

doi:10.3969/j.issn.0253-4967.2009.03.008.

肃北野马河北侧断裂地貌特征 及其晚第四纪活动性

赵 朋¹⁾ 闵 伟¹⁾ 焦德成²⁾ 孙宗诗²⁾ 黄 拓²⁾

1) 中国地震局地质研究所, 北京 100029

2) 宁夏回族自治区地震局, 银川 750001

摘 要 阿尔金活动断裂带东段的滑动速率由西向东逐渐减小, 而肃北是阿尔金断裂东段滑动速率的“突变点”之一。在肃北以东分布多条分支断裂, 野马河北侧断裂便是其中的一条。野马河北侧断裂长约 30km, 总体走向 NEE, 该断裂沿野马河盆地北侧山前洪积扇延伸, 沿断裂具有大量的左旋走滑和逆冲等地貌现象, 多处冲沟出露有断层剖面。野外调查结果表明该断裂是一条左旋走滑兼逆冲断裂, 错断了晚更新世时期形成的洪积扇或冲沟阶地。通过实测得到地貌面左旋、垂直错动数据, 并采集样品测试相关地貌面的年龄, 估算该断裂晚更新世以来的平均水平滑动速率为 $(1.27 \pm 0.18) \text{ mm/a}$, 平均逆冲速率为 $(0.4 \pm 0.07) \text{ mm/a}$, 该断裂分解了阿尔金断裂东段的部分运动量。

关键词 野马河北侧断裂 左旋走滑 逆冲 速率 晚第四纪

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4967(2009)03-0459-11

0 引言

阿尔金断裂带规模巨大, 长达 1 600km, 左旋走滑活动强烈, 20 世纪 80 年代以来对阿尔金断裂带第四纪活动性的研究取得了一系列的成果(陈国星等, 1987; Van der Woerd, 1988; 国家地震局“阿尔金活动断裂带”课题组, 1992; 丁国瑜, 1995; Meyer *et al.*, 1998; 向宏发等, 2000; 王峰等, 2002, 2003; 徐锡伟等, 2003; 郑荣章等, 2005; Zhang *et al.*, 2007), 普遍认为由于阿尔金断裂大规模左旋走滑, 在断裂以南形成了一系列的 NW 向逆冲褶皱带, 它们吸收了这些左旋走滑位移, 使沿断裂的左旋走滑位移量和滑动速率向 E 递减。

肃北地区位于阿尔金断裂的东段(图 1), 该地区构造复杂, 是阿尔金南缘断裂(F_2)和北缘断裂(F_1)2 大分支断裂重叠的地区, 徐锡伟等(2003)曾指出, 在阿尔金断裂东段存在肃北、石包城和疏勒河 3 个左旋走滑速率“突变点”。因此, 本区是研究阿尔金断裂构造转化的一个良好场所。对肃北地区阿尔金断裂的几何分布调查表明, 在肃北以东还分布有野马河北侧断裂(F_4)和野马河南侧断裂(F_5)(图 1), 它们与肃北以西的阿尔金断裂成右阶排列, 阶区形成 NW 向的肃北逆冲断裂(F_3)。目前的研究主要集中在山前断裂(F_1)上, 对肃北附近其它几条分支断裂的活动特征还没有进行过研究, 前人获得的滑动速率由西向东减弱的结论是沿山前断裂(F_1)观测得到的, 其他断裂上是否具有左旋走滑分量? 是不是左旋走滑的一部分分配到了这

