

山东和辽宁金伯利岩的稀土元素 地球化学特征

周秀仲 杨建民 黄蕴慧 秦淑英^①

(中国地质科学院矿床地质研究所)

主题词: 金伯利岩; 稀土元素; 地球化学

提 要: 山东和辽宁金伯利岩的稀土元素球粒陨石标准化曲线均向右倾斜, $(La/Yb)_n$ 比值为22.7—357.9, LREE/HREE比值12.4—61.3, 为轻稀土富集型。

含金刚石较富的金伯利岩 Σ REE变化范围较小, 多集中在300—600ppm之间; 贫(无)矿金伯利岩 Σ REE变化范围较大, 大多数为低于300ppm或高于600ppm。所以金伯利岩 Σ REE在寻找金刚石中可以作为重要的参考数据。

金伯利岩深源捕虏体的REE含量低, 如山东金伯利岩捕虏体 Σ REE 237.6ppm, 河北和辽宁的榴辉岩分别为55.2ppm和73.3ppm, 山东的纯橄岩捕虏体 Σ REE最低, 仅10.6ppm。

山东和辽宁的金伯利岩体均呈带状分布。按岩石的结构构造、矿物成分等特征将金伯利岩分为四类, 即斑状金伯利岩、金伯利角砾岩、金伯利凝灰岩和细粒金伯利岩。岩体按其含金刚石性分为富、中和贫(无)矿三类。

作者在研究上述金伯利岩的岩石学和岩石化学特征的同时, 发现金伯利岩的稀土元素含量与含金刚石性之间有一定的关系。

一、山东金伯利岩的稀土元素

山东金伯利岩体据其空间分布特征分为三个含矿带。I矿带的胜利1号岩管含金刚石最富, 其次是II矿带, III矿带为贫(无)矿带。三个矿带的金伯利岩稀土元素球粒陨石标准化型式如图1所示。

用等离子质谱法分析了金伯利岩的全岩稀土元素含量。部分分析结果列于表1。稀土元素地球化学参数的变化特征见表2。

图1和表2显示出, 三个矿带的金伯利岩REE球粒陨石标准化曲线均向右倾斜, I → II → III矿带, $(La/Yb)_n$ 比值依次减小, 平均值为232 → 150 → 102。 $(La/Sm)_n$ 比值也逐渐降低, 即LREE之间的分馏程度依次下降。这些都说明I矿带(胜利1号)最富LREE。LREE/HREE和 $(Gd/Yb)_n$ 比值亦呈依次降低的趋势, 而 Σ HREE逐渐增加, 表明I矿带最亏损HREE。这可能与在I矿带岩石形成过程中有富HREE的相(如石榴石)存在于残留相中有关。

^① 参加工作的还有邓楚钧、赵东高、郭月敏、李戈晶和高岩。

表1 金伯利岩的稀土元素含量 (ppm)

Table 1 REE contents in kimberlites(ppm)

