

# 新疆西准噶尔玛依拉山-萨雷诺海蛇绿岩 岩石地球化学特征

韩松,董金泉,于福生,贾秀琴  
(中国科学院高能物理所,北京 100039)

**摘要:**以新疆西准噶尔玛依拉山-萨雷诺海蛇绿岩为重点进行讨论.该区出露的火成岩种类较多,表现出构造混杂特点.变质橄榄岩是具有一定亏损程度的地幔残体,LREE 的富集主要是后期蚀变的结果.玄武岩的稀土分布型式是平坦型的或 LREE 略亏损型的.与 MORB 相比,REE 的总量较高,高 Fe 和 Ti, Mg 值低,是一种演化的岩石,与东太平洋中隆地高 Fe 和 Ti 的铁质拉斑玄武岩成分相当,地球化学特征类似于 MORB,可能形成于小洋盆环境.

**关键词:**萨雷诺海;蛇绿岩;微量元素;地球化学

西准噶尔蛇绿岩是经过多次构造运动而被肢解的大型复合蛇绿混杂岩带,其岩石类型多样,分布复杂,后期变动强烈,反映了西准噶尔地壳长期复杂的演化历史.把西准噶尔众多纷杂的蛇绿岩带按照不同的形成时代和分布规律,及自身发展特点,划分出6个地体,在这些地体中又划分出不同的蛇绿岩带<sup>[1]</sup>.笔者仅讨论玛依拉山蛇绿岩带,在玛依拉山的超基性岩中,以萨雷诺海一段出露比较厚,岩石类型比较全,厚度较大.

萨雷诺海蛇绿岩位于北纬 45°19'48"~45°24',东经 82°47'30"~83°05'.该区构造活动跨越整个古生代,形成于复杂的地质环境.蛇绿岩中的变质橄榄岩的总露头面积约 18 km<sup>2</sup>,由3个相互连通的岩体组成,平面呈 U 型,岩体所处位置受断裂控制,主要岩石有方辉橄榄岩,此外还有少量的蛇纹岩,橄榄岩和二辉橄榄岩(图 1).除上述岩石外,铬铁矿体在超基性岩中呈豆荚状产出,围岩一般是蛇纹岩,含矿岩石具有比围岩更强烈的构造破坏现象,铬铁矿体的产状与本区的构造线方向一致.

萨雷诺海蛇绿岩的围岩是玛依拉杂岩,它包括一些玄武岩,远洋紫红色硅质岩,粘土岩和远洋碎屑岩,后者属深海浊积岩.变质的玛依拉组和其他未变质的志留纪地层间关系不清,不同的围岩和超基性岩间均为构造接触<sup>[2]</sup>.与完整的蛇绿岩剖面对比,萨雷诺海蛇绿岩仅存在相当于下部的变质橄榄岩及上部的火山杂岩,缺失堆晶基性杂岩和基性岩墙群;不规则分布

在超基性岩附近的基性熔岩,也无明显的层序关系,因此萨雷诺海蛇绿岩是不完整的蛇绿岩套,也称之为肢解的蛇绿岩,与蛇绿岩伴随的地层时代为晚一中志留世,该区缺少同位素定年资料<sup>[3]</sup>.

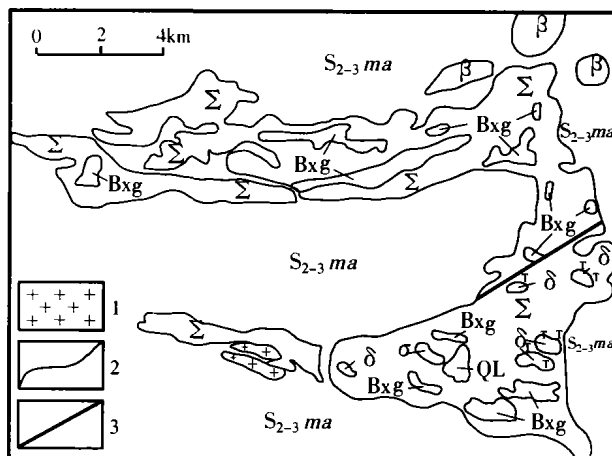


图1 萨雷诺海地区地质简图  
Fig. 1 Sketch geologic map of Saleinohai area  
(据白文吉,1995)

