

DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2021.01008

东特提斯地质调查研究进展综述

王立全, 王保弟, 李光明, 王冬兵, 彭智敏

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:以青藏高原为主体的东特提斯构造演化一直是国内外地学研究中关注的重大科学问题。为了更全面、更深入地认识青藏高原及东特提斯构造域的形成演化历史,本文在综述前人有关特提斯构造域时空演变和演化阶段研究的基础上,重点总结了近年来1:5万区域地质调查中取得的最新研究进展,提出昌宁-澜沧构造带原-古特提斯连续演化、南冈底斯构造带古-新特提斯连续演化新认识,构建了青藏高原及东特提斯构造域大陆边缘多岛弧盆系时空格局和原、古、新三阶段构造演化模式。

关键词:蛇绿岩;增生杂岩;高压变质岩;多岛弧盆系构造;特提斯构造演化

中图分类号:P548

文献标识码:A

自 Suess 提出“特提斯(Tethys)”概念(Sengör, 1984),尤其是20世纪60年代板块学说建立以来至今,国内外众多学者致力于特提斯地质研究,编制了一系列不同比例尺地质调查与研究成果图件,出版了一系列与特提斯有关的地质-资源-环境专著及论文,极大地推动了特提斯地质研究进展,但不同学者给予特提斯的含义不尽相同。有关特提斯是小洋盆还是大洋,是罗迪尼亚(Rodinia)超大陆解体以来业已存在还是晚古生代或是中生代才发生、发展,是特提斯形成演化争议的焦点问题。

以青藏高原为主体的东特提斯构造带,经历了古生代—中生代特提斯洋俯冲消减和新生代大陆碰撞,保存有大陆裂解、大洋俯冲增生、被动或活动大陆边缘、弧陆或陆陆碰撞造山至高原形成等全过程的地质记录,具有现今“汇聚型”环太平洋和“扩张型”环大西洋构造带无可媲美的完整演化过程优势,一直是世界各国地质学家关注的焦点。随着中国地质调查局1999—2015年“青藏高原基础地质调查”计划和2016—2018年“东特提斯成矿带大型资源基地调查”工程实施以来的地质矿产调查工作,取得大量基础地质调查与研究成果新资料,在特提斯洋的形成时间、空间规模、发展演化等方面提出

了一些新认识。

1 特提斯构造域时空演变

Suess 最初提出的“特提斯”是指位于北方安哥拉古陆与南方冈瓦纳大陆之间的中生代广阔海洋,古海洋消亡及其随后的隆起形成了现今宏伟的阿尔卑斯-喜马拉雅山脉。Wegener (1912)提出的大陆漂移假说,以及随后 Bullard et al. (1965)利用数值模拟恢复的世界上第一幅超大陆形态图,限定特提斯洋是潘基亚(Pangea)超大陆形成后向东开口的一个三角形海湾,其时代已跨至二叠纪。随着20世纪60年代板块构造学说建立以来,越来越多地质学家(Dewey et al., 1973; Sengör, 1979; 王鸿祯等, 1985, 1990; 黄汲清和陈炳蔚, 1987; 刘本培等, 1991; Metcalfe, 1994; 潘桂棠等, 1997)运用板块构造理论研究特提斯构造域中各个造山带的地质构造演化历史,以及 Scotese (2001, 2006)、Stampfli et al. (Stampfli et al., 2013; Stampfli and Borel, 2004)为代表流传最广的复原全球构造古地理演化图集中,均将特提斯洋形成时限追溯至古生代,由此奠定了特提斯构造域时空演变的基本框架。

但是,不同学者对于特提斯域的构造古地理格

收稿日期:2020-12-22;改回日期:2021-01-25

作者简介:王立全(1963—),男,研究员,长期从事青藏高原及邻区区域构造与成矿规律研究。E-mail: 2641861757@qq.com

资助项目:国家自然科学基金重点项目“特提斯构造域地质构造编图及区域对比研究”(批准号:92055314)、中国地质调查局“东特提斯成矿带大型资源基地调查工程”

局及时空演变过程认识分歧较大,可以归纳为三种主要认识:第一种以一个联合古陆或潘吉亚(Pangea)超大陆形成,特提斯是泛大洋中一个海湾的假设为前提建立起来的“手风琴式”构造模式,认为不存在早古生代特提斯洋,强调古-新特提斯洋不连续演化(Smith, 1971; Stöcklin, 1974; 姜春发等, 1992; 任纪舜和肖黎薇, 2004);正如 Stöcklin(1974, 1989)发现伊朗存在晚古生代—早中生代(北部)和新生代(南部)两期不同时代的造山作用,明确提出新特提斯洋(Neo-Tethys)是在古特提斯洋(Paleo-Tethys)闭合之后才重新打开的;第二种是以冈瓦纳大陆裂离、亚洲大陆增生为基点建立起来的“传送带式”构造模式,认为早古生代可能存在特提斯洋,强调古-新特提斯洋共存演化(Sengör, 1979, 1984; Sengör and Hsü, 1984; 黄汲清和陈炳蔚, 1987; 常承法, 1992; Metcalfe, 1996; Dewey et al., 1988),如同 Sengör(1979)研究认为基梅里(Cimmerian)大陆北部的古特提斯洋于晚三叠世—中侏罗世闭合,南部的特提斯洋大约在三叠纪打开(甚至更早),从而出现古—新特提斯在中生代早期共存的格局,并提出古特提斯向南俯冲导致弧后打开形成新特提斯,随着新特提斯洋不断扩张,并使北部古特提斯洋关闭的设想;第三种是以北侧劳亚大陆群、南侧冈瓦纳大陆群和中间泛华夏大陆群“三足鼎立”的假设为前提,基于东南亚和太平洋西岸弧盆系空间配置对比分析建立起来的“多岛弧盆系”构造模式,认为罗迪尼亚超大陆解体至早古生代发育原特提斯洋(Proto-Tethys),位于劳亚大陆群(欧洲)和泛华夏大陆群(亚洲)南侧(李兴振等, 1990, 1991; 刘增乾等, 1993; 李三忠等, 2016),强调原-古-新特提斯大洋连续演化,特提斯不同洋-陆构造转换阶段的实质是大陆边缘一系列弧后盆地俯冲消亡、弧弧或弧陆碰撞的多岛弧造山作用实现大陆边缘增生(潘桂棠等, 1997, 2003, 2012, 2013, 2015; 王立全等, 2008; 李文昌等, 2010; 王保弟等, 2018)。此外,还有“多岛洋”(刘本培等, 1991, 1993)、“多岛海”(Hsü et al., 1995; 许靖华等, 1998)和“地体”构造模式(许志琴等, 2006, 2007)。

2 特提斯构造域演化阶段

随着特提斯构造域释义及其时空演变过程,特提斯构造域演化阶段划分亦相应发生变化。Stöcklin(1974)、Sengör(1979)等将最初 Suess 命名

的特提斯“两分”,晚三叠世—中侏罗世以前的特提斯称作古特提斯洋(Paleo-Tethys),以后的特提斯称作新特提斯洋(Neo-Tethys)。黄汲清和陈炳蔚(1987)在《中国及邻区特提斯海的演化》一书中将特提斯“三分”,划分为古特提斯(Paleo-Tethys)、中特提斯(Meso-Tethys)和新特提斯(Neo-Tethys),其演化时代分别为古生代、中生代和新生代; Metcalfe(1994, 1996, 1998)亦将特提斯“三分”,分别代表古、中、新特提斯形成或者从冈瓦纳大陆裂离的时间为泥盆纪、石炭纪—早二叠世和晚三叠世—晚侏罗世。李兴振等(1990, 1991)、刘增乾等(1993)、潘桂棠等(1997)、钟大赉(1998)、潘裕生等(潘裕生和孔祥儒, 1998; 潘裕生和方爱民, 2010)、李三忠等(2016)学者在前人基础上,将古特提斯之前的大洋划为原特提斯(Proto-Tethys),并进一步综合厘定出特提斯演化三阶段划分方案(潘桂棠等, 1997; 潘裕生和孔祥儒, 1998),即原特提斯阶段(Proto-Tethys, 震旦纪—志留纪)、古特提斯阶段(Paleo-Tethys, 泥盆纪—中三叠世)和新特提斯阶段(Neo-Tethys, 晚三叠世—始新世)。此外,还有原、古、中、新特提斯划分的观点(邓军等, 2016, 2019)。

从特提斯演化阶段的时限来看,原、古、新特提斯三阶段划分方案更能反映特提斯时空格局演变及青藏高原秦-祁-昆、羌塘-三江、冈底斯-喜马拉雅“三大”造山系地质构造特征(潘桂棠等, 1997, 2003, 2013; 潘裕生和孔祥儒, 1998; 潘裕生和方爱民, 2010)。原特提斯阶段(震旦纪—志留纪),主要表现为泛华夏大陆群与劳亚大陆群的离散,劳亚大陆群与冈瓦纳大陆分离,特提斯大洋扩张(潘桂棠等, 1997, 2013; 李兴振等, 1995),早古生代末“泛华夏造山作用”拼合形成统一的泛华夏大陆,奠定了中国古大陆的雏形(陆松年, 2004)和华夏植物区系形成的基础(潘桂棠等, 1997; 谢永泉, 1994);古特提斯阶段(泥盆纪—中三叠世),主要表现为泛华夏大陆群与劳亚大陆汇聚,劳亚大陆与冈瓦纳大陆群联而不合,特提斯大洋萎缩(潘桂棠等, 1997; 李兴振等, 1995),晚古生代末至早—中三叠世印支造山作用拼合形成东亚大陆及其边缘造山系(Ames et al., 1993; 吴根耀和矢野孝雄, 2007; 许志琴等, 2012),并成为潘吉亚(Pangea)超大陆的组成部分;新特提斯阶段(晚三叠世—始新世),主要表现为潘吉亚超大陆裂解(Rogers, 1996),冈瓦纳大陆解体(潘桂棠等, 1997; Scotese, 2006; Stampfli et al.,

