



· 青年编委专刊(地球科学) ·

青藏高原羌塘古生界研究进展与存在问题

解超明^{1,2,3}, 史哲¹, 段梦龙⁴, 陈红灿¹, 徐铭蔚¹, 白希泰¹, 张家俊¹

- (1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 吉林大学 青藏高原地质研究中心, 吉林 长春 130061;
3. 自然资源部东北亚矿产资源评价重点实验室, 吉林 长春 130061;
4. 中国地质调查局西安地质调查中心[西北地质科技创新中心], 陕西 西安 710119)

摘要 羌塘处于青藏高原腹地,在大地构造上以龙木错—双湖缝合带(羌塘中央隆起带)为界划分为羌南和羌北两个地块。羌塘中部的蛇绿混杂岩、高压变质岩以及弧岩浆岩等方面的大量前期研究表明,龙木错—双湖古特提斯洋至少从寒武纪打开、持续或阶段性演化到三叠纪,使得羌南和羌北在古生代期间分属于冈瓦纳与劳亚大陆体系。在综述前人研究基础上,系统总结了羌塘中央隆起带古生界的物质组成、时空分布特征以及地层的划分与对比情况。通过梳理研究发现,羌南和羌北的古生界沉积记录相对完整和连续,但研究程度仍明显偏低,南、北羌塘古生代盆地充填与演化研究明显不足,有关龙木错—双湖古特提斯洋及两侧大陆边缘的演化历史并不清楚,羌塘盆地结构与构造属性与羌塘油气远景评价等基础地质工作亟须开展。开展羌塘古生界研究,不仅能有效揭示古特提斯洋的演化历史,对重塑古特提斯洋-陆构造格局具有重要约束意义,同时,对认识羌塘盆地基底性质与结构、进行羌塘油气资源调查等具有重要的实践指导意义。

关键词 青藏高原;羌塘;古生代;地层划分与对比;构造演化

中图分类号: P56 **DOI:** 10.16152/j.cnki.xdxbzr.2025-03-003

Research progress and existing issues on the paleozoic strata in the Qiangtang Terrane of the Qinghai-Xizang Plateau

XIE Chaoming^{1,2,3}, SHI Zhe¹, DUAN Menglong⁴, CHEN Hongcan¹,
XU Mingwei¹, BAI Xitai¹, ZHANG Jiajun¹

(1. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, China;

2. Research Center for Tibetan Plateau, Jilin University, Changchun 130061, China;

3. Key Laboratory of Mineral Resources Evaluation in Northeast Asia, Ministry of Land and Resources of China, Changchun 130061, China;

4. Xi'an Center, China Geological Survey [Geosciences Innovation Center of Northwest China], Xi'an 710119, China)

Abstract The Qiangtang region, situated in the hinterland of the Qinghai-Xizang Plateau, is tectonically divided into the South Qiangtang and North Qiangtang Terranes by the Longmu Co-Shuanghu Suture Zone (Central Qiangtang Uplift Zone). Previous studies, based on extensive investigations of ophiolitic mélanges, high-pressure metamorphic rocks, and arc magmatic rocks, have demonstrated that the Paleo-Tethys Ocean in the

收稿日期:2025-03-30

基金项目:国家自然科学基金(41872231,42172226)

第一作者:解超明,男,教授,博士生导师,从事青藏高原大地构造及古特提斯洋演化研究,xcmxcm1983@jlu.edu.cn。

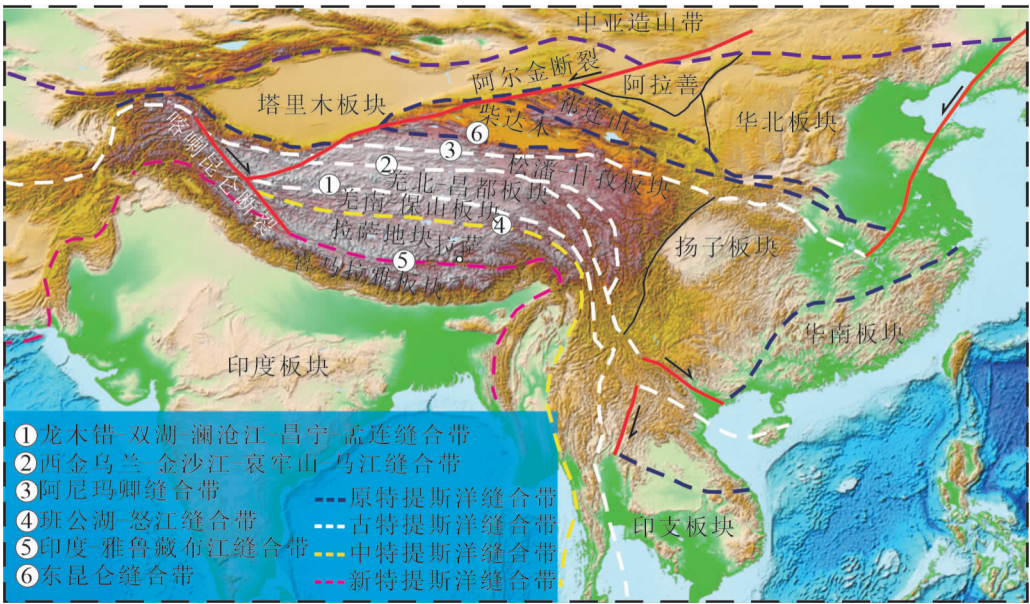
Longmu Co-Shuanghu area opened at least during the Cambrian and evolved continuously or episodically until the Triassic. This tectonic evolution resulted in the separation of South and North Qiangtang into the Gondwana and Laurasia continental systems, respectively, during the Paleozoic. Building upon a synthesis of prior research, this research systematically summarizes the material composition, spatiotemporal distribution characteristics, and stratigraphic division and correlation of the Paleozoic sequences in the Central Qiangtang Uplift Zone. The review reveals that the Paleozoic sedimentary records in both South and North Qiangtang are relatively complete and continuous. However, the current level of research remains notably insufficient. Critical gaps persist in understanding the Paleozoic basin fill, evolutionary processes, and the tectonic history of the Longmu Co-Shuanghu Paleo-Tethys Ocean and its associated continental margins. Fundamental geological investigations such as clarifying the basin architecture, tectonic attributes, and petroleum potential evaluation of the Qiangtang Basin are urgently required. This research contends that advancing research on the Qiangtang Paleozoic sequences will not only elucidate the evolutionary history of the Paleo-Tethys Ocean, but also provide critical constraints for reconstructing the ocean-continent tectonic framework of the Paleo-Tethyan regime. Furthermore, it holds significant practical implications for deciphering the basement properties and architecture of the Qiangtang Basin and guiding future hydrocarbon exploration in the region.

Keywords the Qinghai-Xizang Plateau; the Qiangtang Basin; paleozoic; stratigraphic correlation; tectonic evolution

特提斯洋的形成与演化是地球科学领域的重大科学问题^[14]。作为特提斯构造域研究的焦点,青藏高原既是揭示全球构造演化的关键区域,也是矿产资源研究的战略要地^[5-7]。其中位于青藏高原中部的羌塘地块尤为特殊(见图 1),不仅保存了相对完整的古特提斯洋演化记录^[7-10],也是我国陆域勘探程度较低的含油气沉积盆地之一,具有极其重要的战略意义^[11-13]。沉积记录保存了相对完整且连续的地质作用过程,在南、北羌塘地区具有独特的研究价值,不仅能有效揭示古特提斯洋的早期演化历史,对重塑古特提斯洋-陆构造格局具有重要科学意义,而且对认识羌塘盆地结构以及进行油气资源调查具有重要的理论与实践意义。然而,羌塘的基础地质调查和研究程度仍然较低,对羌塘古生界的认识仍以 1: 25 万区域调查工作取得的成果为主,仅围绕羌塘中部的局部地区开展了少量 1: 5 万区域地质调查和科研工作,有关古生界不同时期的地层时代及构造属性等仍不清楚,存在很大争议^[8],尤其缺乏对古生界的系统认识^[14],制约了对羌塘盆地沉积充填过程、盆地结构和构造属性的划分和认识,深刻影响了对羌塘中-新生代含油气盆地石油地质条件与资源远景的客观认识^[15]。因此,本文归纳和总结了羌塘古生界地层系统的研究进展,从基础地质和油气地质研究角度,提出了几个有关羌塘古生界亟须深入研究的科学问题。

1 区域地质背景

青藏高原处于特提斯构造域东段,经历了自古生代以来一系列大陆裂解、洋盆扩张、大洋俯冲消减与闭合、弧陆碰撞以及陆陆碰撞造山等过程,显示了“多个洋盆、多期俯冲、多次碰撞、多次造山”的复杂构造演化历史^[16-17],形成了现今以缝合带为重要构造界线,多地块(地体)拼贴的青藏高原大地构造格局。青藏高原从北向南依次为:东昆仑缝合带、金沙江缝合带、龙木错—双湖—澜沧江—昌宁—孟连缝合带、班公湖—怒江缝合带和印度—雅鲁藏布江缝合带^[9]。这些板块缝合带或构造带代表了不同时期特提斯洋洋盆演化消亡的遗迹,将青藏高原从北向南依次划分为:松潘—甘孜板块、羌北—昌都板块、羌南—保山板块、拉萨地块和喜马拉雅地块。羌塘夹持于班公湖—怒江和金沙江缝合带之间,被龙木错—双湖—澜沧江缝合带分为羌南—保山板块和羌北—昌都板块^[10](见图 2)。前人依据羌塘中部的蛇绿混杂岩^[18-21]、岩浆岩^[22-24]、洋岛及海相沉积建造^[25-26]、高压变质带^[27-34]以及增生杂岩^[35-36]等方面的研究揭示:龙木错—双湖古特提斯洋至少从寒武纪打开,持续或阶段性演化到三叠纪,使得羌北和羌南板块在古生代分属于冈瓦纳与劳亚大陆体系。



注:底图来自 <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>. 构造单元划分依据文献[6, 10]。

图 1 青藏高原及其邻区大地构造单元划分简图

Fig. 1 Simplified tectonic division map of the Qinghai-Xizang Plateau and adjacent regions

羌塘中部古生代蛇绿混杂岩研究程度较高,出露长度超过 500 km,已报道的蛇绿岩露头从西到东有:桃形湖—冈玛错蛇绿岩^[21, 37-40]、日湾茶卡蛇绿岩^[41]、果干加年山蛇绿岩^[19, 42]、角木日蛇绿岩^[43]、雪水河、角木茶卡东、纳若、恰格勒拉和双湖以东才多茶卡以北放射硅质岩^[44]。上述蛇绿岩的时代从寒武纪一直延伸到二叠纪(见图 3),记录了龙木错—双湖古特提斯洋连续或阶段性的演化时限^[10]。除蛇绿混杂岩外,在羌南已识别出奥陶纪、石炭—二叠纪等多期复杂的岩浆活动,如:戈木日和本松错地区均发现了早奥陶世(486~480 Ma)的高钾钙碱性过铝质 S 型花岗岩^[45];都古尔地区识别出的斜长片麻岩原岩结晶年龄介于 471~476 Ma^[46]。早石炭世中酸性岩浆岩主要分布在日湾茶卡地区,日湾茶卡早石炭世花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 350~358 Ma,属钙碱性 I 型岛弧花岗岩,表明龙木错—双湖—澜沧江洋可能在早石炭世已经进入岛弧消减阶段^[47]。早石炭世望果山组的岛弧型火山岩记录了龙木错—双湖—澜沧江洋壳北向俯冲消减过程^[48]。羌南发育大规模(东西展布超过 800 km)晚石炭—早二叠世的基性岩浆岩,被认为是地幔柱的产物^[49]或是古特提斯洋俯冲产生的板片拉力作用于冈瓦纳大陆北缘软弱的产物^[50]。

羌塘中部低温高压变质带是龙木错—双湖—澜沧江缝合带的重要组成部分,其西起红脊山^[51]

和冈玛日^[27, 52-53],经果干加年山^[54-55]、片石山^[28, 31-32, 56-58]以及蓝岭^[56, 59],向东一直延伸到双湖一带^[60],断续出露超过 500 km,向东可能一直延续到滇西地区^[61],并与昌宁—孟连缝合带相连^[62],主要由榴辉岩、蓝片岩、石榴石多硅白云母片岩、蓝闪石大理岩等组成。研究表明,羌塘中部高压变质带峰期变质时代为 244~223 Ma^[31, 63],快速折返和退变发生在 227~203 Ma^[31, 56, 58]。片石山榴辉岩具有 E-MORB 和 OIB 地球化学特征^[32, 56, 58, 64];果干加年山地区榴辉岩具有典型的 N-MORB 地球化学特征^[58, 65];绒玛乡蓝岭地区的基性蓝片岩和大规模蓝闪石大理岩伴生产出^[59],具有洋岛的 OIB 特征^[32]。羌塘中部地区的榴辉岩和蓝片岩主体是洋壳以及洋岛/海山物质俯冲消减的产物,记录了龙木错—双湖—澜沧江洋复杂的俯冲消减历史以及陆—陆碰撞的关键演化信息,是龙木错—双湖—澜沧江缝合带作为古特提斯主洋盆闭合遗迹、冈瓦纳大陆和欧亚大陆界线的重要依据^[6, 9]。晚三叠世望湖岭组角度不整合覆盖于上述高压变质带和蛇绿混杂岩及古生界之上,其底部流纹岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 214 Ma;在不整合面之下强烈变形的阳起片岩中阳起石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 220 Ma^[18]。晚三叠世—早侏罗世开始转为羌塘盆地的沉积基底接受中生代沉积。

