

# 西南三江特提斯研究进展与展望

王冬兵<sup>1</sup>, 王保弟<sup>2</sup>, 唐渊<sup>1</sup>, 罗亮<sup>1</sup>, 贺娟<sup>1</sup>, 姜丽莉<sup>1</sup>, 赵鹤森<sup>1</sup>, 陈莉<sup>1</sup>  
WANG Dongbing<sup>1</sup>, WANG Baodi<sup>2</sup>, TANG Yuan<sup>1</sup>, LUO Liang<sup>1</sup>, HE Juan<sup>1</sup>, JIANG Lili<sup>1</sup>,  
ZHAO Hesen<sup>1</sup>, CHEN Li<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081;
  2. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083
1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;  
2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China

**摘要:**西南三江(怒江、澜沧江、金沙江)造山带是连接青藏高原与东南亚的桥梁,是特提斯研究的关键场所。通过回顾近十年来西南三江特提斯研究在原特提斯、高压榴辉岩带、弧后盆地结合带等方面取得的重要进展,指出了甘孜-理塘古特提斯洋及义敦岛弧存在与否、潞西-瑞丽带超基性岩构造环境、昌宁-孟连带石炭纪—二叠纪玄武岩和碳酸盐组合的地质意义、原特提斯时空配置4个关键地质问题。在此基础上,进一步提出未来特提斯研究的3个重点方向:①进一步完善三江地区构造格架;②探索原特提斯与古特提斯转换过程;③开展古生物学、古地磁学、地质学、地球化学等多学科综合研究,由定性到半定量、定量研究特提斯动力学。

**关键词:**三江造山带;特提斯;多岛弧盆系;单向裂解与汇聚;地球动力学

**中图分类号:**P542 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)11-1799-15

**Wang D B, Wang B D, Tang Y, Luo L, He J, Jiang L L, Zhao H S, Chen L. Research progress and prospects of Tethys in Sanjiang orogenic belt, Southwest China. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(11): 1799-1813**

**Abstract:** The Sanjiang (Nujiang River, Lancangjiang River and Jinshajiang River) orogenic belt in Southwest China, which connects the Qinghai-Tibet Plateau in the north and Southeast Asia in the south together, is the key place for the study of Tethys. Based on the review of the important progress made in the past ten years in the study of Tethys in the Sanjiang orogenic belt in the early Paleozoic Tethys, high-pressure metamorphic eclogite belt and back arc basin suture, four key geological problems to be solved were pointed out, including whether Ganzi-Litang Tethys ocean and Yidun island arc once existed or not, the tectonic environment of ultrabasic rocks in the Luxi-Ruili belt and geological significance of the Carboniferous-Permian assemblage of basalt, and carbonate in Changning-Menglian belt and space-time configuration of Proto-Tethys were summarized. On this basis, the following three key directions of Tethys research in the future are proposed, the further perfection of the structural framework in Sanjiang orogenic belt, exploration of the transformation process between the Proto-Tethys and the Paleo-Tethys, the multidisciplinary comprehensive research and simulation of paleontology, paleogeomatology, geology and geochemistry to create qualitative to semi-quantitative and quantitative research on Tethys dynamics.

**Key words:** Sanjiang orogenic belt; Tethys; composite island arc-basin systems; one-way splitting and convergence; geodynamics

收稿日期:2021-04-20;修订日期:2021-09-23

资助项目:第二次青藏高原综合科学考察研究《典型地区岩石圈组成、演化与深部过程》(编号:2019QZKK0702)、国家自然科学基金项目《基于古生物与锆石年代学综合研究限定南澜沧江带中一晚三叠世火山地层时代》(批准号:41802031)和中国地质调查局项目《三江造山带昌都—澜沧地区区域地质调查》(编号:DD20190053)

作者简介:王冬兵(1981-),男,硕士,高级工程师,从事西南地区基础地质调查研究。E-mail: wangdb06@163.com

特提斯构造域是受“特提斯海/洋”形成、演化及消亡影响的广大区域,自西向东经过阿尔卑斯山、土耳其-伊朗高原、青藏高原及东南亚<sup>[1-2]</sup>。特提斯构造域的地质构造演化具有洲际可对比性,并且蕴藏丰富的金属矿产和油气资源,一直是地质学研究的热点地区。中国西南三江(怒江、澜沧江、金沙江)地区位于青藏高原东南缘,总体构造线由东西方向转为南北方向,是衔接青藏高原与东南亚特提斯造山带的关键区域。自20世纪70年代以来,中外地质工作者在该地区开展了大量地质填图和研究工作,在大地构造格架、特提斯时空格局、形成演化等方面获得了许多重要的成果<sup>[3-8]</sup>。尤其是近10年,中国地质调查局在西南三江地区部署了一批地质调查项目,国家自然科学基金委和科技部亦投入资金用于探索研究,产出了一批重要成果,推动了特提斯地质研究进展。本文简要总结了近年西南三江地区特提斯研究取得的重要进展,分析了仍然存在争议的关键问题,提出了西南三江的工作展望,以供地质同仁交流、讨论。

## 1 西南三江地质构造格架

本文中西南三江地区指西藏丁青、波密及云南国境线以东,甘孜、理塘、大理、红河以西,玉树、石渠以南,云南国境线以北的区域(图1-a)。该区属于东特提斯构造域,向北与青藏高原相接,向南与东南亚相连(图1-a)。古生代,该区是怒江-昌宁-孟连特提斯大洋、欧亚大陆边缘、泛华夏大陆边缘及冈瓦纳大陆边缘相互作用下,经主大洋扩张、俯冲消减、闭合,大陆边缘不断弧后扩张、裂离及伴生的弧后小洋盆扩张、消减、弧-弧/陆碰撞等地质作用形成的复杂构造区域。古生代特提斯的演化及消亡奠定了现今该区主要的构造格局。刘增乾等<sup>[10]</sup>基于构造-岩浆带时空分布规律性,对三江造山带的构造单元进行了系统划分。潘桂棠等<sup>[11]</sup>以板块构造理论和多岛弧盆系构造观为指导,应用大地构造相分析方法对青藏高原及邻区进行了构造单元划分,但该划分只涉及三江地区北段。2015年出版的《中国大地构造图(1:2 500 000)及说明书》应用大地构造相分析方法,重新划分了中国大地构造基本格架<sup>[12]</sup>。利用大地构造相分析划分大地构造单元的优势在于,不仅能够全面反映不同地质体的空间分布特征及地质背景差异,还突出了地质历

史时期重大地质事件及其形成的优势构造-岩石相对现今地质构造格局的“奠基”作用。本文参照前人研究成果<sup>[11-14]</sup>,厘定藏东-滇西三江地区为北羌塘-三江造山系、怒江-昌宁-孟连对接带、冈底斯-腾冲造山系3个一级构造单元,以及16个二级构造单元和若干个三级构造单元(图1-b),主要构造单元基本特征简述如下。

### 1.1 北羌塘-三江造山系

#### (1) 甘孜-理塘结合带

甘孜-理塘结合带位于义敦-沙鲁里岛弧带东侧,该带北西自石渠县,向南东经甘孜转向南,经理塘至川滇交界处的三江口,然后向西折转沿哈巴雪山、玉龙雪山西侧南延至剑川,北与南延的金沙江结合带交接,在剑川以南可能由于扬子陆块西南角向西的掩冲而被截断或掩覆。该带是一个由早石炭世-晚三叠世超基性岩、基性岩、放射虫硅质岩与复理石组成的混杂岩带。混杂岩中有中二叠世茅口组灰岩、志留纪笔石页岩等巨大岩块的存在,基质为早石炭世和晚三叠世的砂板岩及火山岩。一般认为甘孜-理塘洋盆可能形成于早石炭世,晚二叠世-晚三叠世为扩张期,晚三叠世早中期开始向西俯冲,在晚三叠世末洋盆闭合<sup>[13]</sup>。

#### (2) 义敦-沙鲁里岛弧

义敦-沙鲁里岛弧是在中咱地块东部被动陆缘基础上,于晚三叠世早-中期受甘孜-理塘洋向西俯冲形成的。该区前震旦系变质基底、震旦系及其以后的古生界零星出露于岛弧周缘。下、中三叠统被认为是岛弧基底,晚三叠世卡尼期和诺利早期为火山岛弧及弧间盆地的活动型火山-沉积建造,构成传统认为的岛弧带。其上部喇嘛垭组( $T_3$ )和英珠娘阿组( $T_3$ )为滨浅海相含煤(线)碎屑岩组合,含双壳类和丰富的植物等化石,标志着甘孜-理塘洋盆闭合与弧-陆碰撞造山作用。义敦-沙鲁里岛弧带主弧区西侧发育勉戈-青达柔弧后盆地,主要发育在义敦岛弧带北段昌台岛弧西侧,扩张中心位于孔马寺-勉戈-农都柯一线,发育双峰式火山活动,形成高钾的流纹岩-钾玄岩组合<sup>[13,15]</sup>。

#### (3) 勉戈-青达柔弧后盆地

勉戈-青达柔弧后盆地( $T_3$ )位于义敦-沙鲁里岛弧带主弧区西侧,大致以柯鹿洞-定曲河断裂为界,西临中咱地块。主要发育在义敦岛弧带北段昌台岛弧西侧,扩张中心位于孔马寺-勉戈-农都柯一