[收稿日期] 2008-11-26 收稿, 2009-07-20 改回。

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2006BAC13B01)资助。

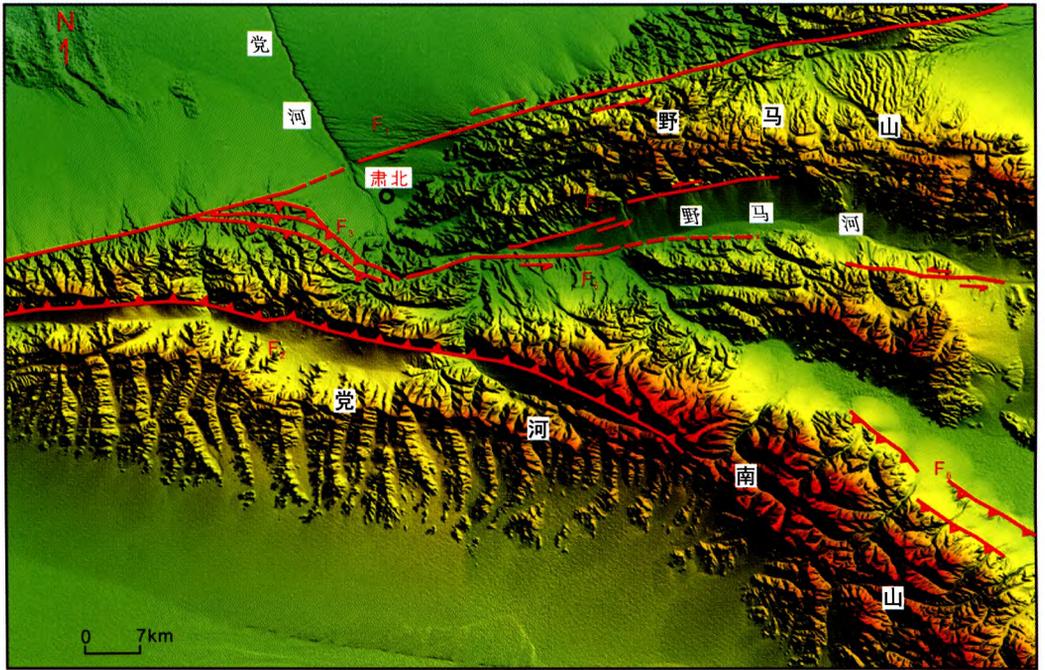


图1 肃北地区的断裂分布

Fig. 1 Faults distribution in Subei area.

F₁ 阿尔金断裂东段; F₂ 阿尔金南缘断裂东段; F₃ 肃北逆冲断裂;
F₄ 野马河北侧断裂; F₅ 野马河南侧断裂; F₆ 党河南山逆断裂

几条断裂上目前还不得而知。本文研究的对象是野马河北侧断裂(F₄), 通过对该断裂第四纪活动特征的研究, 可以更清晰地认识阿尔金断裂东段的运动学特征及其构造转换关系, 对于探讨青藏高原东北缘的构造演化具有重要的科学意义。

1 断裂的几何展布及其地质地貌特征

如图2所示, 断裂沿野马山南缘呈NEE向延伸, 展布于山前洪积扇上, 图2a为spot卫星影像图, 图2b为断裂解译及工作点分布图。断裂西端起始于二道沟沟口西侧, 经扎子湖、老虎沟、深沟、曹恩吉图沟、红沟至牛圈沟沟口附近。总体走向69°, 长约30km。根据断裂在地质地貌、几何形态、断裂性质等方面的差异性, 可以将野马河北侧断裂分为二道沟—老虎沟和老虎沟—牛圈沟2个几何不连续段, 呈左阶排列。

1.1 二道沟—老虎沟段

二道沟—老虎沟段西起二道沟口西侧, 东至老虎沟附近。扎子湖以西断裂分布于野马山南缘基岩与第四系分界处, 以东分布于山前洪积扇上。

在二道沟和扎子湖之间, 断裂北盘向S逆冲于山前第四系之上, 并有明显的左旋走滑现象, 沿断层多处出露断层挤压破碎带, 呈黄白色、灰黄色、灰白色条带状。断裂逆冲活动错断山脊或山前洪积扇形成陡坎, 同时山脊、冲沟等通过断裂时发生左旋位错, 表明断裂的活动性质为逆左旋走滑。