1.花岗岩;2.地质界线;3.断层  
S<sub>2-3</sub>ma——玛依拉山组;Bag——沉积岩块;β——细碧岩;  
Σ——超基性岩;QL——辉石岩块;δ/δ'——闪长岩/变质岩块

## 1 萨雷诺海蛇绿岩岩石学特征

### 1.1 变质橄榄岩

**蛇纹岩** 岩石已完全蚀变,未见原生矿物,局部呈网环结构.本区蛇纹岩的蚀变多为一种近尘状的蛇纹石-绿泥石的过渡产物,周围常有尘粒状的磁铁矿,

推测原岩中可能含有一定量的辉石,目前原岩难以辨认。尖晶石呈细小粒状,棕色或不透明分散于岩石中。此类岩石在超基性岩中仅占少数。

**方辉橄榄岩** 此类岩石除发生蛇纹石化外,还具有相当多的绢石为特征,绢石为斜方辉石的蚀变产物,含量大于 10%。尖晶石分布在绢石和蛇纹石化橄榄石之间,绢石的四周和解理缝处有尘粒状磁铁矿产出,方辉橄榄岩在超基性岩中占多数。

**二辉橄榄岩** 橄榄石发生了蛇纹石化作用,呈网环结构,网环中心残留少量橄榄石,岩石中含有大量的 2 种辉石的残留晶体,其中斜方辉石发生了绢石化仅保留其形状,单斜辉石比较新鲜。本区的超基性岩在蛇纹石化作用后,又叠加了一期碳酸盐化作用,

碳酸盐化的产物是菱镁矿和方解石,它们主要交代单斜辉石、绢石和蛇纹石。

## 1.2 基性熔岩

具有斑状结构,斑晶是斜长石,均发生了程度不等的绢云母化,在细长条状斜长石组成的空隙中,填充着绿帘石、绿泥石及铁质等,具有杏仁构造,杏仁中充填有碳酸盐、绿泥石、石英等。

## 2 萨雷诺海蛇纹岩岩石化学特征

### 2.1 变质橄榄岩的化学成分特征

萨雷诺海变质橄榄岩的  $\text{SiO}_2$  含量一般在 40%左右(表 1),变化范围小, $\text{MgO}$  在 39.67%~43.67%, $\Sigma\text{FeO}$  在 8%左右,岩石的  $M/F$  值均大于 9,属镁质超基性。

表 1 萨雷诺海变质橄榄岩化学成分和微量元素的分析结果

Table 1 The analysis results of major element and trace element of alterative peridotite in Saleinuohai

