/wt%、微量元素/ 10^{-6} 分析结果Table 1 Major element /wt%, trace earth element / 10^{-6} contents of the representative rocks in Hongliuguo

岩性	蛇纹岩					MORB 型变基性岩					OIB 型变基性岩	
样品号	H17	H18	H32	H37(1)	H37(2)	H14	H33	H34	LL-4	LL-5	H01	H02
SiO ₂	43.05	43.58	38.62	43.47	43.78	47.51	51.93	52.03	49.44	48.99	47.29	46.71
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.05	0.92	0.81	1.53	1.5	3.01	3.09
Al ₂ O ₃	0.3	0.24	0.38	0.43	0.36	16.09	15.41	15.14	14.3	14.28	13.12	12.41
Fe ₂ O ₃	3.74	1.26	3.77	1.86	2.05	3.15	0.59	0	4.22	3.66	4.19	4.08
FeO	2.37	2.21	1.07	4.42	3.87	6.06	8.49	8.66	7.13	7.64	8.1	8.19
FeO _T	5.74	3.34	4.46	6.09	5.71	8.89	9.02	8.66	10.93	10.93	11.87	11.86
MnO	0.11	0.09	0.16	0.09	0.08	0.25	0.31	0.28	0.19	0.2	0.28	0.26
MgO	37.91	40.42	41.15	37.61	38.12	8.74	6.42	7.09	5.94	5.64	6.04	6.27
CaO	0.14	0.14	0.1	0.05	0.03	10.06	9.22	9.15	7.35	8.52	9.21	9.58
Na ₂ O	0.22	0	0	0	0.01	2.74	3.94	4.08	3.66	3.65	4.71	4.41
K ₂ O	0.04	0	0	0.05	0.042	0.19	0.87	0.43	0.75	0.73	0.17	0.15
P ₂ O ₅	0.1	0.01	0.01	0.19	0.19	0.1	0.08	0.08	0.16	0.16	0.41	0.44
LOI	12	12.04	14.73	11.51	11.5	4.05	1.82	2.25	2.43	2.04	3.46	4.4
Total	99.62	100.06	99.55	99.69	100.03	99.54	100	100.09	99.62	99.43	99.99	99.72
Mg [*]	92.17	95.57	94.27	91.67	92.25	63.67	55.92	59.34	49.20	47.91	47.56	48.51
Cr				1639	1632				18	19		
Co		83	51	109	77	47	38				47	
Ni		1945	364	1529	1650	105	66		20	21	100	
Rb		0.42	1.46	0.95	0.68	3.8	32		33	28	1.04	
Sr		3.21	10.86	6.88	4.48	211	342		186	156	642	
Y		0.05	1.86	0.57	0.77	21	21		39	40	24	
Nb		0.09	0.009	1.15	3.45	3.98	2.73		9.1	9.3	38	
Cs		0.05	1.51	0.2	0.26	0.26	7.96				0.17	
Ba		1.06	16.05	10.14	7.95	62	237		98	148	161	
Hf		0.07	0.01	0.07	0.1	1.1	0.91		2.85	2.98	2.71	
Ta		0.02	0.002	0.07	0.05	0.33	0.62		0.364	0.392	2.6	
Pb		0.37	0.58	2.6	1.28	1.3	4.06				1.77	
Th		0.002	0.002	0.49	0.45	0.34	0.49		1.86	1.93	3.28	
U		0.09	0.19	1.07	1.09	0.06	0.35		0.595	0.58	0.88	
La		0.06	0.1	0.88	0.88	5.07	3.91		7.57	8.03	29.28	
Ce		0.09	0.15	1.69	1.91	11.62	9.24		20.2	21.1	62.68	
Pr		0.01	0.04	0.23	0.21	1.71	1.42				7.95	
Nd		0.06	0.21	0.68	0.74	8.3	7.2		14.8	15.9	33.1	
Sm			0.16	0.25	0.26	2.6	2.59		3.58	3.74	7.37	
Eu		0.01	0.07	0.07	0.08	0.98	0.88		1.51	1.52	2.41	
Gd		0.01	0.26	0.06	0.18	3.55	3.37				7.83	
Tb			0.06	0.04	0.02	0.68	0.57		1.02	0.978	1.1	
Dy		0.01	0.39	0.16	0.12	3.75	3.89				5.49	
Ho			0.08	0.03	0.02	0.76	0.91				1.02	
Er		0.01	0.23	0.09	0.09	2.43	2.73				2.61	
Tm			0.03	0.01	0.02	0.38	0.37				0.31	
Yb		0.01	0.18	0.04	0.12	1.96	2.22		3.16	3.76	1.81	
Lu			0.03	0.04	0.02	0.3	0.36		0.482	0.499	0.25	
ΣREE		0.27	1.99	4.27	4.67	44.11	39.69				163.21	
LREE/HREE		5.75	0.58	8.09	6.92	2.19	1.75		10.22	9.60	6.99	
(La/Yb) _N		4.05	0.37	14.83	4.94	1.74	1.19		1.62	1.44	10.91	
(La/Sm) _N			0.39	2.21	2.13	1.23	0.95		1.33	1.35	2.50	

