

新疆北部古生代构造演化的几点认识*

徐学义^{1,2,3} 李荣社^{2,3} 陈隽璐^{1,2,3} 马中平^{1,2,3} 李智佩^{1,2,3} 王洪亮^{2,3} 白建科^{1,2,3} 唐卓^{1,2,3}
 XU XueYi^{1,2,3}, LI RongShe^{2,3}, CHEN JunLu^{1,2,3}, MA ZhongPing^{1,2,3}, LI ZhiPei^{1,2,3}, WANG HongLiang^{2,3}, BAI JianKe^{1,2,3} and TANG Zhuo^{1,2,3}

1. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 西安 710054

2. 中国地质调查局造山带地质研究中心, 西安 710054

3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054

1. MLR Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Xian 710054, China

2. Research Center for Orogenic Geology, CGS, Xian 710054, China

3. Xian Center of Geological Survey, CGS, Xian 710054, China

2013-03-10 收稿, 2013-10-01 改回.

Xu XY, Li RS, Chen JL, Ma ZP, Li ZP, Wang HL, Bai JK and Tang Z. 2014. New constrains on the Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang area. *Acta Petrologica Sinica*, 30(6):1521–1534

Abstract Based on our new geological investigation in the northern Xinjiang, a tectonic model of three Plates with two Belts and complex evolutionary history inversion from ocean to continent are revealed here. According to the evidence of geology, geophysics and detrital zircon U-Pb dating, a Precambrian block existing in southern Junggar Basin is recognized. By re-defining and re-interpreting the various tectonic units, this paper presents a new, improved standpoint for the tectonic characteristics of eastern Junggar and western Junggar. The eastern Junggar is a well-exposed accretionary wedge stretch from Mayebo in southeastern of Ertix tectonic belt to Wucaiwan in southern Kalamyli tectonic belt, and western Junggar is also a accretionary wedge developing from eastern Ertix tectonic belt to southern margin of Xiemishitai. Integrating our new field observations and interpretation of geological data from key areas, we suggest that the formation of Kazakhstan Plate in Early Paleozoic was caused by amalgamation between the Junggar-Tuha, Central Tianshan and Yili blocks, which define the Early Paleozoic orogeny in northern Xinjiang. According to the Devonian stratigraphy and sedimentary environments, the evolution of the ocean to the north of the Kazakhstan Plate from Early Devonian to Late Devonian is discussed, and the closure time of the ocean is identified in Late Devonian. On the other hand, this paper aims to amplify current understanding of the southern Tianshan Belt by describing it as a huge accretionary wedge, and the southern most suture zone between Siberia-Kazakhstan Union Plate and Tarim Plate which possibly closed at the end of the Early Carboniferous. Therefore, this paper presents an improved model for Late Paleozoic evolution of the northern Xinjiang area, which is a model of three Plates with two Belts. After the formation of the Kazakhstan Plate, there exist the Siberia Plate to the north, the Kazakhstan Plate in the middle and the Tarim Plate to the south, which was separated by the Junggar Belt and South Tianshan Belt, respectively. The collision between the Siberia Plate and Kazakhstan Plate occurred at about the latest Devonian, which formed the Siberia-Kazakhstan union Plate. Then the union Plate collide with the Tarim Plate possibly occurred at the end of the Early Carboniferous, which remark the terminal time of the ocean-continental transformation of Paleo-Asia Ocean in China. From Late Carboniferous to Early Permian, the whole northern Xinjiang area evolved into a continental extension and rift with thick piles of basaltic lavas and subordinate intermediate-silicis lavas.

Key words Paleozoic tectonic evolution; Tectonic model of three Plates with two Belts; Northern Xinjiang; Paleo Asian Ocean; Central Asian Orogenic Belt

摘要 最近的地质调查和研究资料揭示,新疆北部古生代存在“三块两带”的构造格局,并经历了复杂的洋陆转换过程。地质、地球物理和碎屑锆石年龄结果显示,准噶尔盆地南部应存在一个至少发育前震旦系的古老陆块;初步认为东准噶尔北

* 本文受国家自然科学基金项目(40872061)、中国地质调查局国土资源大调查项目(1212011085091、1212011085055、1212011220649、121201185475)联合资助。

第一作者简介:徐学义,男,1966年生,研究员,主要从事区域岩石学和岩石地球化学研究,E-mail: xuxueyi1030@163.com

自额尔齐斯构造带东南的玛依鄂博地区至南部的卡拉麦里构造带南界,整体为一增生杂岩体,西准噶尔自额尔齐斯构造带南至谢米斯台南缘亦为一增生杂岩体。提出新疆北部加里东运动表现为准噶尔-吐哈陆块、中天山陆块群、伊犁地块等拼合形成哈萨克斯坦板块的一部分。从新疆北部泥盆系建造组合和沉积环境演变视角,探讨了早古生代形成的哈萨克板块北部洋盆从早泥盆世开始,至晚泥盆世拼合,洋盆经历了逐渐变浅直至消亡的演化过程。结合区域地质调查资料,提出南天山为一巨大的增生杂岩体,代表了哈萨克斯坦板块与塔里木板块最后增生拼合的位置,亦是古亚洲洋在中国境内最后闭合的位置,闭合的时限为早石炭末期。在以上认识的基础上,提出新疆北部晚古生代构造演化的“三块两带”基本框架:即在统一哈萨克斯坦板块形成后,自北而南依次存在西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块、塔里木板块及其间的准噶尔洋盆和南天山洋盆。晚泥盆世哈萨克斯坦板块与西伯利亚板块完成增生拼贴;早石炭世末,塔里木板块与西伯利亚-哈萨克斯坦联合板块完成增生拼贴,古亚洲洋结束洋陆转换;晚石炭世至早二叠世,新疆北部进入后碰撞伸展至大陆裂谷演化阶段。

关键词 古生代构造演化;三块两带构造格局;新疆北部;古亚洲洋;中亚造山带

中图法分类号 P542.4

1 引言

新疆北部包括阿尔泰造山带、东准噶尔造山带、西准噶尔造山带和天山造山带,为中亚巨型复合造山系(又称为乌拉尔-蒙古巨型古生代复合造山系)的中国新疆境内部分,它是挟持于北部的西伯利亚板块与南部的塔里木板块之间的古亚洲洋,在形成、演化和消亡过程中伴随诸多陆块拼合、增生-俯冲、碰撞造山的产物(Şengör *et al.*, 1993; Xiao *et al.*, 2003, 2004, 2009; Jahn *et al.*, 2004)。长期以来,关于新疆北部造山带古生代构造演化过程的主流观点是增生造山,不同的学者提出了不同的增生拼贴模式。单就增生拼贴过程而言,国内学者对其从北往南增生演化总体过程基本认同,但对增生过程的具体细节及古生代洋盆闭合的最终时限认识不一。归结起来主要有四种认识:其一,新疆北部早古生代至晚古生代是一个连续的由北往南增生过程,古生代洋盆于二叠纪末或三叠纪初闭合(Xiao *et al.*, 2008, 2009);其二,古生代增生造山结束于早石炭世末期,晚石炭世转入板内构造演化阶段(李锦轶等, 2006; 李永军等, 2010);其三,新疆北部增生造山可分为两个大的阶段,第一阶段从奥陶纪至早泥盆世,第二阶段是石炭纪至早二叠世,天山最晚的岛弧火山岩浆作用发生于早二叠世(Briggs *et al.*, 2007);其四,增生造山即洋陆转化结束于晚泥盆纪末至早石炭世初,石炭纪转化为碰撞后大陆伸展作用(Xia *et al.*, 2004; 徐学义等, 2006)。

随着中国地质调查局 1:25 万和 1:5 万区域地质调查工作的开展,相继取得一系列地质调查新进展和新成果,对长期困扰新疆北部地质构造演化的一些关键科学问题:诸如准噶尔盆地是否存在古老的基底、新疆北部早古生代增生作用的性质及范围、古亚洲洋盆闭合的最后时限、天山石炭纪火山岩的性质等一系列关键地质问题的再认识提供了新的证据。在综合分析、利用这些区域地质调查新进展和新成果基础上,本文对新疆北部古生代的构造格局与演化过程提出了一些新的认识,以期能够概括新疆北部古生代构造轮廓与演化主线。

2 准噶尔盆地的基底组成

准噶尔盆地的基底组成历来存在洋壳(江远达, 1984; 李继亮, 1989; Carroll *et al.*, 1990, 1995)、陆壳(吴庆福, 1987; 黄汲清等, 1990)、含有陆壳碎块的洋壳(肖序常等, 1992; 张弛和黄萱, 1992; 李锦轶和肖序常, 1999)、底垫或底侵的二叠纪岩浆岩(韩宝福等, 1998)等不同解释。李锦轶等(2000), 李锦轶和徐新(2004)根据对准噶尔盆地周边的地质研究及对已有地球物理资料的分析,认同准噶尔盆地基底存在大陆地壳的观点,并根据航磁资料推测该盆地南部和北部基底组成可能有差别。盆地北部的线性正负航磁异常及其与两侧岩区一致的特征,表明那里新生代堆积物之下可能为古生代造山带;南部的面状航磁异常则显示该区晚石炭世以来的盆地堆积物之下可能是单一的陆壳(王凯等, 2013, 项目成果内部交流)(图 1)。近年来,李锦轶等(2006)在卡拉麦里蛇绿岩带以南,发现了类似被动陆缘沉积的建造组合,同时在其中的长石岩屑砂岩中发现了 23 粒(元古代 19 粒, 太古代 4 粒)前震旦纪的锆石,这些锆石最古老的年龄为 3073Ma,据此认为准噶尔盆地的基底组成中,至少一部分是早前寒武纪的地质体。董云鹏等(2010, 口头成果交流)对东准噶尔南北沉积岩系中碎屑锆石的研究表明,卡拉麦里蛇绿岩带北部一般不存在元古代以前的碎屑锆石,卡拉麦里南部却存在元古代年龄的碎屑锆石,显示卡拉麦里南部可能存在前寒武纪基底。柳益群(2011, 内部交流)对准噶尔油田英 1 井 K_1 碎屑岩锆石同位素定年研究,获得单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $2682 \pm 6\text{Ma}$, 锆石的 $\text{Th}/\text{U} = 0.86$ 显示为古老地壳花岗岩岩浆成因,并有: $758 \pm 6\text{Ma}$ 和 $709 \pm 6\text{Ma}$ 年龄信息; 德伦山 K_1 碎屑岩锆石 U-Pb 年龄: $1496 \pm 13\text{Ma}$, $1207 \pm 67\text{Ma}$, $845 \pm 11\text{Ma}$, $795 \pm 7\text{Ma}$, $736 \pm 6\text{Ma}$, 也指示存在前寒武纪陆壳基底。西准噶尔地区新完成的 1:25 万托里幅区域地质调查(赵文平, 2012^①)显示,西准噶尔古生代地层之间存在一系列的不整合:一是下志留统恰尔尕组角度不整合于中奥陶