2013),特提斯洋消亡转化为大陆岩石圈,并进入大陆碰撞造山发展时期。

3 昌宁-澜沧构造带原-古特提斯连续演化

昌宁-澜沧构造带位于西南“三江”特提斯造山带南段,包括原划昌宁-孟连结合带及其东侧临沧-澜沧变质岩带。长期以来,众多学者认为昌宁-孟连结合带为古特提斯演化作用的产物,复原其洋盆演化时代为泥盆纪-中三叠世(李兴振等,1991;刘增乾等,1993;刘本培等,1993;莫宣学等,1993;冯庆来等,1997;钟大赉,1998;方宗杰等,2000;Gou et al., 2021; Fu et al., 2021;潘桂棠等,2021),且以该带为代表的滇西古特提斯造山带经历了完整的威尔逊旋回(张旗等,1996)。紧邻昌宁-孟连结合带东侧的临沧-澜沧变质岩带,主要有澜沧岩群或澜沧群中浅变质岩系和大勐龙岩群或大勐龙群中深变质岩系组成,多数研究者认为是前寒武纪变质岩系或变质基底(冯本智和卢民杰,1982;范承均,1982;云南省地质矿产局,1990,1996;许东和尹光候,2010)。近年来,区域地质调查及研究在昌宁-澜沧构造带,新发现早古生代蛇绿岩、洋岛火山岩、弧岩浆岩和产出榴辉岩-蓝片岩的增生杂岩带,为原-古特提斯连续演化提供了重要新证据。

3.1 早古生代蛇绿混杂岩

早古生代蛇绿混杂岩呈规模不等的构造“岩块”产于原划昌宁-孟连结合带中,近南北向展布于勐勇-芒红-南汀河-干龙塘-牛井山一带,主要由蛇纹石化辉橄岩、蛇纹石化橄榄辉石岩、变堆晶辉长岩、变辉长岩、变玄武岩、斜长角闪岩、绿泥绿帘阳起石岩、钠长绿泥绿帘片岩以及杏仁状玄武岩、安山玄武岩和硅质岩、浅变质泥质粉砂岩等组成。获得南汀河堆晶辉长岩及辉长岩锆石U-Pb年龄为453.9~439.0 Ma,岩石地球化学特征指示其形成于洋脊环境(王保弟等,2013);牛井山变辉长岩或斜长角闪(片)岩等锆石U-Pb年龄为450.5~428.5 Ma,岩石地球化学特征显示其形成于洋脊环境;勐勇老南掌杏仁状安山玄武岩锆石U-Pb年龄为449.3±8.4 Ma,岩石地球化学性质具有亚速尔型洋岛特征(孙载波等,2017a);曼信变质辉长岩锆石U-Pb年龄为420 Ma(王保弟等,2018)。早古生代蛇绿混杂岩新发现和晚古生代蛇绿混杂岩的广泛分布,记录了西南“三江”原-古特提斯连续演化的地

质历史,区域上三叠统三岔河组碎屑岩不整合于蛇绿混杂岩之上,可作为滇西特提斯构造带盆山转换的重要标志。

3.2 早古生代增生杂岩

早古生代增生杂岩分布于临沧-澜沧变质岩带,是从原划前寒武系“澜沧(岩)群、大勐龙(岩)群”中解体出的地质单元,主要由中-低压变质的绿片岩相、角闪岩相和高压变质的蓝片岩相、榴辉岩相变质岩系组成。中-低压变质岩系分布广泛,主要以石榴子石云母片岩、黑云母(石英)片岩、白云母(石英)片岩、绿泥绿帘阳起石片岩、绿泥绿帘钠长石片岩为主,其次是斜长角闪(片)岩、千枚岩、板岩,获得系列碎屑锆石U-Pb最年轻一组年龄分别为460~440 Ma(王保弟等,2018)、559~478 Ma(陈政宇,2019)、570~530 Ma(王舫等,2017)、614~491 Ma(邢晓婉,2016)和最年轻一组加权平均年龄为452±26 Ma(徐云飞等,2018),变质火山岩锆石U-Pb年龄分别为459~456 Ma(Nie et al.,2015)、462~454 Ma(Xing et al.,2017)、482~471.5 Ma(李灿锋,2018)、453.5~451.7 Ma和476.5±1.6 Ma(韩文文等,2020),时代主体为早古生代。

高压变质岩系近南北向展布可达百余千米,可识别出高压低温蓝片岩、高压中温蓝片岩、高压中温榴辉岩、退变榴闪岩等类型;其中,榴辉岩出露北自双江勐库镇冰岛、控角、根恨河、邦丙,经澜沧谦迈南延至景洪南盆、勐宋坝等地(李静等,2015;王保弟等,2018;彭智敏等,2019;孙载波等,2019),呈规模不等构造透镜体产于原划前寒武系“澜沧(岩)群、大勐龙(岩)群”变质岩系中,围岩有白云(钠长)石英片岩、石榴白云石英片岩、斜长角闪(片)岩、(石榴)蓝闪片岩等多种岩石类型,标志性矿物为绿辉石、硬玉、硬柱石、柯石英、多硅白云母、蓝闪石、镁铝榴石、金红石,恢复原岩主要为类似E-MORB地球化学特征的拉斑玄武岩,其次是类似OIB地球化学特征的碱性玄武岩(孙载波等,2017b),获得榴辉岩锆石U-Pb年龄为801.0±9.8 Ma及227.0±12 Ma、447.5±3.6 Ma及291.7±6.3 Ma、429±2.4 Ma及231±2.3 Ma和254±1.4 Ma、229.0±1.3 Ma(孙载波等,2018a),以及蓝闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar坪年龄为409.8±23.6 Ma、279±1.6 Ma、215±3.3 Ma、214±0.9 Ma(翟明国,1990;从柏林等,1993;赵靖等,1994)等多组数据,记录了原-古特提斯俯冲增生、碰撞造山及拆返过程演化历史。

因此, 临沧 - 澜沧变质岩带及其中的“澜沧(岩)群、大勐龙(岩)群”变质岩系主体不是前寒武纪“基底”, 而是卷入特提斯俯冲增生 - 碰撞造山过程中形成的俯冲增生杂岩, 恢复原岩可能主要为一套半深海—深海沉积的砂泥质 - 硅泥质 - 硅质岩及中 - 基性火山岩组合, 并遭受了强烈的构造面理置换和多期次的变形及变质作用(王保弟等, 2018; 赵靖等, 1994)。紧邻变质岩带西侧的泥盆系—石炭系南段组、二叠系拉巴组, 是晚古生代增生楔盆地持续发育及其变质变形作用产物, 1:25 万区域地质调查将其厘定为“澜沧俯冲增生杂岩”。

3.3 早古生代弧岩浆岩

周维全等(1982)研究认为澜沧群中出现蓝闪石片岩的惠民组产于“板块缝合线的消减带上”, 沈上越等(2008)研究认为惠民 - 曼来地区澜沧群变质火山岩组合为玄武岩 - 安山岩 - 英安岩, 属于“原特提斯岛弧火山岩”。近年来, 越来越多的地质调查与研究结果显示与原特提斯俯冲有关的早古生代弧岩浆记录, 牛井山、南丁河等地区蛇绿混杂岩中识别出具有高镁埃达克岩性质的英云闪长岩, 获得锆石 U-Pb 年龄分别为 468 ± 2 Ma 和 454.1 ± 2.7 Ma、 443.2 ± 2.4 Ma、 448.6 ± 1.5 Ma, 揭示其与原特提斯俯冲有关的弧岩浆岩环境(王冬兵等, 2016; 吴喆等, 2020); 冰岛地界、芒那河等地区增生杂岩中发现锆石 U-Pb 年龄为 454.9 ± 6.4 Ma、 470.8 ± 5.3 Ma 英云闪长岩, 以及临沧花岗岩基中解体出早古生代片麻状花岗岩, 获得勐海布朗山岩体锆石 U-Pb 年龄为 458.5 ± 3.0 Ma(孙载波等, 2018b)、双江清平地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 476.9 ± 1.9 Ma 和 465.7 ± 1.9 Ma(彭智敏等, 2018)、临沧五老山岩体锆石 U-Pb 年龄为 473.0 ± 2.9 Ma 和 474.1 ± 1.6 Ma、云县头道水和蚂蚁堆片麻状花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 435.4 ± 2.1 Ma 及 454.4 ± 2.3 Ma(罗波和谢建, 2016), 英云闪长岩 - 花岗岩组合被认为是原特提斯俯冲消减作用的岩浆事件响应(孙载波等, 2018b; 彭智敏等, 2018); 最新大量澜沧岩群变质火山岩地球化学数据进一步支持其形成于弧环境(邢晓婉, 2016; Xing et al., 2017; 王保弟等, 2018; 灿锋, 2018; 孙载波等, 2018b; 彭智敏等, 2018; 韩文文等, 2020), 其中惠民岩组变质火山岩还具有高镁安山质岩石特性(罗波和谢建, 2016)。

