

阿尔金北缘断裂雁丹图、长草沟河流 阶地与构造抬升

郑荣章¹⁾ 徐锡伟²⁾ 王 峰³⁾ 李建平¹⁾ 计凤桔¹⁾

1) 中国地震局地质研究所,地震动力学国家重点实验室,北京 100029

2) 中国地震局地质研究所,中国地震局活动构造探测研究中心,北京 100029

3) 中国地震局地壳应力研究所,北京 100085

摘 要 宽谷及宽谷阶地的形成与流域内的构造抬升活动密切相关。文中在考察阿尔金北缘断裂东段雁丹图与长草沟宽谷的基础上,结合古气候资料,探讨了晚更新世晚期以来两地河流阶地所反映的构造抬升。雁丹图自约 16.1ka BP 以来发育了 3 级堆积阶地(T_1 , T_2 与 T_3),并出露埋藏主要宽谷。3 级阶地面年龄分别约为 16.1ka, 12.8ka, 6.2ka, 反映了 3 次构造抬升的存在,代表了 3 次构造抬升发生的时间。雁丹图自约 16.1ka BP 以来的构造抬升速率约为 4.8~4.5mm/a; 12.8~6.2ka BP 间的抬升速率约 6.4mm/a; 6.2ka BP 以来为 3.1mm/a。长草沟在 7ka BP 以来有 4 级阶地发育(T_3 , T_2 , T_1 与 T_0),均为堆积阶地,并出露埋藏宽谷。其中 T_3 与 T_2 出露埋藏主要宽谷, T_1 与 T_0 出露埋藏次要宽谷。 T_3 , T_2 与 T_1 3 级阶地的阶地面年龄分别约为 7ka, 3ka, 2.5ka。4 级阶地反映 2 次构造抬升,一次在约 7ka BP,一次在 3ka BP 左右。自 7.0ka BP 以来长草沟的抬升速率约为 5.9mm/a,在 7~3ka BP 间约为 7.0mm/a, 3ka BP 以来约为 4.7mm/a。

关键词 宽谷 构造抬升 阿尔金北缘断裂 雁丹图 长草沟

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4967(2004)02-0189-11

0 引言

阿尔金断裂作为青藏高原北部边界,因其极明显的约 N70°E 走向的近直线展布及巨大的左旋形迹而为地质学界所关注。李四光(1973)、Molnar 等(1975)、李春昱(1980)、张文佑(1984)、郑剑东(1991a)等从大地构造的角度对阿尔金断裂作过论述。冯先岳(1982)等对阿尔金断裂的性质与地质特征,柏美祥等(1987)对阿尔金断裂带的地震活动史,吕太乙(1986)、陈国星等(1987)、Peltzer 等(1989)、Wang(1997)、向宏发等(2000)、张岳桥等(2001)、尹光华等(2002)对整条断裂带或部分段落的走滑位移开展了研究,丁国瑜(1995)和王峰等(2002)对阿尔金断裂分段进行过论述。邢成起(1986)研究过阿尔金山北麓东段的河流下切。陈正乐等(2001)、王瑜等(2002)利用裂变径迹对阿尔金山的隆升开展了卓有成效的研究。郑剑东(1991b)、吕德徽等(1993)、邢成起等(1998)、张秉良

〔收稿日期〕 2003-03-09 收稿,2003-10-13 改回。

〔基金项目〕 国家自然科学基金(49972070)资助。

中国地震局地质研究所论著 2004B0015。

等(2000)、葛肖虹等(2002)对阿尔金断裂的几何学、运动学及动力学开展了研究。国家地震局阿尔金活动断裂带课题组(1992)及崔军文等(1999)对阿尔金活动断裂带开展过系统的研究,取得了很多基础资料,并出版了研究专著。上述研究重点多集中在断裂的大地构造演化及左旋走滑方面,而利用河流阶地研究构造抬升的例子则不多。

河流阶地是河流发育过程中的产物,不同成因的阶地类型蕴涵了不同的信息。构造成因的河流阶地——宽谷阶地(strath terrace)、埋藏宽谷阶地以及埋藏宽谷包含了丰富的河流发育过程中的构造信息(Leopold *et al.*, 1954; Howard, 1959; Bull, 1991)。所以,宽谷及宽谷阶地的存在可以从一个侧面揭示流域内构造演化的历史。对它们的研究也就成了揭示河流流域内构造活动的一个重要手段(Born *et al.*, 1970; Ouchi, 1985; Bull *et al.*, 1987; Merritts *et al.*, 1994)。阿尔金山北麓发育了众多河流,许多河流宽谷阶地发育,可以充分利用阶地所蕴涵的构造信息对阿尔金断裂沿线的构造抬升进行研究。本文在阿尔金北缘断裂中部雁丹图和长草沟河流阶地考察的基础上,探讨两地的阶地发育及构造抬升问题。

1 研究区位置

雁丹图河与长草沟河位于阿尔金北缘断裂中部,阿克塞地震破裂段(丁国瑜,1995)东部(图1),所研究的河段位于断裂南盘的山谷中。两地相距约 35km。

2 雁丹图河流阶地

2.1 阶地组成

雁丹图位于肃北之西约 18km 处,阿尔金山北缘断裂中部阿克塞地震破裂段(丁国瑜,1995)东端。如图 1 所示,该区构造复杂,除 NEE 向的阿尔金北缘主断裂外,还有多条 NW,NNW 向的逆断层展布,将雁丹图及其附近围限成 1 个三角形块体。区内发育阶地、冲洪积台地、冲洪积扇(图 2)。区内冲洪积扇发育于阿尔金山北缘断裂北盘,而阶地基本上在南盘发育。可清楚分辨的河流阶地有 3 级(T_1 , T_2 , T_3)。