项目	SN80 蛇纹岩	SN101 蛇纹岩	SN144 蛇纹岩	SBZ1 蛇纹岩	SN79 方辉橄榄岩	SN72 方辉橄榄岩	SBZ2 方辉橄榄岩	SBZ3 方辉橄榄岩	SN88 二辉橄榄岩	pyrolites Ringwood
$\text{SiO}_2$	47.41	45.1	45.08	45.1	45.17	45.01	45.08	45.95	45.99	45.1
$\text{TiO}_2$	0.05	0.06	45.08	0.1	0.05	0.03	0.09	0.09	0.05	0.2
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1.28	1.45	0.03	1.49	2.45	1.74	1.19	1.43	2.31	4.68
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.53	0.43	1.46	0.44	2.74	0.37	0.31	0.34	0.4	0.3
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.57	1.65	0.44	1.68	1.55	1.5	1.64	1.53	1.6	
$\text{FeO}$	6.29	6.58	1.07	6.71	6.21	6.24	6.57	6.1	6.39	7.9
$\text{MnO}$	0.07	0.07	6.65	0.14	0.08	0.09	0.12	0.1	0.1	0.13
$\text{MgO}$	41.28	41.89	0.03	42.04	39.67	43.67	42.07	43.52	40.5	38.1
$\text{CaO}$	0.75	0.77	43.06	1.59	0.81	0.53	1.04	1.59	2.03	3.1
$\text{Na}_2\text{O}$	0.31	0.28	1.04	0.28	0.32	0.13	0.1	0.29	0.33	0.4
$\text{K}_2\text{O}$	0.11	0.18	0.02	0.03	0.32	0.03	0.03	0.07	0.09	0.02
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.03	0.05	0.05		0.06	0.03			0.03	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	99.82	99.93
La	1.73	1.14	0.91		1.5	0.43			1.80	
Ce	2.77	2.10	1.46		2.6	0.83			2.81	
Nd	1.55	1.04	0.69		1.4	0.36			1.39	
Sm	0.29	0.27	0.13		0.3	0.10			0.32	
Eu	0.08	0.07	0.08		0.1	0.02			0.07	
Tb	0.03	0.04	0.02		0.0	0.02			0.04	
Yb	0.15	0.14	0.08		0.2	0.10			0.20	
Lu	0.025	0.023	0.015		0.028	0.018			0.03	
$\Sigma\text{REE}$	6.62	4.81	3.37		6.2	1.86			6.64	
Ag	0.009	0.0104	0.0133		0.074	0.0162				
As	7.76	72.9	232		53.7	36.6				
Au		0.0042	0.0018		0.00495				0.0027	
Ba	46.2	47.6			50	15.6			29	
Co	121	126	120		107	107				
Cr	2980	1640	2600		5520	1720			2380	
Cs		1.49	0.374		0.866	0.189			0.799	
Fe	59000	62400	60100		55800	58700			59100	
Hf	0.25	0.124			0.153				0.257	
Ni	2710	2320	2340		2170	2340			2130	
Rb	4.17	4.52			16.3				3.99	
Sb	0.385	2.15	5.06		0.895	1.97			0.588	
Sc	4.9	6.37	4.63		6.43	11.4			18.4	
Ta	0.0897									

注:地幔岩的估计成份来源[4];其它资料来源 ●.主元素由 X 荧光光谱分析(单位:%);微量元素和稀土元素由中子活化方法分析 (单位: $\times 10^{-6}$ )

表 2 萨雷诺海变质橄榄岩和世界典型变质橄榄岩化学成分

Table 2	Chemical composition of metamorphic peridotites in Saleinuohai and typical peridotites in the world										单位: %
项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	蛇纹岩	方辉橄榄岩	二辉橄榄岩	纯橄岩	纯橄岩	纯橄岩	方辉橄榄岩	方辉橄榄岩	方辉橄榄岩	二辉橄榄岩	二辉橄榄岩
SiO <sub>2</sub>	45.67	45.07	45.9	40.5	40.4	40.8	44.0	43.9	43.5	44.62	46.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.4	1.7	2.31	0.24	0.14	0.54	0.78	1.1	0.47	3.66	4.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.49	1.55	1.61	1.21	5.4	2.48	3.00	1.3	5.4	0.59	
FeO	6.55	6.28	6.39	7.23	3.9	5.56	5.5	6.8	3.2	7.58	6.7
MgO	42.06	42.43	40.5	49.8	49.1	49.7	45.3	45.2	45.7	38.98	39.6
CaO	1.03	0.99	2.03	0.15	0.18	0.73	0.5	0.59	0.77	3.31	2.3
Na <sub>2</sub> O	0.25	0.21	0.33	0.007	0.005	0.08	0.006	0.13	0.006	0.26	0.27
K <sub>2</sub> O	0.06	0.11	0.09	0.0012	0.002	0.03	0.004	0.01	0.002	0.08	0.02
MnO	0.07	0.09	0.1	0.11	0.17	0.11	0.13	0.01	0.15	0.13	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.46	0.94	0.4	0.58	0.41		0.42	0.41	0.39	0.33	0.26

注:1——萨雷诺海 4 个蛇纹岩平均值;2——萨雷诺海 4 个方辉橄榄岩平均值;3——萨雷诺海二辉橄榄岩;4——伯罗山美国地质调查所 DII 样品;  
5——特罗斯多斯 10 个纯橄岩;6——巴布亚纯橄岩;7——美国地调所 PCCI 样品;8——新加里东方辉橄榄岩;9——特罗斯多斯地幔橄榄岩;  
10——西班牙 Ronda 二辉橄榄岩;11——橄橄榄岩 4~11(据[3])