此外, 区域已发现大中河地区玄武安山岩 - 安山岩 - 英安岩组合锆石 U-Pb 年龄为 421.2 ± 1.2 Ma

和 417.6 ± 5.1 Ma(毛晓长等, 2012), 大平掌矿区英安岩锆石 U-Pb 年龄为 428.9 ± 1.5 Ma(Leh Mann et al., 2013) 和花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄为 401.0 ± 1.7 Ma(汝珊珊等, 2012), 这些中酸性岩石具有弧岩浆岩的地球化学性质及特征, 其岩浆源区较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及其弧后扩张作用的产物(毛晓长等, 2012; Leh Mann et al., 2013; 王保弟等, 2018)。

4 南冈底斯构造带古 - 新特提斯连续演化

位于麦拉 - 米拉山 - 洛巴堆断裂以南、雅鲁藏布江结合带以北的南冈底斯构造带东段, 主体沿楠木林、拉萨、工布江达及墨竹工卡一带呈东西向展布, 长期以来被认为是受控于雅鲁藏布江新特提斯洋北向俯冲作用形成的晚侏罗世—古近纪岩浆弧(Sengör and Hsü, 1984; 黄汲清和陈炳蔚, 1987; Dewey et al., 1988; Metcalfe, 1996; 任纪舜和肖黎薇, 2004; 莫宣学等, 2005; 潘桂棠等, 2006; 潘裕生和方爱民, 2010; 张泽明等, 2018), 尤其是带内蓝片岩 - 榴辉岩的发现(杨经绥等, 2006; 刘鸿飞和刘焰, 2009; Zhang and Tang, 2009) 和大规模的矽卡岩 - 斑岩型铜多金属成矿(侯增谦等, 2008; Hou and Cook, 2009; Qin et al., 2012; 王立全等, 2015) 引起人们广泛关注。近年来, 1:5 万区域地质调查在南冈底斯构造带识别出石炭纪—二叠纪蛇绿岩和洋岛火山岩、三叠纪—侏罗纪洋岛及洋内弧火山岩、三叠纪—白垩纪弧岩浆岩等地质体, 提出南冈底斯东段增生杂岩带及古 - 新特提斯连续演化新认识, 为重塑南冈底斯东段岩浆弧形成及其南侧雅鲁藏布江结合带演化过程提供了关键证据。

4.1 晚古生代蛇绿岩及增生杂岩

分布于南冈底斯构造带北缘唐加—松多一带的原划前奥陶系“岔萨岗岩组、松多岩群”不是冈底斯东段岩浆弧“基底”变质岩系, 而是古特提斯松多洋俯冲消减形成的一套增生杂岩, 增生杂岩岩石类型为石英岩、变质石英砂岩、变质砂岩、白云母石英片岩、绢云石英片岩、二云(长石)石英片岩、白云母片岩和黑白石英片岩, 恢复原岩可能主要为一套半深海—深海沉积的砂泥质 - 硅泥质 - 硅质岩组合, 获得松多岩群变质砂岩系列最年轻一组碎屑锆石 U-Pb 年龄分别为 314 ~ 302 Ma、243 ~ 304 Ma、324 ~

316 Ma、344 ~ 319 Ma、356 ~ 337 Ma,表明沉积时代为石炭纪—早二叠世(解超明等,2019,2020;李光明等,2020),可能与增生杂岩带北侧念青唐古拉地区的下石炭统诺错组(C_1n)、上石炭统一下二叠统来姑组(C_2P_1l)时代相当。尤其增生杂岩带内呈大小不等构造透镜体产出的蛇绿岩、洋岛火山岩—大理岩、蓝片岩—榴辉岩,记录了青藏高原南部古特提斯松多洋俯冲消亡及其大陆边缘增生的重要信息。

晚古生代蛇绿岩是从原划为前奥陶系“岔萨岗岩组、松多岩群”中解体出的地质单元,主要分布于唐加—松多增生杂岩带北部,沿直孔—念庆松多—温木朗—白朗村一带近东西向断续分布,其中以松多地区温木朗蛇绿岩最为典型,蛇绿岩的岩石组合端元出露齐全,包括蛇纹石化橄榄岩、超基性堆晶杂岩、堆晶辉长岩、变质辉长岩、变质玄武岩、斜长花岗岩(王斌等,2017;解超明等,2020)。获得松多地区蛇绿岩(变质玄武岩)锆石U-Pb年龄为 273.8 ± 2.2 Ma、变质辉长岩的锆石U-Pb年龄为 258.7 ± 4.4 Ma 和 304.4 ± 3.0 Ma、斜长花岗岩的锆石U-Pb年龄为 266.4 ± 2.0 Ma(王斌,2019),唐加地区变质辉长岩锆石U-Pb年龄为 263.1 ± 2.7 Ma,显示蛇绿岩主体时代为石炭纪—二叠纪,变质辉长岩和玄武岩具有 N-MORB 和 E-MORB 地球化学特点(王斌,2019;解超明等,2020)。

石炭纪—二叠纪洋岛残块主要展布于唐加—松多增生杂岩带南部,在雪浪沟、温木朗、拍日岗、拉龙松多等地识别出多个洋岛残块,均呈大小不等构造透镜体,与增生杂岩带的走向一致,其中以拍日岗洋岛规模较大,出露面积超过 20 平方千米,岩石组合为块状玄武岩、含灰岩团块或角砾玄武岩、含玄武岩团块或角砾灰岩、大理岩或大理岩化灰岩不等厚互层(李光明等,2020)。获得雪浪沟洋岛玄武岩锆石U-Pb年龄为 306 Ma(解超明等,2020;陈松永,2010)、拍日岗洋岛玄武岩为 274 Ma(李光明等,2020)、温木朗地区与洋岛玄武岩相伴产出的堆晶辉长岩和变质辉长岩分别为 260.6 ± 3.1 Ma 和 268.5 ± 1.9 Ma(Wang et al., 2019; 李光明等, 2020),形成时代为晚石炭世—中二叠世,岩石地球化学性质均显示为典型 OIB 玄武岩特征(陈松永, 2010; Wang et al., 2019; 李光明等, 2020; 解超明等, 2020)。

自从发现松多地区榴辉岩和旁那地区蓝闪片

岩以来(杨经绥等,2006;刘鸿飞和刘焰,2009;Zhang and Tang,2009),10 多年来的地质调查与研究相继在白朗、吉朗、娘隆朗、龙崖松多、新达多及巴青松多等地区发现榴辉岩,榴辉岩与蓝片岩近东西向断续出露超过 150 千米;榴辉岩呈大小不等构造透镜体产于白云母石英片岩、绿片岩中,其中龙崖松多地区的露头面积可达 1 平方千米(李光明等,2020;解超明等,2020)。榴辉岩主要由绿辉石、石榴石、金红石、绿泥石、各类帘石及少量石英等矿物组成,岩石类型主要包括金红石榴辉岩、石英榴辉岩、含蓝闪石榴辉岩、多硅白云母榴辉岩、榴闪岩等(李光明等,2020;解超明等,2020);获得榴辉岩原岩锆石 U-Pb 年龄为 304 ~ 274 Ma(Cheng et al., 2012, 2015; Weller et al., 2016),变质锆石 U-Pb 年龄为 266 ~ 260 Ma(杨经绥等,2007;徐向珍等,2007;陈松永等,2008;Yang et al., 2009; Cheng et al., 2012, 2015)、238 ~ 227 Ma(Cheng et al., 2012, 2015; Zhang et al., 2018)和石榴子石—绿辉石 Lu-Hf 年龄为 238 ± 4 Ma(Cheng et al., 2015),以及白云母、角闪石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 241 ~ 200 Ma(李化启等,2011; Cheng et al., 2015)。恢复榴辉岩的原岩地球化学属性较复杂,主要类型包括 N-MORB、E-MORB、OIB 和 BABB 型,其中以 MORB 型榴辉岩分布最广(杨经绥等,2009;董宇超等,2019;李光明等,2020;解超明等,2020)。

4.2 中生代洋岛—洋内弧及增生杂岩

新发现并命名为普夏组(T_{3p})的洋岛残块位于南冈底斯构造带南缘(亦即雅鲁藏布江北岸)贡嘎县多吉扎寺东侧的普夏一带,是从原划上侏罗统一白垩统“桑日群”中解体出的地质体,剖面上岩石组合为灰绿色玄武岩与中—厚层状灰岩呈不等厚韵律互层,夹薄层状钙质泥岩、紫红色硅质岩和大量灰岩、少量玄武岩及硅质岩组成的塌积砾岩(李光明等,2020)。获得玄武岩锆石U-Pb年龄为 203.9 ± 1.6 Ma、 211 ± 2.1 Ma 和 219.5 ± 2.0 Ma,表明普夏洋岛形成时代为晚三叠世,玄武岩地球化学性质显示为较典型洋岛特征(李光明等,2020;张泽国等,2020)。

以新命名昌果组(T_{2cg})和刘琼组(J_1l)为主体的洋内弧残块位于普夏组洋岛地质体的北侧,大致沿贡嘎县昌果—克鲁和多吉扎—琼达一带近东西向展布(李光明等,2020),进一步向西断续延伸可与谢通门县雄村铜金矿区早侏罗世洋内弧火山岩(丁枫等,2012;郎兴海等,2019)相一致。剖面上昌

果组下部为硅质岩、硅质板岩和变玄武安山岩-安山岩组合,中部以变安山岩、大理岩或大理岩化灰岩为主夹绢云板岩组合,上部以变安山质凝灰岩、熔结凝灰岩为主夹少量流纹岩组合,获得安山岩锆石U-Pb年龄为 $235 \pm 1.8 \text{ Ma}$ 、 $236.4 \pm 2.0 \text{ Ma}$ 、 $237.2 \pm 1.2 \text{ Ma}$ (李光明等,2020);刘琼组出露面积相对较大、岩石类型复杂,主要由玄武岩、玄武安山岩、安山岩、火山角砾岩、安山质角砾晶屑凝灰岩、沉凝灰岩与灰岩、滑塌角砾状灰岩、凝灰质粉砂岩、薄层状硅质岩等岩石组成,获得安山岩锆石U-Pb年龄为 182 Ma (李光明等,2020);两组火山岩地球化学性质显示出岛弧特征,其中刘琼组变火山岩还具有高镁安山质岩石特性(李光明等,2020)。

