

doi: 10.12029/gc20200404

张鑫全,张振利,王金贵,王硕,杨鑫朋,专少鹏,侯德华,张泽国,张立国,程洲. 2020. 对雅鲁藏布江结合带形成演化的再探讨[J]. 中国地质, 47(4): 944-970.

Zhang Xinquan, Zhang Zhenli, Wang Jingui, Wang Shuo, Yang Xinpeng, Zhuan Shaopeng, Hou Dehua, Zhang Zeguo, Zhang Ligu, Cheng Zhou. 2020. Further discussion on the formation and evolution of the Yarlung Zangbo suture zone, Tibet[J]. Geology in China, 47(4): 944-970(in Chinese with English abstract).

对雅鲁藏布江结合带形成演化的再探讨

张鑫全¹,张振利²,王金贵¹,王硕¹,杨鑫朋¹,专少鹏¹,侯德华¹,
张泽国³,张立国¹,程洲¹

(1. 河北省区域地质调查院, 河北 廊坊 065000; 2. 河北地质大学, 河北 石家庄 050031;
3. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队, 青海 格尔木 816000)

摘要: 通过 1:5 万区域地质调查和收集相关资料的综合研究, 本文对雅鲁藏布江结合带的形成演化作了进一步的探讨。雅鲁藏布江特提斯洋具有弧后扩张洋盆的性质, 在早三叠世至中三叠世中期洋盆初步形成, 中三叠世晚期至晚三叠世洋盆全面形成, 从早侏罗世至晚白垩世洋盆逐步萎缩, 到古新世至始新世关闭。南带的蛇绿岩主要为洋中脊扩张型(MORB 型), 形成于中三叠世晚期至晚三叠世。北带的蛇绿岩主要为与洋内俯冲相关的俯冲带上盘型(SSZ 型), 形成于早中侏罗世。带内侏罗纪至白垩纪其他岩浆岩主要为前弧玄武岩类(FAB 型)。显示雅鲁藏布江特提斯洋从早侏罗世开始发生了洋内俯冲, 并同步向北向冈底斯带之下主动俯冲消减和向南向喜马拉雅地块之下被动俯冲消减, 持续发展到晚白垩世, 在古新世至始新世俯冲碰撞消亡转化为结合带。

关键词: 雅鲁藏布江结合带; 弧后扩张洋盆; 蛇绿岩类; 洋中脊扩张型(MORB 型); 俯冲带上盘型(SSZ 型); 前弧玄武岩类(FAB 型); 地质调查工程; 西藏

中图分类号: P595 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2020)04-0944-27

Further discussion on the formation and evolution of the Yarlung Zangbo suture zone, Tibet

ZHANG Xinquan¹, ZHANG Zhenli², WANG Jingui¹, WANG Shuo¹, YANG Xinpeng¹,
ZHUAN Shaopeng¹, HOU Dehua¹, ZHANG Zeguo³, ZHANG Ligu¹, CHENG Zhou¹

(1. Hebei Regional Geological Survey Institute, Langfang 065000, Hebei, China; 2. Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 3. No. 5 Geological Party, Tibet Bureau of Geology and Mining Exploration and Development, Golmud 816000, Qinghai, China)

Abstract: Based on a comprehensive study of 1:50000 regional geological survey and relevant data collection, this paper further discusses the formation and evolution of the Yarlung Zangbo suture zone. The Tethys Ocean in the Yarlung Zangbo had the nature of the back-arc expanded ocean basin. From Early Triassic to mid Middle Triassic period, the oceanic basin was formed preliminarily,

收稿日期: 2018-05-24; 改回日期: 2018-08-13

基金项目: 中国地质调查局项目“西藏自治区桑耶地区 1:5 万区域地质调查(DD20160015-09)”资助。

作者简介: 张鑫全, 女, 1988 年生, 工程师, 长期从事区域地质矿产调查与研究; E-mail: qsdks@163.com。

通讯作者: 王金贵, 男, 1986 年生, 硕士, 工程师, 研究方向为大地构造与构造动力学; E-mail: airstarry@163.com。

completely formed in late Middle Triassic to Late Triassic period, then gradually shrank from Early Jurassic to Late Cretaceous period, and was finally closed in Paleocene–Eocene period. The ophiolite in the southern belt was mainly of the mid oceanic ridge dilatation type (type MORB) formed in late Middle Triassic to Late Triassic period. The ophiolites in the northern belt seem mainly to have been the upper plate of the subduction zone (type SSZ) related to intra–oceanic subduction, formed in the early Middle Jurassic period. The other Jurassic–Cretaceous magmatic rocks in the belt were mainly fore–arc basalt rocks (type FAB). It is shown that the Tethys Ocean in the Yarlung Zangbo began its intra–oceanic subduction in the Early Jurassic, and synchronously subducted actively northward under the Gangdise belt, subducted passively southward under the Himalaya landmass, and then continued to develop until the Late Cretaceous. The Palaeocene–Eocene subduction and collision and extinction were transformed into a binding zone.

Key words: Yarlung Zangbo River suture zone; back–arc expanded ocean basin; ophiolite rocks; Mid Oceanic Ridge dilatation type (type MORB); upper plate of the subduction zone (type SSZ); fore–arc basalts rocks (type FAB); geological survey engineering; Tibet

About the first author: ZHANG Xinquan, female, born in 1988, engineer, engages in the study of regional geological and mineral resource survey; E–mail:qdsdksc@163.com.

About the Corresponding author:WANG Jingui, male, born in 1986, master, engineer, research direction of geotectonics and tectonic dynamics;E–mail:airstarry@163.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey(No. DD20160015–09).

1 引言

雅鲁藏布江结合带位于著称“世界屋脊、第三极”的青藏高原南部及西南部,在中国境内长达2000 km以上,宽2~110 km,主体沿雅鲁藏布江,少量沿噶尔藏布江(狮泉河)分布,由西向东呈北西向至近东西向不规则带状展布(图1)。西连克什米尔的印度河结合带,东接印度与缅甸之间的那加山结

合带,统称印度河—雅鲁藏布江结合带,简称雅鲁藏布江结合带(潘桂棠等,2013)。该结合带规模大,保存完整,是冈瓦纳大陆北缘裂解而成的冈底斯—察隅地块、雅鲁藏布江特提斯洋盆与喜马拉雅地块之间汇聚俯冲碰撞事件的直接产物,其形成演化是地质历史时期最重要的全球性构造事件之一。通过1:5万区域地质调查和收集相关资料、结合相关构造单元的综合研究,本文对雅鲁藏布江结合带的

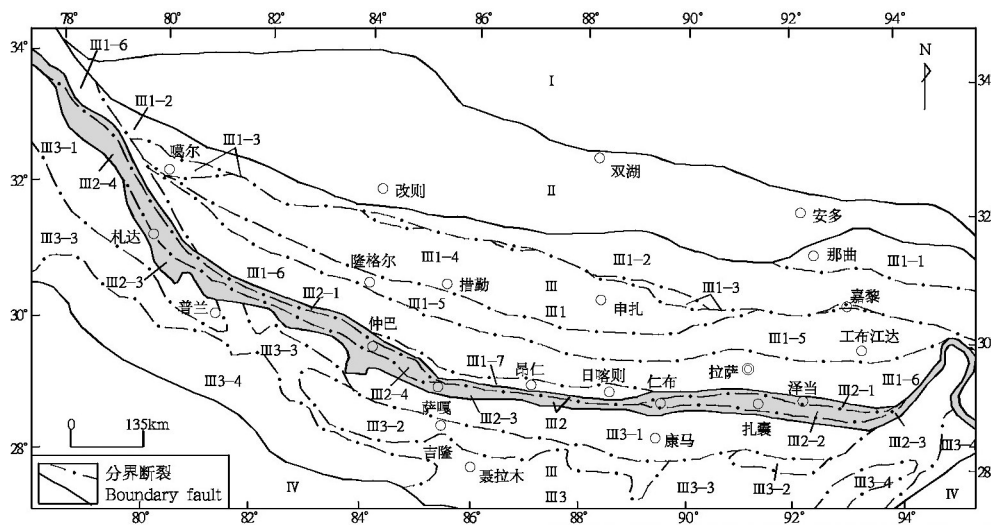


图1 雅鲁藏布江结合带分布位置及相关构造单元划分图(据潘桂棠等,2013 修改)
构造单元名称及代号见表1

Fig.1 The distribution of the Yarlung Zangbo River suture zone and the division of relevant tectonic units (modified from Pan Guitang et al., 2013)

The name and code of the tectonic unit are shown in Table 1

形成演化作了进一步的探讨。

表1 主要构造单元划分
Table 1 Division of main tectonic units

一级	二级	三级
羌塘—三江构造区(造山系) I	略	
班公湖—怒江对接带 II	略	
冈底斯—喜马拉雅构造区(造山系) III	冈底斯—察隅 I-3	那曲—洛隆弧前盆地 III 1-1
		昂龙岗日—腾冲岩浆弧带 III 1-2
	地块(弧盆系) III 1	狮泉河—嘉黎蛇绿混杂岩带 III
		措勤—申扎岩浆弧带 III 1-4
	隆格尔—工布江达复合岛弧带 III 1-5	冈底斯—下察隅岩浆弧带 III 1-6
		日喀则弧前盆地 III 1-7
	雅鲁藏布江结合带 III 2	北带 III 2-1
		仁布—曲松褶皱带(朗杰学增生楔) III 2-2
	喜马拉雅地块 III 3	南带 III 2-3
		仲巴微地块 III 2-4
拉轨岗日被动陆缘盆地 III 3-1		
北喜马拉雅碳酸盐岩台地 III 3-2		
印度地区 IV	高喜马拉雅基底杂岩带 III 3-3	
	低喜马拉雅被动陆缘盆地 III 3-4	

与雅鲁藏布江结合带相邻和紧密相关的主要构造单元划分见图1和表1。

2 相关构造单元主要特征

相邻相关的地质构造单元,在形成与演化上具有紧密相关性和内在的成因联系。因此,对雅鲁藏布江结合带的研究,离不开相邻和紧密相关地质构造单元的研究。本文选择与雅鲁藏布江结合带相邻并紧密相关的3个地质构造单元,描述其主要特征。

2.1 班公湖—怒江对接带

班公湖—怒江对接带西起班公湖(班公错),向东经改则、东巧、丁青、嘉玉桥至八宿县上林卡(图1),经左贡扎玉、梅里雪山西坡与昌宁—孟连带相通,再向南与泰国清迈—清莱带和马来西亚的劳勿—文冬带相接,连绵逾3000 km。不但在青藏高原

的地质构造,而且在深部地球物理反映的岩石圈结构和组成上都是一条非常重要的分界线(潘桂棠等,2004a,2013)。

综合文献资料(潘桂棠等,2004a,2004b,2006,2013;王立全等,2008a,2008b,2013)的研究成果,班公湖—怒江对接带是古生代至中生代特提斯泛大洋的中心或中轴地带,是冈瓦纳大陆的北界,是印度(滇藏)地层区和华南(羌塘—三江)地层区的分界,是新元古代Rodinia超大陆解体后显生宙特提斯大洋俯冲、消减、碰撞,最后在晚白垩世消亡的遗迹。从早古生代开始到晚中生代早白垩世晚期,班公湖—怒江对接带的形成发展演化,对青藏高原相邻相关的地质构造单元的形成发展演化具有强烈的制约性和相关性,换言之具有内在的成因联系。

通过资料可知,班公湖—怒江对接带内新获得了典型洋中脊蛇绿岩(MORB型)——堆晶辉长岩SHRIMP 锆石 U-Pb 谐和年龄为(461±7) Ma、(431.7±6.9) Ma(王立全等,2008b)、(438±11) Ma(李才等,2008),新发现了晚泥盆世、二叠纪等不同时代的放射虫硅质岩(朱同兴等,2006;李才等,2008),以及在冈底斯—察隅地块或弧盆系(简称冈底斯带)南缘岛弧型片麻状花岗岩中新获得了LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和年龄为(366.7±2.5) Ma(董昕等,2010)等,认为班公湖—怒江特提斯泛大洋在中奥陶世至中泥盆世强烈扩张形成,从晚泥盆世开始逐步萎缩,持续发展到晚白垩世末关闭,在弧-陆碰撞作用下晚白垩世彻底消亡(带内发育晚白垩世陆相盆地沉积地层)形成对接带;以前认为开始发生俯冲消减的时间是石炭纪(潘桂棠等,2004a,2004b,2006,2013;王立全等,2008a,2008b,2013),应提前到晚泥盆世,从晚泥盆世开始向南向冈底斯带之下俯冲消减,促使冈底斯带从晚泥盆世开始并持续发展到晚白垩世发生了长期多次造弧作用;在晚三叠世至早侏罗世期间有向北向羌塘—三江构造区(造山系)南缘之下俯冲消减的特征,致使那拉岗日—各拉丹冬陆缘弧带形成;在晚三叠世至早侏罗世期间,整体呈现向南向北双向俯冲消减的特点;在晚泥盆世至早白垩世末期间持续发展过程中,伴有多次洋内俯冲作用的发生。

2.2 冈底斯—察隅地块(弧盆系)

冈底斯带被夹持于班公湖—怒江对接带与雅

鲁藏布江结合带之间,整体呈近东西向不规则带状展布(图1)。其规模大,东西向长约2500 km,南北宽150~300 km,面积达45万km²。该带是一个巨型构造-岩浆带,属于土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块的东部。西侧被喀喇昆仑走滑断裂截切,接巴基斯坦科希斯坦-拉达克洋内弧,东部绕过雅鲁藏布江大拐弯,沿近南北向接高黎贡山陆缘弧(潘桂棠等,2013)。

在变质基底与早古生代沉积盖层方面冈底斯带与喜马拉雅地块一致,不仅具有5.5亿年左右形成的同一泛非基底,而且早古生代时期亦具有同一沉积盖层,构造位置上早古生代盖层沉积属于冈瓦纳大陆北缘的被动大陆边缘盆地台型沉积。到晚古生代冈底斯带在早古生代较稳定的被动大陆边缘盆地台型沉积的基础上,转化为活动大陆边缘盆地沉积(潘桂棠等,2004a,2004b,2006,2013;王立全等,2008a,2008b,2013)。另外,从在尼玛县帮勒村和申扎县扎扛乡一带发现的浅变质流纹岩夹碳酸盐岩经高精度测年(流纹岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(499.4±4.1)Ma),确定为寒武纪(计文化等,2009)。经分析,冈底斯带在泛非造山之后寒武纪时期的被动大陆边缘盆地具有初始裂陷-裂谷盆地的性质,并很有可能是班公湖-怒江特提斯泛大洋在中奥陶世开始强烈扩张的前奏。

从晚泥盆世开始一直到始新世,冈底斯带中各时期均发育岛弧型岩浆岩,在松多一带发育二叠纪高压变质岩——榴辉岩,绝大多数有高精度测年控制,仅个别层位由相伴生的沉积岩中所含化石来厘定,整体时代准确(潘桂棠等,2004a,2004b,2006,2013;耿全如等,2006;和钟铎等,2006;张宏飞等,2007;陈松永等,2008;朱弟成等,2008a,2008b;王立全等,2008a,2008b,2013;董昕等,2010;李奋其等,2012;吴兴源等,2013;钟云等,2013;宋绍伟等,2014;张予杰等,2014)。这些不同时期发育的岛弧型岩浆岩都是班公湖-怒江特提斯泛大洋向南和雅鲁藏布江特提斯洋向北双向俯冲碰撞造弧作用的岩浆岩记录。晚泥盆世至晚二叠世以班公湖-怒江特提斯泛大洋向南俯冲消减造弧作用为主,早三叠世至始新世以班公湖-怒江特提斯泛大洋向南和雅鲁藏布江特提斯洋强烈扩张及向北双向俯冲消减碰撞共同造弧作用为特征。

其中,雅鲁藏布江特提斯洋从早侏罗世开始向

北俯冲,而三叠纪因雅鲁藏布江特提斯洋强烈扩张和相应深部地幔软流圈向北运移,促使冈底斯带南缘处于受挤压似俯冲造弧作用构造环境,在冈底斯带南缘有大量早三叠世至始新世的岛弧型岩浆岩记录。如正在开展的西藏桑耶地区1:5万区域地质调查项目中,在原划晚侏罗世至早白垩世地质体中,新解体和经LA-ICP-MS锆石U-Pb测年确定的中三叠世晚期浅变质角闪辉长岩(237.3±0.63)Ma、晚三叠世以中性为主的浅变质火山岩(浅变质安山质凝灰岩(215.2±2.2)Ma)、晚三叠世浅变质辉绿岩(204±0.81)Ma、早侏罗世以中性为主的浅变质火山岩(浅变质石英安山岩(185±2.3)Ma和(181±3.3)Ma)、中侏罗世浅变质角闪辉长岩(165±1.1)Ma、晚侏罗世呈夹层状产出的浅变质安山质凝灰岩(146.8±0.65)Ma,还有一批晚白垩世侵入岩与始新世侵入岩和火山岩的高精度测年数值。冈底斯带南缘广泛分布的早三叠世至始新世岛弧型岩浆岩,正是与雅鲁藏布江特提斯洋在三叠纪强烈扩张,早侏罗世至晚白垩世向北俯冲消减,古新世至始新世俯冲碰撞消亡相对应的岩浆产物,两者为因果关系。

对冈底斯带的进一步深入认识与理解,潘桂棠等(2006)已作了精辟的总结:冈底斯带不是简单的地块、陆块或地体,而很可能是以隆格尔-念青唐古拉为主轴,经历石炭-二叠纪、早中三叠世、晚三叠世、早中侏罗世、晚侏罗世-早白垩世、晚白垩世-始新世6次造弧增生作用和相关的弧-陆、陆-陆碰撞作用并最终定型于新生代晚期的复合造山带,并在此基础上,提出冈底斯带的构造演化很可能受班公湖-怒江特提斯洋向南、雅鲁藏布江洋向北的双向俯冲的制约。

综上所述,冈底斯带在前寒武纪变质基底形成之后,寒武纪处于具有初始裂陷-裂谷性质的冈瓦纳大陆北缘被动大陆边缘盆地环境,奥陶纪至中泥盆世处于稳定较稳定的被动大陆边缘盆地台型沉积环境,从晚泥盆世开始转化为活动大陆边缘盆地环境,并经历了晚泥盆世至二叠纪、早中三叠世、中三叠世晚期至晚三叠世、早中侏罗世、晚侏罗世至晚白垩世、古新世至始新世六次造弧增生作用和相关的洋-弧-陆、陆-陆碰撞作用,并最终定型于新生代晚期的复合造山带。冈底斯带的构造演化,晚泥盆世至晚二叠世以受班公湖-怒江特提斯泛大洋

