

西藏拉萨地体榴辉岩的地球化学特征和 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素组成及其地质意义

李兆丽¹⁾, 杨经绥¹⁾, 罗立强²⁾, 李天福¹⁾, 徐向珍¹⁾, 任玉峰¹⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 国土资源部大陆动力学重点实验室, 北京, 100037;

2) 中国地质科学院国家地质实验测试中心, 北京, 100037

内容提要:最近在青藏高原拉萨地体新发现了一条榴辉岩带, 该榴辉岩带位于冈底斯岩岛弧带的北缘。对该带榴辉岩的岩石地球化学特征及 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素组成研究表明: ① 该带榴辉岩的原岩主要是一套低钾的大洋拉斑系列玄武岩, 其原岩类似于典型的 N-MORB, 源于亏损地幔; ② 该带榴辉岩样品 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70335 \sim 0.70457$, 变化范围较大, 且与 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值及微量元素特征均没有好的对应关系, 可能是由于该套岩石形成于大洋环境, 形成后遭受了海水的蚀变作用; ③ 该带榴辉岩全岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 $305.5 \pm 50\text{Ma}$ (2σ), $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i = 0.5126 \pm 0.00007$ (2σ), 表明该带榴辉岩可能形成于早石炭—晚二叠世, 在这一时期冈底斯北缘可能存在古特提斯洋盆及古特提斯洋盆深俯冲作用。

关键词: 榴辉岩 Sm-Nd、Rb-Sr 大洋俯冲 拉萨地体

拉萨地体的北界为班公—怒江缝合线, 南界为印度河—雅鲁藏布江缝合线。印度河—雅鲁藏布江缝合线大体沿雅鲁藏布江河谷分布, 该缝合线被认为代表印度板块与亚欧大陆之间新特提斯洋的最后闭合 (Allegre et al., 1984)。因此拉萨地体在青藏高原的形成与演化中占有重要位置。榴辉岩是一种在高压—超高压环境中形成的标志性岩石, 是造山带根部重要岩石组成部分, 包含有造山带形成和演化的重要信息, 对揭示板块俯冲、碰撞造山的过程具有重要意义 (Ernst and Liou, 1995; Tagiri et al., 1995; Maruyama et al., 1996; Reinecke, 1998; Zhang et al., 2002)。拉萨地体榴辉岩的发现表明该地体中可能存在一条从未认识的板块边界和可能存在板块的深俯冲作用 (杨经绥等, 2006)。因此, 对拉萨地体内新发现的榴辉岩的研究, 对探讨该地体的构造和演化及揭示青藏高原的地体构造格架和隆升的速率、机理具有重要意义。

最近, 杨经绥等 (2006) 对采自拉萨地体的 3 个榴辉岩样品进行了岩石学和矿物学基本特征的研究, 发现岩石十分新鲜且类型丰富, 矿物中保留柯石英假象, 认为可能是我国境内发现的又一条高压—

超高压变质带。但该带榴辉岩的源区是什么? 形成的构造背景如何? 目前并不清楚。因此本文拟从该区榴辉岩的岩石地球化学特征及 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素组成两方面对这些问题进行了探讨。

1 区域地质背景与榴辉岩野外产出特征

新发现的榴辉岩位于拉萨市北东方向, 产在拉萨地体变质岩带中 (图 1)。拉萨地体变质岩较发育, 主要包括以米拉山口为界的两个变质岩带, 北部的松多变质岩带与南部的日多—青稞结变质岩带。南部日多—青稞结变质岩带的受变地层有两层, 下层为结晶基底前震旦纪念青唐古拉岩群, 上层为上二叠盆地型沉积的侏罗纪—白垩纪地层。该带岩石类型主要有含石榴黑云斜长片麻岩、黑云—二长片麻岩、斜长角闪片岩、大理岩、石英岩及花岗片麻岩等。许荣华 (1986) 获得该带锆石 U-Pb 同位素原岩年龄为 1250 Ma。北部松多变质岩带主要由前奥陶纪松多岩群变质岩构成, 呈近东西向延伸。原岩主要是一套中基性火山岩、陆源碎屑岩。岩层变形强烈, 岩石类型复杂, 主要岩石类型有绿片岩、大理岩类, 白

注: 本文为中国地质调查局基础地质调查项目 (编号 1212010610107、1212010610105) 和国家自然科学基金重大国际合作项目 (40610098) 资助的成果。

收稿日期: 2007-05-10; 改回日期: 2007-12-20; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 李兆丽, 1976 年生。博士, 地球化学专业, 主要从事高压—超高压变质作用和同位素地球化学研究。Email: lizhaoli@ccsd.cn。