序号 稀土元素	Table 1 REE contents in kimberlites(ppm)																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
La	150.90	111.50	93.76	41.03	204.90	39.60	302.80	92.71	105.40	111.40	135.90	102.80	119.30	211.00	363.40	7.21	296.30	6.39	4.02	63.64	13.77	5.94	3.62
Ce	277.30	213.00	188.70	87.65	413.70	82.70	793.00	171.80	213.60	213.70	241.80	208.50	210.30	463.20	717.50	12.67	601.20	12.83	8.18	108.30	30.25	16.01	4.05
Pr	20.31	16.34	15.22	7.70	34.64	7.38	69.25	16.14	20.04	21.09	22.25	21.16	18.06	45.43	60.06	1.22	61.28	1.53	0.98	9.04	3.16	2.35	0.37
Nd	74.51	61.38	56.77	31.57	134.90	30.85	300.50	62.89	73.81	80.08	82.98	82.19	62.47	172.70	200.20	4.21	246.40	6.84	4.14	37.96	13.04	12.48	1.30
Sm	8.54	7.52	6.18	4.26	16.19	4.30	40.37	10.07	9.27	11.18	11.07	11.84	7.76	24.55	21.66	0.76	35.81	1.40	1.00	4.79	2.84	4.04	0.24
Eu	2.30	1.86	1.58	1.10	4.03	0.98	8.44	2.69	2.45	2.81	2.96	2.83	2.00	5.76	5.52	0.20	8.64	0.38	0.31	1.68	0.67	1.44	0.34
Gd	5.23	4.73	3.35	2.49	9.55	2.88	21.10	6.93	6.14	7.28	7.46	7.75	5.39	15.37	13.09	0.66	19.93	1.03	0.75	3.77	3.49	5.12	0.38
Tb	0.74	0.57	0.32	0.42	1.48	0.46	3.58	0.45	0.30	0.55	0.47	0.49	0.38	1.12	0.67	<0.3	0.91	0.12	<0.3	0.62	0.43	0.74	0.03
Dy	2.74	2.49	1.53	1.15	4.71	1.95	11.43	2.86	2.27	3.31	3.16	3.45	2.43	6.06	4.46	0.26	5.91	0.52	0.28	3.43	2.50	3.34	0.14
Ho	0.27	0.19	0.13	0.14	0.59	0.30	1.65	0.39	0.35	0.57	0.50	0.54	0.33	1.00	0.68	<0.1	0.86	0.07	<0.1	0.66	0.52	0.68	0.02
Er	1.17	1.06	0.54	0.31	1.40	0.74	3.94	0.98	0.91	1.38	1.27	1.31	1.13	2.44	2.22	<0.1	2.44	0.19	0.19	1.60	1.23	1.52	0.05
Tm	0.15	0.12	<0.1	<0.1	0.18	0.10	0.50	0.10	0.18	0.16	0.17	0.19	0.12	0.19	0.16	<0.1	0.16	0.02	<0.1	0.34	0.16	0.19	0.02
Yb	0.43	0.42	0.21	0.19	0.72	0.60	2.47	0.53	0.43	0.77	0.68	0.76	0.62	1.10	0.85	<0.1	0.89	0.12	0.1	1.59	1.08	1.24	0.03
Lu	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.10	0.10	0.28	0.10	0.19	0.10	0.21	0.18	<0.1	0.10	0.02	<0.1	0.18	0.13	0.13	0.01
ΣREE	544.69	421.28	368.49	178.21	827.15	172.94	1559.13	368.46	435.70	454.56	510.77	443.50	430.39	950.13	1390.65	27.99	1280.83	31.46	20.55	237.60	73.27	55.22	10.57
ΣLREE	533.86	411.60	362.21	173.31	808.42	165.81	1514.36	356.30	425.02	440.26	496.96	428.87	419.89	922.64	1368.34	26.27	1249.63	29.37	18.63	225.41	63.73	42.26	29.37
ΣHREE	10.83	9.68	6.28	4.90	18.73	7.13	44.77	12.16	29.54	14.30	13.81	14.63	10.50	27.49	22.31	1.72	31.20	2.09	1.92	12.19	9.45	12.96	0.66
LREE/HREE	49.29	42.52	57.68	35.37	43.16	12.17	33.81	29.30	14.39	30.79	35.99	29.31	39.99	33.56	61.33	15.27	4.005	14.05	9.70	18.51	6.68	3.26	15.02
(La/Sm) _N	11.12	9.33	9.54	6.60	7.96	5.79	4.72	5.79	6.82	6.27	7.72	5.46	9.67	5.41	10.49	5.96	5.20	2.87	2.53	8.36	3.05	0.92	9.64
(Gd/Yb) _N	9.80	9.08	12.93	10.56	10.72	3.87	6.89	10.54	11.51	7.64	8.86	8.22	7.01	11.28	12.42	5.31	18.06	6.98	12.08	1.91	2.61	3.33	9.06
(La/Yb) _N	236.29	178.90	302.50	145.40	192.10	44.50	82.60	117.70	165.00	97.70	134.90	91.10	129.60	129.40	288.02	48.50	224.40	41.20	54.04	26.98	8.59	3.23	72.90
δEu	0.98	0.89	0.96	0.95	0.93	0.80	0.80	0.93	0.91	0.89	0.94	0.71	0.90	0.85	1.22	0.84	0.90	0.93	1.05	1.17	0.65	0.97	3.45
Eu/Sm	0.27	0.25	0.26	0.26	0.25	0.23	0.21	0.27	0.25	0.25	0.27	0.20	0.26	0.23	0.25	0.26	0.24	0.27	0.31	0.35	0.24	0.36	1.43

