

阿尔金断裂带最大累积走滑位移量——900km?

李海兵^{1,2}, 许志琴¹, 杨经绥¹, 戚学祥¹, P. Tapponnier²

LI Hai-bing^{1,2}, XU Zhi-qin¹, YANG Jing-sui¹, QI Xue-xiang¹, P. Tapponnier²

1. 国土资源部大陆动力学重点实验室, 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

1. *Key Laboratory for Continental Dynamics of Ministry of Land and Resources, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Institut de Physique du Globe de Paris, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France*

摘要:通过变形构造几何学、岩石学和区域构造对比研究,认为阿尔金断裂西北侧的阿尔金山北缘、南缘近EW走向的蓝片岩—榴辉岩高压变质带、榴辉岩超高压变质带分别与阿尔金断裂东南侧的北祁连山、柴北缘NW—SE/NWW—SEE走向的蓝片岩—榴辉岩高压变质带、榴辉岩超高压变质带相对应,并且,高压变质带与超高压变质带的宽度和走向在断裂两侧存在较大的变化。这种在断裂带中宽度变窄、角度趋于与断裂带走向一致的变化是韧性或韧脆性走滑过程中产生的拖曳构造。因此,阿尔金断裂带走滑过程中存在较大的韧性变形,它的最大累积走滑位移量应由韧性和脆性走滑位移量组成,至少大于500 km,小于1000km。另外,拖曳构造的几何特征,以及西昆仑库地北蛇绿岩、阿尔金南缘蛇绿岩和柴北缘蛇绿岩在年龄、岩石组合及地球化学特征方面均具有相似之处,暗示在早古生代时期西昆仑和阿尔金南缘、柴北缘很可能处于相同的构造背景之中,后被阿尔金断裂所切割。因此,综合得出了阿尔金断裂带最大累积左旋走滑位移量为900~1000 km。

关键词:阿尔金断裂带; 高压—超高压变质带; 拖曳构造; 累积走滑位移量

中图分类号: P542⁺.3; P542⁺.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2007)10-1288-11

Li H B, Xu Z Q, Yang J S, Qi X X, P. Tapponnier. The maximum cumulative strike-slip displacement of the Altyn Tagh Fault—900 km? *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(10):1288-1298

Abstract: Comparative studies of the geometry and petrology of deformational structures and regional tectonics indicate that: the nearly E-W-trending blueschist-eclogite HP metamorphic belt and eclogite UHP metamorphic belt on the northern and southern margins of the Altyn Tagh Mountains at the northwest side of the Altyn Tagh Fault correspond to the NW-SE- and WNW-ESE-trending blueschist-eclogite HP metamorphic belt and eclogite UHP metamorphic belt in the North Qilian Mountains and on the northern margin of the Qaidam basin at the southeast side of the fault respectively. Moreover, the widths and strikes of the metamorphic belts vary significantly from one side of the fault to the other. The narrowing of the metamorphic belts in the fault belt and the tendency of their strikes to be parallel to that of the fault belt indicate the occurrence of drag structure in the process of ductile or ductile-brittle strike-slip motion. Therefore, there occurred fairly strong ductile deformation in the process of strike-slip motion of the Altyn Tagh Fault and its maximum cumulative strike-slip displacement should include both ductile and brittle components and should range from 500 to 1000 km. Furthermore, the geometric features of the drag structure are similar and the North Kūda ophiolite in the West Kunlun, southern Altyn Tagh marginal ophiolite and northern Altyn Tagh marginal ophiolite have similarities in respect to the age, rock association and geochemistry, which implies that the West Kunlun and the northern and southern margins of the Altyn Tagh were very likely to lie in the same tectonic setting during the Early Paleozoic, and later they were cut by the Altyn Tagh Fault. By integrating all the above-mentioned data, we may draw the following conclusion: the maximum accumulative sinistral strike-slip displacement of the Altyn Tagh Fault may be 900-1000 km.

Key words: Altyn Tagh Fault; HP-UHP metamorphic belt; drag structure; cumulative strike-slip displacement

收稿日期: 2007-07-13; 修订日期: 2007-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40272096、40572122)和中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212010611811、1212010610105)资助。

作者简介: 李海兵(1966-), 博士, 研究员, 从事青藏高原变形构造方面的研究工作。E-mail: lihaibing06@yahoo.com.cn

阿尔金断裂带是亚洲大陆内部一条巨型的左旋走滑断裂带,它在卫星影像上特别清楚,具有醒目的直线状展布,又是青藏高原北部的自然边界,明显地分隔了塔里木和柴达木盆地,并切割了青藏高原北部的不同构造单元,控制了高原北部的几何学特征及基本的构造格架(图1),已引起国内外地学界的广泛关注。近10几年来,对阿尔金断裂带的研究,随着青藏高原成为地球科学研究的热点,而不断地深入和加强。但是,迄今为止仍有许多重大的科学疑难问题没有解决,其中,对阿尔金断裂带的最大累积走滑位移量的问题存在较大的分歧,并且已成为地学界争论的焦点之一。

阿尔金断裂的最大走滑位移量一直是人们感兴趣的问题,因为它直接反映亚洲大陆内部水平运动的幅度和青藏高原内部物质向东运移的程度,为此许多学者用不同的方法进行了测量和估算。目前,归纳起来有5种基本不同的观点(表1):1050~1200 km^[1-2]、500~750 km^[3-6]、400 km左右^[7-17]、200~300 km^[18-24]和50~100 km^[25-26]。这些观点有的可能代表不同阶段的走滑量,并非都是最大的走滑量。但解决阿尔金断裂走滑位移量问题的关键是要找到阿尔金断裂两侧可对比的地质体和了解可对比地质体的延伸状况。最大累积位移量的估算不仅与形成时代有密切的关系,而且与不同的地段也有联系。因此,以断裂形成以前形成的地质体为标志物所估算的位移量才可能是阿尔金断裂的最大累积位移量。本文在前人研究的基础上,通过变形构造几何学、岩石学和区域对比研究,对阿尔金断裂的最大累积走滑位移量进行了探讨。

1 走滑位移量的测定

走滑断裂有脆性和韧性之分,其岩层的走滑断距的测定也稍有区别,一般所说的走滑断距或走滑位移量指沿断裂走向方向断裂两侧岩层的断距。对于韧性走滑断裂(韧性走滑剪切带)来说,断裂具有一定的连续变形宽度或拖曳构造部分,它是一条变形带,无明显破裂,变形带内的岩层走向与原岩层走向有一定的夹角,变形带内的岩层厚度变薄。所以,可把这一点作为判断是否存在拖曳构造部分的重要证据之一,也就是是否存在韧性走滑变形部分。大规模的走滑断裂有时很难判别拖曳构造部分,所以人们估算走滑位移量往往只考虑脆性断裂所产生的断距。

一条岩石圈走滑断裂在走滑过程中,地表表现

为脆性变形的特征,同时深部($\geq 10\sim 15$ km)表现为韧性变形的特征(据Sibson断裂模式和Scholz断裂模式)(图2-a、c、d),地表开始出现脆性位移时,深部的韧性位移要大于地表的脆性位移,当断裂浅部应变全部释放后,地表脆性位移与深部韧性位移基本接近。如一条断裂经过了长期的地质演化过程,早期深部的韧性变形物质出露于地表,同时又被这条断裂后期的活动所切割,那么,累积走滑位移量的测定在确定脆性错开的同时,还应考虑韧性变形时产生的一些褶皱及拖曳构造造成的位移(图2-b、e)。否则,所估算的累积位移量只是后期脆性断裂所产生的位移量,而漏掉了韧性位移部分,显然,其估算的总位移量明显偏低。