出露于南冈底斯构造带南缘尼木-续麦一带的一套中深变质岩系,长期以来将其归为前寒武纪“念青唐古拉群”,并认为是拉萨地块前寒武纪“变质基底”组成部分(韩湘涛,1997;肖序常和李廷栋,2000)。1:5万区域地质调查将该套具有强构造面理置换与变形特征的中深变质岩系,重新厘定为早侏罗世—早白垩世“尼木增生杂岩系”,并认为是雅鲁藏布江新特提斯洋北向俯冲增生作用的产物(李光明等,2020)。尼木增生杂岩受始新世—渐新世花岗岩类侵入体“破坏”,近东西向不连续、不规则状分布,主要由各类基质和岩块组成,岩块包括大理岩、石英岩、斜长角闪岩等岩性,基质为各种片岩、片麻岩、糜棱岩、混合片麻岩等岩性,变质程度主体为绿片岩相—角闪岩相;获得黑云石英片岩、斜长角闪(片)岩、角闪黑云斜长片岩、斜长片麻岩等岩石中的岩浆锆石U-Pb年龄变化于 $260 \sim 126 \text{ Ma}$ 之间,变质锆石U-Pb年龄变化于 $150 \sim 117 \text{ Ma}$ (李光明等,2020),透辉石化大理岩中采获尖嘴蛤(未定种)*Oxytoma* sp.,时代为晚三叠世—晚白垩世。

4.3 弧岩浆活动时空变化规律

大量区域地质调查与研究结果揭示,南冈底斯构造带东段主体是由北部晚古生代增生杂岩和南部中生代增生杂岩所组成的一套石炭纪—白垩纪俯冲增生杂岩系,产出有较典型的蛇绿岩和高压变质岩,空间上表现为东西向连续展布和洋盆北向俯冲的构造极性,时间上显示为由北向南俯冲时代逐渐变新,整体反映了拉萨地块向南不断增生的古—新特提斯地质连续演化过程,并进一步研究认为北部晚古生代增生杂岩带、南部中生代增生杂岩带可能是同一个洋盆形成演化的不同阶段产物(李光明

等,2020;解超明等,2020)。

相应受控于洋壳北向俯冲作用的弧岩浆活动,其形成时代亦从北往南逐渐变新,北部唐加—松多一带为石炭纪—中三叠世俯冲增生杂岩,其上发育锆石U-Pb年龄为 $236 \sim 184 \text{ Ma}$ 弧花岗岩以及晚三叠世—早侏罗世火山弧(新命名为雄来组)(李光明等,2020);中部达孜—墨竹工卡一带推测为中三叠世—早侏罗世俯冲增生杂岩,其上发育早—中侏罗世叶巴组火山弧,大量锆石U-Pb年龄为 $192 \sim 174 \text{ Ma}$ (潘桂棠等,2006,2013;王立全等,2013;魏友卿,2014;陈炜等,2009;张泽明等,2018);南部尼木—桑日—加查一带为中—晚三叠世洋岛—洋内弧及其晚三叠世—白垩纪增生杂岩,其上发育晚侏罗世—早白垩世桑日群火山弧,锆石U-Pb年龄为 $151 \sim 99 \text{ Ma}$,大规模弧岩浆活动可延续至晚白垩世(莫宣学等,2005;潘桂棠等,2006,2013;王立全等,2013;康志强等,2015;张泽明等,2018)。进一步综合研究认为,正是这套晚古生代—中生代俯冲增生杂岩及增生弧的复杂岩石组合,可能构成了南冈底构造带东段“新生下地壳”的重要物质基础(李光明等,2020),而新生下地壳的部分熔融,为驱龙—甲玛矿集区中新世斑岩铜金巨量成矿提供了丰富的物质来源(侯增谦等,2006,2008;Hou and Cook,2009;Hou et al.,2015;莫宣学,2020)。

5 东特提斯构造演化模式

5.1 大陆边缘多岛弧盆系构造

大陆边缘多岛弧盆系构造(潘桂棠等,1997,2003,2012,2013;李文昌等,2010)是指在古大陆边缘,受大洋岩石圈俯冲制约形成的前缘弧及前缘弧之后一系列岛弧、火山弧、地块和相应的弧后洋盆、弧间盆地或边缘海盆地构造的组合体,整体表现为大陆岩石圈与大洋岩石圈之间时空域中特定的组成、结构、功能、空间展布和时间演化特征的构造系统。大陆边缘多岛弧盆系构造的识别与深入研究不仅能够全面解剖造山带的物质组成、结构构造与演化历史,而且对于分析前寒武纪大陆克拉通基底的形成也具有重要启示。现今受印度洋、太平洋板块俯冲制约的东南亚和太平洋西岸地区,是新生代多岛弧盆系构造发育最典型的区域。

大陆边缘多岛弧盆系形成演化是大洋岩石圈向大陆岩石圈构造体制转换的重要标志,大陆边缘造山带形成是以弧后或弧间洋盆、岛弧边缘海盆地

的消减为动力,通过一系列弧弧、弧陆碰撞等多岛弧造山作用实现大陆边缘增生,弧后前陆盆地和周缘前陆盆地发育,乃是盆山转换的重要标志。大陆边缘多岛弧盆系构造演化形成造山系,特提斯大洋消亡及两侧大陆边缘多岛弧盆系转化为造山系的拼接即形成对接带,最终构成一个巨型造山系(构造域)。依据区域20余条蛇绿混杂岩带、10余条高压变质带及其相关岛弧、盆地等实际材料,构建青藏高原及邻区“一条对接带、三大造山系”大地构造格架(图1)。

5.2 东特提斯三阶段构造演化模式

全球性超大陆的裂解与汇聚过程,实质上是大陆岩石圈与大陆岩石圈相互转换(亦即洋陆转换)演化的历史发展进程。承接于罗迪尼亚超大陆解体以来的全球洋陆演化历史存在劳亚、冈瓦纳、泛华夏“三大”陆块群泛大洋或古大西洋、古亚洲洋及特提斯洋“三大洋”并存的时空格局(李兴振等,1995;潘桂棠等,1997,2013;陆松年,2004)(图2),东特提斯构造带主体位于冈瓦纳大陆群、泛华夏大陆群及其之间特提斯洋的“一个大洋、南北两个大陆”的基本框架中。以青藏高原为主体东特提斯构造带的形成,受控于“一个大洋(特提斯洋)、两个大陆边缘(泛华夏大陆南缘和冈瓦纳大陆北缘)、三大多岛弧盆系(秦-祁-昆、羌塘-三江及冈底斯-喜马拉雅多岛弧盆系)”构造格局和原、

古、新特提斯三阶段构造演化(图3)。

5.2.1 原特提斯大洋单向俯冲阶段

原特提斯阶段构造演化的地质遗迹主要保存在青藏高原北部康西瓦-南昆仑-玛多-玛沁结合带以北的秦岭-祁连-昆仑地区,受特提斯大洋向北方向俯冲消减作用制约,主体表现为泛华夏大陆西南边缘秦-祁-昆多岛弧盆系构造演化过程(图4),涵盖了早古生代多个岛弧、弧后海底扩张与弧后盆地萎缩、俯冲消亡及其弧弧、弧陆碰撞的地质历史(潘桂棠等,1997,2003,2012,2013,2015;李文昌等,2010)。早古生代末秦-祁-昆多岛弧盆系构造转化为造山系,形成北祁连弧盆系、玉石沟-野牛沟-清水沟(北祁连)结合带、中祁连-湟源地块、南祁连弧盆系、赛什腾山-锡铁山(柴北缘)结合带、阿尔金弧盆系、柴达木地块、东昆仑弧盆系、西昆仑弧盆系、西秦岭弧盆系等次级构造单元,区域内泥盆系(老君山组、牦牛山组、布拉克巴什组、黑山沟组、奇自拉夫组、克孜勒陶组等碎屑岩)广泛不整合,可作为盆山转换的重要标志,代表早古生代末统一泛华夏大陆的初步形成,奠定了中国古大陆的雏形(陆松年,2004)。

