



三江昌宁—孟连带原—古特提斯构造演化

王保弟, 王立全, 王冬兵, 尹福光, 贺娟, 彭智敏, 闫国川

中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081

摘要:昌宁—孟连特提斯洋的构造演化及其原特提斯与古特提斯的转换方式一直是青藏高原及邻区基础地质研究中最热门的科学问题之一。根据新的地质调查资料、研究成果并结合分析数据,系统总结了三江造山系不同构造单元地质特征,讨论了昌宁—孟连特提斯洋早古生代—晚古生代的构造演化历史。通过对不同构造单元时空结构的剖析和对相关岩浆、沉积及变质作用记录的分析,认为昌宁—孟连结合带内共存原特提斯与古特提斯洋壳残余,临沧—勐海一带发育一条早古生代岩浆弧带,前人所划基底岩系“澜沧岩群”应为昌宁—孟连特提斯洋东向俯冲消减形成的早古生代构造增生杂岩,滇西地区榴辉岩带很可能代表了俯冲增生杂岩带发生了深俯冲,由于弧—陆碰撞而迅速折返就位,这一系列新资料及新认识表明昌宁—孟连结合带所代表的特提斯洋在早古生代至晚古生代很可能是一个连续演化的大洋。在此基础上,结合区域地质资料,构建了三江造山系特提斯洋演化的时空格架及演化历史,认为其经历了早古生代原特提斯大洋扩张、早古生代中晚期—晚古生代特提斯俯冲消减与岛弧带形成、晚二叠世末—早三叠世主碰撞汇聚、晚三叠世晚碰撞造山与盆山转换等阶段。

关键词:昌宁—孟连结合带;原特提斯洋;古特提斯洋;增生杂岩;榴辉岩带;构造演化;构造地质学。

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2018)08-2527-24

收稿日期: 2018-04-16

Tectonic Evolution of the Changning-Menglian Proto-Paleo Tethys Ocean in the Sanjiang Area, Southwestern China

Wang Baodi, Wang Liquan, Wang Dongbing, Yin Fuguang, He Juan, Peng Zhimin, Yan Guochuan

Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, China

Abstract: The tectonic evolution of the Changning-Menglian Tethys, as well as the transformation from Proto-Tethys to Paleo-Tethys, is one of hottest research topics concerning the geology of Qinghai-Tibetan Plateau and adjacent regions. Based on the recent geological findings and our new data, we summarized the geological features of the tectonic units from the Sanjiang orogenic system. Then we investigated the evolution history of the Changning-Menglian Tethys during the Early Paleozoic to Late Paleozoic. In view of the spatio-temporal structure of the different tectonic units, and the associated magmatism, sedimentary and metamorphic records. It is suggested in this study that (1) both crustal remnants of Proto- and Paleo-Tethys retain in the Changning-Menglian suture zone, (2) a magmatic arc belt developed from Lincang to Menghai in the Early Paleozoic, (3) the ‘Lancang rock Group’ was not the basement rock series, but Early Paleozoic tectonic-accretionary complexes formed by the eastward subduction of the Changning-Menglian Tethys Ocean, (4) the eclogite belt in western Yunnan might be the production of rapid exhumation after the deep subduction process of the accretionary complex during the arc-continent collision process. All new lines of evidence suggest that the Changning-Menglian Tethys probably was a continuous ocean from Early Paleozoic to Late Paleozoic. Combined the new findings with the regional geological data, the preliminary temporal-spatial framework and evolution process of the Sanjiang Tethys orogenic system are established, which mainly includes the following four

基金项目:中国地质调查局项目(No.DD20160016);国家重点研发计划项目(No.2015CB452601);国家自然科学基金项目(Nos.41773026, 41603038)。

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

引用格式:王保弟,王立全,王冬兵,等,2018.三江昌宁—孟连带原—古特提斯构造演化.地球科学,43(8):2527—2550.

stages: (1) Longmucuo-Shuanghu-Changning-Menglian proto-Tethys seafloor spreading in the Early Paleozoic, (2) the Tethys subduction and formation of the island arc belt from middle-late Early Paleozoic to Late Paleozoic, (3) the convergence and main collision processes from the end of Late Permian to Early Triassic, and (4) the late-collision orogeny and basin-mountain transition in the Late Triassic.

Key words: Changning-Menglian suture zone; Proto-Tethys; Paleo-Tethys; accretionary complex belt; Eclogite belt; tectonic evolution; tectonic geology.

0 引言

特提斯(Tethys)由著名奥地利地质学家 Eduard Suess 在 1893 年提出,意指中生代时期位于南半球冈瓦纳大陆和北半球劳亚大陆之间的已消失的海洋(Tethys ocean 或 Tethys sea).现代意义上的特提斯主要是指冈瓦纳与劳亚大陆聚合形成 Pangea 超大陆以后,其东部存在的向东开口的大洋,由于 Pangea 超大陆主要是南北两大陆在欧洲沿海西/华力西造山带于石炭纪拼合,因此严格意义上说,特提斯是指晚古生代以来的大洋.二十世纪八、九十年代,我国地质学家在青藏高原的昆仑岛弧造山带和三江残余岛弧带发现了震旦(?)—早古生代洋壳消减及相应的活动边缘构造—岩石组合残余,被称为原特提斯洋的残余(刘本培等, 2002),明确将特提斯演化划分为 3 个阶段:原特提斯阶段(Z_1 — S_1)、古特提斯阶段(D_1 — T_2)和新特提斯阶段(T_3 — E)(沈上越等, 2008;李三忠等, 2016).

西南“三江”地区大地构造位置处于特提斯构造域(图 1a),近年来越来越多研究者认为“三江地区”特提斯演化阶段存在多个陆壳地块与洋盆相间排列的多岛洋构造—古地理格局(莫宣学等, 1993;刘本培等, 2002; Jian *et al.*, 2008, 2009a, 2009b; Wang *et al.*, 2014a;任飞等, 2017;尹福光等, 2017),经历了从特提斯大洋岩石圈向大陆岩石圈转换及其大陆边缘多岛弧盆系构造演化(王立全等, 2008, 2013;李文昌等, 2010; Pan *et al.*, 2012;潘桂棠等, 2013; Deng *et al.*, 2014;邓军等, 2016; Wang *et al.*, 2017),形成了现今定位的甘孜—理塘、金沙江—哀牢山、澜沧江、昌宁—孟连 4 条最主要的弧—陆碰撞带及其间的中咱—中甸地块、昌都—思茅地块、保山—镇康地块等微陆块,呈反“S”型扭转的大地构造格局(图 1b).传统观点认为昌宁—孟连结合带代表的是泥盆纪—三叠纪的古特提斯洋消亡的残迹(黄汲清等, 1987;云南省地质矿产局, 1990;刘本培等, 2002;王义昭, 2005),近年来笔者在滇西南汀河及牛井山地区发现出露完整的早古生代蛇绿混杂岩

带(Wang *et al.*, 2013a;王冬兵等, 2016),代表了原特提斯洋的记录.随之而来的关键科学问题是:原特提斯洋与古特提斯洋是如何转换的?原特提斯洋俯冲消减经历了怎样的过程?俯冲增生—碰撞的物质记录在哪里?这些科学问题制约了人们对特提斯构造演化的理解.

近几年来,中国地质调查局成都地质调查中心组织实施的《西南三江有色金属资源基地调查》工作及一系列科学研究,在昌宁—孟连弧盆系的物质组成、构造—岩浆演化序列及基底岩系构造属性等方面获得了大量新资料,取得了一系列新认识.在新的 1:5 万区域地质调查资料和相关科学研究基础上,笔者结合分析数据,在对西南三江地区的地质构造单元厘定和划分的基础上,分析和讨论了昌宁—孟连带原—古特提斯洋的构造演化历史.

1 三江造山系构造单元地质特征

三江造山系构造单元是以板块构造学、大陆边缘多岛弧盆系构造模式为理论指导,按照时空结构的系统性、层次性、相关性的大地构造单元划分原则,参照青藏高原及邻区 1:150 万大地构造图及说明书的标准划分(潘桂棠等, 2013).

三江造山系主体是由泛华夏大陆西南边缘晚古生代多岛弧盆系转化形成的造山系,北侧为康西瓦—南昆仑—玛多—玛沁对接带,南侧为班公湖—怒江—昌宁—孟连对接带,经历了复杂的古生代—中生代多岛弧盆系发育、弧后扩张、弧—弧或弧—陆碰撞的地质演化历史;三叠纪的弧—陆造山作用,最终完成泛华夏大陆的定型,并成为欧亚大陆的组成部分,大部地区于晚三叠世转化为陆地,局部地区于中—晚三叠世形成后碰撞伸展背景下的裂陷或裂谷盆地(Pan *et al.*, 2012;潘桂棠等, 2013;王立全等, 2013).三江造山系及其两侧二级构造单元的地质特征简述如下(图 1b).

1.1 扬子地块

扬子地块北部以龙门山—三江口—虎跳峡断裂

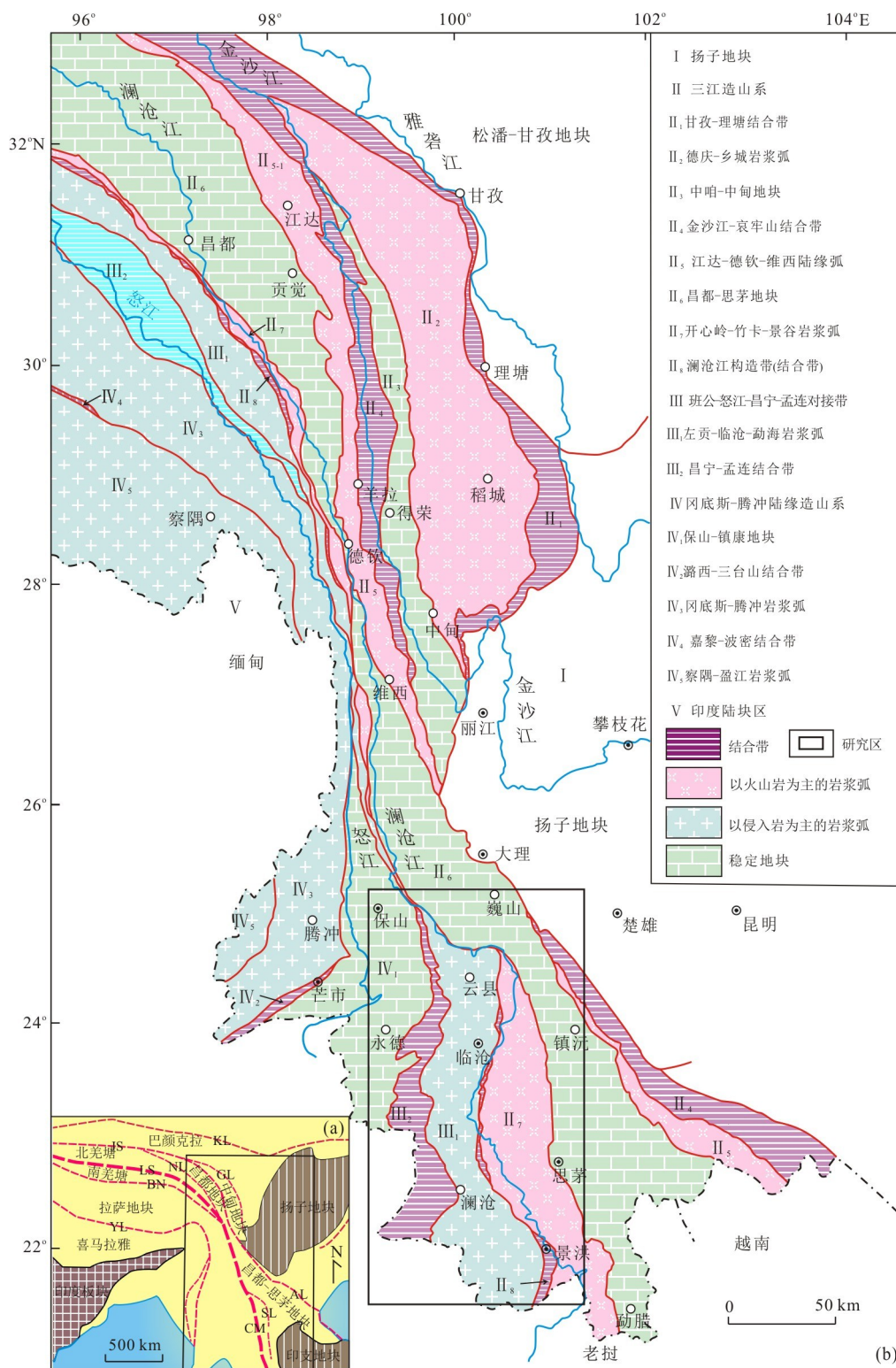


图 1 青藏高原构造格架简图(a)及西南三江地区大地构造单元划分(b)

Fig.1 Tectonic framework of the Tibetan Plateau (a) and tectonic unit division of the Sanjiang Orogen and surrounding areas (b)
 据 Wang *et al.* (2014a) 修改. KL. 阿尼玛卿—昆仑结合带; GL. 甘孜—理塘结合带; JS. 金沙江结合带; AL. 哀牢山结合带; NL. 北澜沧江结合带; SL. 南澜沧江结合带; LS. 龙木错—双湖结合带; CM. 昌宁—孟连结合带; BN. 班公湖—怒江结合带; YL. 印度—雅鲁藏布江结合带

为界,南部则以哀牢山断裂带为界,具有前震旦系结晶基底,主要由中元古代的大红山群、盐边群、会理

群、昆阳群和哀牢山群等构成.震旦系—中新生界为沉积盖层,震旦纪—中三叠世为稳定的海相沉积,晚

三叠世形成川滇陆相红色盆地,侏罗系一新近系沉积物巨厚(李文昌等,2010;潘桂棠等,2013;王立全等,2013)。

1.2 甘孜—理塘结合带

甘孜—理塘蛇绿混杂岩带北西自西邓柯,向东南经甘孜转向南,经理塘至川滇交界处的三江口、哈巴雪山、玉龙雪山、剑川等地,在乔后北与南延的金沙江结合带交接。该带长 >800 km、宽为 $5\sim 30$ km,主要由早石炭世—晚三叠世洋脊型拉斑玄武岩、苦橄玄武岩、镁铁质与超镁铁质堆晶岩、辉长岩—辉绿岩墙、蛇纹岩、辉石岩、辉橄岩、放射虫硅质岩与晚三叠世复理石组成,奥陶纪—三叠纪不同时期的外来岩块均有混杂到带内。在理塘之南零星有榴闪岩出露,在新龙、木里依吉及三江口一带零星发育蓝闪片岩(王立全等,2013)。

甘孜—理塘洋盆的发育时限,四川省地质调查院在南段获得一些 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄,如白汉场蛇绿混杂岩带洋脊低钾拉斑系列辉长岩为 341.6 ± 4.9 Ma,土官村辉长辉绿岩为 272.8 ± 1.2 Ma(四川省地质调查院,2017;云南省土官村地区1:5万区域地质调查报告);中段理塘温泉发育有早三叠世放射虫,鸭嘴牧场西沟—温泉理塘一带发育有早—晚三叠世放射虫;北段甘孜以北的竹庆一带硅质岩含早石炭世放射虫,另外在玉树歇武、德格县竹庆浪多—三岔河、竹庆乡—几柯一带相伴产出有含早石炭世、中二叠世、中三叠世和晚三叠世放射虫硅质岩(王立全等,2013)。以上证据表明甘孜—理塘洋盆打开的时间可能为早石炭世,一直延续到晚三叠世。

