

任冲, 马飞宙, 朱振华, 等. 藏南哲古基性岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 881-890.

Ren Chong, Ma Feizhou, Zhu Zhenhua, et al. U-Pb SHRIMP zircon ages of the mafic-ultramafic rocks from Chigu Co of South Tibet and their geological significances[J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 881-890(in Chinese with English abstract).

## 藏南哲古基性岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 及地质意义

任 冲<sup>1</sup> 马飞宙<sup>2</sup> 朱振华<sup>1</sup> 张建国<sup>1</sup> 黄荣才<sup>1</sup> 张 亚<sup>1</sup>

(1. 中国人民武装警察部队黄金第十一支队, 西藏 拉萨 850000; 2. 中国地质调查局, 北京 100037)

**摘要:**藏南地区广泛发育近东西向的基性岩墙群, 其中哲古地区辉石岩以夹层形式产于辉长岩中, 本文对哲古基性岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 得出辉长岩和辉石岩加权平均年龄分别为  $(131.71 \pm 2.7) \text{Ma}$  ( $2\sigma$ , MSDW=2.8) 和  $(135.0 \pm 2.4) \text{Ma}$  ( $2\sigma$ , MSDW=2.1), 辉石岩的结晶时代比辉长岩早约 4 Ma。元素地球化学研究表明, 辉长岩  $\text{SiO}_2$  含量为 50.85%,  $\text{TiO}_2$  含量为 1.45%,  $\text{MgO}$  含量为 10.05%, 全铁含量为 8.57%,  $\text{Mg}^\#$  为 71.33。辉石岩  $\text{SiO}_2$  含量为 48.28%,  $\text{TiO}_2$  含量为 2.02%,  $\text{MgO}$  含量为 18.68%, 全铁含量为 13.08%,  $\text{Mg}^\#$  为 78.76。辉长岩和辉石岩  $\text{K}_2\text{O}$  含量较高, 分别为 0.68 和 0.81, Eu 的亏损不明显, 相对亏损 Nb、Ta 等元素, 稀土分布型式与板内洋岛玄武岩(OIB)类似。其形成与同时期的地幔热事件关系密切, 并在上升过程中可能受到了地壳物质的混染。

**关键词:**藏南; 基性岩; SHRIMP 锆石定年; 地球化学

中图分类号: P597.3; P588.12'4-5 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)04-0881-10

## U-Pb SHRIMP zircon ages of the mafic-ultramafic rocks from Chigu Co of South Tibet and their geological significance

REN Chong<sup>1</sup>, MA Fei-zhou<sup>2</sup>, ZHU Zhen-hua<sup>1</sup>,  
ZHANG Jian-guo<sup>1</sup>, HUANG Rong-cai<sup>1</sup>, ZHANG Ya<sup>1</sup>

(1. No. 11 Gold Geological Party of CAPF, Lhasa 850000, Tibet, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The nearly EW-trending mafic dyke swarms are widely distributed in South Tibet, and the layered pyroxenite occurs in the gabbro. Two weighted average ages of gabbro and pyroxenite were obtained by SHRIMP zircon U-Pb dating, i.e.,  $(131.71 \pm 2.7) \text{Ma}$  ( $2\sigma$ , MSDW=2.8) and  $(135.0 \pm 2.4) \text{Ma}$  ( $2\sigma$ , MSDW=2.1) respectively. The crystallization of the ultramafic rocks took place 4 Ma earlier than that of the mafic ones. Element geochemical study shows that, in gabbro,  $\text{SiO}_2$  is 50.85%,  $\text{TiO}_2$  is 1.45%,  $\text{MgO}$  is 10.05%,  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  is 8.57%, and  $\text{Mg}^\#$  is 71.33, whereas in pyroxenite,  $\text{SiO}_2$  is 48.28%,  $\text{TiO}_2$  is 2.02%,  $\text{MgO}$  is 18.68%,  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  is 13.08%, and  $\text{Mg}^\#$  is 78.76. Their  $\text{K}_2\text{O}$  content is high (0.68 and 0.81), Eu loss is not obvious, Nb, Ta and other elements are depleted, and the patterns of REE distribution are similar to those of OIB. The formation of the mafic-ultramafic rocks was related to the mantle thermal events occurring in the same period, and might have been contaminated by crustal materials in the rising process.

收稿日期: 2014-10-16; 改回日期: 2014-12-21

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(1212011220659)资助。

作者简介: 任冲, 男, 1989年生, 工程师, 主要从事区域地质调查工作; E-mail: renchong2014@163.com。

Key words: South Tibet; basic rocks; zircon SHRIMP U–Pb dating; geochemistry

About the first author: REN Chong, male, born in 1989, engineer, engages in the study of regional geological survey; E-mail: renchong2014@163.com.

藏东南措美—错那地区出露早白垩世超镁铁质岩,随着地质调查研究的深入,该基性侵入体被认为是措美残余大火成岩省的组成部分<sup>[1]</sup>,其中哲古辉石岩的 SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄为 (130±2.0) Ma<sup>[2]</sup>,错那苦橄玢岩的 K–Ar 年龄为 (125±11) Ma<sup>[1]</sup>,但缺少对在成因上有直接联系的超镁铁质岩和镁铁质岩的系统研究。本文通过对 1:50000 松多幅区域地质调查时发现的在成因上关系密切的超镁铁质和镁铁质侵入体 SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄测试和岩石地球化学特征的研究,为藏南基性岩的研究提供了高精度的年代学证据。

藏南哲古地区位于喜马拉雅—冈底斯地层大区中喜马拉雅地层区,康马—隆子地层分区,藏南拆离系东段,羊卓雍措—拿日雍措复式向斜东南段(图1)。区域出露的地层主要为中生代—新生代沉

积岩及火山碎屑岩,其中中生代地层最为发育,主要岩石类型为泥质粉砂岩、灰岩、泥灰岩、石英砂岩、长石石英杂砂岩、页岩和板岩,具有典型的被动陆缘沉积特点;火山岩与侵入岩较为发育,基性脉岩和岩墙出露广泛;区内东西向大规模逆冲—推覆断裂和南北向张性构造均十分发育。

### 1 岩体特征和样品采集

哲古措超镁铁质岩,最早为西藏地质调查发现,辉长(绿)岩多呈岩脉或岩墙形式顺层侵入到侏罗纪地层中,该镁铁质岩呈层状夹于辉长岩脉中(图2),走向近东西向,断续出露,延伸大于 10 km,围岩为中侏罗统遮拉组(J<sub>2z</sub>)泥质粉砂岩及灰岩地层,岩脉出露宽度约 5 m,岩石致密坚硬,赤铁矿化发育,风化面呈蜂窝状。在岩脉与地层接触带附

