

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

段其发^{1,2} 王建雄² 白云山² 姚华舟²
何龙清² 张克信^{1,3} 寇晓虎^{1,3} 李俊⁴

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003;
3. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074;
4. 湖北省地球物理勘查技术研究院, 湖北 武汉 430056)

摘要:青海南部蛇绿岩呈构造岩片产于晚三叠世浅变质细碎屑岩中。扎河地区出露的辉长岩为蛇绿岩的组成单元, 属低钾拉斑系列, 其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (239.8 ± 3.1) Ma, 表明岩石形成于中三叠世早期。地球化学特征上, 岩石富 MgO、Al₂O₃, 低 K₂O、TiO₂; REE 总量低, $(La/Yb)_N = 1.10 \sim 4.40$, LREE 略显富集, $\delta Eu = 1.50 \sim 2.41$, 具有明显正铕异常; 大离子亲石元素 (Rb、Ba、Sr、Th、U) 富集、高场强元素 (Nb、Zr、Ti) 亏损, 反映岩浆源区曾遭受到俯冲组分的影响。综合分析认为, 扎河辉长岩岩石具有板内和弧岩浆岩的双重属性, 其形成环境为弧后盆地, 表明中三叠世早期巴颜喀拉盆地发生过一次拉张事件。在区域上, 它是甘孜-理塘蛇绿岩的组成部分。

关键词: 锆石 SHRIMP U-Pb 定年; 岩石地球化学; 辉长岩; 中三叠世; 弧后盆地; 青海

中图分类号: P588.12⁺4; P597⁺.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)02-0291-09

青海省南部位于东特提斯构造域的北东部, 是开展东特提斯地质演化研究的重要地区之一。在巴颜喀拉(松潘—甘孜)地块与羌塘地块之间发育一条走向近东西、断续分布、长 1 千余千米的蛇绿岩带, 即通天河蛇绿混杂岩带^[1]。向东在玉树一带与金沙江蛇绿岩带和甘孜—理塘蛇绿岩带相连接, 往西经可可西里地区延入藏北地区, 它记录了巴颜喀拉盆地南部盆地扩张、收缩、俯冲、形成岛弧和碰撞带的丰富地质信息。蛇绿岩呈构造岩片(块)出露, 其地质时代存在石炭—二叠纪^[2,3]和早三叠世—晚三叠世^[4,5]两种不同认识。对混杂岩带的形成亦有两种观点: 一种认为, 它是古特提斯洋在中二叠世晚期闭合碰撞的产物, 代表古特提斯大洋岩石圈残迹, 与三江地区金沙江洋的形成演化基本可以对比, 是金沙江蛇绿岩带的西延部分^[2,6,7]; 另一种则认为它是晚三叠世巴颜喀拉盆地与北羌塘地块碰撞形成的构造混杂岩带^[8-10]。上述研究工

作集中在可可西里地区, 主要依据古生物化石资料来确定蛇绿岩的地质时代^[2,6], 而玉树、治多一带蛇绿岩的工作程度较低^[11,12]。关于该套蛇绿岩精确同位素年代学研究鲜见报道。2003—2005 年笔者等在治多地区开展 1:25 万区域地质调查(地理座标: E94°30′~96°00′, N34°00′~35°00′), 对扎河地区的蛇绿混杂岩进行了详细填图, 划分了不同的构造岩片(图 1), 对其中重要地质体进行了稳定同位素测年和岩石地球化学分析。本文报道扎河地区辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果和岩石地球化学特征, 探讨其成因及区域构造意义。

1 地质背景

蛇绿岩分布于巴颜喀拉地块与羌塘地块之间, 呈近东西向展布, 其南、北两侧分别受乌兰乌拉湖—玉树断裂带和西金乌兰湖—歇武断裂带控制。由于

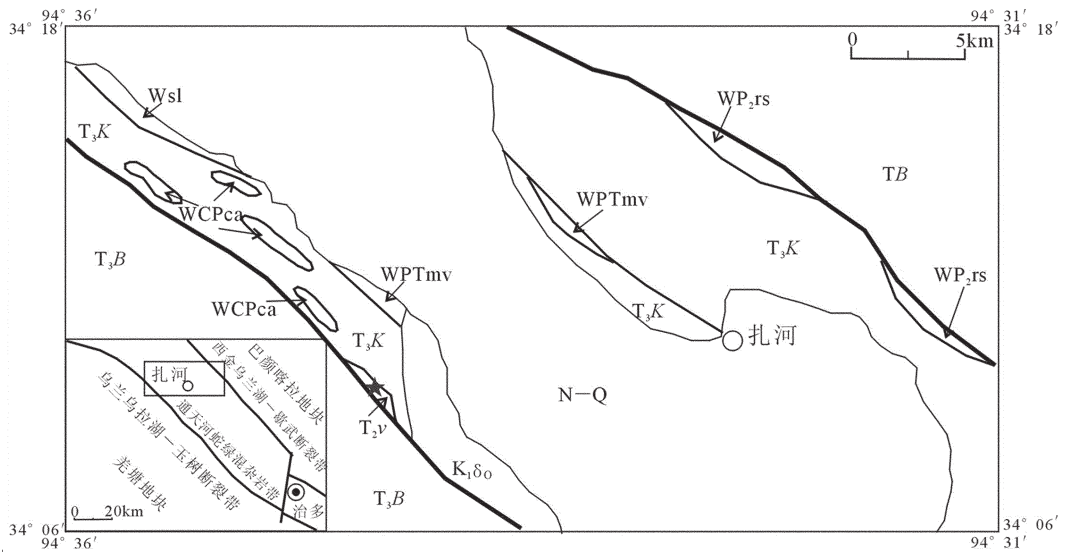


图1 扎河地区概略地质图

Wsl—前古生代变质岩；WCPca—石炭—二叠系大理岩化灰岩；WP₂rs—中二叠统硅质岩；WPTmv—二叠—三叠系细碧—角斑岩；TB—三叠系巴颜喀拉山群；T₂v—中三叠统辉长岩；T₃B—上三叠统巴塘群；T₃K—上三叠统克南群；N—Q—新近系—第四系；K₁δ_o—早白垩世英云闪长岩；★—采样位置

