

doi: 10.12029/gc20170401

王宗秀, 李春麟, Pak Nikolai, Ivleva Elena, 余心起, 周高谔, 肖伟峰, 韩淑琴, Halilov Zailabidin, Takenov Nurgazy, 鄯犀利. 2017. 西天山造山带构造单元划分及古生代洋陆转换过程[J]. 中国地质, 44(4): 623–641.

Wang Zongxiu, Li Chunlin, Pak Nikolai, Ivleva Elena, Yu Xinqi, Zhou Gaozhi, Xiao Weifeng, Han Shuqin, Halilov Zailabidin, Takenov Nurgazy, Yan Xili. 2017. Tectonic division and Paleozoic ocean–continent transition in Western Tianshan Orogen[J]. *Geology in China*, 44(4): 623–641 (in Chinese with English abstract).

西天山造山带构造单元划分及古生代洋陆转换过程

王宗秀¹ 李春麟¹ Pak Nikolai² Ivleva Elena² 余心起³ 周高谔⁴ 肖伟峰¹ 韩淑琴¹
Halilov Zailabidin⁵ Takenov Nurgazy⁶ 鄯犀利¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. Institute of Geology National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, Bishkek, 720040; 3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100086; 4. 湖北省地质调查研究院, 湖北 武汉 430034; 5. Kyrgyz Geophysical Expedition, Shopokov Town, Kyrgyzstan 724832; 6. State Committee of Industry, Energy and Subsoil Use of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan 720739)

摘要: 西天山造山带位于哈萨克斯坦—准噶尔板块与卡拉库姆—塔里木板块的结合部, 是由一系列前寒武纪微陆块、古生代洋壳残片及陆缘弧相互拼贴而成的多聚合带、多成矿带, 其独特的造山—成矿过程受到了国内外的广泛关注。本文通过构造单元划分与编图, 建立了古生代西天山造山带的构造格架, 认为古生代西天山造山带的构造演化依次经历了: 罗迪尼亚大陆裂解与北天山早古生代多岛洋盆形成阶段(Z–O₂), 北天山早古生代多岛洋盆闭合与南天山洋盆开始形成阶段(O₃–S), 南、北天山洋晚古生代洋盆形成与发展阶段(D–C₁), 南、北天山晚古生代洋盆全面闭合与天山碰撞造山带形成阶段(C₁–C₂)和碰撞后板内演化阶段(C₂–P)。

关键词: 构造格架; 洋陆转换过程; 古生代; 西天山造山带

中图分类号: P544 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2017)04–0623–19

Tectonic division and Paleozoic ocean–continent transition in Western Tianshan Orogen

WANG Zongxiu¹, LI Chunlin¹, Pak Nikolai², Ivleva Elena², YU Xinqi³, ZHOU Gaozhi⁴,
XIAO Weifeng¹, HAN Shuqin¹, Halilov Zailabidin⁵, Takenov Nurgazy⁶, and YAN Xili¹

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*; 2. *Institute of Geology, National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, Bishkek, 720040*; 3. *China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100086, China*; 4. *Hubei Geological Survey, Wuhan 430034, Hubei, China*; 5. *Kyrgyz Geophysical Expedition, Shopokov Town, Kyrgyzstan 724832*; 6. *State Committee of Industry, Energy and Subsoil Use of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan 720739*)

Abstract: Western Tianshan Orogen, located in the conjunction of the Kazakhstan–Junggar Plate and the Karakum–Tarim Plate, has

收稿日期: 2017–07–18; 改回日期: 2017–08–10

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212010811063、DD20160113)资助。

作者简介: 王宗秀, 男, 1959年生, 研究员, 博士生导师, 构造地质学专业, 主要从事大地构造方面的研究; E-mail: wangzongxiu@sohu.com。

been regarded as the collision zone and metallogenic zone consisting of a series of Precambrian blocks, Paleozoic oceanic crust, and continental marginal arcs. The study of the orogenic–metallogenic processes of western Tianshan Mountain have received extensive attention. In this paper, the authors established the tectonic framework of western Tianshan Orogen in the Paleozoic on the basis of the tectonic division, and proposed a five–stage model of the tectonic evolution in Paleozoic: Rodinia supercontinental breakup and the formation of the early Paleozoic archipelagic ocean in northern Tianshan Mountains (Z–O₂), closure of the early Paleozoic archipelagic ocean in northern Tianshan Mountains and the incipience of the southern Tianshan oceanic basin (O₃–S), formation and development of the northern and southern Tianshan oceanic basins in the late Paleozoic (D–C₁), closure of the northern and southern Tianshan oceanic basins and the subsequent formation of Tianshan orogenic belt (C₁–C₂) and, finally, the post–collision stage of the intraplate environment (C₂–P).

Key words: tectonic framework, ocean–continent transition, Paleozoic, western Tianshan Orogen

About the first author: WANG Zongxiu, male, born in 1959, senior researcher, supervisor of doctor candidates, engages in the study of tectonics of Tianshan Orogen; E–mail: wangzongxiu@sohu.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey (No. 1212010811063; No. DD20160113).

1 引 言

位于欧亚大陆腹地,东西横跨中国新疆、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦的天山山脉是全球主要的古生代造山带之一(Xiao et al., 2013)。地理上以东经88°为界,东西两侧可分别称之为东天山和西天山(李锦轶等, 2006)。西天山处于准噶尔—哈萨克斯坦板块与卡拉库姆—塔里木板块的交汇部,属于中亚增生造山带的重要组成部分,是由一系列前寒武纪微陆块、古生代洋壳残片及陆缘弧相互拼贴而成的多聚合带、多成矿带,其独特的造山—成矿过程受到了国内外的广泛关注(Şengör et al., 1993; 舒良树等, 2004; 李锦轶等, 2006; Windley et al., 2007; Xiao et al., 2010; 朱志新等, 2013)。

目前,西天山造山带古生代的构造演化存在诸多争议,主要的原因可能是不同学者对西天山构造单元的划分意见不一致。例如,Şengör et al.(1993)通过厘定出一系列古生代岛弧系统,利用叠瓦状走滑断裂解释了天山洋弧前增生过程。也有一些学者认为古天山洋中存在多个前寒武纪微陆块,古生代时期它们之间发生了多期、复杂的碰撞与闭合的多岛洋模式(Mossakovsky et al., 1994; Shu et al., 2002; Wang et al., 2007; 2011)。随着近年来高精度地质年代学数据的报道,大多数地质学家认为古天山洋古生代演化及其最终的碰撞闭合是由于古天山洋内存在多个极性不一致的俯冲带在不同时期俯冲消减造成的(Charvet et al., 2007; Kröner et al.,

2007; Windley et al., 2007; Wang et al., 2010; Xiao et al., 2004; 2009; 2010)。

本文以板块构造理论为指导,结合西天山造山带现有的地质资料,以南天山北缘板块缝合带为界线,将西天山造山带划分为哈萨克斯坦—准噶尔板块和卡拉库姆—塔里木板块2个一级构造单元,进一步又划分了6个二级构造单元,25个三级构造单元和21个四级构造单元,在此基础上,探讨了西天山造山带古生代洋陆转换过程。

2 西天山造山带构造单元划分

西天山造山带主要分布在中国新疆、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦及乌兹别克斯坦等地区,在构造区划上目前仍存在分歧(左国朝等, 2008; 朱志新等, 2013; 陈博等, 2016)。例如,中国新疆境内的天山通常被划分为4个构造单元:北天山、中天山、南天山及西南天山(朱志新等, 2013)。在吉尔吉斯斯坦,西天山既有二分方案,亦有三分方案。二分方案是以“尼古拉耶夫”线为界,南北分别称之为南天山和北天山;三分方案则是以“尼古拉耶夫”线和南费尔干纳—阿特巴什断裂为北、南边界,将夹持在这两条带之间、向东延伸至中国新疆境内、向西延伸至恰特卡尔—纳伦构造带的部分称之为中天山构造带,其北侧称北天山早古生代构造带,南侧称南天山构造带(舒良树等, 2013)。上述划分方案在中国新疆和吉尔吉斯斯坦都是可行的,但是相同名词下的彼此之间却有着截然的地质意义。例如,中国划分的中天山构造区西延就变成了吉尔吉斯斯

坦北天山早古生代构造区,这样既不便于问题讨论,也不便于进行区域对比。此外,考虑到吉尔吉斯斯坦境内的中天山陆块广泛发育新元古代酸性火山岩和冰碛岩,这一特征与塔里木板块极为相似(Dobretsov and Buslov, 2007)。同时,碎屑锆石的研究结果也证实了天山内部变质基底的岩浆作用期次与其南、北两侧板块的岩浆活动特点吻合,因此,许多学者认为天山内部许多的基底微陆块与哈萨克斯坦—准噶尔板块或塔里木板块具有亲缘性,很可能是原哈萨克斯坦—准噶尔板块或塔里木板块分裂而来的(肖序常等, 1992; Meyer et al., 2013; Rojas-Agramonte et al., 2014; Kröner et al., 2014)。

为了便于区域对比和反映西天山古生代构造格局的实际情况,笔者赞同二分方案,但与吉尔吉斯斯坦境内的二分方案不同,因为沿“尼古拉耶夫”构造线只零星分布有震旦纪—早古生代蛇绿岩,却没有以榴辉岩、蓝片岩为代表的的高压变质带,“尼古拉耶夫”构造线可能仅仅代表的是一条规模较大或很大的区域性地壳尺度的断裂带。笔者认为天山造山带是哈萨克斯坦—准噶尔板块与卡拉库姆—塔里木板块相互碰撞而形成的碰撞造山带。在此之前,它们被分隔在古天山洋盆北、南两侧,直到石炭纪中晚期才随着南天山洋的闭合变成了一个

整体。二分方案应以板块缝合带为边界,而真正的板块缝合带,则位于南费尔干纳—阿特巴什—中天山南缘断裂南侧,在那里不仅变形变质强烈,脆韧性断裂发育,两侧差异明显,而且还有一条呈近东西向断续延伸 1500 km 以上的蛇绿混杂岩带与高压变质带,本文将它称之为南天山北缘板块缝合带。该缝合带以北为北天山构造区,以南为南天山构造区,无论是在吉尔吉斯斯坦,还是在我国新疆境内的原中天山构造带都应是北天山构造区的组成部分(图1)。为了更好的诠释西天山造山带古生代洋陆转换过程,本文将西准噶尔盆地及哈萨克斯坦楚河—奈曼地区一同纳入研究区,以东西贯穿全区的南天山北缘板块缝合带为界,将西天山造山带划分为2个大的一级构造单元:分别是哈萨克斯坦—准噶尔板块和卡拉库姆—塔里木板块。依据一级构造单元内部地层、岩浆活动及构造变形的发育情况,笔者将西天山造山带进一步划分了6个二级构造单元,25个三级构造单元及21个四级构造单元(图1,表1),以下将分别对南天山北缘板块缝合带的位置、哈萨克斯坦—准噶尔板块和卡拉库姆—塔里木板块内部各个单元的地质概况进行论述。

