

文章编号:1000-4734(2002)02-0107-06

青藏高原北羌塘半岛湖新生代粗面玄武岩橄榄石电子探针和激光探针分析

赖绍聪¹ 伊海生² 刘池阳¹ O'Reilly S Y³

(1. 西北大学 大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学 地质系, 陕西 西安 710069;

2. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 3. 澳大利亚 Macquarie 大学 GEMOC 国家重点实验室, 悉尼 2109)

摘要:利用电子探针和激光探针剥蚀系统(LA-ICP-MS),对北羌塘新第三纪粗面玄武岩中的橄榄石主元素和微量、稀土元素进行了系统分析。结果表明,本区橄榄石 Fo 平均为 88,属贵橄榄石种属。相对富集 Ni、Co 和重稀土,而强烈亏损轻稀土及 Rb、Sr、Ba、Zr 等大离子亲石元素。其稀土元素配分型式与粗面玄武岩全岩稀土配分型式呈互补状态。

关键词:橄榄石;常量及微量元素;新生代火山岩;北羌塘

中图分类号: P578.94⁺2; P588.14⁺3 **文献标识码:** A

作者简介:赖绍聪,男,1963年,教授(博士后),岩石学及地球化学专业。

1 区域地质背景

羌塘—冈底斯位于青藏高原的核部,是我国目前研究程度相当低的地区之一,对该区的研究具有重要意义。羌塘北部新第三纪火山岩较为发育,在自色哇、雅根错—多尔索洞错—太平湖—多格错仁、兹格丹错—尕尔—祖尔肯乌拉山—西金乌兰湖—雁石坪等地均有分布,主要见于羌北地层分区的新第三纪石坪组。这些火山岩产状为熔岩被,与下伏的地层呈明显的角度不整合接触关系,火山岩呈厚 50~200 m 的熔岩被覆盖在第三纪纳纳湖组(N_1s)或侏罗纪雁石坪组(J_2ys)之上,为陆相中心式喷发的溢流火山岩。岩石类型以熔岩为主,偶见火山碎屑岩。这些火山岩与羌塘前第三纪沉积地层呈一种超覆关系,或在火山中心呈侵入关系。近年来,国内外学者已就青藏高原新生代火山岩作了大量研究,识别出超钾质、钾玄岩系和高钾钙碱岩系三个火山岩系列,并对超钾质和钾玄岩系的岩石地球化学、同位素特征和岩石成因进行了深入探

讨^[1~13]。然而,青藏高原新生代火山岩中专题性和深入的矿物学研究非常薄弱,特别是造岩矿物痕量元素和稀土元素的精确测定结果以及对造岩矿物痕量及稀土元素富集规律、演化趋势和特征的专题研究还属空白。本文利用电子探针和激光探针剥蚀系统(LA-ICP-MS)对北羌塘新第三纪粗面玄武岩中的橄榄石进行了主元素和微量、稀土元素的系统分析测定,并重点讨论了橄榄石类型及其微量和稀土元素特征,这将有助于推动该区的火山岩研究工作。

2 样品及分析方法

样品取自北羌塘半岛湖。岩石呈深黑色,斑状结构,块状构造,气孔发育,十分新鲜,无任何后期蚀变和交代现象。斑晶矿物主要有橄榄石、斜方辉石和单斜辉石。橄榄石呈卵圆形或不规则它形粒状,无解理,裂纹发育,高正突起,一级黄绿、橙红鲜艳干涉色,颗粒新鲜,无蚀变或基本无蚀变现象,含量约 5%;斜方辉石高正突起,自形柱状或半自形粒状,柱面见一组不完全解理,横切面见两组典型的辉石式解理,交角近 90°,一级黄、橙黄干涉色,平行消光,含量约 5%~7%;单斜辉石高正突起,一级黄绿、兰绿、桔红鲜艳干涉色,柱面斜消光,最大消光角约 47°,含量约 5%。岩石基质具典型的间粒结构,不规则排列的斜长石长条

