

龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带:冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线

王保弟^{1,2,3}, 王立全^{2,3}, 周道卿¹, 王冬兵^{2,3}, 于云鹏¹, 闫国川^{2,4}, 吴喆^{2,4}
WANG Baodi^{1,2,3}, WANG Liquan^{2,3}, ZHOU Daoqing¹, WANG Dongbing^{2,3}, YU Yunpeng¹,
YAN Guochuan^{2,4}, WU Zhe^{2,4}

1. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083;
2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081;
3. 中国地质调查局青藏高原地质研究中心, 四川 成都 610081;
4. 中国地质科学院研究生院, 北京 100037

1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China;
2. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;
3. Research Center for Tibetan Plateau Geology, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;
4. Graduate School of Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

摘要:冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线目前还没有形成统一的认识,在一定程度上制约了对青藏高原及三江造山带构造格局、特提斯演化等方面的深刻认识。根据新的地质调查资料与研究成果,在梳理有关冈瓦纳大陆与泛华夏大陆界线不同观点的基础上,系统总结了龙木错-双湖结合带与昌宁-孟连结合带不同时期蛇绿混杂岩的地质特征、发育时限及其构造环境,二者洋盆经历了相似的洋盆扩张、俯冲消减及弧-弧(陆)碰撞造山过程,发生深俯冲及折返的时间也基本相当,一致表明二者在构造属性上具有亲缘性,认为龙木错-双湖-昌宁-孟连特提斯洋共同构成了原-古特提斯大洋最终消亡后的残迹。南、北羌塘地块基底具有不同的航磁异常,指示龙木错-双湖特提斯洋两侧陆块演化过程不同。以龙木错-双湖-昌宁-孟连特提斯洋为界,南北分别为冈瓦纳大陆北缘中生代冈底斯-喜马拉雅造山系和泛华夏大陆南缘晚古生代羌塘-三江造山系,两大造山系经历了不同的构造演化过程。结合生物区系、地球物理等其他区域资料,认为龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带是青藏高原上冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线。

关键词:龙木错-双湖结合带;昌宁-孟连结合带;特提斯洋;高压-超高压变质带;冈瓦纳大陆;泛华夏大陆

中图分类号:P542 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)11-1783-16

Wang B D, Wang L Q, Zhou D Q, Wang D B, Yu Y P, Yan G C, Wu Z. Longmu Co-Shuanghu-Changning-Menglian suture zone: The boundary between Gondwanaland and Pan-Cathaysia mainland in the Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(11): 1783-1798

Abstract: The boundary between Gondwanaland and Pan-Cathaysia mainland has not yet come to a consensus, which restricts the understanding of the tectonic patterns of Tibetan Plateau and Sanjiang Orogenic Belt, and the evolution of the Tethys Ocean. On the basis of sorting out different viewpoints, combined with new geological survey data and research results, the geological characteristics, development time limit and tectonic setting of ophiolitic mélangé in different periods in the Longmu Co-Shuanghu suture zone and

收稿日期:2021-09-05;修订日期:2021-09-21

资助项目:国家自然科学基金项目《羌塘中部泥盆纪-石炭纪岩浆作用对古特提斯洋构造演化的制约》(批准号:41773026)和第二次青藏高原综合科学考察研究项目《典型地区岩石圈组成、演化与深部过程》(编号:2019QZKK0702)

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

Changning-Menglian suture zone were systematically summarized. The Longmu Co-Shuanghu and Changning-Menglian ocean basins have experienced similar processes of ocean basin expansion, subduction and arc-arc (continent) collision orogeny, and basically have the same deep subduction and orogenic time, indicating that they have affinity in tectonic attributes. It is believed that Longmu Co-Shuanghu-Changning-Menglian Tethys oceans together constitute the remnants of the Proto-Paleo Tethys Ocean after its final extinction. The basement of the south and north Qiangtang blocks have different aeromagnetic anomalies on both sides of the Longmu Co-Shuanghu Tethys Ocean, indicating that the evolution process of the blocks is different. Bounded by the Longmu Co-Shuanghu-Changning-Menglian Tethys oceans, the south block is Mesozoic Gangdese-Himalayan orogenic system on the northern margin of Gondwanaland, and the north block is Late Paleozoic Qiangtang-Sanjiang orogenic system on the southern margin of Pan-Cathaysia mainland. The two orogenic systems have undergone different tectonic evolution processes. Combined with other regional data such as biota and geophysics, it is suggested that the Longmu Co-Shuanghu-Changning-Menglian suture zone is the boundary between Gondwanaland and Pan-Cathaysia mainland in the Tibetan Plateau.

Key words: Longmu Co-Shuanghu suture zone; Changning-Menglian suture zone; Tethys; high pressure-ultrahigh pressure metamorphic belt; Gondwanaland; Pan-Cathaysia mainland

国内外地质学者一致认为,青藏高原的巨厚地壳是由冈瓦纳大陆北缘和泛华夏大陆南部边缘分裂块体共同构成的,因而正确认识冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线,对深刻认识青藏高原及三江特提斯造山带构造格局、显生宙特提斯演化和古地理重建具有重要意义。但是,迄今对冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线还没有形成统一认识,在一定程度上制约了青藏高原构造演化等方面的深入理解。印度河-雅鲁藏布江结合带^[1]、西金乌兰-金沙江结合带^[2-4]、澜沧江结合带^[5-12]、班公湖-怒江结合带^[6-24]、昌宁-孟连结合带^[25-27]在不同时期都曾被认为是冈瓦纳与泛华夏大陆两大陆块的界线或是古特提斯洋演化的记录。经过几十年的研究,印度河-雅鲁藏布江结合带的构造意义已趋明确,已经不适合作为冈瓦纳与泛华夏大陆古特提斯洋的界线^[6-8],其他几条结合带仍有不同的研究者提供不同的证据佐证,形成统一的认识还需要深入的研究及确凿的证据。

21世纪以来,在青藏高原开展的全域1:25万及重要成矿带、关键地质问题区1:5万区域地质调查与科学研究工作,获取了大量区域地质、地球化学、地球物理资料,给重新认识冈瓦纳大陆与欧亚-泛华夏大陆的界线问题带来了新的契机。本文在梳理有关冈瓦纳大陆与泛华夏大陆界线不同观点的基础上,系统总结了龙木错-双湖结合带与昌宁-孟连结合带中不同时期蛇绿混杂岩的地质特征、发育时限及其构造环境,结合榴辉岩带、航空重磁等其他地质资料,提供龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带作为冈瓦纳大陆与泛华夏大陆界线的依据。

1 冈瓦纳大陆与泛华夏大陆界线的主要观点

对冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线(也称冈瓦纳大陆的北界),中外地质学者进行过大量研究,不同的研究者从不同角度进行研究,观点较多,争论也较激烈。总结不同学派的观点,主要有4种不同认识。

1.1 金沙江-哀牢山结合带

黄汲清等^[3-4]通过对整个特提斯-喜马拉雅构造域的分析,依据金沙江结合带晚古生代蛇绿岩、地幔型花岗闪长岩、火山岛弧等信息,首次将金沙江结合带作为冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线。饶荣标^[28]通过对特提斯-喜马拉雅构造域地层古生物、古气候、岩石构造组合、岩石化学、航磁及古地磁等方面的综合对比分析,明确提出金沙江构造带是冈瓦纳古大陆的北界。钱定宇等^[2]从西藏石炭纪-二叠纪生物群研究出发,依据古特提斯内地块的冰期生物群的属性(亲冈瓦纳或亲华夏),提出喀喇昆仑-龙木错-冈玛错-金沙江一线可视为冰期时冈瓦纳特提斯与劳亚特提斯的一条生物-岩相分界线过渡带,带中的一条分界线代表冈瓦纳的北界,且它是随着时间推移而向南退缩。梁定益等^[29]在研究早二叠世冈瓦纳北缘的构造古地理和杂砾岩成因时,也将金沙江结合带作为冈瓦纳大陆的北界。由此看,在20世纪90年代初期以前,金沙江结合带作为冈瓦纳大陆北界的认识代表了当时地学界的主流思想。

1.2 北-南澜沧江结合带

李才^[5]于1987年首次提出龙木错-双湖-澜沧

江板块结合带是晚古生代冈瓦纳北界的观点,后续有研究者根据动物群面貌的分布特点,认为龙木错-冈玛错-双湖-澜沧江结合带是冈瓦纳大陆北界^[30-31]。之后又有研究者从冰海杂砾岩、动物区系,以及蛇绿岩和由蓝片岩所代表的高压低温变质带等方面提供了证据^[7,32],论证澜沧江结合带是冈瓦纳的大陆北界。黄志勋等^[33]从地层学和古生物学角度出发,认为羌塘地块是从冈瓦纳大陆分裂出来的微陆块,其大陆边缘代表了冈瓦纳大陆的北界,分界线在霍尔巴错-西亚尔岗地壳对接带。李才等^[10]通过对北澜沧江带两侧的基底岩系、古生代沉积建造、地层古生物、火山岩浆弧、变质岩、变质作用、高压变质带、吉塘岩群、西西群、构造运动分期等资料的详细剖析,并与邻区进行对比,得出北澜沧江带是藏东地区冈瓦纳板块与扬子板块界线的倾向性认识。这些研究者认为,冈瓦纳大陆北界不越过龙木错-双湖-昌宁-澜沧江一线。

1.3 班公湖-怒江结合带

王鸿祯^[34]最早提出,以班公湖-怒江结合带作为冈瓦纳大陆与劳亚-泛华夏大陆的分界线,并把冈底斯地块(拉萨地块)作为基墨里大陆的一部分。后来一些学者^[3-4]认为,石炭纪-二叠纪或早二叠世的特提斯为泛大陆东侧楔形大洋或泛大洋的一个巨大海湾,北侧为现欧亚大陆南缘的印支、扬子、华南、华北等地块,南侧为现伊朗、阿富汗中部、中国西藏、云南西部及东南亚西部等地,即著名的“基墨里大陆”。因此,基墨里大陆的北界就是冈瓦纳大陆的北界,这与冈瓦纳大陆的北界是班公湖-丁青-怒江结合带的认识一致。

