

河西走廊榆木山边缘断层构造地貌研究

李有利 杨景春 李保俊 谭利华
(北京大学城市与环境学系)

摘要 河西走廊位于青藏高原的东北部边缘,是青藏高原向东北推挤过程中形成的一个前陆盆地系。榆木山是位于河西走廊前陆盆地系中张掖盆地和酒东盆地之间的横向隆起山地。根据野外断层露头和地貌体的变形测量和分析,本文认为榆木山北缘断层是一条具有左旋位移的逆断层,东缘断层是一条具有右旋位移的逆断层,这两条断层在全新世期间都有明显的活动。榆木山的发育是沿着北缘断层和东缘断层的逆冲活动,造成山体内地块叠加变形的结果。

关键词 活动断层 构造地貌 榆木山 河西走廊

0 前言

河西走廊位于青藏高原的东北部边缘,是青藏高原向东北推挤过程中形成的一个前陆盆地系。分隔河西走廊诸盆地的山地,本文称之为横向隆起山地,是河西走廊构造地貌的显著特征之一(图 1)。榆木山横向隆起山地位于河西走廊前陆盆地系中张掖盆地和酒泉盆地之间,总体走向 NNW,长约 70km,宽约 40km。它的东缘和北缘受断裂控制,南侧为祁连山北缘断裂,西南部渐渐倾伏到酒东盆地之下。它的主体由古生代地层组成,在西北端为新生代地层构成的低山丘陵^[1]。

榆木山边缘的活动断层在一些局部地点已经有比较深入的研究^[2-6]。本文主要研究控制榆木山抬升的北缘断层和东缘断层的活动及其地貌表现,并初步探讨榆木山横向隆起山地的形成原因。

1 榆木山北缘断裂活动的地貌表现

榆木山北缘断裂分布于榆木山横向隆起的北麓,东起梨园河口,向西经西大口,石炭沟,梧桐泉到苦水沟以西,全长约 50km。大致以石炭沟为界,以西断裂走向 NW 或近 EW,以东走向近 NW(图 2)。该断层带南盘为高耸的榆木山,海拔 3000m 左右,北盘为河西走廊盆地,海拔 1500m 左右。

