

玉树地区让娘贡巴辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年和地球化学特征

雍 拥 陈 文 张 彦 刘新宇

(中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘 要: 青海玉树地区出露一套晚古生代—早中生代的蛇绿混杂岩。其中,让娘贡巴辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 258.4 ± 2.9 Ma, 表明该岩石形成于晚二叠世。地球化学特征表明,岩石具有富碱,高 TiO_2 、 Fe_2O_3 的主量元素特征,稀土元素总量相对较高,富集轻稀土元素 $(\text{La}/\text{Yb})_N = 5.09 \sim 5.52$, 与原始地幔相比,富集大离子亲石元素 (Rb, Ba, Th, K) 及高场强元素 (Nb, Ta, Zr, Hf)。综合研究表明,让娘贡巴辉长岩的形成环境为洋岛,这足以表明,至少在晚二叠世时,玉树地区已经存在洋壳。

关键词: 辉长岩; 锆石 SHRIMP U-Pb 定年; 洋岛; 玉树

中图分类号: P597+.3; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)03-0419-08

Zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemistry of the Rangnianggongba gabbro in Yushu area, Qinghai Province

YONG Yong, CHEN Wen, ZHANG Yan and LIU Xin-yu

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China)

Abstract: The Yushu ophiolite mélangé, which has preserved important record concerning the evolution of the Paleo-Tethys Ocean, is mainly composed of pillow basalts, diabases, gabbros and ultramafic rocks. The zircon SHRIMP U-Pb age of Rangnianggongba gabbro in this mélangé is 258.4 ± 2.9 Ma, suggesting that the emplacement age of the rock is Late Permian. Petrologic and geochemical studies suggest that the gabbro is alkaline and has characteristics of high Ti and Fe. All the rock samples have relatively high REE abundances, and are enriched in LREE [$(\text{La}/\text{Yb})_N = 5.09 \sim 5.52$]. The rock is enriched in large ion lithophile elements (LILE: Rb, Ba, Th, K) and some high field strength elements (HFSE: Nb, Ta, Zr, Hf). These data indicate that the Rangnianggongba gabbro was derived mainly from the enriched mantle. According to geochemical characteristics, the authors have concluded that the gabbro was formed in an oceanic island setting. The age dating and geochemical data indicate that an oceanic crust was already existent at least in the Late Permian. Moreover, the existence of large-scale Paleozoic Plume activities on the southwest margin of Yangtze block has been extensively reported. It is considered that the emplacement of the Rangnianggongba gabbro was related probably to activities of the Plume.

Key words: gabbro; SHRIMP U-Pb zircon dating; oceanic island; Yushu area

西金乌兰-金沙江缝合带是青藏高原东北边缘的一条重要缝合带,代表巴颜喀拉地块与北羌塘地

块之间的构造分界线,是研究古特提斯地质演化的重要窗口(黄汲清等,1987;刘增乾等,1990;潘桂棠

收稿日期: 2011-01-07; 修订日期: 2011-04-06

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2006BAB01A08); 973 计划资助项目(2009CB421001)

作者简介: 雍 拥(1976-), 女, 藏族, 博士后, 构造地质专业, E-mail: yongyy@139.com.

等 2002)。玉树蛇绿混杂岩带位于西金乌兰-金沙江缝合带的中段,呈北西-南东向展布(图 1)。在玉树、治多等县境内已有多处蛇绿岩被发现并报道,但其形成时代鲜有可靠的同位素年代学证据。在玉树蛇绿岩的西延部分,前人根据可可西里地区的古生物化石等资料,确定该地区的蛇绿岩形成于石炭—二叠纪(边千韬等,1997;朱迎堂等,2006),同时有巴音查乌马辉长岩 Rb-Sr 等时线年龄 266 ± 41 Ma 的

报道(苟金,1990)。但最近段其发等(2009)在扎河地区得到 239.8 ± 3.1 Ma 的辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,与其他人的研究结果有较大差异,表明玉树蛇绿岩的形成时代问题还没有解决。为此,本文对玉树地区的让娘贡巴辉长岩进行了锆石 U-Pb SHRIMP 测年和地球化学分析,试图精确限定玉树辉长岩的大地构造属性及形成时代,并讨论其大地构造意义。