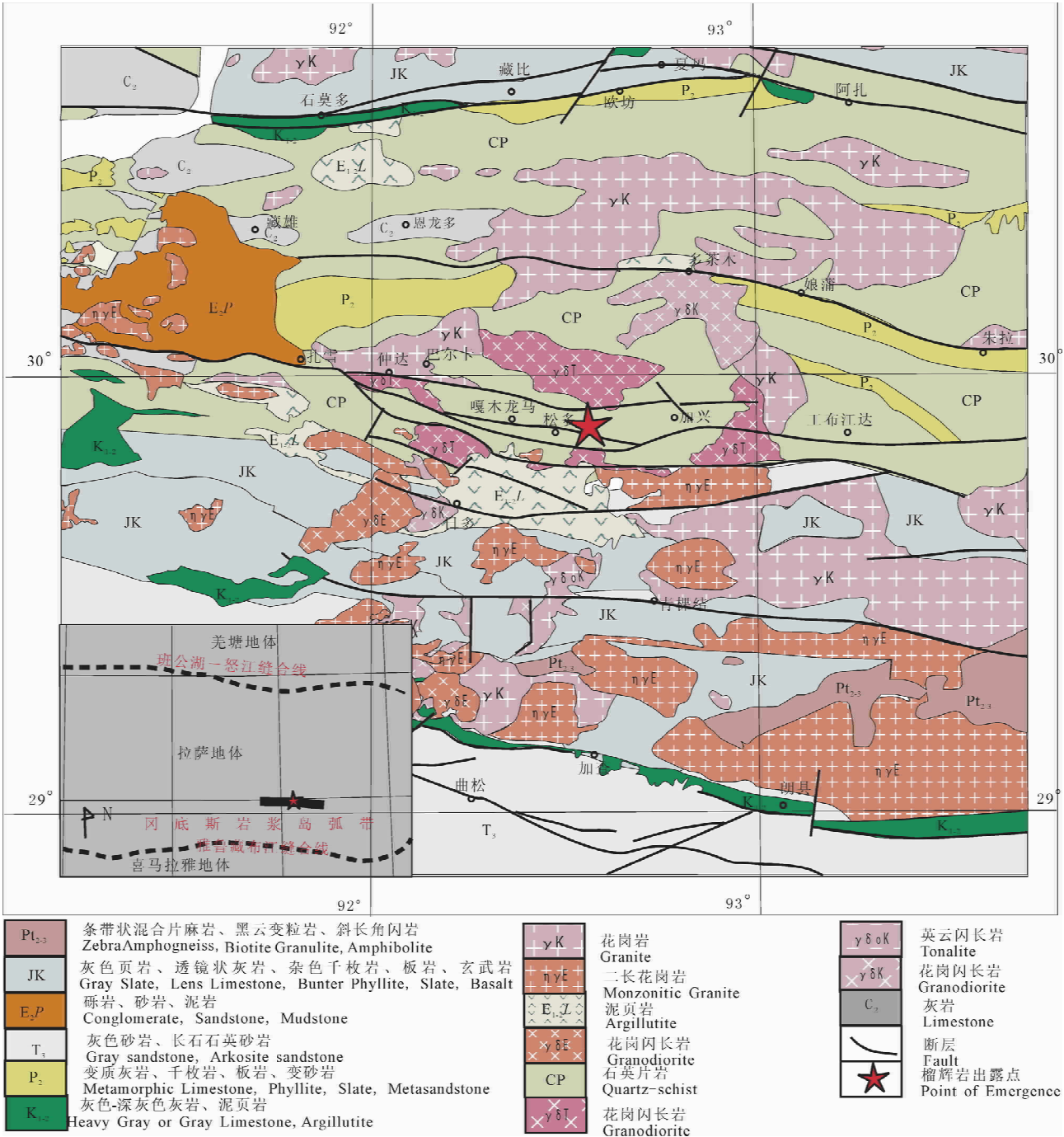


图 1 西藏拉萨地体地质图

Fig. 1 Geological map of the Lasha terrane in Tibet

云石英岩类及石英岩类。地矿部天津地质矿产研究所获得了该带绿片岩 Sm-Nd 等时线成岩年龄为 1516 Ma, Sm-Nd 等时线变质年龄为 466 Ma; 中国科学院青海盐湖所获得了该带石英片岩 Rb-Sr 等时线变质年龄为 507.71 Ma(西藏自治区地质矿产局, 1994)。

发现的榴辉岩带宽度约 500~600m, 在松多—工布江达一带、冈底斯岩浆岛弧带的北缘呈东西向

带状分布, 目前沿走向已追索出 10km, 推测带长可达数百公里以上, 主要呈块状或透镜状产于松多变质岩带的白云石英片岩中。地表出露的榴辉岩十分新鲜, 常见的岩石类型有金红石榴辉岩、石榴榴辉岩和多硅白云母榴辉岩, 主要由绿辉石、石榴石、金红石、多硅白云母等矿物组成, 锆石 SHRIMP U-Pb 同位素变质年龄为晚石炭世—早二叠世(杨经绥等, 2006)。

2 元素地球化学特征

2.1 主量元素组成及原岩性质

由表 1 可以发现,本次所测的 12 个榴辉岩样品的 SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO 和 TiO_2 含量分别为 43.43%~50.66%, 12.93%~16.87%, 6.62%~9.67%, 10.40%~14.47%, 1.11%~2.34%; K_2O 含量较低(除样品 06Y-334, 06Y-345 及 06Y-346 外),通常小于 0.1%(集中在 0.03%~0.08%)。对于 K_2O 含量相对较高的样品,如样品 06Y-334,薄片观察退变质现象明显,表明高 K 含量可能与后期的退变质流体有关。在 AFM 图(图 2)上,本次分析的榴辉岩样品都落在拉斑玄武岩系列区域内。 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解也表明(图 3),大部分样品落在玄武岩区,反映它的原岩为一套低钾拉斑系列的玄武岩。样品成分 CaO 高, K_2O 极低说明源于亏损地幔,不会是俯冲带上覆地幔楔部分熔化的产物(周金城等,2003)。