1.3 德庆—乡城岩浆弧

德庆—乡城岩浆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—理塘洋西向俯冲消减所形成,主要由岛弧基底和岛弧构成。岛弧基底由前震旦系变质基底和震旦系及其以后的古生界及下中三叠统沉积盖层组成,与扬子陆块地壳结构相似(李文昌等,2010)。岛弧带主要由晚三叠世浅海相碳酸盐岩夹中基性—中酸性火山岩组合构成,并伴随有强烈的同时期深成岩浆活动($238\sim 208$ Ma),南段的部分二长闪长玢岩—花岗斑岩小岩体($208\sim 235$ Ma)控制了斑岩型铜矿床的生成(任江波等,2011;黄肖潇等,2012;Peng *et al.*, 2014;Wang *et al.*, 2014b),如普朗特大型斑岩型 Cu 矿、雪鸡坪中型斑岩型 Cu 矿等。晚三叠世晚期为滨浅海相含煤(线)碎屑岩组合,含双壳类和丰富的植物化石,标志着甘孜—理塘洋盆闭合与弧—陆碰撞

造山作用。

1.4 中咱—中甸地块

中咱—中甸地块呈南北向狭长梭状展布,具有典型的基底与盖层的二元结构,变质结晶基底主要发育一套中—新元古界高绿片岩相—角闪岩相变质岩,Sm-Nd 模式年龄为 $1\,344\sim 1\,370$ Ma,Rb-Sr 等时线年龄为 996 ± 34 Ma(王全立等,2013),与扬子陆块基底类似;新元古代为一套绿片岩相碎屑岩夹变基性火山岩组合,早期具有复理石建造特征,在太平桥一带显示浊流沉积,属于早古生代被动边缘沉积;晚期出现有硅质岩和变基性火山岩及薄层灰岩夹层。地块的稳定盖层由古生界碎屑岩及碳酸盐岩组合构成,早古生代属于扬子陆块西部被动边缘的一部分,晚古生代中晚期由于甘孜—理塘洋盆的打开,盖层从而从扬子陆块中裂离出来,形成独立的微陆块(李文昌等,2010)。

1.5 金沙江—哀牢山结合带

金沙江结合带沿金沙江展布,长 $1\,000$ 多 km,宽 $20\sim 40$ km,向南与哀牢山结合带相连。该带主要为半深海—深海相泥灰岩、硅质条带灰岩、砂泥岩、放射虫硅质岩、洋脊型基性火山岩、凝灰岩等组成的火山—复理石沉积建造。学者们普遍认为金沙江洋盆经历了裂(陷)谷盆地(D)、洋盆扩张(C_1-P_1)、洋壳俯冲消减(P_1-P_2)和弧陆碰撞造山(T_1-T_2)4个主要演化阶段(范蔚茗等,2009;Jian *et al.*, 2009a, 2009b;Zi *et al.*, 2012;潘桂棠等,2013)。金沙江蛇绿岩带及相关地层中发育早石炭世—晚二叠世放射虫(吴浩若和李红生,1989;孙晓猛等,1995);简平等(1999)在蛇绿混杂岩中获得系列 SHRIMP 或 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄,如德钦书松斜长岩为 340 Ma,德荣县雪堆斜长花岗岩为 294 Ma,之用角闪辉长岩为 320 ± 10 Ma,书松斜长岩为 329 ± 7 Ma,白茫雪山辉长岩为 285 ± 6 Ma(Jian *et al.*, 2008),东竹林层状辉长岩为 354 ± 3 Ma(王冬兵等,2012),东竹林奥长花岗岩为 347 ± 7 Ma(Zi *et al.*, 2012);以上资料一致表明金沙江结合带经历了泥盆纪—石炭纪的洋盆扩张历史。早二叠世晚期—晚二叠世由于金沙江洋壳的西向俯冲消减作用,自东向西形成竹巴龙—羊拉—东竹林洋内弧及其西侧的西渠河—雪压央口—吉义独—工农弧后盆地(洋壳基底),江达—德钦—维西陆缘岩浆弧及其西侧的昌都—兰坪弧后盆地(陆壳基底);早—中三叠世斜向俯冲碰撞,金沙江弧后洋盆消亡转入残余海盆地的发展阶段,在西侧形成江达—德钦—维西岩浆弧及

其岩浆弧西侧的昌都—兰坪弧后前陆盆地;晚三叠世开始,金沙江带进入全面弧—陆碰撞造山阶段,于金沙江带内及其后缘的边缘前陆盆地中堆积形成碎屑磨拉石含煤建造,并不整合在金沙江蛇绿混杂岩之上(王立全等,2013)。

哀牢山蛇绿混杂岩带内镁铁—超镁铁岩成群、成带分布,主要发育洋脊型玄武岩、辉长—斜长堆晶岩、二辉橄榄岩及含放射虫的硅质岩等。前人研究结果显示,哀牢山弧后洋盆在中—晚泥盆世浅海陆棚碳酸盐台地背景下出现局部拉张,石炭纪—早二叠世进一步扩张(Fan *et al.*, 2015);晚二叠世初期开始向南西俯冲,形成墨江—绿春陆缘弧(Fan *et al.*, 2010, 2015; 李龚健等, 2013)。中三叠世哀牢山洋盆消亡,形成以太忠—李仙江钙碱性火山岩组合为代表的弧—陆碰撞带,叠加于墨江—绿春陆缘弧之上或其东侧。在区域上,上三叠统一碗水组不整合于蛇绿混杂岩之上(王立全等, 2013)。

1.6 江达—德钦—维西陆缘弧

江达—德钦—维西陆缘弧是金沙江洋西向俯冲消减的产物,是以昌都地块为基底发育起来。中—下元古界(Pt_{1-2})基底仅出露在戈波一带,为一套角闪岩相深变质岩系, Rb-Sr 等时线年龄为 $1\ 111 \sim 2\ 200$ Ma。晚元古代草曲群(Pt_3)为一套绿片岩相变质岩系,基性火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 999 Ma 和 876 Ma。晚古生代为次稳定型被动边缘盆地—裂陷盆地中的陆棚相碎屑岩—碳酸盐岩夹中基性火山岩建造。闫国川等(2018)在江达县车所一带获得岛弧型安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 332 ± 3.3 Ma, 指示金沙江洋盆在早石炭世晚期之前已经开始俯冲消减活动;早二叠世晚期由于金沙江洋盆向西俯冲消减于昌都—兰坪陆块之下,在早期被动边缘的基础上转化为活动边缘,进入陆缘弧发育阶段,形成拉斑玄武岩—钙碱性—钾玄岩系列火山岩(莫宣学等, 1993; Jian *et al.*, 2009a, 2009b; 王立全等, 2013)。晚二叠世末期—早三叠世普水桥组、马拉松多组陆相碎屑岩和大量中酸性火山岩不整合在下伏地层之上,标志着弧—陆碰撞作用的开始,发育类似岛弧性质的玄武安山岩—安山岩—英安岩—流纹岩系列的火山岩组合(王立全等, 2013);随后进入碰撞后伸展时期,形成三叠纪上叠裂谷盆地,在北带形成上兰组、人支雪山组,南带形成攀天阁组、催依比组;其中以发育“双峰式”火山岩系特征的拉斑玄武岩和流纹岩组合为特征,有辉长—辉绿岩墙/岩脉群产出并相伴产出复理石建造,该盆地内各岩石单元之间呈整合或假整合接触。晚三

叠世石钟山组、甲丕拉组、歪古村组、东独组等陆相磨拉石建造的广泛发育,标志弧—陆碰撞造山作用的结束(Wang *et al.*, 2014a)。

墨江—绿春陆缘弧是由于哀牢山洋盆向西俯冲在兰坪—思茅地块的基础上发育形成,早古生代为被动边缘盆地中的浅海—斜坡相碎屑岩夹碳酸盐岩沉积,以发育笔石页岩、碎屑浊积岩、放射虫硅质岩为特征。晚古生代至早石炭世,受哀牢山洋盆打开影响,在墨江布龙—五素一带发育一套由基性火山岩和酸性火山岩构成的双峰式火山岩及砂岩、硅质页岩和硅质岩组合,形成于被动边缘裂谷盆地环境。中—上石炭统至下二叠统为被动边缘盆地中的一套滨浅海相碳酸盐岩和含煤碎屑岩。早二叠世晚期,在早期被动边缘的基础上,转化为活动边缘进入造弧阶段。在太忠—李仙江一线发育一套弧火山岩带,其在空间上部分与墨江—五素双峰式裂谷带重叠(范蔚茗等, 2009; Fan *et al.*, 2010)。晚二叠世末或早三叠世进入弧—陆碰撞阶段,在绿春高山寨和柯坪一带分别发育碰撞型中酸性火山岩。

1.7 昌都—思茅地块

昌都—思茅地块分别由中—新元古界和下古生界构成结晶基底和褶皱基底,晚古生代—中生代为相对稳定的盖层系统。中—新元古界结晶基底主要为一套低角闪岩相变质岩系和高绿片岩相变质岩系,混合岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $833 \sim 843$ Ma, 原岩组合与扬子陆块基底特征相近(王立全等, 2013);早古生代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,具类复理石沉积建造特征,沉积岩相与扬子陆块相似。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。二叠纪受到两侧(澜沧江、金沙江)洋盆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—中三叠世由于弧—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。

1.8 开心岭—竹卡—景谷岩浆弧

该岩浆弧带的开心岭—竹卡一带变质基底为吉塘岩群,仅出露于西藏东部丁青德翁格—各马通和类乌齐东达村一带,其中恩达岩组(Pt_{1-3})为一套角

闪岩相变质岩系,原岩为一套火山—沉积岩建造,主要由黑云(角闪)斜长片麻岩、黑云变粒岩夹黑云石英片岩、斜长角闪岩组成,局部夹大理岩,后期普遍受混合岩化;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、泥质岩和火山岩建造,主要岩石组合为黑云石英片岩、二云石英片岩、绿泥二云石英片岩夹变质砾岩、变基性火山岩、辉绿辉长岩、片麻状黑云二长花岗岩构造混杂其中,可能为一套构造混杂岩系.上古生界下石炭统杂多群和卡贡群(C_1)、加麦弄群(C_2)为稳定地块上的陆表海盆地中的一套海陆交互相含煤(线)碎屑岩夹碳酸盐岩建造.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,其中火山岩为岛弧型拉斑玄武岩—钙碱性玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩、钾玄岩及相应的火山碎屑岩组合(莫宣学等,1993),苏鲁乡西侧流纹英安岩中 U-Pb 同位素年龄为 287 ± 4 Ma(王立全等,2013).早三叠世进入弧—陆碰撞阶段,发育大量的碰撞型中酸性岩浆活动;侏罗—白垩纪为陆相磨拉石沉积,进入陆内构造演化阶段.

沿澜沧江河谷分布的云县—景谷陆缘弧带是开心岭—竹卡陆缘弧的南延,在景洪南光一带出露的中上泥盆统是该带最老的地层,主要为斜坡至盆地边缘沉积,发育海底扇砾岩、细碎屑浊积岩、硅质浊积岩和硅质岩,并见有鲍马序列(李文昌等,2010).该带主造弧期为二叠纪,形成一套碎屑岩—碳酸盐岩及玄武岩、安山岩和流纹岩组成的岛弧型火山—沉积建造.三叠纪发生弧—弧碰撞作用,发育碰撞型岩浆岩、后碰撞型岩浆岩及碰撞后伸展型岩浆岩,其大量同位素年龄值为 $258 \sim 212$ Ma(刘军平等,2017).

1.9 澜沧江构造带(结合带)

澜沧江构造带在三江南段沿白济汛、营盘、半坡、雅口至景洪县,呈近南北向空间展布.在维西白济汛—兰坪营盘一带见有保存完好的洋脊型蛇绿岩,由蛇纹岩、堆晶杂岩(橄榄辉石岩—辉长岩—钠长花岗岩)、变基性火山岩、放射虫硅质岩组成.景谷县以西的蕨里、半坡等基性、超基性岩体构造混杂于三叠纪地层中,局部地段堆晶结构发育,韵律清晰,岩石以辉石岩、二辉辉长岩、橄榄辉长岩、辉长岩为主,次有单辉橄榄岩、方辉橄榄岩、异剥橄榄岩、角闪辉石岩、纯橄榄岩、苏长辉长岩、斜长岩等(潘桂棠等,2013;王立全等,2013).

1.10 左贡—临沧—勐海岩浆弧

左贡—临沧—勐海岩浆弧位于南澜沧江构造带

与昌宁—孟连结合带之间,以广泛出露中酸性岩浆岩为特点,左贡地区称作东达山岩体,滇西称作临沧复式岩基.研究显示该岩浆弧带的变质基底为早古生代的增生杂岩系,藏东地区称为吉塘岩群,滇西地区称为澜沧岩群.该岩浆弧主体为中—晚三叠世岩浆活动,U-Pb 锆石年龄为 $238 \sim 212$ Ma,形成于古特提斯洋闭合后陆—陆或弧—陆碰撞的构造环境(Peng *et al.*, 2008, 2013, 2015; 孔会磊等, 2012; 王舫等, 2014),岩浆来源于地壳,可能伴随有不同比例的地幔物质加入.在临沧岩基南部及两侧地层中发现少量泥盆纪—石炭纪及二叠纪岩浆活动,代表了原—古特提斯洋俯冲消减的岩浆作用记录;岩基北部发现少量晚白垩世岩浆活动,属于强过铝质高钾钙碱性 S 型花岗岩,可能是古老地壳物质在温度较高的条件下部分熔融形成,侵位于后碰撞背景,指示侏罗纪时期三江临沧地区已经进入了陆内构造演化时期.岩浆弧盖层大多被剥蚀,残留的沉积盖层为中侏罗统花开左组的陆相红层.

1.11 昌宁—孟连结合带

昌宁—孟连结合带位于西侧保山地块与东侧临沧—勐海岩浆弧带之间,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断续出露有泥盆纪—石炭纪的复理石砂板岩及少量硅质岩.南延可能连接马来西亚的文冬—劳勿带.

1.12 保山—镇康地块

保山—镇康地块在大地构造上位于南怒江断裂(即潞西—三台山断裂或结合带)和昌宁—孟连结合带之间,普遍被认为属于滇缅马泰微大陆,其地层、古生物等方面与冈瓦纳大陆具有亲缘性(Fang *et al.*, 1994; Metcalfe, 2013),发育大量冈瓦纳相含砾沉积和冷水动物分子.基底岩系崇山岩群(Pt_{1-2})为一套角闪岩相变质岩系,早古生代早期为类复理石浊流沉积,晚期为具华北、华南混合型生物特征的浅海—深水陆棚相碎屑岩—碳酸盐岩建造.晚古生代发育冈瓦纳相含砾沉积和以 *Stepanoviella* 和 *Eurydesma* 为代表的冷水动物分子,并伴有玄武岩、安山玄武岩的喷溢,显示具有被动边缘裂陷—裂谷盆地性质.二叠纪末随着东侧特提斯大洋的俯冲消亡、弧—陆碰撞作用的开始,下一中三叠统为前陆盆地中的一套局限浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积,并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.