收稿日期:2001-09-28

基金项目:国家自然科学基金(批准号:40072029);国土资源部 146C002001(乌兰乌拉湖)1:25 万区域地质调查项目(批准号:2001300009281);澳大利亚 GEMOC 国家重点实验室资助项目

状微晶组成的间隙中,充填若干粒状辉石和磁铁矿细小颗粒。

根据镜下观察并结合 Lai03 号样品 ($\text{SiO}_2 = 48.25\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6.38\%$) 和 Lai15 号样品 ($\text{SiO}_2 = 50.33\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7.22\%$) 全岩化学成分分析结果,定名为粗面玄武岩。

样品制备和分析过程可以归纳为以下几个步骤:将岩石磨制成标准激光探针片(厚约 $100\ \mu\text{m}$)。偏光显微镜下对岩石薄片进行初步观察。由于激光探针片较普通薄片厚度大,因而显微镜下所呈现的矿物颜色、多色性、干涉色等光学性质均与光性矿物学标准参数不同,这为准确鉴别斑晶矿物的种属增加了难度。因此,我们观察的目的主要是斑晶形态、蚀变程度、裂纹及解理发育程度、斑晶矿物的粒度等。为了进一步弄清岩石结构及斑晶矿物分布图象,我们拍摄下岩石薄片的 18 表面形貌图象,并结合镜下观察进一步圈定拟测斑晶矿物颗粒及分析点位置。将岩石薄片放入激光探针分析仪样品室,用激光束分别在薄片左上角和右下角击打两个剥蚀坑。取下薄片,将其放入数码显微镜载物台,首先找到左上角和右下角的两个剥蚀坑,分别将其置于显微镜十字丝中心,并让计算机分别将其设定为 X 和 Y 两个起始坐标点。利用 18 薄片形貌图象,在数码显微镜下找到拟测矿物分析点,计算机记录下分析点相对于 X 和 Y 点的坐标参数值。重复这一过程,直至记录下全部分析点坐标。将坐标参数文件拷贝到激光探针分析仪控制电脑中,放入薄片,手动操作找到 X 和 Y 点并确认。

激光探针分析仪自动测定各待测点。类似的方法进行电子探针分析。不同之处在于,电子探针控制电脑将自动找到各分析点的激光探针剥蚀坑中心位置。这时需利用手动操作柄和监视屏,轻微移动薄片,至剥蚀坑边缘光滑平整的待测矿物表面,然后进行测定。

激光探针分析使用 PE 公司 Elan 6100-LA-ICP-MS 仪器,激光束斑直径采用 $100\ \mu\text{m}$ 。电子探针对应点分析使用法国 SX50 型仪器;利用电子探针获得的矿物主元素含量值对相应点激光探针分析结果进行校正,最终获得被测矿物常量及微量、稀土元素分析结果。全部实验工作均在 Macquarie 大学 GEMOC 国家重点实验室完成。

3 结果与讨论

3.1 橄榄石主元素特征

本区橄榄石电子探针分析结果列于表 1。从中可以看到,所有分析点化学成分都比较接近,各种氧化物的含量变化幅度较小。比如, SiO_2 的范围是 $37.94\% \sim 40.76\%$,平均 39.98% ; $\text{FeO}(\text{T})$ 范围是 $10.58\% \sim 17.09\%$,平均 11.97% ; MgO 范围是 $40.09\% \sim 48.30\%$,平均 47.17% ;其 Fo 介于 $81 \sim 90$ 之间,平均 88,均属贵橄榄石种属。