MgO/(MgO+ $\Sigma$  FeO)很稳定,为 0.84~0.85( $\Sigma$  FeO=FeO+0.898Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,下同),同全球典型蛇绿岩下部的变质橄榄岩(表 2)相比,本区的蛇纹岩比其纯橄岩有较高的 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O,其中的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为 1.45%~1.6%;CaO 为 0.77%~1.59%,分析可能混有一些辉石。方辉橄榄岩与其对应的岩石相比具有较高的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及比较高 Na<sub>2</sub>O 和 K<sub>2</sub>O,其他成份相近。相对所列的尖晶石二辉橄榄岩,本区的二辉橄榄岩 SiO<sub>2</sub>、FeO 含量大致相当, MgO、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 略高, CaO 含量较低。

本区变质橄榄岩的主元素与原始地幔成分相比(表 1)<sup>[4]</sup>,其 SiO<sub>2</sub>成分基本相等,MgO、K<sub>2</sub>O 含量高于地幔岩,MnO 变化幅度大,TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、Na<sub>2</sub>O 明显偏低。

## 2.2 基性熔岩化学成分特征

表 3 为萨雷诺海基性熔岩化学成分,  $\Sigma$  FeO/MgO=3.59~1.72;Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO=1.1~0.4;K<sub>2</sub>O 含量较低,在 0.42%~0.56%,而 Na<sub>2</sub>O 含量较高,均高于 3%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 12.4%~14.7%,CaO 含量相对较低,TiO<sub>2</sub> 含量较高,在 2%左右。本区基性熔岩相对具有高钠低钾,高铁和低钙镁的一些特点,MgO/(MgO+ $\Sigma$  FeO)值很稳定,在 0.33~0.53,与大洋拉斑玄武岩中高铁玄武岩成分相近,表明岩石经历过强烈的演化。

## 3 萨雷诺海蛇绿岩微量元素特征

### 3.1 变质橄榄岩微量元素特征

采用中子活化法测定了微量元素,变质橄榄岩的微量元素见表 1。相对于球粒陨石,本区超基性岩的过渡族元素普遍发生亏损,其中二辉橄榄岩(SN88)相对变化较小。另外的样品型式较为相近,在 Ti 与 Mn 处出现低谷,Sc 和 Cr 处出现高峰,其他元素较平缓。Rb 和 Ba 属大离子亲石元素,在地壳中富集,本区变质橄榄

表 3 萨雷诺海基性熔岩主量元素和微量元素分析结果  
Table 3 The analysis results of major element and trace element of basalt from Saleinuohai

项目	SN12 玄武岩	SN18 玄武岩	SN22 玄武岩
SiO <sub>2</sub>	47.94	48.2	46.74
TiO <sub>2</sub>	2	1.9	2.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.62	14.7	12.4
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.03	0.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.3	2.46	3.52
FeO	13.5	9.03	14.06
MnO	0.2	0.16	0.23
MgO	4.59	6.95	6.66
CaO	4.87	8.13	5.65
Na <sub>2</sub> O	3.86	4.13	3.02
K <sub>2</sub> O	0.42	0.51	0.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2	0.22	0.26
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.06	2.91	3.82
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0	0	0.02
CO <sub>2</sub>	2.31	0.22	1.39
Total	99.5	100.54	100.33
La	7.65	12.9	9.23
Ce	19.8	20.6	24.6
Nd	12.7	17.7	13.6
Sm	5	5.41	5.84
Eu	1.04	1.92	2.43
Tb	1.23	1.24	1.43
Yb	5.63	2.87	6.86
Lu	0.899	0.398	1.06
$\Sigma$ REE	54.7	63	65
Ba	66.8	179	125
Co	56.9	54.9	63.5
Cr	33.8	205	215
Cs	0.935		0.608
Fe	134000	102000	134000
Hf	1.86	3.43	2.63
Rb	9.56	22.3	8.78
Sc	5.83	38.7	55.4
Sr		274	
Ta	0.277	0.898	0.57
Th	0.53	1.43	0.574
U	0.98	0.664	
Zr	745		

注:主元素由X荧光光谱分析(单位:%);微量和稀土元素由中子活化法分析(单位: $\times 10^{-6}$ )