保山地块岩浆活动主要以前寒武纪末期、早古

生代和中生代晚期为主,前寒武纪末期以西盟老街子花岗岩体为代表,规模较小,以岩株为主,其 Rb-Sr 等时线年龄为 687 Ma(李文昌等,2010),同时在潞西志本山地区发育二云母花岗岩,其 Rb-Sr 等时线年龄为 645 Ma;早古生代以平河岩体为代表,其为保山地块出露面积最大的花岗岩体,U-Pb 年龄为 480~486 Ma(董美玲等,2012);中生代晚期呈小岩株零星产出,其同位素年龄为 80~100 Ma(Chen *et al.*,2007)。

2 昌宁—孟连结合带蛇绿混杂岩

昌宁—孟连结合带北起昌宁、双江,经铜厂街、老厂至孟连,向南延入缅甸。地质调查显示,铜厂街、南汀河、牛井山及曼信等地发育有比较典型的蛇绿混杂岩(图 2,3),蛇绿混杂岩构造单元出露较齐全(图 4),多处发育具 N-MORB 特征的洋脊型玄武岩或者 OIB 型玄武岩(图 5),在曼信、依柳、铜厂街等

地还见准洋脊型玄武岩;与其伴生的硅质岩为远洋非补偿性盆地硅质岩,其中所含放射虫为远洋深海组合。收集的年代学信息见表 1。

2.1 铜厂街蛇绿混杂岩

铜厂街蛇绿混杂岩位于昌宁—孟连结合带的北部,杨嘉文(1982)最早报道了该区蛇绿岩,认为其属于“陆间裂谷型”。地质调查显示铜厂街蛇绿混杂岩岩石组合主要有蛇纹岩、变质斜方辉橄岩、方辉橄橄榄岩、纯橄榄岩、堆晶岩、辉长岩及玄武岩等,它们都是蛇绿岩套的成员,由于构造破坏而见不到层序关系(图 3a)。变质的斜方辉橄岩多呈大小不等的块体或透镜状、脉状分布于变质玄武岩中,也有部分产于浊积岩相的复理石建造中。蛇绿混杂岩中的基性岩可分为两类,一类遭受明显的变质作用,类似于洋脊玄武岩(张旗等,1985;陈莉等,2015);另一类与洋岛玄武岩有关(张旗等,1985;赖绍聪等,2010),反映了正常洋脊与地幔热点的相互影响。铜厂街 N-MORB 型辉长岩中角闪石 K-Ar 等时线年龄为 385~381 Ma

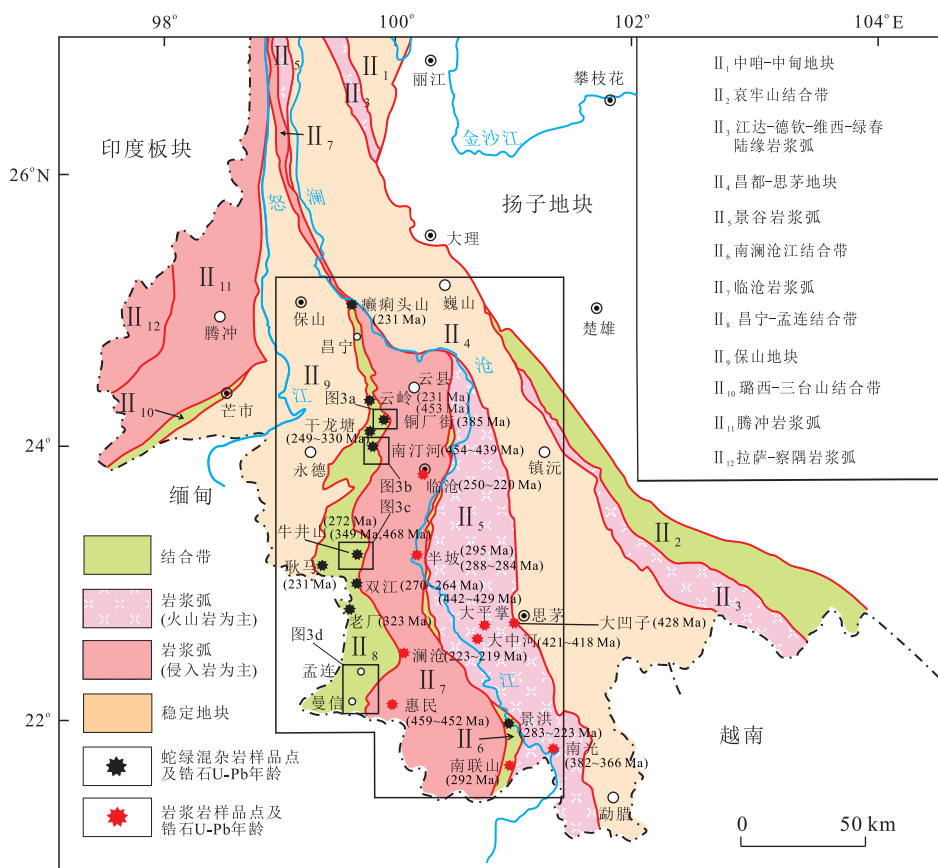


图 2 三江南段昌宁—孟连弧盆系构造单元及前侏罗纪岩浆作用时空分布

Fig.2 Simplified geological map of the Changning-Menglian orogenic system, showing the temporal-spatial distribution of pre-Jurassic magmatic rocks

数据引用同表 1

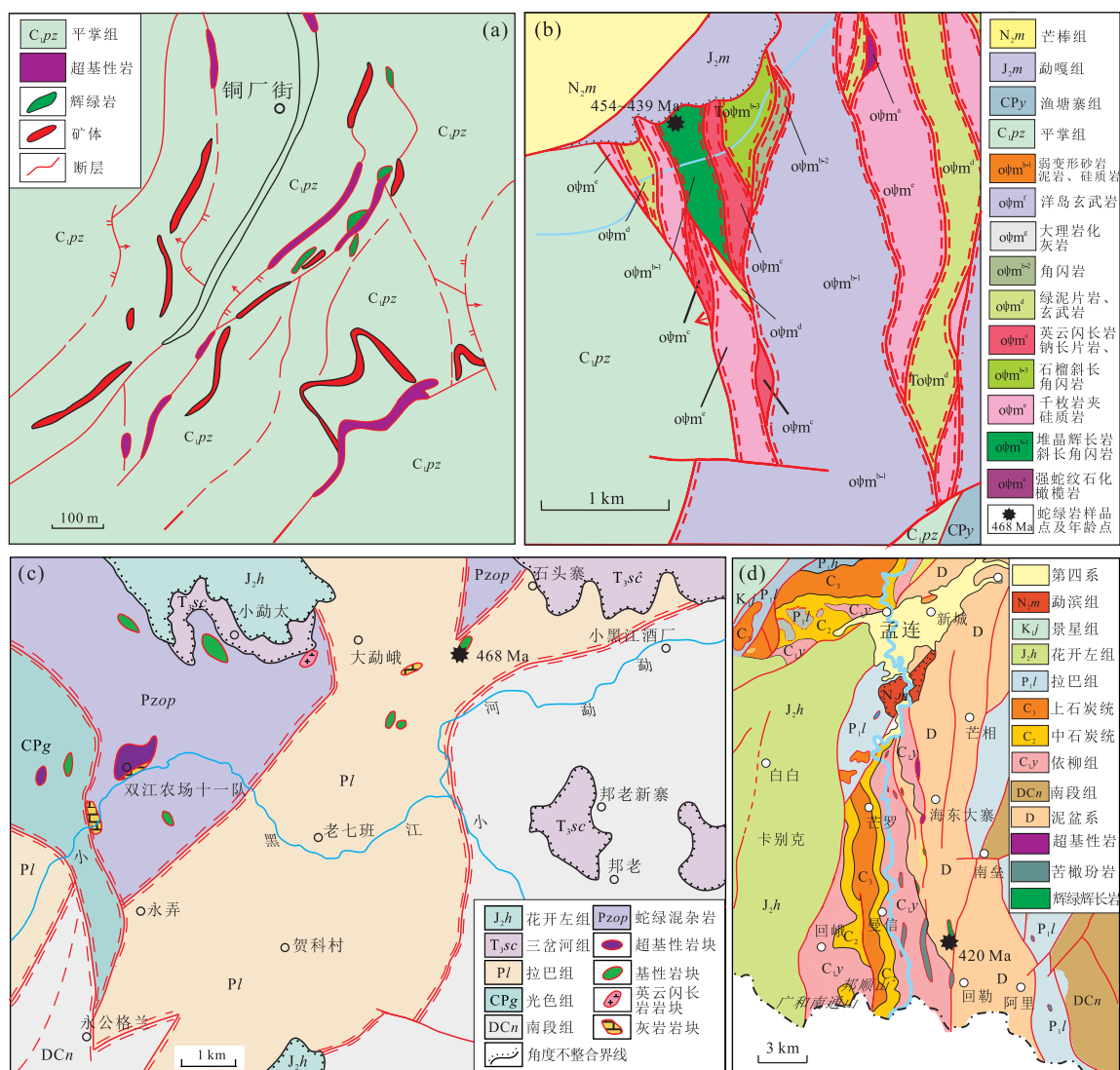


图 3 昌宁—孟连结合带铜厂街(a)、南汀河(b)、牛井山(c)和曼信(d)蛇绿混杂岩地质简图

Fig.3 Simple geological maps of the Tongchangjie (a), Nantinghe (b), Niujiangshan (c) and Manxin (d) ophiolites in the Changning-Menglian suture zone

图 a 据陈莉等(2015);图 b 据云南省地质调查院(2017, 中华人民共和国 1:5 万香竹林、勐勇、勐撒、懂过、耿马县、安雅、勐库 7 幅区域地质调查报告);图 c 据王冬兵等(2016);图 d 据云南省地质矿产局(1984, 中华人民共和国 1:20 万孟连幅区域地质调查报告)

(从柏林等, 1993), 指示铜厂街蛇绿混杂岩和相关洋盆主要发育在晚古生代。该蛇绿混杂岩带内还发育有与海底火山活动有关的 VMS 型矿床, 含矿岩系为一套 N-MORB 型变质拉斑玄武岩系列的海相火山岩组合(图 4, 图 5), 矿体呈层状、似层状产出, 与围岩界线清晰, 网脉状矿化发育于块状矿体之下, 铜厂街矿床经历了喜马拉雅期的变质改造(陈莉等, 2015)。

2.2 南汀河蛇绿混杂岩

南汀河蛇绿混杂岩主要出露于南汀河—勐勇—干龙塘一带, 南汀河以北与铜厂街蛇绿混杂岩相连, 往南与牛井山蛇绿混杂岩相接, 断续出露, 总长度约为 80 km, 出露宽度为 0.5~3.0 km。蛇绿岩残块岩

石类型以斜长角闪岩、绿泥绿帘阳起石岩、钠长绿泥绿帘片岩、蛇纹石化橄榄辉石岩、蛇纹石化辉橄岩、堆晶辉长岩、变辉长岩以及变玄武岩等为主, 超基性岩块多呈层状—似层状、囊状、团块状产出, 恢复的蛇绿岩“基本层序”不完整: 主要为变质橄榄岩、堆晶杂岩、变辉长岩以及基性熔岩单元组成, 各单元之间皆为断层接触(Wang *et al.*, 2013a)。该蛇绿混杂岩东侧与泥盆系—石炭系半深海—深海硅泥质复理石及火山岩建造南段组(DCn)、二叠系碎屑岩建造拉巴组(Pl)为断层接触。西侧与泥盆系含碳质—硅质碎屑岩组合的温泉组(Dw)、石炭系中基性火山岩—火山角砾岩—灰岩及碎屑岩组合平掌组

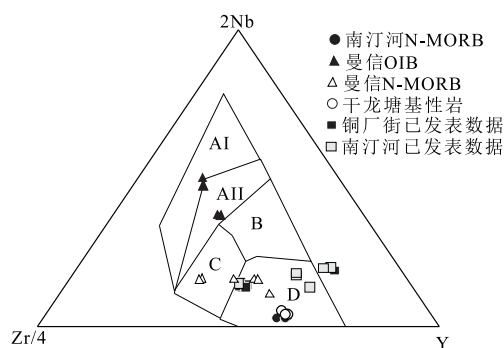


图 4 昌宁—孟连结合带蛇绿混杂岩基性岩构造环境图解

Fig.4 Tectonic environments diagram of mafic rocks in the

Changning-Menglian ophiolite mélange

南汀河数据来自 Wang *et al.* (2013a); 铜厂街数据来自陈莉等 (2015); 干龙塘数据来自赖绍聪等 (2010)

(C_1pz)、石炭系—二叠系鲕粒—生物碎屑灰岩的渔塘寨组(CP_y)呈断层接触(图 3b),部分地段被上三叠统磨拉石建造三岔河组(T_3sc)、中侏罗统花开左组(J_2h)不整合覆盖。南汀河剖面上堆晶辉长岩及辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 473 Ma、454 Ma、444 Ma 和 439 Ma (Wang *et al.*, 2013a, 2013b),其地球化学特征显示很可能形成于 N-MORB 或 E-MORB 的构造环境(图 4, 5);邻区双江县勐库乡北忙那河钠质堆晶斜长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 471 Ma (刘桂春等, 2017);指示南汀河地区蛇绿混杂岩主要形成于早古生代(表 1)。

2.3 牛井山蛇绿混杂岩

牛井山蛇绿混杂岩位于昌宁—孟连结合带中部,主要出露于云南省双江县与耿马县交界的牛井

山一带,主要岩石类型有蛇纹岩、变质辉石橄榄岩、斜长角闪岩、纹层状斜长角闪岩、斜长角闪片岩、绿片岩等,构造混杂于云母片岩、云母石英片岩等基质中;另外见有大理岩、英云闪长岩等以岩块的形式混杂其中,所有岩石都受到不同程度的改造,基质岩石表现为强烈片理化、糜棱岩化,各类岩片均以构造岩片、透镜体的形式出现。该蛇绿混杂岩东侧与泥盆系—石炭系南段组、二叠系拉巴组呈断层接触,西侧与泥盆系温泉组和石炭系—二叠系光色组呈断层接触;被上三叠统三岔河组磨拉石建造、中侏罗统花开左组陆相红层角度不整合覆盖(图 3c)。王冬兵等 (2016) 在牛井山地区首次识别出约 468 Ma 的 O 型高镁埃达克质英云闪长岩(表 1),认为其很可能是俯冲洋壳加上部分大洋沉积物部分熔融并与上覆地幔橄榄岩反应的产物,由此指示牛井山地区存在早古生代洋壳信息。另外,王冬兵等 (2017) 对牛井山蛇绿混杂岩带内的斜长角闪岩进行了系统的研究,发现斜长角闪岩原岩为 N-MORB 型辉长岩,形成时代约为 272 Ma,岩浆主要来源于一个长期亏损的地幔,地幔年龄为早古生代 416~499 Ma,显示蛇绿岩形成时代为晚古生代。结合该带存在早古生代洋壳残余及洋壳俯冲成因埃达克岩的事实,在牛井山地区表现的是一个连续演化的原—古特提斯洋,晚古生代 272 Ma 时还存在洋中脊扩张并产生具有 N-MORB 性质的洋壳。