Fig.1 Geological sketch map of the Zhahe area

Wsl—Prepaleozoic metamorphic rock; WCPca—Carboniferous—Permian marbleization—limestone; WP₂rs—Middle Permian siliceous rock; WPTmv—Permian—Triassic spilite—keratophyreic rock; T₂v—Middle Triassic gabbro; TB—Upper Triassic Bayan Har Shan group; T₃B—Upper Triassic Batang group; T₃K—Upper Triassic Kenan group; N—Q—Neogene—Quaternary; K₁δ_o—Early Cretaceous tonalite; ★—sampling site

受多期构造活动改造,岩石(层)的侧向与垂向迁移、错位拼贴的现象十分普遍,被肢解的蛇绿岩以外来构造岩块(片)的形式产于浅变质浊积岩基质中。构造岩片岩性包括细碧—角斑岩、块状玄武岩、辉长岩、凝灰岩、硅质岩及深水浊积岩。硅质岩的地质时代为中二叠世,形成于边缘海环境^[13, 14],基质中的杂砂岩形成于活动大陆边缘和大洋岛弧环境^[9]。

本文研究的辉长岩体位于治多县扎河乡西部约20 km处的宾果达陇,出露面积约0.4 km²。岩体与围岩呈断层接触,未见热变质现象。岩石呈灰黑、深绿色,中细粒辉长结构,块状构造。主要矿物为斜长石(45%~50%)、单斜辉石(40%~45%),含少量角闪石、磁铁矿、钛铁矿和磷灰石。辉石自形程度较高,大者2~4 mm,小者0.1~0.3 mm,边缘常被磁铁矿所包围;斜长石具细粒化、黝帘石化、绢云母化、钠长石化现象;辉石、角闪石具压扁拉长,并发生闪石化、绿泥石化现象,大的闪石中有残留辉石。

2 锆石 SHRIMP U-Pb 定年

2.1 分析方法

锆石是在岩石粉碎后按常规的重液和磁选方法

分选,最后在双目显微镜下挑纯,所分选出的锆石呈无色透明短柱状或不规则状。将待测锆石和数粒标准锆石一起固定在直径为25 mm的环氧树脂靶上,磨光到暴露出锆石的中心面,用反射光和透射光照相,然后镀金,用于阴极发光图像(CL)研究及随后的SHRIMP U-Pb分析。锆石SHRIMP测点的选择以锆石颗粒在显微镜透射光、反射光下的形貌特征和CL图像为依据。用于测年的锆石无色透明,短柱状或等粒状,大小100 μm±。所有锆石的CL图像较灰暗(图2),大部分锆石内部存在不规则晶域,仅颗粒4.1略显模糊的环带结构,此外,大部分锆石外部发育很薄(<20 μm)的增生边,可能是三叠纪晚期以及白垩纪发生的区域变质作用和中酸性岩浆活动所致。

SHRIMP U-Pb分析在中国地质科学院北京离子探针中心的SHRIMP II上完成。详细分析流程参见文献^[15-19]。应用标准锆石TEM(417 Ma)进行元素分馏校正,标准锆石SL13(572 Ma, U含量238×10⁻⁶)标定样品的U, Th和Pb含量^[20, 21]。数据处理采用SQUID和ISOPLOT程序^[22, 23],应用实测²⁰⁴Pb校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为1σ,采用年龄为²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄,其加权平均值为95%的置信度。

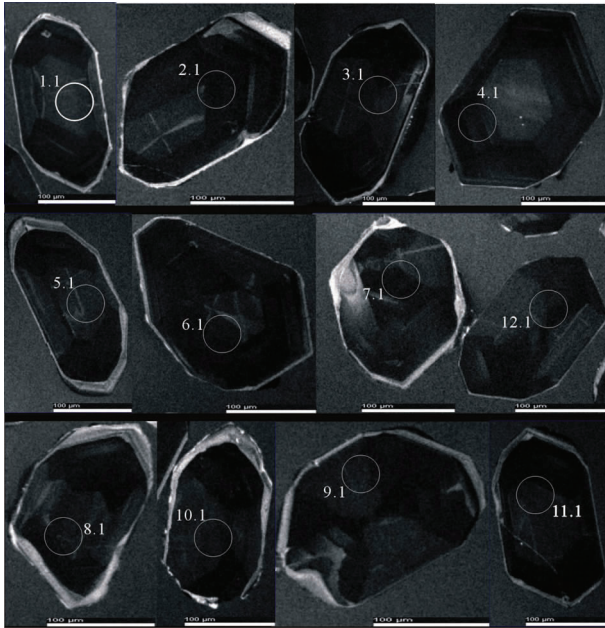


图 2 扎河超基性岩体锆石的阴极发光图像
Fig.2 CL images of the zircon from Zhahe gabbro

2.2 测试结果

SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果见表 1 和图 3。锆石的 Th、U 含量均较高,分别为 $1807 \times 10^{-6} \sim 5580 \times 10^{-6}$, $305 \times 10^{-6} \sim 2436 \times 10^{-6}$, 其值越大,对应的 CL 图像越暗。所测锆石的 Th/U 比值为 0.17~0.28 (除测点 12.1 为 0.45), 均大于 0.1, 且变化范围小, 说明它们是从同一岩浆中结晶形成的, 属岩浆锆石^[24]。锆石的 U-Pb 年龄可以代表辉长岩的形成时代。