向南俯冲消减造弧作用制约为主,而早三叠世至始新世以受班公湖—怒江特提斯泛大洋向南和雅鲁藏布江特提斯洋强烈扩张及向北双向俯冲消减碰撞共同造弧作用制约为特征。

2.3 喜马拉雅地块

喜马拉雅地块(特提斯喜马拉雅带)位于雅鲁藏布江结合带与印度地块区之间的广大区域,与两者之间均以断裂为界,由西向东呈北西向、近东西向至北东向宽带状展布,长2000 km以上,宽110~410 km(图1)。经过喜马拉雅运动的最终塑造与改造,形成了世界上最高的山脉——喜马拉雅山脉,山脉走向与区域构造线基本一致,整体呈略向南凸出的弧形带状展布。

综合文献资料(朱同兴等,2002;朱弟成等,2004;潘桂棠等,2004b,2006,2013;王立全等,2008a,2013;曾令森等,2012;袁和等,2017),特提斯喜马拉雅带有以下主要特征:

该带在大地构造位置上处于冈瓦纳大陆北部边缘或印度板块北缘,以发育大面积出露的前寒武纪变质基底即泛非基底和发育从(可能从寒武纪)奥陶纪至新近纪基本连续的、稳定至较稳定的、厚度达12500 m的沉积盖层为主要特征。此外,在石炭纪至二叠纪、三叠纪及侏罗纪至白垩纪部分地层中夹有火山岩层和各类岩脉侵入,还发育少量寒武纪至奥陶纪、古近纪至新近纪花岗岩类。在变质基底形成之后,早古生代至古近纪处于稳定浅海沉积环境,新近纪由海陆交互相转为陆相沉积环境。

寒武纪至奥陶纪花岗岩类分布于前寒武纪变质基底中,应是泛非造山事件的构造岩浆响应。

石炭纪至二叠纪以裂谷型基性岩浆活动为主,部分地层中发育玄武岩夹层,局部可见二叠纪辉绿岩侵入,由玄武岩和辉绿岩代表的裂谷型基性岩浆作用,正是冈瓦纳大陆北缘裂解和特提斯喜马拉雅带由奥陶纪至泥盆纪被动陆缘稳定宽阔的台地型盆地转化为伸展裂陷大陆边缘盆地的岩浆标志。

三叠纪仍以裂谷型基性岩浆活动为主,并且主要分布于拉轨岗日被动陆缘盆地中,地层中发育玄武岩夹层,其形成与特提斯洋开启的伸展背景有关,正是雅鲁藏布江特提斯洋盆扩张形成相应的构造岩浆响应。

侏罗纪至白垩纪岩浆活动较强,主要见于拉轨

岗日被动陆缘盆地中,地层中发育玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩,可见规模较小但成群成带分布的辉长岩、辉绿岩、煌斑岩、闪长岩、花岗岩等岩体与脉岩侵入。以往调研认为侏罗纪岩浆岩的形成与特提斯洋开启的伸展背景有关;认为早白垩世藏南131 Ma左右的镁铁质岩浆事件、133 Ma的地壳重熔事件,指示大印度东北部与澳大利亚西北部之间,在130 Ma左右发生了初始分裂,标志着印度洋的开启。本文对拉轨岗日被动陆缘盆地内侏罗纪至白垩纪不同时期的岩浆岩进一步研究,岩石化学地球化学图解(图略)判别结果是拉张、过渡和挤压构造环境并存,具有不确定性和特殊性。由于拉轨岗日被动陆缘盆地与雅鲁藏布江结合带紧邻,具有不确定性和特殊性的岩浆岩很有可能是雅鲁藏布江特提斯洋在侏罗纪至白垩纪向南被动俯冲这一特殊环境的岩浆响应。

古近纪至新近纪岩浆岩以花岗岩类为主,主要分布于拉轨岗日被动陆缘盆地与高喜马拉雅基底杂岩带中,古近纪的花岗岩类反映了印度—亚洲大陆碰撞作用的构造—热事件;而新近纪的花岗岩类则代表了与藏南伸展拆离断裂系有关的构造—热事件。

综上所述,喜马拉雅带在前寒武纪变质基底形成之后,寒武纪或奥陶纪至泥盆纪处于冈瓦纳大陆北部边缘被动陆缘稳定宽阔的台地型盆地沉积环境,石炭纪至三叠纪转化为伸展裂陷大陆边缘盆地环境,侏罗纪至古近纪处于弱活动大陆边缘盆地环境,新近纪至第四纪由海陆交互相转为陆相沉积环境。

3 雅鲁藏布江结合带

雅鲁藏布江结合带被夹持于冈底斯带与喜马拉雅地块之间,沿走向可分为西段(萨嘎以西)、中段(萨嘎—仁布西)和东段(仁布西以东)。西段与东段具有三分性,西段可分为南带、北带和仲巴微地块,东段可分为南带、北带和仁布一曲松褶冲带(朗杰学增生楔),但在东段雅鲁藏布江大拐弯处急剧变窄,南带与北带挤压在一起。中段具两分性,分为南带与北带(图1)。

3.1 南带

3.1.1 主要地质特征

南带西段由三叠纪至始新世地质体组成,部分地段被新近纪至第四纪陆相沉积物覆盖。三叠纪至始新世地质体主要有洋板块地层序列之蛇绿岩、

混杂岩、海相复理石建造夹碳酸盐岩和火山岩建造的断夹片或断块体。蛇绿岩、蛇绿混杂岩、其他混杂岩很发育,呈带状展布,可见晚三叠世及其之后不同时期基性与中性岩脉侵入。混杂岩中发育二叠纪至始新世不同时期浅变质灰岩、浅变质砂岩、蛇绿岩、硅质板岩、硅质岩及玄武岩等岩块,三叠纪至始新世洋板块地层序列中均产有丰富的放射虫等化石(张振利等,2003;1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热等4幅区调报告,2006;徐德明等,2007;徐向珍等,2011;张万平等,2011;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;刘飞等,2013,2015;周文达等,2015;熊发挥等,2015a;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015)。南带西段蛇绿岩、蛇绿混杂岩露头特征见图2a~d,剖面特征见图3和图4。

南带中段由三叠纪至白垩纪地质体组成,西部有少量古新统至始新统分布,部分地段被古新世至

第四纪陆相沉积物覆盖。三叠纪至始新世地质体主要有洋板块地层序列之混杂岩、海相复理石建造夹碳酸盐岩和火山岩建造的断夹片或断块体。混杂岩与地层断夹片相间呈带状展布,可见侏罗纪酸性、早白垩世基性与中性、新近纪酸性小岩体和岩脉侵入。混杂岩中发育二叠纪至白垩纪不同时期浅变质灰岩、浅变质砂岩、硅质板岩、硅质岩及玄武岩等岩块,三叠纪至始新世洋板块地层序列中均产有丰富的放射虫等化石(张振利等,2003;1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万拉孜县幅区调报告,2003;张万平等,2011;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;李强等,2015)。

南带东段由三叠纪至白垩纪地质体组成,部分地段被第四纪陆相沉积物覆盖。三叠纪至白垩纪地质体主要有洋板块地层序列之混杂岩、海相复理石建造夹碳酸盐岩和火山岩建造的断夹片或断块体。混杂岩与地层断夹片相间呈带状展布,可见早

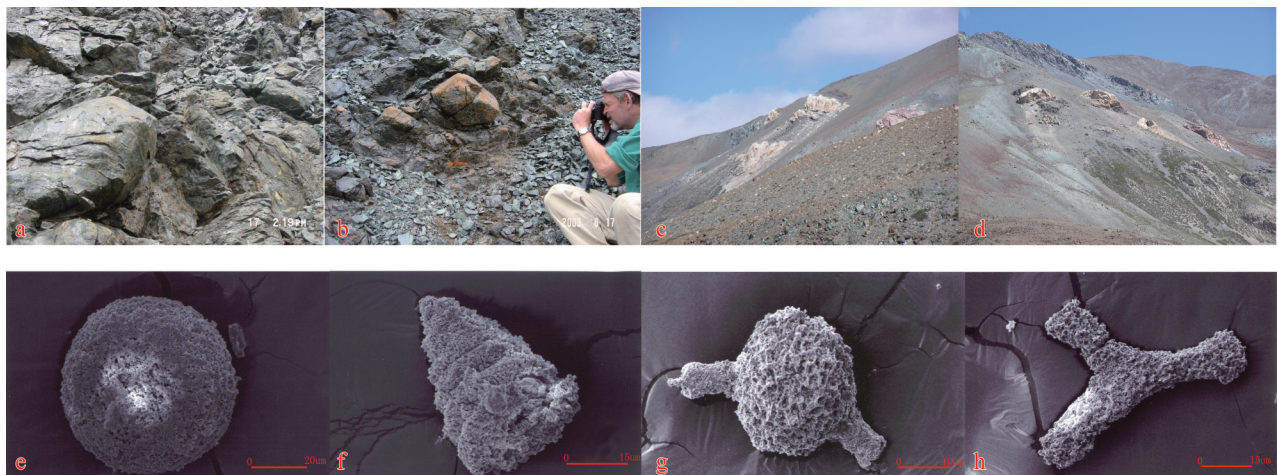


图2 南带蛇绿岩露头特征及放射虫

a~d 南带蛇绿岩露头特征:a—蛇纹石化变质橄榄岩,仲巴县莫布达嘎;b—片理化变质橄榄岩夹块状变质橄榄岩透镜体,仲巴县莫布达嘎;c—基质(暗色)变质橄榄岩中有浅变质灰岩岩块(浅色),普兰县扎嘎布;d—基质(暗色)变质橄榄岩中有浅变质灰岩岩块(浅色),普兰县扎嘎布;e~f 南带且嘎组混杂岩中硅质板岩岩块产放射虫:e—放射虫 *Cenosphaera hispida* Hinde, 时代为中三叠世,仲巴县吞穷南东;f—放射虫 *Phormocyrtis lagena* Hinde, 时代为中三叠世,仲巴县吞穷南东;g~h 南带修康群混杂岩基质硅质板岩产放射虫:g—放射虫 *Capnuhosphaera lea* De Wever, 时代为晚三叠世卡尼期,仲巴县岗久东;h—放射虫 *Angulobracchia purisimaensis* (Pessagno), 时代为晚三叠世卡尼期,仲巴县岗久东(图版及说明据1:25万亚热幅、普兰县幅、霍尔巴幅、巴巴扎东幅区域地质调查报告,2006)

Fig.2 Outcrop characteristics of the ophiolites and radiolarian in the southern belt

a~d Outcrop characteristics of the ophiolites in the southern belt: a—Serpentinized metamorphic peridotite, Mobudaga in Zhongba County; b—Schisteous metamorphic peridotite clips massive metamorphic peridotite lens, Mobudaga in Zhongba County; c—Shallow metamorphic limestone block (light color) in the matrix (dark color) metamorphic peridotite, Zhagabu in Pulan County; d—Shallow metamorphic limestone block (light color) in the matrix (dark color) metamorphic peridotite, Zhagabu in Pulan County; e~f The block of siliceous slate rock in the Danga Group melange of the south belt having radiolarian: e—*Cenosphaera hispida* Hinde, Middle Triassic in age, southeast of Tunqiong in Zhongba County; f—*Phormocyrtis lagena* Hinde, Middle Triassic in age, southeast of Tunqiong in Zhongba County; g~h The melange matrix siliceous slate rock in the Xiukang Group of the south belt having radiolarian: g—*Capnuhosphaera lea* De Wever, Late Triassic Carnian in age, east of Gangjiu in Zhongba County; h—*Angulobracchia purisimaensis* (Pessagno), Late Triassic Carnian in age, east of Gangjiu in Zhongba County (plates and explanation after 1:250000, Yare Sheet, Pulan County Sheet, Huoerba Sheet, Babazhadong Sheet regional geological survey report, 2006)

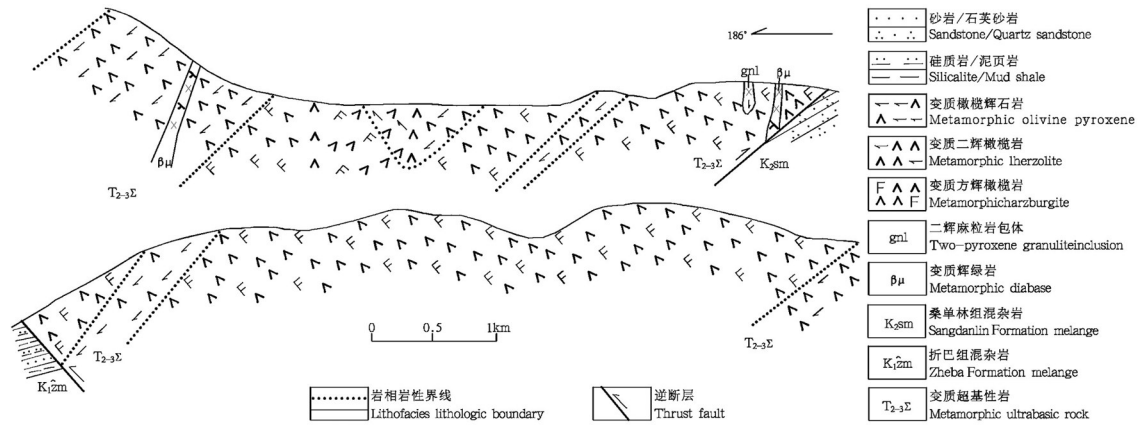


图3 普兰县托波俄杰蛇绿岩剖面图(据1:25万亚热等4幅资料编制)

Fig.3 The profile of the Tuoboejie ophiolites in Pulan County (modified from the 1:25000 geological map of ya're and other three maps)

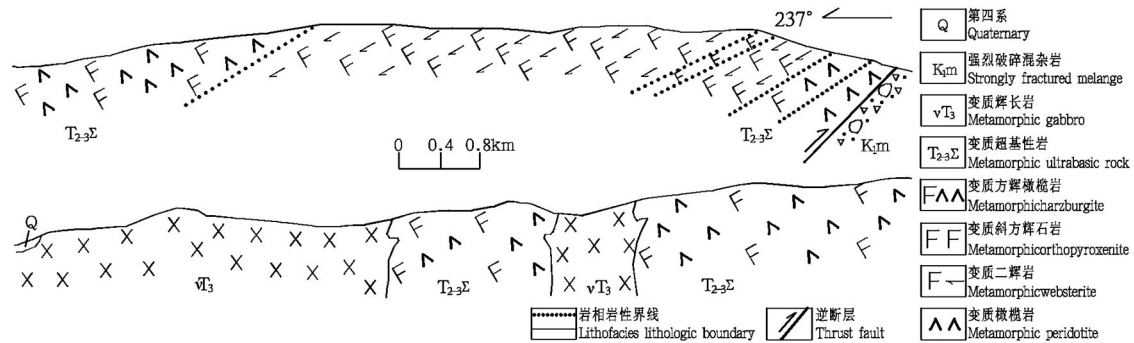


图4 仲巴县莫布达嘎蛇绿岩剖面图(据1:25万亚热等4幅资料编制)

Fig.4 The profile of the Mobudaga ophiolites in Zhongba County (modified from the 1:25000 geological map of ya're and other three maps)

白垩世非蛇绿岩型基性与中性小岩体和岩脉侵入。混杂岩中发育二叠纪至白垩纪不同时期浅变质灰岩、浅变质蛇绿岩、浅变质砂岩及非蛇绿岩型基性岩等岩块(耿全如等,2000,2011;1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007;张万平等,2011;潘桂棠等,2013;王立全等,2013)。

根据在与蛇绿岩、蛇绿混杂岩相伴产出的混杂岩中硅质板岩岩块和地层中硅质板岩或硅质岩(属深水相硅质岩)内发现了大量中三叠世(*Cenosphaera-Phormocyrtis*组合,图2e~f)、晚三叠世(*Capnuchosphaera-Angulobrachia*组合、*Parahsuum-Citriduma*组合,图2g~h)放射虫化石(1:25万拉孜县幅区调报告,2003;1:25万亚热等4幅区调报告,2006)和蛇绿岩获得SHRIMP、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄:(233±9)Ma(1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007)、(207±29)Ma和(209±20)Ma(耿全如等,2011)结合区域地质

构造背景综合分析,南带蛇绿岩主要形成于中三叠世晚期至晚三叠世,雅鲁藏布江特提斯洋在早中三叠世初步裂解形成,中三叠世晚期至晚三叠世强烈扩张形成,持续发展到始新世,西段古新统至始新统代表了最后的残留海相沉积,不同地段被古新世至第四纪陆相沉积物覆盖。

3.1.2 蛇绿岩及其他岩浆岩成因分析

综合文献资料(张振利等,2003;1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万拉孜县幅区调报告,2003;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007;徐德明等,2007;耿全如等,2010,2011;张万平等,2011;徐向珍等,2011;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;刘飞等,2013,2015;熊发挥等,2015a;周文达等,2015;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015),南带中的蛇绿岩分布于西段与东段,西段

规模大,发育较齐全;在东段混杂岩中可见少量呈岩块产出的蛇绿岩块体。岩性以方辉橄榄岩、二辉橄榄岩为主,纯橄岩、蛇纹岩、辉橄岩、橄榄单斜辉石岩、二辉岩、斜方辉石岩及呈小岩体和岩墙岩脉产出的辉石岩、辉长岩、辉长辉绿岩、辉绿岩次之,粒玄岩零星出露,岩石发生了浅变质。另外,在拉昂错西南一带蛇绿岩中含有二辉麻粒岩深源包体。

其他岩浆岩(非蛇绿岩型岩浆岩)在各段中均有分布,但西段相对较多。主要有呈独立和夹层状产出的基性、中性火山岩,呈岩体和岩脉产出的基性、中性与酸性侵入岩。

蛇绿岩之超基性岩与基性岩类的岩石化学地球化学、矿物化学地球化学特征,以具有亏损地幔岩的特点为主,少数具有富集和地幔柱地幔岩的特点。系列判别图解(如 TiO_2-Y 、 $Y-Zr$ 、 $Ti/Y-Nb/Y$ 、 $Zr/Y-Zr$ 、 $Th/Yb-Ta/Yb$ 等)中,主要位于洋中脊区,个别基性岩位于板内区,表明南带蛇绿岩主要形成于洋中脊拉张构造环境。