阶地由 3 部分组成,下部基岩为古近系红色碎屑岩,中部为河流相沉积物,上部为厚度不等的黄土。基岩地层变形强烈,褶皱发育,有些地方地层呈直立状。图 3 为阶地实测剖面及采样位置。

T_1 沿河谷断续分布于河流凸岸,阶地顶部有厚约 0.7m 的黄土,阶地面较窄,拔河约 21m,基岩拔河 19m。 T_2 在研究区上游河段沿河谷两岸分布,由于加积的作用,形成平坦的西台子、东台子等,阶地上部黄土厚约 0.2~0.3m。 T_3 分布零星但范围广,呈条状展布,残存于被切割得较碎的山顶上,个别地方阶地上部黄土厚达 1.2m。 T_3 和 T_2 阶地分布范围大。从地形上看,图 2 下部基岩地形最高,其次为 T_3 ,图中部基岩区处于 T_3 阶地面之下,侵蚀切割严重,形成了多姿的土林景观。

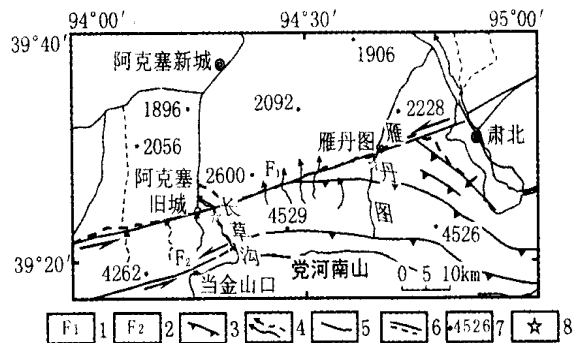


图 1 雁丹图及长草沟构造位置图

Fig. 1 Tectonic setting of Yandantu and Changcaogou.

- 1 阿尔金山北缘断裂; 2 阿尔金山南缘断裂; 3 逆断层; 4 河流;
5 公路; 6 简易公路; 7 高程点; 8 工作点

3 级阶地上部均为加积层,加积层在不同的地方厚度不一。3 级阶地均为堆积阶地,下伏基岩面为埋藏的主要宽谷。这将在后边详述。

2.2 阶地面年代

笔者分别在 3 级阶地河流相靠近砾石层顶部(图 2,3)采集了热释光样品,测试结果见表 1。样品年龄可以近似代表阶地面形成的下限年龄,所以, T_3 阶地面的年龄约为 16.1ka, T_2 阶地面年龄为 2 个年龄值的平均值,约 12.8ka, T_1 阶地面年龄约为 6.2ka。

3 长草沟河流阶地

3.1 阶地组成

长草沟位于阿克塞老县城东,处于阿尔金北缘断裂中部阿克塞地震破裂段(丁国瑜, 1995)中部,阿尔金北缘主断裂从沟口通过。断层南盘的沟谷内发育了可清楚分辨的 4 级阶地,阶地规模不大,阶地面较窄(图 4),呈狭长带状沿沟谷断续分布,沟外则发育冲洪积扇。沟谷内东岸可以分辨出 4 级阶地,即 T_3 , T_2 , T_1 与 T_1 。沟西岸发育 2 级阶地,即 T_2 与 T_1 。阶地由 2 部分组成,下部基岩为震旦系片岩,上部为冲积层,未见有黄土覆盖。图 5 为阶地剖面及采样位置。

T_1 主要在河谷东岸发育, T_1 在河谷西岸发育, T_2 在河谷两侧均有发育。 T_3 残存于河流东岸。4 级阶地上部均为较厚的河流加积层(图 5),从阶地的成因上来说,它们均为堆积阶地, T_3 与 T_2 基岩面为埋藏的主要宽谷, T_1 与 T_1 基岩面为埋藏的次要宽谷。详细情况见下节论述。

3.2 阶地面年龄

在 T_1 , T_2 与 T_3 等阶地的近顶部(图 4,5)采集了热释光样品,测试结果见表 2。这些年龄近似地代表了阶地面形成时的年龄。 T_3 阶地面年龄约为 7ka, T_2 约为 3ka, T_1 约为 2.5ka。

4 河流阶地与构造抬升

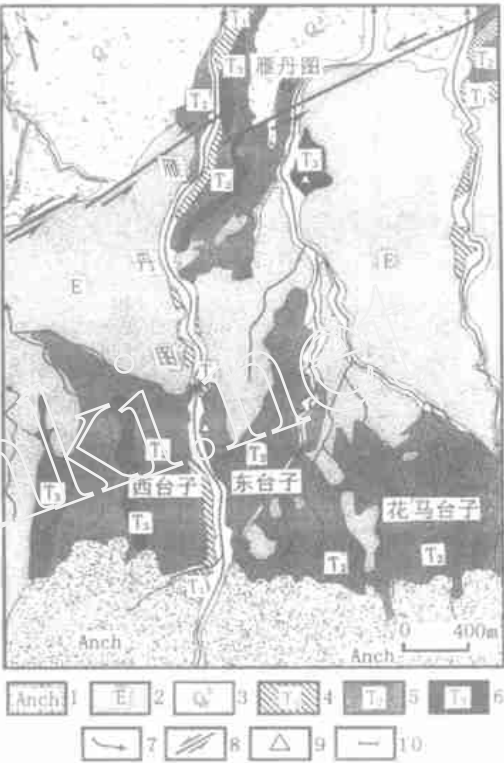


图 2 雁丹图地貌
Fig. 2 Landforms of Yandantu.
1 中元古界长城系变质岩; 2 古近系红层; 3 更新统冲洪积物; 4 级阶地; 5 级阶地; 6 级阶地; 7 河流; 8 断层; 9 采样点; 10 阶地剖面(图 3)位置