5.2.2 古特提斯大洋双向俯冲阶段

晚古生代特提斯大洋向南、向北方向俯冲消减,分别形成冈瓦纳大陆北缘冈底斯-喜马拉雅陆缘弧盆系和泛华夏大陆西南缘羌塘-三江多岛弧盆

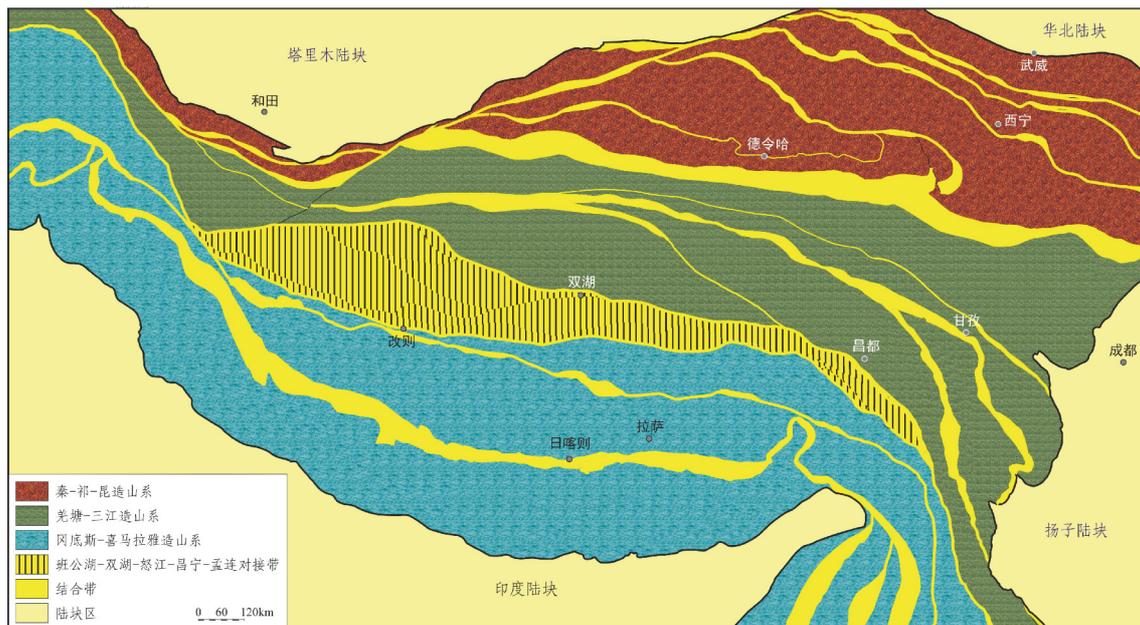


图1 青藏高原及邻区大地构造格架略图(据潘桂棠等,2013,2015 修改)

Fig. 1 Schematic tectonic map of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions (modified from pan et al., 2013, 2015)

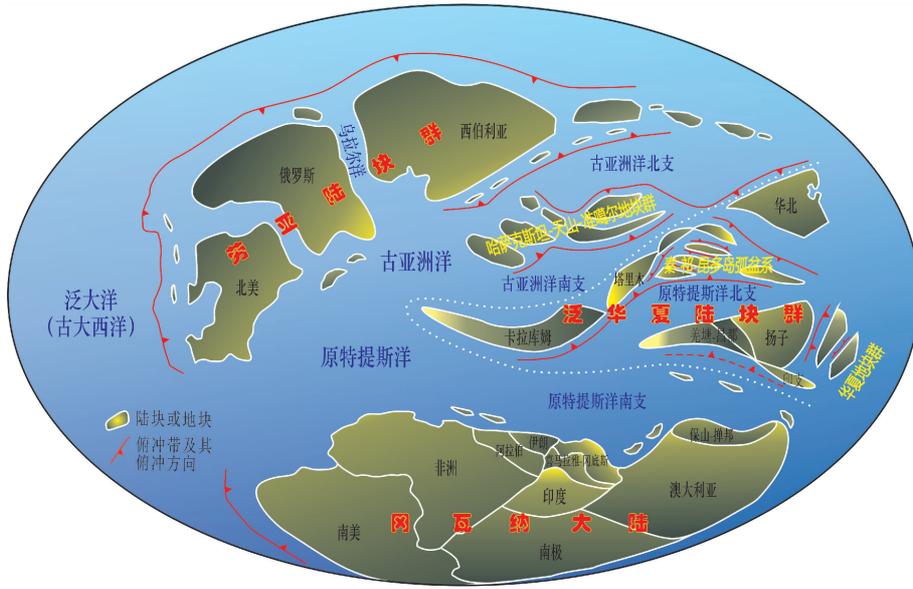


图2 全球早古生代(奥陶纪)洋-陆格局示意图(据 Scotese,2006 修改)

Fig. 2 Sketch map of global ocean-continent framework during Early Paleozoic (modified from Scotense,2006)

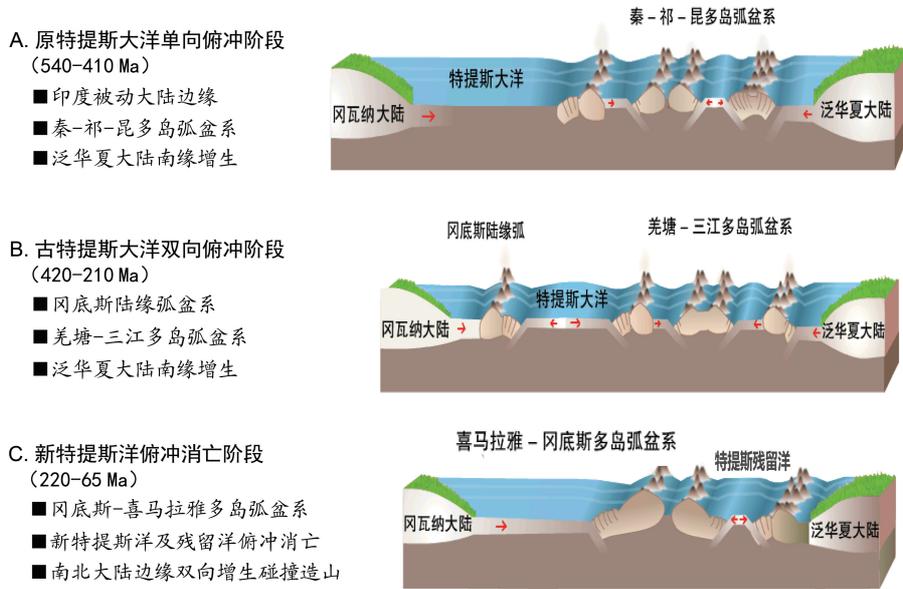


图3 东特提斯三阶段构造演化及大陆边缘多岛弧盆系构造模式

Fig. 3 Tectonic patterns of Proto-, Paleo-, Neo-Tethys evolution and archipelagic arc-basin system on the continental margins of the Eastern Tethys tectonic domain

系。古特提斯阶段构造演化的地质遗迹主要保存在青藏高原康西瓦-南昆仑-玛多-玛沁结合带与班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连对接带之间的中东部北羌塘-三江地区,受特提斯大洋向北东方向俯冲消减作用的制约,主体表现为泛华夏大陆西南边缘羌塘-三江多岛弧盆系构造演化过程(图

5),涵盖了晚古生代—早中生代多个岛弧、弧后海底扩张与弧后盆地萎缩、俯冲消亡和弧弧、弧陆碰撞的地质历史(潘桂棠等,1997,2003,2012,2013,2015;李文昌等,2010)。早中生代羌塘-三江多岛弧盆系构造转化为造山系,形成玉龙塔格-巴颜喀拉前陆盆地、甘孜-理塘弧盆系、中咱-香格里拉

地块、西金乌兰湖 - 金沙江 - 哀牢山结合带、昌都 - 兰坪地块、乌兰乌拉湖 - 北澜沧江结合带、北羌塘 - 甜水海地块、崇山 - 临沧地块等次级构造单

元,以区域上三叠统(苟鲁山克错组、甲丕拉组、歪古村组等碎屑岩) 广泛不整合为标志,泛华夏大陆最终拼合定型,并成为潘吉亚超大陆的组成部分。

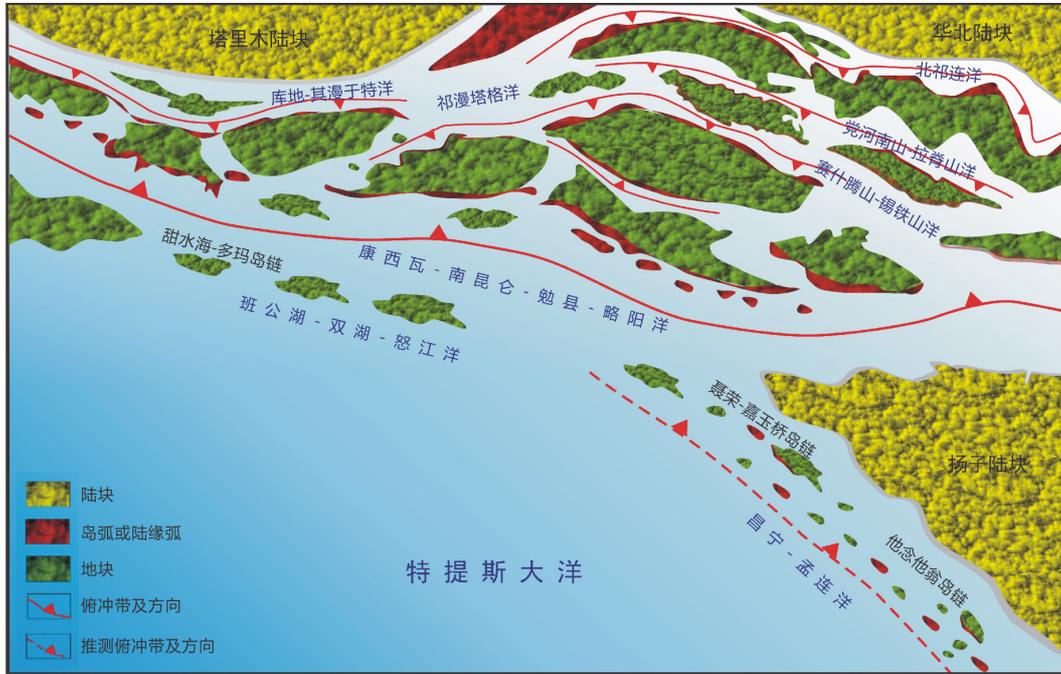


图4 早古生代(奥陶纪)特提斯洋及秦-祁-昆多岛弧盆系构造格局略图

Fig. 4 Tectonic framework of the Tethyan ocean and archipelagic arc-basin system in the Qinling-Qilian-Kunlun area during the Early paleozoic

