

中国西北地区南华纪—古生代构造重建及关键问题讨论

计文化^{1,2}, 李荣社^{1,2}, 陈奋宁^{1,2}, 杨 博¹
JI Wenhua^{1,2}, LI Rongshe^{1,2}, CHEN Fenning^{1,2}, YANG Bo¹

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
2. 中国地质调查局造山带地质研究中心, 陕西 西安 710054
1. *Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shannxi, China;*
2. *Center for Orogenic Belt Geology, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shannxi, China*

JI W H, LI R S, CHEN F N, et al. , 2020. Tectonic reconstruction of northwest China in the Nanhua-Paleozoic and discussions on key issues [J]. Journal of Geomechanics, 26 (5): 634 – 655. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2020.26.05.055

Abstract: The Paleo-Asian and Paleo-Tethyan tectonic collages in northwest China experienced a complex ocean-continent evolution from the Nanhua period to Paleozoic era, and the continent-continent collisions in Triassic formed the basement to the formation of the intracontinental basin and mountain since the Mesozoic. There are still controversies on the closure and location of the Paleo-Asian oceanic basin and tectonic attribution of the Paleozoic Qin-Qi-Kun orogenic belt. Based on the new geological mapping, and analyses of sedimentary formations, magmatism formations, metamorphism and structural deformations, the Nanhua to Paleozoic tectonic units of northwest China are composed of three oceanic plates, four arc-basin systems and two continental blocks, which can be subdivided into 9 second-order, 46 third-order and 112 forth-order tectonic units. These units could be used to depict the residual compositions of disappeared oceanic basins and marginal accretionary structures of the blocks (lands). Integrated with paleomagnetic and bio-paleogeographical data, we propose the Paleozoic paleogeography reconstructions of northwest China, and discuss the tectonic evolutionary process of oceanic subduction and continental assemblages.

Key words: Paleo-Asian tectonic domain; Paleo-Tethyan tectonic domain; Nanhua-Paleozoic; tectonic reconstruction

摘 要: 中国西北是古亚洲构造域和特提斯构造域共同作用的地区, 南华纪—古生代时期经历了复杂的洋—陆演化过程, 诸陆 (地) 块于三叠纪基本拼贴就位, 奠定了中生代以来陆内盆山演化的基础。但对于西北地区南华纪—古生代时期古亚洲洋盆最终关闭的时限、位置, 以及秦祁昆古生代造山带属于特提斯构造域还是古亚洲构造域等重大区域地质问题目前仍存在较大争议。文章在最新地质填图的基础上, 通过对沉积建造、岩浆建造、变质变形等的综合分析, 将西北地区南华纪—古生代的构造单元厘定为 3 个洋板块、4 个弧盆系和 2 个陆 (地) 块群等 9 个二级、46 个三级和 112 个四级构造单元, 力图刻画消失的大洋盆地的残留组成和诸陆 (地) 块的边缘增生结构。结合古地磁、生物古地理研究成果, 恢复了古生代不同时期西北洋—陆系统在全球的位置, 讨论了洋盆消减、诸陆 (地) 块拼贴的过程。

关键词: 古亚洲构造; 特提斯构造域; 南华纪—古生代; 构造重建

中图分类号: P544 **文献标识码:** A

基金项目: 中国地质调查局基础性公益性地质矿产调查项目 (DD20160009); 中国地质调查局基础性公益性项目 (DD20190364)
第一作者简介: 计文化 (1968-), 男, 研究员, 区域构造专业。E-mail: jiwenhua1968@126.com
通讯作者: 李荣社 (1959-), 男, 教授级高级工程师, 区域构造专业。E-mail: lrongshe@gov.cgs.cn
收稿日期: 2020-08-11; 修回日期: 2020-09-14; 责任编辑: 范二平
引用格式: 计文化, 李荣社, 陈奋宁, 等, 2020. 中国西北地区南华纪—古生代构造重建及关键问题讨论 [J]. 地质力学学报, 26 (5): 634-655. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2020.26.05.055

0 引言

超大陆旋回和威尔逊旋回讲述了大陆破裂—大洋形成、大陆汇聚—大洋消减、大陆重组—新超大陆与新大洋形成的周而复始的地球岩石圈演化历史 (Zhao et al., 2018)。由于大洋岩石圈密度较大,地质历史时期的绝大多数大洋岩石圈都经俯冲作用重新回到深部,仅有少量残片可以就位于大陆边缘保留下来。大陆岩石圈因为密度较小,在洋陆相互作用过程中多数被保存下来,但因多次的离散、重组,现今的大陆多表现为不规则的内部结构和差异化的物质组成,是以残留陆核为基底的侧向、垂向增生拼贴体及其组合,是前中生代地质演化历史的主要记录者。两类岩石圈相互作用的大陆边缘是地球上浅部—深部物质强烈交换和大陆侧向增生最主要的场所。

西北地区早前寒武纪陆块有塔里木陆块、敦煌地块、阿拉善地块以及鄂尔多斯地块,记录了多期沉积—岩浆—构造事件 (陆松年等, 2004, 2009; 潘桂棠等, 2017; 辜平阳, 2018; Zhao et al., 2019) 和早期超大陆旋回的演化历史。随着地质调查和科学研究工作的持续推进,西北地区地质演化特别是南华纪—古生代洋陆格局及演化过程研究方面进展显著 (李锦轶等, 2006; 徐学义等, 2014; Xiao et al., 2015, 2018; Dong and Santosh, 2016; 李荣社等, 2016; 张克信等, 2020)。潘桂棠等 (2017) 多角度总结、归纳了西北地区的构造单元划分系统与演化格架。目前依然存在的焦点问题有: 秦祁昆古生代造山带属于古特提斯构造域还是古亚洲构造域? 古亚洲构造域是前中泥盆统为洋陆、晚泥盆世—二叠纪为陆内裂谷的“两阶段演化”还是南华纪—二叠纪洋陆持续的“连续演化”? “连续演化”还存在古亚洲洋在西北的最终闭合时间是石炭纪、二叠纪还是三叠纪的分歧。本文在充分消化、吸收最新完成的地质调查与科研成果的基础上,以超大陆旋回论和大洋旋回论为指导,在梳理西北地区南华纪—中三叠世洋—陆演化阶段主洋盆系统、陆缘系统的前提下,力图刻画陆块及卷入造山带中的地块的边缘增生结构,并讨论原—古特提斯洋与古亚洲洋并行演化背景下西北诸陆 (地) 块离散与聚合过程,以期对地质找矿与自然资源地质背景分析提供更为综

合的基础资料。

1 构造单元划分原则与方案

1.1 划分命名原则

一级构造单元为构造域,指大洋及其两侧的大陆边缘系统共同作用的地球表面的活动构造带,可体现研究区在全球的构造—古地理位置。二级构造单元包括洋板块系统、多岛弧—盆系和陆块区三种类型,分别代表消失的洋板块、洋—陆过渡带及受俯冲—碰撞作用影响较小的大陆板块及其组合。三级构造单元是对二级构造单元的进一步细分,在洋板块系统中力图识别出由洋内弧、大洋台地、深海沉积、大洋岩石圈残片等主要源于洋壳的地质体拼贴增生碰撞的残留,即弧—弧碰撞带、弧—陆碰撞带、陆—陆碰撞带等;在多岛弧—盆系中力图识别出不同性质的岛弧、弧后盆地以及卷入造山带中不同性质的地块;陆 (地) 块区,识别不同性质的陆块。四级构造单元是对陆 (地) 块、多岛弧—盆系中不同地块的进一步细分,精细刻画不同陆 (地) 块及其边缘的组成、结构和叠加关系,反映陆 (地) 块及其边缘的隆升与沉积历史、岩浆与热演化历史,揭示陆 (地) 块的演化过程及其边缘增生历史。在具体识别、划分构造单元中要综合考虑古地磁、生物与沉积古地理、沉积与隆升事件、岩浆事件、变形与变质事件、地球物理揭示的深部结构特征、同位素组成反映的源区及垂向增生事件等。

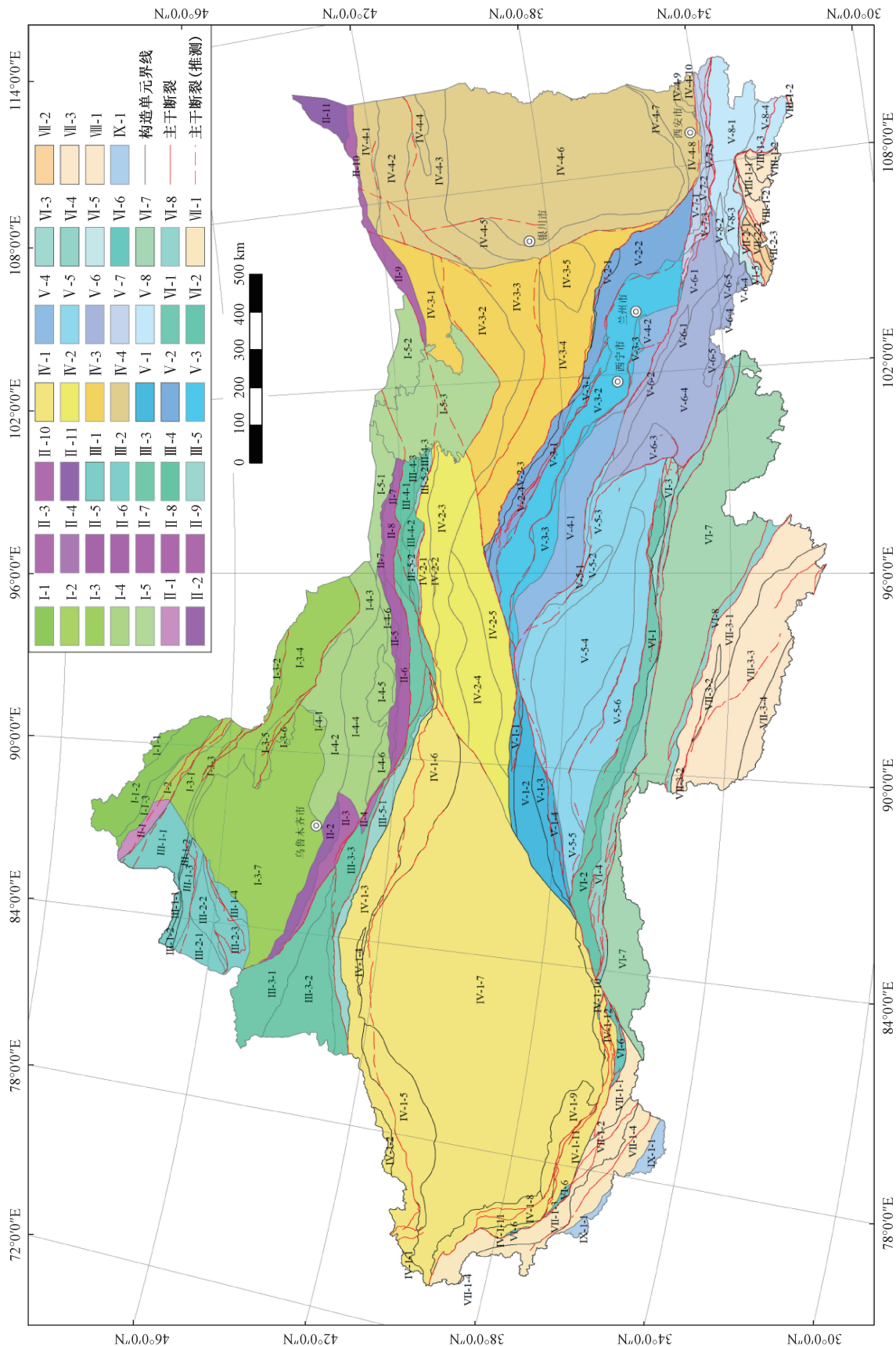
1.2 划分方案

西北地区涉及古亚洲构造域和特提斯构造域 2 个一级单元。古亚洲构造域包括阿尔泰—准噶尔多岛弧盆系、北天山—西拉木伦洋板块、西准噶尔—中天山多岛弧—盆系 3 个二级构造单元,特提斯构造域包括秦祁昆多岛弧盆系、南昆仑—巴颜喀拉洋板块、北羌塘多岛弧盆系、扬子陆块区和双湖—班公湖洋板块 5 个二级构造单元,塔里木—阿拉善—鄂尔多斯陆 (地) 块区为两大构造域的过渡区,其北部属于古亚洲构造域,南部属于特提斯构造域。可进一步划分为 46 个三级单元、112 个四级单元 (图 1)。

2 二级构造单元特征简介

2.1 阿尔泰—准噶尔多岛—弧—盆系 (I)

北邻西萨彦岭古岛弧带,南邻斋桑—北天山—



I—阿尔泰—准噶尔—南蒙古多岛弧盆系: I-1—阿尔泰地块及其南部边缘 (I-1-1—红石山弧后盆地 (D_3C_1), I-1-2—喀纳斯—青河被动陆缘 ($Z\epsilon$) + 弧后盆地 (OS), I-1-3—阿尔泰地块南缘陆缘弧 (D)) ; I-2—富蕴—清河弧—弧碰撞带 (DC); I-3—准噶尔地块及其边缘 (I-3-1—北准噶尔岛弧 (D_{1-2}) + 带后弧 (D_3C_1), I-3-2—北塔山岛弧 (D_{1-2}) + 洋内弧 (D_2), I-3-3—阿尔曼泰弧—弧碰撞带 (ϵ O), I-3-4—库兰喀孜干—三塘湖岛弧及弧后盆地 (D) + 带后弧 (D_3C_1), I-3-5—卡拉麦里弧—陆碰撞带 (DC), I-3-6—将军庙被动陆缘 ($S-C_1$), I-3-7—准噶尔压陷盆地 (PQ)) ; I-4—吐哈地块及其边缘 (I-4-1—七角井陆缘弧 (CP), I-4-2—博格达弧后裂谷 (CP), I-4-3—哈尔里克山复合岛弧 (O_3 , D_{1-2} , C), I-4-4—吐哈压陷盆地 (P_2-Q), I-4-5—卡拉塔格复合岛弧 (O_3 , D_{1-2}), I-4-6—小热圈—梧桐窝子岛弧 (C)) ; I-5 杭乌拉地块及其边缘 (I-5-1—雀儿山复合岛弧 (D, C), I-5-2—杭乌拉复合岛弧 (D, C), I-5-3—额济纳内陆盆地 (JQ))

II 北天山—西拉木伦洋板块系统: II-1—额尔齐斯—斋桑弧—弧碰撞带 (DC); II-2—巴音沟弧—陆碰撞带 (D_2 , C); II-3—依连哈比尔尕岛弧 (D_2); II-4—冰大板—米什沟弧—陆碰撞带 (O_3); II-5—康古尔塔格弧—弧碰撞带 (C); II-6—雅满苏增生弧 (C); II-7—红石山弧—弧碰撞带 (C); II-8—白山泉—黑鹰山增生弧 (C); II-9—恩格尔乌苏缝合带 (O, C); II-10—蒙伦山缝合带 (O_{1-2} , DP_1); II-11—查干诺尔岛弧 (C_2P) + 残留海盆 (P_{2-3}) (扎兰屯—多宝山复合岛弧西端)

