

柴达木盆地西南缘狮子沟断裂 晚第四纪构造变形分析*

许建红^{1,2}, 惠旭辉¹, 程宏宾¹, 张晓亮¹, 尚思歧¹

(1. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要: 狮子沟断裂位于柴达木盆地西南缘英雄岭背斜南翼。对狮子沟断裂晚第四纪构造变形进行分析, 有助于理解该区长期的构造演化和地震地质灾害的评价。通过对该断裂带构造地貌调查、断层剖面和探槽研究, 得到以下认识: 狮子沟断裂是一条向 SW 方向逆冲的全新世活动断裂, 断裂的逆冲活动一部分沿着山前分支断层, 该分支错断了全新世早中期的冲洪相地层, 晚更新世中期以来的最小垂直活动速率为 $0.12 \sim 0.15 \text{ mm/a}$; 另一部分沿着盆地内隐伏分支断层活动, 形成次级褶皱隆起, 最近主要的一期构造活动发生在 $(97.93 \pm 7.98) \sim (59.43 \pm 3.42) \text{ ka}$ 间。这些晚第四纪构造变形单元分布在基岩山前以南约 750 m 的范围内, 因此, 在该区进行地震地质灾害评价时应考虑此类构造变形。

关键词: 柴达木盆地西南缘; 狮子沟断裂; 晚第四纪构造变形; 全新世活动断裂; 滑动速率

中图分类号: P315.241

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2018)01-0046-09

0 引言

柴达木盆地位于青藏高原北部, 地貌上分别被祁连山、东昆仑山和阿尔金山所围限; 构造上北东边界为祁连山—南山逆冲断裂带, 南边界为东昆仑山及其西部的祁漫塔格逆冲断裂带 (Tapponnier *et al.*, 1990), 北西边界为左行走滑的阿尔金断裂 (Avouac, Tapponnier, 1993; Tapponnier *et al.*, 2001; Yin *et al.*, 2002; 李海兵等, 2006)。新生代印度—欧亚板块碰撞产生的南北向挤压, 阿尔金断裂的推拉门式活动 (Yin *et al.*, 2002), 以及柴北缘、柴东和东昆仑逆冲断层系的活动, 造就了青藏高原内部巨大的柴达木盆地的形成和巨量沉积物的堆积, 在柴达木盆地内部形成一系列新生代的褶皱—逆冲断层系 (陈宣华等, 2010)。

位于柴达木复向斜西南缘的英雄岭背斜是柴达木盆地内新构造表现较为强烈的地区 (王桂宏等, 2004)。前人对该区的研究主要集中在柴达木盆地西部地区构造发育特征、盆地类型及成因机制、局部构造变形与发育演化、构造沉积特征及对阿尔金断裂走滑活动的响应等 (王桂宏等, 2004; 柳祖

汉等, 2006; 尹安等, 2007; 于福生等, 2011; 潘家伟等, 2015), 但针对该区的活动构造研究却很少。野外调查发现: 在狮子沟 II 号沟口西侧狮子沟断裂错断了全新世冲积地层, 山前 400 ~ 750 m 处发育与狮子沟背斜平行的次级褶皱隆起。根据这些线索, 本文将对狮子沟背斜南翼的狮子沟断裂开展构造地貌调查、断层剖面和探槽研究, 以理解该区的晚第四纪构造活动及变形特征。

1 地质构造背景

英雄岭所在的柴西地区构造变形以上地壳缩短为主 (尹安等, 2007)。狮子沟—油砂山背斜位于英雄岭构造南翼, 走向上自西向东可划分为狮子沟、油砂山、大乌斯 3 个构造变形段 (于福生等, 2011), 其中, 可将狮子沟构造变形段对应的山前断裂称为狮子沟断裂, 油砂山和大乌斯构造变形段对应的山前断裂称为油砂山断裂 (图 1)。在 1:400 万中国活动构造图 (邓起东, 2007) 上, 也将狮子沟—油砂山断裂合称为茫崖—油砂山断裂。

狮子沟背斜平面上呈弧形向 NE 凸出, 轴向 NW, 向南逐渐转为近 SN, 长约为 30 km, 宽约

* 收稿日期: 2017-03-20.

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (41590860) 资助.

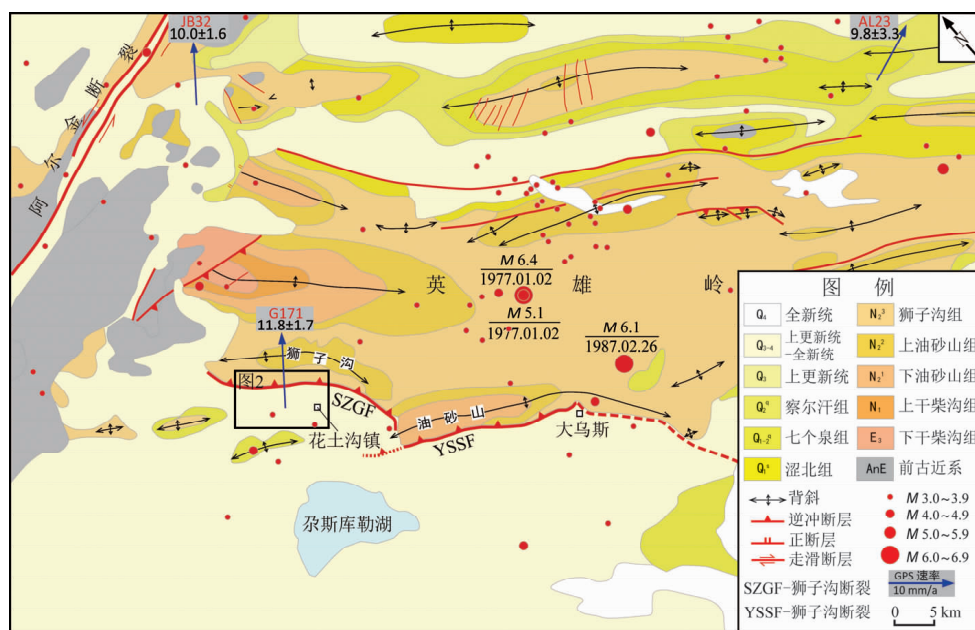


图1 英雄岭背斜及邻区地质构造示意图 (据潘家伟等, 2015)

