

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.083>



青藏高原狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带 时空结构与构造演化

王保弟^{1,2}, 刘 函^{1,2}, 王立全^{1,2}, 贺 娟^{1,2}, 王冬兵^{1,2}, 李奋其^{1,2}, 吴 喆^{1,2}

1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081

2. 中国地质调查局青藏高原地质研究中心, 四川成都 610081

摘 要: 青藏高原中部狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带(简称SYMZ)位于班公湖—怒江缝合带与雅鲁藏布江缝合带之间,其构造属性存在很大争议,制约了对青藏高原多岛弧盆地构造演化的理解。根据新的地质调查资料、研究成果并结合分析数据,系统总结了该蛇绿混杂岩带的地质特征,讨论了其构造演化过程。一系列新资料及新认识表明SYMZ是分割北拉萨地块和中拉萨地块的一条独立的蛇绿混杂岩带,是特提斯构造域多岛弧盆系的组成部分。在狮泉河、拉果错、阿索、永珠、凯蒙等地发育比较典型的蛇绿岩组合,高精度年代学数据指示洋盆主体发育于178~160 Ma,比班公湖—怒江洋盆主体发育时限(188~162 Ma)要晚10 Ma左右,阿索一带蛇绿岩残片记录洋盆一直持续到113 Ma。SYMZ侏罗纪基性岩具有MORB型(洋中脊玄武岩)和IAT型(岛弧拉斑玄武岩)火山岩的地球化学性质,属于洋内弧型和洋中脊型蛇绿混杂岩;早白垩世基性岩具MORB和火山弧玄武岩的双重特性,指示其很可能形成于SSZ的构造环境,不同于同时期班公湖—怒江特提斯受地幔柱热点影响的洋盆性质。同时,在拉果错、永珠、凯蒙等地区识别出侏罗纪前弧玻安岩及玻玄岩系列,一致指示SYMZ洋壳发生过洋内俯冲。在此基础上,结合区域地质资料,构建了SYMZ特提斯洋的时空格架及构造演化历史,认为经历了晚三叠世—早侏罗世洋盆裂解—扩张、中—晚侏罗世洋内俯冲、早白垩世俯冲消减和早白垩世末期洋盆消亡四个阶段,为特提斯洋的构造演化及大地构造过程再造提供了重要的地质学证据。

关键词: 狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带;班公湖—怒江缝合带;洋内俯冲;SSZ型蛇绿岩;特提斯;构造演化;青藏高原;构造地质学。

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2020)08-2764-21

收稿日期: 2020-03-25

Spatial-Temporal Framework of Shiquanhe-Laguoco-Yongzhu-Jiali Ophiolite Mélange Zone, Qinghai-Tibet Plateau and Its Tectonic Evolution

Wang Baodi^{1,2}, Liu Han^{1,2}, Wang Liquan^{1,2}, He Juan^{1,2}, Wang Dongbing^{1,2}, Li Fenqi^{1,2}, Wu Zhe^{1,2}

1. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, China

2. Research Center for Tibetan Plateau Geology, China Geological Survey, Chengdu 610081, China

Abstract: The Shiquanhe-Laguoco-Yongzhu-Jiali ophiolite mélange zone (SYMZ) is located between the Bangongco-Nujiang suture zone and the Yarlung-Zangbo suture zone in the central Qinghai-Tibet Plateau. The tectonic property of the SYMZ remains controversial, which restricts the application of archipelagic arc-basin system theory to the evolution of Qinghai-Tibet Plateau. Based on recent geological survey information, research results and comprehensive data analyses, in this paper, it summarizes the

基金项目: 中国地质调查局项目(No.DD20190053);国家自然科学基金项目(No.41773026)。

作者简介: 王保弟(1975—),男,研究员,博士,从事青藏高原地质研究。ORCID: 0000-0002-6266-1483。E-mail: baodiwang@163.com, wbaodi@mail.cgs.gov.cn

引用格式: 王保弟,刘函,王立全,等,2020. 青藏高原狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带时空结构与构造演化. 地球科学, 45(8): 2764—2784.

geological feature and discusses the tectonic process of the SYMZ. The SYMZ represents an independent ophiolitic mélange zone dividing the north Lhasa Terrane and central Lhasa Terrane, which is part of the Tethyan archipelagic arc-basin system. The typical ophiolite mélange suites are distributed in such places as Shiquanhe, Laguoco, Aso, Yongzhu and Kaimeng, and high precision geochronology data show that the main ocean basin was formed during 178–160 Ma, which was about 10 Ma later than the formation of the Bangongco-Nujiang ocean basin (188–162 Ma). The Aso ophiolitic mélange reflects that the SYMZ ocean basin had existed until 113 Ma. The Jurassic mafic rocks of the SYMZ show the geochemistry characteristics of MORB and IAT, belonging to the Oceanic Arc and MORB type ophiolites. The Early Cretaceous mafic rocks show both MORB and arc basalt characters, suggesting they probably formed in the tectonic setting of SSZ, different from the contemporaneous Bangongco-Nujiang ocean which was influenced by the mantle plume. The Jurassic boninites and bonibasalts series places like Laguoco, Yongzhu and Kaimeng were found in this study, indicating the intra-oceanic subduction of the SYMZ oceanic slab. Combined all these new discoveries with regional geological data, the spatial-temporal framework of the SYMZ Tethyan Ocean and its tectonic evolution history are established. The SYMZ Tethyan Ocean opened and spread in Late Triassic-Early Jurassic, the intra-oceanic subduction lasted during Middle-Late Jurassic, oceanic slab subduction begun in the Early Cretaceous, and finally ocean basin was extinct in the late Early Cretaceous. This study provides important geological evidences for understanding the lithosphere evolution and tectonic process of the Tethyan.

Key words: Shiquanhe-Laguoco-Yongzhu-Jiali ophiolite mélange zone; Bangongco-Nujiang suture zone; intra-oceanic subduction; SSZ type ophiolite; Tethyan; tectonic evolution; Qinghai-Tibet Plateau; structural geology.

0 引言

蛇绿(混杂)岩作为消失的古海洋岩石圈的残片,是恢复洋陆格局及构造演化历史最重要的指示物之一.青藏高原被誉为地球第三极,是特提斯造山带研究的核心,它由数个不同块体及其之间的缝合带组成,保存了古生代以来原特提斯洋、古特提斯洋和新特提斯洋的形成演化历史,不同地段保留有大量的蛇绿混杂岩.班公湖—怒江缝合带和雅鲁藏布江缝合带得到了国内外学者的广泛关注,已有大量研究;而发育于二者之间的狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带(以下简称SYMZ)虽早被发现,但很少被提及,构造意义常常被忽略.随着青藏高原多岛弧盆体系的建立(潘桂棠等,1996,2004,2012,2013,2019;王立全等,2013;Zhu *et al.*, 2016;李光明等,2020),断续分布于狮泉河、拉果错、永珠、阿索、嘉黎等地段的蛇绿混杂岩及其构造意义再度引起学者们的广泛关注.

关于SYMZ的构造属性主要存在4种不同的认识:(1)代表了一条独立的弧—陆碰撞带(潘桂棠等,2006;王保弟等,2007;Zhu *et al.*, 2011,2013;耿全如等,2012;徐梦婧,2014);(2)班公湖—怒江缝合带的构造推覆体(Girardeau *et al.*, 1984;Kapp *et al.*, 2003;张玉修等,2007);(3)班公湖—怒江特提斯洋内系统(Matte *et al.*, 1996;曲晓明等,2010;Zhang *et al.*, 2014);(4)初始盆地,是拉萨地块内部岩石圈伸展和裂解的产物(曾云川,2017;Zeng

et al.,2018).近几年,笔者通过对SYMZ内5个地区典型蛇绿混杂岩详细的物质组成、结构构造、不同地质单元之间的相互接触关系等的重点解剖,同时利用地球化学以及精确的年代学等研究手段探讨该蛇绿混杂岩带的形成时代、构造环境及其成因,并与班公湖—怒江缝合带进行对比;然后结合区域地质资料,进一步综合限定SYMZ的构造属性,分析和讨论SYMZ的构造演化历史,为特提斯洋的构造演化及大地构造过程再造提供重要的岩石学及地质学证据.

1 地质概况

青藏高原是印度板块与欧亚板块碰撞的产物,由4个近东西向的构造地块拼贴而成(Yin and Harrison, 2000),由北向南依次为松潘—甘孜、羌塘、拉萨和喜马拉雅地块,其间被金沙江缝合带、班公湖—怒江缝合带、雅鲁藏布江缝合带分隔(图1).

班公湖—怒江缝合带西起班公错、改则,经班戈、丁青,东至八宿、碧土一带,东西向延长约2000 km,南北宽8~50 km,呈近东西向、北西西向转为北西—北北西向展布.该带向西受右旋走滑喀喇昆仑断裂斜切,延至巴基斯坦北部的帕米尔地区,可能与主喀喇昆仑断裂(MKT)相连,向东南延入缅甸.班公湖—怒江缝合带主要由蛇绿岩带、混杂岩带及深海复理石沉积组成,还包括被挟持其中的安多、聂荣、嘉玉桥等微地块.蛇绿岩的时代为晚三叠

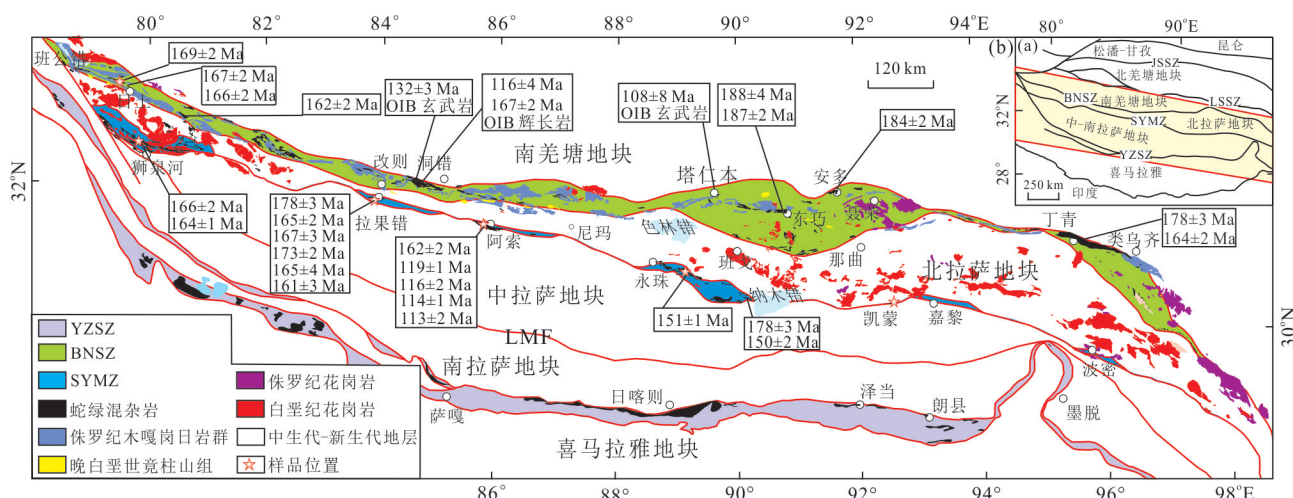


图1 青藏高原构造格架简图(a)和班公湖—怒江缝合带、狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带时空展布及锆石年龄分布(b)

Fig.1 Tectonic outline of the Qinghai-Tibet Plateau (a) and the Bangongco-Nujiang suture zone and Shiquanhe-Laguoco-Yongzhu-Jiali ophiolitic mélange zone in central Tibet, showing zircon U-Pb ages of the major ophiolitic massifs (b)

图b据 Wang *et al.* (2016) 修改;班公湖—怒江数据引自 Wang *et al.* (2016) 及其文献, SYMZ 数据引用同表 1. JSSZ. 金沙江缝合带; LSSZ. 龙木错—双湖缝合带; BNSZ. 班公湖—怒江缝合带; SYMZ. 狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带; YZSZ. 雅鲁藏布江缝合带

世—早白垩世,主要为侏罗纪—早白垩世,经历了中—晚侏罗世和晚白垩世两次构造侵位(王立全等, 2013; Fan *et al.*, 2014a). Wang *et al.* (2016) 认为班公湖—怒江特提斯洋在早—中侏罗世时期是一个复杂的洋内弧—弧后盆地系统,早—中侏罗世大洋岩石圈发生洋内俯冲作用, 132~108 Ma 发生了强烈的地幔热点影响的洋岛作用(OIB 型);随后在早白垩世末期,由于北拉萨地块和南羌塘地块的碰撞,班公湖—怒江特提斯洋关闭,由于大洋岩石圈板片的回转导致软流圈地幔物质上涌形成大量的碰撞型或后碰撞型岩浆作用.最近有研究者认为班公湖—怒江缝合带及北侧的龙木错—双湖缝合带和南延的昌宁—孟连缝合带及其间的增生地块、岛弧变质地块等,共同构成了青藏高原特提斯大洋最终消亡形成的巨型对接带,记录了冈瓦纳大陆和泛华夏大陆之间古特提斯大洋形成演化的地质信息(王立全等, 2008, 2013; 潘桂棠等, 2013; Wang *et al.*, 2013; 王冬兵等, 2016; 王保弟等, 2018; 吴喆等, 2020).

位于班公湖—怒江缝合带与雅鲁藏布江缝合带之间的拉萨地块,以 SYMZ 和洛巴堆—米拉山断裂(LMF)为界,从北向南依次为北拉萨地块、中拉萨地块和南拉萨地块(图 1b)(潘桂棠等, 2006; Zhu *et al.*, 2011, 2013; Pan *et al.*, 2012). 北拉萨地块除安多地区存在寒武纪或新元古代的结晶基底外,其

余主要由侏罗纪—白垩纪火山沉积地层和侵入岩组成(王保弟等, 2013). 中拉萨地块主要由石炭—二叠纪变沉积岩、中—晚侏罗世接奴群、早白垩世则弄群和晚白垩世捷嘎组火山沉积地层构成,发育大量酸性火山岩、火山碎屑岩和相关侵入岩,同时有少量的奥陶纪、志留纪、三叠纪灰岩及前寒武纪地层出露.南拉萨地块主要由白垩纪—古近纪冈底斯岩基和古新世—始新世林子宗群火山岩以及部分侏罗纪—白垩纪沉积地层构成,其地壳在晚白垩世—古近纪期间经历了强烈的缩短变形(图 1b).