为了进一步研究蛇绿岩的特征,本文收集了南带蛇绿岩及其他岩浆岩岩石化学地球化学数据 90 件,对地球化学参数进行了计算和统计(表 2~表 4)和两种图解判别(图 4,图 5)。

(1)蛇绿岩:由表 2 可知,南带蛇绿岩的 5 个地球化学参数平均值除 1 个(Ti/V)与北带蛇绿岩相近外,其余 4 个均低于北带蛇绿岩一倍左右,显示南北两带蛇绿岩的地球化学性质和在形成构造环境上有重大差别。南带蛇绿岩的 $(La/Yb)_N < 1(0.93)$, Th/Yb 、 Nb/Yb 、 Ta/Yb 也较低,显示具有洋中脊蛇绿岩(N-MORB 型)的特征。在南带蛇绿岩中未发现成型的铬铁矿矿床(仅有矿化点),也符合 N-MORB 型蛇绿岩的特征。

在 $Th/Yb-Nb/Yb$ 图解(图 5)中,72 个蛇绿岩样品点有 20 个(表 3 序号 45~56、80、82~88)位于洋中脊蛇绿岩区(N-MORB 型)、1 个(表 3 序号 42)位于陆缘蛇绿岩区(E-MORB 型)、51 个(表 3 序号 1~8、12~17、19~41、43~44、69~79、81)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ 型)和前弧玄武岩类区(FAB 型)。在 $V-Ti/1000$ 图解(图 6)中,29 个蛇绿岩样品点有 14 个(表 4 序号 17、21~33)位于洋中脊蛇绿岩区(MORB 型)和与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB 型)、15 个(表 4 序号 1~8、12~16、19~20)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ 型)和前弧玄武岩类区(FAB 型)。

图解判别结果具有不一致性和多解性,不完全支持南带蛇绿岩形成于洋中脊扩张构造环境属 N-MORB 型的主要认识。综合分析认为,这种图解判别结果不一致性和多解性的矛盾出现,极有可能正是先形成的蛇绿岩在后期受到不均衡改造的暗示——中晚三叠世形成的洋中脊 N-MORB 型蛇绿岩,在侏罗纪至白垩纪洋内俯冲和整体俯冲过程中,被俯冲到深部受到俯冲流体和熔融作用的不均衡改造(不同部位不同深度不同岩性受到不同程度的改造),使其地球化学性质也发生了不同程度的改变,才出现了图解判别结果不一致性和多解性的矛盾。这与南带蛇绿岩形成于洋中脊扩张环境和后期被洋内俯冲环境改造两阶段演化(徐德明等, 2007;徐向珍等, 2011;刘飞等, 2013;熊发挥等, 2015a, 2015b)的认识相一致。

(2)中晚三叠世浅变质玄武岩:与蛇绿岩同时异相形成和具有某些裂谷型火山岩性质的中晚三叠世浅变质玄武岩,5 个地球化学参数平均值除个别与蛇绿岩(Th/Yb)、侏罗纪至白垩纪岩浆岩(Nb/Yb)接近外,其余与两者均有较大差别(表 2),显示了

表 2 蛇绿岩及其他岩浆岩地球化学参数统计

Table 2 Statistical table of geochemical parameters of ophiolite and other magmatic rocks

分带	岩类	时代	地球化学参数(平均值)					样品数/件				
			$(La/Yb)_N$	Th/Yb	Nb/Yb	Ta/Yb	Ti/V	$(La/Yb)_N$	Th/Yb	Nb/Yb	Ta/Yb	Ti/V
南带	蛇绿岩	T_{2-3}	0.93	1.05	2.99	0.95	15.47	72	72	72	72	29
	其他岩浆岩	T_{2-3} JK	5.26	1.11	11.87	2.12	36.61	5	5	5	3	5
北带	蛇绿岩	J_{1-2}	2.54	2.13	5.85	1.97	14.15	66	66	66	66	28
	其他岩浆岩	J_3K_1	3.16	0.73	3.90	0.33	47.52	102	102	102	102	45
仁布-曲松褶冲带基性岩	仲巴微地块基性岩	T_3	4.78	1.56	6.30	0.42	51.17	3	3	3	3	3
	喜马拉雅带基性岩	P	13.56	4.16	35.30	3.91	49.73	4	4	4	4	3
	喜马拉雅带基性岩	P	7.62	2.26	8.45	1.54	49.72	17	17	17	17	4

表3 雅鲁藏布江结合带南带蛇绿岩及其他岩浆岩数据

Table 3 Data of ophiolite and other magmatic rocks in the southern belt of the Yarlung Zangbo suture zone

序号	岩性	时代	Th/Yb	Nb/Yb	备注	序号	岩性	时代	Th/Yb	Nb/Yb	备注
1	变质二辉橄榄岩	T ₂₋₃	4.14	11.00		46	辉绿岩	T ₂₋₃	0.03	0.37	
2	变质辉橄榄岩	T ₂₋₃	7.60	30.00		47	辉绿岩	T ₂₋₃	0.03	0.33	
3	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	2.63	10.00		48	辉绿岩	T ₂₋₃	0.03	0.37	
4	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	4.33	20.00		49	辉绿岩	T ₂₋₃	0.02	0.35	
5	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.91	4.55	1:25万	50	辉绿岩	T ₂₋₃	0.03	0.36	刘飞等, 2013
6	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	4.00	8.00	日新等	51	辉绿岩	T ₂₋₃	0.02	0.32	
7	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	2.00	5.00	3幅	52	辉绿岩	T ₂₋₃	0.02	0.30	
8	蛇纹岩	T ₂₋₃	7.14	2.86		53	辉绿岩	T ₂₋₃	0.02	0.36	
9	辉长辉绿岩	JK	0.07	0.64		54	辉绿岩	T ₂₋₃	0.03	0.38	
10	石英闪长岩	JK	0.32	0.87		55	辉绿岩	T ₂₋₃	0.03	0.39	
11	二长辉绿玢岩	JK	4.03	28.74		56	辉绿岩	T ₂₋₃	0.02	0.37	
12	变质橄榄单辉岩	T ₂₋₃	1.11	1.67		57	玄武岩	K ₂	8.72	11.63	
13	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	3.33	2.50		58	玄武岩	J ₁₋₂	1.28	8.97	
14	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	1.67	2.22	1:25万	59	玄武岩	K ₂	2.99	32.38	
15	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.95	4.76	亚热等	60	变质玄武岩	T ₃	1.86	19.93	
16	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.83	2.50	4幅	61	变质玄武岩	T ₃	2.76	29.34	1:25万 萨嘎县等 3幅
17	变质辉长岩	T ₂₋₃	0.07	0.60		62	玄武岩	J ₃	1.57	16.82	
18	粗安岩	K ₁	4.12	35.88		63	玄武岩	J ₃	0.43	5.00	
19	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	3.30	2.50	1:5万	64	细碧岩	J ₁₋₂	0.10	0.79	
20	变质方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.95	4.80	白塘错等4幅	65	变质玄武岩	T ₃	0.31	4.37	
21	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.09	0.46		66	玄武岩	J ₁₋₂	0.37	3.66	
22	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.10	0.20		67	玄武岩	J ₁₋₂	0.29	2.14	
23	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.13	0.25		68	变斑状二长花岗岩	J	7.76	6.10	
24	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.33	0.33		69	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.18	0.51	
25	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.50	1.00	周文达等, 2015	70	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.20	1.35	
26	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.09	0.18		71	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.08	0.65	
27	二辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.18	0.27		72	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.22	0.53	
28	二辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.06	0.19		73	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.10	0.39	
29	二辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.15	0.23		74	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.17	0.59	
30	纯橄岩	T ₂₋₃	1.67	7.33		75	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.07	0.30	
31	纯橄岩	T ₂₋₃	0.80	3.00		76	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.18	0.46	
32	纯橄岩	T ₂₋₃	1.50	9.75		77	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	3.17	9.17	
33	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	2.89	8.22		78	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.27	0.58	徐德明等, 2007
34	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	1.00	7.00		79	地幔橄榄岩	T ₂₋₃	0.95	1.60	
35	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	1.38	3.13		80	基性岩墙	T ₂₋₃	0.01	0.28	
36	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	1.67	5.00	徐向珍等, 2011	81	基性岩墙	T ₂₋₃	0.04	0.32	
37	方辉橄榄岩	T ₂₋₃	1.43	4.29		82	基性岩墙	T ₂₋₃	0.03	0.32	
38	二辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.50	2.10		83	基性岩墙	T ₂₋₃	0.02	0.34	
39	二辉橄榄岩	T ₂₋₃	6.82	11.55		84	基性岩墙	T ₂₋₃	0.02	0.29	
40	二辉橄榄岩	T ₂₋₃	1.38	6.38		85	基性岩墙	T ₂₋₃	0.03	0.32	
41	橄榄单斜辉石岩	T ₂₋₃	0.35	2.94		86	基性岩墙	T ₂₋₃	0.03	0.32	
42	橄榄单斜辉石岩	T ₂₋₃	0.21	2.42		87	基性岩墙	T ₂₋₃	0.03	0.34	
43	橄榄单斜辉石岩	T ₂₋₃	0.33	2.50		88	基性岩墙	T ₂₋₃	0.01	0.30	
44	辉绿岩	T ₂₋₃	0.04	0.30	刘飞等, 2013	89	变质玄武岩	T ₂₋₃	0.29	1.90	1:25万
45	辉绿岩	T ₂₋₃	0.03	0.35		90	变质玄武岩	T ₂₋₃	0.35	3.79	拉孜县幅

表4 雅鲁藏布江结合带南带蛇绿岩及其他岩浆岩数据(10⁻⁶)

Table 4 Data of ophiolite and other magmatic rocks in the southern belt of the Yarlung Zangbo suture zone (10⁻⁶)

序号	岩性	时代	Ti/1000	V	备注	序号	岩性	时代	Ti/1000	V	备注
1	变质二辉橄榄岩	T ₂₋₃	0.27	46		24	辉绿岩	T ₂₋₃	5.64	236	
2	变质辉橄岩	T ₂₋₃	0.12	29		25	辉绿岩	T ₂₋₃	7.31	231	
3	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.06	27		26	辉绿岩	T ₂₋₃	9.95	328	
4	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.07	47		27	辉绿岩	T ₂₋₃	8.09	268	
5	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.08	37	1:25万	28	辉绿岩	T ₂₋₃	7.01	266	刘飞等,
6	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.06	19	日新等	29	辉绿岩	T ₂₋₃	6.00	235	2013
7	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.15	44	3幅	30	辉绿岩	T ₂₋₃	8.03	288	
8	蛇纹岩	T ₂₋₃	0.14	56		31	辉绿岩	T ₂₋₃	10.61	318	
9	辉长辉绿岩	JK	0.07	52		32	辉绿岩	T ₂₋₃	10.31	322	
10	石英闪长岩	JK	0.13	59		33	辉绿岩	T ₂₋₃	8.27	304	
11	二长辉绿玢岩	JK	0.07	66		34	玄武岩	K ₂	5.17	144	
12	变质橄单辉岩	T ₂₋₃	0.53	96		35	玄武岩	K ₂	6.93	188	
13	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.14	70		36	变质玄武岩	T ₃	3.88	407	
14	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.32	76	1:25万	37	变质玄武岩	T ₃	9.20	127	
15	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.43	102	亚热等	38	玄武岩	J ₃	6.41	166	1:25万
16	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.23	71	4幅	39	玄武岩	J ₃	7.07	198	萨嘎县等
17	变质辉长岩	T ₂₋₃	8.13	297		40	细碧岩	J ₁₋₂	6.14	215	3幅
18	粗安岩	K ₁	6.84	28		41	变质玄武岩	T ₃	9.26	244	
19	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.14	70	1:5万白塘错	42	玄武岩	J ₁₋₂	10.22	174	
20	变质方辉橄岩	T ₂₋₃	0.43	102	等4幅	43	玄武岩	J ₁₋₂	8.78	309	
21	辉绿岩	T ₂₋₃	5.94	263		44	变斑状二长花岗岩	J	3.70	55	
22	辉绿岩	T ₂₋₃	4.98	218	刘飞等,	45	变质玄武岩	T ₂₋₃	9.27	302	1:25万
23	辉绿岩	T ₂₋₃	6.36	208	2013	46	变质玄武岩	T ₂₋₃	10.48	323	拉孜县幅

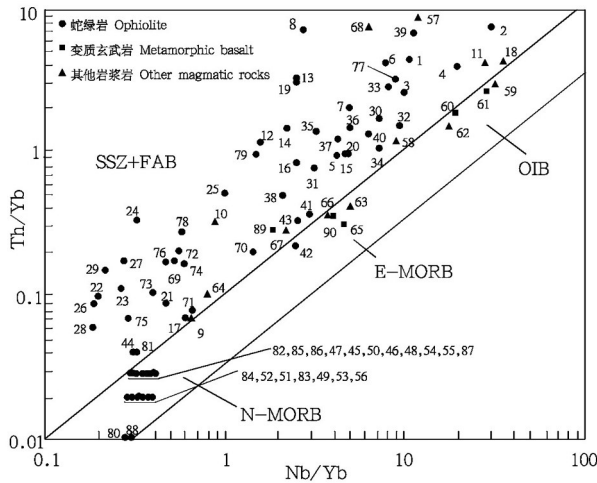


图5 南带蛇绿岩及其他岩浆岩 Th/Yb-Nb/Yb 图解
图中序号同表3;N-MORB—洋中脊蛇绿岩(亏损型);E-MORB—陆缘蛇绿岩(富集型);OIB—与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩;
SSZ—俯冲带上盘型蛇绿岩;FAB—前弧玄武岩类
Fig.5 Th/Yb-Nb/Yb diagram of ophiolite and other magmatic rocks in the southern belt

The sequence number in the graph is the same as that of Table 3; N-MORB— mid oceanic ridge ophiolite (depleted type); E-MORB—epi-continental ophiolite (enrichment type); OIB— Ophiolite and Oceanic Isle Basalt related to the mantle plume; SSZ— Upper plate ophiolite in subduction zone FAB —Fore-arc basalt rocks

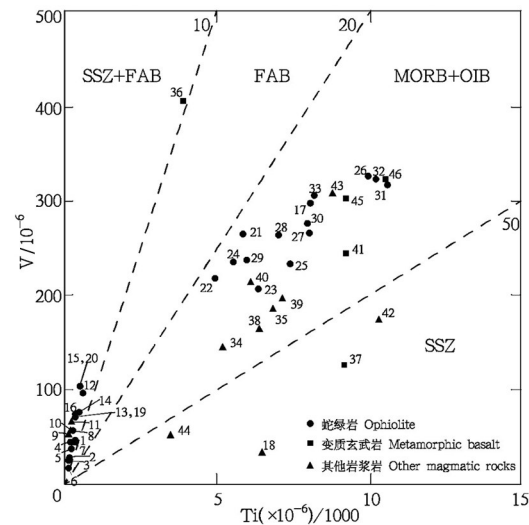


图6 南带蛇绿岩及其他岩浆岩 V-Ti/1000 图解
图中序号同表4;MORB—洋中脊蛇绿岩;OIB—与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩;SSZ—俯冲带上盘型蛇绿岩;FAB—前弧玄武岩类
Fig.6 V- Ti/1000 diagram of ophiolite and other magmatic rocks in the southern belt

The sequence number in the graph is the same as that of Table 4; MORB— Mid Oceanic Ridge Ophiolite; OIB— Ophiolite and Oceanic Isle Basalt related to the mantle plume; SSZ— Upper plate ophiolite in subduction zone; FAB—Fore-arc basalt rocks

在地球化学性质和形成构造环境上与两者有重大差别,既不同于蛇绿岩又不同于侏罗纪至白垩纪岩浆岩。与喜马拉雅带二叠纪裂谷型基性岩相比较多数较为接近,可能暗示了其形成于拉张构造环境。

在 Th/Yb-Nb/Yb 图解(图 5)中,5 个浅变质玄武岩样品点有 2 个(表 3 序号 60~61)位于与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB 型)、2 个(表 3 序号 65、90)位于陆缘蛇绿岩区(E-MORB 型)、1 个(表 3 序号 89)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ 型)和前弧玄武岩类区(FAB 型)。在 V-Ti/1000 图解(图 5)中,5 个样品点有 3 个(表 4 序号 41、45~46)位于洋中脊蛇绿岩区(MORB 型)和与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB 型)、2 个(表 4 序号 36~37)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ 型)和前弧玄武岩类区(FAB 型)。

图解判别结果也出现了不一致性和多解性的矛盾(但多数位于拉张环境——E-MORB 区和 OIB 区),综合分析认为情况与蛇绿岩类似。中晚三叠世浅变质玄武岩主要形成于洋中脊两侧的拉张盆地构造环境,部分与地幔柱岩浆活动有关,与蛇绿岩为同时异相的产物。同样,在侏罗纪至白垩纪洋内俯冲和整体俯冲过程中,被俯冲到深部受到俯冲流体和熔融作用的不均衡改造。

(3) 侏罗纪至白垩纪岩浆岩:主要为具有洋岛和岛弧性质的岩浆岩的 5 个地球化学参数平均值除个别与中晚三叠世浅变质玄武岩(Nb/Yb)接近外,其余与两者均有较大差别(表 2),显示了在地球化学性质和形成构造环境上与两者有重大差别,既不同于蛇绿岩又不同于中晚三叠世浅变质玄武岩。

在 Th/Yb-Nb/Yb 图解(图 5)中,13 个岩浆岩样品点有 2 个(表 3 序号 59,62)位于与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB 型)、2 个(表 3 序号 63、66)位于陆缘蛇绿岩区(E-MORB 型)、9 个(表 3 序号 9~11、18、57~58、64、67~68)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ 型)和前弧玄武岩类区(FAB 型)。在 V-Ti/1000 图解(图 6)中,12 个样品点有 6 个(表 4 序号 34~35、38~40、43)位于洋中脊蛇绿岩区(MORB 型)和与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB 型)、6 个(表 4 序号 9~11、18、42、44)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ 型)和前弧玄武岩类区(FAB 型)。