分析者: 地质矿产部岩矿测试技术研究所。

注: 1, 2, 3—山东胜利1号岩管; 4, 5—山东Ⅱ矿带; 6, 7—山东Ⅲ矿带; 8, 9—辽宁50号岩管; 10—辽宁51号岩管; 11, 12—辽宁42号岩管; 13—辽宁30号岩管; 14, 15—分别为辽宁复县1, 2号岩管; 16, 17—分别为辽宁1, 10号岩体; 18—河北6号岩管; 19—河南土门岩体; 20—胜利1号岩管中的金伯利岩捕虏体; 21—辽宁50号岩管中细辉岩捕虏体; 22—河北6号岩管中细辉岩捕虏体; 23—胜利1号岩管中纯橄岩捕虏体。

表2 金伯利岩稀土元素地球化学参数
Table 2 Range of REE geochemical parameters in Kimberlites

	I	II	III	IV	V	VI
ΣREE	316.6—541.7(5) (436.0) ^① (5) ^②	178.2—296.9(3) 827.2—876.6(2) (484.4)(5)	172.9—173.1(2) 939.8—1559.1(2) (711.2)(4)	210.3(1) 378.4—511.9(9) 621.3—958.5(3) (500.2)(13)	430.4—510.8(4) 912.5—1007.7(2) (633.6)(6)	464.4(1) 693.5—1399.7(3) (874.7)(4)
ΣLREE	307.6—533.9(5) (405.3)(5)	173.3—289.2(3) 808.4—856.3(2) (472.4)(5)	159.3—164.1(2) 919.8—1514.4(2) (689.5)(4)	202.7(1) 356.3—494.6(9) 601.9—927.6(3) (480.6)(13)	419.9—497.0(4) 899.1—986.8(2) (615.4)(6)	429.6(1) 680.8—1368.3(3) (850.2)(4)
ΣHREE	6.3—10.8 (8.7)(5)	4.9—40.3 (16.0)(5)	9.1—44.3 (21.7)(4)	7.6—30.9 (21.7)(13)	10.5—22.4 (16.6)(6)	12.7—34.7 (18.7)(4)
LREE/HREE ^③	34.0—57.7 (47.4)(5)	21.2—43.2 (33.1)(5)	12.2—46.1 (7.6)(4)	14.4—39.8 (28.0)(13)	36.0—40.0 (36.7)(6)	12.4—61.3 (40.2)(4)
(La/Sm) _N	7.6—11.1 (9.4)(5)	5.4—8.0 (6.9)(5)	4.6—5.8 (5.0)(4)	4.5—11.2 (6.8)(13)	5.5—9.7 (8.5)(6)	3.8—11.5 (7.8)(4)
(Gd/Yb) _N	5.5—15.4 (10.6)(5)	5.9—13.3 (10.2)(5)	3.6—18.6 (8.2)(4)	4.3—11.5 (7.4)(13)	6.3—10.7 (8.1)(6)	4.1—12.4 (9.7)(4)
(La/Yb) _N	87.0—357.9 (232.5)(5)	70.9—218.6 (150.7)(5)	31.4—251.3 (102.5)(4)	44.2—115.0 (93.9)(13)	70.0—160.9 (122.9)(6)	22.7—288 (174.2)(4)
δEu	0.75—0.98	0.82—0.97	0.80—0.96	0.77—0.99(12) 1.10(1)	0.71—0.95(3) 1.08(1)	0.79—0.89(3) 1.22(1)
Eu/Sm	0.20—0.27	0.22—0.27	0.21—0.28	0.24—0.31	0.23—0.31	0.23—0.25