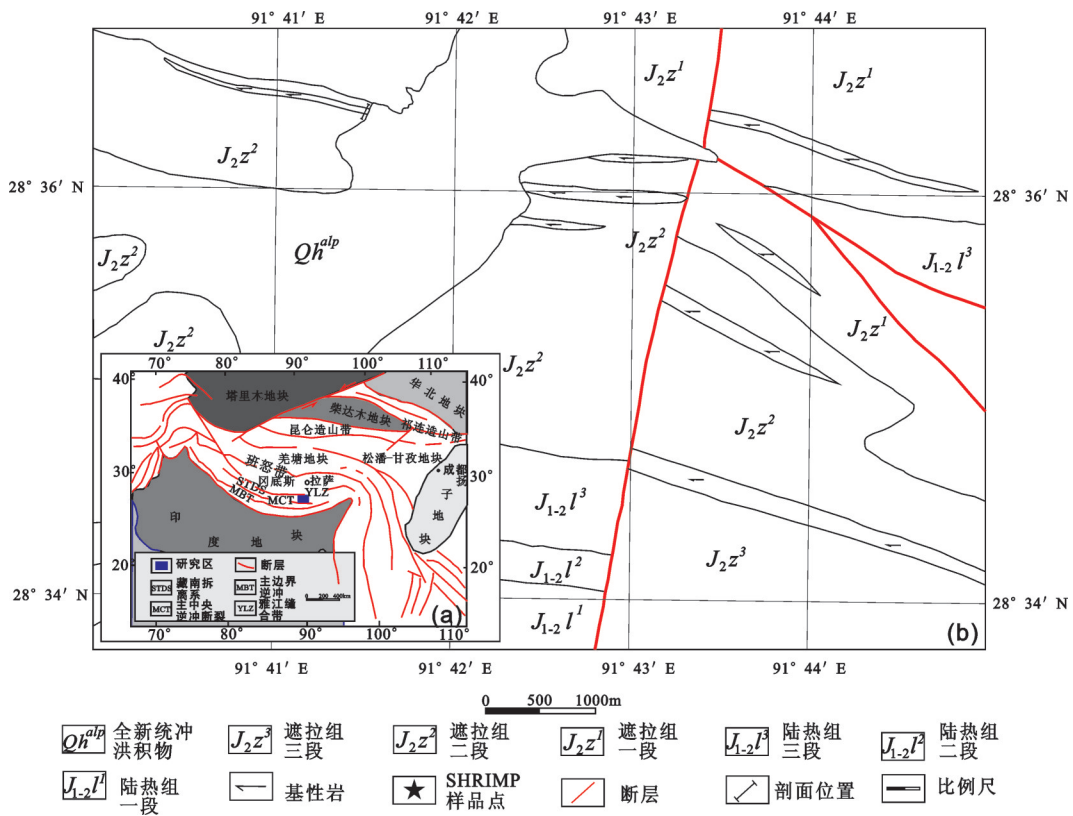


图1 藏南地区大地构造位置图(a)和西藏山南哲古地区地质简图(b)

Fig.1 Simplified tectonic map of South Tibet(a) and simplified geological map of Chigu Co area, Shannan, Tibet (b)

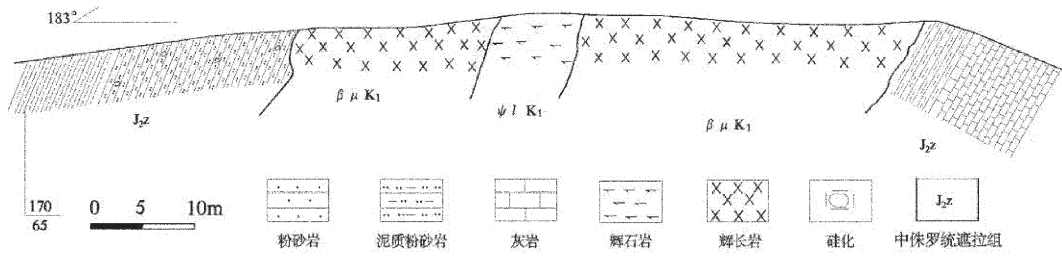


图2 西藏哲古地区早白垩世镁铁质和超镁铁质侵入岩剖面

Fig. 2 Geological section of mafic and ultramafic intrusive rocks of the early Cretaceous in Chigu Co, South Tibet

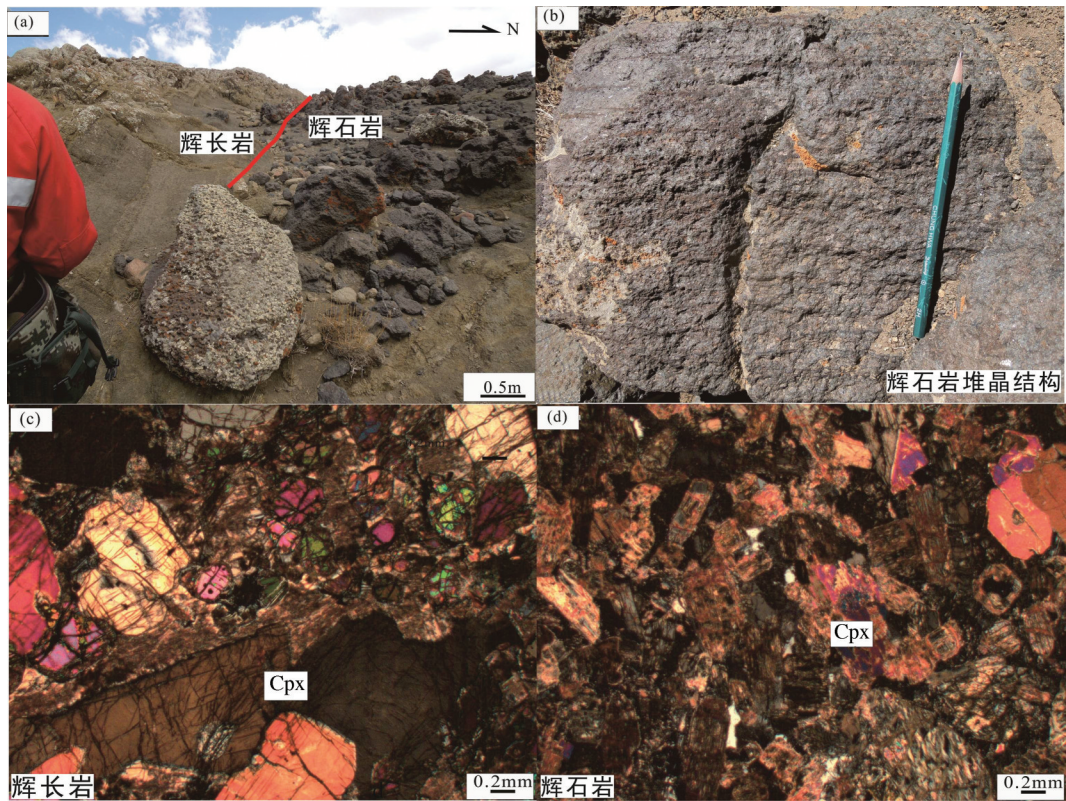


图3 西藏哲古地区镁铁质和超镁铁质侵入岩野外照片和岩相学照片

Cpx—单斜辉石

Fig.3 Field occurrences and petrographic photographs of mafic and ultramafic rocks in Chigu Co, South Tibet