橄榄石是基性、超基性岩中的重要铁镁矿物之一,从玄武岩中晶出较早且结晶期较长。橄榄石的成分除与岩石总体成分有关外,还受母岩浆中铁含量的影响^[14]。一般随着岩浆演化作用进行,岩浆中 MgO 逐渐减少, FeO 相对增加,所以形成的橄榄石中 Fo 分子也相对减少。表 1 中 Lai03 号粗面玄武岩橄榄石斑晶边部相对于核部富 Fe , Mn 、 Ca 、 Na 也略高,说明在橄榄石结晶过程中,岩浆逐渐向贫镁、富铁的方向演化,这与岩浆的正常演化趋势相吻合。然而,需要指出的是,由于我们只获得一组斑晶边部的分析数据,它所反映的橄榄石成分变化趋势是否具有代表性,尚待进一步的研究查明。

3.2 橄榄石微量元素特征

橄榄石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ 化学组成中 Mg 、 Fe 为一完全类质同象系列。由于其成分和结构比较简单,因而其次要类质同象不发育。组成中次要类质同象代替主要有 Fe^{3+} 、 Mn 、 Ca 、 Al 、 Ti 和 Ni 等。从本区橄榄石激光探针(LA-ICP-MS)分析结果(表 2)可以看到, Ni 具有很高的丰度值 ($1847 \times 10^{-6} \sim 3781 \times 10^{-6}$, 平均 3243×10^{-6}), 大大高于橄榄石赋存母岩(粗面玄武岩)中 Ni 的丰度值 (212.68×10^{-6} 和 257.04×10^{-6}), 这和 Ni 与 Fe 、 Mg 之间的广泛类质同象替代有关,说明橄榄石是粗面玄武岩中 Ni 元素的重要富集矿物相之一。由于 Cr 、 Co 和 Ni 均为典型的铁族元素,地球化学性质相似,在岩浆岩中通常富集于超基性和基性岩中^[15]。本区橄榄石中, Cr ($218.09 \times 10^{-6} \sim 360.4 \times 10^{-6}$, 平均 278.61×10^{-6})、 Co ($148.58 \times 10^{-6} \sim 187.36 \times 10^{-6}$, 平均 161.08×10^{-6}) 成为仅次于 Ni 的高含量元素。

表 1 北羌塘半岛湖新第三纪粗面玄武岩橄榄石电子探针分析结果(%)

Table 1. The electron microprobe analyses of the olivine in Neogene trachybasalt from the Bandaohu area , northern Qiangtang													
序 号	Ol-1	Ol-2	Ol-3	Ol-4	Ol-5	Ol-6	Ol-7	Ol-8	Ol-9	Ol-10	Ol-11	Ol-12	Ol-13
样 号	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15
SiO ₂	39.67	37.94	40.16	40.06	40.39	40.10	40.08	39.70	39.58	40.19	40.76	40.33	40.74
TiO ₂	0.00	0.02	0.01	0.01	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.01	0.16	0.03	0.00	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.04	0.00	0.02	0.02
Cr ₂ O ₃	0.06	0.03	0.00	0.09	0.00	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.08	0.07	0.05
FeO	11.41	17.09	12.33	11.88	11.44	11.25	11.81	11.59	12.61	11.18	10.58	11.12	11.37
MnO	0.14	0.57	0.21	0.17	0.12	0.13	0.17	0.12	0.25	0.13	0.16	0.17	0.19
MgO	47.83	40.09	47.55	47.72	47.95	48.30	47.45	47.56	47.33	48.15	47.90	47.69	47.71
CaO	0.16	0.27	0.18	0.20	0.14	0.19	0.15	0.14	0.14	0.10	0.15	0.11	0.14
Na ₂ O	0.01	0.81	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
K ₂ O	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
NiO	0.43	0.03	0.21	0.28	0.49	0.32	0.36	0.33	0.21	0.38	0.46	0.37	0.27
总计	99.72	97.03	100.69	100.44	100.60	100.39	100.07	99.57	100.20	100.24	100.09	99.90	100.51
以 O = 4 为基数的阳离子数													
Si	0.982	0.999	0.991	0.990	0.994	0.988	0.993	0.989	0.985	0.992	0.994	0.997	1.001
Al	0.001	0.005	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001
Ti	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Cr	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001
Fe	0.237	0.377	0.254	0.246	0.235	0.232	0.245	0.241	0.262	0.231	0.216	0.230	0.234
Mn	0.003	0.013	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.005	0.003	0.003	0.004	0.004
Mg	1.772	1.574	1.749	1.757	1.759	1.775	1.753	1.766	1.755	1.771	1.778	1.758	1.748
Ca	0.004	0.008	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004
Na	0.001	0.041	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
K	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Ni	0.009	0.001	0.004	0.006	0.010	0.006	0.007	0.007	0.004	0.008	0.009	0.007	0.005
总计	3.005	3.013	3.009	3.010	3.005	3.011	3.006	3.011	3.016	3.008	3.005	3.002	2.998
Fo	88	81	87	88	88	88	88	88	87	89	89	88	90
备注	斑晶	斑晶 边部	斑晶 核部	斑晶	斑晶	斑晶	斑晶	斑晶	斑晶	斑晶	斑晶	斑晶	斑晶