Fig. 1 Geological sketch map of the Yingxiongling anticline and its nearby (modified from Pan *et al.*, 2015)

为7 km。背斜核部出露上油砂山组地层,两翼主要为狮子沟组地层,在褶皱的南翼盆地边缘第四系地层也已卷入变形。而油砂山背斜轴向NW,背斜核部出露下油砂山组地层。油砂山滑脱构造西端的地形隆起幅度较大,构造变形强烈,海拔高度达到了3 600 m,高出尕斯库勒湖凹陷约750 m;而往东构造变形减弱,逐渐倾伏于柴达木盆地。根据位于柴西地区的2条区域性地震-地质剖面,狮子沟-油砂山背斜是其中1个主要的基底卷入式断弯褶皱,具有断坡背形形态(尹安等,2007)。尕斯库勒湖地区构成了狮子沟-油砂山背斜及其下部逆冲断层的前陆盆地(尹安等,2007)。在狮子沟-油砂山背斜的前翼发育了一套与逆冲断层有关的生长地层层序,其形成时间开始于渐新世晚期上干柴沟组沉积的时候(35.5 Ma~23.3 Ma),在第四纪时表现得更为明显。这说明狮子沟-油砂山背斜的形成开始于渐新世,并一直持续到现在(尹安等,2007)。狮子沟-油砂山背斜代表了东昆仑山脉向北扩展的最年轻阶段,当向南仰冲的逆冲断层继续发展,油砂山将最终贴到祁漫塔格山之上(陈宣华等,2010)。

现今的GPS速度(Gan *et al.*, 2007)表明英雄岭构造在垂直于构造走向的SW38°方向上相对于尕斯库勒湖盆地存在1.8~3.5 mm/a的挤压运动(图1)。从历史地震(中国地震局震害防御司,

1999)的分布(图1)可以看出,大部分地震位于逆冲断裂的上盘基岩山区内,其中,包括多次中强历史地震,如1977年6.4级地震和1987年6.1级地震,而盆地内只有零散的小震。

2 晚第四纪构造变形

2.1 地貌特征

狮子沟断裂西起积极沟,往东经狮子沟、花土沟、游园沟,终止于油砂山附近,全长约30 km,总体呈NW向展布,倾向NE。受构造活动和地表侵蚀的影响,沿断裂带发育有平台和陡坎,形成高差可达30 m的线性分布的阶梯状地貌(图2,图3a);背斜南翼近山前1 km宽的地层近直立;盆地边缘的第四系地层也发生了明显的掀斜,倾角可达40°~60°;断裂带上基岩破碎易被侵蚀,从而沿断裂带形成了明显的槽地地貌(图2,3b);另外,狮子沟至花土沟段,在垂直距山前400~750 m处,发育有与狮子沟背斜近平行的次级褶皱隆起(图2,3c, d)。

2.2 狮子沟断层剖面

狮子沟断层剖面(狮I)位于花土沟镇北西约8 km、狮II沟口西侧(图2),地貌上处于山前冲洪积扇与基岩山的交接部位。剖面大体垂直于断裂走向,长约27 m,高处约8 m,低处约3 m(图

4a, b)。剖面揭露出 8 个地层单元 (图 4b), 特征如下, 其中测年过程由中国科学院地球环境研究所完成。

灰黄色含砾砂层 (U1), 主要为中粗砂, 层理

明显, 略向盆地方向 (SW) 倾斜。地层松散, 含有少量砾石, 砾径最大约 4 cm。该层粗砂样品 (SZG-1) 光释光测年结果为 (6.16 ± 0.52) ka, 属全新世地层。

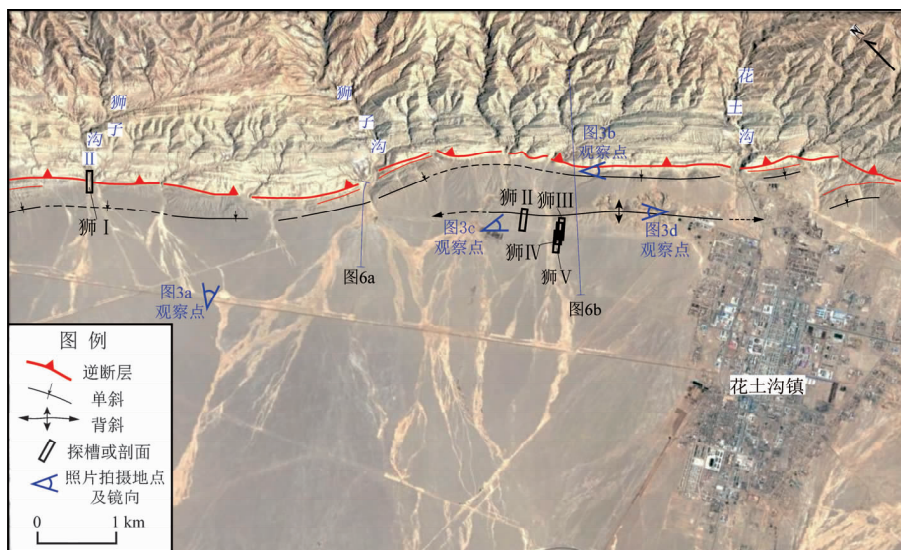


图 2 花土沟镇附近狮子沟断裂及山前褶皱展布图

Fig. 2 The Google earth image showing the distribution of the fault, fold, trenches, section of Shizigou fault nearby Huatugou town

