

# 云南新平县双沟蛇绿岩稀土元素地球化学研究\*

黄忠祥 韩松  
董金泉 贾秀勤

张旗 赵大升

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100080)

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

主题词 双沟 蛇绿岩 地球化学

提要 双沟蛇绿岩中, 变质橄榄岩的REE分布型式为 LREE 富集型, 可能是富大离子亲石元素 (LILE) 组分交代造成的。地幔岩部分熔融生成的初始熔体 LREE 亏损, 而辉绿岩和玄武岩则存在 LREE 亏损和富集两种型式, 前者相当于 N-MORB, 后者相当于 E-MORB。推测前者来源于亏损的软流圈地幔, 而后者的地幔源区经历过一次富集 LREE 和 LILE 的事件。双沟蛇绿岩的 REE 特征暗示它可能形成于弧后盆地。

云南新平县双沟蛇绿岩位于哀牢山南段, 呈岩片产出, 围岩为强烈变形的浅变质碎屑岩 (C-P) (图 1)。较大的岩片由底部变质橄榄岩、中部辉长岩、辉绿岩及上部玄武岩三部分

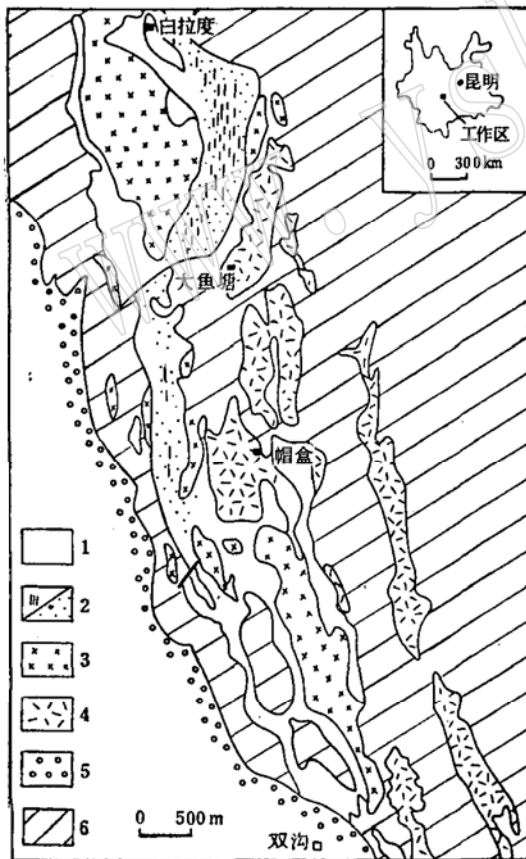


图 1 双沟蛇绿岩地质略图  
(据云南第18地质队1979年资料)

Fig. 1 Geological sketch map of Shuanggou ophiolites

1—变质橄榄岩; 2—地幔部分熔融的液滴 (黑点) 和异剥钙榴岩脉 (短线, 同时表示岩脉的走向) 分布区; 3—辉长岩和辉绿岩; 4—玄武岩; 5—T<sub>3</sub>、Y<sub>1</sub>—碗水组红色碎屑岩; 6—C—P浅变质碎屑岩