测试方法:主量元素为 XFR,微量元素为 ICP-MS,测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所;Mg^{*} = 100 Mg/(Mg + Fe)(原子数);LL 为刘良资料(1999)。

MORB 型 变基性火山岩中 TiO_2 含量中等,为 0.81% ~ 1.05%; Mg^* 为 55 ~ 63,是原始玄武岩浆经过轻微分离结晶的产物,相比而言,刘良(1999)资料中的洋脊玄武岩 Mg^* 为 47 ~ 49,分离结晶作用更显著,可能是岩浆较晚期的产物。CIPW 标准化中不含石英和霞石,在 SiO_2 -Nb/Y 判别图中,落入亚碱性区域(图 5)。球粒陨石标准化的稀土元素分配型式图上属平坦型(图 6), $\text{LREE/HREE} = 1.75 \sim 2.19$, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 1.19 \sim 1.74$, $(\text{La}/\text{Sm})_N = 0.95 \sim 1.23$ 。富集大离子亲石元素(Rb、Ba 等),高场强元素基本未发生分馏,与过渡型洋脊玄武岩(T-MORB)特征吻合。

OIB 型 变基性火山岩明显富 Ti, TiO_2 含量为 3% 左右, CIPW 标准化中含霞石,在 SiO_2 -Nb/Y 判别图中,落入碱性区域(图 5),为碱性玄武岩, $\text{Na}_2\text{O} + 2\text{K}_2\text{O} \geq \text{K}_2\text{O}$, 应属夏威夷岩。球粒陨石标准化的稀土元素分配型式图上(图 6)表现出 LREE 富集的特点: LREE/HREE 接近 7, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 10.91, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为 2.5 左右。富集高场强元素(如 Nb、Ta 等),这是 OIB 最典型的地球化学特征(Weaver, 1991)。

研究区方辉橄榄岩具高 Mg^* (90 ~ 95),低 Al、Ca。在 CAM 和 AFM 图中都落入变质橄榄岩区(图略)。稀土含量低,分配型式图上表现出 2 种不同的型式(图 6): 1) 轻稀土亏损型(以 H32 为代表), LREE/HREE 为 5.8, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 0.37, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为 0.39; 2) 轻稀土近于平坦型(以 H37 为代表), LREE/HREE 为 6.9 ~ 8, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 4.9 ~ 14.8, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为 2.13 ~ 2.21, LREE 的富集可能由后期蚀变造成,但不排除它是 OIB 熔融残余的可能。

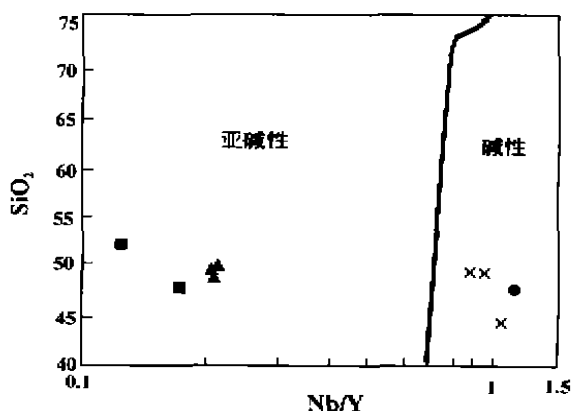


图 5 红柳沟变基性岩 Nb/Y- SiO_2 图解

(图例同图 4)