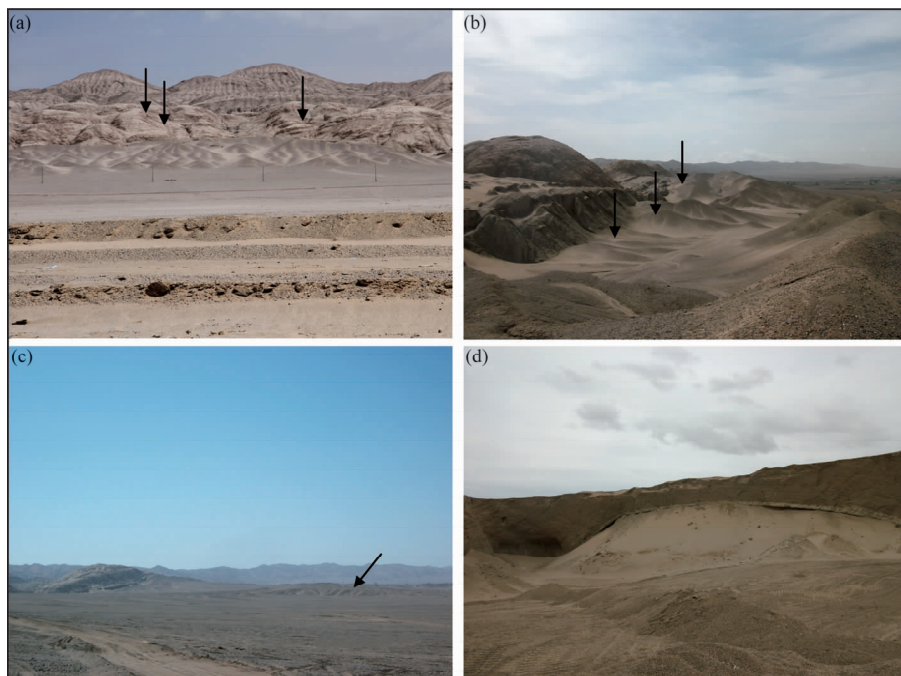


图 3 狮子沟断裂带阶梯状地貌 (a, 镜向 NE)、槽地地貌 (b, 镜向 SE)、山前盆地内褶皱隆起 (c, 镜向 E) 及其剖面 (d, 镜向 NW)

Fig. 3 The photos of stair-stepping landform (a, viewing to northeast), trough tectonic geomorphology (b, viewing to southeast) along the Shizigou fault zone, and photos of small anticline (c, viewing to east) and its cross section (d, viewing to northwest) in the frontal basin

灰黄色砂砾石层 (U2)，主要为砂砾石，层理明显，略向盆地方向 (SW) 倾斜。地层略有胶结，砾径最大约 7 cm。在该层的中上部取粗砂样品 SZG-2，光释光测年结果为 (32.63 ± 2.27) ka。在层 U2 的底部，与断层面的交接处，有一楔体地层 (图 4c, d)，杂色，楔体内的地层可分为截然不同的 2 套地层，上部为倾向南西、倾角约 30° 的砂砾层，下部为灰白色的中粗砂层。在楔体地层之下、层 U2 的底部取粗砂样品 SZG-3，光释光测年结果为 (39.97 ± 6.38) ka，说明为晚更新世的地层。

红褐色砂砾石层 (U3)，具层理，略向盆地方

向 (SW) 倾斜。泥砂质胶结，胶结程度较好。砾石分选磨圆较差，粒径最大约 14 cm。地层中夹有透镜体，岩性为中粗砂，厚约 15 cm，长约 1.5 m。在透镜体中取砂样 SZG-4，光释光测年结果为 (55.37 ± 6.67) ka。砾石沿断层面定向排列 (图 4c, d)。