2 SYMZ 物质组成与形成时代

狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂带西自狮泉河,向南东经古昌、拉果错、阿索、格仁错、申扎永珠、纳木错西,再向东经九子拉、凯蒙、波密等地,延伸上千千米,宽 3~35 km,呈北西西—东西—南西向展布,是一条区域性大断裂带,也是申扎—措勤地层分区与班戈—八宿地层分区的界线,该带西延被塔什库尔干—噶尔大型走滑断裂(喀喇昆仑断裂)截切.由于受大型逆冲与后期走滑断裂的影响,蛇绿混杂岩断续出露,主要分布在阿里地区狮泉河、改则县拉果错、尼玛县阿索、申扎县永珠、嘉黎县凯蒙等地.

2.1 狮泉河蛇绿混杂岩

狮泉河蛇绿混杂岩延伸约 400 km 以上,带内超

基性岩呈北西、北西西向的透镜体、长条状、扁豆状展布,构造侵位于石炭系—二叠系或侏罗系—下白垩统中,其上被贡觉山组(K_2j)不整合覆盖。在甲岗和狮泉河北的爬里革则弄可见较完整的蛇绿岩层序,主要为变质橄榄岩(包括方辉辉橄岩和方辉橄橄岩)、堆晶岩(单辉橄橄岩、橄橄二辉岩、层状辉长岩)和均质辉长岩、席状岩墙群、枕状玄武岩(玄武岩、细碧岩)及放射虫硅质岩等(图2a)。

狮泉河蛇绿混杂岩中硅质岩放射虫种属包括 *Pantanellium sethocapsa uterulus*、*Mirifusus dianae minor* 等(西藏地质矿产局,1993),多数种的时代在晚侏罗世晚期—早白垩世早期。聂耳错一带辉石岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法同位素年龄为 222.5 ± 4.5 Ma,可能表明洋盆的初始裂解时限在晚三叠世或者更早。柯桑那嘎堆晶橄橄辉石岩 SHRIMP U-Pb 年龄为 193.1 ± 3.2 Ma,两组岩墙 U-Pb 年龄分别为 165.8 ± 1.7 Ma 和 163.4 ± 0.8 Ma(郑有业等,2006),反映狮泉河洋盆的主体发育时间为早—中侏罗世。

2.2 拉果错蛇绿混杂岩

拉果错蛇绿混杂岩位于西藏改则县南 30 km 拉果错一带,向西与古昌蛇绿混杂岩相连,总体呈东西向展布,延伸约 30 km,南北宽 3~6 km。平面上呈不规则透镜状产出,南缘、北缘皆与下白垩统郎山组灰岩呈断层接触,南侧局部与晚侏罗世—早白垩世则弄群火山岩呈断层接触,北边界表现为右行走

滑性质,带内见上石炭统拉嘎组逆冲推覆其上。带内岩石破碎强烈,局部被后期的花岗岩体吞噬。蛇绿岩套组合主要由变质橄榄岩、(层状)辉长岩、辉绿岩墙、枕状熔岩、斜长花岗岩和硅质岩等组成(图2b),被认为形成于弧间盆地之中(王保弟等,2007);基质出露较少,为强变形砂板岩组合;在基性熔岩和地幔橄橄岩中见大小不等的灰岩岩块。

斜长花岗岩在拉果错蛇绿混杂岩中非常发育,野外地质特征表现出 3 种赋存状态,可划分为 3 种成因类型:(1)结晶分异型花岗岩,多呈网脉状、脉状,脉宽为几厘米至十几厘米,空间上与蛇绿岩地壳层位上部的辉长岩和玄武质熔岩共生;(2)剪切成因花岗岩,在空间上与蛇绿岩层序下部辉长岩在角闪岩相条件下韧性剪切形成的斜长角闪岩共生、呈“群”产出,构成了“岩墙群”(图2c);(3)仰冲型花岗岩,在空间上与地幔橄橄岩共生,常被全蛇纹石化橄橄岩所包围,二者呈构造接触,界线清晰,受后期构造作用影响呈不规则状。

拉果错蛇绿混杂岩伴生的硅质岩中,既有晚侏罗世放射虫分子,也有早白垩世放射虫分子,指示拉果错洋盆在晚侏罗世—早白垩世一直存续(曾庆高等,2006)。与蛇绿岩有关的斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄值为 $189.8 \sim 161.2$ Ma(张玉修等,2007;樊帅权等,2010;Yuan *et al.*, 2015)。斜长角闪岩中角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 177.6 ± 3.4 Ma 和 $176.0 \pm$

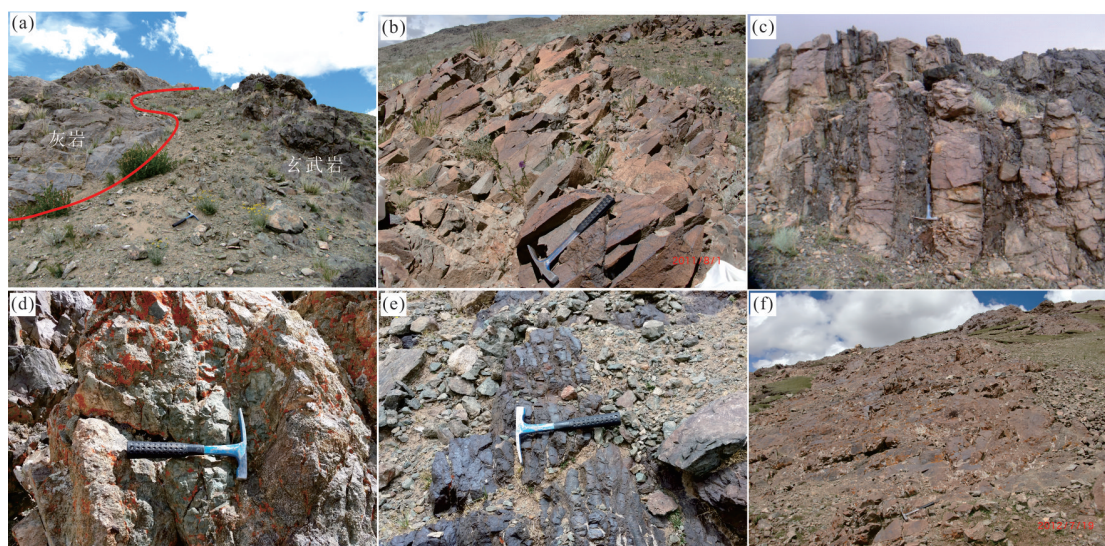


图2 SYMZ蛇绿混杂岩带不同地区典型野外地质特征

Fig.2 Photographs showing the field relations of ophiolitic rocks in the SYMZ in the Shiquanhe (a), Laguoco (b—c), Aso (d—e) and Yongzhu (f) areas of central Tibet

a. 狮泉河玄武岩与灰岩岩块接触关系; b. 拉果错辉长岩; c. 拉果错剪切型斜长花岗岩; d. 阿索辉长岩; e. 阿索硅质岩; f. 永珠辉长岩—辉绿岩岩墙

3.9 Ma, 可能代表了蛇绿混杂岩的就位时限(Wang *et al.*, 2008). 本次研究获得拉果错细粒辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 172.8 ± 1.8 Ma (图 3). 从上述一系列年代学信息, 笔者认为拉果错代表的洋盆初始拉开时间至少在早侏罗世或者更早, 但主体应属于中—晚侏罗世.

拉果错蛇绿混杂岩与早白垩世郎山组呈构造接触关系, 局部地段被晚白垩世贡觉山组 (K_2j) 磨拉石角度不整合覆盖, 西侧古昌蛇绿混杂岩中辉长岩全岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄和坪年龄分别为 128.4 ± 2.6 Ma 和 124.6 ± 0.6 Ma (张宽忠和陈玉禄, 2007), 可能标志着该带蛇绿岩构造侵位发生在早白垩世晚期.

2.3 阿索蛇绿混杂岩

阿索蛇绿混杂岩主要分布于尼玛县阿索乡至改则县中仓乡一带, 分为中仓蛇绿混杂岩段和阿索蛇绿混杂岩段, 两段总长约 100 km, 呈北西方向延伸, 最宽达 14 km. 北边界为岷千日断裂, 早期属右行走滑性质, 后期向北逆冲于美苏组 (E_{1-2m}) 火山岩之上; 南边界为美苏断裂, 断面南倾, 南部二叠系向北逆冲于蛇绿岩之上. 混杂岩主要由复理石、蛇绿岩、火山(岛弧)岩、碳酸盐岩与碎屑岩等块体组成.

阿索蛇绿混杂岩主要包括变质橄榄岩、橄榄辉石岩、辉长岩、辉绿岩、玄武质熔岩、斜长花岗岩及硅质岩等. 辉长岩类主要有堆晶辉长岩和块状辉长岩, 平面形态多呈长条带状、透镜状(图 2d), 常与辉长辉绿岩、斜长花岗岩等共生, 与围岩多呈断层接

触. 辉绿岩以席状岩墙形式出现, 见辉长辉绿岩、辉长辉绿玢岩, 常和辉长岩共生, 并见其侵入到辉长岩中. 玄武岩及硅质岩岩块相对较少, 硅质岩主体岩性为灰黑色条纹状硅质岩(图 2e), 局部为紫红色条带状含藻硅质岩(唐峰林等, 2004). 中仓蛇绿混杂岩出露规模较小, 共包含 3 个较大的岩块, 几乎不含基质. 西段 2 个岩块以变质橄榄岩为主, 伴生有红色硅质岩、角砾状橄榄岩、辉长岩和辉绿岩, 分布于下白垩统郎山组灰岩之中; 而东段主要由堆晶辉长岩、辉长岩墙和少量玄武岩组成, 它们彼此之间呈断层接触(徐梦婧等, 2014).

阿索蛇绿混杂带混杂基质含炭粉砂岩中含 *Classopollis annulatus* cverb、*Chasmatosporites* sp., 黑色粉砂岩中含 *Leiotriletes*、*Cyathidites*、*Lygodiumsporites*、*Chasmatosporites*、*Ovalipollis*、*Araucariacites*/*Inaperturopollenites*、*Taxodiaceapollenites*、*Psophosphaera*、*Ginkgocycadophytr*s、*Cycadopites* 等孢子分子, 时代为侏罗纪(张一勇, 1999). 在硅质岩中获放射虫化石 *Archaeodictyomitra* sp.、*Pseudodictyomitra* sp.、*Praeconocaryomma* sp.、*Crucella* sp.、*Paronaella* sp.、*Thanarla* sp. 等, 时代为早白垩世(王玉净等, 2002a). 因此, 从古生物角度来看, 阿索洋盆发育时限最迟为侏罗纪—早白垩世早期.

一直以来, 阿索蛇绿混杂岩带都缺乏可靠的年代学依据, 中仓蛇绿混杂岩中 2 个堆晶辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄均为早白垩世 (114.3 ± 1.4 Ma 和 116.1 ± 1.8 Ma), 1 个辉长岩岩墙年龄为 113.4 ± 1.7 Ma (徐梦婧等, 2014), 阿索辉绿岩年龄为 124 ± 10 Ma (Zhang *et al.*, 2014). 本次研究在阿索获得了类似的辉绿岩岩墙年龄 118.9 ± 0.5 Ma (图 4a), 同时获得结晶分异型斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 162.3 ± 1.7 Ma (图 4b). 由此可以看出, 阿索基性岩的形成时代主要为早白垩世, 代表了阿索洋盆主体发育时限为早白垩世; 从斜长花岗岩的形成时代可以追踪到阿索洋盆在侏罗纪时就已经存在.

2.4 永珠蛇绿混杂岩

永珠蛇绿混杂岩分布在申扎县北永珠—纳木错一带, 包括传统的永珠蛇绿混杂岩和纳木错西蛇绿混杂岩. 混杂岩带北界为玛二麦扎勒—玖如错断裂, 南界为桌布列卡—木纠错断裂. 该带主要由蛇绿岩、增生混杂岩, 以及石炭系、二叠系、上侏罗统至下白垩统组成的长透镜状、不规则条块状的构造块体构成.

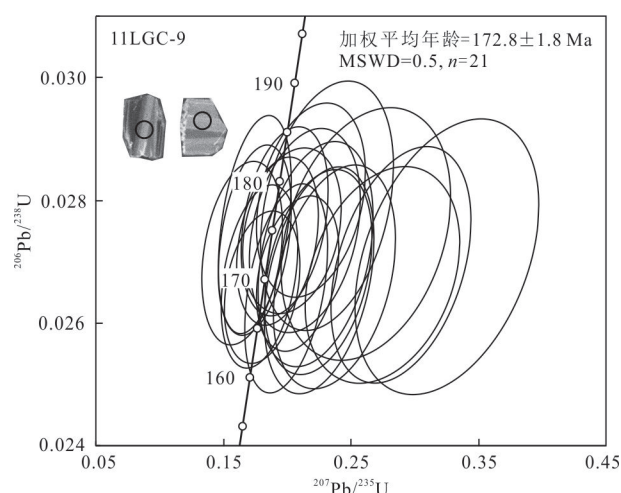


图 3 拉果错辉长岩锆石 CL 图像及 U-Pb 年龄谐和图
Fig. 3 Cathodoluminescence images showing the internal structures and concordia plots of representative zircon grains from the gabbro of the Laguoco ophiolite

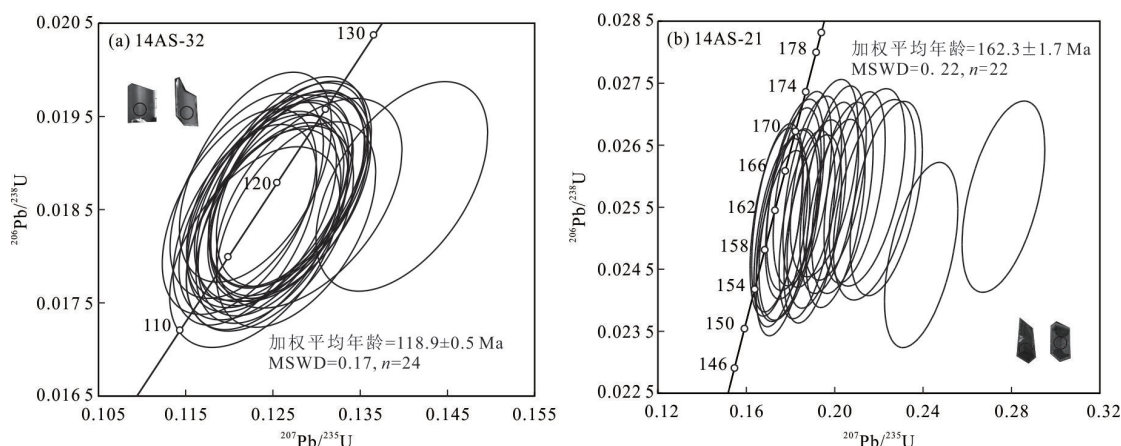


图4 阿索蛇绿岩辉绿岩岩墙(a)和斜长花岗岩(b)的锆石CL图像及U-Pb年龄谐和图

Fig.4 Cathodoluminescence images showing the internal structures and concordia plots of representative zircon grains from the diabase (dyke) (a) and plagiogranite (b) of the Aso ophiolite