2 阿尔金断裂带最大走滑位移量估算的基础

2.1 断裂带变形特征

阿尔金断裂是一条岩石圈走滑断裂^[27]。现有的研究表明,阿尔金断裂经过了长期的地质演化过程^[28-29]。自印度/欧亚板块碰撞以来,强烈的隆升作用造就了青藏高原的形成,同时存在一定的剥蚀作用,使早期深部的阿尔金韧性剪切带(古阿尔金断裂)出露于地表,并且现今的阿尔金断裂沿阿尔金韧性剪切带活动^[28-30],或者说古阿尔金断裂再次活动,成为现在的阿尔金断裂,并且切割了早期的阿尔金韧性剪切带,这些特征已在阿尔金断裂带中段得到证实^[28]。那么,对断裂走滑位距的测定,在确定后期地表脆性位移的同时,还应考虑早期深部韧性变形产生的位移。另外,在探讨阿尔金断裂的走滑位移时,除了考虑韧性、脆性变形所产生的位移,还应考虑不同地段位移量的变化和不同时期位移量的变化。尽管关于阿尔金断裂的起始活动时间还有争议,但目前的研究认为,早期三叠纪时期的阿尔金韧性剪切带(古阿尔金断裂)仅分布在现今阿尔金断裂带的中段^[28,30-31],而侏罗纪和白垩纪时期的韧性剪切带基本分布于整个阿尔金断裂带上^[29-34]。因此,现今的阿尔金断裂带具有继承性,它从三叠纪以来逐步演化而成为现今的断裂带,新生代以来的阿尔金断裂是断裂带的主体,但要估算整个阿尔金断裂带的累积走滑位移量,就应考虑不同时期所产生的位移。所以,以三叠纪以前形成的地质体作为断裂带两侧可对比的标志物所估算的位移量才可能是阿尔金断裂带累积的最大位移。

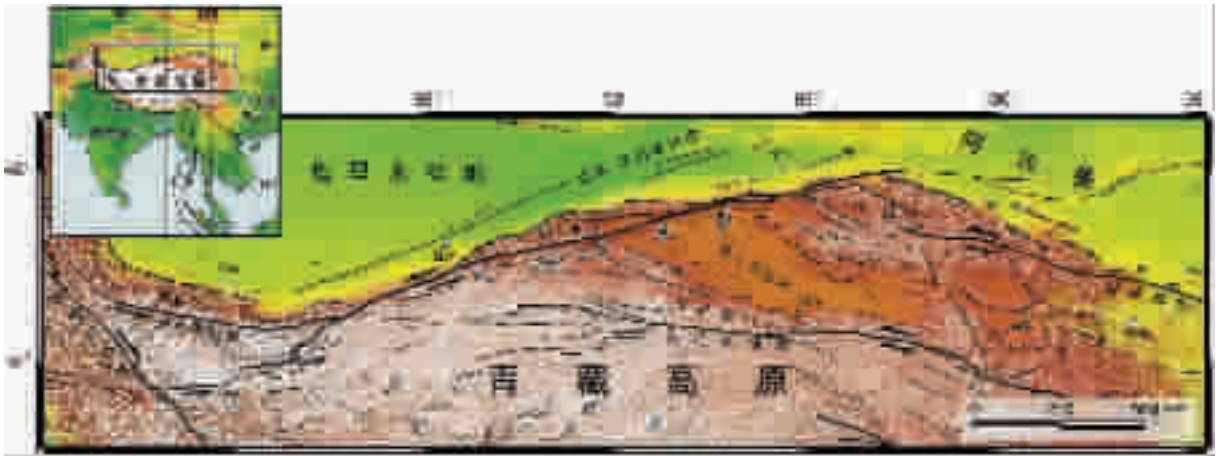


图1 青藏高原北缘阿尔金断裂带地貌及活动构造略图

Fig. 1 Schematic map of the active tectonics and geomorphology of the Altyn Tagh Fault on the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau

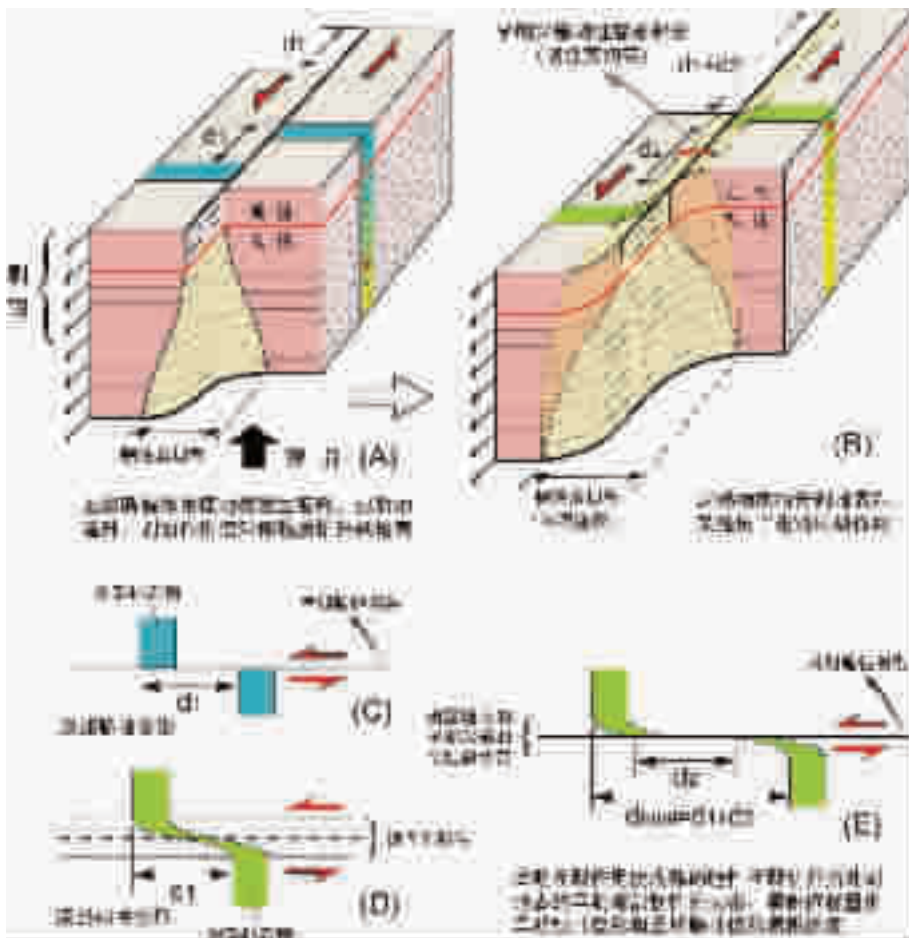


图2 走滑断裂的变形特征及走滑位移量的测定

Fig. 2 Deformation characteristics of the strike-slip fault and estimation of the strike-slip displacement (A)(B)—走滑断裂模型,浅部脆性变形(C),深部韧性变形(D)。由于隆升和剥蚀作用,浅部物质剥蚀,深部物质出露地表,后又经历了走滑断裂作用,浅部的脆性断裂切割早期的深部韧性剪切带,其累积位移量(d_{total})为早期韧性变形位移量(d_1)和后期脆性变形位移量(d_2)之和(B)(E)。虚线为早期韧性剪切带的边界

表 1 阿尔金断裂不同的左旋走滑位移量及两侧对比的地质标志物
Table 1 Different sinistral strike-slip displacements of the Altyn Tagh Fault and geological indicators for the comparison of both sides