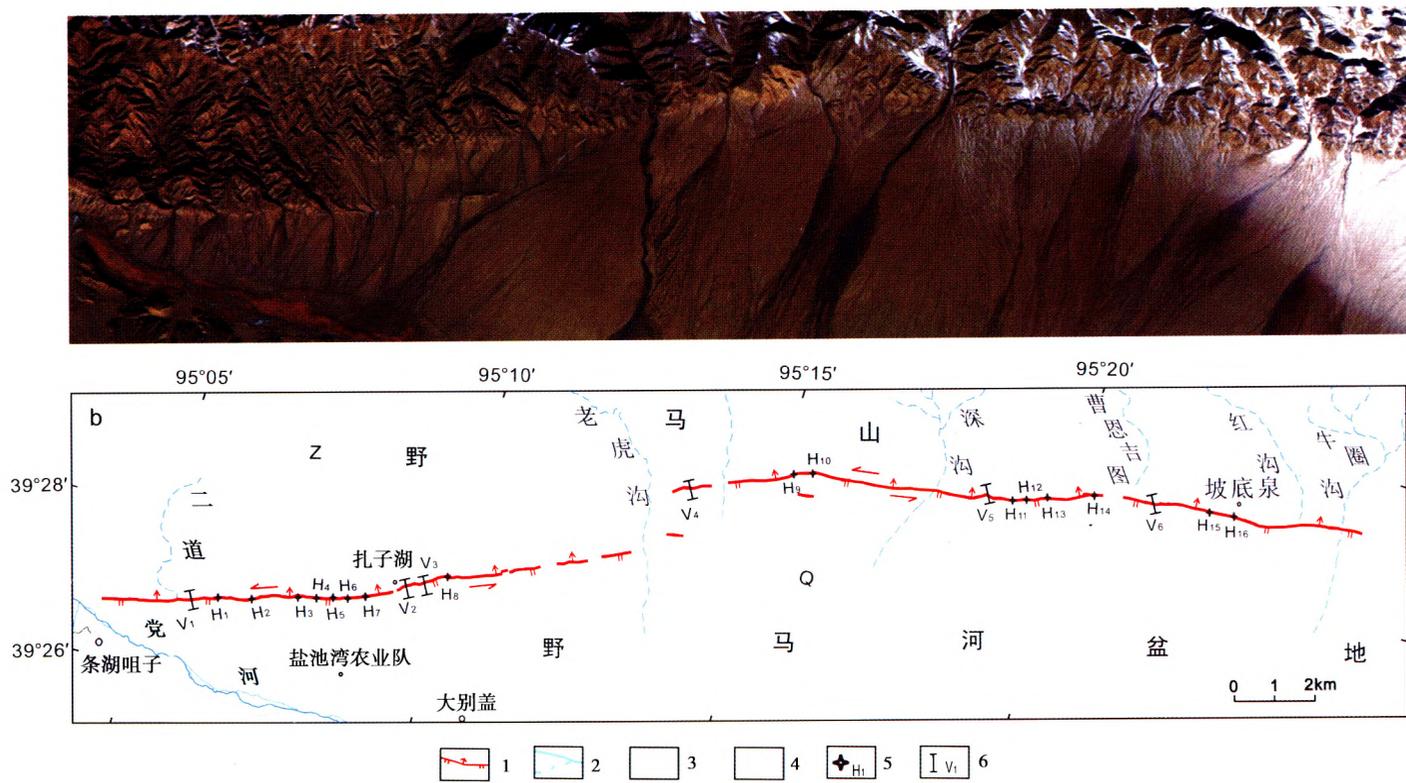


图2 研究区卫星影像图(a)与断裂解译及工作地点示意图(b)

Fig. 2 (a) Spot image of study region; (b) Distribution of fault and work sites.

1 断裂带; 2 河流冲沟; 3 基岩区; 4 第四系覆盖层; 5 实测冲沟水平错动点; 6 实测逆冲陡坎点

在二道沟西侧的 1 个冲沟侧壁上出露有断层剖面。沟西壁剖面显示有 2 条逆冲断层 f_1 和 f_2 (图 3), f_1 为灰黑色基岩逆冲于紫红色古近系、新近系泥岩之上, 产状 $305^\circ/\angle 55^\circ$, 断层带内由灰色、灰白色基岩物质及新近系红色条带组成, 半胶结; f_2 为紫红色新近系泥岩逆冲于山前第四系砾石层之上。

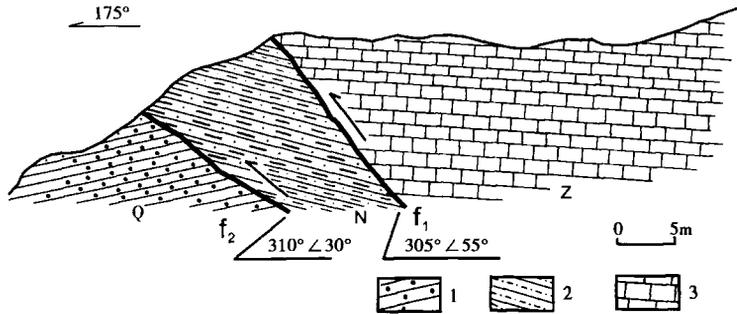


图 3 二道沟西侧冲沟西壁断层剖面

Fig. 3 Fault profile on the west side of Erdaogou gully.

1 土灰色土层; 2 紫红色泥岩; 3 震旦系灰色灰岩

扎子湖西南约 600m 处, 出露 1 个断层剖面 (图 4), 剖面南侧为 1 条主断裂 f_1 , 北侧基岩中发育 2 条老断裂 f_2 和 f_3 。基岩为震旦纪灰色灰岩, 表层呈风化状。 f_1 与 f_2, f_3 之间为 1 条顺断层侵蚀冲沟。主断裂 f_1 的北盘向 S 逆冲于南盘之上, 南盘出露于地表的部分均为青灰色砾石层, 下部成层性较好, 上部为砾石夹土层; 北盘出露地表部分可以分为 2 层: 下层为褐黄色、黄白色基岩破碎风化层, 上层为灰色砾石层。断层错断了基岩破碎带和覆盖在其上部的砾石层, 主断层产状为 $295^\circ/\angle 36^\circ$, 靠近顶部砾石层产状为 $190^\circ/\angle 12^\circ$ 。