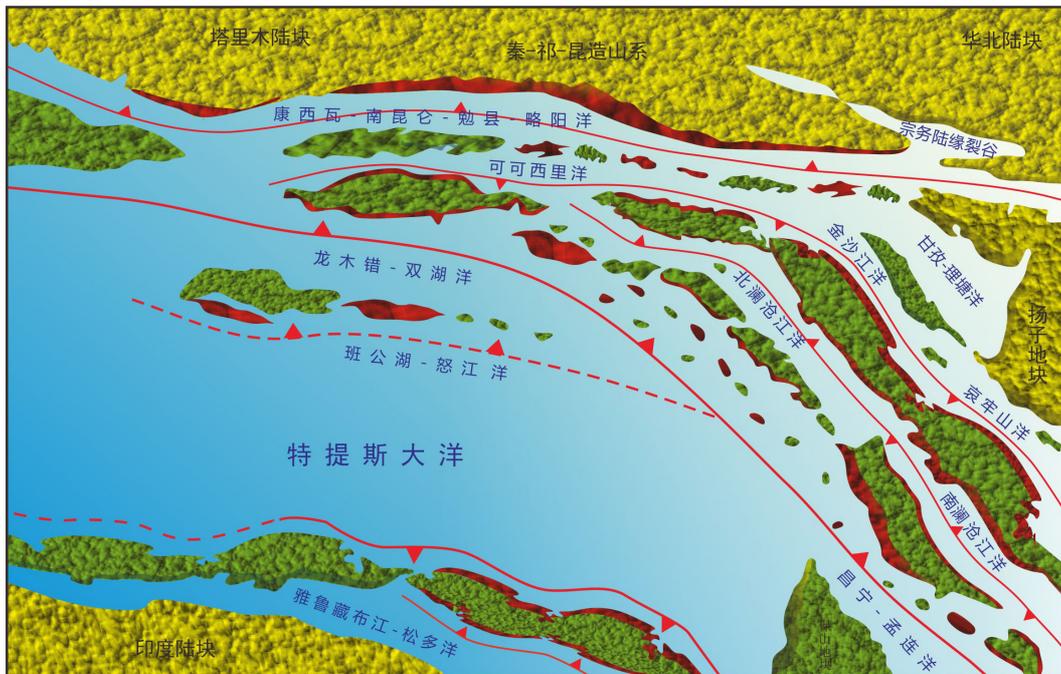


图5 晚古生代(二叠纪)特提斯洋及羌塘-三江多岛弧盆系构造格局略图(图例同上)

Fig. 5 Tectonic framework of the Tethyan ocean and archipelagic arc-basin system from Qiangtang to Sanjiang area during the Late paleozoic

5.2.3 新特提斯洋俯冲消亡阶段

中生代特提斯演化并不是古特提斯造山作用之后的重新开始,而是承接于古-新特提斯洋陆岩石圈构造体制转换过程中的古特提斯洋、新特提斯洋和大陆边缘弧盆系构造格局的共存发展(图6)。新特提斯阶段构造演化的地质遗迹主要保存在班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连对接带以南的青藏高原南部冈底斯-喜马拉雅广大地区,受特提斯大洋南向俯冲消减作用的制约,主体表现为冈瓦纳大陆北部边缘冈底斯-喜马拉雅演化过程,涵盖了中生代—早新生代多个岛弧、弧后海底扩张与弧后

盆地萎缩、俯冲消亡及其弧弧、弧陆碰撞的地质历史(潘桂棠等,1997,2003,2012,2013,2015;李文昌等,2010)。早新生代冈底斯-喜马拉雅多岛弧盆系构造转化为造山系,形成拉达克-冈底斯-察隅弧盆系、保山地块、印度河-雅鲁藏布江结合带、喜马拉雅地块、缅甸弧盆系等次级构造单元,从北向南区域上白垩统(阿布山组、竟柱山组碎屑岩)和古近系(林子宗群火山岩)广泛不整合,标志着新特提斯洋消亡转化为大陆岩石圈演化体制,青藏高原及邻区各陆块、造山系、地块全面拼合,进入欧亚大陆汇聚造山过程。

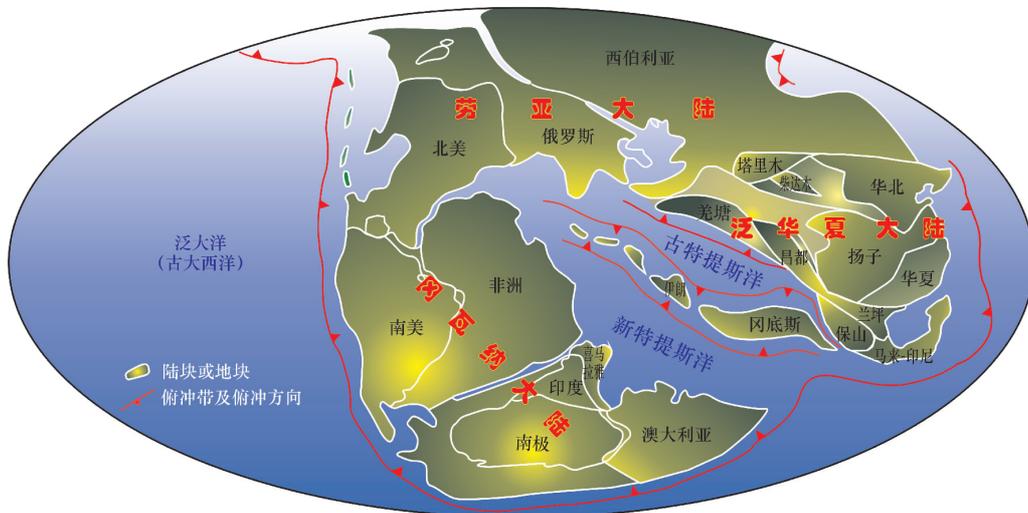


图6 全球早中生代(晚三叠世)洋-陆格局示意图(据 Scotese,2006 修改)

Fig. 6 Sketch of global ocean-continent framework during the Early Mesozoic (modified from Scotese, 2006)

6 结语

从全球特提斯洋陆分布时空格局及其演变过程不难看出,特提斯大洋的开启承接于罗迪尼亚超大陆的解体,从新元古代晚期到中生代末,经历了由发生、发展到萎缩、消亡的长期连续的复杂演化过程;古特提斯是原特提斯的继承和发展,新特提斯也不是古特提斯洋消亡后重新打开,有部分特提斯洋壳可被随后的印度洋归并。以青藏高原为主体的东特提斯不同洋陆构造转换阶段的实质是大陆边缘一系列弧后盆地俯冲消亡、弧弧或弧陆碰撞的多岛弧造山作用实现大陆边缘增生,承接于罗迪尼亚超大陆解体的特提斯洋连续演化及其大陆边缘增生-碰撞造山过程,应是全球特提斯演化的主旋律。

致谢:本文是中国地质调查局成都地质调查中心承担的“东特提斯成矿带大型资源基地调查”工程及其所属二级项目“西南三江有色金属资源基地调查”和“冈底斯-喜马拉雅铜矿资源基地调查地质调查”项目3年集体劳动的成果,在工程及项目的实施和论文的撰写过程中得到了潘桂棠研究员、张作衡研究员、张智勇教授级高工、王国芝教授、李才教授、朱利东教授的学术指导和大力帮助,审稿专家及编辑部提出了建设性的意见,在此一并致谢。

1996年开始,我有幸参加国土资源部“九五”科技攻关项目“西南‘三江’中段重要成矿带地质构造演化与黄金、有色多金属成矿规律和远景预测研究”,跟随潘桂棠老师学习、工作与生活,入门青藏高原及西南“三江”地质,此后一直在他亲身教导和培养下,长期从事青藏高原区域构造与成矿方面的调查研究工作,使我在学识和思想上都得到了很大

提高,心里总是充满了对潘老师的崇敬和感激之情。在庆贺潘老师八十华诞之际,谨以此文表达我与我的同辈们对潘老师的崇高敬意和深情感谢!衷心祝愿潘老师健康长寿!

参考文献 (References):