\* 本研究系国家自然科学基金委员会和中国科学院高能物理研究所与上海原子核研究所核分析技术联合开放实验室资助的。

本文于 1992 年 1 月收到, 1992 年 6 月改回。

表 1 双沟蛇绿岩的 REE 丰度(ppm)  
Table 1 REE abundances of Shuanggou ophiolites

序号	编号	元素	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	ΣREE
		名称									
1	H 10-1	二辉橄橄岩	0.307	0.794	0.570	0.189	0.0683	0.0481	0.195	0.031	2.202
2	YT 368	二辉橄橄岩	0.492	1.060	0.577	0.152	0.0429	0.0420	0.233	0.040	2.639
3	YT 342	二辉橄橄岩	0.595	1.250	0.616	0.129	0.0323	0.0291	0.150	0.026	2.827
4	YT 341	二辉橄橄岩	0.917	2.300	1.480	0.418	0.128	0.102	0.334	0.051	5.730
5	H 15	方辉橄橄岩	0.826	2.350	1.380	0.309	0.0837	0.0793	0.286	0.040	5.354
6	YT 371	方辉橄橄岩	1.270	2.830	1.620	0.437	0.111	0.0893	0.313	0.038	6.718
7	H 10	异剥钙榴岩	0.478	1.770	2.400	0.980	0.429	0.347	2.280	0.336	9.050
8	H 18	异剥钙榴岩	1.380	3.500	2.930	0.882	0.362	3.060	2.320	0.391	12.070
9	H 18 CPX	单斜辉石	0.150	0.520	0.702	0.410	0.290	0.170	2.710	0.459	5.411
10	H 22-1	异剥钙榴岩	1.110	3.590	3.020	0.974	0.434	0.390	1.870	0.297	11.690
11	H 22-2	异剥钙榴岩	1.170	3.750	3.310	1.510	0.539	0.420	2.500	0.389	13.590
12	H 22-3	异剥钙榴岩	1.300	2.990	3.050	1.590	0.662	0.470	2.010	0.318	12.390
13	H 22-4	异剥钙榴岩	2.160	6.300	5.680	2.150	0.681	0.510	2.500	0.378	20.360
14	GY 43	异剥钙榴岩	15.200	36.200	5.020	1.190	0.608	0.302	3.180	0.803	62.503
15	GY 43 CPX	单斜辉石	12.200	17.200	6.220	0.812	0.399	0.222	2.970	0.512	40.54
16	SH 23	苦橄岩	7.420	17.100	10.600	3.410	1.080	0.650	2.020	0.280	44.660
17	SH 30	苦橄岩	4.890	12.100	8.790	2.470	0.866	0.486	1.620	0.240	31.460
18	M 10	玄武岩	7.810	17.100	13.600	4.170	1.690	0.931	2.800	0.421	48.572
19	YT 259	玄武岩	11.400	24.300	15.600	4.200	1.400	0.936	3.130	0.450	61.420
20	ZH 1-39	辉绿岩	12.000	25.400	17.600	5.010	1.730	1.060	2.620	0.408	65.830
21	YT 346	辉绿岩	13.200	27.500	17.300	4.810	1.690	1.060	2.950	0.404	68.720
22	YT 294	玄武岩	1.350	4.210	4.850	1.900	0.709	0.431	1.78	0.252	15.450
23	YT 284	辉绿岩	1.620	5.200	6.110	2.270	0.221	0.561	2.420	0.381	14.250
24	SH 29	辉绿岩	2.240	7.300	7.610	2.510	0.852	0.575	2.530	0.365	21.480
25	ZH 1-44	辉绿岩	5.220	14.600	13.650	4.920	1.620	1.240	5.320	0.727	42.300
26	YT 271	安山玄武岩	7.110	19.700	15.85	5.790	1.150	1.430	6.070	0.855	57.960
27	YT 324	辉长岩	1.990	5.500	5.620	2.520	1.330	0.643	2.080	0.335	20.020
28	YT 270	辉长岩	2.640	7.530	7.280	2.840	0.974	0.668	2.430	0.424	24.790
29	YT 326	闪长岩	11.100	32.800	27.100	12.400	3.240	2.850	10.600	1.650	101.740
30	H 26	闪长岩	25.000	62.800	41.700	13.300	2.440	3.010	11.100	1.630	160.980
31	ZH 1-20	英云闪长岩	36.800	95.300	60.000	17.800	2.070	4.080	20.200	3.170	239.420

岩石单元组成(图2)。研究表明,双沟蛇绿岩是滇西古特提斯蛇绿岩的典型代表之一,可能相当于哀牢山古特提斯小洋盆拉开阶段的产物<sup>[1]</sup>。近几年,我们采用中子活化分析方法对双沟蛇绿岩的各类岩石进行系统分析,对REE含量低的变质橄榄岩还进行了处理,获得较高质量的数据(表1)。

