

## 青藏高原南部洋板块地质重建及科学意义

李光明<sup>1</sup>, 张林奎<sup>1</sup>, 吴建阳<sup>1</sup>, 解超明<sup>2</sup>, 朱利东<sup>3</sup>, 韩芳林<sup>4</sup>

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都; 2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春;  
3. 成都理工大学, 四川 成都; 4. 陕西省地质调查院, 陕西 西安)

**摘要:**在复杂碰撞造山带中发现、识别和重建能够揭示从洋中脊形成到海沟俯冲消亡洋陆转换过程的洋板块地层(OPs)单元及岩石组合序列,是大陆动力学研究的重大课题。本文在冈底斯地块南部与雅鲁藏布江结合带东段地区发现和识别出大量洋岛、海山、洋内弧、楔顶盆地、大洋盆地等洋板块地层。通过对该洋板块地层岩石组合序列、产出状态与变形变质特征与形成时代、构造环境等的初步研究,得出如下新的认识:(1)新发现的洋板块地层单元是雅鲁藏布江结合带东段在特提斯洋演化过程俯冲消减而形成增生杂岩带的重要组成部分;(2)在青藏高原南部古特提斯和新特提斯洋同时存在并连续演化;(3)南冈底斯带在中生代具有新特提斯增生楔和增生弧的地质背景,并且该增生楔是冈底斯南缘加厚新生下地壳的重要物质组成部分,对斑岩铜矿的形成起了促进作用。

**关键词:**雅鲁藏布江结合带东段;洋板块地质;重建;特提斯演化;意义

**中图分类号:**P542.4

**文献标识码:**A

俯冲增生杂岩带(Subduction Accretion Complexes Zone)被视为大洋板块俯冲的直接产物,也称增生楔、增生棱柱体或消减杂岩,是由大洋板块在俯冲消减过程中形成的由不同时代、不同构造环境、不同变质程度和不同变形样式的各类岩石所组成的构造地层或岩石的组合体,代表了洋板块汇聚、俯冲、消亡的遗迹<sup>[1,2,3,4]</sup>。俯冲增生杂岩带通常包括洋壳残片(蛇绿混杂岩)、洋岛、海山、洋内弧、大洋盆地沉积物、深海浊积扇、高压-超高压变质岩等多种不同的岩石单元,蕴藏着洋板块特殊的沉积建造、岩浆岩组合、变质作用、构造形迹、成矿作用和地球物理场、地球化学场特征等丰富的地质信息,记录了大洋板块从洋中脊形成到海沟俯冲消亡洋陆转换的全过程和大陆增生的轨迹。因此,在复杂造山带中发现识别和重建大陆中消亡的大洋板块地层组合序列是当代大陆动力学与大地构造研究的重大前沿<sup>[5]</sup>。

位于青藏高原南部地区的冈底斯-喜马拉雅巨型造山系包括了冈底斯弧盆系、雅鲁藏布江结合带和喜马拉雅地块等多个二级构造单元,可进一步

划分为隆格尔-工布江达复合岛弧带(C-K)、唐加-松多蛇绿混杂岩带(C-T)、冈底斯-下察隅火山岩浆弧(J-E)、日喀则弧前盆地(K)、雅鲁藏布蛇绿混杂岩带(T-K)、郎杰学增生杂岩带(T<sub>3</sub>)等多个重要的三级构造单元<sup>[6]</sup>(图1)。

由于冈底斯-喜马拉雅造山系的形成经历了长期的特提斯增生造山和强烈的亚洲-印度大陆碰撞造山过程<sup>[6,7]</sup>,造山系中发育的各类不同性质的沉积盆地、大规模的多期岩浆作用和强烈的构造变形与变质作用,不仅记录了青藏高原南部自古特提斯构造演化大陆增生造山过程和亚洲-印度大陆碰撞造山作用过程的重要信息,同时该地区还发育有多条重要的巨型金属成矿带(如念青唐古拉铅锌成矿带、冈底斯铜多金属成矿带、雅鲁藏布江金铬成矿带、喜马拉雅稀有金属与铅锌锑成矿带等)而备受地学界所瞩目,但是关于该地区主要构造单元在特提斯增生阶段的构造属性、形成演化过程与成矿地质背景长期存在争议<sup>[6-10]</sup>。

笔者及团队在青藏高原南部的冈底斯南东段及雅鲁藏布江地区开展野外地质调查工作中,新发

**收稿日期:**2019-11-23; **改回日期:**2020-02-01

**作者简介:**李光明(1965-),男,研究员,长期从事青藏高原区域地质及成矿规律研究。

**资助项目:**地质调查项目(DD20160015, DD20190147),国家自然科学基金重点项目(91955208)与国家重点研发计划项目(2016YFC0600308)联合资助。

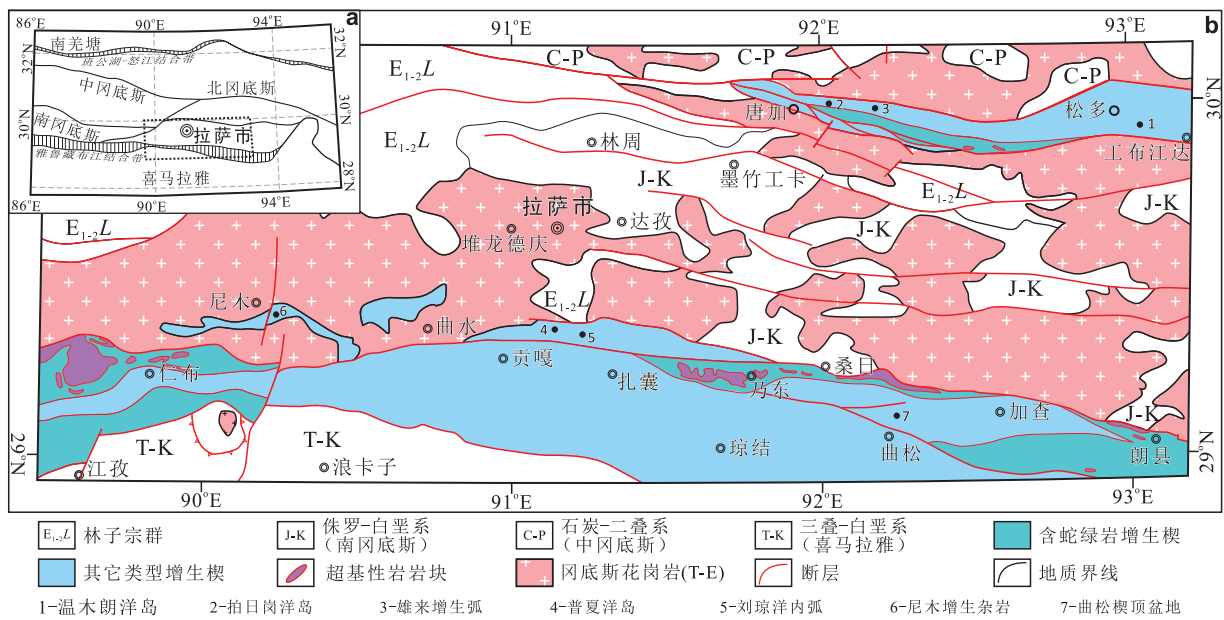


图1 西藏冈底斯-喜马拉雅地区区域地质构造略图

Fig. 1 Schematic Geologic Map of Eastern Gandise Region

现了大量以洋岛、海山、洋内弧、大洋盆地、蛇绿混杂岩等为代表的洋板块地层单元,并对其岩石组合特征、产出状态、变形变质特征、岩石地球化学特征、形成时代等进行了初步研究,厘定出唐加-松多、尼木、普夏-刘琼、泽当-罗布莎、朗杰学等一系列不同岩石组合的增生杂岩带,并初步确定其时代,为进一步精细刻画青藏高原南部地区雅鲁藏布江结合带东段特提斯演化、大陆俯冲消减、大陆增生-碰撞造山的详细过程以及深入揭示该地区的成矿地质背景提供了新的资料。

## 1 唐加-松多古特提斯增生杂岩带的确立

唐加-松多地区位于冈底斯东段的中南部,下巴淌幅1:20万区域地质调查发现该地区沿洛巴堆-米拉山断裂带有一系列基性-超基性岩分布。自杨经绥等(2006)在该地区首次发现存在榴辉岩以来,众多的学者对榴辉岩、蓝片岩等高压-超高压变质岩的年代学、岩石化学、岩石成因和构造环境等进行了研究,由于没有发现完整的蛇绿混杂岩岩石组合等关键地质证据,关于该地区的构造属性与构造演化等长期存在争议。

针对前人在唐加-松多地区发现有榴辉岩与蓝片岩并对其地质特征、形成环境、产出状态等进行了初步研究的现状,该地区是否存在完整的蛇绿

岩组合及其发育时代、是否存在岛弧、大洋盆地沉积物记录等关键地质问题,地质调查二级项目部署开展了分别由吉林大学和成都理工大学承担的松多地区和唐加地区1:5万区域地质调查。在前人研究基础上,通过本轮的调查与研究,在唐加-松多一带新发现并识别出大量的洋壳残片、洋岛残片、深海盆地、楔顶盆地、榴辉岩等洋板块地层单元,明确提出在唐加-松多地区发育一条记录雅鲁藏布江结合带东段古特提斯演化残留的增生杂岩带<sup>[11]</sup>。

### 1.1 洋壳残片(蛇绿混杂岩)

唐加-松多地区的洋壳发育较为齐全,由超基性岩、基性岩、斜长花岗岩及绿片岩、云母石英片岩等岩石单元等组成了一条近东西向展布的蛇绿混杂岩带,延伸长度大于180km。在工布江达县温木朗蛇绿混杂岩剖面中,蛇绿岩的各岩石端元之间均为断层接触(图2)。超基性岩端元主要由方辉橄榄岩组成(多蚀变为蛇纹岩);基性岩端元出露最为广泛,主要由辉长岩、堆晶辉长岩和辉绿岩等组成,偶见堆晶辉长岩,它们与玄武岩和各类绿片岩、云母石英片岩等常相伴产出;酸性岩端元为少量的斜长花岗岩,主要呈岩脉状产出<sup>[12]</sup>。