5种观点	左旋位移量	地质标志	阿尔金断裂西北侧	阿尔金断裂东南侧	资料来源
①	1200 km	古构造岩浆带	西昆仑加里东期构造岩浆带	祁连山加里东期构造岩浆带	参考文献[1]
	1050 km	混杂岩带逆冲断裂系	康西瓦断裂	南祁连冲断裂	参考文献[2]
②	500-750 km	古构造岩浆带	西昆仑华力西-印支构造岩浆弧	东昆仑华力西-印支构造岩浆弧	参考文献[3,4]
		古构造岩浆带 古地块	西昆仑华力西-印支构造岩浆带 南塔里木盆地(地块)	东昆仑华力西-印支构造岩浆带 柴达木盆地(地块)	参考文献[5]
	550 km	弧形构造带		阿哈提山—赛什腾山弧形构造	参考文献[6]
③	400 km	山脉	阿尔金山	祁连山	参考文献[7]
		榴辉岩高压变质带及地质单元体 古缝合带 古地块	阿尔金早古生代榴辉岩高压变质带 北山奥陶纪缝合带 敦煌地块	柴北缘早古生代榴辉岩高压变质带 内蒙古奥陶纪缝合带 阿拉善地块	参考文献[8,9] 参考文献[10,11]
	300-500 km	古构造岩浆带 古生代地层	西昆仑华力西-印支构造岩浆带 西昆仑古生代地层	东昆仑华力西-印支构造岩浆带 东昆仑古生代地层	参考文献[12]
	350-400 km	古缝合带	红柳沟-拉配泉早古生代缝合带	北祁连早古生代缝合带	参考文献[13,14]
构造断裂带 中生代盆地 新生代盆地		巴什考贡断裂 且末南侏罗纪盆地湖滨线 塔里木盆地	黑河—托莱山北-昌马断裂 茫崖西侏罗纪盆地湖滨线 柴达木盆地	参考文献[15] 参考文献[16] 参考文献[17]	
④	200-300 km	古生代地层	西昆仑古生代地层	东昆仑古生代地层	参考文献[18]
	250 km	侏罗纪煤层	且末侏罗纪煤矿	吐拉东嘎斯侏罗纪煤矿	参考文献[19,20]
		塔里木盆地东南断块构造演化			参考文献[21]
	280 km	新生代逆冲断裂系	金雁山-索尔库里山逆冲断裂系	党河南山-野马南山逆冲断裂系	参考文献[22,23]
300 km	河流	车尔臣河	车尔臣河	参考文献[24]	
⑤	75 km	新第三纪以来沉积物、地貌	阿克塞县柳城子山地新第三纪以来沉积物、地貌	肃北县城新第三纪以来沉积物、地貌	参考文献[25]
	90 km	第三纪盆地	阿克塞西第三纪盆地	肃北-大别盖第三纪盆地	参考文献[26]

2.2 阿尔金断裂两侧的高压—超高压变质带

含榴辉岩的高压—超高压变质带被认为是洋壳(/陆壳)俯冲带深部作用的产物^[25],是俯冲带的标志之一。而俯冲带是具有一定区域规模的重要构造带,因此高压—超高压变质带在区域上具有相对稳定的分布。如果断裂切割了它,那么,它可作为断裂两侧可对比的参照物来确定断裂的位移量。在阿尔金断

裂带两侧就分布着早古生代阿尔金(北阿尔金、南阿尔金)高压—超高压变质带和祁连(北祁连、柴达木北缘)高压—超高压变质带。

(1)南阿尔金与柴达木北缘超高压变质带

自刘良等^[26]在阿尔金山南部发现榴辉岩以来,对该变质带的研究已取得较大进展。许志琴等^[28]通过地质背景、矿物组合、岩石地球化学、原岩特征、温

压条件、变质作用、围岩特征和峰期变质时代对南阿尔金山(山)与柴达木盆地北缘(柴北缘)榴辉岩带^[37-38]进行详细的对比后发现,南阿尔金山榴辉岩带是被阿尔金山断裂切割的柴北缘榴辉岩带的西延部分^[8-9,39-40],这2个带原是一条带,是中国又一条被巨型走滑断裂所切割的早古生代高压—超高压变质带。

柴北缘地区榴辉岩和片麻岩锆石中柯石英包裹体的发现^[41],表明柴北缘榴辉岩带是一条典型的超高压变质带。南阿尔金山榴辉岩的绿辉石、磷灰石矿物中出熔结构的发现以及含多硅白云母榴辉岩的温压计算,提供了南阿尔金山榴辉岩中超高压变质作用的证据^[42]。随后含菱镁矿的石榴子石二辉橄榄岩的发现^[43],进一步表明南阿尔金山榴辉岩变质带同样是一条超高压变质带,是柴北缘超高压变质带的西延部分。

(2)北阿尔金山与北祁连高压变质带

北祁连早古生代蛇绿混杂岩带与阿尔金山(金雁山)红柳沟早古生代蛇绿混杂岩带相对应的认识^[2,8-12,14-15,44]已被人们所接受。

北阿尔金山地区的蓝片岩和榴辉岩带呈近EW走向分布在巴什考供以北的红柳沟一带,属北阿尔金山俯冲增生杂岩的组成部分,是早古生代高压/低温变质带^[45-47]。北祁连含有蓝片岩和榴辉岩的变质带呈NWW—SEE走向分布于祁连县一带,被认为是早古生代与洋壳俯冲有关的增生楔的深部组成部分,是典型的高压低温变质带^[48-50],其形成时代为440~465 Ma^[45,51]。

在北阿尔金山和北祁连高压/低温变质带的榴辉岩中,均发现与石榴子石和绿辉石共生的硬柱石,表明为冷洋壳俯冲作用的存在^[47]。因此,北阿尔金山和北祁连高压/低温变质带具有相同的基本特征和相似的同类型岩石,北阿尔金山高压/低温变质带是北祁连高压/低温变质带的西延部分^[46-47]。

3 阿尔金山断裂带区域构造几何学分析

由于高压—超高压变质带在区域上具有相对稳定的分布特性,因此,根据阿尔金山断裂两侧高压—超高压变质带的分布特征,可以很好地探讨阿尔金山断裂带区域构造的几何学特征。

阿尔金山断裂总体呈N70~75°E走向(图1),断裂西北侧的南阿尔金山超高压变质带和北阿尔金山高压变质带走向为N80~90°E(图3-a),与阿尔金山断裂间的交角为10~15°,而阿尔金山断裂东南侧的柴北缘超

高压变质带和北祁连高压变质带走向为N110~120°E,与阿尔金山断裂间的交角约35~45°,那么,阿尔金山断裂两侧的高压—超高压变质带走向之间存在25~30°的角度差别。另外,阿尔金山断裂东南侧的北祁连高压/低温变质带与柴北缘超高压变质带之间的宽度为300~400 km,而它们被阿尔金山断裂切割的西延部分北阿尔金山高压/低温变质带和南阿尔金山超高压变质带两者间的宽度仅为100 km左右,明显存在几何特征方面的差别(图3-a)。显然,北阿尔金山高压/低温变质带和南阿尔金山超高压变质带走向更趋近于阿尔金山断裂的走向,两者间的宽度变窄。这种宽度和走向的变化是走滑过程中产生的韧性或韧—脆性拖曳构造(图3-b),其地貌特征也显示了这一特征,仅现在的阿尔金山断裂的脆性走滑切割很难形成这一特征,必定存在早期的韧性或韧脆性左旋走滑,才有可能形成现在的几何特征。