① 赵文平. 2012. 1:25 万托里幅区域地质调查成果报告

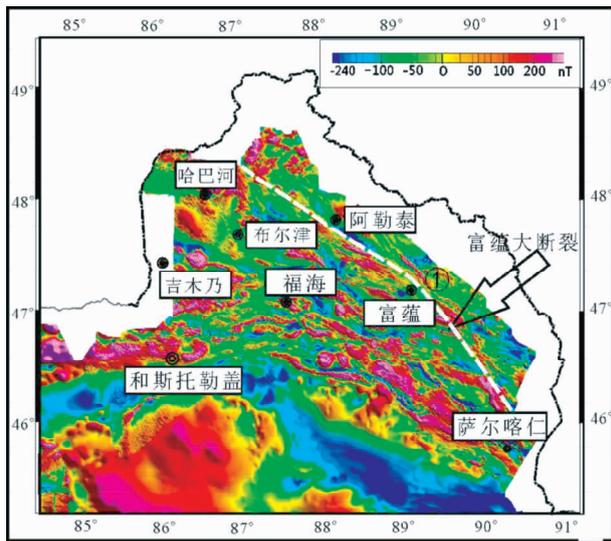


图1 新疆北部航磁异常图

Fig.1 Regional magnetic field in northern Xinjiang area, NW China

统科克沙依组之上(照片1);二是中-下泥盆统库鲁木迪组角度不整合于中-上志留统玛依勒群上亚群之上(照片2);三是上泥盆统铁列克提组与中泥盆统巴尔鲁克组间的平行不整合关系;四是下石炭统姜巴斯套组角度不整合于下石炭统黑山头组之上;五是二叠系以一套火山磨拉石(哈尔加乌组、卡拉岗组)喷发不整合于下石炭统包古图组之上;六是上二叠统库吉尔台组平行不整合于下二叠统卡拉岗组及其它不同时代地层之上。在区域地质调查过程中,对上述不整合的地质意义进行了深入研究,认为下志留统与中奥陶统之间的不整合是早古生代洋盆闭合的记录,中-上志留统和泥盆系之间的不整合代表了志留纪海相火山残留盆地闭合事件,其余不整合则均为发育于陆块边缘的局部陆缘沉积不整合,暗示存在一个古老陆块。阿尔泰-准噶尔北缘成矿带基础地质综合研究项目和1:25万滴水泉幅区域地质调查(牛广智等,2014^①)在东准噶尔卡拉麦里构造带南五彩湾、红柳沟剖面中厘定出被动大陆边缘沉积序列,且发育一系列北倾南倒的逆冲断裂系,代表了洋盆闭合后的被动陆缘前陆褶冲带(照片3,4),同样反映其下存在一个古老的陆壳。

综合上述地质、地球物理和碎屑锆石年代学证据,表明在现准噶尔盆地南部应该存在一个至少发育包含前震旦纪、元古代,乃至太古代地层的古老陆块,而北部则不存在古老的陆壳,极有可能是古生代的增生造山带。

3 东西准噶尔的构造属性

东西准噶尔的构造属性,以往前人大多数均认为是由古生代弧盆系组成,而对弧盆系的组成、具体结构基本未开展详细的工作。近年来在准噶尔地区成片部署的1:25万和1

:5万区域地质调查以及阿尔泰-准噶尔北缘成矿带基础地质综合研究项目在揭示东西准噶尔构造带的物质组成、结构及构造属性方面取得了重要的新认识,对理解新疆北部乃至整个中亚造山带的构造演化具有重要意义。

3.1 东准噶尔的构造属性

详细的调查研究表明,东准噶尔自额尔齐斯东南部的玛因鄂博地区至卡拉麦里蛇绿混杂岩带的南界,主体为一套由古生代地质体构成的巨型增生混杂带(图2)。在最北部的玛因鄂博地区,即原来认为属额尔齐斯构造带的东延地区,发育一个典型的小型增生楔(图3)。根据物质组成及变质变形特征,该增生楔由北往南可以划分为五个增生体:第一增生体主要由长英质糜棱岩、绿泥绢云千枚岩、绿泥石化黑云斜长糜棱片岩组成,原岩为碎屑岩和凝灰质粉砂岩,变质变形层次深,为地壳较深处增生物质在俯冲增生过程中被挤出地表的产物,属增生楔的根部带的组成部分;第二增生体主要由斜长角闪片岩、斜长绿帘阳起石片岩、长英质糜棱片岩、黑云母石英糜棱片岩组成,主体为含少量岩块的大洋沉积物经过强烈的变质变形的产物,同样为增生楔根部带;第三增生体为含有蛇绿岩残块的增生混杂带,其中蛇绿岩残块主要由堆晶辉石岩、辉长岩、辉绿岩墙、变质玄武岩、硅质岩组成,其它增生物质包括安山岩、中基性凝灰岩和凝灰质粉砂岩,后者为发育鲍马序列的复理石等。蛇绿岩残块中的辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 437Ma(张越等,2012),代表了早古生代古洋壳形成年龄,推断该增生体有可能是早古生代俯冲增生作用的产物;第四增生体主要由变质的砂岩、粉砂岩、凝灰岩、凝灰质砂岩以及斜长绿帘阳起石片岩、斜长黑云母片岩、变辉绿岩、绿泥石石英片岩、中基性岩屑凝灰岩组成,主体为复理石和大洋沉积,含少量增生混杂岩块,变质分异的石英脉发育,显示其代表了增生楔深部物质;第五增生体主要由凝灰质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、凝灰岩、安山岩、玄武安山岩等组成,主体反映了含岛弧岩块的增生混杂岩特征,其上部叠加有后期(可能为泥盆纪或石炭纪)的楔顶盆地。该增生楔构造形迹北倾南倒,指示洋盆向北俯冲。离开该增生楔带往南至乌伦古河,原划泥盆纪的火山沉积岩系,可归并为三个大的增生体,主体由具鲍马序列的粉砂岩及安山质凝灰岩组成,在乌伦古河附近有大量的早、中泥盆世岛弧安山岩发育,应为增生火山弧(张招崇等,2007)。乌伦古河向南可见泥盆纪增生体被下石炭统陆相河流环境沉积的砂岩和含砾砂岩不整合覆盖。再向南至阿尔曼太蛇绿混杂岩带,主要由蛇绿岩残块和构造基质组成。李荣社等(2011)认为该蛇绿混杂岩为增生造山作用结束后,后期推覆断裂将深部早古生代增生混杂带,包括蛇绿岩残块和相应早古生界基质铲出于泥盆系增生体中。阿尔曼太蛇绿混杂岩带往南主体是由泥盆系和志留系增生物组成的增生体,其上有石

① 牛广智等. 2014. 1:25万滴水泉幅区域地质调查

增生带应为准噶尔陆块与西伯利亚板块之间的缝合位置。关于该增生带形成的时限,尽管目前还缺乏精细的同位素定年数据,根据晚石炭世姜巴斯套组不整合上覆于卡拉麦里构造带之上,表明至晚泥盆世洋陆转换已经结束,早石炭世转变为海陆交互或陆相沉积。因此,东准噶尔洋盆的俯冲增生,至少从志留纪就已开始,延续至中泥盆世较为可信。卡拉麦里构造带以南的下-中志留统属被动陆缘沉积应是确定的,以北的下-中志留统细碎屑岩-硅泥质建造是在俯冲增生过程中沉积在海沟附近的一套深水相沉积,构造置换强烈,为俯冲增生阶段产物(照片5)。

3.2 西准噶尔的构造属性

在西准南部地区发育一系列早古生代蛇绿混杂岩带,最著名当属唐巴勒蛇绿混杂岩带,并伴生早古生代蓝片岩,为一早古生代蛇绿混杂岩带(肖序常等,1992;Li, 2006)。原定志留纪的玛依勒蛇绿岩带,尽管有伸展环境的海相火山岩系的不同认识(李荣社等,2012),但是,1:25万托里幅区域地质调查(赵文平,2012)确定其由两部份组成:即代表早期洋盆地质记录的寒武-奥陶纪蛇绿岩残块和由志留纪火山-沉积岩系构成的基质。其中,后者形成于残留海盆被动裂谷环境。该图幅新填绘的巴尔雷克蛇绿混杂岩带,首次发现蓝闪石片岩、榴闪岩等高压变质岩。近年来新发现的白碱滩(亦称克拉玛依)蛇绿混杂岩带,原定时代为早古生代(何国琦等,2007),现在又发现泥盆纪的年代学证据(Yang *et al.*, 2013)。西准地区最为著名的达拉布特蛇绿混杂岩带,多数学者认为是泥盆纪洋盆存在的地质记录(辜平阳等,2009; Yang *et al.*, 2013),但同时也存在有超基性岩侵入体的不同认识(李荣社等,野外检查交流,2011),因此,达拉布特蛇绿岩的性质及属性仍然需要进一步研究确定。