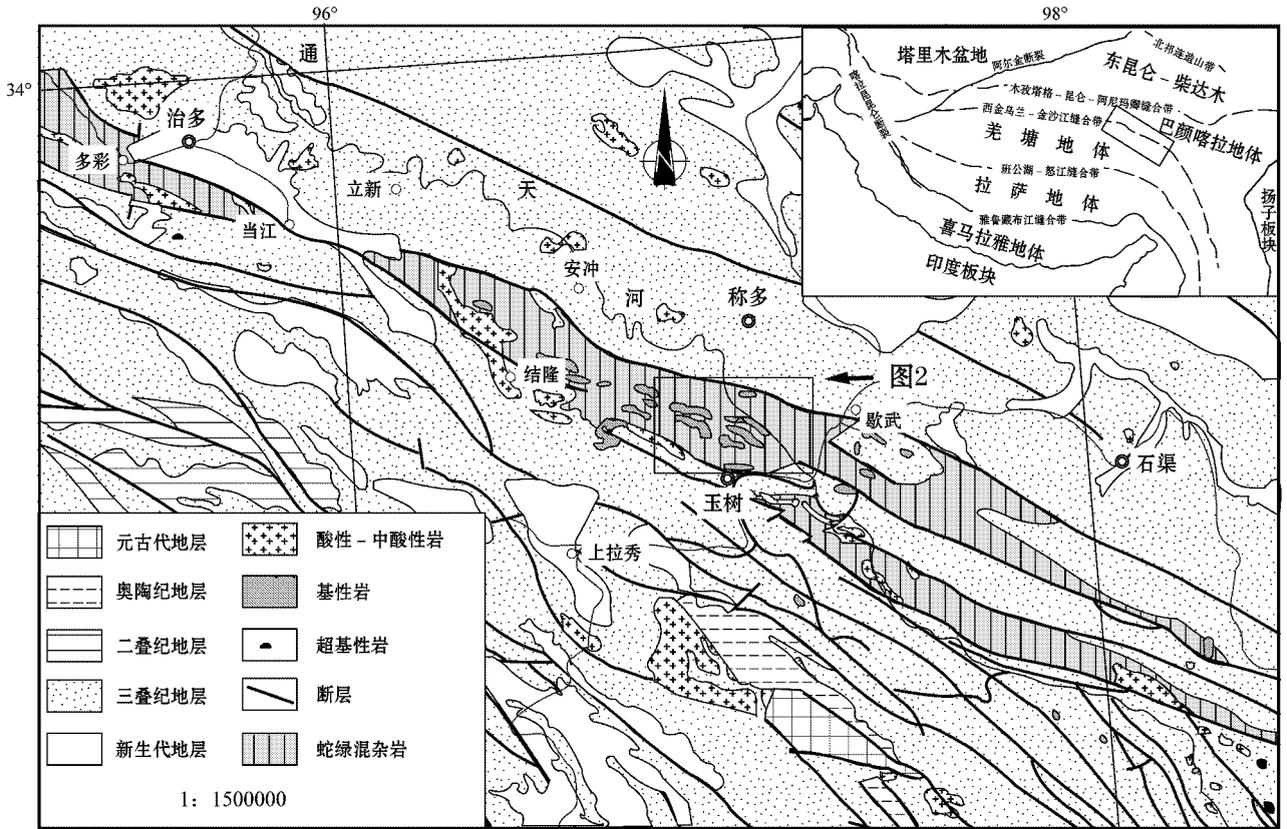


图 1 玉树地区地质图(据潘桂棠等,2004)

Fig. 1 Geological map of Yushu area(after Pan Guitang et al., 2004)

1 区域地质及岩相学特征

玉树蛇绿混杂岩带位于我国青海省西南部。在一条狭长的带内,出露有大量枕状玄武岩、辉绿岩、辉长岩和小的超基性岩。这些基性、超基性岩以岩块形式产出于早三叠世绿片岩相的沉积岩和火山岩地层中。玉树蛇绿岩各组分之间均以构造界面接触,其原始层位已完全被改造,均以不连续的长条状、透镜状断块产出,所有地质体均经受了不同的变质变形,广泛发育浅层次韧性剪切带及构造片理。

在玉树县城北面,出露有大量东西向展布的条带状基性岩(图 2),让娘贡巴辉长岩就是其中之一。该岩块长约 8 km,宽约 0.2 km,长轴方向与蛇绿岩带的走向一致,以外来岩片的形式出露于围岩中,其围岩为互层的泥岩、砂岩以及紫红色石英砂岩。这一带出露的基性岩均未有同位素年代学报道。辉长岩呈灰绿色,中粒结构,块状构造,由北往南存在较为明显的粒径变化,且已遭受较强的蚀变作用。主要矿物为辉石和长石,具辉长结构。辉石自形-半自形,颗粒大的可至 5 mm 左右,有的退变成角闪石。长石已强烈蚀变,发生土化、绢云母化和黝帘石

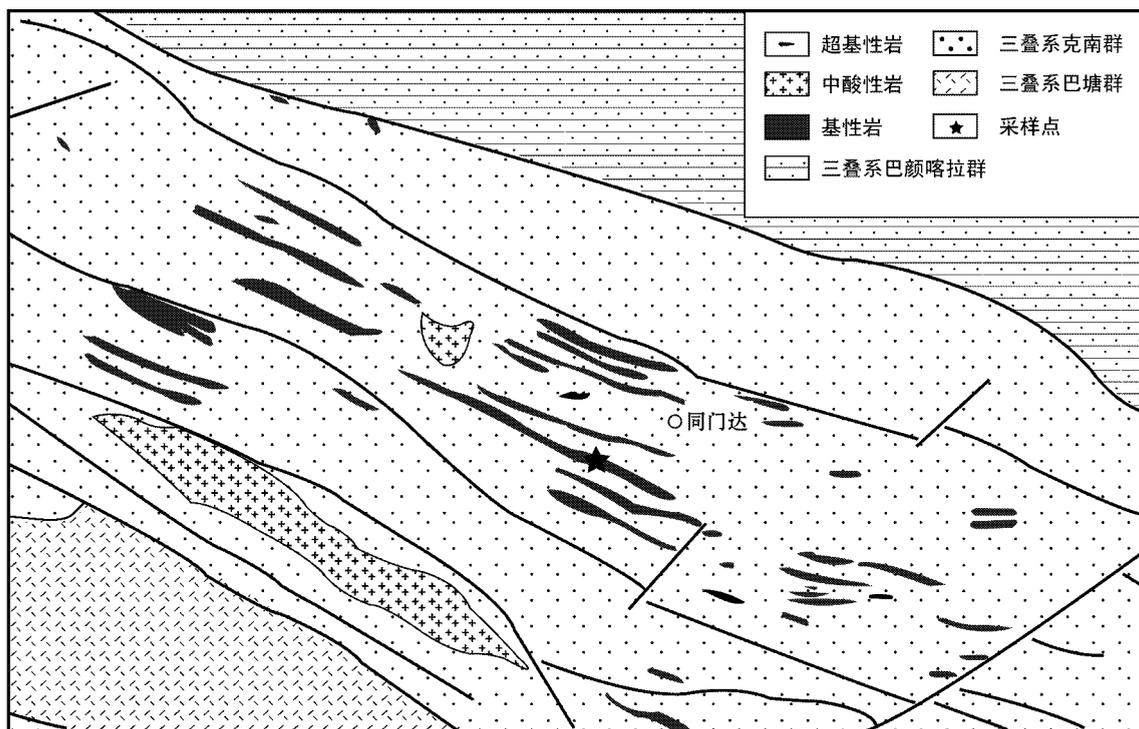


图 2 让娘贡巴辉长岩地质略图(据青海省第二区域地质调查队,1986;西安地质矿产研究所,2006)

