

DOI: 10.12401/j.nwg.2023061

中国新疆—中亚大地构造单元划分及演化简述

张向飞^{1,2}, 陈莉¹, 曹华文^{1,2}, 彭智敏¹, 陈奋宁³, 洪俊³, 任飞¹,
王启宇¹, 姜丽莉¹, 高慧¹, 潘桂棠^{1,*}, 李文昌^{1,2,4,*}

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心(西南地质科技创新中心), 四川 成都 610081; 2. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 3. 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 710054;
4. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 中国新疆—中亚地处特提斯构造域和古亚洲构造域交汇部位, 跨全球最重要三大构造(成矿)域中的 2 个, 对认识全球构造演化和资源环境效应具有重要意义, 前人对该区域开展了大量研究, 提出了不同的大地构造单元和成矿区(带)划分方案, 然而不同学派之间存在诸多争议。笔者结合“多岛弧盆系”构造理论, 遵循将今论古的比较构造地质学研究原则, 以大地构造相的时空结构分析为主线, 以对接带、造山系和陆块区 3 类一级大地构造单元, 依据优势大地构造相将研究区划分为 12 个一级构造单元、32 个二级构造单元和 74 个三级构造单元, 并针对二级构造单元的构造环境和岩石建造组合进行描述、总结, 以建立研究区总体构造格架和演化历史。在此基础上, 依据两大构造域时空演化特征, 追溯古亚洲洋和特提斯构造域的构造演化历史。通过对研究区构造单元划分和构造演化的重新厘定, 以为区域基础地质研究和资源能源勘查提供基础依据。

关键词: 新疆; 中亚; 构造单元; 大地构造相; 演化

中图分类号: P544; P541

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)04-0001-39

Division of Tectonic Units and Their Evolutions within Xinjiang, China to Central Asia

ZHANG Xiangfei^{1,2}, CHEN Li¹, CAO Huawen^{1,2}, PENG Zhimin¹, CHEN Fenning³, HONG Jun³,
REN Fei¹, WANG Qiyu¹, JIANG Lili¹, GAO Hui¹, PAN Guitang^{1,*}, LI Wenchang^{1,2,4,*}

(1. Chengdu Center of China Geological Survey (Geosciences Innovation Center of Southwest China), Chengdu 610081, Sichuan, China;
2. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3. Xi'an Center of China Geological Survey (Northwest China Center for Geoscience Innovation), Xi'an 710054, Shaanxi, China;
4. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China)

Abstract: The region of Xinjiang (China) to central Asia, located at the intersection of Tethys and ancient Asia tectonic domains, spans two of the three most important tectonic (metallogenic) domains in the world. Therefore,

收稿日期: 2023-03-05; 修回日期: 2023-04-11; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 国家自然科学基金—重点基金项目(92055314), 国家重点研发计划项目课题(2021YFC2901803), 国际地学科学计划项目(IGCP-741), 四川省“天府万人计划”杰出科学家项目(川万人第 023 号), 云南省科学技术奖—杰出贡献奖项目(2017001)和中国地质调查局项目(DD20221910、ZD20220408)联合资助。

作者简介: 张向飞(1985—), 男, 正高级工程师, 博士, 从事基础地质与区域矿床学研究。E-mail: zhangfei1895@163.com。

* 通讯作者: 潘桂棠(1941—), 男, 研究员, 长期从事区域地质和大地构造研究。E-mail: 13808091563@163.com。

李文昌(1962—), 男, 正高级工程师, 长期从事找矿勘探和矿床地质研究。E-mail: lwcyndd@163.com。

it is of great significance to understand the global tectonic evolution and the effects of resources–environment. Previous researchers have carried out a lot of researches on this region, and proposed different geotectonic units and metallogenic regions (belts) division schemes. However, there are many disputes between different research teams. Based on the structural theory of "multi-island-arc-basin-terrain (MABT)" system by our research team, following the research principle of comparative structural geology, i.e., the present is the key to reveal the past, and taking spatial and temporal structure analysis of tectonic faces and environment as the main approach in which the suture zone, orogenic system and continental block are treated as three first-rank tectonic units. Accordingly, 12 first-rank tectonic units, 32 second-rank tectonic units and 74 third-rank tectonic units are divided following the dominant tectonic faces in the research region of this paper. Moreover, tectonic environment and rock formation combination of the second-rank tectonic units are focused on to establish the overall tectonic framework and evolution history of this region. Based on these, according to their temporal-spatial evolution characteristics, the tectonic evolution histories are reconstructed for Ancient Asian Ocean and Tethys Ocean, respectively. Through the division of tectonic units and the redefinition of tectonic framework, it is expected to provide scientific basis for regional basic geological research and resource–energy exploration practice in this domain.

Keywords: Xinjiang; central Asia; Tectonic units; tectonic facies; evolution

罗迪尼亚超大陆解体之后,全球呈现出劳亚、冈瓦纳、泛华夏三大陆块群与泛大洋(或古大西洋)、古亚洲洋、特提斯洋三大洋并存的时空格局(李兴振等, 1995; 潘桂棠等, 1997, 2004, 2013, 2017; 王立全等, 2021)(图 1)。泛华夏大陆主要由卡拉库姆、塔里木、华北、扬子、华夏等陆块群,经“泛华夏造山作用”

拼合而成(陆松年等, 2006)。位于泛华夏陆块群南北两侧的洋盆分别是原-古特提斯洋和古亚洲洋(李兴振等, 1991; 潘桂棠等, 1997; 李文昌等, 2010; Deng et al., 2014; Zheng et al., 2019; Li et al., 2021)。特提斯洋承接于罗迪尼亚超大陆裂解,进入原-古-新特提斯连续演化及其大陆边缘增生-碰撞造山过程(朱弟成等,



图 1 全球奥陶纪洋-陆格局示意图(据 Scotese, 2006; 王立全等, 2021)

Fig. 1 Diagram of global ocean-continent pattern in Ordovician

2021; 尹福光等, 2021; 王保弟等, 2021; 王立全等, 2021), 而古亚洲洋的俯冲闭合导致北半球劳亚大陆的最终形成(肖文交, 2019)。两大构造域在演化时空结构和构造动力机制方面, 既有各自独立的过程特点, 又具有紧密的耦合关系。

中国新疆-中亚地区地质构造复杂, 位于著名的特提斯“西构造结”及其以北, 是亚洲大陆腹地及大构造的交汇地区, 亚洲中部的重要构造线均从研究区经过, 凸显古亚洲洋构造域、卡拉库姆-塔里木陆块区和特提斯构造域的地质构造重要位置(潘桂棠等, 2009; 尹福光等, 2021; 袁四化等, 2021; 张克信等, 2021)。前人虽然对该区的构造单元进行过划分和研究, 但划分思路与方案各不相同、差异较大(李春昱等, 1982; 王鸿祯等, 1996; 任纪舜等, 1999, 2013; Sengör et al., 2004; 李廷栋等, 2006; 成守德等, 2010, 2015; 李宝强等, 2014; 潘桂棠等, 2016; 董国臣等, 2021)。笔者在上述学者对该区大地构造单元划分及其构造演化的研究基础上, 基于板块构造理论和大陆边缘“多岛弧盆系”构造新视角, 应用最新的中国大地构造单元划分方案及大地构造格架相关研究成果(潘桂棠等, 2016, 2017), 结合区域地质构造特点和关键地质事件的时空分布特征, 对中国新疆和中亚地区进行构造单元综合对比划分, 重新厘定中国新疆-中亚大地构造格架, 为相关研究工作提供基础地质依据。

1 构造单元划分

1.1 划分思路

全球岩石圈构造演化涉及大陆岩石圈和大洋岩石圈两种构造演化体制, 大陆岩石圈通过拉伸裂离可以形成大洋岩石圈, 而大洋岩石圈俯冲消减又可实现向大陆岩石圈的转化。大洋岩石圈(单向或双向)俯冲形成大陆边缘前锋弧及其后侧的多岛弧盆系, 多岛弧盆系构造的形成是大洋岩石圈构造体制向大陆岩石圈构造体制转换的标志。多岛弧盆系构造演化是以弧后洋盆的俯冲消亡→弧-弧或弧-陆碰撞造山形成大陆边缘增生造山带, 亦即大陆边缘多岛弧盆系构造中古老的弧后或弧间小洋盆及其岛弧边缘盆地萎缩消减, 不是“碰撞不造山”, 而是以弧后或弧间洋盆、岛弧边缘海盆地的消减为动力, 通过一系列弧-弧、弧-陆碰撞的多岛弧造山作用实现大陆边缘增生, 弧后前陆盆地和周缘前陆盆地乃是盆山转换的地质记

录和重要标志(许靖华, 1994; 潘桂棠等, 1997, 2002, 2004, 2008, 2013, 2017; Pan et al., 2012; 张克信等, 2014; 王立全等, 2021)。大陆边缘多岛弧盆系构造的识别与深入研究不仅能够全面解剖造山带的物质组成、结构构造与演化历史, 而且对于分析前寒武纪大陆克拉通基底的形成也具有重要启示。

从比较大地构造学的类比分析, 现今所见西太平洋的大陆边缘集中了世界 75% 以上的边缘海盆地, 其形成可与西太平洋超级俯冲带(当今全球构造上最壮观的俯冲带)活动密切相关, 其中东南亚是新生代多岛弧盆系构造发育的典型地区, 它在全球构造上占有非常重要的地位(Hsü et al., 1995; 潘桂棠等, 1996, 1997, 2004, 2012, 2013, 2017; Pan et al., 2012; 王立全等, 2013, 2021; 耿全如等, 2017)。在两种构造体制演化和转换过程中, 形成动力学上互相联系的系列构造单元, 但大洋岩石圈构造体制演化中形成的一些构造单元(诸如大洋壳、大洋中脊等)大多消失殆尽, 现保存于造山带中的岛弧或陆缘弧、地块、蛇绿岩和增生杂岩等地质体, 主要是大陆边缘不同时期多岛弧盆系构造演化的地质记录, 这些保存较为完整的地质体正是文中划分大地构造单元的基础。

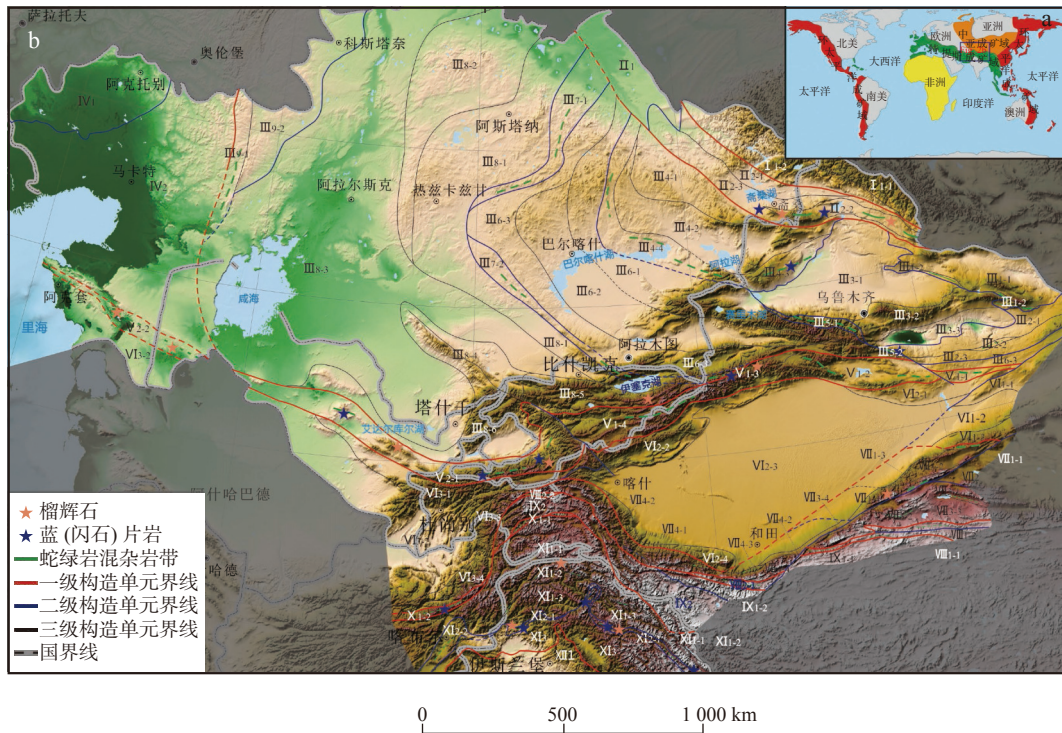
1.2 划分方案

大洋从超大陆裂解、扩展到俯冲消亡的演化过程, 其生命期至少需要 600~800 Ma 的时间尺度。大洋岩石圈(单向或双向)俯冲形成多岛弧盆系, 大陆边缘多岛弧盆系构造演化形成造山系。大洋消亡及其两侧大陆边缘多岛弧盆系构造转化为造山系的拼接即形成对接带, 最终构成一个巨型造山系(亦即构造域)(潘桂棠等, 2009, 2013, 2017; 王立全等, 2013, 2021)。作为一级构造单元的造山系是造山带的集成, 主体由一系列的大规模结合带、不同类型火山-岩浆弧(岛弧或陆缘弧)和不同时代裂离地块组成的复杂构造系统; 对接带即地壳对接消减带, 是指两个相对大陆之间的大洋岩石圈地壳俯冲消亡拼接的巨型构造带, 主体由大洋壳俯冲消减、碰撞及其后续地质作用改造形成的不同时代、不同构造环境、不同变质程度和不同变形样式各类岩石组成的复杂地质体(王鸿祯等, 1996); 对接带也可简述为“大洋消亡的残迹”(张克信等, 2018, 2020), 陆块区是具有长期和复杂的演化过程, 具基底和巨厚沉积盖层的稳定单元(潘桂棠等, 2004, 2009, 2012, 2013, 2017)。

中国新疆-中亚地区位于“中间一个大陆(泛华

夏大陆)、南北两个大洋(古亚洲洋、特提斯洋)”的洋-陆基本框架中(图1),古亚洲洋及其大陆边缘多岛弧盆系构造演化形成的2条对接带、两大造山系,特提斯洋及其大陆边缘多岛弧盆系形成的2条对接带、三大造山系,以及古亚洲洋与特提斯洋之间的泛华夏大陆卡拉库姆-塔里木陆块区,构成了研究区大地构造的基本骨架,进一步划分出32个二级构造单元和74个三级构造单元(图2,表1)。其中,古亚洲洋构造域位于卡拉库姆-塔里木(-华北)陆块区以北,包括斋桑-额尔齐斯对接带、突厥斯坦-阿特巴什-南天山对接带、阿尔泰(-兴蒙)造山系和乌拉尔-哈萨克斯坦-天山造山系(4个一级构造单元),属于晚前寒武纪—二叠纪古亚洲洋及其大陆边缘多岛弧盆系构造形成

演化作用的产物。特提斯构造域位于卡拉库姆-塔里木(-华北)陆块区以南,包括塔尼马斯-康西瓦-南昆仑对接带、巴扎拉克-鲁山普哈特(-班公湖-双湖-怒江)对接带和北帕米尔-阿尔金-昆仑造山系、中帕米尔(-羌塘-三江)造山系、南帕米尔-拉达克(-冈底斯-喜马拉雅)造山系(5个一级构造单元),属于前寒武纪—新生代原-古-新特提斯大洋及其大陆边缘多岛弧盆系构造形成演化作用的产物(潘桂棠等,2004,2009,2012,2013,2017;王立全等,2013,2021)。作为泛华夏陆块群组成部分的卡拉库姆-塔里木(-华北)陆块区、劳亚大陆组成部分的东欧陆块区和冈瓦纳大陆组成部分的印度陆块区,分列两大构造域的西北部、中部、南部呈“三足鼎立”之势(图2)。



a. 全球三大构造域分布简图; b. 中国新疆-中亚构造单元图

图2 中国新疆-中亚地区大地构造单元划分图

Fig. 2 Division diagram of geotectonic units within Xinjiang (China)-Central Asia

2 构造单元基本特征

2.1 阿尔泰(-兴蒙)造山系(I)

阿尔泰(-兴蒙)造山系西起俄罗斯和哈萨克斯坦,经新疆北部延伸至蒙古国南缘,北邻西伯利亚 Sayan 地块,南以斋桑-额尔齐斯断裂为界与斋桑-额尔齐斯对接带相邻(赵振华等,2022)。该造山系主体为古生

代阿尔泰(-兴蒙)大陆边缘多岛弧盆系构造演化作用的产物,从更广的视野,被大多数学者称为古亚洲洋构造域或中亚构造域的重要组成部分。研究区仅涵盖造山系南缘的阿尔泰弧盆系单元,即阿尔泰弧盆系(I_1),可细分为南阿尔泰陆缘弧(Pz_1-C, I_{1-1})和南阿尔泰南缘增生弧(Pz_2, I_{1-2})(图2,表1)。

南阿尔泰陆缘弧(I_{1-1})未见前寒武纪基底岩石出露,主体由低绿片岩相的巨厚类复理石建造构成,厚

表1 中国新疆-中亚地区大地构造单元划分表

Tab. 1 Division framework of tectonic units within Xinjiang (China)- Central Asia

一级构造单元		二级构造单元		三级构造单元	
代号	名称	代号	名称	代号	名称
I	阿尔泰(-兴蒙)造山系	I ₁	阿尔泰弧盆系	I ₁₋₁	南阿尔泰陆缘弧(Pz ₁ -C)
				I ₁₋₂	南阿尔泰南缘增生弧(Pz ₂)
II	斋桑-额尔齐斯对接带	II ₁	额尔齐斯断陷盆地(N-Q)	II ₂₋₁	卡尔巴-额尔齐斯增生楔(O-C)
				II ₂₋₂	斋桑-布尔根蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)
				II ₂₋₃	吉木乃-北准噶尔洋内弧(Pz ₂)
III	乌拉尔-哈萨克斯坦-天山造山系	III ₁	东准噶尔弧盆系	III ₁₋₁	三塘湖岛弧(O-C)
				III ₁₋₂	卡拉麦里蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)
				III ₂₋₁	哈尔里克-大南湖岛弧(O-C)
		III ₂	东天山弧盆系	III ₂₋₂	康古尔塔格蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)
				III ₂₋₃	觉罗塔格岛弧(D-C)
		III ₃	准噶尔-吐哈地块	III ₃₋₁	准噶尔地块(AnNh)
				III ₃₋₂	博格达裂谷盆地(C-P)
				III ₃₋₃	吐哈地块(Pz ₁ -C)
		III ₄	塔尔巴哈台-西准噶尔弧盆系	III ₄₋₁	萨雷扎尔-扎尔马岛弧(Pz ₁)
				III ₄₋₂	塔尔巴哈台-赛米斯台岛弧(Pz ₂)
				III ₄₋₃	唐巴勒-达拉布特蛇绿混杂岩带(O-C)
		III ₅	巴音沟-米什沟结合带	III ₄₋₄	阿克塔斯特-萨亚克蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)
				III ₅₋₁	依连哈比尔尔蛇绿混杂岩带(Pz ₂)
				III ₅₋₂	米什沟-冰达坂蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)
		III ₆	莫因特-巴尔喀什-中天山地块	III ₆₋₁	卡拉索尔-巴尔喀什-博罗科努陆缘弧(O-C)
				III ₆₋₂	阿加德尔-莫因特-伊犁裂谷盆地(C-P)
				III ₆₋₃	巴彦乌拉尔-扎拉依尔奈曼-中天山陆缘弧(O-C)
		III ₇	希迭尔特-热尔套山-卡拉科尔结合带	III ₇₋₁	希迭尔特-萨雷苏蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)
				III ₇₋₂	热尔套山-卡拉科尔蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)
III ₈₋₁	田吉兹湖-热兹卡兹甘陆缘弧(O-P)				
III ₈	图尔盖-塔拉斯地块	III ₈₋₂	伊希姆-斯捷普尼亚克逆冲带(Ar? 陆核)		
		III ₈₋₃	图尔盖-克孜勒库姆前陆盆地(Mz)		
		III ₈₋₄	卡拉套基底断隆带(K-Q右行走滑)		
III ₉	乌拉尔弧盆系	III ₈₋₅	塔拉斯-吉尔吉斯山增生弧(O-P)		
		III ₈₋₆	布坎套-费尔干纳陆缘弧(O-P)		
		III ₉₋₁	主乌拉尔蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)		
III ₉₋₂	东乌拉尔岛弧(O-P)				
IV	东欧陆块区	IV ₁	前乌拉尔地块(An€)		
		IV ₂	北里海残余盆地(Mz-E)		
V	突厥斯坦-阿特巴什-南天山对接带	V ₁	阿特巴什-南天山结合带	V ₁₋₁	碱泉蛇绿混杂岩带(D-C)
				V ₁₋₂	额尔宾山-库米什蛇绿混杂岩带(D-C)
V ₁₋₃	哈尔克山高压-超高压变质带(Pz ₁ -C)				
V ₁₋₄	阿特巴什-西南天山蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)				
V ₂	乌兹别克-突厥斯坦结合带	V ₂₋₁	乌兹别克-阿赖蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)		
		V ₂₋₂	曼格什拉克-萨雷卡梅什湖蛇绿混杂岩带(Pz ₁ -C)		

续表1

一级构造单元		二级构造单元		三级构造单元					
代号	名称	代号	名称	代号	名称				
VI	卡拉库姆-塔里木陆块区	VI ₁	敦煌陆块	VI _{1.1}	柳园(阿克塔格)逆冲带(P ₂ 陆缘裂谷)				
				VI _{1.2}	敦煌断陷盆地(Cz)				
				VI _{1.3}	阿尔金北逆冲带(Ar _{2,3} 陆核)				
				VI _{2.1}	库鲁克塔格逆冲带(P ₂ 陆缘盆地)				
		VI ₂	塔里木陆块	VI _{2.2}	西南天山-霍拉山逆冲带(P ₂ 陆缘裂谷)				
				VI _{2.3}	塔里木前陆盆地(Mz)				
				VI _{2.4}	铁克里克逆冲带(Pt裂谷盆地)				
				VI _{3.1}	撒马尔罕-克孜勒苏河逆冲带(P ₂ 陆缘盆地)				
		VI ₃	卡拉库姆陆块	VI _{3.2}	卡拉库姆-马扎里沙里夫前陆盆地(Mz)				
				VI _{3.3}	法扎巴德-桑格沃尔德逆冲带(C-P陆缘裂谷)				
				VI _{3.4}	兴都库什岩浆弧(Mz)				
				VII	北帕米尔-阿尔金-昆仑造山系	VII ₁	阿尔金弧盆系	VII _{1.1}	红柳沟-拉配泉蛇绿混杂岩带(P ₂)
VII _{1.2}	阿中地块(AnNh)								
VII _{1.3}	阿帕-茫崖蛇绿混杂岩带(P ₂)								
VII _{1.4}	江孜孜萨依-巴什瓦克高压变质岩带(Pt ₃ -P ₂)								
VII ₂	柴达木地块(Cz断陷盆地)	VII _{3.1}	祁漫塔格北坡-夏日哈岩浆弧(O-S)						
		VII _{3.2}	祁漫塔格蛇绿混杂岩带(P ₂)						
VII ₃	东昆仑弧盆系	VII _{3.3}	北昆仑岩浆弧(O-T ₂)						
		VII _{3.4}	乌鲁赛赤河弧间裂谷盆地(C-P)						
		VII _{4.1}	恰尔隆-库尔良弧后裂谷盆地(C-P)						
		VII _{4.2}	北帕米尔-柳什塔格岛弧(P ₂ -T ₂)						
VII ₄	北帕米尔-西昆仑弧盆系	VII _{4.3}	库地-其曼于特蛇绿混杂岩带(P ₂)						
		VII _{4.4}	奥依且克-塔木其岛弧(O-S)						
		VIII	塔尼马斯-康西瓦-南昆仑对接带	VIII ₁	南昆仑结合带	VIII _{1.1}	东昆仑南坡增生杂岩带(Pt ₃ -P ₂)		
						VIII _{1.2}	木孜塔格-布喀达坂蛇绿混杂岩带(P ₂ -T ₂)		
VIII ₂	塔尼马斯-康西瓦结合带			VIII _{2.1}	康西瓦-苏巴什蛇绿混杂岩带(P ₂)				
				VIII _{2.2}	塔尼马斯(Tanymas)蛇绿混杂岩带(P ₂)				
IX	中帕米尔(-羌塘-三江)造山系			IX ₁	喀拉塔格-巴颜喀拉地块	IX _{1.1}	巴颜喀拉前陆盆地(T ₃)		
						IX _{1.2}	喀拉塔格前陆盆地(T ₃)		
IX ₂	中帕米尔-甜水海地块(AnNh)			X	巴扎拉克-鲁山普哈特(-班公湖-双湖-怒江)对接带	X _{1.1}	鲁山普哈特(Rushan-Pshart)蛇绿混杂岩带(P ₂ -K?)		
						X _{1.2}	潘焦-巴扎拉克蛇绿混杂岩带(P ₂ -K?)		
XI	南帕米尔-拉达克(-冈底斯-喜马拉雅)造山系					XI ₁	南帕米尔(-冈底斯)弧盆系	XI _{1.1}	南帕米尔(-昂龙岗日-班戈-腾冲)岩浆弧
								XI _{1.2}	什约克(Shyok)(-狮泉河-申扎-嘉黎)蛇绿混杂岩带
								XI _{1.3}	科西斯坦-拉达克(-冈底斯-察隅)岩浆弧
						XI ₂	喀布尔-印度河(-雅鲁藏布江)结合带	XI _{2.1}	印度河蛇绿混杂岩带(T-K)
		XI _{2.2}	喀布尔蛇绿混杂岩带(T-K)						
		XI ₃	白沙瓦-斯里那加(-喜马拉雅)地块(AnC)						
XII	印度陆块区	XII ₁	杰赫勒姆前陆盆地(Cz)						

度为6~7 km(成守德, 2015)。晚寒武世—中奥陶世(500~470 Ma)随着斋桑-额尔齐斯-南蒙古洋向北俯冲于阿尔泰微陆块之下,在阿尔泰微陆块南缘形成了主动陆缘弧,增生西伯利亚大陆南缘,夕线石片岩和角闪岩的锆石 U-Pb 年龄集中于 495~481 Ma(Windley et al., 2002; Wang et al., 2006; 杨富全等, 2018)。侵入岩以同造山型花岗质岩为主,其次为闪长岩-辉长岩等,志留纪—泥盆纪花岗岩以斜长花岗岩-花岗闪长岩-石英闪长岩为主,多属混溶的 I 型,属古亚洲洋北向俯冲过程中幔源基性岩浆与壳源酸性岩浆混合作用的产物(杨富全等, 2008; 王涛等, 2010; 刘锋等, 2014; 张亚峰等, 2014; 潘桂棠等, 2017; 蔺新望等, 2021)。泥盆纪—石炭纪该早古生代陆缘弧进一步发展成为晚古生代陆缘弧,此时花岗岩发育且多为后碰撞型花岗岩类,二叠纪及之后发育少量富碱的后碰撞-后造山期小岩体侵入(潘桂棠等, 2017)。