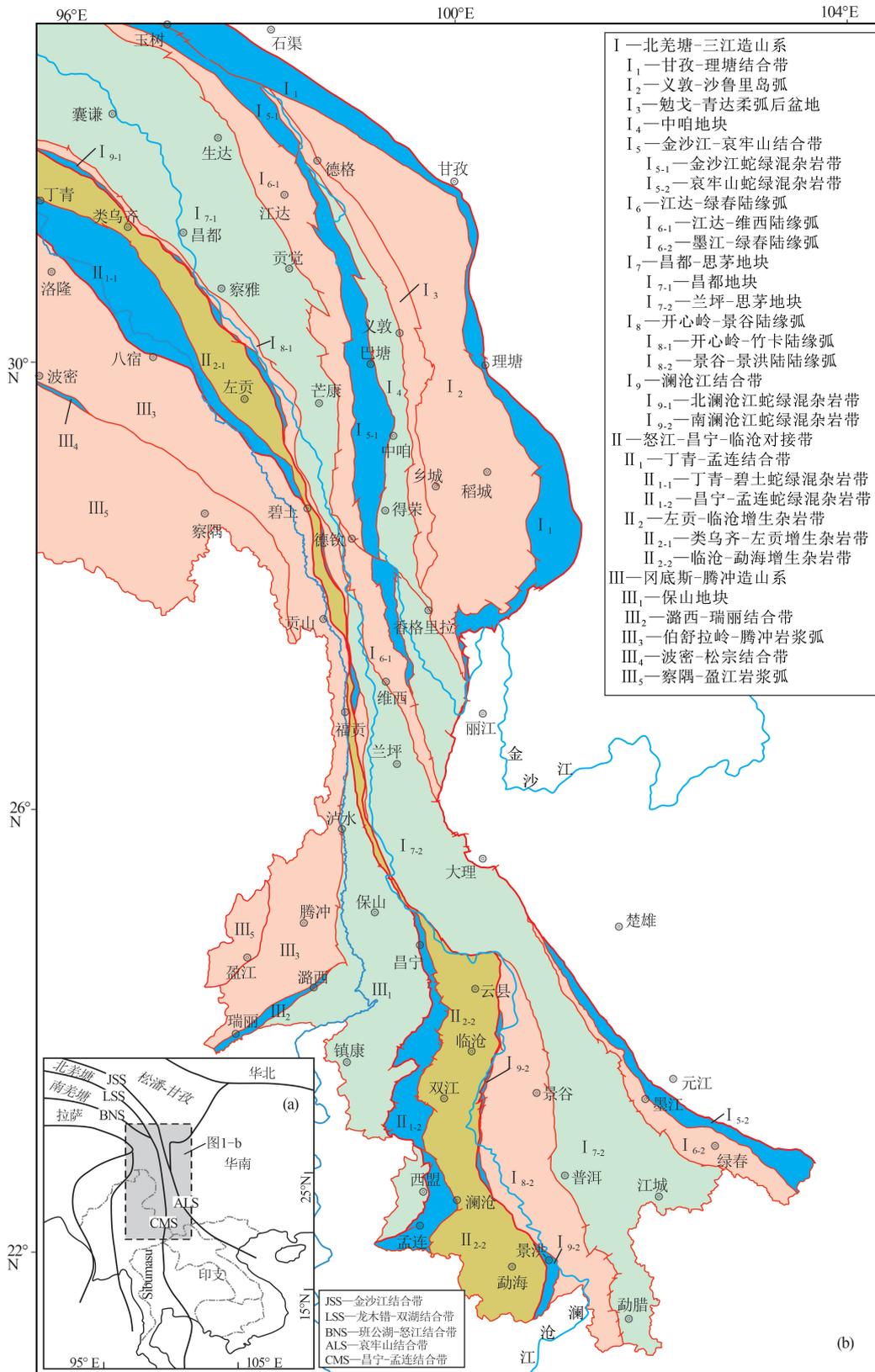


图 1 青藏高原东南缘构造格架 (a) 和西南三江地区构造单元划分 (b) (据参考文献[9]修改)

Fig. 1 Tectonic framework of the southeastern Tibetan Plateau (a) and tectonic unit division of the Sanjiang area (b)

线,发育双峰式火山活动,形成高钾的流纹岩-钾玄岩组合。弧后伸展断陷盆地为呷村组( $T_3$ )含火山岩的黑色砂板岩系,盆地充填序列形成于晚三叠世诺利克期<sup>[13, 15]</sup>。

#### (4) 中咱地块

中咱地块呈狭长梭状位于西侧金沙江结合带与东侧义敦-沙鲁里岛弧之间,具有基底与盖层的二元结构。基底为变质结晶岩石,以南端的石鼓岩群为代表;稳定盖层为古生代大陆边缘碎屑岩和碳酸盐岩。早二叠世晚期受金沙江洋向西俯冲消减影响,其西缘转化为被动大陆边缘环境。三叠纪开始,弧-陆碰撞作用使中咱-中甸地块的下三叠统不整合于古生界之上,发育滨浅海相碎屑岩夹灰岩组合。晚三叠世强烈的弧-陆碰撞造山作用,导致地块上古生代地层褶皱变形,并使晚三叠世地层不整合覆于其上,发育一套滨浅海相碎屑岩夹灰岩及煤线。晚三叠世之后不再接受沉积<sup>[16]</sup>。

#### (5) 金沙江-哀牢山结合带

金沙江-哀牢山结合带自青海玉树,向南经巴塘、得荣-奔子栏-点苍山西侧,转向南东经哀牢山延出国境,与越南北部的马江带相接。现今展布明显分为北段的金沙江蛇绿混杂岩带和南段的哀牢山蛇绿混杂岩带,但从洋盆的形成、俯冲、消亡及两侧大陆边缘的演化历史看,两者均可对比。该带主要发育半深海-深海相泥灰岩、硅质条带灰岩、砂泥岩、放射虫硅质岩、洋中脊型基性火山岩、超基性岩组成的火山-复理石沉积建造。前人普遍认为,金沙江-哀牢山洋盆经历了泥盆纪裂(陷)谷盆地、早石炭世-早二叠世洋盆扩张、二叠纪洋壳俯冲和早-中三叠世弧陆碰撞造山4个主要演化阶段<sup>[17-19]</sup>。区域上,上三叠统广泛不整合于之前地层之上,是盆-山转换的标志。

#### (6) 江达-绿春陆缘弧

江达-绿春陆缘弧是在昌都-思茅地块东部边缘发展起来的,晚三叠世以前的岩石变形变质较强,晚三叠世及以后岩石地层变质较弱。早二叠世晚期,由于金沙江-哀牢山洋向西俯冲消减,昌都-思茅地块被动边缘转化为活动边缘,进入陆缘弧发育阶段,陆缘弧西侧发育昌都弧后盆地。弧火山活动自早二叠世晚期持续到晚二叠世。早-中三叠世进入弧-陆碰撞阶段,于昌都-思茅地块东部边缘形成早-中三叠世碰撞型火山岩,叠加于二叠纪俯

冲型陆缘火山弧之上。晚三叠世为后碰撞上叠裂谷盆地演化阶段,发育碰撞后伸展环境下的上叠裂谷盆地。晚三叠世晚期的海陆交互相含煤碎屑岩系,标志着盆地萎缩至消亡的过程,此后进入后碰撞陆内造山作用阶段<sup>[13]</sup>。

#### (7) 昌都-思茅地块

昌都-思茅地块具有中-新元古界结晶基底和下古生界褶皱基底,上古生界-中生界为相对稳定的盖层系统。中-新元古界结晶基底以中-古元古界宁多岩群( $Pt_{1-2}$ )为代表。下古生界褶皱基底为被动边缘盆地中的一套深水陆棚-斜坡相复理石浊积岩系夹薄层灰岩沉积。晚古生代地块进入稳定的盖层发育阶段,泥盆纪-二叠纪总体为陆表海盆地中的浅海台地型-过渡相碳酸盐岩和碎屑岩沉积。二叠纪受两侧洋盆(澜沧江、金沙江)相向俯冲作用的影响,地块内部转化成以陆壳为基底的弧后盆地,形成海陆交互相沉积-火山建造。早-中三叠世弧-陆碰撞造山作用转变为弧后前陆盆地,局部发育一套陆相-海陆交互相中酸性火山岩夹碎屑岩。上三叠统(甲丕拉组、波里拉组、阿堵拉组)不整合在古生界之上,主要为一套海陆交互相-滨浅海相碎屑岩-碳酸盐岩沉积,最后以含煤线或煤层的碎屑岩结束其海相演化历史<sup>[4]</sup>。

#### (8) 开心岭-景谷陆缘弧

开心岭-景谷陆缘弧发育在昌都-思茅地块西部边缘,基底岩石出露较少,推测与昌都-思茅地块具有相同的基底岩石。早石炭世发育一套海陆交互相含煤(线)碎屑岩夹碳酸盐岩建造,是稳定地块上的陆表海盆地沉积。二叠纪为主造弧期,主体为一套浅海相碳酸盐岩-碎屑岩和中基性-中酸性火山岩建造。早三叠世进入弧-陆碰撞阶段,早三叠世未见沉积。中-上三叠统发育碰撞-后碰撞相关的巨量岩浆岩-沉积岩<sup>[20-21]</sup>。

#### (9) 澜沧江结合带

澜沧江结合带可分为北澜沧江蛇绿混杂岩带和南澜沧江蛇绿混杂岩带2个次级单元。北澜沧江蛇绿混杂岩带在类乌齐一带发现侵位于石炭系中的超镁铁岩和洋中脊玄武岩,大部分地段被东侧杂多-类乌齐-东达山二叠纪-中三叠世火山弧向西逆冲掩盖。在曲登乡-脚巴山一带出露一套浅变质、强片理化的碎屑岩夹灰岩和玄武岩<sup>[13]</sup>。南澜沧江蛇绿混杂岩带分布一系列基性-超基性杂岩体,

构成一条明显的基性-超基性岩带。早期研究者认为它们是蛇绿岩,代表冈瓦纳古陆和华夏古陆之间的古特提斯主结合带<sup>[22]</sup>。部分学者根据这些基性-超基性杂岩体典型的岛弧地球化学特征,认为是岛弧或陆缘弧岩浆岩<sup>[23-24]</sup>。最新研究根据南澜沧江带保存的深海盆地相残余,包括洋中脊型玄武岩(N-MORB型)、远洋放射虫硅质岩、泥质岩和一系列290~320 Ma的岛弧岩浆岩(景谷岔河-崴里岩体、景谷半坡岩体、思茅雅口岩体、景洪南联山岩体等),指示晚古生代存在洋盆<sup>[25]</sup>。

### 1.2 怒江-昌宁-孟连对接带

#### (1)怒江-昌宁-孟连结合带

怒江-昌宁-孟连结合带断续分布于西藏丁青县、碧土、滇西昌宁-孟连一带。丁青县一带蛇绿岩端元出露齐全,发育放射虫硅质岩,中侏罗统德极国组不整合覆盖在蛇绿混杂岩之上。放射虫硅质岩化石、蛇绿岩围岩中孢子化石及蛇绿岩同位素年龄表明,洋盆存在时限为晚三叠世-早侏罗世<sup>[26-28]</sup>。碧土地区保存有石炭纪正常洋中脊型(N-MORB型)玄武岩和放射虫硅质岩<sup>[29]</sup>。在昌宁-孟连蛇绿混杂岩带,前人根据该带大量发育晚古生代海相深水沉积物和部分晚古生代蛇绿岩,认为其代表了泥盆纪-二叠纪/早三叠世的古特提斯洋消亡的残迹,最近新的发现指示,其很可能代表存在于整个古生代的原-古特提斯洋盆消亡的残迹<sup>[6, 30]</sup>。

#### (2)左贡-临沧增生杂岩带

左贡-临沧增生杂岩带包含传统所称的左贡地块、碧罗雪山-崇山地块、临沧-澜沧地块。前人称其为地块,主要基于它们具前寒武纪基底和古生代盖层<sup>[21, 31]</sup>。最新调查研究表明,以前认为的基底岩石主体为晚三叠世变质变形的早古生代以来的沉积-火山岩。该带内发育寒武纪-奥陶纪、二叠纪、三叠纪、白垩纪、古近纪-新近纪等多期岩浆岩。在北段,早-中三叠世受北澜沧江弧-弧碰撞造山作用的影响,地块隆起并缺失下、中三叠统沉积,上三叠统甲丕拉组、波里拉组、阿堵拉组-夺盖拉组不整合覆于前晚三叠世地层之上。