灰白色砂岩 (U4)，中粗砂岩，强风化 - 完全风化，发育有微小裂隙面。

砂岩夹薄层泥岩 (U5)：泥岩为红褐色，中风化 - 强风化。砂岩为灰白色，强风化。地层倾向北东，倾角约 75° 。泥岩层面上顺层剪切擦痕明显 (图 4e)。

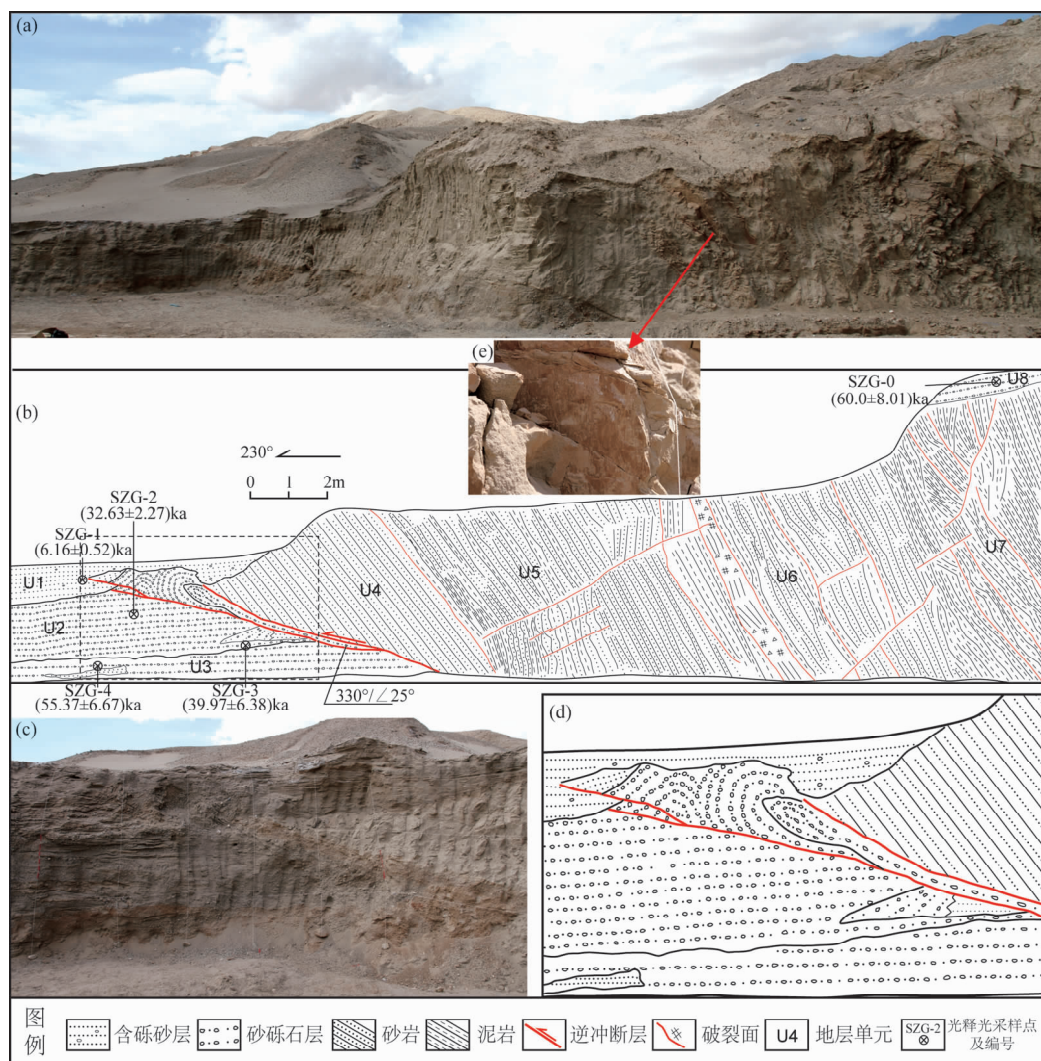


图4 狮子沟断层露头 (a, 镜向NW), 剖面素描图 (b), 断层剖面南东端的细节照片 (c) 素描图 (d) 以及泥岩地层上的顺层擦痕照片 (e)

Fig. 4 The Shizigou fault outcrop (a, viewing to NW), cross section (b), a detailed photo (c) and cross section (d) of the southeast segment of the cross section, and a photo of dipping striations on the mud formation surface (e)

砂岩夹薄层泥岩 (U6): 砂岩呈灰白色, 强风化。泥岩为红褐色, 泥岩多以断层面或破裂带形式存在。地层产状同层 U5。泥岩层面间的破碎带, 呈黑褐色。

红褐色泥岩 (U7), 中风化 - 微风化, 岩体较为破碎, 发育了多条破碎面。偶夹薄层砂岩。

红褐色砂砾石层 (U8), 该层不整合覆盖于新近纪地层之上, 岩性同层 U3 砂砾石层相近。该层取粗砂样品一个 SZG - 0, 光释光测年结果为 (60.0 ± 8.01) ka。

剖面揭示, 狮子沟断层为逆冲性质, 新近纪的 U4、U5、U6 和 U7 等砂泥岩地层向 SW 方向逆冲到晚第四纪的 U1、U2 和 U3 等冲洪积地层之上 (图 4a, b), 断层面产状为 $330^\circ/\text{NE} \angle 25^\circ$ 。断层上盘地层发生了倒转及强烈的顺层滑动变形, 并在第三系泥岩地层中形成了多条破裂面, 破裂带内泥岩破碎, 破裂面上顺层剪切擦痕明显 (图 4e)。断层下盘地层发育拖曳和揉皱变形现象, 表现为在断层面附近 20 ~ 30 cm 的窄条带内, U3 红褐色砂砾石层沿断层面被拖曳了至少 4.0 m, 层 U2 被挤压、揉皱, 层 U1 被错动、掀斜 (图 4c, d)。层 U8 为断层上盘不整合覆盖于新近纪的砂泥岩地层之上的红褐色冲洪积相的第四系砂砾石层, 其岩性特征同下盘的层 U3 相近, 地层的光释光测年结果也大致相近, 为距今约 (55 ~ 60) ka 的地层。持续的断层活动使得该地层随着上盘的新近纪地层一同抬升, 据野外实测, 层 U8 和层 U3 垂直位错量不小于 8.0 m。由此可估算出 (60.0 ± 8.01) ka 以来断层的最小垂直活动速率为 0.12 ~ 0.15 mm/a。

从断层剖面上可以看出, 在层 U2、层 U3 及断层面的交接处存在一个楔状的倾斜地层, 该楔状的地层具层理, 应是断层逆冲将上盘地层推覆在下盘地层之上或是逆冲活动之后上盘地层垮塌在下盘地层之上, 这在低角度的逆冲断层上尤为常见 (冉勇康等, 2012), 因而判定代表了一次古地震事件。根据楔体下方层 U2 底部地层的光释光测年结果 (39.97 ± 6.38) ka, 楔体上方层 U2 中部地层的光释光测年结果 (32.63 ± 2.27) ka, 可以推断这次事件发生距今约 40 ka。另外, 断层较新的活动影响到地表的层 U1, 明显错断其中下部地层, 断层上盘地层发生了倾斜、揉皱现象 (图 4c, d), 该处地层的光释光测年为 (6.16 ± 0.52) ka, 表