综上所述,以龙木错—双湖—澜沧江板块缝

合带为界,羌塘的古生界可以划分为羌北地层区和羌南地层区^[8]。各地层区的古生界地层特征分述如下。

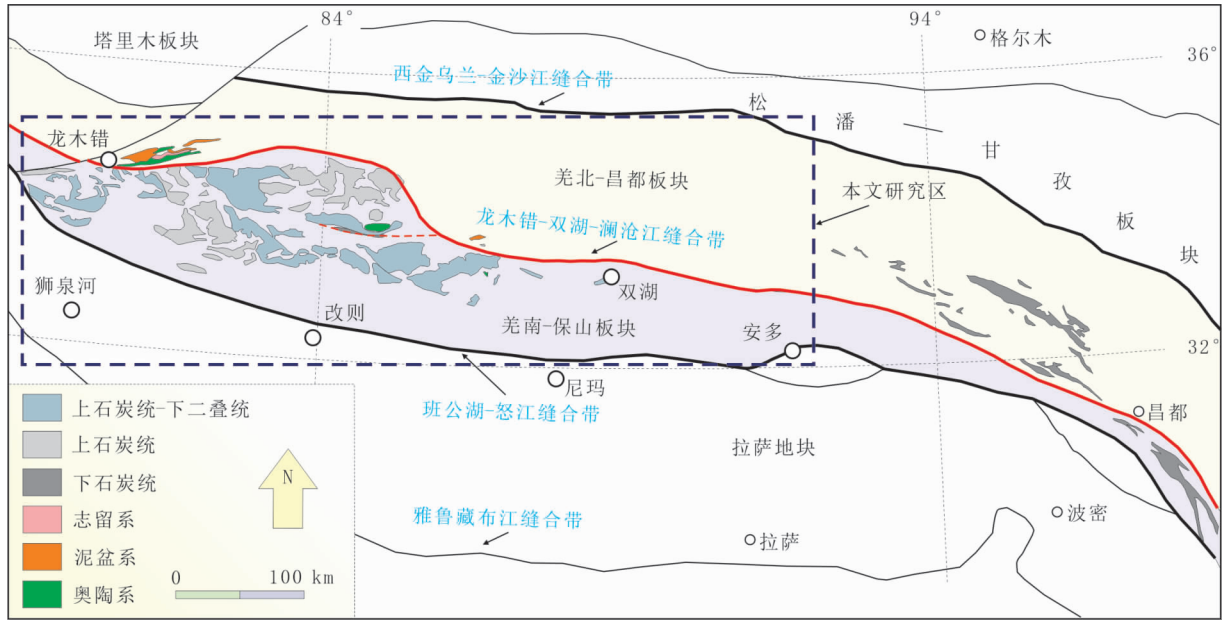


图 2 青藏高原中部大地构造格局及羌塘古生界地层分布简图

Fig. 2 Simplified map of the tectonic framework in central Qinghai-Xizang Plateau and paleozoic strata distrubtion in Qiang-tang

2 羌北地层区古生界地层特征与研究进展

羌北地层区的基底出露十分有限,具有晋宁期扬子型的基底组成^[66-69]。古生界主要出露于羌塘西部的拉竹龙一带,向东被大面积分布的中生界覆盖,仅在玛依岗日附近嘎而孔茶卡至长蛇湖一线以东见零星出露古生界。古生界出露的最老地层为奥陶系,志留系一二叠系均有不同程度发育,研究程度较低。

2.1 下古生界

奥陶系主要出露于马头湖—拉竹龙一带。下奥陶统三岔口组(O_1s),滨浅海相碎屑岩沉积,为一套灰-灰黄色中层变细粒石英砂岩、粉砂岩、页岩组成的旋回地层,未见顶底,发育平行层理、水平层理等,被中-上泥盆统拉竹龙组角度不整合覆盖^[70-74]。依据钙质胶结的细粒石英砂岩中的腕足类:汉伯矮正形贝及比较种 *Nanorthis* sp., *Nanorthis. cf. hamburgensis* (Walcott), 将其时代定为早奥陶世^[74]。

志留系仅发育在龙木错-拉竹龙地区。1: 100 万日土幅建立普尔错群($S_{2+3}PR$), 岩性主要为白云质细粒石英砂岩、细粒石英岩状砂岩、粉砂质泥

岩、粉砂质页岩,钙质细粒石英砂岩、泥晶灰岩,且含丰富的头足类、腕足类及珊瑚、牙形刺等,为一套浅海潮坪-潟湖沉积的碎屑岩-碳酸盐岩建造。夏军等将龙木错地区的普尔错群划分为龙木错组($S_{1-2}l$)、单面山组($S_{2-3}l$)和心形湖组($S_{3-4}x$),认为志留纪沉积经历了开阔海台地-闭塞海湾-三角洲-潮坪的环境演化过程^[72]。但是陈挺恩等认为龙木错地区出露的志留系与拉竹龙地区存在很大差别,可能不全为志留系,并依据笔石、几丁石、腕足类、三叶虫、头足类、牙形刺、竹节石、珊瑚、遗迹化石的系统鉴定,将拉竹龙地区原定奥陶系的饮水河组和兽形湖组,重新厘定为以笔石相为代表的饮水河组(S_{1y}),以碎屑岩相为代表的兽形湖组(S_{1sx}),以碳酸盐沉积为主的普尔错组(S_{2p})和以碳酸盐岩相为主的野牛坡组(S_{3-4p}),并认为拉竹龙地区饮水河北岸和兽形湖北岸两个剖面均未出现奥陶系^[73]。

2.2 上古生界

泥盆系出露规模相对较大,包括兽形湖北及双点达坂一带的下泥盆统兽形湖组(D_1s)、中上泥盆统拉竹龙组($D_{23}l$),在玛依岗日一带少量出露下泥盆统平沙沟组(D_1p)。在龙木错地区三岔口一带,中上泥盆统拉竹龙组角度不整合于奥陶系—志留系之上,被认为是晚加里东运动在羌

北—昌都板块的产物^[74]。兽形湖组主要分布在龙木错地区兽形湖北及双点达坂一带,岩性以灰黄绿色泥质粉砂岩为主,夹灰黄绿色细粒石英砂岩薄层或透镜体,深灰色、灰色岩屑砂岩,灰黑色泥页岩等,发育腕足类化石,整合于拉竹龙组之下^[75]。拉竹龙组最早于1971年由新疆地质局区调队发现,1976年中国科学院青藏高原综合科考队证实拉竹龙地区有晚泥盆世法门期地层存在^[76],主要组成岩性为白云岩和生物灰岩,且含大量生物化石,主要为珊瑚、腹足类及腕足类等^[75, 77]。总体为一套局限台地到开阔碳酸盐台地加礁的碳酸盐岩建造^[7]。近期在拉竹龙—兽形湖一带的拉竹龙组中发现了中泥盆世(吉维特阶)珊瑚-层孔虫斑礁,包括横板珊瑚、四射珊瑚、层孔虫、腕足动物、腹足动物、介形虫、鹦鹉螺类、钙化蓝细菌以及管栖蠕虫等,拉竹龙组动物群与北羌塘地块及华南地区的共有物种及相似特征,反映了温暖、清澈的浅海环境^[78]。平沙沟组分布在玛依岗日一带,层位与龙木错地区的兽形湖组相当。层型剖面位于荣玛乡热觉茶卡北西的平沙沟一带^[79],总体为一套细碎屑岩夹碳酸盐岩类,岩性主要为:钙质粉砂岩,细砂岩,岩屑长石细砂岩,中细粒石英砂岩,含鲕粒灰岩、砾屑灰岩、结晶灰岩夹薄层状泥质灰岩,产早泥盆世晚期(Emsian)双壳类化石 *Eoschizodus romeri*, *E. minor*, *E. inflatus*, *Actinodesma* (*Actinodesma*) cf. *malleiforme*, *A. (Actinodesma)* cf. *vespertilio* 等和腕足类 *Huananochonetessubquadratus*^[79]。

石炭系,主要包括拉竹龙地区的下石炭统牙湖组(C_{1y})、上石炭统冈玛错组(C_{2g});冈玛错日湾茶卡一带出露的下石炭统望果山组(C_{1w})和日湾茶卡组(C_{1r});玛依岗日一带出露的上石炭统瓦垄山组(C_{2w})。月牙湖组(C_{1y})仅分布于双点达坂一带,与下伏上泥盆统拉竹龙组为整合接触,主要岩性为粉砂质灰岩、生物屑亮晶灰岩夹页片状粉砂质灰岩,生物碎屑亮晶鲕粒灰岩等,含极丰富的古生物化石,以杜内阶中-上部的腕足类及珊瑚、海百合茎为主^[77, 80]。望果山组分布于日湾茶卡地区,为一套酸性-基性(流纹岩、英安岩、安山岩、玄武安山岩、玄武岩等)并夹有火山碎屑岩的岩石组合,具有韵律旋回式喷发的特征。英安岩和安山岩的时代为早石炭世^[81-82]。日湾茶卡组以浅海相碳酸盐岩为主体,夹有少量碎屑岩,富含暖水型生物化石(贵州珊瑚和袁氏珊瑚等)。砂

岩中碎屑锆石进行 U-Pb 定年获得最年轻碎屑锆石年龄为 325 Ma^[83],印证了其时代为早石炭世维宪期;碎屑锆石中 362 Ma 和 454 Ma 年龄峰值最为明显,为龙木错—双湖—澜沧江洋岛弧消减事件和加里东运动的年龄记录,同两侧时代相近的冈瓦纳型沉积地层展金组在沉积学特征上形成鲜明对比,表明碎屑岩的物源区主要来自扬子大陆周缘^[84]。结合古生物化石资料可知,日湾茶卡组属于欧亚大陆扬子型石炭纪沉积地层,为岛弧环境下的一套浅水台型沉积。瓦垄山组的建组剖面位于热觉茶卡西侧,以灰岩为主夹少量粉砂岩和以细碎屑岩为主夹灰岩,岩性为长石石英砂岩、细砂岩、生物碎屑灰岩,具韵律型沉积,由若干个厚薄不等的韵律层组成,是具有明确化石记录,普遍产晚石炭世珊瑚、层孔虫、苔藓虫,双壳类化石^[85-87]。冈玛错组由 1986 年西藏区调队根据冈玛错一带的上石炭统命名。1:25 万土则岗日幅沿用了《西藏自治区岩石地层》对分布于双点达坂-月牙湖地区的冈玛错组,指整合于月牙湖组之上的碎屑岩,岩性为石英砂岩、长石石英砂岩、夹灰岩透镜体,产珊瑚和腕足类^[88]。据其岩性、岩相组合、沉积构造等,总体属一套陆源碎屑潮坪相碎屑岩建造^[8]。然而,缺乏时代意义明显的化石^[86],在最新 1:5 万冈玛错地区的区域地质调查中归为上石炭统一二叠统展金组^[25],所以双点达坂月牙湖地区的该套地层的时代及归属仍不清楚。

二叠系,在玛依岗日一带出露下二叠统长蛇湖组(P_{1c}),上二叠统雪源河组(P_{3x})和上二叠统热觉茶卡组(P_{3r}),时代依据相对充分。长蛇湖组在热觉茶卡一带与下伏瓦垄山组整合接触^[89]。岩石类型主要有生物碎屑灰岩,含燧石结核灰岩,微晶灰岩,厚层砂质灰岩,夹中薄层状岩屑长石中砾砂岩、细砂岩、长石石英砂岩,产早二叠世的类、腕足类化石^[9]。雪源河组分布于热觉茶卡北部整合于热觉茶卡组之下的中二叠世灰岩地层,岩性主要为大套中薄层状泥晶灰岩,含砂屑灰岩、生物碎屑灰岩,生物碎屑砂质灰岩,微晶灰岩夹厚层状灰岩,普遍产蠕及非蠕有孔虫化石^[89]。在建组剖面 and 热觉茶卡西侧发现了时代明确的晚二叠世吴家坪末期类和 *Colaniella* 动物群,将其时代定为晚二叠世^[14]。热觉茶卡组主要为长石石英砂岩、粉砂岩,含碳质粉砂岩为主,夹生物碎屑砂屑灰岩。夹薄层状粉砂岩,岩屑长石细砂岩,未见底。