2.1 南天山北缘板块缝合带

板块缝合带是由于大洋板块消减,导致原来分

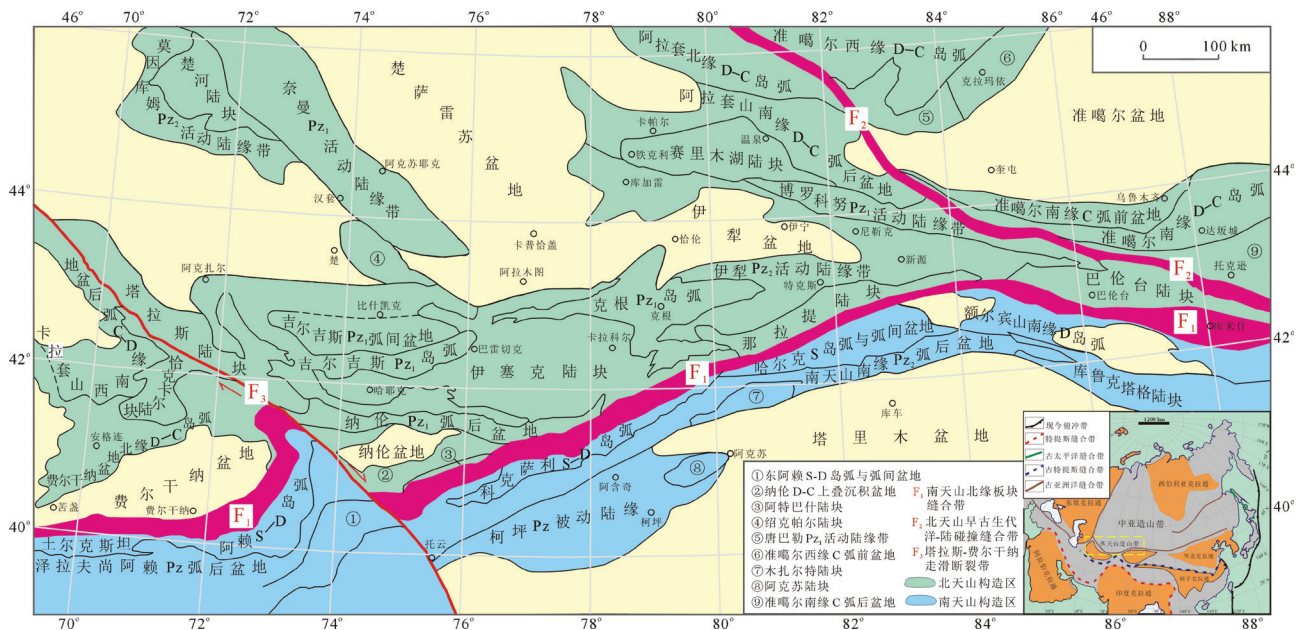


图1 西天山造山带构造单元划分图
Fig.1 Tectonic division in Western Tianshan Orogen

表1 西天山造山带构造单元划分方案
Table 1 Tectonic division scheme in Western Tianshan Orogen

I 级构造单元	II 级构造单元	III 级构造单元	IV 级构造单元	
哈萨克斯坦—准噶尔板块	北天山陆块群	楚河陆块		
		绍克帕尔陆块		
		塔拉斯陆块		
		恰克卡尔陆块		
		伊塞克陆块		
		阿特巴什陆块		
		那拉提陆块		
		巴伦台陆块		
		赛里木湖陆块		
				唐巴勒早古生代活动陆缘带
		博罗科努早古生代活动陆缘带		
		奈曼早古生代活动陆缘带		
	北天山早古生代陆缘区		吉尔吉斯早古生代岛弧	
		吉尔吉斯早古生代活动陆缘带	吉尔吉斯早古生代弧间盆地	
			纳伦早古生代弧后盆地	
			克根早古生代岛弧	
		准噶尔南缘晚古生代陆缘活动带	准噶尔南缘石炭纪弧前盆地	
			准噶尔南缘泥盆—石炭纪岛弧	
			准噶尔南缘石炭纪弧后盆地	
		准噶尔西缘晚古生代活动陆缘带	准噶尔西缘石炭纪弧前盆地	
			准噶尔西缘泥盆—石炭纪岛弧	
	北天山晚古生代陆缘区	阿拉套晚古生代活动陆缘带	阿拉套山北缘泥盆—石炭纪岛弧	
			阿拉套山南缘泥盆—石炭纪弧后盆地	
		伊犁晚古生代活动陆缘带		
		莫因库姆晚古生代活动陆缘带		
		费尔干纳晚古生代活动陆缘带	卡拉套山西南缘泥盆—石炭纪弧后盆地	
			费尔干纳盆地北缘泥盆—石炭纪岛弧	
			纳伦泥盆—石炭纪上叠沉积盆地	
南天山北缘板块缝合带				
卡拉库姆—塔里木板块	南天山陆块群	库鲁克塔格陆块		
		木扎尔特陆块		
		阿克苏陆块		
	南天山古生代活动陆缘区		土尔克斯坦—阿赖志留—泥盆纪岛弧	土尔克斯坦—阿赖志留—泥盆纪岛弧
			土尔克斯坦—阿赖古生代活动陆缘带	泽拉夫尚—阿赖古生代弧后盆地
				东阿赖志留—泥盆纪岛弧与弧间盆地
		科克萨利志留—泥盆纪岛弧	科克萨利志留—泥盆纪岛弧	
		科克萨利—哈尔克—额尔宾古生代活动陆缘带	哈尔克志留纪岛弧与弧间盆地	
			额尔宾山南缘泥盆纪岛弧	
	塔里木北缘陆缘区	柯坪古生代被动陆缘	南天山南缘晚古生代弧后盆地	

别位于大洋两侧的大陆相互碰撞而形成的,在其碰撞过程形成的强烈构造变形带内,常常保存有代表洋壳残留的蛇绿岩和由于板块碰撞而形成的高压变质岩。研究区内发育两条板块缝合带,一条是位于准噶尔西缘呈北西走向的北天山早古生代板块缝合带,主要沿着唐巴勒、玛依勒、达拉布特、巴音沟一线分布(王宗秀等,2003),其代表了早古生代北天山洋的俯冲消减形成北天山早古生代造山带。另外一条则是横贯全区,沿着吉尔吉斯斯坦阿

特巴什向东,经过占格吉尔、中国新疆吐尔尕特、那拉提、长阿吾子、古洛沟、乌瓦门、库米什、硫磺山一线分布的南天山北缘板块缝合带。在这条带内分布了大量的蛇绿岩残片、蓝片岩和榴辉岩相岩石,这些岩石代表了其北、南两侧哈萨克斯坦—准噶尔板块与卡拉库姆—塔里木板块之间天山洋盆最终的关闭位置(Allen et al., 1993; Gao and Klemd, 2003; 张立飞等, 2005; 高俊等, 2006; Windley et al., 2007; Xiao et al., 2004; 2009)。南天山北缘板块缝

合带不仅分割了两个具有诸多方面存在差异的板块,而且在古生代漫长的、多旋回的构造演化过程中保持了相对的独立性和完整性。

2.2 哈萨克斯坦—准噶尔板块

哈萨克斯坦—准噶尔板块属于北天山构造区,按照造山作用的年代及大地构造属性将其划分为北天山陆块群、北天山早古生代陆缘区和北天山晚古生代陆缘区(表1)。

2.2.1 北天山陆块群

北天山陆块群是指由罗迪尼亚大陆裂解之后,漂浮在边缘洋盆中的一系列大小不一的陆块群体。它们被卷入洋壳消减引起的造山事件中,先后经历了不同期次的构造—岩浆活动,并与陆缘火山—沉积物及同碰撞花岗岩类一道,形成具有镶嵌构造或线形构造为特征的造山带。北天山陆块群包括了楚河陆块、绍克帕尔陆块、塔拉斯陆块、伊塞克陆块、阿特巴什陆块、那拉提陆块、巴伦台陆块和赛里木湖陆块。这些陆块的岩石地层主要是由前寒武纪变质基底组成,例如位于哈萨克斯坦中西部热尔套山的楚河陆块,其基底岩系主要是元古宙片麻岩、石英岩和片岩等组成的巨厚变质岩,变质基底与其上覆的下古生界地层构成角度不整合。又如伊塞克陆块,新疆地矿局第七地质大队将其与伊犁连在一起称作为哈萨克斯坦—准噶尔板块中的微板块,主要是由元古宙变质基底构成,其间被早古生代岩体侵入(廖文雄和郭海龙, 2010)。那拉提陆块主要出露新元古界那拉提群,主要为一套绿片岩相—角闪岩相斜长角闪岩、片岩和千枚岩、混合岩、变粒岩、片麻岩组成的变质地层。对那拉提群中混合岩化片麻岩中的锆石U—Pb定年结果为821~798 Ma(胡霭琴等, 2001)。刘崑国等(2016)认为那拉提群是罗迪尼亚超大陆聚合事件格伦维尔造山运动在本区的反映。在那拉提陆块西南部还出露少量青白口系浅变质碳酸盐岩—碎屑岩建造。震旦系主要为滨海—浅海相及陆相碎屑岩、碳酸盐岩、冰碛岩及火山岩,震旦系地层以角度不整合覆于下元古界、青白口系地层之上。

2.2.2 北天山早古生代陆缘区

北天山早古生代陆缘区是指大陆和裂解陆块边缘的火山岩、沉积岩分布区。北天山早古生代陆缘区在位置上被夹持在北西向费尔干纳断裂带和

阿其克库都克—艾比湖断裂带之间,根据单元内部构造部位又将其分为唐巴勒早古生代活动陆缘带、博罗科努早古生代活动陆缘带、奈曼早古生代活动陆缘带和吉尔吉斯早古生代活动陆缘带。

唐巴勒早古生代活动陆缘带位于准噶尔盆地西缘,是北天山洋早古生代洋内俯冲的产物。区内出露一套早古生代的深海浊积岩—硅质岩—枕状玄武岩,玄武岩锆石SHRIMP年龄为517 Ma(朱永峰等, 2007),这套地层单元分布局限,仅在克拉玛依西部山区零星出露。在西准噶尔地区还出露一套奥陶—志留系的海相沉积变质岩,并且在唐巴勒地区还发现了志留纪的蓝片岩。这些零星出露的早古生代地层被大面积发育的石炭纪火山—沉积地层覆盖。石炭纪地层自下而上分别为:下石炭统太勒古拉组、包古图组和希贝库拉斯组火山碎屑沉积建造。太勒古拉组为蛇绿岩的主要围岩地层,其下部为一套细碧岩、玄武岩、辉绿岩、硅质岩和含铁碧玉岩与超镁铁岩伴生,上部为凝灰质砂岩、粉砂岩、泥质硅质岩的互层,凝灰岩中锆石SHRIMP测定结果约为328 Ma(王瑞和朱永峰, 2007)。达拉布特蛇绿混杂岩的岩块呈带状出露,与太勒古拉组火山—沉积岩地层之间以断裂形式接触(冯益民, 1986; 张弛和黄萱, 1992)。在艾比湖北岸的中奥陶统蛇绿混杂岩中还发育有蓝片岩,蓝片岩呈构造透镜体沿大致EW方向断续分布。岩石类型主要为钠长绿帘蓝闪石片岩和含蓝闪石绿帘绿泥石片岩,对蓝片岩中钠质闪石进行Ar—Ar测年,认为蓝片岩的变质年龄集中在470~458 Ma,表明唐巴勒蓝片岩相变质作用至少发生在中—晚奥陶世之前(张立飞, 1997),是唐巴勒地区目前所知最早的高压变质事件年龄。

博罗科努早古生代活动陆缘带是在前震旦纪结晶基底之上发展起来的。志留纪早期,受到北天山洋的作用,形成了以中酸性火山岩为主的岛弧型火山岩(张良臣, 1995)。晚古生代中期,大哈拉军山组火山岩发育在博罗科努早古生代活动陆缘带中南部,并大范围分布于博罗科努南侧的伊犁晚古生代活动陆缘带。火山岩的岩石地球化学特征显示,大哈拉军山组主要形成于岛弧环境(周翔等, 2015)。上石炭统东图津河组为海相碳酸盐岩、碎屑岩、底部为含炭质页岩。本单元内部还分布少量的中元古界蓟县系库松木切克群浅变质碳酸盐岩—