明断层的最新活动为全新世。

2.3 盆地边缘次级褶皱隆起变形

狮子沟与花土沟之间, 盆地边缘发育一次级褶皱隆起, 走向 SE, 长约 3.5 km, 宽约 400 m, 隆起幅度很低 (图 2), 变形的最新地层为晚第四纪灰色松散砂砾石层。为了解这种褶皱变形是连续的还是离散的, 笔者在褶皱隆起的南翼依次开挖了 4 个探槽。探槽东距花土沟镇约 2 km、北距山前约 700 m (图 2)。这 4 个探槽完整地揭露了该次级褶皱南翼的地层, 由老到新根据其倾角变化可分为 7 个地层单元 (U1, U2, ……, U7), 其中倾角相同而岩性差别明显的再进一步细分 (如 U6 - 1 和 U6 - 2)。在相邻的 2 套地层单元之间发育有生长地层, 至少可判别出 5 个生长地层。

狮子沟 II 号探槽 (狮 II, 图 5a) 揭露到了其中的 5 套地层, U1、U2、U3 和 U4 地层倾角较大, 倾向 SW, 与 U7 地层角度不整合接触。U1 地层位于剖面北段, 地层褶皱变形强烈, 地层近陡立, 倾角 $65^\circ \sim 80^\circ$, 倾角变化约 15° , 与 U2 地层角度不整合接触; U2 地层层理明显, 倾角约为 63° , 与 U3 地层交接处存在明显的生长地层, 从而导致地层倾角由 63° 突变为 47° , 倾角变化约 16° , 在 U3 地层内还发育一条次级正断层; U3 与 U4 地层存在同样的现象, 地层倾角由 47° 突变为 35° , 生长地层前后地层倾角变化约 12° 。从探槽的生长地层及地层之间的接触关系上可以看出探槽 U4 地层之前至少存在 3 期明显的构造活动, 另外从 U4 与 U7 地层之间的角度不整合关系上可以看出在 2 套地层之间也存在明显的构造活动, 只是在该探槽中尚未揭露出来。

为了揭露更新的构造活动信息, 笔者在该探槽相对的南西侧 (该探槽南西侧是占地宽约 50 m 的 3 条天然气管线, 因而将下一个探槽沿构造走向向 SE 移了约 430 m) 开挖了狮子沟 III 号探槽 (狮 III, 图 5b), 探槽揭露到的地层与狮子沟 II 号探槽南西端的 U4 地层一致, 地层倾角约为 35° 。因为两个探槽布设方向平行, 所以认为该探槽只揭露到了狮子沟 II 号探槽的 U4 地层, 未揭露到构造活动的信息。跳过天然气管线后, 在 III 号探槽的南西侧开挖狮子沟 IV 号探槽 (狮 IV, 图 5c), 探槽揭露的地层 U5 倾斜方向与 III 号探槽一致, 只是地层倾角约为 21° , 倾角相对于层 U4 变化了约 14° , 与狮子沟 II 号探槽中生长地层前后地层倾角突变的角度大小一