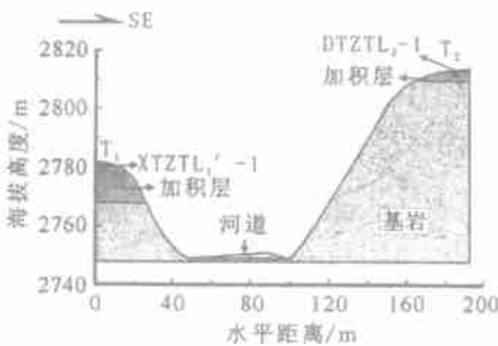


图 3 雁丹图阶地剖面及采样位置图
Fig. 3 Cross section of terraces and sampling locations at Yandantu.

表 1 雁丹图阶地样品位置及年龄

Table 1 Locations and ages of terrace samples at Yandantu

阶地 序列	样品编号	位 置			TL 年龄 / ka	宽谷面拔河 高度/ m
		E	N	在阶地中的位置		
T ₃	YDT - TL ₃ - 1	94 39.966	39 29.347	砾石层顶部	16.07 ±0.27	73
T ₂	DTZTL ₂ - 1	94 38.786	39 27.920	砾石层顶部	12.83 ±0.97	61
T ₁	XTZTL ₁ - 1	94 38.844	39 28.151	砾石层顶部	6.17 ±0.46	19

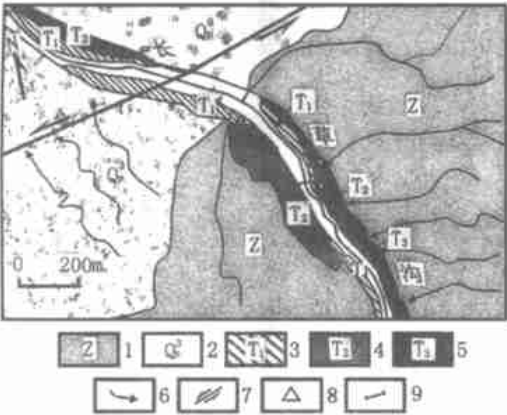


图 4 长草沟地貌

Fig. 4 Landforms of Changcaogou.

1 震旦系变质岩; 2 更新统冲洪积物; 3 级阶地; 4 级阶地; 5 级阶地; 6 河流; 7 断层; 8 采样点; 9 阶地剖面 (图 5) 位置

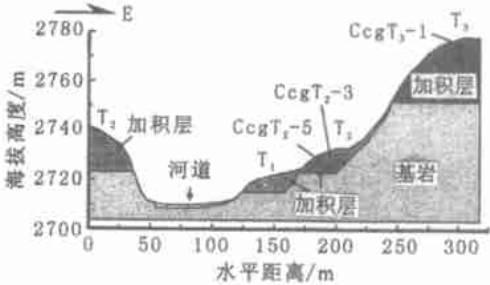


图 5 长草沟阶地剖面及采样位置

Fig. 5 Cross section of terraces and sampling locations at Changcaogou.

4. 1 宽谷阶地与构造活动

宽谷是指河流侧蚀斜切河道下的基岩,使河道加宽形成的斜切面,是河流处于平衡时期的产物,平衡的存在则是河流获得侵蚀基准

(Hack, 1965 ;Leopold *et al.* , 1979) 的象征。宽谷在随后构造诱发的河流下切中被抬升而形成宽谷阶地 (Leopold *et al.* , 1954 ; Howard, 1959) 。河流宽谷分为主要宽谷和次要宽谷,阶地也就分为主要宽谷阶地和次要宽谷阶地 2 类 (图 6) ,所有的主要宽谷与主要宽谷阶地都是构造抬升的

表 2 长草沟阶地样品位置及年龄

Table 2 Locations and ages of terrace samples at Changcaogou

阶地 序列	样品编号	位 置			TL 年龄 / ka	宽谷面拔河 高度/ m
		E	N	在阶地中的位置		
T ₃	Ccg T ₃ - 1	94 18.434	39 24.393	距顶 0.8m	7.15 ±0.55	42
T ₂	Ccg T ₂ - 3	94 18.362	39 24.376	距顶 3m	3.26 ±0.24	14
T ₂	Ccg T ₂ - 5	94 18.362	39 24.376	距基岩 2.5m	3.39 ±0.26	
T ₁	Ccg T ₁ - 1	94 18.161	39 24.679	距顶 0.85m	2.56 ±0.20	6

