阿尔金走滑断陷盆地的确定及其与山脉的关系

李海兵^① 杨经绥^① 史仁灯^① 吴才来^① P. Tapponnier^②
万渝生^① 张建新^① 孟繁聪^①

(^①中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; ^②Institut de Physique du Globe, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France.
E-mail: lihaibing@yeah.net)

摘要 阿尔金断裂带中段发育一种特殊的长条状盆地地貌, 其长宽比略大于 50. 盆地两侧的长边界由直线型具走滑分量的正断裂控制, 盆地内分布新生代地层, 阿尔金主断裂通过盆地, 并在盆地内形成一系列走滑地貌. 以盆地为中心两侧为反向的逆冲构造, 使盆地两侧的由古老变质岩组成的地质体垂向挤出, 构成在盆地两侧且平行于盆地的长条形山体(山脉), 这种特殊地貌称之为走滑断陷盆地. 该巨型长条状走滑断陷盆地于上新世开始形成, 晚更新世时期其地貌特征基本形成, 它是阿尔金断裂带走滑变形过程中形成的特殊类型的地貌, 是转换挤压作用和隆升作用的共同结果.

关键词 走滑断陷盆地 转换挤压作用 隆升作用 阿尔金断裂带

阿尔金断裂带位于青藏高原北部边缘, 它是亚洲大陆内部一条巨型的北东东向走滑断裂体系, 一直受到国内外地质学家的普遍关注, 并从不同方面进行过研究. 目前普遍认为, 新生代以来阿尔金断裂带是条大型左行走滑断裂带, 并且是青藏高原隆起并向北推挤的一条重要的应力释放线^[1~5]. 长期以来, 人们注意力主要集中在对阿尔金断裂带的几何学、运动学、形成演化历史以及相关的沉积学的研究^[1~12], 而对阿尔金断裂带中的地貌学研究涉及较少, 尤其是很少把它们与走滑过程中的隆升联系起来.

目前, 人们已逐渐认识到盆山耦合的重要性, 特别是在研究青藏高原形成、演化过程中的重要性. 走滑断裂是陆内变形的重要形式已被公认, 从盆地的研究反演构造演化已越来越引起地质学家的重视. 沿大型走滑断裂带附近可形成各种类型的盆地, Mann 等人^[13]将这些盆地统称为走滑盆地. Harding 等人^[14]总结了走滑盆地有 4 种基本形式, 即(1) 松弛弯曲型(releasing bend)、(2) 松弛分叉或交汇型(releasing splay or junction)、(3) 松弛叠覆型(releasing overstep)和(4) 雁行断裂型(En echelon external faults). 以往对阿尔金走滑断裂带中的走滑盆地研究^[5~10, 12, 15]较为普遍. 然而, 1997~1999 年期间, 在阿尔金走滑断裂带中段发现一种新型的走滑盆地, 即长宽比略大于 50 的长条状走滑断陷盆地(图 1). 这种地貌曾被人注意, 并称之为索尔库里走廊^[16]或索尔库里断陷谷地^[9], 但未对其总体特征、构造组合形式及形成机制做过研

究, 这种独特的“盆地”有别于 Harding 等人^[14]总结的 4 种形式的走滑盆地. 巨型长条状走滑断陷盆地的成因及构造演化研究, 对了解阿尔金断裂带的运动学及动力学特征和青藏高原隆升, 具有非常重要的意义. 本文利用 TM 和 SPOT 卫星影像资料以及野外和室内的构造地质学、岩石学及沉积学研究, 确定了其变形构造组合形式, 并简略分析走滑断陷盆地的形成机制及其构造意义.

1 走滑断陷盆地的基本地质特征

走滑断陷盆地位于阿尔金断裂带中段, 由西向东, 从索尔库里经拉配泉南到安多坝南, 长约 180 km, 宽 1~5 km, 平均 2~3 km, 其长宽比约大于 50. 盆地的两个长边界由直线型具走滑分量的正断裂控制(图 2, 3), 总体呈北东 70° 走向, 空间上为两长条形山体(山脉)所夹持的狭长状盆地(谷地)(图 1), 似一条长长的“走廊”. 两侧山体(山脉)与盆地之间的高差一般为 400~800 m, 盆地内主要为第四系覆盖, 局部出露有渐新统、中新统及上新统沉积^[1] (图 1), 分别为下干柴沟组(E_{3g})、上干柴沟组(N_{1g})、上油砂山组(N_{2y})和狮子沟组(N_{2s}). 其中下干柴沟组分布相对较多, 以紫红色砾岩、砂砾岩为主, 被盆地中央的阿尔金走滑断裂切过(图 1), 与盆地外北侧大面积分布的渐新统沉积一致. 狮子沟组仅零星分布于盆地西南侧, 以黄褐色砾岩、砂砾岩为主, 其分布受控于盆地南侧具走滑分量的正断裂和盆地中心的走滑断裂(阿尔金断