20 世纪末以来,众多研究者根据龙木错-双湖结合带、南羌塘地块(增生弧盆系)、班公湖-怒江结合带等构造单元内洋脊型蛇绿岩-蛇绿混杂岩和洋内弧-洋岛-海山增生楔混杂岩的地质条件、同位素年代学数据、地球化学特征及其深海放射虫硅质岩等地质资料的综合分析,推论这三者共同构成了青藏高原特提斯大洋最终消亡的巨型结合带(或特提斯对接带),构筑了冈瓦纳大陆与欧亚大陆的分界线^[18,20-24,35]。有研究者又提供了对接带南北两侧基底、盖层、多岛弧盆系的时空结构、碰撞造山事件的时空特征、石炭纪-二叠纪冰川事件、冷水和暖水动物群的时空分布等方面的差异^[18,20-24,35],这些证据都支持班公湖-双湖-怒江结合带很可能代表了

冈瓦纳大陆的北界。

1.4 昌宁-孟连结合带

1987 年起,刘本培等^[25]在滇西开展造山带综合地层学和构造古地理研究,根据昌宁-孟连带保存的多种缝合线残迹和早泥盆世-中三叠世连续深海沉积记录,提出昌宁-孟连洋盆代表了古特提斯主支洋盆及滇西古特提斯是一个具相当规模的多岛洋格局的认识,认为昌宁-孟连结合带是冈瓦纳大陆的北界。在后续的工作中,刘本培及其团队又提供了地层学、古生物学、低温高压变质带、古地磁等方面的证据,并认为昌宁-孟连带应该延伸到羌塘中部地区,与龙木错-双湖结合带相连。另有研究者通过对碧土一带蛇绿混杂岩^[26]、亚速尔型洋岛玄武岩^[27]及瓦浦组火山岩^[36]的研究,提出碧土缝合线南延滇西的昌宁-孟连缝合线,西北延则接藏北的龙木错-双湖缝合线,代表消失了的古特提斯主支洋盆。近年新的研究进展,发现龙木错-双湖结合带不仅存在晚古生代蛇绿岩,也发育有早古生代洋盆的信息^[9,22,37-38],它们很可能形成于 N-MORB(正常型洋中脊玄武岩)的构造环境,二者很可能具有某种构造关联性。由此可见,昌宁-孟连结合带代表冈瓦纳大陆北界的认识得到了一定程度的认可,但仍缺少精确的年代学及地球化学方面的证据。

2 龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带两侧的两大造山系

潘桂棠等^[20,23,25]从全球特提斯洋陆分布时空格局及其演变过程出发,依据特提斯地质特征,将青藏高原及邻区的特提斯构造域重建为一个特提斯大洋、南北两个大陆边缘和三大多岛弧盆系(造山系)(图 1)。其中,青藏高原内部以中部的班公湖-双湖-怒江-昌宁对接带为界,划分为两大造山系:泛华夏大陆西南边缘晚古生代羌塘-三江造山系和冈瓦纳大陆北部边缘中生代冈底斯-喜马拉雅造山系,经历了不同的构造演化过程。

2.1 泛华夏大陆边缘羌塘-三江造山系

羌塘-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-双湖-怒江-昌宁对接带。从昆仑前锋弧和康滇陆缘弧裂离出的唐古拉-他念他翁残余弧,构成泛华夏大陆西南边缘的晚古生代前锋弧,夹持于该前锋

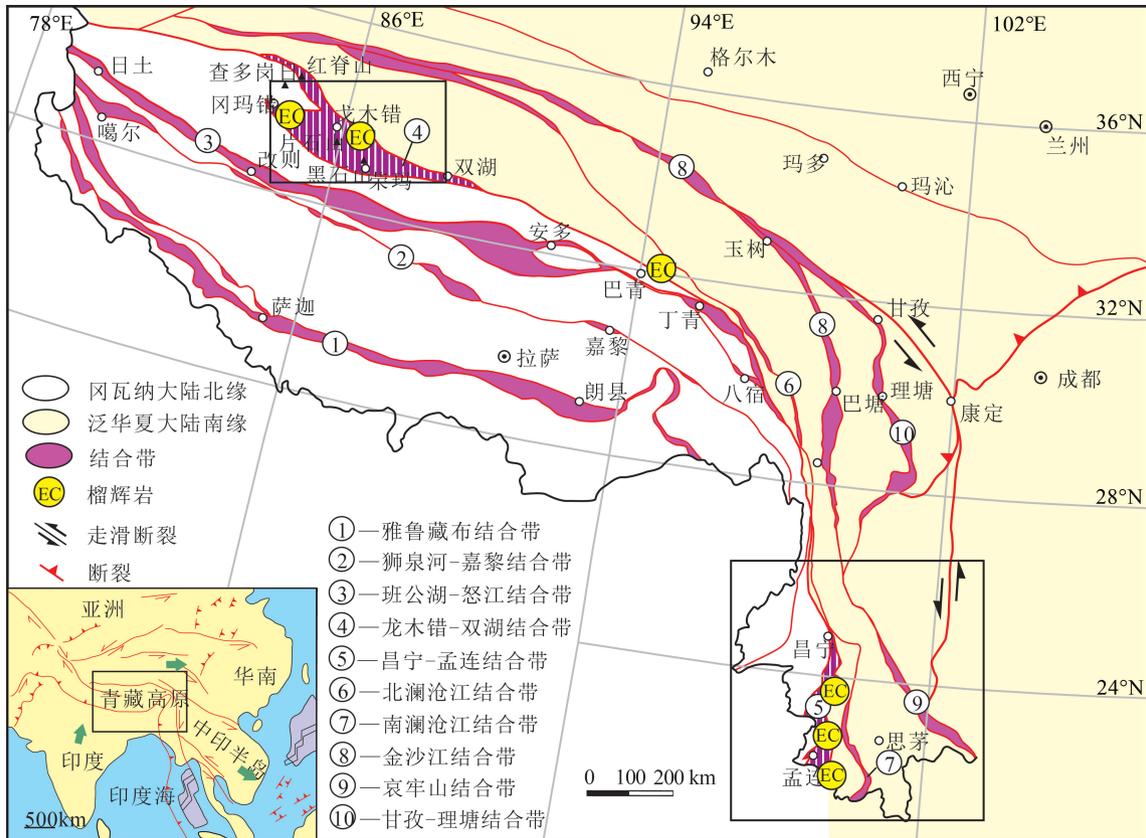


图1 青藏高原造山系及主要结合带分布简图(据参考文献[35]修改)

Fig. 1 Simplified geological map showing distribution of the main suture zones and the orogens in the Qinghai-Tibet Plateau

弧与昆仑前锋弧之间的玉龙塔格-巴颜喀拉前陆盆地、甘孜-理塘弧盆系、中咱-中甸地块、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、临沧-勐海地块等广大区域,经历了晚古生代—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。三叠纪的岛弧造山作用,最终完成泛华夏大陆的定型,并成为欧亚大陆的组成部分。碰撞之后,该区大部分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地壳伸展背景下的裂陷或裂谷盆地^[20, 23, 39-41]。

该造山系出露最老地层为元古宇,主要为结晶片岩、片麻岩、变粒岩、大理岩、绿片岩等,在扬子区青川—平武地区见震旦系不整合在下伏变质岩系之上,见冰水相砾岩。下古生界除扬子西部边缘和中咱—中甸地区发育较完整外,其余地区发育不全,主要为一套海相稳定—次稳定台地相碳酸盐岩

和碎屑岩组合。临沧-勐海岩浆弧发育奥陶纪—志留纪的岩浆记录^[42-46],代表的是昌宁-孟连原特提斯俯冲消减的产物,标志着临沧-勐海早古生代前锋弧的存在。晚古生代—早中生代的地质记录保留齐全,其中,北羌塘、喀喇昆仑及昌都陆块上保留有早古生代末期构造作用的遗迹——泥盆系与下伏地层间的角度不整合关系。而该造山系最主要的地质事件是经历了从晚泥盆世开始的裂解,石炭纪—早二叠世达到顶峰,出现了小洋盆与陆块间列的构造格局,早二叠世晚期开始洋盆转入俯冲消减,中二叠世—三叠纪多数陆块边缘发育陆缘弧、增生弧等^[47]。区域上,上三叠统广泛不整合于下伏地层之上,大部地区于晚三叠世—侏罗纪转化为陆地,主体为一套陆相—海陆交互相碎屑岩夹碳酸盐岩组合,局部地区发育中基性—中酸性火山岩。侏罗系主体分布在羌北—昌都区、兰坪区及羌南—左贡地区,为一套海相—海陆交互相碳酸盐岩和碎屑

岩组合;白垩系除羌塘地区西部发育海相沉积外,大部地区为一套陆相碎屑岩沉积。古近系一新近系主要在内陆盆地分布,但羌塘地区多分布新近系,西部有始新世海陆交互沉积。

2.2 冈瓦纳大陆北缘冈底斯-喜马拉雅造山系

位于班公湖-双湖-怒江-昌宁对接带以南的冈底斯-喜马拉雅造山系,主体是由冈瓦纳大陆北部边缘中生代多岛弧盆系转化形成的造山系。伯舒拉岭-高黎贡山属于冈瓦纳大陆北缘的晚古生代—中生代前缘弧,聂荣隆起、嘉玉桥变质地块等是前缘弧的残块,在前缘弧南侧发育的拉达克-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、缅甸弧盆系等晚古生代—中生代地质历史,包含了晚古生代—中生代冈底斯-喜马拉雅多岛弧盆系发育、弧后扩张、弧-弧碰撞、弧-陆碰撞的地质演化历史^[20, 23, 39-40, 48]。该区的三叠纪—白垩纪狮泉河-申扎-嘉黎蛇绿混杂岩、雅鲁藏布江蛇绿混杂岩等,是目前青藏高原乃至中国大陆内保存最好、最完整的蛇绿岩“三位一体”组合,代表了特提斯洋向南俯冲诱导出的一系列藕断丝连的中生代弧间及弧后扩张盆地^[49]。