### 1.3 冈底斯-喜马拉雅造山系

#### (1)保山地块

保山地块在地层、古生物、岩浆岩等方面与冈瓦纳高度相似,早二叠世发育冈瓦纳相含砾沉积和

冷水动物分子<sup>[3, 21]</sup>。古生代,该地块长期处于被动陆缘;下、中三叠统为一套局限浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积,平行不整合于下伏地层之上;上三叠统为一套海陆交互相碎屑岩,局部夹中基性-中酸性火山岩,顶部出现红色磨拉石堆积。保山地块的构造变形、变质很微弱,局部出露新生代碱性花岗岩体。

#### (2)潞西-瑞丽结合带

潞西三台山地区出露纯橄榄岩、方辉橄榄岩、蛇纹岩等超基性岩,其是否代表一条特提斯闭合消亡的残余还存在不同认识<sup>[3, 21, 32-34]</sup>。此外,关于其时代、南北向连接与对比等问题也不清楚。本文暂时将其列为存疑的结合带。

#### (3)伯舒拉岭-腾冲岩浆弧

伯舒拉岭-腾冲岩浆弧基底岩石为古中元古界德玛拉岩群、中新元古界念青唐古拉岩群、新元古界-寒武系波密群、中元古界高黎贡山岩群。奥陶系-志留系主体为较稳定的深水陆棚相含笔石碎屑岩建造;泥盆纪发育含大量生物化石的浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩组合;石炭纪该区转化为活动边缘盆地,形成石炭纪-二叠纪含火山岩的地层。然乌乡、腾冲发育晚石炭世-早二叠世含冰水砾石的复成分砾岩层。下-中三叠统未见,上三叠统为一套滨-浅海相安山岩、英安岩、安山质角砾岩、凝灰岩等,不整合于下伏地层之上。侏罗系-白垩系大面积分布,为滨浅海相碎屑岩,局部夹中酸性火山岩及火山碎屑岩。该带侵入岩非常发育,侵入岩浆活动的时间有石炭纪、晚三叠世和侏罗纪-古近纪,以侏罗纪-白垩纪的岩浆活动最强烈<sup>[12]</sup>。

#### (4)波密-松宗结合带

该带被认为是狮泉河-申扎-嘉黎蛇绿混杂岩带的东段<sup>[11, 35]</sup>。受新生代大型走滑-逆冲断裂带的影响,仅在个别地段出露蛇绿岩残块。和钟铎等<sup>[36]</sup>对嘉黎断裂内凯蒙沟山脊上的基性岩、超基性岩进行了地球化学研究,认为其代表一条结合带,实际上其地球化学性质与洋中脊蛇绿岩性质不同。总体而言,波密-松宗带作为结合带的依据还有限。

#### (5)下察隅-盈江岩浆弧

郭喀拉日山、下察隅一带的前寒武系构成了岛弧带的变质基底。下古生界-泥盆系与前寒武系为被动边缘盆地中的浅海碳酸盐岩夹碎屑岩建造,

含腹足类化石。石炭系—二叠系为含火山岩的碎屑岩—碳酸盐岩建造,三叠系未见出露。白垩纪—古近纪中酸性侵入岩非常发育,构成岩浆弧的主体。

## 2 西南三江特提斯研究重要进展

西南三江存在多条不同时代的结合带,它们代表不同时代、不同性质的洋盆,为统一表述,将主要存在于早古生代的洋盆称为原特提斯,主要存在于晚古生代的洋盆称为古特提斯,主要存在于中生代的洋盆称为新特提斯,主要存在于整个古生代的洋盆称为原-古特提斯。

### 2.1 昌宁-孟连古特提斯演化追溯至早古生代

昌宁-孟连蛇绿岩带主要由晚古生代海相地层岩片和少量蛇绿岩组成。蛇绿岩主要出露在云县铜厂街<sup>[37-38]</sup>、双江牛井山<sup>[39-40]</sup>、耿马干龙塘—弄巴<sup>[41]</sup>等地区。基性岩主要为洋岛型(OIB),少量为MORB型。该带海相沉积物极丰富,泥盆系—中三

叠统均有出露<sup>[42-45]</sup>,特别是发育泥盆纪—中三叠世含放射虫化石的硅质岩<sup>[46-49]</sup>。以往,研究者根据这些深水沉积记录和蛇绿岩认为,昌宁-孟连蛇绿岩带代表的是古特提斯洋。近年,Wang等<sup>[50]</sup>在昌宁-孟连结合带南汀河地区发现变质橄榄岩、堆晶辉长岩、变质辉长岩、斜长角闪岩、玄武岩等岩石组合(图2),其中辉长岩具有富集型洋中脊玄武岩特征(E-MORB),时代为444~439 Ma。王冬兵等<sup>[30]</sup>在双江牛井山地区发现早古生代英云闪长岩(图2),其时代为468 Ma,具有洋壳型高镁埃达克岩的地球化学特征。此外,昌宁-孟连蛇绿岩带西侧的保山地块发育晚寒武世—二叠纪稳定的浅海陆棚碳酸盐岩和滨海—浅海相砂泥质岩,指示保山地块以东长期存在一个洋盆。因此,从岩浆岩和邻区沉积岩的角度,昌宁-孟连结合带演化可以上溯至早古生代,而不仅限于晚古生代,可称为原-古特提斯,大大拓宽了对于该带特提斯演化历史的探索和研究。

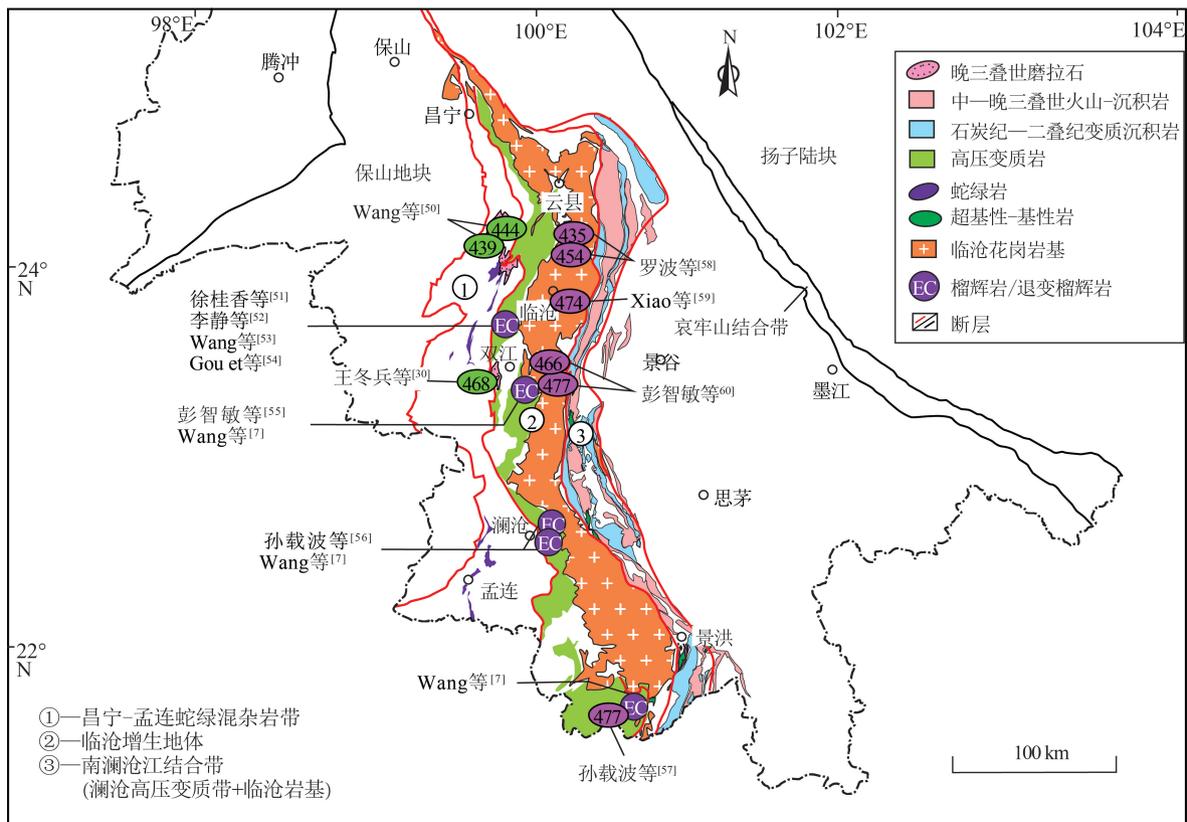


图2 三江造山带南段构造格架及重要露头(图中年龄数据单位为Ma)

Fig. 2 Simplified tectonic map of the southern Sanjiang orogenic belt and the distribution of important geological outcrops in the area

## 2.2 澜沧岩群主体不是前寒武纪基底岩系

澜沧岩群呈南北向夹持于昌宁-孟连蛇绿岩带与临沧花岗岩基之间,是一套低绿片岩相-低角闪岩相变质的碎屑岩夹火山岩,主要由云母石英片岩类、千枚岩类、泥质夹炭质板岩类、绿片岩、变安山岩等岩性组成<sup>[61]</sup>。其原岩为一套海相沉积-火山建造,火山岩为钙碱性系列<sup>[62-63]</sup>。传统上,研究者根据澜沧岩群变质变形的“古老”面貌、早期同位素年龄数据,认为其是中元古代结晶基底岩石<sup>[21, 64]</sup>。随着地质调查研究的深入,以及锆石原位U-Pb定年技术的发展与应用,近期获得了澜沧岩群高质量同位素年龄数据。王舫等<sup>[65]</sup>报道了自北向南分布的4件澜沧岩群样品(石英岩、绢云母变质石英砂岩、绢云母石英岩)碎屑锆石年龄,单颗粒碎屑锆石年龄分布在非常宽广的范围,最老至3450 Ma左右,最年轻一组年龄约为530 Ma,限定其沉积时代不早于寒武纪。Zhao等<sup>[66]</sup>报道了双江南部澜沧岩群2件样品的碎屑锆石年龄,单颗粒碎屑锆石年龄分布在455~3185 Ma。Wang等<sup>[67]</sup>报道了澜沧岩群中10件含多硅白云母片岩的碎屑锆石年龄,单颗粒锆石年龄分布范围和最年轻一组年龄与前人结果相似。笔者收集了澜沧岩群16件样品共计1680个高谐和度年龄数据(图3),结果显示,碎屑锆石年龄分布在早古生代-古太古代,最年轻一组为453 Ma。另一方面,有学者在澜沧岩群中获得变质火山岩的原岩结晶年龄为456~462 Ma<sup>[68-69]</sup>。澜沧岩群副变质岩及变质火山岩大量锆石年龄数据表明,澜沧岩群原岩为早古生代沉积岩,不是早期认为的中元古代结晶基底岩石。关于澜沧岩群原始构造属性,存在俯冲增生杂岩和大陆边缘沉积-火山地层2种可能。澜沧岩群主体为变质的早古生代沉积-火山岩,夹原岩年龄为450~250 Ma的蓝片岩、榴辉岩透镜体,老的围岩和年轻的透镜体变质时代均为三叠纪<sup>[7, 67, 70-71]</sup>。这些地质现象和年龄数据说明,最强烈的构造混杂和定位发生在三叠纪,使早古生代沉积-火山岩和晚古生代基性岩混杂在一起,并近似同时发生变质。因此,可以将包含年轻榴辉岩在内的早古生代沉积-火山岩称为增生杂岩或三叠纪俯冲增生-碰撞杂岩。单就早古生代物质来说,其原始属性可能是早古生代俯冲增生杂岩,也可能是早古生代大陆边缘沉积-火山地层。