吉林大学(2019)获得辉长岩的锆石U-Pb同位素年龄为 $263.1 \pm 2.7\text{Ma}$ ,获得2组辉绿岩锆石U-Pb同位素年龄分别为 $258.7 \pm 4.4\text{Ma}$ 、 $273.8 \pm 2.2\text{Ma}$ ;

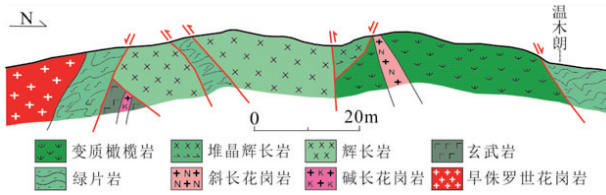


图2 西藏工布江达县温木朗蛇绿混杂岩剖面图(据吉林大学,2019)

Fig.2 Profile of Wenmulang ophiolite melange in Gongbujiangda county, Tibet

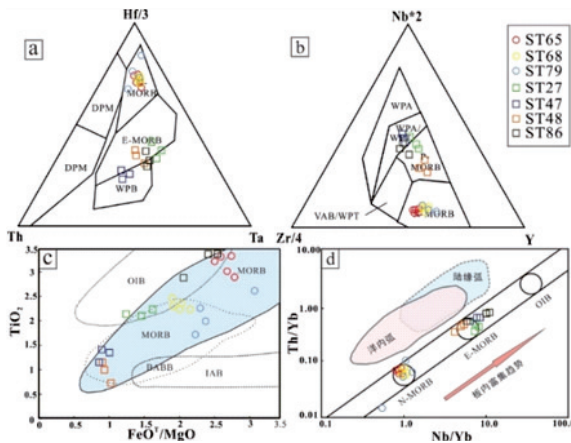


图3 松多温木朗地区基性岩地球化学图解(据吉林大学,2019)

(a) Hf/3-Th-Ta 图解(据 Wood et al., 1980) (b) Nb \* 2-Zr/4-Y 图解(据 Meschede, 1986) (c) FeO/MgO-TiO<sub>2</sub> 图解(据 Shuto et al., 2006) (d) Nb/Yb-Th/Yb 图解(据 Xu et al., 2002)

Fig.3 The geochemical diagrams of basite in Wenmulang Songduo area

获得斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为  $266.4 \pm 2.0$  Ma, 显示温木朗蛇绿岩形成的主体时代为中二叠世。岩石地球化学特征研究显示, 辉绿岩与辉长岩等形成于大洋中脊环境, 可进一步区分为 N-MORB 和 E-MORB 两类, 其中以 E-MORB 为主(图 3), 分别代表未被混染或受到轻微混染的亏损软流圈地幔和受到混染的亏损地幔。

### 1.2 拍日岗、温木朗二叠纪洋岛(海山)残片

该带新识别出多个洋岛残片, 均以构造岩片产出, 与增生杂岩带的走向一致, 以墨竹工卡县的拍日岗和工布江达县的温木朗洋岛残片最为典型<sup>[11,13]</sup>。其中拍日岗洋岛残片规模较大, 出露面积达  $24.9 \text{ km}^2$ , 在剖面结构上该洋岛残片由灰岩(常大理岩化)、含玄武岩团块灰岩与玄武岩、含灰岩团块玄武岩等不等厚互层组状成。灰岩以块状为主, 夹少量生物碎屑灰岩, 在灰岩中常见较多玄武岩团

块, 玄武岩中亦常见有灰岩的团块(图 4), 表明二者具有密切的空间关系。

对墨竹工卡县拍日岗洋岛的玄武岩进行锆石 U-Pb 定年, 获得 274Ma 的成岩年龄, 表明该洋岛形成于早二叠世(H46E013008, 成都理工大学, 2019)。对工布江达县温木朗地区与洋岛玄武岩一起产出的堆晶辉长岩和变质辉长岩进行锆石 U-Pb 定年, 分别获得  $260.6 \pm 3.1$  Ma 和  $268.5 \pm 1.9$  Ma 的年龄, 表明温木朗洋岛的形成时代为中二叠世<sup>[14]</sup>。

松多地区温木朗洋岛玄武岩仅呈构造岩片的形式保留, 灰岩岩石组合不发育, 但大量的岩石地球化学特征研究表明, 玄武岩轻稀土元素相对富集, 重稀土相对亏损, 无明显的 Eu 异常, 富集 Ba、Nb、Ta 和 Pb, 亏损 Rb、Th、U、Sr 等元素, 微量元素地球化学系列图解显示这些玄武岩具有典型洋岛玄武岩 OIB 型地球化学特征<sup>[14]</sup>(图 5)。

### 1.3 高压-超高压变质带

唐加-松多地区出露大量产于白石母石英片岩或石英片岩中, 呈透镜状产出的榴辉岩, 组成一条东西长度大于 120km, 宽 5~15km 的超高压变质带。榴辉岩透镜体大小不一, 大者可达数十米, 岩石类型包括金红石榴辉岩、石英榴辉岩、含蓝闪石榴辉岩、榴闪岩等<sup>[15,16,17,18]</sup>(杨经绥等, 2009; 陈松永, 2010)。1:5 万区域地质调查工作在唐加-松多地区亦发现大量的榴辉岩, 主要包括金红石榴辉岩和石英榴辉岩 2 种类型<sup>[19]</sup>, 个别新发现榴辉岩露头面积较大, 如龙崖松多发现的榴辉岩露头面积甚至可达  $1 \text{ km}^2$ 。

前人对该地区产出的榴辉岩、蓝片岩等超高压变质岩的岩石学、矿相学、原岩属性、年代学、变质作用等进行过较多的研究, 取得了一些重要的研究成果<sup>[8,15-17,20-23]</sup>。本次调查对新发现的榴辉岩进行原岩恢复, 发现松多地区榴辉岩的原岩较为复杂, 除 N-MORB 型外, 还发现较多的 E-MORB 型和 OIB 型、BABB 型榴辉岩。根据获得的大量同位素年龄, 结合前人研究成果, 发现唐加-松多超高压变质带榴辉岩的变质年龄有晚二叠世(258-274Ma)和中三叠世(227-238Ma)两期<sup>[21,23]</sup>, 并以晚二叠世为主; 获得的折返年龄也主要包括中三叠世(235-239Ma)和晚三叠世(~200Ma)2 期<sup>[21-23]</sup>。因此笔者初步认为, 唐加-松多地区的古特提斯洋壳可能经历了晚二叠世和中三叠世 2 次深俯冲作用, 这 2 次深俯冲地质过程存在明显的时间间隔, 由于在唐加-



图4 墨竹工卡县拍日岗洋岛野外照片(据成都理工大学,2019)

(a)厚层灰岩夹玄武岩透镜体;(b)玄武岩中的灰岩团块

Fig. 4 Field pictures of Pairigang OIB in Mozhugongka county

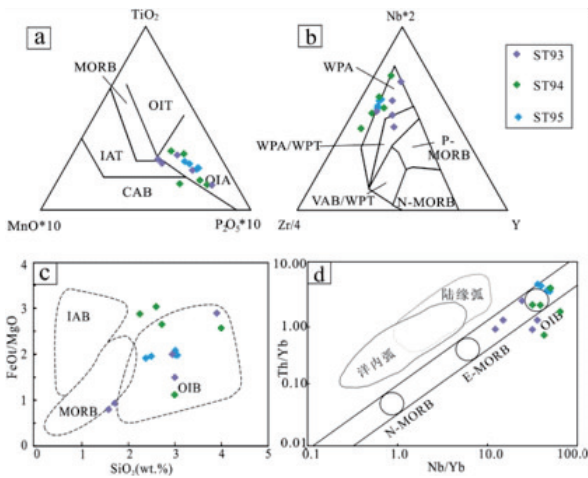


图5 墨竹工卡县拍日岗洋岛残片构造环境判别图解(据 Wang et al., 2019)

(a)  $\text{TiO}_2$ - $\text{MnO} \times 10$ - $\text{P}_2\text{O}_5 \times 10$  图解(据 Wood et al., 1980) (b)  $\text{Nb} \times 2$ - $\text{Zr}/4$ - $\text{Y}$  图解(据 Meschede, 1986) (c)  $\text{FeO}/\text{MgO}$ - $\text{SiO}_2$  图解(据 Shuto et al., 2006) (d)  $\text{Th}/\text{Yb}$ - $\text{Nb}/\text{Yb}$  图解(据 Xu et al., 2002)

Fig. 5 Tectonic environment discrimination diagram of fragments of Pairigang OIB in Mozhugongka county

松多带内未发现麻粒岩相叠加榴辉岩相的退变质现象,认为榴辉岩的折返可能经历了近等温降压的快速折返过程,由榴辉岩快速退变质至绿片岩相或角闪岩相,但可能的2次深俯冲的机制仍需开展进一步深入的研究。

#### 1.4 大洋盆地沉积

呈小型岩片状分布于唐加地区直孔电站南侧的格荣朗沟一带,以脆韧性断裂带与其它洋板块地层单元相隔,出露面积约  $5.5\text{km}^2$ 。岩石变形强烈,由灰绿色、紫红色中薄层状放射虫硅质岩、硅泥岩

及含碳质泥岩、含菱锰矿硅泥岩等组成,硅质岩和硅泥岩中多发育水平纹层,代表了较为典型的大洋盆地沉积组合<sup>[13]</sup>,由于发育强烈的变形变质作用,未获得可以确定时代的放射虫化石。