图解判别结果也出现了不一致性和多解性的矛盾,结合在中西段有较多同时期的闪长岩、闪长

玢岩、花岗岩脉和造山型二长花岗岩体分布和地层中有安山岩、粗安岩产出,综合分析认为侏罗纪至白垩纪岩浆岩主要形成于洋内俯冲和整体俯冲构造环境,部分与地幔柱岩浆活动有关。由于处于洋盆环境,岩浆岩岩石化学地球化学性质受洋壳和地幔岩石的制约,以及岩浆上升过程中混染和熔融外来物质量的不同,才极有可能是造成图解判别结果不一致性和多解性矛盾出现的真正原因。混染和熔融外来物质量少的岩石主要继承了母岩的岩石化学地球化学性质,如落入 E-MORB 区和 OIB 区的 4 个玄武岩样品经 K_2O-Na_2O 两种图解(图略)判别为幔源型岩浆岩;而混染和熔融外来物质量大的岩石形成了不同于母岩的岩石化学地球化学性质,如落入 SSZ 区的 9 个基性岩、中性岩和酸性岩样品经 K_2O-Na_2O 两种图解(图略)判别主要为壳幔源型岩浆岩,花岗岩为壳源型岩浆岩;体现了继承性、改造性或新生性并存的不均衡构造岩浆作用特点。

3.2 北带

3.2.1 主要地质特征

北带西段由晚石炭世至始新世地质体组成,部分地段被新近纪至第四纪陆相沉积物覆盖。晚石炭世至早白垩世地质体主要有洋板块地层序列之蛇绿岩、混杂岩、海相复理石建造夹碳酸盐岩和火山岩建造的断夹片或断块体,古新世至始新世地质体为陆相磨拉石沉积建造(局部含褐煤)。蛇绿岩、蛇绿混杂岩、其他混杂岩很发育,呈带状展布,可见早侏罗世及其之后不同时期基性与中性岩脉侵入。混杂岩中发育石炭纪至始新世不同时期浅变质灰岩、浅变质砂岩、蛇绿岩、硅质岩、玄武岩及砾岩等岩块,晚石炭世至早白垩世洋板块地层序列中均产有较丰富的放射虫等化石(张振利等,2003;1:25 万萨嘎县等 3 幅区调报告,2003;1:25 万日新等 3 幅区调报告,2005;1:25 万亚热等 4 幅区调报告,2006;许荣科等,2009;张万平等,2011;李源等,2011;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;连东洋等,2014;刘飞等,2015;1:5 万白塘错等 4 幅区调报告,2015)。蛇绿岩、蛇绿混杂岩剖面特征见图 7。

北带中段由二叠纪至始新世地质体组成,部分地段被第四纪陆相沉积物覆盖。二叠纪至晚白垩世地质体主要有洋板块地层序列之蛇绿岩、混杂岩、海相复理石建造夹碳酸盐岩和火山岩建造的断

夹片或断块体,古新世至始新世地质体为陆相磨拉石沉积建造。蛇绿岩、蛇绿混杂岩、其他混杂岩很发育,呈带状展布,可见早侏罗世及其之后不同时期基性与中性岩脉和小岩体侵入。混杂岩中发育二叠纪至始新世不同时期浅变质灰岩、浅变质砂岩、蛇绿岩、硅质岩及玄武岩等岩块,二叠纪至晚白垩世洋板块地层序列中均产有丰富的放射虫等化石(张振利等,2003;1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万拉孜县幅区调报告,2003;王成善等,2005;张万平等,2011;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;李强等,2015)。

北带东段由晚三叠世至早白垩世地质体组成,部分地段被第四纪陆相沉积物覆盖。晚三叠世至早白垩世地质体主要有洋板块地层序列之蛇绿岩、混杂岩、海相复理石建造夹碳酸盐岩和火山岩建造的断夹片或断块体。蛇绿岩、蛇绿混杂岩、其他混杂岩很发育,呈带状展布,可见早侏罗世及其之后不同时期基性与中性岩脉侵入。混杂岩中发育二叠纪至早白垩世不同时期浅变质灰岩、浅变质砂岩、蛇绿岩、硅质岩及玄武岩等岩块,晚三叠世至早白垩世洋板块地层序列中均产有较丰富的放射虫等化石(耿全如等,2000,2011;叶培盛等,2006;钟立峰等,2006a,2006b;1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;李强等,2014)。北带东段的剖面特征如图8所示。

根据在蛇绿岩类获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄:(191.4±3.7)Ma(张万平等,2011)、(185.8±1.7)Ma(耿全如等,2011)、(162.9±2.8)Ma(钟立峰等,2006a),以及目前进行的西藏桑耶地区1:5万区域地质调查项目在原嘎学群(应为泽当群)下部(应为桑果组)晚侏罗世砾岩中发现了蛇绿岩的砾石,表明桑果组、嘎学群、泽当群与紧邻的蛇绿岩不是同时异相的产

物,而是不同时代的产物,并且在方辉橄榄岩中获得了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 单点年龄为(168±8)Ma,结合区域地质构造背景综合分析,北带蛇绿岩主要形成于早侏罗世至中侏罗世洋内俯冲环境,很可能被桑果组晚侏罗世海沟相沉积地层覆盖,并后期共同遭受了俯冲消减碰撞作用的改造。

3.2.2 蛇绿岩及其他岩浆岩成因分析

综合文献资料(Gopel et al., 1984;李达周等,1984;张旗等,1987,2001;张振利等,2003;1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万拉孜县幅区调报告,2003;王成善等,2005;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;叶培盛等,2006;钟立峰等,2006a,2006b;1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007;许荣科等,2009;耿全如等,2010,2011;李源等,2011;张万平等,2011;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;李强等,2014,2015;连东洋等,2014;刘飞等,2015;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015),北带中的蛇绿岩在西段呈断续带状分布,规模相对较小,但发育较齐全;在中段和东段呈较为连续的带状分布,规模相对较大,发育较齐全。岩性以方辉橄榄岩、二辉橄榄岩为主,纯橄岩、蛇纹岩、辉橄岩、辉石岩、辉长岩、玄武岩、玻安岩及基性岩墙次之,局部可见异剥钙榴岩等,岩石发生了不均匀浅变质。

其他岩浆岩(非蛇绿岩型岩浆岩)在各段中均有分布,但东段相对较多。主要有呈独立和夹层状产出的基性、中性、酸性火山岩,呈小岩体和岩脉产出的基性、中性与酸性侵入岩。

蛇绿岩之超基性岩与基性岩类的岩石化学地球化学、矿物化学地球化学特征,以具有亏损地幔岩的特点为主,少数具有富集和地幔柱地幔岩的特点。系列判别图解(如 TiO₂-Y、Y-Zr、Ti/Y-Nb/Y、Zr/

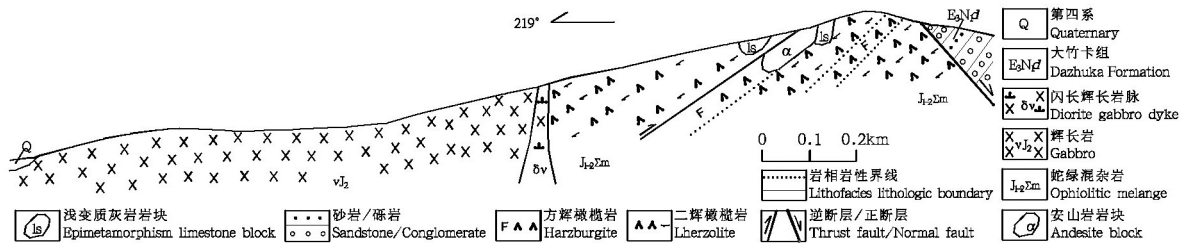


图7 普兰县玉谷蛇绿岩蛇绿混杂岩剖面图(据1:25万亚热等4幅资料编制)

Fig. 7 The profile of the Yugu ophiolites melange in Pulan County (modified from the 1:25000 geological map of ya're and other three maps)

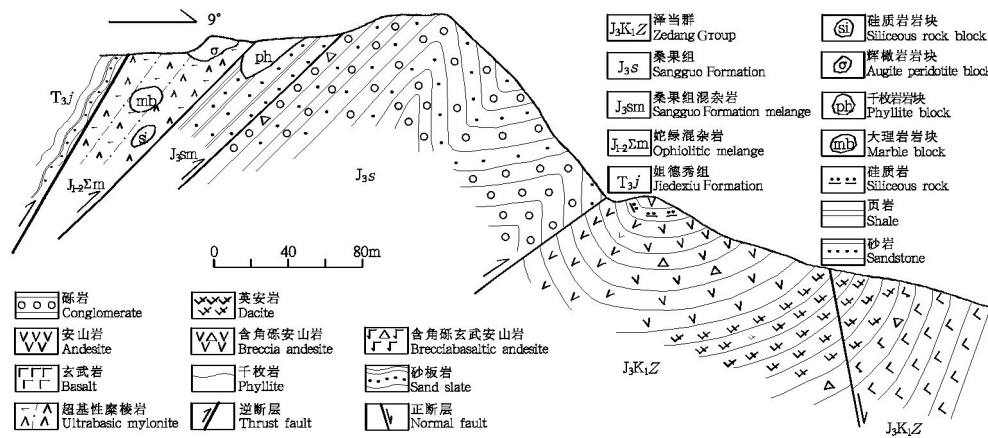


图8 扎囊县卓学竹味构造地质剖面图

Fig.8 Geological profile of Zhuoxuezhuka in Zha'nang County (modified from 1:50000 map of Sangye)

Y-Zr、Th/Yb-Ta/Yb等)中,位于洋中脊区、火山弧区,个别基性岩位于板内区。以往对北带蛇绿岩形成构造环境的认识不一致,主要有形成于洋中脊扩张构造环境、扩张的陆间洋盆、扩张的边缘盆地、弧间盆地洋盆、岛弧和弧后盆地环境、超俯冲作用、弧后扩张盆地、先形成洋中脊扩张构造环境后被洋内俯冲作用改造、洋内俯冲环境。

为了进一步研究蛇绿岩的特征,本文收集了北带蛇绿岩及其他岩浆岩岩石化学地球化学数据168件,对地球化学参数进行了计算和统计(表2,表5~6)和两种图解判别(图9,图10)。

(1)蛇绿岩:由表2可知,北带蛇绿岩的5个地球化学参数平均值除1个(Ti/V)与南带蛇绿岩相近外,其余4个均高于南带蛇绿岩一倍上下,显示南北两带蛇绿岩的地球化学性质和在形成构造环境上有重大差别。北带蛇绿岩的(La/Yb)_N > 1(2.54), Th/Yb、Nb/Yb、Ta/Yb也偏高,显示具有俯冲带上盘型(洋内俯冲型)蛇绿岩(SSZ型)的特征。在北带蛇绿岩中已有成型的铬铁矿矿床,也符合SSZ型蛇绿岩的特征。

在Th/Yb-Nb/Yb图解(图9)中,66个蛇绿岩样品点有62个(表5序号1~7、12~13、15~18、22~24、33~37、40~44、61~69、90~99、121、148~163)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ型)和前弧玄武岩类区(FAB型),1个(表5序号89)位于洋中脊蛇绿岩区(N-MORB型),3个(表5序号120、122~123)位于与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB型)。在V-Ti/1000图解(图10)中,35个蛇绿岩样品点有29个(表6序号1~7、11~12、14~17、28~31、39~47、49、

75~76)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ型)和前弧玄武岩类区(FAB型)、6个(表6序号27、35~38、48)位于洋中脊蛇绿岩区(MORB型)和与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB型)。图解判别结果主体显示了北带蛇绿岩形成于与洋内俯冲有关的俯冲带上盘构造环境(SSZ型蛇绿岩),与前述形成于洋内俯冲环境(许荣科等,2009;刘飞等,2015)的认识相吻合。

(2)晚侏罗世至早白垩世岩浆岩:以往研究认为该时期的岩浆岩形成于拉张、挤压和过渡的不同构造环境。岩石的5个地球化学参数平均值见表2,(La/Yb)_N > 1(3.16),显示了非洋中脊成因的特点;与北带蛇绿岩相比较,Th/Yb、Nb/Yb、Ta/Yb,偏低,(La/Yb)_N、Ti/V偏高,相差0.25~4.97倍;与南带侏罗纪至白垩纪岩浆岩相比较,除1个(Ti/V)较为接近外,(La/Yb)_N、Th/Yb、Nb/Yb、Ta/Yb均偏低相差0.84~2.38倍,显示了地球化学性质具有一定的特殊性。

在Th/Yb-Nb/Yb图解(图9)中,102个岩浆岩样品点有79个(表5序号8~10、14、20、25~32、38~39、45~51、55~60、70~82、85~86、88、100~113、124~132、138~144、164~168)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ型)和前弧玄武岩类区(FAB型),10个(表5序号84、87、133~137、145~147)位于洋中脊蛇绿岩区(N-MORB型),6个(表5序号114~119)位于陆缘蛇绿岩区(E-MORB型),7个(表5序号11、19、21、52~54、83)位于与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB型)。在V-Ti/1000图解(图10)中,45个样品点21个(表6序号8、13、33、50~54、57~59、62、65~68、71、73、78~80)位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ型)和前弧

表5 雅鲁藏布江结合带北带蛇纹岩及其他岩浆岩数据

Table 5 Data of ophiolite and other magmatic rocks in the northern belt of the Yarlung Zangbo suture zone

序号	岩性	时代	Th/Yb	Nb/Yb	备注	序号	岩性	时代	Th/Yb	Nb/Yb	备注
1	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.38	1.43		46	二长辉长岩	K ₁	4.90	22.55	
2	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	2.22	5.56		47	辉长岩	K ₁	0.94	1.42	
3	蛇纹岩	J ₁₋₂	2.81	8.10		48	辉绿岩	K ₁	2.90	6.16	
4	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	4.08	11.25		49	辉长辉绿岩	K ₁	3.99	8.74	
5	辉橄岩	J ₁₋₂	3.57	27.14	1:25万	50	玄武岩	K ₁	1.18	13.17	
6	辉橄岩	J ₁₋₂	1.11	7.22	日新等	51	玄武岩	K ₁	1.10	11.39	
7	单辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.59	14.12	3幅	52	玄武岩	K ₁	1.07	13.86	1:25万
8	玄武岩	J ₃ K ₁	2.38	19.44		53	玄武岩	K ₁	1.16	13.21	萨嘎县等
9	安山玄武岩	J ₃ K ₁	0.30	0.51		54	玄武岩	K ₁	1.42	16.89	3幅
10	角闪辉长岩	J ₃ K ₁	0.30	0.75		55	玄武岩	K ₁	1.38	14.72	
11	辉石安山岩	J ₃ K ₁	2.20	49.65		56	玄武岩	K ₁	7.00	13.48	
12	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.56	1.11	1:25万	57	玄武岩	K ₁	2.50	19.55	
13	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.18	1.18	亚热等	58	玄武岩	K ₁	1.00	8.97	
14	辉长岩	J ₃ K ₁	0.28	0.56	4幅	59	玄武岩	K ₁	1.63	15.83	
15	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.61	1.16		60	玄武岩	K ₁	0.49	4.77	
16	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.62	1.60		61	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	9.10	4.60	
17	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.80	1.02		62	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	4.60	2.30	
18	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.84	0.69	1:5万白塘错 等4幅	63	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	8.30	4.20	
19	辉绿岩	J ₃ K ₁	0.62	7.50		64	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	5.30	2.60	
20	辉绿岩	J ₃ K ₁	0.11	0.42		65	辉石岩	J ₁₋₂	0.70	0.60	
21	辉绿岩	J ₃ K ₁	2.80	32.92		66	辉石岩	J ₁₋₂	0.31	0.53	
22	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.00	1.00		67	辉长岩	J ₁₋₂	2.00	1.00	
23	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.33	0.33	连东洋等, 2014	68	辉长岩	J ₁₋₂	2.20	1.10	1:25万
24	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.00	2.00		69	辉长岩	J ₁₋₂	0.30	0.30	拉孜县幅
25	角闪辉长岩	K ₁	0.05	0.33		70	辉绿岩	K ₁	0.70	0.50	
26	角闪辉长岩	K ₁	0.05	0.34		71	辉绿岩	K ₁	0.51	0.51	
27	角闪辉长岩	K ₁	0.05	0.36		72	辉绿岩	K ₁	0.44	0.58	
28	角闪辉长岩	K ₁	0.04	0.33	刘飞等, 2015	73	辉绿岩	K ₁	0.62	0.56	
29	角闪辉长岩	K ₁	0.05	0.37		74	玄武岩	K ₁	0.52	0.52	
30	角闪辉长岩	K ₁	0.05	0.37		75	玄武岩	K ₁	0.40	0.40	
31	角闪辉长岩	K ₁	0.06	0.35		76	玄武岩	K ₁	0.31	0.31	
32	角闪辉长岩	K ₁	0.05	0.37		77	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.05	0.31	
33	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.24	0.24		78	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.05	0.31	
34	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.22	0.26		79	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.04	0.38	
35	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.07	0.13	李源等, 2011	80	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.03	0.28	
36	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.14	0.14		81	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.04	0.18	
37	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.28	0.50		82	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.99	10.11	李强等, 2015
38	玄武安山岩	K ₁	1.22	1.70	许荣科等, 2009	83	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.96	10.66	
39	玄武安山岩	K ₁	1.31	1.52		84	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.04	0.41	
40	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	2.17	2.17		85	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.05	0.34	
41	蛇纹岩	J ₁₋₂	10.00	0.79		86	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.03	0.33	
42	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.11	0.33	1:25万 萨嘎县等	87	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.04	0.42	
43	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.19	0.54	3幅	88	辉长辉绿岩	J ₃ K ₁	0.04	0.33	
44	辉长岩	J ₁₋₂	0.08	0.50		89	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.04	0.46	李强等, 2014
45	辉绿岩	K ₁	3.74	22.00		90	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.41	0.77	