岩中 Rb 和 Ba 含量分别是  $4 \times 10^{-6} \sim 16 \times 10^{-6}$  和  $15 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$ , 均高于上地幔估算值 ( $Rb=1.19 \times 10^{-6}$ ;  $Ba=13 \times 10^{-6}$ )<sup>[3]</sup>. 与通常是强烈亏损 Rb 和 Ba 的变质橄榄岩 ( $Rb=0.058 \times 10^{-6}$ ;  $Ba=2 \times 10^{-6}$ ) 相比<sup>[5]</sup>, 再次显示了本区超基性岩成分的异常.

### 3.2 基性熔岩微量元素特征

基性熔岩的微量元素含量见表 3, 其过渡族元素相对于球粒陨石<sup>[6]</sup>, 均以强烈分离为特征, 尤其以 Ti 的正异常, Cr、Ni 的负异常表现突出, 和估算的原始地幔相比  $D < 0.2$  的轻度不相容元素 Fe 和 Mn 适度亏损, 远低于原始地幔值. 从表 3 中可以看出, 它们具有相近的过渡金属元素丰度, 这说明它们可能是同源的成因. 大离子亲石元素因离子半径较大, 一般不被地幔的主要矿物所相容, 在地幔发生部分熔融时最先富集于熔体中, 图 2 是萨雷诺海基性熔岩不相容元素对 N 型洋脊玄武岩值标准化图<sup>[7]</sup>, 从图中可以看出, 本区熔岩相对洋脊玄武岩具有较高的低场强元素丰度, 比较接近的高场强元素丰度, 在 Th、Ta 和 Hf/3 三角图中(图 3)<sup>[8]</sup>. 本区的基性熔岩全部落入洋脊玄武岩区, 说明本区的基性熔岩有可能从正常洋中脊中喷发的.

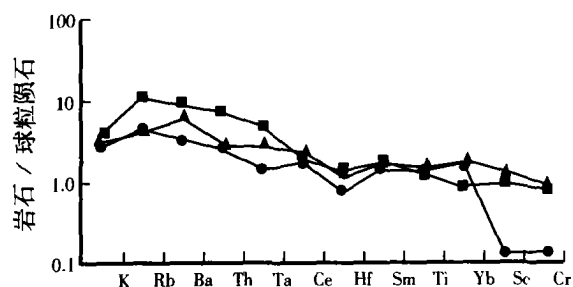


图 2 萨雷诺海基性熔岩的不相容元素图  
Fig.2 Spider diagram of incompatible element of Sainohai basalt (Pearce J A, et al, 1981)  
■—SN18; ▲—SN22; ◆—SN12

## 4 萨雷诺海蛇绿岩中稀土元素特征

### 4.1 变质橄榄岩稀土元素特征

用预富集中子活化分析法测定了蛇绿岩中稀土元素. 由于超基性岩的稀土含量很低 ( $< 1 \times 10^{-6}$ ), 基体元素 Fe、Cr、Ni、Co 和 Sc 等严重干扰微量稀土元素的准确测定. 为尽可能准确测得样品中的稀土元素, 将样品进行照射前化学组分离, 除弃大量基体元素, 以达到富集稀土元素目的<sup>[9]</sup>.

变质橄榄岩的稀土元素经球粒陨石标准化后的曲线, 从图 4 可以看出, 蛇纹岩、方辉橄榄岩和二辉橄榄岩显示了大致相似的分配型式, SN144 显示了明显的 Eu 正异常, 这反映了它可能有一些斜长石的残