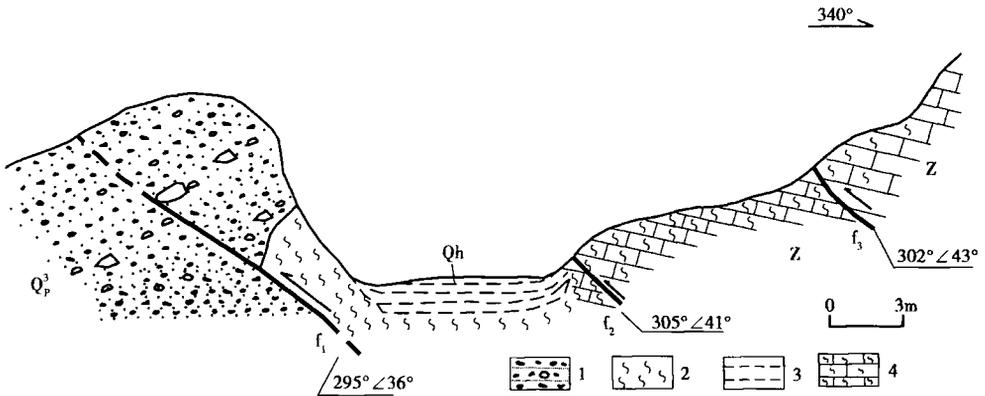


图 4 扎子湖西 600m 处的断层剖面

Fig. 4 Fault profile at 600m west of Zazihu.

1 灰色砾石层; 2 暗黄色破碎带; 3 土层; 4 震旦系灰色灰岩破碎带

在扎子湖南侧, 断裂断错一冲沟的 I 级阶地, 形成断层陡坎, 实测断层陡坎高约 1m, 在 I 级阶地中上部含砾砂层取样 YBTL-1, 热释光测年结果为 (8.55 ± 0.72) ka BP。

在扎子湖东北约 2km 处,位于山前洪积扇上的次级断层成左旋右阶排列(图5a),此处地质地貌条件符合唐荣昌等(1976)对鼓包和挤压脊地貌进行的模拟试验中的 3 个形成条件,即:1)断裂活动以水平剪切为主,兼具一定的逆冲分量;2)断裂之上的覆盖层为松散、可塑的沉积物,且具有一定的厚度;3)地形平坦。在岩桥区形成的挤压地貌(图5b),表现为长 500m,宽 10~20m,高度在 10m 左右的隆起,其北坡底部被流水冲蚀变陡,南坡较缓。

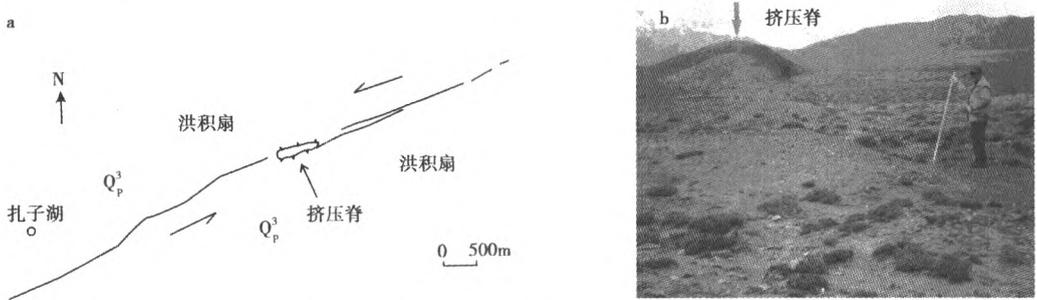


图 5 扎子湖挤压脊断裂成因示意图(a)和实景图(b;镜向:W)

Fig. 5 Sketch showing the causation(a) and photo of Zazihu-Squeeze ridge(b) (view to W).

1.2 老虎沟—牛圈沟段

此段山前盆地地势较前段抬升强烈,以老虎沟为界,两侧洪积扇地势高差达 100 多米。老虎沟因快速抬升而下切强烈,山前沟口附近沟深约 100m,沟两侧留有比较典型但不连续的 5 级阶地。

在深沟东约 2km 处,断层近 EW 向横切山前洪积扇,并伴有北盘向南盘逆冲形成的断层陡坎。一条较大冲沟被左旋位错,其西侧山脊同步错动,东侧断裂上盘发育 2 条断尾沟,该冲沟发育 2 级阶地,在 II 级阶地中上部的含砾砂层中取样 YBTL-2,热释光测年结果为 (20.45±1.74) ka BP。图 6 为通过全站仪实测的断层错动冲沟地貌,冲沟被左旋错动(26±3) m。

曹恩吉图沟发育有 3 级阶地,断层断错 II, III 级阶地,形成高 0.5~1m 和 2~3m 的断层陡坎。曹恩吉图沟东侧一冲沟壁上有断层剖面出露(图 7),北盘向南盘逆冲,断层断错了 Qp2 地层和夹杂在其中的灰黄色风化破碎带,以及上部的 Qp3 洪积扇。

2 断裂逆冲和左旋走滑活动特征分析

由于断裂的逆冲和左旋走滑活动,在洪积扇、河流阶地等地貌面上形成逆冲陡坎,并使跨断裂的山脊、冲沟左旋错动。

2.1 逆冲活动分析

根据逆冲陡坎在不同地貌面上的发育特征,选取 V1—V6 (图 2) 6 处分别错断了冲沟 I, II 级阶地或洪积台地的逆冲陡坎地形进行了测量,对测得的数据进行成图、计算处理,得到陡坎的垂直逆冲高度(图 8,表 1)。