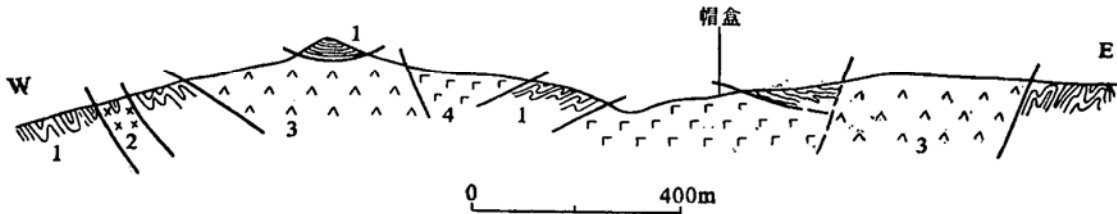


图2 双沟蛇绿岩剖面图

Fig. 2 Geological section of Shuanggou ophiolites

1—C—P强烈剪切的浅变质橄榄岩; 2—辉长岩; 3—变质橄榄岩; 4—玄武岩

## 1 岩石特征

双沟蛇绿岩中的上地幔橄榄岩大多已蛇纹石化,但叶理和线理仍可识别,部分残留有橄榄石、斜方辉石和尖晶石,具残变斑状结构。有意义的是,在变质橄榄岩(主要是斜长二辉橄榄岩)中存在地幔岩初始部分熔融现象,镜下所见的单斜辉石呈细粒聚晶状产出,已非地幔岩的组成矿物,而是由部分熔融的液滴重结晶形成的。其他如钙铝榴石、绿泥石、大部分尖晶石和少量斜方辉石,也是岩浆成因的(其中钙铝榴石是由斜长石蚀变来的,绿泥石可能是玻璃脱玻化形成的)。此外,在变质橄榄岩中还有若干白色和灰绿色的异剥钙榴岩脉,是液滴的汇聚物(已受到蚀变作用的改造),是岩浆向上运移的通道。液滴和异剥钙榴岩脉的MgO含量在23%—24%,Mg'值达0.88<sup>[1]</sup>。

辉长岩单元成分较复杂,有细粒辉长岩、辉绿岩及伟晶辉长岩等。玄武岩主要有两类:一类是致密块状,另一类含斜长石斑晶。在玄武岩中,还见到白色的闪长岩和英云闪长岩脉贯入,脉宽几厘米至30cm,这是双沟蛇绿岩分异的最后阶段的产物。英云闪长岩中锆石的U—Pb下交点年龄为256Ma,是晚二叠世生成的。T<sub>3</sub>一碗水组底砾岩中有超基性岩砾石,指示蛇绿岩是T<sub>3</sub>之前侵位的,属古特提斯蛇绿岩。

## 2 REE地球化学

### 2.1 变质橄榄岩

双沟变质橄榄岩几乎都属LREE富集型(图4),而世界大多数蛇绿岩的变质橄榄岩的REE分布主要是LREE亏损型(二辉橄榄岩)和U型分布(方辉橄榄岩和纯橄岩)。

变质橄榄岩LREE富集的原因比较复杂,存在不同的解释。碱性玄武岩中LREE富集的地幔橄榄岩,通常用二组分混合模式来解释<sup>[2]</sup>。蛇绿岩中强烈亏损的具U型REE分布的方辉橄榄岩和纯橄岩,其LREE富集部分常解释为与蛇纹石化时的蚀变作用有关。Frey对赤道大西洋St. Paul's Rocks岛附近的富LREE的含角闪石橄榄岩进行研究后,认为角闪石是