#### 1.5 松多岩组沉积环境与时代再认识

唐加-松多一带广泛发育的松多岩组由青海区调队在开展下巴淌幅 1:20 万区调时创建,并根据获得的 Sm-Nd 等同位素年龄将其暂置于前奥陶纪。目前研究者普遍认为,这套地层主体由石英岩、变质石英砂岩、变质砂岩、白云母石英片岩、绢云石英片岩、二云(长石)石英片岩、白云母片岩和黑云石英片岩等组成,并多经历了中高级变质作用和强烈构造变形的改造,被认为属于一套局部有序而总体无序的构造地层,关于这套岩石的时代与形成背景也长期存在争议<sup>[8,16,18,20,24]</sup>。

1:5 万区域地质调查发现,广泛分布于唐加-直孔-查松多-松多-白朗-吉朗一带的松多岩组,的变质程度差异较大,部分地区的松多岩组仅发育中-浅变质作用且保留有较好的沉积构造,具有类复理石-复理石沉积建造特征,可大致分为中厚层中-细砂岩夹泥岩组合、细砂岩与泥岩互层组合以及粉-细砂岩与硅泥质岩互层组合等3类,研究认为,它们分别代表了弧前斜坡近陆隆到海沟盆地的不同部位的海底扇沉积组合,其中夹有规模不等的透镜状砂体,可能代表了水下扇的水道沉积。

解超明等(2019)对松多岩组的砂岩进行碎屑锆石测年,获得最年轻的锆石 U-Pb 年龄介于  $316 \sim 370\text{Ma}$  之间,表明其沉积年龄至少可延续到  $316\text{Ma}$  之后<sup>[25]</sup>;成都理工大学(2019)对其中的凝灰岩夹层

进行锆石 U-Pb 定年,获得最年轻的岩浆锆石的年龄为 304 Ma<sup>[13]</sup>。结合区域地层的时代、调查区北部的念青唐古拉一带存在有较多 270 ~ 366Ma 的岩浆作用的报道<sup>[24,26]</sup> 等事实,笔者认为,松多岩组的主体时代可能为晚石炭世 - 早二叠世,与念青唐古拉地区广泛发育的诺错组( $C_1n$ )、来姑组( $C_2P_1l$ )和洛巴堆组( $P_1$ )等地层的时代相当。

### 1.6 晚三叠世弧花岗岩

三叠纪弧花岗岩主要分布于工布江达县松多镇的白琼朗等地区,岩体呈岩株状侵位于松多岩组之中。岩石类型以花岗闪长岩为主,在岩体中见大量同时代的暗色包体,包体与寄主岩石界线清晰,表明在岩浆源区发生过岩浆混合作用。大量的测年结果表明,岩浆岩可大致分为晚三叠世早期(230Ma)和晚三叠世末期(200Ma)两期。这些花岗岩与暗色包体的  $\varepsilon_{Hf}(t)$  值介于 -23.1 ~ -3.6 之间,均表现为负的,表明这些岩石的起源可能与拉萨地块内的古老下地壳的部份熔融有关<sup>[27]</sup>,花岗岩的岩石地球化学研究显示,岩石大离子亲石元素(LILEs)(如 Rb、Th、U 和 K)与轻稀土元素(LREE)富集,亏损 Nb、Ta 和 Ti 等高场强元素,具有典型的

弧花岗岩特征。在空间上,由于这套时代为 230 ~ 200Ma 的弧花岗岩主体分布于唐加 - 松多古生代增生杂岩的北侧,因此笔者认为它们的形成与古特提斯洋向北的俯冲有关。

### 1.7 晚三叠世 - 早侏罗世增生弧(雄来组)

雄来组是唐加地区 1:5 万区域地质调查调查新厘定的岩石地层单元,该套地层以角度不整合覆盖于具强烈变形变质特征的松多岩组(图 6)或二叠纪洋岛增生楔之上。在剖面上该组地层底部见底砾岩,厚度大于 100m,砾径 5 ~ 20cm,大者达 120cm,砾石成分以片理化基性 - 超基性火山岩、石英岩、白云母石英片岩为主,并有大理岩、榴辉岩等成分的砾石,但未见花岗岩砾石。岩性上雄来组表现为一套碎屑 - 火山岩岩石组合,以两套碎屑岩夹中基性火山岩为特征,火山岩的岩石地球化学特征显示其形成于岛弧环境,砂岩中局部含植物化石碎片,对碎屑岩和火山岩的锆石 U-Pb 测年结果表明雄来组的时代为晚三叠世 - 早侏罗世。因此结合该套地层与增生杂岩的关系,笔者认为雄来组可能属于以晚古生界增生楔为基底的增生弧或楔顶盆地的沉积。

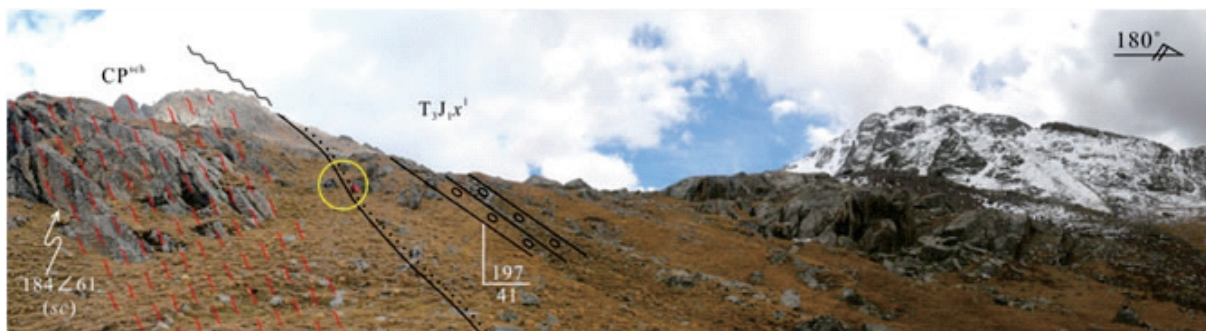


图 6 墨竹工卡县雄来组与强变形增生杂岩角度不整合接触关系(据成都理工大学,2019)

Fig. 6 Angle unconformity contact relationship between Xionglai Formation and strongly deformed accretionary complex in Mozhugongka County

## 2 南冈底斯带新发现晚三叠世 - 侏罗纪增生杂岩

南冈底斯带紧临雅鲁藏布江结合带,长期被认为属于冈底斯地块的重要组成部分,并有大量中新世斑岩铜矿床的产出。新的 1:5 万区域地质调查工作在南冈底斯带的南缘新发现一系列由洋岛、洋内弧等组成的洋板块地层,为深入认识冈底斯地块在新特提斯阶段的陆缘增生过程与南冈底斯带的成矿地质背景提供了新的证据。

### 2.1 普夏晚三叠世洋岛(海山)

新发现的洋岛岩石组合位于雅鲁藏布江北岸的贡嘎县多吉扎寺东侧的普夏一带,呈岩片状产出,出露面积约 7.5km<sup>2</sup>,新命名为普夏组( $T_3p$ )<sup>[28]</sup>。在剖面上,该组岩石组合表现为灰绿色玄武岩与中 - 厚层状灰岩呈不等厚互层,夹少量薄层状钙质泥岩、灰质塌积砾岩和紫红色硅质岩(图 7)。玄武岩以块状为主,局部见枕状和杏仁状构造,灰岩多发育块状或条带状构造,含较多生物碎屑,二者组成典型的洋岛(海山)“双层结构”。在剖面上还见较

多的塌积砾岩,砾石主要为灰岩少量为玄武岩和硅质岩,砾石多为圆状-次圆状,大小不一,砾径多为

2~15cm,可能为洋岛边缘斜坡滑塌沉积的产物。

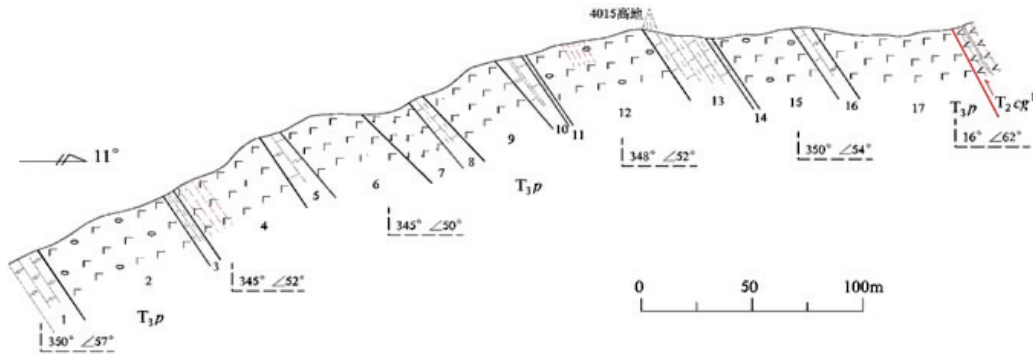


图7 西藏贡嘎县普夏组洋岛实测剖面图(据西藏地质五队,2019)

Fig. 7 Measured profile of the OIB of Puxia Formation in Gongga County, Tibet

玄武岩的岩石地球化学特征显示,  $\text{TiO}_2$  含量较高,轻稀土较富集,稀土配分曲线显示为右倾型,轻重稀土分馏程度较高,铈异常不明显, Nb、Ta、La 相对较为富集,  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  均为正值且变化于 8.8~15.9 之间,在 La-La/Nb、Ba-Ba/Nb 等图解中均落入洋岛

玄武岩区,与野外地质特征相吻合。对玄武岩进行锆石 U-Pb 同位素定年,获得较好的  $203.9 \pm 1.6\text{Ma}$  和  $219.5 \pm 2.0\text{Ma}$  的同位素年龄(另文发表),表明普夏洋岛的形成时代为晚三叠世<sup>[28]</sup>。