该造山系出露最老地层为元古宇,分布于冈底斯-腾冲区和喜马拉雅区中,主体为一套中深变质的片麻岩、大理岩、石英岩、片岩等,含高压、超高压变质岩系,其上覆盖层主要为奥陶纪稳定型沉积盖层。古生界在区内广泛分布,古生物化石门类多、数量丰富;下古生界主要为一套较稳定的台型海相碳酸盐岩与碎屑岩沉积。上古生界在喜马拉雅区内主体为一套稳定-次稳定型的海相碎屑岩和碳酸盐岩组合,二叠系发育基性火山岩夹层和冰水杂砾岩;在冈底斯-腾冲区,主体为一套次稳定型-活动型的海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积,石炭系—二叠系发育基性-中性-中酸性火山岩。中生代地层亦较广泛分布,古生物化石非常丰富。喜马拉雅区内的中生代地层基本为连续沉积,主体为一套稳定型-次稳定型海相碎屑岩和碳酸盐岩组合,夹基性、中基性火山岩;冈底斯-腾冲区内的中生代地层发育不全,大部分地区缺失中、下三叠统和下侏罗统,区域上,表现为上三叠统或中—上侏罗统,尤其是上白垩统广泛不整合于下伏地层之上,主体为一套海相-海陆交互碎屑岩夹碳酸盐岩组合,发育大量的中酸性岛弧型火山岩及侵入岩浆活动。班公湖-

双湖-怒江-昌宁对接带以南、狮泉河-纳木错-嘉黎结合带以北的广大区域,上白垩统竟柱山组的区域性不整合,标志着残留古特提斯大洋及其南侧弧间洋盆的消亡、弧-陆或弧-弧碰撞造山。南冈底斯岛弧带区域性林子宗群(E_{1-2})的广泛不整合,标志着新特提斯雅鲁藏布江弧后洋盆的消亡、弧-陆碰撞造山作用的开始,青藏高原各陆块、地块全面拼合,进入欧亚大陆汇聚造山过程。古近系下部除在喜马拉雅区分布有滨浅海相的碎屑岩夹碳酸盐岩外,其余大部地区为一套内陆盆地陆相碎屑岩系,新生代亦发育大量的高钾钙碱性火山岩系。

3 龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带的蛇绿混杂岩

近年的地质调查与研究揭示,龙木错-双湖增生杂岩带、南羌塘地块、班公湖-怒江俯冲增生杂岩带和昌宁-孟连增生杂岩带共同构成原-古特提斯大洋最终消亡后的残迹,代表的是特提斯大洋岩石圈俯冲消减过程中产生的不同时代、不同构造环境、不同变质程度、不同变形样式的洋板块构造地层系统、增生混杂的构造-岩石组合体,被命名为班公湖-双湖-怒江-昌宁-孟连对接带^[20-21, 23, 35]。关于龙木错-双湖结合带与班公湖-怒江结合带的构造关系、南羌塘地块的构造属性等科学问题还存在较大的争议,本文暂不讨论。本文所称的龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带,仅包括羌塘中部的龙木错-双湖结合带和西南三江地区的昌宁-孟连结合带。

3.1 龙木错-双湖结合带

龙木错-双湖结合带主要出露于羌塘中部冈玛日—玛依岗日一带,目前在該带发现的蛇绿混杂岩出露长度超过500 km,主要由浅变质岩和强烈变形的中-高压变质岩系,以及分布其中的超基性岩、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/岩墙组成,表现为较典型的蛇绿构造混杂岩特征。先后有研究者在羌塘中部冈玛错、角木日地区识别出石炭纪—二叠纪准洋脊型蛇绿岩、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^[38, 50-54],显示羌塘地区存在晚古生代洋壳残余的信息。在果干加年山及桃形湖地区获得了较多早古生代洋盆扩张(432~467

泥盆纪蛇绿岩:目前羌塘地区已发现的泥盆纪蛇绿岩单元较单一,结合带内广泛发育硅质岩及放射虫。仅在桃形湖和果干加年山蛇绿混杂岩中识别出了泥盆纪蛇绿混杂岩岩墙单元,桃形湖辉长岩墙 LA-ICP MS 锆石 U-Pb 年龄为 367 ± 3 Ma,属于晚泥盆世^[69]。含泥盆纪放射虫的硅质岩出露地点为双湖地区的才多茶卡^[50]。地球化学分析显示,桃形湖基性岩墙为尖晶石二辉橄榄岩约 30% 部分熔融的产物,在后期运移和构造侵位过程中仅受到了含水流体的影响,而未受俯冲物质熔融的影响^[69],主体形成于 N-MORB 的大地构造环境,代表了龙木错-双湖特提斯洋扩张阶段的产物^[51]。

石炭纪蛇绿岩:在龙木错-双湖结合带中出露规模较大,露头较好,蛇绿混杂岩中岩石单元出露也较多,主要出露于桃形湖、黑脊山和果干加年山一带。蛇绿岩中辉长岩、堆晶辉长岩、斜长花岗岩中一系列锆石 U-Pb 年龄为 $345 \sim 358$ Ma^[52, 54, 59, 69, 71]。石炭纪蛇绿岩地球化学特征复杂,不同岩石显示形成于不同的构造环境。玄武岩显示形成于洋内弧后盆地,辉长岩主体形成于亏损大洋中脊和岛弧型大地构造环境,斜长花岗岩则可能形成于大洋洋壳运移的剪切带中,为含水辉长质岩石剪切深熔作用形成的产物^[69]。石炭纪蛇绿岩地球化学特征的复杂性及其大地构造背景的多样性表明,在早石炭世之前就已经发生俯冲消减作用,石炭纪龙木错-双湖特提斯洋处于较复杂的演化阶段。

二叠纪蛇绿岩:在龙木错-双湖结合带中出露规模较大,尤其是结合带的中西段,均有不同规模的出露。主要有果干加年山、角木日二叠纪蛇绿混杂岩,由堆晶岩、辉长岩岩墙群、玄武岩等组成,以辉长岩墙和玄武岩出露为主,堆晶岩与辉长岩墙群和变质玄武岩相伴产出,互为断层接触。此外,在角木日、黑石山地区、双湖东才多茶卡地区、才玛尔错以南还见广泛分布的含二叠纪放射虫硅质岩^[9, 51, 72-73]。果干加年山地区二叠纪蛇绿混杂岩中辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 273 Ma^[53];角木日地区辉长岩墙和玄武岩锆石 U-Pb 年龄为 $275 \sim 280$ Ma^[71]。该时期蛇绿岩中辉长岩墙和玄武岩总体具有 N-MORB 型地球化学特征,同时具有较弱的 Nb 负异常和大离子亲石元素(LILE)富集等特征,总体属于 SSZ(俯冲带上盘)型蛇绿岩^[71]。

3.2 昌宁-孟连结合带

昌宁-孟连蛇绿混杂岩带北起昌宁、双江,经铜厂街、老厂至孟连,向南可能连接马来西亚的文冬-劳勿带,总体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。地质调查显示,铜厂街、南汀河、牛井山、曼信等地发育较典型的蛇绿混杂岩(图 3),蛇绿混杂岩构造单元出露较齐全,多处发育具 N-MORB 特征的洋脊玄武岩或 OIB 型玄武岩,在曼信、依柳、铜厂街等地还见有准洋脊型玄武岩;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。昌宁-孟连洋盆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等汇聚阶段^[39],不同阶段形成了不同类型的蛇绿混杂岩。

奥陶纪—志留纪蛇绿岩:主要分布在南汀河、牛井山、湾河、忙那河、曼信等地。蛇绿岩残块以斜长角闪岩、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、变玄武岩等为主,曼信蛇绿混杂岩以发育枕状玄武岩为特征。南汀河堆晶辉长岩及辉长岩 U-Pb 年龄为 $473 \sim 439$ Ma^[74-76],大洋斜长花岗岩年龄为 $454 \sim 443$ Ma^[77];双江县勐库乡忙那河堆晶斜长岩年龄为 471 Ma^[78],冰岛地界英云闪长岩年龄为 455 Ma,冰岛水库绿片岩年龄为 444 Ma,银厂河斜长角闪岩年龄为 454 Ma;云县邦海一带变质辉长岩年龄为 451 Ma、 459 Ma^[78];牛井山地区 O 型高镁埃达克质英云闪长岩年龄为 468 Ma^[79],曼信变质辉长岩年龄为 420 Ma^[39]。双江县清平一带湾河蛇绿混杂岩中斜长角闪岩年龄为 434 Ma、 437 Ma^[80]。上述一系列年代学资料表明,昌宁-孟连带存在奥陶纪—志留纪的洋盆。

泥盆纪蛇绿岩:分布于耿马县南部的回爱、怕秋及云县铜厂街一带,主要表现为洋岛海山组合,产于泥盆纪曼信组的上部层位,与深灰色泥质硅质岩、放射虫硅质岩等呈韵律状产出。怕秋一带的曼信组顶部硅质岩中夹有玄武岩。回爱一带主要为灰绿色粒玄岩、橄榄玄武岩、枕状玄武岩等。铜厂街一带岩石组合主要为蛇纹岩、变质斜方辉橄岩、方辉橄岩、纯橄岩、堆晶岩、辉长岩、玄武岩