注:由澳大利亚 Macquarie 大学 GEMOC 国家重点实验室电子探针法分析.

表 2 北羌塘半岛湖新第三纪粗面玄武岩橄榄石激光探针分析结果(×10⁶)

Table 2. LA- ICP-MS analyses of the olivine in Neogene trachybasalt from the Bandaohu area , northern Qiangtang															
序 号	Ol-1	Ol-2	Ol-3	Ol-4	Ol-5	Ol-6	Ol-7	Ol-8	Ol-9	Ol-10	Ol-11	Ol-12	Ol-13	Lai03 *	Lai15 *
样 号	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15	Lai03	Lai15
Sc	3.28	6.13	7.35	5.83	9.20	7.11	6.65	3.86	5.32	4.12	3.92	4.47	3.65	19.85	20.22
Ti	38.82	73.76	85.34	95.26	110.2	98.38	74.36	49.00	56.92	45.27	59.98	77.42	73.88	7 373	7 912
V	3.93	4.84	5.50	5.97	7.84	4.80	5.42	3.12	4.24	3.51	3.61	3.34	4.21	158.0	160.7
Cr	269.6	280.0	218.1	230.7	271.3	288.3	318.2	360.4	289.0	257.0	249.8	295.4	294.2	455.4	377.9
Co	187.4	174.4	162.6	165.8	165.5	159.9	164.3	158.7	148.6	155.7	149.4	151.1	151.3	32.90	33.23
Ni	3 314	3 640	3 354	2 988	3 168	3 581	3 382	3 781	3 132	1 847	1 878	2 069	3 252	212.7	257.1
Ga	6.19	11.59	12.06	11.21	17.58	12.24	10.40	6.83	7.82	6.88	5.83	4.81	7.01	14.37	15.08
Rb	3.75	8.41	7.84	7.97	10.82	7.65	6.48	4.99	5.13	4.38	2.79	3.48	4.42	38.27	04.7
Sr	1.63	4.64	3.87	3.89	5.53	3.21	12.52	2.03	2.11	10.97	4.69	4.90	2.14	2 520	1 191
Y	1.46	2.35	2.90	3.02	4.44	2.23	2.75	1.66	1.98	1.45	1.26	1.37	1.69	26.48	25.32
Zr	2.38	5.41	5.84	3.70	6.91	5.25	6.07	4.00	3.96	3.04	2.34	2.23	3.41	334.2	326.2
Nb	1.09	2.90	3.53	3.56	4.51	2.06	2.68	1.45	1.94	1.86	1.38	1.19	1.62	18.14	16.21
Ba	12.56	22.38	20.24	26.16	39.96	18.23	24.11	14.88	15.36	12.57	9.98	10.35	12.23	2 565	1 979
Hf	1.70	3.32	3.26	3.82	5.18	3.01	3.61	2.06	2.79	1.78	1.63	1.70	2.24	7.95	8.37
Pb	2.81	6.30	4.38	5.94	7.46	4.30	4.94	3.39	3.36	2.62	2.35	1.63	2.70	54.76	37.16
Th	1.14	2.34	2.23	2.10	2.10	2.02	1.38	1.21	1.28	1.12	0.99	1.30	1.22	21.45	14.78