南阿尔泰山南缘增生弧(I_{1,2})主要分布于哈萨克斯坦和中国新疆,属晚古生代斋桑-额尔齐斯洋北向俯冲作用的产物。前震旦纪基底杂岩主要由混合岩、片麻岩等组成,其中产出早泥盆世磁铁矿床,如蒙库铁矿。震旦纪—石炭纪岩石组合为变凝灰质杂砂岩-变硅质岩-变粉砂岩-变砂砾岩-结晶灰岩建造、片麻岩-变粉砂岩-变长石杂砂岩-石英片岩建造等(张克信等, 2017),主体构成增生弧的俯冲增生杂岩;相伴发育变流纹质晶屑凝灰岩-变流纹岩和细碧-角斑岩,以及大规模侵入的石英闪长岩、英云闪长岩和花岗闪长岩,构成俯冲型的增生火山-岩浆弧。其上不整合覆盖晚石炭世陆相磨拉石建造,早二叠世转为陆相粗面安山岩、安山玄武岩等的火山磨拉石建造,之后转为造山后的前陆盆地,二叠纪花岗岩地球化学地球化学显示后碰撞背景特征(成守德, 2015)。南阿尔泰山南缘增生杂岩不仅是列宁诺戈尔斯克(Leninogorsk)铜铅锌矿(超大型)、济良诺夫(Zhuliannov)铅锌铜矿(超大型)、阿舍勒铜矿(大型)、可可塔勒铅锌矿(大型)等块状硫化物多金属矿床的重要含矿层位,而且控制了多拉纳萨依、托库孜巴依等大-中型造山型金矿的成矿。

2.2 斋桑-额尔齐斯对接带(II)

斋桑-额尔齐斯对接带向东延至索伦山-西拉木伦一带,是古亚洲洋俯冲消亡的地质遗迹。该对接带经历了晚前寒武纪以来的扩张、双向俯冲、两侧弧盆系的形成演化,其中蛇绿岩、蛇绿混杂岩、洋内弧、增生杂带、洋岛-海山等地质体,记录了其复杂的增生碰

撞造山过程,构筑了北部阿尔泰(-兴蒙)造山系和南部乌拉尔-哈萨克斯坦-天山造山系的重要分界带(图1、图2)。可细分为额尔齐斯断陷盆地(II₁)和额尔齐斯-斋桑结合带(II₂)2个二级构造单元。

(1) 额尔齐斯断陷盆地(II₁, N-Q)

该断陷盆地位于斋桑-额尔齐斯对接带西段,主要由古近纪—新近纪泥岩与泥质砂岩互层夹石英砂岩建造组成,反映了湖泊沉积环境,属于陆内断陷盆地(潘桂棠等, 2017);第四系主要为冲洪积和风成堆积。研究显示断陷盆地受斋桑-额尔齐斯右旋走滑逆冲性质的活动断裂带控制,现今垂直错动速率为 6.25 mm/a、右旋走滑速率为 5 mm/a,总滑动速率为 8 mm/a。1990 年斋桑 7.3 级地震、1931 年富蕴 8.0 级地震及更新世晚期古地震使斋桑-乌伦古断裂、玛因鄂博断裂、额尔齐斯和断裂发生破裂,其中玛因鄂博断裂从全新世中期以来发生了 3 次古地震,平均复现期为(2 843±92)a(柏美祥, 1996)。

(2) 额尔齐斯-斋桑结合带(II₂)

该结合带是额尔齐斯-斋桑洋盆于泥盆纪末—早石炭世封闭,南侧的准葛尔与北侧阿尔泰聚合碰撞而形成的增生杂岩及蛇绿混杂岩带(潘桂棠等, 2017),可细分为卡尔巴-额尔齐斯增生楔(II_{2,1}, O-C)、斋桑-布尔根蛇绿混杂岩带(II_{2,2}, Pz₁-C)和吉木乃-北准噶尔洋内弧(II_{2,3}, Pz₂)3个三级构造单元(表1, 图2)。

卡尔巴-额尔齐斯增生楔(II_{2,1})发育于阿尔泰山南缘增生弧南部,零星出露元古界基底杂岩残块。中奥陶世—志留纪发育俯冲增生杂岩相,以结晶片岩、片麻岩及绿片岩组合为主;早石炭世发育浊积岩和滑混岩组合,晚石炭世发育夹少量安山岩-玄武岩的复理石建造,属弧前增生楔环境。二叠纪开始发育洋盆闭合后的火山磨拉石建造,进入陆内裂谷构造阶段。阿尔泰山南缘富蕴县超高温泥质麻粒岩年龄为 500~480 Ma,中阿尔泰哈巴河发现年龄为 486 Ma 的弧火山岩;从杂岩带中硅质岩块中鉴定出晚泥盆世—早石炭世牙形石和放射虫(计文化等, 2013; 成守德, 2015; 潘桂棠等, 2017; 田红彪等, 2017)。

斋桑-布尔根蛇绿混杂岩带(II_{2,2})东起中国青河县以南的布尔根蛇绿岩带,经富蕴南的乔夏哈拉蛇绿岩带和布尔津县西南的科克森套蛇绿岩带,向西延伸至境外的斋桑蛇绿岩带,属西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔陆块区之间的结合带。对其中蛇绿岩、辉长岩或拉斑玄武岩开展大量的 SHRIMP、U-Th-Pb、

Sm-Nd、Ar-Ar 定年研究, 年龄范围为 503~352 Ma (简平等, 2003; 刘敦一等, 2003; 肖文交等, 2006; 吴波等, 2006; Jian et al., 2008; 王玉往等, 2011; 李承东等, 2012; 张克信等, 2015)。花岗岩可分为同造山 I 型花岗岩(380~360 Ma)(许继峰等, 2001; 张招崇等, 2006; Xiao et al., 2009; 杨高学等, 2010; Tong et al., 2013)和后造山碱性 A 型花岗岩(< 360 Ma)(Tong et al., 2013), 后碰撞环境的片麻年龄约为 326 Ma(刘国仁等, 2008), 揭示出古亚洲洋北支于早石炭世已完成洋陆转换, 构成分割两大板块的晚古生代碰撞缝合带(吴波等, 2006; 王玉往等, 2011)。该蛇绿混杂带以变质橄榄岩、辉石岩、辉绿岩、玄武岩、细碧岩及硅质岩组合为主, 此外可见硬玉和蓝片岩。恰尔斯克东南部发育高压变质岩块, 其中榴辉岩、石榴子石-角闪岩和蓝片岩中的白云母 K-Ar 年龄为 444~429 Ma(计文化等, 2013)。

吉木乃-北准噶尔洋内弧(Ⅱ_{2,3})发育于早古生代增生杂岩基底之上, 主要由泥盆系-石炭系组成, 构成火山弧, 为斋桑-额尔齐斯洋盆向南俯冲产物。火山岩均属钙碱性系列, 具岛弧型建造特征, 如在富蕴地区发现玻安岩、埃达克岩及富铌玄武岩组合(张海洋等, 2004), 以及中泥盆世苦橄岩等一套富镁火山弧岩石组合的发现(张招崇等, 2007)。晚泥盆世发育的碰撞事件形成了同碰撞花岗岩, 标志斋桑-额尔齐斯洋盆的全面闭合, 使得阿尔泰弧盆系与东、西准噶尔弧盆系拼合, 而晚泥盆世-石炭纪在准噶尔地块之上发育的弧盆系实际上是南天山洋滞后俯冲作用引起的弧后扩张所致(潘桂棠等, 2017, 2020)。上覆后碰撞伸展阶段的早二叠统裂谷沉积组合, 表明洋内弧演化结束。

2.3 乌拉尔-哈萨克斯坦-天山造山系(Ⅲ)

该造山系位于斋桑-额尔齐斯对接带以南, 主体表现为受古亚洲洋北支向南和古亚洲洋南支双向俯冲的奥陶纪-早石炭世多岛弧盆系及弧陆碰撞岛弧造山作用(图 1)(潘桂棠等, 2017)。该造山系主要由古生代多条蛇绿混杂岩带和多个岩浆弧、弧后盆地及裂离地块等组成, 可分为东准噶尔弧盆系(Ⅲ₁)、东天山弧盆系(Ⅲ₂)等 9 个二级构造单元(图 2, 表 1)。

(1) 东准噶尔弧盆系(Ⅲ₁)

东准噶尔弧盆系位于额尔齐斯结合带以南, 准噶尔-吐哈地块以北, 可分为三塘湖岛弧(Ⅲ_{1,1}, O-C)和卡拉麦里蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{1,2}, Pz₁-C)2 个三级

构造单元。

三塘湖岛弧发育中奥陶统基性-中基性火山岩-火山碎屑岩建造, 其中加波萨尔组发育碳酸盐岩和 *Plasmoporella* 化石。奥陶纪岩浆弧从下而上主要为: 乌勒盖组含绿泥石石英片岩夹片理化粉砂岩, 大柳沟组中酸性火山岩夹凝灰岩、碎屑岩等, 庙尔沟组为火山-正常碎屑岩过渡地层, 其上为不整合于早古生代花岗岩闪岩上的早泥盆统托拉克库都克组和早石炭统姜巴斯套组覆盖。其上未变质的泥盆系, 总体属一套钙碱性火山岩及其碎屑岩建造, 前人认为其为早古生代以后上覆构造中的火山-沉积作用产物(何国琦等, 2004), 在托拉克库都克西北发现白云母染色花岗岩(SHRIMP 年龄为 413±8 Ma)上不整合覆盖中泥盆统(李亚萍等, 2009)。晚泥盆统喀希翁组总体为一套滨海-陆相碎屑岩、中基性火山岩、凝灰角砾岩为主, 晚泥盆统-早石炭统江孜尔库都克组整合于其上, 属海陆交互火山-正常浅海碎屑岩建造。不整合上覆的早石炭统姜巴斯套组属陆表海沉积, 反映洋盆已封闭, 岛弧发展历史结束(潘桂棠等, 2017)。古近纪-新近纪发育含石膏红层, 进入陆内断陷盆地沉积阶段。

卡拉麦里蛇绿岩, 以混杂岩形式产出, 岩石组合包括变质橄榄岩、蛇纹岩、堆晶异剥橄榄岩、堆晶辉长岩、块状辉长岩、辉绿岩墙, 其上部岩石组合为中-基性熔岩、火山凝灰岩、硅质岩。其中玄武岩既有 N-MORB 型、E-MORB 型, 也有 OIB 型, 其构造环境为弧后扩张洋盆, 并显示洋盆俯冲消减形成的 SSZ 型蛇绿岩特征(李锦轶等, 2006)。通过其中斜长花岗岩(锆石 SHRIMP 年龄为 497 Ma 和 403 Ma)和辉长岩(锆石 SHRIMP 年龄为 336 Ma 和 342 Ma)年龄数据, 产出晚泥盆世-早石炭世放射虫(舒良树等, 2003), 推断该洋盆扩张可能始于志留纪(李锦轶, 1995, 2004)。晚古生代后造山深成岩浆活动从早石炭世一直延续至早二叠世末期(韩宝福等, 2006)。下二叠统发育陆相双峰式火山岩, 上二叠统为陆相磨拉石组合, 它们均属早古生代以后的上叠构造中的火山-积作用产物。

(2) 东天山弧盆系(Ⅲ₂)

该弧盆系位于准噶尔-吐哈地块以南, 可进一步细分为哈尔里克-大南湖岛弧(Ⅲ_{2,1}, O-C)、康古尔塔格蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{2,2}, Pz₁-C)和觉罗塔格岛弧(Ⅲ_{2,3}, D-C)3 个三级构造单元(图 2, 表 1)。

岛弧发育在早古生代岛弧或前寒武基底之上。

哈尔里克-大南湖岛弧由中晚奥陶统乌列盖组杂砂岩和大柳沟组钙碱系列火山碎屑沉积组成火山弧,被晚志留统红柳峡组陆缘碎屑沉积不整合上覆,早一中泥盆统大南湖组和头苏泉组与下伏地层呈不整合或断层接触,早石炭统七角井组与泥盆系不整合接触,属碰撞后上叠裂谷环境火山碎屑沉积。不整合上覆的二叠系阿其克布拉克组为砂砾岩建造,岛弧发育结束。觉罗塔格岛弧发育早一中石炭统阿其山组和吐古土布拉克组发育双峰式火山岩建造,属于初始裂谷发展阶段;而不整合上覆的早二叠统铜哈尔加乌组发育的双峰式火山岩建造,属陆内裂谷环境。岛弧带发育俯冲-碰撞期岩浆岩,主要为中奥陶世-中志留世石英闪长岩-斜长花岗岩-花岗闪长岩-二长花岗岩等,如哈尔里克山(花岗)闪长岩年龄为430~470 Ma(郭华春等, 2006; 曹福根等, 2006);泥盆纪俯冲型石英闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩等;石炭纪-二叠纪花岗闪长岩-二长花岗岩-钾长花岗岩等。

康古尔塔格蛇绿主要由上洋壳枕状玄武岩、放射虫硅质岩和下洋壳部分的超基性岩组成。蛇绿岩呈构造岩片分布于早石炭世强烈剪切的深水浊积岩中,放射虫硅质岩中的放射虫具有泥盆纪的分子,玄武岩具有 MORB 岩石化学特征,获得蛇绿岩中辉长岩 SHRIMP 年龄约为 495 Ma(李锦轶等, 2002; 李文铅等, 2008)。王国强等(2012)获得四顶黑山蛇绿混杂岩带中辉长岩 LA-ICP-MS 年龄为 320.9 Ma。该蛇绿岩带具有重要的延伸对比价值,属弧后洋盆消减产物(潘桂棠等, 2017)。

(3) 准噶尔-吐哈地块(Ⅲ₃)

该地块主体占据准噶尔盆地,可进一步划分为准噶尔地块(Ⅲ_{3,1}, AnNh)、博格达裂谷盆地(Ⅲ_{3,2}, C-P)和吐哈地块(Ⅲ_{3,3}, Pz₁-C)3个三级构造单元(图2,表1)。

准噶尔地块与吐鲁番-哈密地块原本是相连的一个整体,由于博格达裂谷构造活动才被分隔在博格达山南北两侧(张德润, 1990; 袁学诚等, 1994)。地质、地球物理和碎屑锆石年代学资料显示,两地块的基底应为发育太古代-元古代地层的同一古陆(李锦轶等, 2006; 徐学义等, 2014)。此外,包括准噶尔、吐哈和伊宁在内的各地块保存有南华系裂谷和南沱期冰碛层的沉积记录(潘桂棠等, 2017),其中东准噶尔卡拉麦里山一带发现有晚震旦纪-早寒武世的小壳及古园藻类化石(张以榕等, 1992)。准噶尔地块盖层主要经

历3个构造阶段:①与天山和松潘-甘孜造山带形成有关的二叠纪-三叠纪前陆盆地阶段。②区域压缩较弱的侏罗纪-早始新世陆内拗陷阶段。③新近纪晚期以来与天山抬升有关的活化前陆盆地阶段(Wang et al., 2021a, 2021b)。

博格达裂谷盆地是发育在准噶尔和吐哈地块之间的一个古生代裂谷,西邻伊连哈比尔带天折断裂,东与哈尔里克山脉呈断层接触。主体由石炭系火山碎屑岩-火山岩建造至细碎屑岩建造。中石炭世早期局部有较强的火山活动,白杨沟上游发现有大面积枕状玄武岩,中石炭统柳树沟组构成该区主体,厚达3000 m,为海相双峰式火山岩夹碎屑岩;中石炭世晚期-晚石炭世以浅海相碳酸盐岩-陆源碎屑岩为主,其上为晚石炭世磨拉石组合所不整合。红色磨拉石之上为下二叠统玄武岩和流纹岩-流纹质火山碎屑岩组合,反映裂谷至少存在石炭纪和早二叠世2次重要拉张期;拉张作用始于中石炭世前,中石炭世海域最广,并有碱性火山岩及双峰式火山岩的喷发;晚石炭世开始封闭,二叠系下部虽仍有海相碎屑岩-火山碎屑岩,但已属残余海盆阶段;晚二叠世才转为发育海陆交互相或湖沼相沉积(廖卓庭等, 1999; 郭召杰等, 2008)。侵入岩极不发育,除少量中-基性小岩体外,花岗岩浆活动不发育。博格达山隆升是印支运动以来多次推覆造山运动的反映,其现貌是新近纪以来新构造运动的结果(Wang et al., 2021a, 2021b)。

(4) 塔尔巴哈台-西准噶尔弧盆系(Ⅲ₄)

该弧盆系位于斋桑-额尔齐斯对接带以南、准噶尔-吐哈地块以西,可进一步细分为萨雷扎尔-扎尔马岛弧(Ⅲ_{4,1}, Pz₁)、塔尔巴哈台-赛米斯台岛弧(Ⅲ_{4,2}, Pz₂)、唐巴勒-达拉布特蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{4,3}, O-C)和阿克塔斯特-萨亚克蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{4,4}, Pz₁-C)4个三级构造单元(图2,表1)。

该弧盆系出露古元古界基底变质岩系和中-新元古界盖层的浅变质碳酸盐岩-碎屑岩组合(潘桂棠等, 2017),可能为哈萨克斯坦古陆(徐学义等, 2014),之上发育古生代岛弧岩浆岩活动。早古生代岛弧岩浆活动主要分布于萨雷扎尔-扎尔马地区;晚古生代岛弧岩浆活动主要分布于塔尔巴哈台-赛米斯台岛弧地区(图2)。该区域奥陶系变形最为强烈,发育诸如紧闭褶皱和劈理置换构造等,地层中含有 *Maclurites*、*Remopleurides* 化石,证实为早古生代洋盆,中奥陶统和志留统之间角度不整合代表早古生代洋陆转换

结束;志留系变形较弱,而泥盆系基本不变形,上志留统和中泥盆统之间角度不整合代表晚志留世局部拉伸火山盆地闭合事件,中泥盆世后转入海陆交互—陆相沉积(徐学义等,2014;成守德,2015)。在谢米斯台和布克赛尔发育一套含有大小不等灰岩块体的坍塌建造的复合建造,组成了古生代岩浆弧相的上奥陶统布龙果尔组(李耀西等,1992)。在白碱滩、野鸭沟和西克拉玛依地区出露的泥盆系和石炭系辉长岩和火山岩显示轻稀土亏损、负 Nb 异常的似 MORB 或 OIB 特征,表明形成于弧盆系环境(Xi et al., 2014)。研究显示该区早石炭世火山—沉积岩系归属于弧盆系,至晚石炭世为裂谷或裂陷槽环境(李永军等,2008;李荣社等,2011),表明塔尔巴哈台—西准噶尔从早石炭世开始转入裂谷伸展,至晚石炭世裂谷作用收缩到结束,早二叠世转入陆相(徐学义等,2014)。

该弧盆系发育一系列寒武纪—奥陶纪蛇绿混杂岩带,主要沿着国内的唐巴勒—达拉布特和国外的阿克塔斯特—萨亚克分布(图2)。其中典型的寒武纪—奥陶纪唐巴勒蛇绿混杂岩带伴生早古生代蓝片岩(Li, 2006;徐学义等,2014),蛇绿岩的全岩 Sm—Nd 年龄为(447±5.6)Ma(张弛等,1992)。玛依勒蛇绿岩带主要由早期洋盆地质记录的寒武纪—奥陶纪蛇绿岩残块和晚期的志留纪火山—沉积岩系构成的基质组成(徐学义等,2014)。白碱滩(又称克拉玛依)蛇绿岩带发育于早古生代—泥盆纪(Yang et al., 2013),辉长岩锆石 SHRIMP 年龄分别为(414.4±8.6)Ma 和(332±14)Ma(徐新等,2006),并含有中晚奥陶世牙形石和放射虫化石(何国琦等,2007;Li et al., 2016)。达拉布特蛇绿混杂岩带形成于中志留世—中泥盆世,辉长岩锆石 U—Pb 年龄为 391 Ma(辜平阳等,2009;Yang et al., 2013)。哈萨克斯坦的巴尔喀什依特木楞发育早古生代蛇绿岩带,地层中发育 *Maclurites. Remopleurrides* 等化石,可与境内的唐古勒蛇绿混杂岩带对比(潘桂棠等,2017)。大量晚石炭世—早二叠世碰撞后高钾钙碱性花岗岩侵入上述蛇绿混杂岩带中,标志着该区洋盆于石炭纪最终闭合(Xiao et al., 2008;Li et al., 2016)。萨雷扎尔—扎尔马岛弧发育典型的奥陶纪—志留纪或泥盆纪铅锌矿床,矿床类型以 VMS 型为主,其次为热液脉型。

(5)巴音沟—米什沟结合带(Ⅲ₅)

该结合带北与吐哈地块相邻,南与中天山复合岩浆弧相接,呈北西向延伸,是北部准噶尔—吐哈地块与

南部伊宁—中天山地块间的结合带,即北天山洋盆消亡的遗迹(潘桂棠等,2017)。该带可细分为依连哈比尔尕蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{5,1}, Pz₂)和米什沟—冰达坂蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{5,2}, Pz₁-C)2个三级构造单元(图2,表1)。

依连哈比尔尕蛇绿混杂岩主要有石炭系及部分泥盆系组成,带内可见被肢解的蛇绿岩,经恢复其剖面自下而上为变质橄榄岩、枕状玄武岩、块状玄武岩及穿插于其中的辉绿岩墙群和含放射虫(晚泥盆世—早石炭世)硅质岩。研究认为,北天山依连哈比尔尕蛇绿岩所在层位为下—中石炭统沙大王组,含有丰富的动植物化石,据此推断北天山洋盆的时限为晚泥盆世早期至早石炭世(王作勋等,1990;肖序常等,1992)。

巴音沟蛇绿岩套的岩石组合齐全但亦受构造肢解,构造侵位在强变形的硅泥质浊积岩中。对蛇绿岩带内斜长花岗岩、辉长岩、以及未变形变质的花岗岩开展同位素测年,可将北天山蛇绿岩侵位或蛇绿混杂岩的形成时代限定为 316~325 Ma(徐学义等,2006;韩宝福,2008)。在米什沟断续出露早—中奥陶世细碧角斑岩建造、蛇绿混杂岩及含牙形石远洋沉积,并在不同地点发现青铝闪石、蓝闪石片岩(丁道桂等,1996;刘斌等,2003)。根据石炭纪阿克沙克组在东部觉罗塔格带中康南蛇绿岩 SHRIMP 年龄(494 Ma),认为干沟地区曾经发育过一个早古生代洋盆,并于石炭纪前关闭,洋盆俯冲消减方向为由北向南(朱宝清等,2002;周汝洪等,2009;潘桂棠等,2017)。

(6)莫因特—巴尔喀什—中天山地块(Ⅲ₆)

该地块可细分为卡拉索尔—巴尔喀什—博罗科努陆缘弧(Ⅲ_{6,1}, O—C)、阿加德尔—莫因特—伊犁裂谷盆地(Ⅲ_{6,2}, C—P)和巴彦乌拉尔—扎拉依尔奈曼—中天山陆缘弧(Ⅲ_{6,3}, O—C)3个三级构造单元(图2,表1)。

弧岩浆活动主要分布于莫因特—巴尔喀什—中天山地块南北2侧的卡拉索尔—巴尔喀什—博罗科努、巴彦乌拉尔—扎拉依尔奈曼—中天山一带。发育新太古代—元古代基底,基底块体发生绿片岩相—角闪岩相变质作用,面型韧性剪切变形构造强烈,糜棱面理和拉伸线理发育(朱永峰,2009;潘桂棠等,2017)。如巴伦台花岗岩锆石核部 SHRIMP U—Pb 年龄为 2515 Ma(杨天南等,2006)、拉尔墩达坂大哈拉军山组粗面安山岩锆石核部 SHRIMP 年龄为 2567~2546 Ma(朱永峰等,2006)。受北天山洋向南俯冲,卡拉索尔—巴尔喀什—博罗科努于晚奥陶世形成一套钙碱性系列的弧基性—中酸性火山岩组合,志留纪发育弧中酸性—基性

火山岩及其碎屑岩组合,晚泥盆世—早石炭世发育陆缘岛弧环境俯冲—同碰撞期花岗岩—花岗闪长岩组合,早二叠世发育有陆相玄武岩—安山岩组合(朱志新等, 2013)。巴彦乌拉—扎拉依尔奈曼—中天山岩浆弧显示多期复合特征,奥陶纪—早石炭世的侵入岩除了高钾钙碱性花岗岩属后碰撞岩浆杂岩外,其他均属弧花岗岩,岩石年代学数据集中于349~457 Ma(韩宝福等, 2004;朱志新等, 2006;王玉往等, 2006;杨天南等, 2006;高俊等, 2009)。通过后碰撞淡色花岗岩(354 Ma)的厘定,揭示该陆缘弧于早石炭世已进入后碰撞阶段(郭召杰等, 2008;潘桂棠等, 2017)。

石炭纪—二叠纪裂谷盆地展布于阿加德尔—莫因特—伊犁一带,盆地基底为中元古界浅变质碎屑岩—碳酸盐岩系,之上发育石炭纪—二叠纪“双峰式”火山岩,并被中—新生代陆相火山岩—碎屑岩沉积覆盖。出露早石炭世碱性系列玄武岩—粗安岩—碱性流纹岩组合,部分地区发现有上石炭统碱性—钙碱性双峰式火山岩及早二叠统玄武岩—流纹岩,表明裂谷具有多次拉张的特征。晚二叠世出现红色陆相磨拉石沉积,标志着裂谷发展结束。研究表明,该裂谷盆地的火山活动,主要受控于晚泥盆世—早石炭世南、北天山洋盆的俯冲活动(朱永峰等, 2005;朱志新等, 2008)。卡拉索尔—巴尔喀什—博罗科努陆缘弧(Ⅲ_{6,1})和阿加德尔—莫因特—伊犁裂谷盆地(Ⅲ_{6,2})发育诸多(超)大型MVT型铅锌矿,如哈萨克斯坦捷克利铅锌矿(储量为550万t)和乌谢克铅锌矿(大型)、中国新疆温泉县哈尔达坂铅锌矿(大型)。此外,该区域还发现有矽卡岩型和热液脉型铅锌矿分布。

(7) 希迭尔特—热尔套山—卡拉科尔结合带(Ⅲ₇)

该结合带为东部莫因特—巴尔喀什—中天山与西部图尔盖—塔拉斯地块之间的结合带,即吉尔吉斯—帖尔斯克伊古洋消亡的遗迹,可细分为北段的希迭尔特—萨雷苏蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{7,1}, Pz₁-C)和南段的热尔套山—卡拉科尔蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{7,2}, Pz₁-C)2个三级构造单元(图2,表1)。

希迭尔特—热尔套山—卡拉科尔结合带蛇绿岩组分齐全,且大多数蛇绿岩片的玄武岩和辉绿岩岩石地球化学显示MORB型特征,与近代洋中脊相近(何国琦等, 2001)。希迭尔特—萨雷苏蛇绿混杂岩带与玄武岩伴生的碧玉岩中含有丰富的动植物化石,时代可确定为早—中奥陶世,其西北部更靠近古洋边缘的包沙科里蛇绿岩时代为晚寒武世—中奥陶世。该蛇绿岩