III—西准噶尔—中天山多岛弧盆系: III-1—西准噶尔地块及其边缘 (III-1-1—布尔津岛弧 (D_{1-2}) + 带后弧 (D_3C_1), III-1-2—塔尔巴哈台—洪古勒楞弧—弧碰撞带 (ϵ O), III-1-3—谢米斯台岛弧 (S_{1-2} , D_{2-3}), III-1-4—克拉玛依陆缘弧 (C), III-1-5—克拉玛依陆缘弧 (C)) ; III-2—塔城地块及其边缘 (III-2-1—塔城弧后盆地 (DC), III-2-2—巴尔鲁克山岛弧 (DC), III-2-3—西准噶尔弧—弧碰撞带 (ϵ S, DC), III-3—伊犁—中天山地块及其边缘 (III-3-1—博罗科努被动陆缘 (Nho) + 弧后盆地 (C), III-3-2—大哈拉山陆缘弧 (C), III-3-3—中天山复合岩浆弧 (P_{1-3} -C)) ; III-4—明水—早山地块及其边缘 (III-4-1—明水—早山复合岩浆弧 (P_{1-3} , C), III-4-2—马鬃山—公婆泉岛弧 (OS), III-4-3—小黄山弧后裂谷 (O_3)) ; III-5—南天山—洗肠井缝合带 (III-5-1—南天山北缘缝合带 (P_{1-3} -C), III-5-2—红柳河—洗肠井缝合带 (P_{1-3} -S))

IV—塔里木—敦煌—阿拉善陆 (地) 块区: IV-1—塔里木大陆块 (IV-1-1—吉根陆缘小洋盆 (S_3D_2), IV-1-2—阔克萨勒岭陆缘小洋盆 (D_{1-2}), IV-1-3—南天山被动陆缘 (O_3 , S_2D) + 后造山伸展盆地 (CP), IV-1-4—铁力买提陆缘小洋盆 (S_3D_1), IV-1-5—柯坪大陆裂谷 (Nhz) + 陆棚海盆地 (ϵ P), IV-1-6—库鲁克塔格大陆裂谷 (Nhz) + 陆棚海盆地 (ϵ D), IV-1-7—塔里木压陷盆地 (P_3Q), IV-1-8—奥依塔格—库鲁克良弧后盆地 (D_3P_2), IV-1-9—铁克里克大陆裂谷 (Nh), IV-1-10—卡拉塔什—库雅克弧后盆地 (CP), IV-1-11—库地—其曼于特弧—弧碰撞带 (ZO), IV-1-12—西昆仑东段分水岭岛弧 (C)) ; IV-2—敦煌地块 (IV-2-1—罗维楚山被动陆缘 (Nho) + 前陆盆地 (SD), IV-2-2—解铜山陆缘裂谷 (O), IV-2-3—笔架山—红柳园后造山裂谷 (CP), IV-2-4—敦煌走滑拉分盆地 (N_2Q), IV-2-5—阿克塞—玉门基底变质隆起带 (Ar_3P_{11})) ; IV-3—阿拉善陆块 (IV-3-1—巴丹吉林林后盆地 (C_2P), IV-3-2—阿右旗—杭乌拉山复合岩浆岩带 (P_{1-2} , S, DP, TJ), IV-3-3—龙首山基底隆起带 (Ar_3P_{11}) + 陆棚海 (Nhz), IV-3-4—走藏弧后盆地 (ϵ O) + 前陆盆地 (S), IV-3-5—香山深海斜坡 (ϵ O)) ; IV-4—鄂尔多斯陆块 (IV-4-1—巴音包—达尔汗复合弧后盆地 (O_{1-2} , D_1 , C_2P_1), IV-4-2—阴山—白云鄂博裂谷 (ChQb) + 复合岩浆弧 (P_{2-1} , P_{2-2}), IV-4-3—河套断陷盆地 (E_3Q), IV-4-4—大青山基底隆起 (Ar_3P_{11}), IV-4-5—贺兰山陆棚海盆地 (ZO) + 陆表海盆地 (C_2P_1), IV-4-6—鄂尔多斯内陆盆地 (PT), IV-4-7—渭北陆棚海盆地 (ϵ O), IV-4-8—渭河断陷盆地 (E_2Q), IV-4-9—太华基底隆起 (Ar), IV-4-10—洛南—秦川陆缘裂谷 (Ch) + 陆棚海盆地 (ZO))

V—秦祁昆多岛弧盆系: V-1—阿中地块及其边缘 (V-1-1—红柳沟—拉配泉弧—陆碰撞带 (ϵ O), V-1-2—阿中地块北部裂谷 (Ch, Qb), V-1-3—江嘎孜莎依超高压变质岩带 ($P_{1-3}P_{21}$), V-1-4—阿帕—茫崖弧—弧碰撞带 (P_{21})) ; V-2—北祁连结合带 (V-2-1—乌鞘岭—老虎山弧后洋盆 (O_{2-3}), V-2-2—走廊南山东段清水岛弧 (ZO), V-2-3—昌马—九个泉—寺大隆岛弧 (O) + 洋内弧 (O_{1-2}) + 弧后 (间) 洋盆 (O_{1-2}), V-2-4—北祁连弧—陆碰撞带 (P_{21})) ; V-3—中祁连地块及其边缘 (V-3-1—冰沟—达坂山北坡陆缘弧 (C_2O) + 陆缘小洋盆 (O), V-3-2—中祁连陆表海 (D_3T_2), V-3-3—党河南山—拉脊山—雾宿山弧间小洋盆 (P_{21})) ; V-4—南祁连地块 (V-4-1—南祁连前陆盆地 (S) + 陆表海盆地 (PT), V-4-2—化隆基底隆起带 (Ar_3P_{11})) ; V-5—柴达木陆块及其边缘 (V-5-1—宗务隆山弧后小洋盆 (CP), V-5-2—欧龙布鲁克微地块 (P_{1-1} 基底+Nho 盖层), V-5-3—柴北缘弧陆碰撞带 (ϵ S), V-5-4—柴达木压陷盆地 (E_3Q), V-5-5—祁漫塔格岛弧及弧后盆地 (OS), V-5-6—东昆中复合岩浆弧 (P_{1-3} , P_{21} , CT)) ; V-6—西秦秦岭联合地块 (V-6-1—贵德—礼县一带弧后伸展盆地 (D_2T_2), V-6-2—青海湖南山—甘加弧后洋盆 (CP), V-6-3—鄂拉山弧后裂谷 (CP), V-6-4—西秦岭南前陆盆地 (T_{1-2}), V-6-5—白龙江陆缘裂谷 (O_3S) + 弧后伸展盆地 (DT), V-7—秦岭地块及其南北两侧陆缘 (V-7-1—斜峪关—二郎坪弧后盆地 (P_{1-3}) + 弧—陆碰撞带 (P_{21}), V-7-2—秦岭地 (P), V-7-3—商丹弧—陆碰撞带 ($P_{1-3}O$)) ; V-8—中南山秦岭裂谷 (P_{1-3}) + 陆缘裂谷 (ϵ S))

VI—南昆台—巴颜喀拉洋板块系统: VI-1—纳赤台—布尔汗布达山弧—陆碰撞带 (OS); VI-2—东昆仑西段阿克塔格—落雁山弧后盆地 (CP); VI-3—温泉库—醉马滩弧后盆地 (CP) + 弧背盆地 (P_3); VI-4—木孜塔格—阿尼玛卿弧—陆碰撞带 (CP); VI-5—勉略弧—陆碰撞带 (DC); VI-6—康西瓦—苏巴什弧—陆碰撞带 (CP); VI-7—黄羊岭—巴颜喀拉残留洋盆 (CT) + 前陆盆地 (T); VI-8—西金乌兰—玉树弧—陆碰撞带 (D_2T)

VII 北羌塘多岛弧盆系: VII-1 大红柳滩—胜利达坂弧后盆地 (P), VII-1-2 泉水沟前陆盆地 (T), VII-1-3 达布达尔—麻扎前陆盆地 (S_1), VII-1-4 阿格勒达坂—神仙湾—岔路口陆棚海盆地 (ϵ O, D_2P) + 陆缘裂谷 (P_{1-2})) ; VII-2 碧口地块 (VII-2-1 秧田坝弧后盆地 (Qb), VII-2-2 碧口岛弧 (Qb), VII-2-3 施杆梁弧—陆碰撞带 (Qb)) ; VII-3 北羌塘地块 (VII-3-1 明镜湖—下拉秀陆缘弧 (T_3), VII-3-2 八五道班弧后洋盆 (CP), VII-3-3 北羌塘双向弧后盆地 (CP) + 前陆盆地 (J), VII-3-4 格拉丹东岩浆弧 (TJ))

VIII 扬子陆块区: VIII-1 上扬子陆块 (汉南部分) (VIII-1-1 汉南岩浆弧+岛弧 (P_{1-3}), VIII-1-2 上扬子陆棚海盆地 (Nhs, PT_2), VIII-1-3 高川上陆棚斜坡 (D_3T_2))

IX 双湖—班公湖洋板块系统: IX-1 日土地块 (IX-1-1 喀喇昆仑山前陆盆地 (T_{1-2}))

图 1 西北地区构造单元划分图

Fig. 1 Division of tectonic units in northwest China

西拉木伦洋板块系统,国内部分主要包括阿尔泰地块及其南缘、富蕴-清河弧-弧碰撞带(DC)、准噶尔地块及其边缘、吐哈地块及其边缘和杭乌拉地块及其边缘等5个三级单元。

该构造单元,早前寒武纪地质信息保存较少。元古界零星出露,且组成复杂,局部达角闪岩相变质,时代与成因归属尚需进一步厘定。南华—震旦系喀纳斯岩群仅分布在阿尔泰,属于被动陆缘复理石沉积(王广耀和张玉亭,1983,1984;彭昌文,1989;曲国胜和何国琦,1992;高振家等,1993;新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;李天德等,2001;胡霁琴,2002;Windley et al., 2002;李会军等,2006;刘源等,2013),绿片岩相变质。下古生界均为海相沉积,以碎屑岩、火山岩为主,属于活动型建造,主体为低绿片岩相变质。上古生界分布广泛,海相、海陆过渡相、陆相沉积,碎屑岩、火山岩、碳酸盐岩均有发育。发育3条蛇绿混杂岩带。富蕴-青河弧-弧碰撞带有玛因鄂博蛇绿混杂岩、布尔根蛇绿混杂岩和沙尔布拉克蛇绿岩残片,其中玛因鄂博蛇绿混杂岩形成于志留纪—泥盆纪,为洋中脊残留(Han et al., 1997; Kheraskova et al., 2010; 张海祥等,2003;张越等,2012);布尔根和沙尔布拉克混杂岩形成于早石炭世(吴波等,2006;褚方等,2013)。在准噶尔地块东缘有扎河坝-阿尔曼太蛇绿混杂岩带和卡拉麦里蛇绿混杂岩带。前者有寒武纪—中奥陶世、早泥盆世两个阶段的物质记录,具有洋岛、洋中脊和岛弧残片构造混杂的特征(刘伟和张湘炳,1993;李锦轶等,1995;肖文交等,2006;张元元等,2010)。卡拉麦里蛇绿混杂岩带发育晚志留世—早泥盆世、早石炭世两期蛇绿岩残块,形成环境包括了洋中脊、洋岛以及与弧有关的环境(李锦轶,1995、2004;何国琦,2001)。

前南华纪侵入岩尚未有确切报道。南华纪—中泥盆统侵入岩主要分布在阿尔泰地块(王涛等,2005,2010;童英等,2005,2006a,2006b,2006c;Wang et al., 2006;Yuan et al., 2007;Sun et al., 2008;Cai et al., 2011;Liu et al., 2012;Tong et al., 2012),准噶尔地块东缘和吐哈地块南缘零星分布,侵入岩以中酸性为主(陈家富等,2010)。在青河县可可托海—二台断裂以东有中基性侵入岩分布(韩宝福等,2006;王涛等,2010;董连慧等,2012)。晚泥盆世—中三叠世侵入岩分布广

泛,中酸性、基性侵入岩均有,早二叠世的基性—超基性侵入岩是该区优势铜镍矿的含矿围岩(张招崇等,2003,韩宝福等,2004,2006;杨文平等,2004;焦建刚等,2014)。晚三叠世以来的侵入岩出露极少。

该弧盆系在晚前寒武纪—晚古生代属于西伯利亚陆块的南部陆缘系统(Dong et al., 2018)。弧-盆系碰撞时限,在阿尔泰微地块与蒙古图瓦地块之间主体为寒武纪(Li et al. 2017),在中国阿尔泰南缘和东准噶尔一带为泥盆纪(李会军等,2006),在吐哈地块和杭乌拉地块南缘为石炭纪,总体具有从北向南变年轻的趋势。

2.2 北天山-西拉木伦洋板块系统(II)

北邻阿尔泰-准噶尔弧-盆系,南邻西准噶尔-中天山弧-盆系,西北地区主要包括额尔齐斯-斋桑弧-弧碰撞带、巴音沟弧-陆碰撞带、依连哈比尔尕岛弧、冰大坂-米什沟弧-陆碰撞带、康古尔塔格弧-弧碰撞带、雅满苏增生弧、红石山弧-弧碰撞带、白山泉-黑鹰山增生弧、恩格尔乌苏缝合带、索伦山缝合带和查干诺尔岛弧+残留海盆11个次级构造单元。

北天山-西拉木伦洋板块系统未见确切的前寒武纪地质记录,镜儿泉一带原划的长城纪扎曼苏岩群、道草沟岩群,正在开展的1:5万地质填图证实为深俯冲增生的地质体,根据侵入其中的早泥盆世侵入岩,推断其增生拼贴的时间在志留纪。下古生界出露较少,呈构造岩片零星产出,均为海相沉积,属于活动型建造,绿片岩相变质,变形强烈。上古生界分布广泛,岩石类型多样,以海相为主,变形强烈,低绿片岩相变质为主。

该系统蛇绿岩非常发育,从早古生代到晚古生代均有发育。从西向东、从北向南主要蛇绿混杂岩简介如下:斋桑蛇绿混杂岩分布在哈萨克斯坦境内,由榴辉岩、石榴-角闪石岩、蓝片岩等高压变质岩组成,蓝片岩中白云母K-Ar年龄为444~429 Ma,表明晚奥陶世已经俯冲折返。谢米斯台-布尔津出露查干陶勒盖-伊尼萨拉蛇绿混杂岩,由橄榄岩、玄武岩、辉长岩、硅质岩等组成,辉长岩锆石U-Pb同位素年龄分别为519~517 Ma(赵磊等,2013)和492 Ma,表明洋盆在寒武世之前已经形成。巴音沟蛇绿混杂岩中辉长岩形成于早石炭世,形成构造环境有“红海型”洋盆和残留洋盆两种不同认识。康古尔塔格蛇绿混杂岩呈透