注:国家自然科学基金(编号:49371012)资助项目

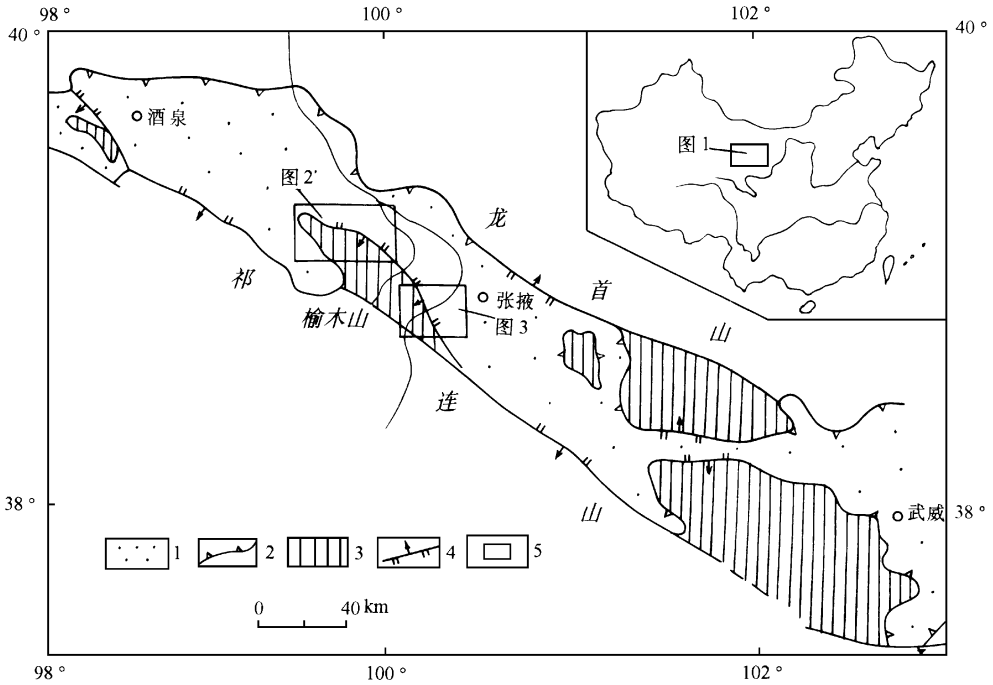


图 1 河西走廊构造地貌略图

Fig. 1 Morphotectonic map of Hexi Corridor

1. 第四纪沉积物; 2. 第四纪盆地边界; 3. 横向隆起山地; 4. 逆断层; 5. 图件索引

大斗口—老关口一带见两条平行的断层,走向近 NW(图 2C) 这两条断层控制着山前洪积台地的发育。F₁断层位于榆木山与山前洪积台地的交界处,断层走向 N50°W,倾向 WS,倾角约为 40°,志留系向北东逆冲于白垩系之上。F₂断层产状与 F₁断层相近,为白垩系向北东逆冲于晚更新统砂砾石层之上。沿 F₂断层在不同期次的洪积台地前缘发育不同高度的陡坎。F₁断层与 F₂断层之间的洪积台地根据切割叠置关系可分为三期。第一期洪积台地(T₁)由白垩系构成基座,上覆洪积砾石层。基座顶面倾向山地内部,倾角约 10°。基座上覆的砾石层由山内向山外方向减薄,在台地前缘白垩系直接出露。台地面微向山地倾斜,倾角 5°左右,反映台地发生过向南的翘起运动。台地前缘陡坎约 23m 第二期台地(T₂)切割于第一期台地之中,台面高度低于第一期台地 10多米,主要由洪积物及上覆黄土构成,局部可见白垩系基座。台地前缘高度约为 8m 第三期台地(T₃)切割于第一、第二期台地之中,由砂砾石及上覆黄土构成,前缘高度约 2m 不同期次洪积台地的发育及其前缘断层陡坎高度的差异,反映 F₂断层晚更新世晚期以来有多次活动

石炭沟西约 100m处冲沟的下切侵蚀,揭示了该段榆木山北麓的地貌结构(图 2B左)。F₁断层为泥盆纪地层逆冲于白垩纪地层之上。泥盆纪地层构成较高的山地,白垩纪地层构成山前台地的基座。山地与台地的交界处见新鲜断层崖,指示断层有较新的活动。F₂断层走向 NWW,倾向 SSW,倾角 50°左右,由南向北逆冲,白垩纪地层逆冲于第四纪砂砾石之上,造成了白垩纪地层构成的基座面的不连续,并在台地面形成高约 3m的陡坎。F₃断层亦造成了白垩系

构成的台地基座面的不连续,使白垩系逆冲于更新世砂砾石之上,并在台面上形成了高约 2m 的陡坎。F₄断层为紫红色的白垩系逆冲于灰黑色晚更新世以来的砂砾石之上,走向 NW W,倾向 SSW,倾角 30°左右,是山前台地与山前洪积平原之间的分界。山前台地前缘为高约 35m 的陡坎

石炭沟在山前台地内有 3 个明显的拐弯,且每个拐弯处都有断层发育(图 2B 右)。F₁断层走向近 EW,倾向南,倾角 60°左右,南盘为紫红色砂砾岩,北盘为桔红色粉砂岩,上覆灰黑色砂砾石层,为冲沟的第二级阶地。由山内向山外看,冲沟东岸断层北盘的桔红色粉砂岩向西突出,冲沟左旋拐弯约 12m。冲沟西岸发育第一级阶地,阶地前缘在断层处左旋错开约 5m。F₂断层处见灰黑、灰绿等杂色断层泥带,宽度达 5m 以上。断层整体走向 NW W,倾向 SSW,倾角约 50°。断层南盘为桔红色粉砂岩,北盘为桔黄色粉砂岩。冲沟东岸断层北盘的桔黄色粉砂岩俨然城墙堵塞于冲沟中,造成冲沟左旋拐变 15m。F₃断层位于山前台地与洪积平原交界,桔黄色粉砂岩和胶结砾岩逆冲于晚更新世以来的砂砾石之上。石炭沟出台地发生明显向左直角拐弯。这些现象指示上述断层发生过左旋活动。