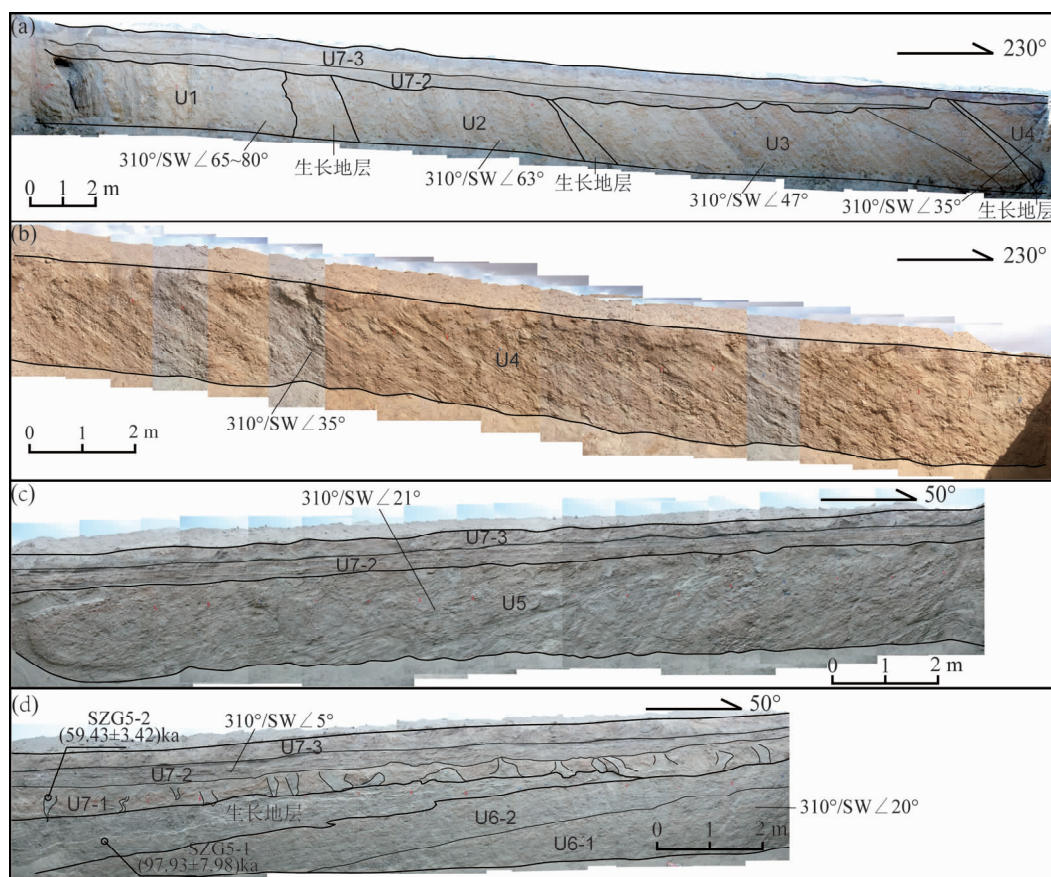


图5 狮子沟背斜山前盆地内褶皱隆起南翼开挖的Ⅱ (a)、Ⅲ号 (b) 探槽 SE 壁和Ⅳ (c)、Ⅴ号 (d) 探槽 NW 壁

Fig. 5 The four trenches on the south limb of fold uplift in basin southwest of the Shizigou anticline: southeast walls of No. II (a) and No. III (b) trenches, northwest walls of No. IV (c) and No. V (d) trenches

致，因此推测倾角发生突变的地层应位于天然气管线下方，说明在Ⅲ号与Ⅳ号探槽揭露的地层之间可能发生过一期明显的构造活动。

继续在Ⅳ号探槽的南西侧开挖狮子沟Ⅴ号探槽（狮Ⅴ，图5d），探槽揭露到了其中的2套地层。U6-1与U6-2地层以侵蚀面为界假整合接触，粒度大小及胶结程度有所差异，地层倾角约20°。U6-2地层顶部侵蚀明显，上覆向盆地方向加积增厚的一套生长地层，该套地层下部光释光测年结果为 (97.93 ± 7.98) ka。生长地层前后地层倾角变化约15°。U7-1、U7-2和U7-3地层与地表地形坡度大体一致，倾角约为5°，向盆地方向加积的现象不明显。U7-1地层为浅棕红色含粉质砂土及少量砾石的中细砂层，地层受过明显扰动，被上覆浅灰色松散含砾中细砂层侵入，光释光测年结果为 (59.43 ± 3.42) ka。其上的U7-2地层为松散的灰色砂砾石层，U7-3地层

为含粘土的砂层。说明该探槽揭露到了至少一期明显的构造活动。

3 讨论

狮子沟—油砂山背斜位于英雄岭构造南翼，走向上自西向东可划分为狮子沟、油砂山、大乌斯3个构造变形段。背斜的南翼发育有向SW方向逆冲的狮子沟—油砂山断裂，其中，狮子沟断裂段的活动在山前将新近纪地层逆冲到了晚第四纪冲洪积相地层之上。受狮子沟逆断裂—背斜活动的影响，在狮子沟山前断层SW侧发育有沿断裂带倾向SW的次级单斜及在山前盆地内狮子沟至花土沟段发育有与狮子沟背斜近平行的次级褶皱隆起，这与狮子沟布设的浅震人口地震反射剖面显示的山前反射层倾向SW和山前盆地内反射层轻微隆起是一致的（图6）。

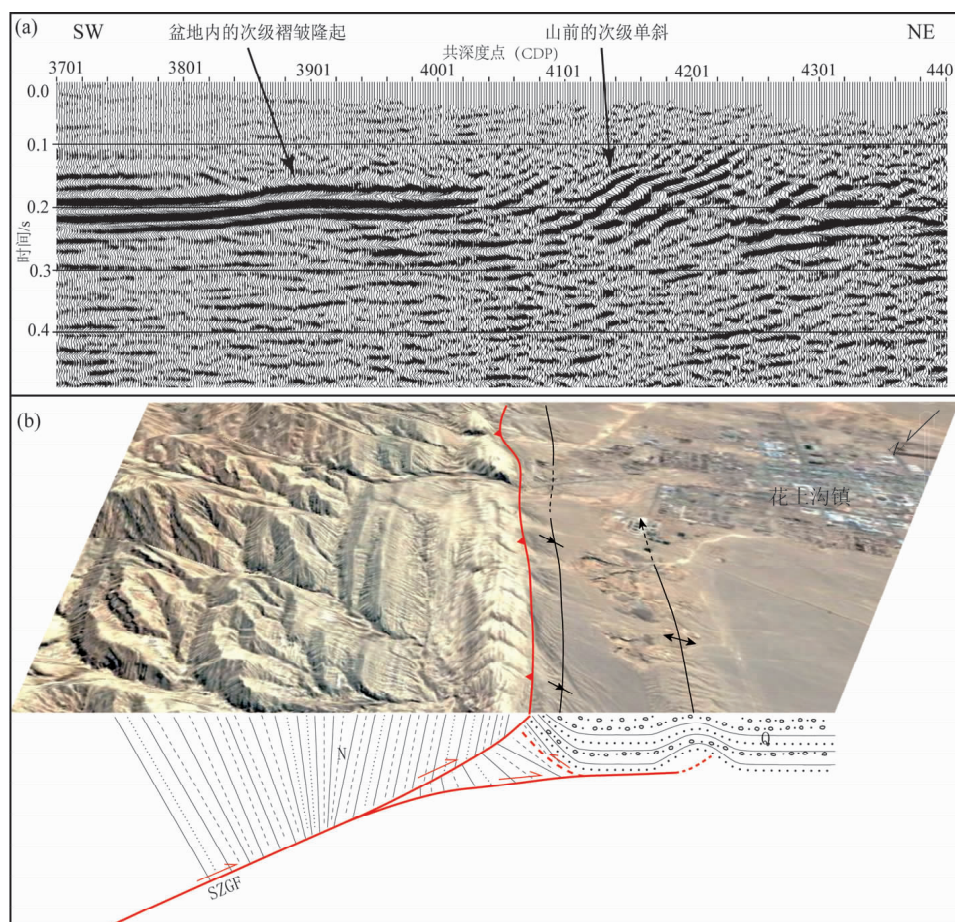


图6 狮子沟口处的浅层人工地震时间剖面图 (a) 和狮子沟背斜山前构造变形立体示意图 (b)