①平均值; ②样品数; ③LREE为Σ(La-Eu); HREE为Σ(Gd-Lu)。

I, II, III—山东金伯利岩体的I、II、III矿带; IV—辽宁50、51号岩管; V—辽宁42、30号岩管; VI—辽宁(复县)1、2和59号岩管。

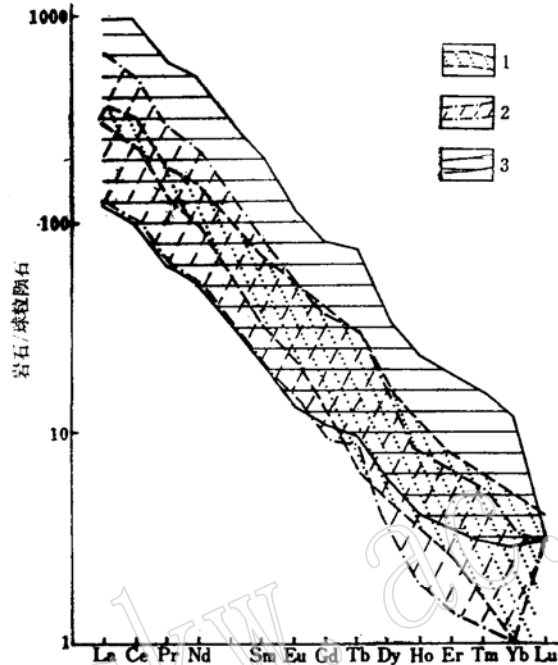


图1 山东金伯利岩 REE 球粒陨石标准化型式

Fig. 1 Chondrite-normalized REE patterns of the kimberlite from Shandong

1—I矿带(胜利1号); 2—II矿带; 3—III矿带

从 I 经 II 到 III 矿带, ΣREE 和 ΣLREE 逐渐增加且变化范围依次增大 (图1和表2)。其中 I 矿带富矿的胜利1号岩管 ΣREE 变化范围最小, 集中在 316.6—544.7ppm 之间, 平均 436.0ppm; I 矿带红旗1和27号脉中 ΣREE 分别为 531.8ppm 和 3718.8ppm, 前者含矿较富, 后者贫矿。II 和 III 矿带的 ΣREE 小于或大于 I 矿带胜利1号岩管, 变化范围较大, 如 III 矿带由 178.2—1559.1ppm, 平均 711.2ppm。

三个矿带的 δEu 值在 0.80—0.96 之间 (仅一个样为 0.75), 表明山东金伯利岩 REE 无 Eu 异常或呈极低的负 Eu 异常。Eu/Sm 值为 0.20—0.31。

二、辽宁金伯利岩的稀土元素

辽宁金伯利岩体在空间分布上虽也分为三个带, 但各带含矿的规律性不如山东明显, 为便于对比, 根据岩体含金刚石的贫富程度将辽宁 (复县地区) 的金伯利岩体分为三组: (IV) 50、51号岩管, 含矿最富; (V) 12、30号岩管, 含矿中等; (VI) ① 1、2、56号岩管和10号岩脉为贫 (无) 矿组 (详见表2)。各岩体的稀土元素含量见表1, REE 球粒陨石标准化型式如图2所示。