碎屑岩和青白口系开尔塔斯群浅变质碳酸盐岩-碎屑岩建造。中奥陶统奈楞格勒达坂群为中基性、中酸性火山岩夹灰岩。上奥陶统呼独克达坂组为海相灰岩、结晶灰岩夹钙质、铁质细砂岩;中上泥盆统主要分布在博罗科努山东段,中泥盆统阿克塔什组为细碎屑岩、酸性熔岩及其碎屑岩,大理岩化灰岩夹灰岩;上泥盆统艾尔肯组海陆交互相火山碎屑岩及碎屑岩;西段只见上泥盆统吐呼拉苏组,岩性为粉砂岩、砂岩、砾岩。

奈曼早古生代活动陆缘带位于巴尔喀什湖的西侧和西南侧,出露的地层单元主要是古生代地层及少量的前寒武纪、新生代地层。寒武-奥陶纪地层是以硅质岩、陆源碎屑岩及碳酸盐岩组成。在该单元的中北部(阿克巴凯及以北地区)出露最好,主要是一些含炭质的粉砂岩、页岩等,呈现良好的韵律层理(刘春涌, 2005)。奥陶纪上部发育复理石建造、碳酸盐岩及碳酸盐岩、陆源碎屑岩互层。志留纪地层以成分较单一的陆源碎屑沉积为特征。泥盆纪以陆源碎屑沉积为特征,间夹细碧岩、碧玉岩及其他硅质岩沉积。从石炭纪中期开始,本单元发育安山岩-英安岩-流纹岩等火山岩与凝灰岩的夹层。二叠纪以发育玄武岩-流纹岩、陆相碎屑岩和凝灰岩为特征。零星出露的新生代地层主要是以含碳质沉积为特征的砂岩、泥岩。

吉尔吉斯早古生代活动陆缘带位于北天山的吉尔吉斯山脉,北部界线为莫因库姆沙漠,南部以纳伦盆地界,东到伊塞克湖,西到费尔干纳断裂。将吉尔吉斯早古生代活动陆缘带分成4个四级单元,分别是吉尔吉斯早古生代岛弧、吉尔吉斯早古生代弧间盆地、纳伦早古生代弧后盆地及克根早古生代岛弧。吉尔吉斯早古生代岛弧位于北天山的苏萨梅尔和朱姆加利山脉之间。主要由一套早古生代角闪岩与片麻状石英黑云母角闪岩互层组成。同时单元内发育有具有岛弧性质的玄武岩-粗面岩-安山岩-流纹岩岩石组合。吉尔吉斯早古生代弧间盆地位于吉尔吉斯山脉北麓。主要出露奥陶纪、石炭纪及新生代地层。发育的岩石建造主要为大理岩-石英岩建造,原岩可能为海相成因的碳酸盐岩及硅质岩经过区域变质作用形成的。纳伦早古生代弧后盆地位于现今纳伦盆地的北缘,本单元古生代火山岩并不十分发育,可以识别的主要是

泥盆-石炭纪玄武岩-粗面玄武岩建造,在基性喷出岩中可见少量被碳酸盐岩胶结的凝灰岩夹层。克根早古生代岛弧位于昆格山脉的轴部及伊塞克陆块变质结晶基底的北部边缘,以古生代和新生代地层为主,在南部和西部分别发育大面积的寒武-奥陶系混合岩夹少量碳酸盐岩。早古生代火山岩主要是以玄武岩-安山岩-英安岩-流纹岩组合为主,并伴有以铁锰矿为主的火山岩型矿产。

2.2.3 北天山晚古生代陆缘区

在北天山早古生代陆缘区的周缘,分别发育了6个晚古生代陆缘活动带,分别为准噶尔南缘晚古生代陆缘活动带、准噶尔西缘晚古生代活动陆缘带、阿拉套晚古生代活动陆缘带、伊犁晚古生代活动陆缘带、莫因库姆晚古生代活动陆缘带及费尔干纳晚古生代活动陆缘带。

准噶尔南缘晚古生代陆缘活动带可分为3个四级构造单元,分别为:准噶尔南缘石炭纪弧前盆地、准噶尔南缘泥盆-石炭纪岛弧和准噶尔南缘石炭纪弧后盆地。准噶尔南缘石炭纪弧前盆地位于准噶尔盆地南缘,巴音沟蛇绿岩带以北,沿近东西向精河-奎屯-石河子-昌吉铁路南侧分布。主要出露石炭系以上层位,石炭纪地层主要为一套蛇绿岩组合和复理石建造。徐学义等(2006)对巴音沟蛇绿岩中辉长岩进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb定年,结果显示巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世(344 Ma),表明早石炭世早期北天山洋洋壳仍然处于拉张的状态。准噶尔南缘泥盆-石炭纪岛弧作为4级构造单元,本单元发育的中泥盆世一早二叠世火山岩基本代表了准噶尔南缘晚古生代陆缘活动带的最主要部分。本单元内发育的上石炭统前峡组火山岩是一套以火山碎屑岩为主夹陆源碎屑岩和熔岩建造,岩性组合以安山岩为主的玄武岩-玄武安山岩-安山岩-英安岩组合,该套火山岩与中泥盆统、下石炭统及早石炭世巴音沟蛇绿岩断层接触,是一套大陆岛弧火山岩(刘文斌等, 2010)。准噶尔南缘石炭纪弧后盆地出露的地层主要是石炭纪之上的层位,岩性包括了陆相碎屑岩、复理石建造及少量的中泥盆统酸性火山岩,表现出弧后盆地沉积物多来源的性质。

准噶尔西缘晚古生代活动陆缘带位于准噶尔盆地西缘,以达拉布特断裂带为界,南东侧为准噶

尔西缘石炭纪弧前盆地,北西侧为准噶尔西缘泥盆—石炭纪岛弧。准噶尔西缘石炭纪弧前盆地位于克拉玛依市及其北部、白碱滩北部一带,呈北东向展布。单元内分布最广的地层是石炭纪火山—沉积岩,岩性以凝灰岩、火山碎屑岩及硅质岩为主。王瑞和朱永峰(2007)对石炭纪地层中酸性凝灰岩进行了锆石 SHRIMP 年代学研究,获得了 328 Ma 的年龄。石炭纪地层向上被侏罗纪火山—沉积岩及白垩纪砂岩不整合覆盖。准噶尔西缘泥盆—石炭纪岛弧单元内出露的地层主要为石炭纪滨海—浅海相凝灰质砂岩与层状凝灰岩不均匀互层、火山碎屑—陆相碎屑岩组合。此外,本单元还分布着大量的蛇绿混杂岩,主要是沿着达拉布特河两侧,呈北东向延伸超过 50 km。通过锆石 U—Pb 年代学和古生物化石的研究认为达拉布特蛇绿岩形成于中泥盆世(徐新等, 2006; 辜平阳等, 2009)。

阿拉套晚古生代活动陆缘带分为 2 个四级构造单元,分别是阿拉套山北缘泥盆—石炭纪岛弧和阿拉套山南缘泥盆—石炭纪弧后盆地。阿拉套山北缘泥盆—石炭纪岛弧单元内的火山岩主要分布于哈拉土鲁克沟和艾比湖西侧边防检查站至阿拉山口一带的石炭纪地层中,其中哈拉土鲁克沟的火山岩主体为英安岩,局部夹有流纹岩、安山岩和火山角砾岩以及凝灰质沉积岩等;艾比湖西侧边防检查站一带的火山岩则主要为黑色玄武岩,并夹有凝灰质安山岩、英安岩以及角砾岩等,从岩性组合上看为一套岛弧火山岩。阿拉套山南缘泥盆—石炭纪弧后盆地出露地层较为简单,主要由泥盆—石炭纪碎屑岩、碳酸盐岩及流纹岩组成,岩性组合显示出多物源区的特征。

伊犁晚古生代活动陆缘带以国境线为界分为东、西两段。西段主要在哈萨克斯坦境内,与奈曼早古生代活动陆缘带相邻。晚志留世的造山运动导致泥盆纪出现广泛的陆相沉积和陆相火山作用,伊犁晚古生代活动陆缘带北缘的陆块大部分上升成陆地,在陆块周围形成了以安山岩—玄武岩火山作用产物和巨厚的红色磨拉石沉积为特征的一个十分宽阔的地带。中泥盆世红色磨拉石分布十分广泛。晚泥盆世在泥盆—石炭纪岛弧南大约 100 km 处出现新的火山弧,并伴随有裂谷作用,形成一些深水沉积。早石炭世沉积了浅水碳酸盐以及交

替出现的硅质碎屑和碳酸盐沉积。东段即我国境内部分。前寒武纪地层主要出露在特克斯县东南,岩性组合为浅变质岩、火山岩,局部夹碳酸盐岩。单元内下石炭统下部为大哈拉军山组,上部为阿克苏组,前者为一套双峰式火山岩建造,后者为碎屑岩—碳酸盐岩建造。

莫因库姆晚古生代活动陆缘带位于楚河陆块西部。区内主要出露的是石炭纪地层和新生代沉积盖层,下石炭统为海相沉积,除底部有较稳定的灰岩外,向上主要为碎屑岩夹碳酸盐岩,含硅质,代表早石炭世弧后扩张和海侵。中上石炭统为海陆过渡相—陆相红色碎屑岩系,向上粒度变粗,以红色砂岩、粉砂岩、泥岩夹砾岩为主,下部有凝灰岩,底部和中下部有砾岩层。本单元火山岩主要分布在莫因库姆沙漠的北缘,火山活动发生在早石炭世,岩性组合为安山岩—英安岩—流纹岩。

费尔干纳晚古生代活动陆缘带包括 3 个四级单元,分别是卡拉套山西南缘泥盆—石炭纪弧后盆地、费尔干纳盆地北缘泥盆—石炭纪岛弧和纳伦泥盆—石炭纪上叠沉积盆地。卡拉套山西南缘泥盆—石炭纪弧后盆地位于恰克卡尔山脉北部,费尔干纳断裂西部。本单元以发育晚古生代地层为主,从中上泥盆统到下石炭统主要是碳酸盐岩沉积,夹少量的碎屑岩、中酸性火山岩。后期被二叠纪花岗岩侵入。费尔干纳盆地北缘泥盆—石炭纪岛弧位于费尔干纳盆地北缘。岩石地层从志留系到新生界均有出露。下部的古生代地层主要包括了碳酸盐岩、中酸性火山岩、硅质岩及陆相碎屑岩;中部的中生界地层角度不整合于基底之上;上部为晚新近纪地层和第四纪沉积物,为造山阶段形成的厚达 6000 m 的碎屑岩和磨拉石建造(朱毅秀等, 2005)。纳伦泥盆—石炭纪上叠沉积盆地位于恰克卡尔—纳伦周边,下伏盆地由中新元古界碎屑岩—碳酸盐岩和粗碎屑沉积物组成。早古生代陆壳增生后形成了泥盆—石炭纪上叠盆地,盆地的南缘被中、新生代地层所覆盖。

2.3 卡拉库姆—塔里木板块

卡拉库姆—塔里木板块属于南天山构造区,按照造山作用的年代及大地构造属性将其划分为南天山陆块群、南天山古生代活动陆缘区和塔里木北缘陆缘区。

2.3.1 南天山陆块群

木扎尔特陆块位于哈尔克山西南侧,与北侧南天山南缘晚古生代弧后盆地相邻,地层组成相似。古元古代木扎尔特群主要为的一套绿片岩相一角闪岩相斜长角闪岩、片岩和千枚岩、混合岩、变粒岩、片麻岩组成的变质地层。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年获得木扎尔特群二云母二长片麻岩的年龄为 1909 Ma,是迄今为止该地体内发现的最古老同位素年龄(魏永峰等,2010)。