2.4 曼信蛇绿混杂岩

曼信蛇绿混杂岩带出露于孟连县曼信一带,向北与牛井山、南汀河、铜厂街地区的蛇绿混杂岩相

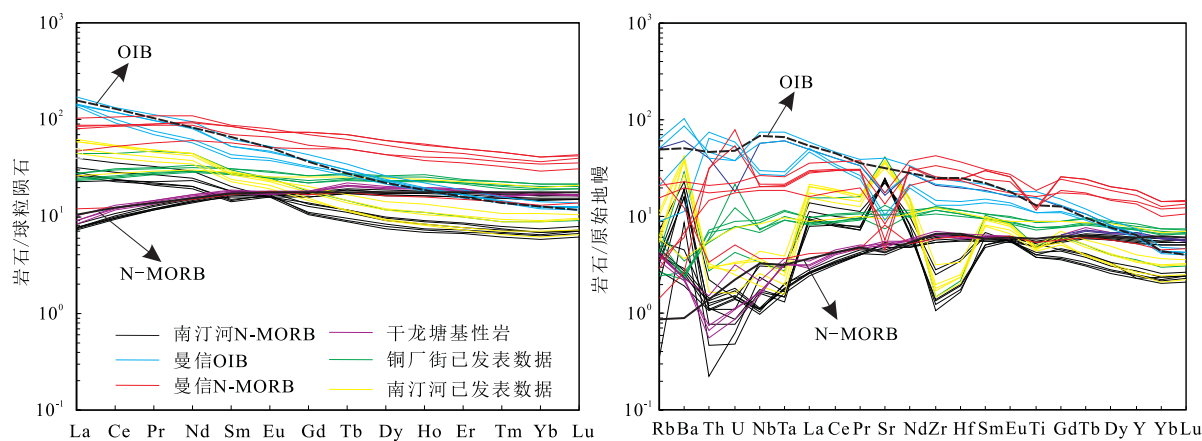


图 5 昌宁—孟连蛇绿混杂岩基性岩 REE 配分及微量元素蛛网图

Fig.5 Chondrite-normalized REE pattern and primitive mantle normalized trace element spider diagram of mafic rocks in the Changning-Menglian ophiolite mélange

数据来源同图 4

表 1 三江南段早古生代蛇绿混杂岩及岩浆岩年龄信息统计

Table 1 Statistical of age information of Early Paleozoic ophiolite and magmatic rocks in the southern part of Sanjiang River

构造单元	地点	样品编号	岩石名称	测试方法	年龄(Ma)	误差(Ma)	来源
昌宁—孟连 结合带	南汀河	11NTH-4	辉长岩	LA-ICPMS	439.0	2.4	Wang <i>et al.</i> (2013a, 2013b)
		11NTH-6	堆晶辉长岩	LA-ICPMS	443.6	4.0	
		12NTH-1	堆晶辉长岩	LA-ICPMS	439.0	5.8	Wang <i>et al.</i> (2013b)
		12NTH-5	堆晶辉长岩	LA-ICPMS	453.9	5.6	
	双江勐库	PM029-17-1	堆晶斜长岩	LA-ICPMS	470.8	5.3	刘桂春等(2017)
	牛井山	D0017-1	英云闪长岩	LA-ICPMS	468.0	2.0	王冬兵等(2016)
	老南掌	D0010-1-2	玄武岩	LA-ICPMS	449.0	8.4	孙载波等(2017)
	惠民	D008	玄武岩	LA-ICPMS	456.0	3.0	Nie <i>et al.</i> (2015)
		D009	安山岩	LA-ICPMS	456.0	7.0	
		D010	英安岩	LA-ICPMS	459.0	14.0	
			辉钼矿	WR Re-Os	442.4	5.6	李文昌等(2010)
			辉钼矿	WR Re-Os	428.8	6.1	
		DP-103	花岗闪长斑岩	LA-ICPMS	401.0	1.7	汝珊珊等(2012)
		Y-1	英安岩	LA-ICPMS	428.9	1.5	Lehmann <i>et al.</i> (2013)
	大中河	DZH01-1	凝灰岩	LA-ICPMS	418.0	5.1	毛晓长等(2012)
	大中河	DZH01-1	凝灰岩	LA-ICPMS	421.0		
	双江	GMTK-1	绿片岩	LA-ICPMS	451.7	2.1	云南省地质调查院(2017)
早古生代 岩浆岩	双江	XSBD-1-1	绿片岩	LA-ICPMS	453.5	0.9	
	栗义	11ML-57H	变火山岩	LA-ICPMS	462.0	6.0	Xing <i>et al.</i> (2017)

接,连续出露长度超过 100 km.经野外调查,曼信蛇绿混杂岩以发育枕状玄武岩为特征,另外见规模不等的变质橄榄岩、变质辉长岩岩块、辉绿岩岩块,相互之间皆为断层接触.曼信绿混杂岩东侧与泥盆系—石炭系南段组(DC_n)、二叠系拉巴组(Pl)均为断层接触,西侧与泥盆系温泉组(Dw)、石炭系平掌组(C₁p_z)呈断层接触.部分地段被上三叠统三岔河组(T₃sc)、中侏罗统花开左组(J₂h)不整合覆盖(图 3d).前人研究认为曼信、孟连等地洋脊玄武岩及准洋脊玄武岩中有多层成分与之相当,呈透镜状产出,具枕状构造的苦橄岩,它们是由扩张脊下岩浆房破裂而喷出海底的具有大量橄榄石堆积晶体的岩浆冷凝形成,也可以称为“夭折了的堆晶岩”,具有 OIB 与 N-MORB 型两种类型的基性岩(图 4,图 5).笔者在变质辉长岩中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄约为 420 Ma,此年龄与北侧南汀河蛇绿混杂岩中辉长岩年龄 444~439 Ma 基本相当,说明二者是同一洋盆的产物,指示昌宁—孟连特提斯洋在奥陶纪—志留纪时存在一个成熟洋盆.

2.5 昌宁—孟连蛇绿混杂岩的形成时代

前人根据沉积记录和岩浆活动认为昌宁—孟连结合带是一条古特提斯洋的残迹,但是关于其时代多是来源于化石证据,岩浆岩(特别是洋壳)年龄记录少

见.区域上昌宁—孟连结合带古特提斯最早的沉积记录为泥盆纪温泉组、南段组和曼信组,前两者以碎屑岩为主,分别代表西部和东部大陆斜坡相沉积,后者硅质岩—泥质岩—玄武岩组合代表次深海—深海盆地相沉积;而在该带早石炭世平掌组(C₁p)火山岩广泛出露,被认为是昌宁—孟连洋盆发育鼎盛时期的产物,上覆渔塘寨组(CPy)的碳酸盐岩沉积则代表了洋盆开始萎缩、水体逐渐变浅的过程;晚三叠世三岔河组(T₃sc)、中侏罗世花开左组(J₂h)角度不整合覆盖于蛇绿混杂岩之上,则代表了洋盆闭合后的陆相沉积.云南省地质调查院根据上述沉积—岩浆记录认为昌宁—孟连结合带是晚古生代(泥盆纪—三叠纪)特提斯洋盆消亡的残余记录,其打开时间不晚于早石炭世.后来众多的研究者在昌宁—孟连地区发现了早泥盆世至中三叠世放射虫硅质岩,以泥盆世早期的 *Monograptus uniformis* 带为代表(段向东等,2003),早石炭世放射虫组合主要有 *Archocyrtium mengli-anensis* Wu、*Ar.delicatum* Cheng、*Albaillella* sp.、*Entactinosphaera foremanae*、*Scharfenbergia turgiga* 等(冯庆来,1997),梅里雪山西坡发育早石炭世 *Palaeory phostylus uar spina* 放射虫分子;扎玉—碧土一带发育晚石炭世—二叠纪 *Albaillea* sp.、*Pseudea Ibailla* sp.(李文昌等,2010);另外硅质岩的沉积地球化学、稀

土和稳定同位素以及放射虫古生态学多学科综合研究,也显示了深海洋盆的沉积环境。干龙塘地区斜长角闪片岩锆石 U-Pb 年龄为 331 Ma、334 Ma 和 349 Ma(云南省地质调查院,2008.中华人民共和国 1:25 万凤庆县幅区域地质调查报告);Jian *et al.* (2009a,2009b)对昌宁—孟连带蛇绿岩进行了岩石地球化学和锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究认为,其形成时代为 270~264 Ma;1:25 万临沧幅在干龙塘剖面上斜长角闪岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 331~349 Ma;铜厂街蛇绿岩中辉长岩的角闪石 K-Ar 等时线年龄为 385 Ma(张旗等,1985;从柏林等,1993),1:25 万临沧县幅在双江县东约 12 km 的蒙化寨一带获得纹层状斜长角闪岩的 Pb 同位素模式年龄为 381 Ma(云南省地质调查院,2008.中华人民共和国 1:25 万凤庆县幅区域地质调查报告),王冬兵等(2017)在牛井山地区获得 N-MORB 型辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 272 Ma。以上所有证据均显示昌宁—孟连结合带存在晚古生代的洋盆信息。

近年来,研究者在南汀河地区发现 454~439 Ma 洋壳残余记录(Wang *et al.*,2013a,2013b),在牛井山地区识别出约 468 Ma 的 O 型高镁埃达克质英云闪长岩(王冬兵等,2016),双江县忙那河钠质堆晶斜长岩年龄为 471 Ma(刘桂春等,2017),曼信变质辉长岩中 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄约为 420 Ma(表 1)。李朋武等(2005)根据滇西藏东三江地区主要地块碰撞拼合的古地磁资料,认为昌宁—孟连结合带可能于晚奥陶世 Katian 期中期(约 450 Ma)扩张。由此表明三江地区的昌宁—孟连结合带除了晚古生代蛇绿岩外,同时存在早古生代的蛇绿岩,表明昌宁—孟连结合带至少存在早古生代和晚古生代时期蛇绿岩。奥陶纪—二叠纪不同时期的蛇绿混杂岩均以构造岩片产出,不同时期的蛇绿岩均经历了低绿片岩相—低角闪岩相的变质作用改造,原生矿物辉石大多已经转变为角闪石,斜长石黝帘石化;上述几种在不同构造环境下形成的岩石组合(图 4),集中分布在宽<10 km 的狭长带内,最可能的解释是由于古特提斯洋的闭合使它们残留下来并混杂在一条带上,南汀河、牛井山及曼信等早古生代堆晶岩、辉长岩及其晚古生代混杂岩是原—古特提斯洋的残块,应代表原—古特提斯洋消亡后残存的地质体。

从沉积学角度看,位于昌宁—孟连结合带以西的保山地块东部边缘的孟定街岩群(OSM.)中发育大量以砂泥质岩石夹硅质岩为主的斜坡相浊流沉积,并含中志留世的牙形石,原岩特征和沉积建造表

明其形成于被动大陆边缘沉积环境,表明了至少从奥陶纪开始,原—古特提斯大洋已经具有一定规模。泥盆系温泉组浊积岩的广泛分布表明泥盆纪地史时期的大陆斜坡已经具有相当规模,相应的洋盆也应该比较成熟;而下石炭统平掌组洋岛型火山岩广泛出露表明了昌宁—孟连洋盆发育的鼎盛时期可能为早石炭世;而昌宁—孟连结合带内部发育泥盆系曼信组和石炭系一二叠系光色组,两者均以玄武岩—硅质岩—泥质岩组合为特征,代表洋盆相沉积。铜厂街蛇绿混杂岩正是洋盆发展鼎盛时期、盆底完全洋壳化的岩石学记录。综上所述,昌宁—孟连蛇绿混杂岩的形成有一个漫长的地质过程,其原始岩浆从地幔中分离出来的时间主要集中在中奥陶世—早石炭世,沉积学上与古特提斯洋的快速拉张、成盆相呼应;铜厂街蛇绿混杂岩正是洋盆发展鼎盛时期的岩石学记录。综上所述,笔者认为昌宁—孟连结合带代表的是一个连续演化的原—古特提斯洋的残余,晚古生代古特提斯洋是原特提斯大洋的继承和发展,或可看作残余大洋,晚古生代—三叠纪的岛弧、弧后盆地、陆缘岩浆弧、弧间盆地等,标志着原特提斯大洋岩石圈在泥盆纪时已经开始转向萎缩。

3 昌宁—孟连特提斯洋早古生代岩浆弧

越来越多的地质学家认为“三江”造山带古特提斯演化阶段存在多个地块、岛弧与洋盆相间排列的构造格局,其中昌宁—孟连结合带代表了特提斯的主大洋或主支洋盆位置(莫宣学等,1993;刘本培,2002;潘桂棠等,2013;Wang *et al.*,2013a,2016)。但学者们对原—古特提斯洋在早古生代是否存在俯冲作用、与其相关的岛弧型火山岩是否发育等问题还存在争议。有研究者依据沿澜沧江带展布的澜沧岩群上部和吉塘一带的吉塘岩群的岛弧型火山岩,认为在元古代末至早古生代初原特提斯洋盆存在俯冲;同时依据景洪南光上泥盆统南光组陆相沉积的出现,认为其代表了原特提斯洋的闭合(李文昌等,2010);兰坪盆地西缘碧罗雪山花岗闪长岩单矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 418.0 ± 10.0 Ma(戴樟谟等,1986);云南惠民—曼来地区前泥盆纪变质火山岩的研究结果表明在原特提斯洋演化阶段存在有岛弧型的岩浆活动(周维全和林文信,1982;沈上越等,2008),原岩时代被推论为早古生代(王立全等,2013)或前泥盆纪原特提斯时期(沈上越等,2008)。

近年来,越来越多的证据和高质量的 LA-ICP-

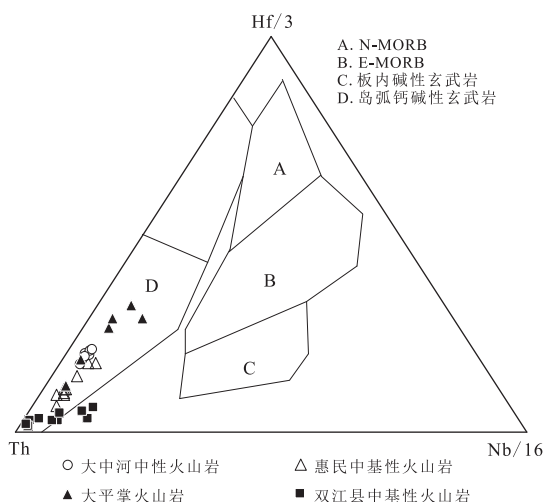


图 6 三江南段早古生代岩浆岩构造环境判别图解

Fig.6 Tectonic environments diagram of Early Paleozoic magmatic rocks in the southern part of Sanjiang River

大中河数据来自毛晓长等(2012);惠民数据来自 Nie *et al.*(2015);大平掌数据来自 Hehmann *et al.*(2013);双江数据来自云南省地质调查院,2017.中华人民共和国 1:5 万香竹林、勐勇、勐撒、懂过、耿马县、安雅、勐库 7 幅区域地质调查报告

MS 锆石 U-Pb 年代学结果也一致支持存在与原特提斯俯冲消减有关的早古生代弧岩浆作用记录(表 1,图 6).例如,牛井山高镁埃达克质英云闪长岩年龄为 468 ± 2 Ma(王冬兵等,2016),惠民地区 3 件变质火山岩年龄分别为 456 ± 3 Ma、 456 ± 7 Ma 和 459 ± 14 Ma(Nie *et al.*,2015),大中河地区中酸性火山岩年龄为 421.2 ± 1.2 Ma 和 417.6 ± 5.1 Ma(毛晓长等,2012),大平掌英安岩年龄为 428.9 ± 1.5 Ma(Lehmann *et al.*,2013),大平掌花岗闪长斑岩年龄

为 401.0 ± 1.7 Ma(汝珊珊等,2012),双江县惠民岩组中绿片岩年龄为 451.7 ± 2.1 Ma 和 453.5 ± 0.85 Ma(云南省地质调查院,2017.中华人民共和国 1:5 万香竹林、勐勇、勐撒、懂过、耿马县、安雅、勐库 7 幅区域地质调查报告),这些火山岩都具有弧火山岩的地球化学性质(图 6,图 7),其岩浆源区普遍被认为可能起源于一个交代的岩石圈地幔,很可能是昌宁—孟连原特提斯洋盆俯冲消减的产物.上述一系列资料证实昌宁—孟连洋在奥陶纪就已经发生了俯冲消减作用,从而在东侧导致了奥陶纪—志留纪火山活动的爆发,形成了早古生代岩浆弧.另外位于云县—景谷岩浆弧带的大平掌铜矿区,发育一套细碧岩、角斑岩—石英角斑岩和流纹岩组成的“双峰式”火山岩组合,辉钼矿 Re-Os 等时线年龄分别为 428.8 ± 6.1 Ma、 442.4 ± 5.6 Ma(李文昌等,2010),指示该时期的岩浆活动与成矿关系密切.