产双壳类、温暖型蠕类化石^[89, 91], 具有与华南生物群相似的特征^[91]。在热觉茶卡组顶部钙质泥岩中获得锆石 U-Pb 年龄(252.3 ± 0.9) Ma, 代表了羌北地区二叠系与三叠系的界限, 热觉茶卡组自下向上的沉积环境变化表现为缺氧的三角洲沉积-高能的三角洲前缘沉积-低能的沼泽沉积^[92-93]。

3 羌南地层区古生界地层特征与研究进展

3.1 下古生界

羌南地层区具有冈瓦纳型泛非期早古生代的结晶基底组成^[66, 94-96]。下古生界仅零星分布于玛依岗日南坡的塔石山^[97-98]、荣玛乡温泉地区^[89], 主要包括寒武系荣玛组(ϵr)、下奥陶统下古拉组(O_1x)、中-上奥陶统塔石山组($O_{2-3}t$)、志留系三岔沟组(Ss)。其中塔石山地区出露的下古生界为一套产状倒转的单斜地层, 奥陶系-泥盆系是以细碎屑岩和碳酸岩建造为主的大陆边缘台地型沉积建造^[89, 98]。

寒武系荣玛组仅报道于荣玛乡温泉一带, 岩性以中-厚层状石英岩、浅变质石英砂岩夹粉砂质板岩为主, 被下奥陶统塔石山组平行不整合覆盖, 未见化石, 其时代依据主要来自不整合界面以下变质砂岩的最小碎屑锆石年龄(525 Ma 和 527 Ma)和被早奥陶世花岗岩侵入^[99-101]。荣玛组是目前在羌塘首次发现的寒武系, 对完善羌塘下古生界研究意义重大, 但目前其岩石组合与分布规律并不清楚, 还缺乏更确切的时代依据, 关于下奥陶统塔石山组与荣玛组的不整合具有怎样的构造意义也有待进一步研究。下古拉组建组剖面位于荣玛乡北部塔石山地区, 为一套杂色中薄层状变质细碎屑岩夹结晶灰岩。主要岩石类型有角岩化钙质细砂岩、粉砂岩, 变质粉砂岩, 板岩化粉细砂岩夹薄层结晶灰岩, 未见生物化石。顶部与含鹦鹉螺化石的塔石山组结晶灰岩整合接触, 因此将其时代归属为早奥陶世中晚期^[89]。塔石山组在荣玛乡以北的塔石山和以西的荣玛温泉均有出露, 岩性主要为结晶灰岩, 砂屑结晶灰岩为主, 夹中薄层状变质钙质粉砂岩, 大理岩化灰岩夹砂屑结晶灰岩, 时代依据充分, 产丰富的鹦鹉螺类(*Sinoceras* sp, *Michelinoceras* sp.)、腹足类、海百合茎及保存欠佳的腕足类等化石^[89, 98]。荣玛乡温泉

地区的塔石山组下岩段主要为一套中-粗砾岩、中粗粒变余石英砂岩、砂质板岩与泥质板岩, 上岩段为细碎屑岩和灰岩不等厚互层, 产鹦鹉螺类; 在塔石山组还出现变质火山岩夹层, 岩性为绢云流纹质板岩和玄武安山岩^[10], 但是火山岩时代和性质还缺少相关研究。志留系(未分)三岔沟组出露局限在塔石山和荣玛温泉, 地层连续, 厚度小, 主要为一套中浅变质的细碎屑岩夹砂屑结晶灰岩薄层或透镜体组合, 岩石类型包括粉砂岩、绢云母片岩、钙质粉砂岩夹长透镜体状砂屑结晶灰岩, 产笔石化石^[89]。

羌南上述下古生界地层的沉积岩石组合、生物组合等特征表明, 塔石山、荣玛乡温泉地区的下古生界形成于滨浅海相沉积环境, 具有冈瓦纳相的亲缘性, 处于冈瓦纳大陆北缘的稳定的被动大陆边缘^[10]。但是关于南羌塘地体荣玛组与塔石山组不整合界面的构造属性; 火山岩夹层的地球化学特征与构造背景; 寒武-奥陶系沉积序列对古特提斯洋早期裂解的响应机制等问题仍不清楚。南羌塘地体下古生界是重建冈瓦纳北缘构造演化的关键载体, 其完整记录亟待系统厘定, 以揭示古特提斯洋及南侧陆缘早古生代构造-沉积耦合过程。

3.2 上古生界

羌南上古生界泥盆系长蛇山组(Dch)仅在玛依岗日地区塔石山有小面积出露, 为稳定的碳酸盐岩沉积, 岩性主要为大理岩化灰岩, 砂屑结晶灰岩为主夹角砾状结晶灰岩及变质钙质粉砂岩。底部与下伏志留系三岔沟组连续沉积, 未见顶。产丰富的竹节石^[89]。羌南石炭系-二叠系广泛分布, 其岩石特征、岩相组合、古生物组合及沉积环境与羌北截然不同。主要包括上石炭统擦蒙组(C_2ch)、下二叠统展金组(P_1zh)、下二叠统曲地组(P_1q)、下二叠统吞龙共巴组(P_1t)、中二叠统鲁谷组(P_2l)、中二叠统龙格组(P_2lg)和上二叠统吉普日阿组(P_3jp)。各地层基本特征和时代依据简述如下。

擦蒙组以石英岩、白云母石英岩、变质(石英岩化)石英砂岩、白云母石榴石石英片岩为主体, 夹变质玄武岩, 凝灰质变质粉砂岩, 粉砂质板岩等为特点。未见底。地层中未发现化石, 与上覆展金组连续沉积, 时代被置于晚石炭世一早二叠世早期^[101]。日土地区的擦蒙组发育典型正粒序层理的块状细碎屑岩相与发育水平层理的粉砂岩或

页岩相伴生,具有深水陆棚环境的沉积特征,呈现出冰海相加积沉积序列的特点^[102]。展金组由梁定益等以日土县多玛区吉普村北展金河命名^[101],岩性以变质石英砂岩、变质粉砂岩、砂质板岩、千枚岩、冰海杂砾岩等为主体,夹多层变质玄武岩的沉积建造^[10]。在展金组建组剖面及其相邻的展金组地层中产丰富的双壳类、腕足类和珊瑚等化石,时代为早二叠世晚阿赛尔—早萨克马尔期^[103]。但区域上的展金组化石并不发育,构造改造强,其时代归属争议颇大,曾被认为元古代^[104]、早古生代^[105]和早二叠世^[106];王权等在改则县托和平错地区展金组下部砂质砂砾屑灰岩中采获大量早-中二叠世类化石,并通过对比和平错一带展金组火山岩的研究,认为其产于冈瓦纳大陆北缘的裂谷环境^[107]。该组中的冰海杂砾岩被认为是冈瓦纳大陆冰川塔尔切尔冰期的产物^[108],笔者结合多年在羌塘中部开展的区域地质调查工作,认为冰海杂砾岩是识别区域不含化石展金组的典型沉积。展金组是早二叠世冈瓦纳大陆不规则冰川运动作用于冈瓦纳大陆北缘古特提斯洋大洋盆地的产物^[25],藏北日土地区的展金组代表了冰海相海侵退积序列^[102]。曲地组为一套细碎屑岩夹中粗碎屑岩、砂质灰岩的沉积组合,具有复理石沉积特点。区域上分布于多玛、鲁玛江冬错、物玛乡以北以及荣玛乡一带,产双壳类、腕足类及少量蠕类、苔藓虫、珊瑚和腹足类化石^[109-115],潜水环境穴居的遗迹化石^[116]。改则县物玛乡北部曲地组中砂岩的地球化学及碎屑锆石(最年轻的碎屑锆石峰值为330~270 Ma)研究表明,曲地组形成的大地构造环境主要为被动大陆边缘或大陆岛弧环境^[117]。日土地区的曲地组可能代表了三角洲相海退进积序列和加积序列^[102]。吞龙共巴组分布在日土县多玛乡一带,整合于曲地组之上,主体为一套以生物碎屑灰岩为主的海相沉积建造,下部以钙质长石石英砂岩夹薄层泥岩、泥灰岩,上部为鲕粒灰岩、含有丰富的蠕类、珊瑚和腕足类化石,时代为早二叠世空谷期^[101, 118]。下部可能是河口湾潮坪相加积-退积序列,上段记录了障壁-潟湖相加积-进积或碳酸盐岩台地相加积序列^[102]。鲁谷组以灰岩为主,夹砂屑灰岩、生物碎屑灰岩,粉砂质页岩、硅质岩、砂板岩夹火山角砾岩,厚层状枕状玄武岩为主夹块状玄武岩,含砾砂板岩,火山角砾岩。鲁谷组中玄武岩年龄为267 Ma,硅质岩碎屑锆石最新峰

值年龄为265 Ma^[119];丰富的类化石、腕足化石的研究均表明,鲁谷组的时代为中二叠世^[114, 12-123]。鲁谷组的古地磁研究表明,羌南中二叠世位于南半球中低纬度地区^[124]。但是在才玛尔错北侧和绒玛北东的雪水河西的鲁谷组硅质岩中曾识别出具有鉴定意义的中-晚三叠世放射虫^[125],而且至少有部分原定为鲁谷组的地层,如达不热地区、才玛尔错北侧的碳酸盐岩、放射虫硅岩和玄武岩组合,具有明显的洋岛型岩石组合的特征^[26, 125]。因此,鲁谷组应该进一步解体,仍需开展详细的地层学和区域对比研究。龙格组由梁定益等1982年命名,建组剖面位于西藏自治区日土县欧拉,分布于欧拉和多尔冬山一带^[126],整合于吞龙共巴组之上,以灰白色的灰岩为主,主要岩性为灰色厚层至块状结晶灰岩、生物礁灰岩、含砂灰岩、白云岩及鲕状灰岩等,含蠕类、小有孔虫等化石,时代为中二叠世栖霞晚期—茅口期^[127-128],主要形成于开阔台地、局限台地和潮坪等沉积环境^[129-13]。吉普日阿组出露于羌南多玛一带,不整合于龙格组之上,岩性主要为薄层-中厚层泥晶灰岩、白云质灰岩、礁灰岩,中-薄层细砂岩夹粉砂岩等为主,底部为灰色块状砾岩,在砂质灰岩中产腕足类和海百合茎化石^[101],局部夹安山岩,产珊瑚和蠕类化石,砂岩碎屑锆石最新年龄峰值(255 Ma),时代为晚二叠世吴家坪期—长兴期,主体为滨海-滨浅海相沉积^[131-132]。

4 存在问题与研究意义

青藏高原1:25万和1:5万区域地质调查及油气地质调查工作已初步建立了羌塘盆地地层格架^[10, 14, 92, 132],本文结合近年来有关古特提斯洋演化研究的最新进展,对羌塘古生界地层系统进行了初步的梳理和总结,羌南、羌北在地层和生物化石等方面存在显著的差异,但是由于恶劣的气候和交通条件,羌南、羌北古生代沉积以及古生物化石等方面的研究报道较少且不系统,缺乏统一认识。本文认为羌塘古生代的基础地质研究存在以下3方面的问题亟待解决。

4.1 南、北羌塘古生代盆地充填与演化研究

在羌南地层区,存在着寒武系与下奥陶统之间的平行不整合以及下奥陶统至上二叠统以细碎屑岩和碳酸岩建造为主的连续的被动大陆边缘滨浅海沉积。玛依岗日地区的寒武系荣玛组、下奥

陶统下古拉组、中-上奥陶统塔石山组下部和志留系三岔沟组,主要为碎屑岩沉积,缺少具有准确时代意义的标准化石。目前这些地层沉积时代主要依据来自地层接触关系、荣玛组中碎屑锆石和塔石山组上部鹦鹉螺化石的约束,并认为塔石山组与荣玛组为平行不整合接触^[89, 99, 133]。塔石山组

中发现流纹质板岩和玄武安山岩等变质火山岩夹层^[10],对约束地层时代及其构造属性非常重要,但尚未开展年代学和地球化学研究。寒武系的地层层序及其与上覆和下伏地质体的接触关系以及其所揭示的地质意义仍有待进一步限定。