镜状沿康古尔塔格断裂带出露形成于晚寒武世(李文铅等, 2008), 属于弧后盆地型蛇绿岩。新近发现的大草滩蛇绿岩中辉长岩岩块的形成时代为奥陶纪、志留纪, 形成环境有洋内弧、洋中脊; 晚泥盆世康古尔塔格组不整合于混杂岩带之上, 表明中天山地块在中泥盆世之前俯冲增生到吐哈地块边缘。米什沟—干沟蛇绿混杂岩形成于早古生代, 为与弧关系密切的 SSZ 型蛇绿岩(董云鹏等, 2006)。红石山蛇绿混杂岩向东可延至内蒙古境内的百合山—蓬勃山一带, 含豆荚状铬铁矿层, 形成于石炭纪(王国强等, 2014)。恩格尔乌苏蛇绿混杂岩中, 辉长岩形成时代为 380 Ma, 玄武岩显示 MORB 地球化学特征(王金荣等, 1995)。

北天山—西拉木伦洋板块系统前南华纪的侵入岩尚未有确切报道, 早古生代侵入体零星出露, 主体为石炭纪中酸性侵入岩, 其次是二叠纪以闪长岩为主的侵入体和基性岩脉。早二叠世的基性—超基性杂岩跨阿尔泰—准噶尔弧盆系与北天山—西拉木伦河洋板块系统两个单元, 是铜镍矿的主要围岩。三叠纪侵入岩主要分布在镜儿泉以东的中蒙边界附近, 与钨成矿作用关系密切。

总之, 该构造单元具有洋盆演化历史长、组成结构复杂、地球物理显示缺少统一的基底、缺少前寒武纪地质信息, 两侧的构造单元组成结构差异大、沉积与生物古地理差异显著等特征。

2.3 西准噶尔—中天山多岛弧盆系(III)

包括西准噶尔地块及其边缘、塔城地块及其边缘、伊犁—中天山地块及其边缘、明水—旱山地块及其边缘、南天山—洗肠井缝合带等 5 个三级构造单元。

西准噶尔—中天山多岛弧盆系古元古代及之前的地质体分布较少, 伊犁地块及其边缘有温泉岩群和木扎尔特岩群, 中天山地块有兴地塔格岩群, 明水—旱山地块及其边缘有北山杂岩, 已有研究多将它们归为结晶基底。长城—蓟县系分布比较广泛, 以碎屑岩和碳酸盐岩为主, 少量火山岩, 角闪岩相、绿片岩相变质, 组成褶皱基底。青白口系仅出露在伊犁地块, 以碳酸盐岩为主, 少量碎屑岩, 属于稳定型沉积。南华系、震旦系、寒武系分布比较广, 除西准噶尔、塔城地块外的其他 3 个单元均有分布, 以碎屑岩为主, 少量碳酸盐岩, 含有冰碛层和含磷层位。奥陶—志留系分布更加广泛, 5 个三级构造单元都有分布, 碎屑岩、火山

岩为主, 少量碳酸盐岩, 属于活动型建造。上古生界分布广泛, 类型多样, 以海相为主, 碎屑岩、火山岩、碳酸盐岩均有发育。泥盆系—二叠系之间存多个不整合。

西准噶尔—中天山多岛弧盆系蛇绿混杂岩、增生杂岩非常发育, 从早古生代、晚古生代均有发育, 空间上可分为两个带。北带大体沿着中天山地块南缘断续产出, 主要有喀瓦布拉克碱泉蛇绿混杂岩, 形成于早古生代, 产铬铁矿(董连慧等, 2010)。那拉提断裂带北缘的夏特增生杂岩, 形成时代为 516 Ma, 玄武岩具有过渡洋中脊环境的岩石地球化学特征(钱青等, 2007)。早期被认为是中天山与南天山之间的碰撞带, 与吉尔吉斯斯坦境内纳伦地块北缘的贾拉伊尔蛇绿混杂岩带相连, 称为尼古拉也夫线。向东, 甘肃北山的小黄山蛇绿混杂岩形成于奥陶纪, 属弧后扩张洋盆或弧后裂谷环境(宋泰忠等, 2008)。

南带常称为南天山—洗肠井—牛圈子缝合带。南天山蛇绿混杂岩带有那拉提—长阿乌子蛇绿混杂岩、古洛沟蛇绿混杂岩、乌瓦门蛇绿混杂岩、拱拜子蛇绿混杂岩、库米什蛇绿混杂岩, 常混杂有前寒武纪变质岩岩块, 主体形成于志留纪, 晚于北带蛇绿岩。哈儿克山北坡高压—超高压变质岩带, 由蓝闪石片岩、榴辉岩和榴闪岩、蛇绿岩组成, 高压变质年龄为 415 Ma、351 Ma(汤耀庆等, 1995)。该带西延部分的哈萨克斯坦境内, 蓝片岩同位素年龄集中在 460 ~ 400 Ma(Dobretsov, 1987)。在库米什硫磺山—铜花山—榆树沟蛇绿混杂岩中出露少量蓝片岩(Gao et al., 1994)和高压麻粒岩(王居里等, 1999)。铜花山蓝片岩蓝闪石 Ar-Ar 坪年龄为 360 Ma(刘斌和钱一雄, 2003), 榆树沟麻粒岩锆石核部 SHRIMP U-Pb 年龄为 640 ~ 452 Ma, 锆石边部年龄为 392 ~ 390 Ma(周鼎武等, 2004)、单颗粒锆石 TIMS U-Pb 年龄为 440 Ma(王润三等, 1998)。红柳河—牛圈子—洗肠井蛇绿混杂岩主要出露在红柳河、牛圈子、洗肠井三处, 形成于奥陶纪, 中泥盆统不整合于混杂岩带之上, 表明增生碰撞的时间不晚于中泥盆世(Xiao et al., 2009, 2013; Tian et al., 2014)。

该区中元古代、新元古代、古生代侵入岩均有发育。中元古代以英云闪长岩为主, 青白口纪有正长花岗岩、石英闪长岩, 新元古代有二长花岗岩、闪长岩及辉绿岩, 主要出露于喀瓦布拉克

一带。志留纪以花岗闪长岩、闪长岩为主,少量碱性花岗岩。泥盆纪有花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、奥长花岗岩及闪长岩。石炭纪有花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、奥长花岗岩、正长花岗岩及闪长岩。二叠纪有花岗岩、正长花岗岩、花岗闪长岩及石英闪长岩,属于与后造山裂谷岩浆事件相关的侵入岩类。

西准噶尔-中天山多岛弧-盆系是古亚洲洋与塔里木-敦煌-阿拉善地块区北部边缘共同作用的结果,其新元古代—古生代的沉积、生物组合与塔里木陆块相近。

2.4 塔里木-阿拉善-鄂尔多斯陆块区 (IV)

包括塔里木陆块、敦煌地块、阿拉善地块以及鄂尔多斯陆块及其边缘4个三级构造单元。各陆块在晚古生代位于古亚洲洋、特提斯洋之间,陆块边缘与各自的弧-盆系相邻,由边缘向陆块内部,构造、岩浆活动逐渐减弱。盆山演化阶段,多数形成大型内陆盆地,部分形成断隆。

该陆块区均发育早前寒武纪变质结晶基底、中元古界的褶皱基底、稳定的新元古界和古生界盖层。塔里木陆块南华纪—石炭纪主体为海相沉积,以碎屑岩、碳酸盐岩为主,震旦纪、志留纪—泥盆纪地层中含有少量火山岩,主体为海相沉积。南华系含有冰碛层,寒武系含有含磷层位。早二叠世开始转化为陆相沉积,缺失三叠系,侏罗系为主要的含煤层位,白垩系到古近系含有海陆过渡相沉积。敦煌地块南华系含有冰碛层,北缘古生界发育齐全,与塔里木相比,火山岩成分更多。晚二叠世开始转化为海陆过渡相沉积。阿拉善和鄂尔多斯陆块缺失南华系,震旦系—奥陶系为稳定的海相沉积,缺失志留系和泥盆系,早石炭世有少量浅海相沉积,晚石炭世,除甘泉组为海相沉积和火山岩外,其他均为海陆过渡相沉积,含有煤层。二叠纪以后为陆相沉积。

蛇绿岩在塔里木南北缘、阿拉善地块北缘出露。塔里木地块北缘吉根蛇绿混杂岩带,其中基性熔岩 Sm-Nd 等时线年龄为 392 ± 15 Ma,基性熔岩的微量元素配分模式与 P-MORB 类似(徐学义等, 2003)。阔克萨勒蛇绿混杂岩带主要由蛇纹石化橄榄岩、辉长辉绿岩、辉绿玢岩、枕状玄武岩、硅质岩组成,夹有泥灰岩及少量安山岩,其形成时代和环境尚不明确。铁力买提蛇绿混杂岩形成时代有晚泥盆—早石炭世、晚志留世—早泥盆世

两种认识。根据伴生的陆缘碎屑岩和碳酸盐岩沉积组合,该带蛇绿岩主体形成于陆缘小洋盆环境。塔里木南缘主要为库地-其曼于特蛇绿混杂岩带,断续出露于大同、库地、其曼于特以及和田河上游一带,库地蛇绿岩中堆晶岩、斜长花岗岩等测年结果为 500 Ma 左右(李天福和张建新, 2014),其中玄武岩为洋壳低钾拉斑玄武岩系列,源于 E-MORB,属于不成熟的小洋盆(肖序常等, 2003)。

前南华纪—早古生代、晚古生代侵入岩比较发育,三叠纪以后侵入岩零星。古元古代为花岗岩、花岗闪长岩、奥长花岗岩和闪长岩组合(TTG 岩套),分布在塔里木东北缘的库鲁克塔格、敦煌一带,少量见于塔里木西南缘和鄂尔多斯东南缘。蓟县纪为花岗岩、花岗闪长岩、奥长花岗岩和石英闪长岩组合(TTG 岩套)。青白口纪花岗岩、花岗闪长岩、正长花岗岩、闪长岩组合可能属于后造山型。震旦纪正长花岗岩和新元古代的奥长花岗岩则属于裂谷型。志留纪花岗岩属于同碰撞型花岗岩。石炭纪花岗岩和正长花岗岩则属于后造山型。二叠纪石英正长岩则与后造山裂谷相关。需要说明的是,近期的调查研究表明,敦煌地块原划的石炭纪中酸性侵入岩多为寒武—奥陶纪,具有 I 型花岗岩特征,表明敦煌地块在早古生代转为陆缘弧构造环境。

2.5 秦祁昆多岛-弧-盆系 (V)

包括阿中地块及其边缘、北祁连结合带、中祁连地块及其边缘、南祁连地块、柴达木陆块及其边缘、西秦岭联合地块、秦岭地块及其南北两侧陆缘以及中南秦岭陆缘(上扬子北部陆缘)8个三级单元。早古生代期间,为原特提斯洋与塔里木、敦煌、阿拉善等北部陆(地)块相互作用的陆缘系统,由不同性质的地块、岛弧、及其之间的碰撞带组成的复杂构造系统。

前南华纪地质体在不同单元均有出露,组成复杂,主体为角闪岩相-绿片岩相变质,少量麻粒岩相变质,多数地层时代与构造属性还存在争议。南华系、震旦系,在祁连、柴达木地块北缘、中南秦岭零星出露,含有冰碛层。下古生界分布广泛,组成复杂,均为海相沉积,以绿片岩相变质为主,少量低温高压变质。中上泥盆统,主体为磨拉石沉积,与下伏地层普遍存在角度不整合。石炭系、二叠系主体为浅海相—海陆过渡相沉积,主要为碎屑岩、碳酸盐岩,仅在东昆仑有少量火山

岩,基本未变质。南祁连、柴达木、共和盆地晚三叠世开始转化为陆相沉积,其他地区在晚石炭世—早二叠世开始转化为陆相沉积。

蛇绿混杂岩带在阿尔金、祁连、秦岭、柴达木边缘均有分布。在阿拉善以及中、南祁连地块之间有三个混杂岩带。北带为乌鞘岭—老虎山蛇绿混杂岩带,形成时代为中—晚奥陶世,形成于弧后扩张脊环境。中带为熬油沟—玉石沟—东草河蛇绿混杂岩带,北祁连榴辉岩中的锆石测年中获得 710 Ma 的信息,表明洋盆在新元古代已经形成;该带蛇绿岩形成时代主要集中于 517~487 Ma,属洋中脊环境(夏小洪等,2012);南带为大道尔吉—拉脊山—雾宿山混杂岩带,形成年龄集中在 525 ± 3 Ma~ 441 ± 13 Ma,有 MORB、SSZ、OIB 等多种类型(夏林圻等,1991;侯青叶等 2005;闫臻等,2012;付长奎等,2014)。上述前两条带都伴有高压蓝片岩带。

阿尔金地块南北缘分布着两条蛇绿构造混杂岩带。北缘的红柳河—拉配泉蛇绿混杂岩带形成于寒武纪—早奥陶世,存在 MORB 和 OIB 两种类型蛇绿岩(吴俊等,2002),在红柳沟恰什坎萨依一带出露含蓝闪石白云母石英片岩, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 541.2~502.9 Ma(张建新等,2007)。阿尔金地块南缘的蛇绿构造混杂岩带包括阿帕—茫崖蛇绿混杂岩和江孜孜萨依超高压变质岩带,蛇绿岩形成于寒武纪—早奥陶世,与洋中脊玄武岩相似;高压变质岩为榴辉岩,分布于混杂岩带北侧,峰期变质年龄约为 500 Ma(Liu et al., 2007)。

柴达木地块北缘蛇绿构造混杂岩带在赛什腾山、绿梁山、沙柳河及托莫尔日特一带出露,形成时代为新元古代—早古生代,属于 SSZ 型蛇绿岩(杨经绥等,2004)。伴生产出一条长近 700 km 的超高压变质带,榴辉岩的原岩主要为 850~820 Ma 大陆溢流玄武岩(杨经绥等,2004)和 540~500 Ma 洋壳蛇绿岩,最新的榴辉岩原岩年龄为 449 Ma,峰期变质时代为 470~450 Ma,退变质时代为 430 Ma(陈丹玲等,2007)。柴达木地块南缘蛇绿岩主要分布在祁漫塔格一带,有黑山蛇绿岩、鸭子大坂蛇绿岩,其中的辉长岩形成时代有奥陶纪、早志留世,形成于弧后小洋盆环境(王向利等,2010)。