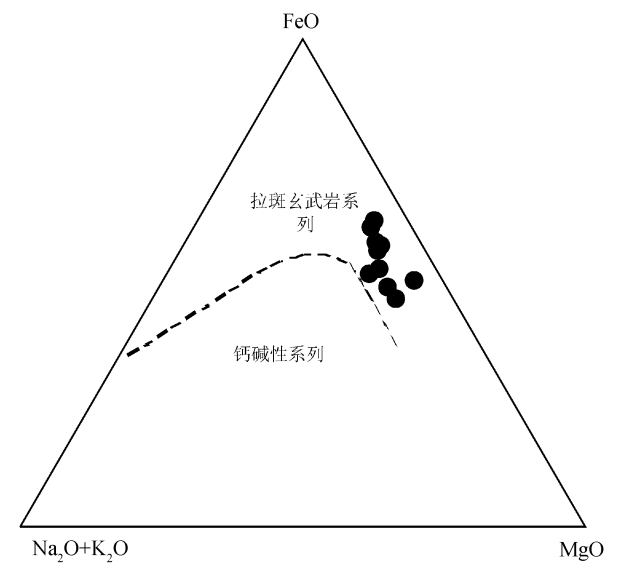


图 2 拉萨地体榴辉岩的 AFM 图解
(图底据 Irvine and Barager, 1971)

Fig. 2 AFM diagram of the eclogite from the Lasha terrane (after Irvine and Barager, 1971)

2.2 微量元素及稀土元素特征

拉萨地体中的榴辉岩 Nb 含量及 Zr/Nb 比值分别为 $(0.71\sim2.55)\mu\text{g/g}$ 和 $25.26\sim83.33$, 并且基本所有样品的 Nb 都具有负异常(图 4), 显示出与俯冲作用有关岩浆的亏损特征(张建新等,2003)。榴辉岩的 Nb/La 值较低,除样品 06Y-345 的 Nb/La=1.18 外,其余为 $0.28\sim0.95$ (基本都 ≤ 1); Ti/Y 值

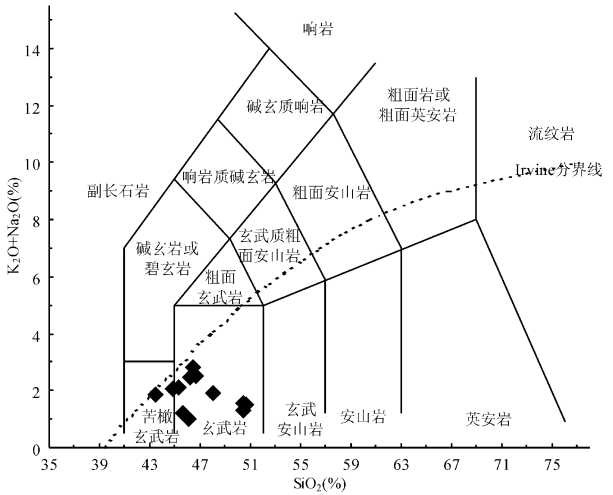


图 3 拉萨地体榴辉岩的 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解
Fig. 3 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diagram of the eclogite from the Lasha terrane

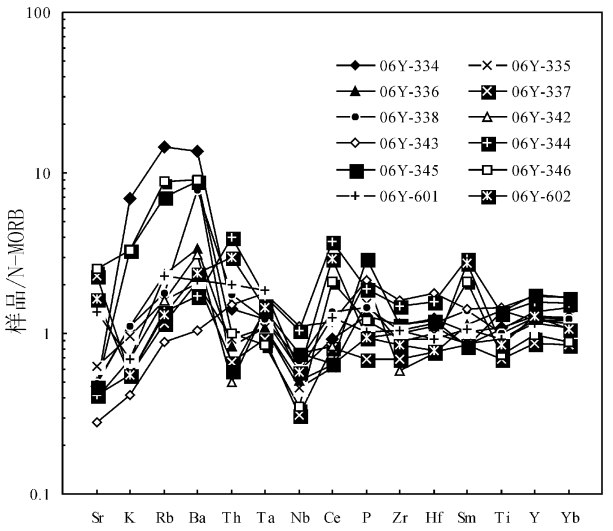


图 4 拉萨地体榴辉岩的微量元素 N-MORB 标准化曲线
Fig. 4 N-MORB-normalized trace element distribution diagram of the eclogite from the Lasha terrane

较低,除样品 06Y-342 的 $\text{Ti}/\text{Y}=401.78$, 其余为 $230.00\sim295.00$ (基本都 <350); Ta 含量较低,为 $(0.11\sim0.24)\mu\text{g/g}$, 平均为 $0.17\mu\text{g/g}$ ($<0.7\mu\text{g/g}$); Nb 含量如上所述, $<12\mu\text{g/g}$ 。通过上述数据可以把拉萨地体的榴辉岩视为 N-MORB(Holm, 1985; Le Roex et al, 1989)。另外, Ce/Nb 值为 $2.80\sim19.51$ (>2), 把它们与相似的 T-或 E-MORB 相区别; 除样品 06Y-334 的 Th/Yb 值为 0.11 外, 其他样品 Th/Yb 值为 $0.02\sim0.10$ (≤ 0.10), 把它们与成分相似的岛弧玄武岩相区别。因此, 拉萨地体新发现

表 1 拉萨地体榴辉岩的主量元素(%)、微量元素和稀土元素(μg/g)分析结果

Table 1 Major(%), trace(μg/g) and REE elements (μg/g) composition of the eclogite from the Lasha terrane, Tibet