Cpx—Clinopyroxene

近,其侵入界线较为明显,内接触带岩体颗粒向外带逐渐变细,外接触带附近地层普遍发育绿泥石化和碳酸盐化,局部地段灰岩表面见细粒黄铁矿化。

辉石岩具典型的堆晶结构(图3),可见条带状构造,不含角闪石,为层状侵入岩体<sup>[3]</sup>。辉石岩主要由粒径0.15~6.1 mm的短柱辉石、少量片状黑云母、不透明磁铁矿等组成,构成不等粒柱状结构、交代残留结构,条带状构造。其中辉石含量约占90%,

蚀变以绿泥石化和纤闪石化为主,显示出堆晶的特征。辉长岩主要由粒径0.3~3.2 mm的短柱辉石、板条状斜长石、片状黑云母、不透明磁铁矿、微量柱状磷灰石等组成,构成辉长结构,块状构造。其中:辉石含量约63%,呈大小不一的柱状、短柱状,互相镶嵌组成,具辉石式解理,正突起高,主要为古铜辉石、普通辉石等,微裂纹发育,沿微裂纹或解理缝发育蛇纹石化、绿泥石化。黑云母含量约7%,片状,

不规则片状,褐黄色、红褐色,分散分布。部分被绿帘石交代。斜长石含量约25%,半自形板柱状,绢云母化,隐显聚片双晶,包辉石。不透明磁铁矿等含量约5%,半自形板状、不规则粒状,分散分布在黑云母中。磷灰石微量,柱状,中正突起,星散分布。

本文选择较为新鲜的辉石岩及两侧的辉长岩进行测试分析,辉石岩的位置坐标为(91°41'31.80"E,28°36'22.65"N),辉长岩的位置坐标为(91°41'31.97"E,28°36'21.70"N)。

## 2 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果

### 2.1 测定方法

样品中的锆石按常规方法分选,最后在双目镜下挑纯,将待测锆石与一片 RESE 参考样 SL13 及数粒 TEM 放置于环氧树脂中,磨至一半,使锆石暴露,用于阴极发光(CL)和透反射研究。CL 研究在中国地质科学院矿产资源研究所牛津 MINICL 阴极发光探测仪上完成,具体操作步骤见文献[4]。SHRIMP 锆石 U-Pb 分析在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成。在分析过程中,应用标准锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正,Pb/U 校正公式采用  $Pb/U = A(UO/U)^{251}$ ,采用澳大利亚国立大学地学院标准锆石 SL13(年龄,572 Ma; U 含量: 238  $\mu\text{g/g}$ ) 标定所测的锆石的 U、Th 和 Pb 含量,详细分析流程和原理参见文献[6-7]。

样品的主量元素采用 X 荧光光度仪,微量元素利用 ICP, Au 采用原子吸收,稀土元素采用 ICP-MS

方法进行测试,分析工作由湖南省矿产测试利用研究所完成。分析精度主量元素 RSD<5%,稀土和微量元素 RSD<10%。

辉石岩和辉长岩分离出来的单颗粒锆石,阴极发光照片(图4)下显示,锆石具有较好的晶型,结构较为简单,少数锆石不具振荡环带,结构较为均一,根据阴极发光照片选择测点位置,同时结合透反射照片,测点尽量避开裂纹位置。

### 2.2 测定结果

辉石岩和辉长岩锆石 U-Th-Pb 分析结果(表1)显示:辉长岩锆石的  $U=427\times 10^{-6}\sim 2052\times 10^{-6}$ ,  $Th=228\times 10^{-6}\sim 5918\times 10^{-6}$ ,除测点 D2208-2-9.1 的  $Th/U(0.54)$  小于 1 外,其余测点  $Th/U=1.26\sim 2.88$ ,应为岩浆成因锆石。辉石岩的  $U=176\times 10^{-6}\sim 3633\times 10^{-6}$ ,  $Th=95\times 10^{-6}\sim 11266\times 10^{-6}$ ,除测点 D2209-1-3.1 的  $Th/U(0.47)$  小于 1 外,其余测点  $Th/U=1.10\sim 3.88$ ,应为岩浆成因锆石。其中测点 D2208-2-11.1、D2209-1.2.1 和 D2209-1-7.1 未检测出普通 Pb,故其结果未纳入统计。辉长岩样品 10 个分析点均落在谐和线上或其附近(图3),其锆石  $^{206}\text{U}/^{238}\text{Pb}$  年龄加权平均值为  $(131.71\pm 2.7)\text{Ma}$  ( $MSDW=2.8$ ),代表了辉石岩两侧的辉长岩的岩浆结晶年龄。辉石岩样品 9 个分析点均落在谐和线上或其附近(图5),其锆石  $^{206}\text{U}/^{238}\text{Pb}$  的年龄加权平均值为  $(135.0\pm 2.4)\text{Ma}$  ( $MSDW=2.1$ ),代表了辉石岩的岩浆结晶年龄。两组年龄值指示辉长岩的结晶年龄要比辉石岩的结晶年龄晚约 4 Ma。江思宏<sup>[8]</sup>和童劲松等<sup>[9]</sup>分别对浪卡子和洛扎地

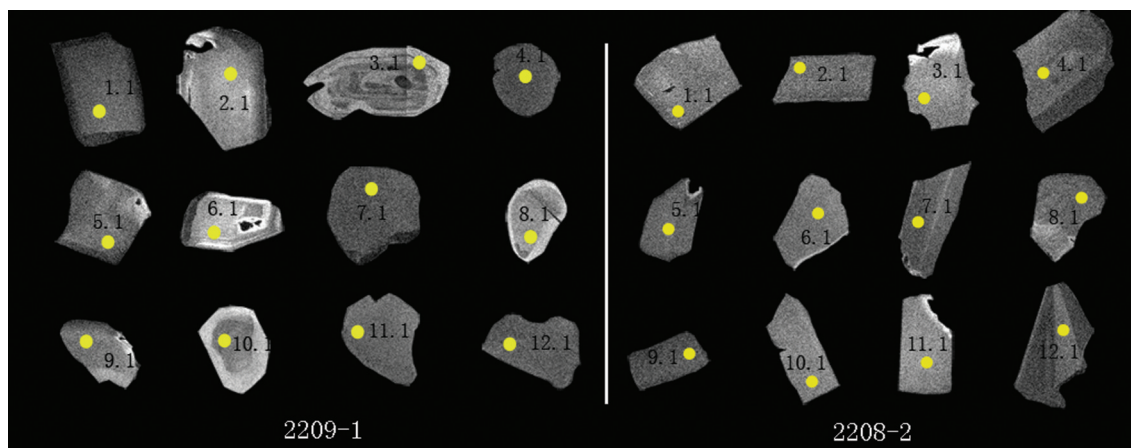


图4 辉长岩(D2208-2)和辉石岩(D2209-1)锆石阴极发光图像  
Fig.4 CL images of zircon from gabbro (D2208-2) and pyroxene peridotite (D2209-1)