扎河辉长岩 12 个锆石颗粒的分析表现出较为一致的谐和年龄, 其中测点 7.1 为 $(252.8 \pm 3.6) \text{Ma}$ 和 9.1 为 $(252.2 \pm 3.6) \text{Ma}$, 年龄稍大, 偏离主锆石群, 但其 CL 图像特征与其他颗粒基本相同, $\text{Th}/\text{U} > 0.3$, 属岩浆成因锆石, 年龄计算时未作统计。其余 10 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $(233.6 \pm 3.5) \text{Ma} \sim (245.8 \pm 3.5) \text{Ma}$ 之间, 构成非常集中的主锆石群, 加权平均结果为 $(239.8 \pm 3.1) \text{Ma} (n=10, \text{MSWD}=1.5)$ (图 3), 这一年龄代表辉长岩的结晶年龄, 为中三叠世早期。

3 地球化学特征

3.1 分析方法

经手标本和镜下观察选取较为新鲜的岩石样品用水洗净, 破碎后用玛瑙研钵研磨成粉末, 对其常量元素、微量元素及同位素进行测试。样品分析在宜昌地质矿产研究所中南实验检测中心完成: 主元素采用 XRF 法测试, 通过插入部分样品重复测试进行分析质量监控, 分析精度高于 1%; FeO 和 Fe_2O_3 以及烧失量用湿化学法单独分析; 稀土元素和微量元素分析采用 ICP 电感耦合等离子体发射光谱法及 AAS 原子吸收光谱法、AES 电弧发射光谱法等, 分析精度一般优于 5%。

3.2 主量元素特征

主量元素分析结果见表 2。岩石的 SiO_2 含量 (烧失量校正, 以下相同) 为 45.38%~47.01%, K_2O 含量为 0.08%~0.446%, 全碱 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 含量为 1.39%~1.79%; 在“三江”地区, 极低的 K_2O 含量是鉴别洋

表 1 扎河辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果
Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircons from the Zhahe gabbro

分析 序号	U / 10^{-6}	Th / 10^{-6}	Th/U	$^{206}\text{Pb}^*$ / 10^{-6}	^{206}Pbc / 10^{-2}	$^{206}\text{Pb}^*$ / ^{238}U	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*$ / ^{235}U	$\pm\%$	^{207}Pb / ^{206}Pb	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Ma)	$\pm 1 \sigma$
1.1	1807	305	0.17	58.1	0.24	0.03741	1.5	0.2558	2.3	0.05158	1.30	236.4	± 3.5
2.1	4802	1284	0.28	158.0	0.05	0.03838	1.5	0.2691	1.7	0.05136	0.76	242.3	± 3.5
3.1	4138	1048	0.26	138.0	0.04	0.03878	1.5	0.2731	1.7	0.05146	0.82	245.1	± 3.5
4.1	2517	511	0.21	80.6	0.12	0.03722	1.5	0.2591	2.0	0.05147	1.10	235.5	± 3.5
5.1	1828	337	0.19	58.0	0.11	0.03688	1.5	0.2634	2.5	0.05264	1.90	233.6	± 3.5
6.1	3577	990	0.29	119.0	0.14	0.03857	1.5	0.2695	2.1	0.05188	0.92	243.7	± 3.5
7.1	5710	2335	0.42	196.0	0.08	0.04001	1.5	0.2792	1.7	0.05130	0.70	252.8	± 3.6
8.1	2718	630	0.24	88.8	0.14	0.03802	1.5	0.2653	2.0	0.05178	1.10	240.2	± 3.5
9.1	4722	1554	0.34	162.0	0.08	0.03993	1.5	0.279	1.8	0.05132	0.76	252.2	± 3.6
10.1	2110	390	0.19	69.1	0.39	0.03808	1.5	0.261	2.6	0.05295	1.20	240.3	± 3.5
11.1	1957	347	0.18	62.8	0.10	0.03736	1.5	0.2653	2.1	0.05239	1.20	236.3	± 3.5
12.1	5580	2436	0.45	186.0	0.04	0.03893	1.5	0.276	1.7	0.05183	0.72	245.8	± 3.5

注: ^{206}Pbc (10^{-2}) 为普通 ^{206}Pb 占总 ^{206}Pb 的百分比; Pb^* 为放射成因铅; 普通铅用 ^{204}Pb 校正。

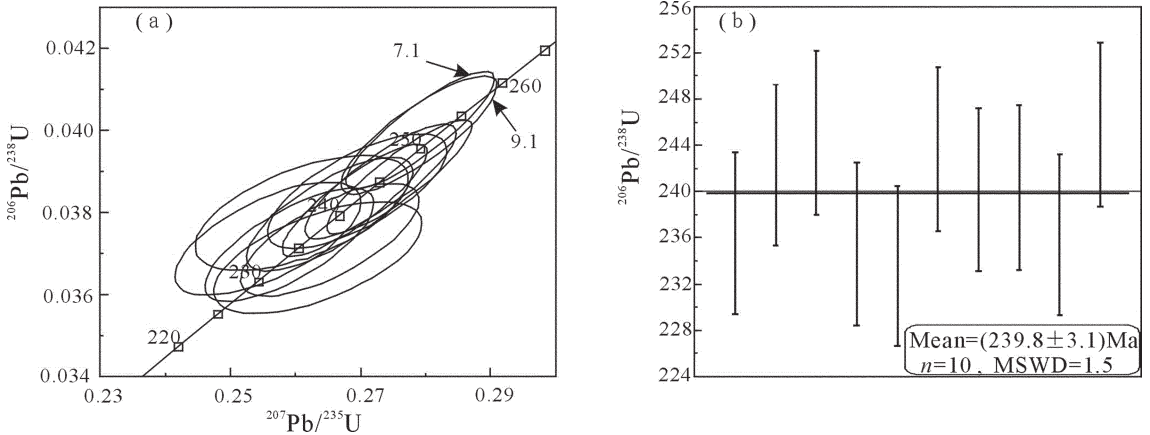


图3 扎河辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图(a)与统计直方图(b)
Fig.3 SHRIMP U-Pb concordia diagram of zircons (a) from the Zhahe gabbro and its histogram (b)