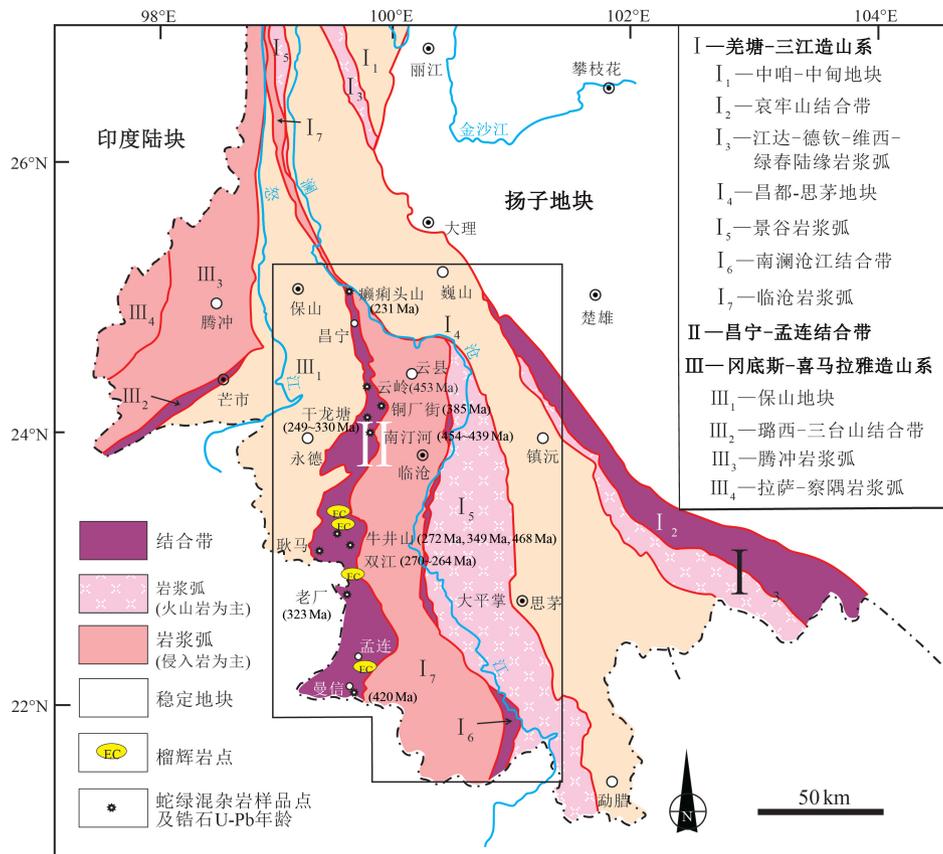


图3 西南三江昌宁-孟连结合带蛇绿混杂岩分布简图(据参考文献[39]修改,年龄数据据参考文献[39,74-83])

Fig. 3 Simplified geological map of the ophiolite mélangé in the Changning-Menglian suture zone in the Southwest Sanjiang area

等。铜厂街 N-MORB 型辉长岩角闪石 K-Ar 等时线年龄为 385~381 Ma^[81-82]。曼信组中硅质岩放射虫以泥盆世早期的 *Monograptus uniformis* 带为代表^[84]。蛇绿混杂岩中的基性岩可分为 2 类,一类遭受明显的变质作用,类似于洋脊玄武岩^[85-86],另一类与洋岛玄武岩有关^[85,87],反映了正常洋脊与地幔热点的相互影响。曼信组中玄武岩地球化学性质一致反映大洋板内的地幔柱活动在泥盆纪已导致洋岛玄武岩浆的喷发,但并未形成真正的洋岛地貌景观,可能类似于亚速尔型洋岛玄武岩;也说明了具洋壳性质的昌宁-孟连古特提斯盆地在泥盆纪已经形成。

石炭纪蛇绿岩:主要表现为洋岛海山组合,分布于石炭系平掌组中,总体上呈南北向展布。在永德县鱼塘寨、香竹林,耿马县干龙塘、勐撒农场等地多呈零星断片出露于构造带中。在耿马县大芒光房至沧源县团结、南撒一带出露较齐全,层序较清晰,接触关系清楚;与下伏泥盆系温泉组呈喷发不

整合接触,被石炭系—二叠系鱼塘寨组碳酸盐岩整合覆盖。主要岩石类型有玄武岩、杏仁状玄武岩、安山玄武岩、杏仁状安山玄武岩、玻基玄武岩、粒玄武岩、碧玄武岩等。硅质岩放射虫发育 *Archocyrtium menglianensis* Wu、*Ar. delicatum* Cheng、*Albaillella* sp.、*Entactinosphaera foremanae*、*Scharfenbergia turgiga* 等早石炭世放射虫组合^[88-89],梅里雪山西坡发育 *Palaeoryphostyllus variospina* 早石炭世放射虫分子;扎玉—碧土一带发育 *Albaillella* sp.、*Pseudea Ibailla* sp.晚石炭世放射虫分子^[24]。玄武岩地球化学特征表现为较明显的洋岛玄武岩特点;结合上覆鱼塘寨组、大名山组洋岛台地碳酸盐岩的特征分析,昌宁-孟连盆地在早石炭世不仅出现大规模的洋岛火山岩喷发,也形成了颇具规模的火山洋岛地貌景观,可能类似于夏威夷型的洋岛玄武岩,说明昌宁-孟连洋盆至少在早石炭世已经具有相当的规模。

晚石炭世—中二叠世蛇绿岩:主要赋存在晚石炭世—中二叠世光色组中,分布于耿马县弄巴地

区,玄武岩与浅紫红色放射虫硅质岩、硅质泥岩呈韵律状产出,形成若干个厚度不大的喷发-沉积韵律,显示了深海洋盆的产出构造背景,主要为大洋拉斑玄武岩、放射虫硅质岩、硅质岩、泥质硅质岩等,类似洋中脊或洋盆的沉积建造组合。另外,在牛井山蛇绿混杂岩带内发育该时期蛇绿岩, N-MORB型斜长角闪岩锆石 U-Pb 年龄为 272 Ma,岩石地球化学特征和锆石 Hf 模式年龄揭示昌宁-孟连特提斯洋在 272 Ma 时具有一个长期亏损的地幔,地幔年龄为早古生代 416~499 Ma^[83]。进一步证实昌宁-孟连洋存在由晚石炭世一中二叠世的大洋中脊(或洋底)性质的洋壳。

3.3 龙木错-双湖结合带与昌宁-孟连结合带的构造关系

从上述资料看,龙木错-双湖结合带与昌宁-孟连结合带代表的洋壳的发育时限、地球化学性质、形成的构造环境及弧型火山岩发育都接近一致,指示它们经历了相似的构造演化过程,二者可能代表了一个统一的古生代特提斯洋的残余^[39, 74-76]。原-古特提斯洋在寒武纪-奥陶纪已经打开,龙木错-双湖结合带中的寒武纪-志留纪(505~431 Ma) N-MORB 型堆晶岩^[11, 22, 60]、昌宁-孟连结合带中的奥陶纪-志留纪(473~434 Ma) N-MORB 或 E-MORB(富集型洋中脊玄武岩)型基性岩^[74-76, 78-80],代表了原特提斯大洋的残存古洋壳地质遗迹。晚古生代-二叠纪,受特提斯大洋俯冲消减作用的制约,在泛华夏大陆群(主体为华夏-扬子陆块)的西南缘发育北羌塘地块、唐古拉-他念他翁前缘弧及其昌宁-孟连结合带东侧的晚古生代三江多岛弧盆系,同时导致泥盆纪-二叠纪不同时期 SSZ 型和 MORB 型大洋岩石圈的就位,这些不同类型的岩石圈遗迹被保存在龙木错-双湖-昌宁-孟连蛇绿混杂岩带内。由此可见,龙木错-双湖特提斯洋与昌宁-孟连特提斯洋在构造属性上具有亲缘关系。因此笔者认为,龙木错-双湖-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。

4 龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带的高压变质带

4.1 龙木错-双湖结合带的高压变质带

羌塘中部沿龙木错-双湖结合带分布的高压-超高压变质带是目前青藏高原内部延伸规模最大

的高压变质带^[67]。邓希光等^[90]在冈玛日-桃形湖首次发现含典型蓝闪石的蓝片岩,而榴辉岩于 2006 年在戈木地区首次发现^[91],随后,羌塘中部地区又陆续发现多处高压-超高压变质岩。根据现有资料,龙木错-双湖高压变质岩带西起红脊山和冈玛错^[90, 92],经果干加年山、片石山^[64, 93-95],以及戈木日、蓝岭^[94, 96],向东一直延伸到双湖一带^[32],断续出露超过 500 km,很可能向东一直延续到滇西地区^[97],是龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带作为原-古特提斯主洋盆闭合遗迹的重要依据^[5-6, 71, 98-100]。榴辉岩相岩石类型主要由榴辉岩、蓝片岩、石榴子石多硅白云母片岩、蓝闪石大理岩等组成,标志性变质矿物主要为绿辉石、镁铝榴石、多硅白云母、石英、金红石等。地球化学及 Sr-Nd 同位素研究表明,羌塘地区榴辉岩和蓝片岩是洋壳及洋岛(或者海山)俯冲消减的产物^[92-93]。由此表明,羌塘中部榴辉岩和蓝片岩的原岩可能包括陆壳物质,甚至俯冲带上盘的岛弧岩浆岩。SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及石榴子石 Lu-Hf 同位素定年表明,羌塘中部高压带峰期变质时代为 244~223 Ma^[66, 101],单矿物 Ar-Ar 定年揭示高压带快速折返和退变质作用发生在 227~203 Ma^[64, 66, 92, 95]。研究表明,羌塘地区榴辉岩变质峰期条件为 $P=2.0\sim 2.5$ GPa, $T=410\sim 460$ °C,属于低温型榴辉岩^[64, 66, 102],蓝片岩峰期变质条件为 $P=0.8\sim 1.5$ GPa, $T=350\sim 420$ °C^[90, 94, 96],记录了从洋壳俯冲到陆陆碰撞及多期快速俯冲的复杂演化过程^[103]。