Fig. 2 Geological sketch map of the Rangnianggongba gabbro (after No. 2 Regional Geological Surveying Party of Qinghai Province, 1986; Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, 2006)

化等次生变化。副矿物以不透明的磁铁矿为主。

2 分析方法

锆石 U-Pb 分析是在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP-II 型离子探针仪器上测定的。将样品锆石和 RSES(澳大利亚国立大学地质地球科学研究所)标准锆石 TEM(417 Ma)一起用环氧树脂制靶,抛光到暴露出锆石的中心面并镀金,然后用反射光和透射光照相,用阴极发光(CL)进行图像分析,以确定锆石颗粒内部的结构。选出要打的点,避免裂纹和包裹体影响分析质量,然后用高灵敏度二次离子探针对所选的点进行分析。采用标准流程(Compston *et al.*, 1984; Williams, 1992; 宋彪等, 2002)进行测试,数据处理采用 Ludwig SQUID1.0 及 ISOPLOT 程序(Ludwig, 2000),普通铅根据实测 ^{204}Pb 进行校正。单个数据点的误差均为 1σ 加权平均年龄具 95% 置信度。年龄数据采用精度较高的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,并进行谐和图解分析。

化学分析样品在铸铁材料的压机上压碎,并用

玛瑙研钵磨至 200 目。主量元素和微量元素测试均在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成。主量元素测试方法采用 X 射线荧光光谱法在飞利浦 PW2404X 射线荧光光谱仪上测定,FeO 用湿化学单独测试。微量元素采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)方法,在 HR-ICP-MS Element II 上测定微量元素及稀土元素的含量。

3 测试结果

3.1 锆石 SHRIMP U-Pb 年代学

让娘贡巴辉长岩 J04113 的锆石颗粒普遍较小,且含量少。锆石晶粒无色透明,多数呈短柱状或等粒状,粒径约 $50\sim 100\ \mu\text{m}$,自形-半自形。阴极发光图像表明,大部分锆石内部具有较为明显的环带结构或扇形分带结构(图 3)。与标准锆石 TEM 相比,让娘贡巴辉长岩中的绝大多数锆石的阴极发光图像发黑,表明其 U 含量很高,这与实际测得的数据相符。所测得的 Th/U 比均大于 1,表明这些锆石的成因应为岩浆成因。

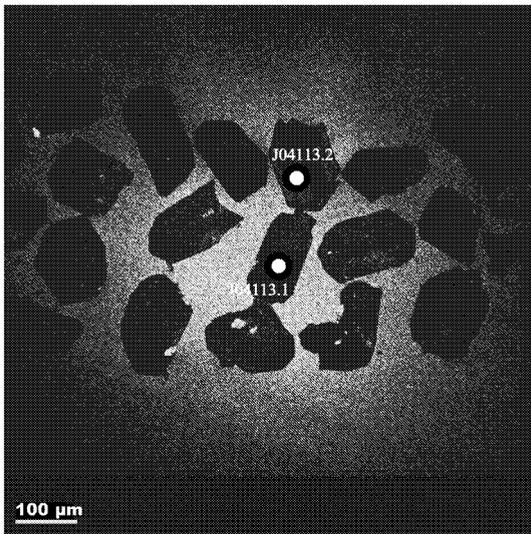


图 3 让娘贡巴辉长岩锆石阴极发光 (CL) 图像
Fig. 3 Representative CL image of zircons from the Rangnianggongba gabbro

对让娘贡巴辉长岩 J04113 的 11 颗锆石进行离子探针分析,测试数据见表 1 和图 4。从图表中可以看出,所测得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄相对比较集中,其中 9 个测点给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 258.4 ± 2.9 Ma (MSWD = 1.8, 95% 可信度),代表了让娘贡巴辉长岩的成岩年龄。测试点 J04113.11 得到的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄要老于其他锆石颗粒,而测试点 J04113.6 得到的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄要略小于其他测试点。但从锆石外形和 CL 图像上看,这两粒锆石与其他锆石并没有明显差别,且其年龄并没有偏离主锆石群,不可能代表另一期的岩浆事件。此外,图 4 表明,样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄不完全一致,表明存在放射性铅的丢失。综合分析,其原因可能是由于该样品中的 U 含量过高,使得锆石发生蜕晶质化作用,从而导致放射性铅的丢失 (Mezger & Krogstad, 1997)。

表 1 让娘贡巴辉长岩离子探针 U-Pb 同位素测试分析结果
Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircons from the Rangnianggongba gabbro