永珠蛇绿混杂岩组成从地幔橄榄岩到上覆沉积物均有出露,特别是仁错一带蛇绿岩组合完整,包括超镁铁质岩、堆晶杂岩、席状岩墙群、枕状玄武岩、放射虫硅质岩等构造单元(杨日红等,2003;叶培盛等,2005)。堆晶杂岩分布在果芒错西南,呈捕虏体状产于超镁铁质岩中,二者为侵入接触或断层接触;包括堆晶橄榄岩、堆晶橄榄斜辉辉石岩、堆晶橄榄二辉辉石岩、堆晶斜方辉石岩、堆晶辉长岩。席状岩墙群位于果芒错东南,长8.25 km,宽2.25 km,其规模之大在国内罕见(王永胜等,2005),见辉长辉绿岩、辉长岩、辉绿岩(图2f)侵入于超镁铁质岩及枕状玄武岩中。岩墙群与枕状玄武岩总体呈渐变过渡关系,边部见辉绿岩岩墙呈脉状侵入到玄武岩之中。永珠蛇绿混杂岩中未见混杂基质,尽管混杂岩带内可见前震旦系念青唐古拉群(An_2Nq)、中—上泥盆统查果罗马组(D_{2-3C})、中二叠统下拉组(P_{2x})、上侏罗统一白垩统日拉组(J_3-K_1r)等与蛇绿岩呈构造接触,但是这些地层的岩石组合、变形特征都与混杂基质不符。

永珠蛇绿混杂岩带放射虫硅质岩在仁错、纳木错西等地均有出露,在昌拉一带见硅质岩呈夹层产于枕状玄武岩中。放射虫硅质岩中产丰富的放射虫化石,存在多个属种,包括 *Acaeniotyle* sp. (J_2-K_2)、*Crucella* sp. (T_3-K_2)、*Parvicingula* sp. (J_2-K_2),但是放射虫时代跨度较广(王玉净等,2002b),不能准确限定蛇绿岩时代。前人在永珠辉绿岩墙、辉长岩中获得单颗粒锆石 U-Pb 年龄分别为 133~114 Ma、 178 ± 10 Ma(吉林省地质调查院,2003. 中华人民共和国区域地质调查报告(多巴区幅(H45C001004)))

纳木错西岸橄榄岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 166 ± 26 Ma, 生觉北侧辉长岩单矿物 Rb-Sr 等时线年龄为 173 ± 10 Ma(中国地质科学院地质力学所,2003. 中华人民共和国区域地质调查报告(当雄幅(H46C002001))) ,角闪石 K-Ar 法同位素年龄为 179 Ma(肖序常和李廷栋,2000);这些年龄数据由于测试方法的局限性,目前看来不够精确,但也反映出蛇绿岩形成时代为中—晚侏罗世的信息。最近有研究者在永珠辉长岩墙中获得一个比较精确的锆石 U-Pb 年龄为 150.6 ± 2.4 Ma (Zeng *et al.*, 2018),纳木错西变辉长岩和仁错辉长岩的锆石 U-Pb 年龄分别为 178.0 ± 2.9 Ma 和 149.7 ± 1.6 Ma (Zhong *et al.*, 2015)。结合以上的年代学资料,笔者认为永珠洋盆的主要发育时限在中—晚侏罗世至早白垩世。

2.5 凯蒙蛇绿混杂岩

凯蒙蛇绿混杂岩带主要分布于嘉黎断裂带内的凯蒙沟山脊和查给一带的山脊上,仅在桑拉、打勒拉、嘎同卡有蛇绿岩残片出露,宽5~15 km;受后期逆冲推覆作用的影响混杂岩带变窄,向东至波密迫龙藏布断裂和嘎龙寺断裂之间于侏罗纪至三叠纪的花岗岩体中零星出露有大小不等的超镁铁岩、石英岩、大理岩和硅质岩等。凯蒙蛇绿混杂岩构造就位于中—上侏罗统拉贡塘组(J_{2-3l})和中侏罗统桑卡拉侖组(J_{2s})粉砂岩、页岩及灰岩之上,蛇绿混杂岩由橄榄辉石岩、辉石岩、辉长岩—辉绿岩与石英岩组成。

尽管有研究者在凯蒙蛇绿混杂岩橄长岩中获得了较好的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 $218.2 \pm$

4.6 Ma(和钟铎等,2006),但是锆石呈长柱状且具有良好的环带结构,与酸性岩浆岩锆石形态一致,因此其很可能不是基性岩的锆石,此年龄不能代表凯蒙蛇绿岩的形成时代,可能代表晚三叠世的一次构造热事件,从侧面暗示凯蒙蛇绿岩时代可能更老.在闽巴高地镁铁、超镁铁岩块中测得 Rb-Sr 年龄为 215 ± 63 Ma(四川省地质局第三区域地质测量队,1977. 中华人民共和国区域地质调查报告(波密幅(H-47-XXII))),介于早三叠世与晚侏罗世之间,能否代表蛇绿岩的形成时代有待进一步研究.

3 狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎特提斯洋盆的地球化学性质及构造环境

已有地球化学资料表明,SYMZ 形成的构造环境复杂多样,主要有岛弧环境(和钟铎等,2006;樊帅权等,2010)、弧间盆地(王保弟等,2007)、弧后盆地(杨日红等,2003;叶培盛等,2004,2005;王永胜等,2005;和钟铎等,2006)、大洋中脊环境等.结合前人研究与本文数据,笔者从超基性岩、基性岩、安山岩等各个蛇绿混杂岩单元分别论述其形成的构造环境,并分析狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎特提斯洋盆的性质.

3.1 超基性岩

SYMZ 中超基性岩包括地幔橄榄岩和堆晶杂岩两类,地幔橄榄岩端元以方辉橄榄岩为主,拉果错和凯蒙地区发育有堆晶杂岩,堆晶序列为橄榄石—斜长石—辉石,显示 MOR 蛇绿岩堆晶序列;拉果错、永珠堆晶杂岩常见易剥辉石岩,为典型的 SSZ 型蛇绿岩岩石类型.

拉果错和凯蒙地区的超基性岩可明显分为两种类型.一种类型分配曲线呈近“U”型,REE 总量较低,来自玻安岩强烈亏损地幔源区,并且果芒错方辉橄榄岩中尖晶石电子探针数据显示较高的 $Cr^{#}$ (75~78),斜方辉石则显示低 Al_2O_3 、高 $Mg^{#}$ 特征(王立全等,2013),这可能是俯冲带橄榄岩与玻安质熔体反应所致,与 IBM 弧前地幔橄榄岩蛛网图类似.另一种类型与典型 MOR 地幔橄榄岩一致,并且 REE 总量偏高.由此推断 SYMZ 中超基性岩主体为 SSZ 型特征,少量为 MOR 型.

3.2 基性岩

如前所述,SYMZ 的基性岩残片可分为侏罗纪和早白垩世两个时代.

3.2.1 侏罗纪基性岩 主要分布在狮泉河、拉果

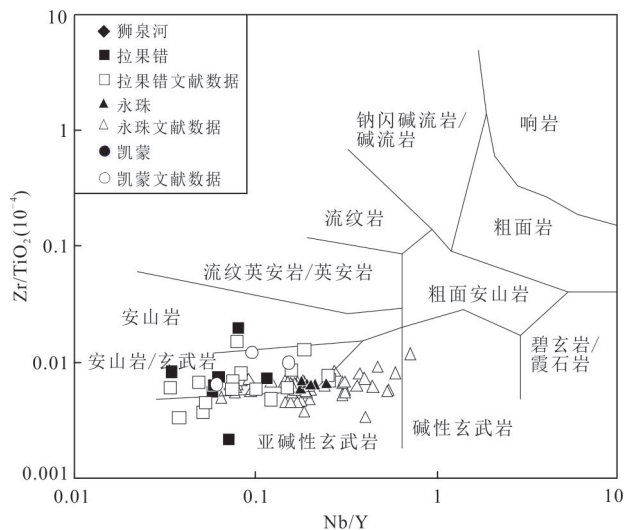


图 5 SYMZ 侏罗纪基性岩岩石分类图解

Fig. 5 Classification of Jurassic mafic rocks on Nb/Y vs. Zr/TiO₂ diagram in the SYMZ

底图据 Winchester and Floyd(1977). 数据来源:拉果错据王保弟等(2007)、樊帅权等(2010)和 Yuan *et al.* (2015);永珠据杨日红等(2003)、叶培盛等(2004, 2005)、Zhong *et al.* (2015)、王永胜等(2005)和 Xu *et al.* (2014);凯蒙据和钟铎等(2006);下图同

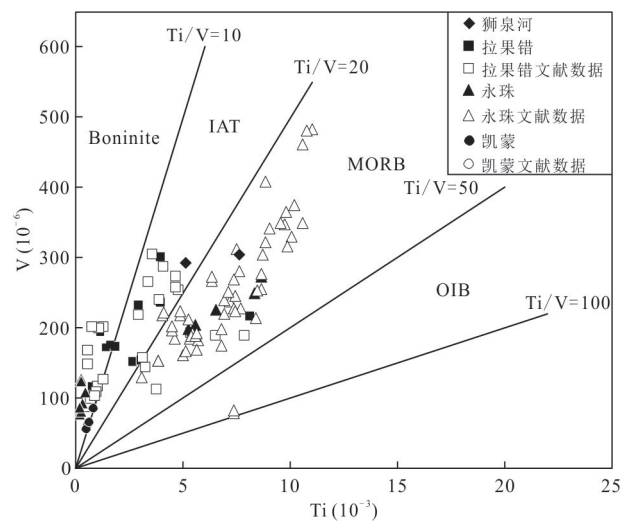


图 6 SYMZ 侏罗纪基性岩和玻安岩的 Ti—V 图解

Fig. 6 Diagram of Ti vs. V for Jurassic mafic rocks and boninites in the SYMZ

底图据 Shervais(1982). Boninite. 玻安岩; IAT. 岛弧拉斑玄武岩; MORB. 洋中脊玄武岩; OIB. 洋岛玄武岩

错、永珠和凯蒙等蛇绿混杂岩中,阿索蛇绿混杂岩中至今没有发现确切的侏罗纪基性岩,狮泉河蛇绿混杂岩中可信的微量元素数据较少导致其具体构造环境不能准确判别,而凯蒙蛇绿混杂岩中的基性端元以低 Ti 及 Ti/V 比值与前弧基性岩岩块更接近.拉果错与永珠基性岩(辉长岩、辉绿岩、玄武岩)

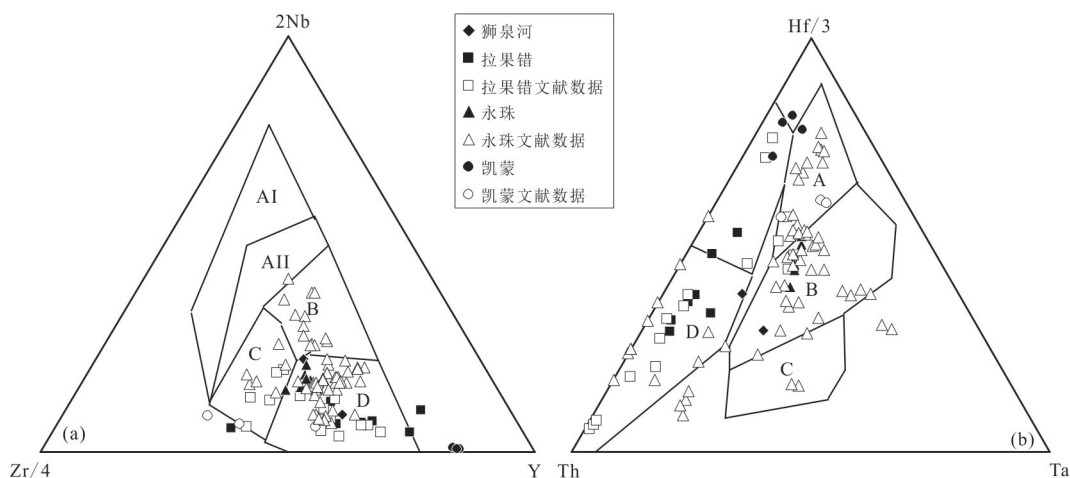


图7 狮泉河—嘉黎蛇绿混杂岩带侏罗纪基性岩构造环境 Nb—Zr—Y(a)和 Hf—Th—Ta(b)图解

Fig.7 Diagrams of Nb—Zr—Y (a) and Hf—Th—Ta (b) showing the tectonic setting for Jurassic mafic rocks and boninites in the SYMZ

图a据 Meschede (1986);图b据 Wood (1980). 图a: 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-MORB; C. 板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩; D. N-MORB 和火山弧玄武岩. 图b: A. N-MORB; B. E-MORB; C. 板内碱性玄武岩; D. 岛弧拉斑玄武岩

主体属于亚碱性系列玄武岩(图5),在 Ti—V 图解(图6)和 Nb—Zr—Y、Hf—Th—Ta 图解中(图7),拉果错基性岩主要位于岛弧区域,与其富集 LILEs(大离子亲石元素)、亏损 HFSEs(高场强元素)特征一致;而永珠基性岩则多数显示 E-MORB 构造环境,在微量元素蛛网图上 Nb、Ta、Zr、Hf 等 HFSEs 没有表现出明显亏损特征(图略)。