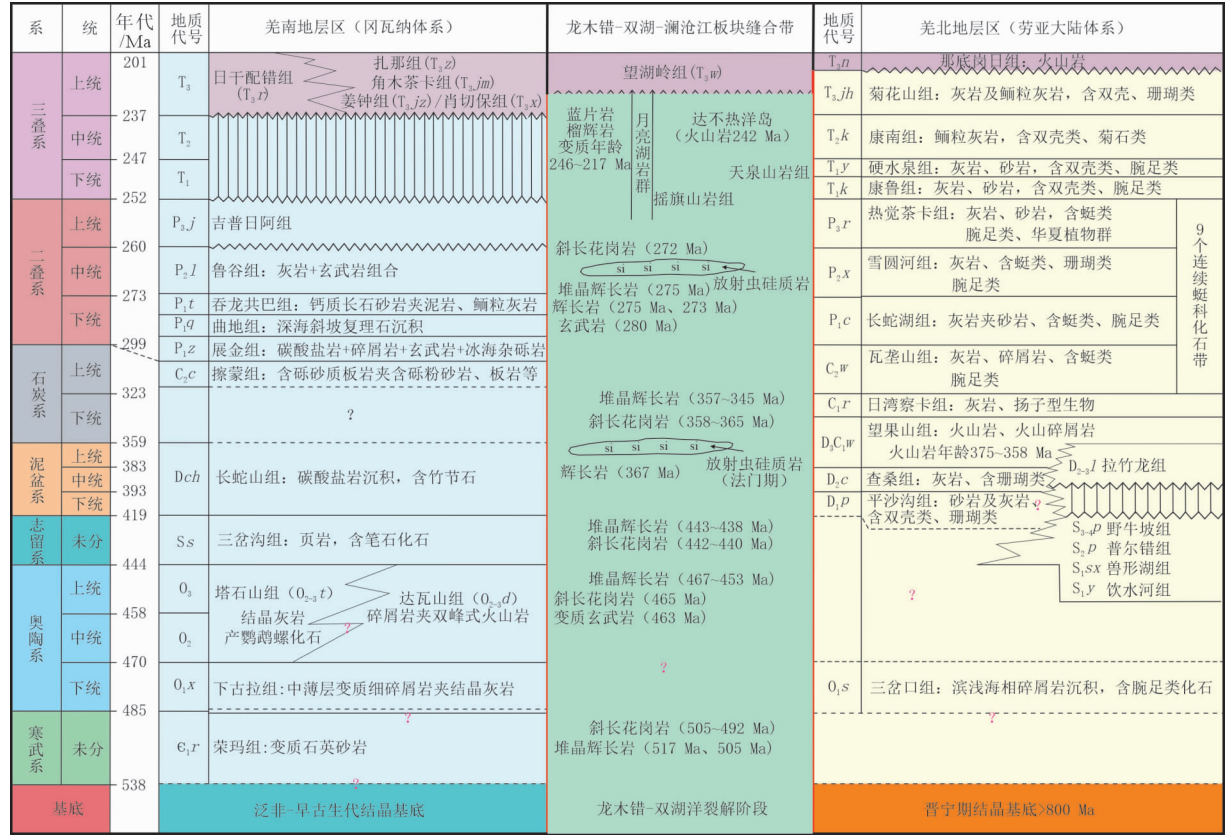


图3 南、北羌塘古生代地层系统与龙木错—双湖缝合带蛇绿混杂岩演化关系图谱(据文献[10]修改)

Fig.3 Map of the paleozoic stratigraphic systems in South-North Qiangtang and evolutionary relationships of ophiolitic mélangé in the Longmu Co-Shuanghu Suture Zone

晚石炭世—早二叠世,羌南发育一套典型的裂谷型沉积伴有同期的基性岩浆活动,是冈瓦纳大陆北缘裂解过程的沉积响应^[49, 102],以夹有冰海杂砾岩为特点,产典型的冷水型生物化石^[108]。作为冈瓦纳大陆识别和重建的标志性沉积,冰海杂砾岩在区域上(南非、南美、澳大利亚、印度、巴基斯坦、滇西等地)具有广泛的可比性,是一期全球性的沉积事件^[101, 115]。冰海杂砾岩的研究为恢复石炭—二叠纪冈瓦纳大陆北缘的古地理环境提供了重要依据。但目前冰海杂砾岩的研究程度仍较低,仅限于冈玛错和达不热两个地区,冰海杂砾岩的砾石可达20种之多^[134],它的物源来自于哪里?羌南地层区的东部羌多双湖与西部的多玛东汝一带晚古生代的地层序列和岩石组合也具有显著差异^[17, 115 135]。具体表现在:羌南中部的展金

组普遍变质,而西部多玛地区的地层未变质;羌南中部的中二叠世沉积中夹有很多玄武岩夹层,显示多为洋岛型沉积,而西部多玛地区的中二叠世地层为发育良好的碳酸盐岩,含丰富化石,未见玄武岩,形成这种差异的原因目前还不清楚;早二叠世晚期开始东西向存在较大的相变,西部下二叠统吞龙共巴组之上存在间断面,不整合于上二叠统吉普日阿群之下,而东部下二叠统到中二叠统都是玄武岩和灰岩组成的鲁谷组^[135-136]。有学者提出,羌南中部的古生界具有非史密斯地层特征,玛依岗日—双湖一带,早古生代下拉古(岩)组—二叠系为一套规模巨大的俯冲增生杂岩^[10, 137-139]。

在羌北地层区,古生代地层出露非常零星,发育的最古老地层为奥陶系和志留系,以碳酸岩建造为主;中上泥盆统大面积不整合于奥陶志留系

之上;石炭一二叠系为稳定的碳酸岩沉积,普遍发育珊瑚、海绵、科化石等暖水型生物组合。然而,龙木错地区下䗴古生界的划分和对比仍存在争议、地层时代还缺少关键证据、沉积序列尚不完善。下奥陶统三岔口组主要为滨浅海相碎屑岩沉积,其时代依据主要为腕足类化石的约束^[7]。前人对拉竹龙地区上奥陶统饮水河组也有不同认识:西藏区调大队在1:100万日土幅区域地质调查报告中依据三叶虫和腕足类化石将其时代定义为中晚奥陶世;山西省地质调查院在1:25万土则岗日幅区调报告中沿用了这个时代依据;陈挺恩等依据大量的化石鉴定认为拉竹龙地区饮水河北岸和兽形湖北岸两个剖面均未出现奥陶系^[73]。

综上所述,从沉积建造和生物区系来看,羌南与羌北的古生界是两套截然不同的系统,所以应具有不同的盆地演化历史及古地理特征,然而目前关于盆地内的古生代海相地层研究仍十分薄弱,地层的划分与对比仍存在较大争议,古生代盆地结构缺少精细研究,南、北羌塘古生代盆地充填与演化历史并不清楚,严重制约了对古特提斯洋及两侧陆缘古生代构造-沉积耦合过程的理解。

4.2 龙木错—双湖—古特提斯洋及两侧大陆边缘的演化历史

有关古特提斯洋开启的时限一直存在争议,传统认为古特提斯洋在泥盆纪开启^[24, 6-7]。近年来,羌塘中部蛇绿混杂岩的大量研究表明,龙木错澜沧江洋至少在中寒武世就已经打开,持续或阶段式演化到三叠纪^[10, 21]。然而,现有蛇绿混杂岩等证据虽能证实古特提斯洋存在,却难以重构洋盆连续的演化过程^[140-142]。龙木错—双湖古特提斯洋古生代裂解-扩张的洋盆演化过程如何?目前都还没有得到很好的回答。如果南、北羌塘地体在早古生代被古特提斯洋所分割^[21],那么对应的沉积体系和沉积大地构造环境应存在显著差异。南、北羌塘地体下古生界地层存在多次碎屑岩、碳酸盐岩交互出现的沉积过程^[10, 72],部分地层还存在火山岩夹层^[100, 148],记录了复杂的沉积环境演化及盆地沉降过程。但是还缺乏细致的沉积环境分析、碳酸盐岩微相的研究,对火山岩能揭示的沉积大地构造背景缺少精细的研究。更重要的是,南、北羌塘地体下古生界物源区也应该存在显著差异。目前,只有南羌塘地体下古生界个别地层开展了物源区研究,如,董春艳等对荣玛乡温泉地区石英岩进行了碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同

位素分析,但所属地层并不确定,可能为荣玛组^[133];杨耀等对荣玛乡温泉地区塔石山组下部变质石英砂岩和石英砂岩碎屑锆石进行分析,认为塔石山组物源来自“泛非运动”晚期形成的结晶岩^[99],上述研究认为南羌塘地体下古生界的碎屑物质来自冈瓦纳大陆变质基底,南羌塘地体为冈瓦纳大陆北缘的一部分,但南羌塘地体下古生界仍缺少详细的物源区研究,而北羌塘下古生界还未开展过相关工作。因此,需要结合沉积相分析、碎屑锆石示踪(年龄-同位素)及火山岩地球化学,揭示南、北羌塘地体早古生代源-汇体系差异,明确古特提斯洋分割两侧陆缘的沉积响应,上述研究的开展必将为限定古特提斯洋的开启时限和过程提供关键的沉积学证据。

洋盆内部沉积(洋板块地层)能更好的确定大洋存在及其规模^[143-145]。该区古生界地层连续出露,为重建古地理格局、追溯物源特征及反演古大洋演化提供了关键窗口,是解析古特提斯洋-陆系统演化的直接沉积证据。在玛依岗日地区,早古生代俄久卖岩组、母爱山岩组和本松错岩组可能形成于安第斯型活动大陆边缘,其中母爱山岩组可能形成于洋岛环境^[10]。但是这些沉积建造能否是龙木错—双湖古特提斯洋的洋板块地层残留,并且与羌南的下古生界有着构造属性差别,仍需要进一步开展研究。我们通过基础地质调查已经在羌塘中部原定为擦蒙组和展金组的地层中,分别厘定出埃迪卡拉系达布热组^[146-147]、中上奥陶统达瓦山组^[148-149]和晚二叠—中三叠世洋岛残片^[26],因此,羌南大面积分布的擦蒙组和展金组其实也是一个“大口袋”,需要开展精细的地质调查研究进行厘定。目前在龙木错—双湖—澜沧江板块缝合带内仅仅在冈玛错地区厘定出晚石炭世—早二叠世的展金组具有复理石沉积的特点^[25],早二叠世的曲地组和晚二叠世的天泉山组,其他时代的复理石建造尚属空缺。因此,继续开展深入的调查,可能会鉴别出更多与古特提斯洋盆演化相关的洋板块地层系统^[139],这对揭示古特提斯洋演化历史,认识羌塘盆地的结构属性具有重要的研究意义。

虽然大多数学者认为羌南在古生代属于冈瓦纳大陆体系,但国内外学者基于对冈瓦纳大陆北缘(如喜马拉雅、拉萨、南羌塘地体等)早古生代岩浆作用的研究,对冈瓦纳大陆北缘早古生代陆缘性质形成了两种截然不同的认识:①属于被动

大陆边缘^[150-152], 早古生代岩浆活动记录了泛非造山事件之后冈瓦纳大陆北缘的后碰撞伸展环境^[153-156]; ②属于活动大陆边缘, 早古生代岩浆活动是原特提斯洋沿冈瓦纳大陆北缘安第斯型俯冲作用的产物^[45, 157-159]。可见从岩浆作用角度来约束青藏高原早古生代冈瓦纳大陆北缘陆缘性质仍存在着较大争议。但是羌南与羌北的古生界的地层系统存在显著差异。羌南地层区, 下奥陶统与寒武系荣玛组之间发育平行不整合界面, 可能是泛非早古生代造山事件的产物^[99]; 而在羌北, 中上泥盆统大面积不整合于奥陶志留系之上, 则更可能是加里东造山事件的产物^[74], 这些重要的不整合界面对揭示龙木错—双湖古特提斯洋及两侧大陆边缘的属性和演化历史具有重要研究意义。羌北可能处于劳亚大陆南缘, 为亲扬子型^[10], 早古生代为滨浅海—浅海相, 但由于缺少关键性地质证据, 盆地属性不清, 学者们讨论得较少。羌北晚古生代处于活动大陆边缘, 发育暖水型生物, 石炭系—三叠系具有弧前盆地特征, 沉积受控于古特提斯洋的俯冲, 并伴随强烈的岩浆活动, 原型盆地具有双向水流和物源, 盆地演化末期海水逐步变浅的过程与晚三叠世古特提斯洋消亡和陆陆碰撞事件吻合^[10, 81, 160-162]。沉积建造是判别大陆边缘性质及洋陆转换的重要标志之一, 因此能进一步解决上述争议的关键是: 羌塘古生界。亟须通过沉积组合、盆地沉降速率及构造-热事件耦合分析, 来判别南、北羌塘古生代陆缘性质(被动/活动)和演化历史, 重建古特提斯洋裂解-扩张的动力学过程。

4.3 羌塘盆地结构与羌塘古生界油气远景评价

羌塘盆地位于特提斯构造域东段, 是该地区保存最完整的中生代海相盆地, 油气地质条件与毗邻的中东油气区相似, 其东南段则是东南亚油气区, 油气资源潜力巨大, 我国油气地质工作者对羌塘盆地开展了系统的油气地质调查和研究工作, 完成了从含油气盆地分析到资源潜力评价、战略选区、靶区预测、井位论证及实施科探井的全过程, 提出了羌塘盆地是我国最有希望取得突破的油气勘探新区^[12]。

对羌南、羌北盆地的基底性质、结构和构造属性认识的不同, 将产生完全不同的油气勘探思路。目前对羌塘盆地的基底性质仍存在不同认识, 部分学者认为羌塘存在太古宙古陆核^[163]。然而, 从航空重磁特征分析, 羌塘总体磁场平缓, 后期遭