前述西准噶尔南部地层中的一系列不整合接触关系记录了研究区复杂的构造演化过程。其中,中奥陶统和下志留统之间的角度不整合代表了西准南部早古生代洋陆转换的结束,至早志留世已转变为残留海盆;上志留统与中泥盆统之间的角度不整合代表了晚志留世局部拉伸火山盆地的闭合事件,中泥盆世后转入海陆交互-陆相沉积。从大的原则讲,西准南部奥陶系变形最为强烈,发育诸如紧闭褶皱和劈理置换构造等,明显不同于志留系和泥盆系,志留系变形较奥陶系弱,而泥盆系基本不变形,表明早志留世前曾经存在一次大的构造运动,可能是洋陆转换作用的结束。而志留纪末期亦有一次事件,为残留海相火山盆地闭合的记录,属次级构造运动。前已述及,西准南部存在前震旦古陆块,该古陆块位于现今准噶尔盆地的南部,与吐哈盆地的基底可能为同一古陆。晚奥陶世发生的构造运动,可能使准噶尔古陆与其西部境外存在的古陆发生拼合造山,形成更大的古陆,也就是常说的哈萨克斯坦古陆。西准噶尔谢米斯台以北地区,与东准噶尔相似,从额尔齐斯构造带西段至谢米斯台南缘,同样发育古生代增生杂岩带(陈隽璐等,2012,西安地调

中心年度学术交流)。谢米斯台南缘的伊尼萨拉蛇绿岩带,由橄榄岩、玄武岩、基性岩墙、硅质岩及石英菱镁岩等组成,形成于 491.8 ± 7.8 Ma,就位于志留纪凝灰质粉砂岩基质中,其由北往南逆冲在中泥盆统陆相碎屑地层之上,代表增生杂岩带中的洋壳残片;谢米斯台地区原划泥盆纪火山地层,由基性-酸性熔岩组成,新的研究认为其形成于志留纪,具有增生弧特征(陈隽璐等,内部交流)。

在西准噶尔北部额尔齐斯构造带中出露有古生代蛇绿岩残块,再往南发育 471.5 ± 8.4 Ma(张元元和郭召杰,2010)的洪古勒楞蛇绿混杂岩带,及 478.3 ± 3.3 Ma(朱永峰和徐新,2006)阿布拉蛇绿岩等,其形成机制类似于阿尔曼太蛇绿混杂岩带(陈隽璐等,项目内部交流)。最近的研究揭示,在谢米斯台与萨吾尔山原划第四系分布区新发现了多处蛇绿岩组合,尽管暂时我们还无法提供更为详尽的研究资料,但多条蛇绿岩带的存在,极有可能指示一个巨型增生带及其复杂增生过程。

根据目前的资料,有理由推测在谢米斯台南缘至额尔齐斯构造带西段,亦为一个巨型增生带,该增生带与东准噶尔增生带可能为同一增生杂岩带。航磁资料显示现在被第四系覆盖的准噶尔盆地北部地区与东西准噶尔有相似的线状影像,亦表明它们很可能是同一增生杂岩带(图1)。

整个西准地区让人困惑的是石炭系形成的构造背景,以往多归结为弧盆系的组成部分,近期有的研究将早石炭世火山-沉积岩系归结为弧盆系,晚石炭世归为裂谷或裂陷槽(李永军等,2008)。对长期以来争论不休的达拉布特蛇绿混杂岩两侧的下石炭统包古图组-希贝库拉斯组和上石炭统的太勒古拉组的性质及序次关系,目前基本有一个较为明晰的认识(李荣社等,2011,野外验收交流资料)。从构造演化角度来看,西准噶尔南部存在一个开始于晚泥盆世的较为典型的伸展拉张过程,下石炭统包古图组主体由一套细粒的粉砂岩和硅质岩沉积为主,指示较深的深海环境;往上进入下石炭统希贝库拉斯组,其下部同为一套含有凝灰岩的细粒沉积,上部为凝灰岩和火山岩,见有枕状玄武岩,反映出火山活动增强的趋势;至下石炭统太勒古拉组,火山活动达到顶峰,下部主体由火山岩和凝灰岩组成,反映强烈的裂谷作用,上部以具进积型的碎屑岩组合为主,由海相向海陆交互相演化,表明裂谷已开始萎缩至逐渐封闭;二叠系为陆相碎屑岩沉积。因此,长期争论的西准地区的石炭纪地层的序列,应是按包古图组-希贝库拉斯组-太勒古拉组的序次排列(李荣社等,未发表资料)。石炭纪地层的序列和建造特征反映出西准地区从早石炭世开始,就已转入裂谷伸展,至晚石炭世裂谷作用收缩到结束,早二叠世转入陆相,后期又转为局部的裂谷拉伸,发育双峰式陆相火山作用。

因此,西准噶尔的构造属性,初步可以归纳为南部为准噶尔古陆,早古生代发生陆缘增生拼合作用,北部为早古生代至泥盆纪的增生体,整个西准地区至少自早石炭世开始已进入新的陆内伸展裂谷环境。

4 加里东运动的性质及显示

肖序常等(2006)指出,早古生代造山运动初步奠定了新疆大地构造的基本格局,新疆各个微陆块之间的古洋盆在奥陶纪之后相继关闭,从志留纪后期开始,新陆壳再次裂解,新疆北部形成额尔齐斯、南天山两个分隔西伯利亚、哈萨克斯坦和塔里木古陆的古洋盆。依据上述观点,新疆北部显然经历了早古生代和晚古生代两期构造演化过程。从已有地质证据看,早古生代构造事件在新疆北部确实有非常明确的显示,最明显的是一系列早古生代典型蛇绿岩和早古生代地层之间的不整合接触关系。如前述西准噶尔唐巴勒蛇绿混杂岩带、天山中段干沟-米什沟蛇绿混杂岩带、康古尔早古生代蛇绿混杂岩带(李文铅等,2008);西准地区的中奥陶统被下志留统不整合覆盖、中天山北缘干沟米什沟蛇绿混杂岩被下志留统米什沟组不整合覆盖等。何国琦等(2007)认为东西准噶尔地区早古生代洋盆已经闭合,泥盆纪后就已转化为残留海盆或上叠伸展盆地沉积。该种观点不好解释东西准噶尔北部发育的泥盆纪火山岩浆弧和大量的复理石建造。前已述及,东西准噶尔发育增生体,它们是在早古生代和晚古生代早期洋陆转化过程中形成,表明新疆北部早古生代时洋盆并未闭合,而是在泥盆纪连续不断地增生造山。因此,早古生代至泥盆纪为一连续增生造山过程应该更为可信。

李锦轶等(973 课题成果报告)对哈萨克斯坦北、中天山地区陆壳形成的时间和增生的方式进行了综合研究,提出哈萨克斯坦北、中天山西和西南部是前寒武纪微陆块较集中分布的区域,这些小陆块最迟在距今约 10 亿年时已形成一整体,其范围北起科克切塔夫,向南经乌鲁套、木云连到境外北天山的伊塞克陆块,然后与我国西部的伊犁陆块相接。在新元古代-早古生代期间,该微陆块群在经历一定程度的解体后,于早古生代晚期再次固结为整体。因此,早古生代在中国境内,应该存在陆块之间的闭合过程。

新疆北部存在的一些古陆块或地块,如准噶尔-吐哈陆块、伊犁地块和天山地块群(由西向东包括那拉提地块、巴伦台地块、卡瓦布拉克地块等),有理由相信,这些陆块或地块在早古生代发生过拼合作用,形成了一个较大的陆块,应该属于大多数文献中所说的哈萨克斯坦板块的组成部分。这与目前部分学者提出的哈萨克斯坦板块是一个加里东期的造山带的认识比较吻合。新发现的康古尔早古生代蛇绿混杂岩带,极有可能是准噶尔-吐哈陆块与中天山卡瓦布拉克地块早古生代洋盆闭合时的地质记录。干沟-米什沟蛇绿混杂岩带,可能为巴伦台地块与准噶尔-吐哈盆地地块拼合的地质记录,下志留统米什沟组不整合于该混杂岩带之上限定拼合时限不晚于早志留世。至于唐巴勒蛇绿混杂岩带,极有可能是准噶尔-吐哈陆块和伊犁及境外分布的陆块(地块)增生拼合的地质记录,拼合的时限亦不晚于早志留世。陈隽璐等(项目成果交流,内部资料)最近研究确定伊犁地块北缘泥

盆系为被动陆缘沉积,与西准噶尔南缘和伊犁地块北缘的中泥盆统头苏泉组完全可以对比,反映了准噶尔地块和伊犁地块在中泥盆世以前已经拼合。因此,笔者认为,新疆北部的加里东运动主体表现为哈萨克斯坦板块的形成,在中国境内则是准噶尔-吐哈陆块、中天山地块群、伊犁地块的拼合过程,形成了哈萨克斯坦板块的一部分。