续表 2

序 号	Ol-1	Ol-2	Ol-3	Ol-4	Ol-5	Ol-6	Ol-7	Ol-8	Ol-9	Ol-10	Ol-11	Ol-12	Ol-13	Lai03 *	Lai15 *
样 号	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai03	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15	Lai15	Lai03	Lai15
U	1.09	1.91	2.10	2.50	2.95	1.76	1.65	1.20	1.27	1.00	0.79	0.89	1.15	4.76	4.29
La	1.48	2.84	3.22	2.30	3.67	2.71	2.55	1.63	1.27	1.53	1.12	1.21	1.30	120.0	61.08
Ce	1.30	2.62	2.76	2.74	2.83	1.54	2.05	1.49	1.40	1.16	1.05	0.81	1.22	222.8	123.6
Pr	1.16	2.02	1.87	1.85	2.65	1.56	1.56	0.97	1.23	0.73	0.75	0.81	1.09	29.41	15.35
Nd	6.14	8.60	13.07	13.61	14.14	8.47	9.26	7.40	6.34	6.89	4.28	4.94	5.63	112.9	58.67
Sm	6.76	13.44	11.89	12.45	20.93	11.81	12.78	7.89	9.28	6.97	5.78	5.63	7.70	18.70	9.97
Eu	1.96	4.20	4.32	3.75	5.68	3.64	3.19	1.89	2.08	1.89	1.41	1.31	1.86	5.23	2.99
Gd	5.56	10.64	10.46	12.05	16.61	8.55	8.57	7.51	6.85	6.38	4.80	4.25	5.41	13.19	8.27
Dy	4.73	10.35	9.44	8.63	13.99	7.51	8.75	4.86	6.35	3.87	4.07	4.15	4.86	5.80	4.71
Hb	0.75	1.67	1.69	1.43	2.21	1.46	1.55	1.08	0.96	1.02	0.73	0.81	0.96	0.97	0.86
Er	3.14	8.11	7.31	6.57	8.78	6.03	6.67	3.91	3.63	3.75	2.64	2.51	3.81	2.32	2.25
Yb	4.42	10.47	9.71	9.20	13.17	9.00	7.88	5.21	6.22	4.59	3.87	3.55	5.24	1.86	1.88
Lu	1.77	1.45	1.45	1.37	2.02	1.52	1.22	0.97	0.88	0.85	0.58	0.59	0.86	0.26	0.27
Eu	0.95	1.04	1.16	0.92	0.90	1.06	0.88	0.74	0.76	0.85	0.80	0.79	0.84	0.97	0.98
Ce	0.23	0.26	0.27	0.31	0.21	0.18	0.25	0.28	0.25	0.27	0.27	0.19	0.24	0.89	0.96