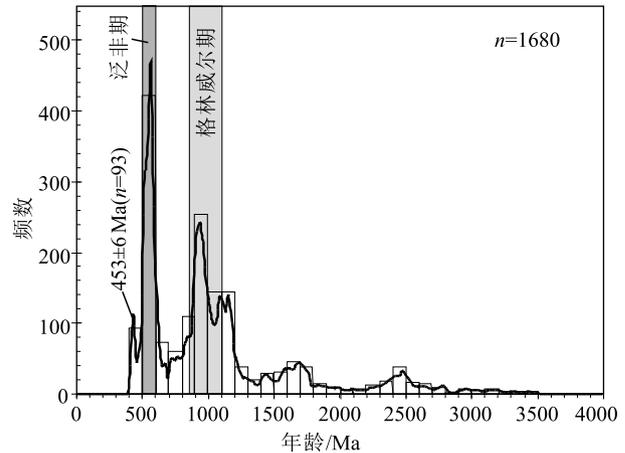


图3 澜沧岩群碎屑锆石年龄频分布(数据据参考文献[65-67])

Fig. 3 Histogram of detrital zircon ages for the Lancang Group

## 2.3 昌宁-孟连蛇绿岩带中三叠世放射虫硅质岩指示残留海盆地环境

造山带中放射虫硅质岩通常被认为是深海沉积的标志性的岩石,对于识别古洋盆、恢复其演化历史具有重要的地质意义。昌宁-孟连蛇绿混杂岩带保存有早泥盆世-中三叠世含放射虫硅质岩,中三叠世拉丁期放射虫硅质岩零星分布在耿马勐撒<sup>[72]</sup>、孟连牡音河<sup>[73]</sup>。有研究者据此认为,中三叠世昌宁-孟连古特提斯还具相当规模<sup>[72, 74-75]</sup>。事实上,这种认识与昌宁-孟连带及邻区的变质、岩浆等记录矛盾。澜沧-双江一带出露的高压变质岩是昌宁-孟连原-古特提斯闭合的变质记录,同位素年龄数据表明,其变质年龄范围为246~225 Ma,与拉丁期时间范围高度重叠<sup>[7, 53, 67, 70]</sup>(图4-a)。临沧岩基中晚三叠世花岗岩被公认为是后碰撞背景的产物,同位素年龄集中分布在234~210 Ma,亦与拉丁期时间范围重叠<sup>[76-92]</sup>(图4-b)。笔者强调,洋盆的存在必须有可靠的洋岩石圈存在证据,仅有海相沉积物记录并不能指示洋的存在。因此,拉丁期不可能还存在大规模的特提斯洋。此外,罗亮等<sup>[93]</sup>通过对晚三叠世硅质岩及其砂岩夹层碎屑锆石研究,认为它们是残余盆地的沉积记录,不代表深水洋盆。这种认识不仅揭示了昌宁-孟连带晚三叠世古特提斯洋壳消亡转为残留海盆地,沉积深水硅质岩,而且说明造山带放射虫硅质岩并不一定代表洋盆环境。

## 2.4 双江-景洪发现长达300 km的榴辉岩带

20世纪80年代,在滇西双江-澜沧地区发现蓝片岩<sup>[94-95]</sup>,表明其为一条高压变质带<sup>[52, 56, 69]</sup>。

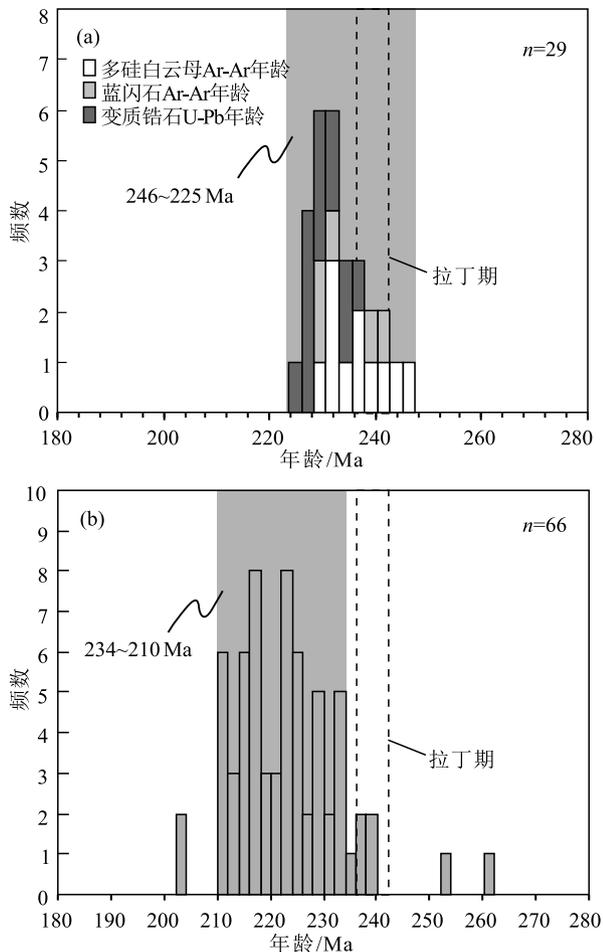


图4 澜沧-双江高压变质带变质年龄(a)和临沧花岗岩基花岗岩结晶年龄(b)(变质年龄数据据参考文献[7,53,67,70];花岗岩年龄数据据参考文献[76-92])

Fig. 4 Histograms of metamorphic ages in Lancang-Shuangjiang high pressure metamorphic belt (a) and crystallization ages of granites from Lincang granite batholith (b)

2015年,云南省地质调查院在承担西南三江有色金属资源基地调查项目勐库等6幅区域地质调查时,在双江勐库镇控角、冰岛、那卡河等地发现了榴闪岩透镜体<sup>[96]</sup>,徐桂香等<sup>[97]</sup>在石榴子石中鉴定出绿辉石包裹体,自此确定勐库地区存在退变榴辉岩。此后,陆续在双江勐库<sup>[52-54]</sup>、双江邦丙<sup>[7,55]</sup>、澜沧黑河-谦迈<sup>[7,56]</sup>、景洪<sup>[7]</sup>等地区发现榴辉岩或退变榴辉岩,从北向南构成一条长达300 km的榴辉岩带(图2)。榴辉岩/退变榴辉岩赋存于澜沧岩群各类片岩中,有蓝闪石榴辉岩、蓝晶石榴辉岩、多硅白云母榴辉岩、含硬柱石榴辉岩及相应矿物组合的退变榴辉岩。榴辉岩原岩性质主要为E-MORB型和

OIB型,其原岩时代为约460 Ma、约430 Ma、约300 Ma、约270 Ma,变质时代集中在245~230 Ma;变质P-T条件表明是一条高压低温变质带,俯冲深度达70~80 km<sup>[7]</sup>。蛇绿岩和高压-超高压变质岩是标定板块边界的重要标志。因此,该榴辉岩带及其西侧的蛇绿混杂岩带共同构成了冈瓦纳大陆与泛华夏大陆板块分界线。另外,从折返的深俯冲变质洋壳的原岩时代看,昌宁-孟连古特提斯洋演化可上溯至早古生代。

## 2.5 南澜沧江结合带是弧后小洋盆闭合的产物

南澜沧江结合带,即前人所称的“南澜沧江基性-超基性杂岩带”“南澜沧江构造带”。该带自北向南大致沿南澜沧江分布,断续出露晚古生代海相沉积地层(大新山岩组、团梁子岩组)和镁铁质-超镁铁质杂岩(岔河、崑里、半坡、雅口、南联山)。但是由于地表出露较差,且该带东侧缺乏明显的深大断裂,其构造属性及在古特提斯演化中的意义还存在严重分歧。早期一种观点认为,该带是冈瓦纳大陆和华夏古陆之间的古特提斯主结合带<sup>[22,98-99]</sup>;另一种观点认为,这些镁铁质-超镁铁质杂岩具有非常明显的岛弧地球化学特征,是岛弧或思茅地块西缘陆缘弧<sup>[100-101]</sup>。此外,还有研究者认为,它们不是古特提斯结合带,而是临沧弧地体东侧的弧后盆地结合带<sup>[102-104]</sup>。冯庆来等<sup>[105]</sup>在南澜沧江构造带景洪曼别和思茅大新山地区大新山组发现含放射虫硅质岩和洋中脊型玄武岩,放射虫硅质岩为远洋型,放射虫时代为中二叠世晚期-晚二叠世早期。王冬兵等<sup>[25]</sup>报道团梁子岩组具有构造混杂特征,由基质和岩块组成,是晚古生代的构造岩层。基质岩石原岩以泥岩、粉砂岩为主,含炭质;岩块为石英(杂)砂岩、基性火山岩、中性火山岩和硅质岩。基质中碎屑岩锆石最年轻组的年龄为283 Ma,指示其沉积时代不早于283 Ma。变质玄武岩岩块具有N-MORB型地球化学特征,表明其是洋壳残余;安山质凝灰岩岩块锆石年龄为269 Ma。另外,半坡<sup>[17,106]</sup>、雅口<sup>[104]</sup>、南联山<sup>[107-108]</sup>等地基性岩时代为307~280 Ma,地球化学性质显示它们具有岛弧性质。综合上述资料,现今南澜沧江构造带保存有N-MORB型玄武岩、远洋硅质岩和泥质岩、307~280 Ma的岛弧岩浆岩,它们构造混杂在一起,可以代表一条结合带。然而,其代表的洋盆存在时间较短(石炭纪-晚二叠世),规模有限,不是具有生物地理