4.2 昌宁-孟连带的高压-超高压变质带

研究表明,昌宁-孟连结合带内发育双变质带,其中高压-超高压/低温变质带以澜沧岩群内蓝片岩为代表,高温/低压带则对应于临沧花岗岩和岛弧火山岩^[104-105]。典型高压-超高压/低温变质岩(榴辉岩)由云南省地质调查院在双江县勐库镇以北的控角、忙那河、冰岛等地的蛇绿混杂岩内发现并报道^[106],后又在根恨河、双江大文、邦丙、澜沧县上允、黑河、惠民和勐海县南龙河、布朗山等地发现多处^[39, 107-112],总体呈南北向的串珠状分布,总分布长度断续约 100 km。榴辉岩赋存于澜沧岩群各类片岩中,以往认为澜沧岩群是古老结晶基底岩^[113],近年来对澜沧岩群内碎屑岩和变火山岩夹层同位素年代学研究表明,其是早古生代的沉积-火山地层或增生杂岩^[114-116],表明澜沧岩群并非变质基底,

而是形成于 530~454 Ma 的增生杂岩^[39]。榴辉岩类型多样,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,标志性矿物主要为绿辉石、硬玉、硬柱石、柯石英、多硅白云母、蓝闪石、镁铝榴石、金红石。榴辉岩原岩性质主要为 E-MORB、OIB、IAB(岛弧型玄武岩),反映了原岩的复杂性;榴辉岩原岩时代有 801~460 Ma、约 430 Ma、约 300 Ma、约 270 Ma,变质时代集中在 246~230 Ma^[39, 105-106, 109];估算峰期变质温压条件为 $P = 3.35 \sim 4.46 \text{ GPa}$, $T = 530 \sim 610 \text{ }^\circ\text{C}$,相当于硬柱石榴辉岩相,变质 $P-T$ 条件表明是一条 HP/LT(高压/低温)变质带,俯冲深度达 70~80 km。澜沧岩群高压变质岩(如云母石英片岩、蓝片岩等)中的多硅白云母和钠质闪石的 Ar-Ar 变质年龄为 230~214 Ma,表明澜沧岩群遭受了晚古生代—中生代以来与古特提斯相关的构造变质事件^[97, 104]。这个事件很可能也代表了高压变质带的折返时间。上述岩浆和变质事件记录了昌宁—孟连原—古特提斯俯冲增生、碰撞造山及折返过程演化历史。与羌塘中部地区的榴辉岩带比较,二者发生深俯冲及折返的时间基本一致,由此反映了龙木错—双湖特提斯洋与昌宁—孟连特提斯洋的紧密性。

5 羌塘基底的航空重磁证据

以龙木错—双湖结合带为界,把羌塘地块划分为南羌塘地块和北羌塘地块。长期以来,不同学者对于羌塘地块是否存在统一的变质结晶基底存在认识分歧,主要存在 2 种观点:一种观点认为,羌塘地块存在统一的结晶基底,即前寒武纪晋宁期变质基底^[117-118];另外一种观点认为,南、北羌塘具有不同的基底,中央隆起带以南广泛发育冈瓦纳型泛非—早古生代结晶基底^[119-123],以北发育扬子型晋宁期基底^[18, 124]。远震 P 波层析成像研究也清晰地表明,南羌塘和北羌塘分属于整个岩石圈尺度结构完全不同的 2 个构造单元^[125]。上述关于羌塘地块基底构造属性的认识,多是基于中央隆起带及周缘地表地质填图、岩石岩性与测年分析及区域剖面探测得出的。受限于青藏高原恶劣的自然条件和羌塘地块巨厚的中生界沉积覆盖,地块腹地地质结构研究缺乏有效的深部信息制约,导致南、北羌塘地块基底对特提斯构造演化的控制作用还不明确。

最近,航空物探遥感中心在羌塘地块获得了 $29.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的航空重磁数据,构造分层研究结果显示,南、北羌塘基底深度存在明显差异,北羌塘地块普遍为 7~15 km;南羌塘地块基底稍浅,多为 5~13 km,北羌塘地块“布格重力低、磁力高”,南羌塘地块则正好相反。由此可见,南、北羌塘的基底属性存在明显的差异,羌塘盆地可能并不存在统一的前寒武纪变质基底^[126]。航空重磁场反映的深部结构特征(图 4)还表明,北羌塘为中强磁性前寒武纪变质岩系组成,总体具有东高西低、南高北低的特征,基底埋藏深,沉积盖层厚度大,磁场面貌主要由变质较深的结晶基底引起,区域上可与宁多岩群、吉塘岩群(岩性为片岩、片麻岩、变粒岩、混合岩等)对比;南羌塘为弱—中等磁性浅变质岩系组成,呈现东西两端深、中间浅的特征,不同高度上延图中均显示为区域性平静变化磁场区,主要由浅变质的基底岩系引起,区域上可与喜马拉雅带上的聂拉木群(岩性为石英岩、片岩、千枚岩、片麻岩等)对比^[127]。南、北羌塘基底构造航磁异常差异揭示出南、北羌塘地块经历了不同的演化过程。

6 冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线探讨

全球洋—陆演化历史,至少从新元古代晚期以来就存在 3 个以上的大陆群和大洋并存的洋—陆分布时空格局。3 个大陆群分别是劳亚古大陆群、冈瓦纳大陆群和泛华夏大陆群,它们各自成体系并具独特的地质演化过程,三大洋分别是古大西洋、古亚洲洋及特提斯洋^[128]。古大西洋位于北半球的劳亚古大陆群与南半球冈瓦纳大陆群之间,古亚洲洋位于北半球的劳亚古大陆群与东半球的泛华夏大陆群之间,特提斯洋位于东半球的泛华夏大陆群与南半球冈瓦纳大陆群之间^[17, 20, 23, 89, 129-130]。

冈瓦纳大陆群指新元古代末—古生代初,由东冈瓦纳(含印度、澳大利亚、南亚等)和西冈瓦纳(含南美、非洲等)几个大陆块体,经过莫桑比克洋的消亡、泛非造山作用(时限为 600~550 Ma)联合组成的超大陆。冈瓦纳大陆北缘经中生代的裂离、新特提斯洋演化,古近纪阿尔卑斯(—喜马拉雅)造山作用,形成阿尔卑斯—喜马拉雅巨型造山带^[98-100, 131-134]。泛华夏大陆群系指新元古代初期形成的罗迪尼亚(Rodinia)超大陆,在 820~700 Ma 期间裂解形成的古亚洲洋与原特提斯洋之间的多陆

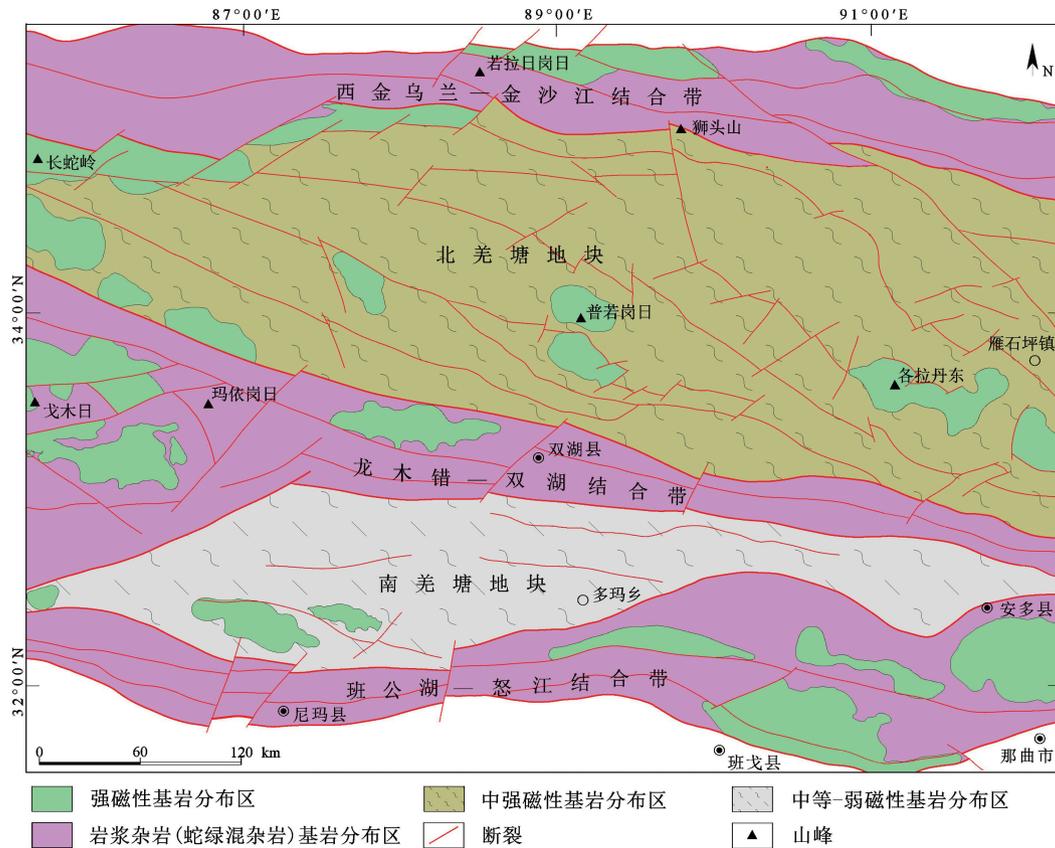


图 4 羌塘地块航磁异常反映的基底岩性构造图(据参考文献[127]修改)

Fig. 4 Geological map showing basement lithology and structure interpreted from aeromagnetic anomaly in the Qiangtang terrane