从目前的高压—超高压变质带的几何特征(拖曳构造)来看(图3-b),北阿尔金山高压变质带和南阿尔金山超高压变质带处在韧性拖曳变形带(韧性剪切带)中,并且阿尔金山断裂将其左旋切割产生350~400 km的位移量(脆性位移)^[8-11,15-16]。在阿尔金山西北缘存在与阿尔金山断裂平行的且末—黑尖山断裂及罗布庄—星星峡断裂(且末—星星峡断裂,属阿尔金山走滑断裂系)(图1、图3),它的走滑位移量很难确定,因为它本身就是一条隐伏断裂,只是在地貌特征和地球物理特征^[52]上显示,但是,基本可以确定且末—星星峡断裂和阿尔金山断裂所控制的区域为韧性拖曳变形区域。

所以,估算阿尔金山断裂带的最大累积位移量时,在考虑阿尔金山断裂左旋走滑脆性位移量的同时,还要考虑其韧性剪切带所带来的韧性位移量。

4 阿尔金山断裂带两侧构造单元的对比

阿尔金山断裂带作为一条巨型的走滑断裂系,切割了其两侧不同时代的构造单元和地质体。对这些构造单元和地质体的对比,不仅可再造中国西部的古构造格架,同时也是估算阿尔金山断裂带走滑位移量的最有效的手段。除已论述的阿尔金山断裂两侧高压—超高压变质带的对比外,还存在以下重要的可对比的构造单元。

4.1 蛇绿岩带的对比

西昆仑北缘蛇绿岩带,也就是NWW—SEE向的

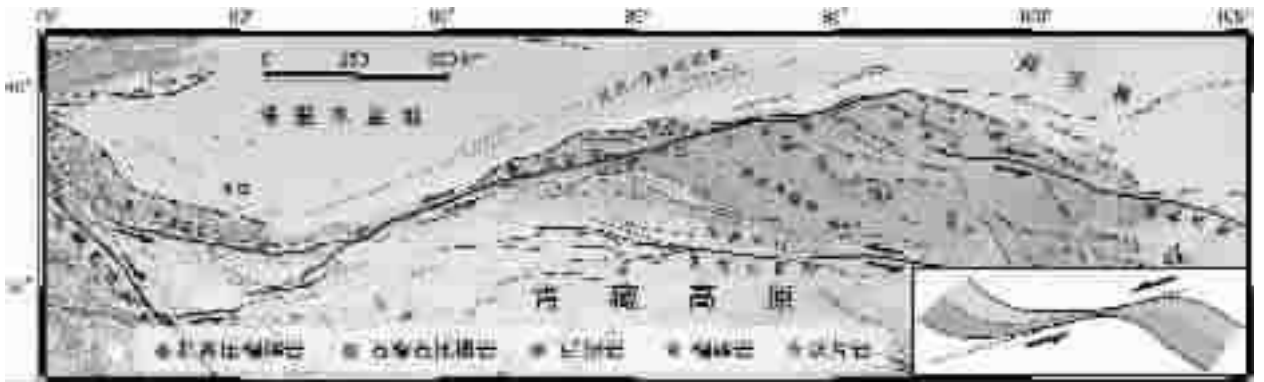


图3 阿尔金断裂两侧高压—超高压变质岩石的分布特征和由高压—超高压变质带所构成的变形几何特征

Fig. 3 Distribution characteristics of the HP-UHP metamorphic rocks at both sides of the Altyn Tagh Fault and geometry of deformation formed by the HP-UHP metamorphic belts

库地—苏巴什蛇绿岩带^[53-57],对该带的形成时代争议很大,早先认为是早石炭世^[53-54];近来较多学者认为是早古生代,应属加里东期的产物^[56-58]。由于在库地蛇绿岩依莎克群中发现了早古生代的放射虫化石^[59],库地蛇绿岩的年龄下限不会超过晚寒武世,而早古生代的128公里岩体侵入了依莎克群火山岩,其年龄应代表了库地蛇绿岩的年龄上限。因此只要准确获得128公里岩体的形成年代,就能获知库地蛇绿岩形成的大致年代。目前获得该岩体的形成年龄为490 Ma(单颗粒锆石U-Pb结果)^[58],结合放射虫化石的资料,库地蛇绿岩(西昆仑北带蛇绿岩)的年龄应介于晚寒武世和早奥陶世(490 Ma)之间,推测应在500 Ma左右。

阿尔金山地区出露2套基性、超基性岩带,北带主要分布在红柳沟—拉配泉一带,是加里东时期的蛇绿岩,是北祁连加里东时期蛇绿岩带的西延部分^[2,12,10,15];南带位于阿尔金山南部,西起于田县南,过吐拉北侧,东至新疆—青海交界的茫崖一带,见有呈近EW向或NEE向展布的具蛇绿岩特征的超基性岩(蛇纹岩)、辉长岩和熔岩,形成于早古生代^[4,60-61],该带可能与库地—苏巴什蛇绿岩带相连。潘裕生^[55]认为库地—苏巴什蛇绿岩带有可能延伸到阿尔金山。

柴达木盆地北缘蛇绿岩的确定^[62]对建立青藏高原北部的构造格架具有重要意义。Yang等^[62]认为柴北缘蛇绿岩(NWW—SEE向)和该地区发现的榴辉岩^[8-9,37-41,61-62]与祁连地体和柴达木地体间的俯冲—碰撞有关,其时代为早古生代。

NWW—SEE向的库地—苏巴什蛇绿岩带与阿尔金山南部蛇绿岩带、柴北缘蛇绿岩带都具有相同的形成时代,已有的成果^[14,53-57,60-66]显示,都具有低K的拉斑玄武岩的特征,具有异常低的TiO₂,较高的SiO₂、H₂O含量和高的Al₂O₃/TiO₂比值,近相同的稀土元素配分模式,从地球化学特征、同位素年代学和构造变形几何学特征的角度来看,它们很可能是同一个带。而且柴北缘蛇绿岩带与榴辉岩带在空间上基本上是一个带(蛇绿岩分布在榴辉岩南侧,属于蛇绿混杂岩带),许志琴等^[8]认为是阿尔金—柴北缘加里东期俯冲、碰撞杂岩带。在阿尔金也存在蛇绿岩—榴辉岩带(蛇绿岩分布在榴辉岩南侧,属于蛇绿混杂岩带)。那么,在西昆仑北部存在可对比的蛇绿岩带,虽然在西昆仑还没有发现榴辉岩类岩石,但这并不能否定西昆仑造山带向东延伸至柴北缘的可能性。从库地蛇绿岩与阿尔金山南缘蛇绿岩、柴北缘蛇绿岩的相似性来看,西昆仑、阿尔金山南缘和柴北缘在早古生代很可能处于相同的构造背景之中。

4.2 西昆仑康西瓦断裂带与(东)昆仑断裂带的对比

西昆仑山南缘的康西瓦断裂带是一条强构造变形带,其构造透镜体、韧性剪切带较为发育,未发现出露有蛇绿岩。断裂带两侧的岩石建造、岩浆活动、构造样式及变质作用有明显的差别,康西瓦断裂可作为西昆仑与喀喇昆仑的分界线^[53-54,67-68],是西昆仑南缘巨型左旋走滑断裂带^[29-30,69-71]。

(东)昆仑断裂带也是一条强构造变形带,向东与阿尼玛卿蛇绿—混杂岩带相连,其西段未出露有

蛇绿岩,可能与块体的斜向碰撞走滑有关。断裂带两侧的岩石建造、岩浆活动、构造样式及变质作用同样有明显的差别,它是东昆仑地块与巴颜喀拉-可可西里地块的分界线,是东昆仑南缘巨型左旋走滑断裂带^[29,69-70]。