分析点号	$w_B/\%$	$w_B/10^{-6}$		Th/U	$^{206}\text{Pb}^*$	同位素比值						年龄/Ma	
	$^{206}\text{Pb}_c$	U	Th			$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^* \pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \delta$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \delta$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \delta$		
J04113.1	0.58	3 293	6 972	2.19	112.5	0.077 4	1.9	0.42	2.5	0.039 5	1.7	250.0	4.1
J04113.2	-0.01	1 733	3 094	1.85	59.1	0.061 9	3.7	0.34	4.1	0.039 7	1.7	251.0	4.2
J04113.3	0.19	2 553	8 771	3.55	89.4	0.059 2	2.3	0.33	2.9	0.040 7	1.7	257.1	4.3
J04113.4	0.09	2 076	4 957	2.47	75.5	0.072 1	4.3	0.42	4.7	0.042 3	1.7	266.9	4.6
J04113.5	0.03	2 047	7 170	3.62	72.4	0.059 6	2.4	0.34	3.0	0.041 1	1.7	259.9	4.3
J04113.6	0.26	3 069	6 602	2.22	102.4	0.061 1	2.5	0.33	3.0	0.038 8	1.7	245.1	4.0
J04113.7	0.18	6 314	8 058	1.32	222.5	0.056 8	1.4	0.32	2.2	0.041 0	1.7	258.7	4.2
J04113.8	0.49	2 595	6 540	2.60	92.8	0.053 3	4.0	0.30	4.4	0.041 4	1.7	261.7	4.3
J04113.9	0.07	2 080	5 083	2.53	75.3	0.059 4	3.9	0.34	4.3	0.042 1	1.7	265.8	4.4
J04113.10	0.60	3 078	9 738	3.27	108.2	0.062 6	3.3	0.35	3.7	0.040 7	1.7	257.1	4.2
J04113.11	1.56	4 244	9 021	2.20	163.8	0.076 3	3.4	0.47	3.8	0.044 2	1.7	279.0	4.5

注: Pb_c 代表普通铅, Pb^* 代表放射成因铅。

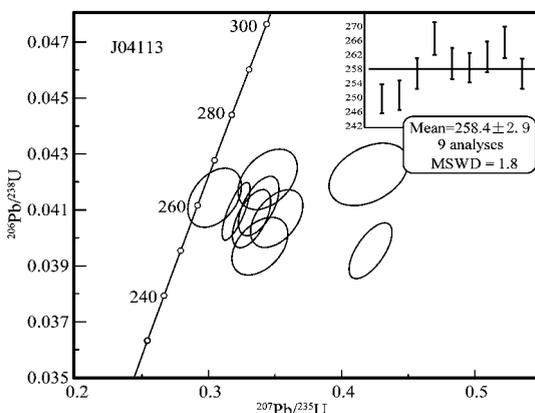


图 4 让娘贡巴辉长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircon from the Rangnianggongba gabbro

3.2 地球化学

让娘贡巴辉长岩的主量元素和微量元素分析结果列于表 2。

让娘贡巴辉长岩的 SiO_2 含量为 46.16% ~ 48.9%, 具有较高的 TiO_2 (2.52% ~ 2.74%) 和 Fe_2O_3 (11.2% ~ 15.37%) 含量。全碱含量 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 稍高, 为 3.12 ~ 4.57, 在 TAS 图上落入碱性辉长岩区域内 (图 5)。 $\text{Mg}^\#$ 值为 41.5 ~ 50.8, 表明辉长岩是原始岩浆经历一定程度的分离结晶作用后的产物。

样品的稀土元素总含量较高, ΣREE 为 $134.0 \times 10^{-6} \sim 154.3 \times 10^{-6}$ 。轻稀土元素较富集 (La/Yb)_N

表 2 让娘贡巴辉长岩主量元素 ($w_B/\%$) 和微量元素 ($w_B/10^{-6}$) 分析测试结果

Table 2 Major elements ($w_B/\%$) and trace elements ($w_B/10^{-6}$) analytical results of the Rangnianggongba gabbro

样号	S0960	S0961	S0962	S0963	S0964
SiO ₂	48.90	47.74	46.33	46.16	47.83
TiO ₂	2.58	2.52	2.74	2.71	2.67
Al ₂ O ₃	15.86	14.35	14.05	12.26	14.97
Fe ₂ O ₃	11.20	12.57	13.85	15.37	12.81
MnO	0.16	0.19	0.21	0.22	0.17
MgO	4.35	6.04	7.22	7.30	4.58
CaO	9.79	9.97	8.7	10.18	10.01
Na ₂ O	3.24	2.95	3.14	2.57	3.11
K ₂ O	1.33	0.87	0.80	0.55	0.99
P ₂ O ₅	0.44	0.42	0.50	0.44	0.49
LIO	1.58	1.83	1.90	1.72	1.84
Total	99.43	99.45	99.44	99.48	99.47
FeO	8.05	8.80	9.15	10.60	8.65
Mg [#]	43.5	48.8	50.8	48.5	41.5
La	23.8	22.6	26.4	23.2	24.3
Ce	50.7	49.1	55.7	48.6	53.5
Pr	6.30	6.14	7.15	6.41	6.69
Nd	30.0	27.9	33.2	29.7	30.9
Sm	6.21	5.81	6.87	6.29	6.74
Eu	2.31	2.01	2.10	2.05	2.19
Gd	5.88	5.78	6.25	5.62	6.16
Tb	1.05	1.02	1.15	1.09	1.08
Dy	5.94	5.67	6.42	6.04	6.23
Ho	1.22	1.14	1.31	1.27	1.22
Er	3.38	3.13	3.66	3.45	3.36
Tm	0.510	0.453	0.511	0.488	0.488
Yb	3.03	2.85	3.16	3.07	2.97
Lu	0.431	0.415	0.463	0.463	0.431
ΣREE	140.8	134.0	154.3	137.7	146.3
(La/Yb) _N	5.30	5.35	5.63	5.09	5.52
(La/Sm) _N	2.41	2.45	2.42	2.32	2.27
(Tb/Yb) _N	1.53	1.58	1.60	1.57	1.60
Li	15.6	19.1	17.0	14.5	12.8
Be	1.74	0.561	0.744	0.917	0.847
Sc	33.6	38.1	35.2	43.0	32.8
V	389	429	361	424	449
Cr	54	97.5	151	177	58.1
Co	40.3	46.2	49.0	56.3	41.9
Ni	50.8	93.6	101	106	55.9
Cu	157	152	133	146	152
Zn	114	109	113	128	125
Ga	24	21.3	20.5	19.2	21.9
Rb	43.5	24.6	22.6	17.5	32
Sr	472	357	298	316	398
Y	31.9	28.8	31.5	31	30.3
Nb	19.1	16.9	19.2	17.8	18.5
Mo	1.01	0.837	0.454	0.689	0.791
Cd	0.173	0.149	0.092	0.134	0.155
In	0.064	0.084	0.09	0.095	0.08
Sb	0.224	1.7	1.05	0.864	0.721
Cs	2.53	0.457	0.645	1.46	2.22
Ba	372	265	282	214	291
Ta	1.34	1.18	1.38	1.26	1.31
W	0.447	0.551	0.535	0.465	0.353
Tl	0.114	0.063	0.056	0.049	0.089
Pb	4.41	3.24	3.13	3.41	4.12
Bi	0.018	0.011	0.013	0.013	0.019
Th	3.59	3.02	3.59	3.46	3.41
U	0.953	0.821	0.945	0.896	0.852
Zr	345	311	357	335	317
Hf	8.26	6.9	8.51	7.89	7.66