Fig. 6 The shallow artificial seismic profile of shizikou (a) and sketch map of the Shizikou anticline frontal tectonic deformation (b)

狮子沟山前断层剖面揭示, 狮子沟断裂为一条逆冲断裂, 断层面产状为 $330^{\circ}/NE \angle 25^{\circ}$, 将新近纪的地层向 SW 方向逆冲到晚第四纪的冲洪积相地层之上, 其中 (55 ~ 60) ka 的冲洪积砾石层垂直落差不小于 8.0 m, 可得到 (60.0 ± 8.01) ka 以来断层的最小垂直活动速率为 0.12 ~ 0.15 mm/a。探槽揭露到了至少 2 次古地震事件: 较老的一次事件在层 U2 底部形成一楔状地层。根据楔体地层上下的光释光测年结果可推断这次事件接近于 40 ka; 较新一次活动错断了光释光测年 (6.16 ± 0.52) ka 的地层, 表明断层的最新活动应为全新世。2 次古地震事件间隔的时间速率非常长, 一种可能是断层的活动速率非常低, 但从前文描述的断层地貌来看这种可能性较小; 另一种可能则是断层活动或发生地震时并不总是在山前这条分支断层上表现, 可能表现为其它分支断层的活动, 或者两者兼而有之。从盆地内褶皱变形的特征可以看出, 盆地内的确可

能存在分支断层, 而且该分支断层表现出了多期粘滑活动的特征。因而本文倾向于后一种解释。

距山前约 400 ~ 750 m 处的狮子沟至花土沟段发育有与狮子沟背斜近平行的次级褶皱隆起, 背斜南翼依次开挖的 4 个探槽揭露到 5 个生长地层, 生长地层前后的地层倾角陡变约 $12^{\circ} \sim 16^{\circ}$ 。倾角稳定的地层单元代表构造的平静期, 而生长地层则代表了构造的活动期 (Chen *et al.*, 2007; Leon *et al.*, 2007)。狮子沟 II 号探槽, 揭露出了地层 U4 之前至少存在 3 期明显的构造活动; 从狮子沟 III 号和 IV 探槽推测在 2 探槽揭露的地层之间也至少存在 1 期明显的构造活动。每期的构造活动使得小型背斜南翼的地层发生了明显的倾斜变形, 在倾斜变形过程中, 原地层遭受侵蚀, 新堆积地层向盆地方向不断加积, 形成楔形生长地层。背斜翼部系统性离散式的地层倾角突变暗示这种构造变形与背斜下伏隐伏断层粘滑活动关系更加密切, 即狮子沟断层在山前

盆地内存在隐伏活动的分支断层,断层粘滑活动使得山前盆地内的次级背斜缩短隆起,背斜翼部地层也随之发生系统性离散式的倾斜。从探槽揭露的多期离散式的生长地层可以看出狮子沟逆断裂-背斜带是第四纪以来一直在活动的构造。每一期的粘滑事件可能是由单一、震级很大的地震引起的,也可能是由在相对较短的时间内集中爆发的多次较小震级的地震引起的(Leon *et al.*, 2007)。如果生长地层的起始年龄代表了下伏地层倾斜的开始,而生长地层结束的年龄代表了下伏地层倾斜的结束,那么从最新的一期楔形地层上下的光释光测年结果可以得出:盆地内的分支断层或次级褶皱隆起最近主要的一期构造活动发生在 $(97.93 \pm 7.98) \sim (59.43 \pm 3.42)$ ka 间。

从以上分析可以看出,狮子沟断裂的逆冲活动一部分表现为山前分支断层活动,断层逆冲断错晚第四纪地层, (60.0 ± 8.01) ka 以来该分支断层的最小垂直活动速率为 $0.12 \sim 0.15$ mm/a; 而另一部分沿盆地内的隐伏断层活动,在地表表现为沿断裂带倾向 SW 的次级单斜及与狮子沟背斜近平行的盆地内次级褶皱隆起。这些变形构造分布在狮子沟山前断层以南约 750 m 的范围内,因此在该区进行地震地质灾害评价时,应考虑此类构造变形。

4 结论

本文对狮子沟背斜山前构造地貌进行调查,对狮子沟 II 号沟口西侧的断层剖面进行清理,并在山前盆地内次级褶皱隆起的南翼开挖了 4 个探槽,综合分析这些资料得到以下结论:

(1) 狮子沟 II 号沟口西侧的断层剖面揭露狮子沟断裂将新近纪地层逆冲到了晚第四纪地层之上,最新活动错断光释光测年 (6.16 ± 0.52) ka 的冲洪积地层,表明该断裂是一条向 SW 方向逆冲的全新世活动断裂。晚更新世中期以来该分支断层的最小垂直活动速率为 $0.12 \sim 0.15$ mm/a。山前盆地内的次级褶皱南翼开挖的探槽表明次级背斜南翼的多套楔形生长地层是由多期粘滑事件形成的,与盆地内分支断层的隐伏活动密切相关。从探槽揭露的最新一期生长地层的光释光测年结果可以得到盆地内的分支断层或褶皱隆起最近主要的一期构造活动发生在 $(97.93 \pm 7.98) \sim (59.43 \pm 3.42)$ ka 间。