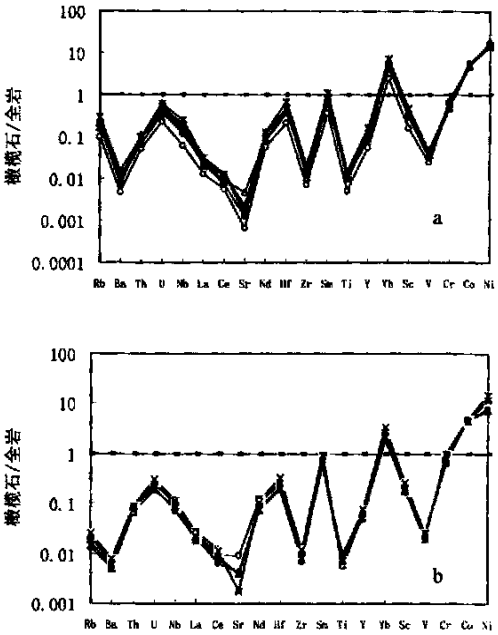
注:序号 Lai03 *和 Lai15 *为粗面玄武岩全岩 ICP-MS 分析结果;其余均为橄榄石激光探针 (LA-ICP-MS) 分析结果;由澳大利亚 Macquarie 大学 GEMOC 国家重点实验室分析测定。

另外,从表 2 中还可以看到,Lai03 号样品橄榄石斑晶边部的 Ni、Cr、Co 含量均略高于斑晶核部,这与斑晶边部 Fe 的相对高含量相一致,说明 Ni、Cr、Co 可能与 Fe 具有更为密切的共生组合和类质同象替代关系。

尽管 Ti 可以类质同象替代橄榄石中的 Fe 和 Mg,但由于 Ti 在岩浆岩中极易形成独立矿物相,因而在造岩矿物中,Ti 仅在链状硅酸盐中含量较高,其次是层状硅酸盐,而在架状和岛状硅酸盐中含量均较低^[15]。本区橄榄石中 Ti 含量 ($38.82 \times 10^{-6} \sim 110.21 \times 10^{-6}$,平均 72.20×10^{-6}) 并不高,大大低于粗面玄武岩全岩 Ti 含量 (7373×10^{-6} 和 $7\,912 \times 10^{-6}$),说明橄榄石并非玄武岩中 Ti 的富集矿物相。

对于 Rb、Sr、Ba、Th、U 等亲石元素,由于它们离子半径较大,不相容性强,因而大多进入岩浆演化晚期阶段的造岩矿物,且主要与 K、Ca 等元素的类质同象替代有关^[15]。而在橄榄石中均表现为低含量。

为了便于对比,我们以粗面玄武岩全岩痕量元素含量为标准值,将橄榄石中痕量元素进行标准化。结果表明(图 1),Co、Ni 和重稀土元素 Yb 呈相对富集状态,而 Cr 和中稀土元素 Sm 与全岩含量值接近;其它元素在橄榄石中均呈亏损状态。其中,尤以 Ba、Sr、Zr、Ti 和 V 的相对亏损程度较强,呈现为显著的低谷。



a. Lai03 号样品中橄榄石 b. Lai15 号样品中橄榄石

图 1 橄榄石痕量元素全岩标准化配分型式

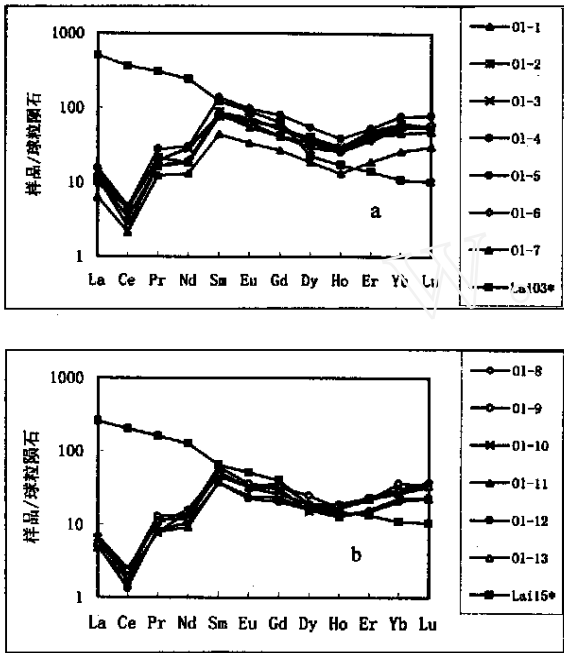
Fig. 1. Rock-normalized trace element distribution patterns in the olivine.