续表5

序号	岩性	时代	Th/Yb	Nb/Yb	备注	序号	岩性	时代	Th/Yb	Nb/Yb	备注
91	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.47	2.04		130	玄武岩	J ₃ K ₁	3.52	3.18	
92	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.60	0.59		131	玄武岩	J ₃ K ₁	4.33	2.09	叶培盛等, 2006
93	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.28	0.81		132	玄武岩	J ₃ K ₁	2.93	2.32	
94	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.06	0.31		133	橄榄玄武岩	J ₃ K ₁	0.07	0.90	
95	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	2.06	3.33		134	橄榄玄武岩	J ₃ K ₁	0.07	0.78	
96	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.87	3.83		135	橄榄玄武岩	J ₃ K ₁	0.08	0.90	
97	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	3.29	12.43		136	帘石岩	J ₃ K ₁	0.05	0.57	
98	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.58	1.67		137	帘石岩	J ₃ K ₁	0.07	0.93	
99	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.47	3.88		138	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	0.08	0.56	
100	辉长岩	K ₁	0.09	0.28		139	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	0.08	0.45	钟立峰等, 2006b
101	辉长岩	K ₁	0.08	0.24		140	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	0.08	0.46	
102	辉长岩	K ₁	0.07	0.22		141	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	0.07	0.46	
103	辉长岩	K ₁	0.13	0.27		142	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	0.07	0.48	
104	辉长岩	K ₁	0.09	0.25		143	玻基熔岩	J ₃ K ₁	0.07	0.55	
105	辉长岩	K ₁	0.08	0.43	李强等, 2014	144	玻基熔岩	J ₃ K ₁	0.06	0.40	
106	辉长岩	K ₁	0.15	0.19		145	斜长玄武玢岩	J ₃ K ₁	0.09	1.06	
107	辉长岩	K ₁	0.08	0.18		146	斜长玄武玢岩	J ₃ K ₁	0.02	0.26	
108	辉长岩	K ₁	0.05	0.17		147	斜长玄武玢岩	J ₃ K ₁	0.07	0.77	钟立峰等,
109	玄武岩	J ₃ K ₁	0.03	0.18		148	变质基性岩类	J ₁₋₂	3.18	0.79	
110	玄武岩	J ₃ K ₁	0.03	0.14		149	变质基性岩类	J ₁₋₂	1.82	0.61	
111	玄武岩	J ₃ K ₁	0.03	0.10		150	变质基性岩类	J ₁₋₂	2.42	3.23	
112	玄武岩	J ₃ K ₁	0.03	0.09		151	变质基性岩类	J ₁₋₂	2.45	4.90	
113	玄武岩	J ₃ K ₁	0.15	0.30		152	变质基性岩类	J ₁₋₂	5.23	5.81	
114	玄武岩	J ₃ K ₁	0.24	3.16		153	变质基性岩类	J ₁₋₂	3.60	3.34	
115	玄武岩	J ₃ K ₁	0.22	3.14		154	变质基性岩类	J ₁₋₂	4.43	0.99	耿全如等, 2000
116	玄武岩	J ₃ K ₁	0.24	3.16		155	变质基性岩类	J ₁₋₂	2.00	4.67	
117	玄武岩	J ₃ K ₁	0.24	2.93		156	变质基性岩类	J ₁₋₂	7.77	1.94	
118	玄武岩	J ₃ K ₁	0.24	3.25		157	变质基性岩类	J ₁₋₂	6.67	2.22	
119	玄武岩	J ₃ K ₁	0.27	3.62		158	变质基性岩类	J ₁₋₂	2.36	1.58	
120	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	2.17	70.87		159	变质基性岩类	J ₁₋₂	0.15	0.40	
121	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	2.63	20.53		160	变质基性岩类	J ₁₋₂	2.74	7.62	
122	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.67	18.67		161	变质基性岩类	J ₁₋₂	1.14	1.71	
123	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	4.17	95.83		162	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.70	0.91	
124	辉长岩	J ₃ K ₁	0.05	0.40	叶培盛等, 2006	163	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	2.17	0.50	
125	辉长岩	J ₃ K ₁	0.08	0.58		164	玄武岩	J ₃ K ₁	0.14	0.40	
126	玄武岩	J ₃ K ₁	1.11	1.16		165	英安岩	J ₃ K ₁	0.05	0.18	本文
127	玄武岩	J ₃ K ₁	1.20	1.28		166	玄武岩	J ₃ K ₁	0.17	0.18	
128	玄武岩	J ₃ K ₁	1.17	1.14		167	安山岩	J ₃ K ₁	0.07	0.31	
129	玄武岩	J ₃ K ₁	1.16	1.08		168	玄武岩	J ₃ K ₁	0.31	1.53	

表6 雅鲁藏布江结合带北带蛇绿岩及其他岩浆岩数据(10⁻⁶)

Table 6 Data of ophiolite and other magmatic rocks in the northern belt of the Yalung Zangbo suture zone (10⁻⁶)

序号	岩性	时代	Ti /1000	V	备注	序号	岩性	时代	Ti /1000	V	备注
1	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.88	157		41	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.00	13	
2	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.22	52		42	含辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.00	9.10	
3	蛇纹岩	J ₁₋₂	0.17	30		43	含辉橄榄岩	J ₁₋₂	2.30	1.91	
4	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.26	52	1:25万	44	纯橄岩	J ₁₋₂	0.45	51	
5	辉橄岩	J ₁₋₂	0.17	36	日新等	45	纯橄岩	J ₁₋₂	0.45	49	
6	辉橄岩	J ₁₋₂	0.14	44	3幅	46	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.56	65	
7	单辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.15	32		47	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.32	43	
8	安山玄武岩	J ₃ K ₁	4.75	292		48	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.79	35	
9	角闪辉长岩	J ₃ K ₁	6.49	274		49	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.43	53	
10	辉石安山岩	J ₃ K ₁	13.37	315		50	玄武岩	J ₃ K ₁	5.23	313	1:25万
11	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.31	86	1:25万	51	玄武岩	J ₃ K ₁	1.34	196	拉萨市幅泽当镇幅
12	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.36	72	亚热等	52	玄武岩	J ₃ K ₁	3.40	235	
13	辉长岩	J ₃ K ₁	1.47	120	4幅	53	玄武岩	J ₃ K ₁	4.80	300	
14	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	10.10	529		54	玄武岩	J ₃ K ₁	5.50	29	
15	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.20	146	1:5万白塘错	55	玄武岩	J ₃ K ₁	7.80	356	
16	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.28	123	等4幅	56	玄武岩	J ₃ K ₁	8.30	317	
17	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.26	133		57	玄武岩	J ₃ K ₁	2.90	230	
18	辉绿岩	J ₃ K ₁	8.14	229		58	玄武岩	J ₃ K ₁	2.80	350	
19	角闪辉长岩	K ₁	4.47	200		59	玄武岩	J ₃ K ₁	2.50	190	
20	角闪辉长岩	K ₁	4.24	164		60	橄榄玄武岩	J ₃ K ₁	6.72	255	
21	角闪辉长岩	K ₁	4.06	167		61	橄榄玄武岩	J ₃ K ₁	5.82	264	
22	角闪辉长岩	K ₁	4.48	204	刘飞等	62	橄榄玄武岩	J ₃ K ₁	4.62	243	
23	角闪辉长岩	K ₁	4.83	173	2015	63	帘石岩	J ₃ K ₁	8.41	270	
24	角闪辉长岩	K ₁	4.71	172		64	帘石岩	J ₃ K ₁	7.95	275	
25	角闪辉长岩	K ₁	4.42	196		65	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	5.27	285	
26	角闪辉长岩	K ₁	4.83	164		66	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	5.06	286	钟立峰等
27	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.21	7.40		67	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	5.20	302	2006b
28	蛇纹岩	J ₁₋₂	0.30	0.09		68	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	5.41	317	
29	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.21	0.01	1:25万	69	粒状玄武岩	J ₃ K ₁	7.72	301	
30	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.29	0.01	萨嘎县等	70	玻基熔岩	J ₃ K ₁	6.64	303	
31	辉长岩	J ₁₋₂	6.58	0.13	3幅	71	玻基熔岩	J ₃ K ₁	5.03	328	
32	辉绿岩	K ₁	9.32	354		72	斜长玄武玢岩	J ₃ K ₁	7.84	221	
33	玄武岩	K ₁	11.41	225		73	斜长玄武玢岩	J ₃ K ₁	10.31	16	
34	玄武岩	K ₁	5.20	130		74	斜长玄武玢岩	J ₃ K ₁	6.67	263	
35	二辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.00	25		75	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.18	55	
36	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.00	48		76	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	0.20	62	
37	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.00	22	1:25万拉萨	77	玄武岩	J ₃ K ₁	4.00	175	本文
38	方辉橄榄岩	J ₁₋₂	1.00	36	市幅泽当镇幅	78	英安岩	J ₃ K ₁	1.67	7	
39	纯橄岩	J ₁₋₂	1.00	5.10		79	玄武岩	J ₃ K ₁	3.11	229	
40	纯橄岩	J ₁₋₂	1.00	52		80	安山岩	J ₃ K ₁	5.90	48	

玄武岩类区(FAB型),有24个(表6序号9~10、18~26、32、34、55~56、60~61、63~64、69~70、72、74、77)位于洋中脊蛇绿岩区(MORB型)和与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩区(OIB型)。

图解判别结果显示大多数位于俯冲带上盘型蛇绿岩区(SSZ型)和前弧玄武岩类区(FAB型),少数位于其他不同区域,表明主要形成于挤压构造环

境。晚侏罗世至早白垩世岩浆岩分布于北带蛇绿岩的南北两侧,由基性岩、中性岩和酸性岩组成,具有单峰式岩浆岩的特点。综合分析认为,该时期岩浆岩主要形成于洋内俯冲的前弧构造环境,部分与地幔柱岩浆活动有关。其他少数不一致性和多解性的矛盾,与南带侏罗纪至白垩纪岩浆岩成因解释相类似,很可能是受洋壳和地幔岩石的制约与混染

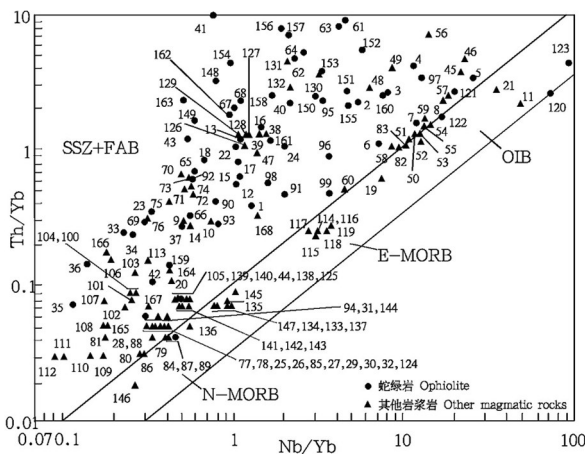


图9 北带蛇绿岩及其他岩浆岩 Th/Yb-Nb/Yb 图解
图中序号同表5; N-MORB—洋中脊蛇绿岩(亏损型); E-MORB—陆缘蛇绿岩(富集型); OIB—与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩; SSZ—俯冲带上盘型蛇绿岩; FAB—前弧玄武岩类
Fig.9 Th/Yb-Nb/Yb diagram of ophiolite and other magmatic rocks in the northern belt

The sequence number in the graph is the same as that of Table 5; N-MORB— mid oceanic ridge ophiolite (depleted type); E-MORB— epicontinental ophiolite (enrichment type); OIB— Ophiolite and Oceanic Isle Basalt related to the mantle plume; SSZ—Upper plate Ophiolite in subduction zone; FAB —Fore-arc Basalt rocks

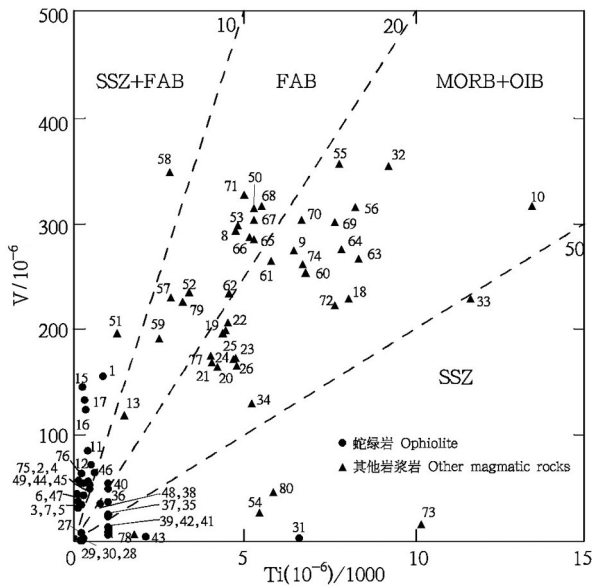


图10 北带蛇绿岩及其他岩浆岩 V-Ti/1000 图解
图中序号同表6; MORB—洋中脊蛇绿岩; OIB—与地幔柱有关蛇绿岩及洋岛玄武岩; SSZ—俯冲带上盘型蛇绿岩; FAB—前弧玄武岩类
Fig.10 V- Ti/1000 diagram of ophiolite and other magmatic rocks in the northern belt

The sequence number in the graph is the same as that of Table 6; MORB— Mid Oceanic Ridge Ophiolite; OIB— Ophiolite and Oceanic Isle Basalt related to the mantle plume; SSZ— Upper plate ophiolite in subduction zone; FAB —Fore-arc basalt rocks

和熔融外来物质量少所造成,如落入N-MORB区和E-MORB区的16个基性岩样品经 K_2O-Na_2O 图解(图略)判别主要为幔源型岩浆岩,少数为壳幔源型岩浆岩。

3.3 仁布一曲松褶皱冲带(朗杰学增生楔)

仁布一曲松褶皱冲带(朗杰学增生楔)位于雅鲁藏布江结合带东段,被夹持于南带与北带之间,呈近东西向带状展布(图1)。主要由晚三叠世朗杰学群组成,可见晚三叠世浅变质基性岩脉及早白垩世基性、中性与酸性岩小岩体和岩脉侵入。朗杰学群为一套泥砂质复理石建造,夹有少量碳酸盐岩和玄武岩,岩石发生了浅变质。构造变形以褶皱构造为主要特征,发育次级断裂。褶皱构造复杂,有规模大小不等、形态各异的复式向斜、复式背斜及层间同斜和斜歪复式小褶皱构造等(1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007;潘桂棠等,2013;王立全等,2013)。

晚三叠世浅变质玄武岩与浅变质辉绿岩的5个地球化学参数平均值见表2, $(La/Yb)_N > 1(4.78)$,显示了非洋中脊成因的特点;与喜马拉雅带二叠纪裂谷型基性岩相比较,大多数基本接近,可能暗示了其形成于拉张构造环境。

3.4 仲巴微地块

仲巴微地块位于雅鲁藏布江结合带西段,被夹持于南带与北带之间,呈北西至北西西向带状展布(图1)。地质特征与特提斯喜马拉雅带基本相似,以发育前寒武纪变质基底即泛非基底和发育从奥陶纪至三叠纪基本连续的、稳定至较稳定的、厚度达10000 m的沉积盖层为主要特征,岩石发生了浅变质。此外,在二叠纪地层中夹有浅变质基性火山岩层,在三叠纪地层中夹有深水相放射虫硅质板岩。可见侏罗纪至中新世中性与酸性岩脉及中新世花岗岩体分布。构造变形以褶皱构造为主,发育少量次级断裂构造,褶皱构造主要有大型复式背斜和中小型背向斜构造(1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;张振利等,2003,2007;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015)。

具有裂谷性质的二叠纪浅变质基性火山岩(1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;张振利等,2007;1:5万白塘错等4幅

区调报告,2015)的5个地球化学参数平均值见表2, $(La/Yb)_N > 1(13.56)$,显示了非洋中脊成因的特点;与喜马拉雅带二叠纪裂谷型基性岩相比较,多数基本接近,可能暗示了其形成于拉张构造环境。由浅变质基性火山岩代表的裂谷型基性岩浆作用,是冈瓦纳大陆北缘裂解和仲巴微地块由奥陶纪至泥盆纪被动陆缘稳定宽阔的台地型盆地转化为伸展裂陷大陆边缘盆地的岩浆标志,也是雅鲁藏布江特提斯洋在三叠纪扩张形成前奏的岩浆标志。

3.5 形成演化分析

根据雅鲁藏布江结合带和相邻相关构造单元地质构造特征的综合研究分析,对其形成演化过程进行了初步恢复总结。

3.5.1 前寒武纪

前寒武纪为变质基底形成发展阶段。前寒武纪变质基底仅在西段的仲巴微地块内有少量巴隆岩组出露,形成于新元古代早期,片麻理与片理总体走向呈近东西,发育束带状褶皱构造,为经5.5亿年左右泛非造山事件改造的基底结晶岩系。岩石组合以(含石榴)黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩为主,夹有透辉斜长变粒岩、石榴黑云石英片岩、石榴二云石英片岩、黑云石英片岩、细晶大理岩等,出露厚度达1931 m。主期区域变质程度达角闪岩相,又经受了后期绿片岩相的叠加变质改造(1:5万白塘错等4幅区调报告,2015)。

巴隆岩组所代表的前寒武纪变质基底与相邻喜马拉雅地块的变质基底特征一致,表明仲巴微地块是由喜马拉雅地块(冈瓦纳大陆北缘)后期裂解而来的地体。

3.5.2 寒武纪至泥盆纪

寒武纪至泥盆纪属原特提斯阶段,为稳定盖层形成时期。在雅鲁藏布江结合带缺失寒武系,表明在寒武纪时期处于隆起状态。

奥陶系至泥盆系在西段的仲巴微地块内有大量出露,为连续和稳定的、厚度较大的碳酸盐岩与复理石沉积建造,与相邻喜马拉雅地块的同期盖层特征一致,表明奥陶纪至泥盆纪时期同样处于冈瓦纳大陆北部边缘被动陆缘稳定宽阔的台地型盆地海相沉积环境。受侏罗纪至白垩纪挤压构造热事件作用的改造,岩石发生了绿片岩相区域变质,发育有大型复式背斜和中小型背向斜构造(1:25万萨

嘎县等3幅区调报告,2003;张振利等,2003,2007;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015)。

3.5.3 石炭纪至二叠纪

石炭纪至二叠纪属古特提斯阶段,为较稳定盖层形成时期。石炭系至二叠系在西段的仲巴微地块内有大量出露,在南带与北带混杂岩中也可见及,以连续和稳定至较稳定的、厚度较大的碳酸盐岩与复理石沉积建造为主,夹有裂谷型火山岩建造,与相邻喜马拉雅地块的同期盖层特征一致,表明石炭纪至二叠纪时期由奥陶纪至泥盆纪冈瓦纳大陆北部边缘被动陆缘稳定宽阔的台地型盆地海相沉积环境同样转化为伸展裂陷大陆边缘盆地环境,是雅鲁藏布江特提斯洋在三叠纪扩张形成的前奏。受侏罗纪至白垩纪挤压构造热事件作用的改造,岩石与奥陶系至泥盆系的岩石共同发生了绿片岩相区域变质,发育有大型复式背斜和中小型背向斜构造(1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;张振利等,2003,2007;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015)。