康西瓦断裂带和(东)昆仑断裂带不仅具有相同的同位素年代学的特征^[29],而且断裂带南侧都主要存在一套三叠纪浅变质的砂板岩,以陆源物质为主,具复理石的性质,在青海南部称巴颜喀拉群^[72],在川西称西康群^[54],在喀喇昆仑地区称河尾滩群^[54],它们是同时代、同环境下的产物。

所以,康西瓦断裂可能是(东)昆仑断裂被阿尔金山断裂切割的西延部分^[12,29]。

4.3 西昆仑造山带与柴北缘、东昆仑造山带的对比

西昆仑山区存在2条重要的构造界线,即库地-苏巴什构造线和麻札-康西瓦构造线。这2条构造线把西昆仑山区分成3个不同的部分^[53,55],也就是西昆仑的北带、中带和南带(严格地说南带不属于西昆仑,而属喀喇昆仑)。

西昆仑中带与东昆仑都存在一条规模巨大的华力西-印支期构造岩浆岩带^[3,12,53,55,58,67-68,73-75],并且存在加里东期花岗岩,印支期的花岗岩极其相似,另外都存在一条钙碱系列的岛弧相伴的安山岩线^[55,69,76]。康西瓦断裂带北侧的石榴二辉麻粒岩^[77-78]与东昆仑石榴二辉麻粒岩^[79]的特征和时代的相似性,更加表明西昆仑中带与东昆仑具有相似的物质组成,或者说西昆仑中带是东昆仑的西延部分。

库地-苏巴什构造线以北为西昆仑北带,与阿尔金山南部(且末地区)、柴北缘具有可对比的蛇绿混杂岩带(见上述);库地-苏巴什构造线以南与麻札-康西瓦构造线(康西瓦左旋走滑断裂带)以北之间为中带(若将西昆仑分成南北2个带,应属西昆仑南带),其构造岩浆岩带与东昆仑构造岩浆岩带相对应;在库地-苏巴什构造线两侧存在2种不同类型的变质基底,南部主要为麻粒岩相的变质基底,北部主要为角闪岩相的变质基底,而东昆仑是以麻粒岩相金水口群为代表的变质基底,柴北缘是以角闪岩相达肯大坂群为代表的变质基底^[80-81];麻札-康西瓦构造线以南与东昆仑走滑断裂以南的构造环境相一致。很明显,西昆仑北带、中带的物质与柴北缘、东昆仑带具有相似性,且可以对比。所以,笔者认为西昆仑造山带可能是柴北缘、东昆仑造山带的拼合体。

5 沿阿尔金山断裂带不同标志物的走滑位移量的估算

以蛇绿混杂岩带、榴辉岩高压-超高压变质带以及大规模的走滑断裂带作为阿尔金山断裂带两侧不同的对比标志物,进行沿断裂方向的左旋走滑位移量的估算。如图4所示,阿尔金山断裂东南侧的北祁连高压/低温变质带(蛇绿混杂岩带)、柴北缘超高压变质带及蛇绿岩带、东昆仑(走滑)断裂带对应于阿尔金山断裂带西北侧的北阿尔金山高压/低温变质带(红柳沟蛇绿混杂岩带)、南阿尔金山超高压变质带及蛇绿岩带、康西瓦(走滑)断裂带。

北阿尔金山高压/低温变质带和南阿尔金山超高压变质带、蛇绿岩带与阿尔金山断裂东南侧相对应的构造带对比,所估算的位移量分别为约350 km和约400 km(图4),这只是脆性走滑位移量的部分。由于阿尔金山部分处在韧性走滑的拖曳构造部位,需要考虑到韧性走滑拖曳存在的位移,因此估算它们的累积位移量要避免走滑拖曳部分,远离断裂带两侧进行对比估算,这样它们的位移量至少大于500 km(图4)。另外,由于韧性拖曳构造带两侧具有相似的几何特征(反对称性),那么,如南阿尔金山超高压变质带可以西延,则能够延至西昆仑山或山前沙漠之下,柴北缘超高压变质带及蛇绿岩带向西延过由阿尔金山断裂与且末-黑尖山断裂所控制的韧性拖曳变形带的位移量为900~1000 km(图4),所以累积位移量应为 $1000 \text{ km} \geq d \text{ 累积} > 500 \text{ km}$ 。许志琴等^[82]认为西昆仑加里东期孔兹岩与阿尔金山加里东期孔兹岩可对比,并由此认为阿尔金山断裂左旋走滑约600 km。如果加上南阿尔金山超高压变质带与柴北缘超高压变质带的脆性位移约400 km,即得出约1000 km的位移量。(东)昆仑断裂与康西瓦断裂相对比(找远离阿尔金山断裂、走向近平行的两处相对比)得到的走滑位移量为350 km左右。

6 问题讨论

(1) 阿尔金山断裂带累积走滑位移量的特征

沿阿尔金山断裂带不同地段的累积走滑位移量是不同的,由于存在较大规模的韧性拖曳构造(图3-b),其中断裂带东段由北祁连高压/低温变质带与北阿尔金山高压/低温变质带相对比所估算的位移量应大于500 km(图4);断裂带中段由柴北缘超高压变质

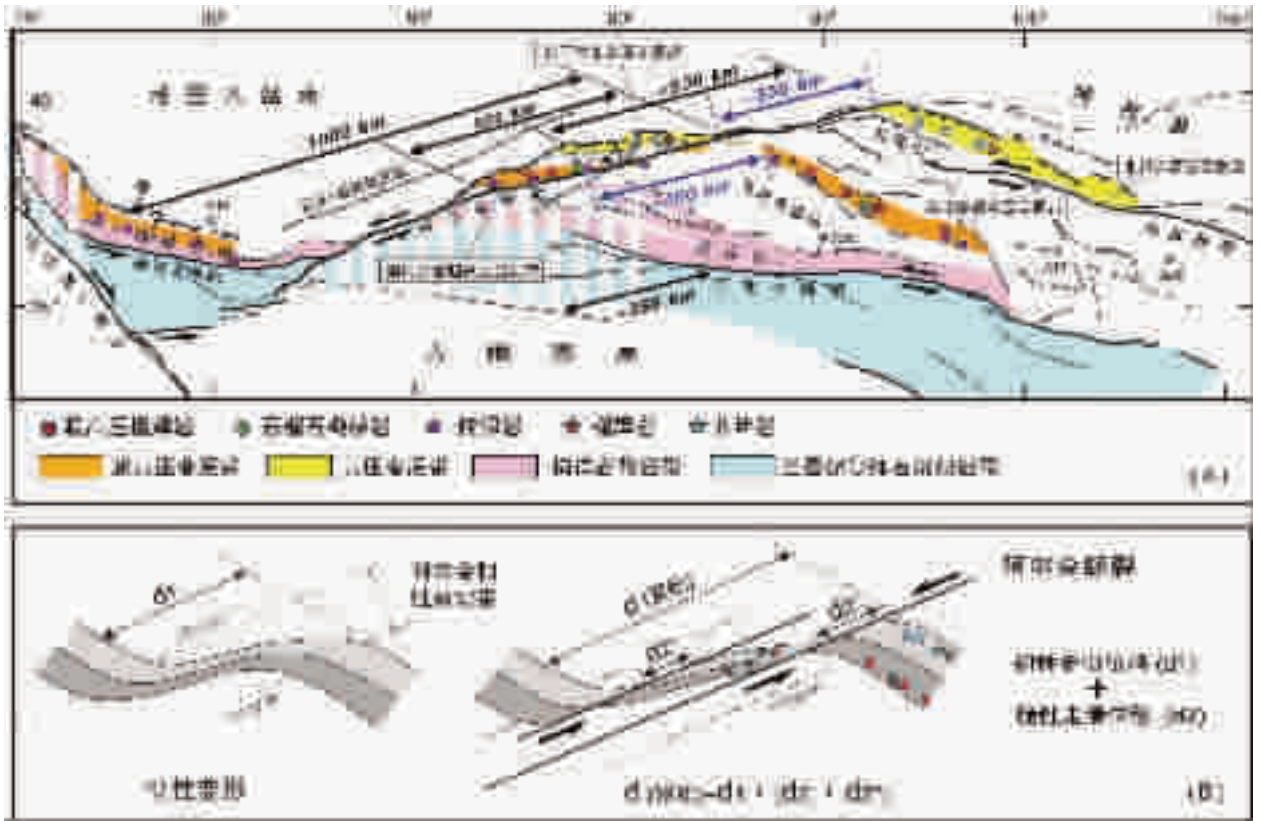


图4 阿尔金断裂带左旋走滑位移量的估算(A)和断裂带变形示意图(B)