库鲁克塔格陆块位于塔里木盆地北缘的库勒以东地区,主要出露前寒武纪和下古生界地层,缺少后期盖层。库鲁克塔格陆块发育有太古宇托格拉克布拉克杂岩,以钠长片麻岩、变质碎屑岩、花岗质岩和混合岩类组成。古元古代兴地塔格群主要由一套绿片岩相一角闪岩相变质的斜长角闪岩、片岩和千枚岩及混合岩组成。中元古界长城系杨吉布拉克群主要为的一套绿片岩相一低角闪岩相变质的片岩、千枚岩、碳酸盐岩、夹基性一中酸性火山岩和少量硅质岩。新元古界青白口系帕尔岗塔格群,为一套浅变质碳酸盐岩一碎屑岩建造。震旦系主要为滨海一浅海相及陆相碎屑岩、碳酸盐岩、冰碛岩及火山岩,构成前寒武纪基底的第一套盖层,以角度不整合覆于中新元古界之上。

阿克苏陆块被认为是具有塔里木古陆的变质基底(何景文等,2015),主要出露中元古界长城系阿克苏群,主要为的一套低级变质的钠长白云石英片岩与蓝闪石片岩、绿片岩不均匀互层,构造变形强烈,倒转及平卧褶皱极其发育。阿克苏群之上发育有一套大陆拉斑玄武岩被认为是新元古代(830~750 Ma)罗迪尼亚超大陆裂解的直接证据(王飞等,2010)。

2.3.2 南天山古生代活动陆缘区

南天山古生代活动陆缘区以北西向费尔干纳断裂带为界,以西称之为土尔克斯坦—阿赖古生代活动陆缘带,以东称之为科克萨利—哈尔克—额尔宾古生代活动陆缘带。

土尔克斯坦—阿赖古生代活动陆缘带位于土尔克斯坦山脉和阿赖山脉的轴部,共由3个四级单元构成。土尔克斯坦—阿赖志留—泥盆纪岛弧位于南天山北缘板块缝合带的南部,地层从早古生代到新生代均有出露。上志留统一泥盆系是一套巨厚的层状砾岩,总厚度可达2~4 km,是一套典型的

磨拉石建造。受早古生代构造活动强烈的影响,单元内部发育了大量的早古生代晚期花岗岩,与阿赖山脉轴部的志留—泥盆统中的流纹岩和共生的酸性火山岩共同组成了志留—泥盆纪岛弧。在土尔克斯坦—阿赖志留—泥盆纪岛弧的南侧,则发育相应的泽拉夫尚—阿赖古生代弧后盆地。弧后盆地内主要发育志留—泥盆纪地层,由海相—海陆交互碎屑岩、碳酸盐岩及大量的火山碎屑岩与火山熔岩组成,具有弧后盆地的沉积特征。东阿赖志留—泥盆纪岛弧与弧间盆地主要由晚志留世、早中泥盆世地层组成(梁云海和李文铅,2000;赵仁夫等,2002)。晚志留世地层主要由浅变质碎屑岩、碳酸盐岩和火山岩构成。下泥盆统为陆坡相复理石及硅质岩沉积。中泥盆统主要为浅海陆棚相碳酸盐岩、碎屑岩及火山岩组合,具有岛弧和弧间盆地的沉积岩石学特征。

科克萨利—哈尔克—额尔宾古生代活动陆缘带共分为4个四级单元,分别为科克萨利志留—泥盆纪岛弧、哈尔克志留纪岛弧与弧间盆地、额尔宾山南缘泥盆纪岛弧和南天山南缘晚古生代弧后盆地。在南天山北缘板块缝合带的南侧,自西向东依次分布着科克萨利志留—泥盆纪岛弧、哈尔克志留纪岛弧与弧间盆地、额尔宾山南缘泥盆纪岛弧,它们均发育以志留—泥盆纪岛弧火山岩为特征的玄武岩—安山岩—英安岩—流纹岩组合(刘振涛等,2008;朱志新等,2013)。介于岛弧和塔里木板块之间的为南天山南缘晚古生代弧后盆地,主要发育泥盆—石炭纪地层,岩性有变质砂岩、千枚岩、硅质岩、碎屑岩、碳酸盐岩及少量的火山岩,具有弧后盆地的沉积特点。

2.3.3 塔里木北缘陆缘区

塔里木北缘陆缘区指的是被塔里木板块和南天山古生代活动陆缘区夹持的区域,该单元主要由柯坪古生代被动陆缘区构成。区内从震旦纪到石炭纪均属于较为稳定连续的沉积环境,由厚度巨大的陆源碎屑沉积岩系和碳酸盐岩组成,基本上没有明显的火山活动,构造活动性不强,以发育正断层及走滑断裂为特点。

3 南天山洋的闭合时间

关于南天山洋最终的闭合时代,目前还存在多

种观点,包括了志留纪末期—泥盆纪(Yue et al., 2001)、中晚泥盆世(Tang, 1990)、晚泥盆世—早石炭世(Graham et al., 1990; 1993; Solomovich and Trifonov, 2002; 王宗秀等, 2003; 高俊等, 2006)、晚石炭世(韩宝福等, 2010; Han et al., 2011)、晚二叠世(Ruzhentsev et al., 1989)、二叠纪—三叠纪(Zhang et al., 2007; Xiao et al., 2009)。利用蛇绿岩的形成年龄及高压—超高压变质 $P-T-t$ 轨迹可以有效的限定南天山洋的闭合时间。南天山北缘板块缝合带中的蛇绿岩主要呈外来推覆小岩块的形式产于高压变质岩地层之中或散布在古生代地层之上(王作勋等, 1990)。现有的蛇绿岩年龄显示,南天山洋盆在晚前寒武纪—早古生代就已经形成,且至少延续到早石炭世(高俊等, 2006)。例如长阿吾子蛇绿岩中的辉石 Ar-Ar 年龄为 439 Ma(郝杰和刘小汉, 1993)、库勒湖蛇绿岩带中的洋中脊玄武岩锆石 SHRIMP 年龄为 425 Ma(高俊等, 2006; 龙灵利等, 2006)、黑英山蛇绿岩中斜长角闪岩中角闪石 Ar-Ar 坪年龄为 430 Ma(刘本培等, 1996)、榆树沟蛇绿岩重麻粒岩锆石核部 SHRIMP U-Pb 年龄为 640~452 Ma(周鼎武等, 2004)等。与此同时,前人在吉尔吉斯斯坦境内的阿特巴什蛇绿岩、占格吉尔蛇绿岩、我国新疆库勒湖蛇绿混杂岩、阿文库蛇绿岩中的硅质岩中发现了大量晚泥盆世—早石炭世的牙形石,也证明了南天山可能一直延续到早石炭世末期(汤耀庆等, 1995; Alekseev et al., 2007)。

南天山北缘板块缝合带中发育近东西向展布的高压—超高压带,西起吉尔吉斯斯坦阿特巴什蓝片岩—榴辉岩带(Tagiri et al., 2010),经塔吉克斯坦南天山 Fan-Karategin 蓝片岩带,与榆树沟高压麻粒岩(Shu et al., 2005)和库米什铜花山蓝片岩遗迹相连(高俊等, 1993)。该带的榴辉岩、蓝片岩、绿片岩、大理岩及超基性岩构成了南天山北缘古生代 B 型俯冲带内的变质俯冲杂岩,是南天山洋闭合后碰撞造山的产物(张立飞等, 2005; 高俊等, 2006; Xiao et al., 2013)。前人对高压—超高压变质带进行了大量的年代学研究,例如:长阿吾子蓝片岩中蓝闪石 Ar-Ar 坪年龄为 350 Ma(肖序常等, 1992)、科克苏河蓝片岩中蓝闪石 Ar-Ar 坪年龄为 345 Ma(汤耀庆等, 1995)、阿克牙子河蓝片岩中蓝闪石 Ar-Ar 坪年龄为 401~344 Ma(高俊等, 2000)、蓝片岩中多硅白

云母 Ar-Ar 坪年龄为 381~331 Ma(Gao and Klemm, 2003)、库米什铜花山蓝片岩中蓝闪石 Ar-Ar 坪年龄为 360 Ma(刘斌和钱一雄, 2003)、榆树沟麻粒岩锆石变质边 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 392~390 Ma(周鼎武等, 2004)。综合以上发表数据,认为西天山造山带与俯冲有关的变质可能介于 400~331 Ma,代表了早石炭世末期之前存在大洋俯冲。

张立飞等(2005)对南天山北缘板块缝合带中的榴辉岩进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究,获得了锆石核部年龄 413~310 Ma,锆石变质边年龄为 233~225 Ma。在吉尔吉斯阿特巴什地区,Tagiri et al.(2010)获得了榴辉岩 Rb-Sr 等时线年龄为 267 Ma。上述榴辉岩变质年龄区间(267~225 Ma)可能代表了超高压变质折返阶段的退变质年龄。此外,结合大哈拉军山组岛弧火山岩最年轻的年龄 313 Ma(朱永峰等, 2005)、后碰撞火山—侵入岩年龄 306~250 Ma(赵振华等, 2003)、后碰撞钾长花岗岩年龄 280~266 Ma 及南天山后造山碱性岩 275~260 Ma(刘楚雄等, 2004)等前人研究成果,认为在晚石炭世末期西天山造山带已经进入后碰撞演化阶段(韩宝福等, 2006)。

综上所述,考虑到南天山洋至少延续到早石炭世末期、高压—超高压变质折返阶段的退变质年龄以及后碰撞岩浆活动的年龄区间,笔者认为南天山洋的最终关闭时间为中晚石炭世。

4 西天山造山带的俯冲极性

南天山洋是一个最早于晚奥陶世或早志留世开始形成、到中晚石炭世闭合的晚古生代洋盆,但目前对该洋盆的消减极性还存在不同的认识。肖序常等(1990)、汤耀庆等(1995)先后提出南天山洋于晚志留世—早泥盆世向北俯冲消减的认识。随后,在进一步详细的野外地质考察中,得到了大多数研究者的认同(高俊等, 2006; Xiao et al., 2013)。而舒良树等(1998)根据韧性构造变形分析提出南天山洋盆向南俯冲的见解。近年来,一些学者基于地质年代学和同位素地球化学提出南天山洋在晚古生代存在双向俯冲的观点(王超等, 2009; 张斌等, 2014)。笔者根据现有的地质资料,认为南天山洋盆古生代俯冲消减极性存在着早、晚两期不同时代、不同方向的俯冲作用。

南天山洋早期的消减作用主要发生在晚志留—早泥盆世时期,洋壳消减的极性是向南俯冲,并由西向东依次形成土尔克斯坦—阿赖志留—泥盆纪岛弧、东阿赖岛弧与弧间盆地、科克萨利志留—泥盆纪岛弧与弧间盆地、哈尔克志留纪岛弧与弧间盆地、额尔宾泥盆纪岛弧。在上述岛弧的南侧是靠近塔里木—卡拉库姆古陆的泽拉夫尚—阿赖和南天山南缘古生代弧后盆地(图1)。现有的资料表明:这些岛弧主要由志留—泥盆纪钙碱性岛弧火山岩和同期的碎屑岩、火山碎屑岩及碳酸盐岩组成。在我国新疆西南天山地区,哈尔克岛弧火山岩早中志留统以中酸性火山岩为主,厚度>840 m,中晚志留世在哈尔克山南坡科克铁盖达坂一带为一套安山岩+玄武安山岩+辉绿岩组合,厚度为2700 m,晚志留世在巴音布鲁克一带则以玄武岩和安山岩为主,厚度>2203 m。额尔宾岛弧火山岩在下泥盆统为玄武岩、安山岩组合,中泥盆统下部为安山岩—霏细岩—橄榄玄武岩,上部为流纹岩—安山岩,厚约809 m,其上被上泥盆统碳酸盐岩大面积覆盖(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993)。在吉尔吉斯斯坦境内的土尔克斯坦—阿赖、东阿赖和科克萨利志留—泥盆纪岛弧也以中基性火山岩为主,岩石化学成分也多为钙碱性系列。其中志留纪和泥盆纪都存在安山岩—玄武岩建造,岩性为钠质玄武岩、安山岩、英安岩和少量的流纹岩。一般情况下,洋壳沿着俯冲带向大陆之下俯冲,火山岛弧往往发育在洋陆交汇部位靠近大陆的一侧。因此,沿着南天山北缘板块缝合带南侧分布的志留—泥盆纪火山岛弧不仅能够代表曾经发生过洋壳消减作用,而且能够指示志留—泥盆纪南天山洋的俯冲消减作用是向南俯冲的。