块、多岛弧盆系的联合地质体。经过早古生代末的泛华夏造山作用(约 410 Ma)^[135],在塔里木、华北、扬子三大克拉通之间形成了秦-祁-昆造山系^[17-18, 20, 129],在扬子陆块与华夏陆块之间形成了华南造山带^[136],奠定了泛华夏大陆群的雏形。泛华夏大陆西南边缘的羌塘-三江地区在石炭纪-二叠纪裂解,经三叠纪的岛弧造山作用,最终完成了主体泛华夏大陆的定型、定位,并成为欧亚大陆的组成部分。

从洋壳残留记录看,龙木错-双湖结合带与昌宁-孟连结合带在洋壳的发育时限、地球化学、构造环境及弧型火山岩发育上都接近一致,它们经历了相似的大洋扩张、俯冲消减,以及弧-弧/弧-陆碰撞造山等过程,二者发生深俯冲及折返时间也基本相当,代表了统一的古生代特提斯洋的残余,即龙木错-双湖-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遗迹。

从生物区系上看,冷水和暖水动物群以龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带对称分布,南侧特提斯喜马拉雅带以冷水动物群 *Eurydesma* 为主,含个别暖水型 *Stepanoviella* 腕足动物群和 *Sphenophyllum minor*, *Pecopteris cf. unita* 等华夏植物群分子;冈底斯带为冷暖混生区,既有 *Glossopteris* 与 *Phyllotheceaxqr australis* 等冈瓦纳植物群代表性分子,又有 *Dicranophyllum* 等华夏大羽羊齿植物群的代表性分子,显示两者共存混生的特点。北侧的南羌塘带为冷暖混生区,以 *Eurydesma* 冷水型动物群为主,含 *Neospira-Subansiria* 腕足及 *Oriocrassatella-Schizodus* 双壳等冷暖混生型动物组合,以及 *Misellina*, *Cancellina*, *Parafusulina*, *Pseudofusulina* 等瓣类和 *Szechunophyllum*, *Wentzelella* 等珊瑚类暖水型生物分子,北羌塘-昌都及其以北以华南型植物化石为主,含个别单通道瓣等冷水型分子^[18]。

从地球物理电性结构看,南羌塘地块和北羌塘

地块的电性结构有较大差异,南、北羌塘的高阻体也有较大差异,南羌塘的高阻层厚度大、分块性明显,北羌塘高阻层较薄,厚度均匀,电阻率值偏低,反映出羌南与羌北基底性质及结构存在较大差异^[137-138]。前面论述的航空重磁特征反映出的南羌塘地块与北羌塘地块的差异基本一致。

从两侧造山系时空结构演化上看,龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带南北两侧基底、多岛弧盆系等时空结构地质特征存在重大差异,龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带以北及以东的羌塘-三江地区,是晚古生代特提斯大洋北东侧泛华夏大陆群的西南活动大陆边缘;区域上,上三叠统的广泛不整合,是弧-弧/弧-陆碰撞造山、盆-山转换的标志,更是泛华夏大陆群基本定位、定型时期。龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带以南的冈底斯-喜马拉雅地区,是冈瓦纳大陆北缘的被动边缘转化为活动大陆边缘、主体呈中生代多岛弧盆系结构;区域上,从北往南广泛发育上白垩统、古新统的不整合,分别是特提斯大洋闭合、弧-弧/弧-陆碰撞造山及盆-山转换的

标志,以及特提斯大洋岩石圈最后消亡、弧-弧/弧-陆碰撞造山及欧亚大陆汇聚造山的标志(图5)。由两大造山系的时空结构、地质特征推论,龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带南、北不同性质的大陆边缘与原-古特提斯大洋演化密切相关。

上述龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带残留洋壳信息、生物区系、地球物理、航空重磁及两侧造山系时空结构演化,将冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线放在龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带符合客观实际(图5)。

7 结论

(1) 龙木错-双湖特提斯洋与昌宁-孟连特提斯洋皆发育早古生代与晚古生代蛇绿混杂岩,一致表明洋盆经历了寒武纪-奥陶纪一直到二叠纪的长期演化过程,大致经历了早古生代大洋扩张、早古生代中晚期-晚古生代俯冲消减、晚二叠世末-早三叠世弧-弧(陆)碰撞造山等过程,在244~230 Ma发生了深俯冲,形成了羌塘中部和西南三江双江-澜沧一带的榴辉岩带,龙木错-双湖特提斯洋与昌

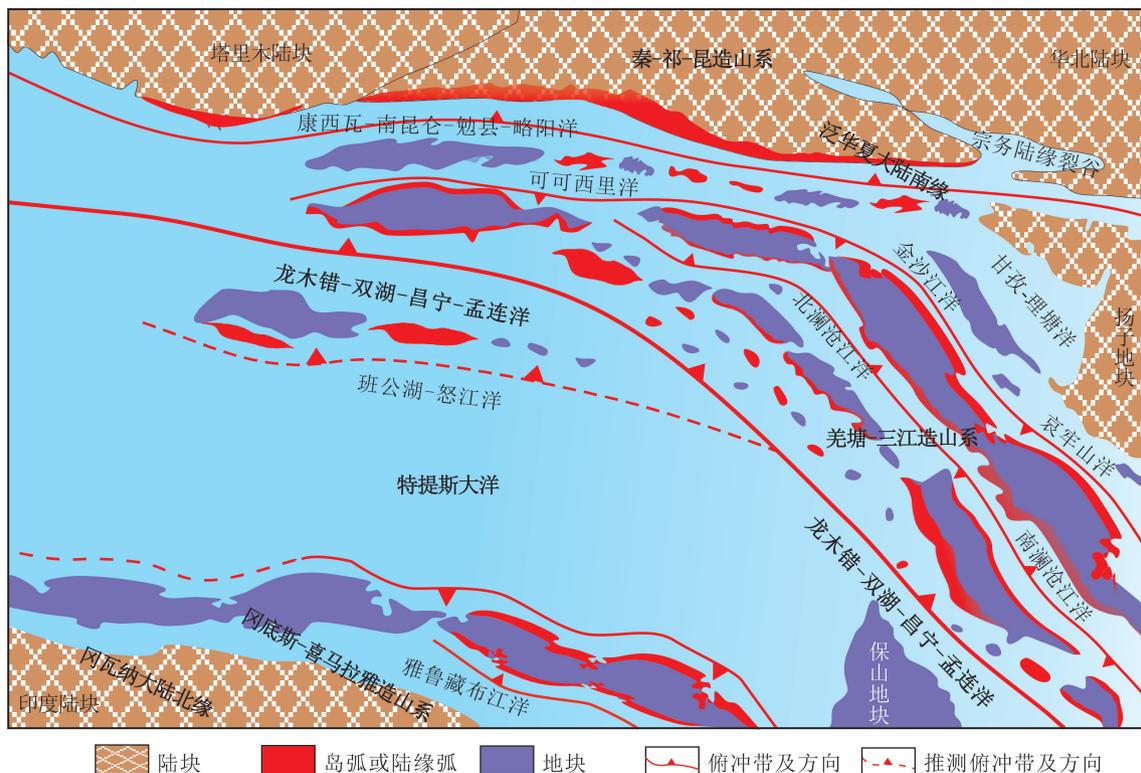


图5 晚古生代特提斯洋及羌塘-三江多岛弧盆系构造格局简图(据参考文献[128]修改)

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

宁-孟连特提斯洋构造属性上具有亲缘性,龙木错-双湖-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遗迹。

(2)龙木错-双湖-昌宁-孟连特提斯洋南北两侧分别属于冈瓦纳大陆北缘冈底斯-喜马拉雅造山系和泛华夏大陆南缘羌塘-三江造山系,两大造山系经历了不同的构造演化过程。

(3)基于龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带残留洋壳信息及两侧生物区系、地球物理、航空重磁,以及造山系时空结构演化的差异,认为龙木错-双湖-昌宁-孟连结合带构筑了青藏高原上冈瓦纳大陆与泛华夏大陆的界线。

致谢:两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。

2003年,笔者有幸认识潘桂棠老师,2010年跟随潘老师学习、工作和生活,一直以来对潘老师充满崇敬和感激之情。潘老师的青藏精神一直是激励笔者探索特提斯构造演化的不竭动力,潘老师的培育和鼓励是笔者从事青藏高原地质研究的重要支柱,潘老师的指导和帮助是笔者取得成果的重要源泉。时值潘桂棠老师从事地质工作六十周年、八十华诞,谨以此文表达笔者与同辈们对潘老师的崇高敬意和深情谢意,衷心祝愿潘老师健康长寿!