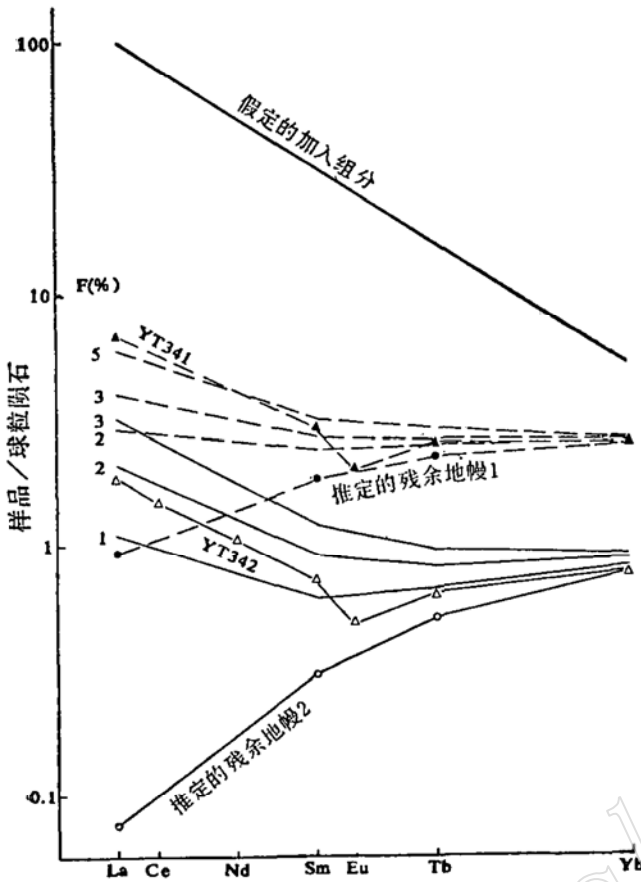


图3 二组分混合模式的近似计算

Fig. 3 Approximate calculation of two-component mixed model

对YT342号样品 ( $La_N/Yb_N = 2.6$ ) 来说, 假定它原先是LREE亏损的 ( $La_N/Yb_N = 0.1$ ), 推定的加入组分  $La_N = 100$ ,  $La_N/Yb_N = 20$ ; 对于YT341号样品 ( $La_N/Yb_N = 2.4$ ) 来说, 假定它原先也是亏损LREE的 ( $La_N/Yb_N = 0.3$ );  $F(\%)$  为计算加入的熔体的比率

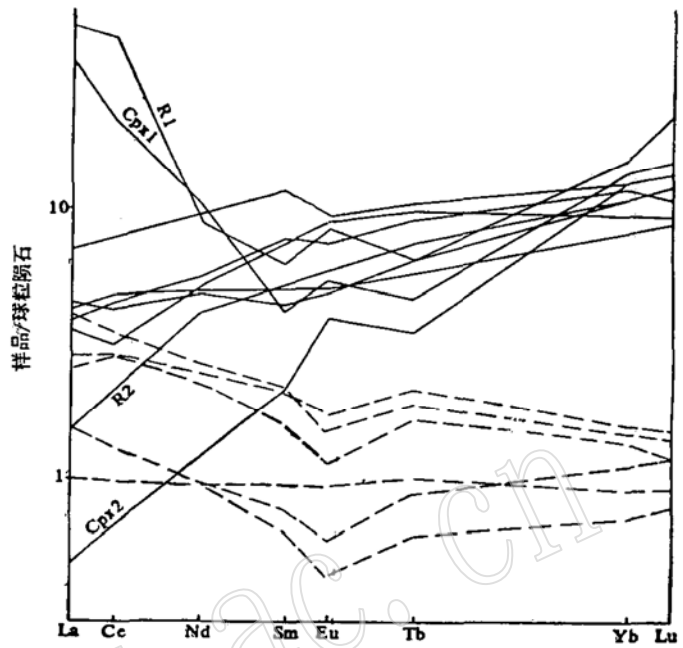


图4 变质橄榄岩、异剥钙榴岩 REE 分布型式

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of rodingite and metaperidotite