辽宁金伯利岩稀土元素球粒陨石标准化型式与山东相同, 均向右倾斜, 为轻稀土富集

① VI组仅据目前有限的资料和少量REE分析数据划分, 尤其对其中56号管和10号脉的含金刚石性有待进一步工作。

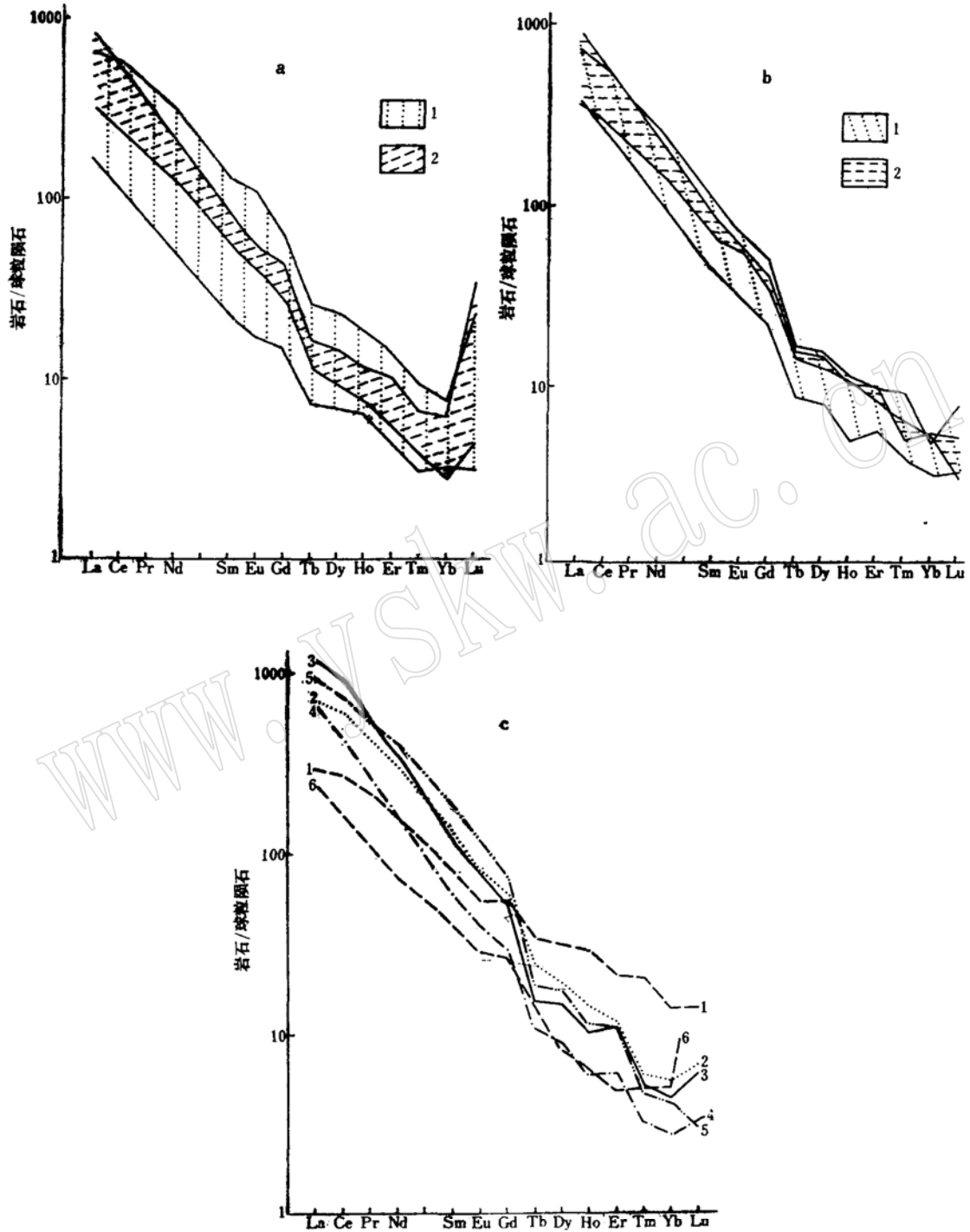


图2 辽宁金伯利岩REE球粒陨石标准化型式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of the kimberlite from Liaoning

a·1—50号; a·2—51号; b·1—42号; b·2—30号; c·1—56号; c·2—1号;
c·3—2号; c·4—10号; c·5—铁岭1号; c·6—铁岭10号

型。富矿的第IV组 ΣREE 绝大多数集中在378.4—511.9ppm之间(表2),与山东富矿的胜利1号岩管基本一致;含矿中等的第V组 ΣREE 多数在430.4—510.8ppm之间;而贫(无)矿的第VI组除56号管1个样品 ΣREE 为464.4ppm外,其余均在693.5—1390.7ppm。辽宁北部铁岭地区金伯利岩 ΣREE 变化范围更大,分析的两个样品分别为28.0ppm和1280.8ppm,与山东贫(无)矿的III矿带类似。 δEu 和 Eu/Sm 比值与山东也很接近,辽宁 δEu 值多在0.75—0.99,个别为1.08—1.22,即出现很低的正Eu异常。