分隔作用的宽阔大洋,而是弧后小洋盆。

### 2.6 藏东金沙江结合带发现榴辉岩

藏东金沙江结合带被认为是古特提斯洋消亡的残迹,代表古特提斯分支洋盆。这一论断的主要依据是该带存在蛇绿岩和深水沉积物,而代表高压变质的榴辉岩未见报道。最近在藏东鲁甸<sup>[109]</sup>和贡觉三岩<sup>[110]</sup>地区发现榴辉岩。鲁甸地区为退变榴辉岩,榴辉岩相矿物组合仅以包裹体形式保存于石榴子石和锆石内,岩石保存有进变质角闪岩相(石榴子石+角闪石 I+石英)、峰期榴辉岩相(石榴子石+绿辉石+金红石+石英+多硅白云母)、早期退变质(斜长石+透辉石+角闪石 II+钛铁矿+石英)以及晚期强退变(角闪石 III+斜长石+斜黝帘石+钛铁矿+石英)4 个世代矿物组合。贡觉三岩地区出露榴辉岩、退变榴辉岩,榴辉岩相矿物组合保存在基质中,榴辉岩相峰期矿物组合为石榴子石+绿辉石+金红石+多硅白云母。它们原岩地球化学性质有 E-MORB 和 OIB 两种类型,榴辉岩相峰期变质时代为 240~244 Ma,榴辉岩相峰期变质作用的  $P-T$  条件为  $P=2.2\sim 2.34$  GPa,  $T=622\sim 688$  °C<sup>[110]</sup>。这些榴辉岩的发现,再次确认金沙江结合带代表古特提斯洋消亡的残迹,是板块缝合线,同时指示金沙江古特提斯洋与昌宁-孟连古特提斯闭合具有同步性。

## 3 西南三江特提斯关键问题

虽然近年在藏东-滇西地区关于古特提斯研究取得了诸多重要进展,但仍然有一些问题未达成共识,甚至存在完全相反的观点,制约了对三江特提斯构造演化的理解。

### 3.1 甘孜-理塘古特提斯洋及义敦岛弧是否存在

在前文介绍三江地区地质背景时,提出了甘孜-理塘结合带、义敦-沙鲁里岛弧 2 个构造单元。需要说明的是,这种划分建立在当前的认识和系统划分之上。甘孜-理塘结合带被认定为一条结合带,主要是基于该带自北向南在甘孜县、理塘县、中甸等地区具有明显的带状构造混杂特征,其中混杂有超基性岩、辉长岩、(枕状)玄武岩、放射虫硅质岩及与它们性质相当的变质岩。这些地质事实均得到认可。然而,在利用它们研究造山带古环境、古构造时,通常会习惯性地认为,基性岩-超基性岩代表古洋岩石圈残余,放射虫硅质岩反映深海环境,进而推断存在古洋盆。实际上,MORB 型基性岩和远

洋型硅质岩组合才能准确地揭示古洋岩石圈存在。甘孜-理塘带有 3 个重要现象:①大多数超基性、基性岩块不是 MORB 地球化学性质;②已经发表数据表明,硅质岩均形成于大陆边缘深水环境<sup>[111-112]</sup>①;③甘孜-理塘带西侧的中甸地块和东侧的块体都分布有晚二叠世陆内玄武岩(冈达组玄武岩、峨眉山组玄武岩)。这说明,甘孜-理塘带作为宽阔大洋盆的依据不充分。因此,虽然可以肯定甘孜-理塘带是一条重要的构造带,但其反映的是一个古特提斯分支洋或弧后洋盆,还是裂陷盆地,仍需要进一步深入研究。

按照传统认识,义敦岛弧是由甘孜-理塘特提斯洋向西俯冲在中甸地块东部边缘形成的,东部的晚三叠世沉积-火山地层是岛弧的地质记录<sup>[15]</sup>。有学者将甘孜、乡城、中甸一带的晚三叠世花岗岩也纳入岛弧范畴。岛弧是由洋-洋俯冲作用在洋壳基底上形成的岩浆岩带,陆缘弧是由洋-陆俯冲作用在陆壳基底上形成的岩浆岩带。无论是岛弧,还是陆缘弧,其岩浆岩主要来源于俯冲带之上的交代地幔部分熔融形成的岩浆或岩浆分异物侵位/喷发形成。岛弧以玄武质岩石为主,陆缘弧以安山质岩石为主,两者均具有幔源地球化学性质。义敦岛弧晚三叠世图姆沟组火山岩主要来源于陆壳熔融<sup>[113-115]</sup>;昌台地区 231~230 Ma 的玄武岩具有 OIB 性质,安山岩和流纹岩是玄武岩演化的产物<sup>[116]</sup>。另外,几乎所有的晚三叠世花岗岩元素特征和 Sr-Nd-Hf 同位素都显示强烈的陆壳特征<sup>[117-120]</sup>。因此,该带火山岩和花岗岩地球化学特征与典型岛弧、陆缘弧岩石性质不符。其次,传统认为义敦岛弧造弧期为晚三叠世,而“甘孜-理塘洋”也闭合于晚三叠世,对于一个洋盆而言,俯冲与最终闭合转换太快,也不同于洋盆演化。此外,义敦岛弧主期岩浆活动的时代与松潘-甘孜带内三叠纪穹窿的时代高度一致,暗示其也可能是造山后演化阶段的产物。综上,甘孜-理塘构造带所代表的盆地,是否发展形成了洋岩石圈结构和俯冲岛弧体系仍是需要讨论的课题。

### 3.2 潞西-瑞丽带超基性岩构造环境存疑

云南潞西三台山地区出露纯橄岩、方辉橄榄岩等超基性岩,大多已强烈蛇纹石化,部分学者认为,其是班公湖-怒江蛇绿岩在滇西的延伸。云南省地矿局<sup>[21]</sup>认为,三台山超基性岩是构造侵位的结果。

张旗等<sup>[22]</sup>认为其构造侵位时代为晚三叠世—早侏罗世。刘本培等<sup>[32]</sup>提出三台山超镁铁岩是无根的蛇绿岩残片, 龙陵—瑞丽断裂代表腾冲地块与保山地块的缝合带。钟大赉<sup>[3]</sup>认为, 三台山无洋壳记录, 可能是板内拉张作用的产物。储著银等<sup>[34]</sup>通过 Os 同位素研究认为, 三台山超基性岩可能是中生代侵位的中元古代富集大陆岩石圈地幔的残片, 不能作为蛇绿岩带的一部分。王奕萱等<sup>[33]</sup>认为, 三台山橄榄岩具有亏损地幔源区特征和俯冲作用改造的特征, 与雅鲁藏布江缝合带蛇绿岩具有相似性。可见, 三台山地区出露的超基性岩的成岩时代、构造侵位时代及构造意义还不清楚。继续对其开展研究, 特别是将其与邻区构造、岩石进行综合研究, 有助于提升对滇西地区特提斯构造格局的认识。

### 3.3 昌宁—孟连带石炭纪—二叠纪玄武岩和碳酸盐岩组合在特提斯重建中的意义

洋岛和海山最初是用来描述现代大洋中明显高于洋底的孤立的地形、地貌名词, 露出水面称为洋岛, 潜伏于水面之下则称为海山<sup>[121-122]</sup>。随着研究的深入, 人们认识到洋岛—海山具有板内玄武岩基座和上覆碳酸盐岩双层结构, 明显区别于洋中脊、俯冲带<sup>[122-123]</sup>。近年, 研究者总结了洋岛—海山的结构、岩石组合、地球化学特征等, 建立了鉴别标志, 将其作为鉴别和恢复古洋盆的重要依据<sup>[124-126]</sup>。昌宁—孟连结合带广泛发育石炭纪平掌组(C<sub>pz</sub>)玄武岩和石炭纪—二叠纪鱼塘寨组(C<sub>py</sub>)灰岩, 两者形影相随, 宏观上构成玄武岩基底和灰岩盖层结构。对于其古地理意义主要存在大洋内部洋岛—海山<sup>[127-129]</sup>和大陆边缘裂谷玄武岩与台地碳酸盐岩组合<sup>[45, 130]</sup>2种不同的认识。前者的主要依据为其具有典型的双层结构和板内玄武岩性质。后者的主要依据为: ①平掌组玄武岩中碎屑岩夹层保存有植物及浅水底栖动物化石<sup>[45]</sup>; ②两者接触面存在古风化壳和铝土矿, 指示陆壳上的海相环境<sup>[130-131]</sup>; ③平掌组古地磁数据表明其当时位于南纬 31°<sup>[132]</sup>, 属于南方冈瓦纳体系。本文未做相关研究, 暂不对平掌组玄武岩和石炭纪—二叠纪鱼塘寨组组合的古地理特征持特定观点, 但提出以下几个有助于研究和解决该问题的思考: ①两者的接触关系对古地理判别非常重要, 在具体讨论研究时应该作为讨论的前置条件。1:20万《孟连幅》(1982)<sup>②</sup>、《耿马、南伞幅》(1984)<sup>③</sup>、《沧源、上班老幅》(1986)<sup>④</sup>等区调报

告都认为是整合接触关系, 持洋岛—海山观点的学者也基于整合接触认识; 方宗杰等<sup>[133]</sup>认为, 两者是沉积接触关系, 但存在渐变整合型和突变假整合关系。因此, 宏观上两者确实呈现玄武岩基底和灰岩盖层两元结构, 但不代表每处露头都是整合接触关系。②如果基于平掌组和鱼塘寨组是整合接触关系获得洋岛—海山认识, 那么该认识与“洋岛—海山”的根本特质相悖。“洋岛—海山”发育于 MORB 型洋壳之上, 其生长是一个从无到有、由低到高、由深水到浅水的建隆过程<sup>[134]</sup>。大洋内海山一开始处于很深水位置, 只有生长高度达到碳酸钙补偿深度(CCD)面以上才可能沉积大量灰岩, 而且开始阶段不应该有大量浅水生物出现。在昌宁—孟连带, 与平掌组玄武岩直接接触的石炭纪—二叠纪鱼塘寨组灰岩为台地型沉积, 而且含有珊瑚、腕足、有孔虫等化石<sup>[121, 128]</sup>。若从整合接触关系和化石特征综合考虑, 它们不能是洋岛—海山。③若两者是突变的假整合沉积关系, 则可能是洋岛—海山。这种模式下, 需要玄武岩基座先期生长, 不管是否存在灰岩盖层, 必须是上部的岩石被剥蚀后, 再在玄武岩基座上沉积灰岩, 才有可能含大量化石。④洋岛—海山可以有陆生植物化石和陆源碎屑岩, 但是陆源碎屑岩中不能存在多源、不同时代的陆源物质。洋岛—海山产于大洋环境, 远离板块尺度的大陆, 陆源碎屑岩物源局限, 因此一旦发现大量不同时代的陆源碎屑物质, 应该判断其不是洋岛—海山。⑤鱼塘寨组之上还有大套二叠纪灰岩(石佛洞组), 在讨论平掌组和鱼塘寨组组合的古环境、古地理时, 也应该一并被综合考虑; ⑥保山地块在石炭纪—二叠纪处于明显的伸展背景, 二叠纪卧牛寺组玄武岩具有板内玄武岩特征<sup>[135]</sup>, 与平掌组玄武岩性质相同。昌宁—孟连带位于保山地块东侧, 不能排除一种可能, 即平掌组玄武岩是时间略早的拉张背景下的板内玄武岩, 含大量化石的鱼塘寨组灰岩是持续伸展背景下海侵产生的台地相碳酸盐岩, 它们在古特提斯洋消亡过程中因构造混入到昌宁—孟连带。