带下部的超镁铁岩具有来自亏损地幔的特征,枕状玄武岩属高钛高碱拉斑玄武岩系列。热尔套山—卡拉科尔蛇绿混杂岩带主要由奥陶系中玄武岩和硅质岩岩片组成,与蛇绿岩伴生方铅矿的铅同位素限定年龄为580 Ma,且具有由西向东蛇绿岩带时代变新的趋势(何国琦等, 2000)。结合与玄武岩伴生硅质岩中的放射虫、牙形石和藻类确定其形成时代为寒武纪,石炭纪红色磨拉石构造凸镜体被卷入该推覆构造带,表明在石炭纪仍有明显的再活动。此外,该带蛇绿岩片上叠在原地产出的构造、建造带之上,多数推覆到原地产出的奥陶系类复理石组合之上,具有异地产状特征。关于吉尔吉斯—帖尔斯克伊古洋演化,认为早期古洋张开可能始于罗迪尼亚超大陆裂解,从里菲纪(南华纪)晚期到早寒武世,是古洋从裂谷发育到成熟大洋的时期,并伴生俯冲带和伴生初始岛弧;早奥陶世后期—中奥陶世前期进入短暂的古洋收缩阶段,并发育大量的晚奥陶世花岗岩类和区域性角度不整合,表明中—晚奥陶世发生了强烈的碰撞造山事件;志留纪—泥盆纪洋盆发生新扩张运动,至早石炭世末期闭合,形成泥盆纪蛇绿岩(何国琦等, 2000, 何国琦等, 2001;左国朝等, 2011),可能属于南天山洋俯冲引起的弧后扩张。

(8) 图尔盖—塔拉斯地块(Ⅲ₈)

该地块最早可能与伊塞克地块连为一体,新元古代之后从哈萨克斯坦—北天山古陆分离出来(左国朝等, 2011),可细分为田吉兹湖—热兹卡兹甘陆缘弧(Ⅲ_{8,1}, O-P)、伊希姆—斯捷普尼亚克逆冲带(Ⅲ_{8,2}, Ar? 陆核)、图尔盖—克孜勒库姆前陆盆地(Ⅲ_{8,3}, Mz)、卡拉套基底断隆带(Ⅲ_{8,4}, K-Q 右行走滑)、塔拉斯—吉尔吉斯山增生弧(Ⅲ_{8,5}, O-P)和布坎套—费尔干纳陆缘弧(Ⅲ_{8,6}, O-P)6个三级构造单元(图2,表1)。

伊希姆—斯捷普尼亚克逆冲带太古宇构成陆核,同时发育古生代盖层。太古宙片麻岩、角闪岩、片岩和大理岩主要呈捕虏体的形式大量产于奥陶纪花岗岩体中(Sengör et al., 2022)。图尔盖—克孜勒库姆前陆盆地主要位于艾尔库尔湖以北地区,盆地基底为恰特卡尔地块,二叠纪盆地已具雏形,白垩纪是盆地强烈沉降,覆盖了厚达2 km的中生代—新生代沉积物(左国朝等, 2011; Sengör et al., 2022)。卡拉套基底断隆带发育下—中元古界变质基底,震旦系—古生界盖层。中生代先存断裂控制了卡拉套断隆带的演化,主要经历了3个阶段的变形:①早中白垩世斜向伸展阶

段形成三大走滑变形变换带。②晚侏罗世压扭反转阶段形成3类背斜构造。③白垩纪—新生代右行走滑剪切阶段形成沿断裂分布的背斜和向斜。沿断隆带目前已发现多个大型油气藏(付晨阳等, 2017; 王有宁等, 2019)。

图尔盖—塔拉斯地块陆缘(增生)弧形成于元古代大陆基底之上, 随着罗迪尼亚古陆裂解而发展起来的早古生代陆缘弧(增生)带。奥陶纪出现洋壳并开始俯冲形成岛弧型火山—沉积建造, 志留纪发育碰撞造山期形成的同造山花岗岩和磨拉石建造, 泥盆纪陆缘火山岩带的出现指示新的拉伸作用开始, 石炭纪表现为上叠盆地沉积, 二叠纪发育火山磨拉石建造。在塔拉斯—吉尔吉斯山增生弧, 伊塞克湖南出露太古代变质陆核, 此外可见大量元古代褶皱基底(成守德等, 2009), 并发现高压榴辉岩。在图尔盖地区发育大量中—晚奥世含三叶草化石粉砂岩(Sengör et al., 2022)。

(9) 乌拉尔弧盆系(Ⅲ₉)

乌拉尔弧盆系位于西侧东欧陆块区和东侧哈萨克斯坦—天山造山系之间, 主体呈近南北向沿南乌拉尔山展布, 可细分为主乌拉尔蛇绿混杂岩带(Ⅲ_{9,1}, Pz₁-C)和东乌拉尔岛弧(Ⅲ_{9,2}, O-P)2个三级构造单元(图2, 表1)。

主乌拉尔蛇绿混杂岩带为东欧陆块与西伯利亚之间的寒武纪—奥陶纪大洋(古乌拉尔洋)关闭形成的(Savelieva et al., 1996)。该古洋盆在晚奥陶世开始俯冲消减并萎缩, 晚石炭世—早石炭世发生 Magnitogorsk 岛弧和劳俄地块(Laurussian)之间的早期碰撞, 泥盆纪末—早石炭世乌拉尔残余洋盆缩小成为一个海道, 于晚石炭世增生到 Baltica 克拉通西缘(Brown et al., 2006; Ivanov et al., 2013; 耿全如等, 2021)。带内广泛发育幔源超镁铁质岩, 主要由纯橄岩、异剥橄榄岩和单斜辉石岩组成, 其次为阿尔卑斯型辉长岩、玄武质杂岩、和枕状拉斑玄武质熔岩夹碧玉岩层组成。通过枕状熔岩定年及沉积岩中牙形石化石测年, 蛇绿混杂岩形成时代集中于奥陶纪和泥盆纪2个峰期(Pirajno et al., 2020)。沿该蛇绿混杂岩带发育诸多豆荚状蛇绿岩型铬铁矿床, 如著名的肯皮尔赛超大型铬铁矿床(成守德, 2015; 吕鹏瑞等, 2022)。

东乌拉尔岛弧位于图尔盖—塔拉斯地块的西侧, 具有哈萨克斯坦太古代—元古代陆缘基底, 来自前寒武纪—古生代大陆或岛弧残片的强烈变形变质岩石分布广泛, 变质程度由绿片岩相至麻粒岩相。在穆戈

贾尔山出露太古代混合岩化黑云母、石榴子石—黑云母斜长片麻岩, 其上不整合上覆古元古代片岩和石漠化石英岩夹角闪岩(成守德, 2015)。由于古乌拉尔洋盆在晚奥陶世开始俯冲消减并萎缩, 在东乌拉尔开始形成岛弧环境, 基于岩石组合和地质年代学研究, 识别出2期主要的岩浆侵入事件: ①晚泥盆世—早石炭世的英云闪长岩—花岗闪长岩组合。②晚石炭世—二叠纪的花岗岩基和少量闪长岩—辉长岩侵入体(Her-rington et al., 2005; Maslennikov et al., 2012)。Dzhabyk 未变形花岗岩的测年结果为(291±4)Ma, 代表了该区域最年轻的岛弧环境岩浆活动(Montero et al., 2000)。

2.4 东欧陆块区(Ⅳ)

东欧陆块区亦即俗称的乌拉尔山脉以西的欧洲东部平原区, 研究区仅为陆块区的一小部东部区域, 具有太古界—古元古界变质基底、中元古代早期(长城纪裂谷事件)及其以后的盖层沉积“三相”结构, 可细分为前乌拉尔地块(Ⅳ₁)和北里海残余盆地(Ⅳ₂)2部分(图2, 表1)。

(1) 前乌拉尔地块(Ⅳ₁, AnE)

研究区位于波罗的克拉通的东南部, 属其最古老的组成陆块之一。该地块具有形成于新太古代陆内高温变质作用和岩浆作用下麻粒岩相变质基底(约2.55 Ga), 岩石组合以镁铁质麻粒岩—辉长岩—辉长斜长岩和超镁铁质岩为主(Mints, 2014)。根据地球物理资料, 推断前乌拉尔地块的整个地壳部分(包括下地壳)均由高密度麻粒岩相变质岩组成(Artemieva et al., 2006; Mints, 2014)。中—新元古界盖层由浅变质碳酸盐岩—碎屑岩组成, 此外还有南华系裂谷和南沱期冰碛层的沉积记录(计文化等, 2013; 潘桂棠等, 2017)。震旦纪—石炭纪发育被动边缘盆地岩+灰岩+火山碎屑岩组合; 二叠纪—白垩纪为前陆盆地砂岩—粉砂岩+灰岩组合; 新生代则为坳陷盆地弱固结杂色黏土岩—砂岩—粉砂岩组合(计文化等, 2013)。

(2) 北里海残余盆地(Ⅳ₂, Mz-E)

该盆地位于里海盆地的北部, 是特提斯洋的残留海域, 也是全球最重要的油气富集盆地之一(Sheng et al., 2020)。该盆地具有前寒武系基底, 古生界以海相沉积为主, 其中石炭纪发育巨厚的碳酸盐岩, 夹部分碎屑岩, 晚二叠世发育一套典型的巨厚空谷阶盐岩, 油气主要富集于盐下, 集中于构造高点和斜坡带及断裂较为发育的区域(苗红生等, 2012; 马昌明等, 2020)。中生代—新生代盆地由海相转向陆相沉积, 大部区域

被晚中生界—第四系覆盖,白垩纪—古近系属陆表海盆地沉积,发育砂岩+灰岩+黏土组合;新近系—第四系拗陷盆地为拗陷盆地沉积,发育黏土岩-砂岩+粉砂岩组合(计文化等,2013)。

2.5 突厥斯坦-阿特巴什-南天山对接带(V)

该对接带位于研究区中部,作为古亚洲洋南支俯冲消亡的地质遗迹,经历了震旦纪—石炭纪的扩张、向北俯冲、弧-陆碰撞等造山过程(潘桂棠等,2017),构筑了北部东欧陆块区、乌拉尔-哈萨克斯坦-天山造山系与南部卡拉库姆-塔里木陆块区的重要分界带。以北西-南东向卡拉套大型走滑断裂为界,进一步划分为阿特巴什-南天山结合带(V_1)和乌兹别克-突厥斯坦结合带(V_2)(图2,表1)。

(1)阿特巴什-南天山结合带(V_1)

阿特巴什-南天山结合带位于北西-南东向卡拉套大型走滑断裂的东部,可进一步划分为碱泉蛇绿混杂岩带($V_{1,1}$, D-C)、额尔宾山-库米什蛇绿混杂岩带($V_{1,2}$, D-C)、哈尔克山高压-超高压变质带($V_{1,3}$, Pz_1 -C)和阿特巴什-西南天山蛇绿混杂岩带($V_{1,4}$, Pz_1 -C)4个三级构造单元。

哈尔克山高压-超高压变质带沿中天山南缘缝合带近东西向展布,向西与吉尔吉斯斯坦的阿特巴斯蓝片岩-榴辉岩带和塔吉克斯坦南天山的 Fan-Karategin 蓝片岩带相接,构成中天山复合岩浆弧南侧古生代增生楔的主体,是南天山晚古生代重要缝合带。在阿尔克山北坡有蓝片岩和蛇绿混杂岩断续出露,其中辉长岩及蛇绿岩同位素年龄分别为(439±27)Ma和600~590 Ma(郝杰等,1993),具枕状构造的榴辉岩原岩具有 E-MORB 和 OIB 型玄武岩特征(高俊等,2000),揭示南天山洋盆在震旦纪已达相当规模。该高压变质岩带的峰期年龄为 345 Ma,代表了中天山-伊宁复合地块与南天山-罗雅楚山弧盆系拼合及南天山洋俯冲消亡的时代;其中蓝片岩原岩年龄为 1 570 Ma,可能代表塔里木北缘一次早期碰撞事件;而其中白云母年龄为 313~320 Ma,指示了高压变质岩石折返到浅构造层的时间(王宝瑜等,1994; Klemd et al., 2005; 高俊等,2009)。

碱泉蛇绿混杂岩带向东与红柳河-洗肠井蛇绿混杂岩相连,主要由斜辉橄榄岩和纯橄榄岩组成,于晚古生代早期就位于前寒武蓟县系卡瓦布拉克群,发育铬铁矿化,南北受断裂控制。额尔宾山-库米什蛇绿混杂岩带中发现库米什蛇绿岩以及库勒湖、达鲁巴依、

霍拉山蛇绿岩均呈构造岩块混杂与晚志留世—早石炭世弧前斜坡浊积岩中,库米什蛇绿岩同位素年龄为 452~600 Ma,变质时代为 390~392 Ma(周鼎武等,2004; 陈刚,2008)。阿特巴什-西南天山蛇绿混杂岩带中发现阿赖蛇绿岩及前寒武长城系变质基底残块,通过巴雷公蛇绿岩同位素年龄(450 Ma)和多硅白云母年龄(316 Ma)揭示其属早古生代蛇绿岩残块,变质活动至石炭纪仍较发育(王超等,2007; 陈博等,2016),表明南天山洋(古亚洲洋南支)于早古生代开裂,至奥陶纪—志留纪发展为多岛洋盆并处于较稳定的陆棚沉积环境,洋盆俯冲过程结束时限不早于二叠纪,最终导致塔里木板块与哈萨克斯坦-准噶尔陆块区的碰撞缝合(高俊等,2000; Xiao et al., 2015; 肖文交等,2019)。

(2)乌兹别克-突厥斯坦结合带(V_2)

乌兹别克-突厥斯坦结合带位于北西-南东向卡拉套大型走滑断裂的西部,可进一步划分为乌兹别克-阿赖蛇绿混杂岩带($V_{2,1}$, Pz_1 -C)和曼格什拉克-萨雷卡梅什湖蛇绿混杂岩带($V_{2,2}$, Pz_1 -C)2个三级构造单元(图2,表1)。

该结合带具有太古宇—元古宇基底,上奥陶统至泥盆系碎屑岩-碳酸盐岩组合与火山岩互层的推覆体组成盖层,绿片岩相变质作用导致其变形和更加复杂。蛇绿岩主要分布于乌兹别克斯坦和塔吉克斯坦的 Jigen、Kan、Sartale、North Nuratau、Teskuduk、North Fergana、Bukantau 等地,其形成时代为 450~390 Ma(Zhang et al., 2002; Xiao et al., 2013; Alexeiev et al., 2015; Klemd et al., 2015; Han et al., 2018; Gong et al., 2021)。其中, Djanydjer 的蛇绿混杂岩主要有蛇纹石化橄榄岩、辉长岩、玄武岩和硅质岩组成,辉长岩的同位素年龄为 397~422 Ma。阿赖山北部蛇绿混杂岩组成与中国新疆红柳河-玉石山-石板井蛇绿混杂岩类似(徐学义等,2014)。高压变质岩主要为分布于塔吉克斯坦阿特巴什(Atbashi)地区,岩性以基质产出的含多硅白云母的片岩和片麻岩为主,同时发育以布丁和构造透镜体产出的榴辉岩、大理岩及少量变质基性火山岩,榴辉岩地球化学显示 N-MORB 或似 MORB 特征,地质年代学测试结果为 314~320 Ma,榴辉岩变质峰期变质温压条件为 2.3~2.5 Gpa, 510~570 °C(Tagiri et al., 1995; Simonov et al., 2008; Hegner et al., 2010; Klemd et al., 2015)。在乌兹别克斯坦的 Mak-bal 地区也发现高压变质岩,主要由强烈退积的榴辉

岩、石榴子石角闪岩和榴辉岩富含蓝闪石-石榴子石-绿辉石岩石组成, 镁铁岩地球化学显示(E-)MORB特征, 变质作用峰期温压条件约为 2.85 Gpa 和 580 °C, 地质年代学结果为 470~510 Ma (Rojas Agramonte et al., 2013; Meyer et al., 2013, 2014; Klemd et al., 2015)。研究认为, 分隔吉尔吉斯斯坦和塔里木地块的洋盆在早古生代已存在, 直至晚石炭世才俯冲消亡 (朱永峰, 2009; 潘桂棠等, 2016; 耿全如等, 2021)。

2.6 卡拉库姆-塔里木陆块区(VI)

卡拉库姆-塔里木陆块区近东西向横亘于北侧古亚洲构造域与南侧特提斯构造域之间, 亦被称作泛华夏大陆或陆块群的组成部分 (潘桂棠等, 2017), 主要由敦煌陆块(VI₁)、塔里木陆块(VI₂)和卡拉库姆陆块(VI₃)组成 (图 2, 表 1)。

(1) 敦煌陆块(VI₁)

研究区仅出露敦煌陆块西南一隅, 可划分为柳园(阿克塔格)逆冲带(VI_{1.1}, Pz₂ 陆缘裂谷)、VI_{1.2} 敦煌断陷盆地(Cz)和阿尔金北逆冲带(VI_{1.3}, Ar_{2.3} 陆核)3个三级构造单元。

柳园(阿克塔格)逆冲带具有前南华纪基底残块, 主要由太古代-古元古代结晶基底和中-新元古代裂谷-被动陆缘碎屑岩-碳酸盐岩及青白口纪活动陆缘岩浆杂岩组成。震旦纪-奥陶纪为被动大陆边缘盆地环境, 寒武纪-奥陶纪发育重力流砂砾岩夹砾质岩灰岩建造, 如块状硫化物型铜矿床-辉铜山辉长岩年龄为(446.1±3.0)Ma, 为晚奥陶世陆缘裂谷产物 (余吉远等, 2012)。晚古生代发育裂谷岩石组合, 石炭纪构造岩石组合以裂谷橄榄玄武岩-流纹质角砾凝灰岩-安山岩-英安岩为主。侵入岩主要发育泥盆纪-二叠纪裂谷过碱性-钙碱性花岗岩组合和双峰式侵入岩组合。二叠纪双堡塘组上发育裂谷盆地相组合, 上覆侏罗纪胡泊三角洲相组合 (潘桂棠等, 2017)。

敦煌断陷盆地以古元古代云母石英片岩-斜长角闪岩-大理岩组合与变质花岗岩杂岩等中深变质杂岩为结晶基底, 上覆中-新元古代裂谷-被动陆缘盆地岩石组合, 受周边造山带构造岩浆活动影响, 发育石炭纪中-酸性侵入岩组合, 表明敦煌地块古生代部分卷入了造山带地质作用, 并于晚古生代与塔里木、华北拼合为同一陆块 (Xu et al., 2016; 耿元生等, 2020)。新生代以后, 受青藏高原隆升影响, 敦煌地块发育多条北东东向走滑-挤压型断裂带, 对应形成系列断陷盆地 (如三危山盆地等) (潘桂棠等, 2017)。

阿尔金北逆冲带结晶基底为中-新太古代米兰岩群麻粒岩相变质岩和元古代多坝沟中深变质岩, 原岩恢复为中基(或酸)性火山岩、火山碎屑岩、洋岛-双峰式火山岩建造。逆冲带中最老地层为太古宙麻粒岩(2.4 Ga) (计文化等, 2013), 而阿克塔什塔格花岗岩片麻岩中发现有 3.6 Ga 的锆石颗粒 (陆松年等, 2002), 构成太古宙陆核, 其盖层为中-新元古代浅变质碎屑-碳酸盐岩组合。

(2) 塔里木陆块(VI₂)

塔里木陆块亦即现今塔里木盆地的相近范围, 可进一步划分为库鲁克塔格逆冲带(VI_{2.1}, Pz₁ 陆缘盆地)、西南天山-霍拉山逆冲带(VI_{2.2}, Pz₁ 陆缘裂谷)、VI_{2.3} 塔里木前陆盆地(Mz)和铁克里克逆冲带(VI_{2.4}, Pt 裂谷盆地)4个三级构造单元 (图 2, 表 1)。

塔里木盆地中-新生界零星分布, 绝大部分被第四系覆盖, 前中生界仅出露于盆地北部、西部、南部边缘的逆冲带中。库鲁克塔格逆冲带具有前震旦系结晶基底, 主要为中高级变质作用的千枚岩、片岩、片麻岩、花岗片麻岩、角闪片岩、斜长角闪岩、大理岩和变质玄武岩-安山岩-流纹质火山岩组合。区域主要由大面积强烈褶皱变形和韧性剪切的基底岩系和几无变质、微弱变形的震旦系和古生界盖层所组成, 出露最老地层为太古宙中深变质的基性-中酸性火山岩系, 如辛格尔特村南侧托格拉布拉克群中角闪岩年龄为 3.3 Ga (胡嵩琴等, 1992), 克拉克布拉克岩群可见 2.5~3.2 Ga 形成的 TTG 组合 (胡嵩琴等, 2006; 陆松年等, 2006; Long et al., 2011), 代表该区域最老的结晶基底。中-新元古代为碳酸盐岩和碎屑岩沉积建造, 属大陆地壳之上相对稳定的前海-陆棚环境。早古生代各系之间为整合关系, 为相对稳定的陆缘盆地沉积, 寒武纪-奥陶纪发育一套稳定的含磷硅质岩-碳酸盐岩系, 富含三叶虫和震旦角石; 志留系发育页岩-笔石页岩组合 (朱文斌等, 2007)。西南天山-霍拉山逆冲带由古元古界木扎尔特岩群辉石型麻粒岩、中元古界阿克苏岩群低角闪岩相砂-泥质板岩构成基底杂岩。萨瓦浦齐地区发育的南华纪-震旦系含冰积层陆缘碎屑属古裂谷边缘, 上不整合覆盖寒武系稳定性含磷碳酸盐岩及碎屑岩, 属塔里木古陆被动陆缘相环境 (成守德, 2015; 潘桂棠等, 2017)。志留纪-泥盆纪由于南天山洋向北俯冲, 塔里木古陆边缘再次拉张, 形成陆缘裂谷中心相碎屑岩夹灰岩、火山岩组合, 下石炭统陆表海相屑岩偶夹火山岩不整合上覆。

塔里木前陆盆地具有统一的前南华纪褶皱基底。震旦纪—奥陶纪受北侧古亚洲洋南支开裂影响,塔里木处于拉张背景下,形成塔中克拉通内拗陷盆地;晚奥陶世末强烈挤压变形和剥蚀,形成塔里木盆地内近“S”形展布的隆起带(牟墩玲等, 2018)。泥盆纪—石炭纪受塔里木与准噶尔—哈萨克板块碰撞,塔里木仍处于挤压隆升构造背景,石炭纪—二叠纪发生第二次拉张,形成西南深、东北浅的类克拉通前期退积型、后期进积型盆地,并发育面积大于 60 万 km² 的塔里木大火成岩省,形成时代集中于 280~290 Ma(上官时迈等, 2012; 位荀等, 2013)。三叠纪—侏罗纪,随着古特提斯洋的消亡,塔里木处于前陆盆地发展阶段;白垩纪—新近纪,受印度板块—欧亚大陆碰撞及喜马拉雅运动影响,塔里木盆地周围造山带快速抬升,使得塔里木盆地沉降,造就目前塔里木盆地的基本面貌(成守德, 2015)。铁克里克逆冲带发育类似库鲁克塔格逆冲带的前震旦系基底,最老地层为太古代—下元古代赫罗斯坦岩群,主要由长英质片麻岩、基性麻粒岩、斜长角闪岩等组成。在古元古代埃连卡特岩群发育石榴子石角闪岩和双峰式火山岩,获得同时代碱性花岗岩年龄为 2.2~2.4 Ga,中元古带长城系赛拉加兹岩群不整合于其上,构成古陆裂谷盆地中心亚相。上震旦统泥质砂岩与白云岩互层,构成陆缘裂谷的裂谷边缘亚相(潘桂棠等, 2017)。

(3) 卡拉库姆陆块(VI₃)

研究区为卡拉库姆陆块的东部,可细分为撒马尔罕—克孜勒苏河逆冲带(VI_{3,1}, Pz₁ 陆缘盆地)、卡拉库姆—马扎里沙里夫前陆盆地(VI_{3,2}, Mz)、法扎巴德—桑格沃尔德逆冲带(VI_{3,3}, C-P 陆缘裂谷)和兴都库什岩浆弧(VI_{3,4}, Mz)等 4 个三级构造单元(图 2, 表 1)。

太古宇—元古宇变质岩系零星出露于前陆盆地中部基底隆起区和南北 2 侧的逆冲带中,并构成卡拉库姆陆块的晋宁期变质基底,主要为南沱期冰碛层及其以后的沉积记录为较稳定盖层特征(Brookfield, 2000; Garzanti et al., 2002; 罗金海等, 2005; 潘桂棠等, 2017)。其下古生界主要出露于盆地北部的撒马尔罕—克孜勒苏河逆冲带中,表现为稳定的浅海碳酸盐岩及陆缘碎屑岩组合,属陆缘盆地沉积环境(Seltmann et al., 2013; 成守德, 2015)。石炭纪—二叠纪中基性—中酸性火山岩主要分布于盆地南部的法扎巴德—桑格沃尔德逆冲带中,具有裂谷盆地性质(计文化等, 2013);三叠系—白垩系由海陆交互相含煤碎屑岩演变为浅海

相碳酸盐岩—碎屑岩建造,构成现今已勘查油气田(80%以上)的主要成藏组合(尹继元等, 2015),属于前陆盆地性质;新生代受印度—阿拉伯与欧亚大陆碰撞作用影响,发育压陷盆地中的陆相磨拉石堆积。

卡拉库姆—马扎里沙里夫前陆盆地在太古宇—元古宇结晶基底之上,于早二叠世形成由多个微陆块和介于微陆块之间的大陆边缘沉积、大陆岩浆弧和岛弧岩石、弧间和弧后盆地沉积组合组合镶嵌而成的盆地基底。盆地沉积主要为二叠纪—三叠纪陆相中—酸性火山岩和陆缘红山碎屑岩组成,且具有南厚北薄特征,对应于南侧特提斯洋俯冲活动;侏罗纪—白垩纪开始盆地处于弧后拉伸环境,沉积巨厚的海陆交互相含煤碎屑岩和浅海相生物灰岩,构成油气田的重要储层(罗金海等, 2005)。岩浆活动主要分布于北帕米尔以北,岩性以二长花岗岩、钾长花岗岩、斜长花岗岩为主,其同位素年龄多为 202~277 Ma(计文化等, 2013)。此后,受南部特提斯洋向北俯冲消减影响,形成部分中—新生代岩浆侵入活动,发展成为多期复合岩浆弧(成守德, 2015)。

2.7 北帕米尔—阿尔金—昆仑造山系(VII)

该造山系位于塔里木盆地东南及西南边缘,主体受原特提斯洋北向俯冲作用的制约,表现为震旦纪—志留纪北帕米—阿尔金—昆仑多岛弧盆系构造演化及其弧陆碰撞岛弧造山作用的产物,可细分为阿尔金弧盆系(VII₁)、柴达木地块(VII₂, Cz 断陷盆地)、东昆仑弧盆系(VII₃)和北帕米尔—西昆仑弧盆系(VII₄)4 个二级构造单元(图 2, 表 1)。

(1) 阿尔金弧盆系(VII₁)

该弧盆系南以阿尔金走滑断裂为界,北濒塔里木陆块,呈北东—南西向展布,可细分为红柳沟—拉配泉蛇绿混杂岩带(VII_{1,1}, Pz₁)、阿中地块(VII_{1,2}, AnNh)、阿帕—茫崖蛇绿混杂岩带(VII_{1,3}, Pz₁)和江孜孜萨依—巴什瓦克高压变质岩带(VII_{1,4}, Pt₃—Pz₁)4 个三级构造单元。