从表2和图2还可以看出,由IV→V→VI组, LREE/HREE 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 和 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值均依次增大,说明第IV组HREE的富集程度及HREE之间的分馏程度较V、VI组高,与山东呈相反的变化趋势。这可能因两地金伯利岩在形成过程中残留的富HREE相多少不同而造成的。同时,山东三个含矿带是自然形成的,而辽宁的三个组是按含金刚石贫富人为划分的,各组内岩石矿物等具有一定的差异,空间上也不分布在一起,因此,辽宁金伯利岩REE的某些地球化学参数的变化特征是否具代表性还有待进一步研究。

由上述分析可见,山东和辽宁两地金伯利岩稀土元素地球化学特征基本上是一致的,但也存在一定的差异。将部分样品的 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值与SI^①值投入图3,山东胜利1号岩管样品投点落入I区,辽宁50、51、42和30号岩管的投点落入II区,二者均接近于南非金伯利岩投点区(A)。但山东(I)较辽宁(II)的金伯利岩富Mg和LREE。

除上述山东、辽宁地区金伯利岩的REE地球化学特征外,为便于对比将河北6号岩管和河南土门岩体的金伯利岩稀土元素含量列于表1。

这两个地区金伯利岩的REE含量都很低,河北的 ΣREE 为29.2—31.5ppm,河南为20.6ppm,远远低于山东和辽宁的含矿金伯利岩。由于本次分析数量少,在此不做详细讨论。

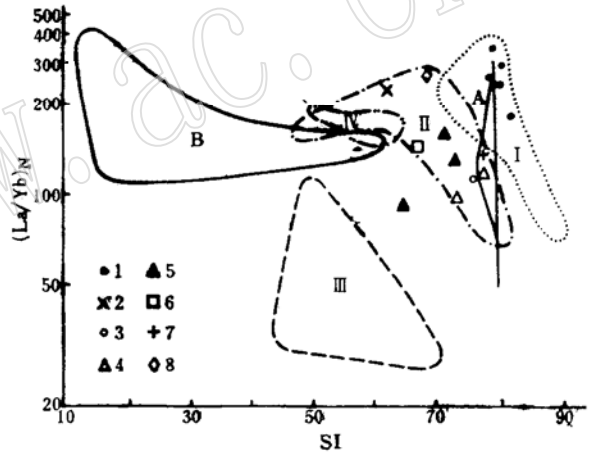


图3 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ —SI^①变异图^[1]

Fig. 3 Plot of $(\text{La}/\text{Yb})_N$ —SI

I—山东; II—辽宁; III—河南; IV—马坪
A—南非金伯利岩; B—西澳大利亚钾镁煌斑岩
1—胜利1号; 2—红旗6号; 3—50号; 4—51号;
5—42号; 6—30号; 7—1号; 8—2号
(1、2, 山东; 3至8—辽宁复县)

三、金伯利岩中深源捕虏体的稀土元素

主要对山东胜利1号岩管中的早期金伯利岩和纯橄岩捕虏体,辽宁50号岩管中榴辉岩(或石榴石辉石岩)和河北6号岩管中的榴辉岩捕虏体的稀土元素特征进行简要地讨论。这些捕虏体的REE含量都较低,其中早期金伯利岩 ΣREE 最高为237.6ppm,最低的纯橄岩仅10.7ppm,榴辉岩为55.2—73.3ppm。REE球粒陨石标准化型式(图4)仍为向右倾斜的曲

① $\text{SI} = \text{MgO} \times 100 / (\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, 下同。

线,为LREE富集型,但LREE/HREE、 $(La/Yb)_N$ 比值较低,说明轻稀土的富集程度远远低于山东和辽宁的金伯利岩体。同时,辽宁的榴辉岩捕虏体具有较显著的负Eu异常,而山东的纯橄岩捕虏体具极明显的正Eu异常($\delta Eu 3.5$)。