根据实测得到的剖面,可用作图法算出每个逆断层陡坎的垂直位移量(图 9;郑荣章, 2005)。公式如下:

$$H = (h_1 + h_2) / 2 \pm |h_1 - h_2| / 2$$

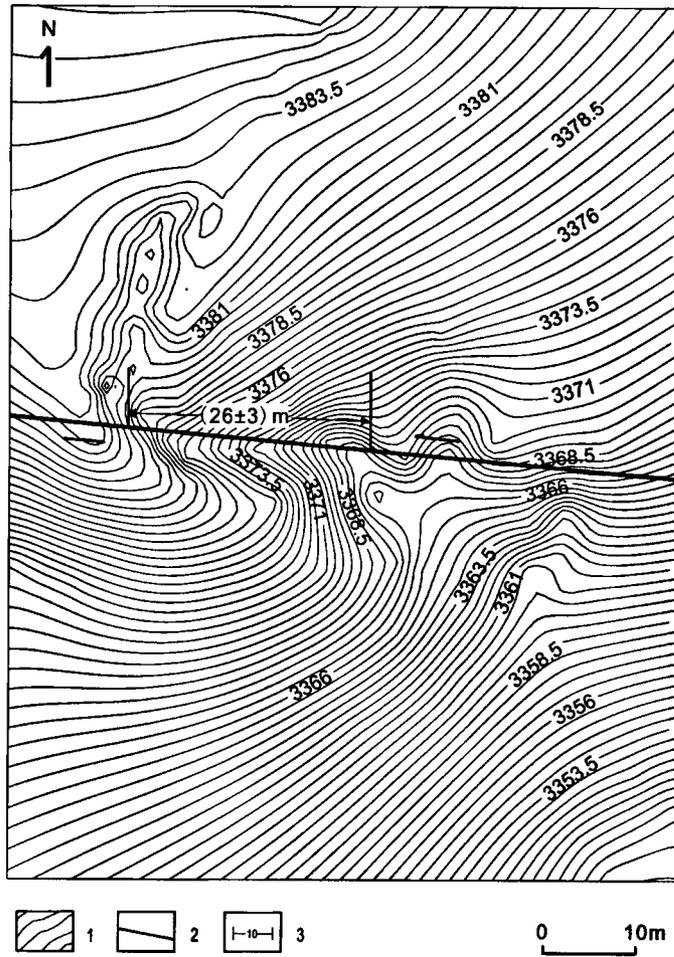


图6 深沟东约2km处冲沟、山脊左旋错动实测平面图
 Fig. 6 Plan view of measured left-lateral offset of gully and ridge.
 1 等高线; 2 断裂位置; 3 左旋位移量

表1 野马河北缘断裂逆冲陡坎数据表

Table 1 Data of thrust scarps along the north of Yemahe Fault

地点编号	h_1/m	h_2/m	H/m	断错位置
V ₁ (二道沟东)	8.96	6.38	7.76±1.29	冲沟Ⅱ级阶地、山脊
V ₂ (扎子湖东)	2.65	2.08	2.37±0.29	冲沟Ⅰ级阶地、洪积扇
V ₃ (扎子湖东)	0.92	0.97	0.95±0.03	冲沟最新阶地、洪积扇
V ₄ (老虎沟东)	1.05	1.26	1.16±0.11	冲沟最新阶地、洪积扇
V ₅ (老虎沟东)	9.64	7.41	8.53±1.12	冲沟Ⅱ级阶地、洪积扇
V ₆ (曹恩吉图沟东)	2.68	2.59	2.64±0.05	冲沟Ⅰ级阶地、山脊

式中 H 为逆断层垂直位移量, 即陡坎高度; 测线起点、终点均为上下盘的原始面, 且有一定的距离。将得到的逆断层陡坎高度除以相应的地貌面年龄, 即可得到逆冲速率。计算公式为

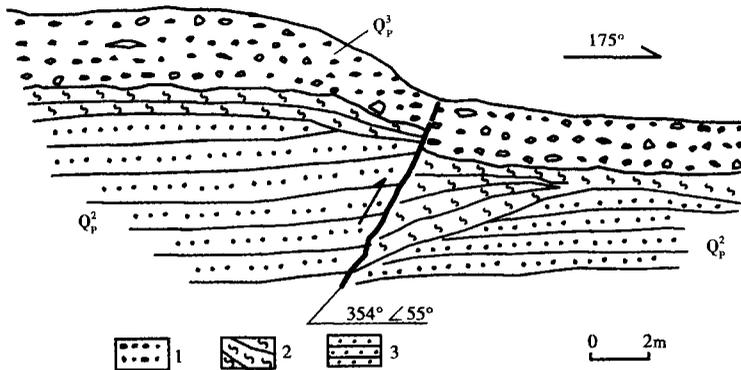


图 7 曹恩吉图沟东侧断层剖面

Fig. 7 Fault profile at the east of Caoenjitu gully.