4 昌宁—孟连特提斯洋早古生代增生杂岩

近年来,有关“俯冲—增生造山作用”正成为造山带研究的前沿或热点.尤其是海山、岛弧、海底高原、外来地质体等的俯冲、增生作为造山带形成的重要机制,已深受地质学家们的关注和研究.

分布于昌宁—孟连结合带与碧罗雪山—临沧花岗岩带之间的澜沧岩群是云南省长期存在争议的一个地层单位,比如其地层时代、物质来源以及变质时

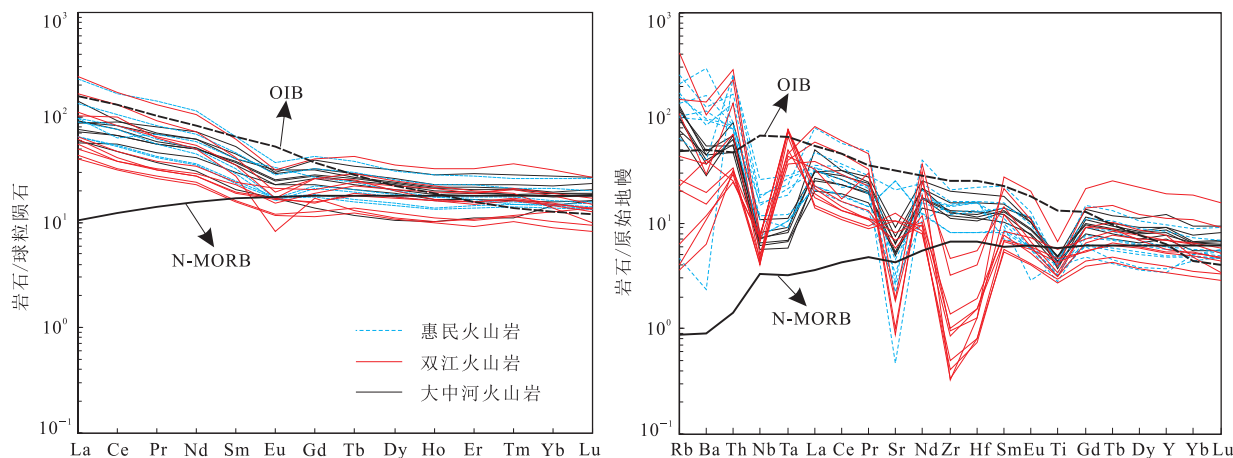


图 7 昌宁—孟连蛇绿混杂岩基性岩 REE 配分模式(a)和微量元素蛛网图(b)

Fig.7 The chondrite-normalized REE pattern (a) and PM-normalized trace element spider diagram (b) of Early Paleozoic magmatic rocks of the Changning-Menglian area

数据来源同图 6

代等尚存在争议。

澜沧岩群主要分布在滇西南地区,北起凤庆县,经云县、临沧、双江和澜沧县,南至西双版纳州,呈长条状分布。云南区测队1965年将澜沧岩群创名为澜沧县(100万区调),原始定义:绢—白云石英片岩、绢云微晶片岩、千枚岩及板岩等,有铁、磷、硅质岩的夹层,属寒武纪。云南省地质矿产局先于1990年将其划分为南木岭组、惠民组、西定组,认为其属中元古代;又于1996年将其划分为南木岭组、勐井山组、曼来组、惠民组和南坑河组,认为其属晚元古代。还有研究者根据澜沧岩群的物质组成、变质变形特征和岩石组合差异,对比划分出曼来岩组、惠民岩组2个岩组,两岩组间为脆韧性剪切带接触。

通过近年来的调查研究和资料积累,学者们对澜沧岩群有了新的认识,结合全区野外资料,澜沧岩群主体为一套夹有变质基性火山岩的浅变质岩系,其原岩为伴有火山活动产物的浅海环境陆缘沉积的长石英砂岩、粉砂质泥岩等,区域变质作用程度可达绿片岩相—高绿片岩相,局部可以达到低角闪岩相。澜沧岩群的物质组成可分为以下6类:(1)变砂泥质岩类,如云母石英片岩、二云母片岩等,原岩为砂泥质碎屑岩变质形成,在原澜沧岩群惠民组普遍发育。(2)变中酸性火山岩类,如绿泥钠长片岩、钠长白云母绿泥片岩、富斜长绿泥片岩类,原岩为中基性火山岩或凝灰岩,前者以平安剖面最发育,后者主要分布于南榔剖面附近。(3)变基性—中基性火山岩类,如绿泥石英片岩、绿片岩。(4)含低温高压变质矿物的特殊岩类,如含蓝闪石—青铝闪石云母石英片岩,原岩为基性火山岩,以栗义剖面上最为发育。(5)少量特殊岩类,如炭质石英片岩及结晶灰岩等,零星分布,仅在栗义剖面上部有少量分布。(6)变中酸性侵入岩(?),如糜棱岩化、眼球状、片麻状花岗岩,坡角及邦丙地区均有发育。

通常情况下沉积地层的最年轻碎屑锆石年龄可以代表沉积地层的最老年龄。笔者通过对云县幸福镇一带及南美镇一带的澜沧岩群2条剖面的精心测制,并采用碎屑锆石U-Pb年代学的方法对澜沧岩群的沉积下限进行限定,8件碎屑锆石U-Pb年龄主要分布在590~550 Ma, 980~910 Ma, 1152~1490 Ma,其中最年轻的碎屑锆石年龄峰值约为560 Ma;2件碎屑锆石U-Pb年龄主要分布在440~460 Ma和980~910 Ma,其中最年轻的碎屑锆石年龄峰值约为450 Ma,这与王舫等(2017)的研究结果相吻合。另外,有研究者对其中的中基性火山进行了

年代学及地球化学研究工作,例如Nie *et al.* (2015)对澜沧岩群惠民组3件变质火山岩中具有岩浆环带的锆石进行LA-ICP-MS年代学研究,获得其年龄为456~459 Ma;Xing *et al.* (2017)在栗义一带澜沧岩群中变质火山岩中获得锆石U-Pb年龄为454±27 Ma,在惠民地区变质火山岩中获得锆石U-Pb年龄为462±6 Ma。前人研究成果综合表明澜沧岩群形成时代可能为中奥陶世,亦即早古生代。

笔者根据最近的地质调查与研究认为澜沧岩群的岩石至少发生了3期以上的变形变质作用,主期变质为绿片岩相,区域面理为 S_{n+2} ,各岩性层之间均为构造面理接触。结合区域地质资料,笔者认为第一期变形主要发生在古特提斯洋俯冲消减期,以剪切塑性流变为主,形成了区域性的近南北向千枚理、片理、片麻理,塑造了昌宁—孟连结合带南段澜沧岩群的基本构造样式;野外露头表现为塑性流变特征,变形标志为密集或透入性分布的浅色石英脉条带,其为递进剪切流变后的产物。伴随第一期的塑性流变洋壳基本消失,第二阶段的变形主要发生在保山地块和思茅地块的碰撞期,以韧性剪切变形为主,变形环境由中—深构造层次转变到中—浅构造层次;野外见到大量的流变状石英脉,呈不对称旋转碎斑,发育 σ 型拖尾,或发育S型、M型、N型等剪切流变状石英脉,或S-C组构,均具有剪切走滑的特征;根据其拖尾方向或流变拖曳方向,可判断该期剪切大部分为近水平的左行剪切,局部可见右行剪切;镜下韧性剪切使早期形成的矿物强烈定向,如粒状矿物斜长石、石英的拉长定向,片柱状矿物集中于劈理域形成糜棱面理。此时由于韧性剪切作用形成的糜棱面理 S_{n+2} 基本全部置换先期区域性片理,或与其小角度斜交。在递进变形的作用下,保山地块和思茅地块继续挤压碰撞,澜沧岩群第三阶段的变形在第二阶段的基础上持续挤压剪切,发生逆冲冲断,造成软弱层的层间滑脱,伴随褶皱压缩率也随之增大,先期形成的糜棱面理也发生褶皱弯曲;澜沧岩群变质杂岩折返到浅构造层次,发生逆冲冲断,在软弱层发育层间滑脱,形成次级小型逆冲断裂,不同规模的尖棱—顶厚—同斜褶皱、S、M、Z、N型的流变小揉皱,石英脉呈S状、透镜状、无根状、倒勾状等。由此笔者认为澜沧岩群在原特提斯洋盆、古特提斯洋盆的俯冲消减及后续的碰撞造山过程中都遭受了不同程度的改造,目前看到的主期面理至少是 S_{n+2} 面理,层序也是多期构造改造后的结果,不能代表原始的层序,从大地构造的角度看,很可能主体是昌宁—孟连

特提斯洋东向俯冲消减形成的早古生代构造增生杂岩,基底岩系物质也同时被卷入进去,由于在弧—陆碰撞及陆内挤压阶段遭受到强烈的构造变形改造,基底岩系的具体位置及其与“围岩”界线已很难识别、恢复。

5 滇西地区榴辉岩带

造山带中的高压—超高压变质岩是古俯冲带及古板块结合带的重要标志,记录了地壳(洋壳或陆壳)物质俯冲、折返的构造演化过程,发现和研究高压—超高压变质岩成为甄别(超)高压变质作用和认识岩石圈深俯冲作用的关键环节(Zhang *et al.*, 2006).近两年来,云南省地质调查院、成都地质调查中心在滇西地区开展 1:5 万填图时发现多处榴辉岩出露地,为深入理解特提斯演化提供了关键性材料,并为进一步研究(超)高压变质岩和岩石圈深俯冲作用提供了重要线索。

退变质的榴辉岩主要出露于云南省双江勐库镇以北的控角、那卡河等地,最早由云南省地质调查院发现并报道(李静等,2017),经过近两年的工作,又在根恨河、双江大文、邦丙等地发现多处,总体上呈南北向的串珠状分布,总分布长度断续约为 40 km,以勐库根恨大寨根恨河沟中出露的构造透镜体规模最大(长>40 m,宽约 35 m)、岩石最为新鲜,最小的透镜体(长 50 cm、宽约 10 cm)位于勐库控角河内,岩石风化较强,直接围岩有卷入混杂岩带内的白云(钠长)石英(构造)片岩、斜长角闪片岩等。退变质榴辉岩与它们均呈断层或脆—韧性剪切带接触。滇西双江县勐库地区的退变质榴辉岩经历了多期退变质作用的改造,早期的平衡共生矿物组合难觅踪迹,峰期变质矿物主要以包裹体的形式分布于中—粗粒淡粉红色石榴石中,没有发现明显的平衡共生关系,一些矿物颗粒还有明显的退变质现象,主要有绿辉石、硬玉、多硅白云母、柯石英假象、硬柱石、镁铝石榴石等(徐桂香等,2016;李静等,2017);估算峰期变质温压条件为 $P=3.35\sim 4.46$ GPa, $T=530\sim 610$ °C,相当于硬柱石榴辉岩相;经历了 3 个阶段退变质过程,显示了持续的降温、降压过程(李静等,2017)。经原岩恢复,退变榴辉岩原岩主要有两种:一种是拉斑玄武岩,具有类似 E-MORB 的地球化学特征;一种是碱性玄武岩,具有 OIB 的地球化学特征(孙载波等,2017)。原岩的形成时代复杂,主要有 801 Ma(李静等,2017)、429~463 Ma 及 254 Ma,其中 801 Ma 岩

石具有板内碱性玄武岩的地球化学性质,而后两期具有 E-MORB 或 N-MORB 的地球化学性质。无论哪一期的岩石都具有一组非常相似的年龄(约 230 Ma),很可能代表的是峰期变质时代。鉴于退变榴辉岩原岩的复杂性,笔者认为它们不可能是单一的大洋岩石圈物质发生了深俯冲,而很可能是与原—古特提斯俯冲消减有关的增生杂岩带在约 230 Ma 发生深俯冲过程,大洋岩石圈物质、早期岛弧带甚至基底陆壳的物质全被卷入进去,由于弧—陆碰撞而迅速折返。

6 龙木错—双湖结合带与昌宁—孟连结合带的关系

昌宁—孟连结合带发育的奥陶纪蛇绿岩、志留纪弧型火山岩、泥盆纪牙形石、石炭纪—二叠纪洋岛—洋脊型玄武岩和辉长—辉绿岩、石炭纪—二叠纪和三叠纪放射虫硅质岩,以及三叠纪榴辉岩—蓝片岩中—高压变质岩系等,表明石炭纪—二叠纪之前就已经存在相当规模的洋盆,由此推论昌宁—孟连特提斯洋的形成时代可以追溯到中奥陶世至早志留世,并一直延续至晚二叠世,它们很可能代表了原—古特提斯洋的残迹。这也是西南三江地区多条结合带(甘孜—理塘、金沙江—哀牢山、南/北澜沧江、昌宁—孟连等)中,目前为止认知时代最早的原—古特提斯洋壳的残迹。

近年来,在青藏高原羌塘中部的龙木错—双湖结合带,也获得了较多关于早古生代洋盆扩张的证据。龙木错—双湖结合带主要出露于羌塘中部冈玛错—玛依岗日一带,主要由古生界—三叠系浅变质岩和强构造置换的中—高压变质岩系组成,其中分布较多的超基性岩、堆晶杂岩、枕状玄武岩、放射虫硅质岩、大理岩等大小不等的岩块(片)和辉长辉绿岩脉(岩墙),表现为较典型的蛇绿构造混杂岩特征(李才等,2008;翟庆国等,2010;Zhai *et al.*, 2011)。已有的研究结果显示羌塘地区存在晚古生代洋壳残余的信息,如在羌塘中部冈玛错、角木日地区识别出石炭纪—二叠纪洋脊型/准洋脊型蛇绿岩、三叠纪放射虫硅质岩,同时在双湖以东才多茶卡地区识别出晚泥盆世法门期和二叠纪放射虫硅质岩(朱同兴等,2006;Zhai *et al.*, 2013)。随着 1:25 万、1:5 万区域地质调查和相关研究工作的开展,学者们在该带内果干加年山及桃形湖地区陆续发现完整的蛇绿岩层

序,并获得了早古生代洋盆扩张信息(432~467 Ma;SHRIMP法)的证据(李才等,2008;王立全等,2008;Zhai *et al.*,2010;翟庆国等,2010);最近在该带驼背岭一带又获得了505~492 Ma 洋壳就已经开启的证据(Hu *et al.*,2014),表明龙木错—双湖结合带所代表的特提斯洋很可能可以追溯到中—晚寒武世,这也是青藏高原腹地识别出的早古生代构造带.上述研究成果表明龙木错—双湖特提斯洋很可能在寒武纪—三叠纪一直存在.

由此可见,昌宁—孟连结合带蛇绿岩年龄与羌塘中部的龙木错—双湖结合带中古生代的形成时代接近,构造环境也非常相似.因此,如果从形成时代和构造环境角度来考虑,可将藏北羌塘地区的龙木错—双湖结合带与三江地区昌宁—孟连结合带联系起来,因此二者很可能是相连的,在早古生代时期它们很可能属于同一个构造系统,二者可能代表了一个统一的古生代特提斯洋的残余,即龙木错—双湖—昌宁—孟连特提斯洋,并且其至少从寒武纪一直延续到二叠纪.

