

DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2020.07001

班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连对接带时空结构 ——特提斯大洋地质及演化问题

潘桂棠, 王立全, 耿全如, 尹福光, 王保弟, 王冬兵, 彭智敏, 任飞

(中国地质调查局成都中心, 四川 成都 610081)

摘要:班公湖—双湖—怒江(中北段)—昌宁—孟连对接带广泛出露特提斯大洋岩石圈俯冲消减过程中产生的不同时代、不同构造环境、不同变质程度、不同变形样式的洋板块构造地层系统、增生混杂的构造—岩石组合体,可识别出增生的远洋沉积岩、海沟浊积岩、古生代—中生代蛇绿岩、蛇绿混杂岩、洋岛—海山消减增生楔、洋底沉积增生杂岩,基底残块以及以蓝片岩、榴辉岩为代表的高压—超高压变质岩带,记录了青藏高原原古特提斯大洋形成演化的地质信息。班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连对接带是青藏高原中部一条重要的原古特提斯大洋自北向南后退式俯冲消亡的巨型增生杂岩带,构筑了冈瓦纳大陆与劳亚—泛华夏大陆分界带。

关键词:特提斯大洋;班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连对接带;洋板块地质

中图分类号:P541

文献标识码:A

自奥地利著名地质学家 Eduard Suess 在 100 多年前提出“特提斯(Tethys)”概念以来,围绕特提斯的含义、特提斯的时空结构、特提斯代表的海洋性质(浅海还是深海、小洋盆还是大洋盆)及特提斯形成演化模式等,一直纷争不息。多年前作者曾将“全球洋陆转换中的特提斯演化”一文发表于《特提斯地质》上,对“特提斯”概念及其演化、特提斯时空结构、东特提斯地质的基本特征、特提斯演化模式等作过阐述,认为特提斯重建的“剪刀张”模式、“传送带”模式、及“手风琴运动、开合”模式均缺乏对东特提斯存在 20 多条俯冲增生杂岩带或蛇绿混杂岩带地质事实的认知,尤其需要认识理解原古特提斯大洋的地质遗迹^[1]。

班公湖—双湖—怒江(中北段)—昌宁—孟连对接带,西起乌孜别里山口,主体向东经班公湖、日土、改则、双湖、安多至索县,后转向沿怒江南下经丁青、八宿至碧土,继续南延受碧罗雪山—崇山变质地块的阻隔及南北向强烈逆冲带的叠覆而不明,再次显露即与昌宁—孟连结合带联为一体,向南经泰国清迈带与马来西亚劳勿—文冬带相连,全长超

过 4000 千米,呈一反“S”形带状展布,成为泛华夏大陆南缘晚古生代羌塘—三江印支造山系与冈瓦纳大陆北缘中生代冈底斯—喜马拉雅造山系的重要分界^[2-3]。

对接带内广泛出露由特提斯大洋岩石圈俯冲消减过程中不同时代、不同构造环境、不同变质程度、不同变形样式的洋板块构造地层系统,增生混杂的构造—岩石组合体,可识别出增生的远洋沉积岩、海沟浊积岩、古生代—中生代蛇绿岩、蛇绿混杂岩、洋岛—海山消减增生楔、洋底沉积增生杂岩和基底残块,以及以蓝片岩、榴辉岩为代表的高压—超高压变质岩带,记录了青藏高原原古特提斯大洋形成演化的地质信息。班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连对接带是青藏高原中部一条重要的原古特提斯大洋自北向南后退式俯冲消亡的巨型增生杂岩带,构筑了冈瓦纳大陆与劳亚—泛华夏大陆分界带^[4-15]。从洋板块地质的视角,将班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连对接带划分出龙木错—双湖古生代增生杂岩带、南美塘—左贡增生弧盆系、班公湖—怒江增生杂岩带、昌宁—孟连增生杂岩带等次级构造单元(图 1)。

收稿日期:2020-03-31; **改回日期:**2020-06-02

作者简介:潘桂棠(1941—),研究员,国家科技进步特等奖获得者,原成都地质矿产研究所所长、原中国地质调查局成都地质调查中心主任,长期从事青藏高原及特提斯地质研究。

资助项目:全国陆域及海区地质图件更新与共享(成都地质调查中心)DD20190375

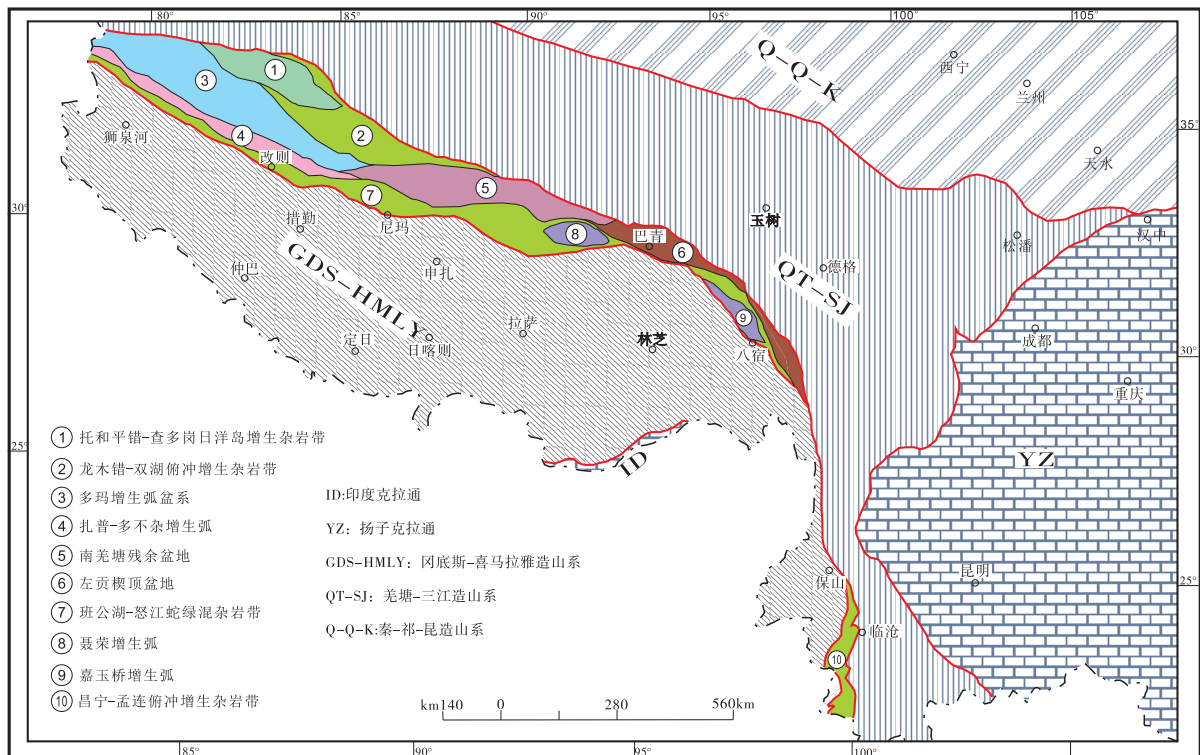


图1 班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连对接带构造分区图

ID: 印度陆块; GDS-HMLY: 冈底斯-喜马拉雅造山系; QT-SJ: 羌塘-三江造山系; Q-Q-K: 秦祁昆造山系; YZ: 扬子陆块

Fig. 1 Sub-tectonic zones of the Bangonghu-Shuanghu-Nujiang-Changning-Menglian mega-suture zone

1 龙木错-双湖俯冲增生杂岩带

龙木错—双湖增生杂岩带主体位于北羌塘地块与南羌塘增生弧盆系之间,其北界为龙木错—清澈湖—玉环湖—大熊湖—玛依岗日—爱达江日—双湖断裂,南界为龙木错—清澈湖—阿鲁错—丁固—肖茶卡—双湖断裂,向东在双湖以东大致沿阿尔下穿—扎萨—查吾拉断裂,于类多齐县拉龙贡巴村附近与北澜沧江蛇绿混杂岩带相接。该带向西于龙木错附近被阿尔金大型走滑断裂截断。

依据分段出露的空间展布特征,将龙木错—双湖带进一步分为龙木错—双湖增生杂岩带和托和平错—查多岗日洋岛海山增生杂岩带2个次级构造单元。

1.1 托和平错-查多岗日洋岛增生杂岩带(C_2 - P_2)

托和平错—查多岗日洋岛增生杂岩带(C_2 - P_2)呈一巨大的构造岩块夹持于龙木错—双湖结合带中,以发育晚古生代碳酸盐岩、碎屑岩及洋岛型基性—中基性火山岩组合为特征,主要分布于托和平错、查多冈日一带(图2)。1:25万区域地质调查成果揭示,区内的岩石地层单位有:展金组(C_2 - P_1)、日

湾茶卡组(C_1)和鲁谷组(P_2)。发育于展金组的洋岛火山岩,岩石类型有橄榄玄武岩、含气孔及杏仁状橄榄玄武岩、含气孔及杏仁状玄武岩、含气孔及杏仁状玄武安山岩、少量凝灰岩和杏仁状安山岩等,并夹有泥岩、硅质岩及多层珊瑚礁灰岩,火山岩总厚度达700m。根据岩石地球化学研究认为玄武岩应属钾质碱性系列,玄武安山岩属钙碱性系列,安山岩属低钾拉斑系列^[16]。 Σ REE平均值为 402.31×10^{-6} ,稀土元素总量高,为轻稀土强富集型,微量元素与典型板内裂谷碱性玄武岩相近。球粒陨石标准化配分模式与夏威夷碱性玄武岩大致平行,呈右倾滑曲线。

值得指出的是,1:25万托和平错幅区调大致厘定展金组火山岩产于3条近东西向的“断裂带”中,即托和平错南火山岩带、甜水湖火山岩带和甜水湖北火山岩带,展金组由硅泥质岩、灰岩与玄武岩互层或夹层产出,与擦蒙组含冰海漂砾垂落物的变质砂泥质远源浊积岩、火山碎屑岩、硅泥质岩等呈构造接触,或以擦蒙组(图3)强构造变形岩石组合早期增生为基座似整合接触,总体构成洋岛—海山增生杂岩带^①。有意思的是,在该杂岩带东南日弯茶

卡以北,近年来1:5万区调新发现由独泉沟、天泉、屏风岭等9个洋岛构成的“岛链”,东西长达20km以上,南北宽约1km,岩石组合由厚层状玄武岩、枕状玄武岩、硅质岩、灰岩和角砾灰岩组成,时代为晚

石炭世—早二叠世,大致同时代且强烈变形低绿片岩相的远源浊积岩组合的增生杂岩为其基质^[17]。表明既存在有成熟的洋壳,又有洋岛火山喷溢与浊积岩沉积事件的相互叠加。



图2 托和平错—查多岗日洋岛增生杂岩

Fig. 2 Tuohepingcuo-Chadogangri Oceanic-island accretionary complex



图3 擦蒙组中冰海杂砾岩的砾石特征

Fig. 3 Characteristics of the mixed gravel formed in ice sea in the Cameng Formation

吞龙共巴组(P_2)和吉普日阿组(P_3)主要为一套海相碎屑岩夹灰岩,以及碳酸盐岩夹碎屑岩和生物礁序列,应是形成于洋岛火山建隆过程中的海山沉积环境。

值得指出的是,该单元东北缘,原1:25万查多岗日幅所定猫耳山岩组(D_3)经近年1:5万地质调查研究已全面解体^[18],是由早古生代蛇绿岩(包括超镁质杂岩、堆晶辉长岩、大洋斜长花岗岩)、晚古生代蛇绿岩(包括超镁质杂岩、堆晶辉长岩、辉绿岩群、枕状玄武岩及大洋斜长花岗岩)、以及大理岩块等岩块混杂在基质为白云母石英层岩之中,构成香桃湖—红脊山蛇绿混杂带,表现了与冈玛错—桃形湖—果干加年蛇绿混杂岩相似的地质特征。