表 1 哲古措辉石岩 (D2209-1) 和辉长岩 (D2208-2) SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果  
Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb dating results for gabbro and pyroxene peridotite in Chigu Co

测点号	含量/ $10^{-6}$			同位素比值				表面年龄/Ma					
	$^{206}\text{Pb}^*$	U	Th	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{232}\text{Th}$		
D2208-2-1.1	6900	446	578	0.043	4.8	0.123	5.1	0.021	1.8	132.9	±2.3	119.9	±3.1
D2208-2-2.1	1900	1128	3139	0.047	2.1	0.14	2.7	0.022	1.7	138	±2.3	124.9	±2.3
D2208-2-3.1	4600	941	1819	0.045	5.7	0.132	6	0.021	1.7	135.8	±2.3	124.9	±2.7
D2208-2-4.1	2500	2052	5918	0.046	2.4	0.126	3.1	0.02	1.8	127.7	±2.3	115.1	±2.2
D2208-2-5.1	2600	845	1243	0.048	6.5	0.139	6.7	0.021	1.7	133.8	±2.3	125.6	±3.3
D2208-2-6.1	1400	550	742	0.046	3.6	0.128	4	0.02	1.7	128.7	±2.2	123.8	±2.9
D2208-2-7.1	4800	601	921	0.044	4.2	0.119	4.5	0.02	1.7	126.4	±2.2	116	±2.7
D2208-2-8.1	3100	903	1796	0.045	2.7	0.133	3.1	0.021	1.7	135.9	±2.3	125.4	±2.4
D2208-2-9.1	74300	427	228	0.215	24	6.2	24	0.21	5.9	1231	±66	1591	±920
D2208-2-10.1	5300	600	840	0.042	4.6	0.116	5	0.02	1.7	128.4	±2.2	118.2	±2.8
D2208-2-11.1	--	487	612	0.051	3	0.14	3.5	0.02	1.8	127.5	±2.2	119.6	±2.9
D2208-2-12.1	2300	752	1256	0.047	3.7	0.137	4.1	0.021	1.7	134.8	±2.3	125.4	±2.8
D2209-1-1.1	1100	864	1868	0.048	2.8	0.1408	3.2	0.021	1.5	136	±2.1	125.3	±2.4
D2209-1-2.1	--	592	1372	0.051	2.9	0.1521	3.3	0.022	1.6	138	±2.2	130.9	±2.7
D2209-1-3.1	2800	202	95	0.092	1.5	3.073	2.2	0.242	1.6	1396	±20	1,278	±34
D2209-1-4.1	300	3633	11266	0.048	1.2	0.1429	1.9	0.022	1.5	138	±2.0	121.9	±1.9
D2209-1-5.1	2100	511	835	0.049	6.3	0.1373	6.5	0.02	1.7	130	±2.1	120.6	±3.3
D2209-1-6.1	9680	787	3052	0.05	25	0.155	25	0.023	2	144	±2.8	132.4	±4.3
D2209-1-7.1	--	1818	4246	0.048	1.8	0.1396	2.3	0.021	1.5	134	±2.0	119.6	±2.0
D2209-1-8.1	1300	759	1369	0.047	3.2	0.135	3.6	0.021	1.6	132	±2.0	123.1	±2.5
D2209-1-9.1	6600	307	581	0.049	6.8	0.146	7.1	0.022	1.8	139	±2.4	131.8	±3.8
D2209-1-10.1	5100	1152	3978	0.049	4.1	0.1395	4.4	0.021	1.6	133	±2.1	120.8	±2.2
D2209-1-11.1	11000	176	194	0.048	19	0.144	19	0.022	2.3	139	±3.1	125.3	±9.9
D2209-1-12.1	2900	301	422	0.049	5.8	0.145	6.1	0.022	1.8	138	±2.4	123.6	±3.9

注: --未测出

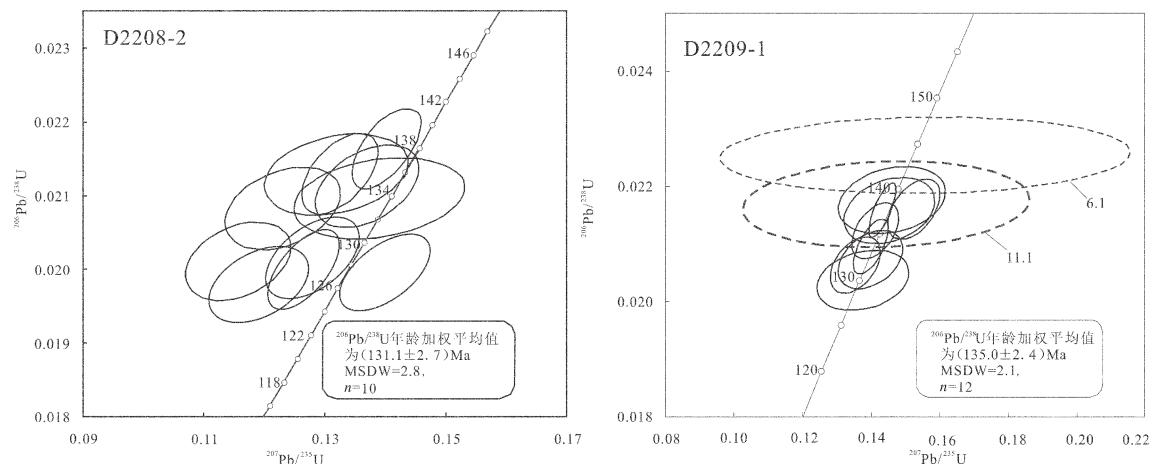


图5 哲古措辉长岩(D2208-2)和辉石岩(D2209-1)SHRIMP 锆石U-Pb 谐和曲线

Fig.5 U-Pb concordia diagram summarizing the SHRIMP data for zircons from diabase in gabbro(D2208-2)and pyroxene peridotite (D2209-1)in Chigu Co

区的基性岩进行了年龄测试,并获得了(134.9±1.8)Ma、(135.5±2.1)Ma和(138.0±3.5)Ma的年龄结果,与本文获得的辉长岩及辉石岩的年龄较为一致。