此外,李向东等(2004)在南天山南缘前陆褶皱冲断带发现了一条向北逆冲的韧性剪切带,剪切带中糜棱岩白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为368 Ma,认为是南天山洋盆向南俯冲的构造形迹。与此同时,在南费尔甘纳断裂南侧的土尔克斯坦—阿赖志留—泥盆纪岛弧地带也保留有向北逆冲推覆的构造现象。由此推断,志留—泥盆纪南天山洋向南俯冲不仅造成了岛弧火山作用,而且还导致塔里木板块向北增生和南天山南缘晚古生代弧后拉张小洋盆的形成。南天山洋盆的晚期消减作用主要发生在晚泥

盆世—早石炭世时期,它可能是由于晚志留—早泥盆世南天山洋盆向南俯冲消减过程中,因受到塔里木—卡拉库姆古陆的阻挡而转为向北俯冲。虽然对反转俯冲机制的动力过程解释不清,但向北俯冲却具有较多的地质构造和年代学依据。

在北天山构造区的南缘,广泛发育晚泥盆世—石炭纪岛弧火山岩和同碰撞花岗岩,它们可能是南天山洋盆向北消减的产物。笔者近年来通过收集大量的俄文资料发现,费尔甘纳盆地北侧的库拉明—恰特卡尔泥盆—早中石炭世弧盆构造带内不仅发育大量的具有岛弧特征的钙碱性火山岩系列(安山岩—英安岩)和花岗岩,而且在构造上存在一系列的向南逆冲的推覆构造,指示了南天山洋盆于泥盆—石炭纪是沿着南费尔甘纳断裂带向北俯冲的。伊犁盆地南侧特克斯一带的早石炭世大哈拉军山组火山岩在岩石地球化学特征上与库拉明—恰特卡尔泥盆—早中石炭世弧盆构造带中的火山岩具有很大的相似性。大哈拉军山组火山岩曾经被认为是大陆裂谷环境下形成的双模式火山岩(Xia et al., 2004),而如今已被证实是在板块汇聚下形成的钙碱性岛弧火山岩,与同时期的钙碱性闪长岩—花岗岩—二长花岗岩组成早石炭世岛弧火山—侵入岩建造(李注苍等,2006;李永军等,2008)。因此,这些岛弧火山—侵入岩建造可能指示了当时南天山洋盆是向北俯冲消减的。

5 西天山造山带古生代洋陆转换过程

通过上述西天山造山带资料的系统梳理与总结,认为西天山造山带分别在早古生代和晚古生代经历了两次造山作用,结合区域地质资料及同位素数据,笔者将西天山造山带古生代洋陆转化过程划分为五个演化阶段。

5.1 罗迪尼亚大陆裂解与北天山早古生代多岛洋盆形成阶段(Z-O₂)

震旦纪之前,西天山内部诸多微陆块是罗迪尼亚超大陆的组成部分,震旦纪开始裂解,并形成许多亲西伯利亚或亲卡拉库姆—塔里木的古陆块。由于所处的大地构造位置不同,北天山构造区在中奥陶世时期就经裂谷、裂隙槽发展成为北天山早古生代多岛洋盆,而南天山构造区则较为稳定,出现在那里的一套寒武—奥陶纪沉积盖层,反映当时的

南天山构造区处于陆表海或陆间盆地的构造环境(图2)。

5.2 北天山早古生代多岛洋盆闭合与南天山洋盆开始形成阶段(O₃-S)

在北天山构造区,早古生代多岛洋盆形成之后,洋壳沿着阿其克库都克-艾比湖断裂由北东向

南西俯冲(唐巴勒早古生代活动陆缘带靠近大陆一侧),并形成一条由裂解陆块与活动陆缘火山-沉积物组成,以镶嵌构造为特征,内有强烈构造变形、绿片岩相变质、大规模同造山期花岗岩浆活动和少量蛇绿岩或蛇绿混杂岩呈带状零星分布的早古生代造山带(图3)。



图2 北天山早古生代多岛洋盆格局示意图(不依比例)

Fig.2 Geological framework of the early Paleozoic archipelagic ocean in northern Tianshan tectonic zone (non-scale)

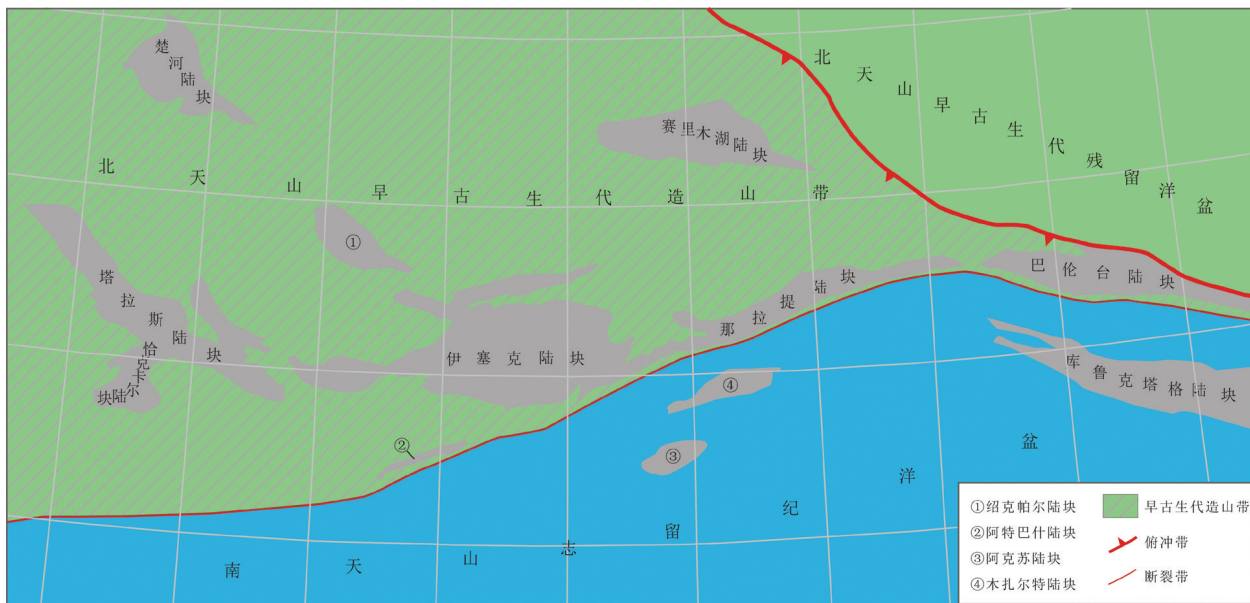


图3 北天山早古生代多岛洋盆闭合与南天山洋盆开始形成格局示意图(不依比例)

Fig.3 Closure of the early Paleozoic archipelagic ocean in northern Tianshan and the incipience of the southern Tianshan oceanic basin (non-scale)

在南天山构造区,发生在北天山构造区的早古生代造山作用促使南天山陆表海(或陆间盆地)沿着南天山北缘断裂南侧拉张伸展,在大陆地壳破裂之后,于志留纪开始发展成为南天山洋盆。其中南天山北缘断裂位于北天山早古生代造山带南侧,形成于早古生代造山作用的晚期(图3)。

5.3 南、北天山洋晚古生代洋盆形成与发展阶段(D-C₁)

北天山早古生代造山作用虽然形成了北天山早古生代大陆,且大大缩小了洋盆的面积,但没有造成洋盆全面闭合,其外围仍有较宽阔的残留洋盆,并在其基础上又相继出现新生的泥盆—石炭纪洋盆扩张,进而在形成北天山晚古生代洋盆的同时,也导致北天山早古生代大陆发生裂解和漂移。而在南天山于早志留世开始形成南天山洋盆之后,并没有发生像北天山那样的早古生代造山作用,而是相继扩张,并逐渐演变成规模更大的晚古生代洋盆(图4)。

5.4 南、北天山晚古生代洋盆全面闭合与天山碰撞造山带形成阶段(C₁-C₂)

南、北天山晚古生代洋盆与发展虽以扩张为主,但也有消减作用相伴随。在中、晚石炭世时期,因洋盆扩张速度明显小于消减速度而逐渐全面闭合。其中,北天山(准噶尔)晚古生代洋盆以沿着斋

桑—额尔齐斯断裂南侧向北俯冲为主,但也存在双向或多向消减的可能。在北天山晚古生代造山带形成,并与北天山早古生代造山带拼于体的过程中,北天山晚古生代造山带于早石炭世末期与西伯利亚板块碰撞对接,并形成斋桑—额尔齐斯碰撞缝合带。而在南天山,中、晚古生代洋盆于晚志留世—早石炭世向南俯冲,形成了一系列的岛弧和弧后盆地。但南天山洋盆并未因此而关闭,其北侧仍处于相继扩张状态。晚泥盆世—晚石炭世早期,可能因向南俯冲受阻而改为沿着南天山(南费尔干纳)断裂向北俯冲,其结果不仅形成了在大地构造位置隶属于塔里木—卡拉库姆板块,以线性构造为特征的南天山晚古生代构造带,而且还在晚石炭世时期与隶属于哈萨克斯坦—准噶尔板块的北天山早古生代和晚古生代造山带碰撞对接进而形成天山造山带,其间出现一条绵延1500 km以上的南天山南缘陆—陆碰撞缝合带。此后,由北向南渐次展布的西伯利亚板块、哈萨克斯坦—准噶尔板块和卡拉库姆—塔里木板块相互拼贴而成为欧亚大陆的重要组成部分(图5)。

5.5 碰撞后板内演化阶段(C₂-P)

南、北天山碰撞对接形成天山碰撞造山带之后,整个天山乃至中亚地区相继步入后碰撞和板内构造演化阶段,原有的构造格局遭受了强烈的改



图4 南、北天山晚古生代洋盆形成与发展格局示意图(不依比例)

Fig.4 Formation and development of the northern and southern Tianshan oceanic basins in the late Paleozoic (non-scale)