样品	06Y-334	06Y-335	06Y-336	06Y-337	06Y-338	06Y-342	06Y-343	06Y-344	06Y-345	06Y-346	06Y-601	06Y-602
SiO ₂	46.46	46.63	46.19	46.14	50.66	44.85	50.47	50.43	43.43	45.31	45.61	48
TiO ₂	1.77	1.5	1.7	1.11	1.62	2.25	2.34	2.14	2.18	1.19	1.5	1.38
Al ₂ O ₃	14.36	12.93	13.86	16.33	14.27	14.7	13.66	13.88	15.28	16.82	15.58	16.87
Fe ₂ O ₃	3.46	3.51	3.52	2.74	1.86	3.65	2.56	2.42	2.29	4.06	12.87	11.67
FeO	8.91	8.59	9.72	7.62	10.11	10.31	11.24	10.87	11.62	6.11		
MnO	0.2	0.2	0.23	0.22	0.21	0.22	0.24	0.24	0.24	0.16	0.21	0.16
MgO	8.32	9.67	8.97	8.93	7.13	8.37	6.77	6.62	7.95	8.96	9.17	6.93
CaO	12.43	12.67	12.26	14.47	10.79	12.41	10.4	10.61	12.64	13.1	13.53	13.13
Na ₂ O	2.31	2.47	2.37	0.97	1.42	2	1.26	1.52	1.61	1.89	1.14	1.85
K ₂ O	0.5	0.07	0.08	0.04	0.08	0.05	0.03	0.04	0.24	0.24	0.05	0.04
P ₂ O ₅	0.15	0.18	0.11	0.08	0.17	0.25	0.25	0.22	0.34	0.14	0.12	0.11
H ₂ O ⁺	0.78	0.7	0.76	0.74	0.66	0.62	0.54	0.54	1.08	1.34	—	—
CO ₂	0.12	0.56	0.3	0.47	0.39	0.39	0.3	0.3	0.47	0.47	—	—
LOI	−0.06	0.36	−0.1	0.5	−0.12	−0.22	−0.46	−0.57	0.25	1.54	0.67	0.51
合计	99.71	100.04	99.97	100.36	99.25	99.85	99.6	99.26	99.62	101.33	100.45	100.65
Sr	42.1	56	44.8	204	43.6	35.8	25.4	37.2	42	226	122	147
Rb	8.1	0.89	1.31	0.65	1	0.89	0.49	0.77	3.94	4.97	1.28	0.73
Ba	86.3	12.9	21.3	13.3	49.5	19.7	6.61	10.7	55.6	57.3	13.4	15
Th	0.17	0.11	0.1	0.08	0.21	0.06	0.18	0.48	0.07	0.12	0.24	0.36
U	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	0.06	0.13	<0.05	0.06	0.07	0.1
Ta	0.16	0.14	0.14	0.12	0.16	0.18	0.23	0.22	0.18	0.11	0.24	0.19
Nb	1.35	1.06	1.16	0.71	1.57	1.73	2.55	2.38	1.74	0.81	1.36	1.31
Zr	83.4	66	74	50.8	76.9	43.7	118	109	83.3	67.5	77.6	63.3
Hf	2.53	2.06	2.29	1.56	2.37	1.54	3.62	3.25	2.48	1.9	1.9	1.59
Y	36	33.7	38.3	24	35	33.6	48	44.3	48.3	27.6	32.4	36
Co	47.8	50.4	53.1	44.7	44	49.4	59.9	46.5	47.4	44.35	62.4	50.3
Cr	247	327	328	379	131	188	109	109	155	452	317	123
Ni	86.8	141	115	135	51	85.5	73.5	50.5	60.8	143	130	72.6
Sc	47.7	42.7	46.2	39.2	43.1	48.9	46.4	44.7	50.3	40.1	48.7	45.5
Zr/Nb	61.78	62.26	63.79	71.55	48.98	25.26	46.27	45.80	47.87	83.33	57.06	48.32
Nb/La	0.66	0.77	0.77	0.38	0.49	0.95	0.92	0.28	1.18	0.17	0.48	0.20
Ti/Y	295.00	267.06	266.31	277.50	277.71	401.78	292.50	288.94	270.81	258.70	277.77	230.00
Ce/Nb	5.13	4.30	4.11	8.61	6.50	3.64	3.44	11.72	2.80	19.51	6.92	16.64
Th/Yb	0.04	0.03	0.02	0.03	0.06	0.02	0.04	0.10	0.01	0.04	0.07	0.11
La	2.05	1.38	1.5	1.85	3.21	1.83	2.76	8.61	1.47	4.63	2.81	6.47
Ce	6.92	4.56	4.77	6.11	10.2	6.29	8.78	27.9	4.88	15.8	9.41	21.8
Pr	1.23	0.86	0.88	1.06	1.75	1.15	1.52	4.72	0.87	2.82	1.51	3.62
Nd	7.06	5.16	5.14	6.05	9.96	7.08	8.79	25.8	4.97	15.8	8.14	20.3
Sm	2.66	2.27	2.22	2.24	3.68	2.96	3.71	7.73	2.19	5.53	2.79	7.18
Eu	0.95	0.9	0.87	0.95	1.32	1.24	1.26	2.25	0.96	2.26	1.02	2.69
Gd	4.21	4.18	4.24	3.26	5.01	5.15	6.2	7.71	4.95	6.37	2.44	5.18
Tb	0.86	0.85	0.89	0.61	0.92	1	1.23	1.23	1.19	0.94	0.66	1.02
Dy	6.19	5.93	6.5	4.17	6.17	6.49	8.48	7.85	8.56	5.3	4.71	5.96
Ho	1.33	1.27	1.43	0.89	1.32	1.33	1.79	1.65	1.81	1.03	1.04	1.15
Er	4.03	3.97	4.57	2.77	4.01	3.88	5.45	5.01	5.6	3.04	3.38	3.57
Tm	0.6	0.57	0.67	0.4	0.59	0.54	0.78	0.72	0.8	0.43	0.5	0.49
Yb	3.86	3.65	4.41	2.61	3.76	3.54	5.09	4.65	5.12	2.71	3.29	3.26
Lu	0.6	0.55	0.68	0.41	0.57	0.53	0.79	0.72	0.79	0.41	0.5	0.48
REE	42.6	36.1	38.5	33.4	52.5	43	56.6	106.6	44.2	67.1	42.2	83.2
(La/Yb) _N	0.38	0.27	0.24	0.51	0.61	0.37	0.39	1.33	0.21	1.23	0.61	1.42
δEu	0.86	0.88	0.85	1.07	0.94	0.96	0.8	0.88	0.86	1.16	1.16	1.27