Fig. 5 Nb/Y- SiO_2 diagram of meta-basic rocks from Hongliugou

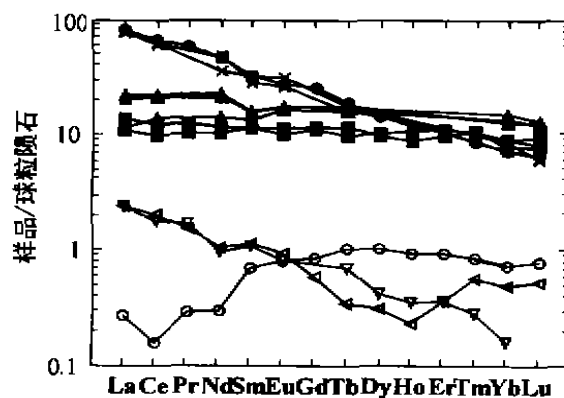


图 6 红柳沟镁铁-超镁铁质岩 REE 配分图

(空心圆圈和三角为变质橄榄岩,其余图例同图 4)

Fig. 6 REE patterns of metaperidotite and meta-basic rocks from Hongliugou

3.2 Sm-Nd 同位素地球化学

我们对 MORB 和 OIB 型变基性岩分别进行了 Sm-Nd 同位素测试,实验结果见表 2。同位素实验结果表明, OIB 型变基性火山岩的 ϵ_{Nd} 值从负值到接近于 0 值,反映了它们来自原始地幔或略富集地幔; MORB 型变基性火山岩的 ϵ_{Nd} 值为 4.5 ~ 7.4, 反映其来自亏损

地幔。

表 2 红柳沟变基性火山岩 Sm-Nd 同位素分析

Table 2 Sm-Nd isotopic analyses of meta-basic rocks from Honghugou

样品号	岩性	Sm/ 10^{-6}	Nd/ 10^{-6}	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (2 σ)	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$
H01	OIB	7.522	33.410	0.1362	0.512590 ± 8	-0.94
H02	OIB	7.226	32.170	0.1359	0.512643 ± 8	0.09
H14	MORB	2.775	8.915	0.1882	0.512870 ± 9	4.52
H33	MORB	2.280	7.114	0.1938	0.513000 ± 11	7.06
H34	MORB	2.007	6.250	0.1942	0.513019 ± 10	7.43

中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室测定。

4 讨论和结论

红柳沟蛇绿混杂带中变基性火山岩有 2 种类型: MORB 和 OIB, 其中 MORB 的 Sm-Nd 等时线年龄为 508.3 ~ 512.9 Ma, OIB 的 Sm-Nd 等时线年龄为 524.4 Ma, 在误差范围内可以认为它们的形成时代基本一致(刘良, 1999), 据此可以认为 MORB 与 OIB 是共生组合关系。大西洋中脊存在的 N-MORB、T-MORB 与 OIB 的伴生组合(Schilling et al., 1983; 1985) 可以与研究区对比, 这种组合被认为与地幔热点的岩浆作用有关。在板块构造格架下, 可识别出 3 种热点或地幔柱类型: 板内热点或热幔柱、洋中脊型热点或热幔柱和近洋脊热点或热幔柱(Schilling et al., 1985)。以前的研究认为红柳沟地区 OIB 形成于板内拉张环境, 即与之相关的地幔柱属于板内型地幔柱(刘良, 1999), 但板内型地幔柱的特点是洋壳物质(MORB)成分基本不受地幔柱的影响。而研究区内 MORB 不具有典型 N-MORB 的亏损型稀土配分型式, 微量元素的一些特征也表明其受到过 OIB 端元的影响, 研究认为大西洋扩张脊的脊轴与地幔柱是重叠的(Langmuir, 1978; Weaver, 1991), 属于洋中脊型热幔柱。本文作者认为研究区的地幔柱可能更接近于后 2 种类型。