### 3 岩石地球化学特征

#### 3.1 主元素地球化学特征

研究区辉长岩、辉石岩主微量元素分析结果(表2)显示:哲古辉长岩SiO<sub>2</sub>含量为50.85%,TiO<sub>2</sub>含量为1.45%,MgO含量为10.05%,全铁(TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO/0.8998)含量为8.57%,Mg<sup>#</sup>(Mg<sup>#</sup>=摩尔数Mg<sup>2+</sup>/(Mg<sup>2+</sup>+Fe<sup>2+</sup>))为71.33。哲古措辉石岩SiO<sub>2</sub>含量为48.28%,TiO<sub>2</sub>含量为2.02%,MgO含量为18.68%,全铁含量为13.08%,Mg<sup>#</sup>为78.76。辉石岩的MgO含量均低于错那苦橄玢岩和同区域的辉石岩,其全铁含量和Mg<sup>#</sup>与前人研究获得的结果一致<sup>[10]</sup>,而TiO<sub>2</sub>的含量高于错那苦橄玢岩,低于测区东隆子地区辉长岩与辉绿玢岩TiO<sub>2</sub>的含量(平均值为2.85,笔者未刊数据)。

在镁铁质超镁铁质岩TAS分类图解中(图6),本文辉长岩落入玄武岩靠近安山玄武岩的区域,本文辉石岩落入玄武岩区域,前人数据落入苦橄玢岩的区域,而在SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O分类图解中(图6),所有样品都落入钙碱性系列。

#### 3.2 稀土元素地球化学特征

由表2可以看出:辉石岩的稀土总量为112.49×10<sup>-6</sup>,高于前人数据,推测产生此现象的原因为本项

目超镁铁质岩样品产于辉长岩与辉石岩的接触带附近,其分离堆晶作用受晚期形成的辉长岩的影响,从而保留了镁铁质岩的部分地球化学特征。辉石岩与辉长岩稀土配分模式为右倾型,(La/Yb)<sub>N</sub>分别为4.71和4.81,反映了二者同源演化的特点,而略低于错那苦橄玢岩(La/Yb)<sub>N</sub>数值(平均值为5.78)。δEu分别为0.84和0.94,略低于错那苦橄玢岩δEu(平均值为0.96),表现为Eu的弱负异常,二者相似的配分模式反应了其相同的成因和构造环境,研究区及措那地区超镁铁质岩都没有发生明显的Eu的负异常,表明岩浆在演化过程中发生了辉石族矿物的分离结晶作用<sup>[11]</sup>。

由图7可以看出:辉石岩稀土元素的分布型式与下地壳的分布型式较为一致<sup>[12]</sup>,其轻稀土分异程度高于重稀土,基性岩的数值基本落入L.C.Robelt等(1984)总结的大陆拉斑玄武岩的数值范围内(ΣREE=15.2~322×10<sup>-6</sup>,δEu一般无异常,(La/Yb)<sub>N</sub>=0.5~7.6),其总体配分型式与板内洋岛玄武岩(OIB)的稀土配分样式类似。

#### 3.3 微量元素地球化学特征

由表2分析对比可知:辉石岩的Zr/Hf=13.81,Nb/Ta=9.23,Zr/Nb=0.55,辉石岩微量元素中的高度相容元素Ni、Cr相对富集,其中Ni为385.1×10<sup>-6</sup>,Cr为1033×10<sup>-6</sup>,接近原始岩浆的含量(Ni>400~500×10<sup>-6</sup>,Cr>1000×10<sup>-6</sup>)<sup>[13,14]</sup>。

在微量元素富集程度上,辉石岩明显较辉长岩

表2 研究区基性岩主元素(%),微量元素( $10^{-6}$ )和稀土元素( $10^{-6}$ )组成Table 2 Major elements (%), rare earth and trace elements ( $10^{-6}$ ) analyses of the mafic and ultramafic samples in Chigu Co

样品号	D2209-1	D2208-2	08ZG02-5	08ZG02-6	08ZG03-1	CN15-5	CN15-9	CN15-9-1
岩性	辉石岩	辉长岩	辉橄岩	辉橄岩	辉橄岩	苦橄玢岩	苦橄玢岩	苦橄玢岩
采样地区	哲古措	哲古措	哲古措	哲古措	哲古措	错那卡达	错那卡达	错那卡达
数据来源	本文		文献[1]					
SiO <sub>2</sub>	48.28	50.85	42.70	43.70	44.40	40.40	42.20	42.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.12	11.95	6.28	6.87	6.59	4.10	5.56	5.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.00	2.26	—	—	—	—	—	—
FeO	9.07	7.01	—	—	—	—	—	—
TF <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.08	10.05	13.80	13.20	13.10	12.20	12.70	12.80
TiO <sub>2</sub>	1.45	2.02	1.11	1.26	1.39	1.30	1.81	1.76
CaO	5.24	9.05	4.23	4.59	4.67	3.68	4.25	4.07
MgO	18.68	9.69	25.50	23.80	23.60	30.30	26.50	27.10
MnO	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.14	0.15	0.15
K <sub>2</sub> O	0.68	0.81	0.67	0.63	0.69	0.09	0.15	0.14
Na <sub>2</sub> O	1.27	2.53	0.66	0.73	0.79	0.35	0.59	0.54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	0.26	0.14	0.15	0.16	0.14	0.20	0.19
F	0.04	0.05	—	—	—	—	—	—
Cl	0.01	0.01	—	—	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.83	1.29	—	—	—	—	—	—
灼失量	2.61	2.44	3.94	4.22	3.86	7.24	5.50	5.84
Total	99.65	100.39	99.20	99.30	99.40	99.90	99.50	100.10
Y	21.73	33.95	11.50	12.80	14.10	10.60	15.00	14.30
La	14.05	21.13	8.84	9.99	10.09	6.89	9.89	9.61
Ce	30.88	46.88	20.60	23.00	25.40	15.80	23.20	22.80
Pr	4.36	6.71	2.90	3.25	3.63	2.27	3.27	3.22
Nd	19.95	30.22	12.40	13.90	15.30	9.98	15.30	15.00
Sm	4.70	7.24	2.90	3.20	3.53	2.54	3.37	3.66
Eu	1.23	2.15	0.85	0.99	1.05	0.84	1.13	1.10
Gd	4.06	6.40	2.86	3.30	3.56	2.64	3.69	3.59
Tb	0.75	1.21	0.40	0.46	0.51	0.40	0.54	0.53
Dy	4.55	7.21	2.30	2.62	2.88	2.12	3.02	2.97
Ho	0.93	1.48	0.43	0.50	0.55	0.41	0.60	0.59
Er	2.45	3.99	1.17	1.34	1.37	1.02	1.46	1.43
Tm	0.38	0.61	0.16	0.18	0.19	0.13	0.19	0.18
Yb	2.14	3.15	0.94	1.11	1.15	0.87	1.21	1.19
Lu	0.33	0.50	0.15	0.15	0.18	0.12	0.17	0.17
(La/Yb) <sub>N</sub>	4.71	4.81	6.75	6.46	6.29	5.68	5.86	5.79
δ Eu	0.84	0.94	0.89	0.92	0.90	0.98	0.97	0.92
ΣREE	112.49	172.82	68.40	76.79	83.49	56.63	82.04	80.34
Cr	1033.00	592.10	2609.00	2301.00	2240.00	1171.00	907.00	941.00
Ni	385.10	68.39	482.00	396.00	527.00	1490.00	1252.00	1283.00
Co	66.66	41.10	99.30	89.10	87.30	102.00	93.70	95.00
Rb	23.84	24.42	19.70	20.70	23.20	4.44	7.31	6.96
Sr	231.30	349.80	203.00	207.00	245.00	137.00	189.00	166.00
Ba	162.90	271.80	111.00	120.00	154.00	52.90	61.80	49.60
Sc	19.21	34.36	15.50	15.80	17.20	0.48	9.99	0.62
Nb	9.23	13.25	5.85	6.25	7.56	7.06	10.50	10.20
Ta	1.00	1.69	0.40	0.45	0.51	0.49	0.86	0.83
Hf	6.44	6.95	2.10	2.37	2.83	1.85	2.84	2.71
Zr	88.96	185.48	83.60	91.70	112.00	76.10	115.00	109.00
U	0.56	0.66	0.43	0.43	0.40	0.16	0.23	0.23
Th	3.43	4.73	1.75	1.91	2.21	0.49	0.90	0.67
Zr/Hf	13.81	26.69	39.81	38.69	39.58	41.14	40.49	40.22
Nb/Ta	9.23	7.84	14.63	13.89	14.82	14.41	12.21	12.29
Zr/Ba	0.55	0.68	0.75	0.76	0.73	1.44	1.86	2.20