结果。河流的动态平衡有 2 种类型,一种为构造诱发的下切率等于抬升率,河流纵剖面获得 1 个侵蚀基准序列的情形,特征地貌包括已形成的宽谷阶地与正在形成的宽谷的谷底;另一种是河流对侵蚀基准有强烈的趋向,但又达不到侵蚀基准面的情形,特征地貌包括窄谷底,河流纵剖面在几何形态上呈凹状,宽谷和宽谷阶地通常不存在。次要宽谷阶地是河流处于静态平衡,也即没有侵蚀和堆积发生的时段内形成的宽谷在随后的河流下切过程中高出河面形成的阶地。处于下切状态的河流不存在静态平衡。静态平衡在自然界中是一个很短的过程,所以

次要宽谷与主要宽谷相比,形成时间短、阶地规模小,而且有可能是构造以外的其它因素诱发生成的。因此,宽谷阶地的存在,特别是主要宽谷阶地的存在则表明了构造诱发抬升的存在。所以,宽谷阶地具有相悖的双重涵义,既是构造稳定的产物,也是构造活动的产物。既指示了构造抬升活动相对稳定期——宽谷形成时期的存在,又指示了构造抬升活动期——宽谷阶地形成时期的存在。主要宽谷(宽谷阶地)的存在反映了流域构造抬升活动的间歇性。

宽谷(或宽谷阶地)可能被气候诱发的加积层掩埋,后期被抬升出河床面,形成堆积阶地或堆积-切割阶地、以及埋藏宽谷与埋藏宽谷阶地(图 6)。堆积阶地(fill terrace)是河谷加积和后来的河道切入冲积物形成的,先前的谷底沉积物残留成为堆积阶地的阶地面。阶地面代表了河流作用由加积到退积的临界能量值交叉的一段时间。堆积-切割阶地(fill-cut terrace)是指在短暂时期内,当河流处于静态平衡时,河流侧蚀进入冲积层形成侧蚀面,随后的河道下切使侧蚀面得以保存而形成的阶地。在这样的情况下,需要对埋藏宽谷和埋藏的宽谷阶地进行区分,只有这样才能正确确定构造抬升的时间。对于埋藏的宽谷阶地来说,宽谷的形成年代就是构造抬升的时间。对于埋藏的宽谷,情况就复杂很多,抬升可能发生在埋藏的宽谷与下次宽谷形成的年代之间。这需要与上覆加积层的发展过程联系起来考虑。宽谷阶地与埋藏宽谷阶地之间的不同点是,后者在基岩宽谷之上有较厚的沉积,而前者则较薄,或者没有。

根据主要宽谷的构造意义,可以利用其计算流域内的构造抬升速率。计算公式如下:

$$V_L = (H_{n+1} - H_n) / (T_{n+1} - T_n) \quad (1)$$

式(1)中 V_L 为相邻 2 级主要宽谷阶地(或具有埋藏主要宽谷的阶地)阶地面形成的时间隔内的抬升速率; H_{n+1} , H_n 分别为相邻 2 级主要宽谷阶地(或具有埋藏主要宽谷的阶地)中的宽谷面的拔河高度; T_{n+1} , T_n 分别为相邻 2 级主要宽谷阶地(或具有埋藏主要宽谷的阶地)的阶地面年龄。

在有多级主要宽谷的情况下,平均的抬升速率为各相邻阶地间抬升速率的均值。公式如下:

$$V_A = (V_{L1} + V_{L2} + \dots + V_{Ln}) / n \quad (2)$$

式(2)中 V_A 为平均抬升速率; V_{L1} , V_{L2} 与 V_{Ln} 分别为相邻 2 级主要宽谷阶地(或具有埋藏主要宽谷的阶地)间的抬升速率; n 为计算所用阶地的级数。级阶地以河床为基准计算。

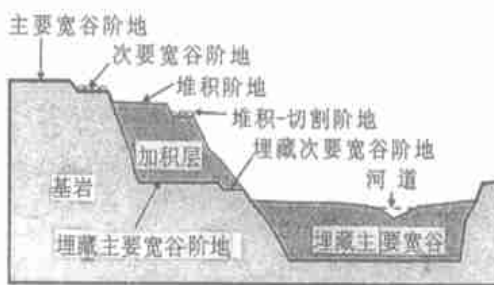


图 6 宽谷类型及产状(改自 Bull, 1991, Fig. 5.16)

Fig. 6 Types of strath and their modes of occurrence(modified from Bull, 1991, Fig. 5.16).

4.2 雁丹图河流阶地与构造抬升

雁丹图产出 3 级河流阶地, T_3 与 T_2 分布广泛, 现存 T_2 形成山前侵蚀平原, T_1 沿现代河谷展布, 范围小。由于在阶地基岩宽谷之上的部分地段均有较厚的堆积, 所以 3 级阶地均为堆积阶地, 其中, T_1 阶地加积层相对较薄。