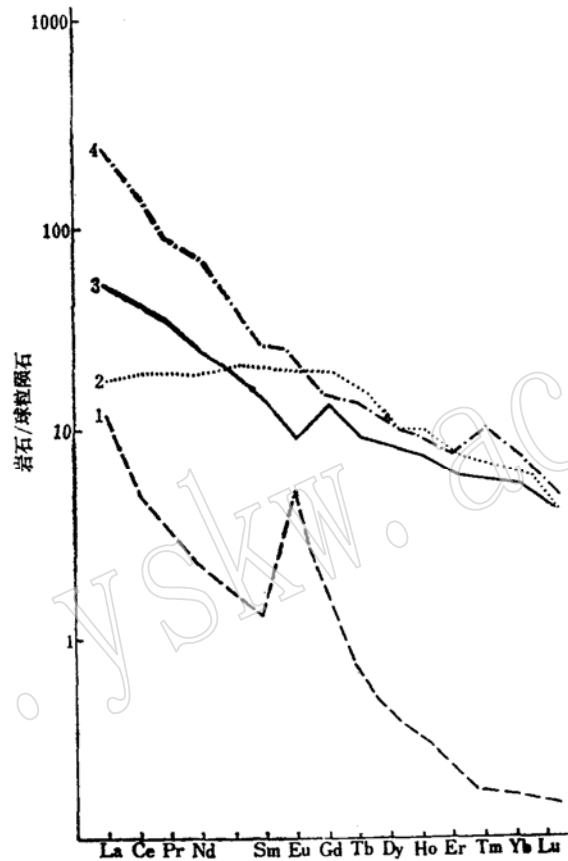


图4 金伯利岩、榴辉岩和纯橄岩捕虏体 REE 球粒陨石标准化型式
Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of xenoliths
(kimberlite, eclogite and dunite)

1—纯橄岩; 2—河北榴辉岩; 3—辽宁榴辉岩; 4—金伯利岩

由图4可见,除早期金伯利岩捕虏体外,其余的捕虏体的REE地球化学特征与金伯利岩体有较明显的差异。

四、金伯利岩的成因探讨

本文仅就金伯利岩的La/Sm—La变异特征探讨金伯利岩可能的成因,并与其他相关岩石作简要的对比。

将山东和辽宁部分金伯利岩的La/Sm比值和La的含量投入图5。

山东金伯利岩投点落在图5中斜线AB的左上方(I),辽宁金伯利岩多集中在AB线的右下方(II)。部分金伯利岩样品因La含量和La/Sm比值较I、II区高而落在与AB线大致平行

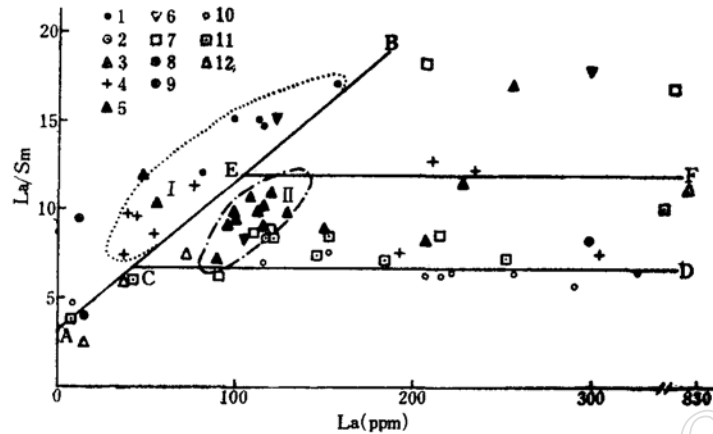
图5 La/Sm—La变异图^(1,2)

Fig. 5 Plot of La/Sm—La

1—胜利1号; 2—红旗1号; 3—红旗27号; 4—Ⅱ、Ⅲ矿带; 5—50、51和42号;
6—30号; 7—1、2、56和10号; 8—铁岭1、10号; 9—河北6号; 10—碳酸岩类;
11—煌斑岩类; 12—玄武岩类 (1—4, 山东; 5—8, 辽宁)