新太古代—古元古代一套角闪岩相—麻粒岩相的深变质岩系,与围绕其增生的古元古代阿尔金山群一起,构成了阿中地块的变质基底,其结构构造特征与中祁连—湟源地块相似。出露的最老地层为太古宙麻粒岩,获得(3 605±43)Ma 的年龄(陆松年等, 2003),构成太古代古老陆核。中元古代长城系巴什库尔干群为一套高绿片岩相变质岩系,原岩为一套陆缘碎屑岩及碳酸盐岩;变质火山岩的原岩为玄武岩、安山玄武岩和英安岩等,玄武岩显示陆内或陆缘裂陷—裂谷盆

地性质。蓟县系塔昔达坂群广布于阿尔金山地区, 主要为一套绿片岩相变质岩系, 产叠层石化石, 原岩为浅海相碳酸盐岩-碎屑岩组合, 可能为裂隙-裂谷盆地上变浅充填过程的产物。新元古代青白口系索尔库里群主要为一套滨浅海相碎屑岩-碳酸盐岩, 区域上不整合于蓟县系或更老地层之上, 产叠层石及微古植物化石, 岩石变质程度极低, 构成了地块上的初始沉积盖层。不整合于其上的寒武系-奥陶系为一套稳定地块上的一套滨-浅海相碳酸盐岩及碎屑岩沉积建造, 上石炭统一下二叠统为陆表海相碎屑沉积。侏罗系-新生界受北东向逆冲-走滑断裂控制, 属于陆内断陷-走滑盆地中河湖相碎屑岩沉积。

红柳沟-拉配泉蛇绿岩带和阿帕-茫崖蛇绿岩带位于阿中地块的南北两侧, 主要由蛇纹岩、蛇纹石化橄榄岩、二辉橄榄岩、辉石橄榄岩、橄榄辉石岩、辉石岩、层状辉长岩、枕状玄武岩、硅质岩及大量基性岩脉(墙)组成。辉长岩 SHRIMP 定年为(521.1±11.9) Ma 和(472.8±10.0) Ma(杨经绥等, 2008), 俯冲型花岗岩和花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 501 Ma 和 496 Ma(彭银彪等, 2018), 表明蛇绿岩形于早寒武世—早奥陶世。火山岩同位素年龄为 479~524 Ma(刘良等, 1999; 杨经绥等, 2008), 代表洋盆火山岩的形成时代为早寒武世—早奥陶世。

江孜孜萨依-巴什瓦克高压变质岩带可见由橄榄岩(蛇纹岩)、石榴二辉橄榄岩、蚀变石榴辉长岩、榴辉岩、麻粒岩、榴闪岩、石榴透辉变粒岩和石榴斜长角闪岩等组成的高压-超高压变质透镜体(长轴近东西向), 产于新太古代—古元古代阿尔金山岩群角闪岩相-麻粒岩相的深变质岩系中, 原岩建造为超镁铁质侵入岩和基性火山岩。榴辉岩同位素年龄为(500±10) Ma 和(503±9) Ma(杨经绥, 1998), 峰期变质矿物组合为石榴子石+橄榄石+斜方辉石+单斜辉石+菱镁矿。石榴子石具有后成合晶冠状结构, 单斜辉石有片状出溶的石英晶片, 显示高压矿物减压信息, 因此变质相应属榴辉岩相(王立全等, 2015)。

(2) 柴达木地块(VII₂, Cz 断陷盆地)

研究区仅出露柴达木地块西北一隅, 一般认为塔里木盆地具有晋宁期基底(盆地中未出露), 一般埋深为 7 500~8 500 m, 最深可达 15 000 m(王立全等, 2015)。其上早古生代为地台稳定发育阶段, 主要发育滨浅海相的碳酸盐岩-碎屑岩建造。志留纪末受到造山运动影响, 大部分地区发生褶皱、断裂, 造成区域性不整合。

二叠纪出现陆内裂陷环境, 类似于扬子陆块的晚二叠世峨眉山玄武岩, 于中—下二叠统库普库兹满组和开派兹雷克组中发育陆相火山岩喷发及碎屑岩沉积。中生代开始, 随着区域陆内强烈造山, 柴达木地块受南北两侧大规模逆冲-走滑断裂的控制, 在地块南北两侧边缘发育了侏罗纪—白垩纪断陷盆地, 在盆地南北边缘的 2 个带状拗陷中, 发育较大厚度的一套河湖相红色碎屑岩沉积建造。新生代随着陆内造山及其两侧逆冲-走滑断裂的推挤, 盆地大规模凹陷, 发育巨厚的新生代压陷盆地中的河湖相含盐类碎屑岩沉积建造, 新生代地层中路乐河组和下干柴沟组尚未受到阿尔金山断裂活动影响(毛黎光等, 2013)。

(3) 东昆仑弧盆系(VII₃)

研究区位于东昆仑弧盆系西部, 可进一步细分为祁漫塔格北坡-夏日哈岩浆弧(VII₃₋₁, O-S)、祁漫塔格蛇绿混杂岩带(VII₃₋₂, Pz₁)、北昆仑岩浆弧(VII₃₋₃, O-T₂)和乌鲁赛赤河弧间裂谷盆地(VII₃₋₄, C-P)4 个三级构造单元(图 2, 表 1)。

祁漫塔格北坡-夏日哈岩浆弧具有前寒武系基底, 出露最老地层为古元古界白沙河岩组, 为一套高绿片岩相至角闪岩相变质岩系, 原岩为一套复理石碎屑岩、镁质碳酸盐岩及中基性火山岩建造, 其同位素年龄为 1 850~1 990 Ma(王立全等, 2015)。其上覆中元古代陆缘裂陷-裂谷盆地相碎屑岩-碳酸盐岩夹中基性火山岩建造和新元古代陆源碎屑岩夹基性火山岩, 缺失南华系—震旦系。奥陶系—下志留统祁漫塔格群总体为一套与俯冲作用密切相关的岛弧型海相火山-沉积组合建造。中—晚泥盆世黑山沟组和哈尔扎组是一套以滨浅海相碎屑沉积为主夹中酸性火山岩的组合序列, 形成于后碰撞作用的构造环境。晚三叠世鄂拉山组为一套陆相中基性-中酸性火山岩夹碎屑岩沉积组合, 形成于与碰撞作用有关的陆内构造环境, 其同位素年龄为 199~222 Ma(王立全等, 2015)。早古生代中酸性侵入岩出露较广, 但总体面积较小。奥陶纪以闪长岩-花岗闪长岩为主, 形成于俯冲作用的构造环境, 其同位素年龄为 439.2~472.4 Ma。志留纪侵入岩在北部以花岗闪长岩-二长花岗岩为主, 其同位素年龄为 389~420 Ma(郝杰等, 2003; 王立全等, 2015), 与祁曼塔格弧间洋盆消亡、弧-弧碰撞作用有关; 而南部志留纪花岗岩类侵入岩则承接了奥陶纪俯冲型花岗岩特征。晚古生代中酸性侵入岩以角闪闪长岩、石英闪长岩、二长花岗岩为主, 主体为同碰撞-后碰撞构

造环境下的岩浆事件,其同位素年龄为 357~397 Ma。三叠纪中酸性侵入岩以石英闪长岩-二长花岗岩为主体,形成于与后碰撞作用有关的陆内构造环境,其同位素年龄为 215~237 Ma(莫宣学等, 2003; 刘成东等, 2004; 刘云华等, 2006)。

祁漫塔格蛇绿混杂岩带可划分为朝阳沟蛇绿混杂岩亚带和阿牙克库木湖蛇绿混杂岩亚带。朝阳沟蛇绿混杂岩亚带主要呈强剪切变形的浅变质岩系及其超镁铁质-镁铁质堆晶杂岩呈透镜状的小岩块产出,其中超镁铁质堆晶杂岩的岩性主要为变质橄榄岩、变质辉石岩,其上镁铁质堆晶杂岩的岩性主要为变质辉石岩、变质辉长(辉绿)岩,常见由橄榄岩与变质辉石岩、辉石岩与辉长岩呈互层状的韵律性分布,构成较典型的堆晶结构。阿牙克库木湖蛇绿混杂岩亚带镁铁-超镁铁质岩可分为 2 套:①岩石组合以蛇纹岩、辉橄岩、橄辉岩、辉长岩及辉绿岩为主,同位素年龄为 405~466 Ma,形成于陆间裂谷环境。②岩石组合以堆晶辉橄岩、堆晶辉石岩、堆晶辉长岩、辉绿岩及枕状玄武岩为主,具有洋盆扩张成因特征。该蛇绿岩带中“基质”岩系主要为一套复理石夹火山碎屑岩、硅质岩和少量碳酸盐建造,岩石地球化学揭示祁漫塔格早古生代具有小洋盆性质。

乌鲁赛赤河弧间裂谷盆地主要由石炭纪—二叠纪地层组成。裂谷发育于泥盆系台地亚相-陆棚碎屑岩亚相-磨拉石建造序列之上,下石炭统为陆内裂谷相的裂谷中心亚相,上石炭统为裂谷边缘亚相。二叠纪为被动陆缘相的陆棚碎屑岩亚相,三叠纪发育碱性系列的安山岩、流纹岩、玄武岩和集块岩等,侏罗纪及之后为陆内断陷盆地沉积(潘桂棠等, 2017)。

(4) 北帕米尔-西昆仑弧盆系(VII₄)

该弧盆系位于塔里木盆地西南边缘的帕米尔高原北部至西昆仑山一带,可细分为恰尔隆-库尔良弧后裂谷盆地(VII_{4.1}, C-P)、北帕米尔-柳什塔格岛弧(VII_{4.2}, Pz-T₂)、库地-其曼于特蛇绿混杂岩带(VII_{4.3}, Pz₁)和奥依且克-塔木其岛弧(VII_{4.4}, O-S)4 个三级构造单元(图 2, 表 1)。

北帕米尔-柳什塔格岛弧和奥依且克-塔木其岛弧具有一致的岛弧基底。前者向西可延伸至塔吉克斯坦东北部,出露最老地层为古元古界变质岩系,中元古界为低温角闪岩相变质岩,呈褶皱紧闭的基底隆起;其上不整合上覆早古生代陆相-陆海交互相碎屑磨拉石建造,石炭纪—二叠纪发育巨厚的由千枚岩、

千枚状页岩、石英砂岩夹大理岩组成的变质岩建造。岩浆岩主要有 2 期:①零星出露于该带北侧的早石炭纪世花岗闪长岩、闪长岩、斜长花岗岩、斑岩岩墙,岩浆侵入岩,岩石地球化学显示为不成熟弧环境特征(Schwab et al., 2004; 张海迪等, 2019)。②形成于该带中部的三叠纪花岗闪长岩-二长花岗岩侵入体,其同位素年龄为 202~277 Ma(范堡程等, 2017)。后者发育前寒武纪变质岩和古生代火山-沉积建造,古—中元古代绿片岩相-角闪岩相的中-深变质岩系构成了岛弧带的基底,早古生代发育大陆边缘盆地相的一套以石英片岩、绢云母片岩及千枚岩为主的低绿片岩相变质岩系,奥陶系—志留系发育俯冲-碰撞作用相关的岛弧构造环境碎屑岩-碳酸盐岩及中酸性火山岩组合,泥盆系主体为一套弧背盆地中的滨-浅海相碎屑岩-碳酸盐岩建造,石炭系—二叠系发育滨浅海相中酸性火山岩的碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造,侏罗纪—新生代发育断陷盆地中的河湖相碎屑磨拉石建造。早古生代侵入岩构成岛弧带主体,寒武纪侵入岩以角闪闪长岩、花岗闪长岩为主,其同位素年龄为 500~507 Ma(张占武等, 2007),形成于原特提斯俯冲消减的岛弧环境。奥陶纪—志留纪侵入岩主要为花岗闪长岩、石英闪长岩、石英二长岩为主,其同位素年龄为 412~476 Ma(袁超等, 2003),显示俯冲-碰撞型岛弧花岗岩特征。

库地-其曼于特蛇绿混杂岩带内蛇绿岩断续出露,因受强烈韧性剪切变形构造破坏,区内未见完整的蛇绿岩组合层序。分析认为该蛇绿岩带为弧间扩张洋盆消亡的产物,代表了寒武纪—奥陶纪的扩张洋盆,其受控于南部康西瓦-南昆仑-木孜塔格-玛多-玛沁对接带所代表的原特提斯洋盆向北俯冲作用导致弧间裂离作用(王立全等, 2015)。库地蛇绿混杂岩呈透镜状产出,主要由具堆晶结构的超镁铁质岩体、基性火山熔岩、强蚀变辉长岩、辉绿岩、钠长花岗岩组成。超镁铁质岩包括变质橄榄岩、堆晶杂岩和席状岩墙,变质橄榄岩主要为纯橄岩、方辉橄岩、斜辉橄岩、辉橄岩和蛇纹岩等,其中以纯橄岩和方辉橄岩最为常见。堆晶杂岩以辉石岩及辉长岩为主,基性火山岩多变质为斜长角闪岩、绿帘阳起片岩、黝帘透闪石、黝帘阳起岩和含白云石滑石片岩等。玄武岩具有形成于不成熟小洋盆构造环境特征,Rb-Sr 同位素年龄为 297~359 Ma(姜春发等, 1992);堆晶岩下部方辉橄岩和辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 502~512 Ma

(肖序常等, 2004)。其曼于蛇绿混杂岩主要由超基性-基性岩组成, 岩石类型主要有蛇纹岩、蛇纹石化辉橄岩、蚀变辉石岩、蚀变橄榄辉长岩等, 中基性火山岩主要为蚀变玄武岩和安山岩, 基质主要为构造片岩, 且构造片岩的片理产状与结合带产状一致。辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 526 Ma(王立全等, 2015)。

恰尔隆-库尔良弧后裂谷盆地基底是古元古代-新元古代变质岩系, 最老出露古元古代库浪那古岩群, 为一套高绿片岩相-低角闪岩相的中-深变质岩系。中元古代长城纪赛图拉岩群原岩以拉斑玄武岩系列为主的玄武岩和偏酸性火山岩, 构成似“双峰式”组合, 显示陆内裂隙-裂谷盆地性质。蓟县纪桑株塔格岩群构成盆地的变质基底。奥陶系-志留系为一套低绿片岩相变质岩系, 原岩为一套滨浅海相碎屑岩-碳酸盐岩及中酸性火山岩组合。石炭系-二叠系主要为一套活动型盆地中的火山-沉积建造, 构成了该弧后裂谷盆地的主体; 火山岩以玄武岩-玄武安山岩和英安岩-流纹岩组成的类“双峰式”组合为主, 基性岩显示幔源特点, 形成于弧后裂谷盆地环境。缺失三叠系, 早侏罗世-新生代发育断陷盆地中的河湖相碎屑磨拉石建造(潘桂棠等, 2017)。

2.8 塔尼马斯-康西瓦-南昆仑对接带(VIII)

塔尼马斯-康西瓦-南昆仑对接带位于青藏及帕米尔高原的北部, 构成泛华夏大陆南缘早古生代北帕米尔-阿尔金-昆仑造山系与晚古生代中帕米尔(-羌塘-三江)造山系的重要分界带(潘桂棠等, 2017)。该带总体近东西延伸, 至帕米尔高原折向北西呈带状展布, 带内的前寒武系变质岩、基性-超基性岩和古生代蛇绿岩、蛇绿混杂岩、增生杂岩、高压变质岩等各类“岩块”, 以及强烈剪切变形的片岩类、板岩类等十分发育, 岩石组合类型多样, 分布广泛, 记录了青藏及帕米尔高原原-古特提斯大洋形成演化的地质信息, 可细分为南昆仑结合带(VIII₁)和塔尼马斯-康西瓦结合带(VIII₂)2个二级构造单元(图2, 表1)。

(1) 南昆仑结合带(VIII₁)

该结合带位于阿尔金大型左行走滑断裂的东侧, 研究区仅出露南昆仑结合带的西段。该结合带构成青藏高原北部乃至中国中部一条重要的巨型构造带, 可细分为东昆仑南坡增生杂岩带(VIII_{1,1}, Pt₃-Pz₁)和木孜塔格-布喀达坂蛇绿混杂岩带(VIII_{1,2}, Pz₂-T₂)2个三级构造单元。

东昆仑南坡增生杂岩带广泛出露元古代和古生

代含蛇绿岩的俯冲增生杂岩, 由于洋壳的俯冲消减、弧-弧、弧-陆碰撞形成一系列不同时代、不同构造环境、不同变质程度和不同变质样式岩石组成的组合体及构造-地层体。苦海岩群(Ar-Pt₁)构成陆壳残片相的基底残块, 变质程度达角闪岩相。蛇绿岩主要分布于中-新元古代蛇绿岩带和早古生代吐木勒克-纳赤台蛇绿岩带。中-新元古代蛇绿岩主要呈大小不等的岩块出露于中-新元古代碳酸盐岩建造和绿色火山岩建造2类建造中。玄武岩锆石 SHRIMP 年龄为 1348 Ma(姜春发等, 1992), 发育反映洋岛海山的双层结构, 即下部洋岛玄武岩, 上部洋岛碳酸盐岩。早古生代蛇绿岩产于剪切变形的复理石及中基性火山岩系中, 主要由二辉橄榄岩、尖晶石斜方辉石橄榄岩、辉石岩、辉长辉绿岩、玄武岩等组成。辉绿岩和玄武岩地球化学显示洋中脊拉斑玄武岩或不成熟岛弧拉斑玄武岩特征, 表明其可能形成于大洋向具有厚陆壳的大陆弧前俯冲带环境。玄武岩锆石 U-Pb 年龄为 466 Ma, 变质变形成因角闪石类矿物 Ar-Ar 年龄为 445 Ma(潘桂棠等, 2017)。

木孜塔格-布喀达坂蛇绿混杂岩带主要由系列蛇绿岩、玄武岩、火山弧岩、硅质岩、碳酸盐岩及大量的复理石岩块(片)组成, 岩块(片)之间多呈断层接触, 走向为近东西向, 局部为北东或北西向。石炭纪-二叠纪形成的不同火山-沉积建造, 在洋盆俯冲-碰撞过程中被卷入蛇绿混杂岩中, 尤其是半深海-深海盆地中含火山的复理石岩系, 构造剪切变形强烈, 但变质程度仅达到绿片岩相。蛇绿岩及火山岩的岩石组合主要为变辉橄榄岩、变堆晶岩、变基性熔岩等, 玄武岩主要形成于大洋中脊构造环境, 辉长岩同位素年龄为 246~369 Ma(姜春发等, 1992; 王秉璋等, 2000)。此外, 近年来在该蛇绿混杂岩带中发现有早古生代蛇绿岩残块、苦海洋岛型辉长岩岩块、岛弧型闪长岩岩块(李王晔等, 2007), 表明该混杂岩带与东昆仑南坡俯冲增生杂岩带, 同属原-古特提斯向北俯冲消减的产物, 只是弧后扩张作用过程在晚古生代俯冲增生带中有早古生代蛇绿岩残体的构造侵位(潘桂棠等, 2017)。

(2) 塔尼马斯-康西瓦结合带(VIII₂)

该结合带位于阿尔金大型左行走滑断裂的西侧, 按其空间出露位置, 可进一步划分为康西瓦-苏巴什蛇绿混杂岩带(VIII_{2,1}, Pz)和塔尼马斯(Tanymas)蛇绿混杂岩带(VIII_{2,2}, Pz₂)2个三级构造单元(图2, 表1)。

康西瓦-苏巴什蛇绿混杂岩带位于阿尔金大型走滑断裂西侧,是康西瓦-南昆仑-玛多-玛沁对接带左行错位后的西段,是北侧秦祁昆造山系西段西昆仑弧盆系与南侧羌塘-三江造山系西段塔什库尔干-甜水海地块的重要分界构造带。带内出露前寒武纪变质岩,呈大小不等的构造岩块夹持于混杂岩中。该带以大量发育古生代蛇绿混杂岩为显著特征,依据混杂岩断续状展布的空间特定,可进一步划分为2个亚带:①早古生代蒙古包-普守蛇绿混杂岩,出露较齐全,可见超基性岩(以云母二辉石岩和含斜辉石岩为主)、基性杂岩体(主要为辉长岩、辉石闪长岩、辉绿岩等)和基性火山岩,岩石地球化学显示蛇绿岩形成于早古生代大陆边缘扩张洋盆(崔建堂等,2006)。②苏巴什-康西瓦蛇绿混杂岩,由绿泥石英英片岩、绿泥绢云片岩、糜棱岩等剪切基质,包绕蛇纹岩、蛇纹石化橄榄岩、辉石岩、辉长岩、枕状玄武岩以及大理岩等块体组成的蛇绿混杂岩和火山-沉积建造组合的增生杂岩带,放射虫化石鉴定时代为早石炭世—中二叠世(潘桂棠等,2017)。

塔尼马斯蛇绿混杂岩为古特提斯洋向北俯冲消亡的产物(Robinson, 2015; Chapman et al., 2018),是划分北-中帕米尔构造单元的地质界限,也是亲冈瓦纳陆块与亲亚洲陆块的分界线(Imrecke et al., 2019)。该带中-东部地区,可见蛇纹岩和辉绿岩出露(成守德, 2015),上盘主要由三叠系强变质沉积岩组成,同时可见大量三叠纪岩浆岩侵入(Schwab et al., 2004; Robinson et al., 2004; Rutte et al., 2017);下盘主要由新元古界—白垩系变质沉积相硅质岩和碳酸盐岩组成(Imrecke et al., 2019)。根据三叠纪俯冲相关花岗岩侵入岩分布特征和早侏罗世俯冲带两侧变质作用,限定塔尼马斯古特提斯洋盆最终关闭的时间为晚三叠(约241 Ma),向东至金沙江古特提斯洋盆,关闭时间限定为210~220 Ma(Xiao et al., 2005; Robinson et al., 2012; Robinson, 2015; Wang et al., 2020a; Chen et al., 2021a)。

2.9 中帕米尔(-羌塘-三江)造山系(IX)

该造山系属于晚古生代羌塘-三江造山系的西延部分,位于北侧塔尼马斯-康西瓦-南昆仑对接带西段和南侧巴扎拉克-鲁山普哈特(-班公湖-双湖-怒江)对接带西段之间的区域(Zhang et al., 2020, 2021),可细分为喀拉塔格-巴颜喀拉地块(IX₁)和中帕米尔-甜水海地块(IX₂, AnNh)2个二级构造单元(图2,表1)。

(1) 喀拉塔格-巴颜喀拉地块(IX₁)

研究区仅出露喀拉塔格-巴颜喀拉地块的西北一隅,并以阿尔金大型左行走滑断裂为界,可进一步划分为东侧的巴颜喀拉前陆盆地(IX₁₋₁, T₃)和西侧的喀拉塔格前陆盆地(IX₁₋₂, T₃)2个三级构造单元。

巴颜喀拉前陆盆地和喀拉塔格前陆盆地被北阿尔金走滑断裂截切,为可可西里-松潘前陆盆地的西延部分。巴颜喀拉前陆盆地基底主要为韧性变形的流变褶皱、韧性剪切带和脆性变形的断层,而盖层多以不同位态的压扁褶皱及其相关的逆断层、平移断层,主要表现为系列北西西-南东东向的褶皱及纵向断层,绝大部分被巨厚的三叠系复理石所覆盖。古生代发育被动边缘盆地中的深水陆棚相-斜坡相碎屑岩夹碳酸盐岩沉积,早—中三叠世该区延续被动大陆边缘盆地发展史,沉积半深水-深水浊流沉积环境下的巨厚碎屑复理石和浊积岩,中三叠世末受控于扬子陆块向西楔入,该区由被动大陆边缘转为周缘前陆盆地,发育粗-细-粗的沉积旋回演化,反映了由向上变深的海进体系域经高水位体系域到向上变浅的海退体系域的完整沉积旋回,相伴发生的碰撞型花岗岩同位素年龄为212~220 Ma(陈文等,1997;朱迎堂等,2003;杨立强等,2015;Yang et al., 2017)。侏罗纪—白垩纪为后碰撞造山环境,发育受逆冲断裂控制的断陷盆地和内部凹陷盆地;古近纪—新近纪受逆冲-走滑断裂的控制,发育系列大型断陷-走滑盆地,沉积河湖相碎屑磨拉石建造。喀拉塔格前陆盆地以前寒武长城系甜水海群、蓟县系岔路口组变质细碎屑岩夹泥质岩为变质基底,青白口系肖尔克谷地岩组以含叠层石为特征,构成变质基底之上陆表海盆地中的较稳定沉积盖层。志留纪—二叠系发育被动边缘裂陷盆地沉积序列,三叠纪随着北侧康西瓦-苏巴什洋盆的闭合与弧-陆碰撞作用,开始由被动边缘盆地转化为前陆盆地,发育一套深水陆棚-次深海相砂页岩复理石建造,且变形强烈。伴随碰撞造山作用,发育晚三叠世—侏罗纪与碰撞-后碰撞作用相关中酸性侵入岩,其同位素年龄为172~201 Ma(王立全等,2015)。

(2) 中帕米尔-甜水海地块(IX₂, AnNh)

该地块为羌北地块在阿尔金断裂以西的延伸部分,发育前寒武系褶皱基底,早—中元古界变质岩系构成地块的变质基底,其上青白口系肖尔克谷地岩组为一套含藻纹层浅变质碎屑岩-碳酸盐岩建造,构成地块变质基底之上的初始沉积盖层。寒武纪—石炭系为一套浅海相碳酸盐岩-碎屑岩沉积组合,代表稳定

地块上陆表海盆地中的沉积序列。二叠系主要为一套深水陆棚-斜坡相碎屑岩-碳酸盐岩夹硅质岩和玄武岩、火山角砾岩组合,属于被动边缘裂谷盆地沉积序列。三叠系—白垩系为一套滨浅海相碎屑岩-碳酸盐岩建造,代表稳定地块上陆表海盆地沉积序列。新生界广泛分布,局部缺古近系—新近系沉积。该地块发育与碰撞作用有关的中钾钙碱性系列岛弧型花岗岩类,锆石 U-Pb 年龄为 210~232 Ma,后碰撞期侵入岩形成时代为 169~172 Ma 和 74~121 Ma(李荣社等, 2008;董连慧等, 2015; Zhang et al., 2019; Li et al., 2019; 李杭等, 2020; 李光明等, 2021; 曹华文等, 2022)。

2.10 巴扎拉克-鲁山普哈特(-班公湖-双湖-怒江)对接带(X)

该对接带位于北侧中帕米尔(-羌塘-三江)造山系与南侧南帕米尔-拉达克(-冈底斯-喜马拉雅)造山系之间,属于班公湖-双湖-怒江对接带的西延部分,可细分为鲁山-普哈特(Rushan-Pshart)蛇绿混杂岩带(X_{1-1} , $Pz_2-K?$)和潘焦-巴扎拉克蛇绿混杂岩带(X_{1-2} , $Pz_2-K?$)2个三级构造单元(图2,表1)。