据施雅风等(1999)的资料, 古里雅冰芯揭示了青藏高原末次冰盛期在 32 ~ 16ka BP 之间。 T_3 阶地即形成于冰盛期末期, 但基岩面上仍有较厚的加积层覆盖。从残留的阶地面可以看出, T_3 阶地面曾为广阔的山前平原面, 是较为典型的河流处于动态平衡期的产物, 形成埋藏宽谷, 其阶地面年龄 16.1ka 代表了 1 次构造隆升。由于抬升, 河流下切, 加之形成 T_2 宽谷的河流侧蚀斜切, 形成了 T_3 现在的地貌形态(图 2)。 T_2 阶地面形成于末次冰盛后的冰消期, 阶地基岩宽谷之上部分地段有较厚的沉积物, 显示了冰消期河流加积的存在, 但河流在 12.8ka BP 的新仙女木寒冷事件来临之前开始下切, 则说明了构造抬升因素的存在, 阶地宽谷为埋藏的主要宽谷。同时, 新仙女木事件结束后, 10.9 ~ 7ka BP 间温度呈波动上升, 幅度在 10 °C 左右, 7ka BP 左右为全新世最暖阶段, 形成 T_1 的加积层。 T_1 阶地从形态结构看亦为堆积阶地, 阶地基岩面为埋藏宽谷, 所以其阶地面年龄 6.2ka 代表了 1 次构造隆升的存在。 T_1 发育范围小的原因是 12.8ka BP 及 6.2ka BP 的 2 次构造隆升间隔较短, 没有足够的时间形成大范围的侵蚀平原。根据上述计算公式及阶地剖面测量结果, 可以计算出雁丹图地区的构造抬升速率(表 3)。其中, 由于 T_3 阶地与 T_2 , T_1 阶地不在同一个横剖面上, 所以计算以河床为准。

综上所述, 自 16ka BP 以来, 雁丹图经历了 3 次构造抬升, 分别发生在约 16.1ka BP, 12.8ka BP 及 6.2ka BP。16ka BP 以来的抬升速率为 4.8 ~ 4.5mm/a, 其中在 12.8 ~ 6.2ka BP 间的抬升速率为 6.4mm/a, 6.2ka BP 以来的抬升速率约为 3.1 mm/a。现代河床也处于明显的侧蚀加宽时期, 推测河流也处于相对稳定的时期, 正在形成现代宽谷。

4.3 长草沟河流阶地与构造抬升

从前述可知, 长草沟的 4 级阶地 T_4 , T_1 , T_2 和 T_3 均为堆积阶地, 阶地沉积物下伏基岩面为埋藏宽谷, 也即在宽谷形成后均有加积事件的发生。加积时间结束后河流下切, 形成堆积阶地。其中 T_2 与 T_3 埋藏宽谷规模大, 两者相距时间较长, 是主要宽谷, 由构造因素形成。 T_1 与 T_4 的宽谷规模小, 仅在沟口发育, 是次要宽谷, 由非构造因素形成。推测 T_4 与 T_1 的宽谷是在形成 T_2 阶地的构造诱发的河流下切过程中, 短暂气候变化使侵蚀基准面上升的结果。

施雅风等(1999)的研究表明, 青藏高原在 10.9 ~ 7.0ka BP 间温度呈波动上升, 幅度在 10 °C 左右, 7.0ka BP 左右为全新世最暖阶段, 降水丰沛, 湖泊扩张。5ka BP 左右之后, 高原环境恶化, 温度下降, 降水减少, 湖泊萎缩。4.0 ~ 3.0ka BP 又相对暖和, 3.5ka BP 最暖, 自此以后的全新世晚期气候呈现波动的变冷变干趋势直至现代。 T_3 和 T_2 的加积与 7.0ka BP 和 3.5ka BP 左右的温暖相对应, T_4 与 T_1 只是后期气候波动变化的产物。但河流在 7.0ka BP 左右最佳的加积时期

表 3 雁丹图构造抬升速率

Table 3 Uplift rate of Yandantu

阶地 序列	阶地面年龄 / ka	宽谷面的拔河 高度/ m	抬升速率 / mm · a ⁻¹
T_3	16.1	73	4.5 ¹⁾
T_2	13.1	61	6.4 ²⁾
T_1	6.2	19	3.1 ³⁾

注 1) T_3 相对于河床; 2) T_2 相对于 T_1 ; 3) T_1 相对于河床;
4) T_1 , T_2 抬升速率的平均值。

形成 T_3 ,说明可能是受到构造抬升的诱发,也即长草沟在 7.0ka BP 左右存在 1 次构造抬升。根据 T_2 阶地加积层的测年结果(表 2,图 5),推算其加积开始时间约为 3.5ka BP,结束时间约为 3ka BP,加积时间与上述小暖期吻合,河流在此后下切。基于 T_2 基岩面为埋藏主要宽谷的认识,笔者认为在 3ka BP 加积结束的同时也存在 1 次构造抬升活动。所以,据上述计算公式及阶地剖面测量结果(表 2,图 5),可以计算出长草沟的构造抬升速率(表 4)。

综上所述,可知长草沟自 7.0ka BP 以来存在 2 次抬升,一次在 7.0ka BP 左右,一次在约 3ka BP 左右。自 7.0ka BP 以来该区的抬升速率约为 5.9mm/a。在 7~3ka BP 间约为 7.0mm/a,3ka BP 以来约为 4.7mm/a。

表 4 长草沟构造抬升速率
Table 4 Uplift rates of Changcaogou

阶地 序列	阶地面年龄 / ka	宽谷面的 拔河高度/ m	抬升速率 / mm·a ⁻¹	
T_3	7	42	7.0 ¹⁾	5.9 ³⁾
T_2	3	14	4.7 ²⁾	

5 结论与讨论

注 1) T_3 相对于 T_2 ; 2) T_2 相对于河床; 3) T_3 、 T_2 抬升速率的平均值。

通过上述讨论,可以得出以下结论:

(1) 自 16ka BP 以来,雁丹图经历了 3 次构造抬升,分别发生在约 16.1ka BP,12.8ka BP 与 6.2ka BP。16ka BP 以来的抬升速率为 4.8~4.5mm/a,其中在 12.8~6.2ka BP 之间的抬升速率为 6.4mm/a,6.2ka BP 以来的抬升速率约为 3.1mm/a。

(2) 长草沟自 7.0ka BP 以来存在 2 次抬升,1 次在 7.0ka BP 左右,1 次在约 3ka BP 左右。自 7.0ka BP 以来该区的抬升速率约为 5.9mm/a。在 7~3ka BP 之间约为 7.0mm/a,3ka BP 以来约为 4.7mm/a。

在此需要明确的是,无论主要宽谷阶地还是次要宽谷阶地,基岩都出露于河床之上,其最终诱因都是构造抬升。所谓非构造因素形成次要宽谷,是指在构造诱发的抬升和河流下蚀切割基岩的过程中,非构造因素诱发的短暂的河水流动状态的变化,即河流的部分河段由侵蚀下切转变为静态平衡状态,形成次要宽谷,当扰动结束后,河流继续下切,次要宽谷抬升形成阶地。所以在构造研究中要区分这 2 种宽谷阶地,是为了正确分辨构造活动的间歇性,排除非构造因素的影响。

一定时间内构造宽谷阶地级数的多少,反映了流域构造抬升活动的频度和河流侵蚀作用的强度。河流下切过程中连续主要宽谷的形成,代表了连续的侵蚀基准面的获得,揭示了构造抬升的间歇性。

对于埋藏的宽谷来说,需要区分是埋藏宽谷阶地还是埋藏宽谷。在雁丹图和长草沟的阶地均为埋藏宽谷。埋藏的宽谷阶地是指在加积之前,构造抬升已经发生,宽谷阶地已经开始形成或已经形成。而埋藏宽谷是指在加积发生之前构造抬升尚未发生。这两者的识别,是利用宽谷研究构造抬升的一个重点。对于埋藏的宽谷阶地,在河流重新下切后,在沟谷中一般会有加积事件的遗迹存在,易于识别。

参 考 文 献

- 柏美祥, 戈澍漠, 胡军, 等. 1987. 阿尔金断层地震活动特征 [J]. 中国地震, 3(1): 77—82.
- BO Mei-xiang, GE Shu-mo, HU Jun, *et al.* 1987. The character of earthquake in the Aljin Fault [J]. Earthquake Research in China, 3(1): 77—82 (in Chinese).
- 陈国星, 高维明. 1987. 阿尔金断裂东段第四纪活动的时空特征 [J]. 中国地震, 3(增刊): 35—51.
- CHEN Guo-xing, GAO Wei-ming. 1987. The time and space features of the Quaternary activity in the eastern Altun Fault [J]. Earthquake Research in China, 3 (suppl): 35—51 (in Chinese).
- 陈正乐, 张岳桥, 王小风, 等. 2001. 新生代阿尔金山脉隆升历史的裂变径迹证据 [J]. 地球学报, 22(5): 413—418.
- CHEN Zheng-le, ZHANG Yue-qiao, WANG Xiao-feng, *et al.* 2001. Fission track dating of apatite constrains on the Cenozoic uplift of the Altyn Tagh Mountains [J]. Acta Geoscientia Sinica, 22(5): 413—418 (in Chinese).
- 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 1999. 阿尔金断裂系 [M]. 北京: 地质出版社.
- CUI Jun-wen, TANG Zhe-min, DENG Jin-fu, *et al.* 1999. Altun Fault System [M]. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- 丁国瑜. 1995. 阿尔金活断层的古地震分段 [J]. 第四纪研究, 2: 97—106.
- DING Guo-yu. 1995. Paleoearthquakes along the Altun active fault and its segmentation [J]. Quaternary Research, 2: 97—106 (in Chinese).
- 国家地震局阿尔金活动断裂带课题组. 1992. 阿尔金活动断裂带 [M]. 北京: 地震出版社.
- Research Group of the Active Altun Fault Zone, State Seismological Bureau. 1992. The Active Altun Fault Zone [M]. Seismological Press, Beijing (in Chinese).
- 冯先岳. 1982. 阿尔金断裂带 [A]. 见: 中国地震学会地震地质专业委员会编. 中国活动断裂. 北京: 地震出版社.
- FENG Xian-yue. 1982. The Altun Tagh Fault zone [A]. In: Professional Committee of Seismogeology, Seismological Society of China (ed). Active Faults in China. Seismological Press, Beijing (in Chinese).
- 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 2002. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂 [J]. 中国地质, 29(4): 350—346.
- GE Xiao-hong, LIU Yong-jiang, REN Shou-mai. 2002. Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun Fault [J]. Geology in China, 29(4): 350—346 (in Chinese).
- 李春昱. 1980. 中国板块构造的轮廓 [J]. 中国地质科学院院报, 2(1): 11—22.
- LI Chun-yu. 1980. A preliminary study of plate tectonics in China [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Science, 2(1): 11—22 (in Chinese).
- 李四光. 1973. 地质力学概论 [M]. 北京: 科学出版社. 24.
- LI Si-guang. 1973. Conspectus of Geomechanics [M]. Science Press, Beijing. 24 (in Chinese).
- 吕德徽, 向光中. 1993. 阿尔金断裂东段断层泥特征及断层滑动方式 [J]. 西北地震学报, 15(2): 13—23.
- LU De-hui, XIANG Guang-zhong. 1993. The Characteristics of fault gouges and the mode of fault slip in eastern segment of Altun Fault zone [J]. Northwestern Seismological Journal, 15(2): 13—23 (in Chinese).
- 吕太乙. 1986. 阿尔金北缘断裂带东北段第四纪构造活动与地震 [J]. 西北地震学报, 8(1): 91—99.
- LU Tai-yi. 1986. The Quaternary structural activities and seismicity on the northeastern sector of the north fringe fault zone of Aejin Mountains [J]. Northwestern Seismological Journal, 8(1): 91—99 (in Chinese).
- 施雅风, 李吉均, 李炳元, 等. 1999. 晚新生代青藏高原的隆起与东亚环境变化 [J]. 地理学报, 54(1): 10—20.
- SHI Ya-feng, LI Ji-jun, LI Bing-yuan, *et al.* 1999. Uplift of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and east Asia environmental

