

银川盆地东南缘面子山—清水营断裂活动性

武治群, 雷启云, 杜 鹏, 刘 超, 邵 祯, 李泽山

Activity of the Mianzishan Qingshuiying Fault in the Southeast Margin of the Yinchuan Basin

Wu Zhiqun, Lei Qiyun, Du Peng, Liu Chao, Shao Zhen, and Li Zeshan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2023-154>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

武治群, 雷启云, 杜鹏, 等. 银川盆地东南缘面子山—清水营断裂活动性 [J]. 地震科学进展, 2024, 54(1): 45-56. doi:10.19987/j.dzcxjz.2023-154

Wu Z Q, Lei Q Y, Du P, et al. Activity of the Mianzishan-Qingshuiying fault in the southeast margin of the Yinchuan basin[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2024, 54(1): 45-56. doi:10.19987/j.dzcxjz.2023-154

学术论文

## 银川盆地东南缘面子山—清水营断裂活动性

武治群 雷启云\* 杜鹏 刘超 邵祯 李泽山

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏银川 750001)

**摘要** 研究银川盆地的构造活动特征对于认识青藏、鄂尔多斯和阿拉善 3 大地块的相互作用具有重要意义。银川盆地东南缘的面子山—猪头岭一带地形高差显著, 影像上线性明显, 可能发育一条未知的活动断裂。本文沿面子山—清水营一线开展了野外地质调查、探槽开挖和地层年代测试等工作, 结果表明: 银川盆地东南缘发育面子山—清水营断裂, 全长 50 km, 以猪头岭北为界, 分为面子山断层和清水营断层两段。面子山断层以高角度正断为主, 断层擦痕显示具有左旋走滑运动, 走向北东, 跨断层数条冲沟显示具有左旋扭动特征; 而清水营断层则表现为逆断层, 走向北东东, 发育陡坎地貌。该断裂断错了  $(23.65 \pm 1.17)$  ka BP 和  $(33.16 \pm 1.82)$  ka BP 的沉积地层, 表明断裂最新活动时代为晚更新世晚期。该断层的发现表明, 鄂尔多斯地块的西北边界复杂, 构造变形带较宽, 且不严格的受控于断陷盆地的边界断裂, 其构造变形已扩张到地块一侧, 这可能与青藏高原持续向东北向的推挤扩展有关。

**关键词** 银川盆地; 面子山—清水营断裂; 鄂尔多斯活动地块; 断层活动性

中图分类号: P315.2 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2024)01-0045-12

doi: 10.19987/j.dzcxjz.2023-154

## Activity of the Mianzishan-Qingshuiying fault in the southeast margin of the Yinchuan basin

Wu Zhiqun, Lei Qiyun, Du Peng, Liu Chao, Shao Zhen, Li Zeshan

(Earthquake Agency of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Yinchuan 750001, China)

**Abstract** Studying the tectonic activity characteristics of the Yinchuan basin is of great significance for understanding the interaction among the three major blocks of Qinghai Tibet, Ordos and Alxa. The terrain elevation difference in the Mianzishan-Zhutouling area on the southeastern margin of the Yinchuan basin is significant, and the linear trace on satellite image is obvious, indicating the development of an unknown active fault. This article conducted field geological surveys, trench excavation and stratigraphic dating along the Mianzishan-Qingshuiying line. The results showed that the

收稿日期: 2023-11-01; 采用日期: 2023-12-08。

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2022AAC03688)和宁夏重点研发项目(2018BFG02012)共同资助。

第一作者: 武治群(1979-), 男, 工程师, 主要从事工程地震、活动构造方面的研究。E-mail: 672109189@qq.com。

\* 通信作者: 雷启云(1981-), 男, 正高级工程师, 主要从事活动构造、地震构造方面的研究。E-mail: leiqy624@163.com。



linear trace along the Mianzishan-Qingshuiying line had been dominated by fault, which was developed on the southeastern margin of the Yinchuan basin with a total length of 50 km. It is divided into two segments, the Mianzishan fault and the Qingshuiying fault. The Mianzishan fault is mainly characterized by high angle normal faults, the scratches on the fault surface show a sinistral strike slip motion, heading northeast, several gullies across the fault layer display left-handed twisting characteristics. The Qingshuiying fault, on the other hand, exhibits a reverse fault trending NEE, developing steep slope landforms. The fault has displaced sedimentary strata deposited at  $(23.65 \pm 1.17)$  ka BP and  $(33.16 \pm 1.82)$  ka BP, indicating its latest activity was postdated by Late Pleistocene. The discovery of this fault indicates that the boundary of the northwestern Ordos block is a complex zone associated with a wide structural deformation zone. This zone is not strictly controlled by the boundary faults of Yinchuan basin, but expanded to interior of the Ordos block, which may be related to the continuous northeast pushing and expansion of the Qinghai Tibet Plateau.

**Keywords** Yinchuan basin; Mianzishan-Qingshuiying fault; Ordos active block; fault activity

## 0 引言

鄂尔多斯地块是中国大陆内部最稳定的活动地块之一,在地质历史期间表现非常稳定,地块内部没有明显的变形作用且鲜有地震发生,仅表现为整体性的升降和掀斜运动<sup>[1-2]</sup>,破坏性地震多发生在其周缘边界上。鄂尔多斯活动地块周缘除西南边界外,发育由系列正断层控制的断陷盆地。一般认为,以地块相邻的盆地边界断裂为界,构造变形和地震活动发生在断陷盆地一侧,而地块内部保持稳定<sup>[3-4]</sup>。

银川断陷盆地位于鄂尔多斯地块西北缘,新生代以来处于拉张环境,沉积了巨厚的新生界,东西两侧受黄河断裂与贺兰山东麓断裂控制,盆地内发育多条正断层<sup>[5-14]</sup>。黄河断裂是鄂尔多斯地块与银川断陷盆地的边界,断裂之东为鄂尔多斯地块内的灵盐台地,海拔高出银川盆地二三百米,长期处于剥蚀状态,台地上松散沉积物厚度小于 10 m<sup>[15-16]</sup>。在台地上,面子山、猪头岭等低山沿北东方向展布,西侧沙地、沙丘广布,两侧地形高差显著,南段约 40~50 m,往北变小,为十余米,影像上线性明显,推测可能受断层控制。

前人对银川盆地内部的活动断裂开展了大量的研究工作,但对银川盆地东南缘的工作尚且不足。以前工作中在狼皮子梁附近发现了断层面,在宁东镇秃葫芦墩至清水营一线,有一线性延伸的地形陡坎,调查初步判定为正断层,推测晚更新世以来没有活动,对该断裂未开展过深入研究。本次工作将对此断裂开展野外调查及开挖探槽,鉴定其断层活动性。