鲁山-普哈特(Rushan-Pshart)蛇绿混杂岩带位于中帕米尔与南帕米尔之间,其西段蛇绿混杂岩出露较完整,主要由玄武岩、超镁铁质岩、灰岩、放射虫硅质岩等组成;东段蛇绿混杂岩带遭受了更加强烈的变形,识别难度较大(Burtman et al., 1993)。该带总体向北逆掩,其剖面从石炭纪开始,石炭系—下二叠统为陆源碎屑岩,晚二叠世—三叠纪出现灰岩、硅质岩、放射虫硅质岩及基性火山岩,侏罗系为硅质岩-杂砂岩组合,局部含有灰岩块的“混杂堆积”,灰岩块中含有志留纪、泥盆纪、二叠纪化石,其上为白垩系(K_1)杂色碎屑岩不整合覆盖。中帕米尔被动陆缘环境下石炭统—侏罗系连续的地层层序指示鲁山-普哈特大洋岩石圈向北俯冲运动应发生于晚侏罗世—早白垩世(Wang et al., 2020b, 2021a)。中塔边境附近中帕米尔辉长岩脉研究显示,鲁山-普哈特古特提斯洋盆至 230 Ma 尚未关闭(洪俊等, 2017)。该带主要出露晚古生代超美铁质岩(308~312 Ma)、枕状玄武岩、蓝闪石片岩(222 Ma)、蛇绿混杂岩等,向西与阿富汗的潘焦-巴扎拉克蛇绿混杂岩带相连,向东可能接班公湖-双湖-怒江古特提斯带,逆冲断裂、偃卧褶皱极为发育,至少发生过3次大规模的横向收缩(何国琦, 2004; Wang et al., 2021b),而收缩程度最大的事件发生在晚侏罗世—白垩纪(Robinson, 2015)。

潘焦-巴扎拉克蛇绿混杂岩带沿阿富汗境内法拉河分布,位于兴都库岩弧南侧,南帕米尔弧盆系北缘(图2)。发育上三叠统—侏罗系厚层状复理石建造和典型的蛇绿混杂岩,玄武质-安山质火山岩和巨厚的灰岩滑塌块体夹于复理石层中,超镁铁质岩多呈小型透镜状产出,其中含有外来板块的二叠系—三叠系碳酸盐岩,岩石年代学限定该缝合带完全闭合于早白垩世,且该带可向西南延伸 500 km 以上,至阿富汗的法拉省。蛇绿混杂岩斜长角闪岩中蓝片岩的发现表明该带发生过高压变质事件(Tapponnier et al., 1981; Beck et al., 1995; Chevalier et al., 2012; Saibi et al., 2015; Shroder et al., 2021)。此外,在泥质岩石中可见晚三叠世—白垩纪放射虫硅质岩夹层(成守德, 2015)。该缝合带将中阿富汗地块分为北部的法拉地块和南部的赫尔曼德地块。

2.11 南帕米尔-拉达克(-冈底斯-喜马拉雅)造山系(XI)

该造山系位于北侧巴扎拉克-鲁山普哈特(-班公湖-双湖-怒江)对接带和南侧印度陆块区之间的区域,属于中生代冈底斯-喜马拉雅造山系的西延部分,可进一步细分为南帕米尔(-冈底斯)弧盆系(XI_1)、喀布尔-印度河(-雅鲁藏布江)结合带(XI_2)和白沙瓦-斯里那加(-喜马拉雅)地块(XI_3 , An ϵ)3个二级构造单元(图2,表1)。

(1)南帕米尔(-冈底斯)弧盆系(XI_1)

该弧盆系可细分为南帕米尔(-昂龙岗日-班戈-腾冲)岩浆弧(XI_{1-1})、什约克(Shyok)(-狮泉河-申扎-嘉黎)蛇绿混杂岩带(XI_{1-2})和科西斯坦-拉达克(-冈底斯-察隅)岩浆弧(XI_{1-3})3个三级构造单元(图2,表1)。

南帕米尔弧盆系具有泛非期变质基底,最老地层为太古界沙赫达林群和戈兰群,岩石组合为片麻岩、混合岩、石英岩、大理岩等。元古宙石英砂岩、大理岩化灰岩及变辉绿岩不整合于太古界之上(张海迪等, 2019)。以阿里库尔(Alichur)剪切带为界,可划分为东南帕米尔和西南帕米尔(Schwab et al., 2004; Schmidt et al., 2011; Stübner et al., 2013)。作为大基梅里安的组成部分(Larger Cimmerian)(Metcalf, 2013),南帕米尔经历了寒武纪裂谷事件。晚石炭世—早二叠世发育冈瓦纳相含砾板岩,中二叠世—三叠纪发育碳酸盐岩台地沉积与斜坡、盆地相沉积互层,角度不整合上覆侏罗系海相灰岩沉积建造。发育强烈的多期次岩浆

活动,尤以2个时期更为强烈:①早二叠世中基性岩浆活动,岩石地球化学显示为板内拉张环境(洪俊等, 2014)。②晚侏罗世—早白垩世碱性花岗岩类岩浆活动,是印度板块向北俯冲消减的结果,并于晚白垩世(76~102 Ma)增生到欧亚大陆上(Searle et al., 1999; 成守德等, 2015)。根据白垩纪岩浆活动对比研究,指出南帕米尔为冈底斯岩浆弧的向西延伸(Schwab et al., 2004; Villarreal et al., 2020)。

什约克(Shoyk)蛇绿混杂岩带发育海盆环境的玄武质蛇绿岩块体,以及远洋—陆架环境沉积地层,将南帕米尔划分为北侧的南帕米尔岩浆弧和南侧的科西斯坦—拉达克岩浆弧。蛇绿混杂岩被构造强烈变形分割,难以见到蛇绿岩套的原始岩石组合,呈逆冲推覆形态侵位,蛇绿岩序列的火山岩组分为绿片相镁铁质火山岩,包括枕状玄武岩和少量燧石和灰岩团块(Thanh et al., 2012; Saktura et al., 2020)。通过火山岩组合分析,蛇绿混杂岩年龄为104~125 Ma,辉长苏长岩和斜长花岗岩年龄为157~159 Ma,混杂岩地层中发现早白垩世阿尔布阶(Albian)圆笠虫化石(Rolland et al., 2000; Matsuuru et al., 2006),通过碎屑锆石及侵入花岗岩同位素定年限定蛇绿混杂岩上覆磨拉石建造形成时间为85~92 Ma(Borneman et al., 2015; Saktura et al., 2021),表明蛇绿混杂岩在成熟洋内岛弧环境形成时代的下限为159 Ma,结束于晚白垩世。通过区域对比认为,什约克蛇绿混杂岩带具有与班公湖俯冲带具有较好的对比性,而与雅鲁藏布江缝合带差异较大(Liu et al., 2014; Jagoutz et al., 2015; Saktura et al., 2020)。综合鲁山哈特(Rushan-Pshart)与什约克(Shyok)、班公湖—怒江与狮泉河—嘉黎缝合带关于大陆边缘成熟洋盆、侵入岩形成时代、蛇绿岩地球化学等方面研究进展(Zhu et al., 2011, 2013; Hou et al., 2013, 2015; He et al., 2018; Zeng et al., 2018; Wang et al., 2020b; Saktura et al., 2020; 徐梦婧等, 2020; 张向飞等, 2022),认为什约克(Shyok)与中国境内狮泉河—嘉黎蛇绿岩带相连。

(2) 喀布尔—印度河(—雅鲁藏布江)结合带(XI₂)

喀布尔—印度河结合带作为南帕米尔(—冈底斯)弧盆系和白沙瓦—斯里那加(—喜马拉雅)地块(AnE)的重要分界,东延与雅鲁藏布江结合带相接。基于该结合带空间出露位置,可细分为西段的印度河蛇绿混杂岩带(XI_{2,1}, T-K)和东段的喀布尔蛇绿混杂岩带(XI_{2,2}, T-K)2个三级构造单元(图2,表1)。

该结合带呈近东西向展布长达2500 km以上,以蛇绿混杂岩体(带)不连续出露为特征(Hu et al., 2014)。印度蛇绿混杂岩带主要由叠瓦状绿片岩相—蓝片岩相的变质沉积岩、变质火山岩和蛇绿岩块组成,在巴基斯坦Swat地区获得花岗片麻岩锆石TIMS年龄为267 Ma(Anczkiewicz et al., 2001)。该结合带中橄榄岩体大量出现,超镁铁质岩以方辉橄榄岩为主,同时可见大量二辉橄榄岩和纯橄岩,枕状玄武岩与橄橄榄岩之间常被辉绿岩席(脉)占据。蛇绿混杂岩形成时代呈现侏罗纪—早白垩世、晚白垩世(Khan et al., 2017)2个峰期。雅鲁藏布江带蛇绿混杂岩带中辉长岩与辉绿岩集中形成于130~120 Ma(吴福元等, 2014)。因此,该结合带蛇绿混杂岩于晚白垩世以前(印度—亚洲大陆开始碰撞以前)叠覆至印度被动大陆边缘的,在此基础上发育新生代喜马拉雅造山变形变质作用(Ding et al., 2005; Khan et al., 2017)。在蛇绿混杂岩中发现多处(超)高压变质岩,如Kaghan(UHP)、Tso Marari(UHP)、Stak(HP)、Shangla(BS)、Sapi-Shergol(BS),岩性主要为榴辉岩和蓝闪石片岩,矿物主要为石榴子石、绿辉石、柯石英、多硅白云母、黝帘石、蓝晶石、金红石等(Chen et al., 2021b; Li et al., 2022)。根据产出为主可将(超)高压变质岩分为2类:①形成于该结合带蛇绿混杂岩中以蓝片岩为主,如Shangla(BS)、Sapi-Shergol(BS),形成于80~100 Ma,峰期变质温压条件为0.7~1.0 Gpa、350~420 °C。②形成于结合带南部推覆体顶部,如Kaghan(UHP)、Tso Marari(UHP)、Stak(HP),来源于新提特提斯大洋岩石圈地幔,岩石地球化学具有E-MORB特征,形成于47~45 Ma,峰期变质温压条件为2.6~2.8 Gpa和600~620 °C,表明这些榴辉岩经历了快速且陡倾的俯冲过程(Robinson et al., 2004; Yang et al., 2007; St-Onge et al., 2013; Borneman et al., 2014; Wilke et al., 2015; Chen et al., 2021b; Li et al., 2022)。

(3) 白沙瓦—斯里那加(—喜马拉雅)地块(XI₃, AnE)

该地块具有前寒武纪泛非期基底,零星出露于巴基斯坦西北部元古带地层中发现有0.8 Ga的岩石(Ahmad et al., 2013)。寒武系为浅海相砂岩、页岩、黑色页岩、海绿石页岩,含早寒武世三叶虫化石,为潟湖相沉积;奥陶系—志留系为浅海相石英砂岩,泥板岩,千枚岩,灰岩、白云质灰岩等;泥盆系以浅海相碎屑岩为主,石炭系中见冰碛砾岩,具冈瓦纳相特征,多被新

生界所覆盖;二叠纪发育大面积裂谷环境碱性大火成岩省,活动时间为240~290 Ma,同时期花岗岩质岩浆侵入活动开始于280~275 Ma,侵位于寒武系—泥盆系地层中(Dipietro et al., 2021),由基梅里大陆分离出泛大陆边缘事件形成(Ahmad et al., 2013)。新生代由于印度板块的向北俯冲,形成了一系列由北向南的逆冲断裂带。变质作用具有由南而北向主地幔逆冲断裂(MMT)方向递增的趋势,基底岩石的变质作用早于寒武纪花岗岩的侵入时期,而喜马拉雅期的区域变质作用,使北部(土耳其—中伊朗—冈底斯中间板块)中生界及基底岩层同时变质,在正片麻岩锆石中获得核部年龄为816 Ma,而边部年龄为474 Ma(Ahmad et al., 2013)。基底岩系有大量花岗岩、伟晶岩的侵入,其中斑状均质堇青石花岗岩侵入体,属于沿喜马拉雅山南坡延伸的一个寒武纪花岗岩带(成守德, 2015)。

2.12 印度陆块区(XII)

该陆块区主要由杰赫勒姆前陆盆地(XII₁, Cz)组成(图2,表1)。具有前寒武纪泛非期基底,主要由大量花岗岩及伟晶岩侵入的砂质板岩及黑云母片岩组成。盖层主要由古生代—中生代—新生代碎屑岩及碳酸盐岩组成。石炭系—二叠系中见冰碛砾岩,具冈瓦纳相特征;侏罗纪—早白垩世以发育深水—浅水相石英砂岩和火山岩屑砂岩为特征,如唯美组和日朗组;早—晚白垩世随着印度—亚洲大陆快速相比漂移,发育远洋—半远洋沉积组合,代表该时期以稳定沉降为主,如西喜马拉雅 Chikkim 组;晚白垩世—早古近世主要受德干大火成岩省影响,该区域表现为海水变浅和石英砂岩再循环。之后进入青藏高原整体碰撞隆升过程(成守德, 2015; 胡修棉等, 2017; 王二七, 2017)。

3 区域构造演化

全球性超大陆的裂解与汇聚过程,实质上是大洋岩石圈与大陆岩石圈相互转换(亦即洋—陆转换)演化的历史发展进程,承接于罗迪尼亚超大陆解体以来的全球洋—陆演化历史存在“三大陆(劳亚、泛华夏、冈瓦纳)”和“三大洋(古大西洋、古亚洲洋、特提斯洋)”并存的时空格局(潘桂棠等, 2009, 2013, 2017; 王立全等, 2013, 2021)(图1)。中国新疆—中亚地区构造演化主体受“一个大陆(泛华夏大陆)、两个大洋(古亚洲洋、特提斯洋)”洋—陆岩石圈体制转换过程控制,主要表现为北部古亚洲洋及其2个大陆边缘多

岛弧盆系、南部特提斯洋及其2个大陆边缘多岛弧盆系的构造演化过程。

3.1 古亚洲洋构造演化

根据俯冲增生杂岩及蛇绿混杂岩的展布,古亚洲洋残迹主要表现为近东西向延伸,北支沿斋桑—额尔齐斯对接带延伸;南支沿突厥斯坦—阿特巴什—南天山对接带延伸,向西可延伸至里海西岸,在咸海南部可能有一分支向北沿主乌拉尔蛇绿岩带延伸(图2)。南北两支向东经索伦、温都尔庙后,汇聚至西拉木伦对接带(潘桂棠等, 2017)。古亚洲洋的形成最早可追溯至新元古代 Rodinia 超大陆的裂解事件;亦有学者通过古地磁研究和构造带杂岩定年结果,认为其可能形成于中元古代裂解作用(Wan et al., 2019),演化至石炭纪消亡(图3)。

寒武纪早期,成冰纪—埃迪卡拉纪形成的部分裂谷开始闭合,西伯利亚与劳伦古陆分离,在西伯利亚与塔里木—卡拉库姆地块之间形成广阔的古亚洲洋,大洋中亲塔里木地块,如准噶尔、吐哈、赛里木湖、中天山等地块先后从塔里木古大陆分离,向北漂移形成多岛洋格局(图1)。寒武纪—中奥陶世普遍发育拉张伸展构造背景下被动大陆边缘或裂谷盆地,如斋桑—额尔齐斯洋北侧的阿尔泰被动大陆边缘沉积建造。古亚洲洋从北到南发育2个并列的主洋盆:斋桑—额尔齐斯洋盆和突厥斯坦—南天山洋盆。晚奥陶世—志留纪,斋桑—额尔齐斯洋发生双向俯冲,向北俯冲形成阿尔泰(—兴蒙)多岛弧盆系,向南俯冲形成乌拉尔—哈萨克斯坦—天山多岛弧盆系,南天山大洋从奥陶纪开始向北俯冲(潘桂棠等, 2016)。

斋桑—额尔齐斯洋晚古生代俯冲消亡,晚泥盆世—早二叠世形成的额尔齐斯—斋桑结合带为古亚洲洋北支最终消亡的对接带,其北侧形成南阿尔泰山缘增生弧,南侧形成乌拉尔—哈萨克斯坦—天山造山系。由古生物地理区划可以确定南天山—索伦缝合带为古亚洲洋的南支,其俯冲过程的结束时限不早于二叠纪(Xiao et al., 2008, 2015; 肖文交等, 2019)。早石炭世,随着向北运动板块发生顺时针旋转,大陆边缘岩浆活动均较活跃,洋壳俯冲扩展至整个哈萨克斯坦大陆边缘,形成一系列岩浆岩带;至晚石炭世转入碰撞阶段,在乌拉尔、哈萨克斯坦、准葛尔、天山地区形成造山带。中天山由于板内伸展作用发育大量的花岗质侵入岩,构成中天山构造岩浆岩带,研究揭示天山地区晚石炭纪—二叠纪岩浆活动属板(陆)内裂谷岩浆作用,伴随

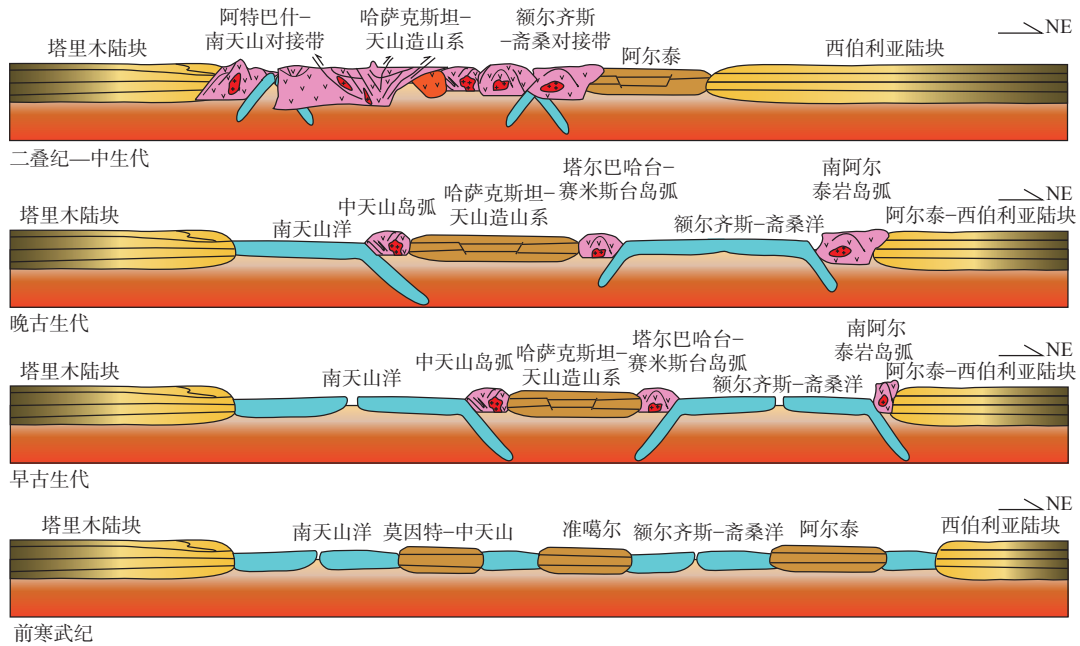


图 3 古亚洲洋演化简图

Fig. 3 Simplified cartoon of Ancient Asia Ocean evolution history

中亚地区大火成岩省形成(李宝强等, 2014)。晚二叠世是中亚造山带完全形成的时期, 伴随着欧亚大陆显著北移运动发育强烈的走滑构造运动, 导致大量走滑剪切带和裂谷在塔里木、曼格什拉克和天山地区普遍发育(李宝强等, 2014)。

中生代为古亚洲洋消亡后的陆块汇聚碰撞背景, 晚三叠世是由前期的古亚洲构造域向太平洋构造域转化的重要时期, 在古亚洲、特提斯和太平洋三大构造域相互作用下总体处于挤压-走滑构造体制。中侏罗世具有典型的快速沉积特征, 是天然气和褐煤的主要沉积时期, 如西西伯利亚就以不断加深的海盆和黑色页岩沉积为特征, 成为全球著名油气盆地的主要生油建造。白垩纪古地理特征没有显著差异, 大高加索弧后盆地消减, 蒸发岩停止, 土耳其盆地和准葛尔盆地接受沉积(李宝强等, 2014; 潘桂棠等, 2016)。

3.2 特提斯构造演化

特提斯洋起源于 Rodinia 超大陆的裂解, 其开启、扩展、萎缩、消亡到汇聚造山的全过程受控于全球洋陆时空结构转换(李文昌等, 2010), 其于新生代最终的闭合形成了现今东西向展布的阿尔卑斯山、土耳其-伊朗高原、喜马拉雅山和青藏高原(吴福元等, 2020)。根据特提斯演化历史, 特提斯可划分为原特提斯(Z_1-S)、古特提斯($D-T_2$)和新特提斯(T_3-E_2)3个阶段(图 4)。

原特提斯洋(Z_1-S)主体扩张时间为 550~480 Ma, 呈现与古亚洲洋并存的格局(图 1)。受塔尼马斯-康西瓦-南昆仑原特提斯大洋向北俯冲消减作用制约, 在泛华夏大陆群南缘发育北帕米尔-阿尔金-昆仑前缘弧及其之后的早古生代多岛弧盆系。在前缘弧的前侧从东向西发育江孜孜萨依-巴什瓦克高压变质岩带, 红柳沟-拉配泉、阿帕-茫崖、祁漫塔格、库地-其曼于特蛇绿岩带, 揭示前缘弧北侧北昆仑、柴达木、北帕米尔、祁漫塔格、奥依且克-塔木其等地早古生代地质历史, 是多岛弧、弧后海底扩张与弧后盆地萎缩、消亡和弧-弧、弧-陆碰撞的演化过程, 形成中国秦-祁-昆多岛弧盆系(潘桂棠等, 2017), 向西延伸至北帕米尔弧盆系。原特提斯大洋南侧为冈瓦纳大陆印度陆块的北部被动边缘, 这一时期地层底界面记录了“泛非造山”及造山后的裂谷事件, 之后进入长达 500 Ma 的前海陆源沉积阶段(王立全等, 2015)。根据原特提斯洋蛇绿岩及增生杂岩的年龄特征, 认为塔尼马斯-康西瓦-南昆仑代表的原特提斯可能一直演化至中三叠世, 显示原-古特提斯连续演化特征, 与昌宁-澜沧构造带具有相似性(王立全等, 2021)。

古特提斯洋($D-T_2$)主要形成羌塘-三江和冈底斯-喜马拉雅多岛弧盆系, 受古特提斯大洋向东俯冲消减作用的制约, 泛华夏大陆群(主体为华夏-扬子陆块)

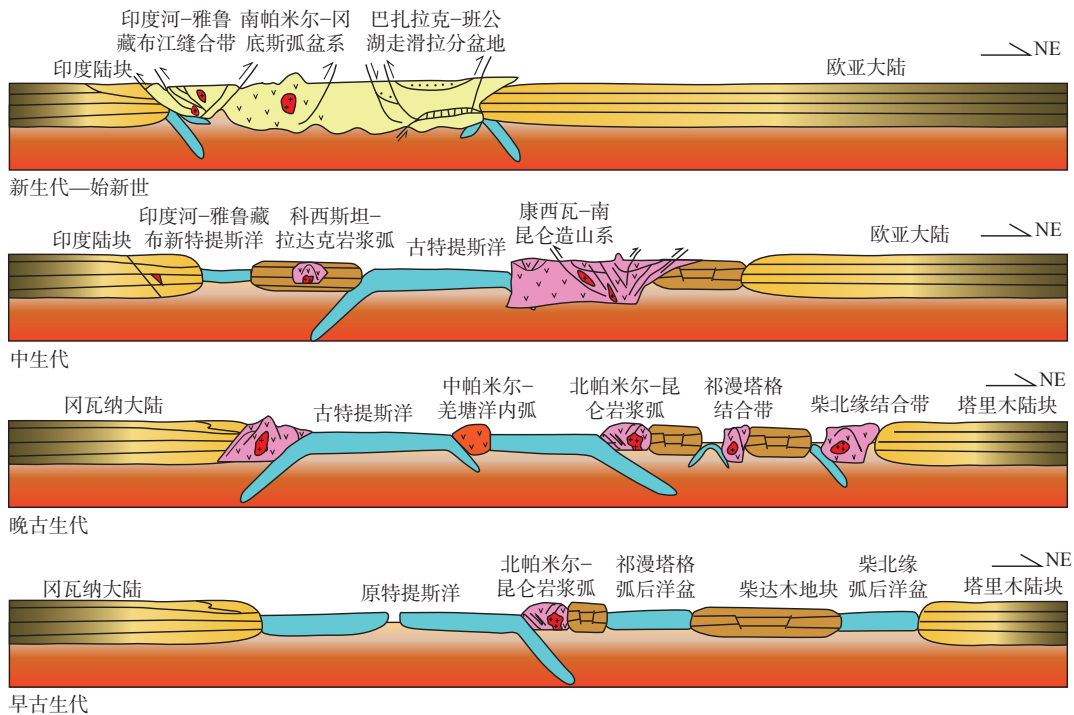


图4 特提斯洋演化简图

Fig. 4 Simplified cartoon of Tethys Oceans evolution history

的西南缘发育唐古拉-他念他翁前缘弧及其之后的晚古生代多岛弧盆系。南帕米尔-拉达克-冈底斯-喜马拉雅古特提斯于石炭纪开始的向南俯冲消减,使得冈瓦纳大陆北部边缘由较稳定的被动边缘转化为活动大陆边缘盆地沉积,从北向南顺序表现为石炭纪—二叠纪冈底斯岛弧→雅鲁藏布江弧后裂陷-裂谷盆地→喜马拉雅陆缘裂陷盆地的弧盆系空间格局。雅鲁藏布江-喜马拉雅地区于石炭纪—二叠纪弧后伸展形成陆缘裂陷-裂谷盆地,发育二叠纪钙碱性-亚碱性系列玄武岩。冈瓦纳大陆的北部及其活动边缘和北侧特提斯大洋发生俯冲,石炭纪—二叠纪发育以陆缘冰水成因的含砾砂板岩,向北深海盆地中发育含冰筏消融坠砾石的硅泥质远源浊积岩(王立全等, 2008, 2021; 潘桂棠等, 2016; 曾庆高等, 2020)。随着北侧古特提斯大洋向南的进一步俯冲消减,早—中三叠世南帕米尔-拉达克-冈底斯岛弧带从冈瓦纳大陆北缘裂离,雅鲁藏布江弧后洋盆初始形成;至晚三叠世时期,南帕米尔-冈底斯岛弧带中北部沿什约克-狮泉河-嘉黎一线撕裂,什约克-狮泉河-嘉黎间洋盆开始形成。

侏罗纪—白垩纪,总体表现为喀布尔-印度河-雅鲁藏布江新提特提斯洋急剧扩张,使得南帕米尔-冈底斯弧盆系拼合到亚洲陆块上。晚白垩世印度板块以较高的速度(18~20 cm/a)向北侧的欧亚大陆运动,

新特提斯岩石圈相应向北急剧俯冲,北部形成巨大的南帕米尔-冈底斯陆缘火山-岩浆弧和巨厚的复理石沉积(Gaina et al., 2007; 潘桂棠等, 2016; 曾庆高等, 2020; 王立全等, 2021)。新生代主要受印度与亚洲大陆碰撞,以及太平洋板块向西俯冲于亚洲大陆之下的影响(潘桂棠等, 2016),特提斯洋缩减,至始新世(E_2)新特提斯洋最终闭合,阿拉伯和印度次大陆相撞,形成阿尔卑斯-喜马拉雅褶皱带,并形成陆内和陆间海盆。渐新世—中新世早期以大规模海退为特征,西伯利亚西部、土耳其、楚-萨雷苏和锡尔河拗陷开始发育湖积盆地。中—晚中新世碰撞作用在欧亚大陆的古地中海边缘持续,山间磨拉石拗陷发育山麓沉积物。晚中新世时期发育多次海侵作用,南帕米尔与碰撞有关的岩浆作用持续发育。因此,南帕米尔-拉达克-冈底斯-喜马拉雅特提斯洋显示古—新特提斯连续演化的特征,这与王立全等(2021)对南冈底斯特提斯演化的认识一致。