- Ames L, Tilton G R, Zhou G Z, 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites[J]. *Geology*, 21(4): 339-342.
- Bullard E, Everett J E, Smith A G, 1965. The fit of the continents around the Atlantic[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 258(1088): 41-51.
- Cheng H, Liu Y M, Vervoort J D, et al., 2015. Combined U-Pb, Lu-Hf, Sm-Nd and Ar-Ar Multichronometric Dating on the Bailang Eclogite Constrains the Closure Timing of the Paleo-Tethys Ocean in the Lhasa Terrane, Tibet [J]. *Gondwana Research*, 28(4): 1482-1499.
- Cheng H, Zhang C, Vervoort J D, et al., 2012. Zircon U-Pb and garnet Lu-Hf geochronology of eclogites from the Lhasa Block, Tibet [J]. *Lithos*, 155: 341-359.
- Dewey J F, Pitman III W C, Ryan W B F, et al., 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine system [J]. *GSA Bulletin*, 84(10): 3137-3180.
- Dewey J F, Shackleton R M, Chang C F, et al., 1988. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 327(1594): 379-413.
- Fu Y Z, Peng Z M, Wang B D, et al., 2021. Petrology and metamorphism of glaucophane eclogites in Changning - Menglian suture zone, Bangbing area, southeast Tibetan Plateau: A evidence for Paleo - Tethyan subduction, *China Geology*, 4: 111-126. doi: 10.31035/cg2021017.
- Gou Z B, Wang B D, Wang D B, et al., 2021. High pressure garnet amphibolites in ophiolitic mélangé from the Changning - Menglian suture zone, southeast Tibetan Plateau: P - T - t path and tectonic implication, *China Geology*, 4: 95 - 110. doi: 10.31035/cg2021010.
- Hou Z Q, Cook N J, 2009. Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue [J]. *Ore Geology Reviews*, 36(1-3): 2-24.
- Hou Z Q, Duan L F, Lu Y J, et al., 2015. Lithospheric architecture of the Lhasa Terrane and its control on ore deposits in the Himalayan-Tibetan orogen [J]. *Economic Geology*, 110(6): 1541-1575.
- Hsü K J, Pan G T, Sengör A M C, 1995. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau: a working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis [J]. *International Geology Review*, 37(6): 473-508.
- 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 [J]. *Gondwana Research*, 24(2): 648-663.
- Metcalfe I, 1994. Late palaeozoic and mesozoic palaeogeography of eastern Pangea and Tethys [M]//Embry A F, Beauchamp B, Glass D J. *Pangea: Global Environments and Resources*. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir.
- Metcalfe I, 1996. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43(6): 605-623.
- Metcalfe I, 1998. Palaeozoic and Mesozoic geological evolution of the SE Asian region: multidisciplinary constraints and implications for biogeography [M]//Hall R, Holloway J D. *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia*. Leiden: Backhuys. 25-41.
- 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 [J]. *Gondwana Research*, 28(2): 757-768.
- Qin J H, Din J, Zhang D X, et al., 2012. Tectonic settings of porphyry Cu-Mo-Au deposits in the Himalayan-Tibetan orogen, East Tethys [J]. *International Geology Review*, 54(3): 302-312.
- Rogers J J W, 1996. A history of continents in the past three billion years [J]. *The Journal of Geology*, 104(1): 91-107.
- Scotese C R, 2001. *Atlas of Earth History* [M]. Arlington, Texas: Paleomap Project.
- Scotese C R, 2006. *Plate Tectonic Maps and Continental Drift Animations* [M]. Arlington, Texas: Paleomap Project.
- Sengör A M C, 1979. Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications [J]. *Nature*, 279(5714): 590-593.
- Sengör A M C, Hsü K J, 1984. The Cimmerides of eastern Asia: history of the eastern end of Palaeo-Tethys [J]. *Memoires Societe Geologique France*, 147: 139-167.
- Smith A G, 1971. Alpine deformation and the oceanic areas of the Tethys, Mediterranean, and Atlantic [J]. *GSA Bulletin*, 82(8): 2039-2070.
- Stampfli G M, Borel G D, 2004. The TRANSMED transects in space and time: constraints on the paleotectonic evolution of the Mediterranean domain [M]//Cavazza W, Roure F, Spakman W, et al. *The TRANSMED atlas. The Mediterranean Region from Crust to Mantle*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Stampfli G M, Hochard C, Vèrard C, et al., 2013. The formation of Pangea [J]. *Tectonophysics*, 593: 1-19.
- Stöcklin J, 1974. Possible ancient continental margins in Iran [M]//Burk C A, Drake C L. *The Geology of Continental Margins*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Stöcklin J, 1989. Tethys evolution in the Afghanistan-Pamir-Pakistan region [M]//Sengör A M C. *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Dordrecht: Springer. 241-264.
- Wang B, Xie C M, Fan J J, et al., 2019. Genesis and tectonic setting of Middle Permian OIB-type mafic rocks in the Sumdo area, southern Lhasa terrane [J]. *Lithos*, 324-325: 429-438.

- Wegener A, 1912. Die entstehung der kontinente [J]. *Geologische Rundschau*, 3(4): 276–292.
- Weller O M, St-Onge M R, Rayner N, et al., 2016. U-Pb zircon geochronology and phase equilibria modelling of a mafic eclogite from the Sumdo complex of south-east Tibet: Insights into prograde zircon growth and the assembly of the Tibetan plateau[J]. *Lithos*, 262: 729–741.
- 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 metagneous rocks, SW Yunnan [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 106(5): 1469–1486.
- Yang J S, Xu Z Q, Li Z L, et al., 2009. Discovery of an eclogite belt in the Lhasa block, Tibet: a new border for Paleo-Tethys? [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(1): 76–89.
- Zhang K J, Tang X C, 2009. Eclogites in the interior of the Tibetan Plateau and their geodynamic implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 54(15): 2556–2567.
- Zhang Y X, Jin X, Zhang K J, et al., 2018. Newly discovered Late Triassic Baqing eclogite in central Tibet indicates an anticlockwise West-East Qiangtang collision[J]. *Scientific Reports*, 8(1): 966.
- 常承法, 1992. 特提斯及青藏碰撞造山带的演化特点[M]//常承法, 徐贵忠. 大陆岩石圈构造与资源. 北京: 海洋出版社.
- 陈松永, 2010. 西藏拉萨地块中古特提斯缝合带的厘定[D]. 北京: 中国地质科学院.
- 陈松永, 杨经绥, 徐向珍, 等, 2008. 西藏拉萨地块松多榴辉岩的锆石 Lu/Hf 同位素研究及 LA-ICPMS U-Pb 定年[J]. *岩石学报*, 24(7): 1528–1538.
- 陈炜, 马昌前, 边秋娟, 等, 2009. 西藏得明顶地区叶巴组火山岩地球化学特征和同位素 U-Pb 年龄证据[J]. *地质科技情报*, 28(3): 31–40.
- 陈政宇, 2019. 昌宁-孟连带澜沧群时代厘定[D]. 昆明: 昆明理工大学.
- 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[J]. *中国科学(B辑)*, 23(11): 1201–1207.
- 邓军, 李文昌, 莫宣学, 等, 2016. 三江特提斯复合造山与成矿作用[M]. 北京: 科学出版社.
- 邓军, 王长明, 李龚健, 等, 2019. 复合成矿系统理论: 揭开西南特提斯成矿之谜的关键[J]. *岩石学报*, 35(5): 1303–1323.
- 丁枫, 郎兴海, 胡正华, 等, 2012. 西藏雄村铜金矿 I 号矿体赋矿凝灰岩成因探讨: 来自岩石地球化学、Sr-Nd-Pb 同位素地球化学特征的证据[J]. *地球学报*, 33(4): 546–558.
- 董宇超, 解超明, 范建军, 等, 2019. 西藏松多地区榴辉岩的原岩属性探讨及其地质意义[J]. *地球科学*, 44(7): 2234–2248.
- 范承均, 1982. 滇西区域地质特征[J]. *云南地质*, 1(4): 323–336.
- 方宗杰, 王玉净, 周志澄, 2000. 滇西昌宁—孟连带两个地层问题——兼论昌宁—孟连带的闭合造山过程[J]. *地层学杂志*, 24(3): 182–189.
- 冯本智, 卢民杰, 1982. 滇西惠民前寒武纪铁矿床的形成条件[J]. *长春地质学院学报*, (2): 11–30.
- 冯庆来, 叶玫, 章正军, 1997. 滇西早石炭世放射虫化石[J]. *微体古生物学报*, 14(1): 79–92.
- 韩文文, 彭智敏, 张辑, 等, 2020. 滇西澜沧岩群钠长浅粒岩锆石 U-Pb 测年、Hf 同位素组成及构造意义[J]. *地质学报*, 94(4): 1282–1294.
- 韩湘涛, 1997. 西藏冈底斯—念青唐古拉造山带南缘构造地层概要[J]. *西藏地质*, (2): 9–23.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等, 2006. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(6): 629–651.
- 侯增谦, 王二七, 莫宣学, 等, 2008. 青藏高原碰撞造山与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.
- 黄汲清, 陈炳蔚, 1987. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等, 1992. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社.
- 解超明, 李才, 李光明, 等, 2020. 西藏松多古特提斯洋研究进展与存在问题[J]. *沉积与特提斯地质*, 40(2): 1–13.
- 解超明, 宋宇航, 王明, 等, 2019. 冈底斯中部松多岩组形成时代及物源: 来自碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. *地球科学*, 44(7): 2224–2236.
- 康志强, 付文春, 田光昊, 等, 2015. 西藏桑日县地区中生代火山岩地层层序——基于锆石 U-Pb 年龄及地球化学数据[J]. *地质通报*, 34(2–3): 318–327.
- 郎兴海, 郭文铂, 王旭辉, 等, 2019. 西藏雄村矿集区含矿斑岩成因及构造意义: 来自年代学及地球化学的约束[J]. *岩石学报*, 35(7): 2105–2123.
- 李灿锋, 2018. 滇西澜沧惠民地区惠民组岩石地球化学特征及构造环境[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 李光明, 张林奎, 吴建阳, 等, 2020. 青藏高原原南部洋板块地质重建及科学意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 40(1): 1–14.
- 李化启, 许志琴, 杨经绥, 等, 2011. 拉萨地体内松多榴辉岩的同碰撞折返: 来自构造变形和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学的证据[J]. *地学前缘*, 18(3): 66–78.
- 李静, 孙载波, 徐桂香, 等, 2015. 滇西双江县勐库地区榴闪岩的发现与厘定[J]. *矿物学报*, 35(4): 421–424.
- 李三忠, 赵淑娟, 李玺瑶, 等, 2016. 东亚原特提斯洋(1): 南北边界和俯冲极性[J]. *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[M]. 北京: 地质出版社.
- 李兴振, 刘增乾, 潘桂棠, 等, 1991. 西南三江地区构造单元划分及地史演化[J]. *中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊*, 13: 1–19.
- 李兴振, 潘桂棠, 罗建宁, 1990. 论三江地区冈瓦纳和劳亚大陆的分界[C]//青藏高原地质文集(20)——“三江”论文专辑. 北京: 中国地质学会. 217–233.
- 李兴振, 许效松, 潘桂棠, 1995. 泛华夏大陆群与东特提斯构造域演化[J]. *岩相古地理*, 15(4): 1–13.
- 刘本培, 方念乔, 冯庆来, 1991. 滇西古特提斯多岛洋构造古地理格局[M]//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——学术讨论会文集. 成都: 电子科技大学出版社.
- 刘本培, 冯庆来, 方念乔, 等, 1993. 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——中国地质大学学报, 18(5): 529-539.
- 刘鸿飞, 刘焰, 2009. 旁那石榴蓝闪片岩特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 28(3): 199-214.
- 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等, 1993. 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.
- 陆松年, 2004. 初论“泛华夏造山作用”与加里东和泛非造山作用的对比[J]. 地质通报, 23(9-10): 952-958.
- 罗波, 谢建, 2016. 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, (20): 58-59.
- 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[J]. 岩石学报, 28(5): 1517-1528.
- 莫宣学, 2020. 从岩浆岩看青藏高原地壳的生长演化[J]. 地球科学, 45(7): 2245-2257.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等, 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 11(3): 281-290.
- 莫宣学, 路风香, 沈上越, 等, 1993. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等, 1997. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等, 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521-533.
- 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 等, 2012. 多岛弧盆系构造模式: 认识大陆地质的关键[J]. 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)[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 王立全, 耿全如, 等, 2020. 班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连对接带时空结构——特提斯大洋地质及演化问题[J]. 沉积与特提斯地质, 40(03): 1-19.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 尹福光, 等, 2015. 中国大地构造图(1:2500000)[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 徐强, 侯增谦, 等, 2003. 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.
- 潘裕生, 方爱民, 2010. 中国青藏高原特提斯的形成与演化[J]. 地质科学, 45(1): 92-101.
- 潘裕生, 孔祥儒, 1998. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学[M]. 广州: 广东科技出版社.
- 彭智敏, 王国芝, 王保弟, 等, 2019. 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, 46(5): 639-640.
- 彭智敏, 张辑, 关俊雷, 等, 2018. 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, 43(8): 2571-2585.
- 任纪舜, 肖黎薇, 2004. 1:25万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱[J]. 地质通报, 23(1): 1-11.
- 汝珊珊, 李峰, 吴静, 等, 2012. 云南大平掌铜多金属矿区花岗闪长斑岩地球化学特征及年代学研究[J]. 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[J]. 矿物岩石, 28(4): 59-63.
- 孙载波, 曾文涛, 周坤, 等, 2017a. 昌宁-孟连结合带奥陶纪洋玄武岩的识别及其构造意义——来自地球化学和锆石U-Pb年龄的证据[J]. 地质通报, 36(10): 1760-1771.
- 孙载波, 胡绍斌, 周坤, 等, 2018b. 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, 37(11): 2044-2054.
- 孙载波, 胡绍斌, 周坤, 等, 2019. 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, 38(7): 1105-1115.
- 孙载波, 李静, 周坤, 等, 2017b. 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[J]. 现代地质, 31(4): 746-756.
- 孙载波, 李静, 周坤, 等, 2018a. 滇西勐库地区退变质榴辉岩锆石U-Pb年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 37(11): 2032-2043.
- 王保弟, 王立全, 潘桂棠, 等, 2013. 昌宁-孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义[J]. 科学通报, 58(4): 344-354.
- 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[J]. 地球科学, 43(8): 2527-2550.
- 王斌, 2019. 西藏松多地区蛇绿岩的识别及构造意义[D]. 长春: 吉林大学.
- 王斌, 解超明, 李才, 等, 2017. 青藏高原松多地区温木朗蛇绿岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 36(11): 2076-2081.
- 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[J]. 岩石学报, 32(8): 2317-2329.
- 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[J]. 岩石学报, 33(9): 2975-2985.
- 王鸿祯, 楚旭春, 刘本培, 等, 1985. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社.
- 王鸿祯, 杨森楠, 刘本培, 等, 1990. 中国及邻区构造古地理和生物古地理[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 王立全, 李定谋, 潘桂棠, 等, 2015. 青藏高原地区矿产分布与成矿地质背景图及说明书(1:1500000)[M]. 成都: 成都地图出版社.
- 王立全, 潘桂棠, 丁俊, 等, 2013. 青藏高原及邻区地质图及说明书 1:1 500 000[M]. 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[J]. 地质通报, 27(12): 2045-2056.
- 魏友卿, 2014. 藏南叶巴组火山岩的年代学、地球化学及岩石成因[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 吴根耀, 矢野孝雄, 2007. 东亚大陆边缘的构造格架及其中-新生代演化[J]. 地质通报, 26(7): 787-800.
- 吴喆, 王保弟, 王冬兵, 等, 2020. 昌宁-孟连缝合带南汀河早古生代埃达克岩锆石U-Pb年龄及其地质意义[J]. 地球科学, 45(8): 3003-3013.
- 肖序常, 李廷栋, 2000. 青藏高原的构造演化与隆升机制[M]. 广州: 广东科技出版社.
- 谢永泉, 1994. 华夏古陆与“华夏植物区系”在地球上不断“长