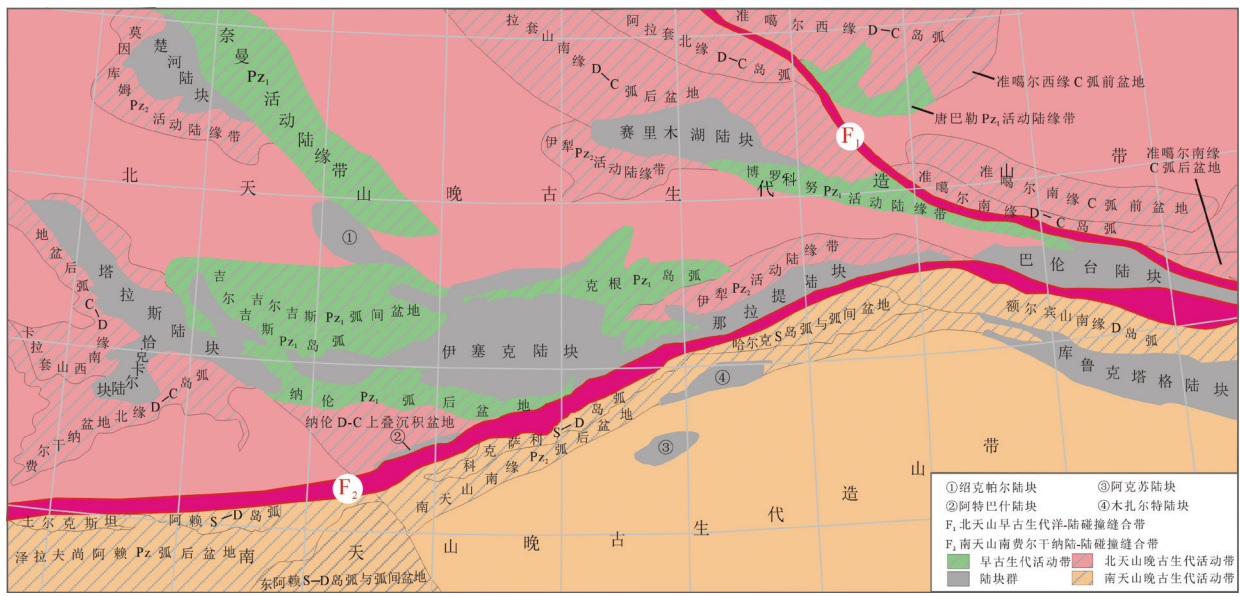


图5 南、北天山晚古生代洋盆全面闭合与天山碰撞造山带形成示意图(不依比例)
 Fig.5 Closure of the northern and southern Tianshan oceanic basins and the subsequent formation of Tianshan orogenic belt (non-scale)

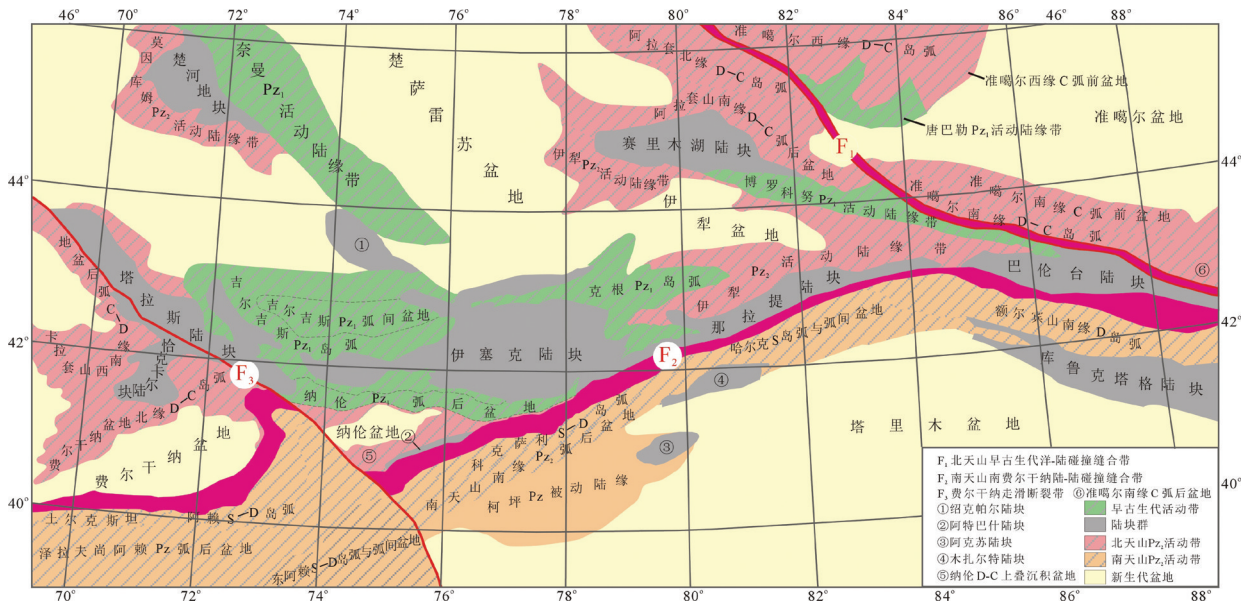


图6 天山碰撞造山带形成后的构造格局
 Fig.6 Post-collision stage of the intraplate environment in western Tianshan Orogen

造。其中,二叠纪为后碰撞期,除有造山期后伸展而形成的裂谷火山作用和山前磨拉石建造之外,还出现许多呈面型分布的小型碱性、偏碱的花岗岩岩浆活动。三叠纪—白垩纪,陆内伸展日趋明显,在形成一系列中生代沉积盆地的同时,还发育一条规模巨大,呈北西向延伸的塔拉斯—费尔甘纳右行走

滑断裂带。新生代时期,由于印度板块快速北移,西天山造山带地壳发生强烈的拗陷,形成山体快速隆升的盆山耦合格局(图6)。

6 结论

西天山造山带在古生代构造演化过程中,先后

经历了两次洋壳俯冲作用,一次发生在志留—泥盆纪时期,另一次则发生在晚泥盆—早石炭世时期,这两次俯冲都发生在以南天山北缘板块缝合带所代表的南天山多岛洋盆中,它们不仅时间不同、性质不同,而且俯冲方向也是先向南,后向北。其中,发生在志留—泥盆纪的洋盆俯冲是向南俯冲,因为在其南侧存在广泛的钙碱性岛弧火山岩。这次俯冲作用除形成上述弧—盆系统外,同时还引起南天山古生代弧后盆地拉张,并形成以南天山南缘小型弧后拉张洋盆。这次洋壳俯冲并没有造成南天山洋盆的完全关闭,而是在其外侧相继出现以吉尔吉斯斯坦境内阿特巴什、占格吉尔蛇绿岩为代表的晚泥盆—早石炭世洋盆。这一时期,蛇绿岩中硅质岩含有大量的晚泥盆—早石炭世牙形石化石。发生在晚泥盆—早石炭世的洋壳俯冲作用可能是因为早期俯冲受阻进而转为向北俯冲,虽然反转向北俯冲的机制目前还不清楚,但是向北俯冲消减的证据却都很充分。到晚石炭世南天山洋盆消减殆尽之后,卡拉库姆—塔里木板块与哈萨克斯坦—准噶尔板块相互碰撞,其结果不仅形成了一条由蛇绿岩、构造混杂岩、高压—超高压变质岩、逆冲推覆体和韧性剪切带组成的南天山北缘板块缝合带,而且还直接导致南天山南缘弧后拉张洋盆随之关闭和南、北天山构造区合二为一,共同组成一条绵延1500 km以上的西天山碰撞造山带。晚石炭世—二叠纪,呈面状分布的富碱、特别是富钾花岗岩类和二叠纪山前磨拉石建造的出现,表明西天山碰撞造山带的构造演化进入了后碰撞阶段,至此,天山乃至中亚地区结束了长达数亿年的洋—陆演化历史,在古亚洲洋全面关闭的过程中实现了洋—陆转化。

致谢:在研究和成文过程中得到了中国地质科学院地质研究所李廷栋院士、肖序常院士、任纪舜院士、卢民杰研究员和李锦轶研究员的关心与指导,在此向他们表示衷心的感谢!

References:

- Alekseev D V, Aristov V A, Degtyarev K E. 2007. The age and tectonic setting of volcanic and cherty sequences in the ophiolite complex of the Atbashe Ridge (Southern Tien Shan) [J]. *Doklady Earth Sciences*, 413(2): 380–383.
- Allen M B, Windley B F, Zhang Chi. 1993. Palaeozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tien Shan, central Asia[J]. *Tectonophysics*, 220(1–4): 89–115.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang. 1993. *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Charvet J, Shu L S, Laurent-Charvet S. 2007. Paleozoic structural and geodynamic evolution of eastern Tianshan (NW China): Welding of the Tarim and Junggar plates[J]. *Episodes*, 30(3): 162–186.
- Chen Bo, Ma Zhongping, Meng Guanglu, Wang Bin, Cao Jifei, Li Wenyuan. 2016. The progress in geological study of Middle Tianshan Mountains within Kyrgyzstan[J]. *Geology in China*, 43(2): 458–469 (in Chinese with English abstract).
- Dobretsov N L, Buslov M M. 2007. Late Cambrian–Ordovician tectonics and geodynamics of Central Asia[J]. *Russian Geology & Geophysics*, 48(1): 71–82.
- Feng Yimin. 1986. Genetic environments and original types of ophiolites in west Junggar[J]. *Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources*, (13): 37–45 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jun, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Zhao Min, Wang Jun, Wu Hanquan. 1993. The discovery of blueschist in Kumux of the south Tianshan Mountains and its tectonic significance[J]. *Regional Geology of China*(4): 344–347 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jun, Klemd R, Liu Shengwei. 2000. Eclogitization of Glauconites by fluid infiltration[J]. *Science in China (Series D)*, 30: 29–37 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jun, Klemd R. 2003. Formation of HP–LT rocks and their tectonic implications in the western Tianshan Orogen, NW China: geochemical and age constraints[J]. *Lithos*, 66(1/2): 1–22.
- Gao Jun, Long Lingli, Qian Qing, Huang Dezhi, Su Wen, KLEMD Reiner. 2006. South Tianshan: a Late Paleozoic or a Triassic orogen?[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1049–1061 (in Chinese with English abstract).
- Graham S A, Brassell S, Carroll A R, Xiao X, Demaison G, Mcknight C L, Liang Y, Chu J, Hendrix M S. 1990. Characteristics of selected petroleum source rocks, Xianjiang–Uygur autonomous region, northwest China[J]. *AAPG Bulletin*, 74(4): 493–512.
- Graham S A, Hendrix M S, Wang L B, Carroll A R. 1993. Collisional successor basins of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 105(3): 323–344.
- Gu Yangping, Li Yongjun, Zhang Bing, Tong Lili, Wang Junnian. 2009. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating of gabbro in the Darbut ophiolite, western Junggar, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1364–1372 (in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, Chen, Lihui, Zhang Lei. 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: 1077–1086 (in Chinese)