3.5.4 三叠纪

早中三叠世属古特提斯阶段,晚三叠世属中特提斯阶段,为雅鲁藏布江特提斯洋扩张形成时期。雅鲁藏布江特提斯洋是受班公湖—怒江特提斯泛大洋演化制约和相对于冈底斯复合造山带而言的弧后扩张洋盆(潘桂棠等,2004a,2004b,2006,2013;王立全等,2008a,2008b,2013)。

在南带、北带、仁布一曲松褶冲带及仲巴微地块各单元中不同程度的发育三叠系——洋板块地层,南带和仲巴微地块发育齐全,北带与仁布一曲松褶冲带只发育上三叠统。三叠系以深水至半深水相复理石建造为主,夹有碳酸盐岩和裂谷型火山岩及放射虫硅质岩建造,南带中有洋中脊N-MORB型蛇绿岩建造形成。受侏罗纪至白垩纪挤压构造热事件作用的改造,岩石与奥陶系至二叠系的岩石共同发生了绿片岩相区域变质,发育有大型复式褶皱和中小型背向斜及断裂构造,并有混杂岩形成(1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万拉孜

县幅区调报告,2003;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015)。

从各单元的物质组成分析,雅鲁藏布江特提斯洋在早三叠世至中三叠世中期开始裂解初步形成,中三叠世晚期至晚三叠世强烈扩张全面形成,扩张中心位于南带中。该时期形成的洋板块地层序列中下三叠统以穷果群为典型代表,中上三叠统以南带蛇绿岩为典型代表,上三叠统以修康群和朗杰学群为典型代表。中三叠世晚期至晚三叠世强烈扩张演化模式如图11所示。

3.5.5 侏罗纪至白垩纪

侏罗纪至白垩纪属中特提斯阶段,为雅鲁藏布江特提斯洋洋内俯冲和向北向冈底斯带之下主动俯冲、向南向喜马拉雅带之下被动俯冲逐步萎缩演化阶段,也是雅鲁藏布江结合带逐步形成阶段。

在南带、北带、仁布一曲松褶冲带及仲巴微地块各单元中不同程度的发育侏罗系至白垩系——洋板块地层,南带和北带发育齐全,而仁布一曲松褶冲带及仲巴微地块因后期抬升剥蚀目前已无保留。侏罗系至白垩系以深水至半深水相复理石、前弧型火山岩及放射虫硅质岩建造为主,夹有碳酸盐岩建造,北带中有与洋内俯冲有关的俯冲带上盘SSZ型蛇绿岩建造形成。同时,在南带中有修康群混杂岩、朗杰学群混杂岩及蛇绿混杂岩形成,北带中有拉沙组混杂岩、才巴弄组混杂岩、修康群混杂岩、朗杰学群混杂岩等形成;各单元有岛弧型基性

至酸性少量岩体和较多岩脉侵入。受古新世至始新世俯冲碰撞挤压作用的改造,岩石普遍碎裂化和糜棱岩化,部分岩石形成了混杂岩或呈断夹块状产出,部分地层发育中小型褶皱构造和次级断裂(1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万拉孜县幅区调报告,2003;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015)。

从各单元的物质组成分析,雅鲁藏布江特提斯洋在早侏罗世至晚白垩世期间发生了洋内俯冲和向北向冈底斯带之下主动俯冲、向南向喜马拉雅带之下被动俯冲逐步萎缩,洋内俯冲中心位于北带中。该时期形成的洋板块地层序列南带中以蛇绿混杂岩、修康群混杂岩、朗杰学群混杂岩、中下侏罗统达桑组、上侏罗统且嘎组、下白垩统折巴组及上白垩统桑单林组为典型代表;北带中以拉沙组混杂岩、才巴弄组混杂岩、曲嘎组混杂岩、中下三叠统穷果群断夹块、修康群混杂岩、朗杰学群混杂岩、中下侏罗统蛇绿岩、上侏罗统桑果组、上侏罗统至下白垩统嘎学群与泽当群、上白垩统金穷拉组为典型代表。侏罗纪至白垩纪期间雅鲁藏布江特提斯洋洋内俯冲与整体双向俯冲演化模式如图12和图13所示。

3.5.6 古近纪至第四纪

古新世至始新世属新特提斯阶段,为雅鲁藏布江结合带俯冲碰撞全面形成阶段;渐新世至第四纪属陆壳改造-高原隆升发展阶段,为雅鲁藏布江结合带后期改造阶段。

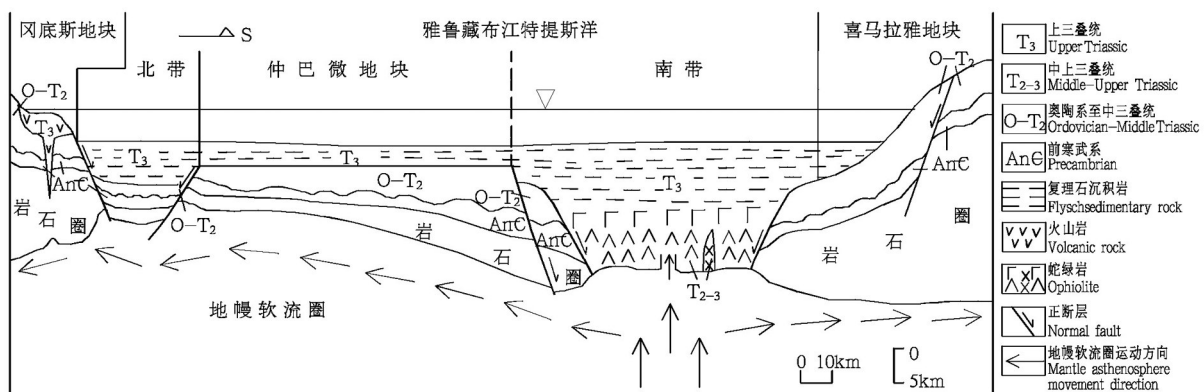


图11 雅鲁藏布江特提斯洋西段中三叠世晚期至晚三叠世扩张演化模式剖面示意图

Fig.11 Sketch geological profile of the expansion and evolution model of late Middle Triassic to Late Triassic of the western section of the Tethys Ocean, the Yarlung Zangbo

在南带中段西部至西段发育有较多古新统至始新统残留海相地层及相应混杂岩,在北带中段西部至西段也发育少量古新统至始新统残留海相地层,代表了洋板块地层序列中最晚的单元。南带西段部分地段被新近系至第四系陆相沉积物覆盖,南带中段、北带中段至西段及仲巴微地块部分地段被古近系至第四系陆相沉积物覆盖,东段部分地段被第四系陆相沉积物覆盖,表明雅鲁藏布江特提斯洋盆最终关闭的时间具有不一致性。在南带中段和仲巴微地块内有少量中新世花岗岩侵入。受古新世至始新世俯冲碰撞挤压作用改造,部分岩石形成了混杂岩;受渐新世至第四纪高原隆升作用改造,大部分前第四纪地质体不同程度的被剥蚀和发育少量断裂构造及宽缓褶皱构造等(1:25万萨嘎县等3幅区调报告,2003;1:25万拉孜县幅区调报告,2003;1:25万日新等3幅区调报告,2005;1:25万亚热县等4幅区调报告,2006;1:25万拉萨市等2幅区调报告,2007;潘桂棠等,2013;王立全等,2013;1:5万白塘错等4幅区调报告,2015)。

从各单元的物质组成分析,雅鲁藏布江特提斯洋在古新世至始新世俯冲碰撞消亡最终形成结合带,洋盆最终关闭的时间具有不一致性,东段相对较早,而中段与西段相对较晚,显示了由东向西由早到晚消亡的特点。到始新世末期最终形成的洋板块地层序列南带中以中下三叠统穷果群断夹块、中上三叠统蛇绿岩与蛇绿混杂岩、上三叠统修康群与修康群混杂岩及朗杰学群与朗杰学群混杂岩、中下侏罗统达桑组与达桑组混杂岩、上侏罗统且嘎组

与且嘎组混杂岩、下白垩统折巴组与折巴组混杂岩、上白垩统桑单林组与桑单林组混杂岩、古新统至始新统蹬岗组与蹬岗组混杂岩、始新统郭雅拉组与盐多组与盐多组混杂岩为典型代表;北带中以拉沙组混杂岩、才巴弄组混杂岩、曲嘎组混杂岩、中下三叠统穷果群断夹块、上三叠统修康群与修康群混杂岩及朗杰学群与朗杰学群混杂岩、中下侏罗统蛇绿岩与蛇绿混杂岩、上侏罗统桑果组与桑果组混杂岩、上侏罗统至下白垩统嘎学群与嘎学群混杂岩及泽当群与泽当群混杂岩、上白垩统金穷拉组断夹片为典型代表。

雅鲁藏布江结合带在古新世至始新世俯冲碰撞最终形成和渐新世至第四纪被隆升改造的特征具有不均衡性和复杂性,主要特征有以下三点。

(1)西段中浅部主要呈现北侧向北和南侧向南双向仰冲的演化模式(图14),处于整体相对变宽的状态,南北向最宽达110 km,最窄处达35 km;东段中西部也具有与西段相同的特点,南北向最宽达48 km,最窄处达12 km。

(2)中段主要呈现北侧整体继承侏罗纪至白垩纪时期的向北俯冲而南侧中浅部为新生的向南仰冲的演化模式(图15),处于北带相对变窄和南带相对变宽的状态,整体南北向最宽达41 km,最窄处达12 km。

(3)东段东部大拐弯处主要呈现整体一直继承侏罗纪至白垩纪时期北侧向北和南侧向南双向俯冲的演化模式(图16),处于整体相对变窄的状态,南北向最宽15 km左右,最窄处仅为2 km左右。

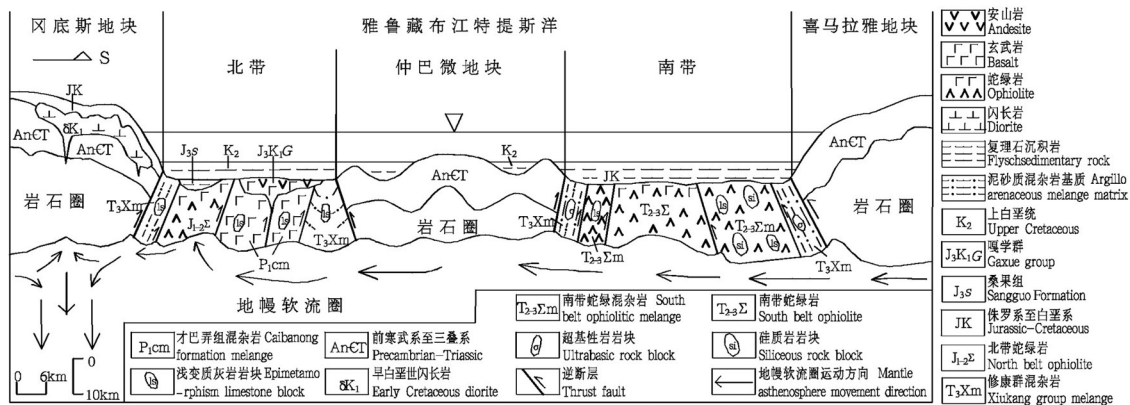


图12 雅鲁藏布江特提斯洋西段侏罗纪至白垩纪洋内俯冲与整体双向俯冲演化模式剖面示意图
 Fig.12 Sketch geological profile of the intra-oceanic subduction and overall bi-directional subduction evolution model of Jurassic to Cretaceous in the western section of the Tethys Ocean, the Yalung Zangbo

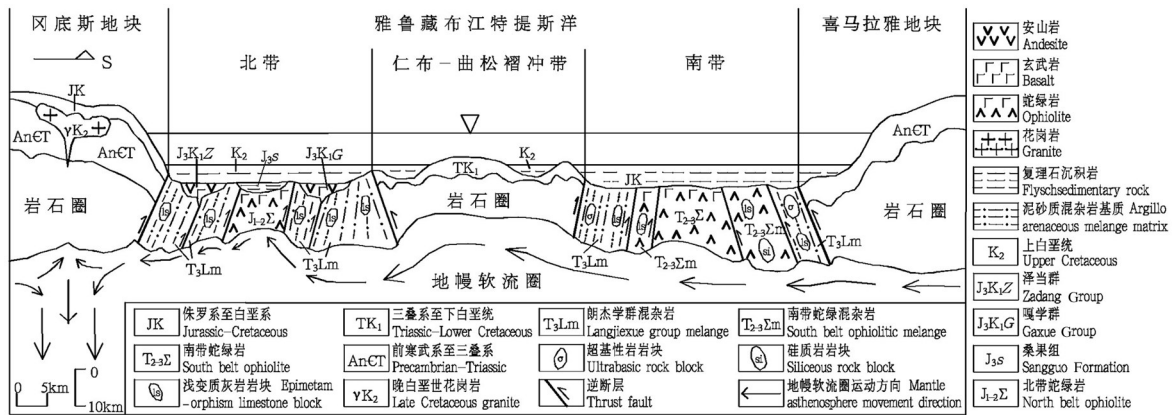


图 13 雅鲁藏布江特提斯洋东段侏罗纪至白垩纪洋内俯冲与整体双向俯冲演化模式剖面示意图
 Fig.13 Sketch geological profile of the intra-oceanic subduction and overall bi-directional subduction evolution model of Jurassic to Cretaceous in the eastern section of the Tethys Ocean, the Yarlung Zangbo

综上所述,雅鲁藏布江特提斯洋是受班公湖—怒江特提斯泛大洋演化制约和相对于冈底斯带而言的弧后扩张洋盆,从早三叠世至中三叠世中期开始裂解初步形成,中三叠世晚期至晚三叠世强烈扩张全面形成,在侏罗纪至白垩纪发生了洋内俯冲和向北向冈底斯带之下主动俯冲、向南向喜马拉雅地块之下被动俯冲逐步萎缩,到古新世至始新世俯冲碰撞消亡转化为结合带。南带的蛇绿岩主要形成于中三叠世晚期至晚三叠世洋中脊扩张构造环境为N-MORB型,在侏罗纪至白垩纪洋内俯冲和整体俯冲过程中,被俯冲到深部受到俯冲流体和熔融作用的不均衡改造(不同部位不同深度不同岩性受到不同程度的改造)。北带的蛇绿岩主要形成于早

中侏罗世与洋内俯冲有关的俯冲带上盘构造环境为SSZ型。在三叠纪至第四纪期间,雅鲁藏布江特提斯洋经历了形成与被改造,最终成为结合带,展示出现今横恒于青藏高原南部呈不规则带状展布的地质地理地貌景观,是特提斯构造发展演化的杰作之一。

4 讨论

关于蛇绿岩形成时代厘定的讨论:应选择基性岩墙岩脉岩石中锆石高精度同位素测年的最大年龄和相邻产出深水相最老放射虫硅质岩的时代结合地质构造背景综合来限定为妥。如:南带蛇绿岩在基性岩中获得 SHRIMP、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb

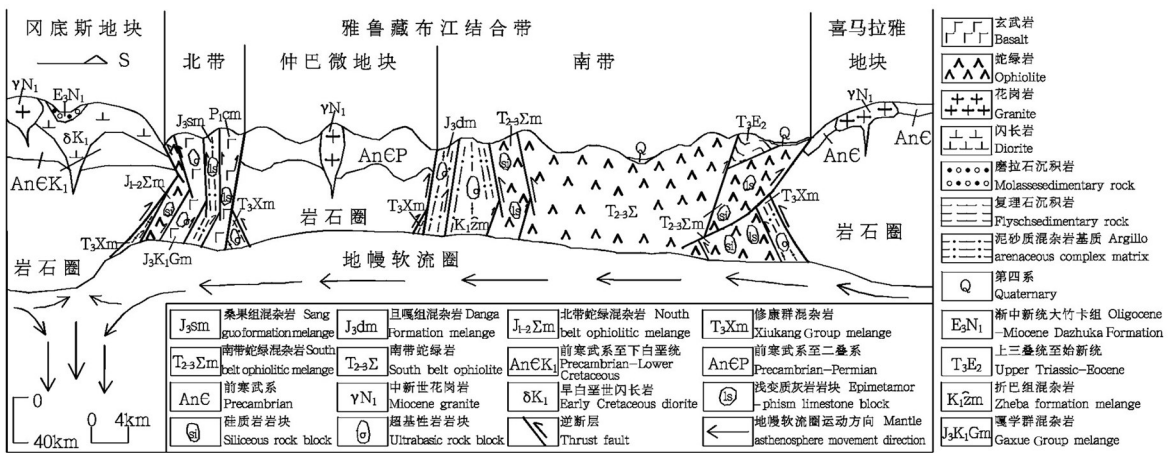


图 14 雅鲁藏布江结合带西段古近纪至第四纪俯冲碰撞和隆升改造演化模式剖面示意图
 Fig.14 Sketch geological profile of the subduction collision and uplift reconstructed evolution model of Paleogene to Quaternary in the western section of Yarlung Zangbo suture zone

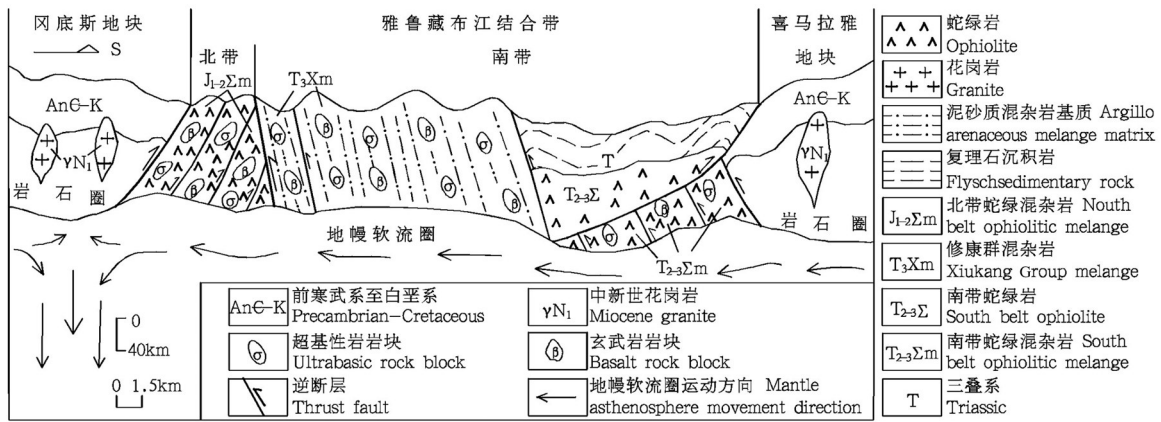


图15 雅鲁藏布江结合带中段古近纪至第四纪俯冲碰撞和隆升改造演化模式剖面示意图

Fig.15 Sketch geological profile of the subduction collision and uplift reconstructed evolution model of Paleogene to Quaternary in the middle section of Yarlung Zangbo suture zone