4 结论

(1)中国新疆-中亚地区主体是以近东西向稳定的古老(卡拉库姆-塔里木)陆块区与南北不同时期动态的造山系、对接带组成的条带相嵌结构为基本特征,

斋桑-额尔齐斯(向东与索伦-西拉木伦带相接)对接带是古亚洲洋最终消亡的地质遗迹,古生代阿尔泰(-兴蒙)多岛弧盆系属于劳亚大陆的西北利亚陆块边缘系统,古生代乌拉尔-哈萨克斯坦-天山多岛弧盆系很可能属于劳亚大陆的东欧陆块边缘系统;巴扎拉克-鲁山普哈特(向东经班公湖-双湖-怒江带,与昌宁-孟连带相接)对接带是特提斯洋最终消亡的地质遗迹,古生代帕米尔-阿尔金-昆仑、中帕米尔(-羌塘-三江)多岛弧盆系属于泛华夏大陆西南边缘系统,中-新生代南帕米尔-拉达克(-冈底斯-喜马拉雅)多岛弧盆系属于冈瓦纳大陆印度陆块北部边缘系统。从比较大地构造学的类比分析,古亚洲洋、特提斯洋及其大陆边缘多岛弧盆系构造演化过程,非常相似于受印度洋、太平洋俯冲制约形成的新生代东南亚多岛弧盆系构造系统。

(2)从全球古大陆-大洋分布时空格局及其演变过程不难理解,古亚洲洋、特提斯洋的开启承接于罗迪尼亚超大陆的解体,从新元古代晚期到中生代末,经历了由发生、发展到萎缩、消亡的长期连续的复杂演化过程;古亚洲和特提斯构造域洋-陆构造转换阶段的实质是不同时期大陆边缘一系列弧后盆地俯冲消亡、弧-弧或弧-陆碰撞的多岛弧造山作用实现大陆边缘增生。亦即承接于罗迪尼亚超大陆解体的大洋连续演化及其大陆边缘增生-碰撞造山过程,应是古亚洲和特提斯构造域形成演化的主旋律。

(3)以板块构造理论和大陆边缘“多岛弧盆系”构造新视角,将中国新疆-中亚地区划分出阿尔泰(-兴蒙)造山系(I)、斋桑-额尔齐斯对接带(II)、乌拉尔-哈萨克斯坦-天山造山系(III)、东欧陆块区(IV)、突厥斯坦-阿特巴什-南天山对接带(V)、卡拉库姆-塔里木陆块区(VI)、北帕米尔-阿尔金-昆仑造山系(VII)、塔尼马斯-康西瓦-南昆仑对接带(VIII)、中帕米尔(-羌塘-三江)造山系(IX)、巴扎拉克-鲁山普哈特(-班公湖-双湖-怒江)对接带(X)、南帕米尔-拉达克(-冈底斯-喜马拉雅)造山系(XI)、印度陆块区(XII)等12个一级构造单元,进一步划分为32个二级构造单元和74个三级构造单元。

参考文献(References):

- 柏美祥. 额尔齐斯活动断裂带[J]. 新疆地质, 1996, 14(2): 127-134.
- BAI Meixiang. Ertix active fault zone[J]. Xinjiang Geology, 1996, 14(2): 127-134.
- 曹福根, 涂其军, 张晓梅, 等. 哈尔里克山早古生代岩浆弧的初步确定—来自塔水河一带花岗质岩体锆石 SHRIMP U-Pb 测年的证据[J]. 地质通报, 2006, 25(8): 923-927.
- CAO Fugen, TU Qijun, ZHANG Xiaomei, et al. Preliminary determination of the Early Paleozoic magmatic arc in the Karlik mountains, East Tianshan, Xinjiang, China-Evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating of granite bodies in the Tashuihe area[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(8): 923-927.
- 曹华文, 李光明, 张林奎, 等. 喜马拉雅淡色花岗岩成因与稀有金属成矿潜力[J]. 沉积与特提斯地质, 2022, 42: 189-211.
- CAO Huawen, LI Guangming, ZHANG Linkui, et al. Genesis of Himalayan leucogranite and its potentiality of rare-metal mineralization[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2022, 42: 189-211.
- 陈博, 马中平, 孟广路, 等. 吉尔吉斯斯坦中天山地质特征及研究进展[J]. 中国地质, 2016, 43(2): 458-469.
- CHEN Bo, MA Zhongping, MENG Guanglu, et al. The progress in geological study of Middle Tianshan Mountains within Kyrgyzstan[J]. Geology in China, 2016, 43(2): 458-469.
- 陈刚. 新疆凌云铜矿成矿特征及找矿标志[J]. 新疆地质, 2008, 26(4): 356-362.
- CHEN Gang. The Mineralization Characteristics and Prospecting Indicator of Linyun Copper deposit, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2008, 26(4): 356-362.
- 成守德, 刘通, 王世伟. 中亚五国大地构造单元划分简述[J]. 新疆地质, 2010, 28(1): 16-21.
- CHENG Shoude, LIU Tong, WANG Shiwei. The brief description of the division of tectonic units in the Five-countries in Central Asia[J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(1): 16-21.
- 成守德, 祁世军, 陈川, 等. 巴尔喀什-准噶尔单元划分及特征[J]. 新疆地质, 2009, 27(S1): 14-30.
- CHENG Shoude, QI Shijun, CHEN Chuan, et al. The division and Features of Balkhash-Junggar Plate Tectonic unit[J]. Xinjiang Geology, 2009, 27(S1): 14-30.
- 成守德. 中亚地壳发展演化及主要矿产成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- CHENG Shoude. Crustal development and evolution, and metallogenic regularities of major minerals in Central Asia[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.
- 陈文, Arnaud N. 巴颜喀拉地体 POG 型花岗岩同位素年代学研究. 地球学报, 1997, 18(3): 261-266.
- CHEN Wen, ARNAUD N. Isotope Geochronology study for POG-type granite in Bayan Har terrain[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18(3): 261-266.
- 崔建堂, 王炬川, 边小卫, 等. 西昆仑康西瓦北侧早古生代角闪闪长岩、英云闪长岩的地质特征及其锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地质通报, 2006, 25(12): 1441-1449.

- CUI Jiantang, WANG Juchuan, BIAN Xiaowei, et al. Geological characteristics of Early Paleozoic amphibolite and tonalite in northern Kangxiwar, West Kunlun, China and their zircon SHRIMP U-Pb dating[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(12): 1441-1449.
- 丁道桂, 王道轩, 刘伟新, 等. 西昆仑造山带与盆地[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- DING Daogui, WANG Daoxuan, LIU Weixin, et al. Western Kunlun orogenic belt and basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 等. 大陆碰撞过程的火山岩响应: 以西藏林周林子宗火山岩为例[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41: 332-339.
- DONG Guochen, MO Xuanxue, ZHAO Zhidan, et al. A response of volcanic rocks to the India-Asia continental collision: A case study on Linzizong volcanic rocks in Linzhou, Tibet[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41: 332-339.
- 董连慧, 刘德权, 唐延龄, 等. 试论新疆成矿体系与时空演化模式[J]. *矿床地质*, 2015, 34(6): 1107-1129.
- DONG Lianhui, LIU Dequan, TANG Yanling, et al. Five-era metallogenic system of mineral deposits in Xinjiang and its spatial and temporal evolution mode[J]. *Mineral Deposits*, 2015, 34(6): 1107-1129.
- 范堡程, 孟广路, 刘明义, 等. 塔吉克斯坦成矿单元划分及其特征[J]. *地质科技情报*, 2017, 36(2): 168-175.
- FAN Baocheng, MENG Guanglu, LIU Mingyi, et al. Division and features of the metallogenic units in Tajikistan[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2017, 36(2): 168-175.
- 付晨阳, 汤良杰, 曹自成, 等. 塔中北坡走滑断裂横向变形差异及其油气地质意义[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(6): 783-789.
- FU Chenyang, TANG Liangjie, CAO Zicheng, et al. Lateral deformation difference of strike-slip faults on the northern slope of Tazhong unlift and its control on petroleum geology[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(6): 783-789.
- 高俊, 张立飞, 刘圣伟. 西天山蓝片岩榴辉岩形成和抬升的⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄记录[J]. *科学通报*, 2000, 45(1): 89-94.
- GAO Jun, ZHANG Lifei, LIU Shengwei. ⁴⁰Ar/³⁹Ar age records of eclogite formation and uplift of blueschist in the Western Tianshan Mountains, China[J]. *Science Bulletin of China*, 2000, 45(1): 89-94.
- 高俊, 钱青, 龙灵利, 等. 西天山的增生造山过程[J]. *地质通报*, 2009, 28(12): 1804-1816.
- GAO Jun, QIAN Qing, LONG Lingli, et al. Accretionary orogenic process of Western Tianshan, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(12): 1804-1816.
- 耿全如, 张璋, 彭智敏, 等. 班公湖-怒江成矿带及邻区 1: 75 万成矿地质背景图(含说明书)[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- GENG Quanru, ZHANG Zhang, PENG Zhimin, et al. 1: 750000 Metallogenic Geological Background Map of Bangong Lake Nujiang Metallogenic Belt and Adjacent Areas (including instructions) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- 耿全如, 李文昌, 王立全, 等. 特提斯中西段古生代洋陆格局与构造演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41: 297-315.
- GENG Quanru, LI Wenchang, WANG Liquan, et al. Paleozoic tectonic framework and evolution of the central and western Tethys[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41: 297-315.
- 耿元生, 旷红伟, 杜利林, 等. 华北、华南、塔里木三大陆块中新元古代岩浆岩的特征及其地质对比意义[J]. *岩石学报*, 2020, 36(8): 2276-2312.
- GENG Yuansheng, KUANG Hongwei, DU Lilin, et al. The characteristics of Meso-Neoproterozoic magmatic rocks in North China, South China and Tarim blocks and their significance of geological correlation[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(8): 2276-2312.
- 辜平阳, 李永军, 张兵, 等. 西准达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年[J]. *岩石学报*, 2009, 25(6): 1364-1372.
- GU Pingyang, LI Yongjun, ZHANG Bing, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Darbut ophiolite, western Junggar, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(6): 1364-1372.
- 郭华春, 钟莉, 李丽群. 哈尔里克山口门子地区石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. *地质通报*, 2006, 25(8): 928-931.
- GUO Huachun, ZHONG Li, LI Liqun. Zircon SHRIMP U-Pb dating of quartz diorite in the Koumenzi area, Karlik Mountains, East Tianshan, Xinjiang, China, and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(8): 928-931.
- 郭召杰, 张志诚, 张臣, 等. 青藏高原北缘阿尔金山走滑边界的侧向扩展-甘肃北山晚新生代走滑构造与地壳稳定性分析[J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1678-1686.
- GUO Zhaojie, ZHANG Zhicheng, ZHANG Chen, et al. Lateral growth of the Altyn Tagh strike-slip fault at the north margin of the Qinghai-Tibet Plateau: Late Cenozoic strike-slip faults and the crustal stability in the Beishan area, Gansu, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(10): 1678-1686.
- 韩宝福, 何国琦, 吴泰然, 等. 天山早古生代花岗岩锆石 U-Pb 定年、岩石地球化学特征及其大地构造意义[J]. *新疆地质*, 2004, 22(1): 4-11.
- HAN Baofu, HE Guoqi, WU Tairan, et al. Zircon U-Pb and Geochemical features of Early Paleozoic Granites from Tianshan, Xinjiang: Implications for tectonic evolution[J]. *Xinjiang Geology*, 2004, 22(1): 4-11.
- 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)—后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 2006,

- 22(5): 1077-1086.
- HAN Baofu, JI Jianqing, SONG Biao, et al. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part1): Timing of post-collisional plutonism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5): 1077-1086.
- 韩宝福. 中俄阿尔泰山中生代花岗岩与稀有金属矿床的初步对比分析[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4): 655-660.
- HAN Baofu. A preliminary comparison of Mesozoic granitoids and rare metal deposits in Chinese and Russian Altai mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4): 655-660.
- 郝杰, 刘小汉. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义[J]. *地质科学*, 1993, 28(1): 93-95.
- HAO Jie, LIU Xiaohan. Ophiolite Melange time and tectonic evolutionary model in South Tianshan area[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1993, 28(1): 93-95.
- 郝杰, 刘小汉, 桑海清. 新疆东昆仑阿牙克岩体地球化学与⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 2003, 19(3): 517-522.
- HAO Jie, LIU Xiaohan, SANG Haiqing. Geochemical characteristics and ⁴⁰Ar/³⁹Ar age of the Ayak adamellite and its tectonic significance in the east Kunlun, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(3): 517-522.
- 何国琦, 李茂松, 韩宝福. 中国西南天山及邻区大地构造研究[J]. *新疆地质*, 2001, 19(1): 7-11.
- HE Guoqi, LI Maosong, HAN Baofu. Geotectonic Research of SW Tianshan and its Swest adjacent area, China[J]. *Xinjiang Geology*, 2001, 19(1): 7-11.
- 何国琦, 李茂松. 中亚蛇绿岩带研究进展及区域构造连接[J]. *新疆地质*, 2000, 18(3): 193-202.
- HE Guoqi, LI Maosong. New achievement in Researching Ophiolitic belts in Central Asia and its significance in the links of Tectonic belts between Northern Xinjiang and adjacent area[J]. *Xinjiang Geology*, 2000, 18(3): 193-202.
- 何国琦, 成守德, 徐新, 等. 1: 250 万中国新疆及邻区大地构造图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- HE Guoqi, CHENG Shoude, XU Xin, et al. Tectonic map and the description of Xinjiang and its adjacent areas, China (1: 2500000)[M]. Beijing: Geology Publishing House, 2004.
- 何国琦, 刘建波, 张越迁, 等. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定[J]. *岩石学报*, 2007, 23(7): 1573-1576.
- HE Guoqi, LIU Jianbo, ZHANG Yueqian, et al. Keramay ophiolitic mélange formed during early Paleozoic in West Junggar basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(7): 1573-1576.
- 洪俊, 计文化, 张辉善, 等. 南帕米尔北缘切实界别辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其地质意义[J]. *地质通报*, 2014, 33(6): 820-829.
- HONG Jun, JI Wenhua, ZHANG Huishan, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, geochemistry and tectonic implications of the Qieshijie gabbro on the northern margin of South Pamir[J]. *Geology Bulletin of China*, 2014, 33(6): 820-829.
- 洪俊, 计文化, 张海迪, 等. 帕米尔地区穆尔杂布辉长岩-闪长岩的成因: 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及岩石地球化学证据[J]. *中国地质*, 2017, 44(4): 722-736.
- HONG Jun, JI Wenhua, ZHANG Haidi, et al. Petrogenesis of Mur-gab gabbro-diorite from Pamir: Evidence from zircon U-Pb dating, Hf isotopes and lithochemistry[J]. *Geology in China*, 2017, 44(4): 722-736.
- 胡嵩琴, 格雷姆, 罗杰斯. 新疆塔里木北缘首次发现 33 亿年的岩石[J]. *科学通报*, 1992, 33(7): 627-630.
- HU Aiqin, GRAHAM G, ROGERS G. The first found of 3.3 Ga rocks on the north margin of Tarim, Xinjiang, China[J]. *China Science Bulletin*, 1992, 33(7): 627-630.
- 胡嵩琴, 韦刚健. 塔里木盆地北缘新太古代辛格尔灰色片麻岩形成时代问题[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 126-134.
- HU Aiqin, WEI Gangjian. On the age of the Neo-Archean Qingir gray gneisses from the northern Tarim basin, Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 126-134.
- 胡修棉, 李娟, 安慰, 等. 藏南白垩纪—古近纪岩石地层厘定与构造地层划分[J]. *地学前缘*, 2017, 24: 174-194.
- HU Xiumian, LI Juan, AN Wei, et al. The redefinition of Cretaceous-Paleogene lithostratigraphic units and tectonostratigraphic division in southern Tibet[J]. *Earth Science Frontiers*, 2017, 24: 174-194.
- 计文化, 张海迪, 杨博, 等. 中亚重要成矿带成矿规律与优势矿产资源潜力评价综合研究报告[R], 2013.
- 简平, 刘敦一, 张旗, 等. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J]. *地学前缘*, 2003, 10(4): 439-456.
- JIAN Ping, LIU Dunyi, ZHANG Qi, et al. SHRIMP dating of ophiolite and leucocratic rocks within ophiolite[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(4): 439-456.
- 姜春发, 朱松年. 构造迁移理论概述[J]. *中国地质科学院院报*, 1992, 25: 1-4.
- JIANG Chunfa, ZHU Songnian. Introduction to Tectonic Migration Theory[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1992, 25: 1-4.
- 李宝强, 孟广路, 王心泉, 等. 中国新疆及中亚邻区地质矿产图(1: 1500000)[M]. 北京: 地质出版社, 2014.
- LI Baoqiang, MENG Guanglu, WANG Xinquan, et al. Geological and Mineral Map of Xinjiang and Adjacent Areas in Central Asia, China (1: 1500000) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- 李承东, 冉皞, 赵利刚, 等. 温都尔庙群锆石的 LA-MC-ICPMS U-Pb 年龄及构造意义[J]. *岩石学报*, 2012, 28(11): 3705-3714.
- LI Chengdong, RAN Ao, ZHAO Ligang, et al. LA-MC-ICP-MS U-

- Pb geochronology of zircons from the Wenduermiao Group and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(11): 3705–3714.
- 李春昱, 王荃, 刘雪亚, 等. 亚洲大地构造图(1: 800万)[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- LI Chunyu, WANG Quan, LIU Xueya, et al. Tectonic Map of Asia and its explanatory notes[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.
- 李光明, 张林奎, 张志, 等. 青藏高原南部的的主要战略性矿产: 勘查进展、资源潜力与找矿方向[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41: 351–360.
- 李杭, 柯强, 李昊, 等. 喀喇昆仑地体甜水海地区 102Ma 辉长岩的发现及其对区域中生代构造演化的约束[J]. *岩石学报*, 2020, 36(4): 1041–1058.
- LI Hang, KE Qiang, LI Hao, et al. Discovery of 102Ma gabbro in the Tianshaihai area of Karakoram terrane, and its constrains on regional Mesozoic tectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(4): 1041–1058.
- 李锦轶. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. *岩石学报*, 1995, 11(S1): 73–84.
- LI Jinyi. Main characteristics and emplacement processes of the East Junggar Ophiolites, Xinjiang, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(S1): 73–84.
- 李锦轶, 王克卓, 李文铅, 等. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查. *新疆地质*, 2002, 20(4): 295–301.
- 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变[J]. *地质论评*, 2004, 50(3): 304–322.
- LI Jinyi. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of Eastern Xinjiang, NW China[J]. *Geological Review*, 2004, 50(3): 304–322.
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 148–168.
- LI Jinyi, He Guoqi, XU Xin, et al. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation[J]. *Acta Geological Sinica*, 2006, 80(1): 148–168.
- 李荣社, 徐学义, 计文化. 对中国西部造山带地质研究若干问题的思考. *地质通报*, 2008, 27(12): 2020–2025.
- 李荣社, 计文化, 何世平, 等. 中国西部古亚洲与特提斯两大构造域划分问题讨论[J]. *新疆地质*, 2011, 29(3): 247–250.
- LI Rongshe, JI Wenhua, HE Shiping, et al. The two tectonic domain division discussion between the Ancient Asian and Tethys in western China[J]. *Xinjiang Geology*, 2011, 29(3): 247–250.
- 李廷栋, 耿树方, 范本贤, 等. 1: 250万中国西部及邻区地质图[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- LI Tingdong, GENG Shufang, FAN Benxian, et al. The Geological map of Western China and the adjacent region (1: 2500000) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- 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.
- LI Wenchang, PAN Guitang, HOU Zengqian, et al. Archipelagic Basin, Forming collision Theory and Prospecting Techniques Along the Nujiang- Lancangjiang- Jinshajiang Area in Southwestern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010.
- 李文铅, 马华东, 王冉, 等. 东天山康古尔塔格蛇绿岩 SHRIMP 年龄、Nd-Sr 同位素特征及构造意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4): 773–780.
- LI Wenqian, MA Huadong, WANG Ran, et al. SHRIMP dating and Nd-Sr isotopic tracing of Kangguertage ophiolite in eastern Tianshan, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4): 773–780.
- 李王晔, 李曙光, 郭安林, 等. 青海东昆南构造带苦海辉长岩和德尔尼闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及痕量元素地球化学—对“祁-柴-昆”晚新元古代-早奥陶世多岛洋南界的制约[J]. *中国科学(D辑)*, 2007, 37(S1): 288–294.
- LI Wangye, LI Shuguang, GUO Anlin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb ages and trace element geochemistry of Kuhai gabbro and Delni diorite in South Kunlun tectonic belt, Eastern Qinghai: constrains on the South margin of “Qin-Qi-Kun” archipelago ocean from Late Neo-proterozoic to Early Ordovician[J]. *Chinese Sciences (D Series)*, 2007, 37(S1): 288–294.
- 李兴振, 刘增乾, 潘桂棠, 等. 西南三江地区构造单元划分及地史演化[J]. *中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊*, 1991, 13: 1–19.
- LI Xingzhen, LIU Zengqian, PAN Guitang. Tectonic units division and the geological history evolution in SW Sanjiang, China[J]. *Lithofacies Paleogeography*, 1991, 13: 1–19.
- 李兴振, 许效松, 潘桂棠. 泛华夏大陆群与东特提斯构造域演化[J]. *岩相古地理*, 1995, 15(4): 1–13.
- LI Xingzhen, XU Xiaosong, PAN Guitang. Evolution of the Pan-Cathaysian landmass group and Eastern Tethyan tectonic domain[J]. *Lithofacies Paleogeography*, 1995, 15(4): 1–13.
- 李永军, 张天继, 栾新东, 等. 西天山特克斯达坂晚古生代若干不整合的厘定及地质意义[J]. *地球学报*, 2008, 29(2): 145–153.
- LI Yongjun, ZHANG Tianji, LUAN Xindong, et al. Clarification of Late Paleozoic unconformities in the Tekes Daban area of West Tianshan and its geological significance[J]. *Acta Geosciencia Sinica*, 2008, 29(2): 145–153.
- 李亚萍, 李锦轶, 孙桂华, 等. 新疆东准噶尔早泥盆世早期花岗岩的确定及其地质意义[J]. *地质通报*, 2009, 28(12): 1885–1893.
- LI Yaping, LI Jinyi, SUN Guihua, et al. Determination of the Early Devonian granite in East Junggar, Xinjiang, China and its geological implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(12): 1885–1893.

- 李耀西, 蓝善先. 新疆西准噶尔布龙果尔组的建造类型、时代及有关问题研究的新进展[J]. 新疆地质, 1992, 10(1): 1-6.
- LI Yaoxi, LAN Shanxian. New advances of research on the formation type, geologic age and related problems of Bulongguor formation in West Jungar, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1992, 10(1): 1-6.
- 廖卓庭, 刘陆军, 张维. 博格达山西南缘早二叠世磨拉石相沉积组合—桃西沟群[J]. 地层学杂志, 1999, 23(3): 190-196.
- LIAO Zhuoting, LIU Lujun, ZHANG Wei. Sequence-stratigraphy and facies analysis - Basis for the establishment of formation in geological survey[J]. Journal of Stratigraphy, 1999, 23(3): 190-196.
- 蔺新望, 王星, 陈光庭, 等. 新疆北部阿尔泰东段泥盆纪岩浆活动及侵位方式的探讨[J]. 现代地质, 2021, 34(3): 514-531.
- LIN Xinwang, WANG Xing, CHEN Guangting, et al. Magmatic activity and emplacement of the Devonian intrusive rocks in eastern Altay, Northern Xinjiang[J]. Geoscience, 2021, 34(3): 514-531.
- 刘斌, 钱一雄. 东天山三条高压变质带地质特征和流体作用[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 283-296.
- LIU Bin, QIAN Yixiong. The geological characteristics and fluid evolution in the three high-pressure metamorphic belts of eastern Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(2): 283-296.
- 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 等. 东昆仑壳-幔岩浆混合作用: 来自锆石 SHRIMP 年代学的证据. 科学通报, 2004, 49(6): 596-602.
- LIU Chengdong, MO Xuanxue, LUO Zhaohua, et al. The mixing between the crust- and mantle-derived magmas in eastern Kunlun: Evidences from zircon SHRIMP geochronology[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(6): 596-602.
- 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据[J]. 岩石学报, 2003, 77(3): 318-327.
- LIU Dunyi, JIAN Ping, ZHANG Qi, et al. SHRIMP dating of adakites in the Tulingkai Ophiolite, inner Mongolia: evidence for the Early Paleozoic subduction[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(3): 318-327.
- 刘锋, 曹峰, 张志欣, 等. 新疆可可托海近3号脉花岗岩成岩时代及地球化学特征研究[J]. 地质学报, 2014, 30(1): 1-15.
- LIU Feng, CAO Feng, ZHANG Zhixin, et al. Characteristics and petrogenesis of zoned amphiboles in Wengeqi mafic-ultramafic complex, Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 30(1): 1-15.
- 刘国仁, 秦纪华, 赵忠合, 等. 新疆阿尔泰额尔齐斯构造带片麻岩的锆石 U-Pb SHRIMP 定年及其地质意义. 现代地质, 2008, 22(2): 190-196.
- LIU Guoren, QIN Jihua, ZHAO Zhihe, et al. SHRIMP U-Pb age of zircon in the Erqisi tectonic belt in Altay, Xinjiang and their geological significances[J]. Geoscience, 2008, 22(2): 190-196.
- 刘良, 车自成, 王焰, 等. 阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 1999, 15(1): 57-64.
- LIU Liang, CHE Zicheng, WANG Yan, et al. The petrological characters and geotectonic setting of high-pressure metamorphic rock belts in Altun Mountains[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(1): 57-64.
- 刘云华, 莫宣学, 喻学惠, 等. 东昆仑野马泉地区景忍花岗岩锆石 SHRIMP-U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2457-2463.
- LIU Yunhua, MO Xuanxue, YU Xuehui, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Jingren granite, Yemaquan region of the east Kunlun and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2457-2463.
- 陆松年, 王惠初, 李怀坤, 等. 柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定[J]. 地质通报, 2002, 21(1): 19-23.
- LU Songnian, WANG Huichu, LI Huaikun, et al. Redefinition of the “Dakendaban Group” on the northern margin of the Qaidam basin[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(1): 19-23.
- 陆松年, 袁桂邦. 阿尔金山阿克塔什塔格早前寒武纪岩浆活动的年代学证据[J]. 地质学报, 2003, 77(1): 61-68.
- LU Songnian, YUAN Guibang. Geochronology of Early Precambrian magmatic activities in Aketashitage, East Altyn Tagh[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(1): 61-68.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. 中国前寒武纪重大地质问题研究—中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- LU Songnian, YU Haifeng, LI Huaikun. Important Geological Event group and its global tectonic implications[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- 罗金海, 周新源, 邱斌, 等. 塔里木-卡拉库姆地区的油气地质特征与区域地质演化[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 409-415.
- LUO Jinhai, ZHOU Xinyuan, QIU Bin, et al. Petroleum geology and Geological evolution of the Tarim-Karakum and adjacent area[J]. Geological Review, 2005, 51(4): 409-415.
- 吕鹏瑞, 高永伟, 张宇轩, 等. 哈萨克斯坦铬铁矿资源禀赋、供应格局与中哈产能合作建议[J]. 西北地质, 2022, 55(3): 297-305.
- LÜ Pengrui, GAO Yongwei, ZHANG Yuxuan, et al. Kazakhstan's Chromite Resource Endowment, Development, Import and Its Suggestions for Production Capacity Cooperation between China and Kazakhstan[J]. Northwestern Geology, 2022, 55(3): 297-305.
- 马昌明, 李江海, 曹正林, 等. 中亚盆地群石炭-二叠纪岩相古地理恢复及演化[J]. 岩石学报, 2020, 36(11): 3510-3522.
- MA Changqian, LI Jianghai, CAO Zhenglin, et al. Lithofacies paleogeographic reconstruction and evolution of the Carboniferous-