1 砾石夹土层; 2 黄白色破碎风化层; 3 土层

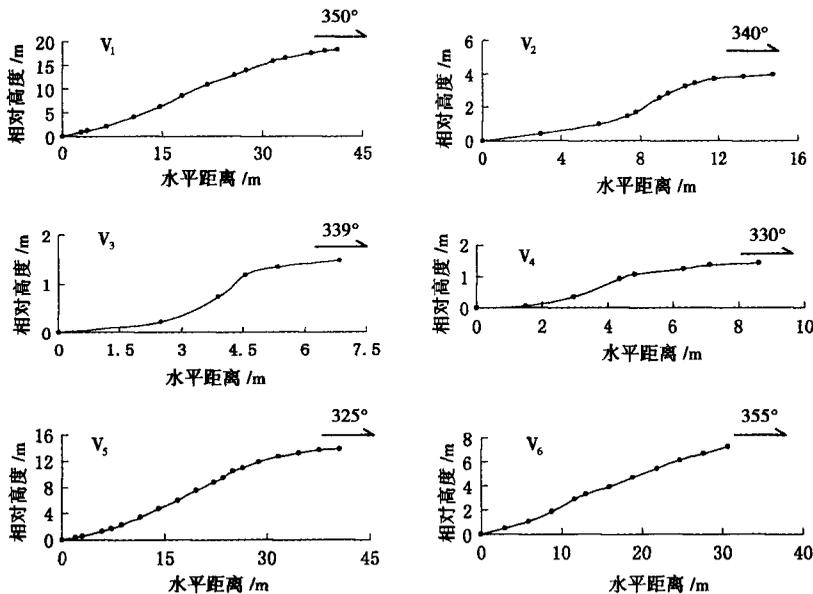


图 8 实测断层陡坎剖面图

Fig. 8 Measured sections of thrust scarps

V_n 为工作地点编号

$$V = H/T (T > 0)$$

式中 V 为逆冲速率, H 为逆断层陡坎高度, T 为地貌面年龄。

速率误差用下列公式计算: $\Delta V \leq | \Delta H/T_0 | + | H \times \Delta T/T_0^2 |$, 式中 ΔV 为速率误差, ΔH 为陡坎高度误差, T_0 为实验室所得年龄值的第 1 项, ΔT 为年龄值误差 (郑荣章等, 2005)。

表 1 中列出了 6 处实测点的断错位置和数据, 其中 H 为陡坎平均垂直逆冲距离, 逆冲距离分布在 0.95 ~ 8.53m 之间。根据表 1 所列资料可以看出: 断错了冲沟 II 级阶地的陡坎数据有

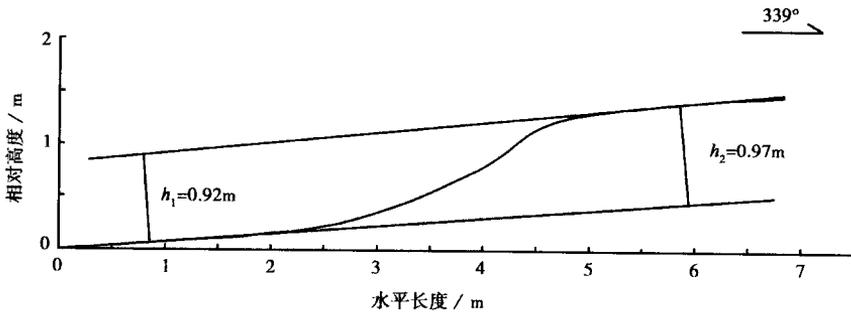


图9 断层陡坎剖面处理示意图(据郑荣章,2005 修改)

Fig. 9 Disposal of the section of thrust scarp(adapted from ZHENG Rong-zhang, 2005).

V_1, V_5 , 其平均逆冲距离为 (8.15 ± 1.21) m; 根据前述冲沟 II 级阶地取样测试的年龄为 (20.45 ± 1.74) ka, 则可以得出该断裂晚更新世晚期 (20.45 ± 1.74) ka 以来的平均逆冲速率约为 (0.4 ± 0.07) mm/a。

2.2 左旋走滑活动分析

断裂走滑活动会使横穿断裂的地质体、冲沟、山脊发生左旋或右旋拐弯, 特别是有的断裂冲沟和山脊发生同步左旋或右旋拐弯, 更反映了断裂的水平走滑性质(宋方敏等, 1998)。野马河北侧断裂的左旋走滑造成了沿断裂带的冲沟、山脊等发生左旋位错, 表 2 列出了沿断裂带 H_1 — H_{16} (图 2) 16 处实测点冲沟或山脊的断错情况。