下中三叠统欧拉组($T_{1,2}$)仅在该带西部的多玛

南部、加措西南部局部出露,以一套白云质碳酸盐岩为主,其下部夹泥岩、粗玄武岩和放射虫硅质岩,显示为龙木错—双湖洋盆消亡闭合后残余海盆地中的浅海—次深海相沉积。中三叠世强烈俯冲增生碰撞造山,托和平错—查多岗日及龙木错—双湖一带大部隆起缺失沉积,仅在隆起区的边缘沉积陆相碎屑岩—海陆交互相含煤碎屑岩系(如上三叠统土门格拉组)或火山—沉积岩系(如上三叠统望湖岭组),不整合于洋岛增生杂岩和蛇绿混杂岩之上。

1.2 龙木错—双湖俯冲增生杂岩带(P_z-T_2)

龙木错—双湖俯冲增生杂岩带(P_z-T_2)(图4)全长约1350km,西起龙木错,向东至清澈湖折向南,经羌马错后再折向东沿冈玛错—戈木日—玛依岗日—查桑南—双湖—阿尔下穷—扎萨—查吾拉—

带分布,东延在拉龙贡村附近可能与北澜沧江蛇绿混杂岩带相接^[19]。该带向西被阿尔金大型走滑断裂左行位移后,在喀喇昆仑地区的走向尚不完全清

楚。大致在东经 86°30'左右,北起玛依岗日,到绒玛乡南西 20 km 处,出露宽度达到 100 多千米,是目前青藏高原规模最大的俯冲增生杂岩带。

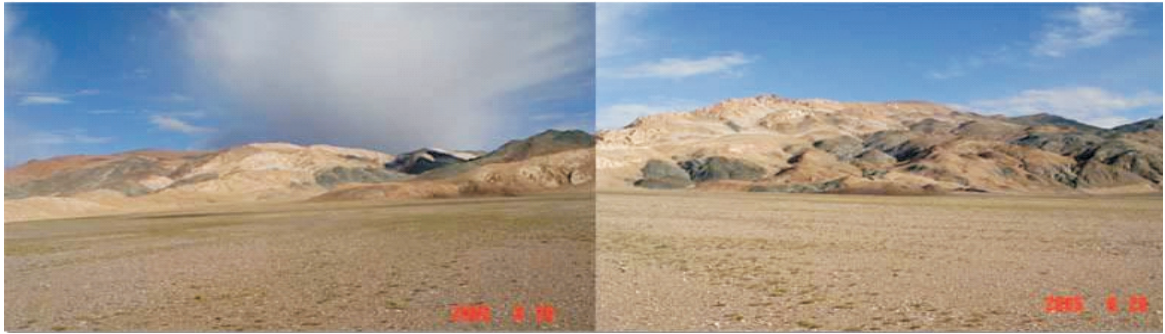


图4 江爱藏布西蓝岭洋岛-海山增生杂岩带
(暗色为玄武岩变质的蓝片岩,浅色为兰闪石大理岩)

Fig. 4 The oceanic-island-type accretionary complex belt in Jiangaizangbu area

(The dark part is the basalt metamorphic blue schist rocks, while the light part is the glaucophane marble rocks.)

主要由石炭—二叠系强烈变形变质含砾板岩、云母石英片岩和蓝闪石片岩、绿片岩、石英片岩、千糜岩、糜棱岩等中—高压变质岩系,以及分布其中的超基性岩、堆晶(辉长)岩、枕状玄武岩、榴辉岩、放射虫硅质岩,以及奥陶系—志留系结晶灰岩、大理岩等大小不等的岩块(片)和辉长岩—绿岩脉或岩墙等,组成南北宽达 100 多千米,东西长达 500 千米以上的巨型俯冲增生杂岩带。

在该俯冲增生杂岩带中,在果干加年山发现最老的堆晶辉长岩是寒武纪,获得锆石 U-Pb 年龄加权平均值 $517.1 \pm 3.8\text{Ma}$ ^[20];同时还有奥陶—志留纪蛇绿岩,获得堆晶辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 $467 \sim 432\text{Ma}$ ^[14-15,21-22]。在长梁山石炭纪岛弧的南侧发现了桃形湖蛇绿岩,主要岩石类型为堆晶辉长岩、席状岩墙、枕状玄武岩和斜长花岗岩。其中,堆晶辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 的年龄 $467\text{Ma} \pm 4\text{Ma}$ ^[23],斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年获得 504Ma 、 492Ma 的成岩年龄^[24],为大洋初始扩张过程中岩石圈地幔部分熔融的产物;斜长花岗岩经 LA-ICP-MS 测得的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 $440.5 \pm 1.6\text{Ma}$ 和 $441.6 \pm 3.4\text{Ma}$,其形成时代为早志留世^[24-25]。日湾茶卡蛇绿岩主要由堆晶辉长岩、辉长岩岩墙、块状玄武岩和斜长花岗岩等组成,堆晶辉长岩 LA-ICP-MS 测得锆石(12 个测点)加权平均年龄值为 $442.7 \pm 3.4\text{Ma}$ ^[26]。

泥盆纪蛇绿岩出露规模相对较小,在桃形湖蛇绿岩中的辉长岩岩墙锆石 U-Pb 定年,获得加权平

均年龄为 367Ma ,为晚泥盆世^[27]。

石炭纪蛇绿岩在蛇绿岩杂岩带中出露范围较大,在桃形湖、里脊山和果干加年山一带蛇绿岩组合单元较全。桃形湖斜长花岗岩锆石 U-Pb 定年获得 358Ma ^[27];桃形湖以东 20 千米处的里脊山蛇绿岩中堆晶岩、斜长花岗岩锆石 U-Pb 定年获得 357Ma 、 355Ma ^[28];在果干加年山蛇绿岩中的堆晶岩和斜长花岗岩锆石 U-Pb 定年获得 355Ma 和 348Ma ^[27,29]。

二叠纪蛇绿岩出露范围更大,从中西段到东段角木日一带露头好、保存完整。果干加年山蛇绿岩中辉长岩岩墙和玄武岩进行的锆石 U-Pb 定年获得了 275Ma 、 280Ma 和 273Ma 的成岩年龄^[27]。

寒武纪—二叠纪蛇绿岩在桃形湖—果干加年山一角木日蛇绿混杂岩带中的时空结构非常复杂,每隔几百米或几千米,不同时代蛇绿岩中的蛇纹石化橄榄岩、堆晶辉长岩、MORB 型玄武岩、辉长辉绿岩墙及放射虫硅质岩等呈断块重复出露,总体而言,以果干加年山为例,早古生代的蛇绿岩在北侧,晚古生代蛇绿岩在南侧。

以复理石砂板岩、绢云千枚岩、阳起石片岩及云母石英片岩为基质的蛇绿混杂岩断续出露,且夹有含角石化石(O)或珊瑚化石(C-P)的大理岩块,以及石炭纪二叠纪洋岛—海山玄武岩岩块(图 5、图 6),绒玛乡蓝岭的蓝闪石变玄武岩和蓝闪石大理岩伴生产出,具有洋岛的二元结构特征。基性岩显示 OIB 特征^[30],泥盆—二叠纪和早三叠世洋底沉积放

射虫硅质岩^[31]、泥质板岩和含冰川漂砾泥板岩,构成了西自桃形湖,经岗玛错、日湾茶卡、果干加年山至双湖的长达数百千米的蛇绿混杂岩带。显示了原—古特提斯大洋的连续演化的地质记录。

不同时代、不同构造环境、不同岩石组合、不同变质程度的增生杂岩都经历了强烈的构造置换作用,宏观上发育明显的区域性面理置换。含蓝闪石大理岩块内部经历了强烈韧性变形,拉伸成石香肠构造。蓝片岩与大理岩形成的同斜倒转褶皱,区域上紧闭褶皱、无根褶皱发育^[32]。



图5 龙木错-双湖俯冲增生杂岩带中的枕状玄武岩

Fig. 5 Pillow-shaped basalts in the Longmucuo-Shuanghu subduction-accretion complex belt



图6 龙木错-双湖俯冲增生杂岩带中玄武岩的柱状节理

Fig. 6 Columnar cleavages of basalts in the Longmucuo-Shuanghu subduction-accretion complex belt

近年来,龙木错—双湖结合带中在冈玛错—日湾茶卡的地质调查与研究,又有重要发现和进展:原1:25万丁固幅厘定的那底岗日组($J_{1,2}$)火山沉积岩系,实为早石炭世火山沉积岩,称为望果山组^[33],

以火山角砾岩、火山凝灰岩、流纹岩、英安岩、安山岩为主,夹玄武岩。英安岩和安山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 $358.2 \pm 1.2\text{Ma}$ 和 $350.5 \pm 1.4\text{Ma}$,为早石炭世。以查布乡大弧山剖面为代表,总厚达近 300m,划分出 6 个岩浆喷发旋回,被认为是与龙木错—双湖古生代大洋俯冲消减的弧火山岩记录^[34]。与望果山组火山弧相伴产出的含暖水型生物的下石炭统日湾卡组,为一套砂砾岩、长石英砂岩、钙质粉砂岩和生物碎屑灰岩—泥晶灰岩—生物礁灰岩组合,含丰富的筴、珊瑚、腕足等化石。生物群与沉积学特征与昌都地区、扬子陆块及华南同时代古生物面貌一致,同属特提斯扬子型^[35],日湾茶卡组与望果山组的岩石地层及岩石构造组合是长梁山岛弧总体构成的组成部分,是原古特提斯大洋向北俯冲消减的北美塘—三江多岛弧盆系的前锋弧,后期被卷入龙木错—双湖俯冲增生杂岩带之中。

该带内与蛇绿混杂岩紧密相伴产出一套榴辉岩—蓝片岩—含多硅白云母片岩组合的高压变质岩系。高压—超高压带西起红脊山^[36]、冈玛错^[37-38],经桃形湖、戈木、果干加年山^[39-45],向东延伸到蓝岭^[32]、双湖地区,再向东在索县巴青地区^[46],断续出露达 500 千米,宽达百余千米。分布范围总体与俯冲增生杂岩的区域相一致,主要岩石类型有蓝闪石—青铝闪石云母片岩及石英片岩类、含蓝闪石—青铝闪石阳起石片岩类、含蓝闪石—青铝闪石钠长石片岩类。羌塘榴辉岩(图 7)呈透镜状产出于石榴石白云母片岩和白云母蓝闪石片岩中。蓝片岩主要有早二叠世晚期和晚三叠世两个时代,在高压带西段冈玛日和桃形湖地区获得蓝闪石 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄为 275 和 282Ma ^[47-49]、237 ~ 220Ma ^[2,12]、白云母为 220Ma 、多硅白云母为 219 ~ 217Ma ^[12],以及青铝闪石为 223Ma ^[50-51]。

榴辉岩原岩具有典型 N-MORB 型,也有 E-MORB 型和 OIB 型地球化学特征^[52-53],果干加年山榴辉岩原岩具有典型的 N-MORB 型地球化学特征^[53];绒玛乡蓝岭地区得到基性蓝片岩和蓝闪石大理岩相伴产出^[38],具有洋岛的二元结构特征,且变质玄武岩显示了 OIB 型地球化学特征^[30];表明特提斯大洋盆上产出的洋岛—海山亦参与了大洋岩石圈深俯冲、折返的增生过程。这些高压—超高压变质岩组合与区域蛇绿混杂岩相伴产出,对于我们深入理解大洋壳俯冲消减增生过程,俯冲通道中壳幔相互作用,以及榴辉岩或蓝片岩的折返机制具有重要意义。



图7 龙木错—双湖俯冲增生杂岩带中的羌塘榴辉岩

Fig. 7 Eclogite rocks in the Longmucuo-Shuanghu subduction-accretion complex belt