秦岭地块北缘有斜峪关—二郎坪蛇绿混杂岩带,二郎坪群为一套海相火山岩+火山碎屑岩组

合,形成于早古生代,为弧后盆地构造环境。陆松年等(2009)认为原划的宽坪岩群有早古生代蛇绿岩成分,形成时代为 500~400 Ma,属于弧后盆地沉积。秦岭地块南缘为商丹蛇绿构造混杂岩带,蛇绿岩自西而东有武山蛇绿岩、关子镇蛇绿岩、鸚鹄嘴—岩湾蛇绿岩、松树沟蛇绿岩,形成时代为 518~457 Ma(杨钊等,2006),形成于大洋中脊或弧后环境(陈隽璐等,2008)。

青海湖南山—甘加蛇绿岩呈透镜状产出于甘肃省临潭县下拉地一带石炭系地层中,与洋岛海山碳酸盐岩—玄武岩伴生,蛇绿岩和洋岛海山中玄武岩的时代均为中二叠世(寇晓虎等,2007;Kou et al., 2009),属于弧后洋盆。宗务隆山蛇绿岩呈构造透镜状断续产出在石炭—二叠系中,在天峻县城以南有多个蛇绿岩残块,地球化学显示富集 MORB 型、OIB 型岩浆源区,形成于二叠纪(郭安林等,2007)。

中酸性侵入岩分布广泛,前南华纪、南华—中泥盆世、晚泥盆世—中三叠世,以及晚三叠世以来均有发育。前南华纪侵入岩主要分布在阿尔金、柴达木地块东北缘以及北秦岭,中南祁连有少量分布,以中酸性侵入岩为主,少量基性侵入岩。零星出露的古元古代花岗岩和闪长岩形成于后造山环境;中元古代花岗岩和基性杂岩构成双峰式侵入岩组合,与裂谷岩浆作用相关;青白口纪花岗闪长岩属于与俯冲作用相关的侵入岩。南华—中泥盆世是岩浆活动高峰期,除塔里木陆块新生代盆地区外,均有出露,酸性、中性、基性、超基性侵入岩均有。南华纪的花岗闪长岩、二长岩和闪长岩可能与这一时期的全球性超大陆裂解的裂谷岩浆事件相关,寒武纪—中志留世中酸性侵入岩与俯冲、碰撞作用有关,柴达木盆地周缘的晚志留世—早泥盆世酸性、基性—超基性杂岩为碰撞后岩浆作用。晚泥盆世—中三叠世侵入岩发育程度仅次于南华纪—中泥盆世,主要分布在祁连、柴达木南缘以及秦岭地区,主体具有陆缘弧岩浆的特征。晚三叠世以后侵入岩主要分布在东昆仑和西秦岭,其中晚三叠世中酸性侵入岩多为碰撞环境,侏罗纪之后少量中酸性侵入岩为陆内环境(张国伟等,2019)。

2.6 南昆仑—巴颜喀拉洋板块系统(VI)

包括纳赤台—布尔汗布达山弧—陆碰撞带、东昆仑西段阿克塔格—落雁山弧后盆地、温泉水库—

醉马滩弧后盆地 (CP₂) + 弧背盆地 (P₃)、木孜塔格-阿尼玛卿弧-陆碰撞带、勉略弧-陆碰撞带、康西瓦-苏巴什弧-陆碰撞带、黄羊岭-巴颜喀拉残留洋盆 (CT₂) + 前陆盆地、西金乌兰-玉树弧-陆碰撞带等 8 个三级单元, 属于原、古特提斯洋壳向北消减的残留。

南昆仑-巴颜喀拉洋板块系统早前寒武纪地质体仅出露在东昆仑温泉一带, 称为苦海岩群, 以变质碎屑岩、火山岩为主, 组成复杂, 角闪岩相变质。中新元古界地质体比较零星, 沿中昆仑南缘透镜状分布的万宝沟岩群, 主体属于构造混杂岩, 组成复杂, 变质程度不一; 勉略构造混杂岩带, 由不同性质的火山岩岩块和强烈变形的基质组成; 沿西金乌兰-玉树弧-陆碰撞带断续分布的宁多岩群, 以变质碎屑岩为主, 角闪岩相-高绿片岩相变质。下古生界在东昆仑称为纳赤台岩群, 主体属于混杂岩, 夹有少量弧有关的沉积建造, 绿片岩相变质为主。晚古生代地质体除南昆仑、西金乌兰-金沙江蛇绿混杂岩外, 在东昆仑西段为弧背-楔顶盆地环境的活动型碎屑岩-火山岩-碳酸盐岩沉积, 零星出露的上二叠统为浅海-海陆过渡相沉积, 与下伏地层呈角度不整合接触。勉略地区以浅海相碳酸盐岩为主, 少量碎屑岩。黄羊岭-巴颜喀拉残留洋盆南北两侧零星出露的二叠系有深海复理石沉积、洋岛玄武岩-碳酸盐岩两类建造。三叠系在黄羊岭-巴颜喀拉残留洋盆为深海碎屑岩沉积, 总体具有从下向上海水变浅的趋势, 其他地区分布的三叠系以浅海相碎屑岩沉积为主。侏罗系及其之后为陆相沉积。

南昆仑-巴颜喀拉洋板块系统蛇绿岩非常发育, 在西昆仑西端的塔阿西一带有寒武纪的蛇绿岩, 呈构造岩片产出在原划的古元古代布伦阔勒岩群中, 形成环境有洋中脊型和 SSZ 型, 与之相伴的还有早三叠世的高压变质岩。康西瓦-苏巴什蛇绿混杂岩带岩石地球化学特征类似 MORB, 显示 T-MORB 的特点。东昆仑从纳赤台-布尔汗布达山弧-陆碰撞带早古生代蛇绿岩和增生杂岩, 到东昆仑西段阿克塔格-落雁山弧后盆地、温泉水库-醉马滩弧后盆地+弧背盆地、木孜塔格-阿尼玛卿弧-陆碰撞带晚古生代—中三叠世蛇绿岩和增生杂岩, 具有长期连续增生的特点。蛇绿岩呈带状断续延伸, 也有呈构造透镜状弥散性分布在早古生代纳赤台岩群、晚古生代布青山岩群和三叠系增生楔

中, 其中玄武岩地球化学特征显示有洋中脊、洋岛、弧前等多种构造环境。在该带的北侧, 伴有断续长达 1000 km 的高压变质带, 榴辉岩原岩年龄有新元古代信息, 峰期变质年龄为奥陶纪, 退变质年龄在 415 Ma 前后。勉略蛇绿混杂岩带从西往东分布于迭部南—略阳—洋县一带, 与现代 N-MORB 和阿曼 Semail 蛇绿岩套的基性岩相同 (潘桂棠等, 2016), 其中变质超镁铁质和铁镁质岩块的系列 Sm-Nd 等时年龄为 913 ± 20 Ma ~ 808 ± 10 Ma (张宗清等, 1996, 2005; 闫全人等, 2007)。构造基质包括有南华纪到石炭纪各岩石地层单元的成分, 变形强烈, 其中卷入大量橄榄岩、橄长岩、辉绿岩等蛇绿岩组分, 具有增生杂岩的特点。

西金乌兰蛇绿混杂岩近东西向沿碎石山、可可西里蛇形沟、治多、隆宝、玉树断续产出, 向东分为两个带, 南与潘桂棠等 (2013) 所称的“金沙江蛇绿混杂岩带”相连接, 向东与甘孜蛇绿混杂带相连。其中化石、同位素测年结果显示有石炭纪、二叠纪以及三叠纪, 具有 SSZ 型、MORB 型蛇绿岩的地球化学特征。歇武-甘孜蛇绿混杂岩, 出露于查涌—康巴让赛和立新一歇武一带, 形成于二叠—三叠纪, 具有弧前、弧后蛇绿岩的岩石地球化学特征。

南昆仑-巴颜喀拉洋板块系统侵入岩比较发育, 在康西瓦-苏巴什弧-陆碰撞带、黄羊岭-巴颜喀拉残留洋盆 (CT₂) + 前陆盆地, 寒武纪—志留纪英云闪长岩和二长花岗岩属于 TTG 岩套的组分, 属于俯冲型侵入岩组合, 与洋盆早期的俯冲和弧-陆碰撞有关。三叠纪英云闪长岩、二长花岗岩和石英闪长岩, 属于俯冲型侵入岩组合。

东昆仑藭县纪石英闪长岩和中元古代超镁铁质杂岩构成了双峰式侵入岩组合, 可能与裂谷岩浆作用相关。早古生代为洋盆俯冲相关的侵入岩组合, 晚古生代为洋盆俯冲作用相关的侵入岩组合。东昆仑三叠纪侵入岩属于滞后俯冲型侵入岩组合, 与东昆仑晚古生代洋盆的滞后俯冲作用相关。侏罗纪属于后造山型侵入岩组合。

勉略弧-陆碰撞带新太古代晚期花岗片麻岩为基底的组成部分。中新元古代基性杂岩、超镁铁质岩属于蛇绿岩的组成部分。三叠纪花岗闪长岩可能属于滞后俯冲型侵入岩, 少量晚三叠世花岗闪长岩构造属性不清。

巴颜喀拉三叠纪二长花岗岩、二长岩、闪长

岩构成了俯冲型侵入岩组合,与西金乌兰—玉树洋盆向北俯冲作用相关。侏罗纪二长花岗岩、花岗斑岩、正长花岗岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、英云闪长岩属于滞后俯冲型侵入岩组合,是西金乌兰—玉树洋盆的滞后俯冲效应。少量侵入于三叠系中基性杂岩,推断形成于侏罗纪。

2.7 北羌塘多岛弧盆系 (VII)

包括甜水海地块、碧口地块、北羌塘地块等3个三级构造单元,属于古特提斯洋与扬子陆块及其边缘相互作用的产物。

北羌塘多岛弧盆系早前寒武纪地质体出露有限,甜水海地块的古元古宙布伦勒勒岩群为角闪岩相的无序变质杂岩。在碧口地块,称为鱼洞子岩群,岩石组合为斜长角闪岩—浅粒岩—磁铁石英岩—花岗质混合岩,具花岗—绿岩带组成特征;北羌塘的古元古宙吉塘岩群形成时代存在争议,为高绿片岩相—角闪岩相的无序变质杂岩。

北羌塘多岛弧盆系中元古界出露比较广泛。甜水海地块长城纪甜水海岩群为深海相含火山碎屑物质的陆源浊流沉积,低绿片岩相变质;青白口纪肖尔克谷地岩群为碎屑岩、白云岩组合,含叠层石。碧口地块青白口纪秧田坝组为一套浅变质海相陆缘+弧源碎屑浊流沉积,碧口岩群是一套海相以基性和中酸性火山熔岩及同源火山碎屑岩为主的火山—沉积组合,碧口地块南部青白口系为构造混杂岩,由洋壳残块、增生杂岩、蓝闪石片岩和强烈变形的基质组成。北羌塘的中元古界宁多岩群,为一套高绿片岩相—角闪岩相的无序变质杂岩,原岩是一套以海相碎屑岩为主的建造。

北羌塘多岛弧盆系新元古界分布比较有限。甜水海地块和北羌塘地块缺失南华纪沉积,碧口地块南华系含有冰碛层。甜水海地块、碧口地块和北羌塘地块古生代沉积均为海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积,以稳定型沉积为主。碧口地块缺失石炭纪—三叠纪沉积,侏罗纪转化为陆相沉积。甜水海地块和北羌塘地块,晚古生代—侏罗纪主体为浅海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积,夹少量火山岩。北羌塘地块白垩纪转化为陆相沉积,甜水海地块海陆交互地层持续到古近纪。

蛇绿岩仅在碧口地块和北羌塘地块有分布。碧口地块蛇绿岩比较少,只在南缘沿着桅杆梁弧—陆碰撞带断续出露青白口纪蛇绿混杂岩,蛇绿岩由超镁铁质岩及镁铁质岩组成,伴有低级蓝闪石

片岩。在北羌塘地块内部还有少量的基性—超基性岩带,部分被认为是蛇绿混杂岩。玉树蛇绿混杂岩,向东南可与金沙江蛇绿混杂岩带(潘桂棠等,2013)相连接,形成时代有石炭纪、二叠纪以及三叠纪,有SSZ型、MORB型蛇绿岩的地球化学特征。拜若布错—乌兰乌拉—澜沧江岩带的基性—超基性岩体时代分为两个阶段,早期多集中在二叠纪,与浅海—一次深海碎屑岩夹中基性火山岩建造相伴产出,反映大陆边缘裂谷环境,晚期可能为侏罗纪时期的产物。

侵入岩在甜水海地块、碧口地块、北羌塘地块均有分布。甜水海地块中元古代花岗闪长岩可能与这一时期的裂谷岩浆作用相关,属于裂谷型侵入岩。二叠纪英云闪长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩及闪长岩主要出露于该单元西段,属于俯冲型侵入岩组合,可能与西昆仑晚古生代洋盆向南西西向的俯冲有关。时代不明的辉绿玢岩可能属于石炭纪—早二叠世时期,与陆缘裂谷岩浆作用相关。三叠纪二长花岗岩、闪长岩和石英闪长岩属于滞后俯冲型,与南侧西金乌兰—玉树洋盆西延部分的向北的滞后俯冲作用相关。侏罗纪二长花岗岩、白垩纪英云闪长岩、二长花岗岩和花岗闪长岩,与班怒带向北的俯冲作用有关。新近纪正长花岗岩属于后碰撞型侵入岩类,与欧亚大陆与印度次大陆的后碰撞岩浆作用相关。碧口地块新元古代发育英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、闪长岩、基性杂岩组合,具有类似TTG的组合特征,与青白口纪碧口岩群火山岩构成弧岩浆组合。志留纪为花岗闪长岩和石英闪长组合,晚古生代有少量辉绿玢岩。三叠纪二长花岗岩、花岗岩、花岗闪长岩、闪长玢岩组合,具有俯冲型侵入岩组合特征。北羌塘地块三叠纪石英闪长岩以及侏罗纪石英二长闪长岩具有I型花岗岩特征。白垩纪正长花岗岩、二长花岗岩和正长岩属于后造山型。古近纪二长花岗岩、安山玢岩及新近纪正长岩属于后碰撞型侵入岩组合。

2.8 扬子陆块区 (VIII)

西北地区仅涉及上扬子陆块西北的汉南岩浆弧+岛弧,属于扬子陆块的边缘。

汉南岩浆弧+岛弧古元古界基底岩系后河岩群是一套高绿片岩相—角闪岩相的无序变质杂岩,原岩为以海相火山岩+碎屑岩为主的建造。中元古界火地垭群是海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积夹有少量

中酸性火山岩, 绿片岩相变质。青白口纪铁船山组、西乡群为海相中基性+酸性火山岩+碎屑岩组合。南华纪为河流相—滨浅海相碎屑岩沉积、含冰成沉积。震旦纪—中三叠世为海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积。晚三叠世为海陆过渡相沉积, 侏罗纪以来为陆相沉积。