前已述及, 本文不对平掌组玄武岩和石炭纪—二叠纪鱼塘寨组组合的古地理持特定观点, 结果尚未定论。总览前人的研究, 洋岛—海山观点具有时代活力, 持此类观点者需要更多的证据来自恰; 而从洋岛—海山根本内涵、平掌组和鱼塘寨组接触关系、化石特征等方面综合考虑, 大陆边缘拉张背景

玄武岩与台地相碳酸盐盐组合的认识,逻辑链简单、地质依据匹配。无论如何,洋岛-海山在造山带研究中的作用越来越重要<sup>[124-125]</sup>,昌宁-孟连带石炭纪-二叠纪玄武岩与碳酸盐岩组合的古特提斯内涵还有待进一步探索。

### 3.4 滇西早古生代特提斯洋(原特提斯)位置

保山地块与思茅地块之间蛇绿岩、花岗质侵入岩、澜沧岩群变质岩、榴辉岩原岩等的研究进展一致表明,该区存在早古生代特提斯洋(图2)<sup>[51-60]</sup>。然而,对于早古生代特提斯洋在哪里,还存在不同认识。聂小妹<sup>[136]</sup>认为,早古生代泛华夏大陆群与冈瓦纳大陆之间存在原特提斯主洋盆,并称之为澜沧江洋,按照其认识,原古特提斯洋存在于现今的南澜沧江断裂带一带。郑建彬<sup>[137]</sup>和 Zheng 等<sup>[138]</sup>研究了南段组、拉巴组的物质组成、年代学特征,并将其与昌宁-孟连蛇绿岩带东部的澜沧岩群、西侧的西盟岩群、勐统岩群等早古生代变质碎屑岩进行对比,发现它们具有相似的物源区,都来自冈瓦纳大陆边缘,推断古特提斯缝合线的位置很可能位于澜沧江带。Wang 等<sup>[50]</sup>和王冬兵等<sup>[30]</sup>则认为,原特提斯洋的位置还在现今昌宁-孟连带。早古生代,昌宁-孟连特提斯洋在哪里这一问题是由新进展引发的新问题,需要关注和研究。笔者强调,在研究滇西原特提斯位置时,相应时代的蛇绿岩带、高压变质带及岛弧型岩浆带的空间配置是恢复古洋盆及其相应沟弧盆体系的重要依据。

## 4 西南三江特提斯地质研究展望

藏东-滇西三江地区的调查研究,在古特提斯开启及闭合、榴辉岩和早古生代岩浆岩带的发现、厘定弧后盆地结合带等方面取得了重要进展,也存在诸如前述的问题。该带是衔接青藏高原特提斯与东南亚特提斯的纽带,在特提斯研究中起着至关重要的作用。为进一步深化对三江特提斯造山带的理解,精细刻画特提斯洋-转换动力学过程,促进原始理论创新,以下几个方面应予以重点关注。

(1)进一步完善藏东-滇西三江特提斯构造格架。经过过去半个世纪的研究积累,现今已基本建立起来主要的构造格架。但是,对于部分构造带还存在不同认识。西南三江地区既经历了长期复杂的特提斯演化过程,又遭受了新生代印度-欧亚大

陆碰撞影响。新生代发生了大规模的挤压、旋转、走滑,导致构造单元缩短或消失,原始构造格架遭到破坏,特别是“峰腰段”受强烈挤压导致收缩,南、北向连接与对比还存在不同认识。继续开展甘孜-理塘结合带、义敦岛弧带、潞西-瑞丽结合带、波密-松宗结合带的研究和对比,不断完善三江构造格架,有助于提高西南三江特提斯在中国,乃至东特提斯构造域的地位。

(2)怒江-昌宁-孟连带早古生代特提斯与晚古生代特提斯转换过程。现有资料已经确认保山地块与思茅地块之间的区域曾经存在早古生代-晚古生代的特提斯。但是两者是在同一位置,还是不同位置?如果在同一个位置,是长期存在的连续演化,还是“闭合再打开”的分阶段演化模式?如果是不同位置,两者配置关系、转换的遗迹和机制是什么?这些都是需要重点关注的问题。

(3)特提斯重建与聚-散动力学研究。特提斯造山系由特提斯洋转化而来,已成共识,但关键是多个特提斯洋如何转化为现今巨大的特提斯造山系。基于板块构造理论,当前主要有单向裂解-聚合“传送带”模式<sup>[5,103,139-141]</sup>和“一个洋盆、两个大陆边缘”多岛弧盆系模式<sup>[8,11]</sup>。“传送带”模式基于认为青藏高原特提斯结合带由北向南变年轻提出,认为特提斯域诸多块体是从冈瓦纳大陆逐次裂离、往北向亚洲大陆拼贴,最终形成特提斯造山带。“传送带”模式目前还处于描述阶段,究竟这些块体属性如何,隶属何处,它们又在何时以何种方式拼贴到早先聚合的大陆之上,目前还缺乏精细的限定。多岛弧盆系模式基于认为班公湖-双湖-怒江洋是早古生代-中生代的主大洋提出,受制于主大洋消减,在大陆边缘形成前锋弧和弧后盆地系统,主大洋和多个弧后盆地经过长期复杂的扩张、演化、消亡过程,最终转化为特提斯造山带。多岛弧盆系模式同样处于描述阶段,主大洋到底有多老,前锋弧与及弧后盆地精细时空结构和演化过程如何,它们古地理位置的时空变化情况,都还缺乏精细限定。无论哪种模式,只有理清不同块体的裂解-拼合历史及与其伴随的地质过程,才可能详细讨论它们的聚-散动力学机制。未来应开展古生物、古地磁、地质构造、地球化学、模拟等多学科综合研究,开创从定性到半定量、定量研究特提斯聚-散动力学,实现地质理论突破。

**致谢:**笔者2009年参加工作后的第一次野外工作,即有幸跟随潘桂棠先生赴滇西开展特提斯研究,获得他亲手绘制的地质图,得到他的悉心指导和帮助。此后十余年,无数次接受他的指导和谆谆教诲。正是潘先生的引领才使作者不断认识、理解和探索青藏高原地质。潘先生对地质事业的热爱与执着、实事求是的工作作风和孜孜不倦的探索精神是我们年轻一辈学习的榜样。今年适逢潘先生八十周年寿辰,谨以此文表达深深的敬意和衷心的感谢。

## 参考文献

- [1] Sengör A M C. Plate tectonics and orogenic research after 25 years—A Tethyan perspective[J]. *Earth-Science Reviews*, 1990, 27(1/2): 1-201.
- [2] Hsü K J. Origin of the Alps and Western Mediterranean[J]. *Nature*, 1971, 233(5314): 44-48.
- [3] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 194-217.
- [4] 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[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 1-399.
- [5] 吴福元, 万博, 赵亮, 等. 特提斯地球动力学[J]. *岩石学报*, 2020, 36(6): 1627-1674.
- [6] 王保弟, 王立全, 王冬兵, 等. 三江昌宁-孟连带原-古特提斯构造演化[J]. *地球科学*, 2018, 43(8): 2527-2550.
- [7] Wang H N, Liu F L, Sun Z B, et al. A New HP-UHP Eclogite Belt Identified in the Southeastern Tibetan Plateau: Tracing the Extension of the Main Palaeo-Tethys Suture Zone [J]. *Journal of Petrology*, 2020, 61(8): 1-45.
- [8] 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.
- [9] Wang B D, Wang L Q, Chen J L, et al. Triassic three-stage collision in the Paleo-Tethys: Constraints from magmatism in the Jiangda-Deqen-Weixi continental margin arc, SW China [J]. *Gondwana Research*, 2014, 26: 475-491.
- [10] 刘增乾, 李兴振, 叶同庆, 等. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 194-217.
- [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: 1 500 000)[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 1-159.
- [12] 潘桂棠, 肖庆辉. 中国大地构造图及说明书(1: 2 500 000)[M]. 北京: 地质出版社, 2015: 1-160.
- [13] 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: 1-247.
- [14] 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): 1-8.
- [15] 侯增谦, 侯立纬, 叶庆同, 等. 三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化与火山成因块状硫化物矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1995: 1-212.
- [16] 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: 1-200.
- [17] Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the Paleo-Tethys Orogen in southwest China (II): Insights from zircon ages of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks and generation of the Emeishan CFB province[J]. *Lithos*, 2009, 113(3/4): 767-784.
- [18] 王立全, 潘桂棠, 李定谋, 等. 金沙江弧-盆系时空结构及地史演化[J]. *地质学报*, 1999, 73(3): 206-218.
- [19] 王保弟, 王立全, 王冬兵. 西南三江金沙江弧盆系时空结构及构造演化[J]. *沉积与特提斯地质*, DOI: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2021.02008., 2021.
- [20] 莫宣学, 路凤香, 沈上越. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 65-77.
- [21] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1-658.
- [22] 张翼飞, 段锦芬, 张罡, 等. 滇西蛇绿岩带地质构造演化与澜沧江板块缝合线研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2001: 1-100.
- [23] 张旗, 张魁武, 李达周. 横断山区基性-超基性岩的类型[J]. *岩石学报*, 1987, 3: 46-54.
- [24] 张旗, 周德进, 赵大升, 等. 滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回: 岩浆活动记录和深部过程讨论[J]. *岩石学报*, 1996, 12(1): 17-28.
- [25] 王冬兵, 罗亮, 王保弟, 等. 滇西澜沧江构造带景谷地区团梁子岩组的时代与构造属性[J]. *地球科学*, 2018, 43(8): 2551-2570.
- [26] 王玉净, 王建平, 刘彦明, 等. 西藏丁青蛇绿岩特征、时代及其地质意义[J]. *微体古生物学报*, 2002, 19(4): 417-420.
- [27] 李红生. 西藏丁青地区早侏罗世放射虫[J]. *微体古生物学报*, 1988, 5(3): 323-330.
- [28] 强巴扎西, 谢尧武, 吴彦旺, 等. 藏东丁青蛇绿岩中堆晶辉长岩锆石 SIMS U-Pb 定年及其意义[J]. *地质通报*, 2009, 28(9): 1253-1258.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-626.
- [32] 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C, 等. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸[J]. *地质前缘*, 2002, 9(3): 161-171.
- [33] 王奕宣, 王根厚, 袁国礼, 等. 滇西三台山地幔橄榄岩的成因及其构造意义: 来自地质学、矿物学和岩石地球化学的证据[J]. *地质前缘*, 2018, 25(1): 138-156.
- [34] 储著银, 王伟, 陈福坤, 等. 云南澜西三台山超镁铁岩体 Os-Nd-Pb-Sr 同位素特征及地质意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25(12): 3221-3228.
- [35] 王保弟, 刘函, 王立全, 等. 青藏高原狮泉河-拉果错-永珠-嘉黎蛇绿混杂岩带时空结构与构造演化[J]. *地球科学*, 2020, 45(8): 2764-2784.
- [36] 和钟铨, 杨德明, 王天武. 西藏嘉黎断裂带凯蒙蛇绿岩的年代学、地球化学特征及大地构造意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 653-660.
- [37] 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): 1-14.
- [38] 赖绍聪, 秦江锋, 李学军, 等. 昌宁-孟连缝合带乌木龙-铜厂街洋