此外,图8显示拉果错基性岩普遍高的 Th/Ta 比值与 IBM 弧相关火山岩类似.永珠基性岩 Th/Ta 比值普遍小于 1.6,显示其遭受俯冲物质影响较小或者与俯冲无关.根据 Nb/Ta 比值可将永珠基性岩区分为两种类型,一种类型的 Nb/Ta 比值与典型 MORB 的一致,同时 Th/Ta 比值较低;而另一种类型的 Nb/Ta 比值明显较低, Th/Ta 比值变化范围较广,与前弧玻安岩类似(图8);表明永珠基性岩可能形成于两种构造环境。

在 Th/Yb—Nb/Yb 图解中,几乎所有的拉果错基性岩样品都体现出大洋岛弧的特征(图9a). Ti/Yb—Nb/Yb 图解能够很好地区分板内玄武岩(大陆或大洋,位于 OIB 序列)和板块边缘玄武岩(洋中脊和俯冲带,位于 MORB 序列)(Pearce, 2008),所有狮泉河—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带的基性岩都位于 MORB 序列(图9b),表明这些岩石全部形成于洋中脊和俯冲带.综上所述, SYMZ 中侏罗纪基性岩主体表现出洋内弧型蛇绿岩和大洋中脊蛇绿岩两种类型。

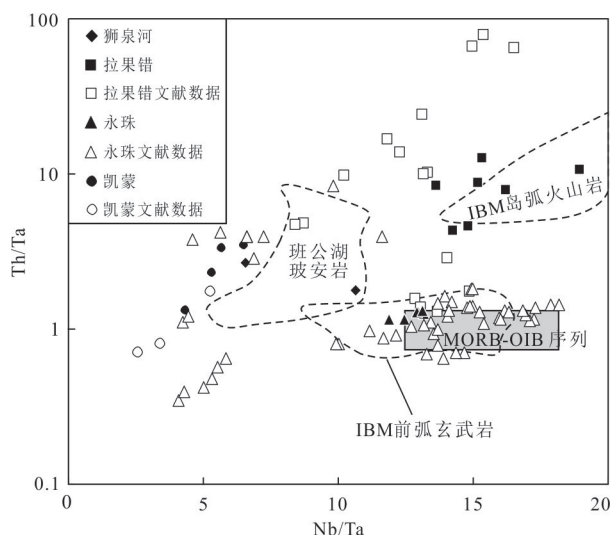


图8 狮泉河—嘉黎蛇绿混杂岩带侏罗纪基性岩 Nb/Ta—Th/Ta 图解

Fig.8 Diagram of Nb/Ta—Th/Ta for Jurassic mafic rocks in the SYMZ

底图据 Pearce and Peate (1995)

3.2.2 早白垩世基性岩 目前仅阿索地区发现早白垩世基性岩,东西向延伸约 100 km,并且多数以辉绿—辉长岩岩墙形式产出,主要岩石类型为玄武岩、辉长岩、辉绿岩和堆晶辉长岩,皆属于亚碱性玄武岩系列(图10a).高 Zr/Nb 比值指示其岩浆源区很可能来自亏损地幔源区; Nb/La 比值普遍小于 1,反映岩石圈地幔或者地壳物质的贡献, Ti/Y 比值较低同样指示岩浆上侵过程中 AFC 过程,与 HFSEs 相

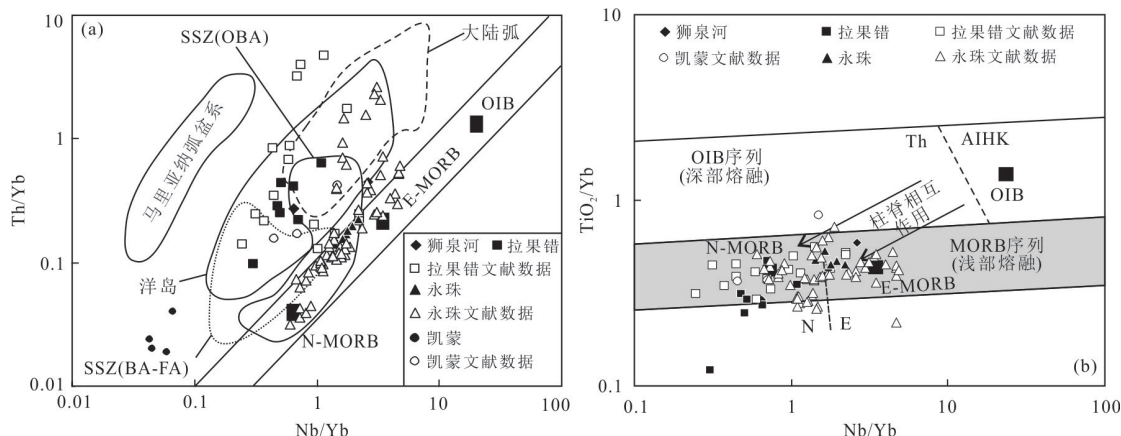


图9 狮泉河—嘉黎蛇绿混杂岩带侏罗纪基性岩 Th/Yb—Nb/Yb (a) 和 TiO_2/Yb —Nb/Yb (b) 图解
Fig. 9 Diagrams of Th/Yb vs. Nb/Yb (a) and TiO_2/Yb vs. Nb/Yb (b) for Jurassic mafic rocks in the SYMZ

底图据 Pearce and Peate (1995)

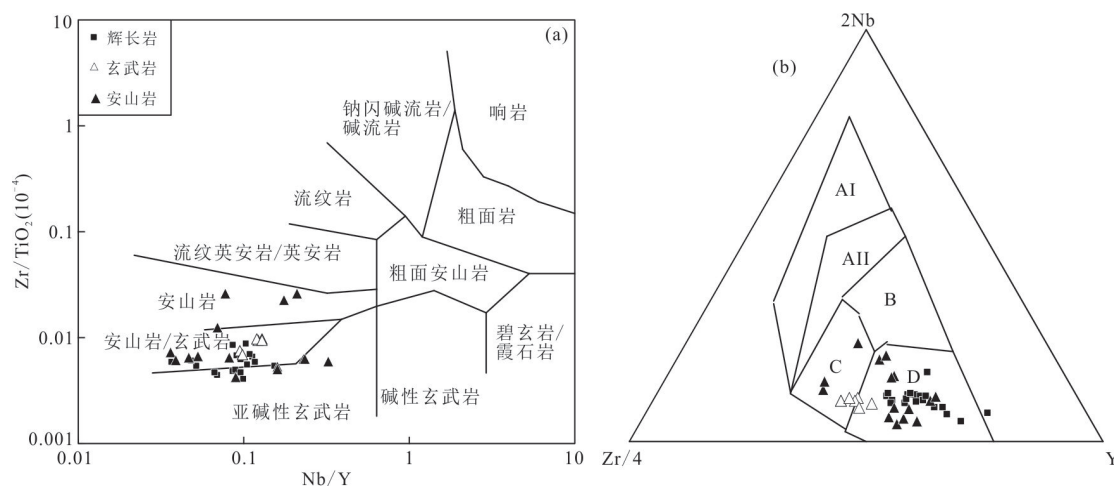


图10 SYMZ白垩纪基性岩和侏罗纪安山岩 Nb/Y—Zr/TiO₂ (a) 和 Nb—Zr—Y (b) 图解

Fig. 10 Classification of Cretaceous mafic rocks and Jurassic andesites on Nb/Y—Zr/TiO₂ (a) and Nb—Zr—Y (b) diagrams in the SYMZ

a. 底图据 Winchester and Floyd (1977); b. 底图据 Meschede (1986)

对 $\text{Mg}^\#$ (或 SiO_2 含量) 的变化一致, 同时还表现在微量元素蛛网图上 Nb、Ta、Ti 呈负异常特征. 阿索基性岩稀土元素配分曲线分为两类 (图略), 一类 LREE 轻微富集, $(\text{Th}/\text{Nb})_N$ 远大于 1, 说明其遭受地壳物质或沉积物的混染; 另一类 LREE 轻微亏损, $(\text{Th}/\text{Nb})_N$ 小于 1, 很少有地壳物质或沉积物的混染, 部分样品具有 Nb、Ta、Ti 负异常. 所有样品均落入 N-MORB 和火山弧玄武岩区 (图 10b), 指示其很可能形成于 SSZ 的构造环境.

3.3 安山岩类

拉果错蛇绿混杂岩中发育有安山岩岩片 (图 10a), 在微量元素蛛网图上其明显富集 LILE 和亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti, 显示为典型的弧火山岩

地球化学性质. $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值极低 (0.02~0.19), 与壳—幔混源安山岩差异明显, 表明岩浆源区很少有陆壳物质混入. 而高 Cr ($21.7 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$)、Ni ($13 \times 10^{-6} \sim 39.5 \times 10^{-6}$) 含量表明安山岩原始岩浆很可能来自于地幔楔源区的部分熔融. 低 Th 含量 ($0.38 \times 10^{-6} \sim 4.79 \times 10^{-6}$) 和 Th/Yb 比值 (0.30~2.88) 指示俯冲沉积物熔体几乎没有混入地幔楔源区, 高 Ba/Nb 比值反映安山岩来自受俯冲板片脱水流体不均一交代的地幔楔源区的部分熔融. 在 Nb—Zr—Y 构造环境判别图解 (图 10b) 中, 拉果错安山岩所有样品都落入岛弧火山岩区, 并具有低的 La/Yb 比值, 与大洋岛弧火山岩一致, 指示狮泉河—永珠—嘉黎洋盆可能存在洋内弧.

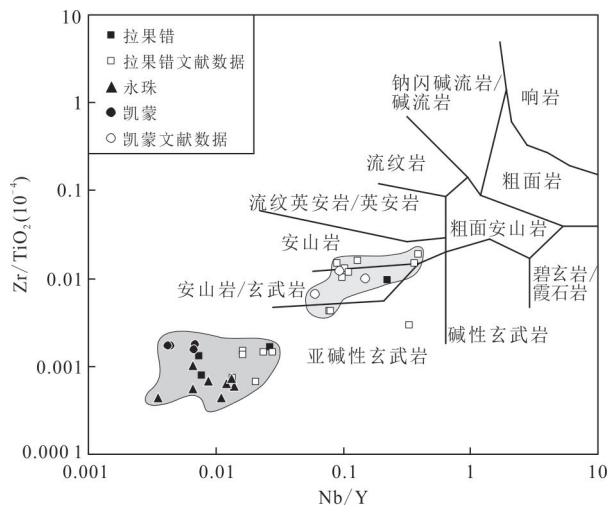


图 11 狮泉河—嘉黎蛇绿混杂岩带玻安岩和玻玄武岩分类图解

Fig. 11 Classification of boninites and bonibasalts on Nb/Y vs. Zr/TiO₂ diagram in the SYMZ

底图据 Winchester and Floyd(1977)

3.4 前弧岩浆系列

SYMZ广泛发育前弧岩浆活动,主要分布于拉果错、永珠、凯蒙地区,微量及稀土元素特征显示其以玻安岩系列岩浆活动为主,明显可以分为玻安岩和玻玄武岩两种岩石类型(图 11);玻安岩 Ti/Zr 比值(31~59)均小于 70,玻玄武岩的 Ti/Zr 比值大于 70,与张旗(1990)对玻安岩和玻玄武岩的判别一致.

如上所述,拉果错玻安岩样品的 Ti/Zr 比值均小于 70,属于典型玻安岩的 Ti/Zr 比值范围(Wolde and Team, 1996);REE 图与 Bonin 岛玻安岩类似,LREE 富集,稀土元素显示典型的“U”型分配(图 12),亏损 HFSEs 而富集 LILEs,指示岩浆源区有俯冲流体的参与;随着 La 含量升高 La/Sm 比值不断增加,表明部分熔融在岩石形成过程中占主导作用,并且几乎所有样品均无 Eu 异常,表明结晶分异作用在成岩过程中不明显.拉果错玻玄武岩的 Ti/Zr 比值(40~202)较高,与典型玻玄武岩(Ti/Zr=70~250)大致一致,但 Zr/Y 比值(2.8~5.4)主体大于 3,位于玻安岩(>3)范围之内(张旗,1990),因此其具备玻安岩和玻玄武岩的过渡特征;玻玄武岩(包括玄武岩和辉长岩)REE 总量较前弧玄武岩和辉长岩低(Reagan *et al.*, 2010),指示其来自比弧前玄武岩更为亏损的源区.另外,由于 Zr 往往随 LREE 组分一起加入也导致玻玄武岩 Zr 含量明显低于玻安岩,Th/Ta 比值也有从玻玄武岩往玻安岩逐步升高的趋势,因此,

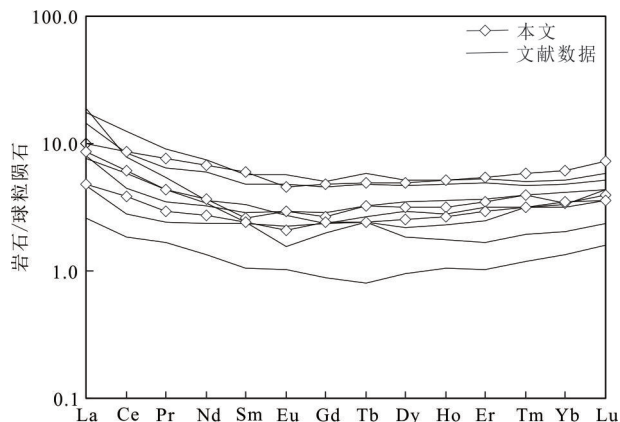


图 12 拉果错玻安岩稀土元素球粒陨石标准化分布曲线

Fig. 12 Chondrite-normalized REE pattern for the Lagucuo boninites

标准化数据引自 Sun and McDonough(1989)

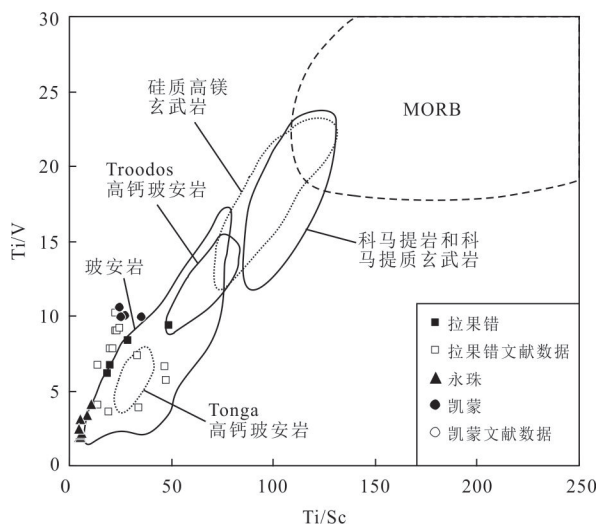


图 13 玻安岩 Ti/Sc—Ti/V 图解(与典型玻安岩对比)

Fig.13 Diagram of Ti/Sc vs. Ti/V for the boninites in the SYMZ

据 Smithies (2002)

从玻玄武岩到玻安岩的演化体现地幔楔源区俯冲流体不断加入的过程,这与俯冲初期的岩浆演化过程一致.在 Ti—V 图解中,玻安岩和玻玄武岩都落入玻安岩区域(图 6),因此,狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎特提斯洋必然发生过洋内俯冲作用.