5 新疆北部泥盆系建造组合和沉积环境演变

5.1 新疆北部泥盆系的沉积建造组合特征

阿尔泰地区下泥盆统康布铁堡组为一套酸性火山岩、火山碎屑岩系夹正常碎屑岩及少量碳酸盐岩,中泥盆统阿勒泰组为一套浅变质的正常海相砂岩、粉砂岩、泥岩,局部为酸性火山岩、凝灰岩夹灰岩透镜体,广泛分布于哈巴河-阿尔泰-富蕴一线,在富蕴库尔提河中游角度不整合于康布铁堡组之上(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993^①);上泥盆统齐也组为一套浅海环境的火山沉积岩系。西准噶尔中南部托里地区下泥盆统马拉苏组主要为河流相-前三角洲平原相砾岩、粗砂岩、泥岩为主夹安山质角砾岩、凝灰岩等;中泥盆统库鲁木迪组下部主要由河流相、三角洲相砾岩、砂岩、泥岩组成,向上逐渐过渡为海陆过渡相-浅海相砂岩、泥岩;上泥盆统铁列克提组为河流相砾岩、砂岩,含丰富的植物化石及三角洲相泥岩为主夹砂岩(分流河道)。西准白杨河凹地一带中泥盆统呼吉尔斯特组为海陆过渡相砂岩、粉砂岩、泥岩,含植物化石;西准噶尔北部塔尔巴哈台-萨乌尔山一带中泥盆统为一套深水相浊积岩建造组合夹安山岩。谢米斯台地区原划泥盆纪地层,最近区域地质调查将其划为志留系。东准噶尔北部泥盆系下统为浅海相火山岩、火山碎屑岩夹少量正常碎屑岩(托让格库都克组, D_1),在乌仑古河以北托让格库都克组为一套深水浊流沉积;但自中泥盆世(北塔山组、蕴都喀拉组 D_2)开始,火山岩和火山碎屑岩消失,正常碎屑岩、碳酸盐岩沉积大量出现;海陆交互相正常碎屑岩向晚泥盆世(卡希翁组 D_3 ,与上覆地层整合接触)陆相过渡,再过渡为晚泥盆世和早石炭世之交的海陆过渡相、浅海相沉积碎屑岩(江孜尔库都克组 D_3C_1);东准噶尔南部,主要由陆源碎屑岩、碳酸盐岩、火山碎屑岩组成,火山熔岩仅在下统呈夹层出现,其沉积序列结构与北部相似,下统为浅海-滨海相碎屑岩及碳酸盐岩沉积(卓木巴斯套组, D_1)→海陆交互相碎屑岩、火山碎屑岩夹碳酸盐岩(乌鲁苏巴斯套组, D_2)→下部为粒度较细的正常碎屑岩,上部过渡为砾岩、含砾粗砂岩(克安库都克组, D_3)为陆相,厚度大于 1300m。天山北部觉罗塔格-黑鹰山地区的新疆南部泥盆系地层缺失,其它地区主要由火山熔岩、火山碎屑岩夹陆源碎屑岩及少数硅质岩、灰岩组成,由海

① 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 1:200000 富蕴幅区域地质调查报告

相中酸性、基性火山岩(大南湖组 D_1)→中酸性火山岩、陆源碎屑岩(头苏泉组 D_2)→陆相中酸性火山岩、火山碎屑岩(康古尔塔格组 D_3)构成。中天山伊犁地区总体与北天山相似,但缺少下统,中、上统以火山岩为主,伊犁北部由浅海相粗-细碎屑岩夹少许火山岩和碳酸盐岩(汗吉尕组 D_2)→海陆交互碎屑岩夹少量酸性火山岩(托斯库尔他乌组 D_3),广泛分布于塞里木湖-精河等地,层位及厚度均较为稳定,反映出晚泥盆世海退的沉积环境;伊犁南部在昭苏地区缺失泥盆系沉积;新源县地区(阿克塔什组 D_2)以海相正常碎屑岩、灰岩和酸性熔岩及碎屑岩为主;尼勒克地区由酸性火山岩及火山碎屑岩(坎苏组 D_2)→海陆交互碎屑岩、火山岩、火山碎屑岩(艾尔肯组 D_3),上统顶部地层缺失。南天山泥盆系主体为海相地层,由陆源泥质岩、碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩组成,以中东段(和静-库米什地区)为代表,下统为海相碎屑岩为主夹碳酸盐岩,局部夹中酸性火山岩(阿尔皮什麦布拉克组 D_1);中统为浅海、半深海相碎屑岩、硅质岩夹碳酸盐岩、火山岩(阿拉塔格组/萨阿尔明组, D_2 ,与下伏地层整合接触)所夹火山岩以酸性为主,上部碳酸盐岩较为发育,该组岩相变化规律:南天山东部以碎屑岩为主,向西火山岩及火山碎屑岩显著增多,并普遍含硅质岩、碧玉等;上统由浅-中深海相碎屑岩、碳酸盐岩和类复理石建造夹少许火山岩组成(破城子组/哈孜尔布拉克组 D_3 ,与下伏地层整合接触),夹层火山岩为中基性和中酸性。

5.2 新疆北部泥盆系沉积相的空间变化

通过泥盆系建造组合分析对比,可知阿尔泰地区中泥盆统主体为海相沉积环境,西准噶尔达拉布特-东准卡拉麦里以北地区下-中泥盆统主体为海洋盆地环境,残留有蛇绿岩组合,表明当时存在洋盆;北天山早中泥盆世(头苏泉组)为浅海相,晚泥盆世(康古尔塔格组)为陆相环境。总体上中天山以北中、下泥盆统多数为海相,上泥盆统多数为陆相或海陆过渡相,总体反映海退(进积型)型沉积序列,反映了中泥盆世末期洋盆可能已经闭合。在整体演变的基础上,局部地区泥盆纪的沉积环境仍然很复杂,具有空间变化的特点。最为典型的为西准噶尔地区,最近的阿尔泰-准噶尔北缘成矿带基础地质综合研究项目在西准噶尔塔城盆地南缘的下泥盆统马拉苏组在东部主体为一套陆相-海陆交互沉积组合,见有河道相沉积(照片6),由托里乌雪特往北西到额敏,由河流相-变为前三角洲相至浅海相,反映出早泥盆世存在空间上沉积环境的变化。中泥盆统库鲁木迪组在西准南部主体为河流相-湖相碎屑岩组合(照片7),往北变为浅海相沉积(照片8,介壳滩),同样反映出沉积环境的空间变化;上泥盆统铁列克提组以三角洲相碎屑岩沉积为主,发育较多分列河道河流相沉积很发育(照片9);上泥盆统巴尔鲁克组以河流相沉积为主,在额敏一带为三角洲平原相沉积。因此,西准噶尔部分地区早中泥盆世沉积环境空间的变化反映出在南部准噶尔古陆上,发育多为海陆交互相和陆相沉积的碎屑

岩系,往北和往西转化为海相沉积,局部发育深海相沉积,反映出早中泥盆世在准噶尔古陆边部存在海盆环境;同时,晚泥盆世沉积建造特征反映出晚泥盆世中天山-伊犁地块北部洋陆转换可能已经结束。结合目前对西准噶尔地区早古生代火山沉积岩系的研究成果,有理由相信早古生代陆块拼贴结束形成联合古陆块后,早泥盆世联合古陆块边缘仍然有海盆存在,该海盆可能从早泥盆经中泥盆世至晚泥盆世早期结束,经历了逐渐变浅直至消亡的演化过程。

6 准噶尔蛇绿混杂岩带就位过程浅析

东西准噶尔地区蛇绿混杂岩带发育,长期以来是人们关注研究的重要对象。以往的研究主要集中于对蛇绿岩残块的定年和形成构造环境的研究,往往忽略了蛇绿混杂岩带基质形成的时代和性质等重要问题,限制了对蛇绿混杂岩带的就位时代及过程的认识。以阿尔曼太蛇绿混杂岩带为例,蛇绿岩块形成时代目前报道均为早古生代,但里面的基质主体为泥盆系和少量最新发现可能为志留系(1:25万清水泉幅,牛广智等,2014)。一般来讲,蛇绿岩块的形成时代,只能代表当时存在洋壳,或者说是发育洋盆,但该洋盆啥时闭合,单凭蛇绿岩块是不能确定的,应从时代最年轻基质时代、俯冲碰撞地质体形成时代,高压超高压变质体、与碰撞同期发育的走滑断裂的时代等方面进行限定。李荣社等(2012)基于1:25万区域地质调查新进展,对新疆北部准噶尔盆地东部的阿尔曼太(扎河坝)蛇绿构造混杂岩带的现今就位方式提出了新的认识。查明扎河坝蛇绿构造混杂岩带的物质组成、变质、变形复杂,蛇绿构造混杂岩带与其北侧泥盆系接触关系截然,以一向南陡倾的脆韧性断层为界,北侧泥盆系中薄层砂岩基本不变质,层理构造保存良好;蛇绿构造混杂岩带与其南侧泥盆系从构造变形的角度看为渐变过渡,即构造变形强度从蛇绿构造混杂岩带北边界向南是由强逐渐变弱的,表明主推覆面位于蛇绿岩北侧,具有从南向北逆冲的构造极性,同时表明逆冲推覆的时间在泥盆系沉积之后,晚于洋盆闭合的时限。因此,从蛇绿岩带的就位方式来讲,准噶尔地区部分蛇绿混杂岩带的定位至少与后期的推覆构造发育密切相关。因此我们就不能单就蛇绿岩残块的形成时代确认蛇绿混杂岩就是同时代就位的产物,这样往往造成将不同时期地质演化记录混为一体的错误。