受构造改造强烈, 断裂构造极为发育, 南、北羌塘可能不具有统一的结晶基底^[13, 164-165], 这与目前羌南、羌北不同的古生代地层分布特征以及龙木错—双湖古特提斯洋的研究进展的认识一致^[10]。因此, 本文也认为, 羌塘油气的勘探重点应该从南、北羌塘盆地的角度分别进行考虑。另外, 中国地质大学(北京)在玛依岗日—依布茶卡一带连续开展了 20 幅 1: 5 万区域地质调查, 提出南羌塘地区下古生界(甚至包括上古生界及三叠系)为构造-地层系统, 具有典型的非史密斯地层特征, 是一套规模巨大的俯冲增生杂岩^[137]。如果南羌塘是巨型增生构造杂岩带, 则该区的油气资源前景则不会乐观, 即使早期形成了丰富的油气资源, 但是随着后期强烈的增生造山过程也将遭受严重的破坏。

地球物理资料显示羌塘中央隆起带作为地壳尺度的背形隆起带, 控制了羌塘盆地中新生代的沉积过程, 制约着油气勘探目标的选择与勘探思路^[13, 165]。地层是盆地演化过程的真实可靠记录。从上述羌塘盆地古生界的沉积特征来看, 寒武纪以来各时代的地层均有不同程度发育, 尤其是晚古生代地层出露较为广泛, 记录了盆地内古地理演化的丰富信息。羌塘古生界油气资源也有一些重要的线索, 如, 拉竹龙组(D_2-3l)生物礁的发现为北羌塘盆地寻找油气资源提供了新思路^[74, 78]; 在羌塘盆地中央隆起带内角木茶卡地区发现了二叠系(展金组和龙格组)古油藏^[166], 并在钻井过程中在二叠系地层中也发现了大量的干沥青和液态油包裹体, 表明二叠系曾经发生过油气的产生、运移和聚集, 这对于重新认识南羌塘盆地古生代地层的石油地质特征具有重要意义^[167]。南羌塘盆地内发育优质古生代烃源岩^[167], 暗示南羌塘盆地古生界具良好的生油、储油潜力, 该古油藏对研究古生界油气资源潜力分析具重要研究意义。鉴于前人的大量研究集中在羌塘中生代盆地, 而古生代油气远景评价几乎处于空白阶段^[168]。因此, 关于羌塘中央隆起带的物质组成与构造演化的深入研究迫在眉睫。

5 结论与研究展望

综上所述, 通过梳理羌塘中央隆起带古生界的物质组成、时空分布特征以及地层的划分与对比情况, 本文认为羌南和羌北的古生界沉积记录

相对完整和连续,但由于基础地质研究程度偏低,缺乏对南、北羌塘古生代地层格架和地层层序的精细划分和对比研究,南、北古生代沉积盆地的充填与演化历史研究明显不足,有关龙木错—双湖古特提斯洋的洋盆演化记录仍有待进一步甄别,对古特提斯洋两侧的大陆边缘的性质和演化历史也不清楚,上述基础地质问题的存在,导致对羌塘盆地结构与构造属性的认识不同,严重制约了羌塘油气远景评价和油气勘探的思路。羌塘不仅保存了相对完整的古特提斯洋演化记录,也是我国陆域勘探程度较低的含油气沉积盆地之一,而且从沉积记录来看,南、北羌塘的古生界也均具有良好的生油、储油潜力。因此,须开展羌塘古生界研究,不仅能有效揭示古特提斯洋的演化历史,对重塑古特提斯洋-陆构造格局具有重要科学意义,而且对认识羌塘盆地结构以及进行羌塘古生界油气资源调查具有重要的理论与实践指导意义。

参考文献

[1] SUESS E. Are great ocean depths permanent? [J]. Nature Science, 1893: 180-187.

[2] ŞENGÖR A M C. Mid-Mesozoic closure of permo-Triassic Tethys and its implications[J]. Nature, 1979, 279: 590-593.

[3] STAMPFLI G M, BOREL G D. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 196(1/2): 17-33.

[4] 丁林. 特提斯地球动力系统研究新进展[J]. 中国科学: 地球科学, 2024, 54(3): 892-896.

DING L. New advances in the study of Tethyan geodynamic system[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2024, 67(3): 874-878

[5] XU X Z, YANG J S, ROBINSON P T, et al. Origin of ultrahigh pressure and highly reduced minerals in podiform chromitites and associated mantle peridotites of the Luobusa ophiolite, Tibet [J]. Gondwana Research, 2015, 27(2): 686-700.

[6] METCALFE I. Multiple Tethyan ocean basins and orogenic belts in Asia[J]. Gondwana Research, 2021, 100: 87-130.

[7] 吴福元, 万博, 赵亮, 等. 特提斯地球动力学[J]. 岩石学报, 2020, 36(6): 1627-1674.

WU F Y, WAN B, ZHAO L, et al. Tethyan geodynamics[J]. Acta Petrologica Sinica, 2020, 36(6):

1627-1674.

[8] 李才. 龙木错—双湖—澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 长春地质学院学报, 1987, 17(2): 155-166.

LI C. The Longmucuo-Shuanghu-Lancangjiang plate suture and the north boundary of distribution of Gondwana facies Permo-Carboniferous system in northern Xizang, China [J]. Journal of Changchun College of Geology, 1987, 17(2): 155-166.

[9] 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.

LI C. A review on 20 years' study of the Longmu Co-Shuanghu-Lancang River Suture Zone in Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [J]. Geological Review, 2008, 54(1): 105-119

[10] 李才. 羌塘地质[M]. 北京:地质出版社, 2016.

[11] 王成善, 张哨楠. 青藏高原含油气盆地分析及油气资源预测[J]. 地球科学, 1996, 21(2): 120-129.

WANG C S, ZHANG S N. Preliminary analysis of petroliferous basins and oil-gas prospects in Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(2): 120-129.

[12] 王剑, 付修根, 沈利军, 等. 论羌塘盆地油气勘探前景[J]. 地质论评, 2020, 66(5): 1091-1113.

WANG J, FU X G, SHEN L J, et al. Prospect of the potential of oil and gas resources in Qiangtang Basin, Xizang (Tibet) [J]. Geological Review, 2020, 66(5): 1091-1113.

[13] 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]. 地质学报, 2021, 95(11): 3178-3191.

ZHOU D Q, CAO B B, ZHAO R, et al. High-precision airborne gravity and magnetic survey analysis of the Qiangtang Basin: Implications for basin basement properties and tectonic framework[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(11): 3178-3191.

[14] 张予杰, 张以春, 王冬兵, 等. 青藏高原中南部前寒武系及古生界岩石地层组成和时代特征[J]. 地质通报, 2021, 40(11): 1814-1835.

ZHANG Y J, ZHANG Y C, WANG D B, et al. Precambrian-Paleozoic strata and their ages in the central and southern Tibetan Plateau [J]. Bulletin of Sinica, 2021, 40(11): 1814-1835.

[15] 王剑, 张豪薇, 张健, 等. 论羌塘含油气盆地关键地层划分对比问题[J]. 海相油气地质, 2024, 29(1): 17-29.

WANG J, ZHANG H W, ZHANG J, et al. Advances

- in division and correlation of stratigraphy in the oil-bearing Qiangtang Basin, North Tibet[J]. *Marine origin petroleum geology*, 2024, 29(1): 17-29.
- [16] YIN A, HARRISON T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28: 211-280.
- [17] PAN G T, WANG L Q, LI R S, et al. Tectonic evolution of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 53: 3-14.
- [18] 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: 来自果干加年山蛇绿岩与流纹岩 Ar-Ar 和 SHRIMP 年龄制约[J]. *岩石学报*, 2007, 23(5): 911-918.
- LI C, ZHAI Q G, CHEN W, et al. Geochronology evidence of the closure of Longmu Co-Shuanghu suture, Qinghai-Tibet plateau: Ar-Ar and zircon SHRIMP geochronology from ophiolite and rhyolite in Guoganjianian [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(5): 911-918.
- [19] 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.
- LI C, DONG Y S, ZHAI Q G, et al. Discovery of Eo-paleozoic ophiolite in the Qiangtang of Tibet Plateau: Evidence from SHRIMP U-Pb dating and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(1): 31-36.
- [20] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 冈瓦纳大陆北缘早期的洋壳信息: 来自青藏高原羌塘中部早古生代蛇绿岩的依据[J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1605-1612.
- LI C, ZHAI Q G, DONG Y S, et al. Oceanic crust on the northern margin of Gondwana: Evidence from Early Paleozoic ophiolite in central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(10): 1605-1612.
- [21] ZHAI Q G, JAHN B M, WANG J, et al. Oldest paleo-Tethyan ophiolitic mélange in the Tibetan Plateau [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2016, 128(3/4): 355-373.
- [22] 翟庆国, 李才. 藏北羌塘菊花山那底岗日组火山岩锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. *地质学报*, 2007, 81(6): 795-800.
- ZHAI Q G, LI C. Zircon SHRIMP dating of volcanic rock from the Nadigangri formation in Juhuashan, Qiangtang, Northern Tibet and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(6): 795-800.
- [23] ZHAI Q G, HU P Y, LIU Y M, et al. Final closure of the Paleo-Tethys Ocean: Insights from Triassic granitoids in the central Qiangtang area, northern Tibetan Plateau[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2024, 136(11/12): 5075-5090.
- [24] 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.
- [25] FAN J J, LI C, WANG M, et al. Features, provenance, and tectonic significance of Carboniferous-Permian glacial marine diamictites in the Southern Qiangtang-Baoshan block, Tibetan Plateau [J]. *Gondwana Research*, 2015, 28(4): 1530-1542.
- [26] FAN J J, LI C, XIE C M, et al. Remnants of Late Permian-Middle Triassic ocean islands in northern Tibet: Implications for the late-stage evolution of the Paleo-Tethys Ocean [J]. *Gondwana Research*, 2017, 44: 721.
- [27] 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 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学[J]. *科学通报*, 2000, 45(21): 2322-2326.
- DENG X G, DING L, LIU X H, et al. Glaucophane schists and their $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology in the Gangmar Ri area, central Qiangtang, Tibetan Plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(21): 2322-2326.
- [28] 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.
- LI C, ZHAI Q G, DONG Y S, et al. Discovery of eclogites in Central Qiangtang, Tibetan Plateau and Their geological significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(1): 70-74.
- [29] ZHANG K J, CAI J X, ZHANG Y X, et al. Eclogites from central Qiangtang, northern Tibet (China) and tectonic implications[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 245(3/4): 722-729.
- [30] LI C, ZHAI Q G, DONG Y S, et al. High-pressure eclogite-blueschist metamorphic belt and closure of paleo-Tethys Ocean in Central Qiangtang, Qinghai-Tibet plateau[J]. *Journal of Earth Science*, 2009, 20(2): 209-218.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] LIANG X, WANG G H, YANG B, et al. Stepwise exhumation of the Triassic Lanling highpressure metamorphic belt in Central Qiangtang, Tibet: Insights from a coupled study of metamorphism, deformation, and geochronology[J]. *Tectonics*, 2017, 36(4): 652-670.
- [35] LIANG X, WANG G H, YUAN G L, et al. Mesozoic and Cenozoic deformations in the Raggyorcaka area, Tibet: Implications for the tectonic evolution of the North Qiangtang terrane[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 2015, 172(5): 614-623.
- [36] LIANG X, WANG G H, YUAN G L, et al. Structural sequence and geochronology of the Qomo Ri accretionary complex, Central Qiangtang, Tibet: Implications for the Late Triassic subduction of the Paleo-Tethys Ocean[J]. *Gondwana Research*, 2012, 22(2): 470-481.
- [37] 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:地球科学*, 2010, 40(5): 565-573.
- 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]. *Scientia Sinica(Terrae)*, 2010, 40(5): 565-573.
- [38] ZHAI Q G, JAHN B M, WANG J, et al. The Carboniferous ophiolite in the middle of the Qiangtang terrane, Northern Tibet: SHRIMP U-Pb dating, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic characteristics[J]. *Lithos*, 2013, 168/169: 186-199.
- [39] 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(25): 3188-3199.
- HU P Y, LI C, WU Y W, et al. Opening of the Longmu Co-Shuanghu-Lancangjiang ocean: Constraints from plagiogranites[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59(25): 3188-3199.
- [40] 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.
- HU P Y, LI C, WU Y W, et al. Silurian Tethyan Ocean in central Qiangtang, northern Tibet: Constraints from zircon U-Pb ages of plagiogranites within the Taoxinghu ophiolite[J]. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(11): 1651-1661.
- [41] 张天羽, 李才, 苏犁, 等. 藏北羌塘中部日湾茶卡地区堆晶岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. *地质通报*, 2014, 33(11): 1662-1672.
- ZHANG T Y, LI C, SU L, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages and geochemical characteristics of cumulates in the Riwanhaka area, middle Qiangtang, the Tibetan Plateau [J]. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(11): 1662-1672.
- [42] 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:地球科学)*, 2007, 37(7): 866-872.
- ZHAI Q G, LI C, HUANG X P, et al. Relics of the Paleo-Tethyan Ocean in Central Qiangtang, Tibet: Geochemical Evidence from Metabasites in the Guoganjian Mountains [J]. *Science China (Series D)*, 2007, 37(7): 866-872.
- [43] 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): 1228-1230.
- ZHAI Q G, LI C, CHENG L R, et al. Geological features of Permian ophiolite in the Jiaomuri area, Qiangtang, Tibet, and its tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(12): 1228-1230.
- [44] 朱同兴, 张启跃, 董瀚, 等. 藏北双湖才多茶卡地区构造混杂岩中新发现晚泥盆世和晚二叠世放射虫硅质岩[J]. *地质通报*, 2006, 25(12): 1413-1418.
- ZHU T X, ZHANG Q Y, DONG H, et al. Discovery of the Late Devonian and Late Permian radiolarian cherts in tectonic mélanges in the Cêdo Caka area, Shuanghu, northern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(12): 1413-1418.
- [45] 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.