Fig. 4 Estimation of the sinistral strike-slip displacement along the Altyn Tagh Fault (A) and sketch map of the deformation of the fault zone(B)

带与南阿尔金超高压变质带相对比,以及包括蛇绿岩带在内的向西延伸所估算的位移量为900~1000 km(图4),也是断裂带最大的累积走滑位移量;断裂带西段由昆仑断裂与康西瓦断裂相对比所估算的位移量约为350 km(图4)。所以,沿阿尔金断裂带的累积走滑位移量存在由中段向东、西两段位移量变小的特征,这可能与断裂带东西两端的祁连山、西昆仑山的隆升作用有关,因为在断裂带的东、西两端地壳吸收了阿尔金断裂带的部分走滑位移量,从而地壳发生缩短作用造成了山脉的崛起^[30]。

(2)断裂两侧物质对比存在的问题

虽然根据拖曳构造几何学的特征,已明确柴北缘超高压变质带向西过阿尔金断裂后走向发生变化成为南阿尔金超高压变质带,那么再向西延伸可能走向又变化为近柴北缘超高压变质带的走向,同时考虑到有可能且末-星星峡断裂具有一定的左旋走滑位移,因此南阿尔金超高压变质带有可能向西延入西昆仑

或西昆仑山前的第四纪沙漠之下,但是,目前仍没有确凿的证据表明南阿尔金超高压变质带向西已延入西昆仑,因为在西昆仑还没有发现榴辉岩。

由于从蛇绿岩带、构造岩浆岩带和变质基底的角度,西昆仑的物质(北带和中带)与柴北缘、东昆仑两部分物质可对比,那么可以认为西昆仑造山带是柴北缘、东昆仑造山带的拼合体,如果这个观点正确,就存在一个值得深思的问题:柴北缘造山带和东昆仑造山带之间的柴达木地块向西延至何处?是在西昆仑之下或已俯冲到地下深处?还是西昆仑之下就没有柴达木地块?或者西昆仑造山带能否与柴北缘和东昆仑造山带对比?这些问题都还需进一步探讨。

就地貌和变形特征来看,仍然存在着西昆仑与柴北缘、东昆仑对比的可能性。从柴达木盆地南、北缘的变形构造研究来看,柴达木盆地是一个正在缩小的盆地^[33],其北缘的前新生代物质以逆冲型式(由北向南逆冲)压在盆地之上,而盆地南缘的前新生代

物质同样逆冲在盆地之上(由南向北逆冲)(图1),同时盆地也发生褶皱变形、地壳缩短,如果这种变形样式持续下去,柴达木盆地将在未来某一地质历史时期消失,消失的同时柴北缘将与东昆仑合并成一体。那么是否能以同样的形式来考虑西昆仑呢?这需要进一步的深入研究。

(3)阿尔金高压—超高压变质带的向西延伸

南阿尔金超高压变质带的发现和确定^[36,42-43],对青藏高原北部大地构造格架的确定起到了很大的作用。这条高压—超高压变质带是被阿尔金断裂所切割的柴北缘高压—超高压变质带的西延部分^[8-9,40]已被确定,然而向西延至何处?这一直是地学界所关注的问题。其是延入塔里木盆地之中被第四系覆盖呢?还是延至西昆仑之中呢?或者就停止于阿尔金断裂带?由于在西昆仑造山带还没有发现榴辉岩,因此这个问题就成为不解的疑惑。

由于塔里木地块与柴达木—祁连地块在早古生代时期就是2个相距甚远的不同块体,三叠纪时期才拼合在一起^[84],而柴北缘、南阿尔金高压—超高压变质带是早古生代时期地壳深俯冲的产物^[39-43,63],那么在塔里木的块体之中很难想象存在南阿尔金高压—超高压变质带的西延部分,但是,目前的资料仍然不清楚塔里木块体是一个完整的前寒武纪变质基底还是由多个变质基底拼合组成,以及是否存在柴达木变质基底的组分。如果柴达木变质基底存在于塔里木南部,那么很有可能存在南阿尔金高压—超高压变质带的西延部分。

南阿尔金且末地区出露的榴辉岩的围岩是一套以角闪岩相矿物组合为特征的片麻岩、片岩及部分混合岩、大理岩。这套片麻岩、片岩被称为古元古界米兰群^[67],其原岩为泥质岩、火山岩、钙硅质岩等,具典型的表壳岩的性质^[2,39],也有人称之为阿尔金的变质基底^[67]。西昆仑北坡出露一套以角闪岩相变质岩为代表的岩石,下部为黑云斜长变粒岩夹黑云斜长片麻岩及条带状混合岩;上部为绿泥片岩、石英片岩夹大理岩^[12,53,67-68]。从区域地质资料来看,整个这套地层被称为古元古界铁克力克群^[67],向北延展到塔里木盆地之中,与米兰群极其相似,同时也能与由斜长角闪岩岩组和片岩岩组组成的柴北缘达肯大坂群^[83]相对比;柴北缘榴辉岩的围岩片麻岩经历了超高压变质作用^[41],这与它们还存在一定的差异,目前已有的证据还不能说明它们就是一套相同的组合。

因此,西昆仑或塔里木盆地南部沙漠之下是否存在阿尔金高压—超高压变质带的西延部分,还需要进一步深入研究后才能做出正确的判断。但是,这不影响估算阿尔金断裂带累积走滑位移量的大小。

7 结 论

研究表明,近EW走向的北阿尔金山蓝片岩—榴辉岩高压变质带和南阿尔金山榴辉岩超高压变质带分别是被阿尔金断裂所切割的NW—SE/NWW—SEE走向的北祁连山蓝片岩—榴辉岩高压变质带和柴北缘榴辉岩超高压变质带的西延部分。由于高压变质带与超高压变质带的宽度和走向在断裂两侧存在较大的变化,其宽度变窄、走向趋于与断裂带走向一致的变化,说明存在着韧性或韧脆性变形带中的走滑运动产生的拖曳构造,因此,阿尔金断裂带走滑过程中存在较大的韧性变形,它的最大累积走滑位移量应由韧性和脆性走滑位移量组成。无论南阿尔金超高压变质带是否延入西昆仑,从拖曳构造的变形几何学特征来看,其累积位移量至少大于500 km,可能超过900 km而小于1000 km。另外,西昆文库地北蛇绿岩与阿尔金南缘蛇绿岩、柴北缘蛇绿岩在年龄、岩石组合及地球化学特征方面均具有相似之处,暗示在早古生代时期西昆仑和阿尔金南缘、柴北缘很可能处于相同的构造背景之中,后被阿尔金断裂所切割。因此,沿阿尔金断裂带中段最大累积左旋走滑位移量为900~1000 km,西段约为350 km,东段大于500 km,东、西两段位位移量变小是祁连山和西昆仑山吸收了部分走滑位移量所致。