综上所述, 本文主要结论如下。

(1) 本次野外观察到的剖面含有地幔橄榄岩、辉长辉绿岩、玄武岩等蛇绿岩的岩石组合, 及其上覆的硅质岩、浊积岩等, 进一步证实了阿尔金红柳沟地区蛇绿岩的存在。由于后期强烈的构造作用, 岩石组合混杂无序, 为典型的混杂带。

(2) 地球化学的研究发现混杂带中含有 2 种基性火山岩: MORB 型和 OIB 型, 其稀土配分型式分别为平坦型和轻稀土富集型, 结合同位素 ϵ_{Nd} 值, 推断混杂带中变基性火山岩来自于不同的岩浆源。

(3) 变质橄榄岩稀土总量低, 具有亏损型和平坦型 2 种不同的稀土配分型式。前者来自于 MORB 亏损的地幔源区; 后者 LREE 的富集可能是由于后期蚀变造成的, 但也不排除是 OIB 熔融残余的可能。

致谢 感谢张旗研究员和钱青博士的指导。

参 考 文 献

- 程裕祺主编, 1994. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 215—217.
- 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 1999. 阿尔金断裂系. 北京: 地质出版社, 39—49.
- 郭召杰, 张志诚. 1999. 新疆吐拉盆地构造特征与含油气评价. 地质科学, 34(3): 357—364.
- 郭召杰, 张志诚, 王建君. 1998. 阿尔金山北缘蛇绿岩带的 Sm-Nd 等时线年龄及其大地构造意义. 科学通报, 43(18): 1981—1984.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社; 香港: 香港文化教育出版社, 43—47.
- 赖绍聪, 邓晋福, 赵海玲, 等. 1996. 青藏高原北缘火山作用与构造演化. 西安: 陕西科学技术出版社, 74—96.
- 李锦轶, 肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述. 地质科学, 34(4): 405—419.
- 刘 良. 1999. 阿尔金高压变质岩与蛇绿岩及其大地构造意义 [博士学位论文]. 北京: 中国科学院地质研究所, 1—71.
- 潘桂棠, 陈智桦, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 56—78.
- 孙 勇, 刘池阳, 车自成. 1997. 阿尔金山拉配泉地区元古宙裂谷火山岩系及其构造意义. 地质论评, 43(1): 17—24.
- 王 焰, 刘 良, 车自成, 等. 1999. 阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的地球化学特征. 地质论评, 45(增刊): 1010—1014.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 163—165.
- 周 勇, 潘裕生. 1998. 茫崖-肃北段阿尔金断裂右旋走滑运动的确定. 地质科学, 33(1): 9—16.
- Langmuir C H. 1978. A general mixing equation with application to Iceland basalts. Earth Planet Sci Lett., 7: 380—392.
- Schilling J G, Thompson G, Kingsley R, et al. 1985. Hotspot-migrating ridge interaction in the South Atlantic. Nature, 313: 187—191.
- Schilling J G, Zajac M, Evans R, et al. 1983. Petrological and geochemical variation along the Mid-Atlantic Ridge from 29° to 73° N. Am. Jour. Sci., 283: 486—510.
- Weaver B L. 1991. Trace element evidence for the origin of ocean-island basalts. Geology, 19: 123—126.

NEW KNOWLEDGES ON HONGLIUGOU OPHIOLITE ALONG ALTUN FAULT, NW CHINA

Wu Jun Li Jiliang Lan Chaoli Yu Liangjun

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

The Hongliugou ophiolite melange is situated along the Altun fault, NW China. Two detailed profile sections across the melange belt are made. The petrochemical characters of igneous rocks show that there are two types of basalt in the ophiolite melange: MORB and OIB, with REE distribution patterns being flat-type and LREE-rich-type respectively. Combined with the Sm, Nd isotope study, we infer that meta-basic rocks in the Hongliugou ophiolite melange were derived from different mantle resources. The mantle peridotites in Hongliugou ophiolite melange, with low REE abundance, have two types of REE distribution patterns too. All the results above-mentioned indicate such an assemblage of MORB and OIB probably the mixed product of mantle plume and ocean crust.

Key Words The Hongliugou ophiolite, MORB, OIB, The Altun fault