此外,该带中北部的冈玛错—日湾茶卡—玛依岗日一带出露有花岗岩类侵入体。在日湾茶卡地区发现多个钙碱性 I 型花岗岩,锆石 U-Pb 定年结果为 358Ma ~ 350Ma,具有岛弧型花岗岩的地球化学特征,锆石 Hf 同位素揭示其源于俯冲消减的洋壳。同时发现火山弧安山岩,锆石 U-Pb 年龄为 346 ~ 358Ma^[54-55],石炭纪花岗岩体也见于玛依岗日南、果干加年山等地,岩性为巨斑状黑云母花岗岩,岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 300.1 ~ 350.7Ma^③,这一岩浆弧应是特提斯大洋壳向北俯冲消减的地质记录。晚三叠世花岗岩侵入体分布在冈玛错—玛依岗日一带,主要为花岗岩—花岗闪长岩—闪长岩组合,形成于碰撞环境的过铝质钙碱性系列“S”花岗岩^[56],获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 210 ~ 224.7Ma^③。

值得指出的是近年在该带的都古尔和本松错相继发现的早古生代(496 ~ 497Ma)的花岗质片麻岩^[57],其构造—岩浆事件的构造环境属性、构造意义值得深入研究和探讨。

2 南羌塘—左贡增生弧盆系

2.1 多玛增生弧盆系(Pz₂)

该带晚古生代下石炭统擦蒙组(C₁)主要为以含砾板岩为特征的冰水沉积碎屑岩及基性火山岩组合,其拉斑系列基性火山岩具有富集型 MORB 的特征;展金组(C₂-P₁)含冷水双壳浊积砂岩、小单体无鳞板冷水珊瑚灰岩夹玄武岩、安山玄武岩显示出洋岛海山的构造特征;曲地组(P₁)、吞龙共巴组

(P₂)、龙格组(P₂)和吉普日阿组(P₃)主体为一套浅海相—深海相碎屑岩及碳酸盐岩夹玄武岩组合。拉斑系列—高钾钙碱性系列的中基性火山岩,既有洋岛型(OIB)又有富集型 MORB 的岩石地球化学特性,还可能存在洋内弧的地质遗迹^[58]。鉴于当年该区带地质调查是按史密斯正常层序填图,有待大比例尺增生杂岩带调查研究。

中生代下中三叠统欧拉组(T_{1,2})为一套浅海相白云质碳酸盐岩夹粗玄岩建造,早—中三叠世粗玄岩和晚三叠世橄榄拉斑玄武岩、细碧岩和玄武质熔结凝灰岩等,地球化学分析具有残余海洋盆地中的海山—洋岛火山岩特点。上三叠统日干配错群(T₃)为一套浅海相—深水陆棚相碎屑岩及碳酸盐岩夹玄武岩组合;在该带北部边缘发育一套晚三叠世早期的火山岩(弄佰组或称肖切堡组),西自角木日茶卡,经肖茶卡南、朋颜错、香钦一带,近东西长 120km,面积约 380km²,以基性海底喷溢的杏仁状玄武岩、玄武质角砾熔岩、枕状玄武岩为主,含少量玄武安山岩,厚度 >2133m,上覆角木日茶卡组(T₃)生物碎屑灰岩,与下伏擦蒙组(C₃—P₁)不整合接触,K-Ar 同位素年龄值为 223 ± 5Ma 为卡尼期。火山岩亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素,显示岛弧钙碱性玄武岩特征^[59]。

晚三叠世末—早侏罗世时期,多玛地区表现为残留(边缘)海盆地性质,发育深水陆棚相碎屑岩—碳酸盐岩→浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩的堆积序列,局部夹有中基性火山岩。早—中侏罗世中酸性侵入岩,普格牙尔嘎石英闪长岩的黑云母 K-Ar 法年龄 186.6 ± 1.8Ma,岩石为亚碱性—钙碱性系列花岗

岩,形成于与俯冲碰撞作用有关的岛弧环境。晚侏罗世—早白垩世,随着南部扎普—多不杂火山—岩浆弧的发育,开始转变弧后盆地,索瓦组和白龙冰河组(J₃)、雪山组(J₃—K₁)和欧利组(K₁)构成一个完整的海进—海退旋回,发育一套滨浅海相碳酸盐岩及碎屑岩沉积。

早白垩世末,随着南侧班公湖—怒江洋盆的关闭与弧—陆碰撞作用,上白垩统阿布山组(K₂)以发育弧后前陆盆地中的陆相磨拉石沉积为特征。

2.2 扎普—多不杂增生弧(J₃—K₁)

扎普—多不杂岩浆弧带(J₃—K₁)主体位于南羌塘南缘,南侧与班公湖—怒江蛇绿混杂岩带相邻。主体沿乌江—扎普—多不杂—热那错一线,呈北西西—南东东方向的狭窄带状展布。

一直以来,与班公湖—怒江洋向北俯冲配套的岩浆弧没有得到较好研究。江西省地质调查研究院(2005)首次在班公湖—怒江带北侧划分出晚侏罗世—早白垩世陆缘增生火山—岩浆弧带,主要分布于乌江—扎普—多不杂—热那错一线。带内晚古生代总体表现为具有洋岛—海山和洋内岛弧性质的增生杂岩,晚三叠世—中侏罗世发育斜坡相盆地中的次深海相浊积碎屑岩夹薄层灰岩为基质(图8),硅质岩及基性—中基性火山岩岩块、辉长岩和超基性岩块、基质与块体呈强烈的挤压和剪切作用,块体均为大小不等(数米至千米)的近东西向的菱形或透镜体,可见同斜褶皱,属典型的陆缘俯冲增生杂岩^[60],构成了扎普—多不杂火山—岩浆弧带的基座。

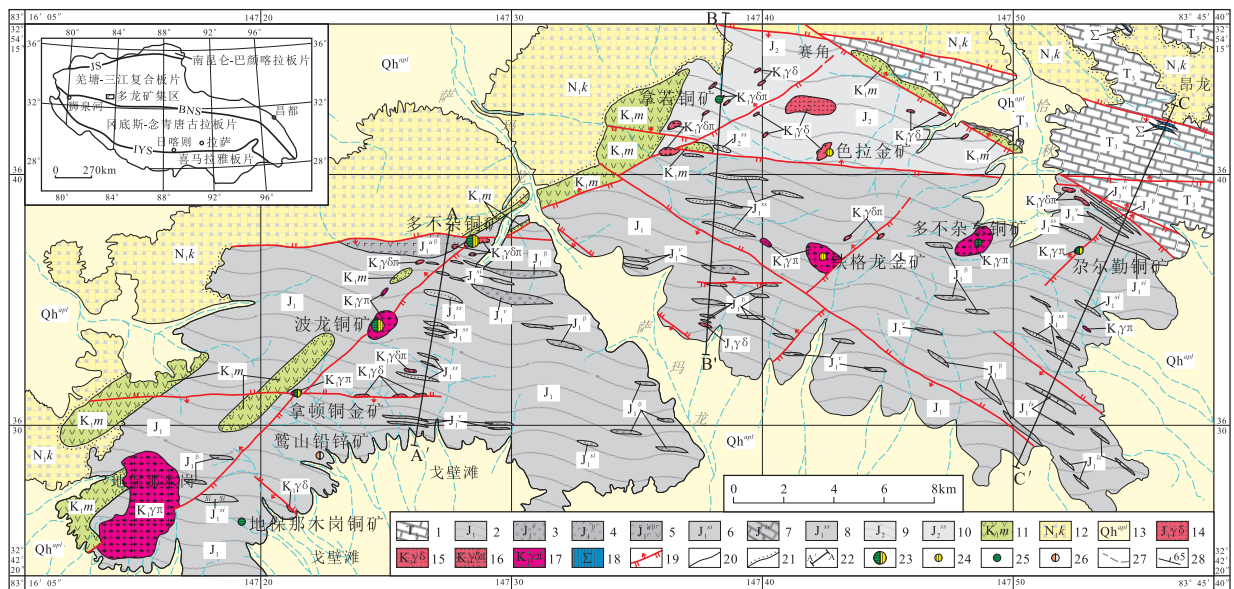


图8 多龙矿集区晚三叠世—侏罗纪增生杂岩1:5万地质简图(据参考文献^[60-61])

1-晚三叠世碳酸盐岩片; 2-早侏罗世复理石碎屑岩岩片; 3-早侏罗世辉长岩岩块; 4-早侏罗世玄武岩岩块; 5-早侏罗世安山玄武岩岩块; 6-早侏罗世硅质岩岩块; 7-早侏罗世灰岩岩块; 8-早侏罗世砂岩岩块; 9-中侏罗世复理石碎屑岩岩片; 10-中侏罗世砂岩岩块; 11-早白垩世美日切错组火山岩; 12-中新统康托组砂砾岩; 13-第四系全新统冲洪积物; 14-早侏罗世花岗岩闪长岩; 15-早白垩世花岗岩闪长岩; 16-早白垩世花岗岩闪长斑岩; 17-早白垩世花岗岩斑岩; 18-超基性岩块; 19-逆冲推覆断层; 20-地质界线; 21-角度不整合接触界线; 22-构造地质剖面及编号; 23-大型铜矿床; 24-金矿点; 25-铜矿点; 26-铅锌矿点; 27-水系; 28-地层产状; LYS-雅鲁藏布江缝合带; BNS-班公湖—怒江缝合带; JS-金沙江缝合带

Fig. 8 The geological diagram of the Late Triassic-Jurassic accretionary complex in Dulong area (according to Li Guangming et al. 2011; Duan Zhiming et al. 2013)

晚侏罗世—早白垩世在班公湖—怒江洋盆主体向南俯冲消减的格局下,同时发生了向北的俯冲消减作用,在增生楔中发育了晚侏罗世—早白垩世扎普—多不杂火山—岩浆增生弧(J₃—K₁)。火山岩岩石类型主要有玄武质角砾熔岩、中基—中酸性火山角砾岩、粒玄岩、粗安岩、杏仁状含角砾安山

岩、安山岩、英安岩和流纹岩以及大量火山碎屑岩等,岩石地球化学分析确定其属钙碱性岩石系列,属火山弧玄武岩。火山岩的Sr、Nd、Hf及岩石地球化学特征表明,岩石具有钙碱性系列→高钾钙碱性系列中基性—中酸性火山岩特点,构造性质限定在大陆边缘岛弧环境,岩浆是俯冲沉积物熔体交代的

地幔源区部分熔融产生高温玄武质岩浆底侵与不同程度地壳熔融较酸性岩浆混合形成。在多不杂矿区及其附近区域获得安山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $118.1 \pm 1.6\text{Ma}$ 、玄武安山岩年龄为 $111.9 \sim 105.7 \pm 1.7\text{Ma}$ ^[62]。

尤其重要的是,在扎普—多不杂岩浆弧带中,与其弧火山岩时空一致发育了鸟江—扎普—多不杂—热那错一线的花岗岩带,出露一系列晚侏罗世—早白垩世花岗闪长岩、石英闪长岩、石英闪长玢岩、花岗闪长斑岩体,侵位于中侏罗统夏里组(J_2)。热那错东花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $154.2 \pm 1.3\text{Ma}$,多不杂矿区含矿花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $120.9 \sim 121.1\text{Ma}$ ^[62-64]。昌隆河花岗岩黑云母单矿物 K-Ar 法年龄 123.7Ma 、拉热拉 Rb-Sr 法同位素年龄 $138.8 \pm 6.9\text{Ma}$ 、单颗粒锆石 U-Pb 谐和年龄为 $120.9 \pm 0.3\text{Ma}$ ^[62]。晚侏罗世—白垩纪岩浆活动发育于与俯冲作用有关的岛弧构造环境^[62],形成了班公湖—怒江结合带北侧一条重要的斑岩型—矽卡岩型 Cu-Au-Fe-Pb-Zn 等多金属成矿带。