致谢:参加野外工作的还有吴才来、张建新、孟繁聪、史仁灯等研究员,与宋述光、杨天南研究员进行了有益的探讨,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1]张治洸.阿尔金断裂的地质特征[J].中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,1985,7:20-32.
- [2]崔军文,唐哲民,邓晋福,等.阿尔金断裂系[M].北京:地质出版社,1999.
- [3]Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. *Geology*, 1982, 10:611-617.
- [4]Peltzer G, Tapponnier P. Formation and evolution of strike-slip faults, rifts, and basins during the India-Asia collision: An experimental approach[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1988, 93:15085-15117.
- [5]Peltzer G, Tapponnier P, Armijo R. Magnitude of late Quaternary

- left-lateral displacements, along the north edge of Tibet[J]. *Science*, 1989, 246:1285-1289.
- [6]蔡学林,魏显贵,刘援朝.阿尔金山走滑断裂构造样式[J].*成都地质学院学报*,1992,19(1):8-17.
- [7]Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonic of Asia: Effects of a continental collision[J]. *Science*, 1975, 189:419-426.
- [8]许志琴,杨经绥,张建新,等.阿尔金断裂两侧构造单元的对比如及岩石圈剪切机制[J].*地质学报*,1999,73(3):193-205.
- [9]Zhang Jianxin, Zhang Zeming, Xu Zhiqin, et al. Petrology and geochronology of eclogites from the western segment of the Altyn Tagh, northwestern China[J]. *Lithos*, 2001, 56(2/3):187-206.
- [10]Yue Yongjun, Liou J. Two-stage evolution model for the Altyn Tagh fault, China[J]. *Geology*, 1999, 27:227-230.
- [11]Yue Y, Ritts D B, Stephan G A. Initiation and long-term slip history of the Altyn Tagh fault [J]. *International Geology Review*, 2001, 43:1087-1093.
- [12]潘桂荣,焦淑沛,徐耀荣,等.阿尔金山新生代构造及造山性质[C]//*青藏高原地质论文集(15)*.北京:地质出版社,1984:113-120.
- [13]车自成,孙勇.阿尔金麻粒岩相杂岩的时代及塔里木盆地的基底[J].*中国区域地质*,1996,15(1):51-57.
- [14]车自成,刘良,刘洪福,等.阿尔金断裂带的组成及相关中生代含油气盆地的成因特征[J].*中国区域地质*,1998,16(4):377-384.
- [15]葛肖虹,刘俊来.北祁连造山带的形成与背景[J].*地学前缘*,1999,6(4):223-229.
- [16]Ritts B D, Biffi U. Magnitude of post-middle Jurassic (Bajocian) displacement on the central Altyn Tagh fault system, northwest China[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2000, 112(1):61-74.
- [17]Meng Q R, Hu J M, Yang F Z. Timing and magnitude of displacement on the Altyn Tagh fault: constraints from stratigraphic correlation of adjoining Tarim and Qaidam basins, NW China[J]. *Terra Nova*, 2001, 13:86-91.
- [18]Preisig J R, Gillespie A. Synoptic tectonics along the Altyn Tagh fault zone[M]. *Eos (Transactions, American Geophysical Union)*, 1984,65:190.
- [19]郑剑东.阿尔金断裂带的几何学研究[J].*中国区域地质*,1991,(1):54-59.
- [20]郑剑东.阿尔金断裂研究进展:现今地球动力学研究及其应用[M].北京:地震出版社,1994:254-259.
- [21]康玉柱.中国古生代海相成油特征[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1995.
- [22]Yin A, Harvison T M, Cowgill E, et al. Partitioning of translation along the left-slip Altyn Tagh fault system, northern Tibet [J]. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 1997, 29(6):A-143.
- [23]Yin A, Gehrels G, Chen X, et al. Evidence for 280km of Cenozoic left slip motion along the eastern segment of the Altyn Tagh fault system, Western China[M]. *Eos (Transactions, American Geophysical Union)*, 1999, 108, P.F-1018.
- [24]Ding Guoyu, Chen Jie, Tian Qinjian, et al. Active faults and magnitudes of left-lateral displacement along the northern margin of the Tibetan Plateau[J]. *Tectonophysics*, 2004, 380(3/4):243-260.
- [25]国家地震局《阿尔金断裂活动带》课题组.阿尔金断裂活动带[M].北京:地震出版社,1992.
- [26]Wang E. Displacement and timing along the northern strand of the Altyn Tagh fault zone, northern Tibet[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, 150:55-64.
- [27]Witlinger G, Tapponnier P, Poupiner G, et al. Tomographic evidence for localized lithospheric shear along the Altyn Tagh fault[J]. *Science*, 1988, 282:74-76.
- [28]李海兵,杨经绥,许志琴,等.阿尔金断裂带印支期走滑活动的地质及年代学证据[J].*科学通报*,2001,46(16):1333-1338.
- [29]Arnaud N, Tapponnier P, Roger F, et al. Evidence for Mesozoic shear along the western Kunlun and Altyn-Tagh fault, northern Tibet(China)[J]. *J. Geophys. Res.*, 2003, 108:B1, ETG 12-1, 12-27.
- [30]李海兵,杨经绥,许志琴,等.阿尔金断裂带对青藏高原北部生长、隆升的制约[J].*地学前缘*,2006,13(4):59-79.
- [31]Wang Yu, Zhang Xuemin, Wang Erchie, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronological evidence for formation and Mesozoic evolution of the northern-central segment of the Altyn Tagh fault system in the northern Tibetan Plateau[J]. *GSA Bulletin*, 2005, 117:1336-1346.
- [32]刘永江,葛肖虹,叶慧文,等.晚中生代以来阿尔金断裂的走滑模式[J].*地球学报*,2001,22(1):23-28.
- [33]刘永江,葛肖虹, Genser J, 等.阿尔金断裂带构造活动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄证据[J].*科学通报*,2003,48(12):1335-1341.
- [34]李海兵,杨经绥.青藏高原北部白垩纪隆升的证据[J].*地学前缘*, 2004,11(4):345-359.
- [35]Liou J G, Hacker B R, Zhang R Y. Into the Forbidden Zone[J]. *Science*, 2000,287:1215-1216.
- [36]刘良,车自成,罗金海,等.阿尔金山西段榴辉岩的确定及其地质意义[J].*科学通报*,1996,41(16):1485-1488.
- [37]杨经绥,许志琴,李海兵,等.我国西部柴北缘地区发现榴辉岩[J].*科学通报*,1998,43(14):1544-1549.
- [38]马旭东,陈丹玲.柴达木盆地北缘超高压变质岩的围岩长英质片麻岩锆石LA-ICP-MS定年[J].*地质通报*,2006,25(1/2):99-103.
- [39]张建新.阿尔金山西段加里东期山根的初步研究[D].中国地质科学院博士论文,1998.
- [40]杨经绥,许志琴,宋述光,等.青海都兰榴辉岩的发现及对中央造山带内高压-超高压变质带研究的意义[J].*地质学报*,2000,74(2):157-168.
- [41]杨经绥,宋述光,许志琴,等.柴达木盆地北缘早古生代高压-超高压变质带中发现典型超高压矿物——柯石英[J].*地质学报*, 2001,75(2):175-179.
- [42]张建新,杨经绥,许志琴,等.阿尔金榴辉岩中超高压变质作用证据[J].*科学通报*,2002,47(3):231-234.
- [43]刘良,孙勇,肖培喜,等.阿尔金发现超高压(>3.8GPa)石榴二辉橄榄岩[J].*科学通报*,2002,47(9):657-662.
- [44]葛肖虹,张梅生,刘永红,等.阿尔金断裂研究的科学问题与研究思路[J].*现代地质*,1998,12(3):295-301.
- [45]宋述光,张立飞, Niu Y, 等.北祁连山榴辉岩SHRIMP定年及其构造意义[J].*科学通报*,2004,49(6):592-595.
- [46]Zhang J, Meng F, Yang J. A new HP/LT metamorphic terrane in the northern Altyn Tagh, western China [J]. *Int. Geol. Rev.*, 2005,47: 371-386.
- [47]张建新,孟繁聪.北祁连和北阿尔金含硬柱石榴辉岩:冷洋壳俯冲作用的证据[J].*科学通报*,2006,51(14):1683-1688.