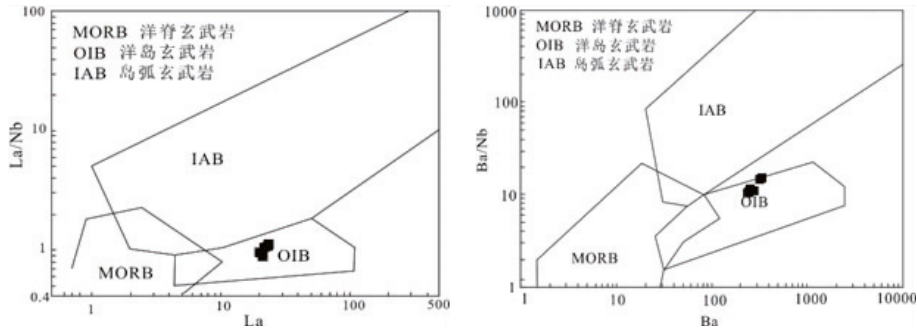


图8 贡嘎县普夏组玄武岩 La/Nb-La 与 Ba/Nb-Ba 图解(据西藏地质五队,2019)

Fig. 8 The La/Nb-La and Ba/Nb-Ba plots of the Puxia basalt in Gongga County

## 2.2 刘琼早侏罗世洋内弧

新发现并新命名为刘琼组的洋内弧主要分布于雅鲁藏布江北岸的多吉扎-琼达一带,呈岩片状产出,出露面积约 14.2km<sup>2</sup>。表现为一套较为复杂的中基性火山岩岩石组合,主要的岩石类型包括玄武岩、玄武安山岩、安山岩、火山角砾岩、安山质角砾晶屑凝灰岩、沉凝灰岩与灰岩、滑塌角砾状灰岩、凝灰质粉砂岩、薄层状硅质岩等组成。安山岩中获 182Ma 锆石 U-Pb 年龄,限定其形成时代为早侏罗世。

安山岩的岩石地球化学特征研究显示,岩石属低钾拉斑系列,稀土总量较低(平均  $117.49 \times 10^{-6}$ ),稀土配分曲线略显不明显的右倾型,轻稀土

轻度富集,  $\delta\text{Eu}$  为 0.79~1.18,具弱的负铈异常;在球粒陨石标准化的蜘蛛网图中大离子亲石元素 K、Rb、Ba 相对较为富集,高场强元素 Ta、Nb、Ti 较为亏损,具有高 Sr 低 Y 的类埃达克质岩的地球化学特征,安山岩的 MgO 含量相对较高(5.66~7.07),与正常的岛弧火山岩有所差异。根据刘琼组火山岩一套中基性岩石组合,属低钾拉斑系列,下部出现远洋深海沉积的硅质岩,顶部出现浅海碳酸沉积地层组合,缺乏陆源碎屑,  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值均为正值,变化于 14.0~15.4 之间等地质特征,笔者认为其应形成于洋内弧环境<sup>[28]</sup>。

## 2.3 尼木增生杂岩系

冈底斯南缘的尼木-续麦一带原出露一套中

深变质的片岩或片麻岩系,其构造属性与时代长期存在争议,1:20万区调工作将其归为元古界冈底斯岩群或白垩系比马组等地层。本次开展的尼木地区1:5万区域地质调查工作发现,在这套具强烈剪切变形特征的中深变质岩石中可识别出基质和岩块,岩块包括大理岩、石英岩、斜长角闪岩等,基质包括各种片岩、片麻岩、糜棱岩、混合片麻岩等,基质与岩块间以韧性剪切的形式相互堆砌、拼贴,可识别出至少2期变质和3期变形。根据在黑云石英片岩、斜长角闪岩、斜长片麻岩、角闪黑云斜长片岩、斜长角闪片岩等岩石中获得的岩浆锆石 U-Pb 年龄值介于 126 ~ 260Ma 之间,变质锆石的年龄介于 117 ~ 150Ma 之间的年代学证据<sup>[29]</sup>,笔者认为该套岩石应为一套与雅鲁藏布江新特提斯洋北向俯冲有关的早侏罗-早白垩世时期关增生杂岩系,目前变质程度达麻粒岩-角闪岩相,是造山带的山根后期快速剥露的结果。

#### 2.4 昌果中三叠世弧火山岩与曲水晚三叠世弧花岗岩

1:5万区域地质调查工作在冈底斯南缘的贡嘎县昌果-克鲁一带新发现一套中性-酸性火山岩组合,由变安山岩、石英安山岩、大理岩及安山质凝灰岩夹流纹岩及变质凝灰质粉砂岩等组成,新建岩石地层单元昌果组。根据岩石组合特征的差异,可划分为4段,一段为安山岩组合,二段为中-厚层状大理岩、变安山岩夹中-薄层绢云板岩组合,三段以变安山岩为主,夹安山质凝灰岩,四段以变安山质凝灰岩、熔结凝灰岩为主夹少量流纹岩。安山岩中获得的锆石 U-Pb 年龄介于 237.2 ~ 235Ma 之间,表明这套岩石形成时代为中三叠世,岩石地球化学显示该套火山岩具弧火山岩特征<sup>[28]</sup>。

在曲水县的其奴村-余热公-达嘎乡一带新发现多个呈岩株产出的侵入岩,以英云闪长岩为主,少量为黑云母花岗岩和黑云二长花岗岩。英云闪长岩稀土元素总量  $\Sigma\text{REE}$  介于 47.30 ~ 112.55  $\times 10^{-6}$  之间,平均 81.88  $\times 10^{-6}$ ,轻稀土富集,具弱负 Eu 异常,富集大离子亲石元素 Rb、Ba、Sr、U 等,高场强元素 Nb、Ta、Ti、P 明显亏损,显示出弧花岗岩的岩石地球化学特征。英云闪长岩锆石 U-Pb 同位素年龄介于 221 ~ 227Ma 之间,黑云母花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄介于 219 ~ 229Ma 之间,表明其形成时代为晚三叠世<sup>[30]</sup>。

由于在冈底斯地块南缘新发现的这套中三叠

世弧火山岩与晚三叠世弧花岗岩发育于由洋岛、洋内弧等组成的增生杂岩系中,综合分析认为它们可能具有增生弧的地质背景,与雅鲁藏布江新特提斯洋在三叠纪时期的北向俯冲作用有关。

#### 2.5 叶巴组火山岩研究新进展

在冈底斯东段广泛发育的早-中侏罗世叶巴组普遍被认为属于受新特提斯洋北向俯冲作用的岛弧背景<sup>[31-34]</sup>,本次调查在叶巴组的火山凝灰岩与细屑沉积岩中发现大量的具鲍马序列的浊流沉积组合,结合地层中常见薄层硅质岩等特征,指示其沉积环境可能主体为大陆斜坡带-半深海相,同时发现叶巴组普遍发育密集的北倾逆冲剪切兼平面上左行走滑特征的透人性面理构造,与南部朗杰学岩群增生杂岩系的俯冲面理构造特征相同,总体属于一套整体无序,局部有序的构造地层单元,因此认为叶巴组主体属于与新特提斯洋北向俯冲有关的增生杂岩系内的一套特殊岩石组合,主体为岛弧环境,局部可能为增生弧。

### 3 雅鲁藏布江蛇绿混杂岩带

雅鲁藏布江蛇绿混杂岩带呈狭窄的带状,东西延伸长达 2000 余千米,是青藏高原地区最为醒目的蛇绿混杂岩带,被认为是印度-亚洲大陆碰撞的界线。岩石组合包括深海盆地的加查岩组细碎屑岩、嘎学岩群玄武岩与细碎屑岩和基性、超基性等组成的蛇绿岩,在后期的碰撞造山阶段发生裂隙,形成了角度不整合于这些地质体之上的大竹卡组。但长期以来,对其内部的细结构、物质组成、形成时代、地球化学特征存在不同的认识和看法,对其形成环境和构造演化的见解存在较大的分歧<sup>[35-43]</sup>。

#### 3.1 深海盆地

1:5万区调工作发现,泽当一带的加查岩组和嘎学岩群属于深海盆地相。其中加查岩组为一套黑色细碎屑岩系,由深灰色、灰黑色含炭质千枚岩、粉砂质千枚岩等组成,夹极薄层的变粉砂岩、玄武质、凝灰岩等,偶见薄层结晶灰岩和滑塌砾岩。该套地层中所获的放射虫、小型双壳等化石证实其时代主体为晚三叠世,并有个别中三叠世的分子<sup>[44]</sup>。嘎学岩群( $J_2K_1G$ )为强变形的构造地层单元,呈岩片状产出,岩性由一套以紫红色、青灰色-灰色硅质页岩、泥岩为主,夹杂砂岩、粉砂岩、泥岩组成的浊积岩序列,同时夹较多玄武岩和不明时代的灰岩等组成的岩块,硅质岩中的放射虫时代主要包括中

-晚三叠世和晚侏罗-早白垩世 2 个时代<sup>[35]</sup>。

### 3.2 雅鲁藏布江蛇绿岩

雅鲁藏布江蛇绿岩在罗布莎-泽当一带发育较好,出露较全,由超镁铁质杂岩(主要有纯橄岩、石榴石纯橄岩、斜方辉石橄橄榄岩、单斜辉石橄橄榄岩和少量二辉橄橄榄岩,其中以斜方辉石橄橄榄岩为主)、辉长质杂岩(主要有单斜辉石岩、橄橄榄岩、辉长岩、斜长角闪石岩)、镁铁质席状岩墙杂岩、镁铁质杂岩、玄武岩(包括枕状玄武岩、集块熔岩、角砾熔岩、凝灰熔岩等)、远洋沉积物及伴生大洋斜长花岗岩等岩石单元组成<sup>[44]</sup>。前人对蛇绿混杂岩形成的时代和构造环境进行过较多的研究,本次调查亦在泽当地区的辉长岩、角闪辉长岩中获得的锆石 U-Pb 同位素年龄主要集中在 155 ~ 160Ma,最新年龄为 129Ma;在异剥钙榴岩中获得 SIMS 年龄为 130Ma,在斜长花岗岩内获得锆石 U-Pb 同位素年龄主要集中在 152 ~ 158Ma,最新年龄值为 137Ma;在玄武岩、玄武安山岩、安山岩中获得锆石 U-Pb 同位素年龄主要集中在 152 ~ 162Ma。这些年龄数据表明,雅鲁藏布江蛇绿岩的年龄主要集中在 130 ~ 162Ma 之间,属中侏罗-早白垩世,构造环境亦分别有岛弧或边缘海盆环境、大洋环境、弧前环境、俯冲带之上(SSZ)的弧间盆地(钟立峰等,2006)等<sup>[45-47]</sup>。