表 2 野马河北缘断裂左旋错动数据表

Table 2 Data of left-lateral offsets along the north of Yemahe Fault

地点编号	位移量/m	测量地貌	测量方法	备注
H_1 (二道沟口东侧)	127 ± 5	大冲沟	皮尺测量	错动 III 级阶地
H_2 (二道沟口东 2km)	25 ± 2	中等冲沟	皮尺测量	错动 II 级阶地
H_3 (扎子湖西约 1.5km)	5.5 ± 0.5	小冲沟	皮尺测量	错动 I 级阶地
H_4 (扎子湖西约 1.5km)	7.3 ± 0.5	中等冲沟	皮尺测量	错动 II 级阶地、山脊
H_5 (扎子湖西约 1.5km)	80 ± 5	大冲沟	皮尺测量	错动 III 级阶地
H_6 (扎子湖西约 1.5km)	1.3 ± 0.5	小纹沟	皮尺测量	错动纹沟、山脊
H_7 (扎子湖西侧)	60 ± 5	大冲沟	皮尺测量	错动 III 级阶地
H_8 (挤压脊西侧)	15 ± 2	中等冲沟	皮尺测量	错动 II 级阶地
H_9 (深沟西侧 3km)	4.1 ± 0.5	小冲沟	皮尺测量	错动 I 级阶地
H_{10} (深沟西侧 3km)	175 ± 5	大冲沟	皮尺测量	错动 III 级阶地
H_{11} (深沟东侧)	2 ± 1	小纹沟	皮尺测量	错动纹沟
H_{12} (深沟东侧)	26 ± 3	中等冲沟	全站仪测量	错动 II 级阶地
H_{13} (深沟东侧)	4.8 ± 0.5	小冲沟	皮尺测量	错动 I 级阶地
H_{14} (曹恩吉图沟西侧)	12 ± 1	中等冲沟	皮尺测量	错动 II 级阶地
H_{15} (坡底泉东侧)	20 ± 1	中等冲沟	皮尺测量	错动 II 级阶地
H_{16} (坡底泉南侧)	9 ± 1	中等冲沟	皮尺测量	错动 II 级阶地

通过观察以上数据可以看出,沿断裂冲沟、山脊的错断距离大小不一,左旋错动数据在 1.3 ~ 175m 之间。不同规模的冲沟错距不同,对于同规模的冲沟,错距一般相近。

由前述已知,在深沟东约 2km 处一条中等冲沟 II 级阶地被左旋位错,通过全站仪实测发现冲沟被左旋错动(26±3)m(图6)。在该冲沟 II 级阶地中上部含砾砂层取样 YBTL-2,热释光测年结果为(20.45±1.74)ka。由该组数据计算出晚更新世以来的平均水平滑动速率约为(1.27±0.18)mm/a。

3 结论与讨论

由以上叙述分析,我们可以得出以下结论:

(1)野马河北侧断裂总体走向 NEE,以老虎沟为界可以分为东、西 2 个几何不连续段,两者呈左阶排列。沿断裂有一系列冲沟、山脊被左旋错动,并发育有正反向逆冲陡坎、挤压脊等地貌,该断裂是一条左旋走滑兼逆冲活动断裂,逆冲活动以北盘向南盘逆冲为主。

(2)野马河北侧断裂是一条晚第四纪以来比较活跃的断裂,晚更新世以来的平均逆冲速率为(0.4±0.07)mm/a,平均水平滑动速率为(1.27±0.18)mm/a。

(3)野马河北侧断裂的左旋走滑兼逆冲活动分解了阿尔金断裂东段的部分运动量。该断裂的滑动速率和逆冲速率较小,分析认为从肃北开始向 NE 方向,直到宽滩山,众多的 NE, NW 向断裂构造运动及条形块体的隆升逐步分解了阿尔金断裂的运动量。