(2) 狮子沟断裂的逆冲活动一部分表现为山前分支断层活动,断层逆冲断错晚第四纪地层;而另一部分沿盆地内的隐伏断层活动,在地表表现为沿断裂带倾向 SW 的次级单斜及与狮子沟背斜近平行的盆地内次级褶皱隆起。这些变形构造分布在狮子沟山前断层以南约 750 m 的范围内,因此在该区进行地震地质灾害评价时,应考虑此类构造变形。

参考文献:

- 陈宣华,党玉琪,尹安,等. 2010. 柴达木盆地及其周缘山系盆山耦合与构造演化[M]. 北京:地质出版社.
- 邓起东. 2007. 中国活动构造图(1:400)[M]. 北京:地震出版社.
- 李海兵,杨经绥,许志琴,等. 2006. 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,13(4):59-79.
- 柳祖汉,吴根耀,杨孟达,等. 2006. 柴达木盆地西部新生代沉积特征及其对阿尔金断裂走滑活动的响应[J]. 地质科学,41(2):344-354.
- 潘家伟,李海兵,孙知明,等. 2015. 阿尔金断裂带新生代活动在柴达木盆地中的响应[J]. 岩石学报,31(12):3701-3712.
- 冉勇康,陈立春,陈文山,等. 2012. 中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(2)——汶川地震地表变形特征与褶皱逆断层古地震识别[J]. 地震地质,34(3):385-400.
- 王桂宏,李永铁,张敏,等. 2004. 柴达木盆地英雄岭地区新生代构造演化动力学特征[J]. 地学前缘,11(4):417-423.
- 尹安,党玉琪,陈宣华,等. 2007. 柴达木盆地新生代演化及其构造重建——基于地震剖面的解释[J]. 地质力学学报,13(3):193-211.
- 于福生,王彦华,李学良,等. 2011. 柴达木盆地狮子沟—油砂山构造带变形特征及成因模拟[J]. 大地构造与成矿学,35(2):207-215.
- 中国地震局震害防御司. 1999. 中国近代地震目录(公元 1912 年—1990 年, $M_s \geq 4.7$)[M]. 北京:中国科学技术出版社.
- Avouac J P, Tapponnier P. 1993. Kinematic model of active deformation in Asia[J]. Geophysical Research Letters, 20(10):895-898.
- Chen W S, Lee K J, Lee L S, *et al.* 2007. Paleoseismic evidence for coseismic growth—fold in the 1999 Chichi earthquake and earlier earthquakes, central Taiwan[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 31(3):204-213.
- Gan W J, Zhang P Z, Shen Z K, *et al.* 2007. Present—day crustal motion within the Tibetan Plateau inferred from GPS measurements[J]. Journal of Geophysical research, 112(B8):582-596.
- Leon L A, Christofferson J F, Dolan J H, *et al.* 2007. Earthquake—by—earthquake fold growth above the Puente Hills blind thrust fault, Los Angeles, California: Implications for fold kinematics and seismic hazard[J]. Journal of Geophysical research, 112(B3):485-493.
- Tapponnier P, Meyer B, Avouac J P, *et al.* 1990. Active thrusting and folding in the Qilian Shan, and decoupling between upper crust and mantle in northeastern Tibet[J]. Earth and Planetary Science Letters, 97(3-4):382-403.

Tapponnier P, Xu Z, Roger F, *et al.* 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet plateau[J]. *Science*, 294(5547):1671–1677.

Yin A, Rumelhart P E, Butler R, *et al.* 2002. Tectonic history of the Altyn

Tagh fault system in northern Tibet inferred from Cenozoic sedimentation[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 114(10):1257–1295.

Analysis on Late Quaternary Tectonic Deformation of the Shizigou Fault, Southwestern Margin of the Qaidam Basin

XU Jianhong^{1,2}, HUI Xuhui¹, CHENG Hongbin¹, ZHANG Xiaoliang¹, SHANG Siqu¹

(1. *The Second Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

(2. *Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China*)

Abstract

The Shizigou fault situates at the south limb of Yingxiongling uplift in the Southwestern Margin of Qaidam Basin. It is significant to analyze late quaternary tectonic deformation of the fault for hazard mitigation and understanding tectonic deformation in this zone. By investigating the Shizigou anticline frontal tectonic geomorphology, we have cleared a fault profile on the west side of the Shizigou No. II gully mouth, and excavated four trenches in the southwest limb of the small anticline in the frontal basin. Based on these data, we focus on analyzing the late quaternary tectonic deformation of the fault zone. The results show that the Shizigou fault is a Holocene active fault with southwest – verging reverse motion. The slip of the Shizigou fault can be divided to two parts. One part expresses along the boundary between basin and Shizigou anticline which offsets early – middle Holocene formation. The minimum of vertical slip rate of this branch of fault is about 0.12 ~ 0.15 mm/a since middle period of late Pleistocene. And the other part transports into basin which produce some small monoclines and small anticlines southwest of the Shizigou fault. The most recent one – stage stick – slip event likely occurred between (97.93 ± 7.98) ka and (59.43 ± 3.42) ka. These tectonic deformation units display about 750 m south of the Shizigou fault and should be taken into consideration when seismic safety evaluation is carried out in this area.

Keywords: southwestern margin of Qaidam Basin; Shizigou Fault; Late quaternary tectonic deformation; Holocene fault; slip rate