脊玄武岩的一个较为可靠的主元素标志^[25];MgO 含量为 7.71%~17.20%,变化大;Mg[#] 值为 0.38~0.65,属于典型蛇绿岩镁铁质堆晶岩的 Mg[#] 值 (0.20~0.80) 变化范围^[26],反映它是分异演化的岩浆;全铁 (TFeO) 平均含量为 11.47%,Al₂O₃ 平均含量为 17.01%,类似于板内溢流拉斑玄武岩的 Al₂O₃ 含量 (=17.08%)^[27] 和澜沧江带 MORB 的 Al₂O₃ 含量 (=17.24%)^[25]。高的 Al₂O₃ 含量指示斜长石对辉长岩化学成分的控制,TiO₂ 含量为 0.05%~0.13%,明显偏低。这种低 TiO₂ 含量的辉长岩在甘孜—理塘蛇绿岩带也有报道^[28]。岩石总体显示富 Mg、Al,贫 K、Ti 的特征。在 SiO₂-全碱(TAS)图解中(图 4-a),样品落

入亚碱性系列玄武岩区;在 FAM 图解中(图 4-b),样品均落入拉斑系列,在 SiO₂-K₂O 图上(图略),属低钾拉斑系列。

3.3 微量元素特征

微量元素含量见表 2。岩石稀土总量低,ΣREE 为 (5.87~17.63)×10⁻⁶, (La/Yb)_N=1.10~4.40,LREE 略显富集,(Gd/Yb)_N=1.07~1.5,表明 HREE 之间分异不明显。稀土元素球粒陨石标准化配分模式见图 5-a, δEu=1.50~2.41,具有明显正铕异常,指示有斜长石堆晶。大离子亲石元素(LILE)Rb、Ba 丰度低,Sr、K 的丰度中等,且 Sr 含量变化范围较大;亲铁元素 Cr、Ni、Co 和放射性生热元素 U、Th 以及不活动性

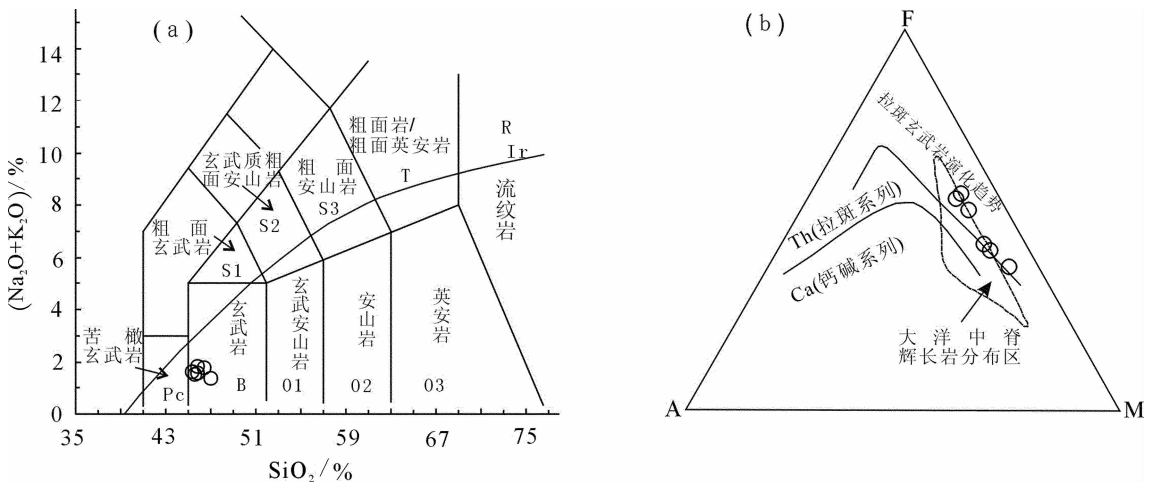


图4 扎河辉长岩 TAS 图解(a)和 AFM 图解(b)
Fig.4 TAS diagram (a) and AFM diagram (b) for the Zhahe gabbro

表 2 扎河辉长岩主量元素(10⁻²)和微量元素(10⁻⁶)分析结果
Table 2 Major element(10⁻²) and trace element(10⁻⁶) contents of the Zhahe gabbro

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量	Mg [#]
1b	43.82	0.086	11.46	4.86	7.04	0.206	16.61	10.87	1.32	0.224	0.058	2.5	99.05	0.65
2b	44.9	0.078	17.34	3.98	6.62	0.18	7.39	13.63	1.25	0.08	0.063	3.02	98.53	0.46
3b	44.56	0.051	17.24	3.55	6.9	0.222	10.67	12.32	1.48	0.281	0.055	2.4	99.73	0.55
4b	43.88	0.752	16.95	3.38	5.58	0.164	9.97	14.23	1.36	0.096	0.052	3.32	99.73	0.58
5b	44.54	0.09	17.74	3.56	8.98	0.246	7.4	11.68	1.59	0.125	0.053	2.74	98.74	0.39
6b	44.48	0.13	17.23	3.45	11.06	0.367	8.58	10.27	1.1	0.446	0.034	1.94	99.09	0.38