在 Ti/Sc—Ti/V 图解上(图 13),样品均分布在玻安岩区域(与 MORB 明显不同),部分样品分布在 Tonga 高钙玻安岩区或其附近,这与部分样品的 CaO/Al₂O₃ 比值较高相一致;高钙玻安岩的 CaO/Al₂O₃ 比值一般大于 0.75(Sobolev and Danyushevsky, 1994),而这部分岩石的 CaO/Al₂O₃ 比值为 0.72~1.45,属于高钙玻安岩.因此,

在拉果错、永珠、凯蒙地区蛇绿混杂岩中分布有一套玻安岩系火山岩,部分岩石类似 Tonga 高钙玻安岩。

4 SYMZ 与班公湖—怒江缝合带的构造关系及其构造属性

4.1 空间分布

SYMZ 与班公湖—怒江缝合带均为东西向展布,近于平行延伸约 2 000 km,二者之间仅以北拉萨地块相隔(图 1b)。北侧的班公湖—怒江缝合带西起班公湖,经改则、东巧、安多、索县、丁青,东至八宿、碧土一带,转向东南沿怒江河谷延伸出西藏,其为羌塘地块和拉萨地块的分界线。SYMZ 则位于拉萨地块内部,分割北拉萨地块和中拉萨地块。

在狮泉河、拉果错和永珠—纳木错一带,两条缝合带的界线并不清晰(图 1b),狮泉河蛇绿混杂岩的北界同时也是班公湖蛇绿混杂岩带的南界,永珠蛇绿混杂岩的北界也是东巧蛇绿混杂岩的南界,同时拉果错等地两条缝合带相距不过几十千米,因此二者之间的成因联系一直存在争议。两条蛇绿混杂岩带是各自独立演化的大洋残余,还是平行演化的同一个大洋的两条不同的分支(Kapp *et al.*, 2003);或者二者有某种成因上的联系,即 SYMZ 代表了班公湖—怒江缝合带南向俯冲的弧后洋盆(潘桂棠等, 2006, 2013; 徐梦婧等, 2014),还有待深入研究。

4.2 发育时限

笔者系统收集了 SYMZ 和班公湖—怒江缝合带中的蛇绿岩年代学数据(图 1b, 表 1),主要包括橄榄岩、辉长岩、辉绿岩及斜长花岗岩等年龄数据,同时这些岩石均属于蛇绿混杂岩。

SYMZ 洋盆最老的年龄记录在晚三叠世,在聂耳错、永珠、凯蒙已经发现此段洋壳残片(和钟铨等, 2006; 徐梦婧等, 2014),但是这组锆石形态不像基性岩锆石,年龄数据不可信,不能代表洋壳的发育时限。大量的高质量年代学数据指示 SYMZ 洋盆发育时限为中—晚侏罗世(178~160 Ma),主要分布在狮泉河、拉果错、永珠等地(图 1b);阿索地区出露有早白垩世(119~113 Ma) MORB 型基性岩(徐梦婧等, 2014; Zhang *et al.*, 2014),反映洋盆一直持续到早白垩世。据此笔者认为 SYMZ 洋盆主体发育时限为中—晚侏罗世,在阿索一带洋盆一直延续到早白垩世。虽然班公湖—怒江洋盆主要记录的是早—中侏罗世洋盆(188~160 Ma)(Wang *et al.*,

2016),早白垩世则以洞错和塔仁本地区的 OIB 型基性岩为特征(Zhang *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2016),但是也零星报道有晚二叠世(班公湖、东巧)的洋壳信息,同时洞错高压麻粒岩的原岩时代为晚二叠世(王保弟等, 2015),很可能说明班公湖—怒江洋盆在晚二叠世时就已经存在,较狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎洋盆稍早。总体来看,SYMZ 比班公湖—怒江特提斯洋洋盆发育时限要晚些,两条缝合带都保留了最多的中—晚侏罗世和早白垩世两个时期的蛇绿岩残片。

4.3 物质组成与洋盆性质

从物质组成来看,SYMZ 与班公湖—怒江缝合带两个蛇绿混杂岩带中都发育完整的蛇绿岩套组成,包括地幔橄榄岩、堆晶杂岩、辉长岩、辉绿岩、玄武岩及洋底硅泥质沉积。但是 SYMZ 以地幔橄榄岩和堆晶杂岩为主,仅在狮泉河和阿索见较多的混杂基质;而班公湖—怒江缝合带则总体表现出蛇绿构造混杂岩特征,在东巧、丁青等地超镁铁质岩偏多。

洋盆的发育时限可以分为侏罗纪和早白垩世,本文分别探讨这两个时期洋盆的性质。

4.3.1 侏罗纪洋盆 SYMZ 和班公湖—怒江缝合带中发育大量侏罗纪蛇绿岩残片,常见成熟的岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩,多数显示 MORB 和 SSZ 型蛇绿岩的双重特征,其中 SYMZ 的永珠蛇绿岩更是以大量的 MOR 型辉绿岩岩墙(岩席)而著称。除此之外,两条缝合带侏罗纪最具特征的为一套洋内弧蛇绿岩残片,包括弧前橄榄岩、辉长岩、前弧玄武岩(FAB)、玻安岩、高镁安山岩及岛弧拉斑玄武岩和岛弧钙碱性玄武岩。笔者在 SYMZ 中拉果错、永珠、凯蒙识别出玻安岩岩石组合,富集 LILEs,亏损 HFSEs,稀土元素具典型的“U 型”配分模式;前人在班公湖—怒江缝合带丁青和日土地区已经识别出玻安岩等典型的洋内弧的玻安岩组合(史仁灯等, 2004)。上述证据表明在侏罗纪时期两个洋盆都曾发生过洋内俯冲作用。

4.3.2 早白垩世洋盆 早白垩世“蛇绿岩残片”在班公湖—怒江缝合带和 SYMZ 差别较大,表明二者早白垩世洋盆性质有所不同。班公湖—怒江缝合带早白垩世“蛇绿岩残片”主要为 OIB 型洋岛组合及少量的 MORB 型组合,OIB 型组合主要分布于塔仁本、多玛、洞错等地(朱弟成等, 2006; Fan *et al.*, 2014a, 2014b; 鲍佩声等, 2007),代表班公湖—怒江缝合带中西段存在早白垩世洋底高原或受到地幔

表 1 狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带年龄信息				
Table 1 Age information of ophiolite in the Shiquanhe-Laguoco-Yongzhu-Jiali ophiolite mélange zone				
地名	岩石名称	年龄(Ma)	测试方法	文献来源
狮泉河	堆晶橄榄辉石岩	193.1±3.2	SHRIMP	郑有业等,2006
	闪长岩(岩墙)	165.8±1.7	SHRIMP	郑有业等,2006
	辉长闪长岩(岩墙)	163.4±0.8	SHRIMP	郑有业等,2006
拉果错	斜长花岗岩	166.6±2.5	SHRIMP	张玉修等,2007
	斜长花岗岩	189.8±1.9	LA-ICPMS	樊帅权等,2010
	角闪岩	177.6±3.4	Ar-Ar	Wang <i>et al.</i> , 2008
	角闪岩	176.0±3.9	Ar-Ar	Wang <i>et al.</i> , 2008
	辉长岩	172.8±1.8	LA-ICPMS	本文
	辉长岩	165.4±3.5	LA-ICPMS	Yuan <i>et al.</i> , 2015
	石英闪长岩	161.2±2.7	LA-ICPMS	Yuan <i>et al.</i> , 2015
	斜长花岗岩	164.6±1.6	LA-ICPMS	未发表数据
古昌	辉长岩	128.4±2.6	Ar-Ar	张宽忠等,2007
	辉长岩	124.6±0.6	Ar-Ar	张宽忠等,2007
中仓	堆晶辉长岩	114.3±1.4	LA-ICPMS	Xu <i>et al.</i> , 2014
	辉长岩(岩墙)	113.4±1.7	LA-ICPMS	徐梦婧等,2019
	堆晶辉长岩	116.1±1.8	LA-ICPMS	徐梦婧等,2019
阿索	辉绿岩(岩墙)	118.9±0.5	LA-ICPMS	本文
	斜长花岗岩	162.3±1.7	LA-ICPMS	本文
永珠	辉长岩	150.6±2.4	LA-ICPMS	Zeng <i>et al.</i> , 2018
纳木错	变辉长岩	178.0±2.9	LA-ICPMS	Zhong <i>et al.</i> , 2015
仁错	辉长岩	149.7±1.6	LA-ICPMS	Zhong <i>et al.</i> , 2015
凯蒙	橄长岩	218.2±4.6	SHRIMP	和钟铨等,2006

热点的影响(Zhang *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2016);少量MORB型组合见于东巧地区觉翁、拉纳沟,日土东热帮错等地,其可能形成于弧后盆地环境(Liu *et al.*, 2014),但是时代依据欠缺.与班公湖—怒江缝合带不同,SYMZ的早白垩世“蛇绿岩残片”仅分布于阿索地区,岩性也较为单一,具MORB型稀土元素特征,同时部分样品显示HFSEs相对LILEs亏损的微量元素特征,可能形成于弧后盆地环境(徐梦婧等,2014).

4.4 SYMZ构造属性

关于SYMZ构造属性,学者们根据不同地区蛇绿混杂岩的研究得出不同的认识,主要分为4种:(1)代表了一条独立的弧—陆碰撞带(潘桂棠等, 2006;王保弟等, 2007;Zhu *et al.*, 2011;徐梦婧, 2014;Yuan *et al.*, 2015);(2)班公湖—怒江特提斯洋的分支或洋内系统产物(Matte *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 2014);(3)班公湖—怒江缝合带的构造推覆体(Girardeau *et al.*, 1984;Kapp *et al.*, 2003;张玉修等, 2007);(4)初始洋盆(曾云川, 2017; Zeng *et al.*, 2018).

“班公湖—怒江缝合带分支”的观点自SYMZ 沿线发现蛇绿岩套组合就一直存在(张玉修等, 2007;Baxter *et al.*, 2009),并将拉果错蛇绿岩和洞错蛇绿岩认为是班公湖—怒江蛇绿岩带西段的代表(张玉修等,2007).前人研究认为在班公湖—怒江缝合带西段存在3条俯冲带(Matte *et al.*, 1996;曲晓明等,2009,2010),蛇绿岩残片被这些俯冲带分割,缝合带内至少包含日土和狮泉河—改则2条蛇绿岩带,狮泉河、拉果错蛇绿岩是狮泉河—改则的一部分,因此也是班公湖—怒江缝合带的组成部分之一,狮泉河、拉果错等蛇绿岩是班公湖—怒江特提斯洋多个局限性小洋盆中的一个(曲晓明等,2009, 2010),也就是说狮泉河—嘉黎蛇绿混杂岩带中的各个蛇绿岩带在洋盆演化阶段就已经确定.如前所述,二者在空间分布、发育时限、洋盆性质等方面存在明显的差异,因此,SYMZ不可能是班公湖—怒江缝合带分支或洋内俯冲系统产物.

“班公湖—怒江缝合带逆冲推覆构造”观点(Pearce and Deng, 1988;Kapp *et al.*, 2003;吴珍汉等,2013)的主要依据是狮泉河一带晚白垩世—古

近纪发育自北向南的长距离逆冲推覆构造,形成大型逆冲推覆构造系统,从而导致班公湖—怒江缝合带发生解体和蛇绿岩构造侵位(吴珍汉等,2013)。但是,笔者发现区域构造特征显示其具北向逆冲特点,断层倾向南,很难用由北向南的推覆体解释。再者,SYMZ与班公湖—怒江缝合带近于平行延伸约2 000 km,目前尚未发现由该蛇绿岩套推覆形成这么大规模的推覆构造。事实上,SYMZ两侧早白垩世时期的岩浆岩地球化学组成(Zhu *et al.*, 2009, 2011)和侏罗纪—晚白垩世时期的碎屑锆石所反映的物源(Zhang *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2015; Zeng *et al.*, 2018)均存在明显不同,暗示SYMZ带在侏罗纪—白垩纪时期是中拉萨地块与北拉萨地块的构造分界线。因此SYMZ不可能是班公湖—怒江缝合带自北向南推覆形成。

“初始洋盆”观点认为永珠蛇绿混杂岩具有红海型蛇绿岩的特征,可能为晚侏罗世拉萨地块岩石圈伸展和裂解形成的一个初始洋盆(Zeng *et al.*, 2018)。前人研究认为SYMZ带延伸近2 000 km,不同地区物质组成和基性岩形成的构造环境也不均一。因此,即使永珠初始洋盆存在,扩大到整个SYMZ带也很难用岩石圈伸展和裂解模式来解释晚侏罗世以来拉萨地块的构造演化。

根据上述SYMZ与班公湖—怒江缝合带分布特征、发育时限及洋盆性质的对比,将二者理解为2个平行发育且互有影响的洋盆比较合理,二者近平行分布、空间上相邻、部分地区还相互接触,共同构成了特提斯构造域多岛弧盆系。在形成时代上,班公湖—怒江洋盆很可能在晚二叠世之前就已经打开,明显早于狮泉河—永珠—嘉黎洋盆;也有研究者认为班公湖—怒江缝合带、南羌塘古生代增生楔及其中生代盆地和龙木错—双湖缝合带共同构成了青藏高原中部特提斯大洋最终消亡的巨型缝合带(王立全等,2008, 2013; Pan *et al.*, 2012),晚古生代班公湖—怒江特提斯大洋向南俯冲消减导致了冈底斯带石炭纪—二叠纪岛弧型火山岩的产生。从蛇绿混杂岩的规模和物质组成来看,班公湖—怒江缝合带明显比SYMZ规模大、延续稳定,且发育侏罗纪复理石沉积,而SYMZ绝大多数地区缺少复理石沉积,也反映了洋盆相对较小或存续时间不长。从配套的岩浆响应来看,中拉萨地块北部则弄群火山岩代表了SYMZ洋壳在早白垩世南向俯冲消减的产物。综上所述,笔者认为SYMZ是班公湖—怒江缝合带与雅