- Permian basin group in Central Asia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(11): 3510–3522.
- 毛黎光, 肖安成, 王亮, 等. 柴达木盆地西北缘始新世晚期古隆起与阿尔金断裂的形成[J]. *岩石学报*, 2013, 29(8): 2876–2882.
- MAO Liguang, XIAO Ancheng, WANG Liang, et al. Uplift of NW margin of Qaidam basin in the Late Eocene: Implications for the initiation of Altyn fault[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(8): 2876–2882.
- 苗红生, 王晓钦, 何玲娟, 等. 中亚地区上古生界油气形成与分布规律及其对准噶尔盆地油气勘探的启示[J]. *中国石油勘探*, 2012, 17(2): 50–56.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等. 印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. *地学前缘*, 2003, 10(3): 135–148.
- MO Xuanxue, ZHAO Zhidan, DENG Jinfu, et al. Response of Volcanism to the India-Asia collision[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3): 135–148.
- 牟墩玲, 李三忠, 王倩, 等. 塔里木盆地东南缘早古生代弯山构造[J]. *岩石学报*, 2018, 34(12): 3739–3757.
- MOU Dunling, LI Sanzhong, WANG Qian, et al. The early Paleozoic orocline in the southeastern Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2018, 34(12): 3739–3757.
- 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.
- PAN Guitang, CHEN Zhiliang, LI Xingzhen, et al. Modes for the evolution of the polyarc-basin systems in Eastern Tethys[J]. *Lithofacies Paleogeography*, 1996, 16(2): 52–65.
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. *地质通报*, 2002, 21(11): 701–707.
- PAN Guitang, LI Xingzhen, WANG Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet plateau and its adjacent regions[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(11): 701–707.
- 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 等. 班公湖-怒江带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据[J]. *地学前缘*, 2004, 11(4): 371–382.
- PAN Guitang, ZHU Dicheng, WANG Liquan, et al. Bangong Lake-Nu river suture zone—the northern boundary of Gondwana: evidence from geology and geophysics[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(4): 371–382.
- 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 等. 多岛弧盆系构造模式: 认识大陆地质的关键[J]. *沉积与特提斯地质*, 2012, 32(2): 1–20.
- PAN Guitang, WANG Liquan, LI Rongshe, et al. Tectonic model of archipelagic arc-basin systems: the key to the continental geology[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2012, 32(2): 1–20.
- 潘桂棠, 陆松年, 肖庆辉, 等. 中国大地构造阶段划分和演化[J]. *地学前缘*, 2016, 23(6): 1–23.
- PAN Guitang, LU Songnian, XIAO Qinghui, et al. Division of tectonic evolution in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2016, 23(6): 1–23.
- 潘桂棠, 陈智樑, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- PAN Guitang, CHEN Zhiliang, LI Xingzhen, et al. The tectonics formation and evolution of the East Tethys[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 大地构造相的定义、划分、特征及其鉴别标志[J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1613–1637.
- PAN Guitang, XIAO Qinghui, LU Songnian, et al. Definition, classification and diagnostic indications of tectonic facies[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(10): 1613–1637.
- 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.
- PAN Guitang, XIAO Qinghui, LU Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 2009, 36(1): 1–28.
- 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: 1500000)[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- PAN Guitang, WANG Liquan, ZHANG Wanping, et al. The tectonic map and instructions of Tibetan Plateau and the adjacent areas (1: 1500000)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- 潘桂棠, 任飞, 尹福光, 等. 洋板块地质与川藏铁路工程地质关键区带[J]. *地球科学*, 2020, 45(7): 2293–2304.
- PAN Guitang, REN Fei, YIN Fuguang, et al. Key Zones of Oceanic Plate Geology and Sichuan-Tibet Railway Project[J]. *Earth Science*, 2020, 45(7): 2293–2304.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 尹福光, 等. 中国大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- PAN Guitang, XIAO Qinghui, YIN Fuguang, et al. Tectonics of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- 彭银彪, 于胜尧, 张建新, 等. 北阿尔金地区早古生代洋壳俯冲时限: 来自斜长花岗岩和花岗闪长岩的证据[J]. *中国地质*, 2018, 45(2): 334–350.
- PENG Yinbiao, YU Shengyao, ZHANG Jianxin, et al. Timing of Early Paleozoic oceanic crust subduction in North Altun: Evidence from plagiogranite and granodiorite[J]. *Geology in China*, 2018, 45(2): 334–350.
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造-中国及邻区大地构造图及简要说明[M]. 北京: 地质出版, 1999.
- REN Jishun, WANG Zuoxun, CHEN Bingwei, et al. Geotectonic map and brief description of China and its adjacent areas-Geotectonics of China from a global perspective[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.
- 任纪舜, 牛宝贵, 王军, 等. 1: 500万国际亚洲地质图[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- REN Jishun, NIU Baogui, WANG Jun, et al. Asian geological map

- (1: 5000000)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- 上官时迈, 田伟, 徐义刚, 等. 塔里木溢流玄武岩的喷发特征[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1261–1272.
- SHANGGUAN Shimai, TIAN Wei, XU Yigang, et al. The eruption characteristic of the Tarim flood basalt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(4): 1261–1272.
- 舒良树, 王玉净. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石[J]. *地质论评*, 2003, 49(4): 408–412.
- SHU Liangshu, WANG Yujing. Late Devonian-Early Radiolarian Fossils from Siliceous rocks of the Kelameili Ophiolite, Xinjiang[J]. *Geological Review*, 2003, 49(4): 408–412.
- 田红彪, 郑波, 何峻岭. 新疆阿尔泰造山带乌希里克地区奥陶纪岩浆活动及其地质意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(8): 2591–2603.
- TIAN Hongbiao, ZHENG Bo, HE Junling. The Ordovician magmatism and implication in Wuxilike, Altay orogenic belt, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2017, 33(8): 2591–2603.
- 王保弟, 王立全, 王冬兵, 等. 西南三江金沙江弧盆地时空结构及构造演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41: 246–264.
- WANG Baodi, WANG Liquan, WANG Dongbing, et al. The temporal and spatial framework and its tectonic evolution of the Jinsha River arc-basin system, Southwest China[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41: 246–264.
- 王宝瑜, 郎智君, 李向东, 等. 中国天山西段地质剖面综合研究[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- WANG Baoyu, LANG Zhijun, LI Xiangdong, et al. A comprehensive research on geological profile of the Western Tianshan Mountains in China[M]. Beijing: Science Press, 1994.
- 王秉璋, 朱迎堂, 张智勇, 等. 昆秦接合部造山带非史密斯地层的一些特点: 苦海-赛什塘-羊曲构造混杂带剖析[J]. 青海地质, 2000, 1: 9–17.
- WANG Bingzhang, ZHU Yingtang, ZHANG Zhiyong, et al. Characteristics of non-Smith strata in junction part of Kunlun and Qinling orogenic belts—an example from the Kuhai-Saishitang-Yangqu tectonic mélange belt[J]. *Qinghai Geology*, 2000, 1: 9–17.
- 王超, 刘良, 车自成, 等. 西南天山阔克萨彦岭巴雷公镁铁质岩石的地球化学特征、LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其大地构造意义[J]. *地质论评*, 2007, 53(6): 743–754.
- WANG Chao, LIU Liang, CHE Zicheng, et al. Geochronology, Petrogenesis and Significance of Baleigong mafic rocks in Koksalsal Segment, SW Tianshan Mountains[J]. *Geological Reviews*, 2007, 53(6): 743–754.
- 王二七. 关于印度与欧亚大陆初始碰撞时间的讨论[J]. 中国科学(D辑), 2017, 47: 284–292.
- WANG Erqi. A discussion on the timing of the initial collision between the Indian and Asian continents[J]. *Science China Earth Sciences (D series)*, 2017, 47: 284–292.
- 王国强, 李向民, 徐学义, 等. 甘肃新疆交界地区四顶黑山镁铁质—超镁铁质岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *地质通报*, 2012, 31(12): 2046–2051.
- WANG Guoqiang, LI Xiangmin, XU Xueyi, et al. Zircon U-Pb ages of Sidingheishan mafic-ultramafic rocks in Xinjiang-Gansu border area and their geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(12): 2046–2051.
- 王鸿祯, 莫宣学. 中国地质构造概要[J]. 中国地质, 1996, 8: 4–9.
- WANG Hongzhen, MO Xuanxue. Brief Geotectonics of China[J]. *China Geology*, 1996, 8: 4–9.
- 王立全, 潘桂棠, 李才, 等. 藏北羌塘中部果干加年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.
- WANG Liquan, PAN Guitang, LI Cai, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of Eopaleozoic cumulate in Guoganjianian Mountain from central Qiangtang area of northern Tibet—Considering the evolution of Proto-and Paleo-Tethys[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(12): 2045–2056.
- 王立全, 李定谋, 潘桂棠, 等. 青藏高原地区矿产分布与成矿地质背景图及说明书(1: 1500000)[M]. 成都: 成都地图出版社, 2015.
- WANG Liquan, LI Dingmou, PAN Guitang, et al. Mineral distribution and metallogenic geological background Map, and the description of Tibetan Plateau (1: 1500000)[M]. Chengdu: Chengdu Map Publishing House, 2015.
- 王立全, 潘桂棠, 丁俊, 等. 青藏高原及邻区地质图及说明书 1: 1500000[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- WANG Liquan, PAN Guitang, DING Jun, et al. Geological maps and instructions of Tibetan Plateau and its adjacent regions (1: 1500000)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- 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.
- WANG Liquan, WANG Baodi, LI Guangming, et al. Major progress of geological survey and research in East Tethys: An overview[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41(2): 283–296.
- 王涛, 童英, 李舫, 等. 阿尔泰造山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义—以中国阿尔泰为例[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(6): 595–618.
- WANG Tao, TONG Ying, LI Shan, et al. Spatial and temporal variations of granitoids in the Altay orogeny and their implications for tectonic setting and crustal growth: perspectives from Chinese Altay[J]. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 2010, 29(6): 595–618.
- 王有宁, 孙永河, 尹继全, 等. 南图尔盖盆地卡拉套断裂体系变形特征[J]. *断块油气田*, 2019, 26(4): 421–425.
- WANG Youning, SUN Yonghe, YIN Jiquan, et al. Deformation Characteristics of Karatau strike-slip fault in South Turgay

- Basin[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2019, 26(4): 421–425.
- 王玉往, 王京彬, 王莉娟. 东天山地区两类铁钛磁铁矿型矿床含矿岩石对比[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1425–1436.
- WANG Yuwang, WANG Jingbin, WANG Lijuan. Comparison of host rocks between two vanadic titanomagnetite deposits types from the eastern Tianshan Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5): 1425–1436.
- 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆吐尔库班蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]. *地质前缘*, 2011, 18(3): 151–165.
- WANG Yuwang, WANG Jingbin, WANG Lijuan, et al. Discovery of Tuerkubantao ophiolitic mélangé in Xinjiang and its significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(3): 151–165.
- 王作勋, 邬继易. 天山多旋回构造演化及成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- WANG Zuoxun, WU Jiayi. Multicycle tectonic evolution and mineralization[M]. Beijing: Science Press, 1990.
- 位荀, 徐义刚. 巴楚辉绿岩墙的岩石成因及其对塔里木大火成岩省岩浆演化的启示[J]. *岩石学报*, 2013, 29(10): 3323–3335.
- WEI Xun, XU Yigang. Petrogenesis of the mafic dykes from Bachu and implications for the magma evolution of the Tarim large igneous province, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(10): 3323–3335.
- 吴波, 何国琦, 吴泰然, 等. 新疆布尔根蛇绿混杂岩的发现及其大地构造意义[J]. *中国地质*, 2006, 33(3): 476–486.
- WU Bo, HE Guoqi, WU Tairan, et al. Discovery of the Buergen ophiolitic mélangé belt in Xinjiang and its tectonic significance[J]. *Geology in China*, 2006, 33(3): 476–486.
- 吴福元, 刘传周, 张亮亮, 等. 雅鲁藏布蛇绿岩—事实与臆想[J]. *岩石学报*, 2014, 30(2): 293–325.
- WU Fuyuan, LIU Chuazhou, ZHANG Liangliang, et al. Yarlung Zangbo ophiolite: A critical updated view[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(2): 293–325.
- 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 Fuyuan, WAN Bo, ZHAO Liang, et al. Tethyan geodynamics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(6): 1627–1674.
- 肖文交, WINDLEY B F, 阎全人, 等. 北疆地区阿尔曼太蛇绿岩锆石 SHRIMP 年龄及其大地构造意义[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 32–37.
- XIAO Wenjiao, WINDLEY B F, YAN Quanren, et al. SHRIMP Zircon age of the Aermantai ophiolite in the North Xinjiang area, China and its tectonic implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 32–37.
- 肖文交, 宋东方, WINDLEY B F, 等. 中亚增生造山过程与成矿作用研究进展[J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49: 1512–1545.
- XIAO Wenjiao, SONG Dongfang, WINDLEY B F, et al. Research progresses of the accretionary processes and metallogenesis of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Science China Earth Sciences*, 2019, 49: 1512–1545.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- XIAO Xuchang, TANG Yaoqing, FENG Yimin. The tectonics of Xinjiang and its adjacent area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.
- 肖序常, 王军. 西昆仑-喀喇昆仑及其邻区岩石圈结构、演化中几个问题的探讨[J]. *地质论评*, 2004, 50(3): 285–294.
- XIAO Xuchang, WANG Jun. Discussion on the Lithospheric structure and evolution of the West Kunlun mountain-Karakorum mountains and their adjacent area[J]. *Geological Review*, 2004, 50(3): 285–294.
- 许继峰, 陈繁荣, 于学元, 等. 新疆北部阿尔泰山地区库尔提蛇绿岩: 古弧后盆地系统的产物[J]. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20(3): 344–352.
- XU Jifeng, CHEN Fanrong, YU Xueyuan, et al. Kuerti ophiolite in Altay of North Xinjiang: Magmatism of an ancient back-arc basin[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2001, 20(3): 344–352.
- 许靖华. 西太平洋板内造山作用模式中的大地构造相[J]. *石油大学学报*, 1994, 18(5): 1–7.
- XU Jinghua. Tectonic facies in a West Pacific model of intra-plate orogenesis[J]. *Journal of the University of Petroleum, China*, 1994, 18(5): 1–7.
- 徐梦婧, 赵佩云, 兰锐, 等. 狮泉河-永珠—嘉黎构造带中西段硅质岩地球化学特征及其沉积环境[J]. *地质前缘*, 2020, 27(3): 182–190.
- XU Mengqian, ZHAO Peiyun, LAN Rui, et al. Geochemical characteristics and sedimentary environments of siliceous in the middle and western parts of the Shiquanhe-Yongzhu-Jiali tectonic belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 2020, 27(3): 182–190.
- 徐新, 何国琦, 李华芹, 等. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息[J]. *中国地质*, 2006, 33(3): 470–475.
- XU Xin, HE Guoqi, LI Huaqin, et al. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélangé, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating[J]. *Geology in China*, 2006, 33(3): 470–475.
- 徐学义, 夏林圻, 马中平, 等. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及蛇绿岩成因研究[J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 83–94.
- XU Xueyi, XIA Linqi, MA Zhongping, et al. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of the plagiogranites of the ophiolite in North Tianshan Mountains and the petrogenesis of the ophiolite[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(1): 83–94.
- 徐学义, 李荣社, 陈隽璐, 等. 新疆北部古生代构造演化的几点认识[J]. *岩石学报*, 2014, 30(6): 1521–1534.

- XU Xueyi, LI Rongshe, CHEN Junlu, et al. New constrains on the Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang area[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(6): 1521-1534.
- 杨富全, 毛景文, 闫升好, 等. 新疆阿尔泰蒙库同造山斜长花岗岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. *地质学报*, 2008, 82(4): 485-499.
- YANG Fuquan, MAO Jinwen, YAN Shenghao, et al. Geochronology, Geochemistry and Geological implications of the Mengku synorogenic plagiogranite pluton in Altay, Xinjiang[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(4): 485-499.
- 杨富全, 张忠利, 王蕊, 等. 新疆阿尔泰稀有金属矿地质特征及成矿作用[J]. *大地构造与成矿学*, 2018, 42(6): 1010-1026.
- YANG Fuquan, ZHANG Zhongli, WANG Rui, et al. Geological characteristics and metallogenesis of rare metal deposits in Altay, Xinjiang[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2018, 42(6): 1010-1026.
- 杨高学, 李永军, 刘晓宇, 等. 新疆东准噶尔卡拉麦里钾质玄武岩的地球化学特征、成因及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(8): 2345-2356.
- YANG Gaoxue, LI Yongjun, LIU Xiaoyu, et al. Genesis and geochemical characteristics of the Kalamaili potassic basalt in the East Junggar, Xinjiang and tectonic implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(8): 2345-2356.
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等. 我国西部柴北缘地区发现榴辉岩[J]. *科学通报*, 1998, 43(14): 1544-1549.
- YANG Jingsui, XU Ziqin, LI Haibing, et al. The discovery of the eclogite in the north margin of the Chadamu basin, Western China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(14): 1544-1549.
- 杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 等. 北阿尔金地区米兰红柳沟蛇绿岩的岩石学特征和 SHRIMP 定年[J]. *岩石学报*, 2008, 24(7): 1567-1584.
- YANG Jingsui, SHI Rendeng, WU Cailai, et al. Petrology and SHRIMP age of the Hongliugou ophiolite at Milan, North Altun, at the northern margin of the Tibetan Plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(7): 1567-1584.
- 杨立强, 高雪, 和文言. 义敦岛弧晚白垩世斑岩成矿系统[J]. *岩石学报*, 2015, 31(11): 3155-3170.
- YANG Liqiang, GAO Xue, HE Wenyan. Late Cretaceous porphyry metallogenic system of the Yidun arc, SW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(11): 3155-3170.
- 杨天南, 李锦轶, 孙桂华, 等. 中天山早泥盆世陆弧: 来自花岗岩质糜棱岩地球化学及 SHRIMP-U/Pb 定年的证据[J]. *岩石学报*, 2006, 22(1): 41-48.
- YANG Tiannan, LI Jinyi, SUN Guihua, et al. Earlier Devonian active continental arc in Central Tianshan: evidence of geochemical analyses and Zircon SHRIMP dating on mylonitized granitic rock[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(1): 41-48.
- 尹福光, 唐渊, 徐波. 西南三江地区新生代走滑造山[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41: 1-14.
- YIN Fuguang, TANG Yuan, XU Bo. Cenozoic strike slip orogeny in Sanjiang area, Southwestern China[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41: 1-14.
- 尹继元, 陈文, 袁超, 等. 西准噶尔谢米斯台山东段早石炭世玄武安山岩的成因及意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2015, 39(5): 876-888.
- YIN Jiyuan, CHEN Wen, YUAN Chao, et al. Petrogenesis and Tectonic implication of Early Carboniferous Basaltic andesite in the Eastern part of Xiemisitai mountain, northern West Junggar[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2015, 39(5): 876-888.
- 余吉远, 李向民, 马中平, 等. 南祁连化隆岩群 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 2012, 45(1): 79-85.
- YU Jiyuan, LI Xiangmin, MA Zhongping, et al. The LA-ICP-MS U-Pb age and geological significance of Hualong rock group in South Qilian mountains[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(1): 79-85.
- 袁超, 孙敏, 肖文交, 等. 原特提斯的消减极性: 西昆仑 128 公里岩体的启示[J]. *岩石学报*, 2003, 19(3): 399-408.
- YUAN Chao, SUN Min, XIAO Wenjiao, et al. Subduction polarity of the prototethys: Insights from the Yirba pluton of the western Kunlun range, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(3): 399-408.
- 袁四化, 刘永江, 常瑞虹, 等. 从多岛弧盆系构造看西特提斯造山系构造演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41: 316-331.
- YUAN Sihua, LIU Yongjiang, CHANG Ruihong, et al. A brief review on the tectonic evolution of the west Tethys sides[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41: 316-331.
- 袁学诚, 徐明才, 唐文榜, 等. 东秦岭陆壳反射地震剖面[J]. *地球物理学报*, 1994, 37(6): 749-758.
- YUAN Xuecheng, XU Mingcai, TANG Wenbang, et al. Eastern Qinling seismic reflection profiling[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1994, 37(6): 749-758.
- 曾庆高, 王保弟, 西洛郎杰, 等. 西藏的缝合带与特提斯演化[J]. *地球科学*, 2020, 45: 2735-2763.
- ZENG Qinggao, WANG Baodi, XILUO Langjie, et al. Suture zones in Tibetan and Tethys evolution[J]. *Earth Science*, 2020, 45: 2735-2763.
- 张弛, 黄萱. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境的探讨[J]. *地质论评*, 1992, 36(8): 509-524.
- ZHANG Chi, HUANG Xuan. Age and tectonic settings of ophiolites in west Junggar, Xinjiang[J]. *Geological Review*, 1992, 36(8): 509-524.
- 张德润. 新疆东部地区大地构造问题探讨[J]. *新疆地质*, 1990, 8(2): 99-106.
- ZHANG Derun. A preliminary study on geotectonics of Eastern

- Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 1990, 8(2): 99–106.
- 张海迪, 吕鹏瑞, 罗彦军, 等. 塔吉克斯坦帕米尔地区构造单元划分及其特征[J]. *地质与勘探*, 2019, 55(1): 135–144.
- ZHANG Haidi, LV Pengrui, LUO Yanjun, et al. Tectonic unit division of the Pamir area in Tajikistan and its geological characteristics[J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55(1): 135–144.
- 张海洋, 牛贺才. 新疆北部晚古生代埃达克岩、富铈玄武岩组合: 古亚洲洋板块向南俯冲的证据[J]. *高校地质学报*, 2004, 10(1): 106–113.
- ZHANG Haiyang, NIU Hecai. Late Paleozoic adakite and Nb-enriched basalt from Northern Xinjiang: evidence for the southward subduction of the Paleo-Asian ocean[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10(1): 106–113.
- 张克信, 潘桂棠, 何卫红, 等. 中国构造-地层大区划分新方案[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2015, 40: 206–233.
- ZHANG Kexin, PAN Guitang, HE Hongwei, et al. New division of tectonic-strata superregion in China[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2015, 40: 206–233.
- 张克信, 何卫红, JIN J S, 等. 洋板块地层在造山带构造-地层区划中的应用[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2020, 45: 2305–2325.
- ZHANG Kexin, HE Hongwei, JIN J S, et al. Application of OPS to Division of Tectonic-Strata Regions in Orogenic Belts[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2020, 45: 2305–2325.
- 张克信, 何卫红, 徐亚东, 等. 论从俯冲增生杂岩带中重建洋板块地层主要类型与序列: 以青藏特提斯二叠系为例[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41: 137–151.
- ZHANG Kexin, HE Hongwei, XU Yadong, et al. Reconstruction of main types for oceanic plate strata in the subduction-accretionary complex and feature of sequence for each type: an example from the Qinghai-Tibet Tethyan Permian strata[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41: 137–151.
- 张克信, 冯庆来, 宋博文, 等. 造山带非史密斯地层[J]. *地学前缘*, 2014, 21(2): 36–47.
- ZHANG Kexin, FENG Qinglai, SONG Bowen, et al. Non-Smithian strata in the orogen[J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(2): 36–47.
- 张克信, 何卫红, 骆满生, 等. 中国沉积岩建造与沉积大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- 张克信, 徐亚东, 何卫红, 等. 中国新元古宙青白口纪早期(1 000–820 Ma) 洋陆分布[J]. *地球科学*, 2018, 43(11): 3837–3852.
- ZHANG Kexin, XU Yadong, HE Weihong, et al. Oceanic and continental blocks distribution during Neoproterozoic Early Qingbaikouan Period (1000–820 Ma) in China[J]. *Earth Science*, 2018, 43(11): 3837–3852.
- 张向飞, 李文昌, 杨镇, 等. 青藏高原东缘休瓦促钨钼矿区复式岩体时空分布及演化意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2022, 42(1): 105–121.
- ZHANG Xiangfei, LI Wenchang, YANG Zhen, et al. Temporal-spatial and evolution implication of the composite intrusion in the Xiuwacu W-Mo deposit, SE Tibetan Plateau[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2022, 42(1): 105–121.
- 张亚峰, 蔺新望, 王星, 等. 阿尔泰造山带南缘昆格依特岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、岩石成因及其地质意义[J]. *现代地质*, 2014, 28(1): 16–28.
- ZHANG Yafeng, LIN Xinwang, WANG Xing, et al. LA-ICP-MS U-Pb geochronology, petrogenesis and its geological implications of Kungeyite plutons in southern Altay orogenic belt[J]. *Geoscience*, 2014, 28(1): 16–28.
- 张以榕. 东准噶尔地质及金锡矿产研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- ZHANG Yirong. Study on the Geology and Au-Sn minerals in Eastern Junggar[M]. Beijing: Earthquake Publishing House, 1992.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 等. 阿尔泰造山带南缘镁铁质-超镁铁质杂岩体的 Sr、Nd、O 同位素地球化学及其源区特征探讨[J]. *地质论评*, 2006, 52(1): 38–42.
- ZHANG Zhaocong, YAN Shenghao, CHEN Bailin, et al. Sr, Nd and O isotope geochemistry of the mafic-ultramafic complexes in the south margin of Altay orogenic belt and discussion on their sources[J]. *Geological Review*, 2006, 52(1): 38–42.
- 张招崇, 周刚, 闫升好, 等. 阿尔泰山南缘晚古生代火山岩的地质地球化学特征及其对构造演化的启示[J]. *地质学报*, 2007, 81(3): 344–358.
- ZHANG Zhaocong, ZHOU Gang, YAN Shenghao, et al. Geology and geochemistry of the Late Paleozoic volcanic rocks of the south margin of the Altai Mountains and implications for tectonic evolution[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(3): 344–358.
- 张占武, 崔建堂, 王炬川, 等. 西昆仑康西瓦西北部库尔良早古生代角闪闪长岩花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J]. *地质通报*, 2007, 26(6): 720–725.
- ZHANG Zhanwu, CUI Jiantang, WANG Juchuan, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of early Paleozoic amphibolite and granodiorite in Korliang, northwestern Kangxiwar, West Kunlun[J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(6): 720–725.
- 赵振华, 陈华勇, 韩金生. 新疆阿尔泰造山带中生代伟晶岩的稀有金属成矿作用[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2022, 61: 1–26.
- 朱宝清, 冯益民, 杨军录, 等. 新疆中天山干沟一带蛇绿混杂岩和志留纪前陆盆地的发现及其意义[J]. *新疆地质*, 2002, 20(4): 326–330.
- ZHU Baoqing, FENG Yimin, YANG Junlu, et al. Discovery of ophiolitic mélangé and Silurian foreland basin at Gangou of Tokxun, Xinjiang and their tectonic significance[J]. *Xinjiang Geology*, 2002, 20(4): 326–330.
- 朱弟成, 王青, 詹琼睿, 等. 三江北段晚三叠世构造-岩浆作用和