## 1 区域地震地质环境

研究区位于银川盆地东南部,是青藏高原与鄂尔多斯块体的交汇部位,区域上分别受两类构造体

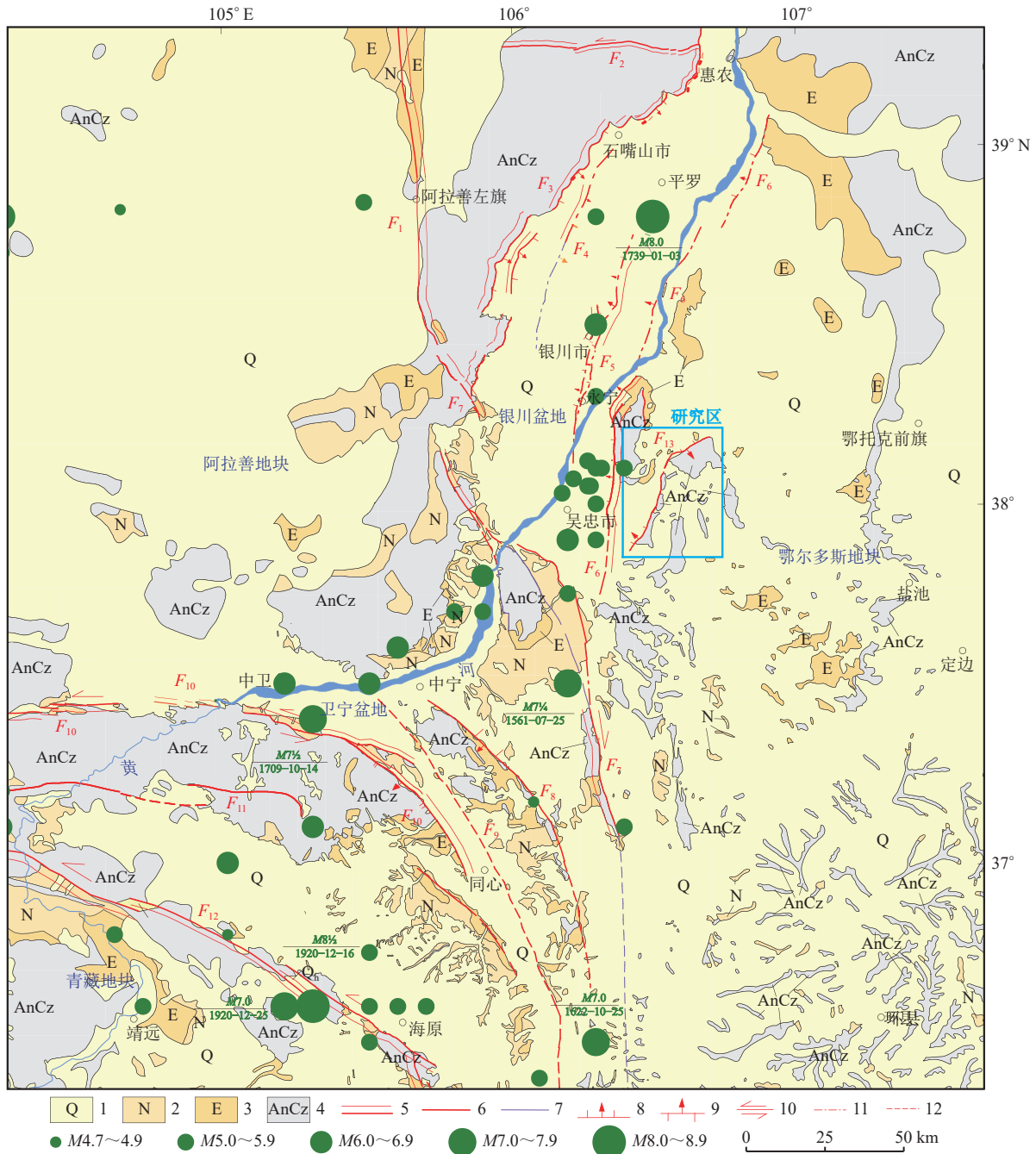
系控制:一类为银川断陷系构成的北东向、或近南北向的张性正断层,这些断层形成于始新世<sup>[9]</sup>,控制着银川盆地的东西边界和现今的第四纪沉降中心;另一类为青藏高原东北隅的弧形构造系,该断裂系成熟于中新世以来,主要表现为由次级断块差异滑动形成的走滑断层<sup>[17-18]</sup>,平面上表现为一系列北西西至北西向,呈向北东突出的弧形,其中在银川盆地西南缘为弧形断裂带最外围的三关口—牛首山断裂(图 1)。

银川盆地位于中朝准地台中鄂尔多斯西缘拗陷带内,新生代以来,在太平洋板块的西向俯冲和青藏高原北东向扩展的共同作用下,银川盆地于始新世开始裂解,沉积了自始新世到第四纪以来所有的地层,盆地内沉积层厚度达万米<sup>[16,19-20]</sup>。在新构造分区中,该盆地作为鄂尔多斯周缘一系列断陷盆地之一,处在青藏块体、阿拉善块体和鄂尔多斯块体的交汇部位,构造活动十分强烈,历史上发生过 1739 年银川—平罗 8 级地震和 10 多次 5~6 级地震<sup>[21]</sup>。

新生代以来,在印—亚板块碰撞作用下,青藏高原持续隆起,且不断向北东扩展,受北侧阿拉善块体和东侧鄂尔多斯块体的阻挡,在高原的东北隅形成 3 条主要的弧形断裂系:海原—六盘山弧形断裂带、香山—天景山—庙山弧形断裂带和三关口—牛首山—罗山弧形断裂带。在这些弧形断裂系内先后发生过 1561 年中宁鸣沙 7½ 级地震、1709 年中卫 7½ 级地震和 1920 年海原 8½ 级地震等。

## 2 断裂的几何结构

面子山—清水营断裂南起长流水南侧地貌陡坎,向北展布于狼皮子梁西面子山山前,向北继续沿面子山、六道沟梁、猪头岭山前展布,走向 20°~40°,



1: 第四系; 2: 新近系; 3: 古近系; 4: 前新生代; 5: 全新世活动断层; 6: 晚更新世断层; 7: 早、中更新世断层; 8: 正断层; 9: 逆断层; 10: 走滑断层; 11: 隐伏断层; 12: 推测断层;  $F_1$ : 巴彦浩特断裂;  $F_2$ : 正谊关断裂;  $F_3$ : 贺兰山东麓断裂带;  $F_4$ : 芦花台隐伏断裂;  $F_5$ : 银川隐伏断裂;  $F_6$ : 黄河断裂;  $F_7$ : 三关口—牛首山—罗山断裂带;  $F_8$ : 烟筒山断裂;  $F_9$ : 清水河断裂;  $F_{10}$ : 中卫—同心断裂带;  $F_{11}$ : 五佛寺—窑洞水断裂;  $F_{12}$ : 海原断裂带;  $F_{13}$ : 面子山—清水营断裂