最后,晚白垩世随着南侧班公湖—怒江洋盆的关闭与弧—陆碰撞作用,上白垩统阿布山组(K_2)以发育弧后前陆盆地中的陆相磨拉石沉积为特征。

2.3 南羌塘残余盆地(T_3 -K)

南羌塘残余盆地位于北侧龙木错—双湖增生杂岩带与南侧班公湖—怒江增生杂岩带之间。区内以大面积中生界的分布为特征,变形以褶皱为主,局部表现为脆性断层,褶皱表现为复式背向斜,褶皱轴面总体北西向或北北西向,局部可见隔档式或隔槽式褶皱。

南羌塘残余盆地(T_3 -K)之下的古生代变质岩系是特提斯大洋俯冲消亡的增生杂岩。依据一,西侧多玛地区如前所述发育晚古生代含洋岛或洋内弧增生杂岩带;依据二,索县北晚三叠世碎屑岩或侏罗纪碎屑岩不整合面之下的古生代变质岩系为含多硅白云母的绿片岩、云母石英片岩,在巴青城东北 70km 处发现榴辉岩产于混杂岩带中,峰期矿物组合为石榴子石+绿辉石+金红石+多硅白云母+石英,与羌塘“中央隆起带”的榴辉岩一致,变质年龄为 223Ma ^[65]显示了俯冲带为增生楔特点;依据三,南羌塘盆地北侧可见的最老地层为下三叠统孜狮桑组(T_1),主要为一套浅海相碳酸盐岩、角砾状玄武岩,可能为洋岛—海山岩石组合,产

Neospathodus homeri—*Neospathodus triangularis* 牙形刺组合带^④。上三叠统肖茶卡群(T_3)肖切堡组主要由中层—厚块状玄武岩、火山角砾带岩与玄武安山岩组成,熔岩枕状构造发育,夹较多灰岩夹层或透镜体,东西长达 100km,南北宽 2km,面积约 200km^2 ,最厚达 2000 多米,K-Ar 年龄为 $223 \pm 5\text{Ma}$ ^②;角木日茶卡组为碳酸盐岩夹碎屑岩组合,以发育海绵礁灰岩、角砾状灰岩为特征。总体形成一套典型的(洋岛)海山沉积序列,基性—中基性火山岩具有拉斑系列→亚碱性—碱性系列地球化学特征,显示洋岛构造环境。晚三叠世南羌塘盆地是在古生代增生杂岩及早、中三叠世洋岛海山增生的俯冲增生杂岩基底上的残余海盆地。这些地质记录显示了南羌塘不是从冈瓦纳大陆裂离出来的地块,而是促使我们将龙木错—双湖俯冲增生杂岩带与班公湖—怒江增生杂岩带归并为一个大洋消减增生杂岩带。

早中侏罗世南羌塘盆地区表现为残余(边缘)海盆地性质,从早至晚为次深海相碎屑岩夹薄层灰岩→深水陆棚相碎屑岩—碳酸盐岩→浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩的堆积序列,局部夹有中基性火山岩。早白垩世末,随着南侧班公湖—怒江洋盆的关闭与弧—陆碰撞作用,南羌塘残余海盆地最终消亡。上白垩统阿布山组(K_2)以发育前陆盆地中的陆相磨拉石沉积为特征。

2.4 左贡楔顶盆地

左贡楔顶盆地的变质基底长期以来认为是前泥盆系吉塘岩群($AnD?$)变质岩,下部恩达岩组($Pt_3?$)为一套角闪岩相(局部麻粒岩相)变质岩系,原岩为一套火山岩—沉积岩建造。经李才研究认为吉塘群是由大小不等、时代不同、不同构造环境中产生的构造—岩石单位,解体为前寒武纪副片麻岩,早二叠世岛弧火山岩、早二叠世片麻状花岗岩(I型),及中晚三叠世花岗岩(S型),有可能是与古特提斯洋演化密切相关的前锋弧岩浆活动的地质记录。西西岩组($Pz_1?$)为一套绿片岩相变质岩系,原岩为一套碎屑岩及火山岩建造,经历了韧性剪切、构造置换变形作用,有可能为弧沟系增生杂岩^[66]。上古生界泥盆系未见出露,左贡盆地东侧已知石炭系主体为北澜沧江洋盆西侧被动边缘盆地浅海相碎屑岩夹生物灰岩沉积→裂隙—裂谷盆地半深海相的碎屑岩复理石、玄武岩及流纹岩“双峰式”夹灰岩组合。中—上二叠统东坝组(P_2)、沙龙

组(P_3)主体为一套滨浅海相碎屑岩及玄武安山岩、杏仁状或致密块状玄武岩、安山质角砾熔岩及变质凝灰岩夹灰岩组合;火山岩性质属于大陆拉斑—碱性系列玄武岩及安山岩,初步分析形成于与北澜沧江洋壳西向俯冲作用有关的火山弧环境。

早—中三叠世由于受到北澜沧江弧后洋壳俯冲消减、弧—陆碰撞造山作用的制约,该带缺失下中三叠统沉积。上三叠统由下往上分为东达村组、

甲丕拉组、波里拉组和巴贡组,不整合于吉塘岩群之上(图9)。东达村组(T_3)沿左贡县城东往北至乌齐以南分布,由砂页岩与灰岩组成。甲丕拉组(T_3)为盆地中的磨拉石堆积,之上的波里拉组为海相碳酸盐岩及阿堵拉组和夺盖拉组的含煤碎屑岩,以页岩与细砂岩、粉砂岩韵律互层,被认为是怒江洋盆向西斜向俯冲的弧陆碰撞过程中楔顶盆地拗陷产物。



图9 晚三叠世东达村组与吉塘群不整合(左贡县城东侧东达村)

Fig. 9 The unconformable interface between the Late Triassic Dongdacun Formation and the pre-Devonian Jitang Group in Dongda Village, Zuo Gong County

盆地东侧最为显著的侵入体是晚三叠世东达山巨型花岗岩岩基,岩性复杂多样:黑云母花岗闪长岩、花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩、二长花岗岩、石英黑云二长岩等;获得全岩 Rb-Sr 年龄为 194Ma^[67]和 215.5Ma^[68],地球化学特征显示为碰撞环境的岛弧型岩体。

区内中生界主要为宽缓褶皱,北西—南东向的逆断层发育,尤其以盆地东、西两侧相向对冲的叠瓦状逆冲断层及推覆体构造发育为特征。

3 班公湖—怒江俯冲增生杂岩带

班公湖—怒江俯冲增生杂岩带西起自班公错、改则,经班戈、丁青,东至八宿、碧土一带,东西向延长 2000km,南北宽 8~50km,呈近东西向、北西西向转为北西到近南北方向展布^[69-70]。

班公湖—怒江带由规模巨大的蛇绿岩、蛇绿混杂岩增生杂岩带,以及被挟持其中的残余弧增生构成^[71]。沿带还发育晚白垩世—新近纪陆相火山喷发,以及新生代陆相走滑拉分盆地、第四纪谷地呈带状展布。划分为班公湖—怒江蛇绿混杂岩带、聂荣增生弧、嘉玉桥增生弧等 3 个次级构造单元。

3.1 班公湖—怒江蛇绿混杂岩带(D—K₁)

班公湖—怒江蛇绿混杂岩带的蛇绿岩均呈构造块体混杂于古生代—中生代地层中,或逆冲推覆

到白垩纪—新近纪地层之上。蛇绿岩内部亦发育有叠瓦式逆冲断层系,断层运动方向以往南逆冲为主导。依据区域蛇绿混杂岩的时空结构组合及其特征分西、中、东、南 4 段叙述如下:

班公湖—怒江结合带在西段班公湖至那屋错、改则、色哇一带,出露 35 个基性—超基性岩体群,岩体面积一般几至十几平方千米,班公湖南岸及改则洞错等地均可见完整的蛇绿岩层序,自下而上为变质橄榄岩→堆晶辉长岩→辉绿岩墙群→块状及枕状玄武岩和共生的放射虫硅质岩。获得去申拉蛇绿岩中辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 221.6 ± 2.1Ma、舍拉玛沟辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 190.8 ± 2.7Ma^{⑤-⑥}。值得指出的是,近年在洞错舍拉玛沟发现榴闪岩^[72],经历了高压麻粒岩相(图 10)和角闪岩相两期变质作用改造,榴闪岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 254 ± 2Ma,表明该洋盆发育时限追溯到二叠纪,即与龙木错—双湖带是同属原古特提斯大洋的例证。

木嘎岗日岩群(J_{1-2})岩性为由轻变质的岩屑石英砂岩、长石石英砂岩、钙质岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、长石石英杂砂岩、长石岩屑杂砂岩组成的弧沟浊积韵律层系,夹少量灰绿色凝灰质细砂岩,常见枕状玄武岩及三叠纪—侏罗纪硅质岩和中二叠世灰岩岩块,去申拉一带放射虫硅质岩经放射虫鉴定,形成时代为侏罗纪。

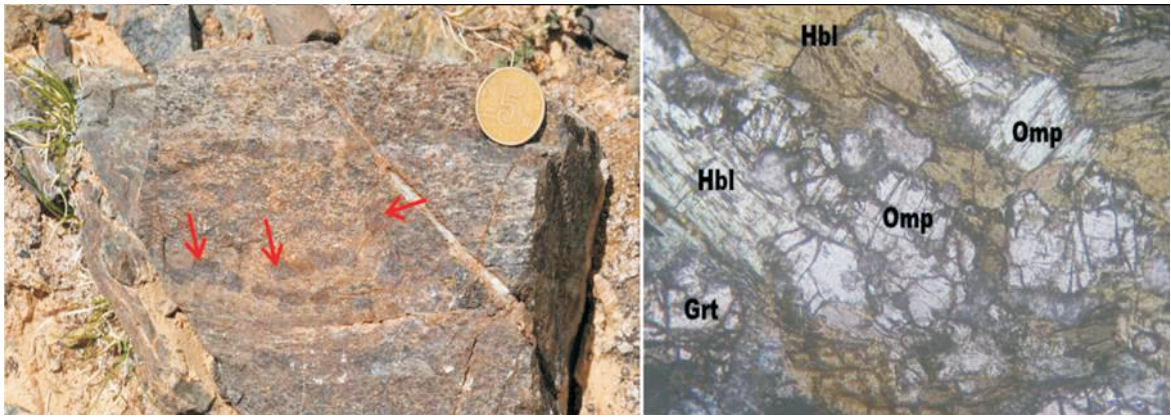


图 10 改则洞错榴闪岩

Fig. 10 Eclogite-hornblendite rocks in Dongcuo area, Gaize County

班公湖—怒江结合带西段基性、超基性岩被断裂剪切分割成大小不等的块体,其边部有明显剪切片理化带;基性—超基性岩体群构造侵位于木嘎岗日岩群。在班公湖、洞错等地均发育有洋岛—海山残块(图 11)。

班公湖—怒江带中段分布于尼玛、东巧、安多至索县一带,东西长约 500km,南北宽约 100km,区内约有 30 多个 SSZ 型超基性杂岩体,单个岩体面积

一般 $1 \sim 10 \text{ km}^2$,构造侵位在俯冲增生杂岩和蛇绿混杂岩带之中。自北而南可划分为 3 个蛇绿混杂岩亚带:其香错—东巧—安多亚带、切里湖—达如错亚带及桂牙白拉—觉翁—依拉山亚带。在东巧堆晶辉长岩中获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $187.8 \pm 3.7 \text{ Ma}$ 、获得安多蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $175.1 \pm 5.1 \text{ Ma}$,显示洋壳形成时代为早侏罗世—早白垩世。