= 5.09 ~ 5.52] 样品的轻稀土元素有弱的分异 [(La/Sm)_N = 2.27 ~ 2.45] , 而重稀土元素则没有明显分馏 (Tb/Yb)_N = 1.53 ~ 1.60] 同时, 样品存在微弱的 Eu 正异常 (图 6a) 。原始地幔标准化的微量元素蛛网图表明, 辉长岩样品相对富集大离子亲石元素 (Rb、Ba、Th、K) 和放射性生热元素 (U、Th、K) , 同时高场强元素 (Nb、Ta、Zr、Hf) 元素也比较富集, 是原始地幔的 20 倍以上, 这表明岩石源自富集地幔 (图 6b) 。

5 讨论

根据样品测试结果, 让娘贡巴辉长岩的成岩年龄为 258.4 ± 2.9 Ma, 即晚二叠世。虽然由于样品中锆石的 U 含量过高造成放射性铅的丢失, 但从 CL 图像及锆石年龄谐和图来看, 样品中的锆石组成较为简单, 年龄集中, 没有老的残留锆石或核, 也基本未受到后期热事件的影响。因此, 获得的年龄可以作为辉长岩成岩年龄的有效参考。

让娘贡巴辉长岩具有高碱性、高 TiO₂ 含量、稀土元素富集、轻重稀土元素分馏明显、富集大离子亲石元素和高场强元素的岩石地球化学特征。这些特征明显不同于大洋中脊和岛弧的同类岩石, 而与洋岛玄武岩较为类似。在构造判别图上, 样品也都落在这个区域内 (图 7) 。

在玉树、治多地区出露的超基性-基性岩被看作是一套代表古特提斯演化的蛇绿岩。但本文和前人的研究表明, 在该地区出露的具有洋岛性质的基性岩并不罕见 (边千韬等, 1997; 王永文等, 2004) 。严格意义上来说, 这类岩石并非蛇绿岩, 因为它有特定的产出环境——地幔柱, 但它作为洋壳的一部分, 在造山带中被识别出来后, 也可以代表古洋盆封闭的位置 (张旗, 1995) 。因此, 让娘贡巴辉长岩的锆石年龄表明, 至少在晚二叠世时, 玉树地区已经存在洋壳。

如前所述, 前人多将玉树蛇绿混杂岩带与“三江”构造域内的金沙江-哀牢山带连接起来。金沙江-哀牢山缝合带哀牢山段古洋壳在石炭纪已经形成, 同位素年龄为 362 ~ 328 Ma (简平等, 1998; 钟大赉, 1998) ; 而金沙江段可能略晚于哀牢山段, 洋盆的打开的时间为晚石炭世—早二叠世, 其中辉长岩、斜长岩的锆石年龄为 329 ~ 282 Ma (简平等, 2003) 。与之相比, 玉树蛇绿混杂岩带中洋盆存留的时限则要更晚一些, 已有的同位素年代学证据主要集中在晚二叠世—中