汉南岩浆弧+岛弧未见蛇绿岩报道。有两个阶段的侵入岩, 新元古代时期为英云闪长岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、闪长岩、二长闪长岩、石英闪长岩、正长花岗斑岩组合。晚古生代有少量二长花岗岩。

2.9 双湖—班公湖洋板块系统 (IX)

分布于班公错以北、龙木错以南, 向南东方向延伸经布拉错、热那错至拉丁错一带, 总体呈北西南东向展布。包括龙木错—双湖蛇绿混杂岩带、多玛地块、南羌塘残余盆地、扎普—多不杂岩岩浆弧带、班公湖—怒江蛇绿混杂岩、左贡地块、聂荣残余弧地块、嘉玉桥残余弧地块 8 个三级单元。西北地区仅涉及多玛地块西端。

多玛地块西端缺失下石炭统及之前地层, 晚石炭世—早二叠世早期为冰水沉积, 晚石炭世擦蒙组以冰水沉积为主。晚石炭世—早二叠世展金组为火山岩与砂板岩互层, 富含 *Ambikella*、*Eurydesma* 等典型冷水腕足、双壳、小单体珊瑚等化石及暖水型动物化石。侏罗系、白垩系为浅海相碳酸盐岩沉积, 是主要的铅锌含矿层位, 缺失新生代地层。

多玛地块西端未见蛇绿岩报道。仅见有白垩纪时期的中酸性侵入岩, 以英云闪长岩、二长花岗岩为主, 属于 I 型花岗岩, 与班公湖—怒江混杂岩带代表的特提斯洋盆北向俯冲作用有关。

3 关键问题的讨论

中国西北南华纪—古生代地质演化经历了 Rodina 超大陆裂解、冈瓦纳大陆形成、冈瓦纳大陆裂解、“潘基亚”大陆形成的全球大背景 (Zhao et al., 2018)。秦祁昆古生代造山带属于古特提斯构造域还是古亚洲构造域? 古亚洲构造域是一阶段演化还是两阶段演化以及古亚洲主洋盆残迹的位置的分歧, 根本原因是原—古特提斯洋盆是否存在以及中国诸陆 (地) 块的位置。本文在综合考虑古地磁、生物与沉积古地理、沉积与隆升事件、岩浆事件、变形与变质事件、同位素组成反映的

源区及垂向增生事件等的基础上, 给出了中国西北主要陆 (地) 块在全球构造中的位置 (图 2)。

在综合前期研究的基础上 (计文化等, 2014; 李荣社等, 2011), 本文重点对古主洋盆位置及其演化过程的主要分歧进行讨论。古亚洲构造域洋盆在西北地区的残迹从北向南有额尔齐斯—斋桑、塔尔巴哈台、扎河坝—阿尔曼泰、卡拉麦里, 西准噶尔的唐巴勒、玛依勒山和达拉布特, 北天山、康古尔塔格—红石山、南天山—红柳河、牛圈子—洗肠井等蛇绿岩或混杂岩带, 近年来柳园—辉铜山一带的早—中二叠世金塔组玄武岩分布区, 也被称为柳园混杂岩带。以往学者关于这些蛇绿岩、混杂岩的区域延伸及区域地质意义认识有不同意见 (左国朝等, 2003; 王洪亮等, 2007; 徐学义等, 2008; Xiao et al., 2015; Han and Zhao, 2018; Zhao et al., 2018), 其中北天山—红石山—恩格尔乌苏混杂岩带 (蔡志慧等, 2012; Zhou et al., 2018; Han and Zhao, 2018)、南天山—洗肠井—查干础鲁混杂岩带 (左国朝等, 2003; Han and Zhao, 2018; 牛亚卓, 2019) 是争论的焦点。

本文提出斋桑—额尔齐斯、北天山—康古尔塔格—红石山作为古亚洲主洋盆的残迹 (图 1), 主要基于以下几个方面的考虑。①该构造混杂岩带中蛇绿岩延续时间长, 唐巴勒和玛依勒山形成于寒武纪 (肖序常等, 1992; 张弛和翟明国, 1993; 何国琦等, 1994; 王志洪, 2000; Wang et al., 2003; 赵磊等, 2013), 最新发现的大草滩蛇绿岩形成于早奥陶世 (王国灿等, 未发表), 巴音沟蛇绿岩形成于石炭纪 (徐学义等, 2006), 表明洋盆的演化历史不短于 3 亿年。②该带南 (西) 侧的伊犁—中天山地区南华纪—震旦纪的冰碛层和火山碎屑沉积、寒武系的含磷层位与塔里木非常相似, 但向北东不越过北天山, 表明其是重要的沉积古地理分区界线。③生物古地理研究结果表明, 从晚志留世到晚石炭世, 该带是两个生物大区的边界 (翟毓沛, 1981; Yin, 1994; Rong et al., 1995; Yue et al., 2001); 早—中二叠世北山雀儿山、双鹰山和石板山地区发育北方大区 and 特提斯大区混生的腕足类动物群, 开始出现北方冷水型与特提斯暖水型混生且后者逐渐增多的现象 (朱伟元, 1983; Shi et al., 1995), 表明生物分区界线的作用逐渐消失。④北天山—康古尔塔格石炭—二叠纪的岩浆岩锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值几乎都为正值; 而中天

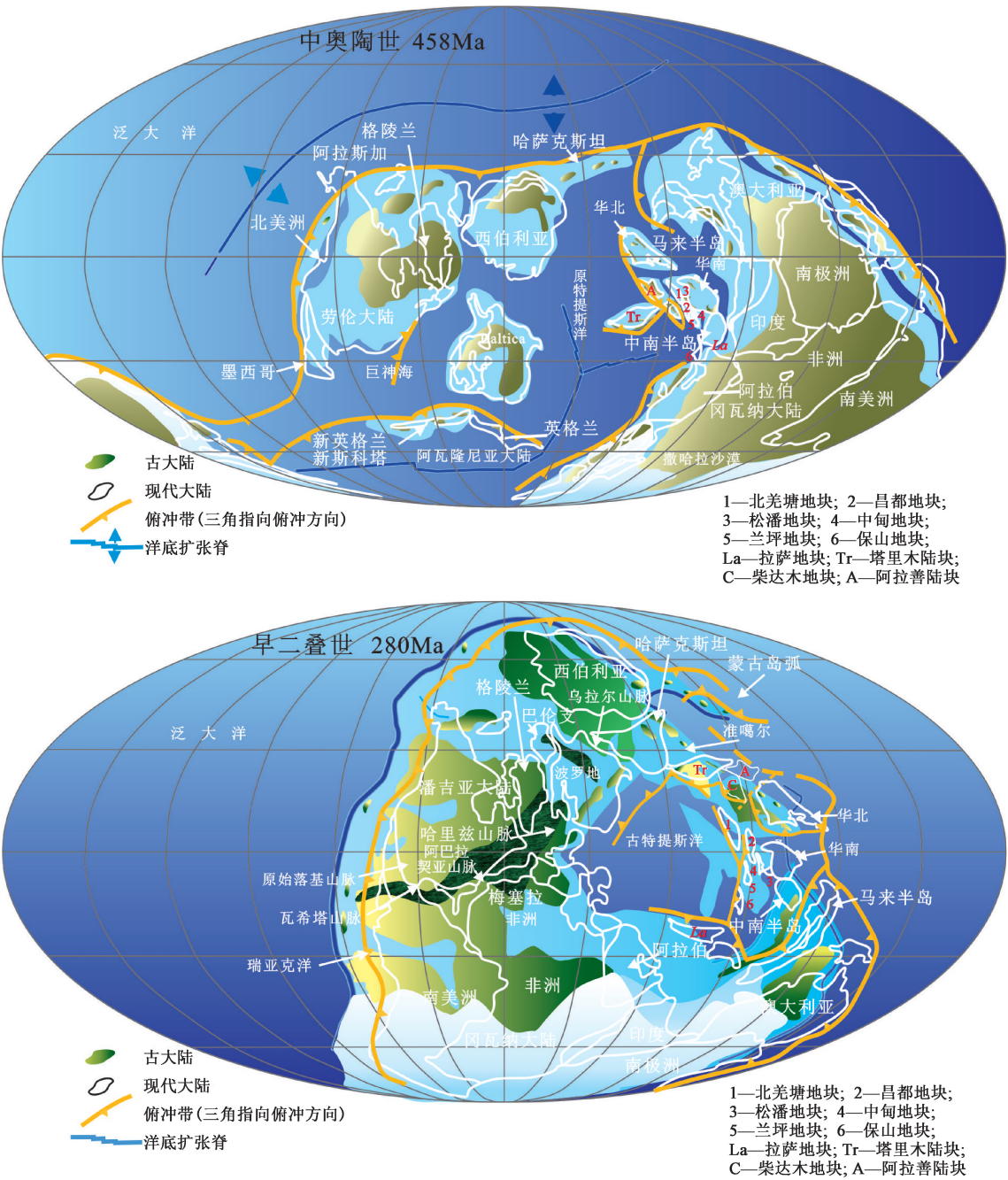


图 2 中奥陶世、早二叠世构造古地理复原图 (据 Scotese, www. scotese. com; Mc Elhinny, 1973; Van der Voo, 1990; 程鑫等, 2013 修改)

Fig. 2 Tectonic paleogeography restoration map of the Middle Ordovician and Early Permian (modified after Scotese, www. scotese. com; Mc Elhinny, 1973; Van der Voo, 1990; Cheng et al. , 2013)

山、北山石炭—二叠纪侵入岩锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值有正有负，表明二者的源区存在很大差异。⑤该带以南形成于二叠纪的大型走滑构造系统主体显示右行走滑，该带以北显示左行走滑（蔡志慧等，2012；王凯等，2019）。

西北地区北部古生代的洋、弧、地块、陆块的配置关系及演化过程如图 3 所示。南华纪—震旦

纪，塔里木陆块北缘的库鲁克塔格群陆源碎屑沉积夹冰碛层、数层基性火山岩，伊犁地块凯的拉克提群含双峰式火山岩及冰成沉积碎屑岩建造，可看作是超大陆裂解的前兆（夏林圻等，2002）。西准噶尔唐巴勒地区蛇绿岩形成年龄介于 508 ~ 520 Ma（肖序常等，1992），玛依勒蛇绿岩形成年龄为 572 Ma（杨高学等，2013），东天山红柳河地

区蛇绿岩形成于 516 Ma (张元元和郭召杰, 2008), 表明天山及邻区最晚在早寒武世洋盆已经出现。中天山南缘夏特—那拉提一带出露的晚寒武世、早奥陶世中酸性侵入岩, 表明天山及邻区洋—陆俯冲作用至迟在晚寒武世已经启动。

晚寒武世—奥陶纪为多岛洋演化阶段, 在阿尔泰、中天山、塔里木北缘、北山一带形成了一系列的岛弧、陆缘洋盆, 洋—陆、洋—弧的俯冲作用导致了广泛发育的复杂多变的弧岩浆—沉积—变质作用。志留纪末期—早泥盆世, 伊犁—中天山地块(岛弧)、明水—早山地块(岛弧)以及北山微地块陆续与塔里木、敦煌、阿拉善陆块碰撞, 其间的南天山洋盆、红柳河—牛圈子—洗肠井洋盆相继闭合。这次以弧—陆为主的碰撞事件的沉积响应中, 塔里木北缘、中天山、北山等地或缺失中上泥盆统, 或者中下泥盆统与下伏志留系的角度不整合。弧—陆碰撞致使俯冲作用停滞和俯冲位置的迁移, 其岩浆响应表现为西天山花岗岩浆活动在 390~380 Ma (中泥盆世初) 存有一个花岗岩浆活动宁静期(李平, 2011)。中泥盆世—石炭纪, 向南的俯冲作用主要位于北天山—康古尔塔格一带, 在伊犁—中天山叠加了同时代的陆缘弧, 如雅满苏弧火山岩。在红柳园一带, 受俯冲作用引起的陆缘裂解作用影响, 发育了陆缘裂谷, 沉积了以石炭纪的浅海相碎屑岩—火山岩为主的地层。早、中二叠世, 向南俯冲的洋板块断离, 形成了柳园一带近东西向带状分布的火山岩、侵入岩组合。

在阿尔泰、东准噶尔保留了从北向南依次变新的俯冲增生带, 扎河坝—阿尔曼泰蛇绿岩为寒武—奥陶系, 在早志留世已经拼贴到阿尔泰山南缘, 其上沉积了中志留统一泥盆系楔顶盆地为主的浅海、海陆过渡相沉积。卡拉麦里蛇绿岩形成于泥盆纪, 在晚泥盆世末期拼贴到阿尔泰山南缘(李锦轶等, 2009), 其上沉积了石炭纪的浅海相楔顶盆地沉积, 也导致阿尔曼泰以北的二台子地区下石炭统与下伏地层的普遍角度不整合。西准噶尔地区, 表现为从西向东混杂岩带依次变新的规律, 因新生代沉积覆盖, 最终的闭合位置不清楚。

4 结论

(1) 通过对沉积建造、岩浆建造、变质变形

的综合分析, 将西北地区南华纪—古生代的构造单元厘定为 2 个一级、9 个二级、46 个三级和 112 个四级构造单元。

(2) 提出斋桑—额尔齐斯—唐巴勒—达拉布特—北天山—康古尔塔格—红石山是古亚洲主洋盆的残迹, 其北东侧为主洋盆与西伯利亚陆块相互作用的弧盆系, 南侧为主洋盆与塔里木—阿拉善相互作用的弧盆系。

(3) 中国诸陆(地)块在古生代期间是介于原—古特提斯洋与古亚洲洋之间的“陆链”, 秦祁昆早古生代造山带属于特提斯构造域的成部分。

致谢: 本文是在西北主要成矿带地质矿产调查工程 8 个二级项目成果的基础上总结概括而成的, 包括中国地质调查局西安地质调查中心、国土资源实物地质资料中心、郑州矿产综合利用研究所、中国地质科学院矿产资源研究所、陕西省地质矿产勘查开发局、新疆维吾尔自治区地勘局、甘肃省地质矿产勘查局、青海省地质矿产勘查局、中国冶金地质总局、中化地质矿山总局的同行提供了大量实际资料; 得到潘桂棠研究员、冯益民研究员、张克信教授、王永和教授级高工、林寿发教授交流讨论的启发; 与牛亚卓博士、许伟博士针对北山地区构造属性进行了有益讨论, 在此一并致以谢意。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region, 1993. Regional geological records of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House: 70-241. (in Chinese)
- CAI K D, SUN M, YUAN C, et al., 2011. Geochronology, petrogenesis and tectonic significance of peraluminous granites from the Chinese Altai, NW China [J]. Lithos, 127 (1-2): 261-281.
- CAI Z H, XU Z Q, HE B Z, et al., 2012. Age and tectonic evolution of ductile shear zones in the eastern Tianshan Beishan orogenic belt [J]. Acta Petrologica Sinica, 28 (6): 1875-1895. (in Chinese with English abstract)
- CHEN D L, SUN Y, LIU L, et al., 2007. The metamorphic ages of the country rock of the Yukahe eclogites in the North Qaidam and its geological significance [J]. Earth Science Frontiers, 14 (1): 108-116. (in Chinese with English abstract)
- CHEN J F, HAN B F, ZHANG L, 2010. Geochemistry, Sr-nd isotopes and tectonic implications of two generations of Late Paleozoic plutons in northern West Junggar, Northwest China [J]. Acta Petrologica Sinica, 26 (8): 2317-2335. (in Chinese with English abstract)
- CHEN J L, XU X Y, WANG Z Q, et al., 2008. Geological features and