图 11 舍拉玛沟洋岛—海山岩石组合

Fig. 11 Oceanic-island-seamount-typed rock assemblages in Shelama ditch

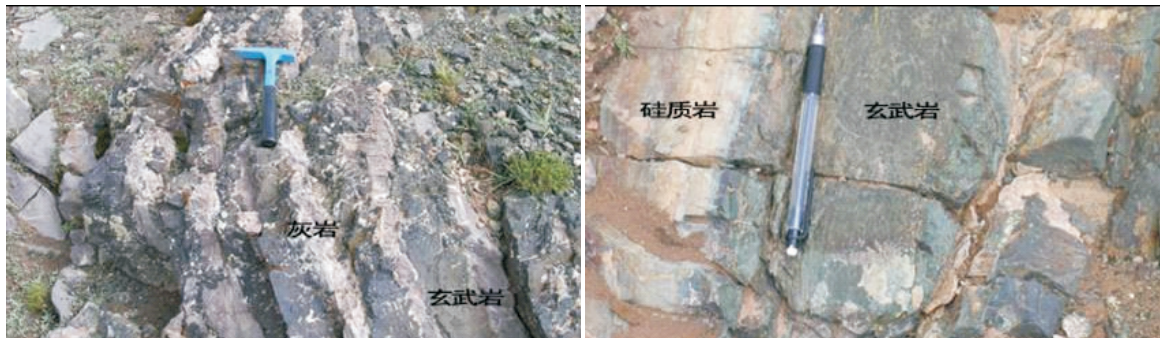


图 12 塔仁本洋岛-海山组合

Fig. 12 Oceanic-island-seamount-type rock assemblages in Tarenben area

班公湖—怒江带中段各亚带之间的增生杂岩中,除混杂有志留系、泥盆系、石炭—二叠系的大小不等的大理岩、灰岩岩块,也见有侏罗纪玄武岩,安山岩及安山质角砾凝灰岩的似层状、透镜状岩块,以及在其香错、扎楚藏布下游的塔仁本发育有早白垩世洋岛—海山组合^[73](图 12)。硅质岩中含早白垩世放射虫,在不同地段均被上白垩统竞柱山组(K_2)区域性不整合覆盖。显示了班公湖—怒江洋自日土经改则至安多东巧约 1500km 区域内,在早白垩世末(100Ma)闭合消亡。局部被东巧组(J_3-K_1)不整合覆盖在超基性岩块之上,显示楔顶盆地特征,不能作为班公湖—怒江洋中侏罗世闭合^[69]的证据。

班公湖—怒江带东段指索县—巴青—丁青—八宿蛇绿混杂岩带,一系列大小不等的基性、超基性岩体,总体呈透镜状、扁豆状、似脉状沿北西、北西西方向断续展布构造侵位在砂板岩、云母石英片岩为基质增生杂岩中。丁青县桑多乡苏如卡、洛隆县打拢乡瓦夫弄等地见石炭—二叠纪蛇绿岩^[74]。丁青色扎区的加弄沟、宗白—亚宗一带可见完整蛇绿岩层序,自下而上为橄榄岩(包括云辉橄榄岩、辉橄岩、二辉橄榄岩夹含辉纯橄岩,厚>7500m)→堆晶岩(包括辉长苏长岩、二辉岩、角闪辉长岩,厚260m)→辉绿岩和辉长辉绿岩墙群→玄武质熔岩(包括拉斑玄武岩、霓玄岩、钛辉玄武岩)→放射虫硅质岩^[69,75]。在三叠纪蛇绿岩中发现玻镁安山岩,应属洋内受消减作用制约的前弧环境^[76]。在日隆山、娃日拉一带有厚度大于 1200m 的由纯橄岩、二辉橄榄岩互层组成的堆晶杂岩。在丁青岩体南侧,上侏罗统德极国组底砾岩中见有超基性岩与硅质岩砾石分布,已知蛇绿岩形成时代为石炭纪—早侏罗世。

班公湖—怒江带在八宿—左贡—察瓦龙一带主要表现为左贡扎玉—碧土蛇绿混杂岩带。混杂岩的基质为钙—混质浊积岩,钙—硅质岩及薄层硅质灰岩,其中混杂有镁铁质岩和超镁铁岩,以及扎玉区的西玉曲河西岸厚大玄武岩为石炭—二叠纪的亚速尔型洋岛,碧土南瓦浦岩组是一套夏威夷型洋岛海山的玄武岩及灰岩的岩块^[77],扎玉—碧土玉曲河两岸的硅质岩中含晚石炭世放射虫 *Albaillella* sp. 和牙形刺等化石。

3.2 聂荣增生弧(Pt, J)

聂荣增生弧($Pt_3 \setminus Pz_2-K_1$)呈透镜状夹持于班公湖—怒江结合带中段南、北两条蛇绿混杂岩亚带之间。地块之上主要出露地层为中—新元古界聂荣岩群(Pt_3)、前寒武系扎仁岩群($An \in$)、上古生界嘉玉桥岩群(Pz_2)、侏罗系—白垩系和古近系。包括扎仁增生杂岩、聂荣构造残片(T_3-K_1)。

新元古界聂荣岩群(Pt_3)主要为混合岩、片麻岩、黑云变粒岩、斜长角闪岩等,侵入其中的二长花岗岩 U-Pb 法(SHRIMP)年龄 814 ± 18 Ma,时代暂定为中—新元古代。前寒武纪地层称扎仁岩群($An \in$),以石榴砂线二云片岩、黑云斜长石英片岩、蓝晶石—矽线石榴二云片岩为主夹斜长角闪岩、大理岩等,与聂荣岩群呈断层接触。嘉玉桥群(Pz_2)主要由片岩、千枚岩、变砂岩、大理岩、片岩及变玄武岩等组成,时代归属晚古生代,与周围呈断层接触。中—上侏罗统拉贡塘组($J_{2,3}$)仅在南侧零星分布,岩性主要为砂岩夹粉砂质泥岩—页岩、页岩与灰岩。上侏罗—下白垩统称郭曲群(J_3-K_1)为浅海陆棚沉积的砂砾岩组合,与下伏地层古生界嘉玉桥岩群(Pz_2)为角度不整合接触。

带内发育侏罗纪花岗岩类侵入体,侵位于聂荣岩群和嘉玉桥岩群中。由早到晚依次为英云闪长

岩、含斑花岗闪长岩(锆石 SHRIMP 年龄为 185 ~ 178Ma)、巨斑状角闪二长花岗岩(锆石 SHRIMP 年龄为 171Ma)、巨斑状二长花岗岩、含斑二长花岗岩和正长花岗岩,主要显示“I”型特征^[78],可能为班公湖—怒江洋壳南向俯冲与增生作用的弧岩浆岩。

3.3 嘉玉桥增生弧(Pz-J)

嘉玉桥岩群增生杂岩,包括俄学岩组(C-P)、邦达岩组及卡穷岩组一套变质增生杂岩(C₁)。与聂

荣增生弧类似,嘉玉桥岩群(Pz₂)主体为一套绿片岩相的碎屑泥硅质岩、碳酸盐岩与玄武岩构成的洋岛海山组合呈构造岩块产出的变质岩系。各岩组之间常呈断层和韧性剪切构造接触,在同卡一带卡穷岩组中,超高压榴辉岩、榴闪岩及高压麻粒岩呈构造透镜体产出于含蓝晶石、石榴矽线石二长麻粒岩中^[79-80],也见含榴闪岩(图 13)、多硅白云母的高压变质岩带,总体属于增生杂岩构造—地层系统。



图 13 嘉玉桥增生杂岩带同卡高压榴闪岩

Fig. 13 The high-pressure eclogite-hornblende rocks in Tongka area in the Jiayuqiao accretionary complex

该带岩浆活动除古生代有较强的基性火山活动外。侏罗纪中酸性侵入岩为碰撞造山阶段形成的富硼的陆壳重熔型花岗岩类,可能为班公湖—怒江洋向南俯冲有关的增生弧岩浆岩构造环境。

在班公湖—怒江俯冲增生杂岩带自西向东已发现的高压—超高压变质岩包括:洞错榴闪岩、蓬错西镁质榴辉岩相蛇绿岩^[81]、安多高压麻粒岩^[82]、巴青北高压变粒岩^[83]、八宿嘉玉桥增生杂岩中的退变质榴辉岩高压麻粒岩^[79,84-85]。显示了班公湖—怒江特提斯大洋在中生代向南深俯冲而发生的麻粒相或榴辉岩相变质作用,对认识原古特提斯大洋的构造演化和陆—弧碰撞过程有重大意义。

4 昌宁—孟连俯冲增生杂岩带(Pz₂-T₂)

昌宁—孟连带(Pz-T₂)位于西侧保山地块与东

侧临沧—澜沧地块(岩浆弧带)之间,向北延伸被碧罗雪山—崇山变质地块占据,再向北直至贡山丙中洛一带,仅见断续出露有类似昌宁—孟连带泥盆—石炭系的复理石砂板岩及少量硅质岩。包括铜厂街—牛井山及孟连蛇绿混杂岩带(Pz)及四排山—景信洋岛—海山(D₃—P)。该带在宽角反射地震剖面也有明显的结构图象显示^[86]。南延可能对接马来西亚的文冬—劳勿带^[5,87]。

昌宁—孟连增生杂岩带是原—古特提斯大洋俯冲消亡地质记录保存最好的区带^[88-89],将成为全球特提斯地质研究基地。早期在曼信和铜厂街两地,发现具 N-MORB 特征的洋脊玄武岩,铜厂街蛇绿岩的时代为中泥盆世(年龄 385Ma)^[90],其余为早石炭世,与其伴生的含放射虫硅质岩为远洋非补偿性盆地沉积。在曼信、孟连等地,洋脊及准洋脊玄武

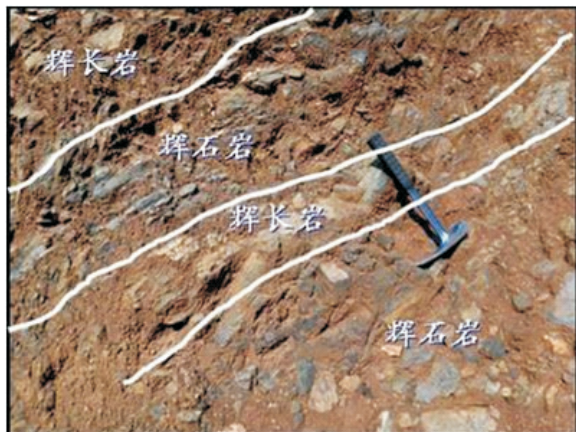


图 14 南汀河蛇绿岩的堆晶辉长岩

Fig. 14 The cumulative gabbro in ophiolite rocks in Nantinghe area

岩中见有多层呈透镜状产出、具枕状构造的苦橄岩^[91]。在云县铜厂街地区发育方辉橄榄岩、堆晶二辉岩—辉长岩、席状岩墙群、玄武岩、放射虫硅质岩和外来灰岩块等组成的蛇绿混杂岩,基质由两部分岩石组成:一类为强烈变形和剪切形成的绢云片岩、绢云石英片岩^[92],原岩主要为一套复理石碎屑岩系;另一类为阳起片岩、绿帘阳起片岩,是蛇绿岩上部端元玄武岩及火山碎屑岩系变质而成,这些都表明了古海洋扩张脊的存在。近年来,在南汀河蛇绿岩中获得堆晶辉长岩(图 14)和辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 473Ma 和 443Ma^[93],在牛井山地区发现年龄为 468Ma 的“O”型埃达克质英云闪长