苦水沟东岸第一级阶地前缘陡坎如图所示(图 2A)。剖面上断层走向近 EW,倾向南,倾角 35°,上新世桔红色细砂粘土层向北逆冲于全新世砂砾石层之上。断层没有错断全新世晚期的砂砾石层

苦水沟在断层南盘(上冲盘)发育三级基座阶地,高度分别为 6m、15m 和 34m,其中第二、第三级阶地在靠近断层处发生向上游的翘起变形。在断层的北盘只发育一级由全新世砂砾石构成的堆积阶地,高度约为 4m。断层将第一级阶地垂直错开 2m,并在阶地面上形成了高 2m 的断层陡坎

榆木山北缘断层很可能进一步向西延伸。在榆木山西端以西约 6km 的平原区,一系列冲沟发生向左弯曲,山前洪积平原上的一系列辫状冲沟在榆木山北缘断层向西的沿线附近发生收敛,在经过断层沿线后迅速撒开。马营河的洪积扇可明显分出两期,早期洪积扇扇顶位于祁连山边缘,已遭受强烈的下切,形成 20—30m 的下切陡坎,晚期洪积扇扇顶位于榆木山北缘断层向西的沿线附近,扇体位于断层沿线北侧。上述现象说明,榆木山北缘断层向西一直延伸到酒东盆地,与酒东盆地山前褶皱带北缘断裂相接

2 榆木山东缘断裂活动的地貌表现

榆木山东缘断裂沿榆木山东部边缘分布,走向近 NW,倾向 SW,倾角一般 60—75°。沿断裂多处见古生代地层逆冲到第三系和第四系地层之上,造成地貌面的错断变形和冲沟的右旋水平位错等(图 3)

在小磁窑口至西大口段,榆木山东缘断层表现为奥陶系变质火山岩逆冲于第三纪上新统及上更新统之上,一系列冲沟在经过断层处发生向右拐弯。如在西大口西侧冲沟沟口可见奥陶系灰黑色火山岩向 NE 逆冲于第三纪棕红色泥岩之上,第三纪地层发生了强烈变形,其中发育多条逆断层。第三纪地层又向 NE 逆冲于全新统砾石层之上,并形成高约 20m 的陡坎。冲沟在经过断层处发生向右拐弯,右旋拐弯幅度约 30m。在小磁窑口沟东侧第一条大沟沟口见类似现象,冲沟右旋拐弯幅度达 300m(图 3A)

在黑河口北岸(图 3B 所示剖面),F₁断层产状 150°/SW<50°,上盘(上冲盘)奥陶系黑色板岩逆冲到下盘(下降盘)上新统桔红色粉砂粘土层和晚更新世磨圆砾石层之上,并错断了顶