图 1 区域地质构造图<sup>[1-3, 15, 17-18, 21]</sup>

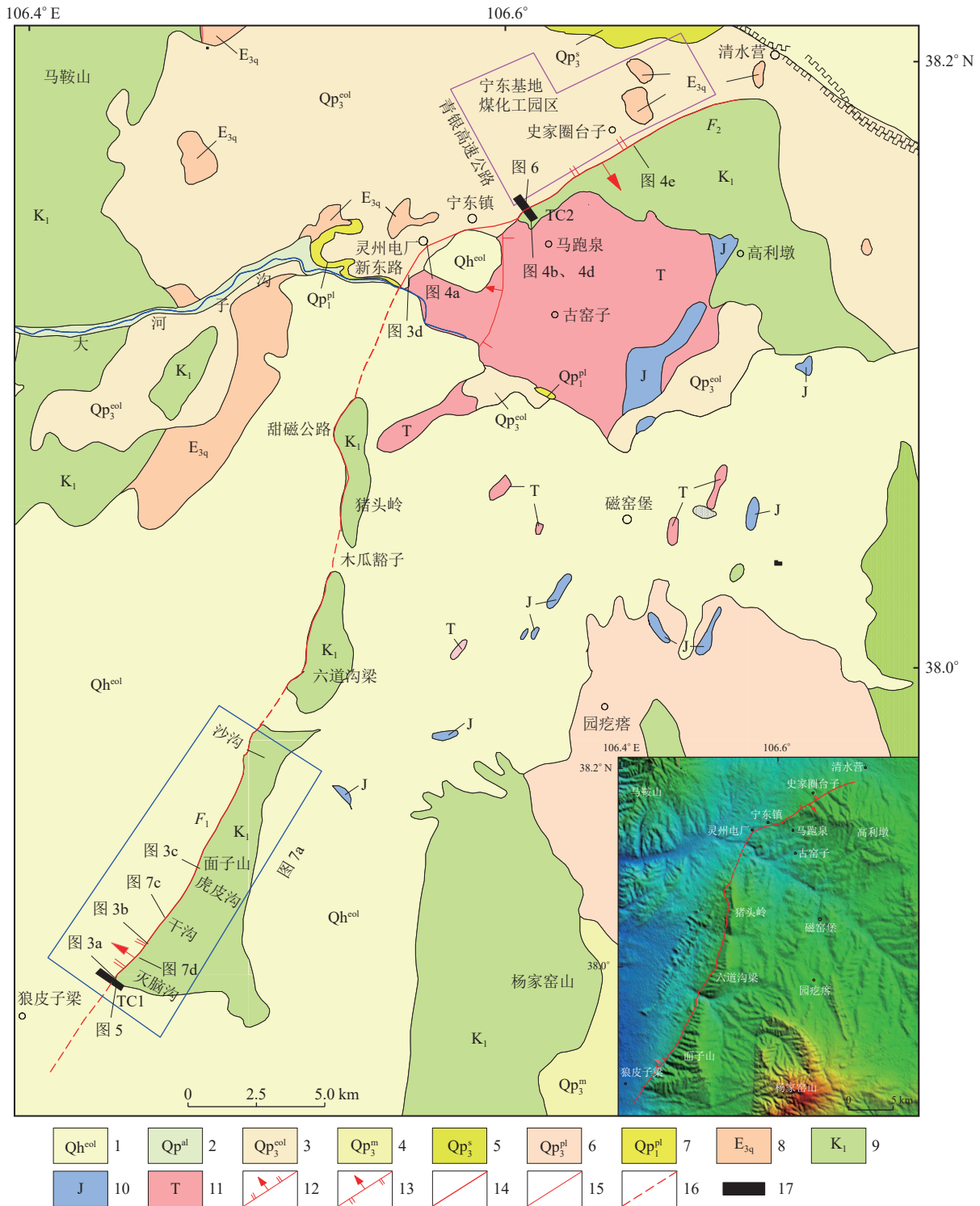
Fig. 1 Regional geological structure map<sup>[1-3, 15, 17-18, 21]</sup>

过宁东镇新东路后, 走向转为 60°左右, 过马跑泉西, 沿山前向北东方向延伸至清水营南。继续向北, 地貌上已无迹象, 断层长约 50 km(图 2)。第四纪以来地表出露的断层迹线总体呈向北西凸出的弧形,

断续出露。从几何结构和活动性分析, 将断层分为面子山断层和清水营断层两段。

### 2.1 面子山断层

该段断层分布于面子山、六道沟梁、猪头岭一线



1: 全新统风积层; 2: 全新统冲积层; 3: 上更新统风积层; 4: 马兰黄土; 5: 上更新统水洞沟组; 6: 上更新统洪积层; 7: 下更新统砾岩; 8: 渐新统清水营组; 9: 下白垩统; 10: 侏罗系; 11: 三叠系; 12: 正断层; 13: 逆断层; 14: 晚更新世活动断层; 15: 前第四纪断层; 16: 推测断层; 17: 探槽; 角图为研究区 DEM 图

图2 面子山—清水营断裂分布图<sup>[15]</sup>

Fig. 2 Geometry of Mianzishan-Qingshuiying fault<sup>[15]</sup>

山体西侧山前, 长约 37 km。走向约 20°~40°, 陡坎地貌明显, 断层东侧为白垩系灰白色砾岩山体, 地表有零星的风积沙分布, 断层西侧为山前洪积台地, 向

西缓倾, 地表沙丘广布。断层两侧高差约 40~50 m, 向北逐渐变小, 过猪头岭至大河子沟段, 地表被风积沙覆盖, 地貌上未见迹象。

狼皮子梁东, 有一垃圾填埋场, 原为采砂场, 砂坑西侧见一残留白垩系基岩陡壁(图 3a), 陡壁光滑平直, 判断应为断层面, 产状  $323^{\circ}\angle 84^{\circ}$ 。其上见擦痕, 擦痕沿断面向下, 表明断层可能有左旋走滑运动性质。在灭脑沟北, 一无名冲沟沟口, 见高约 6.3 m 陡坎(图 3b), 陡坎两侧均为第四系冲洪积物, 地表覆盖风积砂, 位置与山体西缘地貌陡坎一致, 推测应为断层活动所致。在虎皮沟北, 一冲沟沟口见基岩出露, 边缘处岩层陡立(图 3c), 为断层破碎带, 宽约 2~3 m, 断层产状  $260^{\circ}\angle 61^{\circ}$ , 基岩与第四系之间未见清晰滑动面。

木瓜豁子发育冲沟, 地表多为风积沙覆盖, 地貌上有陡坎, 沟内见基岩出露, 可见基岩产状  $135^{\circ}\angle 16^{\circ}$  逐渐变化到  $110^{\circ}\angle 31^{\circ}$ , 西侧为风积沙, 未见断面出露, 根据岩层变化及地貌陡坎推测断层通过该处。猪头岭西, 甜磁公路北侧, 公路施工揭露白垩系砾岩剖面, 剖面上发育逆断层, 断层产状  $100^{\circ}\angle 64^{\circ}$ , 产状与另几个断点不一致, 且地貌陡坎在该点以西, 推测断层在两侧陡坎处。

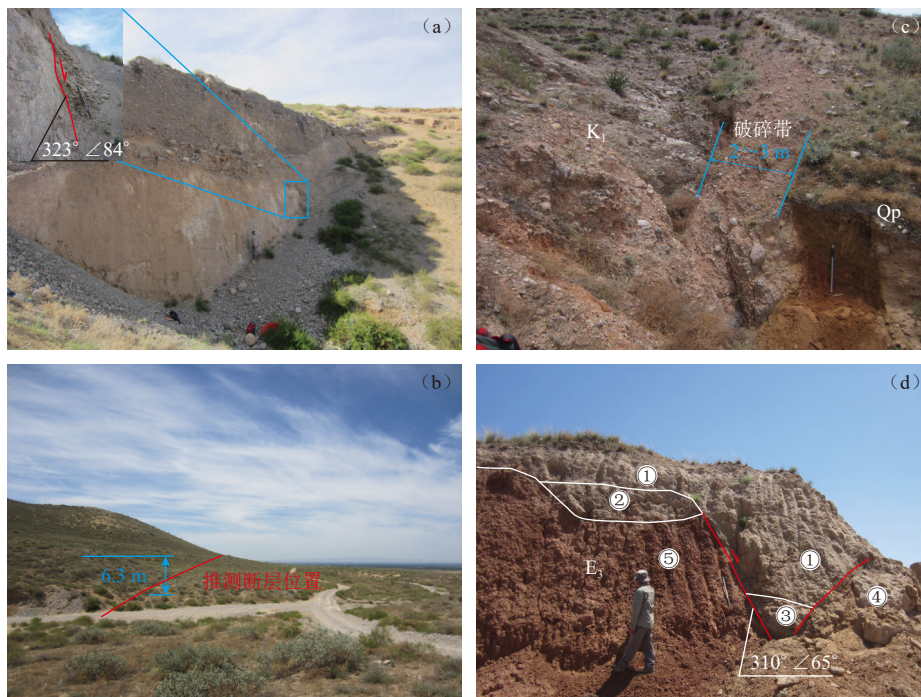
过大河子沟后, 新东路南见断层剖面(图 3d), 断层产状  $310^{\circ}\angle 65^{\circ}$ , 断层东侧底部为棕红色泥岩, 其