参考文献

- [1] Gansser A. Geology of the Himalayas [M]. Interscience Publishers London, 1964.
- [2] 钱定宇. 西藏石炭二叠纪的生物群和气候及其冈瓦纳北界含义[J]. 西藏地质, 1994, 11(1): 26-42.
- [3] 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚. 特提斯-喜马拉雅构造域初步分析[J]. 地质学报, 1984, (1): 1-17.
- [4] 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [5] 李才. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 长春地质学院学报, 1987, (2): 155-166.
- [6] 李才. 青藏高原龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带研究二十年[J]. 地质论评, 2008, 54(1): 105-119.
- [7] 李才, 黄小鹏, 翟庆国, 等. 龙木错-双湖-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界[J]. 地质前缘, 2006, 13(4): 136-147.
- [8] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原龙木错-双湖板块缝合带与羌塘古特提斯洋演化记录[J]. 地质通报, 2007, 26(1): 13-21.
- [9] 李才, 翟庆国, 陈文, 等. 青藏高原龙木错-双湖板块缝合带闭合的年代学证据——来自果干加山蛇绿岩与流纹岩 Ar-Ar 和 SHRIMP 年龄制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 911-918.
- [10] 李才, 谢尧武, 董永胜, 等. 北澜沧江带的性质——是冈瓦纳板块与扬子板块的界线吗?[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1711-1719.
- [11] 翟庆国, 王军, 李才, 等. 青藏高原羌塘中部中奥陶世变质堆晶辉长岩锆石 SHRIMP 年代学及 Hf 同位素特征[J]. 中国科学(D 辑), 2010, 40(5): 565-573.
- [12] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 2002, 18(4): 517-525.
- [13] 任纪舜. 中国及邻区大地构造图[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [14] 李春昱, 王荃, 刘雪亚. 亚洲大地构造图(1: 800 万)及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [15] 肖序常, 汤耀庆, 高延林. 再论青藏高原的板块构造[J]. 中国地质科学院院报, 1986, 14: 1-19.
- [16] 刘增乾, 潘桂棠, 郑海翔. 从地质新资料试论冈瓦纳北界及青藏高原地区特提斯的演化[C]//青藏高原地质文集编委会. 青藏高原地质文集(12): “三江”构造地质. 北京: 地质出版社, 1983: 11-24.
- [17] 潘桂棠, 陈智樑, 李兴振, 等. 东特提斯多弧-盆系统演化模式[J]. 岩相古地理, 1996, 16(2): 52-65.
- [18] 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 等. 班公湖-怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据[J]. 地质前缘, 2004, 11(4): 371-382.
- [19] 潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考[J]. 地质通报, 2004, 23(1): 12-19.
- [20] 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.
- [21] 潘桂棠, 王立全, 耿全如, 等. 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, 2020, 40(3): 1-19.
- [22] 王立全, 潘桂棠, 李才, 等. 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, 2008, 27(12): 2045-2056.
- [23] 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.
- [24] 李文昌, 潘桂棠, 侯增谦, 等. 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, 2010: 1-107.
- [25] 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.
- [26] 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): 687-695.
- [27] 吴根耀. 藏东碧土地区古特提斯主洋盆中的亚速尔型洋岛玄武岩[J]. 地质通报, 2006, 25(7): 772-781.
- [28] 饶荣标. 论特提斯-喜马拉雅构造域冈瓦纳古大陆的北界[J]. 四川地质学报, 1989, 9(1): 18-26.
- [29] 梁定益, 聂泽同, 宋志敏. 早二叠世冈瓦纳北缘构造古地理环境与杂砾岩成因剖析[J]. 特提斯地质, 1994, 18(0): 61-73.
- [30] 范影年. 中国西藏石炭-二叠纪皱纹珊瑚的地理区系[C]//青藏高原地质文集编委会. 青藏高原地质文集(16), 地层古生物. 北京: 地质出版社, 1985: 87-106.
- [31] 李兴振, 刘增乾, 潘桂棠. 西南三江地区大地构造单元划分及地史演化[M]. 中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊(13), 北京: 地质出版社, 1991: 1-20.
- [32] 鲍佩声, 李才. 西藏中北部双湖地区蓝片岩带及其构造涵义[J]. 地质学报, 1999, 73(4): 302-314, 388.

- [33] 黄志勋, 马召军, 刘协章. 用现代地层学方法判别冈瓦纳大陆的北界[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(4): 1-19.
- [34] 王鸿祯. 试论西藏地质构造分区问题[J]. 地球科学, 1983, 19(1): 1-8.
- [35] 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(7): 3-14.
- [36] 吴根耀, 王晓鹏, 聂泽同, 等. 藏东南碧土带瓦浦组火山岩形成的大地构造环境[J]. 现代地质, 2000, 14(1): 21-27.
- [37] Zhai Q G, Wang J, Li C, et al. SHRIMP U-Pb dating and Hf isotopic analyses of Middle Ordovician meta-cumulate gabbro in central Qiangtang, northern Tibetan Plateau[J]. Science China Earth Sciences, 2010, 53(5): 657-664.
- [38] 翟庆国, 李才, 黄小鹏. 西藏羌塘中部古特提斯洋残片?——来自果干加年山变质基性岩地球化学证据[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(7): 866-872.
- [39] 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.
- [40] 王保弟, 王立全, 王冬兵, 等. 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, 2021, 41(2): 246-264.
- [41] Yang T N, Ding Y, Zhang H R, et al. Two-phase subduction and subsequent collision defines the Paleotethyan tectonics of the southeastern Tibetan Plateau: Evidence from zircon U-Pb dating, geochemistry, and structural geology of the Sanjiang orogenic belt, southwest China[J]. Geological Society of America Bulletin, 2014, 126(11/12): 1654-1682.
- [42] 毛晓长, 王立全, 李冰, 等. 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, 2012, 28(5): 1517-1528.
- [43] Lehmann B, Zhao X, Zhou M, et al. 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, 2013, 24(2): 648-663.
- [44] 汝珊珊, 李峰, 吴静, 等. 云南大平掌铜多金属矿区花岗岩长斑岩地球化学特征及年代学研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(4): 531-540.
- [45] Nie X, Feng Q, 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.
- [46] 尹福光, 徐波, 王冬兵, 等. 西南三江造山带早古生代岩浆事件及其对原特提斯大洋演化的响应[J]. 地质通报, 2021, 40(6): 817-826.
- [47] Xu W, Liu F L, Dong Y S. Cambrian to Triassic geodynamic evolution of central Qiangtang, Tibet [J]. Earth Sci. Rev., 2020, 201: 103083.
- [48] Wang B D, Wang L Q, Chung S L, et al. Evolution of the Bangong-Nujiang Tethyan ocean: Insights from the geochronology and geochemistry of mafic rocks within ophiolites[J]. Lithos, 2016, 245: 18-33.
- [49] 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.
- [50] 翟庆国, 李才, 程立人, 等. 西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩的地质特征及意义[J]. 地质通报, 2004, 23(12): 1228-30.
- [51] 朱同兴, 张启跃, 董瀚, 等. 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[J]. 地质通报, 2006, 25(12): 1413-1418.
- [52] 施建荣, 董永胜, 王生云. 藏北羌塘中部果干加年山斜长花岗岩定年及其构造意义[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1236-1243.
- [53] 吴彦旺, 李才, 解超明, 等. 青藏高原羌塘中部果干加年山二叠纪蛇绿岩岩石学和同位素定年[J]. 地质通报, 2010, 29(12): 1773-1780.
- [54] Zhai Q G, Jahn B M, Su L, et al. SHRIMP zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopic compositions of a mafic dyke swarm in the Qiangtang terrane, northern Tibet and geodynamic implications[J]. Lithos, 2013, 174: 28-43.
- [55] 胡培远, 李才, 吴彦旺, 等. 龙木错-双湖-澜沧江洋的打开时限: 来自斜长花岗岩的制约[J]. 科学通报, 2014, 59(20): 1992-2003.
- [56] Wang B D, Wang L Q, Chen J L, et al. Petrogenesis of Late Devonian-Early Carboniferous volcanic rocks in northern Tibet: New constraints on the Paleozoic tectonic evolution of the Tethyan Ocean [J]. Gondwana Research, 2017, 41: 142-156.
- [57] Jiang Q Y, Li C, Su L, et al. Carboniferous arc magmatism in the Qiangtang area, northern Tibet: Zircon U-Pb ages, geochemical and Lu-Hf isotopic characteristics, and tectonic implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 100: 132-144.
- [58] 江庆源, 李才, 解超明, 等. 藏北羌塘冈玛错地区望果山组火山岩地球化学特征及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2014, 33(11): 1702-1714.
- [59] 胡培远, 李才, 解超明, 等. 藏北羌塘中部桃形湖蛇绿岩中钠长花岗岩——古特提斯洋壳消减的证据[J]. 岩石学报, 2013, 29(12): 4404-4414.
- [60] 李才, 董永胜, 翟庆国, 等. 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[J]. 岩石学报, 2008, 24(1): 31-36.
- [61] Pullen A, Kapp P, Gehrels G E, et al. Metamorphic rocks in central Tibet: Lateral variations and implications for crustal structure [J]. Geological Society of America Bulletin, 2011, 123(3/4): 585-600.
- [62] 李才, 王天武, 杨德明, 等. 西藏羌塘中部都古尔花岗质片麻岩同位素年代学研究[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(2): 105-109.
- [63] 彭智敏, 耿全如, 王立全, 等. 青藏高原羌塘中部本松错花岗质片麻岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J]. 科学通报, 2014, 59(26): 2621-2629.
- [64] 李才, 翟庆国, 陈文, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩 Ar-Ar 定年[J]. 岩石学报, 2006, 22(12): 2843-2849.
- [65] 许王, 董永胜, 张修政, 等. 藏北羌塘红脊山地区香桃湖变质堆晶辉长岩地球化学特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2014, 33(11): 1673-1681.
- [66] Zhai Q G, Zhang R Y, Jahn B M, et al. Triassic eclogites from central Qiangtang, northern Tibet, China: Petrology, geochronology and metamorphic P-T path[J]. Lithos, 2011, 125(1/2): 173-189.
- [67] 张修政, 董永胜, 李才, 等. 从洋壳俯冲到陆壳俯冲和碰撞: 来自羌塘中西部地区榴辉岩和蓝片岩地球化学的证据[J]. 岩石学报,