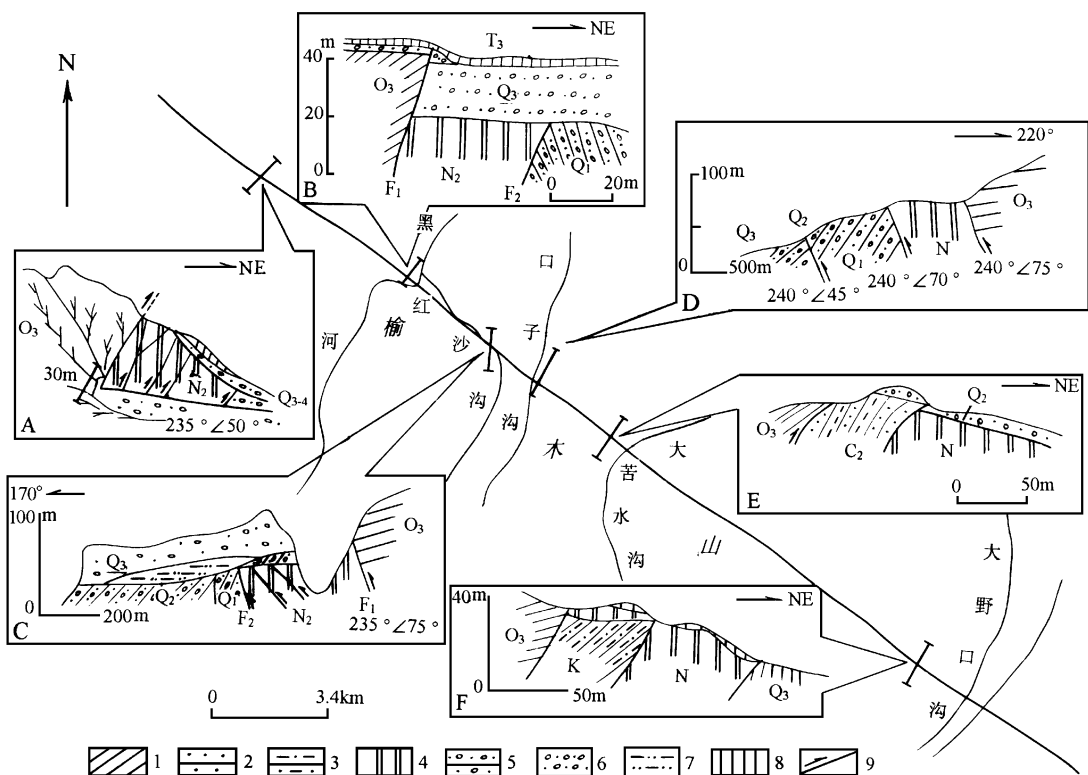


图 3 榆木山东缘断层地质地貌表现

Fig. 3 Fault outcrops along east front of the Yumu Mountain

1. 板岩; 2. 砂岩; 3. 粉砂岩; 4. 红色粘土; 5. 砾岩; 6. 砾石; 7. 粉砂; 8. 黄土; 9. 逆断层

部的灰黄色粉砂层的下部

在黑河口河北岸阶地上,沿断层发育走向 NNW,坡向 NEE,延伸约 1km 的断层陡坎。在断层上升盘的黑河左岸谷坡上发育 6 级阶地,自下而上,拔河高度分别为 10m、28m、45m、56m、75m 和 113m。在断层陡坎东北侧断层下降盘上发育 4 级阶地,自下而上,拔河高度分别为 10m、26m、41m 和 46m。断层将黑河第二级至第六级阶地垂直错断,其中第五、第六级阶地的错距无法确定,第四级阶地垂直错断约 9m,第三级阶地垂直错断约 4m,第二级阶地垂直错距为 2m。热释光和¹⁴C 测龄数据表明黑河的第三级阶地的形成时代距今约 10ka 左右,第四级阶地形成的时代距今约为 13ka 左右^[2,6]。根据区域对比我们推断黑河第二级阶地的年龄距今约 5ka 左右。根据上述数据,可以得出,在第二级阶地形成后,即距今 5ka 以来,断层垂直活动了 2m;第三级阶地的 4m 错距包含着第二级阶地的 2m 错距在内,所以第二级阶地未形成以前,第三级阶地形成以后,即距今约 5—10ka 之间,断层的垂直活动幅度为第三级阶地的错距减去第二级阶地的错距,即 2m;同理,第三级阶地未形成以前,第四级阶地形成以后,即距今约 13ka 至 10ka 之间,断层垂直活动幅度为 5m。根据黑河口阶地的年龄与垂直错距,可以算出在 T₃ 阶地形成以后距今约 10ka 以来的断层平均垂直活动速率为 0.5mm/a^[6]。