- 大”——三论华夏古陆与“华夏植物区系”[J]. 植物研究, 14(1): 88-93.
- 邢晓婉, 2016. 滇西南早古生代构造属性: 岩浆与沉积作用限定[D]. 广州: 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所).
- 徐向珍, 杨经绥, 李天福, 等, 2007. 青藏高原拉萨地块松多榴辉岩的锆石 SHRIMP U-Pb年龄及锆石中的包裹体[J]. 地质通报, 26(10): 1340-1355.
- 徐云飞, 丛峰, 刘军平, 等, 2018. 滇西澜沧岩群碎屑锆石U-Pb定年及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 38(2): 103-112.
- 许东, 尹光候, 2010. 滇西惠民式铁矿找矿模型及预测[J]. 地质与勘探, 46(5): 765-778.
- 许靖华, 孙枢, 王清晨, 1998. 中国大地构造相图(1:4000000)[M]. 北京: 科学出版社.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等, 2006. 青藏高原与大陆动力学——地体拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力[J]. 中国地质, 33(2): 221-238.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等, 2007. 造山的高原——青藏高原的地体拼合、碰撞造山及隆升机制[M]. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 杨经绥, 李化启, 等, 2012. 中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制[J]. 岩石学报, 28(6): 1697-1709.
- 杨经绥, 许志琴, 耿全如, 等, 2006. 中国境内可能存在一条新的高压/超高压(?)变质带——青藏高原拉萨地体中发现榴辉岩带[J]. 地质学报, 80(12): 1787-1792.
- 杨经绥, 许志琴, 李天福, 等, 2007. 青藏高原拉萨地块中的大洋俯冲型榴辉岩: 古特提斯洋盆的残留[J]. 地质通报, 26(10): 1277-1287.
- 杨经绥, 许志琴, 张建新, 等, 2009. 中国主要高压-超高压变质带的大地构造背景及俯冲/折返机制的探讨[J]. 岩石学报, 25(7): 1529-1560.
- 云南省地质矿产局, 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 云南省地质矿产局, 1996. 云南省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 翟明国, 1990. 滇西造山带前中生代变质岩的原岩建造及同位素年代学[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所.
- 张旗, 周德进, 赵大升, 等, 1996. 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, 12(1): 17-28.
- 张泽国, 曾庆高, 邓科, 等, 2020. 西藏冈底斯南缘普夏洋岛的识别及其意义[J]. 沉积与特提斯地质, 40(2): 129-140.
- 张泽明, 丁慧霞, 董昕, 等, 2018. 冈底斯弧的岩浆作用: 从新特提斯俯冲到印度-亚洲碰撞[J]. 地学前缘, 25(6): 78-91.
- 赵靖, 钟大贵, 王毅, 1994. 滇西澜沧变质带变质作用和变形作用的关系[J]. 岩石学报, 10(1): 27-40.
- 钟大贵, 1998. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社.
- 周维全, 林文信, 1982. 澜沧江变质带南段蓝闪石片岩特征[J]. 中国区域地质, (2): 76-85.

Major progresses of geological survey and research in East Tethys: An overview

WANG Li-quan, WANG Bao-di, LI Guang-ming, WANF Dong-bing, PENG Zhi-min
(Chengdu Center, China Geology Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The tectonic evolution of East Tethys, especially the tectonic evolution of Qinghai-Tibet Plateau, has been one of the most important scientific issues in the world. In order to understand the tectonic evolution history of Eastern Tethys and Qinghai-Tibet Plateau more comprehensively and deeply, this article focuses on summarizing the current progresses of regional geological survey (1:50 000) in recent years and giving an overview on previous achievements about Tethyan spatio-temporal evolution and evolutionary stages. A new point of view that the evolutionary processes were probably continuous from Proto-Tethys to Paleo-Tethys in the Changning-Lancang tectonic zone and from Paleo-Tethys to Neo-Tethys in the southern Gagdise tectonic zone has been put forward in the article. Furthermore, the spatio-temporal framework of archipelagic arc-basin system in continental margins and tectonic models have been constructed for the evolutionary processes of the Proto-Tethys, Paleo-Tethys and Neo-Tethys of Qinghai-Tibet Plateau and East Tethys tectonic domain have been established reasonably.

Key words: ophiolite; accretionary complex; high-pressure metamorphic rock; archipelagic arc-basin structure; tectonic evolution of Tethys