鲁藏布江缝合带之间一条独立的蛇绿构造混杂岩带,代表了班公湖—怒江特提斯大洋南向俯冲的弧后盆地,分割着北拉萨地块和中拉萨地块。

5 狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎特提斯洋构造演化

基于SYMZ和班公湖—怒江缝合带为2个平行发育且相互影响的洋盆的认识,在前人研究的基础上,结合新的地质年代学和地球化学数据,本文以重要的代表性构造事件为依托,提出狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎洋盆四阶段的构造演化模型。

5.1 晚三叠世—早侏罗世洋盆裂解—扩张

目前关于SYMZ洋盆打开时限没有精确的时代依据,凯蒙地区橄长岩 218.2 ± 4.6 Ma、狮泉河东段聂耳错辉石岩同位素年龄 222.5 ± 4.5 Ma、以及永珠地区晚三叠世玄武岩,虽然有些争议,但指示狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎洋盆的初始裂解时间很可能在晚三叠世以前。

洋盆初始裂解为伸展构造背景,而大洋中与伸展有关的岩浆记录(双峰式火山岩、A型花岗岩)多在大洋消减过程中随大洋板片俯冲到岩石圈之下,大洋两侧应当保存有大洋初始裂解时伸展背景的岩浆记录。拉萨地块早二叠世洛巴堆组、来姑组多见火山岩夹层,并且普遍具有陆内火山岩特征,进一步证明为伸展背景下的裂陷环境(耿全如等,2007)。另外在拉萨地块还分布有早—中三叠世岛弧型岩浆活动,通常被认为是古特提斯洋南向俯冲消减的产物(潘桂棠等,2006)。因此笔者认为随着北侧班公湖—怒江特提斯大洋向南进一步俯冲消减,早—中三叠世岛弧带从冈瓦纳大陆(印度陆块)北缘裂离,雅鲁藏布江弧后扩张、初始洋盆形成;至晚三叠世时期,冈底斯岛弧带中北部沿狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎一线撕裂,狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎弧间洋盆开始形成(图14a)。早侏罗世雅鲁藏布江北向俯冲消减形成了以叶巴组为代表的火山弧,而此时的SYMZ洋盆继续扩张,狮泉河地区堆晶橄榄辉石岩、拉果错斜长花岗岩正是在此时期形成(图14b)。

5.2 中—晚侏罗世洋内俯冲

根据对SYMZ的野外调查以及地质年代学和地球化学数据的分析,SYMZ见大量大洋俯冲阶段的产物,如岛弧玄武岩、安山岩等。在拉果错、永珠、凯蒙等地还识别出典型的前弧岩石组合,包括前弧

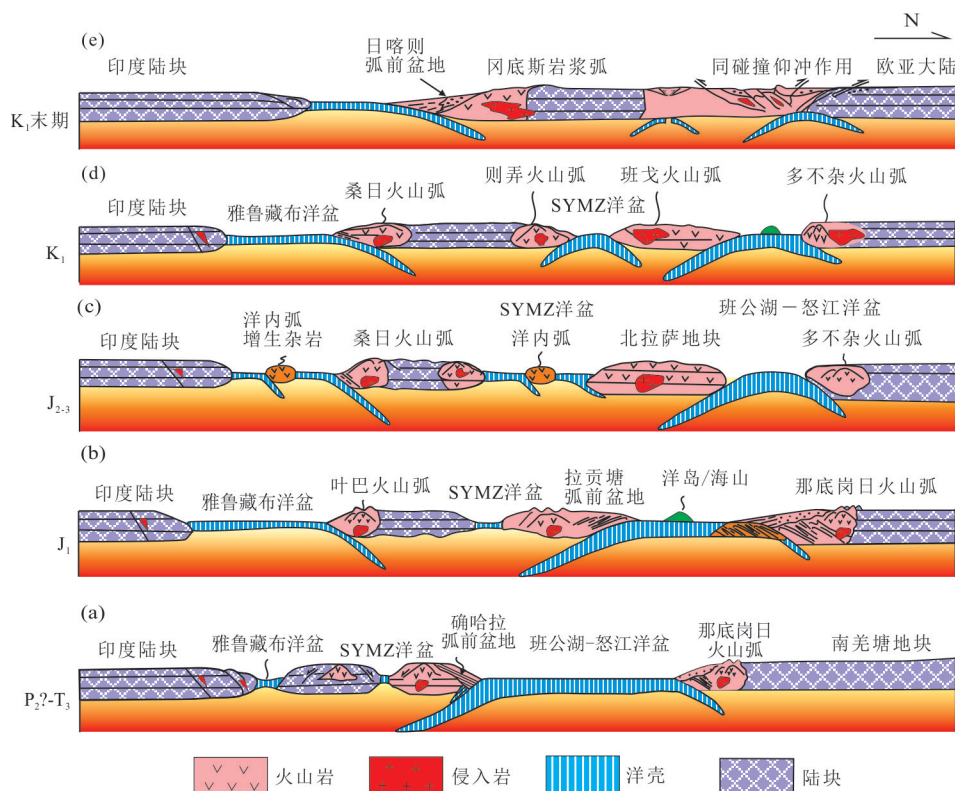


图 14 狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带(SYMZ)构造演化模式简图

Fig.14 Schematic illustration of the evolution of the Shiquanhe-Laguoco-Yongzhu-Jiali ophiolite mélange zone (SYMZ)

据 Pan *et al.* (2012) 和 Wang *et al.* (2016) 修改

辉长岩、前弧玄武岩、玻安岩等,共同构成 SYMZ 洋内初始俯冲组合序列,年代学数据主要集中在 170~160 Ma 之间(图 1b,表 1),由此可以确认中一晚侏罗世 SYMZ 洋盆发生了洋内俯冲作用(图 14c)。

中侏罗世时期,SYMZ 洋盆大洋板片发生破裂,破裂一侧板块因重力不稳定性而下沉,海沟随着板块下沉而快速后退;板片快速后退导致在俯冲带上盘中的伸展和海底扩张、深部富含二辉橄榄岩地幔的减压熔融并产生了具有 MORB-like 型成分的前弧玄武岩—辉长岩等岩石,由于俯冲板片产生的流体对熔体的影响很弱,这些岩石亏损 LREE、没有后期 LILE 强烈富集的特点,以低 Ti/V 比值、轻微富集 LILEs (特别是 Th)、亏损 HFSEs 区别于典型 N-MORB 岩石。随后,俯冲板片脱水形成的流体注入亏损地幔,使其继续熔融,导致拉果错、永珠和凯蒙等地玻安岩、玻玄岩、高镁安山岩等火山物质产生。最后俯冲的 SYMZ 特提斯洋岩石圈在下沉拖曳作用下继续发生连续的俯冲作用,在前弧地段形成成熟岛弧岩浆,以岛弧拉斑和钙碱性火山岩为特征,此时岩浆硅更饱和,更富集 LILEs 而亏损 HF-

SEs。形成以拉果错石英闪长岩(161.2 Ma)为代表的成熟大洋岛弧(Yuan *et al.*, 2015),随后岛弧火山作用进入高度发育稳定状态。

5.3 早白垩世俯冲消减

SYMZ 内部及两侧晚侏罗世中晚期—早白垩世早期的岩浆记录不甚明显,早白垩世的岩浆作用的成因一直存在较大争议。但是中拉萨地块北缘广泛分布以早白垩世则弄群火山岩为代表的岩浆岩,通常被认为由 SYMZ 洋盆南向俯冲形成(莫宣学等,2005;朱弟成等,2008;康志强等,2009;杜德道等,2011)(图 14d)。此外,在 SYMZ 中段阿索蛇绿混杂岩中也发育有 119~113 Ma 与俯冲消减有关的基性岩,说明 SYMZ 中段在 113 Ma 仍处于俯冲消减时期,残余洋盆一直存在。

5.4 早白垩世末期洋盆消亡

SYMZ 北侧班公湖—怒江特提斯洋盆的最终闭合时间存在许多争议。有学者认为洋盆闭合于早白垩世(140~130 Ma),拉萨—羌塘地块发生弧—陆软碰撞,而将之后 120~110 Ma 洋岛解释为软流圈地幔物质的不同程度减压熔融,与同期的灰岩组成类似于洋岛但不能将其作为指示洋壳存在的确定

凿证据(Zhu *et al.*, 2016). 洋盆闭合于晚白垩世, 该期竟柱山组陆相磨拉石建造被认为代表了班公湖—怒江洋的彻底消失, 此后羌塘地块与拉萨地块的碰撞才真正开始(Yin and Harrison., 2000; 潘桂棠等, 2006; Zhu *et al.*, 2009), 而许多学者认为 110 Ma 左右的洋岛代表着班—怒洋盆并未闭合(朱弟成等, 2006; Fan *et al.*, 2014a, 2014b; Wang *et al.*, 2016). 从蛇绿混杂岩的形成时代来看, 狮泉河—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩中最小的年龄为 ~113 Ma, 而班公湖—怒江缝合带中为 ~102 Ma, 也反映了 SYMZ 洋盆的闭合时间要略早于班公湖—怒江洋.

北拉萨地块晚白垩世火成岩越来越引起研究者的关注, 如安多地区晚白垩世(~80 Ma)粗面岩(白志达等, 2009; 张向飞等, 2014); 洞错地区达查沟 104 Ma 侵入岩(Wu *et al.*, 2015); 日土地区 101~84 Ma 埃达克质花岗岩(Liu *et al.*, 2014; 张向飞等, 2014; 秦雅东, 2015); 拔拉扎地区 94~88 Ma 花岗闪长斑岩(王保弟等, 2013; Chen *et al.*, 2015). 这些岩石均被认为形成于碰撞的构造环境, 也反映出 SYMZ 或班公湖—怒江洋盆在早白垩世末期就已经闭合(图 14e). 笔者认为整个中、北拉萨地块小于 110 Ma 的岩浆大规模活动, 包括申扎附近 A 型花岗岩, 正是 SYMZ 特提斯洋盆闭合后北拉萨地块和中拉萨地块碰撞过程中碰撞—后碰撞阶段伸展背景的产物(Qu *et al.*, 2012; Cheng *et al.*, 2015).

再者, 从沉积的角度来看, 拉萨地块中北部各构造单元多见早白垩世中晚期火山—沉积岩系与下伏侏罗系的角度不整合; 早白垩世碳酸盐岩与下伏地层的角度不整合在中拉萨地块见于夏康坚北东部, 表现为与中—晚侏罗世接奴群滨浅海陆源碎屑岩建造之间的角度不整合, 在带内主要见于狮泉河、纳木错等地, 均表现为与蛇绿混杂岩之间的角度不整合接触. 下白垩统与侏罗系的角度不整合在整个拉萨地块中北部及邻区的各构造单元均存在, 属于区域性角度不整合, 暗示该区在早白垩世末期发生了一次地球动力学背景大转换, 可能与 SYMZ 特提斯洋的闭合相关. 因此笔者认为 SYMZ 洋盆的闭合时间为早白垩世末期.

6 结论

(1) 狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带为与班公湖—怒江缝合带平行的一条典型的蛇

绿构造混杂岩带, 是北拉萨地块与中拉萨地块的分界线, 一系列年代学信息表明洋盆的主要发育时限为 178~160 Ma, 在阿索一带残留洋盆一直持续到 113 Ma.

(2) SYMZ 侏罗纪基性岩残片具有 MORB 型和 IAT 型火山岩的地球化学性质, 指示其形成于洋内弧型蛇绿岩和大洋中脊的构造环境; 早白垩世洋盆具 MORB 和火山弧玄武岩的双重特性, 指示其很可能形成于 SSZ 的构造环境, 不同于同时期班公湖—怒江特提斯受地幔柱热点影响的洋盆性质.

(3) 在拉果错、永珠、凯蒙地区识别出前弧玻安岩及玻玄岩系列, 表明 SYMZ 洋盆消亡过程中存在洋内俯冲, 洋内俯冲开启时间为中侏罗世.

(4) 狮泉河—拉果错—永珠—嘉黎特提斯洋经历了晚三叠世—早侏罗世洋盆裂解—扩张、中—晚侏罗世洋内俯冲、早白垩世俯冲消减和早白垩世末期洋盆消亡四个阶段构造演化过程.

致谢: 本文撰写和修改过程中, 中国地质调查局成都地质调查中心潘桂棠研究员提出了宝贵意见, 并与笔者进行了多次有益的讨论; 2 位审稿专家及编辑部提出了许多建设性的意见和建议, 在此一并致谢.