- 2014,30(10): 2821-2842.
- [68] Hu P Y, Zhai Q G, Jahn B M, et al. Early Ordovician granites from the South Qiangtang terrane, northern Tibet: Implications for the early Paleozoic tectonic evolution along the Gondwanan proto-Tethyan margin[J]. *Lithos*, 2015, 220/223: 318-338.
- [69] 吴彦旺. 龙木错-双湖-澜沧江洋历史记录——寒武纪—二叠纪的蛇绿岩[D]. 吉林大学博士学位论文, 2013.
- [70] 胡培远, 李才, 吴彦旺, 等. 藏北羌塘中部存在志留纪洋盆——来自桃形湖蛇绿岩中斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄证据[J]. *地质通报*, 2014, 33(11): 1651-1661.
- [71] 李才, 解超明, 王明, 等. 羌塘地质[M]. 北京: 地质出版社, 2016: 1-681.
- [72] 李日俊, 吴浩若, 李红生, 等. 藏北阿木岗群、查桑群和鲁谷组放射虫的发现及有关问题讨论[J]. *地质论评*, 1997, 43(3): 250-258.
- [73] Li C, Zheng A. Paleozoic stratigraphy in the Qiangtang region of Tibet: Relations of the Gondwana and Yangtze continents and ocean closure near the end of the Carboniferous[J]. *International Geology Review*, 1993, 35(9): 797-804.
- [74] 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.
- [75] Wang B D, Wang L Q, Yin F G, et al. Longmu Co-Shuanghu-Changning-Menglian Suture Zone: Residual of Uniform Early Paleozoic Tethys Ocean[J]. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 2013, 87(supp.): 72-75.
- [76] 王保弟, 王立全, 潘桂棠, 等. 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*, 2013, 58(4): 344-354.
- [77] 吴皓, 王保弟, 王冬兵, 等. 昌宁-孟连结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*, 2020, 45(8): 3003-3013.
- [78] 刘桂春, 孙载波, 曾文涛, 等. 滇西双江县勐库地区湾河蛇绿混杂岩的形成时代、岩石地球化学特征及地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2017, 36(2): 163-174.
- [79] 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.
- [80] 彭智敏, 付于真, 王国芝, 等. 昌宁-孟连结合带清平地区斜长角闪岩锆石年代学及 Sr-Nd-Hf 同位素研究[J]. *地质学报*, 2020, 94(2): 511-527.
- [81] 张旗, 李达周. 义敦型镁铁—超镁铁岩的主要特征及其与蛇绿岩的对比[J]. *岩石学报*, 1990, 6(3): 33-42.
- [82] 从柏林, 吴耀耀, 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): 1201-127.
- [83] 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): 17-28.
- [84] 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): 1-14.
- [85] 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.
- [86] 陈莉, 王立全, 陈莉, 等. 滇西昌宁-孟连缝合带铜厂街矿床成因探讨[J]. *矿床地质*, 2015, 34(3): 617-631.
- [87] 赖绍聪, 秦江锋, 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.
- [88] 冯庆来, 叶玫, 章正军. 滇西早石炭世放射虫化石[J]. *微生物学报*, 1997, 14(1): 79-92.
- [89] 李兴振, 刘文均, 王义昭, 等. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [90] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部冈玛日地区蓝闪石片岩及其⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学[J]. *科学通报*, 2000, 45(21): 2322-2326.
- [91] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩的发现及其意义[J]. *科学通报*, 2006, 51(1): 70-74.
- [92] Kapp P, Yin A, Manning C E, et al. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet[J]. *Geology*, 2000, 28(1): 19-22.
- [93] Zhai Q G, Jahn B M, Zhang R Y, et al. Triassic Subduction of the Paleo-Tethys in northern Tibet, China: Evidence from the geochemical and isotopic characteristics of eclogites and blueschists of the Qiangtang Block[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42(6): 1356-1370.
- [94] Kapp P, Murphy M A, Yin A, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet[J]. *Tectonics*, 2003, 22(4): 1029.
- [95] 张修政, 董永胜, 李才, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩地球化学特征及其大地构造意义[J]. *地质通报*, 2010, 29(12): 1804-1814.
- [96] 翟庆国, 李才. 藏北羌塘中部戈木日榴辉岩的岩石学、矿物学及变质作用 p-T-t 轨迹[J]. *地质通报*, 2009, 28(9): 1207-1220.
- [97] 赵靖, 钟大赉, 王毅. 滇西澜沧变质带变质作用和变形作用的关系[J]. *岩石学报*, 1994, 10(1): 27-40.
- [98] Metcalfe I. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1996, 43(6): 605-623.
- [99] Metcalfe I. Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland[J]. *Gondwana Research*, 2011, 19(1): 3-21.
- [100] Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 66: 1-33.
- [101] Pullen A, Kapp P, Gehrels G E, et al. Triassic continental subduction in central Tibet and Mediterranean-style closure of the Paleo-Tethys Ocean[J]. *Geology*, 2008, 36(5): 351-354.
- [102] 董永胜, 李才. 藏北羌塘中部果干加年山地区发现榴辉岩[J]. *地质通报*, 2009, 28(9): 1197-200.
- [103] Zhang X Z, Dong Y S, Li C, et al. Silurian high-pressure granulites from Central Qiangtang, Tibet: Constraints on early Paleozoic collision along the northeastern margin of Gondwana[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2014, 405: 39-51.
- [104] Zhang R Y, Cong B L, Maruyama S, et al. Metamorphism and tectonic evolution of the Lancang paired metamorphic belts, south-western China[J]. *Journal of metamorphic Geology*, 1993, 11(4):

- 605-619.
- [105] 王慧宁,刘福来,冀磊,等.昌宁-孟连杂岩带澜沧岩群的岩石学、地球化学和变质演化及其对古特提斯构造演化的启示[J].岩石学报,2019,35(6): 1733-1799.
- [106] 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.
- [107] 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): 939-940.
- [108] 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.
- [109] 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): 439-478.
- [110] 王巍,张星培,孙载波,等.滇西澜沧县黑河地区榴辉岩岩石学、地球化学特征: 洋内初始俯冲作用的岩浆活动[J].地质通报, 2021, 40(7): 1057-1067.
- [111] 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.
- [112] Fu Y Z, Peng Z M, Wang B D, et al. Petrology and metamorphism of glaucophane eclogites in Changning-Menglian suture zone, Bangbing area, southeast Tibetan Plateau: An evidence for Paleo-Tethyan subduction[J]. China Geology, 2021, 4(1): 111-125.
- [113] 翟明国,从柏林,乔广生,等.中国滇西南造山带变质岩 Sm-Nd-Rb-Sr 同位素年代学[J].岩石学报,1990,6(4): 1-11.
- [114] Xing X, Wang Y, Cawood P A, et al. Early Paleozoic accretionary orogenesis along northern margin of Gondwana constrained by high-mg metagneous rocks, SWYunnan[J]. International Journal of Earth Sciences, 2017, 106: 1469-1486.
- [115] 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.
- [116] 徐云飞,丛峰,刘军平,等.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,2018,38(2): 103-112.
- [117] 谭富文,王剑,付修根,等.藏北羌塘盆地基底变质岩的锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J].岩石学报,2009,25(1): 139-146.
- [118] 王剑,付修根.论羌塘盆地沉积演化[J].中国地质,2018,2: 237-259.
- [119] 李才.羌塘基底质疑[J].地质论评,2003,49(1): 4-9.
- [120] 董春艳,李才,万渝生,等.西藏羌塘龙木错-双湖缝合带南侧奥陶纪温泉石英岩碎屑锆石年龄分布模式: 构造属性及物源区制约[J].中国科学: 地球科学,2011,41(3): 299-308.
- [121] 杨耀,赵中宝,苑婷媛,等.藏北羌塘奥陶纪平行不整合面的厘定及其构造意义[J].岩石学报,2014,30(8): 2381-2392.
- [122] Liu H, Wang B D, Chen L, et al. Silurian intermediate-felsic complex in the Xiangtaohu area of central Qiangtang, northern Tibet: Evidence for southward subduction of the Longmuco-Shuanghu Prototethys oceanic plate [J/OL]. Lithos, 2021, 404-405 (2021) <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106465>.
- [123] Dan W, Wang Q, Zhang X Z, et al. Early Paleozoic S-type granites as the basement of Southern Qiangtang Terrane, Tibet [J]. Lithos, 2020, 356/357: 105395.
- [124] 李才,吴彦旺,王明,等.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[J].地质通报,2010,29(12): 1733-1736.
- [125] 邹长桥,贺日政,高锐,等.远震 P 波层析成像研究羌塘中央隆起带深部结构[J].科学通报,2012,57(28/29): 2729-2739.
- [126] 熊盛青,周道卿,曹宝宝,等.羌塘盆地中央隆起带的重磁场证据及其构造意义[J].地球物理学报,2020,63(9): 3491-3504.
- [127] 周道卿,曹宝宝,赵睿,等.羌塘盆地高精度航空重磁调查对盆地基底性质与构造格局的启示[J/OL].地质学报,2021. doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2021255.
- [128] 王立全,王保弟,李光明,等.东特提斯地质调查研究进展综述[J].沉积与特提斯地质,2021,41(2): 283-296.
- [129] 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1): 1-28.
- [130] 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.
- [131] Stocklin J. Himalayan orogeny and Earth expansion [C]//Carey S W. Expanding Earth Symposium. Univ. Tasmania, Sydney, 1983: 119-130.
- [132] Sengör A M C. Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications[J]. Nature, 1979, 279(5714): 590-593.
- [133] Sengör A M C. The dual nature of the Alpine-Himalayan system: Progress, problems and prospects [J]. Tectonophysics, 1986, 127(3): 177-195.
- [134] Sengör A M C. Plate tectonics and orogenic research after 25 years: A Tethyan perspective [J]. Earth-Science Reviews, 1990, 27(1): 1-201.
- [135] 陆松年. 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,2004,23(9): 952-958.
- [136] 王清晨,蔡立国.中国南方显生宙大地构造演化简史[J].地质学报,2007,81(8): 1025-1040.
- [137] 赵文津,赵逊,史大年,等.喜马拉雅和青藏高原深剖面(INDEPTH)研究进展[J].地质通报,2002,21(11): 691-700.
- [138] 赵文津,刘葵,蒋忠惕,等.西藏班公湖-怒江缝合带——深部地球物理结构给出的启示[J].地质通报,2004,23(7): 623-635.