注：表内由中国地质科学院国家地质实验测试中心完成,常量元素用X荧光光谱法测定,稀土和微量元素用ICP-MS分析。

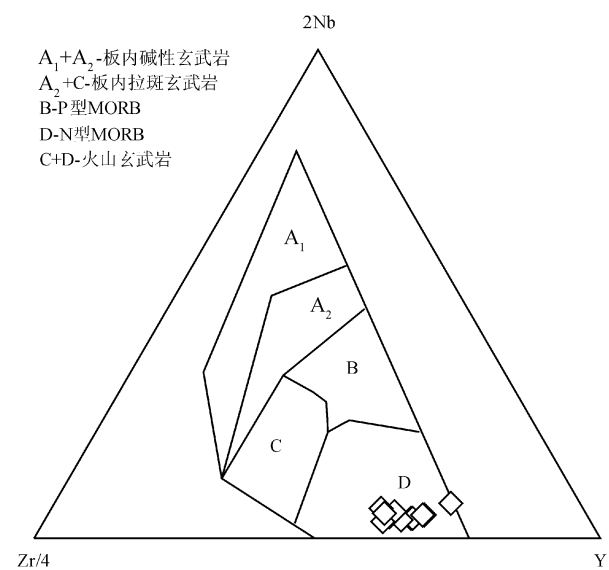


图 5 拉萨地体榴辉岩的 2Nb-Zr/4-Y 图解
(图底据 Meschede, 1986)

Fig. 5 2Nb-Zr/4-Y diagram of the eclogite from the Lasha terrane (after Meschede, 1986)

的榴辉岩具有 N-MORB 的成分属性。它们在微量元素 的 2Nb-Zr/4-Y(图 5)构造环境判别图上均位于或靠近 N-MORB 区。从微量元素的 N-MORB 标准化曲线上也可以看出(图 4),一些不相容的高场强元素如 Nb、Zr、Hf、Ti、Th 的丰度均接近 N-MORB 的丰度,说明本区榴辉岩为典型的大洋拉斑玄武岩,来自亏损的地幔源区。

研究区榴辉岩的稀土总量 $\Sigma \text{REE} = (33.4 \sim 106.6) \mu\text{g/g}$,其中大多数为 $(33 \sim 56) \mu\text{g/g}$ (见表 1)。大部分样品具有重稀土富集的稀土配分模式,类似

于典型的 N-MORB 稀土配分模式(图 6a),这与前面判定它们的原岩为大洋玄武岩的结论一致。但是,06Y-344、06Y-346 及 06Y-602 三个样品却显示出轻稀土元素略富集的配分模式(图 6b)。

3 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素组成

同位素测试工作在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素实验室完成,具体分析方法见陈福坤(2002)、牟保磊等(2001)。年龄用 Ludwig ISOPLOT 程序,采用误差 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 1\%$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.005\%$ 计算。BCR-2 为标样,由表 2 可见标样测量值与实验室测量值的重现性很好,因此该分析方法实用可靠。

对采自拉萨地体的 9 个榴辉岩样品进行了全岩的 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素分析,结果列于表 2。从图 7 可见,除样品 06Y-336 和 06Y-342 外,其余 7 个样品形成一条较好的 Sm-Nd 等时线,其对应的等时线年龄 $T = 305.5 \pm 50 \text{Ma} (2\sigma)$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始比值 $I_{\text{Nd}} = 0.5126 \pm 0.00007 (2\sigma)$, $\text{MSWD} = 1.56$ 。另外两个样品分布在等时线下方。

矿物组成特征表明,本次采集的样品为典型的榴辉岩,含有大量的高压(或超高压)变质作用的矿物(杨经绥等,2006),其全岩的 Sm-Nd 等时线年龄应该反映与变质作用有关的年龄。7 个样品具有较好的线性关系,Nd 同位素的初始比值 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ 为 $0.512624 \sim 0.512664 (305 \text{Ma})$,也非常接近,可能为同变质作用下形成的同期样品。因此本次得到的 Sm-Nd 等时线年龄可能代表了拉萨地