3.3 橄榄石稀土元素特征

表 2 表明,本区橄榄石的稀土元素富集度不高,稀土总量在 $31.94 \times 10^{-6} \sim 111.12 \times 10^{-6}$ 之间,平均 58.64×10^{-6} 。轻重稀土比变化在 0.75 ~ 0.90

之间,平均为 0.83;相应的 $(La/Yb)_N$ 在 0.15 ~ 0.24 之间,平均为 0.21,说明橄榄石具有轻稀土强烈亏损的元素地球化学特征。橄榄石 Eu 在 0.74 ~ 1.16 之间,平均为 0.90,基本无 Eu 异常。值得注意的是,本区橄榄石的 Ce 在 0.18 ~ 0.31 之间,平均 0.25,表明存在显著的 Ce 负异常。

从稀土元素球粒陨石标准化配分型式(图 2)可以看到,本区粗面玄武岩中橄榄石稀土配分曲线总体呈左倾正斜率轻稀土亏损型配分型式,Ce 处有明显的低谷;而 Eu 处平滑,基本无异常。自稀土元素 Sm—Hb,曲线转变为轻微的右倾负斜率,而最重稀土部分有明显的上翘现象。说明橄榄石中相对富集重稀土元素,而亏损轻稀土。



a. Lai03 号粗面玄武岩及其橄榄石
b. Lai15 号粗面玄武岩及其橄榄石

图 2 稀土元素球粒陨石标准化配分型式
Fig. 2. Chondrite-normalized REE distribution patterns in the olivine.
(图中编号对应于表 2 中序号)

Lai03 号样品橄榄石边部和核部分析结果显示,它们的部分稀土元素丰度值略有差异,但并不显著。为了便于对比,我们在图中分别列出了对应的粗

面玄武岩(Lai03 号样品和 Lai15 号样品)的全岩稀土配分曲线。可以看到,本区橄榄石的稀土配分曲线与其赋存母岩(粗面玄武岩)的稀土配分曲线恰成互补状态,Sm—Hb 的配分型式吻合,而轻稀土 La—Nd 和最重稀土 Er—Lu 部分的配分型式则相互呈反向倾斜。橄榄石边部和核部的稀土配分型式(图 2a)无明显区别。

元素地球化学研究表明,稀土元素可以类质同象的形式进入其它矿物晶格中^[15]。与稀土元素发生类质同象置换的元素有 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Th^{4+} 、 Ca^{2+} 、 U^{4+} 、 Mn^{2+} 、 Hf^{4+} 、 Zr^{4+} 、 Sc^{3+} 、 Fe^{2+} 等。橄榄石中 Fe^{2+} 是其重要的组成元素,由于 Fe^{2+} 的存在,使得稀土元素可以与 Fe^{2+} 产生类质同象替代而进入橄榄石。但由于 Fe^{2+} 的离子半径(0.074 nm)较小,因而不利于离子半径较大的稀土元素产生类质同象置换。我们知道,由于电子的内层充填,镧族元素随着原子序数的增加,电子层数及最外层所含的电子数目总是保持不变,因此核对电子的吸引力加强,这就造成了随着原子序数的增加,其离子半径并不增加,而是大致保持不变,甚至有所减小(由 La 的 0.113nm 到 Lu 的 0.094 nm),这种现象称“镧系收缩”。正是由于“镧系收缩”,使得重稀土元素的离子半径相对较小,更有利于与 Fe^{2+} (0.074 nm) 产生类质同象置换,在橄榄石中相对富集;而轻稀土元素由于离子半径相对较大,不利于与 Fe^{2+} (0.074 nm) 的类质同象置换,从而在橄榄石中成相对亏损状态。