7 昌宁—孟连原—古特提斯构造演化

青藏高原大地构造格局以康西瓦—南昆仑—玛多—玛沁对接带和班公湖—双湖—怒江—昌宁对接带为界,自北向南划分为三大造山系:秦—祁—昆造山系、羌塘—三江造山系和喜马拉雅—冈底斯造山系.班公湖—双湖—怒江—昌宁结合带为特提斯大洋盆地最终闭合消亡的场所,实际上表现为冈瓦纳与泛华夏大陆的对接带(潘桂棠等,2012,2013).昌宁—孟连结合带内原特提斯与古特提斯洋壳残余共存、早古生代弧岩浆作用的厘定及滇西地区榴辉岩带的发现,表明昌宁—孟连结合带所代表的特提斯洋在早古生代至晚古生代可能是一个连续演化的大洋.结合区域地质资料,笔者对原—古特提斯的构造演化进行探讨.

7.1 早古生代龙木错—双湖—昌宁—孟连原特提斯大洋扩张

在全球构造的框架下,10~13 亿年左右的格林威尔造山运动形成罗迪尼亚(Rodinia)超级大陆.在三江造山带及其东西两侧的泛华夏大陆(扬子陆块)和冈瓦纳大陆(印度陆块区的保山地块),主要表现为10 亿年左右汇聚造山形成的“变质基底”,其上的新元古代青白口纪表现为含大量藻叠层石和微古植物化石的碎屑岩—碳酸盐岩建造.新元古代南华纪

裂谷事件(810~830 Ma;Li *et al.*,2008)火山岩以及冰碛岩的不整合覆盖,标志着罗迪尼亚超大陆(Rodinia)的解体,意味着原特提斯洋的初始扩张(潘桂棠等,2012,2013),分隔着泛华夏大陆(扬子陆块)和冈瓦纳大陆(印度陆块区的保山地块)(图8a).

近年来的地质调查与研究进展揭示,龙木错—双湖、班公湖—怒江和昌宁—孟连结合带共同构成了原—古特提斯大洋最终消亡后的残迹,其中龙木错—双湖结合带果干加年山、冈玛错地区堆晶辉长岩的SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为432~467 Ma(李才等,2008;王立全等,2008;翟庆国等,2010),昌宁—孟连结合带南汀河地区堆晶辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为439~454 Ma(Wang *et al.*,2013a,2013b),牛井山 O 型埃达克岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为468 Ma(王冬兵等,2016);龙木错—双湖—昌宁—孟连结合带其蛇绿岩组合的堆晶岩端元同位素年代学可以追溯到早古生代,表明龙木错—双湖—昌宁—孟连洋盆在早古生代时期已经出现了真正的洋壳.一些规模不等的地块,如中咱地块、保山地块、腾冲地块、兰坪—思茅地块等则散布在这片广大的特提斯海域中,形成类似现今西太平洋的多岛弧盆构造—古地理格局.结合众多的泥盆纪、石炭纪和早二叠世放射虫硅质岩的研究,笔者认为昌宁—孟连洋盆很可能从早古生代一直发育到晚古生代末期.

计文化等(2009)最早在拉萨地体中部的申扎东侧发现了约501 Ma 寒武纪变质火山岩,这些火山岩被奥陶纪底砾岩角度不整合覆盖(李才等,2010).大致在同一位置,Gehrels *et al.*(2011)发现了寒武纪斑状细粒花岗岩,其锆石 U-Pb 年龄为 510.4 ± 6.5 Ma. Zhu *et al.*(2012)在申扎控错地区发现略早于寒武纪—奥陶纪角度不整合的寒武纪末期变质酸性火山岩(锆石 U-Pb 年龄为493~491 Ma)和变玄武岩(约492 Ma),以及部分研究者在保山地块、腾冲地块和贡山地区,发现较多的480~486 Ma 的过铝质花岗岩体(丛峰等,2009;董美玲等,2012),其时代与拉萨地块寒武纪末期的变质酸性火山岩具有可比性.这一系列的寒武纪“双峰式”火山岩及其晚寒武世—早奥陶世过铝质花岗岩浆事件,可以被看作位于特提斯大洋南侧,受控于原特提斯大洋扩展过程中的南部大陆(即冈瓦纳大陆)北缘的被动边缘裂解事件.

7.2 早古生代中晚期—晚古生代特提斯俯冲消减与岛弧带形成

早古生代晚期是青藏高原特提斯演化过程中的重要转换时期,高原北部早古生代秦—祁—昆多岛

的大陆斜坡沉积环境的典型浊流沉积,表明奥陶纪—志留纪时期保山地块东缘已经存在被动大陆边缘的地质记录。同时以大中河地区晚志留世岛弧型中基性—中酸性火山岩系(421~419 Ma)为标志(毛晓长等,2012),代表了早古生代晚期原特提斯大洋东向俯冲消减作用形成的大陆边缘岩浆弧(图8c);三江北段下古生界西西群具岛弧性质的中基性—中酸性火山岩、中段碧罗雪山花岗闪长岩(418.0 ± 10.0 Ma;戴樟谟等,1986)和南段临沧—勐海岩浆弧带早古生代澜沧岩群上部岛弧型中基性火山岩(周维全和林文信,1982;翟明国等,1990;沈上越等,2008)等,都可能是俯冲过程中岛弧岩浆活动的产物;而产于澜沧岩群上部含有蓝闪石、冻蓝闪石、青铝闪石、3T型多硅白云母和黑硬绿泥石,以及硬玉、硬玉质辉石等标型矿物的高压绿片岩(彭兴阶和罗万林,1982),其绿泥石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 410.0 ± 15.0 Ma、青铝闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 409.8 ± 23.6 Ma(从柏林等,1993),则更可能是火山岩浆弧近海沟一侧俯冲增生过程的高压变质作用产物。而哀牢山断裂以东的扬子陆块区,则明显不同于火山岩浆弧及其弧后盆地的活动型火山—沉积建造,表现为稳定陆表海盆地中普遍发育的一套滨浅海相碎屑岩夹灰岩组合。由此可见早古生代晚期东向俯冲制约了志留纪“三江”弧盆系构造格局,开启了晚古生代“三江”多岛弧盆系形成演化的序幕,而且控制了弧前增生楔盆地(如惠民大型铁矿)、弧后边缘裂谷盆地(如大平掌大型铜矿)中火山喷流—沉积型矿床形成的成矿地质背景。

7.2.3 泥盆纪古特提斯洋盆扩张与俯冲消减并存发展 位于保山地块东缘的泥盆纪温泉组仍表现为典型的浊流沉积,含有3个笔石带(*M. uniformis*带、*M. hercynicus*带和*M. falcarius*带),还夹有少量等深流沉积,表现出大陆隆海底扇的沉积特征,表明泥盆纪时期保山地块东缘仍存在被动大陆边缘的沉积体系,其与寒武纪—奥陶纪孟定街岩群沉积相的相似性及沉积环境的继承性,说明前者是在后者的基础上发展起来的。从中泥盆世开始,海侵进一步扩大,水体加深,同时存在大陆斜坡相的沉积岩和海盆相的硅质岩。温泉组中见具鲍马序列的沉积岩与水道沉积形成的具透镜状层理的岩屑杂砂岩和砾质泥岩交替出现,表明海底扇向海盆方向的推进持续不断,其末端延伸至海盆的边缘,与硅质岩呈指状交互,形成不同岩石相的相变交接。另外曼信组中深海硅质岩夹海底扇沉积岩的现象,实际上也反映出大

陆隆向深海盆地过渡地带的沉积特征;总体在泥盆纪时已经出现大陆斜坡→大陆隆→深海盆地的构造—古地理格架。临沧复式花岗岩体中系列泥盆纪(390 Ma)捕获或继承性锆石 U-Pb 年龄(Peng *et al.*, 2008;孔会磊等,2012),则可能是前锋弧发育的岩浆源区信息的反映,景洪南光 382~366 Ma 的火山活动也应该是此次弧火山作用的记录(Nie *et al.*, 2016)。

而此时盆地内部由于俯冲作用导致弧后盆地扩张,位于扬子陆块西缘的三江造山带地区在早期弧后裂陷—裂谷盆地的基础上进一步扩张、裂离,形成了东西两侧边缘裂陷—裂谷盆地、中部隆起台地的“堑、垒”构造古地理格局,主体于中—晚泥盆世形成三江多岛弧盆系构造格局(图8d),而且控制了洋内弧型(如铜厂街中型铜矿)中火山喷流—沉积型矿床形成的成矿地质背景。区域泥盆系与下伏地层的不整合并不是造山不整合,而是表现为邻近前锋弧一侧的增生沉积不整合,远离前锋弧的弧后盆地及其边缘的伸展沉积不整合。

7.2.4 石炭纪—晚二叠世古特提斯洋盆扩张与俯冲消减持续进行 在盆地内广泛分布的早石炭世平掌组($C_1 p_z$),主要为一套中基性熔岩—火山碎屑岩—碳酸盐岩—碎屑岩组合,反映了含火山建隆的大陆斜坡—深海盆地边缘的沉积环境,表明昌宁—孟连洋盆的扩张在早石炭世可能达到高峰,其火山岩明显具有岛弧火山岩的地球化学性质,很可能代表了昌宁—孟连洋壳发生(洋内)俯冲消减事件的记录。

晚石炭世—早二叠世,昌宁—孟连洋盆的洋底扩张仍在继续,沉积了以鲕粒—生物碎屑灰岩为主的石炭系—二叠系渔塘寨组(CP_y)、以洋盆深水硅质岩、硅质泥岩、放射虫硅质岩、大洋玄武岩为主的石炭系—二叠系光色组(CP_g),总体构成了洋盆—洋岛—海山古地理格局。而在其东侧的临沧—勐海地块,由于昌宁—孟连洋壳的东向俯冲消减,在临沧一带出现岩浆活动,主要岩石类型为闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩组合,锆石 U-Pb 年龄主要集中在 269~290 Ma, 334 Ma 以及 303~348 Ma 的捕获或继承性锆石 U-Pb 年龄(Peng *et al.*, 2008;孔会磊等,2012),显示了汇聚型大陆边缘岩浆弧花岗岩的特点(图8e, 8f)。

7.3 晚二叠世末—早三叠世主碰撞汇聚

晚二叠世末期—早三叠世,由于昌宁—孟连洋壳的大规模俯冲消减,洋盆消亡转化为残留海盆地,弧—陆碰撞、汇聚对接。在其西侧保山地块东缘,晚

二叠世末期主要为台地碳酸盐岩沉积;早三叠世时期,在靠近昌宁—孟连残留海盆地的区域,发育具浊流沉积特点的半深水沉积。

研究者在昌宁—孟连结合带东侧的临沧—勐海变质增生地块的黑云二长花岗岩中,获得系列锆石 U-Pb 年龄(239~254 Ma;Hennig *et al.*,2009)和捕获锆石 U-Pb 年龄(241~248 Ma;彭头平等,2006),Rb-Sr 全岩等时线和单矿物 K-Ar 年龄峰值大于 245~251 Ma;可识别的二叠纪片麻状黑云花岗闪长岩、少量英云闪长岩和石英闪长岩,侵位于变质岩系中或呈残留体分布于三叠纪二长花岗岩体中的花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 269 Ma(俞赛赢等,2003),可能是昌宁—孟连洋壳消亡向弧—陆碰撞、汇聚对接作用的产物(图 8j)。

7.4 晚三叠世晚碰撞造山与盆山转换

晚三叠世,由于强烈的弧—陆碰撞与对接,昌宁—孟连残留海盆地消亡转化为磨拉石盆地沉积,并在昌宁—孟连结合带两侧发育大规模的岩浆活动(图 8h),滇西双江地区的榴辉岩可能是三叠纪古特提斯洋闭合、大洋岩石圈及俯冲增生杂岩俯冲消减的产物,由于洋盆闭合后弧—陆碰撞而迅速折返,在结合带东侧临沧—勐海岩浆弧带,最为确定的是晚三叠世大规模花岗岩侵入(亦被称为三叠纪岩浆弧),岩石类型为(似斑状)黑云二长花岗岩,构筑了岩基的绝对主体,大量的锆石 U-Pb 年龄集中于 210~230 Ma(彭头平等,2006;范蔚茗等,2009;孔会磊等,2012)。在保山—镇康地块东缘,同样受控于强烈晚碰撞造山作用,分布有一条南北断续延伸达数百公里的晚三叠世岩浆岩带,主要为二长花岗岩—花岗闪长岩类,一系列岩石 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 224~228 Ma(王立全等,2013),总体上与晚三叠世碰撞期临沧花岗岩基的形成年龄一致,代表了昌宁—孟连洋盆闭合后弧—陆或陆—陆强烈碰撞造山的产物,至此以后转入后碰撞陆内造山过程。

8 结论

(1)三江造山系是一个复杂的多岛弧盆系,主要构造单元由甘孜—理塘结合带、德庆—乡城岩浆弧、中咱—中甸地块、金沙江—哀牢山结合带、江达—德钦—维西陆缘弧、昌都—思茅地块、开心岭—竹卡—景谷岩浆弧、澜沧江构造带(结合带)、左贡—临沧—勐海岩浆弧及昌宁—孟连结合带等构成,整体受控于昌宁—孟连原特提斯洋东向俯冲消减的制约。

(2)昌宁—孟连结合带内共存早古生代与晚古生代蛇绿混杂岩,代表的是原—古特提斯洋消亡后的残迹;前人所划基底岩系“澜沧岩群”很可能是原特提斯洋东向俯冲消减形成的早古生代构造增生杂岩;临沧—勐海晚奥陶世—志留纪岩浆弧应是原特提斯大洋东向俯冲消减的产物;而双江地区的高压—超高压变质带则很可能是大洋岩石圈及俯冲增生杂岩深俯冲的产物,由于古特提斯洋闭合后弧—陆碰撞而迅速折返;综上笔者认为昌宁—孟连结合带原特提斯与古特提斯是连续演化的过程,龙木错—双湖—昌宁—孟连特提斯洋代表了一个统一的上古生代特提斯洋的残余。

(3)昌宁—孟连原—古特提斯经历了早古生代原特提斯大洋扩张、早古生代中晚期—晚古生代特提斯洋俯冲消减、晚二叠世末—早三叠世主碰撞汇聚、晚三叠世晚碰撞造山等阶段的演化过程。

致谢:本文撰写和修改过程中,潘桂棠研究员和李文昌教授级高工提出了宝贵意见,笔者与他们进行了多次有益的讨论;3 位审稿专家及编辑部提出了许多建设性的意见和建议,在此一并致谢。

References

- Chen, F. K., Li, X. H., Wang, X. L., et al., 2007. Zircon Age and Nd-Hf Isotopic Composition of the Yunnan Tethyan Belt, Southwestern China. *International Journal of Earth Sciences*, 96(6): 1179–1194. <https://doi.org/10.1007/s00531-006-0146-y>
- Chen, L., Wang, L. Q., Wang, D. B., et al., 2015. Genesis of Tongchanjie Deposit in Changning-Menglian Suture Zone, Western Yunnan. *Mineral Deposits*, 34(3): 617–631 (in Chinese with English abstract).
- Cong, B. L., Wu, G. Y., Zhang, Q., et al., 1993. The Tectonic Evolution of the Rock in the Ancient Tethys, Western Yunnan. *Science in China (Series B)*, 23(11): 1201–1207 (in Chinese).
- Cong, F., Lin S. L., Li, Z. H., et al., 2009. Zircon U-Pb Age of Gneissic Granites in the Tengchong Block, Western Yunnan. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 651–658 (in Chinese with English abstract).
- Dai, T. M., Zhu, B. Q., Zhang, Y. Q., et al., 1986. Collision and Thermal History of Indian-Sandaland-Eurasian Plates as Implicated by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Age Spectra of Granodiorites. *Geochimica*, 15(2): 97–107 (in Chinese with English abstract).
- Deng, J., Wang, Q. F., Li, G. J., et al., 2014. Cenozoic Tectono-Magmatic and Metallogenic Processes in the Sanjiang