- 岛型火山岩地球化学特征及其大地构造意义[J].地学前缘, 2010,17(3): 44-52.
- [39] 李静. 云南省双江县石炭纪牛井山蛇绿混杂岩的岩石学研究[D]. 昆明理工大学硕士学位论文, 2003.
- [40] 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.
- [41] 赖绍聪, 秦江峰, 李学军, 等. 昌宁-孟连缝合带干龙塘-弄巴蛇绿岩地球化学及 Sr-Nd-Pb 同位素组成研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3195-3205.
- [42] 金小赤, 王义昭, 谢广连. 滇西昌宁-孟连带泥盆纪至三叠纪地层[J]. 地质学报, 2003, 3(4): 589.
- [43] 方宗杰, 王玉净, 周志澄, 等. 关于造山带地层学的若干思考——昌宁-孟连带实例剖析[J]. 地层学杂志, 1999, 23(4): 241-247.
- [44] 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, 671.
- [45] 方宗杰, 周志澄, 林敏基. 从地层学的角度探讨昌宁-孟连缝合带的若干问题[J]. 地层学杂志, 1992, 16(4): 292-303.
- [46] 张凡, 冯庆来. 滇西南耿马弄巴剖面的晚古生代放射虫动物群[J]. 微体古生物学报, 2005, 22(4): 346-356.
- [47] 段向东, 张志斌, 王伟, 等. 滇西南耿马地区泥盆纪牙形石的发现[J]. 地质通报, 2003, 22(3): 182-185.
- [48] 冯庆来, 刘本培. 滇西早泥盆世放射虫一新属[J]. 中国科学(B辑), 1992, 5: 549-553.
- [49] 吴浩若, 李红生. 滇西孟连地区的石炭纪和二叠纪放射虫化石[J]. 微体古生物学报, 1989, 6(4): 337-343.
- [50] Wang B D, Wang L Q, Pan G T, et al. U-Pb zircon dating of Early Paleozoic gabbro from the Nantinghe ophiolite in the Changning-Menglian suture zone and its geological implication [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(8): 920-930.
- [51] 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]. 地质学报, 2016, 35(7): 1035-1045.
- [52] 李静, 孙载波, 黄亮, 等. 滇西勐库退变质榴辉岩的  $P-T-t$  轨迹及地质意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(7): 2285-2301.
- [53] Wang H N, Liu F L, Li J, et al. Petrology, geochemistry and  $P-T-t$  path of lawsonite-bearing retrograded eclogites in the Changning-Menglian orogenic belt, southeast Tibetan Plateau [J]. Journal of Metamorphic Geology, 2019, 37(4): 439-479.
- [54] Gou Z B, Wang B D, Wang D B, et al. High pressure garnet amphibolites in ophiolitic mélangé from the Changning-Menglian suture zone, southeast Tibetan Plateau:  $P-T-t$  path and tectonic implication[J]. China Geology, 2021, 4(1): 95-110.
- [55] 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.
- [56] 孙载波, 胡绍斌, 周坤, 等. 滇西澜沧谦迈地区榴辉岩岩石学、矿物学特征及变质演化  $P-T$  轨迹[J]. 地质通报, 2019, 38(7): 1105-1115.
- [57] 孙载波, 胡绍斌, 周坤, 等. 滇西南勐海布朗山奥陶纪花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2018, 37(11): 2044-2054.
- [58] 罗波, 谢建. 滇西临沧地块下古生界花岗岩的发现及地质意义——LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 城市地理, 2016, 20: 58-59.
- [59] Xiao Q R, Xiong F H, Zhao H, et al. First Discovery and Zircon U-Pb Dating of Early Ordovician Granitoids in Lincang Batholith, Western Yunnan: Implications for the Presence of Proto-Tethyan Orogeny in the Sanjiang Region, SW China [J]. Acta Geologica Sinica, 2018, 92(1): 404-405.
- [60] 彭智敏, 张辑, 关俊雷, 等. 滇西“三江”地区临沧花岗岩基早—中奥陶世花岗岩质片麻岩的发现及其意义[J]. 地球科学, 2018, 43(8): 2571-2585.
- [61] 卫管一, 冯国荣, 罗再文, 等. 滇西澜沧群、崇山群地层层序及其火山作用和变质作用[J]. 成都地质学院学报, 1984, 3: 12-20.
- [62] 沈上越, 冯庆来, 魏启荣, 等. 南澜沧江带南段原特提斯岛弧火山岩新证据[J]. 矿物岩石, 2008, 28(4): 59-63.
- [63] 吴世泽, 陶有义, 冯国荣, 等. 澜沧群、崇山群变质火山岩系特征[J]. 云南地质, 1984, 3(2): 113-123.
- [64] 翟明国, 从柏林, 乔广生, 等. 中国滇西南造山带变质岩的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素年代学[J]. 岩石学报, 1990, (4): 1-11.
- [65] 王舫, 刘福来, 冀磊, 等. 澜沧江杂岩带澜沧群浅变质岩系碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其构造意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(9): 2975-2985.
- [66] Zhao T Y, Feng Q L, Metcalfé I, et al. Detrital zircon U-Pb-Hf isotopes and provenance of Late Neoproterozoic and Early Paleozoic sediments of the Simao and Baoshan blocks, SW China: Implications for Proto-Tethys and Paleo-Tethys evolution and Gondwana reconstruction [J]. Gondwana Research, 2017, 51: 193-208.
- [67] Wang H N, Liu F L, Santosh M, et al. Subduction erosion associated with Paleo-Tethys closure: Deep subduction of sediments and high pressure metamorphism in the SE Tibetan Plateau [J]. Gondwana Research, 2020, 82: 171-192.
- [68] Xing X W, Wang Y J, Cawood P A, et al. Early Paleozoic accretionary orogenesis along northern margin of Gondwana constrained by high-Mg metagneous rocks, SW Yunnan [J]. International Journal of Earth Sciences, 2017, 106(5): 1469-1486.
- [69] Nie X M, Feng Q L, Qian X, et al. Magmatic record of Prototethyan evolution in SW Yunnan, China: Geochemical, zircon U-Pb geochronological and Lu-Hf isotopic evidence from the Huimin metavolcanic rocks in the southern Lancangjiang zone [J]. Gondwana Research, 2015, 28(2): 757-768.
- [70] Fan W M, Wang Y J, Zhang Y H, et al. Paleotethyan subduction process revealed from Triassic blueschists in the Lancang tectonic belt of Southwest China [J]. Tectonophysics, 2015, 662: 95-108.
- [71] Wang F, Liu F L, Schertl H P, et al. Paleo-Tethyan tectonic evolution of Lancangjiang metamorphic complex: Evidence from SHRIMP U-Pb zircon dating and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotope geochronology of blueschists in Xiaohaijiang-Xiyun area, Southeastern Tibetan Plateau [J]. Gondwana Research 2019, 65: 142-155.
- [72] 段向东, 刘桂春, 冯庆来. 昌宁-孟连构造带拉定期放射虫动物群及构造演化意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2012, 37(增刊2): 67-72.
- [73] 冯庆来, 刘本培. 滇西南晚二叠世和早、中三叠世放射虫研究[J].