虚线为地幔橄榄岩, 实线表示异剥钙榴岩, 其中R1、Cpx1、R2、Cpx2分别代表H18(全岩)、H18中的单斜辉石、GY43(全岩)和GY43中的单斜辉石 (见表1)

由碱性玄武岩浆分离出来的, 他认为此橄榄岩不是MORB的源岩, 也不是与MORB有关的部分熔融之后的残留体, 而与碱性火山作用有关<sup>[2]</sup>。经 Downes 研究, 地幔剪切带的单斜辉石为LREE富集型。而来自剪切带外的尖晶石二辉橄榄岩的单斜辉石为 LREE亏损型。他认为这是由于富 LILE 和 LREE 的熔体进入剪切带所造成的<sup>[3]</sup>。变质橄榄岩LREE富集的另一解释可能是富含 LILE 和LREE的热液水流迁移蚀变的结果<sup>[2]</sup>。

双沟变质橄榄岩相对富集V、K、Sr、Ba、U、Th、Ti等不相容元素, 属浸染橄榄岩<sup>[4]</sup>, 其LREE富集可能是由于富 LILE 熔体加入所致, 假若如此, 则与新喀里多尼亚的斜长二辉橄榄岩 (即浸染橄榄岩) 类似。Nicolas 和Dupuy 认为, 这种浸染橄榄岩是富 LREE 的熔体加入造成的, 并以二组分混合模式加以解释<sup>[5]</sup>。据此, 我们亦可用同样的方法解释双沟变质橄榄岩的 REE 分布。假定它原先是LREE亏损的, 其  $(La/Yb)_{CN} \approx 0.1$  (A 组分), 并假定加入的组分具有碧玄岩的REE分布 ( $La/Yb)_{CN} \approx 20$  (B 组分), 如图3所示, 计算形成样品YT342的REE分布型式, 其熔体加入量 (F) 不到2%。用同样的方法, 计算形成样品YT341

的REE分布型式，加入的熔体部分约占5%。

## 2.2 液滴和异剥钙榴岩脉

从地幔岩中分离出来的液滴（由单斜辉石、钙铝榴石、尖晶石和绿泥石等为主组成）及由液滴汇聚而成的岩脉均富镁， $Mg'$ 值高达0.88，接近双沟二辉橄橄榄岩的 $MgO'$ 值（平均0.89）<sup>[1]</sup>。

液滴为LREE强烈亏损型，由液滴汇聚成的异剥钙榴岩脉有LREE亏损和U型两种型式（图4）。大多数异剥钙榴岩脉型式为LREE亏损型。这组样品的细脉和宽脉之中，其轻重稀土元素的比值，随 $\Sigma$ REE丰度的增加而增加。细脉（H10、H18）的 $\Sigma$ REE丰度为9.5—12.1(ppm)， $(La/Yb)_{cn}$ 值为0.14—0.45。宽脉（H22-1、H22-4）的 $\Sigma$ REE丰度为11.69—20.36(ppm)， $(La/Yb)_{cn}$ 值为0.29—0.58。但是各样品间的HREE分布型式基本平行， $(Tb/Yb)_{cn}$ 值在0.58—1.03之间。另一种异剥钙榴岩（GY43）的REE分布为U型，由其中分离出来的单斜辉石（图4中的 $C_{px1}$ ）的REE分布型式基本和全岩（图4中的R1）相同，说明其REE分布主要受单斜辉石控制。GY43全岩的Ba、Rb、U、Th、Hf、Zr等丰度普遍高于LREE亏损型的全岩丰度，说明富含LILE的物质的带入可能是造成REE分布U型化的原因。

在图4中，异剥钙榴岩的REE分布与双沟变质橄橄榄岩不同，这种LREE亏损型的异剥钙榴岩，是不可能从LREE富集型的地幔岩中熔离出来的，推测双沟地幔岩原先也是LREE亏损型的（如图3所示）。