- SHRIMP U-Pb zircon age of the Yanwan-Yinggezui ophiolitic mélangé in the Taibai area, West Qinling, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27 (4): 500-509. (in Chinese with English abstract)
- CHENG X, WU H N, DIAO Z B, et al., 2013. Paleomagnetic data from the Late Carboniferous-Late Permian rocks in eastern Tibet and their implications for tectonic evolution of the northern Qiangtang-Qamdo block. *Science China Earth Sciences*, 56 (7): 1209-1220.
- CHU F, ZHAO T Y, ZHANG J D, et al., 2013. Geochemical Characteristics and Geochronology of Sherbulake Ophiolite in Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 31 (3): 167-172. (in Chinese with English abstract)
- DOBRETISOV N L, COLEMAN R G, LIOU G, et al., 1987. Blueschists belts in Asia and possible periodicity of blueschists facies metamorphism [J]. *Ofioliti*, 12: 445-456.
- DONG L H, ZHU Z X, QU X, et al., 2010. Spatial distribution, geological features and latest research Progress of the main ophiolite zones in Xinjiang, NW-China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26 (10): 2894-2904. (in Chinese with English abstract)
- DONG L H, QU X, ZHAO T Y, et al., 2012. Magmatic sequence of Early Palaeozoic granitic intrusions and its tectonic implications in north Altay orogen, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (8): 2307-2316. (in Chinese with English abstract)
- DONG Y P, ZHOU D W, ZHANG G W, et al., 2006. Geology and geochemistry of the Gangou ophiolitic mélangé at the northern margin of the Middle Tianshan Belt [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (1): 49-56. (in Chinese with English abstract)
- DONG Y P, SANTOSH M, 2016. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China [J]. *Gondwana Research*, 29 (1): 1-40.
- DONG Z C, HAN Y G, ZHAO G C, et al., 2018. Zircon U-Pb ages and Hf isotopes of Paleozoic metasedimentary rocks from the Habahe Group in the Qinghe area, Chinese Altai and their tectonic implications [J]. *Gondwana Research*, 61: 100-114.
- FU C L, YAN Z, GUO X Q, et al., 2014. Geochemistry and SHRIMP zircon U-Pb age of diabbases in the Lajishankou ophiolitic mélangé, South Qilian terrane [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30 (6): 1695-1706. (in Chinese with English abstract)
- GAO J, TANG Y Q, ZHAO M, et al., 1994. Blueschists discovered in Kumishi, South Tianshan and their tectonic significance. *Proceedings of the 29th international geological congress (Part B)*, 115-118.
- GAO Z J, CHEN J L, LU S N, et al., 1993. Precambrian in northern Xinjiang (A), *Precambrian geology* No. 6 (C). *Precambrian geology* [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-171. (in Chinese)
- GU P Y, 2018. Tectonic attribution of the Early Precambrian basement and geological evolution in Annanba area, southeastern Tarim [D]. Xi'an: Chang'an University. (in Chinese with English abstract)
- GUO A L, ZHANG G W, SUN Y G, et al., 2007. Sr-Nd-pb isotopic geochemistry of late-paleozoic mafic volcanic rocks in the surrounding areas of the Gonghe basin, Qinghai province and geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (4): 747-754. (in Chinese with English abstract)
- HAN B F, WANG S G, JAHN B M, et al., 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur river A-type granites from North Xinjiang, China: Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth [J]. *Chemical Geology*, 138 (3-4): 135-159.
- HAN B F, JI J Q, SONG B, et al., 2004. SHRIMP zircon U-Pb ages of Kalatongke No. 1 and Huangshandong Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complexes, North Xinjiang and geolocal implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49 (22): 2424-2429.
- HAN B F, JI J Q, SONG B, et al., 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (5): 1077-1086. (in Chinese with English abstract)
- HAN Y G, ZHAO G C, 2018. 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-Science Reviews*, 186: 129-152.
- HE G Q, LI M S, LIU D Q, 1994. Paleozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang of China [M]. Urumqi: Volksverlag Xinjiang: 1-437. (in Chinese)
- HE G Q, LI M S, JIA J D, et al., 2001. A Discussion on Age and Tectonic Significance of Ophiolite in Eastern Junggar, Xinjiang. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 37 (6): 852-858. (in Chinese with English abstract)
- HOU Q Y, ZHANG H F, ZHANG B R, et al., 2005. Characteristics and tectonic affinity of Lajishan paleo-mantle in Qilian Orogenic Belt: A geochemical study of basalts [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30 (1): 61-70. (in Chinese with English abstract)
- HU A Q, ZHANG G X, ZHANG Q F, et al., 2002. A review on ages of Precambrian metamorphic Rocks from Altai orogen in Xinjiang, NW China [J]. *Chinese Journal of Geology*, 37 (2): 129-142. (in Chinese with English abstract)
- JI W H, CHEN S J, LI R S, et al., 2014. Characteristics of paleozoic tectonics and evolution of lithofacies and palaeogeography of the Qinghai-Tibet plateau and its adjacent areas [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 270-304. (in Chinese)
- JIAO J G, WANG Y, QIAN Z Z, et al., 2014. Tentative discussion on rock-forming and ore-forming mechanism of Kalatongke Cu-Ni sulfide deposit and chronology of Kalatongke Y9 intrusion [J]. *Mineral Deposits*, 33 (4): 675-688. (in Chinese with English abstract)
- KHERASKOVA T N, BUSH V A, DIDENKO A N, et al., 2010. Breakup of Rodinia and early stages of evolution of the Paleasian ocean [J]. *Geotectonics*, 44 (1): 3-24.
- KOU X H, ZHU Y H, ZHANG K X, et al., 2007. Discovery and geochemistry of upper permian volcanic rocks in tongren area, qinghai province and their tectonic significance [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences—Journal of China*

- University of Geosciences, 32 (1): 45-50, 58. (in Chinese with English abstract)
- KOU X H, ZHANG K X, ZHU Y H, et al., 2009. Middle Permian seamount from Xiahe area, Gansu province, northwest China: Zircon U-Pb age, biostratigraphy and tectonic implications [J]. *Journal of Earth Science*, 20 (2): 364-380.
- LI H J, HE G Q, WU T R, et al., 2006. Confirmation of Altai-mongolia microcontinent and its implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (5): 1369-1379. (in Chinese with English abstract)
- LI J Y, 1995. Main characteristics and emplacement processes of the east Junggar ophiolites, Xinjiang, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11 (S1): 73-84. (in Chinese with English abstract)
- LI J Y, 2004. Late neoproterozoic and paleozoic tectonic framework and evolution of eastern Xinjiang, NW China [J]. *Geological Review*, 50 (3): 304-322. (in Chinese with English abstract)
- LI J Y, 2009. Cycles and Stages of Geological History of China Mainland [J]. *Geology in China*, 36 (3): 504-527. (in Chinese with English abstract)
- LI J Y, HE G Q, XU X, et al., 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80 (1): 148-168. (in Chinese with English abstract)
- LI P, 2011. The Petrogenesis of paleozoic granites in the middle and west segment of the Central Tianshan and constrain to the process of the ocean-continent transition of the Tianshan [D]. Xi'an: Chang'an University. (in Chinese with English abstract)
- LI P F, SU N M, ROSENBAUM G, et al., 2017. Late paleozoic closure of the Ob-Zaisan Ocean along the Irtysh shear zone (NW China): Implications for arc amalgamation and oroclinal bending in the Central Asian orogenic belt [J]. *GSA Bulletin*, 129 (5-6): 547-569.
- LI R S, JI W H, HE S P, et al., 2011. The two tectonic domain division discussion between the ancient Asian and tethys in Western China [J]. *Xinjiang Geology*, 29 (3): 247-250. (in Chinese with English abstract)
- LI R S, CHEN J L, MA Z P, et al., 2016. Recognition and confirmation of paleozoic accretionary wedges in Subducted orogenic zone, Northwest China [J]. *Geological Survey of China*, 3 (1): 44-51. (in Chinese with English abstract)
- LI T D, POLIYANGSJI B H, 2001. Tectonics and crustal evolution of Altai in China and Kazakhstan [J]. *Xinjiang Geology*, 19 (1): 27-32. (in Chinese with English abstract)
- LI T F, ZHANG J X, 2014. Zircon LA-ICP-MS-U-Pb ages of websterite and basalt in Kudi ophiolite and the implication, West Kunlun [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30 (8): 2393-2401. (in Chinese with English abstract)
- LI W Q, MA H D, WANG R, et al., 2008. SHRIMP dating and Nd-Sr isotopic Tracing of Kangguertage ophiolite in eastern Tianshan, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (4): 773-780. (in Chinese with English abstract)
- LIU B, QIAN Y X, 2003. The geologic characteristics and fluid evolution in the three high-pressure metamorphic belts of eastern Tianshan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19 (2): 283-296. (in Chinese with English abstract)
- LIU L, ZHANG A D, CHEN D L, et al., 2007. Implications based on LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of eclogite and its country rock from Jianggalesayi area, Altyn Tagh, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 14 (1): 98-107.
- LIU W, ZHANG X B, 1993. The character of structure complex belt in Ulungur-Zaysan and its geological significance [M] // TU G C. *The New Achievement of Geoscience in Northern China*. Beijing: Science Press: 217-228. (in Chinese)
- LIU W, LIU X J, XIAO W J, 2012. Massive granitoid production without massive continental-crust growth in the Chinese Altay: insight into the source rock of granitoids using integrated zircon U-Pb age, Hf-Nd-Sr isotopes and geochemistry [J]. *American Journal of Sciences*, 312 (6): 629-684.
- LIU Y, YANG J X, HU J M, et al., 2013. Restricting the deposition age of the Kanas Group of Altai tectonic belt and its implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29 (3): 887-898. (in Chinese with English abstract)
- LU S N, LI H K, CHEN Z H, et al., 2004. Relationship between Neoproterozoic cratons of China and The Rodina [J]. *Earth Science Frontiers*, 11 (2): 515-523. (in Chinese with English abstract)
- LU S N, YU H F, LI H K, et al., 2009. Precambrian geology of central orogenic belt (central and western) [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-203. (in Chinese)
- MCELHINNY M W, 1973. *Palaeomagnetism and Plate Tectonics* [M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- NIU Y Z, 2019. Late Paleozoic paleogeographic reconstruction and tectonic implication of the Beishan Region, NW China [D]. Xi'an: Northwestern University. (in Chinese with English abstract)
- PAN G T, WANG L Q, ZHANG W P, et al., 2013. The instructions of tectonic map in Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent areas (1: 1500000) [M]. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese)
- PAN G T, LU S N, XIAO Q H, et al., 2016. Division of tectonic stages and tectonic evolution in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 23 (6): 1-23. (in Chinese with English abstract)
- PAN G T, XIAO Q H, YI F G, et al., 2017. *Geotectonics in China* [M]. Beijing: Geological Publishing House. (in Chinese).
- PENG C W, 1989. Discovery and geological significance of micropaleoflora from The Habahe Group in Baikaba district of Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 1989, 7 (4): 19-22. (in Chinese with English abstract)
- QIAN Q, XU S L, HE G Q, et al., 2007. Elemental geochemistry and tectonic significance of Cambrian basalts from the northern side of the Nalati Mountain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (7): 1708-1720. (in Chinese with English abstract)
- QU G S, HE G Q, 1992. The orogeny in the Altaides [J]. *Acta Geologica Sinica*, 66 (3): 193-205. (in Chinese with English abstract)
- RONG J Y, BOUCOT A J, SU Y Z, et al., 1995. Biogeographical analysis of Late Silurian brachiopod faunas, chiefly from Asia and