岩和 272Ma 的“N-MORB”型斜长角闪岩^[94-95]。

标志该带存在早古生代洋壳初始俯冲成因的洋内弧岩石组合和晚古生代洋中脊产出的洋壳的地质遗迹。前人长期认为是中元古界澜沧岩群的绿片岩及变玄武岩中发现湾河蛇绿混杂岩,变质堆晶辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 470.8Ma^[96],以及清平蛇绿混杂岩^[97],近年孙载波、彭智敏等在双江—耿马开展 1:5 万地质调查及综合研究,在双江勐库、挖角、那卡河^[98]、根根河等地发现呈南北向带状展布断续延展近百余千米的数十个规模不等的榴辉岩及榴闪岩高压—超高压变质带^[99]。其中挖角、那卡河榴辉岩透视镜其特征与寄主的层状斜长角闪岩—英云闪长岩(变质堆晶辉长岩)相似,稀土微量元素地球化学特征均具有洋脊玄武岩的特征^[100],初步研究表明主要经历了三期退变质作用的改造,并获得 486Ma 原岩年龄和 230Ma 的主期变质年龄,确认澜沧岩群并非是以往认为的中元古代基底岩系(除勐海一带仍存在新元古代澜沧群),主体是一套与原提斯洋俯冲消减过程形成的增生杂岩系。从西向东横穿增生杂岩带(图 15),可划分出四排山洋岛—海山增生杂岩带(C—P)、牛井山蛇绿混杂岩带(Pz₁)、勐峨含洋内弧残块增生杂岩带(O₂)、老七班远洋硅质泥质沉积增生楔(Pz)、邦老电站弧—沟间浊积岩增生楔、栗义含蓝片岩增生杂岩带、邦丙含榴辉岩超高压俯冲折返带(Pz₁)。表现为原—古特提斯洋连续演化的地质记录。

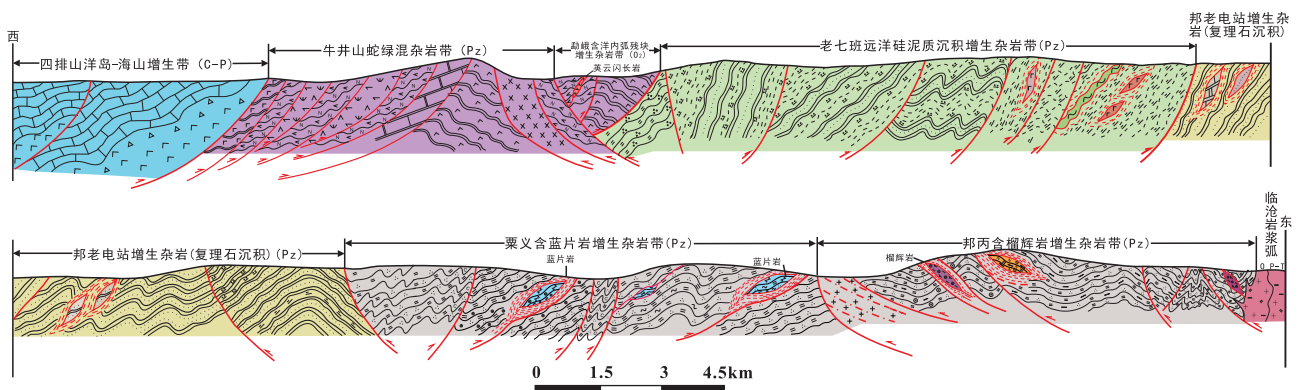


图 15 双江—耿马地区昌宁—孟连俯冲增生杂岩带地质构造剖面

Fig. 15 The stratigraphic-tectonic section of the subduction-accretion complex zone in Shuangjiang-Gengma area

在曼信、依柳、老厂等地还有石炭纪—二叠纪的洋岛玄武岩出露^[101],在层序上位于洋脊、准洋脊玄武岩之上,并与其上的灰岩层一起构成海山所具有的玄武岩—灰岩组合,两者之间常为整合接触关

系。空间上在北部的老厂、双江、耿马郭大寨、乌木龙—蚂蝗高速公路一带主体为晚二叠世洋岛—海山;而南部曼信、拉巴一带为早—中石炭世洋岛—海山,显示出由南向北时代变新的热点岩浆作用的轨

迹,而且洋岛-海山的岩石组合和层序结构与现代太平洋中广泛发育的洋岛-海山的特征相当^[102],近年来云南地调院在耿马回爱、帕秋一带新发现泥盆系曼信组洋岛火山岩,地球化学特征类似于亚速尔型洋岛玄武岩。而石炭-二叠纪(平掌组-鱼塘寨组)洋岛-海山广泛分布在昌宁-孟连带。据刘本培等(1993)研究,上述地区玄武岩层之上的石灰岩均不含陆源碎屑,为远离大陆的洋岛-海山碳酸盐岩^[103]。昌宁-孟连带在向东俯冲消减过程,制约东侧临沧弧盆系的形成与发展演化。三叠纪弧-陆碰撞作用,早三叠世东边盆地已褶皱隆升遭受剥蚀,开始向西部前渊供给物源^[104-105],最终被上三叠统普遍不整合覆盖。

5 结语

综合上述,龙木错-双湖增生杂岩带地表保留长达1350千米,宽达100多千米,是大洋壳俯冲消亡的记录;南羌塘不是冈瓦纳大陆裂离出来的地块,以及中生代残余盆地的基座是古生代增生杂岩及早-中三叠世洋岛-海山增生杂岩等信息;班公湖-怒江俯冲增生杂岩带,不是原先认为的晚三叠世-早侏罗世扩张洋盆,而是包括有古特提斯洋壳俯冲增生杂岩的地质遗迹;其南延与昌宁-孟连古生代-中三叠世昌宁-孟连俯冲增生杂岩带相连接,表明各带同属原-古特提斯大洋俯冲消亡的地质遗迹,故我们将其命名为班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连对接带。

特提斯构造域演化研究中的一个关键问题是是否存在特提斯大洋?特提斯洋如何转化为特提斯造山带。班公湖-双湖-怒江(中北段)-昌宁-孟连对接带内广泛出露由特提斯大洋岩石圈俯冲消减过程中形成的不同时代、不同构造环境、不同变质程度、不同变形样式的洋板块构造地层系统,及俯冲增生混杂的构造-岩石组合体,可识别出增生的远洋沉积岩、海沟浊积岩、古生代-中三叠世蛇绿岩、蛇绿混杂岩、洋岛-海山消减增生楔、洋底沉积增生杂岩,基底残块以及以蓝片岩、榴辉岩为代表的高压-超高压变质岩带,记录了青藏高原原古新特提斯大洋从寒武纪到早白垩世连续形成演化的地质信息。班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连对接带是青藏高原中部一条重要的原古特提斯大洋自北向南后退式俯冲消亡的巨型俯冲增生杂岩带,构筑了冈瓦纳大陆与劳亚-泛华夏大

陆分界带。

依据特提斯地质特征来看,将包括青藏高原及邻区的特提斯构造域的原型重建为一个特提斯大洋、南北两个大陆边缘和三大多岛弧盆系^[106-108]。受特提斯大洋向北俯冲消减过程制约,在泛华夏大陆群西南部边缘形成早古生代秦祁昆多岛弧盆系、晚古生代形成北羌塘-三江多岛弧盆系,在古生代以来连续被卷入造山作用中,最终成为泛华夏大陆的一个不断增生的组成部分。特提斯大洋岩石圈向南俯冲制约晚古生代形成的陆缘弧盆系及中生代喜马拉雅-冈底斯多岛弧盆系形成,在中生代末以来转化为造山系。特提斯构造域大洋岩石圈向大陆岩石圈构造体系转换是通过大洋岩石圈俯冲消减及大陆边缘多岛弧盆系内弧-弧碰撞、弧-陆碰撞-造山转化为造山系实现的。

从全球特提斯洋陆分布时空格局及其演变过程不难理解,特提斯大洋的开启承接于Rodinia超大陆的解体,至少从晚前寒武纪到中生代,经历了由发生、发展到萎缩、消亡的长期连续的复杂演化过程。青藏高原古特提斯是原特提斯的继承和发展,新特提斯也不是古特提斯洋消亡后重新打开,有部分特提斯洋壳可被随后的印度洋归并^[5,11]。

从大量的地质信息反映出,将包括青藏高原及其邻区的特提斯造山带的原型恢复为古大洋,而不是一个广阔的大陆海湾或浅海大陆架;从全球大洋岩石圈形成演化的角度来考虑,特提斯古大洋是显生宙全球洋陆转换演化历史链条的一个环节。在全球特提斯洋存在的时期,还没有太平洋和印度洋。太平洋和印度洋的张开及形成演化过程,正是特提斯洋不断闭合、消亡的过程;也就是说中生代末消亡闭合的特提斯大洋,其原始规模应具现今太平洋这样大的规模。位于青藏高原中部的班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连对接带,即为特提斯大洋盆地最终闭合消亡的场所。

冈瓦纳大陆群的研究表明,中生代初印度陆块属冈瓦纳的一部分,自白垩纪(可能下延至晚侏罗世晚期)开始分裂向北推进,在约150Ma时期内,现今印度与南极之间的距离(即印度洋宽度)达到9000km以上。从相对运动论看,亚洲大陆南移的幅度只能补偿北冰洋的扩张幅度,不应小于9000km。一个大洋从发生、扩展到消亡的演化过程,从古太平洋、古亚洲洋等历经地史时期长达600~800Ma,而特提斯大洋的存在也超过600Ma,其规模最小应

相当于现今印度洋的宽度。太平洋的扩张规模是以泛华夏大陆的陆壳本身的缩短幅度与近南北向造山带以及北美科迪勒拉造山带的缩短幅度之和来实现岩石圈水平运动的均衡补偿,现今太平洋已有200Ma的扩张史,并且现已转化为萎缩期,预测400Ma后经过弧-弧-弧-陆碰撞而消亡。

在显生宙以来的漫长地质演化过程中,泛华夏大陆群在与劳亚大陆群和冈瓦纳大陆群三足鼎立的局面中,其规模和组成是最弱小的(扬子加华北古陆只相当俄罗斯陆块的1/3,北美的1/8),漂变于赤道附近。整个古生代泛华夏大陆群始终独立于劳亚大陆和冈瓦纳大陆,自成体系、自成组织、自我独特地演化、发展。虽然泛华夏大陆群曾多次受到特提斯大洋俯冲消减的制约,其边缘发生裂解和特提斯洋物质能量的交换,面积规模不断缩小;与此同时,其边缘的岛弧造山作用则不断形成新的山脉环绕在泛华夏大陆周围,使泛华夏大陆不断增生;泛华夏大陆这种对立统一矛盾的地壳岩石圈运动,以动态系统的拓扑变换分布在地球表面,屹立于亚洲的东方。中国西部特提斯大洋板块及其之上不同构造相环境的岩石,在水平方向上所受到巨大而强烈的压缩褶皱、冲断、叠覆等复杂构造过程,形成一系列的近东西向或北西—南东向等的古岛弧造山带。特提斯造山带的物质来源,主体并不是其邻接大陆岩石圈本身,而是由特提斯大洋岩石圈及其相关的活动边缘岛弧和海底沉积物所提供。同样比照现今东亚东部边缘岛弧—边缘海盆地形成,显然是太平洋岩石圈板块对东亚大陆的构造侵袭,并不断向西推进的结果,其最终不仅是以西太平洋岛弧造山带的形成,并嵌接在东亚大陆之中,东亚大陆获得增生而告结束。特提斯洋演化的过去,可与太平洋的演化相对照,特提斯构造域的古构造、古地理与新生代东南亚—印度尼西亚多岛弧盆系构造如此之相似,在全球岩石圈演化中不是偶然。

后记

在20世纪80年代初,我有幸与刘老师同在地矿部青藏高原地质调查大队,他在11分队从事喜马拉雅—雅鲁藏布江侏罗纪—白垩纪沉积地质研究,我在7分队从事青藏高原新生代构造及高原隆升研究。1982年初,调入地矿部成都地质矿产研究所任所长至今40年,直接在他的指导下工作,深深感到刘老师是我们不可多得良师益友。