## 2.3 辉长岩、闪长岩和英云闪长岩

双沟辉长岩的REE分布型式为LREE亏损型（图5）。在图5中，辉长岩与该区LREE亏损的辉绿岩及玄武岩有相似的REE分布和相当的 $\Sigma$ REE丰度，与典型蛇绿岩中的辉长岩相比，双沟辉长岩的 $\Sigma$ REE较高（表1）。在典型蛇绿岩中，辉长岩的REE含量显著低于同成因的玄武岩和辉绿岩<sup>[6,7]</sup>。野外所见，双沟辉长岩与辉绿岩密切伴生，辉长岩甚至晚于辉绿岩的侵入，可以解释辉长岩REE丰度偏高的原因。

双沟闪长岩—英云闪长岩的REE分布型式，随着 $\Sigma$ REE丰度101.7—239.4(ppm)的增加，由LREE亏损型变为LREE略富集型 $[(La/Yb)_{cn}$ 值0.71—1.52]，Eu的负异常也由弱到强 $[(Eu/Eu^*)_{cn}$ 值0.70—0.32]（图5、表1）。

双沟的闪长岩及斜长花岗岩的HREE分布型式 $[(Tb/Yb)_{cn}$ 值0.9—1.2]与该区LREE亏损的辉绿岩及玄武岩相似 $[(Tb/$

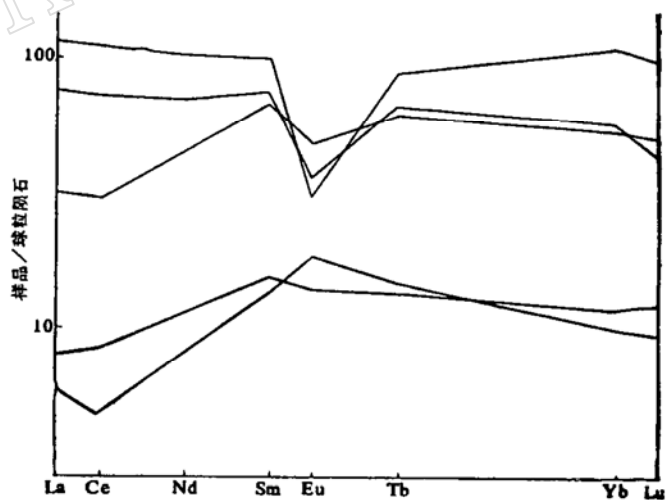


图5 辉长岩、闪长岩、英云闪长岩REE分布图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of gabbro, diorite and tonalite

图中按球粒陨石标准化的La丰度由低到高的顺序为：YT324、YT270（以上为辉长岩）、YT327、H26（以上为闪长岩）和ZH<sub>1</sub>-20（英云闪长岩）

\* $Mg' = MgO / (MgO + FeO^*)$  (原子数)

$(Yb)_{cn}$ 值1.0—1.1], 它们之间呈现出一种同源岩浆结晶分异的趋势。在典型的蛇绿岩中, 斜长花岗岩的 REE 丰度类似于该区同成因的玄武岩或略高于该区的玄武岩 (不超过球粒陨石的40倍)。如特尔多斯、坎扬山、阿曼和日喀则<sup>[6-8]</sup>, 通常认为是玄武质熔体在含水条件下部分熔融所形成的<sup>[8]</sup>。双沟斜长花岗岩的 REE 丰度高达球粒陨石的100倍, 其不相容元素 (Rb、Zr、U、Th等) 丰度也较高。野外所见, 斜长花岗岩的体积比玄武岩体积小的多。以上情况表明: 双沟斜长花岗岩可能是由玄武质岩浆分离结晶形成的。