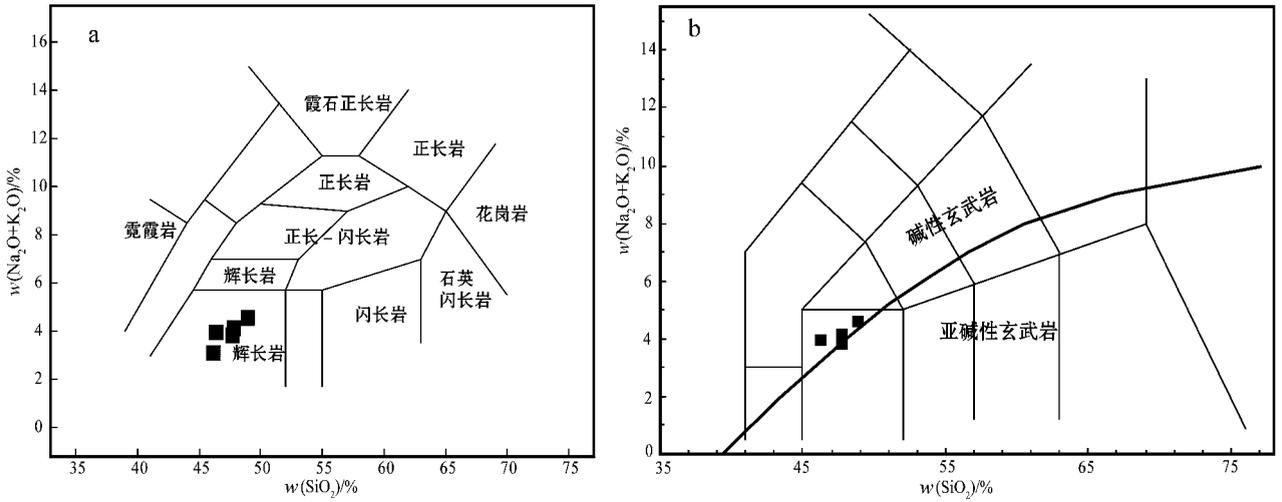


图 5 让娘贡巴辉长岩 TAS 图解(据 Cox 等, 1979 ; Le Bas 等, 1986)

Fig. 5 TAS diagram of the Rangnianggongba gabbro (after Cox *et al.*, 1979 ; Le Bas *et al.*, 1986)

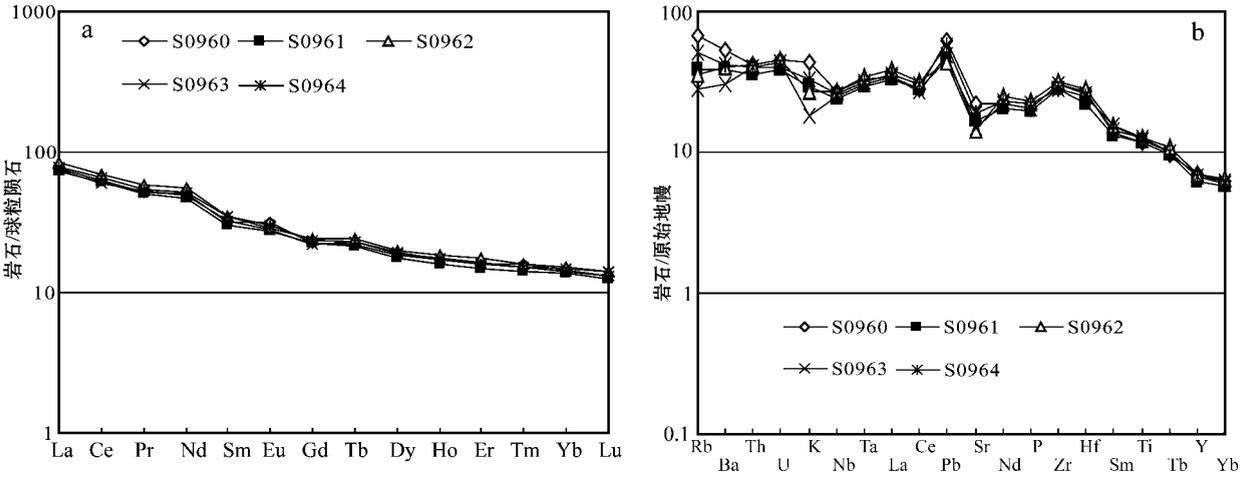


图 6 让娘贡巴辉长岩稀土元素球粒陨石标准化配分图 (a) 和微量元素原始地幔标准化蛛网图 (b) (球粒陨石标准值引自 Bonyton, 1984 ; 原始地幔标准值引自 Sun 和 McDonough, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle (PM)-normalized spider diagram (b) for the Rangnianggongba gabbro (chondrite values after Bonyton, 1984 ; PM values after Sun and McDonough, 1989)

三叠世(苟金, 1990 ; 段其发等, 2009 ; 本文)。哀牢山、金沙江和玉树蛇绿岩年龄的差异, 有多种解释, 比如是否是一个洋盆由南到北、由东到西逐渐打开? 而段其发等(2009)提出扎河辉长岩属甘孜-理塘蛇绿岩带的西延部分。但是最近的研究表明, 甘孜-理塘带中的辉长岩锆石年龄为 292 Ma, 且具有 N-MORB 的构造背景(闫全人等, 2005), 这与扎河辉长岩 239.8 Ma 的年龄和 SSZ 型的地球化学特征相差很大。因此, 对玉树蛇绿岩还需进行更细致的年代

学和岩石学工作, 并进一步与金沙江带和甘孜-理塘带进行详细的对比, 以确定其在古特提斯阶段的演化过程和在区域地质中的真正位置。

此外, 值得一提的是, 在包括金沙江缝合带在内的三江地区及扬子板块西南缘, 有早古生代的大规模地幔柱活动, 出露大量具有洋岛玄武岩特征的基性岩(侯增谦等, 1996 ; 张旗等, 1999)。本文研究表明, 在玉树地区, 也有同时代产自洋岛环境的基性岩存在。因此, 是否可以考虑将这期地幔柱活动的范