- Australia [J]. *Lethaia*, 28 (1): 39-60.
- SHI G R, ARCHBOLD N W, ZHAN L P, 1995. Distribution and characteristics of mixed (transitional) mid-Permian (Late Artinskian-Ufimian) marine faunas in Asia and their palaeogeographical implications [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 114 (2-4): 241-271.
- SONG T Z, WANG J, LIN H, et al., 2008. The geological features of ophiolites of xiaohuangshan in Beishan area, Inner Mongolia [J]. *Northwestern Geology*, 41 (3): 55-63. (in Chinese with English abstract)
- SUN M, YUAN C, XIAO W J, et al., 2008. Zircon U-Pb and Hf isotopic study of gneissic rocks from the Chinese Altai: Progressive accretionary history in the early to middle Palaeozoic [J]. *Chemical Geology*, 247 (3-4): 352-383.
- TANG Y Q, GAO J, ZHAO M, et al., Ophiolite and blueschist in southwestern Tianshan [M]. Beijing: Geological Publishing House (1-133). (in Chinese).
- TONG Y, WANG T, HONG D W, et al., 2005. Zircon U-Pb age of syn-orogenic tielieke pluton in the western part of altay orogenic belt and its structural implications [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 26 (S1): 74-77. (in Chinese with English abstract)
- TONG Y, HONG D W, WANG T, et al., 2006a. TIMS U-Pb zircon ages of Fuyun post-orogenic linear granite plutons on the southern margin of Altay orogenic belt and their implications [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25 (2): 85-89. (in Chinese with English abstract)
- TONG Y, WANG T, KOVACH V P, et al., 2006b. Age and origin of the Takeshiken postorogenic alkali-rich intrusive rocks in southern Altai, near the Mongolian border in China and its implications for continental growth [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (5): 1267-1278. (in Chinese with English abstract)
- TONG Y, WANG T, HONG D W, et al., 2006c. Pb isotopic composition of granitoids from the Altay Orogen (China): Evidence for Mantle-derived Origin and Continental growth [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80 (4): 517-528. (in Chinese with English abstract)
- TONG Y, WANG T, SIEBEL W, et al., 2012. Recognition of early Carboniferous alkaline granite in the southern Altai orogen: post-orogenic processes constrained by U-Pb zircon ages, Nd isotopes, and geochemical data [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 101 (4): 937-950.
- VAN DER VOO R, 1990. The reliability of paleomagnetic data [J]. *Tectonophysics*, 184 (1): 1-9.
- WANG G Q, LI X M, XU X Y, et al., 2014. Ziron U-Pb chronological study of the Hongshishan ophiolite in the Beishan area and their tectonic significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30 (6): 1685-1694. (in Chinese with English abstract)
- WANG G Y, ZHANG Y T, 1983. Discovery of Sinian microflora in Altay, Xinjiang [J]. *Journal of Stratigraphy*, 7 (4): 313. (in Chinese)
- WANG G Y, ZHANG Y T, 1984. Preliminary division and correlation of Sinian system in Altay Xinjiang [J]. *Journal of Stratigraphy*, 8 (4): 296-300. (in Chinese)
- WANG H L, XU X Y, HE S P, et al., 2007. Geological map of Tianshan Mountain and its adjacent areas, China (1: 1000000) [M]. Beijing: Geological Publishing House: 258-358 (in Chinese)
- WANG J L, WANG R S, ZHOU D W, et al., 1999. A study of tectonites of granulite facies in Yushugou, South Tianshan, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15 (4): 539-547. (in Chinese with English abstract)
- WANG J R, SONG C H, GAO J P, et al., 1995. The original mechanism of the engger us ophiolitic melange, North Alaxa [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Science)*, 31 (2): 140-147. (in Chinese with English abstract)
- WANG K, JI W H, MENG Y, et al., 2019. Deformation in eastern tianshan orogenic belt: response to the final stage of accretionary orogenesis [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 43 (5): 894-910. (in Chinese with English abstract)
- WANG R S, WANG Y, LI H M, et al., 1998. Zircon U-Pb age and its geological significance of high-pressure terrane of granulite facies in Yushugou area, Southern Tianshan mountain [J]. *Geochimica*, 27 (6): 517-522. (in Chinese with English abstract)
- WANG T, HONG D W, TONG Y, et al., 2005. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai orogen: its implications for vertical continental growth [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (3): 640-650. (in Chinese with English abstract)
- WANG T, HONG D W, JAHN B M, et al., 2006. Timing, petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen [J]. *The Journal of Geology*, 2006, 114 (6): 735-751.
- WANG T, TONG Y, LI S, et al., 2010. Spatial and temporal variations of granitoids in the Altay orogen and their implications for tectonic setting and crustal growth: perspectives from Chinese Altay [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29 (6): 595-618. (in Chinese with English abstract)
- WANG X L, GAO X P, LIU Y Q, et al., 2010. The characteristics of heishan structural ophiolite belt in the west part of East Kunlun [J]. *Northwestern Geology*, 43 (4): 218-231. (in Chinese with English abstract)
- WANG Z H, LI J L, HOU Q L, et al., 2000. Geology, geochemistry and genesis of the Kuda ophiolite, western Kunlun, China [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 35 (2): 151-160.
- WANG Z H, SUN S, LI J L, et al., 2003. Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China: geochemical and geochronological constraints from the ophiolites [J]. *Tectonics*, 22 (2): 1014. doi: 10.1029/2002TC00139.
- WINDLEY B F, KRONER A, GUO J H, et al., 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NWChina: new zircon age data and tectonic evolution [J]. *Journal of Geology*, 110 (6): 719-737.
- WU B, HE G Q, WU T R, et al., 2006. Discovery of the Buergen

- ophiolitic mélange belt in Xinjiang and its tectonic significance [J]. *Geology in China*, 33 (3): 477-486. (in Chinese with English abstract)
- WU J, LAN C L, LI J L, et al., 2002. Geochemical evidence of MORB and OIB combination in Hongliugou ophiolite melanges, Altun fault belt [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21 (1): 24-30. (in Chinese with English abstract)
- XIA L Q, XIA Z C, REN Y X, et al., 1991. Marine volcanic rocks from qilian and Qinling mountains [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1-304. (in Chinese)
- XIA L Q, ZHANG G W, XIA Z C, et al., 2002. Constraints on the timing of opening and closinof the Tianshan Paleozoic oceanic basinEvidence from Sinian and Carboniferous volcanic rocks [J]. *Geological Bulletin of China*, (2): 55-62. (in Chinese with English abstract)
- XIA X H, SUN N, SONG S G, et al., 2012. Age and Tectonic Setting of the Aoyougou-Erzhihaladaban Ophiolite in the Western North Qilian Mountains, NW China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 48 (5): 757-769. (in Chinese with English abstract)
- XIAO W J, KRONER A WINDLEY B F, 2009. Geodynamic evolution of Central Asia in the Paleozoic and Mesozoic [J]. *International Journal of Earth Sciences* 98, 1185-1188.
- XIAO W J, WINDLEY B F, ALLEN M B, et al., 2013. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage [J]. *Gondwana Research* 23, 1316-1341.
- XIAO W J, WINDLEY B F, YAN Q R, et al., 2006. SHRIMP zircon age of the aermantai ophiolite in the north Xinjiang area, China and its tectonic implications [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80 (1): 32-37. (in Chinese with English abstrect) XIAO W J, WINDLEY B F, SUN S, et al., 2015. 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*, 43: 477-507.
- XIAO W J, WINDLEY B F, HAN C M, et al., 2018. Late Paleozoic to early Triassic multiple roll-back and oroclinal bending of the Mongolia collage in Central Asia [J]. *Earth-Science Reviews*, 186: 94-128.
- XIAO X C, TANG Y Q, FENG Y M, et al., 1992. Tectonic evolution of northern Xinjiang and its adjacent regions [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-169. (in Chinese)
- XIAO X C, WANG J, SU L, et al., 2003. A further discussion of the Kuda ophiolite, West Kunlun, and its tectonic significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 22 (10): 745-750. (in Chinese with English abstract)
- XU X Y, MA Z P, LI X M, et al., 2003. The discovery of P-MORB in Jigen area of southwest Tianshan Mountains and its tectonic implications [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22 (3): 245-253. (in Chinese with English abstrect)
- XU X Y, LI X M, MA Z P, et al., 2006. LA-ICPMS Zircon U-Pb dating of gabbro from the bayingou ophiolite in the northern Tianshan mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80 (8): 1168-1176. (in Chinese with English abstract)
- XU X Y, HE S P, WANG H L, et al., 2008. An introduction to the geology of Northwest China: Qinling, Qilian and Tianshan areas [M]. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- XU X Y, LI R S, CHEN J L, et al., 2014. New constrains on the Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang area [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30 (6): 1521-1534. (in Chinese with English abstrect)
- YAN Q R, WANG Z Q, YAN Z, et al., 2007. SHRIMP analyses for ophiolitic —mafic blocks in the kangxian; Mianxian section of the Mianxian—lueyang melange; their geological implications [J]. *Geological Review*, 53 (6): 755-764. (in Chinese with English abstract)
- YAN Z, WANG Z Q, LI J L, et al., 2012. Tectonic settings and accretionary orogenesis of the West Qinling Terrane, northeastern margin of the Tibet Plateau [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28 (6): 1808-1828. (in Chinese with English abstract)
- YANG G X, LI Y J, YANG B K, et al., 2013. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of the Mayile ophiolitic mélange in West Junggar and implications for source nature [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29 (1): 303-316. (in Chinese with English abstract)
- YANG J S, SHI R D, WU C L, et al., 2004. Recognition of Neoproterozoic ophiolite on the northern margin of the Qaidam basin: evidence of the breakup of Rodinia? [J]. *Geological Bulletin of China*, 23 (9-10): 892-898. (in Chinese with English abstract)
- YANG W P, ZHOU G, ZHANG Z C, et al., 2004. Geochemistry of mafic intrusions on the south margin of the Altay orogenic belt and Cu-Ni sulfide ore potential of these intrusions [J]. *Geological Bulletin of China*, 23 (4): 390-399. (in Chinese with English abstrect)
- YANG Z, DONG Y P, LIU X M, et al., 2006. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Guanzizhen ophiolite, Tianshui, West Qinling, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25 (11): 1321-1325. (in Chinese with English abstract)
- YIN H F, 1994. The paleobiogeography of China [M]. Oxford: Oxford Science Publications.
- YUAN C, SUN M, XIAO W J, et al., 2007. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai; insights from Paleozoic granitoids [J]. *Chemical Geology*, 242 (1-2): 22-39.
- YUE Y J, LIOU J G, GRAHAM S A, 2001. Tectonic correlation of Beishan and Inner Mongolia orogens and its implications for the palinspastic reconstruction of north China [M] //Hendrix M S, Davis G A. *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation*. Geological Society of America, 194: 101-116.
- ZHAI Y P, 1981. Devonian stratigraphy of Gansu province [J]. *Journal of Stratigraphy*, 5 (2): 148-155. (in Chinese)
- ZHANG C, ZHAI M G, 1993. Ophiolite belt and its forming environment in western Junggar [M] //TU G C. *The New Achievement of Geoscience in Northern China*. Beijing: Science Press: 53-78. (in

- Chinese)
- ZHANG G W, GUO A L, DONG Y P, et al., 2019. Rethinking of the Qinling orogen [J]. *Journal of Geomechanics*, 25 (5): 746-768. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG H X, NUI H C, TERADA K et al., 2003. Zircon SHRIMP U-Pb dating on plagiogranite from Kuerti ophiolite in Altay, North Xinjiang [J]. *Scientific Bulletin*, 48 (20): 2231-2235.
- ZHANG J X, MENG F C, YU S Y, et al., 2007. ³⁹Ar-⁴⁰Ar geochronology of high-pressure/low-temperature blueschist and eclogite in the North Altyn Tagh and their tectonic implications. *Geology in China*, 34 (4): 558-864. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG K X, HE W H, JIN J S, et al., 2020. Application of ops to the division of tectonic-strata regions in orogenic belts [J/OL]. *Earth Science*, 2020: 1-25 (2020-06-11) [2020-08-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1874.P.20200610.1517.004.html>. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG Y, XU X Y, CHEN J L, et al., 2012. Geological characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Mayinebo ophiolite in Altay orogenic belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 31 (6): 834-842. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG Y Y, GUO Z J, 2008. Accurate constraint on formation and emplacement age of Hongliuhe ophiolite, boundary region between Xinjiang and gansu Provinces and its tectonic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (4): 803-809. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG Y Y, GUO Z J, 2010. New constraints on formation ages of ophiolites in northern Junggar and comparative study on their connection [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26 (2): 421-430. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG Z C, YAN S H, CHEN B L, et al., 2003. Geochemistry of the Kalatongke basic complex in Xinjiang and its constraints on genesis of the deposit [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22 (3): 217-224. (in Chinese with English abstract)
- ZHANG Z Q, LIU D Y, SONG B, et al., 2005. An Archean block in the Central Qinling orogenic belt: zircon SHRIMP U-Pb ages of the Loufanggou amphibolite-leucogranulite (leptite) in the Xianghe area, Shangnan, Shaanxi, and their implications [J]. *Geology in China*, 32 (4): 579-587. (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Z Q, ZHANG G W, TANG S H, et al., 1996. Geochemistry and geochemistry of the Heihe mafic pillow lavas in the Qinling Mountains, China [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 44 (6): 517-524.
- ZHAO G C, WANG Y J, HUANG B C, et al., 2018. Geological reconstructions of the East Asian blocks: From the breakup of Rodinia to the assembly of Pangea [J]. *Earth-Science Reviews*, 186: 262-286.
- ZHAO L, HE G Q, ZHU Y B, 2013. Discovery and its tectonic significance of the ophiolite in the south of Xiemisitai Mountain, West Junggar, Xinjiang [J]. *Geological Bulletin of China*, 32 (1): 195-205. (in Chinese with English abstract)
- ZHAO Y, SUN Y, AO W H, et al., 2019. Depositional age, provenance and tectonic significance of Precambrian metasedimentary rocks from the Dunhuang Complex, NW China: Evidence from field investigation, zircon U-Pb geochronology and whole-rock geochemistry [J]. *Precambrian Research*, 326: 272-294.
- TIAN Z H, XIAO W J, WINDLEY B F, et al., 2014. Structure, age, and tectonic development of the Huoshishan-Niujuanzi ophiolitic mélange, Beishan, southernmost Altids [J]. *Gondwana Research*, 25: 820-841.
- ZHOU J B, WILDE S A, ZHAO G C, et al., 2018. Nature and assembly of microcontinental blocks within the Paleo-Asian Ocean [J]. *Earth-Science Reviews*, 186: 76-93.
- ZHOU D W, SU L, et al., 2004. Zircon U-pb SHRIMP ages of high-pressure granulite in Yushugou ophiolitic terrane in southern Tianshan and their tectonic implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49 (13): 1415-1419.
- ZHU W Y, 1983. On the permian marine stratigraphy and the fundamental characteristics of the Fauna in Beishan Gansu province [J]. *Gansu Geology* (1): 117-136. (in Chinese with English abstract)
- ZUO G C, LIU Y K, LIU C Y, 2003. Framework and evolution of the tectonic structure in Beishan area across Gansu Province, Xinjiang autonomous region and inner Mongolia autonomous region [J]. *Acta Geologica Gansu*, 12 (1): 1-15. (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 蔡志慧, 许志琴, 何碧竹, 等, 2012. 东天山-北山造山带中大型韧性剪切带属性及形成演化时限与过程 [J]. *岩石学报*, 28 (6): 1875-1895.
- 陈丹玲, 孙勇, 刘良, 等, 2007. 柴北缘鱼卡河榴辉岩围岩的变质时代及其地质意义. *地学前缘*, 14 (1): 108-116.
- 陈家富, 韩宝福, 张磊, 2010. 西准噶尔北部晚古生代两期侵入岩的地球化学、Sr-Nd 同位素特征及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 26 (8): 2317-2335.
- 陈隽璐, 徐学义, 王宗起, 等, 2008. 西秦岭太白地区岩湾-鹦鹉咀蛇绿混杂岩的地质特征及形成时代 [J]. *地质通报*, 27 (4): 500-509.
- 程鑫, 吴汉宁, 刁宗宝, 等, 2013. 藏东地区晚石炭-晚二叠世古地磁新结果: 对羌北-昌都地块构造演化的制约. *中国科学: 地球科学*, 43 (8): 1312-1323.
- 褚方, 赵同阳, 张健东, 等, 2013. 新疆沙尔布拉克蛇绿岩岩石地球化学特征及形成时代 [J]. *新疆地质*, 31 (3): 167-172.
- 董连慧, 朱志新, 屈迅, 等, 2010. 新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展 [J]. *岩石学报*, 26 (10): 2894-2904.
- 董连慧, 屈迅, 赵同阳, 等, 2012. 新疆北阿尔泰造山带早古生代花岗岩类侵入序列及其构造意义 [J]. *岩石学报*, 28 (8): 2307-2316.
- 董云鹏, 周鼎武, 张国伟, 等, 2006. 中天山北缘干沟蛇绿混杂岩带的地质地球化学 [J]. *岩石学报*, 22 (1): 49-56.
- 付长垒, 闫臻, 郭现轻, 等, 2014. 拉脊山口蛇绿混杂岩中辉绿岩的地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 [J]. *岩石学报*, 30 (6): 1695-1706.

高振家, 陈晋镡, 陆松年, 等, 1993. 前寒武纪地质—第 6 号: 新疆北部前寒武系 [M]. 北京: 地质出版社: 1-171.