1992年,他举荐我任科技处处长兼所长助理,并提出许多宝贵的启发性要求和建议。1993年,刘宝珺院士向部推荐我负责实施国家计委国际第30届国际地质大会(北京)的研究项目—东特提斯地质构造形成演化。他与许效松老师负责“中国西部大型沉积盆地及地球动力学”。国家高度重视地球科学发展重要时期,他以科学家的敏锐性和预见性,要求我们研究团队进行开创性的工作,鼓励和支持他的助手和学生超越自己擅长的学科方向去深入研究,为他们脱颖而出创造条件。同时,以洋陆转换、盆山耦合的创新思维,将两个研究团队的骨干结合在一起,亲自带队共赴西藏—三江造山带和新疆天山—准噶尔—阿尔泰山开展艰辛深入的野外考察调研。他的无私奉献精神感人至深,他严谨谦虚、实事求是的学风,胸怀坦荡、平易近人的品德,永远是我们学习的榜样。

刘宝珺院士是我国著名的地质学家,也是我国沉积岩石学的主要奠基人之一,他学术造诣高深,治学严谨,在沉积学、中国岩相古地理学等诸多领域进行了开拓性的研究,做了大量卓有成效的工作,以及不断地开展中外地质学家的合作、交流,为培养高层次人才做出了贡献。2006年,我和许效松等几位同志随刘宝珺院士赴青岛,他以《当代沉积学研究进展、前瞻与思考》为题向山东科技大学师生作的报告,通俗、详尽地讲解了大地构造沉积学、层序地层学、事件沉积学、储层沉积学、资源沉积学、全球变化沉积学与环境沉积学等研究进展及展望。他强调学科研究必须重视国内外研究现状的调研,了解存在的主要问题、前缘问题,站在更高的科学高度,把握发展趋势;要加强基础性研究工作,对沉积相及相变规律研究要认知构造对岩相展布起重要作用,沉积盆地分析必须建立在构造相环境研究基础上,要实现多学科交叉,发展地球科学。

刘宝珺院士不仅为我校(中心)的人才培养、专业学科的发展和建设做出了重要贡献,而且为沉积地质调查和研究事业做出了不朽贡献。使我国沉积学、沉积地质跻身于国际先进行列,并得到了国内外地质界的高度评价。

刘宝珺院士政治上坚定的信念,对社会经济可持续发展的强烈责任感,为国家科技强国奋斗不息的赤子之心,从不空谈、不随波逐流,他组织地球科学界编辑出版了《南水北调西线工作备忘录》,亲自撰写了“南水北调西线工程上马应慎之又慎”,指出

南水北调西线工程是对大自然最大改造工程,是对自然规律的挑战,对生态地质环境的挑战,是对社会协调发展过程中一系列两难的挑战。提出要实现三个超越:告别改造自然的幻想,实现顺应和尊重自然的超越;要从单一水利部的规划决策向公共规划论证体系的超越;从追求单纯截流调水到追求国家安全、人与社会、自然环境协调发展的超越。认为要在维系中华民族生存发展的大江大河的源头上改造自然,营建人工天河,是一件关系到国家利益、生命安全的大事,决策时必须慎之又慎、从长计议。

40年来,刘院士的言传身教,使我们在思想上和地球科学的认识上都得到了很大的收益和提高,心里总是充满了对先生的崇敬和感激之情。值此刘宝琛院士90华诞之机,谨以此文表达我及学生们对先生的敬意,衷心祝愿刘老师健康长寿。

致谢:本文撰写得到了李廷栋、莫宣学、金振民、肖庆辉、陆松年、张克信、李才等院士专家教授的指教和帮助,再次深表衷心感谢!

注释:

- ①山西地质调查院. 1:25万托和平错幅区域地质调查报告. 2006.
- ②成都地质矿产研究所. 1:25万爱达日那幅区域地质调查报告. 2005.
- ③吉林大学地质调查研究院. 1:25万玛依岗日幅区域地质调查报告. 2005.
- ④吉林省地质调查院. 1:25万玛帕度错幅区域地质调查报告. 2005.
- ⑤西藏自治区地质调查研究院. 1:25万改则县幅区域地质调查报告. 2004.
- ⑥西藏自治区地质调查研究院. 1:25万日干配错县幅区域地质调查报告. 2004.

参考文献:

- [1] 潘桂棠. 全球洋—陆转换中的特提斯演化[J]. 特提斯地质, 1994, 18: 23-40.
- [2] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, 21(11): 701-707.
- [3] Pan G T, Wang L Q, Li R S, et al. Tectonic evolution of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 53: 3-14.
- [4] 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 等. 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, 2004, 11(4): 371-382.
- [5] 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化

- [M]. 北京:地质出版社, 1997. 1-198.
- [6] 潘桂棠, 王立全, 李兴振, 等. 青藏高原区域构造格局及其多岛弧盆系的空间配置[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(3): 1-26.
- [7] 潘桂棠, 王立全, 尹福光, 等. 从多岛弧盆系研究实践看板块构造登陆的魅力[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10): 933-939.
- [8] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 521-533.
- [9] 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[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1613-1637.
- [10] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
- [11] 潘桂棠, 王立全, 张万平, 等. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书(1:1500000)[M]. 北京:地质出版社. 2013.
- [12] 李才, 翟庆国, 董永胜, 黄小鹏. 青藏高原羌塘中部榴辉岩的发现及其意义[J]. 科学通报, 2006, 51(1): 70-74.
- [13] 李才. 青藏高原龙木错—双湖板块缝合带研究二十年[J]. 地质论评, 2008, 54(1): 105-119.
- [14] 王立全, 潘桂棠, 朱弟成, 等. 西藏冈底斯带石炭—二叠纪岛弧造山作用:火山岩及地球化学证据[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1509-1534.
- [15] 王立全, 潘桂棠, 李才, 等. 藏北羌塘中部果干加年山早古生代堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——兼论原—古特提斯洋的演化[J]. 地质通报, 2008, 27(12): 2045-2056.
- [16] 王权, 续世朝, 魏荣珠, 等. 青藏高原羌塘北部托和平错一带二叠系展金组火山岩的特征及构造环境[J]. 地质通报, 2006, 25(1-2): 146-155.
- [17] 范建军, 李才, 王明, 等. 青藏高原羌塘南部冈玛错地区展金组的沉积环境分析及碎屑锆石 U-Pb 定年[J]. 地质学报, 2014, 88(10): 1820-1831.
- [18] 娄昊, 董永胜, 张修政, 等. 西藏羌塘香桃湖地区泥盆纪猫耳山岩组的解体及蛇绿混杂岩带的初步厘定[J]. 地质通报, 2014, 33(9): 1391-1399.
- [19] 李才. 龙木错—双湖—澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 长春地质学院学报, 1987, 17(2): 155-166.
- [20] 吴彦旺. 龙木错—双湖—澜沧江洋历史记录—寒武纪—二叠纪的蛇绿岩[D]. 长春:吉林大学. 2013.
- [21] 李才, 董永胜, 翟庆国, 等. 青藏高原羌塘中部早古生代蛇绿岩—堆晶辉长岩 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(1): 31-36.
- [22] 翟庆国, 王军, 李才, 等. 青藏高原羌塘中部中奥陶世变质堆晶辉长岩锆石 SHRIMP 年代学及 Hf 同位素特征[J]. 中国科学(D辑), 2010, 40(5): 565-573.
- [23] Zhai Q G, Jahn B M, Su L, et al. SHRIMP zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopic compositions of a mafic dyke swarm in the Qiangtang terrane, northern Tibet and geodynamic implications [J]. Lithos, 2013, 174: 28-43.
- [24] 胡培远, 李才, 吴彦旺, 等. 龙木错—双湖—澜沧江洋的打开时限:来自斜长花岗岩的制约[J]. 科学通报, 2014, 59(20): 1992-2003.
- [25] 胡培远, 李才, 吴彦旺, 等. 藏北羌塘中部存在志留纪洋盆—

- 来自桃形湖蛇绿岩中斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 地质通报, 2014, 33(11): 1651 - 1661.
- [26] 张天羽, 李才, 苏犁, 等. 藏北羌塘中部日湾茶卡地区堆晶岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2014, 33(11): 1662 - 1672.
- [27] 吴彦旺. 龙木错—双湖—澜沧江洋历史记录[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [28] Zhai Q G, Jahn B M, Wang J, et al. 2013a. The Carboniferous ophiolite in the middle of the Qiangtang terrane, Northern Tibet: SHRIMP U-Pb dating, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic characteristics [J]. *Lithos*, 168 - 169(2): 186 - 199.
- [29] 施建荣, 董永胜, 王生云. 藏北羌塘中部果干加年山斜长花岗岩定年及其构造意义[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1236 - 1243.
- [30] Zhai Q G, Jahn B M, Zhang R Y, et al. Triassic subduction of the Paleo-Tethys in northern Tibet, China: evidence from the geochemical and isotopic characteristics of eclogites and blueschists of the Qiangtang Block [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42: 1356 - 1370.
- [31] 朱同兴, 张启跃, 董瀚, 等. 藏北双湖才多茶卡地区构造混杂岩中新发现晚泥盆世和晚二叠世放射虫硅质岩[J]. 地质通报, 2006, 25(12): 1413 - 1418.
- [32] 王根厚, 韩芳林, 杨运军, 等. 藏北羌塘中部晚古生代增生杂岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1181 - 1187.
- [33] 许伟, 李才, 江庆源, 等. 藏北羌塘中部冈玛错—日湾茶卡地区下石炭统望果山组的建立及其地质意义[J]. 地质通报, 2014, 33(1): 1696 - 1701.
- [34] 江庆源, 李才, 解超明, 等. 藏北羌塘冈玛错地区望果山组火山岩地球化学特征及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2014, 33(11): 1702 - 1714.
- [35] 刘世坤, 徐开峰. 北喜马拉雅地区三叠纪地层划分[J]. 地层学杂志, 1998, 22(2): 122-126.
- [36] 陆济璞, 张能, 黄位鸿, 等. 藏北羌塘中北部红脊山地区蓝闪石 + 硬柱石变质矿物组合的特征及其意义[J]. 地质通报, 2006, 25(1): 70 - 75.
- [37] 翟庆国, 李才, 王军. 藏北羌塘中部戈木日榴辉岩的岩石学、矿物学及变质作用 pTt 轨迹[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1207 - 1220.
- [38] 翟庆国, 李才, 董永胜, 等. 西藏羌塘中部荣玛地区蓝片岩岩石学、矿物学和 Ar-Ar 年代学[J]. 岩石学报, 2009, 25(9): 2281 - 2288.
- [39] 董永胜, 李才. 藏北羌塘中部果干加年山地区发现榴辉岩[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1197 - 1200.
- [40] 张修政, 董永胜, 施建荣, 等. 羌塘中部龙木错—双湖缝合带中硬玉石榴石二云母片岩的成因及意义[J]. 地学前缘, 2010, 017(001): 93 - 103.
- [41] 李才, 黄小鹏, 牟世勇, 等. 藏北羌塘南部走构由茶错地区火山岩定年与康托组时代的厘定[J]. 地质通报, 2006, 25(2): 226 - 228.
- [42] 李才, 翟庆国, 陈文, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩 Ar-Ar 定年[J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 2843 - 2849.
- [43] 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[J]. 地学前缘, 2006, 13(4): 136 - 147.
- [44] Kapp P, Yin A, Manning C E, et al. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet [J]. *Geology*, 2000, 28(1): 19 - 22.
- [45] Kapp P, Yin A, Craig E, et al. Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist-bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet [J]. *Tectonics*, 2003, 22(4): 1043, doi:10.1029.
- [46] Zhang X Z, Dong Y S, Wang Q, et al. Metamorphic records for subduction erosion and subsequent underplating processes revealed by garnet - staurolite - muscovite schists in central Qiangtang, Tibet [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2017, 18(1): 266 - 279.
- [47] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 藏北羌塘中部冈玛日—桃形错蓝片岩的发现[J]. 地质科学, 2000, 35(2): 227 - 232.
- [48] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部冈玛日地区蓝闪石片岩及其⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学[J]. 科学通报, 2000, 45(21): 2322 - 2326.
- [49] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 2002, 18(4): 517 - 525.
- [50] 鲍佩声, 肖序常, 王军, 等. 西藏中北部双湖地区蓝片岩带及其构造涵义[J]. 地质学报, 1999, 73(4): 302 - 314.
- [51] 孙宪森, 和钟铎, 杨继龙, 等. 西藏羌塘中部冈玛错—双湖变质带变质作用关系研究[J]. 矿产与地质, 2003, 17(97): 302 - 307.
- [52] 张修政, 董永胜, 李才, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩地球化学特征及其大地构造意义[J]. 地质通报, 2010, 29(12): 1804 - 1814.
- [53] 张修政, 董永胜, 李才, 等. 从洋壳俯冲到陆壳俯冲和碰撞: 来自羌塘中西部地区榴辉岩和蓝片岩地球化学的证据[J]. 岩石学报, 2014, 30(10): 2821 - 2834.
- [54] 江庆源. 西藏羌塘中部早石炭世弧火山岩的发现及其构造意义[D]. 长春: 吉林大学.
- [55] Jiang Q Y, Li C, Su L, et al. 2015. Carboniferous arc magmatism in the Qiangtang area, northern Tibet: Zircon U - Pb ages, geochemical and Lu-Hf isotopic characteristics, and tectonic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, doi:10.1016/j.jseas.2015.01.012.
- [56] 黄小鹏, 李才, 翟庆国. 西藏羌塘中部玛依岗日地区印支期花岗岩的地球化学特征及其形成环境[J]. 地质通报, 2007, 26(12): 1646 - 1653.
- [57] 彭智敏, 耿全如, 王立全, 等. 青藏高原羌塘中部本松错花岗岩质麻岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J]. 科学通报, 2014, 59: 2621 - 2629.
- [58] 王立全, 潘桂棠, 丁俊, 等. 青藏高原及邻区地质图及说明书(1:1 500 000) [M]. 北京: 地质出版社, 2013. 1 - 208.
- [59] 王永胜, 曲永贵, 孙中纲, 等. 藏北南羌塘陆块北缘晚三叠世