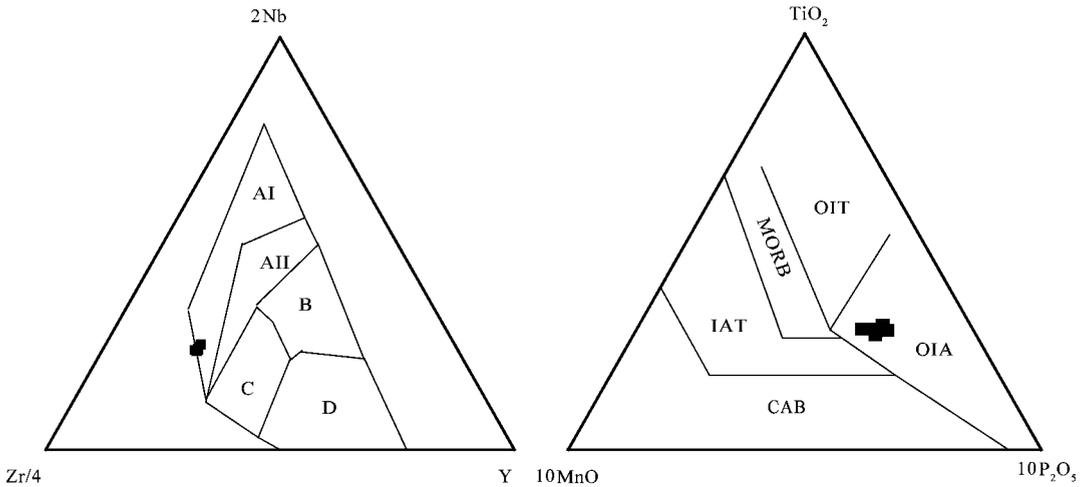


图 7 让娘贡巴辉长岩 Zr - Nb - Y 判别图(Meschede , 1986)和 Mn - Ti - P 判别图(Mullen , 1983)

Fig. 7 Zr - Nb - Y (after Meschede , 1986) and Mn - Ti - P (after Mullen , 1983) discrimination diagram for the Rangnianggongba gabbro

Zr - Nb - Y 图中 : AI—板内碱性玄武岩 ; AII—板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩 ; B—E 型 MORB ; C—板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩 ; D—N 型 MORB 和火山弧玄武岩

Mn - Ti - P 图中 : OIT—洋岛拉斑玄武岩 ; OIA—洋岛碱性玄武岩 ; MORB—大洋中脊玄武岩 ; IAT—岛弧拉斑玄武岩 ; CAB—钙碱性玄武岩
Zr - Nb - Y diagram : AI—intraplate alkali basalts ; AII—intraplate alkali basalts and intraplate tholeiites ; B—E-type MORB ; C—intraplate tholeiites and volcanic-arc basalts ; D—N-type MORB and volcanic-arc basalts

Mn - Ti - P diagram : OIT—oceanic island tholeiites ; OIA—oceanic island alkali basalts ; MORB—mid-ocean ridge basalts ; IAT— island-arc tholeiites ; CAB—calc-alkaline basalts

围向北扩展?但这需要更详细的地质工作来证明。

致谢 实验分析测试得到北京离子探针中心张维博士的热情指导,审稿专家提出了许多宝贵的修改意见,在此深表感谢。

References

Bian Qiantao , Zheng Xiangshen , Li Hongsheng , *et al.* 1997. Age and tectonic setting of ophiolite in the Hoh Xil region , Qinghai province [J]. *Geological Review* , 43(4) : 347 ~ 355 (in Chinese with English abstract).
 Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements : meteorite study [A]. Hendrson P. *Rare Earth Element Geochemistry* [C]. Elsevier , 63 ~ 114.
 Compston W , Williams I S and Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe [J]. *Journal of Geophysical Research* , 89 : 525 ~ 534.
 Cox K G , Bell J D and Pankhurst R J. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks* [M]. London : Allen and Unwin.
 Duan Qifa , Wang Jianxiong , Bai Yunshan , *et al.* 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating and litho geochemistry of gabbro from the ophiolite in southern Qinghai Province [J]. *Geology in China* , 36 (2) : 291 ~ 299 (in Chinese with English abstract).

Gou Jin. 1990. Basic characteristics of ultra-mafic rocks from Bachawuma in Tanggula area [J]. *Northwestern Geology* , (1) : 1 ~ 5 (in Chinese).
 Hang Jiqing and Chen Bingwei. 1987. *The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Regions* [M]. Beijing : Geological Publishing House , 1 ~ 105 (in Chinese).
 Hou Zengqian , Mo Xuanxue , Zhu Qinwen , *et al.* 1996. Mantle Plume in the Sanjiang Paleo-Tethyan region , China : evidence from Ocean-Island Basalts [J]. *Acta Geoscientia Sinica* , 17(4) : 343 ~ 361 (in Chinese with English abstract).
 Jian Ping , Liu Dunyi and Sun Xiaomeng. 2003. SHRIMP dating of Carboniferous Jinshajiang Ophiolite in Western Yunnan and Sichuan : geochronological constrains on the evolution of the Paleo-Tethys oceanic crust [J]. *Acta Geologica Sinica* , 77(2) : 217 ~ 227 (in Chinese with English abstract).
 Jian Ping , Wang Xiaofeng , He Longqing , *et al.* 1998. U-Pb zircon dating of the Shuanggou ophiolite from Xingping County , Yunnan Province [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 14(2) : 207 ~ 211 (in Chinese with English abstract).
 Le Bas M J , Le Maitre R W , Streckeisen A , *et al.* 1986. A chemical classification of volcanic rocks on the total alkali ? silica diagram [J]. *Journal of Petrology* , 27(3) : 745 ~ 750.
 Liu Zengqian , Xu Xian , Pan Guitang , *et al.* 1990. *Tectonics and Evolution of the Tibetan Plateau* [M]. Beijing : Geological Publishing House , 1 ~ 174 (in Chinese).
 Ludwig K R. 2000. *User 's manual of ISOPLOT/Ex version 2. 4* ,

- Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley : Berkeley Geochronology Center , Special Publication , 1~53.
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [J]. *Chemical Geology* , 56 : 207~218.
- Mezger K and Krogstad E J. 1997. Interpretation of discordant U-Pb zircon ages : An evaluation [J]. *Journal of Metamorphic Geology* , 15 : 127~140.
- Mullen E D. 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅ : a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis [J]. *Earth and Planet Science Letters* , 62 : 53~62.
- Pan Guitang , Ding Jun , Yao Dongsheng , et al. 2004. Geological Map of the Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Areas at a Scale of 1 : 1.5 Million [M]. Chengdu : Chengdu Cartographic Press , 52~53 (in Chinese).
- Pan Guitang , Li Xingzhen , Wang Liqian , et al. 2002. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent region [J]. *Geological Bulletin of China* , 21(11) : 701~707 (in Chinese with English abstract).
- Song Biao , Zhang Yuhai , Wan Yusheng , et al. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. *Geological Review* , 48 (suppl.) : 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotope systematic of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society Special Publication* , 22 : 313~345.
- The Second Team of Regional Geologic Survey of Qinghai. 1986. 1:200 000 scale Report of Regional Geologic Survey (Yushu ; Shanglaxiu) [M]. Xining : Geology and Mineral Bureau of Qinghai Province (in Chinese).
- Wang Yongwen , Wang Yude , Li Shanping , et al. 2004. Characteristics of the Xijirulan structure belt [J]. *Northwestern Geology* , 37 (3) : 15~20 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S. 1992. Some observations on the use of zircon U-Pb geochronology in the study of granitic rock [J]. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh : Earth Sciences* , 83 : 447~458.
- Yan Quanren , Wang Zongqi , Liu Shuwen , et al. 2005. Opening of the Tethys in southwest China and its significance to the breakup of East Gondwanaland in late Paleozoic : Evidence from SHRIMP U-Pb zircon analyses for the Garz ophiolite block [J]. *Chinese Science Bulletin* , 50(2) : 158~166 (in Chinese).
- Zhang Qi. 1995. Some problems concerning the ophiolite study [J]. *Acta Petrological Sinica* , 11(suppl.) : 228~240 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi , Qian Qing , Wang Yan , et al. 1999. Late Paleozoic basic magmatism from SW Yangtze Massif and evolution of the Paleozoic Tethyan Ocean [J]. *Acta Petrological Sinica* , 15(4) : 576~583 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Dalai. 1998. The Paleo-Tethys Orogenic belts , Western Yunnan and Sichuan Provinces [M]. Beijing : Science Press : 45~167 (in Chinese).
- Zhu Yingtang , Li Jianxing , Jia Quanxiang , et al. 2006. Early Permian radiolarians from the Longbao ophiolitic mélange in Yushu area , Qinghai-Tibet Plateau , China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)* , 33(5) : 485~490 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 边千韬 , 郑祥身 , 季红生 , 等. 1997. 青海可可西里地区蛇绿岩的时代及形成环境 [J]. *地质论评* , 43(4) : 347~355.
- 段其发 , 王建雄 , 白云山 , 等. 2009. 青海南部蛇绿岩中辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学特征 [J]. *中国地质* , 36 (2) : 291~299.
- 苟 金. 1990. 唐古拉巴查乌马地区超基性岩的基本特征 [J]. *西北地质* , (1) : 1~5.
- 侯增谦 , 莫宣学 , 朱勤文 , 等. 1996. 三江古特提斯地幔热柱——洋岛玄武岩证据 [J]. *地球学报* , 17(4) : 343~361.
- 黄汲清 , 陈炳蔚. 1987. 中国及邻区特提斯海的演化 [M]. 北京 : 地质出版社 , 1~105.
- 简 平 , 刘敦一 , 孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年 : 古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约 [J]. *地质学报* , 77(2) : 217~227.
- 简 平 , 汪啸风 , 何龙清 , 等. 1998. 云南省新平县双沟蛇绿岩 U-Pb 年代学初步研究 [J]. *岩石学报* , 14(2) : 207~211.
- 刘增乾 , 徐 宪 , 潘桂棠 , 等. 1990. 青藏高原大地构造与形成演化 [M]. 北京 : 地质出版社 , 1~174.
- 潘桂棠 , 丁 俊 , 姚东生 , 等. 2004. 1:150 万青藏高原及邻区地质图 [M]. 成都 : 成都地图出版社 , 52~53.
- 潘桂棠 , 李兴振 , 王立全 , 等. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分 [J]. *地质通报* , 21(11) : 701~707.
- 青海省第二区域地质调查队. 1986. 1:200 000 区域地质调查报告 (玉树县幅 ; 上拉秀幅) [M]. 西宁 : 青海省地质矿产局.
- 宋 彪 , 张玉海 , 万渝生 , 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. *地质论评* , 48(增刊) : 26~30.
- 王永文 , 王玉德 , 李善平 , 等. 2004. 西金乌兰构造混杂岩带特征 [J]. *西北地质* , 37(3) : 15~20.
- 西安地质矿产研究所. 2006. 1:250 000 区域地质调查报告 (玉树县幅) [M]. 西安 : 西安地质矿产研究所.
- 闫全人 , 王宗起 , 刘树文 , 等. 2005. 西南三江特提斯洋扩张与晚古生代东冈瓦纳裂解 : 来自甘孜蛇绿岩辉长岩的 SHRIMP 年代学证据 [J]. *科学通报* , 50(2) : 158~166.
- 张 旗. 1995. 蛇绿岩研究中的几个问题 [J]. *岩石学报* , 11(增刊) : 228~240.
- 张 旗 , 钱 青 , 王 焰 , 等. 1999. 扬子地块西南缘晚古生代基性岩浆岩的性质与在特提斯洋的演化 [J]. *岩石学报* , 15(4) : 576~582.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带 [M]. 北京 : 科学出版社 , 45~467.
- 朱迎堂 , 李建星 , 贾全香 , 等. 2006. 青藏高原东部玉树隆宝蛇绿混杂岩中早二叠世放射虫的发现及其地质意义 [J]. *成都理工大学学报 (自然科学版)* , 33(5) : 485~490.