文中热释光样品均由中国地震局地壳应力研究所热释光年代实验室王焕贞测试,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 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.
- CHENG Guo-xing, GAO Wei-ming. 1987. The time and space features of the Quaternary activity in the eastern Altyn Fault [J]. Earthquake Research in China, 3(suppl): 35—51 (in Chinese).
- 丁国瑜. 1995. 阿尔金活断层的古地震与分段 [J]. 第四纪研究, 2: 97—106.
- DING Guo-yu. 1995. Paleoeearthquakes along the Altyn 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.
- Work Group on the Active Altyn Fault Zone, SSB. 1992. The Active Altyn Fault Zone [M]. Seismological Press, Beijing (in Chinese).
- 宋方敏,余维贤. 1998. 走滑断裂带中挤压阶区内部剪切构造初探 [J]. 地震地质, 20(4): 343—348.
- SONG Fang-min, YU Wei-xian. 1998. Preliminary study of the inner shear structures in the compressional stepover of strike-slip fault zone [J]. Seismology and Geology, 20(4): 343—348 (in Chinese).
- 唐荣昌,文德华,邓天岗,等. 1976. 1973 年炉霍 7.9 级地震的地裂缝特征及地震成因的初步探讨 [J]. 地球物理学报, 19(1): 18—27.
- TANG Rong-chang, WEN De-hua, DENG Tian-gang, et al. 1976. A preliminary study on the characteristics of the ground fractures during the Luhuo $M=7.9$ earthquake, 1973 and the origin of the earthquake [J]. Acta Geophysica Sinica, 19(1): 18—27 (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 rupture on the eastern segment of the Altyn Tagh Fault zone [J]. *Seismology and Geology*, 24(2): 145—158 (in Chinese).
- 王峰, 徐锡伟, 郑荣章, 等. 2003. 阿尔金断裂带东段距今 20ka 以来的滑动速率 [J]. *地震地质*, 25(3): 349—358.
- WANG Feng, XU Xi-wei, ZHENG Rong-zhang, *et al.* 2003. Slip-rate on the eastern Altyn tagh Fault since 20ka BP [J]. *Seismology and Geology*, 25(3): 349—358 (in Chinese).
- 徐锡伟, P Tapponnier, J Van Der Woerd, 等. 2003. 阿尔金断裂带晚第四纪左旋走滑速率及其构造运动转换模式讨论 [J]. *中国科学(D 辑)*, 33(10): 957—974.
- XU Xi-wei, Tapponnier P, Van Der Woerd J, *et al.* 2003. Slip of the Altyn Fault zone since the Late Quaternary and tectonic transformation style [J]. *Science in China(Ser D)*, 33(10): 957—974 (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 Sun-min, ZHANG Wan-xia, *et al.* 2000. River offset and slip rate of the east segment of Altyn Fault zone since Quaternary [J]. *Seismology and Geology*, 22(2): 129—138 (in Chinese).
- 郑荣章, 徐锡伟, 王峰, 等. 2005. 阿尔金构造系晚更新世中晚期以来的逆冲活动 [J]. *地震地质*, 27(3): 361—373.
- ZHENG Rong-zhang, XU Xi-wei, WANG Feng, *et al.* 2005. The thrust activity of the Altyn Fault zone since the mid and late Pleistocene [J]. *Seismology and Geology*, 27(3): 361—373 (in Chinese).
- Meyer B, Tapponnier P, Bourjot L, *et al.* 1998. Crustal thickening in Gansu-Qinghai, lithospheric mantle, subduction, and oblique, strike-slip controlled growth of the Tibet plateau [J]. *Geophys*, 135: 1—47.
- Van der Woerd J, XU X W, LI H B, *et al.* 1988. Rapid active thrusting along the northwestern range front of the Tanghe Nan Shan (western Gansu, China) [J]. *J Geophy Res*, 93(B7): 7793—7812.
- ZHANG P Z, Molnar P, XU X W. 2007. Quaternary and present-day rates of slip along the Altyn Tagh Fault, northern margin of the Tibetan Plateau [J]. *Tectonics*, 26(5): 1—24.

GEOMORPHOLOGIC CHARACTER AND QUATERNARY ACTIVITY OF THE NORTH OF YEMAHE FAULT IN SUBEI

ZHAO Peng¹⁾ MIN Wei¹⁾ JIAO De-cheng²⁾ SUN Zong-shi²⁾ HUANG Tuo²⁾

1) *Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*

2) *Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China*

Abstract

The slip rate decreased at Subei, Shibaocheng and Shulehe regions on the eastern segment of Altyn Fault, the regions called as "singularity points". Subei is one of "singularity points" on the eastern segment of Altyn Fault, and the north of Yemahe Fault in the northeast of Subei is the fault we study in this paper. The fault is located in the northeast of Yemahe Basin. It starts at Erdaogou gully in the east and ends at Niujuan gully, extending along the Yema mountain front and parallel to the Altyn Fault in the direction of NEE on the whole. It separates Sinian from Quaternary gravel layer. There are plenty of left-lateral slip-strike and thrusting geomorphologic phenomena and exposed stratigraphic sections on the sides of gullies. Ridges and gullies are dislocated synchronously.

Through more than one month investigation, we obtained the distribution and the geological and geomorphologic characteristics of the fault, measured a series of left-lateral slip gullies, ridges and thrust scarps and got the relevant data. Some samples are also collected. The left-lateral slip of gullies is distributed from 1.3m to 175m, and the height of thrust scarps is from 0.95m to 8.53m. The horizontal averaged slip rate of the fault is calculated to be 1.27 ± 0.18 mm/a, and the averaged thrusting rate is 0.4 ± 0.07 mm/a. This fault, together with the Danghenanshan thrust fault at its south, resolved part of the movement components of the eastern segment of Altyn Fault.

Key words the north of Yemahe Fault, left-lateral strike-slip, thrust rate, late Quaternary

[作者简介] 赵朋,男,1982年生,2006年毕业于山东科技大学地理系,现为中國地震局地质研究所在读硕士研究生,主要研究方向为活动构造,电话:010-62009140, E-mail: zp20031688@163.com。