- Region, Southwestern China. *Earth-Science Reviews*, 138: 268 — 299. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.05.015>
- Deng, J., Wang, Q. F., Li, G. J., 2016. Superimposed Orogeny and Composite Metallogenic System: Case Study from the Sangjiang Tethyan Belt, SW China. *Acta Petrologica Sinica*, 32(8): 2225—2247 (in Chinese with English abstract).
- Dong, M. L., Dong, G. C., Mo, X. X., et al., 2012. Geochronology and Geochemistry of the Early Palaeozoic Granitoids in Baoshan Block, Western Yunnan and Their Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1453—1464 (in Chinese with English abstract).
- Duan, X. D., Zhang, Z. B., Wang, W., et al., 2003. New Discovery of Devonian Conodonts in the Dalongtang Area, Gengma, Southwestern Yunnan, and Their Stratigraphic Significance. *Geological Bulletin of China*, 22(3): 182—185 (in Chinese with English abstract).
- Fan, W. M., Wang, Y. J., Zhang, A. M., et al., 2010. Permian Arc-Back-Arc Basin Development along the Ailaoshan Tectonic Zone: Geochemical, Isotopic and Geochronological Evidence from the Mojiang Volcanic Rocks, Southwest China. *Lithos*, 119(3—4): 553—568. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.08.010>
- Fan, W. M., Wang, Y. J., Zhang, Y. H., et al., 2015. Paleotethyan Subduction Process Revealed from Triassic Blueschists in the Lancang Tectonic Belt of Southwest China. *Tectonophysics*, 662: 95 — 108. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.10.007>
- Fan, W. M., Peng, T. P., Wang, Y. J., 2009. Triassic Magmatism in the Southern Lancangjiang Zone, Southwestern China and Its Constraints on the Tectonic Evolution of Paleo-Tethys. *Earth Science Frontiers*, 16(6): 291—302 (in Chinese with English abstract).
- Fang, N. Q., Liu, B. P., Feng, Q. L., et al., 1994. Late Palaeozoic and Triassic Deep-Water Deposits and Tectonic Evolution of the Palaeotethys in the Changning-Menglian and Lancangjiang Belts, Southwestern Yunnan. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9(4): 363—374. [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(94\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0743-9547(94)90048-5)
- Feng, Q. L., Ye, M., Zhang, Z. J., 1997. Early Carboniferous Radiolarians from Western Yunnan. *Acta Micropaleontologica Sinica*, 14(1): 79—92 (in Chinese with English abstract).
- Gehrels, G. E., Kapp, P., DeCelles, P. G., et al., 2011. Detrital Zircon Geochronology of Pre-Tertiary Strata in the Tibetan-Himalayan Orogen. *Tectonics*, 30(5): TC5016. <https://doi.org/10.1029/2011tc002868>
- Hennig, D., Lehmann, B., Frei, D., et al., 2009. 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. *Lithos*, 113(3—4): 408—422. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.031>
- Hu, P. Y., Li, C., Wu, Y. W., et al., 2014. Opening of the Longmu Co-Shuanghu-Lancangjiang Ocean: Constraints from Plagiogranites. *Chinese Science Bulletin*, 59(25): 3188—3199. <https://doi.org/10.1007/s11434-014-0434-z>
- Huang, J. Q., Chen, G. M., Chen, B. W., 1987. The Evolution of the Tethys Sea in China and Its Neighbourhood. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Huang, X. X., Xu, J. F., Chen, J. L., et al., 2012. Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of Two Periods of Intermediate-Acid Intrusive Rocks from Hongshan Area in Zhongdian Arc. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1493—1506 (in Chinese with English abstract).
- Ji, W. H., Chen, S. J., Zhao, Z. M., et al., 2009. Discovery of the Cambrian Volcanic Rocks in the Xainza Area Gangdese Orogenic Belt, Tibet, China and Its Significance. *Geological Bulletin of China*, 28(9): 1350—1354 (in Chinese with English abstract).
- Jian, P., Wang, X. F., He, L. Q., et al., 1999. U-Pb Zircon Dating of Anorthosite and Plagiogranite from the Jinshajiang Ophiolite Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 15(4): 590—593 (in Chinese with English abstract).
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 2009a. 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. *Lithos*, 113(3—4): 767—784. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.006>
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 2009b. Devonian to Permian Plate Tectonic Cycle of the Paleo-Tethys Orogen in Southwest China (I): Geochemistry of Ophiolites, Arc/Back-Arc Assemblages and Within-Plate Igneous Rocks. *Lithos*, 113(3—4): 748—766. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.004>
- Jian, P., Liu, D. Y., Sun, X. M., 2008. SHRIMP Dating of the Permo-Carboniferous Jinshajiang Ophiolite, Southwest China: Geochronological Constraints for the Evolution of Paleo-Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(5—6): 371—384. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2007.11.006>
- Kong, H. L., Dong, G. C., Mo, X. X., et al., 2012. Petrogenesis of Lincang Granites in Sanjiang Area of Western Yunnan Province: Constraints from Geochemistry, Zir-

- con U-Pb Geochronology and Hf Isotope, *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1438—1452 (in Chinese with English abstract).
- Lai, S.C., Qin, J.F., Li, X.J., et al., 2010. Geochemistry of the OIB-Type Basalt from the Wumulong-Tongchangjie Area, Changning-Menglian Suture Zone: Its Petrogenesis and Tectonic Implications, *Earth Science Frontiers*, 17(3): 44—52 (in Chinese with English abstract).
- Lehmann, B., Zhao, X. F., Zhou, M. F., et al., 2013. Mid-Silurian Back-Arc Spreading at the Northeastern Margin of Gondwana: The Dapingzhang Dacite-Hosted Massive Sulfide Deposit, Lancangjiang Zone, Southwestern Yunnan, China, *Gondwana Research*, 24(2): 648—663. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.12.018>
- Li, C., Dong, Y.S., Zhai, Q.G., et al., 2008. Discovery of Eopaleozoic Ophiolite in the Qiangtang of Tibet Plateau: Evidence from SHRIMP U-Pb Dating and Its Tectonic Implications, *Acta Petrologica Sinica*, 24(1): 31—36 (in Chinese with English abstract).
- Li, C., Wu, Y.W., Wang, M., et al., 2010. Significant Progress on Pan-African and Early Paleozoic Orogenic Events in Qinghai-Tibet Plateau-Discovery of Pan-African Orogenic Unconformity and Cambrian System in the Gangdise Area, Tibet, China, *Geological Bulletin of China*, 29(12): 1733—1736 (in Chinese with English abstract).
- Li, G. J., Wang, Q. F., Yu, L., et al., 2013. Closure Time of Ailaoshan Paleo-Tethys Ocean: Constraints from the Zircon U-Pb Dating and Geochemistry of the Late Permian Granitoids, *Acta Petrologica Sinica*, 29(11): 3883—3900 (in Chinese with English abstract).
- Li, J., Sun, Z.B., Huang, L., et al., 2017. *P-T-t* Path and Geological Significance of Retrograded Eclogites from Mengku Area in Western Yunnan Province, China, *Acta Petrologica Sinica*, 33(7): 2285—2301 (in Chinese with English abstract).
- Li, P.W., Gao, R., Cui, J.W., et al., 2005. Paleomagnetic Results from the Three Rivers Region, SW China: Implications for the Collisional and Accretionary History, *Acta Geoscientica Sinica*, 26(5): 387—404 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. Z., Zhao, S. J., Li, X. Y., 2016. Proto-Tethys Ocean in East Asia(I): Northern and Southern Border Faults and Subduction Polarity, *Acta Petrologica Sinica*, 32(9): 2609—2627 (in Chinese with English abstract).
- Li, W. C., Pan, G. T., Hou, Z. Q., et al., 2010. The Multi-Island Arc Basin-Collisional Orogenic Metallogenic Theory and Exploration Technology of “Three Rivers” in Southwest China, Science Publication, Beijing (in Chinese).
- Li, X. H., Li, W. X., Li, Z. X., et al., 2008. 850-790 Ma Bimodal Volcanic and Intrusive Rocks in Northern Zhejiang, South China: A Major Episode of Continental Rift Magmatism during the Breakup of Rodinia, *Lithos*, 102(1—2): 341—357. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.04.007>
- Liu, B.P., Feng, Q. L., Chonglakmani, C., et al., 2002. Framework of Paleotethyan Archipelago Ocean of Western Yunnan and Its Elongation towards North and South, *Earth Science Frontiers*, 9(3): 161—171 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G.C., Sun, Z.B., Zeng, W.T., et al., 2017. The Age of Wanhe Ophiolitic Mélange from Mengku Area, Shuangjiang County, Western Yunnan Province, and Its Geological Significance, *Acta Petrologica et Mineralogica*, 36(2): 163—174 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J.P., Tian, S.M., Cong, F., et al., 2017. The Shale Granites from the Southern Part of the Lancangjiang Tectonic Belt, Western Yunnan: Zircon U-Pb Age, Geochemistry and Geological Implications, *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 37(4): 29—40 (in Chinese with English abstract).
- Mao, X.C., Wang, L.Q., Li, B., et al., 2012. Discovery of the Late Silurian Volcanic Rocks in the Dazhonghe Area Yunxian-Jinghong Volcanic Arc Belt, Western Yunnan, China and Its Geological Significance, *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1517—1528 (in Chinese with English abstract).
- Metcalf, I., 2013. Gondwana Dispersion and Asian Accretion: Tectonic and Palaeogeographic Evolution of Eastern Tethys, *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2012.12.020>
- Mo, X.X., Lu, F.X., Shen, S.Y., et al., 1993. Tethys Volcanism and Mineralization in the Sanjiang Area, Geology Publication, Beijing: 65—77 (in Chinese).
- Nie, X.M., Feng, Q. L., Metcalfe, I., et al., 2016. Discovery of a Late Devonian Magmatic Arc in the Southern Lancangjiang Zone, Western Yunnan: Geochemical and Zircon U-Pb Geochronological Constraints on the Evolution of Tethyan Ocean Basins in SW China, *Journal of Asian Earth Sciences*, 118: 32-50. <https://doi.org/10.13039/501100001809>
- Nie, X. M., Feng, Q. L., Qian, X., et al., 2015. 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, *Gondwana Research*, 28(2): 757-768. <https://doi.org/10.13039/501100001809>
- Pan, G.T., Wang, L.Q., Li, R.S., et al., 2012. Tectonic Evolu-

- tion of the Qinghai-Tibet Plateau, *Journal of Asian Earth Sciences*, 53: 3—14. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2011.12.018>
- Pan, G. T., Wang, L. Q., Li, R. S., et al., 2012. Tectonic Model of Archipelagic Arc-Basin Systems: The Key to the Continental Geology. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 32(3): 1—20 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G. T., Wang, L. Q., Zhang, W. P., et al., 2013. Geotectonic Maps and Instructions for the Qinghai-Tibet Plateau and Adjacent Areas (1:1 500 000). Geology Publication, Beijing (in Chinese).
- Peng, T. P., Wang, Y. J., Fan, W. M., et al., 2006. Zircon SHRIMP Dating of Early Mesozoic Felsic Volcanic Rocks from the Southern Lancangjiang Zone and Tectonic Implications. *Science in China (Series D)*, 36(2): 123—132 (in Chinese).
- Peng, T. P., Wang, Y. J., Zhao, G. C., et al., 2008. Arc-Like Volcanic Rocks from the Southern Lancangjiang Zone, SW China: Geochronological and Geochemical Constraints on Their Petrogenesis and Tectonic Implications. *Lithos*, 102(1—2): 358—373. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.08.012>
- Peng, T. P., Wilde, S. A., Wang, Y. J., et al., 2013. Mid-Triassic Felsic Igneous Rocks from the Southern Lancangjiang Zone, SW China: Petrogenesis and Implications for the Evolution of Paleo-Tethys. *Lithos*, 168—169: 15—32. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.015>
- Peng, T. P., Zhao, G. C., Fan, W. M., et al., 2014. Zircon Geochronology and Hf Isotopes of Mesozoic Intrusive Rocks from the Yidun Terrane, Eastern Tibetan Plateau: Petrogenesis and Their Bearings with Cu Mineralization. *Journal of Asian Earth Sciences*, 80: 18—33. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2013.10.028>
- Peng, T. P., Zhao, G. C., Fan, W. M., et al., 2015. Late Triassic Granitic Magmatism in the Eastern Qiangtang, Eastern Tibetan Plateau: Geochronology, Petrogenesis and Implications for the Tectonic Evolution of the Paleo-Tethys. *Gondwana Research*, 27(4): 1494—1508. <https://doi.org/10.13039/501100001809>
- Peng, X. J., Luo, W. L., 1982. Discovery of the Blue-Schist Belt in the Southern Section of Lancang River in Western Yunnan and Its Tectonic Significance. *Regional Geology of China*, 70(2): 69—75 (in Chinese).
- Ren, F., Pan, G. T., Yin, F. G., 2017. Oceanic Plate Stratigraphy and Tectonic Evolution of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area in Southwest China. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 37(4): 9—16 (in Chinese with English abstract).
- Ren, J. B., Xu, J. F., Chen, J. L., 2011. Zircon Geochronology and Geological Implications of Ore-Bearing Porphyries from Zhongdian Arc. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9): 2591—2599 (in Chinese with English abstract).
- Ru, S. S., Li, F., Wu, J., et al., 2012. Geochemistry and Chronology of Granodiorite Porphyry in the Dapingzhang Cu Polymetallic Deposit. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(4): 531—540 (in Chinese with English abstract).
- Shen, S. Y., Feng, Q. L., Wei, Q. R., et al., 2008. New Evidence for the Original Tethysan Island-Arc Volcanic Rocks in the Southern Segment of South Lancangjiang Belt. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 28(4): 59—63 (in Chinese with English abstract).
- Sun, X. M., Nie, Z. T., Liang, D. Y., 1995. Determination of Sedimentary Environments and Tectonic Significance of Silicites in Jinsha River Belt, NW Yunnan. *Geological Review*, 41(2): 174—178 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Z. B., Li, J., Zhou, K., et al., 2017. Geochemical Characteristics and Geological Significance of Retrograde Eclogite in Mengku Area, Shuangjiang County, Western Yunnan Province, China. *Geoscience*, 31(4): 746—756 (in Chinese with English abstract).
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Chen, J. L., et al., 2014a. Triassic Three-Stage Collision in the Paleo-Tethys: Constraints from Magmatism in the Jiangda-Degen-Weixi Continental Margin Arc, SW China. *Gondwana Research*, 26(2): 475—491. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.07.023>
- Wang, X. S., Hu, R. Z., Bi, X. W., et al., 2014b. Petrogenesis of Late Cretaceous I-Type Granites in the Southern Yidun Terrane: New Constraints on the Late Mesozoic Tectonic Evolution of the Eastern Tibetan Plateau. *Lithos*, 208—209: 202—219. <https://doi.org/10.13039/501100005231>
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Chen, J. L., et al., 2017. Petrogenesis of Late Devonian-Early Carboniferous Volcanic Rocks in Northern Tibet: New Constraints on the Paleozoic Tectonic Evolution of the Tethyan Ocean. *Gondwana Research*, 41: 142—156. <https://doi.org/10.13039/100007834>
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Chung, S. L., et al., 2016. Evolution of the Bangong-Nujiang Tethyan Ocean: Insights from the Geochronology and Geochemistry of Mafic Rocks within Ophiolites. *Lithos*, 245: 18—33. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.07.016>
- Wang, B. D., Wang, L. Q., Pan, G. T., et al., 2013a. U-Pb Zircon Dating of Early Paleozoic Gabbro from the Nantinghe Ophiolite in the Changning-Menglian Suture Zone and Its Geological Implication. *Chinese Science Bulletin*, 58(8): 920—930. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5481-8>