- change during late Cenozoic [J]. *Acta Geographica Sinica*, 54(1):10—20 (in Chinese).
- 王峰, 徐锡伟, 郑荣章, 等. 2002. 阿尔金断裂带东段地表破裂分段研究 [J]. *地震地质*, 24(2):145—158.
- WANG Feng, XU Xi-wei, ZHENG Rong-zhang, *et al.* 2002. Segmentation of surface ruptures on the eastern segment of the Altyn Tagh Fault zone [J]. *Seismology and Geology*, 24(2):145—158 (in Chinese).
- 王瑜, 万景林, 李齐, 等. 2002. 阿尔金山北段阿克塞—当金山口一带新生代山体抬升和剥蚀的裂变径迹证据 [J]. *地质学报*, 76(2):191—198.
- WANG Yu, WAN Jing-lin, LI Qi, *et al.* 2002. Fission-track evidence for the Cenozoic uplift and erosion of the northern segment of the Altyn Tagh Fault zone at the Aksay-Dangjin Pass [J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(2):191—198 (in Chinese).
- 向宏发, 魏顺民, 张晚霞, 等. 2000. 阿尔金断裂带东段第四纪以来的水系位错与滑动速率 [J]. *地震地质*, 22(2):129—138.
- XIANG Hong-fa, GUO Shun-min, ZHANG Wan-xia, *et al.* 2000. River offset and slip rate of the east segment of Altun Tagh Fault zone since Quaternary [J]. *Seismology and Geology*, 22(2):129—138 (in Chinese).
- 邢成起. 1986. 阿尔金北缘断裂带东段活断层的初步考查与研究 [J]. *西北地震学报*, 8(3):111—113.
- XING Cheng-qi. 1986. Preliminary investigation and research of active fault in the eastern sector of the north fringe fault zone of Aejin Mountains [J]. *Northwestern Seismological Journal*, 8(1):111—113 (in Chinese).
- 邢成起, 张杰, 吕德徽. 1998. 关于阿尔金北缘活动断裂带运动方式的转变机制的讨论 [J]. *西北地震学报*, 20(2):52—57.
- XING Cheng-qi, ZHANG Jie, LU De-hui. 1998. Discussion on change and its mechanism of movement forms of the active fault zone along north margin of Mt. Altun [J]. *Northwestern Seismological Journal*, 20(2):52—57 (in Chinese).
- 尹光华, 蒋靖祥, 朱令人, 等. 2002. 阿尔金断裂乌尊硝段的现今活动速率 [J]. *大地测量与地球动力学*, 22(3):52—55.
- YIN Guang-hua, JIANG Jing-xiang, ZHU Ling-ren, *et al.* 2002. Present-day motion velocity of Wuzunxiao segment of Altyn Tagh Fault [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 22(3):52—55 (in Chinese).
- 张秉良, 刘行松, 何昌荣. 2000. 阿尔金断裂东段断层滑动方式的研究 [J]. *工程地质学报*, 8(3):259—264.
- ZHANG Bing-liang, LIU Xing-song, HE Chang-rong. 2000. Research on the model of fault slip of the eastern segment of Altun Fault zone [J]. *Journal of Engineering Geology*, 8(3):259—264 (in Chinese).
- 张文佑. 1984. 断块构造导论 [M]. 北京: 石油工业出版社. 218—243.
- ZHANG Wen-you. 1984. An Introduction to Fault block Tectonics [M]. Petroleum Industry Press, Beijing. 218—243 (in Chinese).
- 张岳桥, 陈正乐, 杨农. 2001. 阿尔金断裂晚新生代左旋走滑位错的地质新证据 [J]. *现代地质*, 15(1):8—12.
- ZHANG Yue-qiao, CHEN Zheng-le, YANG Nong. 2001. New geological evidence for late Cenozoic left lateral displacement along the Altyn Tagh Fault [J]. *Geoscience*, 15(1):8—12 (in Chinese).
- 郑剑东. 1991a. 阿尔金山大地构造及其演化 [J]. *现代地质*, 5(4):347—354.
- ZHENG Jian-dong. 1991a. Tectonics and evolution of the Altun Tagh Mountain [J]. *Geoscience*, 5(4):347—354 (in Chinese).
- 郑剑东. 1991b. 阿尔金断裂带的几何学研究 [J]. *中国区域地质*, 1:54—59.
- ZHENG Jian-dong. 1991b. Geometry of the Altun Fracture Zone [J]. *Regional Geology of China*, 1:54—59 (in Chinese).
- Born S M, Ritter D F. 1970. Modern terrace development near Pyramid Lake, Nevada, and its geological implication [J]. *Geol Soc Am Bull*, 81:1233—1242.
- Bull W B, Knuefer P L K. 1987. Adjustments by the Charwell River, New Zealand, to uplift and climatic changes [J]. *Geomorphology*, 1:15—32.