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	(La/Yb) _N	(Gd/Yb) _N	δEu
1b	0.97	2.56	0.25	0.68	0.21	0.14	0.27	0.05	0.28	0.06	0.18	0.03	0.16	0.03	5.87	4.35	1.40	1.94
2b	2.1	3.91	0.5	1.74	0.55	0.26	0.58	0.11	0.73	0.16	0.46	0.07	0.45	0.07	11.69	3.35	1.07	1.50
3b	2.27	4.04	0.53	1.76	0.48	0.38	0.56	0.11	0.66	0.15	0.4	0.06	0.37	0.06	11.83	4.40	1.25	2.41
4b	0.8	1.1	0.14	0.78	0.31	0.19	0.35	0.07	0.44	0.09	0.24	0.04	0.2	0.03	4.78	2.87	1.45	1.89
5b	0.75	1.66	0.29	1.58	0.66	0.52	0.86	0.17	1.03	0.21	0.58	0.09	0.49	0.07	8.96	1.10	1.45	2.28
6b	2.24	4.63	0.68	3.18	1	0.9	1.23	0.24	1.42	0.29	0.83	0.13	0.75	0.11	17.63	2.14	1.36	1.67

样号	Cr	Co	Ni	V	Sc	Y	Rb	Sr	Ba	Nb	Ta	Zr	Hf	U	Th	Pb
1b	180	84.6	93.6	108	41.9	2.06	4.1	61.5	83.5	1.07	0.11	5.8	0.2	0.45	0.88	9.5
2b	206	30.7	42.1	133	48.1	4.18	3.5	172	35.2	1.44	0.14	26.1	0.8	0.24	1.06	7.1
3b	286	36	41.2	137	50.2	4.36	5.8	135	100	1.37	0.12	10.6	0.3	0.31	0.99	6.5
4b	288	31.9	42.9	149	58.6	5.52	2.4	14	33.5	2.47	0.17	6.1	0.3	0.14	1.08	9.1
5b	161	38.7	25.2	196	75.5	8.8	4	154	56.7	1.17	0.11	8.1	0.4	0.16	0.77	7.4
6b	95.9	38.1	16.2	386	61.1	7.61	11.4	137	192	2.83	0.3	16.7	0.7	0.3	1.2	7.3

注: Mg[#]=Mg/(Mg+Fe²⁺)。

元素 Nb、Ta、Zr、Hf 的丰度低,且变化范围小。在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 5-b)上,Rb、Sr、Ba、U、P 为正异常,Nb、Zr、Ti 为负异常,类似于边缘盆地过渡型玄武岩,即低的标准化的丰度和小的 Nb 负异常,暗示岩浆的形成与含不同量俯冲组分的 MORB 地幔的浅位熔融或 MORB 地幔与受俯冲组分改造的地幔楔混合有关^[30]。Sr 和 Eu 同时正异常的现象主要反映斜长石的控制。

4 构造环境判别

扎河辉长岩 6 个样品在 AFM 图(图 4-b)上落入洋中脊辉长岩分布区及其附近;在 ATK 图解(图 6-a)和 TFeO-MgO-Al₂O₃ 图解(图 6-b)上,样品点位于洋底(或洋脊)玄武岩区,部分样品靠近大陆环境,暗示其板内属性,并受到大陆地壳的混染,在 2Nb-Zr/4-Y 图解(图 6-c)上,3 个样品点位于 P-

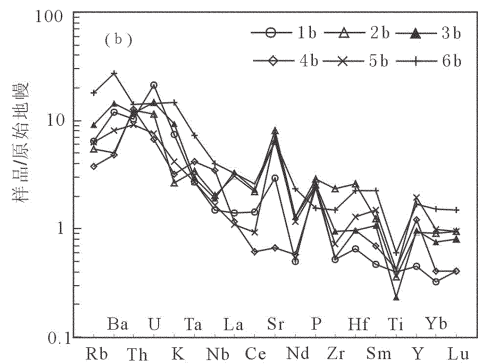
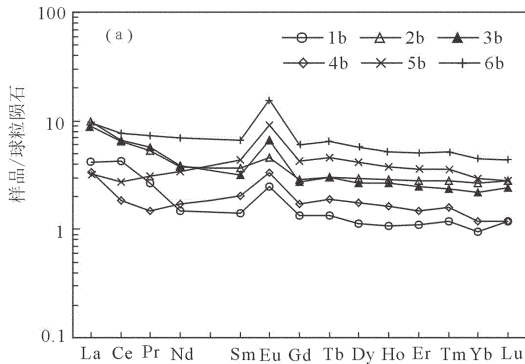


图 5 扎河辉长岩稀土元素配分曲线(a)和微量元素蛛网图(b)(标准化数据^[29])
Fig.5 Chondrite normalized REE distribution pattern (a) and primitive mantle-normalized trace elements diagrams (b) for the Zhahe gabbro(normalized data^[29])

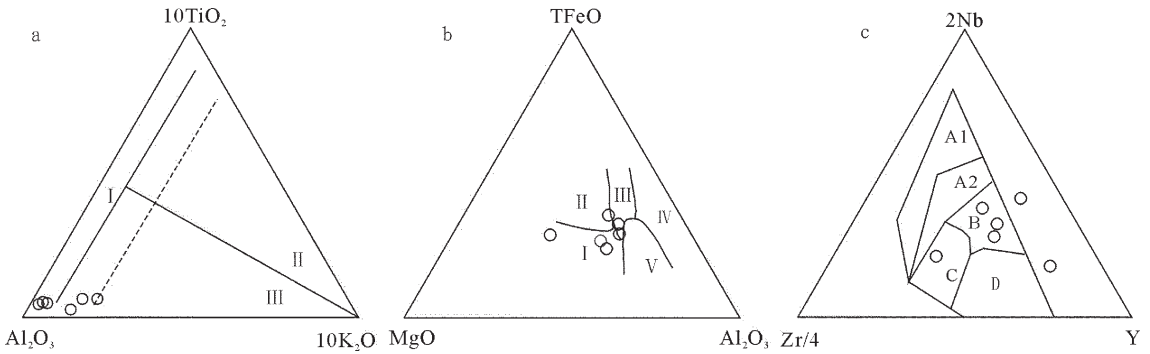


图6 扎河辉长岩构造环境判别图解

A—ATK 图解^[31]: I—洋脊玄武岩区; II—大陆裂谷玄武岩区; III—造山带玄武岩及安山岩区。B—TFeO—MgO—Al₂O₃ 图解^[32]: I—洋中脊或洋底; II—洋岛; III—大陆; IV—扩张中央岛; V—造山带; 图c: 2Nb—Zr/4—Y 图解^[33]:

A I + A II—板内玄武岩; B—P 型 MORB, A II + C—板内拉斑玄武岩, D—N 型 MORB

Fig.6 Geological tectonic setting discrimination diagram of Zhahe gabbro

a—ATK diagram^[31]: I—mid-ocean ridge basalt; II—continental rift basalt; III—orogenic basalt and andesite;

b—TFeO—MgO—Al₂O₃ diagram^[32]: I—mid-ocean ridge or ocean floor; II—ocean island; III—continent; IV—spreading central island; V—orogenic belt. c—2Nb—Zr/4—Y diagram^[33]: A I + A II—intraplate basalt; B—enriched mid-ocean ridge basalt; A II + C—intraplate tholeiite basalt; D—normal mid-ocean ridge basalt

MORB 区, 1 个样品点位于 C 区, 同样指示其板内属性。综合上述主量元素、稀土元素及微量元素特征, 认为该套岩石形成于多硅质陆壳成分的大陆边缘盆地, 属弧后盆地环境。表明在中三叠世早期, 巴颜喀拉地块南部可能出现大陆边缘的裂解并伴有基性岩类侵入。

4 讨论与结论

4.1 扎河辉长岩是陆壳基底弧后盆地岩浆产物

蛇绿岩根据其产出的地质背景划分为洋中脊型和俯冲带型(Supra-Subduction Zone, 简称 SSZ)两大类。现在越来越多的资料表明保存在缝合带中的大多数蛇绿岩形成于俯冲带上的构造环境(包括弧前和弧后盆地)^[34]。弧后盆地基性岩形成于消减带之上的弧后盆地扩张脊环境, 通过类似于洋中脊的海底扩张作用产生。因此, 弧后盆地岩浆岩类常具板内岩浆岩和岛弧岩浆岩的双重属性。

扎河辉长岩具有高的 MgO、Al₂O₃ 含量和低的 K₂O、TiO₂ 含量以及低的 REE 和微量元素丰度, 亏损高场强元素, 并具有明显的 Nb、Zr、Ti 的负异常, 类似于弧火成岩特征, 暗示其岩浆起源与俯冲板片流体交代地幔楔源区的部分熔融有关。另一方面, 在主量元素构造环境判别图上, 大部分样品位于洋脊区, 并有向大陆方向偏移的趋势, 在微量元素构造环境判

别图上, 也具有类似特点。表明它兼具岛弧火山岩和洋中脊玄武岩的成分特征, 指示它的源区很有可能同时卷入了这两种组分。因此, 扎河辉长岩形成于弧后盆地扩张环境, 属 SSZ 型蛇绿岩的组成单元。

4.2 扎河辉长岩属甘孜—理塘蛇绿岩带的西延部分, 反映巴颜喀拉盆地在中三叠世早期的扩张事件具有区域构造意义

青海南部出露的通天河蛇绿混杂岩在玉树一带与金沙江蛇绿岩带和甘孜—理塘蛇绿岩带相连接, 以往的研究工作将玉树—治多地区的蛇绿岩一并归入金沙江蛇绿岩带。而对甘孜—理塘蛇绿岩带在青海南部的物质组成与形成演化少有论述。近年来的研究, 对金沙江洋俯冲闭合时代取得基本一致的观点, 即金沙江古特提斯洋在中二叠世末期已基本闭合, 它是一条晚古生代缝合带^[35]。本文测定的扎河辉长岩锆石 SHRIMP U—Pb 年龄为 (239.8±3.1)Ma, 表明其形成于中三叠世早期, 它可能指示了洋壳形成时代, 不应归入金沙江蛇绿岩带。在区域上, 甘孜—理塘蛇绿岩形成于晚石炭世末或早二叠世初^[36], 并在晚二叠世末至中三叠世洋盆再次扩张^[25, 37]。因此, 以扎河辉长岩为代表的蛇绿岩属甘孜—理塘蛇绿岩的西延部分, 反映巴颜喀拉盆地在中三叠世早期的扩张事件, 这次扩张事件在藏北地区持续到晚三叠世早期^[5]。表明中三叠世巴颜喀拉盆地南部的扩张具有区域构造

意义,它与东部的甘孜—理塘洋具有相同的演化历史。

致谢:实验分析测试过程中北京离子探针中心刘建辉博士给予了热情指导,审稿专家提出了许多宝贵的修改意见;宜昌地质矿产研究所牛志军、甘金木、段万军、卜建军、赵小明、曾波夫、涂兵等同志参加了部分野外工作,在此谨致谢忱。

参考文献(References):