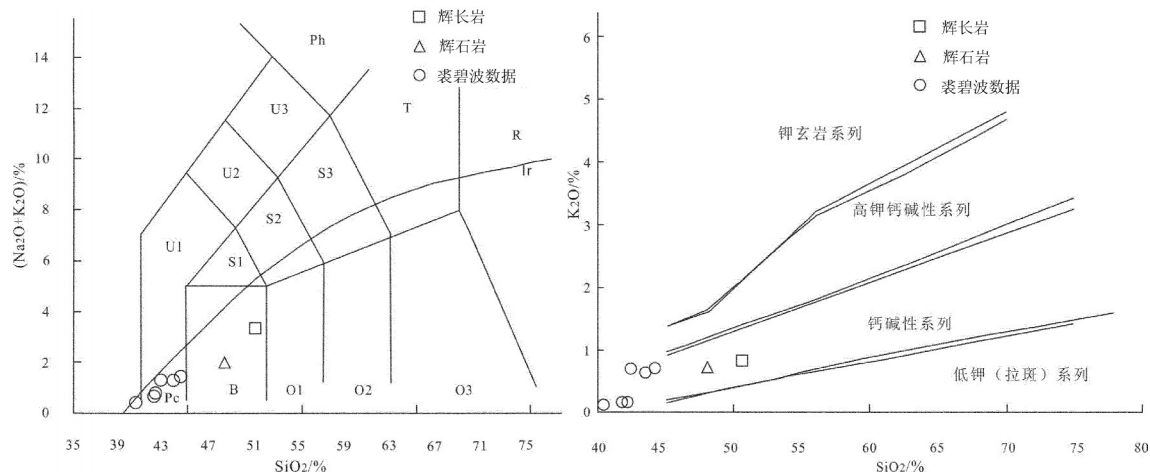
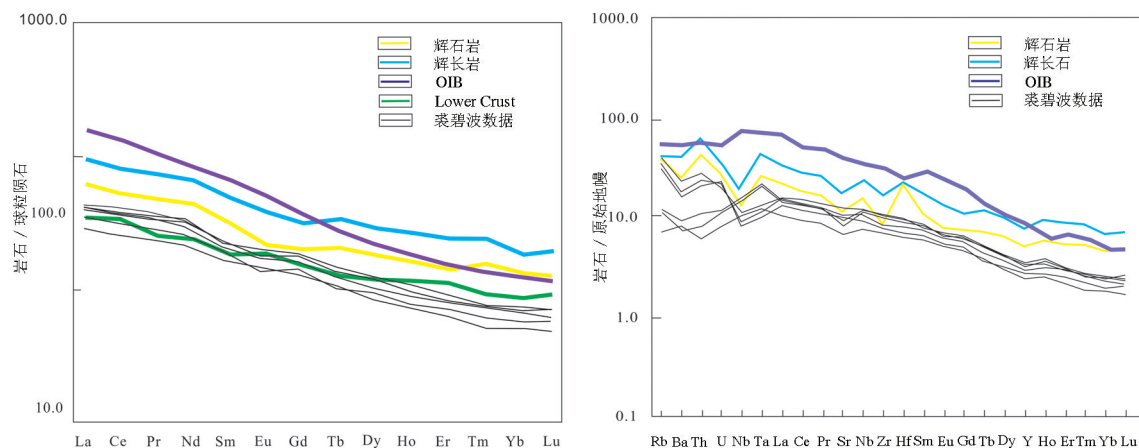
注:——前人未给出结果。

偏低,而2件样品的地幔标准化曲线基本平行,且与典型的洋岛玄武岩(OIB)较为类似,暗示二者同源。本项目辉石岩样品与前人的数据构成的配分曲线基本一致,都呈现出明显的Nb、Ta负异常,但辉石岩样品具有不协调的Hf的正异常,推测可能是受到了地壳物质的影响。

#### 4 大地构造背景分析及构造意义

本项目辉长岩与辉石岩样品遭受了一定程度

的蚀变,故选用不活动微量元素2Nb-Zr/4-Y分类图解<sup>[15]</sup>(图8)进行判别,前人超镁铁质岩样品主要落入到板内碱性玄武岩与板内拉斑玄武岩区域,本项目辉石岩落入到E-MORB和板内拉斑玄武岩+火山弧玄武岩交界的位置,辉长岩样品落入板内拉斑玄武岩+火山弧玄武岩区域。虽然辉石岩与辉长岩样品都具有较为明显的Nb、Ta负异常,但该异常的引起与火山弧的影响无关,因为研究区从晚三叠世至始新世一直处于新特提斯洋被动大陆边缘的

图6 研究区基性岩 TAS 和  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  分类图解(底图据[6])Fig.6 TAS and  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  diagram for the mafic and ultramafic samples in Chigu Co(After Refeven[6])图7 哲古地区基性岩稀土元素球粒陨石配分模式图与微量元素原始地幔蜘蛛图<sup>[12]</sup>Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element spider diagram for the mafic and ultramafic samples in Chigu Co<sup>[12]</sup>

大地构造环境,故其表现出的部分火山弧特征可能与其受地壳混染作用有关。在  $\text{Zr-Zr/Y}$  构造判别图解上<sup>[16]</sup>(图8),样品点落入到“板内玄武岩区”。