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2002-47-1-63>

1) 新疆地质局, 中华人民共和国区域地质调查报告, 索尔库里幅(1: 200000). 1981

图 1 阿尔金断裂带中段索尔库里地区构造地质略图

AB: 横切走滑断陷盆地的剖面位置; 阿尔金断裂穿过走滑断陷盆地. 1. 第四系; 2. 新第三系; 3. 渐新统; 4. 侏罗系; 5. 元古界; 6. 糜棱岩; 7. 花岗岩; 8. 逆冲断裂; 9. 正断裂; 10. 走滑断裂

裂). 狮子沟组中同沉积断裂较为发育, 断裂面走向
 北东 70°~90° 之间, 倾角为 50°~80°, 断距不大, 另
 外在部分断裂面上可见到具左行走滑分量的正断裂
 性质的擦痕. 然而, 在盆地中的下干柴沟组和上干柴
 沟组中未见有同沉积断裂, 但却被阿尔金断裂及具

左行走滑分量的正断裂所切割(图 1 和图 2(a)), 全新
 世地层中也见有被具左行走滑分量的正断裂所切割
 (图 2(b)), 表明盆地边界断裂在全新世时期仍在活动.
 另外, 盆地南侧的长条状山体(主要由元古代变质岩
 和侏罗纪砂砾岩组成)由北北西向南南东方向逆

图 2 阿尔金走滑断陷盆地中的断裂构造(野外照片)

(a) 索尔库里地区, 走滑断陷盆地南侧山体(山脉)及断裂三角面, 正断裂具左行走滑分量; (b) 拉配泉南侧地区, 全新世地层中具左
 行走滑分量的正断裂. 可见小型断裂三角面; (c) 索尔库里地区, 走滑断陷盆地北侧长条形山体(山脉)及盆地中的阿尔金断裂
 (Altyn Tagh Fault)及其相伴的挤压隆起, 竖的白箭头为阿尔金断裂所示位置, 在照片左下方可见阿尔金断裂靠近盆地南侧长条
 山体, 在右上方靠近盆地北侧长条形山体, 此处盆地宽约 4~5 km

冲于第四系之上,其中西端山体由部分狮子沟组砂砾岩组成,并逆冲叠覆于本地层之上,北侧长条状山体(主要由元古代变质岩组成)由南南东向北北西方向逆冲于第四系和渐新统之上.同时,较大规模的盆地边界具左行走滑分量的正断裂(图 3)尤为醒目,它不仅反映了盆地边界性质,而且也说明它控制了盆地的发育和演化,热释光年龄给出了该断裂的形成时间为距今 45~54 ka 前(图 3).从上述资料表明该“长条状盆地”不是河流沿走滑断裂侵蚀的谷地,而是由正断裂控制的伸展盆地,该走滑断陷盆地于上新世开始形成,晚更新世定形.

图 3 阿尔金走滑断陷盆地的边界断裂(具走滑分量的正断裂)构造特征及不同地点的热释光年龄值
热释光年龄由中国地震局地质研究所热释光实验室测试完成

2 变形构造组合特征

走滑断陷盆地与两侧长条状山体(山脉)相伴而生,它们具有特定的变形构造组合特征.通过野外综合研究,其构造组合特征为(图 1):以左行走滑断裂(阿尔金断裂)为中心(图 1 和图 2(c)),盆地两侧长条形山体外侧为反向逆冲构造,即北侧由南东向北西方向逆冲、南侧由北西向南东方向逆冲的逆冲构造;在

两长条形山体内侧(即断陷盆地的边界)出现与山体外侧逆冲断裂同倾向并具走滑分量的正断裂(图 2(a), (b)),使得中间部位为伸展环境,成为“凹地”(似地堑),而走滑断裂两侧由正断裂与逆冲断裂所夹持的块体垂向挤出(图 4),从而“凹地”两侧为“凸出”的山体(图 5(a), (c)).其中逆冲断裂、正断裂和走滑断裂都近于平行,走滑断裂与正断裂近为直线(两者稍有夹角),其直线型地貌、断层三角面等较为发育,盆地南缘正断裂的断层三角面更为典型(图 2(a)).并且在地表均为脆性断裂,它们的形成时代应为上新世.然而,在盆地南侧山体中出露的具水平拉伸线理,并具左行剪切应变的花岗质和角闪质糜棱岩(图 1),显然是阿尔金断裂带早期走滑的产物,该糜棱岩形成时间为 220~240 Ma^[16,17].断陷盆地的北缘正断裂不明显,在东侧的局部地段有所显示(图 1).