- [1] 青海省地质矿产局. 青海省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997:336-338.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai. Stratigraphy (Lithostratic) of Qinghai Province[M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1997, 336-338(in Chinese).
- [2] 边迁韬, 郑祥身, 李红生, 等. 青海可可西里地区蛇绿岩的时代及形成环境[J]. 地质论评, 1997, 43(4):348-355.
Bian Qiantao, Zheng Xiangshen, Li Hongsheng, et al. Age and tectonic setting of ophiolite in the Hoh Xil region, Qinghai Province[J]. Geological Review, 1997, 43(4):348-355 (in Chinese with English abstract).
- [3] 朱迎堂, 郭通珍, 彭伟, 等. 可可西里幅地质调查新成果及主要进展[J]. 地质通报, 2004, 23(5/6): 543-548.
Zhu Yingtang, Guo Tongzhen, Peng Wei, et al. New results and major progress in regional geological survey of the Hoh Xil lake sheet[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(5/6): 543-548(in Chinese with English abstract).
- [4] 赖绍聪, 刘池洋. 羌塘地块北界拉竹龙—西金乌兰—玉树结合带印支期构造环境探讨 [J]. 西北大学学报 (自然科学版), 1999, 29(1): 59-62.
Lai Shaocong, Liu Chiyang. Discussion on the tectonic setting during Indo-China Epoch of the Lazhulong-Xijinwulan-Yushu Suture Zone, on north margin of Qiangtang [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1999, 29(1):59-62 (in Chinese with English abstract).
- [5] 陆济璞, 唐专红, 李玉坤, 等. 藏北大横山—弯岛湖一带的中—晚三叠世地层——对若拉岗日构造带地质演化的地层学制约[J]. 地质通报, 2006, 25(12):1402-1408.
Lu Jipu, Tang Zhuanhong, Li Yukun, et al. Stratigraphic constraints of the mid-late Triassic strata on the geological evolution of the Rola Kangri tectonic belt in the Daheng mountain-Wandaohu area, northern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(12): 1402-1408(in Chinese with English abstract).
- [6] 沙金庚, 张遵信, 罗辉等, 等. 论可可西里晚古生代裂谷的消亡时代[J]. 微体古生物学报, 1992, 9(2): 177-182.
Sha Jingeng, Zhang Linxin, Luo Hui, et al. On the closure age of the late Palaeozoic rift in Hohxil, Qinghai [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1992, 9(2): 177-182(in Chinese with English abstract).
- [7] 黄汲清, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京:地质出版社, 1987: 1-105.
Huang Jiqing, Chen Binwei. The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Regions [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1987: 1-105(in Chinese with English abstract)
- [8] 李勇, 王成善, 伊海生. 西藏金沙江缝合带西段晚三叠世碰撞作用与沉积响应[J]. 沉积学报, 2003, 21(2):191-197.
Li Yong, Wang Chengshan, Yi Haisheng. The Late Triassic collision and sedimentary responses at western segment of Jinshajiang Suture, Tibet[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2):191-197 (in Chinese with English abstract).
- [9] 徐强, 潘桂棠, 江新胜. 松潘—甘孜带: 是弧前增生还是弧后消减? [J]. 矿物岩石, 2003, 23(2): 27-31.
Xu Qiang, Pan Guitang, Jiang Xinsheng. Songpan-Ganze belt: forearc accretion or backarc collapsing?[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2003, 23(2): 27-31(in Chinese with English abstract).
- [10] 雷振宇, 高原. 青海西金乌兰湖—玉树板块缝合带的基本特征[J]. 中国区域地质, 1992, (1): 14-19.
Lei Zhengyu, Gao Yuan. Basic characteristics of the Xijir Ulan lake-Yushu plate suture zone in Qinghai [J]. Regional Geology of China, 1992, (1):14-19(in Chinese with English abstract).
- [11] 潘裕生. 青海省通天河发现蛇绿岩套[J]. 地震地质, 1984, (2): 44.
Pan Yusheng. Ophiolite suite was discovered in Tontian River, Qinghai Province [J]. Seismology and Geology, 1984, (2):44(in Chinese with English abstract).
- [12] 中-英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化[M]. 北京:科学出版社, 1990: 29-34.
Sino-British Comprehensive Geological Expedition Team of the Qinghai-Tibet Plateau. The Geological Evolution of the Qinghai-Tibet[M]. Beijing :Science Press, 1990: 29-34(in Chinese with English abstract).
- [13] 段其发, 王建雄, 牛志军, 等. 青海南部治多县扎河地区发现中二叠世放射虫化石[J]. 地质通报, 2006, 25(1/2):173-175.
Duan Qifa, Wang Jianxiong, Niu Zhijun, et al. Discovery fo middle Permian radiolarians in the Chuggur area, Zhidoi County, southern Qinghai, China[J]. Geological Bulletin of China, 25(1/2): 173-175(in Chinese with English abstract).
- [14] 段其发, 王建雄, 何龙清, 等. 青海南部金沙江缝合带二叠纪硅质岩地球化学特征及沉积环境[J]. 华南地质与矿产, 2006b, (3): 24-30.
Duan Qifa, Wang Jianxiong, He Longqing, et al. Geochemical characteristics and sedimentary environments of the Permian siliceous rock in the Jinshajiang Suture Zone, Southern Qinghai, China [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2006, (3): 24-30(in Chinese with English abstract).
- [15] Williams I S, Clacsson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneis from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II . Ion Microprobe zircon U-Pb [J]. Contrib Mineral Petrol, 1987, 97: 205-217.
- [16] Compston W, Williams I S, Meyer C. U-Pb geochronology of