- Wang, B. D., Wang, L. Q., Yin, F. G., et al., 2013b. Longmu Co-Shuanghu-Changning-Menglian Suture Zone: Residual of Uniform Early Paleozoic Tethys Ocean. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 87(z1): 72–75.
- Wang, D. B., Luo, L., Tang, Y., et al., 2016. Zircon U-Pb Dating and Petrogenesis of Early Paleozoic Adakites from the Niujingshan Ophiolitic Mélange in the Changning-Menglian Suture Zone and Its Geological Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 32(8): 2317–2329 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. B., Luo, L., Tang, Y., et al., 2017. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age and Geochemical Signatures of the Amphibolites in the Changning–Menglian Suture Zone and Its Geological Implications. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 37(4): 17–28 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. B., Wang, L. Q., Yin, F. G., et al., 2012. Timing and Nature of the Jinshajiang Paleo-Tethys: Constraints from Zircon U-Pb Age and Hf Isotope of the Dongzhulin Layered Gabbro from Jinshajiang Ophiolite Belt, Northwestern Yunnan. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1542–1550 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F., Liu, F. L., Ji, L., et al., 2017. LA-ICP-MS U-Pb Dating of Detrital Zircon from Low-Grade Metamorphic Rocks of the Lancang Group in the Lancangjiang Complex and Its Tectonic Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 33(9): 2975–2985 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F., Liu, F. L., Liu, P. H., et al., 2014. Petrogenesis of Lincang Granites in the South of Lancangjiang Area: Constrain from Geochemistry and Zircon U-Pb Geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 30(10): 3034–3050 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. Q., Pan, G. T., Ding, J., et al., 2013. Geotectonic Maps and Instructions for the Qinghai-Tibet Plateau and Adjacent Areas (1 : 1 500 000). Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, L. Q., Pan, G. T., Li, C., et al., 2008. SHRIMP U-Pb Zircon Dating of Eopaleozoic Cumulate in Guoganjianian Mt. from Central Qiangtang Area of Northern Tibet—Considering the Evolvement of Proto- and Paleo-Tethys. *Geological Bulletin of China*, 27(12): 2045–2056 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. Z., 2005. Remarks on the Upper Paleozoic Strata in the Menglian-Manxin Area of the Southern Part of the Changing-Menglian Belt, Western Yunnan. *Geological Review*, 51(1): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- Wu, H. R., Li, H. S., 1989. The Carboniferous and Permian Radiolarian in the Menglian Area, Western Yunnan. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 6(4): 337–343, 437 (in Chinese with English abstract).
- Xing, X. W., Wang, Y. J., Cawood, P. A., et al., 2017. Early Paleozoic Accretionary Orogenesis along Northern Margin of Gondwana Constrained by High-Mg Metageneous Rocks, SW Yunnan. *International Journal of Earth Sciences*, 106(5): 1469–1486. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1282-z>
- Yan, G. C., Wang, B. D., Liu, H., et al., 2018. Delineation of Middle Carboniferous Arc Volcanic Rocks in Jomda Area, Eastern Tibet and Its Tectonic Implications. *Earth Science*, 43(8): 2715–2726 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. W., 1982. Discussion on Ophiolite in Tongchangjie of Yunxian Area. *Yunnan Geology*, 1(1): 59–71 (in Chinese with English abstract).
- Yin, F. G., Wang, D. B., Wang, B. D., et al., 2017. Stratigraphic Classification in the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Orogenic Zone in Southwest China. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 37(4): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Yu, S. Y., Li, K. Q., Shi, Y. P., et al., 2003. A Study on the Granodiorite in the Middle Part of Lincang Granite Batholith. *Yunnan Geology*, 22(4): 426–442 (in Chinese with English abstract).
- Yunnan Geological and Mineral Bureau, 1990. The Regional Geology of Yunnan Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhai, M. G., Cong, B. L., Zhang, R. Y., 1990. The Identification and Geological Significance of Two Types of Volcanic Rocks in Lancang Group in Yunnan Province. *Science in China (Series B)*, (1): 77–85 (in Chinese).
- Zhai, Q. G., Jahn, B. M., Wang, J., et al., 2013. The Carboniferous Ophiolite in the Middle of the Qiangtang Terrane, Northern Tibet: SHRIMP U-Pb Dating, Geochemical and Sr-Nd-Hf Isotopic Characteristics. *Lithos*, 168–169: 186–199. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.02.005>
- Zhai, Q. G., Jahn, B. M., Zhang, R. Y., et al., 2011. 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. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6): 1356–1370. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2011.07.023>
- Zhai, Q. G., Wang, J., Li, C., et al., 2010. SHRIMP U-Pb Dating and Hf Isotopic Analyses of Middle Ordovician Meta-Cumulate Gabbro in Central Qiangtang, Northern Tibetan Plateau. *Science in China (Series D)*, 40(5): 565–573 (in Chinese).
- Zhang, K. J., Cai, J. X., Zhang, Y. X., et al., 2006. Eclogites from Central Qiangtang, Northern Tibet (China) and

- Tectonic Implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 245(3–4): 722–729. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.02.025>
- Zhang, Q., Li, D. Z., Zhang, K. W., 1985. Preliminary Study on Tongchangjie Ophiolitic Melange from Yun County, Yunnan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 1(3): 1–14 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, W. Q., Lin, W. X., 1982. The Features of the Glauco-phane Schist in the Southern Part of the Lancang Jiang Metamorphic Belt. *Geological Bulletin of China*, (2): 76–85 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Niu, Y. L., et al., 2012. Cambrian Bi-modal Volcanism in the Lhasa Terrane, Southern Tibet: Record of an Early Paleozoic Andean-Type Magmatic Arc in the Australian Proto-Tethyan Margin. *Chemical Geology*, 328: 290–308. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.12.024>
- Zhu, T. X., Zhang, Q. Y., Dong, H., 2006. Discovery of the Late Devonian and Late Permian Radiolarian Cherts in Tectonic Mélanges in the Cêdo Caka Area, Shuanghu, Northern Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1413–1418 (in Chinese with English abstract).
- Zi, J. W., Cawood, P. A., Fan, W. M., et al., 2012. Contrasting Rift and Subduction-Related Plagiogranites in the Jin-shajiang Ophiolitic Mélange, Southwest China, and Implications for the Paleo-Tethys. *Tectonics*, 31(2): TC2012. <https://doi.org/10.1029/2011tc002937>
- ### 附中文参考文献
- 陈莉, 王立全, 王保弟, 等, 2015. 滇西昌宁—孟连缝合带铜厂街矿床成因探讨. 矿床地质, 34(3): 617–631.
- 从柏林, 吴根耀, 张旗, 等, 1993. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化. 中国科学(B辑), 23(11): 1201–1207.
- 丛峰, 林仕良, 李再会, 等, 2009. 滇西腾冲地块片麻状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄. 地质学报, 83(5): 651–658.
- 戴樟漠, 朱炳泉, 张玉泉, 等, 1986. 从花岗闪长岩的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄谱分析探讨印度—欧亚板块碰撞与热动力作用历史. 地球化学, 15(2): 97–107.
- 邓军, 王庆飞, 李龚健, 2016. 复合造山和复合成矿系统: 三江特提斯例析. 岩石学报, 32(8): 2225–2247.
- 董美玲, 董国臣, 莫宣学, 等, 2012. 滇西保山地块早古生代花岗岩类的年代学、地球化学及意义. 岩石学报, 28(5): 1453–1464.
- 段向东, 张志斌, 王伟, 等, 2003. 滇西南耿马地区泥盆纪牙形石的发现. 地质通报, 22(3): 182–185.
- 范蔚茗, 彭头平, 王岳军, 2009. 滇西古特提斯俯冲—碰撞过程的岩浆作用记录. 地学前缘, 16(6): 291–302.
- 冯庆来, 叶玫, 章正军, 1997. 滇西早石炭世放射虫化石. 微生物学报, 14(1): 79–92.
- 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚, 1987. 中国及邻区特提斯海的演化. 北京: 地质出版社.
- 黄肖潇, 许继峰, 陈建林, 等, 2012. 中甸岛弧红山地区两期中酸性侵入岩的年代学、地球化学特征及其成因. 岩石学报, 28(5): 1493–1506.
- 计文化, 陈守建, 赵振明, 等, 2009. 西藏冈底斯构造带申扎一带寒武系火山岩的发现及其地质意义. 地质通报, 28(9): 1350–1354.
- 简平, 汪啸风, 何龙清, 等, 1999. 金沙江蛇绿岩中斜长岩和斜长花岗岩的 U-Pb 年龄及地质意义. 岩石学报, 15(4): 590–593.
- 孔会磊, 董国臣, 莫宣学, 等, 2012. 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. 岩石学报, 28(5): 1438–1452.
- 赖绍聪, 秦江峰, 李学军, 等, 2010. 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. 地学前缘, 17(3): 44–52.
- 李才, 董永胜, 翟庆国, 等, 2008. 青藏高原羌塘早古生代蛇绿岩——堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义. 岩石学报, 24(1): 31–36.
- 李才, 吴彦旺, 王明, 等, 2010. 青藏高原泛非—早古生代造山事件研究重大进展——冈底斯地区寒武系和泛非造山不整合的发现. 地质通报, 29(12): 1733–1736.
- 李龚健, 王庆飞, 禹丽, 等, 2013. 哀牢山古特提斯洋缝合时限: 晚二叠世花岗岩类锆石 U-Pb 年代学与地球化学制约. 岩石学报, 29(11): 3883–3900.
- 李静, 孙载波, 黄亮, 等, 2017. 滇西勐库退变质榴辉岩的 *P-T-t* 轨迹及地质意义. 岩石学报, 33(7): 2285–2301.
- 李朋武, 高锐, 崔军文, 等, 2005. 西藏和云南三江地区特提斯洋盆演化历史的古地磁分析. 地球学报, 26(5): 387–404.
- 李三忠, 赵淑娟, 李玺瑶, 等, 2016. 东亚原特提斯洋(I): 南北边界和俯冲极性. 岩石学报, 32(9): 2609–2627.
- 李文昌, 潘桂棠, 侯增谦, 等, 2010. 西南“三江”多岛弧盆—碰撞造山成矿理论与勘查技术. 北京: 地质出版社.
- 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C., 等, 2002. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸. 地学前缘, 9(3): 161–171.
- 刘桂春, 孙载波, 曾文涛, 等, 2017. 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. 岩石矿物学杂志, 36(2): 163–174.
- 刘军平, 田素梅, 丛峰, 等, 2017. 滇西澜沧江构造带南段沙乐花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义. 沉积与特提斯地质, 37(4): 29–40.
- 毛晓长, 王立全, 李冰, 等, 2012. 云县—景谷火山弧带大中河晚志留世火山岩的发现及其地质意义. 岩石学报, 28(5): 1517–1528.

- 莫宣学,路凤香,沈上越,等,1993.三江特提斯火山作用与成矿.北京:地质出版社,65—77.
- 潘桂棠,王立全,李荣社,等,2012.多岛弧盆系构造模式:认识大陆地质的关键.沉积与特提斯地质,32(3):1—20.
- 潘桂棠,王立全,张万平,等,2013.青藏高原及邻区大地构造图及说明书(1:1500000).北京:地质出版社.
- 彭头平,王岳军,范蔚茗,等,2006.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.中国科学(D辑),36(2):123—132.
- 彭兴阶,罗万林,1982.滇西澜沧江南段蓝闪片岩带的发现及其大地构造意义.中国区域地质,70(2):69—75.
- 任飞,潘桂棠,尹福光,等,2017.西南三江地区洋板块地层特征及构造演化.沉积与特提斯地质,37(4):9—16.
- 任江波,许继峰,陈建林,2011.中甸岛弧成矿斑岩的锆石年代学及其意义.岩石学报,27(9):2591—2599.
- 汝珊珊,李峰,吴静,等,2012.云南大平掌铜多金属矿区花岗岩闪长斑岩地球化学特征及年代学研究.岩石矿物学杂志,31(4):531—540.
- 沈上越,冯庆来,魏启荣,等,2008.南澜沧江带南段原特提斯岛弧火山岩新证据.矿物岩石,28(4):59—63.
- 孙晓猛,聂泽同,梁定益,1995.滇西北金沙江带硅质岩沉积环境的确定及大地构造意义.地质论评,41(2):174—178.
- 孙载波,李静,周坤,等,2017.滇西双江县勐库地区退变质榴辉岩的岩石地球化学特征及其地质意义.现代地质,31(4):746—756.
- 王冬兵,罗亮,唐渊,等,2016.昌宁—孟连结合带牛井山早古生代埃达克岩锆石 U-Pb 年龄、岩石成因及其地质意义.岩石学报,32(8):2317—2329.
- 王冬兵,罗亮,唐渊,等,2017.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.沉积与特提斯地质,37(4):17—28.
- 王冬兵,王立全,尹福光,等,2012.滇西北金沙江古特提斯洋早期演化时限及其性质:东竹林层状辉长岩锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素约束.岩石学报,28(5):1542—1550.
- 王舫,刘福来,冀磊,等,2017.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.岩石学报,33(9):2975—2985.
- 王舫,刘福来,刘平华,等,2014.澜沧江南段临沧花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及构造意义.岩石学报,30(10):3034—3050.
- 王立全,潘桂棠,丁俊,等,2013.青藏高原及邻区地质图及说明书(1:1500000).北京:地质出版社.
- 王立全,潘桂棠,李才,等,2008.藏北羌塘中部果干加山早古生代堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——兼论原—古特提斯洋的演化.地质通报,27(12):2045—2056.
- 王义昭,2005.滇西昌宁—孟连带南部孟连—曼信地区晚古生代地层若干问题.地质论评,51(1):1—9.
- 吴浩若,李红生,1989.滇西孟连地区的石炭纪和二叠纪放射虫化石.微体古生物学报,6(4):337—343,437.
- 徐桂香,曾文涛,孙载波,等,2016.滇西双江县勐库地区(退变)榴辉岩的岩石学、矿物学特征.地质通报,35(7):1035—1045.
- 闫国川,王保弟,刘函,等,2018.藏东江达中石炭世弧火山岩的厘定及其构造意义.地球科学,43(8):2715—2726.
- 杨嘉文,1982.对云县铜厂街蛇绿岩的探讨.云南地质,1(1):59—71.
- 尹福光,王冬兵,王保弟,等,2017.西南三江造山带地层区划.沉积与特提斯地质,37(4):1—8.
- 俞赛赢,李昆琼,施玉萍,等,2003.临沧花岗岩基中段花岗岩长岩类研究.云南地质,22(4):426—442.
- 云南省地质矿产局,1990.云南省区域地质志.北京:地质出版社.
- 翟明国,从柏林,张儒媛,1990.滇西澜沧群两类火山岩系的识别及其地质意义.中国科学(B辑),1(1):77—85.
- 翟庆国,王军,李才,等,2010.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.中国科学(D辑),40(5):565—573.
- 张旗,李达周,张魁武,1985.云南省云县铜厂街蛇绿混杂岩的初步研究.岩石学报,1(3):1—14.
- 周维全,林文信,1982.澜沧江变质带南段蓝闪石片岩特征.中国区域地质,(2):76—85.
- 朱同兴,张启跃,董瀚,等,2006.藏北双湖地区才多茶卡一带构造混杂岩中发现晚泥盆世和晚二叠世放射虫硅质岩.地质通报,25(12):1413—1418.