年龄有(233±9)Ma(1:25万拉萨市等2幅区调报告, 2007)、(207±29)Ma和(209±20)Ma(耿全如等, 2011)与在深水相硅质岩中发现的大量中三叠世晚期至晚三叠世放射虫化石(1:25万拉孜县幅区调报告, 2003; 1:25万亚热县等4幅区调报告, 2006)的时代相吻合, 综合厘定其形成时代为中三叠世晚期至晚三叠世; 北带蛇绿岩在基性岩中获得SHRIMP锆石U-Pb年龄有(191.4±3.7)Ma(张万平等, 2011)、(185.8±1.7)Ma(耿全如等, 2011)、(162.9±2.8)Ma(钟立峰等, 2006a)与目前进行的西藏桑耶地区1:5万

区域地质调查目在方辉橄榄岩中获得了LA-ICP-MS锆石U-Pb单点年龄为(168±8)Ma以及在相邻产出的晚侏罗世地层砾岩中发现了蛇绿岩的砾石所限定的时代相吻合, 综合厘定其形成时代为早中侏罗世。

另外, 还获得了一些晚侏罗世、早白垩世的锆石高精度同位素测年数据, 如北带泽当一带玄武岩为(154.9±2)Ma(刘维亮等, 2013)、角闪辉长岩为(129±0.8)Ma(陈艳虹等, 2015), 南带休古嘎布一带辉绿岩为(122.3±2.4)Ma(韦振权等, 2006)等。泽当南部一

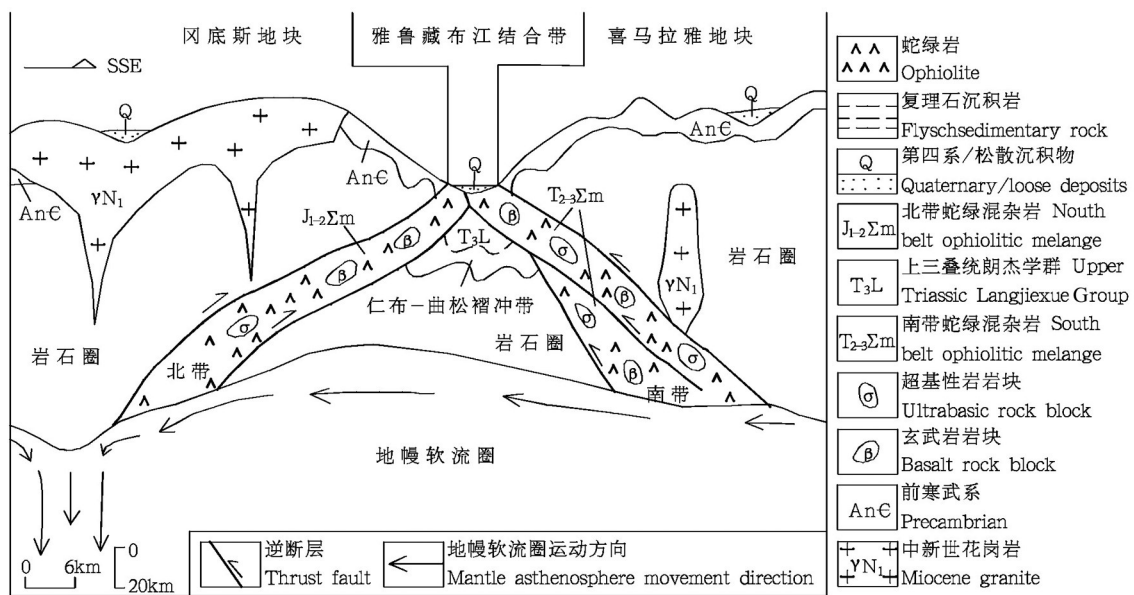


图16 雅鲁藏布江结合带东段大拐弯处古近纪至第四纪俯冲碰撞和隆升改造演化模式剖面示意图

Fig.16 Sketch geological profile of the subduction collision and uplift reconstructed evolution model of Paleogene to Quaternary in the big turning of the east section of Yarlung Zangbo suture zone

带的玄武岩应为嘎学群的岩石,而角闪辉长岩和休古嘎布一带辉绿岩是早白垩世基性岩浆活动叠加于蛇绿岩之中的产物,均不属于蛇绿岩的范畴。

5 结 论

(1)南带的蛇绿岩主要形成于中三叠世晚期至晚三叠世洋中脊扩张构造环境为N-MORB型,在侏罗纪至白垩纪洋内俯冲和整体俯冲过程中,被俯冲到深部受到俯冲流体和熔融作用的不均衡改造。

(2)北带的蛇绿岩主要形成于早中侏罗世与洋内俯冲有关的俯冲带上盘构造环境为SSZ型。

(3)雅鲁藏布江特提斯洋是受班公湖—怒江特提斯泛大洋演化制约和相对于冈底斯带而言的弧后扩张洋盆,从早三叠世至中三叠世中期开始裂解初步形成,中三叠世晚期至晚三叠世强烈扩张全面形成,在侏罗纪至白垩纪发生了洋内俯冲和向北向冈底斯带之下主动俯冲、向南向喜马拉雅地块之下被动俯冲逐步萎缩,到古新世至始新世俯冲碰撞消亡转化为结合带。

致谢: 本文是集体创作成果,对项目组邓科、米玛扎西等同志和引用参考文献的单位与专家学者及审稿专家在此致以衷心感谢。

References

- Chen Songyong, Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, Li Huaqi, Yang Yueheng. 2008. Study of Lu-Hf geochemical tracing and LA-ICPMS U-Pb isotopic dating of the Sumdo eclogite from the Lhasa block, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7): 1528-1538(in Chinese with English abstract).
- Chen Yanhong, Yang Jingsui, Zhang Lan, Xiong Fahui, Lai Shengmin. 2015. Mineralogical study of the hornblende gabbro in Zetang ophiolite, southern Tibet, and its genetic implications[J]. *Geology in China*, 42(5): 1421-1442(in Chinese with English abstract).
- Chongqing Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Southeast Sichuan Geological Brigade. 2015. People's Republic of China, 1:50000, Baitangcuo, Lengou, Gongzhucuo, Mayoumushankou area Regional Geological Survey Report[R](in Chinese with English abstract).
- Dong Xin, Zhang Zeming, Geng Guansheng, Liu Feng, Wang Wei, Yu Fei. 2010. Devonian magmatism from the southern Lhasa terrane, Tibetan Plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 2226-2232(in Chinese with English abstract).
- Geng Quanru, Pan Guitang, Liu Yuping, Zheng Lailin. 2000. The preliminary study of the ophiolitic melanges along the Yarlung Zangbo Grand Canyon, Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(1): 28-43(in Chinese with English abstract).
- Geng Quanru, Pan Guitang, Wang Liquan, Zhu Dicheng, Liao Zhongli. 2006. Isotopic geochronology of the volcanic rocks from the Yebe Formation in the Gangdise zone, Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(1): 1-7(in Chinese with English abstract).
- Geng Quanru, Peng Zhimin, Zhang Zhang. 2011. Geochronological study of the Yarlung Tsangpo ophiolite in the region of the Eastern Himalaya-Syntaxis[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(7): 1116-1127(in Chinese with English abstract).
- Gopel C, Allegre C J, Xu Ronghua. 1984. Lead isotope study of the Xigaze ophiolites (Tibet): The problem of the relationship between magmatites (gabbros, dolerites, lavas) and tectonites (harzburgites) [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 69: 301-310.
- Hebei Geological Survey Institute. 2003. People's Republic of China, 1:250000, Saga county, Sangsang, Jilong county Area Regional Geological Survey Report[R](in Chinese with English abstract).
- Hebei Geological Survey Institute. 2005. People's Republic of China, 1:250000, Rixin, Zhada County, Jianguyema Area Regional Geological Survey Report (in Chinese with English abstract).
- Hebei Geological Survey Institute. 2006. People's Republic of China, 1:250000, Yare, Pulan County, Huoerba, Babazhadong area Regional Geological Survey Report(in Chinese with English abstract).
- He Zhonghua, Yang Deming, Zheng Changqing, Wang Tianwu. 2006. Isotopic dating of the mamba granitoid in the Gangdise tectonic belt and its constraint on the subduction time of the Neotethys[J]. *Geological Review*, 52(1): 100-106(in Chinese with English abstract).
- Hubei Geological Survey Institute. 2003. People's Republic of China, 1:250000, Lazi County Area Regional Geological Survey Report[R]. (in Chinese with English abstract).
- Ji Wenhua, Chen Shoujian, Zhao Zhenming, Li Rongshe, He Shiping, Wang Chao. 2009. Discovery of the Cambrian volcanic rocks in the Xainza area, Gangdise orogenic belt, Tibet, China and its significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(9): 1350-1354(in Chinese with English abstract).
- Li Cai, Dong Yongsheng, Zhai Qingguo, Wang Liquan, Yan Quanren, Wu Yanwang, He Tongtong. 2008. Discovery of Eopaleozoic ophiolite in the Qiangtang of Tibet Plateau: Evidence from SHRIMP U-Pb dating and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(1): 31-36(in Chinese with English abstract).
- Li Dazhou, Wang Fengge, Zhang Qi, Zhou Yunsheng. 1984. Chemical characteristics of clinopyroxenes of volcanic rocks from the ophiolite of Bailang, Tibet[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (2): 149-156(in Chinese with English abstract).
- Li Fenqi, Liu Wei, Wang Baodi, Zhang Shizhen. 2012. The continuation of the subduction of Paleo-Tethys Ocean within

- Lhasa block in Early– Middle Triassic: Evidence from volcanic rocks and HP metamorphic rocks[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(2): 119–132(in Chinese with English abstract).
- Li Qiang, Xia Bin, Huang Qiangtai, Xia Lianze, Xia Zhongyu. 2014. The origin and evolution of Zedang ophiolite in the Eastern Yarlung– Zangbo suture zone, Southern Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(2): 145–166(in Chinese with English abstract).
- Li Qiang, Xia Bin, Wen Zhenhe, Xin Yanfang, Yuan Yajuan, Huang Qiangtai. 2015. Re– discussion on the tectonic evolution of the Xigaze ophiolite, Tibet[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 34(5): 993–1006(in Chinese with English abstract).
- Li Yuan, Yang Jingsui, Liu Zhao, Jia Yi, Xu Xiangzhen. 2011. The origins of Baer ophiolitic peridotite and its implication in the Yarlung Zangbo suture zone, southern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(11): 3239– 3254(in Chinese with English abstract).
- Lian Dongyang, Yang Jingsui, Xiong Fahui, Liu Fei, Wang Yunpeng, Zhou Wenda, Zhao Yijue. 2014. Composition characteristics and tectonic setting of the Dajiweng peridotite in the western Yarlung– Zangbo ophiolitic belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(8): 2164–2184(in Chinese with English abstract).
- Liu Fei, Yang Jingsui, Chen Songyong, Li Zhaoli, Lian Dongyang, Zhou Wenda, Zhang Lan. 2013. Geochemistry and Sr– Nd– Pb isotopic composition of mafic rocks in the western part of Yarlung Zangbo suture zone: Evidence for intra–oceanic supra–subduction within the Neo–Tethys[J]. *Geology in China*, 40(3): 742– 755(in Chinese with English abstract).
- Liu Fei, Yang Jingsui, Lian Dongyang, Zhao Hui, Zhang Lan, Zhang Li, Huang Jian. 2015. Genesis and characteristics of the western part of the Yarlung Zangbo ophiolites, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(12): 3609– 3628(in Chinese with English abstract).
- Liu Weiliang, Xia Bin, Liu Hongfei, Huang Wei, Zhou Guoqing, Wei Dongliang, Zhong Yun, Chen Yuqin. 2013. Zircon U– Pb dating of basalt from Zetang ophiolite in Tibet and its geological implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(9): 1356– 1361 (in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Zhu Dicheng, Wang Liquan, Liao Zhongli, Geng Quanru, Jiang Xinsheng. 2004a. Bangong Lake–Nu River suture zone– the northern boundary of Gondwanaland: Evidence from geology and geophysics[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 371– 382(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Wang Liquan, Zhu Dicheng. 2004b. Thoughts on some important scientific problems in regional geological survey of the Qinghai–Tibet Plateau[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(1): 12– 19(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, Zhu Dicheng, Wang Liquan, Li Guangming, Zhao Zhidan, Geng Quanru, Liao Zhongli. 2006. Spatial– temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521–533(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Wang Liquan, Zhang Wanping, Wang Baodi, Yuan Sihua, Wang Guocan, Li Rongshe, Mo Xuanxue, Zhang Kexin, Zhu Dicheng, Liu Hongfei, Feng Yimin, Yin Fuguang, Ji Wenhua, Luo Jianning, Yan Yangji, Wang Peisheng, Zheng Jiankang, Dong Guochen, Zhu Tongxing, Geng Quanru, Jiang Xinsheng, Wang Fangguo, He Shiping, Yao Dongsheng. 2013. Tectonic Map and Instructions in Qinghai–Tibet Plateau and Its Adjacent Regions (1:1.5million) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 24–105(in Chinese with English abstract).
- Song Shaowei, Liu Ze, Zhu Dicheng, Wang Qing, Zhang Lixue, Zhang Liangliang, Zhao Zhidan. 2014. Zircon U–Pb chronology and Hf isotope of the Late Triassic andesitic magmatism in Dajiacuo, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(10): 3100–3112(in Chinese with English abstract).
- The Geological Survey Institute of Tibet Autonomous Region. 2007. People's Republic of China, 1:250000, Lasa City, Zedang town, Area Regional Geological Survey Report(in Chinese with English abstract).
- Wang Chengshan, Li Yalin, Liu Zhifei, Li Xianghui, Tang Juxing, Rejean Hebert, Cote Dubois, Varfalvy V, Huot F. 2005. Yarlung–Zangbo ophiolites revisited: From Geological survey to mineral records[J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(3): 323–330(in Chinese with English abstract).
- Wang Liquan, Pan Guitang, Zhu Dicheng, Zhou Changyong, Yuan Sihua, Zhang Wanping. 2008a. Carboniferous–Permian island arc orogenesis in the Gangdise belt, Tibet, China: Evidence from volcanic rocks and geochemistry[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(9): 1509–1534(in Chinese with English abstract).
- Wang Liquan, Pan Guitang, Li Cai, Dong Yongsheng, Zhu Dicheng, Yuan Sihua, Zhu Tongxing. 2008b. SHRIMP U–Pb zircon dating of Eopal– eozoic cumulate in Guoganjianian Mt. from central Qiangtang area of northern Tibet– Considering the evolvement of Proto–and Paleo–Tethys [J]. *Geological Bulletin of China*, 27(12): 2045–2056(in Chinese with English abstract).
- Wang Liquan, Pan Guitang, Ding Jun, Yao Dongsheng, Luo Jianning, Yan Yangji, Zheng Jiankang, Wang Peisheng, Chen Yongmin, Mo Xuanxue, Zhang Kexin, Wang Guocan, Wang Baodi, Li Rongshe, Zhu Dicheng, Xiang Shuyuan, Liu Hongfei, Jiang Xinsheng, Zhu Tongxing, Yuan Sihua, Zhang Wanping, Ji Wenhua, Geng Quanru, Dong Guochen, Yin Fuguang. 2013. Geotectonic Map and Instructions in Qinghai–Tibet Plateau and Its Adjacent Regions (1: 1.500000) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 18–84(in Chinese with English abstract).
- Wei Zhenquan, Xia Bin, Zhang Yuquan, Wang Ran, Yang Zhiqing, Wei Dongliang. 2006. SHRIMP zircon dating of diabase in the Xiugugabu ophiolite in Tibet and its geological Implications[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(1): 93– 97(in Chinese with English abstract).