- [46] 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.
- [47] LIU J H, XIE C M, LI C, et al. Early Carboniferous adakite-like and I-type granites in central Qiangtang, northern Tibet: Implications for intra-oceanic subduction and back-arc basin formation within the Paleo-Tethys Ocean[J]. Lithos, 2018, 296: 265-280.
- [48] 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.
- [49] WANG M, LI C, ZENG X W, et al. Petrogenesis of the southern Qiangtang mafic dykes, Tibet: Link to Late Paleozoic mantle plume on the northern margin of Gondwana? [J]. GSA Bulletin, 2019, 131(11/12): 1907-1919.
- [50] DAN W, WANG Q, MURPHY J B, et al. Short duration of Early Permian Qiangtang-Panjal large igneous province: Implications for origin of the Neo-Tethys Ocean[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2021, 568: 117054.
- [51] 陆济璞, 张能, 黄位鸿, 等. 藏北羌塘中北部红脊山地区蓝闪石 + 硬柱石变质矿物组合的特征及其意义[J]. 地质通报, 2006, 25(1/2): 70-75.
LU J P, ZHANG N, HUANG W H, et al. Characteristics and significance of the metamorphic minerals glaucophane-lawsonite assemblage in the Hongjishan area, north-central Qiangtang, northern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(1/2): 70-75.
- [52] 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.
DENG X G, DING L, LIU X H, et al. Geochemical characteristics of the blueschists and its tectonic significance in the central Qiangtang area, Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18(4): 517-525.
- [53] 翟庆国, 王军, 王永. 西藏改则县冈玛错地区发现榴辉岩[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1720-1724.
ZHAI Q G, WANG J, WANG Y, et al. Discovery of eclogite at Gangmacuo area from Gerze County, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(12): 1720-1724.
- [54] 董永胜, 李才, 施建荣, 等. 羌塘中部高压变质带的退变质作用及其构造侵位[J]. 岩石学报, 2009, 25(9): 2303-2309.
- DONG Y S, LI C, SHI J R, et al. Retrograde metamorphism and tectonic emplacement of high pressure metamorphic belt in central Qiangtang Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(9): 2303-2309.
- [55] 董永胜, 李才. 藏北羌塘中部果干加年山地区发现榴辉岩[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1197-1200.
DONG Y S, LI C. Discovery of eclogite in the Guoganjianian Mountain, central Qiangtang area, northern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(9): 1197-1200.
- [56] KAPP P, YIN A, CRAIG E, et al. Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist-bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet [J]. Tectonics, 2003, 22(4): 1043.
- [57] KAPP P, YIN A, MANNING C E, et al. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet [J]. Geology, 2000, 28(1): 19-22.
- [58] 张修政, 董永胜, 施建荣, 等. 羌塘中部龙木错—双湖缝合带中硬玉石榴石二云母片岩的成因及意义[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 93-103.
ZHANG X Z, DONG Y S, SHI J R, et al. Formation and significance of jadeite-garnet-mica schist newly discovered in Longmu Co-Shuanghu suture zone, central Qiangtang [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(1): 93-103.
- [59] 翟庆国, 李才, 董永胜, 等. 藏北羌塘中部绒玛地区蓝片岩岩石学、矿物学和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学[J]. 岩石学报, 2009, 25(9): 2281-2288.
ZHAI Q G, LI C, DONG Y S, et al. Petrology, mineralogy and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology for Rongma blueschist from central Qiangtang, northern Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(9): 2281-2288.
- [60] 鲍佩声, 肖序常, 王军, 等. 西藏中北部双湖地区蓝片岩带及其构造含义[J]. 地质学报, 1999, 73(4): 302-314, 388.
BAO P S, XIAO X C, WANG J. The blueschist belt in the Shuanghu region, central-northern Tibet and its tectonic implications [J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(4): 302-314, 388.
- [61] 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.
ZHAO J, ZHONG D L, WANG Y, et al. Metamorphism of Lancang metamorphic belt, the western Yunnan and its relation to deformation [J]. Acta Petrologica Sinica, 1994, 10(1): 27-40.

- [62] 王保弟,王立全,周道卿,等. 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[J]. 地质通报, 2021, 40(11): 1783-1798.
WANG B D, WANG L Q, ZHOU D Q, et al. Longmu Co-Shuanghu-Changning-Menglian suture zone: The boundary between Gondwanaland and Pan-Cathaysia mainland in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(11): 1783-1798.
- [63] PULLEN A, KAPP P, GEHRELS G E, et al. Triassic continental subduction in central Tibet and Mediterranean-style closure of the PaleoTethys Ocean[J]. Geology, 2008, 36(5): 351-354.
- [64] 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.
ZHANG X Z, DONG Y S, LI C. Geochemistry and tectonic significance of eclogites in central Qiangtang, Tibetan Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(12): 1804-1814.
- [65] 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的地球化学证据[J]. 岩石学报, 2014, 30(10): 2821-2834.
ZHANG X Z, DONG Y S, LI C, et al. A record of complex histories from oceanic lithosphere subduction to continental subduction and collision: Constraints on geochemistry of eclogite and blueschist in Central Qiangtang, Tibetan Plateau[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(10): 2821-2834.
- [66] 李才. 羌塘基底质疑[J]. 地质评论, 2003, 49(1): 5-9.
LI C. Question about the basement of the Qiangtang Micro-plate[J]. Geological Review, 2003, 49(1): 5-9.
- [67] 何世平,李荣社,王超,等. 青藏高原北羌塘昌都地块发现~4.0Ga 碎屑锆石[J]. 科学通报, 2011, 56(7): 647-658.
HE S P, LI R S, WANG C, et al. Discovery of ~4.0 Ga detrital zircons in the Changdu Block, north Qiangtang, Tibetan Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(7): 647-658.
- [68] 何世平,李荣社,王超,等. 昌都地块宁多岩群形成时代研究:北羌塘基底存在的证据[J]. 地学前缘, 2013, 20(5): 15-24.
HE S P, LI R S, WANG C, et al. Research on the formation age of Ningduo rock group in Changdu Block: Evidence for the existence of basement in the North Qiangtang[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(5): 15-24.
- [69] 姜庆运,但卫,王强,等. 青藏高原北羌塘三叠纪花岗岩中发现新元古代的基底信息:来自锆石 SIMS U-Pb 年龄和 Hf-O 同位素的约束[J]. 大地构造与成矿学, 2021, 45(2): 389-400.
JIANG Q Y, DAN W, WANG Q, et al. Neoproterozoic basement information revealed in the Triassic granites in the northern Qiangtang, Tibetan Plateau: Constraints from zircon SIMS U-Pb age and Hf-O isotopes[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2021, 45(2): 389-400.
- [70] 夏军,钟华明,童劲松,等. 藏西北三岔口地区泥盆系生物礁特征及其意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(2): 34-41.
XIA J, ZHONG H M, TONG J S, et al. The Devonian bioherms in Sanchakou, northwestern Xizang and their implications[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006, 26(2): 34-41.
- [71] 钟华明,鲁如魁,夏军,等. 中华人民共和国区域地质调查报告温泉幅(14C002001)比例尺 1: 250000 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2013.
- [72] 夏军,王陆太,钟华明,等. 青藏高原龙木错地区志留纪大型古三角洲沉积体系的识别及其意义[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1267-1275.
XIA J, WANG L T, ZHONG H M, et al. Discovery of large-scale Silurian ancient delta deposition system in Longmu Co area, Qinghai-Tibet Plateau, China and its significance[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(9): 1267-1275.
- [73] 陈挺恩,张允白. 藏北日土县拉竹龙地区志留系[J]. 地层学杂志, 2010, 34(4): 397-409.
CHEN T E, ZHANG Y B. Silurian of the Lazhuglung area, Rutog county, northern Tibet[J]. Journal of Stratigraphy, 2010, 34(4): 397-409.
- [74] 夏军,钟华明,童劲松,等. 藏北龙木错东部三岔口地区下奥陶统与泥盆系的不整合界面[J]. 地质通报, 2006, 25(S1): 113-117.
XIA J, ZHONG H M, TONG J S, et al. Unconformity between the Lower Ordovician and Devonian in the Sanchakou area in the eastern part of the Longmu Co, northern Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(S1): 113-117.
- [75] 王权,董挨管,段春森,等. 西藏北部拉竹龙地区泥盆纪岩石地层单位划分与时代讨论[J]. 沉积与特提斯地质, 2004(3): 30-37.
WANG Q, DONG A G, DUAN C S, et al. Division and ages of the Devonian lithostratigraphic units in Lazhuglung, northern Xizang[J]. Sedimentary Geolo-

- gy and Tethyan Geology, 2004(3): 30-37.
- [76] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏古生物(第三分册)[M]. 北京:科学出版社, 1981.
- [77] 金苏华, 罗梅. 西藏日土县拉竹龙—双陷大坂的泥盆系和石炭系[J]. 成都地质学院学报, 1989, 16(3): 20-25.
- JIN S H, LUO M. Devonian and Carboniferous in the Lazhulong-Shuangxiandaban area of Ritu county, north Xizang (Tibet) [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1989, 16(3): 20-25.
- [78] LIANG K, ZHANG Y C, CHEN J T, et al. Middle Devonian (Givetian) coral-stromatoporoid patch reefs from the Lazhuglung Formation, Xizang (Tibet) and their palaeoecological and palaeogeographical implications[J]. Palaeoworld, 2024, 33(3): 612-623.
- [79] 程立人, 陈寿铭, 张以春, 等. 西藏羌北地区早泥盆世地层的发现及平沙沟组的建立[J]. 地层学杂志, 2009, 33(2): 165-168.
- CHENG L R, CHEN S M, ZHANG Y C et al. Discovery of early Devonian strata in Northern Qiangtang, Tibet, and the establishment of the Pingshagou Formation[J]. Journal of Stratigraphy, 2009, 33(2): 165-168.
- [80] 魏荣珠, 魏云峰. 中华人民共和国区域地质调查报告土则岗日幅(I44C002003)比例尺 1: 250000 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2012.
- [81] 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.
- JAING Q Y, LI C, XIE C M, et al. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of volcanic rocks of Wangguoshan Formation in the Gangmar Co area of Qiangtang, Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(11): 1702-1714.
- [82] 许伟, 李才, 江庆源, 等. 藏北羌塘中部冈玛错—日湾茶卡地区下石炭统望果山组的建立及其地质意义[J]. 地质通报, 2014, 33(11): 1696-1701.
- XU W, LI C, JIANG Q Y, et al. The establishment of Early Carboniferous Wangguoshan Formation in Gangmar Co-Riwanchaka area, central Qiangtang, Tibetan Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(11): 1696-1701.
- [83] 彭虎, 李才, 解超明, 等. 藏北羌塘中部日湾茶卡组物源: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及稀土元素特征[J]. 地质通报, 2014, 33(11): 1715-1727.
- PENG H, LI C, XIE C M, et al. Riwanchaka Group in central Qiangtang Basin, the Tibetan Plateau: Evidence from detrital zircons [J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(11): 1715-1727.
- [84] PENG H, XIE C M, LI C, et al. Provenance and palaeogeographic implications of detrital zircons from the lower Carboniferous Riwanchaka Formation of the central Tibetan Plateau [J]. Geological Magazine, 2019, 156(12): 2031-2042.
- [85] 程立人, 陈寿铭, 张以春, 等. 西藏羌北地区石炭纪蠕类动物群及其分带[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 1-7.
- CHENG L R, CHEN S M, ZHANG Y C, et al. Carboniferous Fusulinids and Fusulinid zone in Northern Qiangtang, Tibet [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(1): 1-7.
- [86] 武桂春, 姚建新, 纪占胜. 西藏北羌塘中部地区晚石炭世的蠕类动物群[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1276-1280.
- WU G C, YAO J X, JI Z S, et al. The Late Carboniferous Fusulinids in the central part of northern Qiangtang, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(9): 1276-1280.
- [87] 张少文, 李涌溪, 武桂春, 等. 北羌塘地块上石炭统瓦垄山组的珊瑚化石[J]. 地质论评, 2021, 67(S1): 249-250.
- ZHANG S W, LI Y X, WU G C, et al. Corals of the upper Carboniferous Walongshan Formation in North Qiangtang Block [J]. Geological Review, 2021, 67(S1): 249-250.
- [88] 赵政璋. 青藏高原地层[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [89] 李才, 程立人, 于介江, 等. 中华人民共和国区域地质调查报告玛依岗日幅(I45C003002)1: 250000 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2010.
- [90] ZHANG Y C, SHEN S Z, ZHAI Q G, et al. Discovery of a Sphaeroschwagerina fusuline fauna from the Raggyorcaka Lake area, northern Tibet: Implications for the origin of the Qiangtang Metamorphic Belt [J]. Geological Magazine, 2016, 153: 537-543.
- [91] 陈寿铭, 程立人, 吴水忠, 等. 西藏羌塘北部上二叠统热觉茶卡组类动物群的特征[J]. 地质通报, 2009, 28(12): 1725-1729.
- CHEN S M, CHENG L R, WU S Z, et al. Late Permian fusulinids from the Raggyorcaka Formation, northern Qiangtang, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(12): 1725-1729.
- [92] 王剑, 丁俊, 王成善, 等. 青藏高原油气资源战略选区调查与评价[M]. 北京:地质出版社, 2009.
- [93] FU X G, WANG J, SONG C Y, et al. The Permian-