- 弄佰组火山岩的特征及构造环境[J]. 地质通报, 2007, 26(6): 686-691.
- [60] 段志明, 李光明, 张晖, 等. 西藏班公湖—怒江缝合带北缘多不杂矿区晚三叠世—侏罗纪增生杂岩结构及其对成矿地质背景的约束[J]. 地质通报, 2013, 32(5): 742-750.
- [61] 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特征及意义[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1256-1260.
- [62] 李金祥. 班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿床的成岩成矿年代学、岩石学及高氧化岩浆-流体-成矿作用[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所. 2008.
- [63] 曲晓明, 辛洪波. 西藏班公湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境[J]. 地质通报, 2006, 25(7): 792-799.
- [64] 余宏全, 李进文, 马东方, 等. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 和锆石 U-Pb SHRIMP 测年及地质意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(6): 737-746.
- [65] Zhang Y C, Shen S Z, Shi G R, et al. Tectonic evolution of the Qiangtang Block, northern Tibet during the Late Ciszalialian (Late Early Permian): Evidence from the fusuline fossil records [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2012, 350-352: 139-148.
- [66] 李才, 谢尧武, 董永胜, 等. 藏东类乌齐一带吉塘岩群时代讨论及初步认识[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 12-14.
- [67] 李永森, 陈炳蔚. 怒江-澜沧江-金沙江地区构造与成矿作用[J]. 矿床地质, 1991, 10(4): 289-299.
- [68] 余希静. 西藏花岗岩类的成因类型及其演化[J]. 青藏高原地质文集, 1985(02): 1-17.
- [69] 潘桂棠, 郑海祥, 徐耀荣, 等. 初论班公湖—怒江结合带. 见: 青藏高原地质文集(12): “三江”构造地质. 北京: 地质出版社, 1983. 229-242.
- [70] 潘桂棠, 徐强, 侯增谦, 等. 西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价(三江总报告)[M]. 北京: 地质出版社, 2003. 1-420.
- [71] 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等. 班公湖—怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1261-1274.
- [72] 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[J]. 地质通报, 2015, 34(9): 1065-1616.
- [73] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 青藏高原中部中生代 OIB 型玄武岩的识别: 年代学、地球化学及其构造环境[J]. 地质学报, 2006, 80(9): 1312-1328.
- [74] 王建平, 等. 西藏东部特提斯地质[M]. 北京: 科学出版社. 2003.
- [75] 潘桂棠, 丁俊, 姚东生, 等. 青藏高原及邻区地质图及说明书(1:1 500 000)[M]. 成都: 成都地图出版社, 2004a. 1-133.
- [76] 张旗, 杨瑞英. 西藏丁青蛇绿岩中玻镁安山岩类的深成岩及其地质意义[J]. 科学通报, 1985, 30(16): 1243-1245.
- [77] 吴根耀. 藏东左贡地区碧土蛇绿岩: 古特提斯主洋盆的地质记录[J]. 地质通报, 2006, 25(6): 685-693.
- [78] 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[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1535-1550.
- [79] 董永胜, 谢尧武, 李才, 等. 西藏东部八宿地区发现退变质榴辉岩[J]. 地质通报, 2007, 26(8): 1018-1020.
- [80] 张万平, 王立全, 强巴扎西, 等. 西藏同卡地区高压麻粒岩的发现、PT 轨迹及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(6): 1915-1924.
- [81] 夏斌, 刘维亮, 周国庆, 等. 西藏蓬湖西镁质榴辉岩中的出熔物及其地质意义[J]. 南京大学学报(自然科学), 2013, 49(3): 356-396.
- [82] 张修政, 董永胜, 解超明, 等. 安多地质高压麻粒岩的发现及意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(7): 2106-2112.
- [83] 王根厚, 贾建称, 万永平. 藏东巴青县北部西西岩组构造片理形成及构造意义[J]. 地学前缘, 2006, 13(4): 180-187.
- [84] 张万平, 王立全, 强巴扎西, 等. 西藏同卡地区高压麻粒岩的发现、PT 轨迹及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(6): 1915-1924.
- [85] 王根厚, 张维杰, 周详. 西藏东部嘉玉桥变质杂岩内中侏罗世高压剪切作用: 来自多硅白云母的证据[J]. 岩石学报, 2008, 24(2): 395-400.
- [86] 张中杰, 白志明, 王椿镛, 等. 三江地区地壳结构及动力学意义: 云南遮放—宾川地震反射/折射剖面的启示[J]. 中国科学: D 辑, 2005, 35(4): 314-319.
- [87] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 28-31.
- [88] 尹福光, 王冬兵, 王保弟, 等. 西南三江造山带地层区划[J]. 沉积与特提斯地质, 2017, 37(4): 1-9.
- [89] 任飞, 潘桂棠, 尹福光, 等. 西南三江地区洋板块地层特征及构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2017, 37(4): 9-16.
- [90] 张旗, 李达周, 张魁武. 云南省云县铜厂街蛇绿混杂岩的初步研究[J]. 岩石学报, 1985, 1(3): 1-182.
- [91] 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 1-267
- [92] 张旗. 镁铁—超镁铁岩与威尔逊旋回[J]. 岩石学报, 1992, 8(2): 168-176.
- [93] 王保弟, 王立全, 潘桂棠, 等. 昌宁—孟连结合带南汀河蛇绿岩中辉长岩锆石定年及其地质意义[J]. 科学通报, 2013, 58(4): 344-354.
- [94] 王冬兵, 罗亮, 唐渊, 等. 昌宁—孟连结合带牛井山早古生代埃达克岩锆石 U-Pb 年龄、岩石成因及其地质意义[J]. 岩石学报, 2016, 32(8): 2317-2329.
- [95] 王冬兵, 罗亮, 唐渊, 等. 昌宁—孟连结合带斜长角闪岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2017, 37(4): 15-28.
- [96] 刘桂春, 孙载波, 曾文涛, 等. 滇西双江县勐库地区湾河蛇绿混杂岩的形成时代、岩石地球化学特征及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2017, 36(02): 163-174.
- [97] 彭智敏, 付于真, 王国芝, 等. 昌宁—孟连结合带清平地区斜长角闪岩锆石年代学及 Sr-Nd-Hf 同位素研究[J]. 地质学报, 2020, 94(2): 511-526.
- [98] 李静, 孙载波, 徐桂香, 等. 滇西双江县勐库地区榴闪岩的

- 现与厘定[J]. 矿物学报, 2015, 35(4): 421-424.
- [99] 彭智敏, 王国芝, 王保弟, 等. 云南邦丙澜沧岩群中发现蓝闪石榴辉岩[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2019, 46(5): 639-640.
- [100] 徐桂香, 曾文涛, 孙载波, 等. 滇西双江县勐库地区(退变)榴辉岩的岩石学、矿物学特征[J]. 地质通报, 2016, 35(07): 1035-1045.
- [101] 朱勤文, 张双全, 谭劲. 确定南澜沧江缝合带的火山岩地球化学证据[J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(4): 298-307.
- [102] 沈上越, 冯庆来, 刘本培, 等. 昌宁—孟连带洋脊—洋岛型火山岩研究[J]. 地质科技情报, 2002, 21(3): 12-17.
- [103] 刘本培, 冯庆来, 方念乔, 等. 滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化[J]. 地球科学, 1993, 18(5): 529-539.
- [104] 李兴振, 刘文均, 王义昭. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿(总论)[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 1-276.
- [105] 李兴振, 江新胜, 孙志明, 等. 西南三江地区碰撞造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 1-206.
- [106] 潘桂棠, 徐强, 王立全. 矿产资源预测评价的理论和实践——以西南“三江”研究为例[J]. 矿床地质, 2002, 21(S1): 40-43.
- [107] 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 廖忠礼, 等. 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. 地学前缘, 2004, 11(4): 371-382.
- [108] 潘桂棠, 肖庆辉, 等. 中国大地构造[M]. 北京: 地质出版社. 2017.

Space-time structure of the Bangonghu-Shuanghu-Nujiang-Changning-Menglian Mega-suture zone: A discussion on geology and evolution of the Tethys Ocean

Pan Guitang, Wang Liquan, Geng Quanru, Yin Fuguang, Wang Baodi, Wang Dongbing, Peng Zhimin, Ren Fei

(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Tectonic-stratigraphic systems and their tectonic-rock assemblages, which are related to the subduction process of the Tethys Ocean and are of different geological epochs, tectonic settings, metamorphic degrees and deformation styles, are widely exposed within the Bangonghu-Shuanghu-Nujiang-Changning-Menglian mega-suture zone. In this paper, a number of specific rock types such as pelagic sedimentary rocks, turbidite rocks deposited in deep sea trenches, Paleozoic ophiolites and ophiolitic mélanges, Mesozoic ophiolites and ophiolitic mélanges, oceanic-island accretionary wedges, seamount accretionary wedges, debris of crystalline basements, high-pressure to super high-pressure metamorphic belts represented by glaucophane schist and eclogite rocks, have been identified. All of these tectonic-rock types and their assemblages recorded the geological information of the formation and evolution of the Paleo tethys Ocean on the Qinghai-Tibet Plateau. The Bangonghu-Shuanghu-Nujiang-Changning-Menglian mega-suture zone is a giant complex accretionary zone. It played an important role in the receding subduction process of the Tethys from north to south, and it was the boundary zone between the Gondwana Continent and the Pan-Cathaysia Continent.

Key words: the Tethys Ocean; the Bangonghu-Shuanghu-Nujiang-Changning-Menglian mega-suture zone; geology of oceanic plate