- Bull W B. 1991. *Geomorphic Responses to Climate Change* [M]. Oxford University Press, New York.
- Erbie Wang. 1997. Displacement and timing along the northern strand of the Altyn Tagh Fault zone, Northern Tibet [J]. *Earth Planet Sci*, 150:55—64.
- Hack J T. 1965. Geomorphology of the Shenandoah Valley, Virginia and West Virginia, an origin of the residual ore deposits [R]. U S Geological Survey Professional Paper, 484:84.
- Howard A D. 1959. Numerical systems of terrace nomenclature: a critique [J]. *Jour Geol*, 67:239—243.
- Leopold L B, Bull W B. 1979. Base level, aggradation, and grade [A]. *Proceedings, American Philosophical Society*, 123:168—202.
- Leopold L B, Miller J P. 1954. A post-glacial chronology for some alluvial valleys in Wyoming [R]. U S Geological Survey Water-Supply Paper, 1261:90.
- Merritts D J, Vincent K R, Wohl E E. 1994. Long river profiles, tectonism, and eustasy: a guide to interpreting fluvial terraces [J]. *Jour Geophys Res*, 99:14031—14050.
- Molnar P, Tapponier P. 1975. Cenozoic tectonic of Asia: effects of a continental collision [J]. *Science*, 189:419—426.
- Ouchi S. 1985. Response of alluvial river to slow active tectonic movement [J]. *Geol Soc Am Bull*, 96:504—515.
- Peltzer G, Tapponier P, Armijo R. 1989. Magnitude of late Quaternary left-lateral displacements along the northern edge of Tibet [J]. *Science*, 246:1285—1289.

TERRACES AND TECTONIC UPLIFTS AT YANDANTU AND CHANGCAOGOU OF THE ALTUN NORTHERN MARGINAL FAULT

ZHENG Rong-zhang¹⁾ XU Xi-wei²⁾ WANG Feng³⁾ LI Jian-ping¹⁾ JI Feng-ju¹⁾

1) *State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 10029, China*

2) *Center for Active Tectonic Studies & Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*

3) *Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China*

Abstract

Strath terrace is tectogenetic stream terrace. In equilibrium state, lateral erosion of the stream bevels bedrocks beneath the active channel, giving rise to widening of the channel and the formation of strath. Downcutting of the stream due to tectonic movement causes the rise of strath above the channel, resulting in strath terrace. Strath includes major strath and minor strath, and accordingly strath terrace includes major strath terrace and minor strath terrace. The existence of strath terrace may indicate that stream has once reached the equilibrium state, and that tectonic uplift has occurred. The investigation of strath terrace, therefore, may reconstruct the history of tectonic uplift of the studied area. Yandantu and Changcaogou are located at the middle segment of the Altun Northern Marginal Fault, where multistage strath terraces are well developed. Basing on field investigation of strath terraces and thermoluminescent (TL) dating of the ages of treads of terraces, and combining with the data of paleoclimate of Qinghai-Xizang Plateau, we discuss the tectonic uplift since late Epipleistocene as reflected by strath terraces in these two areas.

At Yandantu, three levels of stream terraces (T_1 , T_2 and T_3) have been developed since 16ka BP,

among which T_1 and T_3 are strath terraces, while T_2 is fill terrace. A buried major strath is exposed in the area as well. The ages of three treads are dated to be about 16.1ka BP, 12.8ka BP and 6.2ka BP, respectively. The three terraces reflect three tectonic uplift events, while the three ages of treads represent the occurrence time of these events. The stream is still beveling the bedrock and widening channel at present, and modern strath is being generated. The uplift rate is 4.8 ~ 4.5mm/yr since 16.1ka BP in this area. From 12.8ka BP to 6.2ka BP, the uplift rate was 6.4mm/yr, while since 6.2ka BP till now the uplift rate is 3.1mm/yr.

At Changcaogou, four levels of stream terraces(T_1 , T_2 , T_3 and T_4) have been developed since 7ka BP. All of them are fill terraces, and there are buried straths under deposits of every terrace. The buried straths of T_3 and T_2 are major strath, and those of T_4 and T_1 are minor strath. The ages of treads of three terraces (T_3 , T_2 and T_1) are 7ka BP, 3ka BP and 2.5ka BP, respectively. The four terraces reflect two uplift events induced by tectonic activities. One of them occurred in about 7ka BP, and the other in 3ka BP. The uplift rate is 5.9mm/yr since 7.0ka BP at Changcaogou. From 7ka BP to 3ka BP, the uplift rate was 7.0mm/yr, and since 3ka BP till now the uplift rate is 4.7 mm/a.

Key words strath, tectonic uplift, Altun northern marginal Fault, Yandantu, Changcaogou

〔作者简介〕 郑荣章,男,1970年生,1991年毕业于中国地质大学(武汉)矿产系,中国地震局地质研究所在职博士生,助理研究员,主要从事热释光年代学、活动构造研究,电话:010-62009038, E-mail: zhengrongzhang@163.net。