3 讨论与结论:走滑断陷盆地——转换挤压作用与隆升作用的共同结果

在阿尔金断裂带中段,走滑过程中伴随有与走滑断裂近平行的逆冲构造(图 1),使得横向上(Y 轴,垂直走滑断裂带)受到挤压应力而产生缩短作用,垂向上(Z 轴)地壳加厚,反映出典型的转换挤压作用下的变形构造^[18],这种构造在地球物理资料中同样显示^[19].由于阿尔金断裂带的早期深部韧性变形产物糜棱岩现已出露于地表,以及在该地区发育多级阶地,从而表明了这一地区存在地壳的隆升与剥蚀作用,这种特殊的变形构造组合,不仅与大型走滑作用(具转换挤压作用性质)有关,主要还与地壳的隆升运动有着直接的关系.

图 4 阿尔金走滑断陷盆地的构造剖面图

AB: 在图 2 中所示的横切走滑断陷盆地的剖面位置. 1. 第四系; 2. 新第三系; 3. 老第三系; 4. 前新生代地层; 5. 走滑断裂; 6. 逆冲断裂; 7. 正断裂; 8. 古老块体(前新生代地质体)的垂向挤出方向

图 5 阿尔金走滑断陷盆地的形成模式

左侧水平箭头指示北西 340° 方向. (a) 阿尔金断裂通过地壳的剖面及走滑断陷盆地的立体示意图; 300℃, 500℃ 和 700℃ (分别代表绿片岩相、角闪岩相、含水的部分熔融的最低温度) 的等温线在走滑断裂带中变浅. 阿尔金断裂是岩石圈断裂^[19], 强烈的走滑能够引起剪切带中地壳的部分熔融上升^[20,21]. (b) 剪切带中的剪切强度剖面. 虚线为无剪切热条件下剖面; 实线为有剪切热并伴随部分熔融和热流的剖面; (c) 长条形走滑断陷盆地和长条形山体(山脉)的运动模型

图 5 为走滑断陷盆地的形成模式, 在转换挤压作用下, 强烈的走滑过程中伴随地壳加厚并隆升剥蚀, 使上覆岩层的载荷压力减小, 围压降低, 深部的应力容易沿走滑断裂带以及两侧得以释放. 而释放的形式是以两侧反向逆冲断裂和正断裂的组合形式表现, 由逆冲断裂和正断裂所夹持的两侧块体垂向挤出形成山体(山脉), 中间部位产生局部的伸展, 发育狭长的盆地(图 4, 5).

在阿尔金断裂带中段索尔库里地区被称之为中元古界塔什达坂群的斜长角闪片麻岩、片岩^[16]中发现有花岗质、角闪质糜棱岩及糜棱岩化岩石, 该糜棱岩是阿尔金断裂带早期深部韧性走滑变形的产物, 在后来的走滑过程中被抬升到地表^[17]. 阿尔金断裂带是典型的转换挤压剪切带^[16,17], 转换挤压作用使得地壳加厚, 地温梯度增高, 在流体参与的条件

下, 易产生深熔作用^[22,23]. 研究表明角闪质、花岗质糜棱岩是左行走滑剪切过程中深熔作用的产物^[16,17].

通过对糜棱岩中的斜长石-角闪石矿物对的地质温度计、压力计^[24,25]的计算, 得出其形成的温度和压力条件为 $T = 580 \sim 640^{\circ}\text{C}$; $P = 430 \sim 650 \text{ MPa}$, 剪切带中新生的角闪石、黑云母等含水矿物较多, 有足够的流体参与, 温度基本达到岩浆范畴^[17]. 这个局部熔融温度所显示的深度显然要比正常的地温梯度下的深度浅得多, 这种结论与前人研究结果^[20,21]是一致的. 在野外可见沿阿尔金断裂带发育的伟晶岩脉(平行于断裂走向)以及花岗岩(图 1), 同时沿阿尔金断裂带的隆升作用明显强于周围, 所以特有的高温在走滑剪切带中要浅得多^[20,21](图 5(a), (b)). 这就为沿走滑断裂带易产生伸展环境提供了可能.

这种走滑断陷盆地与拉分盆地有着形态和成因

上的明显差别, 其长宽比前者远大于后者, 拉分盆地的长宽比一般为 $2.4\sim3.4^{[26]}$, 并且不伴随有两侧的反向逆冲构造. 虽然存在明显差别, 但也有相同之处: 都存在伸展构造和走滑断裂通过盆地中央, 并且两侧的正断裂分别与之在向两端延伸过程中逐渐靠拢合并. 该走滑断陷盆地是转换挤压作用和隆升作用的共同结果.