- 几个相关的科学问题[J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41: 232–245.
- ZHU Dicheng, WANG Qing, ZHAN Qiongyao, et al. Late Triassic tectono-magmatism of northern Sanjiang and associated several scientific problems[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2021, 41: 232–245.
- 周鼎武, 苏犁, 简平, 等. 南天山榆树沟蛇绿岩地体中高压麻粒岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J]. *科学通报*, 2004, 49(14): 1411–1415.
- ZHOU Dingwu, SU Li, JIAN Ping, et al. Zircon SHRIMP U-Pb ages of middle-high pressure granulite in Yushugou ophiolite terrane and their tectonic significance, South Tianshan, China[J]. *Science Bulletin of China*, 2004, 49(14): 1411–1415.
- 周汝洪, 刘正荣, 裴江平, 等. 新疆天山干沟加里东花岗岩构造环境[J]. *新疆地质*, 2009, 27(4): 308–314.
- ZHOU Ruhong, LIU Zhengrong, PEI Jiangping, et al. Tectonic setting of the Gangou Caledonian granite in Tianshan of Xinjiang, and its contrast with Per-Cambrian granite in middle Tianshan mountain[J]. *Xinjiang Geology*, 2009, 27(4): 308–314.
- 朱文斌, 张志勇, 舒良树, 等. 塔里木北缘前寒武基底隆升剥露史: 来自磷灰石裂变径迹的证据[J]. *岩石学报*, 2007, 23(7): 1671–1682.
- ZHU Wenbin, ZHANG Zhiyong, SU Liangshu, et al. Uplift and exhumation history of the Precambrian basement, Northern Tarim: Evidence from apatite fission track data[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(7): 1671–1682.
- 朱永峰, 张立飞, 古丽冰, 等. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究[J]. *科学通报*, 2005, 50(18): 2004–2014.
- ZHU Yongfeng, ZHANG Lifei, GU Libing, et al. SHRIMP Geochronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in Western Tianshan Mountains, China[J]. *Science Bulletin of China*, 2005, 50(18): 2004–2014.
- 朱永峰. 中亚成矿域地质矿产研究的若干重要问题[J]. *岩石学报*, 2009, 25(6): 1297–1302.
- ZHU Yongfeng. Some important issues for the studies on the Central Asian Metallogeny Domain[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(6): 1297–1302.
- 朱永峰, 徐新. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩[J]. *岩石学报*, 2006, 22(12): 2833–2842.
- ZHU Yongfeng, XU Xin. The discovery of Early Ordovician ophiolite mélange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(12): 2833–2842.
- 朱迎堂, 郭通珍, 张雪亭, 等. 青海西部可可西里湖地区晚三叠世诺利期地层的厘定及其意义[J]. *地质通报*, 2003, 22(7): 474–479.
- ZHU Yingtang, GUO Tongzhen, ZHANG Xueting, et al. Discovery of Triassic Norian strata in the Hoh Xil Lake area, western Qinghai, and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(7): 474–479.
- 朱志新, 王克卓, 徐达, 等. 依连哈比尔尕山石炭纪侵入岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. *地质通报*, 2006, 25(8): 986–991.
- ZHU Zhixin, WANG Kezhao, XU Da, et al. SHRIMP U-Pb dating of zircons from Carboniferous intrusive rocks on the active continental margin of Eren Habirga, West Tianshan, Xinjiang, China, and its geological implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(8): 986–991.
- 朱志新, 李锦轶, 董连慧, 等. 新疆南天山盲起苏晚石炭世侵入岩的确定及对南天山洋盆闭合时限的限定[J]. *岩石学报*, 2008, 24(12): 2761–2766.
- ZHU Zhixin, LI Jinyi, DONG Lianhui, et al. The age determination of Late Carboniferous intrusions in Mangqisu region and its constraints to the closure of oceanic basin in South Tianshan, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(12): 2761–2766.
- 朱志新, 董连慧, 王克卓, 等. 西天山造山带构造单元划分与构造演化[J]. *地质通报*, 2013, 32(2-3): 297–306.
- ZHU Zhixin, DONG Lianhui, WANG Kezhao, et al. Tectonic division and regional tectonic evolution of West Tianshan orogenic belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(2-3): 297–306.
- 左国朝, 刘义科, 张招崇, 等. 中亚地区中、南天山造山带构造演化及成矿背景分析[J]. *现代地质*, 2011, 25(1): 1–14.
- ZUO Guochao, LIU Yike, ZHANG Zhaocong, et al. Tectonic Evolution of Central and South Tianshan Orogenic belts in the Central Asia and Mineralization Background[J]. *Geoscience*, 2011, 25(1): 1–14.
- Ahmad I, Khan S, Lapen T, et al. Isotopic Ages for Alkaline Igneous Rocks, Including a 26 Ma ignimbrite, from the Peshawar Plain of Northern Pakistan and their Tectonic Implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 62: 414–424.
- Alexeiev D V, Biske Y S, Wang B, et al. Tectono-stratigraphic framework and Palaeozoic evolution of the Chinese South Tianshan[J]. *Geotectonics*, 2015, 49: 93–122.
- Anczkiewicz R, Oberli F, Burg J P, et al. Timing of normal faulting along the Indus Suture in Pakistan Himalaya and a case of major 231Pa/235U initial disequilibrium in zircon[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 191: 101–114.
- Artemieva Im, Thybo H, Kaban M. Deep Europe today: Geophysical synthesis of the upper mantle structure and lithospheric processes over 3.5 Ga[J]. *European Lithosphere Dynamics*, 2006, 32: 11–41.
- Beck Ra, Burbank Dw, Sercombe Wj, et al. Stratigraphic evidence for an early collision between northwest India and Asia[J]. *Nature*, 1995, 373: 55–58.
- Borneman N L, Hodges K V, Soest M C, et al. Constraints on age of

- India-Asia collision and pre-collisional subduction metamorphism from the Sangsang region, south Central Tibet[J]. AGU Fall Meeting Abstracts, 2014; T13D–T05D.
- Borneman N L, Hodges K V, Soest M C, et al. Age and structure of the Shyok suture in the Ladakh region of northwestern India: implications for slip on the Karakoram fault system[J]. *Tectonics*, 2015, 34: 2011–2033.
- Brookfield M E. Geological development and Phanerozoic crustal accretion in the western segment of the southern Tien Shan (Kyrgyzstan, Uzbekistan and Tajikistan)[J]. *Tectonophysics*, 2000, 328: 1–14.
- Brown D, Spadea P, Puchkov V N, et al. Arc-continent collision in the Southern Urals[J]. *Earth Science Reviews*, 2006, 79(3-4): 261–287.
- Burtman S, Molnar P. Geological and geophysical evidence for deep subduction of continental crust beneath the Pamir[J]. *Geology of Society American Special*, 1993, 281: 1–6.
- Chapman J B, Scoggin S H, Kapp P, et al. Mesozoic to Cenozoic magmatic history of the Pamir[J]. *Earth Planet Science Letter*, 2018, 482: 181–192.
- Chen Shenqiang, Chen Hanlin, Zhu Kongyang, et al. Petrogenesis of the Middle-Late Triassic S- and I-type granitoids in the eastern Pamir and implications for the Tanyamas-Jinshajiang Paleotethys Ocean[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2021a.
- Chen Xin, Schert H P, Gu Pingyang, et al. Newly discovered MORB-Type HP garnet amphibolites from the Indus-Yarlung Tsangpo suture zone: Implications for the Cenozoic India-Asia collision[J]. *Gondwana Research*, 2021b, 90: 102–117.
- Chevalier M L, Tapponnier P, Vander Woerd, et al. Spatially constant slip rate along the southern segment of the Karakoram fault since 200ka[J]. *Tectonophysics*, 2012, 530-531: 152–179.
- Deng Jun, Wang Qingfei, Li Gongjian, et al. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China[J]. *Gondwana Research*, 2014, 26(2): 419–437.
- Ding Lin, Paul K, Wan Xiaoqiao. Paleocene–Eocene record of ophiolite obduction and initial India-Asia collision, south central Tibet[J]. *Tectonics*, 2005, 24(3): 1–18.
- Dipietro Ja, Pullen A, Krol Ma. Geologic history and thermal evolution in the hinterland region, western Himalaya, Pakistan[J]. *Earth-Science Reviews*, 2021, 223: 103817.
- Gaina C, Müller D. Cenozoic tectonic and depth/age evolution of the Indonesian gateway and associated back-arc basins[J]. *Earth-Science Reviews*, 2007, 83: 177–203.
- Garzanti E, Gaetani M. Unroofing history of Late Paleozoic magmatic arc within the “Turan Plate” (Tuarkyr, Turkmenistan)[J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 151: 67–87.
- Gong Xiaohan, Zhou Hailong, Xu Jifeng, et al. Development of a complex arc–back-arc basin system within the South Tianshan Ocean: Insights from the Wuwamen ophiolitic peridotites[J]. *Lithos*, 2021, 404-405: 106487.
- Han Yigui, Zhao Guochun. Final amalgamation of the Tianshan and Junggar orogenic collage in the southwestern Central Asian Orogenic Belt: Constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean[J]. *Earth-Sciences Reviews*, 2018, 186: 129–152.
- He John, Kapp P, Chapman J B, et al. Structural setting and detrital zircon U–Pb geochronology of Triassic–Cenozoic strata in the eastern Central Pamir, Tajikistan[J]. *Geological Society*, 2018, 483.
- Hegner E, Klemd R, Kröner A, et al. Mineral ages and P-T conditions of Late Paleozoic high-pressure eclogite and provenance of melange sediments from Atbashi in the south Tianshan orogen of Kyrgyzstan[J]. *American Journal of Science*, 2010, 310: 916–950.
- Herrington Rj, Zaykov Vv, Maslennikov Vv, et al. Mineral deposits of the Urals and links to geodynamic evolution[J]. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 2005: 1069–1095.
- Hou Zengqian, Zheng Yuanchuan, Yang Zhiming, et al. Contribution of mantle components within juvenile lower-crust to collisional zone porphyry Cu systems in Tibet[J]. *Mineralium Deposita*, 2013, 48(2): 173–192.
- Hou Zengqian, Yang Zhiming, Lu Yongjun, et al. A genetic linkage between subduction- and collision-related porphyry Cu deposits in continental collision zones[J]. *Geology*, 2015, 43: 247–250.
- Hsü K J, Pan G T, Sengör AMC. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau, a working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis[J]. *International Geology Review*, 1995, 37: 473–508.
- Hu Xiumian, An Wei, Wang Jianguang, et al. Himalayan detrital chromian spinels and timing of Indus-Yarlung ophiolite erosion[J]. *Tectonophysics*, 2014, 621: 60–68.
- Imreke D B, Robinson A C, Owen L A, et al. Mesozoic evolution of the eastern Pamir[J]. *Lithos*, 2019, 11: 560–580.
- Ivanov K S, Puchkov V N, Fyodorov Y N, et al. Tectonics of the Urals and adjacent part of the West-Siberian platform basement: Main features of geology and development[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 31: 12–24.
- Jagoutz O, Royden L, Holt A F, et al. Anomalously fast convergence of India and Eurasia caused by double subduction[J]. *Nature Geoscience*, 2015, 8: 475.
- Jian Ping, Liu Duniyi, Kröner A, et al. Time scale of an early to mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth[J]. *Lithos*, 2008, 101(3-4): 233–259.
- Khan Z A, Tewari R C. Indus-Yarlung-Tsangpo Suture Zone Concept-

- A Second Opinion[J]. *Journal of Tethys*, 2017, 5(3): 218–239.
- Klemd R, Brocker M, Hacker B R, et al. New age constrains on the metamorphic evolution of the high-pressure/low-temperature belt in the western Tianshan Mountains, NW China[J]. *The Journal of Geology*, 2005, 113: 157–168.
- Klemd R, Gao Jun, Li Jilei, et al. Metamorphic evolution of (ultra)-highpressure subduction-related transient crust in the South Tianshan Orogen (Central Asian Orogenic Belt): geodynamic implications[J]. *Gondwana Research*, 2015, 28: 1–25.
- Li Hao, Xu Xingwang, Borg G, et al. Geology and geochemistry of the giant Huoshaoyun zinc-lead deposit, Karakorum Range, NW Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 2019, 106: 251–272.
- Li Jinyi. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 26(3-4): 207–224.
- Li Jinyi, Chen Xuanhua, Wang Zhihong, et al. Late Palaeozoic mineralization and tectonic evolution of the West Junggar metallogenic belt, Central Asia: constraints from Re–Os and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology[J]. *International Geology Review*, 2016, doi: org/10.1080/00206814.2016.1205525.
- Li Wenchang, Pan Guitang, Zhang Xiangfei, et al. Tectonic evolution and multi-episodic metallogenesis of the Sanjiang Paleo-Tethys multi-arc-basin-terranes system, SW Tibetan Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2021, 221: 104932.
- Li Wangchao, Yin Changqing, Zhang Zeming, et al. Low temperature eclogite facies rocks discovered in the Eastern Himalayan Syntaxis: Poly-cyclic metamorphic evolution and implications[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2022, doi: 10.1111/jmg.12689.
- Liu Wenliang, Xia Bin, Zhong Yun, et al. Age and composition of the Rebang Co and Julu ophiolites, central Tibet: implications for the evolution of the Bangong Meso-Tethys[J]. *International Geology Review*, 2014, 56: 430–47.
- Long Xiaoping, Yuan Chao, Sun Min, et al. Reworking of the Tarim Craton by underplating of mantle plume-derived magmas: Evidence from Neoproterozoic granitoids in the Kuluketage area, NW China[J]. *Precambrian Research*, 2011, 187(1-2): 1–14.
- Matsuaru K, Ehiro M, Kojima S. On Orbitolina (Foraminiferida) from the Shyok suture zone, Ladakh, NW India[J]. *Journal of the Palaeontological Society of India*, 2006, 51: 43–49.
- Maslennikov V V, Ayupova N R, Herrington R J, et al. Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals[J]. *Ore Geology Reviews*, 2012, 47: 5–41.
- Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 66: 1–33.
- Meyer M, Klemd R, Konopelko D. High-pressure mafic oceanic rocks from the Makbal Complex, Tianshan Mountains (Kazakhstan & Kyrgyzstan): implications for the metamorphic evolution of a fossil subduction zone[J]. *Lithos*, 2013, 177: 207–225.
- Meyer M, Klemd R, Hegner E, et al. Subduction and exhumation mechanisms of ultra-high and high-P oceanic and continental crust at Makbal (Tianshan, Kazakhstan and Kyrgyzstan)[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2014, 32: 861–884.
- Mints M V. Tectonics and Geodynamics of Granulite-Gneiss Complexes in the East European Craton[J]. *Geotectonics*, 2014, 48(6): 498–524.
- Montero P, Bea F, Gerdes A, et al. Single-zircon evaporation ages and Rb-Sr dating of four major variscan batholiths of the Urals: A perspective on the timing of deformation and granite generation[J]. *Tectonophysics*, 2000, 317: 93–108.
- PAN Guitang, WANG Liquan, LI Rongshe, et al. Tectonic evolution of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 53: 3–14.
- Pirajno F, Uysal I, Naumov E A. Oceanic lithosphere and ophiolites: Birth, life and final resting place of related ore deposits[J]. *Gondwana Research*, 2020, 88: 333–352.
- Robinson A C, Yin Aa, Manning C E, et al. Tectonic evolution of the northeastern Pamir: constraints from the northern portion of the Cenozoic Kongur Shan extensional system, western China[J]. *Geology Society of American Bulletin*, 2004, 116: 953–973.
- Robinson A C, Ducea M, Lapen T J. Detrital zircon and isotopic constraints on the crustal architecture and tectonic evolution of the northeastern Pamir[J]. *Tectonics*, 2012, 31.
- Robinson A C. 2015. Mesozoic tectonics of the Gondwanan terranes of the Pamir plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 102: 170–179.
- Rojas Agramonte, Herwartz D, Garcia Casco. Early Palaeozoic deep subduction of continental crust in the Kyrgyz North Tianshan: evidence from Lu–Hf garnet geochronology and petrology of mafic dikes[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2013, 166: 525–543.
- Rolland Y, Pêcher A, Picard C. Middle Cretaceous back-arc formation and arc evolution along the Asian margin: the Shyok Suture Zone in northern Ladakh (NW Himalaya)[J]. *Tectonophysics*, 2000, 325: 145–173.
- Rutte D, Ratschbacher L, Schneider S, et al. Building the Pamir-Tibetan Plateau-crustal stacking, extensional collapse, and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics[J]. *Tectonics*, 2017, 36: 342–384.
- Saibi H, Aboud E, Gottsmann J. Curie point depth from spectral analysis of aeromagnetic data for geothermal reconnaissance in Afghanistan[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2015, 111: 92–99.
- Saktura W M, Buckman S, Nutman A P, et al. Late Jurassic Chang-

- mar Complex from the Shyok ophiolite, NW Himalaya: a prelude to the Ladakh Arc[J]. *Geological Magazine*, 2020, 158: 239–260.
- Saktura W M, Buckman S, Nutman A P, et al. Jurassic-Cretaceous arc magmatism along the Shyok-Bangong Suture of NW Himalaya: formation of the peri-Gondwana basement to the Ladakh Arc[J]. *Journal of the Geological Society*, 2021, doi.org/10.1144/jgs2021-035.
- Savelieva G N, Nesbitt R W. A synthesis of the stratigraphic and tectonic setting of the Uralian ophiolites[J]. *Journal of the Geological Society*, 1996, 153: 525–537.
- Schmidt J, Hacker B R, Ratschbacher L, et al. Cenozoic deep crust in the Pamir[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 312: 411–421.
- Schwab M, Ratschbacher L, Siebel W, et al. Assembly of the Pamirs: Age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Pamirs and their relation to Tibet[J]. *Tectonics*, 2004, 23: TC4002.
- Scotese C R. Plate Tectonic Maps and Continental Drift Animations[M]. Arlington, Texas: Paleomap Project, 2006.
- Searle M P, Noble S R, Hurford A J, et al. Age of crustal melting, emplacement and exhumation history of the Shivaling leucogranite, Garhwal Himalaya[J]. *Geological Magazine*, 1999, 136: 513–525.
- Seltnann R, Porter T M, Pirajno F. Geodynamics and metallogeny of the central Eurasian porphyry and related epithermal mineral systems: A review[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 79: 810–841.
- Sengör Amc, Natalin B A. Phanerozoic Analogues of Archaean Oceanic Basement Fragments: Altaid Ophiolites and Ophirags[J]. *Precambrian Geology*, 2004, 13: 657–726.
- Sengör Amc, Sunal G, Natalin B A, et al. Altaids: A review of twenty-five years of knowledge accumulation[J]. *Earth Science Reviews*, 2022, 228: 104013.
- Sheng Shanbo, Wang Zhen, Liang Shuang, et al. Sedimentary characteristics and exploration direction in the south of the central block in Pre-Caspian Basin[J]. *Earth and Environmental Science*, 2020, 467: 012020.
- Shroder J F, Eqrar N, Waizy H, et al. Review of the Geology of Afghanistan and its Water Resources[J]. *International Geology Review*, 2021.
- Simonov V A, Sakiev K S, Volkova N I, et al. Conditions of formation of the Atbashi Ridge eclogites (South Tien Shan)[J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2008, 49: 803–815.
- Stonge M R, Rayner N, Palin R M, et al. Integrated pressure-temperature-time constraints for the Tso Morari dome (Northwest India): Implications for the burial and exhumation path of UHP units in the western Himalaya[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2013, 31: 469–504.
- Stübner K, Ratschbacher L, Weise C, et al. The giant Shakh-dara migmatitic gneiss dome, Pamir, India-Asia collision zone: 2. Timing of dome formation[J]. *Tectonics*, 2013, 32: 1404–1431.
- Tagiri M, Yano T, Bakirov A, et al. Mineral parageneses and metamorphic P-T paths of ultrahigh-pressure eclogites from Kyrgyzstan Tien-Shan[J]. *Island Arc*, 1995, 4: 280–292.
- Tapponnier M, Mattauer M, Proust F, et al. Mesozoic ophiolites, sutures, and large-scale tectonic movements in Afghanistan[J]. *Earth Planet Science Letter*, 1981, 52: 355–371.
- Thanh N X, Rajesh V J, Itaya T, et al. A Cretaceous forearc ophiolite in the Shyok suture zone, Ladakh, NW India: implications for the tectonic evolution of the Northwest Himalaya[J]. *Lithos*, 2012, 155: 81–93.
- Tong Yabo, Yang Zhenyu, Zheng Liandi, et al. Internal crustal deformation in the northern part of Shan-Thai Block: New evidence from paleomagnetic results of Cretaceous and Paleogene red-beds[J]. *Tectonophysics*, 2013, 608: 1138–1158.
- Villarreal D P, Robinson A C, Carrapa B, et al. Evidence for Late Triassic crustal suturing of the Central and Southern Pamir[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2020, X3.
- Wan Bo, Wu Fuyuan, Chen Ling, et al. Cyclical one-way continental rupture-drift in the Tethyan evolution: Subduction-driven plate tectonics[J]. *Science China (Earth Sciences)*, 2019, 62(12): 2005–2016.
- Wang Rui, Zhu Dicheng, Wang Qing, et al. Porphyry mineralization in the Tethyan orogen[J]. *Science China-Earth Sciences*, 2020a, 63: 2029–2041.
- Wang Shifeng, Tang Wenkun, Liu Yiduo, et al. Rushan-Pshart Paleotethyan suture deduced from geochronological, geochemical, and Sr–Nd–Hf isotopic characteristics of granitoids in Pamir[J]. *Lithos*, 2020b: 364–365.
- Wang Shifeng, Fu Xiugen, Liu Yiduo, et al. Bitu ophiolite in eastern Tibet: The last piece of the jigsaw puzzle in the Paleotethyan regime along the eastern Cimmerian continental margin[J]. *Lithos*, 2021a, 406–407, 106520.
- Wang Tao, Hong Dawei, Jahn B M, et al. Timing, petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai mountains, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of an accretionary orogeny[J]. *The Journal of Geology*, 2006: 735–751.
- Wang Xiaojun, Song Yong, Bian Baoli, et al. Basement structure of the Junggar Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2021b, 28(6): 235–255.
- Wilke F D, O'brien P J, Schmidt A, et al. Subduction, peak and multi-stage exhumation metamorphism: Traces from one coesite-bearing eclogite, Tso Morari, western Himalaya[J]. *Lithos*, 2015, 231: 77–91.

- Windley B F, Kröner A, Guo Jinghui, et al. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen, NW China: new zircon age data and tectonic evolution[J]. *Journal of Geology*, 2002, 110: 719–737.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Liu Deyou, et al. Accretionary tectonics of the Western Kunlun Orogen, China: a Paleozoic-early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia[J]. *Journal of Geology*, 2005, 113: 687–705.
- Xiao Wenjiao, Han Chunming, Yuan Chao, et al. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 102–117.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Huang Baochun, et al. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98(6): 1189–1217.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Allen M B, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23: 1316–1341.
- Xiao Wenjiao, Santosh M. The western Central Asian Orogenic Belt: A window to accretionary orogenesis and continental growth[J]. *Gondwana Research*, 2014, 25: 1429–1444.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Sun Shu, et al. A Tale of Amalgamation of Three Permo-Triassic Collage Systems in Central Asia: Oroclines, Sutures, and Terminal Accretion[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2015, 43: 477–507.
- Xu Xin, Song Shuguang, Allen M B, et al. An 850-820Ma LIP dismembered during breakup of the Rodinia supercontinent and destroyed by Early Paleozoic continental subduction in the northern Tibetan Plateau, NW China[J]. *Precambrian Research*, 2016, 282: 52–73.
- Yang Gaoxue, Li Yongjun, Santosh M, et al. Geochronology and geochemistry of basalts from the Karamay ophiolitic mélange in West Junggar (NW China): Implications for Devonian-Carboniferous intra-oceanic accretionary tectonics of the southern Altaids[J]. *GSA Bulletin*, 2013, 125(4): 401–419.
- Yang Jingsui, Dobrzhinetskaya L F, Bai Wenji, et al. Diamond- and coesite-bearing chromitites from the Luobusa ophiolite, Tibet[J]. *Geology*, 2007, 35: 875–878.
- Yang Liqiang, Deng Jun, Gao Xue, et al. Timing of formation and origin of the Tongchanggou porphyry-skarn deposit: Implications for Late Cretaceous Mo–Cu metallogenesis in the southern Yidun Terrane, SE Tibetan Plateau[J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 81: 1015–1032.
- Zeng Yunchuan, Xu Jifeng, Chen Jianlin, et al. Geochronological and geochemical constraints on the origin of the Yunzhug ophiolite in the Shiquanhe-Yunzhug-Namu Tso ophiolite belt, Lhasa Terrane, Tibetan Plateau[J]. *Lithos*, 2018, 300-301: 250–260.
- Zhang Lifei, Ellis D, Jiang Wenbo. Ultrahigh-pressure metamorphism in western Tianshan, China: part I. Evidence from inclusions of coesite pseudomorphs in garnet and from quartz exsolution lamellae in omphacite in eclogites[J]. *American Minerals*, 2002, 87: 853–860.
- Zhang Qichao, Liu Yan, Wu Zhenzhen, et al. Late Triassic granites from the northwestern margin of the Tibetan Plateau, the Dahongliutan example: Petrogenesis and tectonic implications for the evolution of the Kangxiwa paleo-Tethys[J]. *International Geology Review*, 2019, 61(2): 175–194.
- Zhang Xiangfei, Li Wenchang, Yang Zhen, et al. Stable isotopes and Fluid Inclusions constraints on the Source and Evolution of Ore Fluids in the Xiuwacu W-Mo Granite-related Quartz-vein deposit, Yunnan Province, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2021, 136: 104245.
- Zhang Xiangfei, Li Wenchang, Yang Zhen, et al. Implications of apatite dykes for mineralization in the Late Cretaceous vein-type Xiuwacu W-Mo deposit in the southern Yidun Terrane, SE Tibetan Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2020, 204: 104555.
- Zheng Yongfei, Mao Jinwen, Chen Yanjing, et al. Hydrothermal ore deposits in collisional orogens[J]. *Science Bulletin*, 2019, 64: 205–212.
- Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, Niu Yaoling, et al. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23: 1429–1454.
- Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, Niu Yaoling, et al. The Lhasa Terrane: record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 301: 241–255.