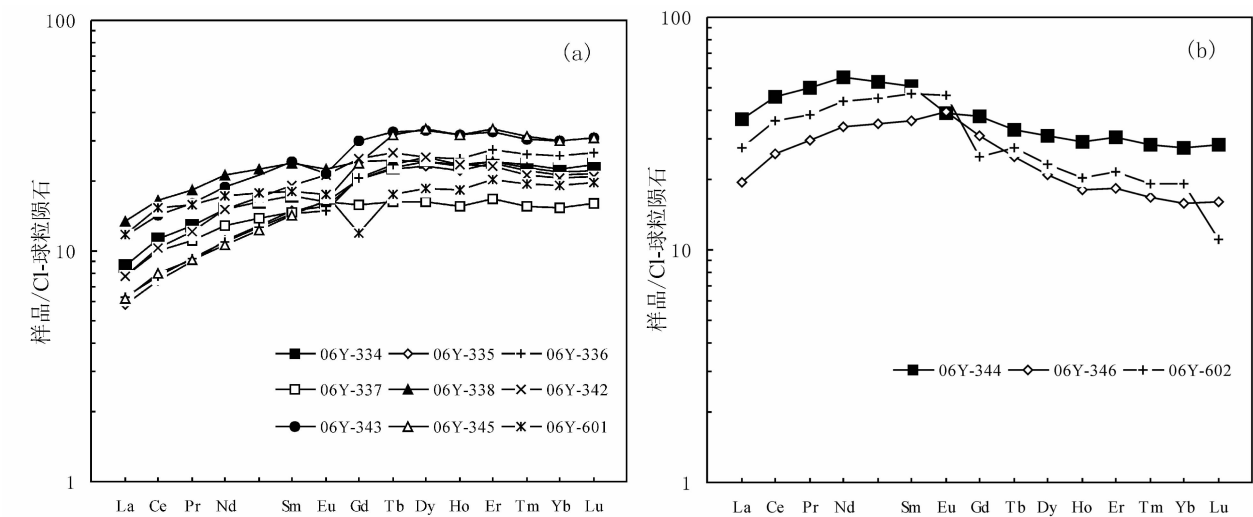


图 6 拉萨地体榴辉岩的稀土元素球粒陨石配分曲线(a 和 b)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution curves of the eclogite from the Lasha terrane (a and b)

表 2 拉萨地体榴辉岩的 Rb-Sr、Sm-Nd 含量及其同位素组成

Table 2 Rb-Sr、Sm-Nd abundance and isotopic compositions of the eclogite from the Lasha terrane

样号	Sm($\times 10^{-6}$)	Nd($\times 10^{-6}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2 σ	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$
BCR-2	6.612	28.35	0.1410	0.512683	14	—	—	—
实验室平均值	6.540	28.18	0.1403	0.512634	20	—	—	—
06Y-334	2.678	7.180	0.2255	0.513110	13	0.512660	9.2	8.1
06Y-335	2.507	5.757	0.2633	0.513164	13	0.512638	10.3	7.7
06Y-336	2.437	5.770	0.2553	0.513130	10	0.512620	9.6	7.3
06Y-337	2.642	6.985	0.2287	0.513081	14	0.512624	8.6	7.4
06Y-342	3.413	8.428	0.2448	0.513147	15	0.512658	9.9	8.1
06Y-343	4.136	9.826	0.2545	0.513172	15	0.512663	10.4	8.2
06Y-344	9.018	30.48	0.1788	0.513000	14	0.512643	7.1	7.8
06Y-345	2.324	5.310	0.2646	0.513177	13	0.512649	10.5	7.9
06Y-346	6.114	17.71	0.2087	0.513081	12	0.512664	8.6	8.2
样号	Rb($\times 10^{-6}$)	Sr($\times 10^{-6}$)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2 σ	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	$\epsilon_{\text{Sr}}(0)$	$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$
BCR-2	45.80	343.6	0.3855	0.704959	14	—	—	—
实验室平均值	45.49	340.0	0.3870	0.704995	20	—	—	—
06Y-334	7.391	43.63	0.4901	0.705478	13	0.70335	13.9	-11.2
06Y-335	0.6379	59.23	0.0311	0.704097	13	0.70396	-5.7	-2.6
06Y-336	3.014	48.54	0.1796	0.704293	14	0.70351	-2.9	-8.9
06Y-337	0.6606	261.8	0.0073	0.703650	13	0.70362	-12.1	-7.4
06Y-342	0.7946	38.52	0.0597	0.704011	13	0.70375	-6.9	-5.5
06Y-343	0.3299	28.63	0.0333	0.703574	15	0.70343	-13.1	-10.1
06Y-344	0.6239	39.61	0.0456	0.703720	15	0.70352	-11.1	-8.8
06Y-345	3.731	46.25	0.2333	0.704945	15	0.70393	6.3	-3.0
06Y-346	4.686	252.7	0.0536	0.704799	15	0.70457	4.2	6.0

体高压(超高压)榴辉岩相的形成年龄。该年龄与拉萨地体榴辉岩的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素晚石炭世—早二叠世的变质年龄(242.4±15.2Ma~291.9±12.8Ma)比较吻合(杨经绥等,2006)。