上有黄灰色砾岩, 表层为黄土, 地表见砾石; 西侧为第四系堆积物, 下部为砂砾石层、砂岩, 上部为黄土。

## 2.2 清水营断层

南起宁东镇新东路北, 过青银高速公路后, 沿地貌陡坎展布, 清水营南, 线性陡坎已消失, 断层可能终止, 断层全长约 13 km, 走向约为  $60^{\circ}$ 。

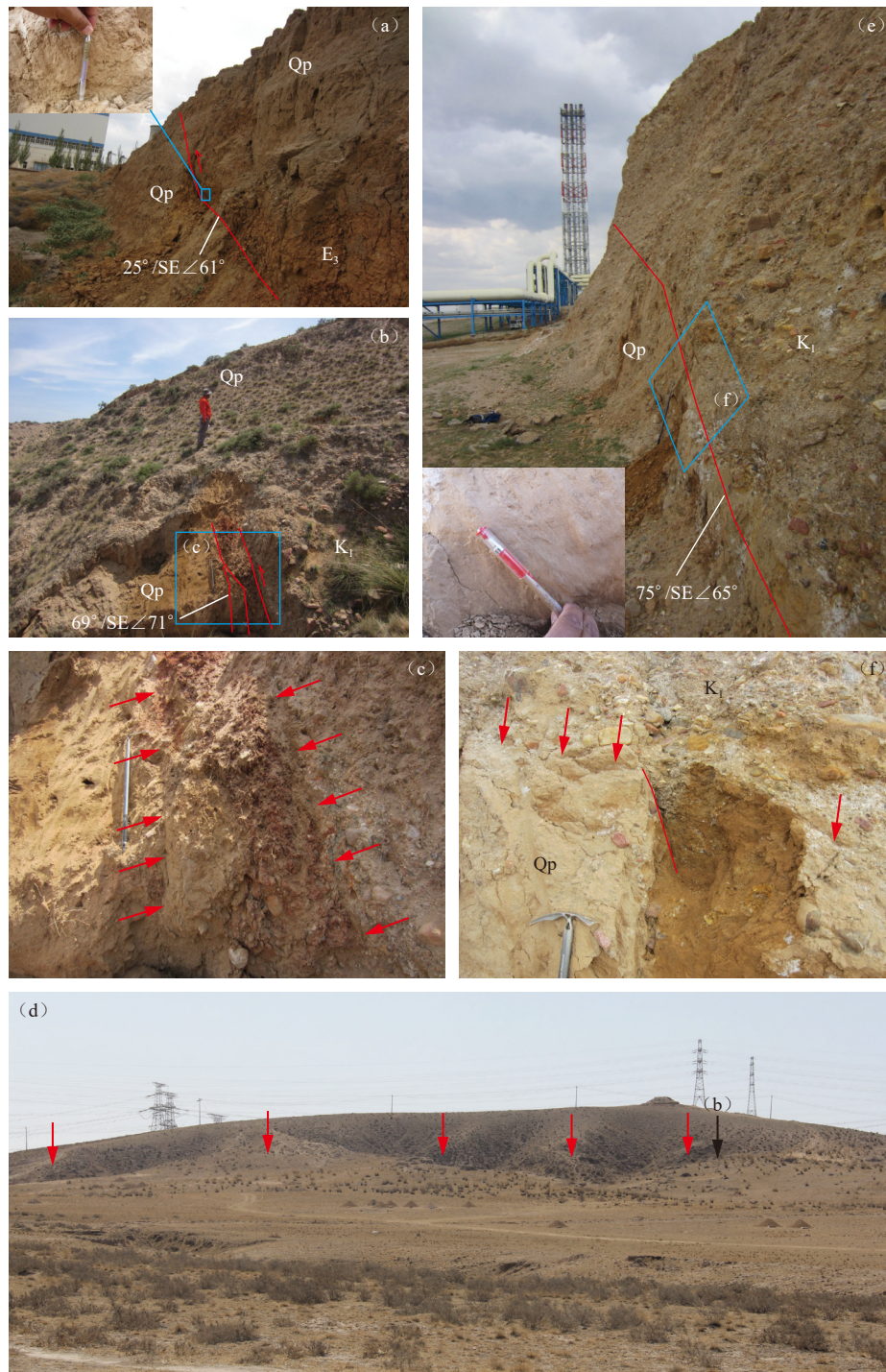
断层过新中路后, 南东盘向北西盘逆冲, 地貌上有陡坎显示, 灵州电厂东南见断层出露(图 4a), 尽管剖面走向和断层走向夹角较小, 但仍可观察到断层面的存在, 古近系清水营组桔红色泥岩沿着断面向北西逆冲于上更新统黄土之上, 断层产状  $25^{\circ}/SE\angle 61^{\circ}$ , 断面上见可见断层擦痕, 表明断层也具有水平运动性质。在马跑泉西秃葫芦墩附近, 发育线性陡坎地貌(图 4d), 陡坎东侧山体由白垩系砾岩组成, 西侧则为上更新统黄土, 在一冲沟内见断层面出露(图 4b), 该剖面方向与断层走向夹角较小, 但仍可观察到断层面及破碎带, 断层破碎带内见红色泥岩, 断层面产状  $69^{\circ}/SE\angle 71^{\circ}$ , 表现为南东倾向的逆断层, 白垩系砾岩逆冲于上更新统黄土之上, 且黄土层内有断错迹象(图 4c)。在史家圈台子东, 工程施工开挖后遗留陡坎(图 4e), 陡坎上部为白垩系灰白



(a) 狼皮子梁西垃圾填埋场断层面(镜向南东); (b) 虎皮沟北基岩破碎带(镜向南); (c) 灭脑沟北冲沟沟口断层陡坎(镜向南); (d) 宁东镇新东路南断层剖面(镜向南); ①: 黄土, 顶部有砾石; ②: 黄灰色砾岩; ③: 砂砾石层; ④: 灰白色砂岩; ⑤: 棕红色泥岩

图 3 面子山断层野外照片

Fig. 3 Field photos of the Mianzishan fault



(a) 灵州电厂东南断层面(镜向北东); (b) 秃葫芦墩断层剖面(镜向北东); (c) 秃葫芦墩断层剖面破碎带(镜向北东); (d) 秃葫芦墩断层地貌陡坎(镜向南东); (e) 史家圈台子东断层面(镜向北东); (f) 史家圈台子东断层面局部照片(镜向南东)