准噶尔地区大多数蛇绿混杂岩带经1:25万区域地质调查后认为均不具有板块分割意义,如西准噶尔玛依勒蛇绿混杂岩带、巴尔雷克蛇绿混杂岩带的物质组成相似,均具弱变形、面状分布的特征明显,可能代表同一洋盆消亡的地质记录,不具备板块构造界线属性(1:25万捷尔任斯幅,李玉敬等,2012^①)。对东准的卡拉麦里蛇绿混杂岩带,以往多认为是西伯利亚古板块的南部边界。目前已有的资料表明,卡

① 李玉敬等. 2012. 1:25万捷尔任斯幅区域地质调查成果报告

拉麦里蛇绿岩基质为下泥盆统浊积岩建造组合和构造研磨物质。该带南侧发育志留系被动陆缘沉积,具褶皱带变形特征;而该带北侧志留系以深海相硅泥质建造为主,变形较强(照片5),与下、中泥盆统一起构成俯冲-增生杂岩带,卡拉麦里蛇绿混杂岩以洋壳残片的形式就位于俯冲-增生杂岩带。西准噶尔达拉布特蛇绿混杂岩带的调查研究显示它们同样也不具有板块分割意义,同时对其中原认为是蛇绿岩残块的超基性岩,部分可能为超基性岩侵入体(李荣社等,2012),蛇绿岩残块中的辉长岩块形成时代集中分布于早泥盆世(396Ma)(辜平等,2009)。李永军(2012^①)等更是认为其中含有富铌火山岩岩块。对于过去一直认为的时代属早古生代的白碱滩蛇绿混杂岩带,新的测年数据显示其同样具有形成于390Ma左右的蛇绿岩残块(本项目未发表数据),说明泥盆纪早期在克拉玛依地区可能仍然发育有洋盆。

关于蛇绿岩带之间的对应关系问题,以往学者相对研究的较少。最新的构造学研究揭示在巴尔喀什弧形构造带北部发育的中哈萨克斯坦右行走滑断裂系,把其中的早古生代蛇绿混杂岩带错成滨巴尔喀什与西准噶尔南部唐巴勒两条蛇绿岩带,错距达300km左右。西准噶尔北部萨吾尔山的古生代活动陆缘杂岩带与斋桑线性造山系南侧的塔尔巴哈台山古生代活动陆缘杂岩(均为一套增生杂岩体),系沿着该区北西-南东走向大型断裂带右行走滑才到达现今位置的(李锦轶等,973课题成果报告)。这条北西-南东走向的右行走滑断裂带,与西准噶尔北东-南西走向的逆冲断裂,构成了右形走滑-逆冲双重构造。伴随着右行走滑运动,巴尔喀什湖地区以及其北西的乌里品构造带及阿斯塔纳地块等发生顺时针旋转,才形成现今所见的弧形构造。如果沿这些断裂带进行地质体的复位对比,斋桑带轴部的查尔斯克蛇绿岩带与西准噶尔中部的达拉布特蛇绿岩带及北天山的巴音沟蛇绿岩带,曾经是一条蛇绿岩带(李锦轶等,973课题成果报告)。这些研究成果对我们重新认识晚古生代蛇绿混杂岩带之间的相互关系有很大的促进作用。

7 南天山构造属性的讨论

中国境内的南天山,呈向南突出的弧形展布在天山与塔里木盆地之间,其北界为中天山南缘断裂,从西往东为那拉提断裂、乌瓦门-拱拜子断裂和卡瓦布拉克断裂,南界为托什干河断裂、塔里木盆地北缘断裂和兴地塔格断裂,总体呈正扇形构造样式。沿南北边界断裂,都断续有蛇绿岩残片出露,向东被阿尔金断裂系西支的赛里克沙依-星星峡断裂带所截,有可能分别与星星峡以东和红柳河-玉石山-石板井蛇绿混杂岩带相连;向西到毗邻的中亚地区,可以在阿赖山北部见到类似的组成。在北带的西段哈尔克山北坡,出露有长阿吾子蛇绿混杂岩,见有高压-超高压变质岩带(Gao *et al.*, 2009); Gao and Klemd(2003)。在南带的库勒湖附近,发育有含蛇绿岩残块的增生混杂岩。关于库勒湖蛇绿岩残块的

形成年龄,最早报导其中的红色硅质岩中含有早石炭世放射虫化石(刘羽等,1994)。最新测得南天山库勒湖蛇绿岩辉长岩岩块的锆石 U-Pb 年龄分别为 $425 \pm 8\text{Ma}$ (龙灵利等,2006)和 $418.2 \pm 2.6\text{Ma}$ (马中平等,2006),说明该地区的蛇绿岩所记录的洋盆形成时限应早于早泥盆世。向东到榆树沟和库米什一带,蛇绿岩构造侵位到中泥盆世地层中,其中榆树沟蛇绿岩经历了泥盆纪麻粒岩相的变质作用(周鼎武等,2004)。沿卡瓦布拉克断裂带出露的碱泉超基性岩块含有铬铁矿矿床,沿该断裂带向东到大盐池南东地区,出露与蛇纹岩伴生的变质玄武岩和红色硅质岩。李锦轶等(2006)报导南天山部分泥盆纪地层,亦即大面积出露的块状灰岩,具有古海山的构造属性。在南天山以北的中天山地块上,如那拉提和巴伦台地区,在元古代变质岩系之上,发育古生代的活动陆缘杂岩,该造山系以南,为塔里木地台北部的被动陆缘。因此南天山造山带极有可能是塔里木板块与哈萨克斯坦板块之间的缝合线,李春昱(1982)就提出了该认识。

我们沿着独山子-库车公路观察,在经过大龙池的库勒湖蛇绿岩往南,观察到典型的增生杂岩系,该增生杂岩系除大龙池处发育含蛇绿岩残块的增生岩片外,往南至小龙池发育含红色硅质岩和火山岩、凝灰岩的增生岩片,再往南更是由凝灰岩、火山岩、灰岩、碎屑岩等组成一系列增生岩片,直至最南端被中生代地层推覆上覆,构成了一条规模巨大的增生杂岩带。该增生杂岩体的一系列增生岩片均呈北倾南倒的逆冲断层相接,显示当时洋壳俯冲的极性是由南向北。关于该增生杂岩体的内部的细致结构,正在进行详细的野外工作。照片10和照片11展示的是最近野外观察的一系列增生变形构造的照片。南天山造山带北部,即中天山南缘断裂中哈尔克山北坡,现划志留系为一个典型的增生杂岩带(徐学义等,2008)。结合南天山部分泥盆纪地层具有海山构造属性的认识,南天山现划泥盆系或志留系的巨厚碳酸盐岩系或是洋盆闭合过程中的构造移置体,或是南天山洋盆俯冲增生过程中上部盆地的沉积产物。

综合上述认识,有理由推断南天山为一巨大的增生杂岩带,该增生杂岩带正是早古生代形成的哈萨克斯坦板块与塔里木板块的缝合带,代表了古亚洲洋在中国境内最后闭合的标志。

8 新疆北部古生代洋盆最后闭合的时限

关于新疆北部古生代洋盆闭合时限,是近些年争议最大的科学命题。目前主要有三种认识:一是二叠纪末至三叠纪(Xiao *et al.*, 2008, 2009),二是早石炭世末(李锦轶等,2006),三是晚泥盆末至早石炭世初(Xia *et al.*, 2004, 2008)。三种认识争论的焦点包括:蛇绿岩残块的时代,石炭纪火山岩的构造属性;区域不整合接触关系及构造变形的差

① 李永军, 2012. 1:5万西准四幅区域地质调查成果年度成果汇报

异。关于蛇绿岩的时代证据,北天山以巴音沟蛇绿岩为代表的蛇绿岩残块形成于早石炭世(徐学义等,2006),但对巴音沟蛇绿岩形成构造环境争议较大,一种是弧后环境(Xiao *et al.*, 2004),另一种是红海型洋盆(Xia *et al.*, 2004; 徐学义等,2006),两种观点的显著差异就是前者认为主洋盆未关闭,而后者认为是主洋盆闭合后一种拉伸作用形成的初始洋壳,显然形成的动力学机制不同。与蛇绿岩残块密切相关是高压-超高压变质峰期的时代,南天山北部的长阿吾子高压兰片岩的年龄有350Ma(肖序常等,1992)、超高压榴辉岩的Sm-Nd年龄为345Ma(Gao and Klemd, 2003),而Klemd(2003)报道的高压变质岩中的白云母的Rb-Sr和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年确定其变质作用的峰期年龄为310~311Ma。关于天山石炭纪火山岩的属性,最根本的是岛弧和大陆裂谷两种认识,聚焦的重点主要是早石炭世火山岩系。茹艳姣(2012)对大哈拉军山组进行详细野外调查后,认为其岩石组合主体为玄武岩、玄武安山岩、安山岩、英安岩和流纹岩,以玄武安山岩和安山岩为主,主体属钙碱性岩浆系列,部分为碱性系列,认为应形成于俯冲环境。Xia *et al.* (2004, 2008)提出了天山石炭纪大火成岩省的认识,认为大哈拉军山组是大陆伸展拉伸形成的火山岩系,岩浆形成和演化过程中经历了不同程度的地壳混染作用,形成类似于岛弧环境火山岩的地球化学信息。就目前来讲,火山岩岩石共生组合和地球化学特征反演其构造环境的争议仍将进一步持续。对于新疆北部古生代地层之间发育的不整合,最让人关注的还是天山及邻区下石炭统与上泥盆统之间的不整合接触关系。1:20万区域地质调查(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993)填绘出的上泥盆统破城子组和下石炭统甘草湖组之间的不整合接触关系,两者构造变形差异很大。前者发育明显的褶皱劈理置换,变质程度为绿片岩相,后者无任何变质变形,显示出在两者之间存在重要的构造事件。但姜常义(2011, 学术交流)认为原划的下石炭统甘草湖组时代应是早二叠世。因此,该不整合上部地层的时代仍需进一步厘定方能对其不整合意义进行明确界定。最新在南天山部署开展的1:5万区域地质调查初步显示亦存在D₃/C₁之间的不整合,但不整合两侧地层时代尚需进一步补充依据。因此,从现在大家关注的焦点证据上讲新疆北部古生代洋盆的关闭的时限,尚然需要进一步从区域地质方面开展深入的调查研究。