本次调查发现雅鲁藏布江蛇绿岩主要具有 N-MORB 与 OIB 混合的地球化学特征,变形变质程度普遍弱于南侧的朗杰学岩群,结合在罗布莎蛇绿岩中发现金刚石等超深部地质信息,笔者认为,雅鲁藏布江蛇绿岩代表了一种超慢速扩张的洋盆形成环境<sup>[43]</sup>。罗布莎蛇绿岩通过研究,有较多金刚石、方铁矿和自然铁等超高压矿物的发现<sup>[41,42]</sup>。因此,罗布莎-泽当一带发育的雅鲁藏布江蛇绿岩可能属于这种慢速扩张洋盆内的大洋核杂岩,在大陆增生过程中由于仰冲机制保存于目前的增生杂岩中。

## 4 朗杰学岩群增生杂岩带

朗杰学岩群广泛分布于雅鲁藏布江蛇绿混杂岩带南侧,为一套具强烈变形的碎屑岩组合,多数研究者认为朗杰学岩为一套增生杂岩系<sup>[6,48]</sup>。本次调查在曲松-琼结一带由朗杰学岩群组成的增生杂岩系中识别出深海盆地、洋岛、蛇绿岩岩块、楔顶盆地、残留盆地等大量洋板块地层。

### 4.1 不同类型的增生楔岩片

朗杰学岩群增生杂岩带呈近东西向产出,在空

间上构成了多个增生楔岩片,各增生楔岩片间均被大型北倾并向北凸出韧性剪切断层所分隔。根据各增生楔岩片的基质、岩块等物质组成的差异,可进一步可分深海“碳硅灰泥”增生楔、海底扇复理石增生楔、含蛇绿岩残片增生楔及含洋岛残片增生楔等 4 种主要类型。在空间上,根据变形特征及相互关系,发现相邻的两个增生楔岩片多具有南侧岩楔改造裁切北部岩楔的特征,总体显示了向南变新的演化过程<sup>[49]</sup>。

#### 4.1.1 深海“碳硅灰泥”增生楔

该类型增生楔主要分布于南部地区的多颇章-琼结一带,主体表现为一大套具有复杂变质变形特征的黑色-深灰色含碳硅灰泥质岩建造,由黑色千枚岩、千枚状片岩及石英岩(原岩为硅质岩)呈韵律状互层,夹少量基性火山碎屑密度流浊积岩组成,总体代表了深海大洋盆地相的“碳硅灰泥”沉积组合,同时这套“碳硅灰泥”还常构成多个其它类型增生楔岩片的基质。这套深海“碳硅灰泥”组合由于变质变形强烈,没有获得可靠化石,根据在基性岩岩块中获得  $218 \pm 1.9\text{Ma}$ 、 $127.1 \pm 1.8\text{Ma} \sim 132 \pm 1.9\text{Ma}$  的同位素年龄推测,其时代主体为晚三叠世,并可以延续到早白垩世<sup>[49]</sup>。

#### 4.1.2 海底扇复理石增生楔

该类型增生楔主要分布于朗杰学岩群增生杂岩带的北部一带,同样表现为复杂变质变形特征,为一套完全无序,岩性主要为变砂岩、变粉砂岩及绢云千枚岩按不同比例组成的岩石地层,多发育旋回式韵律构造。根据岩石组合的差异可进一步划分为桑东型岩片( $T_{3sd}$ )、江惹型岩片( $T_{3jr}$ )、邦浪型岩片( $T_{3b}$ )和杰德秀型岩片( $T_{3j}$ )等多种亚类型,总体代表了弧前盆地-海沟环境的半深海-深海相的海底扇不同部位的浊积岩沉积组合,部分地段见较多由陆源碎屑砂岩等组成的岩块。这套海底扇复理石不含化石,对砂岩中选取的碎屑锆石进行 U-Pb 定年,获得最年轻的碎屑锆石年龄为 220-232.9Ma,表明这套地层的时代应为晚三叠世<sup>[49]</sup>。

#### 4.1.3 含蛇绿岩残片的增生楔

该类型的增生楔主要分布于中部地区,增生楔的基质主要为深海盆地相的“碳硅灰泥”组合,被肢解的蛇绿岩岩块体多在增生楔岩片的下部产出,主要岩性有蛇纹石化辉橄岩、辉石岩、辉长岩、辉绿岩等,并以辉长岩为主,单个岩块体规模最大约  $1\text{km}^2$ ,小的块体不足 1m,中小型的块体为透镜状,大型的



块体显示出形态较规则的菱形。辉石岩轻稀土较富集,大离子亲石元素(Rb、Ba、K)富集明显,高场强元素Th、Nb相对亏损,显示出E-MORB特征。在辉绿岩中获得两组锆石U-Pb年龄,一组年龄值为213~221 Ma,另一组年龄值为141~146 Ma,表明其形成时代可能分别为晚三叠世和早白垩世<sup>[49]</sup>。

#### 4.1.4 含洋岛残片的增生楔

主要分布于朗杰学岩群增生杂岩带中南部地区的夏果村—沃玛—唐嘎—多果日一带,空间上呈向北弧形弯曲,面积约125km<sup>2</sup>。基质为一套黑色—深灰色含炭硅灰泥质岩建造,但含有较多由变基性火山质碎屑低密度流组成的火山浊积岩系,韵律层发育,单个韵律层厚度有时可达十余米。洋岛残片由大量呈透镜状产出的变辉长岩、基性火山岩和大理岩岩块组成。基性火山岩有以块状玄武岩为主,少量为枕状玄武岩和玄武质火山角砾岩。灰岩岩块均已成变质成为大理岩,与玄武岩岩块具有明显的共生关系。

玄武岩的TiO<sub>2</sub>含量为1.67%~2.42%,平均1.97%,低于夏威夷碱性玄武岩,而高于洋中脊玄武岩(MORB)TiO<sub>2</sub>含量;轻稀土相对富集,重稀土相对亏损,稀土元素配分型式显示为右倾型,δEu为0.92~1.35,在微量元素蛛网图上Rb、Nb、Ta、Zr、Hf等微量元素相对富集明显,Ba、P、Ti元素明显亏损,La/Nb-La与Nb/Th-Nb等元素显示出洋岛玄武岩的地球化学特征(图9)。变辉长岩块稀土元素配分型式显示为轻稀土富集的缓右倾型,在微量元素蛛网图上富集Sr、K、Rb、Nb、Ta、Zr、Hf等高场强元素,明显亏损Ba、P、Ti元素,与玄武岩的地球化学特征一致<sup>[49]</sup>。

对玄武岩进行锆石U-Pb同位素定年,分析测试结果不理想,最年轻年龄值为127±17Ma,可能代表了玄武岩形成的时代为早白垩世;对变辉长岩块进行锆石U-Pb同位素定年,获得127~132 Ma的较好同位素年龄,亦为早白垩世(另文发表)。

#### 4.2 侏罗纪楔顶盆地(曲松组 Jq)

表现为一套基本有序或大部有序的复理石地层,也卷入了俯冲作用,但变质变形程度明显弱于朗杰学岩群增生杂岩,具楔顶盆地特征,新命名为曲松组(Jq)<sup>[49]</sup>。岩性由长石石英砂岩、杂砂岩为主夹少量的粉砂岩及千枚岩组成,偶见少量灰岩夹层。砂岩中所获碎屑锆石U-Pb同位素最新年龄分别为194.46Ma、205.8Ma,显示其时代为晚三叠世至早侏罗世。根据该套地层有序或基本有序,地层的原始结构构造大都保存较好,呈不整合覆盖在下伏不同类型的增生楔岩片之上,见有少量鲍马层序、发育虫迹等生物遗迹等特征,认为属半深水斜坡相楔顶盆地沉积(图10)。

#### 4.3 晚白垩世-古近纪残留盆地(日玛岗组 Er)

为一套向上变粗的浅变质半深海—浅海相陆屑复理石地层,地层基本有序,不发育俯冲期的构造变形,可分三段:下段以深灰色粉砂质板岩、绢云母板岩为主,夹薄层、极薄层粉砂岩;中段以变粉砂岩为主,夹板岩和中、薄层变砂岩;上段以中粒—中粗变砂岩为主,夹变粉砂岩和少量板岩。从下往上的岩性组合变化总体反映了海退的过程,下段绢云母板岩中产孢粉化石长柄葡萄菌孢*Staphlosporonites laetevirens*、平滑藜粉*Chenopodipollis ruidus*、单孔多胞孢属*Pluricellaesporites sp.*等,代表其时代主要可能为古近纪。该套地层新命名日玛岗组(K<sub>2</sub>Er),与江