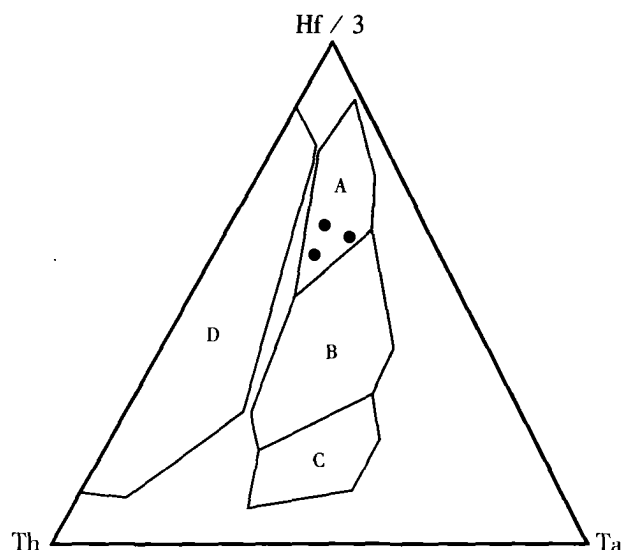


图 3 萨雷诺海基性熔岩 Th-Ta-Hf/3 图  
Fig.3 Diagram of Th-Ta-Hf/3 for basic volcanics of Sainohai (wood, 1980)  
A——洋脊玄武岩; B——异常洋脊玄武岩; C——板内玄武岩; D——岛弧玄武岩

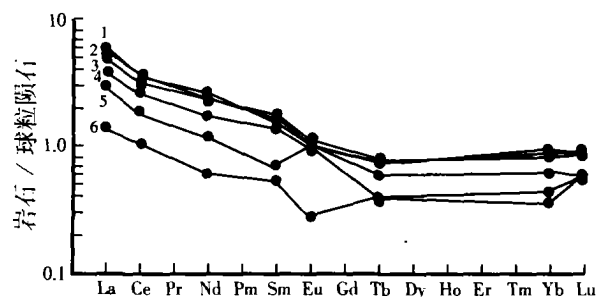


图 4 萨雷诺海变质橄榄岩的 REE 分配型式  
Fig.4 REE distribution pattern of Sainohai ultramafic rocks  
1—SN88; 2—SN80; 3—SN79; 4—SN101; 5—SN144; 6—SN72

留(Frey, 1984). 本区超基性岩的一个显著特点是轻稀土较富集,  $LREE=1.16 \times 10^{-6} \sim 6.41 \times 10^{-6}$ , La 相当于球粒陨石的 1.36~5.5 倍. 从中稀土到重稀土曲线较为平缓, 近于平坦型, Tb、Yb、Lu 与球粒陨石相比均小于 1 或接近 1, HREE 总量为  $0.11 \times 10^{-6} \sim 0.263 \times 10^{-6}$ . 本区的 HREE 大致相当于轻微亏损地幔岩的成分, 而 LREE 含量明显高于一般蛇绿岩中的变质橄榄岩<sup>[3]</sup>.

### 4.2 基性熔岩稀土元素特征

SB18 的稀土分配型式属轻稀土适度富集的缓倾斜型(图 5),  $(La/Yb)_{CN}$  为 2.99, 斜率不算太大.  $REE=48 \times 10^{-6}$ , 萨雷诺海区内基性熔岩的另一种的分配型式显示了轻稀土轻微亏损,  $(La/Yb)_{CN}$  为 0.88~0.85,  $(Ce/Sm)_{CN}$  比值大部分接近 1.  $\Sigma REE=54.7$

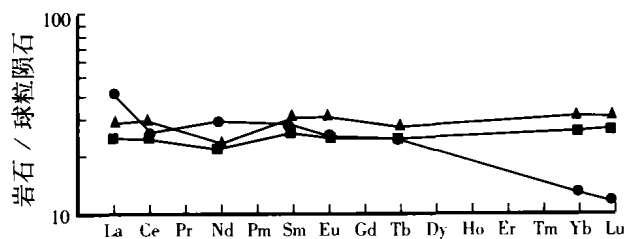


图5 萨雷诺海基性熔岩的REE分配型式  
Fig 5 REE distribution pattern for Saleinohai basic volcanics