前已述及,东准噶尔在晚泥盆世已出现海陆交互相,早石炭世出现陆相河流沉积,显示东准地区可能在D₃前已完成洋陆转换。以南天山增生杂岩带代表的南天山洋盆,显然闭合要晚,其也代表了新疆北部古亚洲洋盆最后关闭时限。关于南天山洋盆关闭的时限,用蛇绿岩残块形成时代可以进行相对限定,但无法准确厘定洋盆关闭的确切时限。茹艳姣等(2012)从大哈拉军山组的岩石共生组合、地球化学特征研究,认为其为陆缘弧火山作用的产物。在伊犁地区出现的上石炭统伊什基里克组火山岩系,主要为双峰式裂谷火山岩,下二叠统乌郎组为典型的陆相火山岩。这些均显示出南天

山洋盆有可能在早石炭世末期关闭。

构造变形的时代有时可以约束天山古生代洋盆闭合的时限。Laurent-Charvet *et al.* (2002)对额尔齐斯和东天山阿其克库都克断裂带的定年结果,确定额尔齐斯断裂带的左行走滑运动主要发生在二叠纪早期(280Ma)前后,阿其克库都克断裂带的右行走滑发生在260Ma左右。王瑜等(2002)研究表明康古尔塔格断裂带晚期右行走滑运动发生在250~270Ma,陈文等(2007)进一步确定该断裂的右行走滑运动发生在260Ma前后。孙桂华等(2006)对哈尔里克山的研究,发现该区发育260Ma前后的向北逆冲构造变形。以上这些资料表明,与古洋盆关闭相关的构造变形,在新疆北部主要发生在260~300Ma期间,这些资料对古亚洲洋关闭的时限,亦提供了约束。

因此,对于新疆北部古生代洋盆关闭的时限,最近的研究似乎早石炭世末期关闭的观点证据较多。前面论证过西准噶尔的达拉布特蛇绿岩、北天山巴音沟蛇绿岩为同一条蛇绿岩带,是后期构造影响才成今天的位置,如此大规模的蛇绿岩带显然需要一定规模的洋盆存在。伊犁早石炭世火山岩,与现今太平洋东岸安第斯山活动陆缘火山岩的地球化学特征完全可以对比,暗示着其很可能形成于活动陆缘环境,表明在南边存在洋盆的向北俯冲。另外西天山晚石炭世伊什基里克组火山岩,具有特征的大陆板内火山岩的地球化学特征。以上证据均显示,南天山洋盆最后关闭的时限,笔者倾向于早石炭世末期。

9 新疆北部古生代构造演化

9.1 构造单元划分框架

以往新疆北部构造单元的划分,大家公认的是存在两条大的缝合带,一条是额尔齐斯缝合带,代表了西伯利亚板块和哈萨克斯坦板块之间洋盆最后消亡的位置;另一条是中天山南缘缝合带,代表了哈萨克斯坦板块与塔里木板块之间南天山洋盆消亡的位置。南天山的构造性质长期以来争议较大,但多以被动陆缘观点居多。对于南天山地区出露的库勒湖、色日牙依布拉克等蛇绿岩残块往往认为其形成于弧后盆地环境(马中平等,2006),亦有提出是被动陆缘裂解形成洋壳的残余。某些国内学者试图探索将南天山南部的几条蛇绿岩带与境外黑鹰山蛇绿岩相对应等。在各种构造单元划分图中,对南天山出现的蛇绿岩或蛇绿混杂岩带往往都予以忽略。根据前述对新疆北部几个重大地质问题的认识,结合区域地质最新调查成果,我们提出新疆北部以下构造单元划分框架。

新疆北部古生代存在两条巨型俯冲增生带,其一为额尔齐斯构造带到卡拉麦里构造带南侧(西准噶尔为额尔齐斯至谢米斯台南),其二为南天山构造带;两条巨型俯冲增生带将新疆北部分割为西伯利亚板块、塔里木板块、塔里木板块。按照一级构造单元的划分方案,新疆北部从北往南构造

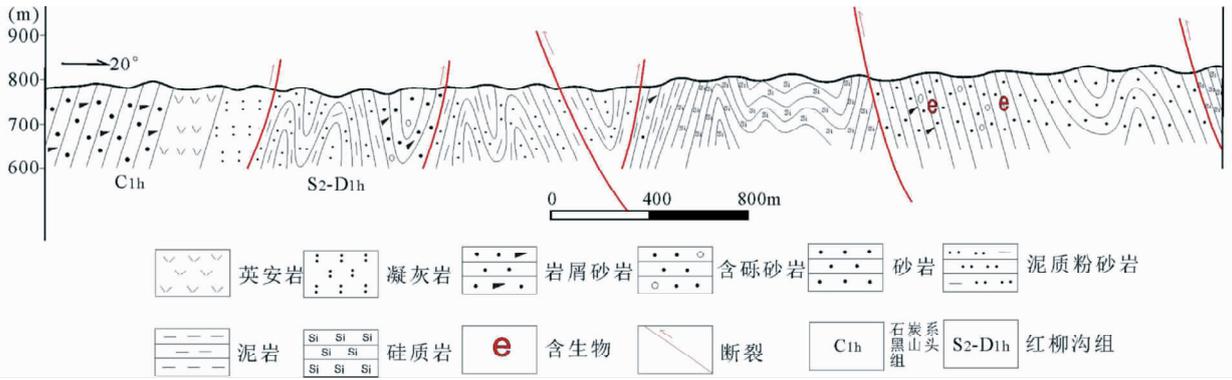


图5 新疆东准噶尔五彩湾地区(卡拉麦里构造带南)被动陆缘褶皱冲断带实测剖面图

Fig. 5 Section showing the warped faults of passive continental margin in Wucaiwan area (located in the south of Kalamyli tectonic belt) in eastern Junggar in Xinjiang, NW China

单元依次为:西伯利亚板块、额尔齐斯-东准卡拉麦里(西准谢米斯台南)俯冲增生带、哈萨克斯坦加里东造山带(哈萨克斯坦板块)、南天山增生带、塔里木板块。对南天山增生带的北界为中天山南缘断裂、南界一直至塔里木北缘断裂。

9.2 新疆北部古生代构造演化过程

第一阶段:哈萨克斯坦板块的形成,早志留世古陆块的汇聚拼合(S_1)。

哈萨克斯坦古板块最早由李春昱等(1982)年命名,系指斋桑-卡拉麦里蛇绿混杂岩带和南天山之间的地区,认为其形成于早古生代,缺乏古陆核,具有类似东南亚多岛洋的特征。目前已有的资料多揭示出存在有哈萨克斯坦古板块,该古板块与西伯利亚等古板块围绕古地台向外增生的结构不同,它是古陆块与造山带的镶嵌。根据境外阿斯塔纳等地的资料,这一镶嵌在志留纪以前就已完成。本章前述的哈萨克斯坦古陆在境外早古生代末就已经连成一个颇具规模的古陆块。以往有学者根据中国新疆北部存在晚古生代蛇绿岩的事实,认为中国境内一系列微陆块,可能不是哈萨克斯坦板块的组成部分。但中国境内一系列早古生代蛇绿岩的发现,以及存在早古生代构造拼合的地质事实,表明早古生代中国新疆北部的一系列微陆块发生过增生拼合,这个增生拼合与境外哈萨克斯坦古陆形成中的早古生代拼合事件相吻合。因此,中国新疆北部早古生代极有可能是中国境内的小古陆增生拼贴于哈萨克斯坦古板块的事件相对应,是形成统一哈萨克斯坦古板块的过程。

第二阶段:哈萨克斯坦陆块与西伯利亚板块的汇聚拼贴(D_3)。

早志留世以后,中国境内形成西伯利亚板块、准噶尔吐哈-伊犁-中天山统一陆块(可能是哈萨克斯坦板块的组成部分)、塔里木板块三个大型陆块,中间被洋盆分割的基本洋陆格局。哈萨克斯坦板块与西伯利亚板块之间的古洋盆在奥陶纪时就开始俯冲,自北往南不断增生,可划分出一系列弧前、弧和弧后地质体(李锦轶和肖序常,1999)。其中最北

部的额尔齐斯增生体形成时代可能为志留纪,往南发育泥盆系增生弧和复理石沉积,最后是卡拉麦里构造带,再往南是准噶尔古陆被动陆缘沉积及前陆褶冲带(图5),为一个完好的巨型增生带,记录了哈萨克斯坦板块和西伯利亚板块的增生拼合过程。根据晚泥盆世和早石炭世地层为海陆交互相和河流相地层发育的事实,认为哈萨克斯坦板块与西伯利亚板块增生拼贴的最后时限为晚泥盆世。

第三阶段:塔里木板块与西伯利亚-哈萨克联合板块的汇聚拼贴(C_1)。

第二阶段结束后,中天山以北已经形成一个统一的陆块,哈萨克斯坦板块成为西伯利亚板块组成的一部分,此时的洋盆位于其南部,分割了北部统一的西伯利亚板块和南部的塔里木板块,该洋盆应该就是大家所说的南天山洋盆。