- Triassic transition in ocean island setting: Environmental disturbances and new high-resolution carbon-isotope record from the Qiangtang Basin, NW China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2019, 522: 40-51.
- [94] 刘一鸣. 青藏高原羌南-保山板块 550~450Ma 岩浆事件: 兼论冈瓦纳大陆北缘基底构造演化[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [95] LIU Y M, LI S Z, SANTOSH M, et al. The generation and reworking of continental crust during early Paleozoic in Gondwanan affinity terranes from the Tibet Plateau[J]. *Earth-Science Reviews*, 2019, 190: 486-497.
- [96] 解超明, 李才, 翟庆国, 等. 藏北羌塘早古生代岩浆作用及其地质意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41(2): 340-350.
- XIE C M, LI C, ZHAI Q G, et al. The Early Paleozoic magmatism in Qiangtang, northern Tibet and its geological significance [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41(2): 340-350.
- [97] 程立人, 陈寿铭, 张以春, 等. 藏北羌塘南部发现早古生代地层及意义[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2007, 32(1): 59-62.
- CHENG L R, CHEN S M, ZHANG Y C et al. Discovery of early Paleozoic strata in south of Qiangtang, northern Tibet and its significance[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2007, 32(1): 59-62.
- [98] 李才, 程立人, 张以春, 等. 西藏羌塘南部发现奥陶纪—泥盆纪地层[J]. *地质通报*, 2004, 23(S1): 602-604.
- LI C, CHENG L R, ZHANG Y C, et al. Discovery of Ordovician-Devonian strata in the south of the Qiangtang area, Tibet [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(S1): 602-604
- [99] 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.
- YANG Y, ZHAO Z B, FAN T Y, et al. Ordovician parallel unconformity in Qiangtang terrane, northern Tibet: Implications to Early Paleozoic evolution of northern Tibetan regions[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(8): 2381-2392.
- [100] 郑艺龙. 西藏羌塘玛依岗日地区早古生代岩块地质特征及大地构造意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [101] 梁定益, 聂泽同, 郭铁鹰, 等. 西藏阿里喀喇昆仑南部的冈瓦纳: 特提斯相石炭二叠系[J]. *地球科学*, 1983, 8(1): 9-27.
- LIANG D Y, NIE Z T, GUO T Y. Permo-Carboniferous Gondwana-Tethys facies in southern Karakoram Ali Xizang (Tibet) [J]. *Earth Science-Journal of Wuhan College of Geology*, 1983, 19(1): 9-27.
- [102] 张予杰, 翟庆国, 张以春, 等. 藏北日土地区南羌塘地块晚石炭—早二叠世海相裂谷盆地沉积序列: 冈瓦纳大陆北缘初始裂解的沉积响应[J]. *沉积与特提斯地质*, 2024, 44(4): 773-795.
- ZHANG Y J, ZHAI Q G, ZHANG Y C, et al. The marine rifted successions of the Late Carboniferous-Early Permian deposits from the South Qiangtang Block in the Rutog area, Northern Xizang: Sedimentary records of a rifting process on the northern Gondwana margin [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2024, 44(4): 773-795.
- [103] 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的成因剖析[J]. *特提斯地质*, 1994, 18: 61-73.
- LIANG D Y, NIE Z T, SONG Z M, et al. Early Permian tectonic paleogeography on northern margin of Gondwanaland and origin of diamictites [J]. *Tethyan Geology*, 1994, 18: 61-73.
- [104] 王国芝, 王成善. 西藏羌塘基底变质岩系的解体和时代厘定[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2001, 31(S1): 77-82.
- WANG G Z, WANG C S. Disassembly and Chronological Constraints of the Basement Metamorphic Complex in Qiangtang, Tibet [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 31(S1): 77-82.
- [105] 文世宣. 西藏北部地层新资料[J]. *地层学杂志*, 1979, 3(2): 150-156.
- WEN S X. New Stratigraphic Constraints from Northern Tibet [J]. *Acta Stratigraphica Sinica*, 1979, 3(2): 150-156.
- [106] 郭铁鹰, 梁定益, 张益智, 等. 西藏阿里地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
- [107] 王权, 续世超, 魏荣珠, 等. 青藏高原羌塘北部托和平错一带二叠系展金组火山岩的特征及构造环境[J]. *地质通报*, 2006, 25(1/2): 146-155.
- WANG Q, XU S C, WEI R Z, et al. Characteristics and tectonic setting of volcanic rocks of the Permian Zhanjin Formation in the Tuoheping Co area, northern Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1/2): 146-155.
- [108] 李才, 程立人, 胡克, 等. 西藏羌塘南部地区的冰海杂砾岩及其成因[J]. *长春地质学院学报*, 1995(4): 368-374.

- LI C, CHENG L R, HU K, et al. Ice-sea mix-conglomerates and their genesis in the southern area of Qiangtang, Tibet[J]. Journal of Changchun College of Geology, 1995(4): 368-374.
- [109] 焦鹏伟, 梁晓, 王根厚, 等. 藏北荣玛乡亚丹地区下二叠统曲地组的厘定及大地构造意义[J]. 地质通报, 2017, 36(2/3): 181-189.
- JIAO P W, LIANG X, WANG G H, et al. Redefinition of the Lower Permian Qudi Formation in Yadan area, Rongma Town, northern Tibet, and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(2/3): 181-189.
- [110] 孙特. 西藏日土多玛一带早二叠世腕足动物新属种[J]. 地球科学:武汉地质学院学报, 1983, 19(1): 119-128, 187-188.
- SUN T. Early Permian new genera and species of brachiopod fauna in Rutog Duoma area, Xizang (Tibet)[J]. Earth Science:Journal of Wuhan college of Geology, 1983, 19(1): 119-128, 187-188.
- [111] 胡昌铭. 西藏日土多玛一带晚石炭世至早二叠世石燕类等腕足动物新属种[J]. 地球科学:武汉地质学院学报, 1983, 19(1): 105-117, 185-186.
- HU C M. New genera and species of spiriferacean brachiopods in the late Carboniferous to early Permian from Duoma district, Rutog duoma district Xizang (Tibet)[J]. Earth Science:Journal of Wuhan College of Geology, 1983, 19(1): 105-117, 185-186.
- [112] 聂泽同, 宋志敏. 西藏阿里地区日土县下二叠统曲地组的蠕类[J]. 地球科学:武汉地质学院学报, 1983, 19(1): 29-42.
- NIE Z T, SONG Z M. Fusulinids of lower Permian Qudi formation from Rutog of Xizang (Tibet), China[J]. Earth Science:Journal of Wuhan College of Geology, 1983, 19(1): 29-42.
- [113] 吴瑞忠. 西藏西北部新疆西南部多玛空喀山口地区二叠系[J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(4): 37-47.
- WU R Z. The Permian stratigraphy in Duoma-Kongka mountain mouth country, northwest of Xizang (Tibet) and southwest of Xinjiang[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1991, 18(4): 37-47.
- [114] ZHANG Y C, WANG Y, ZHANG Y J, et al. Kungurian (Late Cisuralian) fusuline fauna from the Cuozheqiangma area, northern Tibet and its palaeobiogeographical implications[J]. Palaeoworld, 2012, 21(3/4): 139-152.
- [115] ZHANG Y C, SHI G R, SHEN S Z et al. A review of Permian stratigraphy, palaeobiogeography and palaeogeography of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Gondwana Research, 2013, 4(2): 5576.
- [116] 杨式溥, 宋志敏, 梁定益. 西藏阿里地区晚石炭世早二叠世复理石相遗迹化石[J]. 地球科学:武汉地质学院学报, 1983, 19(1): 93-103, 183-184.
- YANG S B, SONG Z M, LIANG D Y. Late Carboniferous-early Permian flysch trace fossils from Ali, Xizang (Tibet), China[J]. Earth Science:Journal of Wuhan College of Geology, 1983, 19(1): 93-103, 183-184.
- [117] 石晓龙, 黄强太, 夏斌, 等. 藏北南羌塘盆地二叠纪曲地组碎屑锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2015, 34(12): 2266-2279.
- SHI X L, HUANG Q T, XIA B, et al. The detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of Qudi Formation in southern Qiangtang basin, northern Tibet, and their significance[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(12): 2266-2279.
- [118] 聂泽同, 宋志敏. 西藏阿里地区日土县下二叠统吞龙共巴组的蠕类[J]. 地球科学:武汉地质学院学报, 1983, 19(1): 5576.
- NIE Z T, SONG Z M. Fusulinids of lower Permian Tunlonggongba formation from Rutog of Xizang (Tibet), China[J]. Earth Science:Journal of Wuhan College of Geology, 1983, 19(1): 55-76.
- [119] LI X R, WANG J. Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of the Middle Permian Siliceous Clastics and Basalt from Central Qiangtang, Northern Tibet: Implications for the Evolution of Permian[J]. Journal of Earth Science, 2019, 30(2): 286295.
- [120] 程立人, 李才, 张以春, 等. 西藏羌塘中部地区 Polydiexodina 蠕类动物群[J]. 微体古生物学报, 2005, 22(2): 152-162.
- CHENG L R, LI C, ZHANG Y C, et al. The polydiexodina (Fusulidids) fauna from central Qiangtang, Tibet, China[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2005, 22(2): 152-162.
- [121] ZHANG Y C, SHEN S Z, SHI G R, et al. Tectonic evolution of the Qiangtang Block, northern Tibet during the Late Cisuralian (Late Early Permian): Evidence from fusuline fossil records[J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2012, 350/352: 139-148.
- [122] ZHANmplications[J]. Acta Geologica Sinica-English Edition, 2014, 88(2): 365-379.
- [123] SHEN S Z, SUN T R, ZHANG Y C, et al. An upper Kungurian/lower Guadalupian (Permian) brachiopod fauna from the South Qiangtang Block in Tibet and its