综合样品的稀土微量元素配分曲线和二者在早白垩世其所处的大地构造背景,不难发现,样品所表现出的板内洋岛玄武岩(OIB)特点可能是受同时期形成的 Kerguelen 地幔柱的影响<sup>[17]</sup>,并在洛扎—隆子一线所处的新特提斯洋的被动大陆边缘形成初始裂谷,发育以桑秀组火山岩为代表的“双峰式”火山岩。

## 5 结语

武警黄金第十一支队所承担的隆子等11幅1:5万

区域地质矿产调查的最新研究表明,晚侏罗世—早白垩世新特提斯洋的被动大陆边缘处于强烈的裂解和岩石圈伸展减薄的地球动力学背景,并发育基性岩墙群和桑秀组“双峰式”火山岩<sup>[18]</sup>。综合前人研究成果,认为其形成与该时期的地幔热事件关系密切<sup>[19-23]</sup>,并在上升过程中可能受到了地壳物质的混染。

本文研究获得下面几点认识:

(1)确定和厘定了哲古基性岩的岩石组合,主要由辉长岩和辉石岩组成。

(2)辉长岩和辉石岩加权平均年龄分别为  $(131.71 \pm 2.7)\text{Ma}$  ( $2\sigma$ , MSDW=2.8) 和  $(135.0 \pm 2.4)\text{Ma}$  ( $2\sigma$ , MSDW=2.1),辉石岩的结晶时代早于辉长岩约4 Ma。揭示了测区在晚侏罗世—早白垩世至少



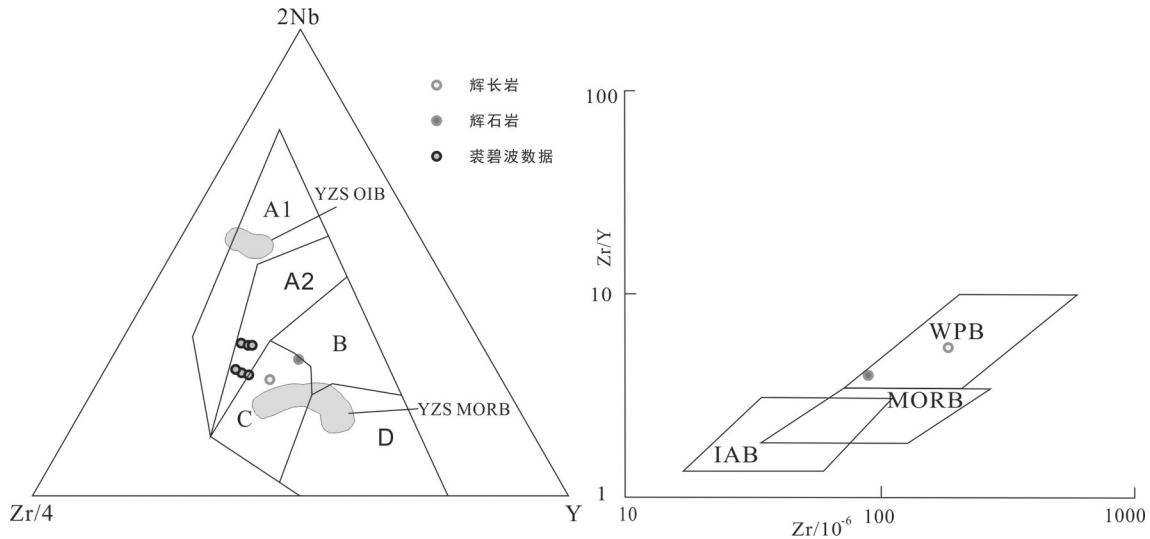


图8 哲古地区基性岩 2Nb-Zr/4-Y 和 Zr-Zr/Y 构造判别图解<sup>[15]</sup>

A1—板内碱性玄武岩; A2—板内碱性玄武岩+板内拉斑玄武岩; B—E-MORB; C—板内拉斑玄武岩+火山弧玄武岩; D—火山弧玄武岩+E-MORB; YZS OIB—雅江缝合带热点型辉绿岩; YZS MORB—雅江缝合带洋中脊玄武岩; IAB—洋岛玄武岩 (Island Arc Basalts); MORB—大洋中脊玄武岩 (Mid Ocean Ridge Basalts); WPB—板内玄武岩 (Within Plate Basalts)

Fig. 2Nb-Zr/4-Y and Zr-Zr/Y diagram for the mafic and ultramafic samples in Chigu Co<sup>[15]</sup>

A1-Alkaline Within Plate Basalts; A2-Alkaline Within Plate Basalts+Tholeiitic Within Plate Basalts; B-Enriched Mid Ocean Ridge Basalts; C-Tholeiitic Within Plate Basalts+ Volcanic Arc Basalts; D-Volcanic Arc Basalts+ Enriched Mid Ocean Ridge Basalts; YZS OIB-Yarlung Zangbo River Ocean Island Basalts; YZS MORB-Yarlung Zangbo River Mid Ocean Ridge Basalts; OIB-Ocean Island Basalts; IAB-Island Arc Basalts; MORB-Mid Ocean Ridge Basalts; WPB-Within Plate Basalts

存在有 4 Ma 的岩浆活动。

(3) 辉长岩和辉石岩具有高  $K_2O$ 、高  $TiO_2$ 、相对亏损 Nb、Ta 等特点, MgO 含量分别为 10.08% 和 18.68%, 其稀土配分型式与板内洋岛玄武岩 (OIB) 类似。

(4) 本次获得的数据与可能代表东冈瓦纳裂解事件的 Kerguelen 地幔柱形成的时间一致, 哲古基性岩形成与冈瓦纳大陆裂解事件关系密切, 为 Kerguelen 地幔柱的产物。

**致谢:** 本文得到了西藏地调院刘鸿飞院长的悉心指导, 在此表示衷心的感谢; 对审稿老师严谨的专业精神和工作态度表达敬意!

#### 参考文献(References):

- [1] 裘碧波. 藏东南措美残余大火成岩省地幔柱成因新证据[D]. 硕士学位论文. 中国地质大学(北京), 2011: 45-49.  
Qiu Bibo. New evidence of plume origin for the Comei fragmented large igneous province in southeastern Tibet[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2011: 45-49 (in Chinese English abstract).
- [2] Zhu D C, Chung S L, Mo X X, et al. The 132 Ma Comei-

Bunbury large igneous province: Remnants identified in present-day southeastern Tibet and southwestern Australia[J]. *Geology*, 2009, 7: 583-586.