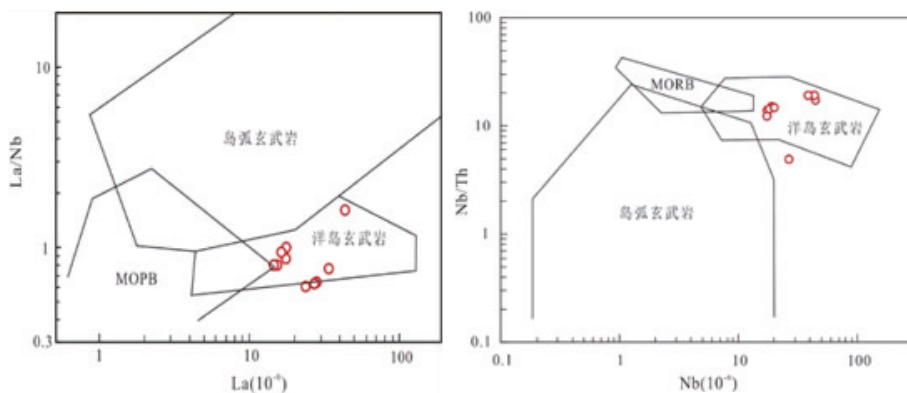


图9 夏果玄武岩构造环境微量元素地球化学判别图(据成都地质调查中心,2019)

Fig.9 The tectonic environment discrimination diagrams of theXiaguo basalts

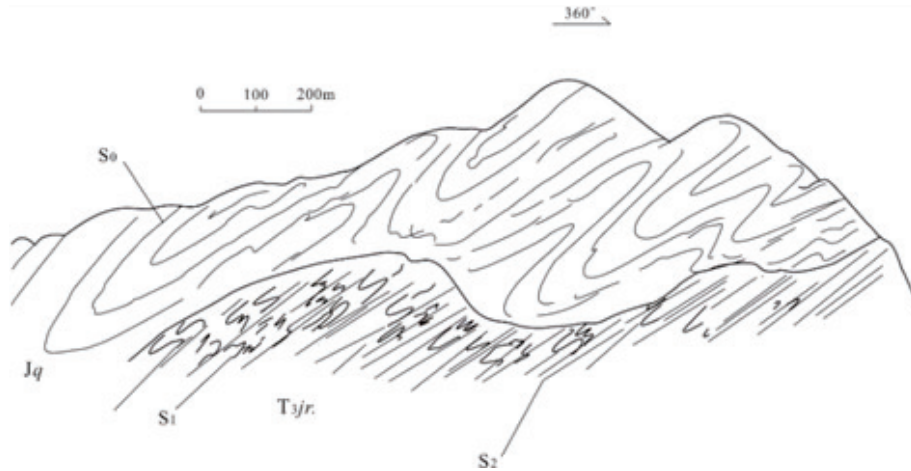


图 10 琼结县多颇章曲松组与下伏增生楔角度不整合素描图(据成都地质调查中心,2019)

Fig. 10 Sketch of the angle unconformity between the Qusong Formation and the underlying accretion wedge in Duopuzhang Qiongjie County

孜地区碰撞后的残留盆地相当<sup>[50]</sup>。

## 5 讨论

我国学者对青藏高原北部及三江地区发育的俯冲增生杂岩带进行了卓有成效的研究,取得了一些重要的成果<sup>[4,12,51-55]</sup>。

李才等(2007,2007,2008)在龙木错-双湖增生杂岩带中发现了大量从寒武纪到二叠纪的榴辉岩,其原岩分别具有 N-MORB、E-MORB 和 OIB 等地球化学特征,并在绒玛-兰岭地区的增生杂岩中识别出含洋岛海山岩块,因此认为龙木错-双湖增生杂岩带是古特提斯演化的产物<sup>[51,52]</sup>;王保弟等(2013)在昌宁-孟连带的南汀河蛇绿岩的堆晶辉长岩和块状辉长岩中获得 473Ma 和 443Ma 锆石 U-Pb 年龄<sup>[55]</sup>;潘桂棠等(2019)将云南双江-耿马地区的增生杂岩由东向西划分为高压-超高压俯冲折返带、弧-沟间浊积岩增生楔、牛井山蛇绿混杂岩带、远洋硅质泥质沉积增生楔、泥盆-石炭纪洋岛海山增生带等不同的洋板块地层单元,并提出了昌宁-孟连增生杂岩带记录了原特提斯、古特提斯连续演化,并制约北羌塘-三江弧盆系形成的地质过程等重要认识<sup>[2]</sup>;李光明等(2011)根据岩石组合特征和同位素定年等研究,提出了班公湖-怒江带西段多龙矿集区发育增生弧地质背景等新认识<sup>[52]</sup>。

青藏高原南部的冈底斯-喜马拉雅地区是特提斯的重要组成部分,多数研究者认为该地区的大陆增生过程与雅鲁藏布江新特提斯洋的演化密切相关,但对松多榴辉岩带形成的构造环境和冈底斯带大规模斑岩铜矿床成矿斑岩的源区的物质组成

与形成地质背景等重要科学存在多种不同的认识。本次开展的新一轮 1:5 万区域地质矿产调查,在冈底斯东段的唐加-松多带厘定了由古特提斯演化形成的增生杂岩带,在南冈底斯南缘及雅鲁藏布江带的朗杰学岩群中识别出大量的洋板块地层单元。这些新发现和研究成果对深入理解青藏高原南部地区的特提斯洋演化与大陆增生过程,进一步探讨冈底斯斑岩铜矿带成矿斑岩的源区深部物质组成与形成的地质背景具有重要的意义。

### 5.1 唐加-松多增生杂岩记录了冈底斯地块在古特提斯阶段南向增生的地质过程

冈底斯带中部唐加-松多地区榴辉岩、蓝片岩等超高压、高压岩石的成因、地质属性与构造意义长期存在争议。杨经绥等(2006,2007)首次在松多地区发现榴辉岩,认为榴辉岩的原岩为 MORB 型大洋玄武岩,锆石 SHRIMP U-Pb 加权平均年龄值为 261Ma,该年龄约束了榴辉岩的变质年龄和古特提斯洋壳俯冲-折返的时代<sup>[15,16]</sup>。徐向珍等(2007),陈松永等(2010),Geng et al. (2006),耿全如等(2007)根据松多榴辉岩带伴随 305Ma 的松多蛇绿岩以及该地区发育石炭-二叠纪岛弧型火山岩,认为拉萨地块的中部中存在一条古特提斯的缝合带,但是对该缝合带的构造性质与是否具有区域延伸性感到困惑<sup>[17,18,24,56]</sup>;一些研究者根据榴辉岩呈外来岩块群产出于松多岩组的浅变质岩系中,而认为榴辉岩以及含石榴子石云母石英片岩等变质岩可能为异地推覆体或为一套与洋壳俯冲相关的变质杂岩体<sup>[8]</sup>。

本次在唐加-松多一带开展的 1:5 万区域地质

调查,厘定出该地区发育良好的古特提斯增生杂岩带。在填图范围内,确定其东西延伸长度大于180km,宽度大于25km,并在其中识别出包括有陆坡盆地、洋壳蛇绿岩、深海大洋盆地、洋岛(海山)和高压-超高压变质带等大量的洋板块地层单元,充分证实该地区存在古特提斯洋的残留。填图区外围少量的踏勘工作亦发现,唐加-松多古特提斯增生杂岩带在区域上还具有较大程度的延伸。根据洋岛(海山)的时代为269~259Ma,蛇绿混杂岩中辉长岩和辉绿岩的锆石U-Pb加权平均同位素年龄介于304~258Ma之间,揭示出在晚石炭-晚二叠世时期,唐加-松多一带发育的古特提斯洋已具有成熟大洋的特征。在榴辉岩中分别获得的中三叠世(239~235Ma)和晚三叠世(~200Ma)的折返年龄,表明在古特提斯演化过程中,洋壳至少经历了2次深俯冲作用。增生杂岩带中普遍发育的倾向北的多期次透入性面理构造以及在增生杂岩北侧发育年龄为230~200Ma弧花岗岩以及晚三叠世-早侏罗世增生火山弧(雄来组),暗示唐加-松多古特提斯洋具有向北的俯冲极性,冈底斯陆块在古生代-三叠纪时期不断向南增生,在晚三叠-早侏罗世还存在俯冲的地质过程。

## 5.2 青藏高原南部地区古特提斯与新特提斯连续演化

青藏高原南部地区的古特提斯洋和新特提斯洋的关系是一个长期争论的重大科学问题。多数的研究者根据松多地区主要发育中二叠世-晚三叠纪时期的洋壳,而雅鲁藏布江带目前出露蛇绿岩的形成时代主要为140~120Ma,主要发育晚侏罗-早白垩世的放射虫硅质岩等事实,认为雅鲁藏布江洋的发育是古特提斯关闭后重新打开而形成的新特提斯洋。

本次开展的1:5万区域地质调查,确定在冈底斯中部的唐加-松多一带发育由古特提斯洋俯冲形成的增生杂岩带,230~200Ma的弧花岗岩与晚三叠世-早侏罗世增生火山弧的发育,是古特提斯洋北向俯冲过程的地质记录。在冈底斯南缘新识别出时代为晚三叠世-早侏罗世的普夏洋岛、刘琼洋内弧等具代表性的洋板块地层;新发现时代属早-中侏罗世的叶巴组地层主体属于一套整体无序,局部有序的构造地层单元,它们可能代表了雅鲁藏布江新特提斯洋北向俯冲形成的增生杂岩系的重要组成部分。结合雅鲁藏布江结合带硅质岩中发现

最古老的放射虫动物群为中三叠世安尼期<sup>[35]</sup>,在蛇绿岩的辉长岩中获得 $273 \pm 6\text{Ma}$ 的锆石U-Pb年龄<sup>[57]</sup>,在冈底斯南缘发现曲水-昌果中三叠世弧火山岩与晚三叠世弧花岗岩,朗杰学增生杂岩带中存在侏罗纪楔顶盆地和洋岛等地质事实,可以证实雅鲁藏布江新特提斯洋存在的时限至少可以上延到中二叠世-三叠纪。