- palaeobiogeographical implications[J]. *Palaeoworld*, 2016, 25(4): 519-538.
- [124] 卫弼天. 羌南地块中二叠世鲁谷组古地磁学结果及古位置重建[D]. 西安: 西北大学, 2020.
- [125] 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.
LI R J, WU H R, LI H S, et al. Discovery of radiolarians in the Amugang and Chasing groups and Lugu formation in northern Tibet and some related geological problems [J]. *Geological Review*, 1997, 43(3): 250-258.
- [126] 夏代祥, 刘世坤. 西藏自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- [127] 聂泽同, 宋志敏. 西藏阿里地区日土县下二叠茅口阶龙格组的蠕类新资料[J]. *地球科学: 武汉地质学院学报*, 1983, 19(1): 57-68.
NIE Z T, SONG Z M. Fusulinids of lower Permian maokouian Longge formation from Rutog, Xizang (Tibet), China [J]. *Earth Science: Journal of Wuhan College of Geology*, 1983, 19(1): 57-68.
- [128] 王忠宝, 高金汉, 王根厚. 西藏尼玛县荣玛乡二叠系龙格组小有孔虫及地质意义[J]. *地层学杂志*, 2017, 41(4): 392-400.
WANG Z B, GAO J H, WANG G H. Non-fusuline foraminifers from the Longge formation in Rongma township, Nyima county, Tibet and their geological significance [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2017, 41(4): 392-400.
- [129] 胡俊杰, 李琦, 李娟, 等. 羌塘盆地角木日地区二叠系碳酸盐岩元素地球化学特征及其对古沉积环境的指示[J]. *高校地质学报*, 2014, 20(4): 520-527.
HU J J, LI Q, LI J. Geochemical characteristics and its application to depositional environment analysis of Permian Carbonates in Jiaomuri area, Qiangtang basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2014, 20(4): 520-527.
- [130] 毕志伟. 青藏高原南羌塘盆地西部中二叠统龙格组地层的研究[J]. *地质调查与研究*, 2017, 40(2): 89-98.
BI Z W. Research on the middle Permian Longge formation in western part of the south Qiangtang Basin, Qinghai-Xizang (Tibet), China [J]. *Geological Survey and Research*, 2017, 40(2): 89-98.
- [131] FAN J J, NIU Y L, LUO A B, et al. Timing of the Meso-Tethys Ocean opening: Evidence from Permian sedimentary provenance changes in the South Qiangtang terrane, Tibetan Plateau [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2021, 567: 110265.
- [132] 吴瑞忠, 蓝伯龙. 西藏西北部晚二叠世地层新资料[J]. *地层学杂志*, 1990, 14(3): 216-221.
- [133] 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: 构造归属及物源区制约[J]. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41(3): 299-308.
DONG C Y, LI C, WANG, Y S, et al. Detrital zircon age model of Ordovician Wenquan quartzite south of Lungmuco-Shuanghu Suture in the Qiangtang area, Tibet: Constraint on tectonic affinity and source regions [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2011, 41(3): 299-308.
- [134] 范建军, 李才, 王明, 等. 青藏高原羌塘南部冰海杂砾岩的成因与物源: 以冈玛错地区为例[J]. *地质通报*, 2012, 31(9): 1451-1460.
FAN J J, LI C, WANG M, et al. The genesis and material source of Carboniferous-Late Permian ice miscellaneous conglomerate: A case study of Gangma Co area, Qiangtang, Tibetan Plateau [J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(9): 1451-1460.
- [135] 张以春, 张予杰, 袁东勋, 等. 班公湖怒江洋打开时间的地层古生物约束[J]. *岩石学报*, 2019, 35(10): 3083-3096.
ZHANG Y C, ZHANG Y J, YUAN D X, et al. Stratigraphic and paleontological constraints on the opening time of the Bangong-Nujiang Ocean [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2019, 35(10): 3083-3096.
- [136] 沈树忠, 张以春, 袁东勋, 等. 青藏高原及其周边二叠纪综合地层、生物群以及古地理和古气候演化[J]. *中国科学: 地球科学*, 2024, 54(4): 1125-1170.
SHEN S Z, ZHANG Y C, YUAN D X, et al. Permian integrative stratigraphy, biotas, paleogeographical and paleoclimatic evolution of the Qinghai-Tibetan Plateau and its surrounding areas [J]. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2024, 54(4): 1125-1170.
- [137] 王根厚, 韩芳林, 杨运军, 等. 藏北羌塘中部晚古生代增生杂岩的发现及其地质意义[J]. *地质通报*, 2009, 28(9): 1181-1187.
WANG G H, HAN F L, YANG Y J, et al. Discovery and geologic significance of Late Paleozoic accretionary complexes in central Qiangtang, northern Tibet, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(9): 1181-1187.
- [138] 潘桂棠, 王立全, 耿全如, 等. 班公湖—双湖—怒

- 江一昌宁—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.
- PAN G T, WANG L Q, GENG Q R, et al. Space-time structure of the Bangonghu-Shuanghu-Nuijiang-Changning-Menglian Mega-suture zone: A discussion on geology and evolution of the Tethys Ocean [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2020, 40(3): 1-19.
- [139] 潘桂棠, 肖庆辉, 张克信, 等. 大陆中洋壳俯冲增生杂岩带特征与识别的重大科学意义[J]. 地球科学, 2019, 44(5): 1544-1561.
- PAN G T, XIAO Q H, ZHANG K Q, et al. Recognition of the Oceanic subduction-accretion zones from the orogenic belt in continents and its important scientific significance [J]. *Earth Science*, 2019, 44(5): 1544-1561.
- [140] DILEK Y, FURNES H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2011, 123(3/4): 387-411.
- [141] 闫臻, 王宗起, 付长垒, 等. 混杂岩基本特征与专题地质填图[J]. 地质通报, 2018, 37: 167-191.
- YAN Z, WANG Z Q, FU C L, et al. Characteristics and thematic geological mapping of mélanges [J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37: 167-191
- [142] 林伟, 王印, 刘飞, 等. 蛇绿混杂岩的基质组成及其构造内涵:以东古特提斯为例[J]. 地质学报, 2022, 96(10): 3449-3467.
- LIN W, WANG Y, LIU F, et al. Matrix of the ophiolitic mélange zone and its tectonic implications: Insights of the eastern Paleo-Tethys. [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2022, 96(10): 3449-3467.
- [143] SAFONOVA I Y. Intraplate magmatism and oceanic plate stratigraphy of the Paleo-Asian and Paleo-Pacific Oceans from 600 to 140 Ma[J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 35: 137-154.
- [144] WAKITA K. Mappable features of mélanges derived from Ocean Plate Stratigraphy in the Jurassic accretionary complexes of Mino and Chichibu terranes in Southwest Japan [J]. *Tectonophysics*, 2012, 568-569: 74-85.
- [145] KUSKY T M, WINDLEY B F, SAFONOVA I, et al. Recognition of ocean plate stratigraphy in accretionary orogens through Earth history: A record of 3.8 billion years of sea floor spreading, subduction, and accretion[J]. *Gondwana Research*, 2013, 24(2): 501-547.
- [146] WANG M, LI C, FAN J J. Geochronology and geochemistry of the dabure basalts, central Qiangtang, Tibet: Evidence for ~ 550 Ma rifting of Gondwana [J]. *International Geology Review*, 2015, 57(14): 1791-1805.
- [147] 王明, 曾孝文, 李才, 等. 藏北羌塘南部埃迪卡拉系达布热组的建立及其地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(8): 1379-1386.
- WANG M, ZENG X W, LI C, et al. The establishment of Ediacaran Dabure Formation in southern Qiangtang of northern Tibet and its significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(8): 1379-1386.
- [148] 解超明, 李才, 范建军, 等. 青藏高原羌塘中部中—上奥陶统达瓦山组的建立及意义[J]. 地质通报, 2015, 34(10): 1812-1820.
- XIE C M, LI C, FAN J J, et al. Establishment of Middle-Upper Ordovician Dawashan Formation in central Qiangtang, Tibetan Plateau, and its significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(10): 1812-1820.
- [149] XIE C M, LI C, FAN J J, et al. Ordovician sedimentation and bimodal volcanism in the Southern Qiangtang terrane of northern Tibet: Implications for the evolution of the northern Gondwana margin[J]. *International Geology Review*, 2017, 59(16): 2078-2105.
- [150] MURPHY J B, NANCE R D. Supercontinent model for the contrasting character of Late Proterozoic orogenic belts[J]. *Geology*, 1991, 19(5): 469-472
- [151] MILLER C, THÖNI M, FRANK W, et al. The early Palaeozoic magmatic event in the Northwest Himalaya, India: Source, tectonic setting and age of emplacement [J]. *Geological Magazine*, 2001, 138(3): 237-251.
- [152] 宋述光, 季建清, 魏春景, 等. 滇西北怒江早古生代片麻状花岗岩的确定及其构造意义[J]. 科学通报, 2007, 52(8): 927-930.
- SONG S G, JI J Q, WEI C J, et al. Tectonic implications of zircon ages in Gongshan Block in the north termination of the Indochina Plate, Southwest China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(8): 927-930.
- [153] BAIG M S, LAWRENCE R D, SNEE L W. Evidence for late Precambrian to early Cambrian orogeny in northwest Himalaya, Pakistan [J]. *Geological Magazine*, 1988, 125(1): 83-86.
- [154] 许志琴, 杨经绥, 梁凤华, 等. 喜马拉雅地体的泛

- 非-早古生代造山事件年龄记录[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 112.
- XU Z Q, YANG J S, LIANG F H, et al. Pan-African and Early Paleozoic orogenic events in the Himalaya terrane: Inference from SHRIMP U-Pb zircon ages[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(1): 1-12.
- [155] LI G J, WANG Q F, HUANG Y H, et al. Petrogenesis of Middle Ordovician peraluminous granites in the Baoshan block: Implications for the Early Paleozoic tectonic evolution along East Gondwana[J]. *Lithos*, 2016, 245: 7692.
- [156] LIU Y M, XIE C M, LI C, et al. Breakup of the northern margin of Gondwana through lithospheric delamination: Evidence from the Tibetan Plateau[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2018, 131: 34.
- [157] CAWOOD P A, JOHNSON M R W, NEMCHIN A A. Early Palaeozoic orogenesis along the Indian margin of Gondwana: Tectonic response to Gondwana assembly[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, 255(1/2): 70-84.
- [158] WANG X X, ZHANG J J, SANTOSH M, et al. Andean-type orogeny in the Himalayas of south Tibet: Implications for Early Paleozoic tectonics along the Indian margin of Gondwana[J]. *Lithos*, 2012, 154: 248-262.
- [159] ZHU D C, ZHAO Z D, NIU Y L, et al. Cambrian bimodal volcanism in the Lhasaterrane, southern Tibet: Record of an Early Paleozoic Andean-type magmatic arc in the Australian proto-Tethyan margin[J]. *Chemical Geology*, 2012, 328: 290-308.
- [160] 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.
- [161] LIANG X, SUN X H, WANG G H, et al. Sedimentary evolution and provenance of the late Permian-middle Triassic Raggyorcaka deposits in North Qiangtang (Tibet, Western China): Evidence for a forearc basin of the Longmu Co-Shuanghu Tethys Ocean[J]. *Tectonics*, 2020, 39(1): e2019TC005589.
- [162] LIANG X, WANG G H, GAO J H, et al. A late Permian-Triassic trench-slope basin in the Central Qiangtang metamorphic belt, Northern Tibet: Stratigraphy, sedimentology, syndepositional deformation and tectonic implications[J]. *Basin Research*, 2021, 33(4): 2383-2410.
- [163] 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.
- TAN F W, WANG J, FU X G, et al. U-Pb zircon SHRIMP age of metamorphic rocks from the basement of the Qiangtang Basin, northern Tibet, and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(1): 139-146.
- [164] 曾昭发, 赵雪宇, 李忠雄, 等. 龙木错-双湖-澜沧江缝合带中段双湖地区地球物理特征[J]. 地球物理学报, 2016, 59(12): 4594-4602.
- ZENG Z F, ZHAO X Y, LI Z X, et al. Geophysical characteristics of the Shuanghu District in the Lungmu Co-Shuanghu-Lancang River suture zone[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2016, 59(12): 4594-4602.
- [165] 周道卿, 熊盛青, 王保弟, 等. 羌塘盆地航空物探调查三十年回顾与展望[J]. 物探与化探, 2024, 48(2): 287-295.
- ZHOU D Q, XIONG S Q, WANG B D, et al. A review of thirty years of airborne geophysical surveys in the Qiangtang Basin and future prospect[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2024, 48(2): 287-295.
- [166] 宋春彦, 曹竣峰, 王剑, 等. 羌塘盆地角木茶卡地区二叠系古油藏的发现及基本特征[J]. 新疆地质, 2014, 32(1): 87-91.
- SONG C Y, CAO J F, WANG J, et al. The discovery and basic characteristics of ancient reservoir in Permian of Jiaomuchaka Area, Qiangtang Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 2014, 32(1): 87-91.
- [167] 付修根, 王剑, 谭富文, 等. 藏北羌塘盆地油气地质勘探新进展[J]. 沉积与特提斯地质, 2015, 35(1): 16-24.
- FU X G, WANG J, TANG F W, et al. Recent progress in oil and gas geological exploration in the Qiangtang Basin, northern Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2015, 35(1): 16-24.
- [168] 曹竣峰, 万友利, 张波, 等. 羌塘盆地中央隆起带下二叠统展金组烃源岩芳烃化合物特征研究[J]. 中国煤炭地质, 2023, 35(11): 23-30.
- CAO J F, WAN Y L, ZHANG B, et al. Study on characteristics of aromatic compounds in source rocks of Lower Permian Zhanjin Formation in the central uplift of Qiangtang Basin[J]. *Coal Geology of China*, 2023, 35(11): 23-30.

作者简介



解超明,博士,吉林大学教授,博士生导师,入选自然资源部高层次科技创新人才工程(地质找矿方向)青年科技人才,主要从事青藏高原特提斯构造演化研究。主持国家自然科学基金项目 3 项,以第一/通讯作者发表 SCI 论文 35 篇,出版学术专著 1 部。担任《沉积与特提斯地质》编委及 *Journal of Earth Science*、《西北大学学报(自然科学版)》《地质通报》《地球科学》等期刊青年编委。曾获得自然资源科学技术奖(科技进步奖)一等奖(R3)、青藏高原青年科技奖、吉林大学李四光优秀青年教师奖等。