- [3] 白云来, 陈启林, 汤中立, 等. 塔里木板块北东边缘弧后裂谷系统基性、超基性岩特征. 中国地质, 2004, 31(3): 254-259.  
Bai Yunlai, Chen Qilin, Tang Zhongli, et al. The characteristics of basic-arc rift system on the northeastern margin of the Tarim plate[J]. *Geology in China*, 2004, 31(3): 254-259(in Chinese English abstract).
- [4] 周剑雄, 陈振宇. 锆石等测年矿物的电子探针及阴极射线致发光综合研究新方法[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 31-35.  
Zhou Jianxiong, Chen Zhenyu. A New research method of dating minerals Like Zircon Using Electron Microprobe and Cathodoluminescence[J]. *Geological Review*, 2002, 48(supp.): 31-35(in Chinese English abstract).
- [5] Claoue-Long J C, Compston W, Roberts, et al. Two Carboniferous ages: A comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and  $^{40}Ar/^{39}Ar$  analysis[C]//Berggren W A, Kent D V, Aubry MP and Hanlenbol J(eds.). *Geochronology time scales and global stratigraphic correlation: SEPM special publication*, 1995, 5(4): 3-31.
- [6] 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. Mount making and

- procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geological Review*, 2002, 48(supp.): 26–30(in Chinese English abstract).
- [7] Williams I S, Claesson S. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides. II. Ionmicroprobe zircon U–Th–Pb[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1987, 97:205–217.
- [8] Jiang S H, Nie FJ, Hu P, et al. Important spreading event of the Neo-Tethys ocean during the Late Jurassic and Early Cretaceous: Evidence from zircon U–Pb SHRIMP dating on diabase in Nagarze, southern Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80: 522–527.
- [9] 童劲松, 刘俊, 钟华明, 等. 藏南洛扎地区基性岩墙群锆石 U–Pb 定年、地球化学特征及构造意义[J]. *岩石学报*, 2007, 26(12): 1655–1664.  
Tong Jinsong, Liu Jun, Zhong Huaming, et al. Zircon U–Pb dating and geochemistry of mafic dike swarms in the Lhozag area, Southern Tibetan, China, and their tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 26(12): 1654–1664(in Chinese English abstract).
- [10] 裘碧波, 朱第成, 赵志丹, 等. 藏南措美残余大火成岩省的西延及其意义[J]. *岩石学报*, 2011, 26(7): 2207–2216.  
Qiu Bibo, Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, et al. The westward extension of Comei fragmented large igneous province in the southern Tibetan and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 26(7): 2207–2216(in Chinese English abstract).
- [11] 范育新, 马锦龙, 白云来. 塔里木北山地区橄榄岩–辉石岩的微量元素地球化学特征及深部过程[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2007, 2, 43(1): 1–5.  
Fan Yuxin, Ma Jinlong, Bai Yunlai. Trace element geochemistry and plutonic process of peridotite and pyroxenite in the Beishan, Tarim Area. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 2007, 43(1), 1–5(in Chinese English abstract).
- [12] Sun S S and McDonough W F. Chemical and isotope systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D and Norry M J (eds.). *Magmatism in ocean Basins*. Geological Society Publication, 1989, 42: 313–345.
- [13] 杨树森, 陈汉林, 董传万, 等. 塔里木盆地西北缘晚震旦世玄武岩地球化学特征及大地构造背景[J]. *浙江大学学报(自然科学版)*, 1998, (6): 753–760.  
Yang Shusen, Chen Hanlin, Dong Chuanwan, et al. Geochemical properties of late Sinian basalt in the northwestern boundary of Tarim basin and its tectonic setting[J]. *Journal of Zhejiang University(Natural Sciences)*, 1998, (6): 753–760(in Chinese English abstract).
- [14] 张招崇, 毛景文, 杨建明, 等. 北祁连熬油沟蛇绿岩岩石成因的地球化学证据[J]. *地质学报*, 1998, 72(1): 42–51.  
Zahn Zhaochong, Mao Jingwen, Yang Jianming, et al. Geochemical evidences on the petrogenesis of the Aoyougou Ophiolite in North Qilian Mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1998, 72(1): 42:51(in Chinese English abstract).
- [15] Meschede M. A method of discriminating between different type of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Y diagram. *Chemical Geology*, 1998, 56: 207–218.
- [16] Le Maitre R W. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Term: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. 2nd Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 33–39.
- [17] Pearce J A. Role of Sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins[C]//Hawkesworth C J, Norry M J (eds.). *Continental Basalts and mantle Xenoliths*. Nantwich: Shiva, 1983, 230–249.
- [18] 夏瑛, 朱第成, 赵志丹, 等. 藏东南措美大火成岩省中 OIB 型镁铁质岩的全岩地球化学和锆石 Hf 同位素[J]. *岩石学报*, 2012, 28(5): 1588–1602.  
Xia Ying, Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, et al. Whole rock Geochemistry and zircon Hf isotope of the OIB-type mafic rocks from the Comei Large Igneous Province in the southeastern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1588–1602(in Chinese English abstract).
- [19] Zhu D C, Pan G T, Mo X X, et al. Petrogenesis of volcanic rocks in the Sangxiu Formation, central segment of Tethyan Himalayas: Aprobable example of plume–lithosphere interaction[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 320–335, doi: 10.1016/j. jseaes. 2005.b12.004.
- [20] 钟华明, 童劲松, 夏军, 等. 藏南羊卓雍错南部桑秀组火山岩的特征及构造环境[J]. *地质通报*, 2005, 24(1): 72–79.  
Zhong Huaming, Tong Jinsong, Xia Jun, et al. Characteristics and tectonic setting of volcanic rocks of the Sangxiu Formation in the southern part of Yamzho Yumco. *Southern Tibet[J]*. *Geological bulletin of China*, 2005, 24(1): 72–79(in Chinese English abstract).
- [21] 朱第成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 特提斯喜马拉雅桑秀组英安岩锆石 SHRIMP 年龄及其意义[J]. *科学通报*, 2005, 50(4): 375–379.  
Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, et al. SHRIMP U–Pb Zircon Dating for the dacite of the Sangxiu Formation in the central segment of Tethyan Himalaya and its implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(4): 375–379(in Chinese).
- [22] 朱第成, 王立全, 潘桂堂, 等. 藏南特提斯喜马拉雅中段中侏罗统组 OIB 型玄武岩浆的识别及其意义[J]. *地质科技情报*, 2004, 23(3): 15–22.  
Discrimination of OIB-type magma and its significations of basalts from Middle Jurassic Zhela formation in the central belt of Tethyan Himalays, South Tebat[J]. 2004, 23(3): *Geological Science and Technology Information*, 15–22.
- [23] 李金阳, 杨经绥, 徐向珍, 等. 新疆南天山东段库兹山基性超基性岩特征和成因探讨[J]. *中国地质*, 2011, 38(4): 890–907.  
Li Jinyang, Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, et al. Characteristics and genesis of ultrabasic and basic rocks in the Kuzi mountain on the Eastern margin of Southern Tianshan, Xinjiang[J]. *Geology in China*. 2011, 38(4): 890–907(in Chinese English abstract).