图4 清水营断层野外调查照片

Fig. 4 Photos of field survey in the Qingshuiying fault

色砾岩,下部为黄土,揭露接触面见砾岩向黄土层逆冲,黄土挤压呈片状(图4f),断层产状  $75^{\circ}/SE \angle 65^{\circ}$ 。在陡坎南端,断面上见擦痕,擦痕侧伏角  $55^{\circ}$ ,侧伏向  $10^{\circ}$ ,指示断层有左旋走滑运动。

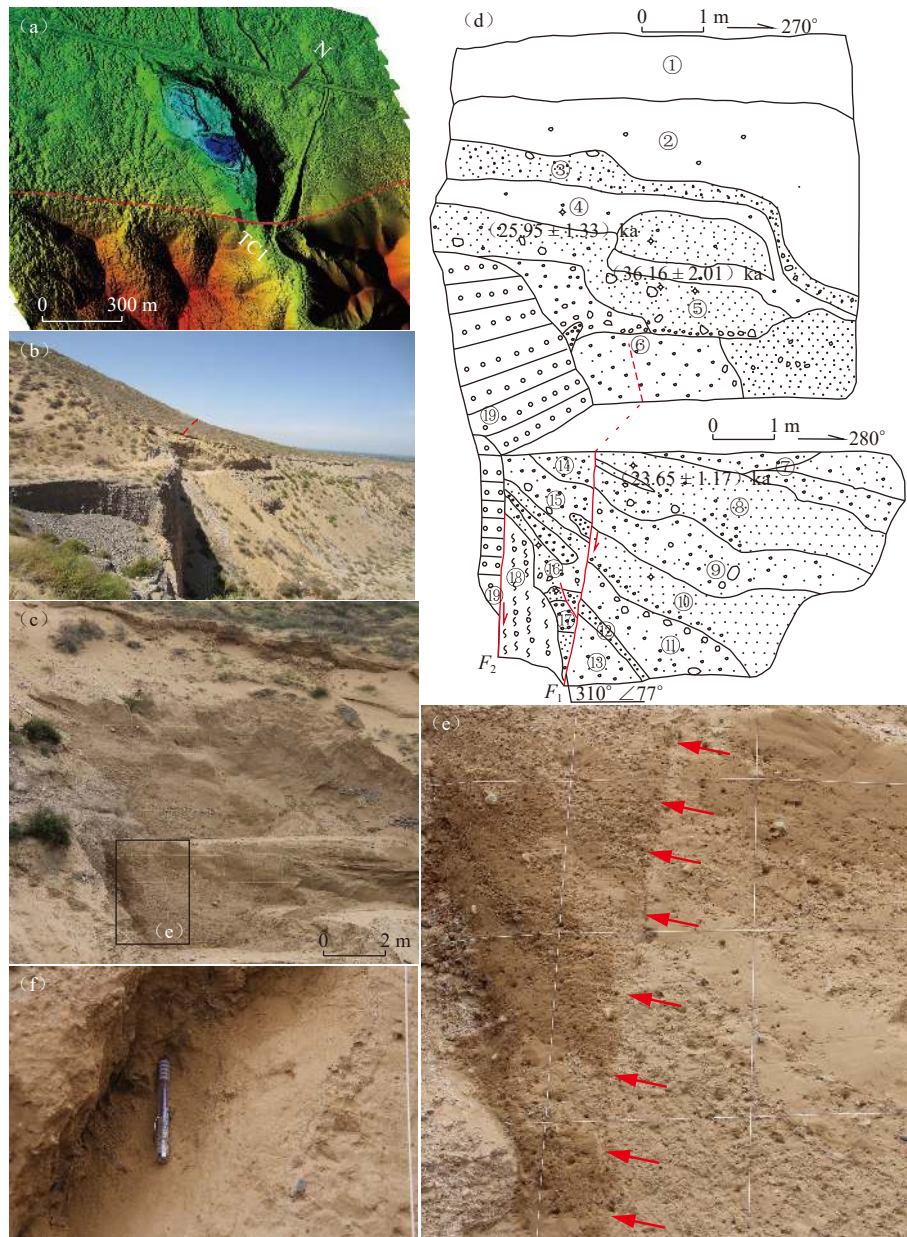
史家圈台子以北,陡坎逐渐变缓,且近年来宁东基地煤化工园区施工,断层陡坎已难辨识,至清水营南,陡坎已完全消失,断层可能已不再向北东延伸。

### 3 断裂活动时代鉴定

#### 3.1 狼皮子梁探槽(TC1)

狼皮子梁东, 见基岩断层面, 断面延伸处, 地貌

上形成陡坎(图 5b), 地表多为风积沙覆盖。该处使用精灵 4RTK 无人机进行影像摄影测量, 搭载了大疆制造的 FC6310R 型号的相机, 飞行高度为 120 m、航向和旁向的重叠度均为 80%, 拍摄照片 1419 张, 利



(a) 探槽附近范围 DEM 图; (b) 探槽处断层地貌陡坎(镜向南); (c) 探槽全景照片(镜向南); (d) 探槽剖面素描图; (e) 断层断错砾石层(镜向南); (f) 断层擦痕; ①: 土黄色风积沙; ②: 土黄色粉细砂, 偶含砾; ③: 土黄粉细砂、砾; ④: 灰白色粉细砂、粉土, 质硬, 偶含砾, 夹黄灰色粉细砂层; ⑤: 黄灰色、浅红色粉细砂、砾; ⑥: 黄灰色砾砂, 底部隐约可见斜层理; ⑦: 黄灰色、灰白色砂砾石、粉细砂; ⑧: 黄灰色粉细砂, 底部含砾; ⑨: 灰白色砾砂; ⑩: 黄灰色粉细砂, 底部夹一砾石薄层; ⑪: 灰白色砂砾; ⑫: 灰白色细砾; ⑬: 黄灰色砾砂; ⑭: 黄灰色砾砂; ⑮: 灰白色砂砾, 含细砾透镜体; ⑯: 黄灰色含砾粉细砂, 夹砾石层透镜体; ⑰: 黄灰、灰白色砂砾夹粉细砂; ⑱: 灰白色砾岩破碎带; ⑲: 灰白、紫红色砾岩, 胶结较好; □: 释光采样点

图 5 狼皮子梁探槽(TC1)图

Fig. 5 Trench at Langpizi ridge (TC1)



用集成 SfM 算法的 Agisoft PhotoScan 软件, 经过对齐照片、生成密集点云、生成网格, 建立数字高程模型 (DEM), 裁剪后得到探槽附近范围 DEM 图 (图 5a), 断层迹象线性较好, 陡坎两侧高差近 30 m。

砂坑壁见第四系覆盖, 于该处开挖探槽。探槽剖面 (图 5c, 5d) 揭露风积沙、冲洪积层、白垩系砾岩 3 套地层。剖面上发育两条断层,  $F_2$  发育在基岩处, 断错白垩系砾岩, 形成断层破碎带, 上覆 ⑩ 层与基岩间已无断层活动迹象。 $F_1$  发育在破碎带和第四系之间, 向上延伸, 断错地层 ⑧ ~ ⑰ (图 5e), 地层 ⑥ 中断层已不可见, 但 ⑥ 地层下部有变形和斜层理, 故断层可能断错层 ⑥ 下部, 其上 ① ~ ⑤ 地层未见断