另外,榆木山东缘断裂将第三级阶地的后缘陡坎右旋位错达 12m 之多,如果将第三级阶地的形成年龄按距今 10ka 计,可以估计断层的平均右旋活动速率约为 1.2mm/a。可见断层水

平活动速率是垂直活动速率的 3 倍

以黑河东至大苦水沟以西大约 5km 的范围内,见上新统红层逆冲至第四纪砾石层之上,断层产状 $240^{\circ} \angle 70^{\circ}$,断层带上泥质岩的破劈理发育,断层面上擦痕清楚,指示断层为右旋逆断层(图 3C D)。对断层下降盘的砾石层进行组分和形态测量,统计得到不同岩性砾石平均百分含量分别是:灰色砂岩 56.8%,紫色砂岩 20.8%,花岗岩 15.6%,闪长岩为 6.8%。对穿过上述砾石层的口子河的沉积物进行测量发现,这条河流的沉积物岩性与现代流域出露的基岩岩性一致,以灰色砂岩为主,还有少量紫色砂岩和凝灰岩,无花岗岩和闪长岩,砾石平均粒径 4cm,分选差,棱角分明。上述第四纪砾石层中的砾石成分与现代流域范围内基岩岩性有差异,如其中的花岗岩和闪长岩砾石就不可能是从现代流域范围内侵蚀搬运来的。在黑河第六级阶地上的砾石量计表明,砾石成分以灰色砂岩为主,占 60%,其次是紫色砂岩占 20%,花岗岩约占 15%,闪长岩占 5%,其岩性和形态与黑河以东的第四纪砾石很相近。因此,我们认为,黑河以东的砾石层为黑河所形成,由于榆木山东缘断层右旋活动而偏离黑河河口。根据砾石风化壳厚度推算砾石层年龄约为 $881.80\text{kaBP}^{[7]}$,计算得到榆木山东缘断层早更新世晚期以来的平均右旋滑动速率为 5.78mm/a

在大、小苦水沟内,山前断层为石炭系含煤系地层向 NE 逆冲于白垩系杂色泥岩之上,断层走向 $N25^{\circ}W$,倾向 SW,倾角 60° 。断层下降盘白垩系为紫红色、灰绿色砂、泥岩互层,上覆中更新统砂砾石层。在新城子南冲沟中(图 3E 所示剖面),F₁ 断层为灰黑色奥陶系向北逆冲于白垩系之上。F₂ 断层为白垩系逆冲于上新统之上。在 E 断层沿线上,见多条山脊被右旋位错,形成眉状陡坎,说明断层有很新的右旋活动。这一段山前发育由中更新统及上覆晚更新统黄色粉砂构成的台地,台地前缘向 NW 方向延伸,方向性很好,高度可达 30m 左右。在大野口冲沟东岸,上述陡坎向东沿线附近,见断层露头,可见沿陡坎发育一条更新的断层

3 讨论和结论

榆木山北缘断层和东缘断层都是具有逆冲性质的活动断层,反映总体上由 SW 向 NE 方向的推挤作用。榆木山北缘断层的西段,走向 NWW,具有明显的左旋活动的性质。而其东段,走向近 NW,水平扭动现象不明显。榆木山东缘断层,总体走向 $N40^{\circ}W$,具有明显的右旋活动的性质。这反映榆木山地区主压应力方向为 NE-SW 向。黑河口地区的阶地错断现象说明该断层在全新世仍很活跃。