●—SN18; ▲—SN22; ■—SN12

$\times 10^{-6} \sim 60.06 \times 10^{-6}$ , 除稀土含量略高点外, 其稀土分配型式类似于洋中脊玄武岩。

## 5 成因探讨

### 5.1 变质橄榄岩

本区的超基性岩经历了强烈的蚀变作用, 其中最重要的是蛇纹石化, 其次是碳酸盐化作用。研究表明, 海水和橄榄岩的作用能引起一些成分上的变化, 另外碳酸盐化作用引起某些元素的代入也应引起注意, 这也可能是引起本区超基性岩成分异常的一个原因。地幔的部分熔融程度可以反映变质橄榄岩的亏损程度, 熔融程度越高, 亏损程度越大, 残留物元素的分配型式和原始地幔的差异就越大。在熔融过程中易在残留物中富集的组分为 Mn、Ni、Co、Fe、Mg、Cr 等难熔组分, 易在岩浆中富集的元素包括 Si、Ti、Ca、K、Na、Al 等易熔组分。本区变质橄榄岩相对于原始地幔, 除  $\text{Na}_2\text{O}$  成分较高外, 其它难熔组分相对比原始地幔富集, 而易熔组分  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{TiO}_2$  均发生一定程度的亏损, 说明区内的变质橄榄岩是经历一定程度部分熔融作用后的残留物质<sup>[3]</sup>。

变质橄榄岩相对于全球典型蛇绿岩下部变质橄榄岩来说, 具有较高易熔组分  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$ ; 另一方面, 大离子亲石元素 K、Rb 和 Ba 含量也较高。在稀土元素中, 本区变质橄榄岩最突出特点就是轻稀土元素普遍偏高, 其中 La 大约相当于球粒陨石的 1.36~5.5 倍。K、Na、Rb、Ba 轻稀土元素离子半径相近, 具有比较接近的地球化学性质, 并且同是亲地壳元素。本区变质橄榄岩的 K、Na、Rb、Ba 和轻稀土元素富集实际上是一个统一的地质过程产物。大离子亲石元素在陆壳中最富集(与洋壳和地幔相比较), 同时大离子亲石元素的活动性最强, 最易受蚀变作用的影响。按板块构造模式, 地壳物质可沿俯冲带被带到很深的上地幔区发生熔融, 形成混染地幔。因此有人认为, 萨雷诺海蛇绿岩下部变质橄榄岩可能代表俯冲带上受到地

壳物质混染的残留地幔岩。实际资料说明, 上述假说并不适合本区的情况, 因为变质橄榄岩和玄武岩的地球化学特征表明, 本区似乎不存在一个消减带之上的地幔楔, 因此认为, 蚀变作用可能是比较合适的解释。由于蚀变作用代入部分大离子亲石元素, 使本区变质橄榄岩具有某些不同于世界上典型蛇绿岩的独特特征, 这与超基性岩强烈的蛇纹石化、碳酸盐化、片理化特征相一致。

值得注意的是本区超基性岩的 LREE 富集的分配型式, 明显不同于世界上大多数蛇绿岩中变质橄榄岩<sup>[3]</sup>, 后者大多是 LREE 亏损型或呈 U 型分布, 其总 REE 极低。这可能有 2 种解释: ①原始地幔本身就是高 LREE 的; ②高 LREE 的特征是地幔交代作用的结果。如果采用第一种解释, 本区的原始地幔是 LREE 富集型的, 那么这种地幔部分熔融所产生的初始岩浆也应是富 LREE, 一般来说, 其  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{CN}}$  比值应大于残余地幔的比值。而该区大多数玄武岩的稀土分配型式是平坦型的, LREE 还略有亏损, 因此这种假设是不能成立的。虽然 SB18 号样品是 LREE 富集型的, 但它的 HREE 部分是非平坦型的, 显示了明显的亏损, 也不能用上述假设来解释。

按照地幔交代作用模式, 这种 LREE 富集型的地幔岩是由 2 种地球化学性质不同的成分(A 和 B)组成的。其中的 A 组分决定主元素组成以及相容元素 Ni、Co、Cr 以及 HREE 丰度。B 组分则决定少量和微量不相容元素(如 K、Rb、Ba、U、Th 和 LREE)的丰度。A 组分代表部分熔融后的残余物, B 组分则是高  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  流体, 由于 B 组分  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{CN}} > 1$ , 所以 B 组分的加入, 就使残余地幔的 LREE 部分增高, 形成 LREE 富集的分配型式。