由图 8 可见,除样品 06Y-334 外,所有样品都落在低 Rb/Sr,高 Sm/Nd 的亏损源区,表明这种玄武质岩石的源区确实是亏损的,与前人研究的我国典

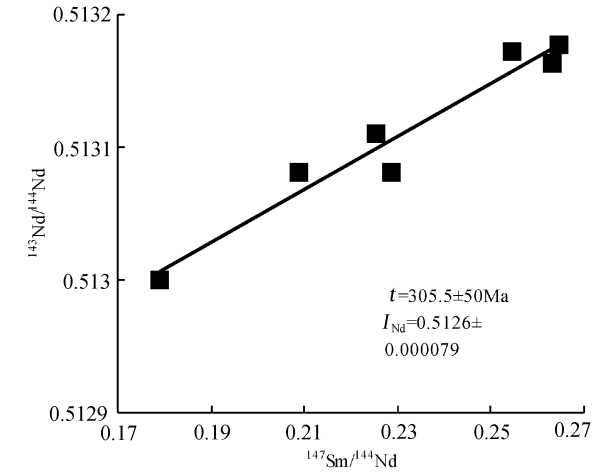


图 7 拉萨地体榴辉岩的 Sm-Nd 等时线图解

Fig. 7 Sm-Nd isochron of the eclogite from the Lasha terrane

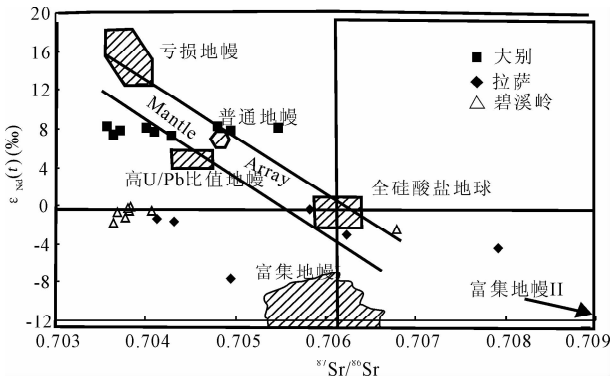


图 8 拉萨地体榴辉岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 图解(图底据 Zindler and Hart, 1986;大别数据引自 Ames et al, 1996;碧溪岭数据引自 Chavagnac and Jahn,1996)

Fig. 8 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ diagram of the eclogite from the Lasha terrane (after Zindler and Hart, 1986; the data of Dabie from Ames et al, 1996. the data of Bixiling from Chavagnac and Jahn, 1996)

型陆壳俯冲成因的大别及碧溪岭地区榴辉岩的源区(Ames et al,1996; Chavagnac and Jahn,1996)明显不同(大别榴辉岩的源区因采样点不同源区也不同,碧溪岭榴辉岩的原岩为基性的侵入岩)。拉萨地体榴辉岩具有较接近且高的 $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$ 正值,与法国

Armorican 杂岩体和西班牙 Cabo Ortegal 杂岩体榴辉岩的 Nd 同位素组成相类似,表明榴辉岩的原岩形成于大洋环境并且经过了俯冲作用(Bernard and Cornichet, 1985)。上述亏损及原岩特征与前面微量元素所表现出来的相一致。

O'Nions 等研究表明(O'Nions et al, 1978), 洋底玄武岩的蚀变会使其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值增加但不会明显影响其 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值。拉萨地体榴辉岩 ϵ_{Nd} (305Ma) 值(+7.9) 表现为洋壳特征, 而($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i = 0.70335~0.70457, 比值较高且变化范围较大(图 8), 与 ϵ_{Nd} 值及微量元素特征没有好的对应关系。这可能是由于岩石形成于大洋环境, 形成时经过海底蚀变导致 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值较高, 形成后经受了海水的蚀变, 扰乱了 Rb-Sr 同位素体系, 导致 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 及 ϵ_{Sr} (305Ma) 较大的变化范围。样品 06Y-334 的 Sr 同位素变化尤为明显, 这与其退变质较强的现象相一致。

4 地质意义

(1) 岩石地球化学研究表明, 拉萨地体新发现榴辉岩的原岩主要为低钾大洋拉斑玄武岩。

(2) 新发现的榴辉岩所有样品的 Nb 基本上都具有负异常, 显示与俯冲作用有关岩浆的亏损特征, 类似于典型的 N-MORB。

(3) 拉萨地体中榴辉岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 $305.5 \pm 50\text{Ma}$ (2σ), 可能代表了该地体高压(超高压)榴辉岩相的形成年龄。

(4) 榴辉岩的形成年龄、微量元素特征及 Sr-Nd 同位素组成, 说明拉萨地体榴辉岩属于大洋玄武岩(深)俯冲变质成因。

(5) 该区榴辉岩位于冈底斯岩浆岛弧带的北缘。榴辉岩的地球化学及形成年龄表明, 晚石炭纪一早二叠纪, 在冈底斯北缘可能存在古特提斯洋盆及古特提斯洋盆深俯冲作用, 并且本区榴辉岩在经受高压或超高压变质期间可能存在海底蚀变作用, 而且形成后经受了海水的蚀变。

参 考 文 献

陈福坤. 2002. 麻粒岩的石榴石 Sm-Nd 和 U-Pb 同位素体系: 欧洲华力西造山带记实. 科学通报, 47(11): 864~868.

牟保磊, 邵济安, 储著银, 等. 2001. 河北矾山钾质碱性超镁铁岩-正长岩杂岩体 Sm-Nd 年龄和 Sr、Nd 同位素特征. 岩石学报, 17(3): 358~365.

西藏自治区地质矿产局. 1994. 中华人民共和国区域地质调查报告, 1: 200 000, 下巴淌(沃卡)幅: 1~288.

许荣华, 成忠礼, 桂训唐, 等. 1986. 西藏聂拉木群主变质时代的讨论. 岩石学报, 2(2): 13~22.

杨经绥, 许志琴, 耿全如, 李兆丽等. 2006. 中国境内可能存在一条新的高压/超高压(?)变质带——青藏高原拉萨地体中发现榴辉岩带. 地质学报, 8(12): 1787~1792.

张建新, 万渝生, 孟繁聪, 等. 2003. 柴北缘夹榴辉岩的片麻岩(片岩)地球化学、Sm-Nd 和 U-Pb 同位素研究——深俯冲的前寒武纪变质基底?. 岩石学报, 19(3): 443~451.