层活动迹象。两条断层在剖面上看似为逆断层, 但实际工作中观察却为正断层,  $F_1$  断层倾角为  $77^\circ$ , 另在图 3a 处断层倾角为  $84^\circ$ , 断层为一高角度的正断层, 这可能是造成断层在剖面上似有逆冲活动缘故。另外, 剖面上见断层擦痕 (图 5f), 擦痕侧伏向  $235^\circ$ , 侧伏角  $68^\circ$ 。揭示断层有水平运动。

为了鉴定这条断裂的活动性, 我们在探槽中 ④, ⑤, ⑧ 地层分别采集了光释光样品 LPZ5、LPZ3-1、LPZ2, 年龄分别为:  $(25.95 \pm 1.33)$  ka,  $(36.16 \pm 2.01)$  ka,  $(23.65 \pm 1.17)$  ka (表 1)。地层 ⑧ 年龄较小, 可能不合理, 但总的来说, 该地层是晚更新世晚期堆积是无疑的, 故该处断层晚更新世晚期可能有过活动。

表 1 光释光样品测年结果表

Table 1 Test results of photoluminescence samples

序号	样品号	测试方法	测试样品 粒径/ $\mu\text{m}$	U/ppm	Th/ppm	K/%	含水量/%	环境剂量/ ( $\text{Gy} \cdot \text{ka}^{-1}$ )	等效剂量 De/Gy	年代/ka
1	MPQX-3	FQ-SAR	4~11	$2.52 \pm 0.33$	$12.41 \pm 0.99$	$1.73 \pm 0.03$	5±5	$4.21 \pm 0.19$	$139.60 \pm 4.25$	$33.16 \pm 1.82$
2	MPQX-4	FQ-SAR	4~11	$2.00 \pm 0.34$	$9.17 \pm 0.64$	$1.65 \pm 0.03$	5±5	$3.59 \pm 0.17$	$162.83 \pm 5.51$	$45.34 \pm 2.60$
3	MPQX-5	FQ-SAR	4~11	$2.09 \pm 0.36$	$9.59 \pm 0.86$	$1.63 \pm 0.03$	5±5	$3.65 \pm 0.17$	$141.07 \pm 3.42$	$38.64 \pm 2.06$
4	LPZ2	FQ-SAR	4~11	$1.11 \pm 0.20$	$9.77 \pm 0.88$	$1.73 \pm 0.03$	5±5	$3.34 \pm 0.15$	$79.05 \pm 1.37$	$23.65 \pm 1.17$
5	LPZ3-1	FQ-SAR	4~11	$1.50 \pm 0.24$	$8.94 \pm 0.81$	$1.65 \pm 0.05$	5±5	$3.34 \pm 0.16$	$120.92 \pm 3.54$	$36.16 \pm 2.01$
6	LPZ5	FQ-SAR	4~11	$1.36 \pm 0.23$	$8.95 \pm 0.72$	$1.63 \pm 0.03$	5±5	$3.31 \pm 0.15$	$85.86 \pm 2.08$	$25.95 \pm 1.33$

### 3.2 马跑泉西探槽 (TC2)

马跑泉西, 地貌上形成陡坎, 冲沟内见断层面, 断面向上延伸处, 地表黄土覆盖。该处与 TC1 处使用相同的方法, 拍摄照片 1243 张, 处理后建立数字高程模型 (DEM), 裁剪后得到探槽附近范围 DEM 图 (图 6a), 断层迹象线性较好, 陡坎两侧高差约 36 m。

沿冲沟方向于侧壁开挖探槽 (图 6b)。探槽剖面揭露出冲洪积层、白垩系砾岩两套地层, 断层处见砖红色泥岩, 岩层破碎, 为断层破碎带 (图 6g)。c 剖面 (图 6c) 上发育 3 条断层,  $F_1$  断错白垩系砾岩, 其上被卵、砾石层覆盖, 活动时代可能较老 (图 6e)。 $F_3$  断错层 ⑩, 其上被层 ⑨ 覆盖。 $F_2$  断错层 ⑧ ~ ⑪ (图 6e), 往上延伸追索, 可在 d 剖面 (图 6d) 上发现该断层。另外, 剖面底部见断层擦痕 (图 6f), 擦痕侧伏角  $51^\circ$ , 侧伏向  $240^\circ$ , 揭示断层有走滑运动。

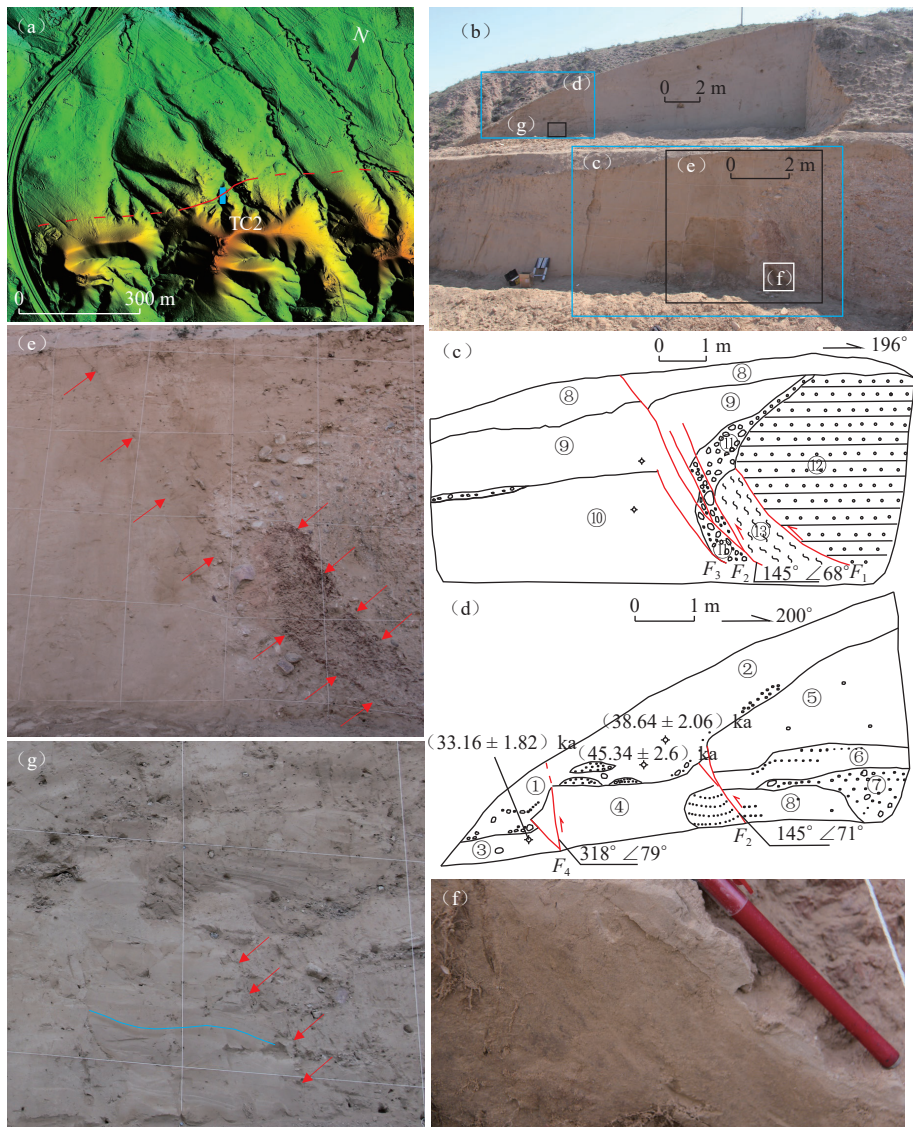
d 剖面 (图 6d) 上发育两条断层,  $F_2$  断层与 c 剖面中的  $F_2$  断层产状相近, 可能是同一条断层, 断层断错了 ④, ⑤, ⑥, ⑧ 地层, 在 ⑤ 层顶部形成断层陡