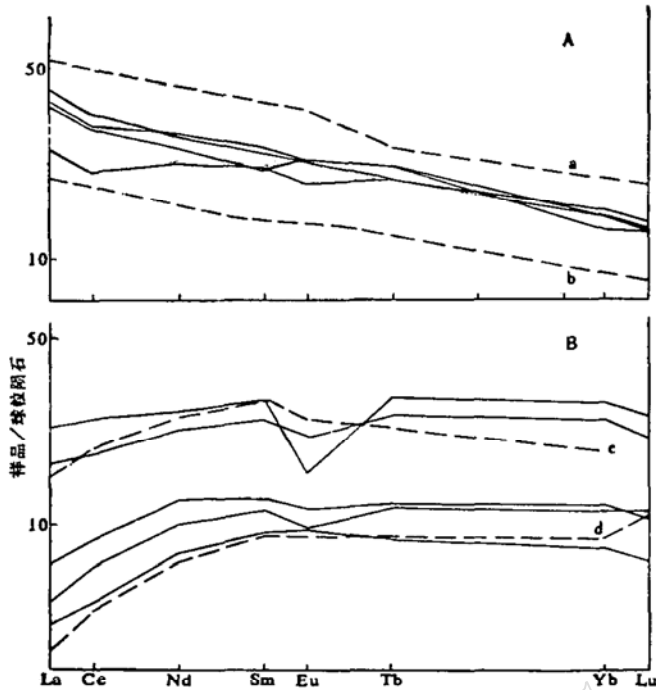


图 6 辉绿岩和玄武岩REE分布型式

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of diabase and basalt

A: 实线示双沟高Al亚组的玄武岩和辉绿岩, 虚线 a 为冰岛 (第三系) 玄武岩, 虚线 b 示大西洋中脊 39°N 拉斑玄武岩 B: 实线示双沟低 Al 亚组玄武岩、安山玄武岩和辉绿岩, 虚线 c 和 d 分别示大西洋中脊 30°N 和 60°N 拉斑玄武岩

减弱 [(La/Sm)<sub>cn</sub>值0.45—0.77], Eu也由无异常而出现负异常 [(Eu/Eu\*)<sub>cn</sub>值1.0—0.53] (图6)。高Al亚类和低Al亚类的微量元素丰度比值也不同, La/Ta、Th/Ta、Ba/La、Th/Hf的平均值分别为: 高Al组 20.8、1.64、1.0、0.25; 低Al组 16.5、1.5、3.1、0.12。它们的Ti/Sc、Ti/Y、Th/U、Th/La 的值也是前者高于后者<sup>[4]</sup>。分别相当于 E—MORB 和 N—MORB。这种情况表明, 双沟辉绿岩和玄武岩分别来自不同的地幔源区。高Al组, LREE 富集的E—MORB来自富LILE的物质加入的亏损地幔源区。低Al组, LREE 亏损的N—MORB则来自亏损的地幔源区。

### 3 讨论

双沟变质橄榄岩中的初始熔融现象具有特殊意义。本文报道的由液滴汇聚的异剥钙榴脉的REE资料, 在以往的文献中还很少见到。大部分异剥钙榴脉的 REE 分布型式为 LREE 亏损型, 其  $\Sigma$ REE 丰度比 N—MORB 低的多。这说明: (1) 液滴, 异剥钙榴岩脉是比 N—MORB 更原始的熔融物。(2) 幔源物质应是 LREE 亏损的。现在看到的变质橄榄岩具 LREE 富集型

#### 2.4 辉绿岩和玄武岩

双沟辉绿岩和玄武岩, 可以分为高 Al ( $Al_2O_3$  含量 > 16%) 和低 Al ( $Al_2O_3$  含量 < 16%) 两个亚类<sup>[4]</sup>。它们的 REE 丰度不同, 分布型式各异。高 Al 亚类的  $\Sigma$ REE 丰度 48.6—68.9 (ppm) 之间, LREE 为富集型 [(La/Yb)<sub>cn</sub> 值 1.9—3.0], Eu 异常很弱 [(Eu/Eu\*)<sub>cn</sub> 1.15—0.91] (图 6)。低 Al 亚类  $\Sigma$ REE 丰度为 15.5—58.0 (ppm), LREE 亏损型 [(La/Yb)<sub>cn</sub> 值 0.51—0.79], 随  $\Sigma$ REE 丰度增加, HREE 曲线平行上升 [(Tb/Yb)<sub>cn</sub> 值 1.0—1.07], LREE 亏损程度