- with English abstract).
- Han Baofu, Guo Zhaojie, He Guoqi. 2010. Timing of major suture zones in North Xinjiang, China: constraints from stitching plutons[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26: 2233–2246 (in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, He Guoqi, Wang Xuechao, Guo Zhaojie. 2011. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan–Yili terranes in the western segment of the south Tian Shan Orogen, Central Asia, and implications for the northern Xinjiang, western China[J]. *Earth–Science Reviews*, 109(3/4): 74–93.
- Hao Jie, Liu Xiaohan. 1993. Ophiolite melange time and tectonic evolutionary model in south Tianshan area[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 28(1): 93–95 (in Chinese with English abstract).
- He Jingwen, Zhu Wenbin, Zheng Bihai, Wu Hanlin, Ge Rongfeng, Luo Meng. 2015. Provenance of Sinian Sugetbrak sedimentary rocks in the Aksu Area, NW Tarim: Evidence from detrital zircon geochronology[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(1): 149–162 (in Chinese with English abstract).
- Hu Aiqing, Zhang Guoxin, Chen Yibing, Zhang Qianfeng. 2001. A model of division of the continental crust basement and the time scales of the major geological events in the Xinjiang–based on studies of isotopic geochronology and geochemistry[J]. *Xinjiang Geology*, 19(1): 12–19 (in Chinese with English abstract).
- Kröner A, Kovach V, Belousova E, Hegner E, Armstrong R, Dolgoplova A, Seltmann R, Alexeiev D V, Hoffmann J E, Wong J. 2014. Reassessment of continental growth during the accretionary history of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Gondwana Research*, 25(1): 103–125.
- Kröner A, Windley B F, Badarch G, Tomurtogoo O, Hegner E, Jahn B M, Gruschka S, Khain E V, Demoux A, Wingate M T D. 2007. Accretionary growth and crust–formation in the Central Asian Orogenic Belt and comparison with the Arabian–Nubian shield[J]. *Memoir of the Geological Society of America*, 200(5): 181–209.
- Li Jingyi, Wang Kezhuo, Li Yaping, Sun Guihua, Chu Chunhua, Li Liqun, Zhu Xinzhi. 2006. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(8): 895–909 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiangdong, Xiao Wenjiao, Zhou Zongliang. 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age determination on the Late Devonian tectonic event along the southern margin of the South Tianshan Mountains and its significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 691–696 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongyun, Gu Pingyang, Pang Zhenjia, Luan Xindong, Tong Lili. 2008. Identification of the adakite rocks of Kulesayi series and its significance of Mo prospecting in the Tekesidaban of western Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2713–2719 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhucang, Li Yongjun, Li Jinghong, Luan Xindong, Guo Wenjie. 2006. Geochemical characteristics of the Dahalajunshan formation volcanic rocks and their implications on the tectonic setting in Awulale area[J]. *Xinjiang Geology*, 24(2): 120–124 (in Chinese with English abstract).
- Liang Yunhai, Li Wenqian. 2000. Discussion of opening–closing tectonic belt of Paleozoic in south Tianshan Mountains, China[J]. *Xinjiang Geology*, 18(3): 220–228 (in Chinese with English abstract).
- Liao Wenxiong, Guo Hailong. 2010. Geochemical properties of copper–molybdenum ore in Nijinke–Jinghe area, Xinjiang[J]. *West-China Exploration Engineering*, 22(4): 149–152 (in Chinese with English abstract).
- Liu Benpei, Wang Ziqiang, Zhang Chuanheng. 1996. Tectonic Framework and Evolution in the Southwest Tianshan[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1–120 (in Chinese).
- Liu Bin, Qian Yixiong. 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 Chuxiong, Xu Baoliang, Zou Tianren, Lu Fengxiang, Tong Ying, Cai Jianhui. 2004. Petrochemistry and tectonic significance of Hercynian alkaline rocks along the northern margin of the Tarim platform and its adjacent area[J]. *Xinjiang Geology*, 22(1): 43–49 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chunyong. 2005. Sayak large skarn copper deposit in Kazakhstan[J]. *Central Asian Information*, (11): 20–22 (in Chinese with English abstract).
- Liu Weiguo, Zhang Jiandong, Ban Yongjian, Tian Shaoting, Li Peng, Li Kaiqiang, He Guangqian. 2016. Zircon SHRIMP U–Pb dating of Nalati Group in western Tianshan and its geological significance[J]. *Xinjiang Geology*, 34(2): 157–163 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wenbin, Ju Genshe, Cui Xiaofeng, Ding Jianguang, Zhang Mingyun, Song Yinwei. 2010. Geochemistry of upper Carboniferous volcanics of Qianxia formation in north Tianshan mountains and its tectonic significance[J]. *Northwestern Geology*, 43(3): 1–11 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhengtao, Zhu Zhixin, Song Songshan, Liu Guozhon, Jiang Yunhui, Yang Zaifeng, Liu Xiaorong. 2008. The geology and tectonic significance of Devonian volcanic rocks in the south rim of Eerbin mountain, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 26(3): 215–219 (in Chinese with English abstract).
- Long Lingli, Gao Jun, Xiong Xianming, Qian Qing. 2006. The geochemical characteristics and the age of the Kule Lake ophiolite in the southern Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 65–73

- (in Chinese with English abstract).
- Meyer M, Klemd R, Konopelko D. 2013. 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*, 177: 207–225.
- Mossakovsky A A, Ruzhentsev S V, Samygin S G, Kheraskova T N. 1994. The Central Asian fold belt: Geodynamic evolution and formation[J]. *Geotectonics*, 27: 3–32.
- Rojas-Agramonte Y, Kröner A, Alexeiev D V, Jeffreys T, Khudoley A K, Wong J, Geng H, Shu L, Semiletkin S A, Mikolaichuk A V, Kiselev V V, Yang J, Seltmann R. 2014. Detrital and igneous zircon ages for supracrustal rocks of the Kyrgyz Tianshan and palaeogeographic implications[J]. *Gondwana Research*, 26(3): 957–974.
- Ruzhentsev S V, Pospelov I I, Badarch G. 1989. Tectonics of the Mongolian Indosinides[J]. *Geotectonics*, 23(6): 476–487.
- Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364(6435): 299–307.
- Shu Liangshu, Charvet J, Ma R. 1998. Study of a large scale Paleozoic dextral strike-slip ductile shear zone along the northern margin of the central Tianshan, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 16(4): 326–336 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Charvet J, Lu Huaifu, Laurent S. C. 2002. Paleozoic accretion-collision events and kinematics of ductile deformation in the eastern part of the southern-central Tianshan belt, Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(3): 308–323.
- Shu Liangshu, Guo Zhaojie, Zhu Wenbin, Lu Huaifu, Wang Bo. 2004. Post-collision tectonism and basin-range evolution in the Tianshan Belt[J]. *Geological Journal of China Universities*, 10(3): 393–404 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Yu Jinhai, Charvet J, Laurent-Charvet S, Sang Haiqing, Zhang Rengu. 2005. Geological, geochronological and geochemical features of granulites in the Eastern Tianshan, NW China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(1): 25–41.
- Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Wang Bo, Wu Changzhi, Ma Dongsheng, Ma Xuxuan, Ding Haifeng. 2013. The Formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang[J]. *Geology in China*, 40(1): 43–60 (in Chinese with English abstract).
- Solomovich L I, Trifonov B A. 2002. Postcollisional granites in the South Tien Shan Variscan Collisional Belt, Kyrgyzstan[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(1): 7–21.
- Tagiri M, Yano T, Bakirov A, Nakajima T, Uchiumi S. 2010. Mineral parageneses and metamorphic $P-T$ paths of ultrahigh-pressure eclogites from Kyrgyzstan Tien-Shan[J]. *Island Arc*, 4(4): 280–292.
- Tang K D. 1990. Tectonic development of Paleozoic foldbelts at the north margin of the Sino-Korean Craton[J]. *Tectonics*, 9(2): 249–260.
- Tang Yaoqing, Gao Jun, Zhao Min, Li Jinyi, Wang Jun. 1995. Ophiolites and blueschist of the southwestern Tianshan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–133 (in Chinese).
- Wang Bo, Chen Yan, Zhan S, Shu Liangshu, Faure M, Cluzel D, Charvet J, Laurent-Charvet S. 2007. Primary Carboniferous and Permian paleomagnetic results from the Yili Block (NW China) and their implications on the geodynamic evolution of Chinese Tianshan Belt[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 263(3/4): 288–308.
- Wang Bo, Shu Liangshu, Faure M, Jahn B M, Cluzel D, Charvet J, Chung S L, Meffre S. 2011. Paleozoic tectonics of the southern Chinese Tianshan: Insights from structural, chronological and geochemical studies of the Heiyingshan ophiolitic mélange (NW China)[J]. *Tectonophysics*, 497(1): 85–104.
- Wang Chao, Luo Jinhai, Che Zicheng, Liu Liang, Zhang Jingyi. 2009. Geochemical Characteristics and U–Pb LA–ICP–MS Zircon dating of the Oxidaban Pluton from Xinjiang, China: Implications for a Paleozoic oceanic subduction process in southwestern Tianshan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(2): 272–283 (in Chinese with English abstract).
- Wang Fei, Wang Bo, Shu Liangshu. 2010. Continental tholeiitic basalt of the Akesu area (NW China) and its implications for the Neoproterozoic rifting in the northern Tarim[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 547–558 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qingchen, Shu Liangshu, Charvet J, Faure M, Ma H D, In B N, Gao Jun, Kroner A, Xiao Wenjiao, Li Jinyi. 2010. Understanding and study perspectives on tectonic evolution and crustal structure of the Paleozoic Chinese Tianshan[J]. *Episodes*, 33(4): 242–266.
- Wang Rui, Zhu Yongfeng. 2007. Geology of the Baobei gold deposit in Western Juggar and zircon SHRIMP age of its wall-rocks, Western Junggar (Xinjiang, NW China) [J]. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 590–602 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zongxiu, Zhou Gaozhi, Li Tao. 2003. The consideration on ophiolite and interrelated issue in northern Xinjiang, northwestern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 683–691 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zuoxun, Wu Jiyi, Lv Xichao, Zhang Jingguo. 1990. Polycyclic Tectonic Evolution and Metallogeny of the Tianshan Mountains[M]. Beijing: Science Press, 1–215 (in Chinese).
- Wei Yongfeng, Deng Zejin, Li Jianbing, Du Hongxing, Sun Tao, Kang Jiangwei. 2010. The geochemical behavior and geological significance of U–Pb dating on quartz-feldspathic rocks in eastern Muzhaerte, southwest Tianshan[J]. *Xinjiang Geology*, 28(2): 125–129 (in Chinese with English abstract).
- Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, Kröner A, Badarch G. 2007.

- Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of the Geological Society*, 164(12): 31–47.
- Xia Linqi, Xu Xueyi, Xia Zuchun, Li Xiangmin, Ma Zhongping, Wang Lishe. 2004. Petrogenesis of Carboniferous rift-related volcanic rocks in the Tianshan, northwestern China[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 116(3): 419–433.
- Xiao Wenjiao, Huang Baochun, Han Chunming, Sun Shu, Li Jiliang. 2010. A review of the western part of the Altaids: A key to understanding the architecture of accretionary orogens[J]. *Gondwana Research*, 18(2/3): 253–273.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Allen M B, Han Chunming. 2013. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage[J]. *Gondwana Research*, 23(4): 1316–1341.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Badarch G, Sun Shu, Li Jiliang, Qin Kezhang, Wang Zuoheng. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: Implications for the growth of Central Asia[J]. *Journal of the Geological Society*, 161(3): 339–342.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Huang Baochun, Han Chunming, Yuan Chao, Chen Hailong, Sun Min, Sun Shu, Li Jiliang. 2009. 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*, 98(6): 1189–1217.
- Xiao Xuchang, Graham S A., Carroll A R, Zhu Jinzhi, Feng Yimin, Hendrix M S, Liang Yunhai, Liu Zhongguang, Maruyama, Mcknight C L, Tang Yaoqing, Wang Xiaomin, Wang Zuoxun, Zhao Min, Zhu Baoqing. 1990. Proterozoic blueschist belt in western China: Best-documented Precambrian blueschists in the world[J]. *Xinjiang Geology*, 8(1): 12–21 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, Zhu Baoqing, Li Jinyi, Zhao Min. 1992. Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–169 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xin, He Guoqi, Li Huaqin, Ding Tianfu, Liu Xingyi, Mei Shaowu. 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélangé, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating[J]. *Geology in China*, 33(3): 470–475 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Li Xiangmin, Ma Zhongping, Xia Linqi, Xia Zuchun, Peng Suxia. 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).
- Yue Y, 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[J]. *Memoir of the Geological Society of America*, 194: 101–116.
- Zhang Bin, Chen Wen, Yu Shun, Yin Jiyuan, Li Jie, Sun Jingbo, Yang Li, Yang Jing. 2014. Subduction process of South Tianshan Ocean during Paleozoic[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(8): 2351–2362 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chi, Huang Xuan. 1992. The ages and tectonic settings of ophiolites[J]. *Geological Review*, 38(6): 507–524 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lifei. 1997. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ metamorphic ages of Tangbale blueschists and their geological significance in West Junggar of Xinjiang[J]. *Chinese Science Bulletin*, 42(20): 2178–2181 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lifei, Ai Yongliang, Li Qiang, Li Xuping, Song Shuguang, Wei Chunjing. 2005. The formation and tectonic evolution of UHP metamorphic belt in southwestern Tianshan, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4): 1029–1038 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lifei, Ai Yongliang, Li Xuping, Rubatto D., Song Biao, Williams S, Song Shuguang, Ellis D, Liou J G. 2007. Triassic collision of western Tianshan orogenic belt, China: Evidence from SHRIMP U–Pb dating of zircon from HP/UHP eclogitic rocks[J]. *Lithos*, 96(1): 266–280.
- Zhang Liangchen. 1995. Tectonic and Dynamic Characteristics of Xinjiang, China[M]. Urumqi: Volksverlag Xinjiang, 1–14 (in Chinese).
- Zhang Renfu, Yang Jianguo, Wang Mancang, Yao Wenguang. 2002. The study of metallogenic geologic setting and prospecting potential evaluation in Southwestern Tianshan mountains[J]. *Northwestern Geology*, 35(4): 101–121 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Bai Zhenghua, Xiong Xiaolin, Mei Houjun, Wang Yixian. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronological study of Late Paleozoic volcanic–hypabyssal igneous rocks in western Tianshan, Xinjiang[J]. *Geochemica*, (4): 317–327 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dingwu, Su Li, Jian Ping, Wang Runsan, Liu Xiaoming, Lu Guanxiang, Wang Juli. 2004. SHRIMP zircon U–Pb age and tectonic significance of HP granulite in Yushugou ophiolite, southern Tianshan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(14): 1411–1415 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xiang, Yu Xinqi, Wang Zongxiu, Xiao Weifeng, Li Chunlin, Li Pengju, Tong Jichu. 2015. SHRIMP zircon U–Pb geochronological and geochemical data of the Early Carboniferous Dahalajunshan Formation: Evidence for the subduction processes in Western Tianshan[J]. *Geological Bulletin of China*, 34(5): 845–860 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yixiu, Liu Luofu, Lin Changsong. 2005. Petroleum geology of