榆木山内变形具有两个方向变形叠加的特征。由 WS 向 EN,发生南低北高的掀斜变形,尤其在山体西部表现的很清楚^[1],中更新世以前的地层发生了褶皱,形成了榆木山西端的低山丘陵及其南侧的向斜盆地。这种变形方式与盆地中山前褶皱带的变形方式^[8]相似。同时,榆木山地块沿着东缘断层向 EN 逆冲到张掖盆地地块之上,并发生向 WS 的掀斜变形。这种变形方式是河西走廊中主要块体所具有的共同特征,即西侧块体逆冲到东侧块体之上,并且所有块体发生向 WS 方向的掀斜。

为什么榆木山会在这里发育,是一个未解决的问题。据现有资料,榆木山的发育可能与古老的 NNW 向断层的存在有关。受北侧稳定的阿拉善地块和塔里木地块的阻挡,青藏高原的北部发生向东的构造滑脱,在河西走廊地区造成左旋剪切。斜切河西走廊的 NNW 向断层是一个古老又有新活动的断层。由于挤压来源与 WS 侧,造成西南盘逆冲到东北盘之上,并发生向 WS 的掀斜。同时,沿着榆木山北缘断层,榆木山体向北逆冲和发生向南掀斜。两个方向的变形

形成了向北东弧形突出的榆木山,及其背后的地势较低,向西是与酒东盆地过渡的相对凹陷区。

参 考 文 献

- 1 李有利, 杨景春, 榆木山西端新生代低山丘陵成因分析. 地貌第四纪研究文集, 北京: 海洋出版社, 1996, 55- 58
- 2 冉勇康, 李志义, 尤惠川等, 河西走廊黑河口断层上的古地震及年代研究. 地震地质, 1988, 10(4): 118- 125
- 3 毓顺民, 陈志泰, 向光中等, 甘肃高台榆木山地区晚新生代活动断裂及断层陡坎. 现代地壳运动(5), 北京: 地震出版社, 1990, 146- 153
- 4 Tapponnier P, Meyer B, Avouae J P et al, Active thrusting and folding in the Qilian Shan, and decoupling between upper crust and mantle in northeastern Tibet. Earth and Planetary Science Letters, 1990, 97: 381- 403.
- 5 国家地震局地质研究所等, 祁连山—河西地区活动断裂带. 北京: 地震出版社, 1993
- 6 李有利, 李保俊, 杨景春等, 甘肃张掖黑河口断层晚更新世晚期以来的活动. 北京大学学报(自然科学版), 1995, 31(3): 351- 357
- 7 李保俊, 杨景春, 李有利等, 根据砾石风化圈厚度估算地貌年龄. 地理研究, 1996, 15(1): 11- 21
- 8 杨景春, 郑文涛, 李有利等, 河西走廊挤压构造盆地发育模式. 任美镛教授八十年华诞地理论文集, 南京: 南京大学出版社, 1993, 134- 141

ON THE TECTONIC LANDFORM OF THE YUMU MOUNTAIN, HEXI CORRIDOR, GAN SU PROVINCE

Li Youli Yang Jingchun Li Baojun Tan Lihua

(*Department of Geography, Peking University*)

Abstract The Hexi Corridor, located in the northeastern margin of the Qinghai-Tibetan plateau, is a foreland basin system formed by the northeastward push of the plateau. The Yumu mountain is a transverse highland between the Zhangye basin and Jidong basin in the system. Based on the field study of fault outcrops and landform deformations, combining with TL and ^{14}C ages, it is concluded that the north marginal fault of the Yumu mountain is a thrust with left-lateral slipping and the east marginal fault is a thrust with right-lateral slipping, and the Yumu Mountain developed from the resulting uplifting of the Yumu Mountain block along these faults.

Key words active fault, tectonic landforms, Yumu Mountain, Hexi Corridor

第 一 作 者 简 介

李有利,男,陕西扶风人,1965年4月生。1994年在北京大学获理学博士学位,现为北京大学城市与环境学系副教授,从事地貌学和第四纪地质学教学与科研工作。通讯地址:北京大学城市与环境学系 邮政编码:100871