坎, 有坎前堆积, 层 ② 覆盖其上。另外, 在层 ④ 下部  $F_2$  断层附近, 砂层有明显的扰动痕迹, 层理向下弯曲 (图 6g), 可能是地震造成的砂土液化所致。 $F_4$  断错层 ③, ④ 和层 ① 的底部, 形成陡坎并有坎前堆积, 剖面上见有裂缝延伸至地表, 断层可能向上断错。

为了鉴定这条断裂的活动性, 在探槽中采集了光释光样品 (表 1), 层 ③ 形成于距今  $(33.16 \pm 1.82)$  ka, 层 ② 形成于距今  $(38.64 \pm 2.06)$  ka。层 ③ 可能是  $F_2$  断层错动后的坎前堆积, 后又被  $F_4$  断错, 故层 ③ 形成晚于层 ②。断层断错最新地层为层 ③, 故断层为晚更新世晚期活动断层。

## 4 断裂的水平运动特征

前述中 TC1、TC2 探槽断层面上发现擦痕, 史家圈台子处断层面上亦见断层擦痕, 擦痕揭示了断层具有左旋走滑运动。清水营段, 断裂西侧因为施工多经人为改造, 地表未见水平运动迹象。面子山段, 断裂西侧多被风积沙覆盖, 多数冲沟较短, 未在山体西



(a) 探槽附近范围 DEM 图; (b) 探槽全景照片(镜向东北); (c) 剖面下部素描图; (d) 剖面上部素描图; (e) 断层破碎带及黄土断错; (f) 断层擦痕; (g) 砂层扰动; ①: 黄灰色粉细砂、砾石; ②: 黄灰色粉细砂, 下部含砾及砂砾透镜体; ③: 灰黄色粉细砂, 含砾; ④: 灰黄色粉细砂, 含砾; ⑤: 灰黄色粉细砂, 含砾; ⑥: 黄灰色粉细砂, 夹砾石薄层, 有水平层理; ⑦: 砾石层; ⑧: 灰黄色粉细砂, 含砾; ⑨: 黄灰色粉细砂; ⑩: 灰白色粉细砂, 北侧层底夹砾石薄层, 水平层理; ⑪: 坡积、洪积卵、砾石层; ⑫: 白垩系灰白色砾岩; ⑬: 砖红色破碎带, 原岩为清水营组泥岩; □: 释光采样点

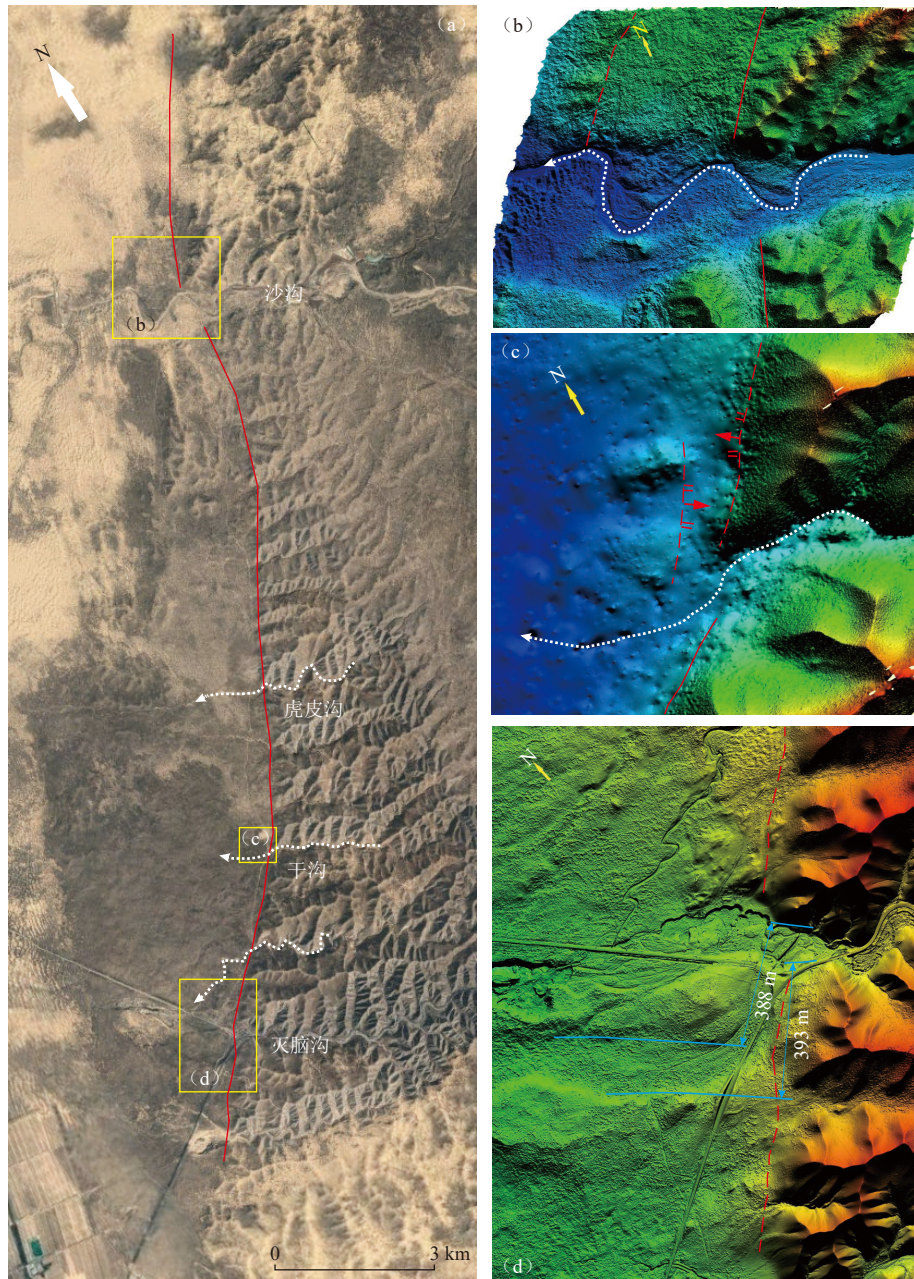
图 6 马跑泉西探槽 (TC2) 图

Fig. 6 Trench at west of Mapaoquan (TC2)

侧形成较大冲沟。野外调查中仅在沙沟、虎皮沟、干沟、灭脑沟等沟口附近见到冲沟的左旋拐折(图 7a), 这些地方均为断裂通过处, 揭示断层距有左旋走滑运动。

为了得到更好的冲沟左旋图像, 在沙沟、干沟和灭脑沟 3 处使用精灵 4RTK 无人机进行影像摄影测量, 使用与图 5a 处相同的方法, 得到了 3 处沟口附近的 DEM 图(图 7b—d)。沙沟北侧形成一明显的槽