- zircon from lunar braccia 73217 using a sensitive high mass – resolution ion microprobe [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89(B): 525–534.
- [17] Ireland T R, Gibson C M. SHRIMP monazite and zircon geochronology of high-grade metamorphism in New Zealand[J]. *J Metamorph Geol*, 1998, 16:149–167.
- [18] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. *地质论评*, 2002, 48(增刊): 26–30.
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geological Review*, 2002, 48 (Supp.): 26–30 (in Chinese with English abstract).
- [19] 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克浅色岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据 [J]. *地质学报*, 2003, 77 (3) :317–327.
Liu Dunyi, Jian Ping, Zhang Qi, et al. SHRIMP dating of adakites in the Tulinkai Ophiolite, Inner Mongolia : Evidence for the early Paleozoic subduction [J]. *Acta Geological Sinica*, 2003, 77 (3): 317–327(in Chinese with English abstract) .
- [20] Black L P, Kamo S L, Allen C M, et al. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology [J]. *Chem. Geol.*, 2003, 200(1/2): 155–170.
- [21] Williams I S. U–Th–Pb geochronology by ion microprobe[C]// McKibben M A , Shanks W C, Ridley W I (eds.). *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. *Rev Econ Geol* , 1998, 7:1–35.
- [22] Ludwig K R. *Squid 1.02: A user manual* [M]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2001:1–219.
- [23] Ludwig K R. Using Isoplot/EX, version 2, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronological Center Special Publication, 1999. 1–47.
- [24] Claesson V S, Vetrin T, Bayanova H D. U–Pb zircon ages from a Devonian carbonate dyke, Kola peninsula, Russia; a record of geological evolution from the Archean to the Palaeozoic[J]. *Lithos*, 2000, 51:95–108.
- [25] 莫宣学, 邓晋福, 董方浏, 等. 西南三江造山带火山岩–构造组合及其意义[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(2): 121–137.
Mo Xuanxue, Deng Jinfu, Dong Fangliu, et al. Volcanic petrotectonic assemblages in sanjiang orogenic Belt, SW China and implication for tectonics[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2001, 7(2): 121–137(in Chinese with English abstract).
- [26] Coleman R G. The diversity of ophiolites [J]. *Geologien Mijinboow*, 1984, 63:141–150.
- [27] Wilson M. *Igneous Petrogenesis* [M]. London: Unwin Hyman, 1989, 1–464.
- [28] 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. “三江”特提斯火山作用与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1993:19–30.
Mo Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, et al. Sanjiang Tethyan Volcanism and Related Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:19–30(in Chinese).
- [29] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D and Norry M J (eds.), *Magmatism in ocean basins*. *Geol. Soc. London. Spec. Publ*, 1989:42, 313–345.
- [30] Pearce J A. A user’s guide to basalt discriminant diagrams [C]// Wyman D A (ed.). *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*. Geological of Canada, short course notes, Winnipeg, Manitoba, 1996, 12:79–113.
- [31] 赵崇贺. 中基性火山岩成分的 ATK 图解与构造环境 [J]. *地质科技情报*, 1989;8(4):1–5.
Zhao Chonghe. The ATK diagram of basic–intermediate volcanic rocks and tectonic environment [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1989, 8(4): 1–5(in Chinese with English abstract).
- [32] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra– subduction zone ophiolites [C]// Kokelaar B P and Howells M F (eds.). *Marginal Basin Geology*. Geological Society of London Special Publication 16:London, Blackwell Scientific Publications, 1984:77–94.
- [33] Meschede M. A method of discriminating between different type of mid–ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb – Zr–Y diagram[J]. *Chem Geol*, 1986, 56: 207–218.
- [34] Pearce J A. Supra – subduction zone ophiolites: The search for modern analogues [C]//Dilek Y and Newcomb S (eds.) *Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought Colorado*: Geological Society of American Special Paper, 2003, 373: 269–293.
- [35] 任纪舜, 肖黎薇. 1:25 万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱[J]. *地质通报*, 2004, 23(1): 1–11.
Ren Jishun, Xiao Liwei. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai – Tibet plateau by 1:250000 geological mapping[J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(1): 1–11(in Chinese with English abstract).
- [36] Yan Quanren, Wang zongqi, Liu Shuwen, et al. 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 Garzê ophiolite block [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(3): 256–264.
- [37] 侯增谦, 卢纪仁, 李红阳, 等. 中国西南特提斯构造演化: 地幔柱构造控制[J]. *地球学报*, 1996, 17(4): 439–452.
Hou Zengqian, Lu Jiren, Li Hongyang, et al. Tectonic evolution of the Tethys in southwestern China controlled by plume tectonics[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1996, 17 (4): 439–452 (in Chinese with English abstract).

Zircon SHRIMP U-Pb dating and lithogeochemistry of gabbro from the ophiolite in southern Qinghai Province

DUAN Qi-fa^{1,2}, WANG Jian-xiong², BAI Yun-shan², YAO Hua-zhou², HE Long-qing²,
ZHANG Ke-xin^{1,3}, KOU Xiao-hu^{1,3}, LI Jun⁴

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China; 3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 4. Hubei Institute of Geophysical Exploration Technology, Wuhan 430056, Hubei, China)

Abstract: Ophiolites occur as lenses or slices within the Late Triassic metamorphic sedimentary rocks in southern Qinghai Province, where no research work has been done before. The gabbro exposed in the Chaggur area is a unit of the ophiolite and belongs to the low-K tholeiitic series. The SHRIMP U-Pb age of zircons from gabbro is (239.8 ± 3.1) Ma, suggesting that the re-spreading time of the Bayanhar ocean was most likely at the early stage of Middle Triassic. The gabbro is characterized by high MgO, Al₂O₃ and low K₂O, TiO₂. All rock samples have low REE abundances and show similar REE distribution patterns characterized by slight LREE enrichment with very distinct positive Eu anomalies. $(La/Yb)_N$ ratios are 1.10~4.40, whereas δ Eu values are 1.50~2.41. The samples are enriched in large ion lithophile elements (LILE) and depleted in Nb, Zr and Ti in the trace spider diagram, implying that the magma source was affected by input of some components from the subduction zone. It is thus considered that lithogeochemistry of the Chaggur gabbro was characterized by intraplate and arc volcanic rocks, and hence the gabbro was formed in a back-arc basin setting and should belong to the western segment of the Garzê-Litang ophiolite mélange.

Key words: SHRIMP U-Pb zircon dating; lithogeochemistry; gabbro; Middle Triassic; back-arc basin; Qinghai Province

About the first author: DUAN Qi-fa, male, born in 1966, associate senior researcher, engages in the study of regional geology and petrology; E-mail: 502xaohan@163.com.