基于以上事实,笔者认为,在空间上唐加-松多古特提斯增生杂岩带位于雅鲁藏布江新特提斯洋增生杂岩带的北部,二者整体东西向连续展布,均表现为洋盆具有北向俯冲的构造极性;在时间上由北往南,不同增生杂岩带的时代逐渐变新,在整体上反映了冈底斯地块向南不断增生的地质演化过程。可以认为,在青藏高原南部地区唐加-松多古特提斯洋与雅鲁藏布江新特提斯洋在中二叠世-三叠纪时期,二者同时发育,古特提斯洋与新特提斯洋具有明显的时间和空间关系,二者具有连续演化的地质过程与地质特征,可能是同一个洋盆演化的不同阶段的产物。为此,笔者建立了青藏高原南部特提斯洋连续演化的新模式(图11),但唐加-松多古特提斯与雅鲁藏布江新特提斯是通过何种机制来实现同时存在并连续演化目前还不清楚,有待通过进一步的研究加以揭示。

## 5.3 揭示了南冈底斯斑岩铜矿带源区地质背景

经典斑岩铜矿的成矿模型认为,岛弧型斑岩铜矿的岩浆起源于俯冲洋壳的脱水交代楔形地幔,成矿所需的水、硫、氯及铜等金属元素等来自于大洋板片的俯冲脱水。而冈底斯斑岩铜矿均形成于大陆碰撞后的中新世,成矿斑岩具埃达克质岩特征,岩浆起源于加厚的新生下地壳的部分熔融<sup>[7,58]</sup>。而这些新生下地壳的物质组成被认为是南冈底斯地区中生代时期(主要为晚三叠世-早白垩世)多期次大规模弧岩浆作用与大量幔源物质的底侵加入<sup>[7,59-64]</sup>,Hf同位素填图结果也揭示出拉萨地块新生下地壳为新特提斯洋俯冲阶段弧岩浆底垫的结果<sup>[65,66]</sup>。只有含Cu明显富集源区的部分熔融才有机会形成超大型斑岩铜矿<sup>[67,68]</sup>,冈底斯新生加厚的下地壳为什么能提供足够的Cu而在中新世时期形成大型-超大型斑岩铜矿床,长期引人关注。

本次大规模1:5万区域地质调查在冈底斯南缘的尼木-曲水-桑日一带发现大量晚三叠-侏罗纪时期的洋岛、洋内弧等洋板块地层单元,通过综合研究,进一步揭示出冈底斯南缘在该时期整体

上发育一套与新特提斯洋北向俯冲有关的增生杂岩系岩石组合,在增生楔的基础上发育晚三叠世-早白垩世的增生弧或岛弧,正是这套复杂的岩石组合在大陆增生过程中的不断加厚,并不断有大量幔源物质的加入,构成了南冈底斯地区加厚新生下地壳的重要物质基础。同时,这套复杂岩石因主体形

成于新特提斯洋的俯冲环境,本身就具有高的铜地球化学背景,明显富集铜、金等金属元素,成矿条件十分优越。新生下地壳的部分熔融,可为冈底斯带中新世后碰撞造山阶段大量巨型斑岩铜矿床的形成提供丰富的铜、金等金属来源。

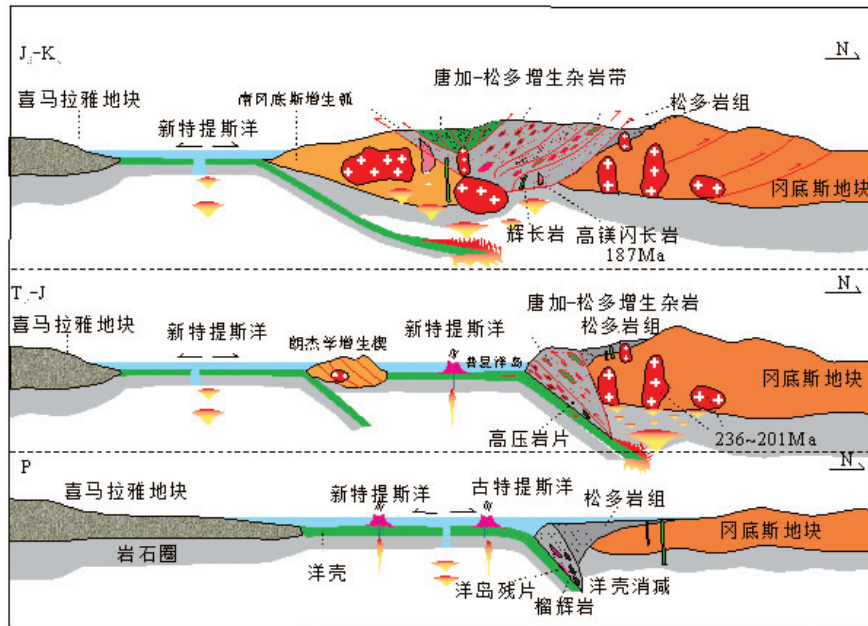


图 11 青藏高原南部特提斯洋连续演化新模式

Fig. 11 New evolution model of the Tethys Ocean in the southern Tibetan Plateau

致谢:本论文是中国地质调查局成都地质调查中心承担的地质调查二级项目“冈底斯-喜马拉雅铜矿资源基地调查地质调查二级项目及所属子项目3年集体劳动的成果,在项目的实施和论文的撰写过程中受到了中国地质调查局成都地质调查中心潘桂棠研究员、中国地质大学(武汉)张克信教授、吉林大学李才教授的学术指导,西藏地质调查院曾庆高、胡敬仁、黄炜高级工程师与笔者就增生杂岩特征等地质问题进行了有益的讨论,2位审稿人对论文提出了建设性的修改意见。一并谨致谢忱!

#### 参考文献:

- [1] 潘桂棠,肖庆辉,陆松年等,大地构造相的定义、划分、特征及其鉴别标志,地质通报,2008,27(10):1613-1637.
- [2] 潘桂棠,肖庆辉,张克信等,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,2019,44(5):1544-1561.
- [3] 张克信,何卫红,徐亚东等,中国洋板块地层分布及构造演化,地质前缘,2016,23(6):24-30.
- [4] 冯益民,张越,大洋板块地层(OPS)简介及评述,地质通报,2018,37(4):523-531.
- [5] 李廷栋,肖庆辉,潘桂棠等,关于发展洋板块地质学的思考,地球科学,2019,44(5):1441-1451.
- [6] 潘桂棠,莫宣学,侯增谦等,冈底斯造山带的时空结构及演化,岩石学报,2006,22(3):521-533.
- [7] 侯增谦,曲晓明,杨竹森等,2006,青藏高原碰撞造山带:III.后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质,25(6):629-651.
- [8] 许志琴,杨经绥,李文昌等,青藏高原中的古特提斯体制与增生造山作用,岩石学报,2013(6):1847-1860.
- [9] 张泽明,丁慧霞,董昕等,冈底斯弧的岩浆作用:从新特提斯俯冲到印度-亚洲碰撞,地质前缘,2018,25(06):78-91.
- [10] 张泽明,丁慧霞,董昕等,冈底斯岩浆弧的形成与演化,岩石学报,2019,35(02):275-294.
- [11] 吉林大学,2019,西藏松多地区4幅1:5万区域地质调查成果报告(内部报告).
- [12] 王斌,解超明,李才,青藏高原原松多地区温木朗蛇绿岩的发现及其地质意义,地质通报,2017,36(11):2076-2081.
- [13] 成都理工大学,2019,西藏唐加地区4幅1:5万区域地质调查成果报告(内部报告).
- [14] Wang, B., Xie, C. M., Fan, J. J., Wang, M., Yu, Y. P., Dong, Y. C., Hao, Y. J., 2019. Genesis and tectonic setting of