周金城, 王孝磊, 邱检生, 等. 2003. 南桥高度亏损 N-MORB 的发现及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 22(3): 211~216.

Allegre C J, Courtillot V, Tapponnier P, et al. 1984. Structure and evolution of the Himalayan-Tibet orogenic belt. Nature, 307: 17~22.

Ames L, Zhou G Z, Xiong B C. 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons. Central China Tectonics, 15: 472~489.

Bernard-Griffiths J, Cornichet J. 1985. Origin of eclogites from south Brittany, France: A Sm-Nd isotopic and REE study. Chem Geol, 52: 185~201.

Chavagnac V, Jahn B M. 1996. Coesite-bearing eclogites from the bixiling complex, Dabie Mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implication. Chem Geol, 133: 29~51.

Ernst W G, Liou J G. 1995. Contrasting plate-tectonic styles of the Qinling-Dabie-Sulu and Franciscan metamorphics, Geology (Boulder), 23(4): 353~356.

Guillot S, Lardeaux J M, Mascle G. 1995. Un nouveau témoin d'un métamorphisme de haute pression dans la chaîne Himalayenne: les eclogites rétro-morphosées du Dome du Tso Moriri (East Ladakh, Himalaya). C R Acad Sci Paris, 32(a): 931~936.

Holm P E. 1985. The geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hydromagmatic elements: abundances of tholeiitic basalts and basaltic andesites. Chem. Geol, 51: 303~323.

Irvine T N, Barager W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Science, 8: 523~548.

Le Fort P, Guillot S, Pecher A. 1997. High pressure metamorphic belt along the Indus suture zone of NW Himalaya: new discoveries and significance. C R Acad Sci Paris, 325: 773~778.

Le Maitre R W. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell, Oxford, 193.

Le Roex A P, Dick H J B, Fisher R L. 1989. Petrology and geochemistry of MORB from 25°E to 46°E along Indian Ridge: evidence for contrasting style of mantle enrichment. J. Petrol, 30: 947~986.

Maruyama S, Liou J G, Terabayashi M. 1996. Blueschists and eclogites of the world and their exhumation. Int. Geol. Rev., 38: 490~596.

Meschede M. 1986. A method of discriminating between different

- types of mid-ocean ridge basalt and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56: 207~218.
- ONions R K, Carter S R, Cohen R S, et al. 1978. Pb, Nd, Sr isotopes in oceanic ferromanganese deposits and ocean floor basalts. *Nature*, 273: 13~15.
- Pognant U, Spencer D A. 1991. First record of eclogites from the Himalayan belt, Kaghan valley, Northern Pakistan. *Eur J mineral*, 3: 613~618.
- Reinecke T. 1998. Prograde high to ultrahigh-pressure metamorphism and exhumation of oceanic sediments at Lago di Cignana, Zermatt-Sea zone, western Alps. *Lithos*, 42: 147~189.
- Rollinson H R. 1993. Using geochemical data: Evaluation, Presentation, and Interpretation; New York, John Wiley and Sons, 237.
- Tagiri M, Bakirov A, Nakajima T, Uchiumi S. 1995. Mineral parageneses and metamorphic P-T paths of ultrahigh-pressure eclogites from kyrgyzstan Tien-shan, The Island Arc, 4: 280~292.
- Tonarini S, Villa I, Oberli F. 1993. Eocene age of eclogite metamorphism in Pakistan Himalaya; implication for India-Eurasian collision. *Terra Nova*, 5: 13~27.
- Zhang L., Ellis D J, Jiang W. 2002. Ultrahigh-pressure metamorphism in western Tianshan, China; Part I. Evidence from inclusions of coesite pseudomorphs in garnet and from quartz exsolution lamellae in omphacite in eclogite. *American Mineralogist*, 87: 853~860.
- Zindler A, Hart S R. 1986. Chemical geodynamics. *Annu Rev Earth Planet Sci*, 14: 493~571.

Geochemical Characteristics, Sm-Nd and Rb-Sr Isotopic Compositions of Newly-discovered Eclogite in the Lasha Terrane, Tibet and Their Geological Significance

LI Zhaoli¹⁾, YANG Jingsui¹⁾, LUO Liqiang²⁾, LI Tianfu¹⁾, XU Xiangzhen¹⁾, REN Yufeng¹⁾

1) *Key Laboratory for Continental Dynamics, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*; 2) *National Research Center for Geoanalysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract

Lhasa eclogite belt was newly discovered in the Lhasa terrane, Tibet. It is located in the north of the Gangdese island arc belt. Geochemical characteristics, Sr-Nd isotopic compositions and Sm-Nd isotopic chronology of the eclogites were analysed in this study. The major element compositions and relatively high $\epsilon_{\text{Nd}}(305\text{Ma})$ of about +7.9 for the eclogites suggest that the protoliths of eclogites are ancient basaltic rocks developed in the ocean crust, similar to the typical N-MORB, and likely derived from the depleted mantle. The $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ of the eclogites vary over a wide range, from 0.70335~0.70457, which is not closely relevant to the $\epsilon_{\text{Nd}}(305\text{Ma})$ and trace elements. We favor that this irrelevance may be due to the ocean environment of these eclogites and, later the protoliths underwent alteration by sea water after its formation. The whole rock Sm-Nd age of 305.5 ± 50 Ma may indicate that the eclogite is likely formed during Early Carboniferous to Late Permian, during which there likely existed ancient Tethys ocean and its subduction at the north margin of the Gangdese.

Key words: eclogite; Sm-Nd; Rb-Sr; subduction of the oceanic slab; Lasha terrane