- [48]Wu H Q, Feng Y M, Song S G. Metamorphic and deformation of blueschist belts and their tectonic implications, North Qilian mountains, China[J]. *J. Metamorph. Geol.*, 1993, 11:523-536.
- [49]宋述光,吴汉泉,冯益明.北祁连山俯冲杂岩带的构造演化[J].*地球科学进展*, 1997, 14(4):151-165.
- [50]Song S G, Zhang L F, Niu Y, et al. Evolution from oceanic subduction to continental collision: A case study of the Northern Tibetan Plateau inferred from geochemical and geochronological data [J]. *J. Petrol.*, 2006, 47:435-455.
- [51]张建新,许志琴.北祁连中段俯冲-增生杂岩/火山弧的时代探讨[J].*岩石矿物学杂志*, 1997, 16(2):112-119.
- [52]孟令顺,崔军文.青藏高原北缘重力场特征与深部地壳构造[J].*长春科技大学学报*, 2000, 30(2):180-184.
- [53]姜春发,杨经绥,冯秉贵,等.昆仑开合构造[M].北京:地质出版社,1992.
- [54]成都地质矿产研究所.青藏高原及邻区地质图(1:150万)及说明书[M].北京:地质出版社,1988.
- [55]潘裕生.昆仑山区构造区划初探[J].*自然资源学报*, 1989, 4(3): 196-203.
- [56]邓万明.喀喇昆仑—西昆仑地区蛇绿岩地质特征及其大地构造意义[J].*岩石学报*, 1995, 11(增刊):98-111.
- [57]潘裕生.喀喇昆仑—昆仑山综合科学考察导论[M].北京:气象出版社,1992.
- [58]Yuan Chao. Magmatism and tectonic evolution of the Kunlun Mountains[D]. The University of Hong Kong, 1999.
- [59]方爱明,李继亮,侯泉林,等.新疆西昆仑“依沙克群”中的放射虫组合及其形成时代探讨[J].*地质科学*, 2000, 35(2):212-218.
- [60]赖绍聪,邓晋福,赵海玲,等.青藏高原北缘火山作用与构造演化[M].西安:陕西科学技术出版社,1996:74-96.
- [61]刘良,车自成,王焰,等.阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的Sm-Nd等时线年龄证据[J].*科学通报*, 1998, 43(8):880-882.
- [62]Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Li Haibing, et al. A Caledonian convergent border along the southern margin of the Qilian terrane, NW China: Evidence from eclogite, garnet-peridotite, ophiolite, and S-type granite [J]. *Journal of the Geological Society of China*, 2000, 43(1):142-160.
- [63]张建新,张泽明,许志琴,等.阿尔金构造带西段榴辉岩的Sm-Nd及U-Pb年龄[J].*科学通报*, 1999, 44(10):1109-1112.
- [64]王焰,刘良,车自成,等.阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的地球化学特征[J].*地质论评*, 1999, 45(增刊):1010-1014.
- [65]杨树锋,陈汉林,董传万,等.西昆仑山库地蛇绿岩的特征及其构造意义[J].*地质科学*, 1999, 34(3):281-288.
- [66]王志洪,李继亮,侯泉林,等.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*, 2000, 35(2):151-160.
- [67]新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1993.
- [68]金小赤,王军,任留东,等.西昆仑地质构造的几个问题[C]//马宗晋,杨主恩,吴正文.构造地质学——岩石圈动力学研究发展.北京:地震出版社,1999:105-113.
- [69]Li Haibing, Xu Zhiqin, Chen Wen. Deformational features and tectonic evolution of the south Kunlun strike-slip shear zone, East Kunlun Mountains [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1996, Special Issue: 16-21.
- [70]Li Haibing, Xu Zhiqin, Chen Wen. Southern margin strike-slip fault zone of East Kunlun mountains: An important consequence of intracontinental deformation [J]. *Continental Dynamics*, 1996, 1(2): 146-155.
- [71]许志琴,杨经绥,李海兵,等.青藏高原与大陆动力学——地体拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力[J].*中国地质*, 2006, 33(2): 221-238.
- [72]青海省地质矿产局.青海省区域地质志[M].北京:地质出版社, 1991.
- [73]王炬川,崔建堂,罗乾周,等.西昆仑康西瓦西部早古生代侵入岩的岩浆混合作用[J].*地质通报*, 2006, 25(12):1458-1468.
- [74]崔建堂,王炬川,边小卫,等.西昆仑康西瓦北侧蒙古包—普守一带早古生代花岗岩锆石SHRIMP U-Pb测年[J].*地质通报*, 2007, 26(6):710-719.
- [75]张占武,崔建堂,王炬川,等.西昆仑康西瓦西北部库尔良早古生代角闪闪长岩、花岗岩长岩锆石SHRIMP U-Pb测年[J].*地质通报*, 2007, 26(6):720-725.
- [76]张湖.昆仑山的构造和组构:关于中生代(晚泥盆世之前)变形的证据[C]//青藏高原地质演化.北京:科学出版社,1990:344-347.
- [77]杨坤光,刘强,张传林,等.西昆仑康西瓦断裂带新发现的麻粒岩[J].*地质科技情报*, 2003, 22(1):100-104.
- [78]郭坤一,张传林,王爱国,等.西昆仑首次发现石榴二辉麻粒岩[J].*资源调查与环境*, 2003, 24(2):79-81.
- [79]李怀坤,陆松年,相振群,等.东昆仑中部缝合带清水泉麻粒岩锆石SHRIMP U-Pb年代学研究[J].*地学前缘*, 2006, 13(6):311-321.
- [80]陆松年,王惠初,李怀坤,等.柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定[J].*地质通报*, 2002, 21(1):19-23.
- [81]王惠初,陆松年,莫宣学,等.柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山系统[J].*地质通报*, 2005, 24(7):603-612.
- [82]许志琴,戚学祥,刘福来,等.西昆仑康西瓦加里东期孔兹岩系及地质意义[J].*地质学报*, 2004, 78(6):733-743.
- [83]Chen W P, Chen C Y, Nabelek J L. Present-day deformation of the Qaidam basin with implications for intra-continental tectonics [J]. *Tectonophysics*, 1999, 305:165-181.
- [84]由福报,吴汉宁,刘池阳,等.柴达木盆地构造古地理分析[J].*地学前缘*, 2000, 7(4):421-429.
- [85]王惠初,李怀坤,陆松年,等.柴北缘鱼卡地区达肯大坂岩群的地质特征与构造环境[J].*地质调查与研究*, 2006, 29(4):253-262.