- 地球科学, 1993, 18(5): 540-552.
- [74] 方念乔. 从滇西晚二叠世以后的远海沉积看古特提斯的最后消亡[C]//IGCP 第321项中国工作组编. 亚洲的增生. 北京: 地震出版社, 1993: 57-60.
- [75] Fang N Q, Liu B P, Feng Q L, et al. Late Palaeozoic and Triassic deep-water deposits and tectonic evolution of the Palaeotethys in the Changning-Menglian and Lancangjiang belts, southwestern Yunnan[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994, 9(4): 363-374.
- [76] 彭头平, 王岳军, 范蔚茗, 等. 澜沧江南段早中生代酸性火成岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及构造意义[J]. *中国科学(D 辑)*, 2006, 36(2): 123-132.
- [77] Hennig D, Lehmann B, Frei D, et al. Early Permian seafloor to continental arc magmatism in the eastern Paleo-Tethys: U-Pb age and Nd-Sr isotope data from the southern Lancangjiang zone, Yunnan, China[J]. *Lithos*, 2009, 113(3/4): 408-422.
- [78] 孔会磊, 董国臣, 莫宣学, 等. 滇西三江地区临沧花岗岩的岩石成因: 地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束[J]. *岩石学报*, 2012, 28(5): 1438-1452.
- [79] Dong G C, Mo X X, Zhao Z D, et al. Zircon U-Pb dating and the petrological and geochemical constraints on Lincang granite in Western Yunnan, China: Implications for the closure of the Paleo-Tethys Ocean[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 62: 282-294.
- [80] Peng T P, Wilde S A, Wang Y J, et al. Mid-Triassic felsic igneous rocks from the southern Lancangjiang Zone, SW China: Petrogenesis and implications for the evolution of Paleo-Tethys[J]. *Lithos*, 2013, 168/169: 15-32.
- [81] 廖世勇, 尹福光, 王冬兵, 等. 滇西“三江”地区临沧花岗岩基中三叠世碱长花岗岩的发现及其意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2014, 33(1): 1-12.
- [82] 王舫, 刘福来, 刘平华, 等. 澜沧江南段临沧花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J]. *岩石学报*, 2014, 30(10): 3034-3050.
- [83] 杨明辉, 王国芝, 李娜, 等. 滇西昌宁阿愿山花岗岩锆石 U-Pb 年代学特征及其地质意义[J]. *科学技术与工程*, 2015, 15(31): 136-153.
- [84] Wang C M, Deng J, Santosh M, et al. Age and origin of the Bulangshan and Mengsong granitoids and their significance for post-collisional tectonics in the Changning-Menglian Paleo-Tethys Orogen[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 113: 656-676.
- [85] 刘德亮, 黄启帅, 史仁灯, 等. 锆石 Ge 含量和年龄对云南临沧锆矿床物质来源的约束[J]. *矿床地质*, 2015, 34(1): 139-148.
- [86] Catos E J, Reyes E, Brookfield M, et al. Age and emplacement of the Permian-Jurassic Menghai batholith, Western Yunnan, China[J]. *International Geology Review*, 2017, 59(8): 919-945.
- [87] Deng J, Wang C M, Zi J W, et al. Constraining subduction-collision processes of the Paleo-Tethys along the Changning-Menglian Suture: New zircon U-Pb ages and Sr-Nd-Pb-Hf-O isotopes of the Lincang Batholith[J]. *Gondwana Research*, 2017, 62: 75-92.
- [88] 董晓涵, 张靖祎, 刘兵兵, 等. 滇西澜沧江南段眼球状花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2018, 36(5): 1093-1126.
- [89] 周坤, 孙载波, 赵江泰, 等. 云南景洪勐海花岗岩锆石 U-Pb 年龄及意义[J]. *云南地质*, 2018, 37(4): 399-408.
- [90] 曾文涛, 孙载波, 周坤, 等. 滇西双江县勐库地区临沧花岗岩中暗色包体锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2018, 38(1): 23-36.
- [91] 赵枫, 李龚健, 张鹏飞, 等. 西南三江临沧花岗岩基成因与构造启示: 元素地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束[J]. *岩石学报*, 2018, 34(5): 1397-1412.
- [92] Cong F, Wu F Y, Li W C, et al. Origin of the Triassic Lincang granites in the southeastern Tibetan Plateau: Crystallization from crystal mush[J]. *Lithos*, 2020, 360/361: 105452.
- [93] 罗亮, 谢韬, 王冬兵, 等. 昌宁-孟连结合带中三叠世含放射虫硅质岩地层的古特提斯意义[J]. *地球科学*, 2020, 45(8): 3014-3027.
- [94] 彭兴阶, 罗万林. 滇西澜沧江南段蓝闪片岩带的发现及其大地构造意义[J]. *中国区域地质*, 1982, 2: 69-75.
- [95] 周维全, 林文信. 澜沧江变质带南段蓝闪石片岩特征[J]. *中国区域地质*, 1982, 2: 76-85.
- [96] 李静, 孙载波, 徐桂香, 等. 滇西双江县勐库地区榴闪岩的发现与厘定[J]. *矿物学报*, 2015, 35(4): 421-424.
- [97] 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]. *地质学报*, 2016, 35(7): 1035-1045.
- [98] 范承钧, 张翼飞. 云南西部地质构造格局[J]. *云南地质*, 1993, 12(2): 139-147.
- [99] 范承钧. 滇西区域地质特征[J]. *云南地质*, 1982, 4(4): 323-336.
- [100] 赵大升, 张旗, 王明新, 等. 云南景洪县怕冷橄榄岩-闪长岩型杂岩的地球化学特征及其构造意义[J]. *科学通报*, 1991, 9: 688-690.
- [101] 从柏林, 吴根耀, 张旗, 等. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化[J]. *中国科学(B 辑)*, 1993, 23(11): 1201-1207.
- [102] Sone M, Metcalfe I. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny[J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2008, 340(2/3): 166-179.
- [103] Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 66: 1-33.
- [104] Zhai Q G, Chung S L, Tang Y, et al. Late Carboniferous ophiolites from the southern Lancangjiang belt, SW China: Implication for the arc-back-arc system in the eastern Paleo-Tethys[J]. *Lithos*, 2019, 344/345: 134-146.
- [105] 冯庆来, 沈上越, 刘本培, 等. 滇西南澜沧江构造带大新山组放射虫、硅质岩和玄武岩研究[J]. *中国科学(D 辑)*, 2002, 32(3): 220-226.
- [106] 李钢柱, 苏尚国, 段向东. 三江地区澜沧江带南段半坡杂岩体锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及板块构造环境[J]. *地学前缘*, 2012, 19(4): 96-109.
- [107] Hennig D, Lehmann B, Frei D, et al. Early Permian seafloor to continental arc magmatism in the eastern Paleo-Tethys: U-Pb age and Nd-Sr isotope data from the southern Lancangjiang zone, Yunnan, China[J]. *Lithos*, 2009, 113(3/4): 408-422.
- [108] 李钢柱, 苏尚国, 雷玮琰, 等. 三江地区澜沧江带南段南林山基性岩体锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征[J]. *地学前缘*, 2011, 18(5): 206-212.

- [109] 王启宇, 牟传龙, 王保弟, 等. 滇西鲁甸金沙江结合带新发现退变榴辉岩[J]. 地球科学, 2020, 45(8): 2978-2988.
- [110] Tang Y, Qin Y D, Gong X D, et al. Discovery of eclogites in Jinsha River suture zone, Gonjo County, eastern Tibet and its restriction on Paleo-Tethyan evolution[J]. China Geology, 2020, 3(1): 83-103.
- [111] 张世涛, 冯庆来, 王义昭. 甘孜-理塘构造带泥盆系的深水沉积[J]. 地质科技情报, 2000, 19(3): 17-20.
- [112] 杨文强, 冯庆来, 刘桂春. 滇西北甘孜-理塘构造带放射虫地层、硅质岩地球化学及其构造古地理意义[J]. 地质学报, 2010, 84(1): 78-89.
- [113] 李凌杰, 邓江红, 冯汉斌, 等. 中甸义敦岛弧上三叠统图姆沟组火山岩地球化学特征[J]. 地球科学进展, 2012, 27(S1): 130-131.
- [114] 黄建国, 张留清, 中甸晚三叠世图姆沟组岩石化学与构造环境[J]. 云南地质, 2005, 24(2): 186-192.
- [115] 严松涛. 四川理塘地区图姆沟组火山岩地球化学特征、年代学及地质意义研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2016.
- [116] Wang B Q, Zhou M F, Chen, W T, et al. Petrogenesis and tectonic implications of the Triassic volcanic rocks in the northern Yidun Terrane, Eastern Tibet[J]. Lithos, 2013, 175/176: 285-301.
- [117] He D F, Zhu W G, Zhong H, et al. Zircon U-Pb geochronology and elemental and Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry of the Daocheng granitic pluton from the Yidun Arc, SW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 67/68: 1-17.
- [118] Leng C B, Huang Q Y, Zhang X C, et al. Petrogenesis of the Late Triassic volcanic rocks in the Southern Yidun arc, SW China: Constraints from the geochronology, geochemistry, and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes[J]. Lithos, 2014, 190/191: 363-382.
- [119] 王楠, 吴才来, 秦海鹏, 等. 川西义敦岛弧稻城花岗岩体和海子山花岗岩体锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素特征及地质意义[J]. 地质学报, 2016, 90(11): 3227-3245.
- [120] 吴涛, 肖龙, 高睿, 等. 藏东雀儿山复式花岗岩体成因及构造背景: 年代学、地球化学与锆石 Lu-Hf 同位素制约[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(8): 1791-1806.
- [121] 张海清, 孙晓猛, 陈先兵. 洋岛-海山碳酸盐岩的沉积特征及其古地理意义[J]. 地质科技情报, 1997, 16(1): 31-35.
- [122] Menard H W. Marine Geology of the Pacific[M]. McGraw-Hill, New York, 1964: 1-271.
- [123] Wessel P, Sandwell D T, Kim S S. The global seamount census[J]. Oceanography, 2010, 23(1): 24-33.
- [124] 范建军, 李才, 牛耀龄, 等. 造山带板内洋岛-海山残片的识别及地质意义[J]. 地球科学, 2021, 46(2): 381-404.
- [125] 袁四化, 潘桂棠, 任飞. 洋岛-海山研究进展及其对于重建洋板块的意义[J]. 地球科学, 2020, 45(8): 2826-2845.
- [126] 付长垒, 闫臻, 王秉璋, 等. 造山带中古海山残片的识别——以拉脊山缝合带青沙山和东沟地质填图为例[J]. 地质通报, 2021, 40(1): 31-40.
- [127] 刘本培. 滇西古特提斯多岛洋构造古地理格局[C]// 地质矿产部成都地质矿产研究所. 中国西部特提斯构造演化及成矿作用. 成都: 电子科技大学出版社, 1991: 1-212.
- [128] 张海清, 刘本培, 方念乔. 滇西南古特提斯石炭纪海山碳酸盐台地的层序地层学研究[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 20-25.
- [129] 颜佳新, 刘本培, 张海清. 滇西昌宁-孟连带内石炭纪—二叠纪鲕粒灰岩的古地理意义[J]. 古地理学报, 1999, 1(3): 13-18.
- [130] 金小赤, 王义昭, 谢广连. 滇西昌宁-孟连带的地层格架[J]. 地质通报, 2002, 22(6): 315-321.
- [131] Jin X C, Xie G L, Wang Y Z. Some Stratigraphic and Sedimentologic Constraints on the Features of the Changning-Menglian Tethys, Yunnan, China[J]. Gondwana Research, 2001, 4(1): 55-60.
- [132] 梁其中, 尹济云. 云南两个古陆块的古地磁结果及滇西特提斯[C]// 地质矿产部成都地质矿产研究所. 中国西部特提斯构造演化及成矿作用. 成都: 电子科技大学出版社, 1991: 1-358.
- [133] 方宗杰, 周志澄, 郭震宇, 等. 滇西南石炭纪平掌组火山岩与鱼塘寨组的接触关系[J]. 地层学杂志, 1999, 23(4): 257-262.
- [134] Staudigel H, Clague D A. The geological history of deep-sea volcanoes: Biosphere, hydrosphere, and lithosphere interactions[J]. Oceanography, 2010, 23(1): 58-71.
- [135] 肖龙, 徐义刚, 梅厚钧, 等. 云南保山卧牛寺组玄武岩成因: 地幔柱活动的产物? [J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(1): 20-28.
- [136] 聂小妹. 滇西南及泰国北部古生代早中期特提斯演化研究[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2016.
- [137] 郑建彬, 昌宁-孟连带东部晚古生代碎屑岩沉积学与碎屑锆石年代学研究[D]. 中国地质科学院博士学位论文, 2019.
- [138] Zheng J B, Jin X C, Huang H, et al. Sedimentology and detrital zircon geochronology of the Nanduan Formation (Carboniferous) of the Changning-Menglian Belt: indications for the evolution of Paleo-Tethys in western Yunnan, China[J]. International Journal of Earth Sciences, 2019, 108(3): 1029-1048.
- [139] Sengör A M C, Hsu K J. The Cimmerides of eastern Asia history of the eastern end of Paleo-Tethys[J]. Mémoires de la Société Géologique de France, Nouvelle Série, 1984, 147: 139-167.
- [140] Chang C F, Pan Y S, Sun Y Y. The Tectonic Evolution of Qinghai-Tibet Plateau: A Review[C]// Sengör A M C. Tectonic Evolution of the Tethyan Region. Springer Netherlands, 1989: 415-476.
- [141] 万博, 吴福元, 陈凌, 等. 重力驱动的特提斯单向裂解-聚合动力学[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(12): 2004-2017.
- ① 中国人民武装警察部队黄金第十二支队. 四川甘孜州金沟、大河边幅 1: 50 000 区域地质矿产调查报告. 2016.
- ② 云南省地质局区域地质调查队. 1: 20 万孟连幅区域地质调查报告. 1982.
- ③ 云南省地质矿产局区域地质调查队第七分队. 1: 20 万耿马幅、南伞幅区域地质调查报告. 1984.
- ④ 云南省地质矿产局区域地质调查队. 1: 20 万沧源幅、上班老幅区域地质. 1986.