4 结语

北羌塘半岛湖新第三纪粗面玄武岩中橄榄石化学成分稳定,Fe 平均为 88,均属贵橄榄石种属。橄榄石中相对富集 Ni、Co 和重稀土元素,而强烈亏损 Rb、Ba、Sr、Zr 等大离子亲石元素。稀土配分型式总体为左倾正斜率轻稀土强烈亏损型,且存在显著的 Ce 负异常,其 Eu 平均为 0.90,说明本区橄榄石基本无铕异常。本区橄榄石稀土配分型式与其赋存母岩(粗面玄武岩)的稀土配分型式恰成互补状态,说明橄榄石是本区粗面玄武岩中最早结晶的造岩矿物。

参 考 文 献

- [1] 邓万明. 青藏高原北部新生代板内火山岩[M]. 北京:地质出版社,1998. 1~168.
- [2] 赖绍聪. 青藏高原新生代火山岩矿物化学及其岩石学意义[J]. 矿物学报,1999,19(2):236~244.
- [2] 赖绍聪. 青藏高原北部新生代火山岩成因机制[J]. 岩石学报,1999,15(1):98~104.
- [4] 刘嘉麟. 中国火山[M]. 北京:科学出版社,1999. 53~135.
- [5] 邓万明,孙宏娟. 青藏北部板内火山岩的同位素地球化学与源区特征[J]. 地学前缘,1998,5(4):307~317.
- [6] 邓万明,孙宏娟. 青藏高原新生代火山活动与高原隆升关系[J]. 地质论评,1999,45(增刊):952~958.
- [7] 赖绍聪,邓晋福,赵海玲. 青藏高原北缘火山作用与构造演化[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1996. 1~120.
- [8] 杨德明,李才,和钟华,等. 西藏尼玛宋我日火山岩岩石化学特征与构造环境[J]. 地质论评,1999,45(增刊):972~977.
- [9] Turner S, Arnaud N and Liu J, *et al.* Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. *Journal of Petrology*, 1996, 37(1): 45~71.
- [10] Miller C, Schuster R and Klotzli U, *et al.* Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis[J]. *Journal of Petrology*, 1999, 40(9):1399~1424.
- [11] Arnaud N O, Vidal P and Tapponnier P, *et al.* The high K₂O volcanism of northwestern Tibet: geochemistry and tectonic implications[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1992, 111:351~367.
- [12] Ugo Pognante. Shoshonitic and ultrapotassic post collisional dykes from northern Karakorum (Sinkiang, China) [J]. *Lithos*, 1990, 26:305~316.
- [13] 王碧香,叶和飞,彭勇民. 青藏羌塘盆地中新世代火山岩同位素地球化学特征及其意义[J]. 地质论评,1999,45(增刊):946~951.
- [14] 王濮,潘兆橹,翁玲宝,等. 系统矿物学(中册)[M]. 北京:地质出版社,1984. 431~446.
- [15] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984. 50~372.

LA-ICP-MS AND EMP ANALYSIS OF OLIVINES IN CENOZOIC TRACHYBASALT FROM NORTH QIANGTANG, QINGHAI-TIBET PLATEAU

Lai Shaocong¹ Yi Haisheng² Liu Chiyang¹ O'Reilly S Y³

(1. The Key Laboratory of Continental Dynamics, Ministry of Education; Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

3. National Key Center of GEMOC, Macquarie University, Sydney 2109, Australia)

Abstract: Based on the electron microprobe (EMP) and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometric (LA-ICP-MS) analyses, the major and trace element features of olivines from the Cenozoic trachybasalt in northern Qiangtang are discussed in this paper. The result indicates that all of the olivines belong to chrysolite. They exhibit Ni, Co and HREE enrichment but Rb, Sr, Ba, Zr, LREE depletion. Especially, the distribution patterns of the olivine and trachybasalt are compensating each other.

Key words: olivine; major and trace elements; Cenozoic volcanic rock; northern Qiangtang; Qinghai-Tibet plateau