式,是后期蚀变和交代作用造成的,并非地幔岩的固有特征。部分异剥钙榴岩脉的U型REE分布,也多这样解释。

双沟辉绿岩和玄武岩的REE分布,既有LREE亏损型,也有LREE略富集型,类似斐济和马里亚纳等弧后盆地的REE特征<sup>[9]</sup>。弧后盆地玄武岩(BABB)不同于MORB<sup>[10]</sup>。在弧后扩张早期阶段,与MORB相比,BABB以富LILE为特征。Sinton和Fryer指出<sup>[10]</sup>,BABB是一亏损的岩石圈源区在含水条件下部分熔融形成的。该源区在熔融之前已经经历了一次富集不相容元素的事件。他们认为,富集熔体可能来自弧后盆地之下的消减岩石圈。我们不能肯定,双沟高Al亚类是否比低Al亚类生成的更早一些,但LREE富集的高Al亚类来自富LILE的地幔源区是比较合理的,它相当于弧后盆地拉开早期阶段的裂谷环境,代表缓慢扩张的洋脊生成物。LREE亏损的低Al亚类,则可能是弧后盆地演化的成熟阶段快速扩张所形成的。

### 参 考 文 献

- 1 张旗、赵大升、李达周.云南新平县双沟蛇绿岩中地幔岩初始熔融物.岩石学报,1991,(1),1-15.
- 2 P 亨德森(编).稀土元素地球化学.田丰等译.北京:地质出版社,1989.
- 3 Downes H. Shear zone in the upper mantle relation between geochemical enrichment and deformation in mantle peridotites. *Geology*, 1990, 18: 374-377.
- 4 张旗、张魁武、李达周、吴海威.云南新平县双沟蛇绿岩的初步研究.岩石学报,1988,(1):37-48.
- 5 Nicolas A, Dupuy C. Origin of ophiolitic and oceanic lherzolites. *Tectonophy.* 1984, 110:177-187.
- 6 Coleman R G. Ophiolite, ancient oceanic lithosphere? Berlin: Springer-Verlag, 1977.
- 8 Gerlach D C, Leaman W P, Lallemand H G A. Petrology and geochemistry [of plagiogranite in the Canyon Mountain Ophiolite, Oregon. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1981, 77:82-92.
- 9 Price R C, Johnson L E, Crawford A J. Basalts of the Fiii Basin; The generation of back arc basin magmas by mixing of depleted and enriched mantle sources. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1990, 105: 106-121.
- 10 Sinton J M, Fryer P. Mariana trough lavas from 18 N; Implications for the origin of back arc basin basalts. *J. Geophys. Res.* 1987, 92:12782-12802.

## Rare Earth Element Geochemistry of Shuanggou Ophiolites from Xiping County, Yunnan Province

Huang Zhongxiang, Han Song, Dong Jinqian, Jia Xiuqin

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100080)

Zhang Qi, Zhao Dasheng

(Institute of Geology, Academia Sinica)

**Key words:** ophiolites; REE geochemistry; Yunnan

### Abstract

Exposed in the Ailaoshan ophiolite belt and typically representing paleo-tethyan ophiolites, the Shuanggou ophiolites are composed of metaperidotite, gabbro, diabase and basalt. Chemically, metaperidotite is of LREE-enriched type,



resulting probably from the metasomatism of components enriched in large-ion lithophile elements (LILE). The melt formed by partial melting of the mantle is depleted in LREE, whereas in diabase and basalt, there exist both LREE-depleted type and LREE-enriched type, with the former corresponding to N-MORB and the latter to E-MORB. It is considered that the LREE-depleted type was derived from the depleted mantle source, while the LREE-enriched type experienced an event of LREE and LILE enrichment. The REE characteristics of Shuanggou ophiolites imply that they might have been formed in a back-arc basin environment.

www.yskw.ac.cn