- Wu Xingyuan, Wang Qing, Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, Chen Yue, Jia Lili, Zheng Jianping, Mo Xuanxue. 2013. Origin of the Early Carboniferous granitoids in the southern margin of the Lhasa Terrane and its implication for the opening of the Songdo Tethyan Ocean[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(11): 3716–3730(in Chinese with English abstract).
- Xiong Fahui, Yang Jingsui, Li Yuan, Liu Zhao, Guo Guolin, Zhou Wenda, Chen Songyong, Li Yibing, Xu Xiangzhen, Niu Xiaolu. 2015a. Tectonic setting of Dongbo ophiolite in the western portion of the Yarlung Zangbo suture zone, Tibet[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 36(1): 31–40(in Chinese with English abstract).
- Xiong Fahui, Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, Lai Shengmin, Zhang Lan, Guo Guolin, Chen Yanhong, Zhao Hui. 2015b. The prospects of chromitite in ophiolite of Yarlun Zangbo suture zone, Tibet[J]. *Geology in China*, 42(5): 1535–1558 (in Chinese with English abstract).
- Xu Deming, Huang Guicheng, Lei Yijun. 2007. Origin of the Xiugugabu ophiolite massif, SW Tibet: Evidence from petrology and geochemistry [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(4): 490–501(in Chinese with English abstract).
- Xu Xiangzhen, Yang Jingsui, Guo Guolin, Li Jinyang. 2011. Lithological research on the Purang mantle peridotite in western Yarlung–Zangbo suture zone in Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(11): 3179–3196(in Chinese with English abstract).
- Xu Rongke, Zheng Youye, Feng Qinglai, Shan Liang, Wei Junhao, Zhang Xiang, Zhang Gangyang, Ma Guotao, Pang Yingchun. 2009. Radiolarian Chert and Island–Arc Volcanic Rocks in Xiapugou Tibet: Records of Neo–Tethys Intra–Oceanic Subduction System?[J]. *Earth Science*, 34(6): 884–894(in Chinese with English abstract).
- Ye Peisheng, Jiang Wan, Wu Zhenhan, Hu Daogong, Liu Qisheng. 2006. Geochemical characteristics of ophiolites in Zedang–Luobusha, Tibet and their tectonic significance[J]. *Geoscience*, 20(3): 370–377(in Chinese with English abstract).
- Yuan He, Luo Xianrong, Li Wuyi, Chen Wu. 2017. Geochemical characteristics and tectonic significance of lamprophyre in the Gudui Area of Tibet[J]. *Geology and Exploration*, 53(2): 300–309 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lingsen, Gao Li'e, Hou Kejun, Tang Suohan. 2012. Late Permian mafic magmatism along the Tethyan Himalayan Belt, southern Tibet and tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(6): 1731–1740(in Chinese with English abstract).
- Zhang Hongfei, Xu Wangchun, Guo Jianqiu, Zong Keqing, Cai Hongming, Yuan Honglin. 2007. Zircon U–Pb and Hf isotopic composition of deformed granite in the southern margin of the Gangdese belt, Tibet: Evidence for Early Jurassic subduction of Neo–Tethyan oceanic slab[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1347–1353(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Zhou Yunsheng, Li Dazhou. 1987. Sheeted dyke swarms in ophiolites of the Shigatse – Bailang area, Tibet[C]//Institute of geology, Chinese Academy of Sciences (edc.). *Petrology Study* (1). Beijing: Geological Publishing House, 65–80(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Zhou Guoqing. 2001. Ophiolites in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanping, Yuan Sihua, Liu Wei. 2011. Distribution and Research Significance of Ophiolite in Brahmaputra Suture Zone, Southern Tibet[J]. *Northwestern Geology*, 44(1): 1–9 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yujie, Liu Wei, Zhu Tongxing, An Xianyin, Liao Zhongli. 2014. Zircon U–Pb age and geochemistry of Early Cretaceous intrusive rocks in Maiba area of Xainza County, Tibet[J]. *Geology in China*, 41(1): 50–60(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhenli, Tian Lifu, Fan Yonggui, Sun Lixin, Jia Jiancheng, Fang Yongyong, Wu Xinguo, Wei Wentong, Lu Yanming, Guo Jincheng, Wang Lijun, Zhang Jidong, Li Guangdong, Sun Xiao, Li Xian, Ge Jian, Feng Guixing, Liu Lixin, Dong Shoujie. 2003. Research on Jilonggou's strata and research on the features of ophiolitesuite and mélanges of yaluzangbu, Saga district, South Tibet[M]. Beijing: Academic Publishing House, 107–184(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhenli, Zhuang Shaopeng, Li Guangdong, Zhang Jidong, Sun Xiao, Li Xian, Wang Lijun, Liu Hongzhang. 2007. Discovery of metabasaltic rocks in the Caibalong Formation in the Zhongba stratigraphic area, southern Tibet, China and their significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(4): 410–416(in Chinese with English abstract).
- Zhong Lifeng, Xia Bin, Zhou Guoqing, Zhang Yuquan, Wang Ran, Wei Dongliang, Yang Zhiqing. 2006a. SHRIMP age determination of the Diabase in Luobusa ophiolite, southern xizang (Tibet) [J]. *Geological Review*, 52(2): 24–229(in Chinese with English abstract).
- Zhong Lifeng, Xia Bin, Cui Xuejun, Zhou Guoqing, Chen Genwen, Wei Dongliang. 2006b. Geochemical characteristics and origin of the Luobusa ophiolite crust lavas in Xizang, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(2): 231–240(in Chinese with English abstract).
- Zhong Yun, Xia bin, Liu Weiliang, Xia Lianze, Xia Zhongyu, Wang Lihong. 2013. LA–ICP–MS zircon U–Pb age and genesis of Longbucun granite in Southern Gangdise Belt, Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(9): 1362–1370(in Chinese with English abstract).
- Zhou Wenda, Yang Jingsui, Zhao Junhong, Ma Changqian, Xiong Fahui, Xu Xiangzhen, Chen Yanhong, Tian Yazhou. 2015. Petrogenesis of peridotites from the Purang ophiolite in the western part of Yarlung Zangbo suture zone, southern Tibet: A new perspective[J]. *Geology in China*, 42(5): 1354–1378(in Chinese with English abstract).
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, Liao Zhongli, Jiang

- Xinsheng, Wang Liquan. 2004. Permian to Cretaceous volcanic activities in the central segment of the Tethyan Himalayas (I): distribution characteristics and significance[J]. Geological Bulletin of China, 23(7): 645–654(in Chinese with English abstract).
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Wang Liquan, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhou Changyong, Liao Zhongli, Dong Guochen, Yuan Sihua. 2008a. Spatial– temporal distribution and tectonic setting of Jurassic magmatism in the Gangdise belt, Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 27(4): 458–468(in Chinese with English abstract).
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Wang Liquan, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhou Changyong, Liao Zhongli, Dong Guochen, Yuan Sihua. 2008b. Tempo– spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt. Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting– related issues[J]. Geological Bulletin of China, 27(9): 1535–1550(in Chinese with English abstract).
- Zhu Tongxing, Pan Guitang, Feng Xintao, Zou Guangfu, Li Jianzhong. 2002. Discovery and tectonic significance of Permian Basic volcanic rocks in the Selong area on the northern slope of the Himalayas, southern Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 21(11): 717–722(in Chinese with English abstract).
- Zhu Tongxing, Zhang Qiyue, Dong Han, Wang Yujing, Yu Yuanshan, Feng Xintao. 2006. Discovery of the Late Devonian and Late Permian radiolarian cherts in tectonic mélanges in the Cêdo Caka area, Shuanghu, northern Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 25(12): 1413–1418(in Chinese with English abstract).
- 陈松永, 杨经绥, 徐向珍, 李化启, 杨岳衡. 2008. 西藏拉萨地块多石榴辉岩的锆石 Lu/Hf 同位素研究及 LA-ICPMS U–Pb 定年[J]. 岩石学报, 24(7): 1528–1538.
- 陈艳红, 杨经绥, 张岚, 熊发挥, 来盛民. 2015. 西藏泽当蛇绿岩中角闪辉长岩矿物学特征及其成因启示[J]. 中国地质, 42(5): 1421–1442.
- 重庆市地质矿产勘查开发局川东南地质大队. 2015. 中华人民共和国 1:5 万白塘错幅、冷欧幅、公珠错幅、马攸木山口幅区域地质矿产调查报告[R].
- 董昕, 张泽明, 耿官升, 刘峰, 王伟, 于飞. 2010. 青藏高原拉萨地体南部的泥盆纪花岗岩[J]. 岩石学报, 26(7): 2226–2232.
- 耿全如, 潘桂棠, 刘宇平, 郑来林. 2000. 雅鲁藏布大峡谷地区蛇绿混杂岩带初步研究[J]. 沉积与特提斯地质, 20(1): 28–43.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 朱弟成, 廖忠礼. 2006. 冈底斯带叶巴组火山岩同位素地质年代[J]. 沉积与特提斯地质, 26(1): 1–7.
- 耿全如, 彭智敏, 张璋. 2011. 喜马拉雅东构造结地区雅鲁藏布江蛇绿岩地质年代学研究[J]. 地质学报, 85(7): 1116–1127.
- 河北省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1:25 万萨嘎县幅、桑桑区幅、吉隆县幅区域地质调查报告[R].
- 河北省地质调查院. 2005. 中华人民共和国 1:25 万日新幅、札达县幅、姜叶玛幅区域地质调查报告[R].
- 河北省地质调查院. 2006. 中华人民共和国 1:25 万亚热幅、普兰县幅、霍尔巴幅、巴巴扎东幅区域地质调查报告[R].
- 和钟铎, 杨德明, 郑常青, 王天武. 2006. 冈底斯带门巴花岗岩同位素测年及其对新特提斯洋俯冲时代的约束[J]. 地质论评, 52(1): 100–106.
- 湖北省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1:25 万拉孜县幅区域地质调查报告[R].
- 计文化, 陈守建, 赵振明, 李荣社, 何世平, 王超. 2009. 西藏冈底斯构造带申扎一带寒武系火山岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 28(9): 1350–1354.
- 李才, 董永胜, 翟庆国, 王立全, 阎全人, 吴彦旺, 何彤彤. 2008. 青藏高原羌塘早中生代蛇绿岩——堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 岩石学报, 24(1): 31–36.
- 李达周, 王凤阁, 张旗, 周云生. 1984. 西藏白朗地区蛇绿岩火山岩中单斜辉石的化学特征[J]. 地质科学, (2): 149–156.
- 李奋其, 刘伟, 王保弟, 张士贞. 2012. 拉萨地块内部古特提斯洋早中三叠世仍在俯冲——来自火山岩和高压变质岩的证据[J]. 岩石矿物学杂志, 31(2): 119–132.
- 李强, 夏斌, 黄强太, 夏连泽, 夏中宇. 2014. 雅鲁藏布江蛇绿岩带东段泽当蛇绿岩起源及演化[J]. 地质学报, 88(2): 145–166.
- 李强, 夏斌, 温珍河, 信延芳, 袁亚娟, 黄强太. 2015. 西藏日喀则蛇绿岩构造环境再讨论[J]. 矿物岩石地球化学通报, 34(5): 993–1006.
- 李源, 杨经绥, 刘钊, 贾毅, 徐向珍. 2011. 西藏雅鲁藏布江缝合带西段巴尔地幔橄榄岩成因及构造意义[J]. 岩石学报, 27(11): 3239–3254.
- 连东洋, 杨经绥, 熊发挥, 刘飞, 王云鹏, 周文达, 赵一珏. 2014. 雅鲁藏布江蛇绿岩带西段达机翁地幔橄榄岩组成特征及其形成环境分析[J]. 岩石学报, 30(8): 2164–2184.
- 刘飞, 杨经绥, 陈松永, 李兆丽, 连东洋, 周文达, 张岚. 2013. 雅鲁藏布江缝合带西段基性岩地球化学和 Sr–Nd–Pb 同位素特征: 新特提斯洋内俯冲的证据[J]. 中国地质, 40(3): 742–755.
- 刘飞, 杨经绥, 连东洋, 赵慧, 张岚, 张利, 黄健. 2015. 西藏雅鲁藏布江缝合带西段南北亚带蛇绿岩的成因探讨[J]. 岩石学报, 31(12): 3609–3628.
- 刘维亮, 夏斌, 刘鸿飞, 黄炜, 周国庆, 韦栋梁, 钟云, 陈玉琴. 2013. 西藏泽当蛇绿岩玄武岩 SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 32(9): 1356–1361.
- 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 廖忠礼, 耿全如, 江新胜. 2004a. 班公湖—怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据[J]. 地学前缘, 11(4): 371–382.
- 潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 2004b. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考[J]. 地质通报, 23(1): 12–19.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 朱弟成, 王立全, 李光明, 赵志丹, 耿全如, 廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521–533.
- 潘桂棠, 王立全, 张万平, 王保弟, 袁四化, 王国灿, 李荣社, 莫宣学, 张克信, 朱弟成, 刘鸿飞, 冯益民, 尹福光, 计文化, 罗建宁, 颜仰基, 王培生, 郑建康, 董国臣, 朱同兴, 耿全如, 江新胜, 王方国, 何世平, 姚冬生. 2013. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书(1:150 万). 北京: 地

- 质出版社, 24-105.
- 宋绍伟, 刘泽, 朱弟成, 王青, 张立雪, 张亮亮, 赵志丹. 2014. 西藏打加错晚三叠世安山质岩浆作用的锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素[J]. 岩石学报, 30(10): 3100-3112.
- 王成善, 李亚林, 刘志飞, 李祥辉, 唐菊兴, Rejean Hebert, Cote Dubois, Varfalvy V, Huot F. 2005. 雅鲁藏布江蛇绿岩再研究: 从地质调查到矿物记录[J]. 地质学报, 79(3): 323-330.
- 王立全, 潘桂棠, 朱弟成, 周长勇, 袁四化, 张万平. 2008a. 西藏冈底斯带石炭纪—二叠纪岛弧造山作用: 火山岩和地球化学证据[J]. 地质通报, 27(9): 1509-1534.
- 王立全, 潘桂棠, 李才, 董永胜, 朱弟成, 袁四化, 朱同兴. 2008b. 藏北羌塘中部果干加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[J]. 地质通报, 27(12): 2045-2056.
- 王立全, 潘桂棠, 丁俊, 姚冬生, 罗建宁, 颜仰基, 郑建康, 王培生, 陈永民, 莫宣学, 张克信, 王国灿, 王保弟, 李荣社, 朱弟成, 向树元, 刘鸿飞, 江新胜, 朱同兴, 袁四化, 张万平, 计文化, 耿全如, 董国臣, 尹福光. 2013. 青藏高原及邻区地质图及说明书(1:150万). 北京: 地质出版社, 18-84.
- 韦振权, 夏斌, 张玉泉, 王冉, 杨之青, 韦栋梁. 2006. 西藏休古嘎布蛇绿岩中辉绿岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 30(1): 93-97.
- 吴兴源, 王青, 朱弟成, 赵志丹, 陈越, 贾黎黎, 郑建平, 莫宣学. 2013. 拉萨地体南缘早石炭世花岗岩类的起源及其对松多特提斯洋开启的意义[J]. 岩石学报, 29(11): 3716-3730.
- 西藏自治区地质调查院. 2007. 中华人民共和国 1:25 万拉萨市幅、泽当镇幅区域地质调查报告[R].
- 熊发挥, 杨经绥, 李源, 刘钊, 郭国林, 周文达, 陈松永, 李毅兵, 徐向珍, 牛晓露. 2015a. 西藏雅鲁藏布江缝合带西段东波蛇绿岩的构造背景特征[J]. 地球学报, 36(1): 31-40.
- 熊发挥, 杨经绥, 徐向珍, 来盛民, 张岚, 郭国林, 陈艳虹, 赵慧. 2015b. 雅鲁藏布江缝合带蛇绿岩中铬铁矿的前景讨论[J]. 中国地质, 42(5): 1535-1558.
- 徐德明, 黄圭成, 雷义均. 2007. 西藏西南部休古嘎布蛇绿岩的成因: 岩石学和地球化学证据[J]. 大地构造与成矿学, 31(4): 490-501.
- 徐向珍, 杨经绥, 郭国林, 李金阳. 2011. 雅鲁藏布江缝合带西段普兰蛇绿岩中地幔橄辉岩的岩石学研究[J]. 岩石学报, 27(11): 3179-3196.
- 许荣科, 郑有业, 冯庆来, 陕亮, 魏俊浩, 张翔, 张刚阳, 马国桃, 庞迎春. 2009. 西藏札达县夏浦沟的放射虫硅质岩和岛弧火山岩: 新特提斯洋内俯冲体系的记录?[J]. 地球科学, 34(6): 884-894.
- 叶培盛, 江万, 吴珍汉, 胡道功, 刘琦胜. 2006. 西藏泽当—罗布莎蛇绿岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 现代地质, 20(3): 370-377.
- 袁和, 罗先熔, 李武毅, 陈武. 2017. 西藏古堆地区煌斑岩地球化学特征及其构造意义[J]. 地质与勘探, 53(2): 300-309.
- 曾令森, 高利娥, 侯可军, 唐索寒. 2012. 藏南特提斯喜马拉雅带晚二叠世基性岩浆作用及其构造地质意义[J]. 岩石学报, 28(6): 1731-1740.
- 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 宗克清, 蔡宏明, 袁洪林. 2007. 冈底斯南缘变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成: 新特提斯洋早侏罗世俯冲作用的证据[J]. 岩石学报, 23(6): 1347-1353.
- 张旗, 周云生, 李达周. 1987. 西藏日喀则—白朗地区蛇绿岩中的席状岩墙群[C]//中国科学院地质研究所主编. 岩石学研究(1)[C]. 北京: 地质出版社, 65-80.
- 张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 地质出版社.
- 张万平, 袁四化, 刘伟. 2011. 青藏高原南部雅鲁藏布江蛇绿岩带的时空分布特征及地质意义[J]. 西北地质, 44(1): 1-9.
- 张予杰, 刘伟, 朱同兴, 安显银, 廖忠礼. 2014. 西藏申扎县买巴地区早白垩世侵入岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学[J]. 中国地质, 41(1): 50-60.
- 张振利, 田立富, 范永贵, 孙立新, 贾建称, 方勇勇, 吴新国, 魏文通, 鲁艳明, 郭金城, 汪立军, 张计东, 李广栋, 孙肖, 李先, 葛健, 冯桂兴, 刘立新, 董守杰. 2003. 藏南吉隆沟地层与萨嘎段雅鲁藏布江蛇绿岩混杂岩带特征研究[M]. 北京: 学苑出版社, 107-184.
- 张振利, 专少鹏, 李广栋, 张计东, 孙肖, 李先, 汪立军, 刘洪章. 2007. 藏南仲巴地层分区才巴弄组变质玄武质火山岩的发现及其意义[J]. 地质通报, 26(4): 410-416.
- 钟立峰, 夏斌, 周国庆, 张玉泉, 王冉, 韦栋梁, 杨之青. 2006a. 藏南罗布莎蛇绿岩辉绿岩中锆石 SHRIMP 测年[J]. 地质评论, 52(2): 224-229.
- 钟立峰, 夏斌, 崔学军, 周国庆, 陈根文, 韦栋梁. 2006b. 藏南罗布莎蛇绿岩壳层熔岩地球化学特征及成因[J]. 大地构造与成矿学, 30(2): 231-240.
- 钟云, 夏斌, 刘维亮, 夏连泽, 夏中宇, 王利红. 2013. 西藏南冈底斯带拢布村花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其成因[J]. 地质通报, 32(9): 1362-1370.
- 周文达, 杨经绥, 赵军红, 马昌前, 熊发挥, 徐向珍, 陈艳虹, 田亚洲. 2015. 西藏雅鲁藏布江缝合带西段普兰蛇绿岩地幔橄辉岩成因: 一种新认识[J]. 中国地质, 42(5): 1354-1378.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 廖忠礼, 江新胜, 王立全. 2004. 藏南特提斯喜马拉雅带中段二叠纪—白垩纪的火山活动(I): 分布特点及其意义[J]. 地质通报, 23(7): 645-654.
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 莫宣学, 赵志丹, 周长勇, 廖忠礼, 董国臣, 袁四化. 2008a. 西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境[J]. 地质通报, 27(4): 458-468.
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 莫宣学, 赵志丹, 周长勇, 廖忠礼, 董国臣, 袁四化. 2008b. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题讨论[J]. 地质通报, 27(9): 1535-1550.
- 朱同兴, 潘桂棠, 冯心涛, 邹光富, 李建忠. 2002. 藏南喜马拉雅北坡色龙地区二叠系基性火山岩的发现及其构造意义[J]. 地质通报, 21(11): 717-722.
- 朱同兴, 张启跃, 董瀚, 王玉净, 于远山, 冯心涛. 2006. 藏北双湖地区才多茶卡一带构造混杂岩中发现晚泥盆世和晚二叠世放射虫硅质岩[J]. 地质通报, 25(12): 1413-1418.