- Fergana Basin in Central China[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 41(1): 25–31.
- Zhu Yongfeng, Xu Xin, Wei Shaoni, Song Biao, Guo Xuan. 2007. Geochemistry and tectonic significance of OIB-type pillow basalts in western Mts. of Karamay city (western Junggar), NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(7): 1739–1748 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Zhang Lifei, Gu Libing, Guo Xuan, Zhou Jing. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains[J]. Chinese Science Bulletin, (18): 78–88 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Zhixin, Dong Lianhui, Wang Kezhao, Zhao Tongyang, Xu Shiqi, Chen Bangxue, Li Ping, Jin Liuyuan. 2013. Tectonic division and regional tectonic evolution of West Tianshan orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 32(2): 297–306 (in Chinese with English abstract).
- Zuo Guochao, Zhang Zuoheng, Wang Zhiliang, Liu Min, Wang Longsheng. 2008. Tectonic division, stratigraphical system and the evolution of western Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. Geological Review, 54(6): 748–767 (in Chinese with English abstract).
- 要地质事件的划分[J]. 新疆地质, 19(1): 12–19.
- 李锦轶, 王克卓, 李亚萍, 孙桂华, 褚春华, 李丽群, 朱志新. 2006. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报, 25(8): 895–909.
- 李向东, 肖文交, 周宗良. 2004. 南天山南缘晚泥盆世构造事件的⁴⁰Ar/³⁹Ar定年证据及其意义[J]. 岩石学报, 20(3): 691–696.
- 李永军, 辜平阳, 庞振甲, 栾新东, 佟丽莉. 2008. 西天山特克斯达坂库勒萨依序列埃达克岩的确立及钼找矿意义[J]. 岩石学报, 24(12): 2713–2719.
- 李注苍, 李永军, 李景宏, 栾新东, 郭文杰. 2006. 西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 新疆地质, 24(2): 120–124.
- 梁云海, 李文铅. 2000. 南天山古生代开合带特征及其讨论[J]. 新疆地质, 18(3): 220–228.
- 廖文雄, 郭海龙. 2010. 新疆尼勒克县—精河县奈楞格勒一带铜钼矿地球化学特征[J]. 西部探矿工程, 22(4): 149–152.
- 刘本培, 王自强, 张传恒. 1996. 西南天山构造格局与演化[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1–120.
- 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.
- 刘楚雄, 许保良, 邹天人, 路凤香, 童英, 蔡剑辉. 2004. 塔里木北缘及邻区海西期碱性岩岩石化学特征及其大地构造意义[J]. 新疆地质, 22(1): 43–49.
- 刘春涌. 2005. 哈萨克斯坦萨亚克大型矽卡岩型铜矿床[J]. 中亚信息(11): 20–22.
- 刘崑国, 张建东, 班建永, 田少亭, 李鹏, 李凯强, 贺光前. 2016. 西天山那拉提岩群SHRIMP锆石U–Pb年龄及地质意义[J]. 新疆地质, 34(2): 157–163.
- 刘文斌, 琚根社, 崔霄峰, 丁见广, 张明云, 宋迎蔚. 2010. 天山北部上石炭统前峡组火山岩地球化学特征及构造意义[J]. 西北地质, 43(3): 1–11.
- 刘振涛, 朱志新, 宋松山, 刘国忠, 姜云辉, 杨在峰, 刘晓荣. 2008. 新疆额尔宾山南缘泥盆纪火山岩地质特征及构造意义[J]. 新疆地质, 26(3): 215–219.
- 龙灵利, 高俊, 熊贤明, 钱青. 2006. 南天山库勒湖蛇绿岩地球化学特征及其年龄[J]. 岩石学报, 22(1): 65–73.
- 舒良树, Charvet J, Ma R. 1998. 中天山北缘大型右旋走滑剪切带研究[J]. 新疆地质, 16(4): 326–336.
- 舒良树, 郭召杰, 朱文斌, 卢华复, 王博. 2004. 天山地区碰撞后构造与盆地演化[J]. 高校地质学报, 10(3): 393–404.
- 舒良树, 朱文斌, 王博, 吴昌志, 马东升, 马绪宣, 丁海峰. 2013. 新疆古块体的形成与演化[J]. 中国地质, 40(1): 43–60.
- 汤耀庆, 高俊, 赵民, 李锦轶, 王军. 1995. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩[M]. 北京: 地质出版社, 1–133.
- 王超, 罗金海, 车自成, 刘良, 张敬艺. 2009. 新疆欧西达坂花岗岩体地球化学特征和锆石LA–ICP–MS定年: 西南天山古生代洋盆俯冲作用过程的启示[J]. 地质学报, 83(2): 272–283.

附中文参考文献

- 陈博, 马中平, 孟广路, 王斌, 曹积飞, 李文渊. 2016. 吉尔吉斯斯坦中天山地质特征及研究进展[J]. 中国地质, 43(2): 458–469.
- 冯益民. 1986. 西准噶尔蛇绿岩生成环境及其成因类型[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, (13): 37–45.
- 高俊, Klemd R, 刘圣伟. 2000. 流体渗透下蓝闪石岩的榴辉岩化作用[J]. 中国科学, 30: 29–37.
- 高俊, 龙灵利, 钱青, 黄德志, 苏文, Klemd R. 2006. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带?[J]. 岩石学报, 22(5): 1049–1061.
- 高俊, 肖序常, 汤耀庆, 赵民, 王军, 吴汉泉. 1993. 南天山库米什蓝片岩的发现及其大地构造意义[J]. 地质通报(4): 344–347.
- 辜平阳, 李永军, 张兵, 佟丽莉, 王军年. 2009. 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, 25(6): 1364–1372.
- 韩宝福, 季建清, 宋彪, 陈立辉, 张磊. 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.
- 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. 2010. “钉合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限[J]. 岩石学报, 26(8): 2233–2246.
- 郝杰, 刘小汉. 1993. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义[J]. 地质科学, 28(1): 93–95.
- 何景文, 朱文斌, 郑碧海, 吴海林, 葛荣峰, 罗梦. 2015. 塔里木西北缘阿克苏地区震旦系苏盖特布拉克组沉积物源分析: 碎屑锆石年代学证据[J]. 地质学报, 89(1): 149–162.
- 胡霁琴, 张国新, 陈义兵, 张前锋. 2001. 新疆大陆基底分区模式和主

- 王飞, 王博, 舒良树. 2010. 塔里木西北缘阿克苏地区大陆拉斑玄武岩对新元古代裂解事件的制约[J]. 岩石学报, 26(2): 547-558.
- 王瑞, 朱永峰. 2007. 西准噶尔宝贝金矿地质与容矿火山岩的锆石 SHRIMP 年龄[J]. 高校地质学报, 13(3): 590-602.
- 王宗秀, 周高志, 李涛. 2003. 对新疆北部蛇绿岩及相关问题的思考和认识[J]. 岩石学报, 19(4): 683-691.
- 王作勋, 邹继易, 吕喜朝, 张经国. 1990. 天山多旋回构造演化及成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1-215.
- 魏永峰, 邓泽锦, 李建兵, 杜红星, 孙涛, 康江伟. 2010. 西南天山木扎尔特群长英质岩地球化学特征及 U-Pb 年龄的地质意义[J]. 新疆地质, 28(2): 125-129.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 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, Graham S A., Carroll A R., 朱锦志, 冯益民, Hendrix M S, 梁云海, 刘忠光, Maruyama, Mcknight C L., 汤耀庆, 王小民, 王作勋, 赵民, 朱宝庆. 1990. 中国西部元古代蓝片岩带——世界上保存最好的前寒武纪蓝片岩[J]. 新疆地质, 8(1): 12-21.
- 新疆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.
- 徐新, 何国琦, 李华芹, 丁天府, 刘兴义, 梅绍武. 2006. 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, 33(3): 470-475.
- 徐学义, 李向民, 马中平, 夏林圻, 夏祖春, 彭素霞. 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.
- 张斌, 陈文, 喻顺, 尹继元, 李洁, 孙敬博, 杨莉, 杨静. 2014. 南天山洋古生代期间俯冲作用过程探讨[J]. 岩石学报, 30(8): 2351-2362.
- 张弛, 黄萱. 1992. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境的探讨[J]. 地质论评, 38(6): 507-524.
- 张立飞. 1997. 新疆西准噶尔唐巴勒蓝片岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 42(20): 2178-2181.
- 张立飞, 艾永亮, 李强, 李旭平, 宋述光, 魏春景. 2005. 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化[J]. 岩石学报, 21(4): 1029-1038.
- 张良臣. 1995. 中国新疆板块构造与动力学特征. 新疆第三届天山地质矿产学术研讨会论文集选辑[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1-14.
- 赵仁夫, 杨建国, 王满仓, 姚文光. 2002. 西南天山成矿地质背景研究及找矿潜力评价[J]. 西北地质, 35(4): 101-121.
- 赵振华, 白正华, 熊小林, 梅厚钧, 王一先. 2003. 西天山北部晚古生代火山—浅侵位岩浆岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年[J]. 地球化学(4): 317-327.
- 周鼎武, 苏犁, 简平, 王润三, 柳小明, 陆关祥, 王居里. 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.
- 周翔, 余心起, 王宗秀, 肖伟峰, 李春麟, 李鹏举, 童继初. 2015. 西天山大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地质通报, 34(5): 845-860.
- 朱毅秀, 刘洛夫, 林畅松. 2005. 中亚地区费尔干纳盆地油气地质特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 41(1): 25-31.
- 朱永峰, 徐新, 魏少妮, 宋彪, 郭璇. 2007. 西准噶尔克拉玛依 OIB 型枕状玄武岩地球化学及其地质意义研究[J]. 岩石学报, 23(7): 1739-1748.
- 朱永峰, 张立飞, 古丽冰, 郭璇, 周晶. 2005. 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(18): 78-88.
- 朱志新, 董连慧, 王克卓, 赵同阳, 徐仕琪, 陈邦学, 李平, 靳留圆. 2013. 西天山造山带构造单元划分与构造演化[J]. 地质通报, 32(2): 297-306.
- 左国朝, 张作衡, 王志良, 刘敏, 王龙生. 2008. 新疆西天山地区构造单元划分、地层系统及其构造演化[J]. 地质论评, 54(6): 748-767.