其实,南天山洋盆至少从奥陶纪就开始向北俯冲,在现今的那拉提山地区发育奥陶纪、志留纪和泥盆纪的大陆边缘岛弧型侵入体就是俯冲的证据。至早石炭世时,活动大陆边缘发育的有力证据就是大哈拉军山组,从其岩石组合上更接近于大陆边缘弧的火山建造组合,显示出晚泥盆世末至早石炭世初期仍然存在着洋盆的俯冲作用。从目前早石炭世和晚石炭世在西天山伊犁地区存在的不整合以及双峰式火山岩的出现,均标志着构造体制发生了转变。因此,最有可能是在早石炭世末,南天山洋盆发生了闭合,塔里木板块和西伯利亚板块发生增生拼贴,南天山增生拼贴体是其演化过程的地质记录。

第四阶段:晚石炭世至早二叠世裂谷伸展(C_2-P_1)。

南天山洋盆闭合后,在中国境内的古亚洲洋已不存在。进入晚石炭世后,整个新疆北部进入到后碰撞伸展阶段,目前在准噶尔和天山地区晚石炭世火山岩均是具有板内火山岩的地球化学特征(Zhang *et al.*, 2007)。到了早二叠世,新疆北部发育一次较大规模的大陆裂谷作用,该裂谷作用极有可能是受到了地幔柱影响的缘故。在塔里木盆地的早二叠世大火成岩省,东天山黄山一带,新疆北山一带发育的基性-超基性侵入岩带均可能与此有关。晚石炭世以后的后碰撞

大陆裂谷作用,与新疆北部大规模成矿作用密切相关。

第五阶段:晚二叠世陆内构造演化阶段。

新疆北部进入到晚二叠世后,才是真正意义上的陆内构造演化阶段。该阶段最重要特征是发育陆相沉积和陆相火山作用。

致谢 闫臻研究员、董云鹏教授、张成立教授参加了野外调研并提出不同各自见解,李继亮研究员多次到野外调研、指导工作,在此表示衷心感谢!本文初稿承蒙董云鹏教授和闫臻研究员审阅并提出宝贵意见,在此表示感谢。

References

- Briggs SM, Yin A, Manning CE, Chen ZL, Wang XF and Grove M. 2007. Late Paleozoic tectonic history of the Ertix Fault in the Chinese Altai and its implications for the development of the Central Asian Orogenic System. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 119(7-8): 944-960
- Carroll AR, Liang Y, Graham SA *et al.* 1990. Junggar Basin, Northwest China: Trapped Late Paleozoic ocean. *Tectonophysics*, 186(1-4): 1-14
- Carroll AR, Graham SA, Hendrix MS, Ying D and Zhou D. 1995. Late Paleozoic tectonic amalgamation of northwestern China: Sedimentary record of the northern Tarim, Northwestern Turpan, and southern Junggar basins. *Geological Society of American Bulletin*, 107(5): 571-594
- Chen W, Zhang Y, Qin KZ, Wang QL, Wang YT and Liu XY. 2007. Study on the age of the shear zone-type gold deposit of East Tianshan, Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 2007-2016 (in Chinese with English abstract)
- Gao J and Klemd R. 2003. Formation of HP-LT rocks and their tectonic implications in the western Tianshan Orogen, NW China: Geochemical and age constraints. *Lithos*, 66(1-2): 1-22
- Gao J, Long LL, Klemd R *et al.* 2009. Early Paleozoic tectonic evolution of the Chinese South Tianshan Orogen: Constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemistry of basaltic and dioritic rocks from Xiata, NW China. *International Journal of Earth Sciences*, 98(3): 551-569
- Gu PY, Li YJ, Zhang B, Tong LL and Wang JN. 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for gabbro in Darbut ophiolite in western Junggar, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1364-1372 (in Chinese with English abstract)
- Han BF, He GQ, Wang SG and Hong DW. 1998. Post-collisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in North Xinjiang. *Geological Review*, 44(4): 396-406 (in Chinese with English abstract)
- He GQ, Liu JB, Zhang YQ and Xu X. 2007. Keramay ophiolitic mélangé formed during Early Paleozoic in western Junggar basin. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1573-1576 (in Chinese with English abstract)
- Huang JQ, Jiang CF and Wang ZX. 1990. The opening and closure of the plate in Xinjiang and adjacent area. *Xinjiang Geosciences*, (1): 3-16 (in Chinese)
- Jahn BM, Windley B, Natal' in B and Dobretsov N. 2004. Phanerozoic continental growth in Central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 599-603
- Jiang YD. 1984. The discussion about the basement of the Junggar Basin. *Xinjiang Geology*, 2(1): 11-16 (in Chinese with English abstract)
- Klemd R. 2003. Ultrahigh-pressure metamorphism in delgites from the western Tianshan high-pressure belt. *Comment. American Mineralogist*, 88: 1153-1156
- Laurent-Charvet S, Charvet J, Shu LS, Ma RS and Lu HF. 2002. Paleozoic late collisional strike-slip deformations in Tianshan and Altay, eastern Xinjiang, NW China. *Terra Nova*, 14(4): 249-256
- Li CY, Wang Q, Liu XY *et al.* 1982. *Tectonic Map of Asia and Its Explanatory Notes*. Beijing: Cargogr. Publ. House, 1-49 (in Chinese and English)
- Li JL. 1989. The tectonic relationship between Junggar back-arc basin and Tianshan Orogeny. *Acta Sedimentologica Sinica*, (Suppl. 1): 112-120 (in Chinese with English abstract)
- Li JY and Xiao XC. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xinjiang Crust, NW China. *Chinese Journal of Geology*, 34(4): 405-419 (in Chinese with English abstract)
- Li JY, Xiao XC and Chen W. 2000. Late Ordovician continental basement of the eastern Junggar Basin in Xinjiang, NW China: Evidence from the Laojunmiao metamorphic complex on the northeast basin margin. *Chinese Regional Geology*, 19(3): 297-302 (in Chinese with English abstract)
- Li JY and Xu X. 2004. Major problems on geologic structures and metallogenesis of northern Xinjiang, NW China. *Xinjiang Geology*, 22(2): 119-124 (in Chinese with English abstract)
- Li JY. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3-4): 207-224
- Li JY, He GQ, Xu X, Li HQ, Sun GH, Yang TN, Gao LM and Zhu ZX. 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 148-167 (in Chinese with English abstract)
- Li RS, Ji WH, Xiao PX, Ma ZP, Chen JL and Pan SJ. 2012. The periodical achievement and new cognitions of regional geological survey, northern Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 30(3): 253-257 (in Chinese with English abstract)
- Li WQ, Ma HD, Wang R, Wang H and Xia B. 2008. SHRIMP dating and Nd-Sr isotopic tracing of Kangguertage ophiolite in eastern Tianshan, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 773-780 (in Chinese with English abstract)
- Li YJ, Zhang TJ, Luan XD, Wang XG, Yang GX and Tong LM. 2008. Clarification of Late Paleozoic unconformities in the Tekes Daban area of West Tianshan and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 29(2): 145-153 (in Chinese with English abstract)
- Li YJ, Li ZC, Tong LL, Gao ZH and Tong LM. 2010. Revisit the constraints on the closure of the Tianshan ancient oceanic basin: New evidence from Yining Block of the Carboniferous. *Acta Petrologica Sinica*, 26(10): 2905-2912 (in Chinese with English abstract)
- Liu Y, Wang NW and Yao JX. 1994. New data of radiolaria and its significances in the Kuche area, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 12(4): 344-350 (in Chinese with English abstract)
- Long LL, Gao L, Xiong XM and Qian Q. 2006. The geochemical characteristics and the age of the Kulehu ophiolite in the southern Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 65-73 (in Chinese with English abstract)
- Ma ZP, Xia LQ, Xu XY, Xia ZC, Li XM and Wang LS. 2006. Geochemical characteristics of basalts: Evidence for the tectonic setting and geological significance of Kulehu ophiolite, South Tianshan Mountains. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(5): 387-400 (in Chinese with English abstract)
- Ru YJ. 2012. The volcanic rock sequences and petrogenesis of Dahalajunshan Formation in western Tianshan. Master Degree Thesis. Xi'an: Chang University (in Chinese with English summary)
- Şengör AMC, Natal' in BA and Burtman US. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 364(6435): 209-304
- Sun GH, Li JY, Yang TN, Wang Y, Gao LM and Hao SF. 2006. Permian post-collisional NS-compression deformation in Tianshan orogen: Example from Koumenzi ductile shear zone of thrusting-type in northern slope of Harlik mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 22