本区变质橄榄岩是具有一定亏损程度的地幔岩, 其原始地幔应是具球粒陨石的分配型式, 即平坦型的。由于部分熔融作用, 使残余地幔不同程度亏损, 产生稀土具平坦型式或 LREE 略有亏损的玄武岩浆, 进一步结晶分离, 即形成本区富铁拉斑玄武岩。而 LREE 亏损的残余地幔, 即 A 组分, 由于可能加入了富  $\text{H}_2\text{O}$  和 LREE 的物质(B 组分), 使得萨雷诺海区的变质橄榄岩的 LREE 部分上翘, 形成如图 4 所示 LREE 富集的类型。

### 5.2 基性熔岩

本区基性熔岩具有高钠、低钾、低钙镁的特点, 与大洋拉斑玄武岩成分相近, 在图 3 中, 全落入洋中脊玄武岩区, 其稀土分布型式也具有典型洋中脊玄武岩特点, 基性熔岩的微量元素变化较大, 特别是大离子

亲石元素相对于洋中脊玄武岩有不同程度富集。K、Rb、Ba 等大离子亲石元素在蚀变过程中活动性较大,这些元素的富集有可能是后期蚀变造成的。

综上所述,认为本区的基性熔岩形成的环境可能为小洋盆。

## 6 结论

本区出露的火成岩种类较多,明显表现出构造混杂特点:

(1) 本区变质橄榄岩是具有一定亏损程度的地幔残体,LREE 的富集主要是后期蚀变作用的结果。

(2) 玄武岩的稀土分布型式是平坦型的或 LREE 略亏损的。与洋中脊玄武岩相比,REE 的总量较高,Fe 和 Ti 也高,而  $MgO/(MgO + \Sigma FeO)$  值低,是一种演化的岩石,与东太平洋中隆地高 Fe 和 Ti 铁质拉斑玄武岩成分相当,地球化学特征类似于 MORB,可能形成于

小洋盆环境。

## 参 考 文 献

- [1] 杨瑞英,唐红峰,刘丛强,等.达拉布特蛇绿岩带镁铁质岩的地球化学[J].矿物学报,2000, 20(40): 363-367.
- [2] 肖序常,汤耀庆,冯益民,等.新疆北部及其邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992.
- [3] 白文吉,杨经绥,周美付,等.西准噶尔不同时代蛇绿岩及其构造演化[J].岩石学报,1995,11 (增刊):62-72.
- [4] Ringwood A E. Island Arcs and Deep-sea Trenches and Back-Are Basins[A]. Am. Geoph. Union[C], Washington, 1977.
- [5] Coleman R G. Ophiolites Ancient Oceanic Lithosphere pringer-Verlag[M]. Berlin Heidelberg, New York, 1977.
- [6] Sun S-S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes[A]. In: Magmatism in the Ocean Basins[C]. Geol Soc Spec Pub, 1989, 42: 313-345.
- [7] Pearce J A, Harris N B W, Tindle G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J. Petrology, 1984, 25(4):956.
- [8] 韩松,贾秀琴,黄忠祥,等.蛇绿岩与动力学研究[M].北京:地质出版社,1996.
- [9] 杨瑞英,黄忠祥,韩松,等.中子活化分析法研究达拉布特蛇绿岩中超镁铁质岩的地球化学特征[J].核化学与放射化学.2003.25(1):10-13.

# TRACE ELEMENT GEOCHEMISTRY OF THE OPHIOLITE FROM MAYILA MOUNTAIN-SALEINOHAI OF WEST JUNGGAR, XINJIANG

HAN Song, DON Jin-quan, YU Fu-sheng, JIA Xiu-qin

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China)

**Abstract:** This paper discussed mainly the ophiolite from Mayila-Saleinohai of West Jungger, where many types of igneous rocks outcropped, showing the feature of a tectonic melange. The metamorphic peridotite is considered as a relatively depleted mantle residuum with enriched LREE due to alteration. The basalt there shows a flat or little depleted LREE distribution pattern, comparing to MORB, with higher total REE content, high contents of Fe and Ti, and low Mg value. The composition of the basalt is much comparable to the ferruginous tholeiite found in the median ridge of East Pacific Ocean. The geochemical features indicated that the basalt probably formed in a small ocean basin background.

**Key words:** Saleinohai; ophiolite; trace element; geochemistry