References

- Bai, Z.D., Xu, D.B., Chen, M.J., et al., 2009. Characteristics and Zircon SHRIMP U-Pb Dating of the Amduo Trachyte, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 28(9): 1229—1235 (in Chinese with English abstract).
- Bao, P.S., Xiao, X.C., Su, L., et al., 2007. Petrological, Geochemical and Chronological Constraints for the Tectonic Setting of the Dongco Ophiolite in Tibet. *Scientia Sinica Terrae*, 37(3): 298—307 (in Chinese).
- Baxter, A. T., Aitchison, J. C., Zyabrev, S. V., 2009. Radiolarian Age Constraints on Mesothethyan Ocean Evolution, and Their Implications for Development of the Bangong-Nujiang Suture, Tibet. *Journal of the Geological Society*, 166(4): 689—694. <https://doi.org/10.1144/0016-76492008-128>
- Bureau of Geology Mineral Resources of Xizang Autonomous Region, 1993. Regional Geology of Xizang (Tibet) Autonomous Region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Chen, J. L., Xu, J. F., Yu, H. X., et al., 2015. Late Cretaceous High-Mg[#] Granitoids in Southern Tibet: Implications for the Early Crustal Thickening and Tectonic Evo-

- lution of the Tibetan Plateau? *Lithos*, 232: 12—22. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.06.020>
- Cheng, H., Liu, Y. M., Vervoort, J. D., et al., 2015. Combined U-Pb, Lu-Hf, Sm-Nd and Ar-Ar Multichronometric Dating on the Bailang Eclogite Constrains the Closure Timing of the Paleo-Tethys Ocean in the Lhasa Terrane, Tibet. *Gondwana Research*, 28(4): 1482—1499. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.09.017>
- Du, D.D., Qu, X.M., Wang, G.H., et al., 2011. Bidirectional Subduction of the Middle Tethys Oceanic Basin in the West Segment of Bangonghu-Nujiang Suture, Tibet: Evidence from Zircon U-Pb LAICPMS Dating and Petrogeochemistry of Arc Granites. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 1993—2002 (in Chinese with English abstract).
- Fan, J. J., Li, C., Xie, C. M., et al., 2014a. Petrology, Geochemistry, and Geochronology of the Zhonggang Ocean Island, Northern Tibet: Implications for the Evolution of the Banggongco-Nujiang Oceanic Arm of the Neo-Tethys. *International Geology Review*, 56(12): 1504—1520. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.947639>
- Fan, J. J., Li, C., Xu, J. X., et al., 2014b. Petrology, Geochemistry, and Geological Significance of the Nadong Ocean Island, Banggongco - Nujiang Suture, Tibetan Plateau. *International Geology Review*, 56(8): 915—928. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.900651>
- Fan, S.Q., Shi, R.D., Ding, L., et al., 2010. Geochemical Characteristics and Zircon U-Pb Age of the Plagiogranite in Gaize Ophiolite of Central Tibet and Their Tectonic Significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(5): 467—478 (in Chinese with English abstract).
- Geng, Q.R., Peng, Z.M., Zhang, Z., et al., 2012. Tethyan Evolution and Geological Background of the Bangong Co-Nujiang Metallogenetic Zone and Adjacent Region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Geng, Q.R., Wang, L.Q., Pan, G.T., et al., 2007. Carboniferous Marginal Rifting in Gangdese: Volcanic Rocks and Stratigraphic Constraints, Xizang (Tibet), China. *Acta Geologica Sinica*, 81(9): 1259—1276 (in Chinese with English abstract).
- Girardeau, J., Marcoux, J., Allègre, C. J., et al., 1984. Tectonic Environment and Geodynamic Significance of the Neo-Cimmerian Donqiao Ophiolite, Bangong-Nujiang Suture Zone, Tibet. *Nature*, 307(5946): 27—31. <https://doi.org/10.1038/307027a0>
- He, Z.H., Yang, D.M., Wang, T.W., 2006. Age, Geochemistry and Its Tectonic Significance of Kaimeng Ophiolites in Jiali Fault Belt, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 653—660 (in Chinese with English abstract).
- Kang, Z.Q., Xu, J.F., Wang, B.D., et al., 2009. Geochemistry of Cretaceous Volcanic Rocks of Duoni Formation in Northern Lhasa Block: Discussion of Tectonic Setting. *Earth Science*, 34(1): 89—104 (in Chinese with English abstract).
- Kapp, P., Murphy, M. A., Yin, A., et al., 2003. Mesozoic and Cenozoic Tectonic Evolution of the Shiquanhe Area of Western Tibet. *Tectonics*, 22(4): 1029. <https://doi.org/10.1029/2001tc001332>
- Li, G.M., Zhang, L.K., Wu, J.Y., et al., 2020. Reestablishment and Scientific Significance of the Ocean Plate Geology in the Southern Tibet Plateau, China. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40(1): 1—14 (in Chinese with English abstract).
- Liu, W. L., Xia, B., Zhong, Y., et al., 2014. Age and Composition of the Rebang Co and Julu Ophiolites, Central Tibet: Implications for the Evolution of the Bangong Meso-Tethys. *International Geology Review*, 56(4): 430—447. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.873356>
- Matte, P., Tapponnier, P., Arnaud, N., et al., 1996. Tectonics of Western Tibet, between the Tarim and the Indus. *Earth and Planetary Science Letters*, 142(3—4): 311—330. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(96\)00086-6](https://doi.org/10.1016/0012-821x(96)00086-6)
- Meschede, M., 1986. A Method of Discriminating between Different Types of Mid-Ocean Ridge Basalts and Continental Tholeiites with the Nb-Zr-Y Diagram. *Chemical Geology*, 56(3—4): 207—218. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(86\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0009-2541(86)90004-5)
- Mo, X.X., Dong, G.C., Zhao, Z.D., et al., 2005. Spatial and Temporal Distribution and Characteristics of Granitoids in the Gangdese, Tibet and Implication for Crustal Growth and Evolution. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 281—290 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G.T., Chen, Z.L., Li, X.Z., et al., 1996. Models for the Evolution of the Polyarc-Basin Systems in Eastern Tethys. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 16(2): 52—65 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G. T., Mo, X. X., Hou, Z. Q., et al., 2006. Spatial-Temporal Framework of the Gangdese Orogenic Belt and Its Evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521—533 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G. T., Wang, L. Q., Li, R. S., et al., 2012. Tectonic

- Evolution of the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53: 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.jseaeas.2011.12.018>
- Pan, G.T., Wang, L.Q., Li, R.S., et al., 2012. Tectonic Model of Archipelagic Arc-Basin Systems: The Key to the Continental Geology. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 32(3): 1–20 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G.T., Wang, L.Q., Yin, F.G., et al., 2004. Charm of Landing of Plate Tectonics on the Continent as Viewed from the Study of the Archipelagic Arc-Basin System. *Geological Bulletin of China*, 23(9): 933–939 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G.T., Wang, L.Q., Zhang, W.P., et al., 2013. The Tectonic Map and Instruction of the Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Areas (1:1 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Pan, G.T., Xiao, Q.H., Zhang, K.X., et al., 2019. Recognition of the Oceanic Subduction-Accretion Zones from the Orogenic Belt in Continents and Its Important Scientific Significance. *Earth Science*, 44(5): 1544–1561 (in Chinese with English abstract).
- Pearce, J. A., 2008. Geochemical Fingerprinting of Oceanic Basalts with Applications to Ophiolite Classification and the Search for Archean Oceanic Crust. *Lithos*, 100(1–4): 14–48. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.016>
- Pearce, J. A., Deng, W., 1988. The Ophiolites of the Tibetan Geotraverses, Lhasa to Golmud (1985) and Lhasa to Kathmandu (1986). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 327(1594): 215–238. <https://doi.org/10.1098/rsta.1988.0127>
- Pearce, J. A., Peate, D. W., 1995. Tectonic Implications of the Composition of Volcanic ARC Magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23(1): 251–285. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.23.050195.001343>
- Qin, Y.D., Li, D.W., Lin, S.L., et al., 2015. Conversion of Tectonic Regimes from Compression to Extension in the Bangong Lake Area, Xizang during the Late Cretaceous: Evidence from Magmatic Rocks. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 35(4): 92–105 (in Chinese with English abstract).
- Qu, X.M., Wang, R.J., Xin, H.B., et al., 2009. Geochronology and Geochemistry of Igneous Rocks Related to the Subduction of the Tethys Oceanic Plate along the Bangong Lake Arc Zone, the Western Tibetan Plateau. *Geochimica*, 38(6): 523–535 (in Chinese with English abstract).
- Qu, X. M., Wang, R. J., Xin, H. B., et al., 2012. Age and Petrogenesis of A-Type Granites in the Middle Segment of the Bangonghu-Nujiang Suture, Tibetan Plateau. *Lithos*, 146–147: 264–275. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.05.006>
- Qu, X.M., Xin, H.B., Zhao, Y.Y., et al., 2010. Opening Time of Bangong Lake Middle Tethys Oceanic Basin of the Tibet Plateau: Constraints from Petro-geochemistry and Zircon U-Pb LAICPMS Dating of Mafic Ophiolites. *Earth Science Frontiers*, 17(3): 53–63 (in Chinese with English abstract).
- Reagan, M. K., Ishizuka, O., Stern, R. J., et al., 2010. Fore-arc Basalts and Subduction Initiation in the Izu-Bonin-Mariana System. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3): Q03X12. <https://doi.org/10.1029/2009gc002871>
- Shervais, J. W., 1982. Ti-V Plots and the Petrogenesis of Modern and Ophiolitic Lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 59(1): 101–118. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(82\)90120-0](https://doi.org/10.1016/0012-821x(82)90120-0)
- Shi, R.D., Yang, J.S., Xu, Z.Q., et al., 2004. Discovery of the Boninite Series Volcanic Rocks in the Bangong Lake Ophiolite Mélange, Western Tibet, and Its Tectonic Implications. *Chinese Science Bulletin*, 49(12): 1179–1184 (in Chinese).
- Smithies, R., 2002. Archean Boninite-Like Rocks in an Intracratonic Setting. *Earth and Planetary Science Letters*, 197(1–2): 19–34. [https://doi.org/10.1016/s0012-821x\(02\)00464-8](https://doi.org/10.1016/s0012-821x(02)00464-8)
- Sobolev, A. V., Danyushevsky, L. V., 1994. Petrology and Geochemistry of Boninites from the North Termination of the Tonga Trench: Constraints on the Generation Conditions of Primary High-Ca Boninite Magmas. *Journal of Petrology*, 35(5): 1183–1211. <https://doi.org/10.1093/petrology/35.5.1183>
- Sun, G. Y., Hu, X. M., Sinclair, H. D., et al., 2015. Late Cretaceous Evolution of the Coqen Basin (Lhasa Terrane) and Implications for Early Topographic Growth on the Tibetan Plateau. *Geological Society of America Bulletin*, 127: B31137.1. <https://doi.org/10.1130/b31137.1>
- Sun, S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1): 313–345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Tang, F.L., Huang, J.C., Luo, X.C., et al., 2004. The Discovery and Significance of the Asuo Structural Melanges

- in North Tibet. *Journal of East China Institute of Technology*, 27(3): 245–250 (in Chinese with English abstract).
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Chung, S. L., et al., 2016. Evolution of the Bangong–Nujiang Tethyan Ocean: Insights from the Geochronology and Geochemistry of Mafic Rocks within Ophiolites. *Lithos*, 245: 18–33. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.07.016>
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Pan, G. T., et al., 2013. U–Pb Zircon Dating of Early Paleozoic Gabbro from the Nantinghe Ophiolite in the Changning–Menglian Suture Zone and Its Geological Implication. *Chinese Science Bulletin*, 58(8): 920–930. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5481-8>
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Wang, D. B., et al., 2018. Tectonic Evolution of the Changning–Menglian Proto–Paleo Tethys Ocean in the Sanjiang Area, Southwestern China. *Earth Science*, 43(8): 2527–2550 (in Chinese with English abstract).
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Xu, J. F., et al., 2015. The Discovery of High–Pressure Granulite at Shelama in Dongco Area along the Bangong Co–Nujiang River Suture Zone and Its Tectonic Significance. *Geological Bulletin of China*, 34(9): 1605–1616 (in Chinese with English abstract).
- Wang, B. D., Xu, J. F., Liu, B. M., et al., 2013. Geochronology and Ore–Forming Geological Background of ~90 Ma Porphyry Copper Deposit in the Lhasa Terrane, Tibet Plateau. *Acta Geologica Sinica*, 87(1): 71–80 (in Chinese with English abstract).
- Wang, B. D., Xu, J. F., Zeng, Q. G., et al., 2007. Geochemistry and Genesis of Lhaguo Tso Ophiolite in South of Gerze Area, Center Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1521–1530 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. B., Luo, L., Tang, Y., et al., 2016. Zircon U–Pb Dating and Petrogenesis of Early Paleozoic Adakites from the Niujingshan Ophiolitic Mélange in the Changning–Menglian Suture Zone and Its Geological Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 32(8): 2317–2329 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. Q., Pan, G. T., Ding, J., et al., 2013. The Geological Map and Instruction of the Qinghai–Tibet Plateau and Its Adjacent Areas (1:1 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, L. Q., Pan, G. T., Li, C., et al., 2008. SHRIMP U–Pb Zircon Dating of Eopaleozoic Cumulate in Guoganjianian Mt. from Central Qiangtang Area of Northern Tibet—Considering the Evolvement of Proto– and Paleo–Tethys. *Geological Bulletin of China*, 27(12): 2045–2056 (in Chinese with English abstract).
- Wang, W. L., Aitchison, J. C., Lo, C. H., et al., 2008. Geochemistry and Geochronology of the Amphibolite Blocks in Ophiolitic Mélanges along Bangong–Nujiang Suture, Central Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33(1–2): 122–138. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2007.10.022>
- Wang, Y. J., Wang, J. P., Liu, Y. M., et al., 2002a. Characteristics and Age of the Dengqen Ophiolite in Xizang (Tibet) and Their Geological Significance. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 19(4): 417–420 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. J., Wang, J. P., Pei, F., 2002b. A Late Triassic Radiolarian Fauna in the Dingqing Ophiolite Belt, Xizang (Tibet). *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 19(4): 323–336 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. S., Qu, Y. G., Wang, Z. H., et al., 2005. Discovery of the Yunzhug Sheeted Dike Swarm in Northern Tibet, China—Evidence for Seafloor Spreading. *Geological Bulletin of China*, 24(12): 1150–1156 (in Chinese with English abstract).
- Winchester, J. A., Floyd, P. A., 1977. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Products Using Immobile Elements. *Chemical Geology*, 20: 325–343. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2)
- Wolde, B., Team G. G., 1996. Tonalite–Trondhjemite–Granite Genesis by Partial Melting of Newly Underplated Basaltic Crust: An Example from the Neoproterozoic Birbir Magmatic Arc, Western Ethiopia. *Precambrian Research*, 76(1–2): 3–14. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(95\)00016-x](https://doi.org/10.1016/0301-9268(95)00016-x)
- Wood, D. A., 1980. The Application of a Th–Hf–Ta Diagram to Problems of Tectonomagmatic Classification and to Establishing the Nature of Crustal Contamination of Basaltic Lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50(1): 11–30. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(80\)90116-8](https://doi.org/10.1016/0012-821x(80)90116-8)
- Wu, H., Li, C., Xu, M. J., et al., 2015. Early Cretaceous Adakitic Magmatism in the Dachagou Area, Northern Lhasa Terrane, Tibet: Implications for Slab Roll–Back and Subsequent Slab Break–off of the Lithosphere of the Bangong–Nujiang Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.10.014>
- Wu, Z., Wang, B. D., Wang, D. B., et al., 2020. Zircon U–Pb Dating of Early Paleozoic Adakites from the Nanting–