辜平阳, 2018. 塔里木盆地东南缘安南坝地区早前寒武纪基底构造归属及地质演化 [D]. 西安: 长安大学.

郭安林, 张国伟, 孙延贵, 等, 2007. 青海省共和盆地周缘晚古生代镁铁质火山岩 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学及其地质意义 [J]. 岩石学报, 23 (4): 747-754.

韩宝福, 季建清, 宋彪, 等, 2004. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 科学通报, 49 (22): 2324-2328.

韩宝福, 季建清, 宋彪, 等, 2006. 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, 22 (5): 1077-1086.

何国琦, 李茂松, 刘德权, 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社: 1-437.

何国琦, 李茂松, 贾进斗, 等, 2001. 论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代及其意义 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 37 (6): 852-858.

侯青叶, 张宏飞, 张本仁等, 2005. 祁连造山带中部拉脊山古地幔特征及其归属: 来自基性火山岩的地球化学证据 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 30 (1): 61-70.

胡霭琴, 张国新, 张前锋, 等, 2002. 阿尔泰造山带变质岩系时代问题的讨论 [J]. 地质科学, 37 (2): 129-142.

计文化, 陈守建, 李荣社, 等, 2014. 青藏高原及邻区古生代构造: 岩相古地理综合研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社: 270-304.

焦建刚, 王勇, 钱壮志, 等, 2014. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Y9 岩体年代学与成岩成矿机制探讨 [J]. 矿床地质, 33 (4): 675-688.

寇晓虎, 朱云海, 张克信, 等, 2007. 青海省同仁地区上二叠统石关组上部火山岩的新发现及其地球化学特征和构造环境意义 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 32 (1): 45-50, 58.

李会军, 何国琦, 吴泰然, 等, 2006. 阿尔泰-蒙古微大陆的确定及其意义 [J]. 岩石学报, 22 (5): 1369-1379.

李锦轶, 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史 [J]. 岩石学报, 11 (S1): 73-84.

李锦轶, 2004. 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, 50 (3): 304-322.

李锦轶, 2009. 中国大陆地质历史的旋回与阶段 [J]. 中国地质, 2009, 36 (3): 504-527.

李锦轶, 何国琦, 徐新, 等, 2006. 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, 80 (1): 148-168.

李平, 2011. 中天山中西段古生代花岗岩成因及对天山洋陆转换时限的制约 [D]. 西安: 长安大学.

李荣社, 计文化, 何世平, 等, 2011. 中国西部古亚洲与特提斯两大构造域划分问题讨论. 新疆地质, 29 (3): 247-250.

李荣社, 陈隽璐, 马中平, 等, 2016. 中国西北部造山带中几个古生代俯冲增生楔的识别与确认 [J]. 中国地质调查, 3 (1): 44-51.

李天德, 波里扬斯基 B H, 2001. 中国和哈萨克斯坦阿尔泰大地构造及地壳演化 [J]. 新疆地质, 19 (1): 27-32

李天福, 张建新, 2014. 西昆仑库地蛇绿岩的二辉辉石岩和玄武岩锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄及其意义 [J]. 岩石学报, 30 (8): 2393-2401.

李文铅, 马华东, 王冉, 等, 2008. 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, 24 (4): 773-780.

刘斌, 钱一雄, 2003. 东天山三条高压变质带地质特征和流体作用 [J]. 岩石学报, 19 (2): 283-296.

刘伟, 张湘炳, 1993. 乌伦古-斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意义 [M] //涂光炽. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社: 217-228.

刘源, 杨家喜, 胡健民, 等, 2013. 阿尔泰构造带喀纳斯群时代的厘定及其意义 [J]. 岩石学报, 29 (3): 887-898.

陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 等, 2004. 新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系. 地学前缘, 11 (2): 515-523.

陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等, 2009. 中央造山带 (中-西部) 前寒武纪地质 [M]. 北京: 地质出版社: 1-203.

牛亚卓, 2019. 新甘蒙北山地区晚古生代古沉积面貌及构造属性 [D]. 西安: 西北大学.

潘桂棠, 王立全, 张万平, 等, 2013. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书 (1: 500000) [M]. 北京: 地质出版社.

潘桂棠, 陆松年, 肖庆辉, 等, 2016. 中国大地构造阶段划分和演化. 地学前缘, 23 (6): 1-23.

潘桂棠, 肖庆辉, 尹福光, 等, 2017. 中国大地构造 [M]. 北京: 地质出版社.

彭昌文, 1989. 新疆白哈巴地区哈巴河群的微古植物及其地层意义 [J]. 新疆地质, 1989, 7 (4): 19-22.

钱青, 徐守礼, 何国琦, 等, 2007. 那拉提山北缘寒武纪玄武岩的元素地球化学特征及构造意义 [J]. 岩石学报, 23 (7): 1708-1720.

曲国胜, 何国琦, 1992. 阿尔泰造山带的构造运动 [J]. 地质学报, 66 (3): 193-205.

宋泰忠, 王瑾, 林海, 等, 2008. 内蒙古北山地区小黄山蛇绿岩地质特征 [J]. 西北地质, 41 (3): 55-63.

汤耀庆, 高俊, 赵民, 等, 1995. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩 [M]. 北京: 地质出版社: 1-133.

童英, 王涛, 洪大卫, 等, 2005. 阿尔泰造山带西段同造山铁列克花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 地球学报, 26 (S1): 74-77.

童英, 洪大卫, 王涛, 等, 2006a. 阿尔泰造山带南缘富蕴后造山线形花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 25 (2): 85-89.

童英, 王涛, KOVACH V P, 等, 2006b. 阿尔泰中蒙边界塔克什肯口岸后造山富碱侵入岩体的形成时代、成因及其地壳生长意义 [J]. 岩石学报, 22 (5): 1267-1278.

童英, 王涛, 洪大卫, 等, 2006c. 中国阿尔泰造山带花岗岩 Pb 同位素组成特征: 幔源成因佐证及陆壳生长意义 [J]. 地质学报, 80 (4): 517-528.

王国强, 李向民, 徐学义, 等, 2014. 甘肃北山红石山蛇绿岩锆石 U-Pb 年代学研究及构造意义 [J]. 岩石学报, 30 (6): 1685-1694.

王广耀, 张玉亭, 1983. 新疆阿尔泰山震旦系微古植物的发现 [J]. 地层学杂志, 7 (4): 313.

王广耀, 张玉亭, 1984. 新疆阿尔泰震旦系的初步划分与对比 [J]. 地层学杂志, 8 (4): 296-300.

- 王洪亮, 徐学义, 何世平, 等, 2007. 中国天山及邻区地质图 (1: 1000000) [M]. 北京: 地质出版社: 258-358.
- 王居里, 王润三, 周鼎武, 等, 1999. 南天山榆树沟麻粒岩相构造岩研究 [J]. 岩石学报, 15 (4): 539-547.
- 王金荣, 宋春晖, 高军平, 等, 1995. 阿拉善北部恩格尔乌苏蛇绿混杂岩的形成机制 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 31 (2): 140-147.
- 王凯, 计文化, 孟勇, 等, 2019. 天山造山带东段构造变形对增生造山末期的响应 [J]. 大地构造与成矿学, 43 (5): 894-910.
- 王润三, 王焰, 李惠民, 等, 1998. 南天山榆树沟高压麻粒岩地体锆石 U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 地球化学, 27 (6): 517-522.
- 王涛, 洪大卫, 童英, 等, 2005. 中国阿尔泰造山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义 [J]. 岩石学报, 21 (3): 640-650.
- 王涛, 童英, 李舫, 等, 2010. 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.
- 王向利, 高小平, 刘幼骥, 等, 2010. 东昆仑西段黑山构造蛇绿岩带特征 [J]. 西北地质, 43 (4): 218-231.
- 王志洪, 李继亮, 侯森林, 等, 2000. 西昆仑库地蛇绿岩地质、地球化学及其成因研究 [J]. 地质科学, 35 (2): 151-160.
- 维吾尔自治区地质矿产局, 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社: 70-241.
- 吴波, 何国琦, 吴泰然, 等, 2006. 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, 33 (3): 476-486.
- 吴峻, 兰朝利, 李继亮等, 2002. 阿尔金红柳沟蛇绿混杂岩中 MORB 与 OIB 组合的地球化学证据. 岩石矿物学杂志, 21 (1): 24-30.
- 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等, 1991. 祁连-秦岭山系海相火山岩 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社: 1-304.
- 夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 等, 2002. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束: 来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据 [J]. 地质通报, (2): 55-62.
- 夏小洪, 孙楠, 宋述光, 等, 2012. 北祁连西段熬油沟-二只哈拉达坂蛇绿岩的形成环境和时代 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 48 (5): 757-769.
- 肖文交, WINDLEY B F, 闫全人, 等, 2006. 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, 80 (1): 32-37.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等, 1992. 新疆北部及其邻区大地构造 [M]. 北京: 地质出版社: 1-169.
- 肖序常, 王军, 苏犁, 等, 2003. 再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义 [J]. 地质通报, 22 (10): 745-750.
- 徐学义, 马中平, 李向民, 等, 2003. 西南天山吉根地区 P-MORB 残片的发现及其构造意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 22 (3): 245-253.
- 徐学义, 李向民, 马中平, 等, 2006. 北天山巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世: 来自辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄的证据 [J]. 地质学报, 80 (8): 1168-1176.
- 徐学义, 何世平, 王洪亮, 等, 2008. 中国西北部地质概论: 秦岭、祁连、天山地区 [M]. 北京: 科学出版社.
- 徐学义, 李荣社, 陈隽璐, 等, 2014. 新疆北部古生代构造演化的几点认识 [J]. 岩石学报, 30 (6): 1521-1534.
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等, 2007. 秦岭勉略构造混杂带康县: 勉县段蛇绿岩块—铁镁质岩块的 SHRIMP 年代及其意义 [J]. 地质论评, 53 (6): 755-764.
- 闫臻, 王宗起, 李继亮, 等, 2012. 西秦岭楔的构造属性及其增生造山过程 [J]. 岩石学报, 28 (6): 1808-1828.
- 杨高学, 李永军, 杨宝凯, 等, 2013. 西准噶尔玛依勒蛇绿混杂岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及源区特征 [J]. 岩石学报, 29 (1): 303-316.
- 杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 等, 2004. 柴达木盆地北缘新元古代蛇绿岩的厘定: 罗迪尼亚大陆裂解的证据? [J]. 地质通报, 23 (9-10): 892-898.
- 杨文平, 周刚, 张招崇, 等, 2004. 阿尔泰造山带南缘镁铁质岩体的地球化学特征及铜镍硫化物型矿床找矿前景 [J]. 地质通报, 23 (4): 390-399.
- 杨钊, 董云鹏, 柳小明, 等, 2006. 西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年 [J]. 地质通报, 25 (11): 1321-1325.
- 翟毓沛, 1981. 甘肃省泥盆纪地层概要 [J]. 地层学杂志, 5 (2): 148-155.
- 张驰, 翟明国, 1993. 西准噶尔蛇绿岩带及其形成环境 [M] //涂光炽. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社: 53-78.
- 张国伟, 郭安林, 董云鹏, 等, 2019. 关于秦岭造山带 [J]. 地质力学学报, 25 (5): 746-768.
- 张海洋, 牛贺才, TERADA K, 等, 2003. 新疆北部阿尔泰地区库尔特蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究 [J]. 科学通报, 48 (12): 1350-1354.
- 张建新, 孟繁聪, 于胜尧, 等, 2007. 北阿尔金 HP/LT 蓝片岩和榴辉岩的 Ar-Ar 年代学及其区域构造意义. 中国地质, 34 (4): 558-564.
- 张克信, 何卫红, JIN J S, 等, 2020. 洋板块地层在造山带构造-地层区划中的应用 [J/OL]. 地球科学, 2020: 1-25 (2020-06-11) [2020-08-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1874.P.20200610.1517.004.html>.
- 张越, 徐学义, 陈隽璐, 等, 2012. 阿尔泰地区玛因鄂博蛇绿岩的地质特征及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 [J]. 地质通报, 31 (6): 834-842.
- 张元元, 郭召杰, 2008. 甘新交界红柳河蛇绿岩形成和侵位年龄的准确限定及大地构造意义 [J]. 岩石学报, 24 (4): 803-809.
- 张元元, 郭召杰, 2010. 准噶尔北部蛇绿岩形成时限新证据及其东、西准噶尔蛇绿岩的对比研究 [J]. 岩石学报, 26 (2): 421-430.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 等, 2003. 新疆喀拉通克基性杂岩体的地球化学特征及其对矿床成因的约束 [J]. 岩石矿物学杂志, 23 (3): 217-224.
- 张宗清, 张国伟, 付国民, 等, 1996. 秦岭变质地层年龄及其构造意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 26 (3): 216-222.
- 张宗清, 刘敦一, 宋彪, 等, 2005. 秦岭造山带中部存在太古宙岩块: 陕西商南县湘河地区楼房沟斜长角闪岩—浅粒岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义 [J]. 中国地质, 32 (4): 579-587.
- 赵磊, 何国琦, 朱亚兵, 2013. 新疆西准噶尔北部谢米斯台山南坡蛇绿岩带的发现及其意义 [J]. 地质通报, 32 (1): 195-205.
- 周鼎武, 苏犁, 简平, 等, 2004. 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, 49 (14): 1411-1415.

朱伟元, 1983. 甘肃北山海相二叠系及古生物群基本特征 [J]. 甘肃地质 (1): 117-136.

左国朝, 刘义科, 刘春燕, 2003. 甘新蒙北山地区构造格局及演化 [J]. 甘肃地质学报, 12 (1): 1-15.



获奖者简历：

李荣社，中国地质调查局西安地质调查中心教授级高级工程师，2017 年荣获第 15 次李四光地质科学奖野外奖。从 20 世纪 80 年代初至今，长期在秦岭造山带和西北五省及青藏高原从事区域地质调查、区域地质综合编图、基础地质科研与技术管理工作。在中国西部古亚洲和特提斯两大构造域划分、西北区域构造格架、大陆边缘地质、主大洋残迹厘定和蛇绿构造混杂岩填图等方面均有建树。提出了泛华夏陆链是古亚洲构造域和特提斯构造域划分界限的新观点，利用大陆边缘地质思维对天山-北山增生造山带和秦-祁-昆碰撞造山带的构造单元划分进行了进一步厘定，在青藏高原前寒武纪地质研究和古生代构造古地理编图过程中，提出并依照一个主洋盆和两个大陆边缘系统的思想开展了综合研究与编图工作，总结了中国西部造山带中普遍存在的蛇绿构造混杂岩带填图理论技术方法，破解了最为复杂的构造单元的实体填图难题。出版专著 7 部，发表论文 40 篇。享受国务院政府特殊津贴，获国家科技进步特等奖 1 项，省部级二等奖 1 项。