- Middle Permian OIB-type mafic rocks in the Sumdo area, southern Lhasa terrane. *Lithos*, 324–325; 429–438.
- [15] 杨经绥,许志琴,耿全如,中国境内可能存在一条新的高压/超高压(?)变质带—青藏高原拉萨地体中发现榴辉岩带,地质学报,2006,80(12):1787–1792.
- [16] 杨经绥,许志琴,李天福,青藏高原拉萨地块中的大洋俯冲型榴辉岩:古特提斯洋盆的残留?地质通报,2007,26(10):1277–1287.
- [17] 陈松永,杨经绥,罗立强,西藏拉萨地块 MORB 型榴辉岩的岩石地球化学特征,地质通报,2007,26(10):1327–1339.
- [18] 陈松勇. 2010. 西藏拉萨地块中古特提斯缝合带的厘定. 中国地质科学院,博士学位论文.
- [19] 董宇超,解超明,于云鹏等,西藏工布江达县龙崖松多榴辉岩的发现及地质意义,地质通报,2018,37(8):1464–1471.
- [20] 刘鸿飞,刘焰,旁那石榴蓝闪片岩特征及其构造意义,岩石矿物学杂志,2009,28(03):199–214.
- [21] Cheng H, Zhang C, Jeffrey D, et al. 2012. Zircon U-Pb and garnet Lu-Hf geochronology of eclogites from the Lhasa Block, Tibet. *Lithos*, 155:341–359.
- [22] Cheng H, Liu YM, Jeffrey 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, 1482–1499.
- [23] Yang JS, Xu ZQ, Li ZL, et al. 2009. Discovery of an eclogite belt in the Lhasa block, Tibet: A new border for Paleo-Tethys?. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 76–89.
- [24] 耿全如,王立全,潘桂棠,西藏冈底斯带洛巴堆组火山岩地球化学及构造意义,岩石学报,2007,23(11):2699–2714.
- [25] 解超明,宋宇航,王明,等. 2019. 冈底斯中部松多岩组形成时代及物源:来自碎屑锆石 U-Pb 年代学证据. *地球科学*, 44(7): 2224–2233.
- [26] 董昕,张泽明,耿官升,青藏高原拉萨地体南部的泥盆纪花岗岩. *岩石学报*, 2010, 26(7): 2226–2232.
- [27] Yun-Peng Yu, Chao-Ming Xie a, Jian-Jun Fan a, Ming Wang, Yu-Chao Dong, Bin Wang, Yu-Jie Hao, Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of Early Jurassic granodiorites in Sumdo area, Tibet: Constraints on petrogenesis and the evolution of the Neo-Tethyan Ocean, *Lithos*, 2018, (320–321): 134–143.
- [28] 西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队, 2019, 西藏桑耶地区 4 幅 1:5 万区域地质调查成果报告(内部报告).
- [29] 西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队, 2019, 西藏尼木地区 3 幅 1:5 万区域地质调查成果报告(内部报告).
- [30] 西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队, 2019, 西藏曲水地区 3 幅 1:5 万区域地质调查成果报告(内部报告).
- [31] 董彦辉,许继峰,曾庆高等,存在比桑日群火山岩更早的新特提斯洋俯冲记录么? *岩石学报*, 2006, 22(3): 661–668.
- [32] 耿全如,潘桂棠,金振民等,西藏冈底斯带叶巴组火山岩地球化学及成因, *地球科学*, 2005, 30(6): 747–760.
- [33] 黄丰,早侏罗世叶巴组与桑日群火山岩:特提斯洋俯冲过程中的陆缘弧与洋内弧? *岩石学报*, 2015, 31(7): 2089–2100.
- [34] 许继峰,康志强,朱弟成等,桑日群火山岩洋内俯冲的证据—兼论拉萨地块南缘中生代洋弧基底构造深化, 2009 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要, 2009, 150.
- [35] Chen D, Luo H, Wang X, Xu B, Matsuoka A. Late Anisian radiolarian assemblages from the Yarlung–Tsangpo Suture Zone in the Jinlu area, Zedong, southern Tibet: Implications for the evolution of Neotethys. *Island Arc*. 2019: 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1111/iar.12302>.
- [36] 刘维亮,夏斌[40]白文吉,方青松,张仲明等. 西藏雅鲁藏布江蛇绿岩带罗布莎地幔橄辉岩的成因, *岩石矿物学杂志*, 1999, 18(3): 193–216.
- [37] 白文吉,方青松,张仲明等. 西藏雅鲁藏布江蛇绿岩带罗布莎地幔橄辉岩的成因, *岩石矿物学杂志*, 1999, 18(3): 193–216.
- [38] 王成善,李亚林,刘志飞等;雅鲁藏布江蛇绿岩再研究,从地质调查到矿物记录, *地质学报*, 2005, 79(3): 323–330.
- [39] 叶培盛,江万,吴珍汉等;西藏泽当—罗布莎蛇绿岩的地球化学特征及其构造意义, *现代地质*, 2006, 20(3): 370–377.
- [40] 韦栋梁,夏斌,周国庆等,西藏泽当英云闪长岩的地球化学和 Sr-Nd 同位素特征:特提斯洋内俯冲的新证据, *中国科学 D 辑,地球科学*, 2007, 37(4): 442–450.
- [41] 徐向珍,杨经绥,巴登珠等,雅鲁藏布江蛇绿岩带的康金拉铬铁矿中发现金刚石, *岩石学报*, 2008, 24(7): 1453–1462.
- [42] 白文吉,杨经绥,施倪承等;西藏罗布莎蛇绿岩地幔中首次发现超高压矿物方铁矿和自然铁, *地质评论*, 2004, 50(2): 184–188.
- [43] 吴福元,刘传周,张亮亮,张畅,王建刚,纪伟强,刘小驰. 雅鲁藏布蛇绿岩——事实与臆想[J]. *岩石学报*, 2014, 30(02): 293–325.
- [44] 甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院, 2019, 西藏乃东县地区 4 幅 1:5 万区域地质调查成果报告(内部报告).
- [45] 李海平,张满社;西藏桑日地区桑日群火山岩岩石地球化学特征. *西藏地质*, 1995, 1: 84–92.
- [46] Hébert R, Bezard R, Guilmette C, et al. The Indus-Yarlung Zangbo ophiolites from Nanga Parbat to Namche Barwa syntaxes, southern Tibet: First synthesis of petrology, geochemistry, and geochronology with incidences on geodynamic reconstructions of Neo-Tethys. *Gondwana Research*, 2012, 22: 377–397.
- [47] 钟立峰,夏斌,崔学军,周国庆,陈根文,韦栋梁. 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*, 2006(02): 231–240.
- [48] 王立全,朱弟成,潘桂棠;青藏高原 1:25 万区域地质调查主要成果和进展综述(南区), *地质通报*, 2004, 23(5–6): 413–420.
- [49] 中国地质调查局成都地质调查中心, 2019, 西藏曲松地区 4 幅 1:5 万区域地质调查成果报告(内部报告).
- [50] 胡修棉,王建刚,安慰,利用沉积记录精确约束印度—亚洲大陆碰撞时间与过程, *中国科学:地球科学*, 2017, 47(3): 5–27.
- [51] 李才,黄小鹏,翟庆国等,龙木错—双湖—吉塘板块缝合带与

- 青藏高原冈瓦纳北界. 地学前缘, 2006, 13(4): 136 - 147.
- [52] 李才, 翟庆国, 陈文, 青藏高原龙木错 - 双湖板块缝合带闭合的沉积学证据 - 来自果干加年山蛇绿岩与流纹岩 Ar - Ar 和 SHRIMP 年龄制约, 岩石学报, 2007, 23(5): 911 - 918.
- [53] 李光明, 段志明, 刘波等, 西藏班公湖-怒江结合带北缘多龙地区侏罗纪增生杂岩的识别及意义, 地质通报, 2011, 30(8): 1256 - 1260.
- [54] 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 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, 2012, 32(3): 1 - 20.
- [55] 王保弟, 王立全, 许继峰等, 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, 2015, 34(9): 1605 - 1661.
- [56] 徐向珍, 杨经绥, 李天福. 2007. 青藏高原拉萨地块松多榴辉岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及锆石中的包裹体. 地质通报, 26(10): 1340 - 1355.
- [57] Isabella R. C. McDermid, Jonathan C. Aitchison, Aileen M. Davis, T. Mark Harrison, M. Grove, The Zedong terrane: a Late Jurassic intra-oceanic magmatic arc within the Yarlung - Tsangpo suture zone, southeastern Tibet, Chemical Geology, 2002, (187): 267 - 277.
- [58] 侯增谦, 大陆碰撞成矿论, 地质学报, 2010, 84(1): 30 - 58.
- [59] 董昕, 张泽明, 拉萨地体南部早侏罗世岩浆岩的成因和构造意义. 岩石学报, 2013, 29(6): 1933 - 1948.
- [60] 莫宣学, 董国臣, 赵志丹等, 西藏冈底斯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, 2005, 11(3): 281 - 29.
- [61] 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋等, 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, 岩石学报, 2007, 23(6): 1347 - 1353.
- [62] 张雨轩, 解超明, 于云鹏等, 早侏罗世新特提斯洋俯冲作用 - 来自松多冈长岩锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素制约, 地质通报, 2018, 37(8): 1387 - 1399.
- [63] 朱弟成, 潘桂棠, 王立全等, 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论, 地质通报, 2008, 27(9): 1535 - 1550.
- [64] 朱弟成, 潘桂棠, 王立全等, 西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境, 地质通报, 2008, 27(4): 458 - 468.
- [65] 侯增谦, 王涛. 同位素填图与深部物质探测(II): 揭示地壳三维架构与区域成矿规律[J]. 地学前缘, 2018, 25(06): 20 - 41.
- [66] 朱弟成, 王青, 赵志丹, 牛耀龄, 侯增谦, 潘桂棠, 莫宣学. 大陆边缘弧岩浆成因与大陆地壳形成[J]. 地学前缘, 2018, 25(06): 67 - 77.
- [67] Zheng, Y. C., Liu, S. A., Wu, C. D., et al., Cu isotopes reveal initial Cu enrichment in sources of giant porphyry deposits in a collisional setting. Geology 2019, 47, 135 - 138.
- [68] 侯增谦, 郑远川, 耿元生. 克拉通边缘岩石圈金属再富集与金 - 钼 - 稀土元素成矿作用[J]. 矿床地质, 2015, 34(04): 641 - 674.

## Reestablishment and scientific significance of the Ocean plate geology in the Southern Tibet Plateau, China

Guangming Li<sup>1</sup>, Linkui Zhang<sup>1</sup>, Jianyang Wu<sup>1</sup>, Chaoming Xie<sup>2</sup>, Lidong Zhu<sup>3</sup>, Fanglin Han<sup>4</sup>  
 (1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. College of Earth Science, Jilin University, Changchun, Jilin, China; 3. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, China; 4. Shanxi Institute of Geological Survey, Xi'an, Shanxi, China)

**Abstract:** Discovery and reestablishment of the ocean plate stratigraphy unit (OPS) and rock assemblage sequence in the complex collisional orogenic belt during the large scale ocean-continent conversion are important geodynamical and geological frontier issues. This paper reported new discoveries of the ocean plate stratigraphy including the ocean island, seamount, intra-oceanic arc, wedge-top basin, and oceanic basin, which are exposed at the eastern part of the Gangdese metallogenic belt and the Indus - Tsangpo Suture Zone in the Southern Tibet Plateau. Through detailed research on their rock assemblage sequence, occurrence, deforming, metamorphism, formation age and tectonic setting, we recognized that (1) the ocean plate stratigraphy unit is an important part of the accretionary complex, which is the result of the continental accretion in the southern Tibet Plateau during the Tethys evolution; (2) It is a continuous evolution from the paleo-Tethys ocean to neo-Tethys ocean in the Southern Tibet Plateau; and (3) The Mesozoic southern Gangdese belt is characterized by its geological setting of the neo-Tethys accretionary wedge, accretionary arc and the accretionary wedge. It is an important part of the thickening new lower crust at the southern margin of Gangdese, facilitating the formation of porphyry copper deposits in the areas.

**Key words:** Eastern Yarlung Zangbo suture ; Ocean plate geology; Reestablishment; Significance