I—山东金伯利岩集中分布范围; II—辽宁金伯利岩集中分布范围

的右侧。所以山东、辽宁两地的金伯利岩投点基本都沿AB线方向分布, 这些金伯利岩可能为母岩部分熔融形成⁽²⁾。

将分布在山东金伯利岩外围的玄武岩、碳酸岩和煌斑岩类等有关岩石, 投入图5, 除玄武岩类落在AB线右下方, 可能与金伯利岩成因类似以外, 而碳酸岩和煌斑岩类基本沿CD线方向分布, 可能为母岩部分熔融后又经分离结晶作用而成⁽²⁾。

五、小 结

1. 金伯利岩稀土元素球粒陨石标准化曲线均向右倾斜, 为轻稀土富集型。这可能与金伯利岩为偏碱性超基性岩, 而轻稀土元素具强碱性, 易进入碱质高的岩石有关。

2. 含金刚石较富的金伯利岩 Σ REE变化范围较小, 集中在300—600ppm之间; 而贫(无)矿岩体多数小于或大于此范围, 低者仅几十ppm, 高者达数千ppm。所以 Σ REE在寻找金刚石中可作为重要的参考数据。

3. 金伯利岩中深源捕虏体(如早期金伯利岩、榴辉岩和纯橄岩)的REE含量低于含矿金伯利岩体。

4. 由La/Sm—La变异特征分析, 金伯利岩可能为母岩部分熔融形成的。

由于本次工作中测试样品数量还不够多, 上述几点看法还有待今后逐步充实、完善。

本文是“华北地台金伯利岩及相关岩石与金刚石形成关系研究”科研成果的部分内容。工作中得到辽宁省地质矿产局第六地质大队和山东省地质矿产局第七地质大队有关同志的大力支持, 稀土元素分析由地质矿产部岩矿测试技术研究所完成, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 池际尚, 1988, 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究, 中国地质大学出版社。
[2] 赵振华, 1982, 稀土元素地球化学研究方法, 地质地球化学, 第1期。

REE Geochemistry Characteristics of Kimberlites in Shandong and Liaoning, China

Zhou Xiuzhong Yang Jianmin Huang Yunhui Qin Shuying

(Institute of Mineral Deposits, CAGS)

Key words: kimberlite; REE; geochemistry

Abstract

All of the chondrite-normalized REE patterns of kimberlites from Shandong and Liaoning, incline to the right, the $(La/Yb)_N$ ratios changed from 22.7 to 357.9 and the LREE/HREE ratios from 12.4 to 61.3, belonging to LREE-rich type (Fig.1 and 2). This characteristic may be related with the LREE's strong alkalinity and easily getting into the alkaline kimberlite.

Moreover, the above kimberlites show the following REE geochemical characteristics: the $(La/Sm)_N$ ratios changed from 3.8 to 11.5, the $(Gd/Yb)_N$ ratios from 4.1 to 18.6. The δEu values changed from 0.75 to 1.22, but most of them are between 0.80 to 0.99.

The ΣREE ranges of diamond-rich kimberlites are smaller: between 300 and 600 ppm, for instance, ranging from 361.6 to 544.7 ppm in Shengli No.1 pipe, Shandong province; from 378.4 to 511.9 ppm in No.50, 51, 42 and 30 pipes, Liaoning province. The ΣREE ranges of diamond-poor or -free kimberlites are larger, and the ΣREE contents are either less than 300 ppm or more than 600 ppm (Table 2). Therefore ΣREE of kimberlite is an important parameter in diamond exploration.

The ΣREE contents of xenoliths in kimberlites are: kimberlite xenolith 237.6 ppm, eclogite 55.2 to 73.3 ppm, dunite 10.6 ppm, they are all much lower than those of diamond-rich kimberlites (Table 1). The REE patterns for kimberlites are apparently different from those of eclogite and dunite xenoliths (Fig.4).