- he Ophiolitic Mélange in the Changning-Menglian Suture Zone and Its Geological Implications. *Earth Science*, 45(8): 3003–3013 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Z.H., Ye, P.S., Yang, Y., 2013. The Ngari Thrust System and Tectonic Emplacement of Ophiolites in Western Tibet. *Geology in China*, 40(1): 182–190 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, X.C., Li, T.D., 2000. Tectonic Evolution and Uplift Mechanism of the Qinghai-Tibet Plateau. Science and Technology Press of Guangdong, Guangzhou (in Chinese).
- Xu, M.J., 2014. The Evolution of Shiquanhe-Yongzhu-Jiali Ophiolitic Mélange Belt, Tibetan Plateau (Dissertation). Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Xu, M.J., Lan, R., Wang, P., et al., 2019. Zircon U-Pb Dating of Gabbro from Zhongcang Ophiolitic Mélange in Tibet and Its Geological Implications. *Journal of Tianjin Chengjian University*, 25(2): 128–132 (in Chinese with English abstract).
- Yang, R.H., Li, C., Chi, X.G., et al., 2003. The Primary Study of Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Ophiolite in Yongzhu-Namuhu, Tibet. *Geoscience*, 17(1): 14–19 (in Chinese with English abstract).
- Ye, P.S., Wu, Z.H., Hu, D.G., et al., 2004. Geochemistry and Tectonic Setting of Ophiolites in West of Namco Lake, Tibet. *Geoscience*, 18(2): 237–243 (in Chinese with English abstract).
- Ye, P.S., Wu, Z.H., Hu, D.G., et al., 2005. Geochemical Characteristics of Ophiolites in Yongzhu-Guomangcuo, Tibet and Its Tectonic Significance. *Geoscience*, 19(4): 508–514 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Harrison, T. M., 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 211–280. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.28.1.211>
- Yuan, Y. J., Yin, Z. X., Liu, W. L., et al., 2015. Tectonic Evolution of the Meso-Tethys in the Western Segment of Bangonghu-Nujiang Suture Zone: Insights from Geochemistry and Geochronology of the Lagkor Tso Ophiolite. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 89(2): 369–388. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12436>
- Zeng, Y. C., 2017. Late Triassic-Late Jurassic Magmatic-Tectonic Evolution of the Lhasa Terrane (Dissertation). Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Y. C., Xu, J. F., Chen, J. L., et al., 2018. Geochronological and Geochemical Constraints on the Origin of the Yunzhug Ophiolite in the Shiquanhe-Yunzhug-Namu Tso Ophiolite Belt, Lhasa Terrane, Tibetan Plateau. *Lithos*, 300–301: 250–260. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.11.025>
- Zhang, K. J., Tang, X. C., Wang, Y., et al., 2011. Geochronology, Geochemistry, and Nd Isotopes of Early Mesozoic Bimodal Volcanism in Northern Tibet, Western China: Constraints on the Exhumation of the Central Qiangtang Metamorphic Belt. *Lithos*, 121(1–4): 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.10.015>
- Zhang, K. J., Xia, B., Zhang, Y. X., et al., 2014. Central Tibetan Meso-Tethyan Oceanic Plateau. *Lithos*, 210–211: 278–288. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.09.004>
- Zhang, K. Z., Chen, Y. L., 2007. Plagiogranite in the Gongchang Ophiolites in Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 27(1): 32–37 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., 1990. Classification of Ophiolites. *Scientia Geologica Sinica*, 25(1): 54–61 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. F., Li, Y. G., Cao, X. M., et al., 2014. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age and Geochemical Characteristics of the Acid Intrusive Rocks in the Western Part of Bangong Lake-Nujiang River Suture Zone. *Geological Bulletin of China*, 33(7): 984–994 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. X., Zhang, K. J., Li, B., et al., 2007. Zircon SHRIMP U-Pb Geochronology and Petrogenesis of the Plagiogranites from the Lagkor Lake Ophiolite, Gerze, Tibet, China. *Chinese Science Bulletin*, 52(1): 100–106 (in Chinese).
- Zhang, Y. Y., 1999. The Evolutionary Succession of Cretaceous Angiosperm Pollen in China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 38(4): 435–457 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. Y., Xu, R. K., Ma, G. T., et al., 2006. Ages of Generation and Subduction of Shiquan River Ophiolite: Restriction from SHRIMP Zircon Dating. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 895–904 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, Y., Xia, B., Liu, W. L., et al., 2015. Geochronology, Petrogenesis and Tectonic Implications of the Jurassic Namco-Rencho Ophiolites, Tibet. *International Geology Review*, 57(4): 508–528. <https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1017776>

- Zhu, D. C., Li, S. M., Cawood, P. A., et al., 2016. Assembly of the Lhasa and Qiangtang Terranes in Central Tibet by Divergent Double Subduction. *Lithos*, 245: 7—17. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.06.023>
- Zhu, D. C., Mo, X. X., Niu, Y. L., et al., 2009. Geochemical Investigation of Early Cretaceous Igneous Rocks along an East-West Traverse throughout the Central Lhasa Terrane, Tibet. *Chemical Geology*, 268(3—4): 298—312. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.09.008>
- Zhu, D. C., Mo, X. X., Zhao, Z. D., et al., 2008. Zircon U-Pb Geochronology of Zenong Group Volcanic Rocks in Coqen Area of the Gangdese, Tibet and Tectonic Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 401—412 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Pan, G. T., Mo, X. X., et al., 2006. Identification for the Mesozoic OIB-Type Basalts in Central Qinghai-Tibetan Plateau: Geochronology, Geochemistry and Their Tectonic Setting. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1312—1328 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Niu, Y. L., et al., 2011. The Lhasa Terrane: Record of a Microcontinent and Its Histories of Drift and Growth. *Earth and Planetary Science Letters*, 301(1—2): 241—255. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.11.005>
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Niu, Y. L., et al., 2013. The Origin and Pre-Cenozoic Evolution of the Tibetan Plateau. *Gondwana Research*, 23(4): 1429—1454. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.02.002>
- ### 附中文参考文献
- 白志达, 徐德斌, 陈梦军, 等, 2009. 西藏安多地区粗面岩的特征及其锆石 SHRIMP U-Pb 定年. *地质通报*, 28(9): 1229—1235.
- 鲍佩声, 肖序常, 苏犁, 等, 2007. 西藏洞错蛇绿岩的构造环境: 岩石学、地球化学和年代学制约. *中国科学: 地球科学*, 37(3): 298—307.
- 杜德道, 曲晓明, 王根厚, 等, 2011. 西藏班公湖—怒江缝合带西段中特提斯洋盆的双向俯冲: 来自岛弧型花岗岩锆石 U-Pb 年龄和元素地球化学的证据. *岩石学报*, 27(7): 1993—2002.
- 樊帅权, 史仁灯, 丁林, 等, 2010. 西藏改则蛇绿岩中斜长花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及构造意义. *岩石矿物学杂志*, 29(5): 467—478.
- 耿全如, 彭智敏, 张璋, 等, 2012. 班公湖—怒江成矿带及邻区特提斯演化与成矿地质背景. 北京: 地质出版社.
- 耿全如, 王立全, 潘桂棠, 等, 2007. 西藏冈底斯带石炭纪陆缘裂陷作用: 火山岩和地层学证据. *地质学报*, 81(9): 1259—1276.
- 和钟铎, 杨德明, 王天武, 等, 2006. 西藏嘉黎断裂带凯蒙蛇绿岩的年代学、地球化学特征及大地构造意义. *岩石学报*, 22(3): 653—660.
- 康志强, 许继峰, 王保弟, 等, 2009. 拉萨地块北部白垩纪多尼组火山岩的地球化学: 形成的构造环境. *地球科学*, 34(1): 89—104.
- 李光明, 张林奎, 吴建阳, 等, 2020. 青藏高原南部洋板块地质重建及科学意义. *沉积与特提斯地质*, 40(1): 1—14.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等, 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息. *高校地质学报*, 11(3): 281—290.
- 潘桂棠, 陈智樑, 李兴振, 等, 1996. 东特提斯多弧—盆系统演化模式. *岩相古地理*, 16(2): 52—65.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等, 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化. *岩石学报*, 22(3): 521—533.
- 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 等, 2012. 多岛弧盆系构造模式: 认识大陆地质的关键. *沉积与特提斯地质*, 32(3): 1—20.
- 潘桂棠, 王立全, 尹福光, 等, 2004. 从多岛弧盆系研究实践看板块构造登陆的魅力. *地质通报*, 23(9): 933—939.
- 潘桂棠, 王立全, 张万平, 等, 2013. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书(1:1 500 000). 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 张克信, 等, 2019. 大陆中洋壳俯冲增生杂岩带特征与识别的重大科学意义. *地球科学*, 44(5): 1544—1561.
- 秦雅东, 李德威, 林仕良, 等, 2015. 西藏班公湖地区晚白垩世构造体制由挤压向伸展的转换: 来自岩浆岩的证据. *沉积与特提斯地质*, 35(4): 92—105.
- 曲晓明, 王瑞江, 辛洪波, 等, 2009. 西藏西部与班公湖特提斯洋盆俯冲相关的火成岩年代学和地球化学. *地球化学*, 38(6): 523—535.
- 曲晓明, 辛洪波, 赵元艺, 等, 2010. 西藏班公湖中特提斯洋盆的打开时间: 镁铁质蛇绿岩地球化学与锆石 U-Pb LAICPMS 定年结果. *地学前缘*, 17(3): 53—63.
- 史仁灯, 杨经绥, 许志琴, 等, 2004. 西藏班公湖蛇绿混杂岩中玻安岩系火山岩的发现及构造意义. *科学通报*, 49(12): 1179—1184.
- 唐峰林, 黄建村, 罗小川, 等, 2004. 藏北阿索构造混杂岩的发现及其地质意义. *东华理工学院学报*, 27(3): 245—250.
- 王保弟, 王立全, 王冬兵, 等, 2018. 三江昌宁—孟连带原—古特提斯构造演化. *地球科学*, 43(8): 2527—2550.
- 王保弟, 王立全, 许继峰, 等, 2015. 班公湖—怒江结合带洞错地区舍拉玛高压麻粒岩的发现及其地质意义. *地质通报*, 34(9): 1605—1616.
- 王保弟, 许继峰, 刘保民, 等, 2013. 拉萨地块北部~90 Ma 斑岩型矿床年代学及成矿地质背景. *地质学报*, 87(1):

- 71—80.
- 王保弟, 许继峰, 曾庆高, 等, 2007. 西藏改则地区拉果错蛇绿岩地球化学特征及成因. 岩石学报, 23(6): 1521—1530.
- 王冬兵, 罗亮, 唐渊, 等, 2016. 昌宁—孟连结合带牛井山早古生代埃达克岩锆石 U-Pb 年龄、岩石成因及其地质意义. 岩石学报, 32(8): 2317—2329.
- 王立全, 潘桂棠, 丁俊, 等, 2013. 青藏高原及邻区地质图及说明书(1:1 500 000). 北京:地质出版社.
- 王立全, 潘桂棠, 李才, 等, 2008. 藏北羌塘中部果干加年山早古生代堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 兼论原—古特提斯洋的演化. 地质通报, 27(12): 2045—2056.
- 王玉净, 王建平, 刘彦明, 等, 2002a. 西藏丁青蛇绿岩特征、时代及其地质意义. 微体古生物学报, 19(4): 417—420.
- 王玉净, 王建平, 裴放, 2002b. 西藏丁青蛇绿岩带中一个晚三叠世放射虫动物群. 微体古生物学报, 19(4): 323—336.
- 王永胜, 曲永贵, 王忠恒, 等, 2005. 藏北永珠席状岩墙群的发现: 海底扩张的证据. 地质通报, 24(12): 1150—1156.
- 吴喆, 王保弟, 王冬兵, 等, 2020. 昌宁—孟连缝合带南汀河早古生代埃达克岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地球科学, 45(8): 3003—3013.
- 吴珍汉, 叶培盛, 杨艳, 2013. 西藏阿里推覆构造与蛇绿岩构造侵位. 中国地质, 40(1): 182—190.
- 西藏地质矿产局, 1993. 西藏自治区区域地质志. 北京:地质出版社.
- 肖序常, 李廷栋, 2000. 青藏高原的构造演化与隆升机制. 广州: 广东科技出版社.
- 徐梦婧, 2014. 青藏高原狮泉河—永珠—嘉黎蛇绿混杂岩带的构造演化(博士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 徐梦婧, 兰锐, 王沛, 等, 2019. 西藏中仓蛇绿混杂岩中辉长岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 天津城建大学学报, 25(2): 128—132.
- 杨日红, 李才, 迟效国, 等, 2003. 西藏永珠—纳木湖蛇绿岩地球化学特征及其构造环境初探. 现代地质, 17(1): 14—19.
- 叶培盛, 吴珍汉, 胡道功, 等, 2004. 西藏纳木错西岸蛇绿岩的地球化学特征及其形成环境. 现代地质, 18(2): 237—243.
- 叶培盛, 吴珍汉, 胡道功, 等, 2005. 西藏永珠—果芒错蛇绿岩的地球化学特征及其构造意义. 现代地质, 19(4): 508—514.
- 曾云川, 2017. 拉萨地块晚三叠纪—晚侏罗纪岩浆—构造演化(博士学位论文). 广州: 中国科学院广州地球化学研究所.
- 张宽忠, 陈玉禄, 2007. 古昌蛇绿岩中的斜长花岗岩特征. 沉积与特提斯地质, 27(1): 32—37.
- 张旗, 1990. 蛇绿岩的分类. 地质科学, 25(1): 54—61.
- 张一勇, 1999. 中国白垩纪被子植物花粉的宏演化. 古生物学报, 38(4): 435—457.
- 张玉修, 张开均, 黎兵, 等, 2007. 西藏改则南拉果错蛇绿岩中斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其成因研究. 科学通报, 52(1): 100—106.
- 张向飞, 李佑国, 曹晓民, 等, 2014. 班公湖—怒江缝合带西段酸性侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征. 地质通报, 33(7): 984—994.
- 郑有业, 许荣科, 马国桃, 等, 2006. 锆石 SHRIMP 测年对狮泉河蛇绿岩形成和俯冲的时间约束. 岩石学报, 22(4): 895—904.
- 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等, 2008. 西藏冈底斯带措勤地区则弄群火山岩锆石 U-Pb 年代学格架及构造意义. 岩石学报, 24(3): 401—412.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等, 2006. 青藏高原中部中生代 OIB 型玄武岩的识别: 年代学、地球化学及其构造环境. 地质学报, 80(9): 1312—1328.