- (5); 1359–1368 (in Chinese with English abstract)
- Wang Y, Li JY and Li WQ. 2002. ^{40}Ar - ^{39}Ar chronological evidence of dextral shear and tectonic evolution of the eastern Tianshan orogenic belt. *Xinjiang Geology*, 20(4): 315–319 (in Chinese with English abstract)
- Wu QF. 1987. The discussion about Junggar Massif and its position in Kazakhstan Plate. In: *Plate Tectonic in Northern China*. Beijing: Geological Publishing House, 29–38 (in Chinese)
- Xia LQ, Xu XY, Xia ZC, Li XM, Ma ZP and Wang LS. 2004. Petrogenesis of Carboniferous rift-related volcanic rocks in the Tianshan Mountains, northwestern China. *Geological Society of America Bulletin*, 116(3): 419–433
- Xia LQ, Xia ZC, Xu XY, Li XM and Ma ZP. 2008. Relative contributions of crust and mantle to the generation of the Tianshan Carboniferous rift-related basic lavas, northwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31(4–6): 357–378
- Xiao WJ, Windley BF, Hao J and Zhai MG. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the Central Asian orogenic belt. *Tectonics*, 22(6): 1069, doi: 10.1029/2002TC1484
- Xiao WJ, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li JL, Qin KZ and Wang ZH. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altids: Implications for the lateral growth of Central Asia. *J. Geol. Soc., London*, 161(3): 339–342
- Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Sun M, Lin SF, Chen HL, Li ZL, Li JL and Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of Central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2–4): 102–117
- Xiao WJ, Windley BF, Huang BC, Han CM, Yuan C, Chen HL, Sun M, Sun S and Li JL. 2009. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia. *Int. J. Earth Sci.*, 98(6): 1189–1217
- Xiao XC, Tang YQ, Feng YM *et al.* 1992. *Tectonic Evolution of Xinjiang and Its Adjacent Regions*. Beijing: Geological Publishing House, 1–198 (in Chinese with English abstract)
- Xiao XC, He GQ, Li JY *et al.* 2006. *Crustal Structure and Tectonic Evolution of Xinjiang and Its Adjacent Regions*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Xu XY, Xia LQ, MA ZP, Wang YB, Xia ZC, Li XM and Wang LS. 2006. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of the plagiogranites from Bayingou ophiolite in North Tianshan Mountains and the petrogenesis of the ophiolite. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 83–94 (in Chinese with English abstract)
- Xu XY, He SP, Wang HL and Chen JL. 2008. *Brief Geological Characteristics of the Northwestern China*. Beijing: Science Publishing House, 1–358 (in Chinese)
- Yang GX, Li YJ, Santosh M, Yang BK, Zhang B and Tong LL. 2013. Geochronology and geochemistry of basalts from the Karamay ophiolitic mélange in West Junggar (NW China): Implications for Devonian-Carboniferous intra-oceanic accretionary tectonics of the southern Altids. *GSA Bulletin*, 125(4): 401–419
- Zhang C and Huang X. 1992. Age and tectonic settings of ophiolites in West Junggar, Xinjiang. *Geological Review*, 38(6): 509–524 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Y, Xu XY, Cheng JL, Zhang HY, Tang Z, Sun XP and Li XB. 2012. Geological characteristics and LA-ICPMS zircon U-Pb age of Mayinebo ophiolite in Altay orogenic belt. *Geological Bulletin of China*, 31(6): 834–842 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YY and Guo ZJ. 2010. New constraints on formation ages of ophiolites in northern Junggar and comparative study of their connection. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 422–430 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZC, Zhou G, Yan SH, Chen BL, He YK, Chai FM and He LX. 2007. Geology and geochemistry of the Late Paleozoic volcanic rocks of the south margin of the Altay Mountains and implications for tectonic evolution. *Acta Geologica Sinica*, 81(3): 344–358 (in Chinese with English abstract)
- Zhou DW, Su L, Jian P *et al.* 2004. Zircon SHRIMP U-Pb age and its geological significance of high-pressure terrane of granulite facies from Yushugou ophiolite, southern Tianshan Mountain. *Chinese Science Bulletin*, 49(14): 1411–1415 (in Chinese)

附中文参考文献

- 陈文, 张彦, 秦克章, 王清利, 王义天, 刘新宇. 2007. 新疆东天山剪切带型金矿床时代研究. *岩石学报*, 23(8): 2007–2016
- 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-ICPMS 锆石 U-Pb 测年. *岩石学报*, 25(6): 1364–1372
- 韩宝福, 何国琦, 王式洸, 洪大卫. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长. *地质论评*, 44(4): 396–406
- 何国琦, 刘建波, 张越迁, 徐新. 2007. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早古生代蛇绿混杂岩带的厘定. *岩石学报*, 23(7): 1573–1576
- 黄波清, 姜春发, 王作勋. 1990. 新疆及邻区板块开合构造及手风琴式运动. *新疆地质科学*, (1): 47–68
- 江远达. 1984. 关于准噶尔地区基底问题的初步探讨. *新疆地质*, 2(1): 11–16
- 李春昱, 王荃, 刘雪亚等. 1982. *亚洲大地构造图及其说明书*. 北京: 地图出版社, 1–49
- 李继亮. 1989. 准噶尔弧后残留盆地与天山造山带的大地构造关系. *沉积学报*, (增刊): 112–120
- 李锦轶, 肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述. *地质科学*, 34(4): 405–419
- 李锦轶, 肖序常, 陈文. 2000. 准噶尔盆地东部的前晚奥陶世陆壳基底——来自盆地东北缘老君庙变质岩的证据. *中国区域地质*, 19(3): 297–302
- 李锦轶, 徐新. 2004. 新疆北部地质构造和成矿作用的主要问题. *新疆地质*, 22(2): 119–124
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 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. *地质学报*, 80(1): 148–167
- 李荣社, 计文化, 校培喜, 马中平, 陈秀隽, 潘术娟. 2012. 北疆区域地质调查阶段性成果与新认识. *新疆地质*, 30(3): 253–257
- 李文铅, 马华东, 王冉, 王核, 夏斌. 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. *岩石学报*, 24(4): 773–780
- 李永军, 张天继, 栾新东, 王小刚, 杨高学, 佟黎明. 2008. 西天山特克斯达坂晚古生代若干不整合的厘定及地质意义. *地球学报*, 29(2): 145–153
- 李永军, 李注苍, 佟丽莉, 高占华, 佟黎明. 2010. 论天山古洋盆关闭的地质时限——来自伊宁地块石炭系的新证据. *岩石学报*, 26(10): 2905–2912
- 刘羽, 王乃文, 姚建新. 1994. 新疆库车地区放射虫新资料及其意义. *新疆地质*, 12(4): 344–350
- 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. *岩石学报*, 22(1): 65–73
- 马中平, 夏林圻, 徐学义, 夏祖春, 李向民, 王立社. 2006. 南天山库勒湖蛇绿岩形成环境及构造意义——基性熔岩的地球化学证

- 据. 岩石矿物学杂志, 25(5): 387-400
- 茹艳姣. 2012. 西天山哈拉军山组火山岩序列及岩石成因研究. 硕士学位论文. 西安: 长安大学
- 孙桂华, 李锦轶, 杨天南, 王瑜, 高立明, 郝索风. 2006. 天山造山带二叠纪后碰撞南北向挤压变形: 以哈尔里克山北坡口门子逆冲型韧性剪切带为例. 岩石学报, 22(5): 1359-1368
- 王瑜, 李锦轶, 李文铅. 2002. 东天山造山带右行剪切变形及构造演化的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学证据. 新疆地质, 20(4): 315-319
- 吴庆福. 1987. 论准噶尔中间地块的存在及其在哈萨克斯坦板块构造演化中的位置. 见: 中国北方板块构造论文集(2). 北京: 地质出版社, 29-38
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社
- 肖序常, 何国琦, 李锦轶等. 2006. 中国新疆地壳结构和构造演化. 北京: 地质出版社
- 徐学义, 夏林圻, 马中平, 王彦斌, 夏祖春, 李向民, 王立社. 2006. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及蛇绿岩成因研究. 岩石学报, 22(1): 83-94
- 徐学义, 何世平, 王洪亮, 陈隽璐. 2008. 中国西北部地质概论. 北京: 科学出版社, 1-358
- 张弛, 黄萱. 1992. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境的探讨. 地质论评, 38(6): 509-524
- 张越, 徐学义, 陈隽璐, 张红英, 唐卓, 孙小攀, 李现冰. 2012. 阿尔泰山地区玛因鄂博蛇绿岩的地质特征及其 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄. 地质通报, 31(6): 834-842
- 张招崇, 周刚, 闫升好, 陈柏林, 贺永康, 柴风梅, 何立新. 2007. 阿尔泰山南缘晚古生代火山岩的地质地球化学特征及对构造演化的启示. 地质学报, 81(3): 344-358
- 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. 岩石学报, 26(2): 422-430
- 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. 科学通报, 49(14): 1411-1415



照片1

照片1: 下志留统恰尔奈组不整合于中奥陶统科克萨依组之上。



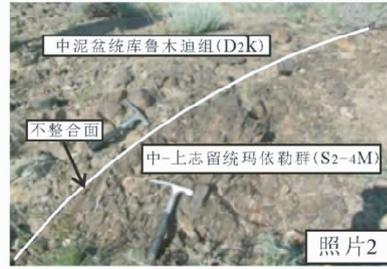
照片3: 卡拉麦里构造带南缘被动大陆边缘沉积(石英砾岩)



照片8: 中泥盆统库鲁木迪组浅海相沉积(介壳滩层)

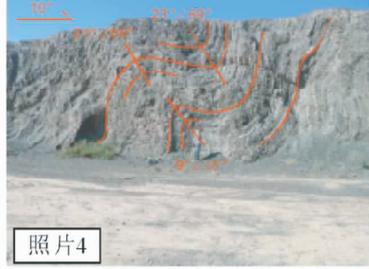


照片10: 南天山增生杂岩体中的复杂变形特征



照片2

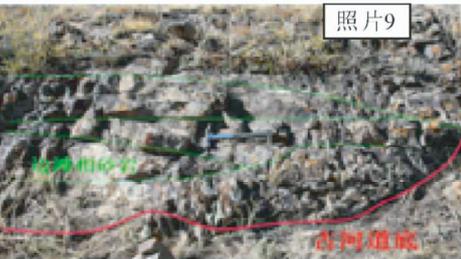
照片2: 中泥盆统库鲁木迪组不整合于中-上志留统玛依勒群之上。



照片4: 卡拉麦里构造带南缘被动大陆边缘前陆褶冲带



照片7: 中泥盆统库鲁木迪组河流相沉积



照片9: 上泥盆统铁列克提组分流河道沉积



照片11: 南天山增生杂岩体中紧闭褶皱变形