具有强烈隆升作用的青藏高原这个特殊地域, 在大型的转换挤压带中可能就发育走滑断陷盆地. 作者在研究东昆仑断裂带(大型左行转换挤压构造带)过程中, 发现存在这种特殊类型的走滑断陷盆地¹⁾, 它也存在于断裂带的中段. 它们的存在具有特定的构造意义: 首先, 都是转换挤压作用机制下的产物; 其次, 沿断裂带具有强烈的隆升作用. 对这种走滑断陷盆地的研究有利于认识古老的盆地、山脉之间的成因关系, 以及早期古老地质体快速抬升的成因, 并且对研究阿尔金断裂带乃至整个青藏高原地区的走滑断裂带的形成演化、高原的隆升、山脉的形成以及区域构造对比, 都具有重要意义.

致谢 感谢宋述光博士、刘福来研究员、A. S. Meriaux 博士对本工作的帮助和支持. 本工作受国家重点基础研究发展规划(G1998040800)资助.

参 考 文 献

1 Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of continental collision. *Science*, 1975, 189: 419~426

2 Tapponnier P, Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of China. *Jourul of Geophysical Research*, 1977, 82: 2905~2930

3 Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R. On the mechanics of the collision between India and Asia. In: Coward M P, Ries A C, eds. *Collision Tectonics*. Geological Society of London Special Publish, 1986. 115~157

4 郑剑东. 阿尔金山大地构造及其演化. *现代地质*, 1991, 5(4): 347~354

5 崔军文, 唐哲明, 邓晋福, 等. 阿尔金断裂系. 北京: 地质出版社, 1999. 156~169

6 张治洮. 阿尔金断裂的地质特征. 见: 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊(9). 北京: 地质出版社, 1985. 20~32

7 葛肖虹, 张梅生, 刘永江, 等. 阿尔金断裂研究的科学问题与研究思路. *现代地质*, 1998, 12(3): 295~301

8 Yin A, Harrison T M, Cowgill E, et al. Partitioning of translation along the left-slip Altyn Tagh fault system, northern Tibet. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 1997, 29(6): A-143

9 国家地震局. 阿尔金活动断裂带. 北京: 地震出版社, 1992. 75~165

10 郑剑东. 阿尔金山大地构造及其演化. *现代地质*, 1991, 5(4): 347~354

11 许志琴, 杨经绥, 姜枚, 等. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制. *地质学报*, 1999, 73(3): 193~205

12 Ritts B D, Biffi U. Magnitude of post-Middle Jurassic (Bajocian) displacement on the central Altyn Tagh fault system, northwest China. *Geological Society of American Bulletin*, 2000, 112(1): 61~74

13 Mann P, Hempton M R, Brandley D C, et al. Development of pull-apart basin. *Journal of Geology*, 1983, 91: 529~554

14 Harding T P, Vierbuchen R C, Christie-Blick N. Structural style, plate tectonic setting and hydrocarbon traps of divergent wrench faults. In: Biddle K T, Christie-Clicks N, eds. *Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation*. Society of Economic Paleontologist and Mineralogists Special Publication, 1985, 37: 51~57

15 郭召杰, 张志诚. 阿尔金盆地群构造类型与演化. *地质论评*, 1998, 44(4): 357~364

16 Li H B, Yang J S, Xu Z Q, et al. New Ages related to the Altyn Tagh strike-slip fault, AGU: 2000 Western Pacific Geophysics Meeting, Abstracts, 2000. T41A-02

17 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. *科学通报*, 2001, 46(16): 1333~1338

18 Krantz R W. The transpressional strain model applied to strike-slip, oblique-convergent and oblique-divergent deformation. *Journal of Structural Geology*, 1995, 17(8): 1125~1137

19 Witlinger G, Tapponnier P, Poupinet G, et al. Tomographic evidence for localized lithospheric shear along the Altyn Tagh fault. *Science*, 282: 74~76

20 Leloup P H, Kienast J R. High temperature metamorphism in a major strike-slip shear zone: The Ailao Shan-Red River (P.R.C.). *Earth Plancet Sci Lett*, 1993, 118: 213~234

21 Leloup P H, Lacassin P, Tapponnier P, et al. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, 1995, 251: 3~84

22 Brown M, Averkin Y A, McLellan E L, et al. Melt segregation in migmatites. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100: 15655~15679

23 Druguet E, Hutton D H W. Syntectonic anatexis and magmatism in a mid-crustal transpressional shear zone: An example from the Hercynian rocks of the eastern Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 1998, 20(7): 905~916

24 Plyusnina L P. Geothermometry and Geobarometry of plagioclase-hornblende bearing assemblages. *Contrib Mineral Petrol*, 1982, 80: 140~146

25 Hollister L S, Grissom G C, Peters E K, et al. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *Am Mineral*, 1987, 72: 231~239

26 Aydin A, Nur A. Evolution of pull-apart basins and their scale independence. *Tectonics*, 1982, 1(1): 91~105

(2001-07-17 收稿)

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2002-47-1-63>

1) 李海兵. 东昆仑造山带南缘走滑断裂体系及伴随的花岗岩浆活动. 中国地质大学硕士学位论文, 1996