地, 应为断层运动所致, 南岸的台地有明显的左旋运动(图 7b)。干沟沟口北侧亦因断层运动形成槽地, 南侧的沟沿亦有左旋运动(图 7c)。灭脑沟沟口处陡坎地貌明显, 两侧高差约 60 m, 外延冲沟南东侧, 有一平行冲沟的槽地展布(图 7d), 推测可能为断层活动造成的冲沟错动, 错动距离较大, 可能与地表的风积沙运动有较大关系, 不能代表断层的水平走滑量, 但能揭示断层的左旋走滑运动。



(a) 面子山段影像图; (b) 沙沟沟口附近 DEM 图; (c) 干沟沟口附近 DEM 图; (d) 灭脑沟沟口附近 DEM 图

图 7 断裂水平运动特征

Fig. 7 Horizontal movement characteristics of faults

## 5 讨论与结论

(1) 银川盆地东南缘发育面子山—清水营断裂, 全长 50 km, 以宁东镇新东路为界, 分为面子山断层和清水营断层两段。面子山断层垂向为正断性质, 断层擦痕显示具有左旋走滑运动, 走向北东; 而清水营断层则表现为逆断层, 走向北东东。两条断裂在垂向运动性质上差异较大, 面子山断裂的产状相对陡立, 可能以水平运动为主, 考虑两条断裂的走向展布, 清

水营的逆冲运动可能是面子山断裂左旋走滑在端部形成挤压构造环境所致, 二者并存在构造上依然是可能的。该断裂断错了  $(23.65 \pm 1.17)$  ka BP 和  $(33.16 \pm 1.82)$  ka BP 的沉积地层, 表明断裂最新活动时代为晚更新世晚期。根据断裂长度和错断位移初步判断, 该断裂具备发生 6.5 级地震的能力。对这条新发现的活断层, 在今后有关地震潜源划分及防震减灾工作中应予以重视, 有关断裂的运动性质, 仍需开展深入详细的研究。

(2) 面子山—清水营断裂位于银川盆地东南边界黄河断裂的东侧, 发育在传统认为的鄂尔多斯地块内部, 由两条走向和垂直运动不同的次级断裂组成。清水营段具有向北逆冲特征, 面子山段向西倾斜高角度正断特征, 断面上见擦痕, 指示断层具有左旋走滑水平运动性质, 跨断层数条冲沟同步发生了左旋扭动。该断裂西侧的黄河断裂(灵武段)为正断层, 水平运动不显著, 断裂西南的三关口—牛首山—罗山断裂具有明显的右旋走滑兼逆冲运动。这条新发

现的活动断裂表明, 鄂尔多斯地块西北缘的边界比较复杂, 并不严格的受控于断陷盆地的边界断裂, 其构造变形已扩张到地块一侧, 构造变形的范围更为宽泛, 这可能与青藏高原通过罗山东麓断裂持续向东北向的推挤扩展鄂尔多斯地块有关, 引起该断裂的左旋走滑运动, 而北段因走向的变化形成了逆冲分量。鉴于目前的资料和研究深度有限, 关于断裂北段的晚第四纪逆断层及成因问题, 以及有关断裂的水平运动性质及构造意义还有待进一步深入研究。

#### 参考文献

- [1] 郑文俊, 王庆良, 陈九辉, 等. 鄂尔多斯活动地块边界带地震动力学模型与强震危险性研究项目及进展 [J]. 地震科学进展, 2020, 50(4): 1-21  
Zheng W J, Wang Q L, Chen J H, et al. Project plan and research progress on geodynamic models of earthquakes and strong seismic hazards in boundary zone of the Ordos active block [J]. Progress in Earthquake Sciences, 2020, 50(4): 1-21
- [2] 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系 [M]. 北京: 地震出版社, 1988  
The Research Group of *Peripheral Active Fault System Around the Ordos* by State Seismological Bureau. Peripheral active fault system around the Ordos [M]. Beijing: Seismological Press, 1988
- [3] 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(增刊 1): 12-20  
Zhang P Z, Deng Q D, Zhang G M, et al. Active tectonics blocks and strong earthquakes in the continent of China [J]. Science in China: Earth Science, 2003, 33(S1): 12-20
- [4] 许英才, 曾宪伟, 罗国富. 2021 年吴忠—灵武  $M_L 3.6$  震群重新定位及震源机制研究 [J]. 地震科学进展, 2022, 52(6): 251-262  
Xu Y C, Zeng X W, Luo G F. Relocation and focal mechanisms of the 2021 Wuzhong-Lingwu  $M_L 3.6$  seismic swarm [J]. Progress in Earthquake Sciences, 2022, 52(6): 251-262
- [5] 杨明芝, 马禾青, 廖玉华. 宁夏地震活动与研究 [M]. 北京: 地震出版社, 2007  
Yang M Z, Ma H Q, Liao Y H. Earthquake activity and research in Ningxia [M]. Beijing: Seismological Press, 2007
- [6] 柴炽章, 廖玉华, 张文孝, 等. 灵武断裂晚第四纪古地震及其破裂特征 [J]. 地震地质, 2001, 23(1): 15-23  
Chai C Z, Liao Y H, Zhang W X, et al. Late Quaternary paleoearthquakes and their rupture features along the Lingwu fault [J]. Seismology and Geology, 2001, 23(1): 15-23
- [7] 柴炽章, 孟广魁, 杜鹏, 等. 隐伏活动断层的多层次综合探测——以银川隐伏活动断层为例 [J]. 地震地质, 2006, 28(4): 536-546  
Chai C Z, Meng G K, Du P, et al. Comprehensive multi-level exploration of buried active fault: An example of Yinchuan buried active fault [J]. Seismology and Geology, 2006, 28(4): 536-546
- [8] 雷启云, 柴炽章, 孟广魁, 等. 银川隐伏断层钻孔联合剖面探测 [J]. 地震地质, 2008, 30(1): 250-263  
Lei Q Y, Chai C Z, Meng G K, et al. Composite drilling section exploration of Yinchuan buried fault [J]. Seismology and Geology, 2008, 30(1): 250-263
- [9] 杜鹏, 柴炽章, 廖玉华, 等. 贺兰山东麓断裂南段套门沟—榆树沟段全新世活动与古地震 [J]. 地震地质, 2009, 31(2): 256-264  
Du P, Chai C Z, Liao Y H, et al. Study on Holocene activity of the south segment of the eastern piedmont fault of Helan Mountains between Taomengou and Yushugou [J]. Seismology and Geology, 2009, 31(2): 256-264
- [10] 柴炽章, 孟广魁, 马贵仁, 等. 银川市活动断层探测与地震危险性评价 [M]. 北京: 科学出版社, 2011  
Chai C Z, Meng G K, Ma G R, et al. Detection of active faults and seismic hazard assessment in Yinchuan city [M]. Beijing: Science Press, 2011
- [11] 雷启云, 柴炽章, 孟广魁, 等. 基于钻探的芦花台隐伏断层晚第四纪活动特征 [J]. 地震地质, 2011, 33(3): 602-614

- Lei Q Y, Chai C Z, Meng G K, et al. Activity characteristics of Luhutai buried fault since Late Quaternary revealed by drilling[J]. *Seismology and Geology*, 2011, 33(3): 602-614
- [12] 雷启云, 柴炽章, 王银, 等. 银川盆地西大滩隐伏断层晚第四纪活动特征[J]. *西北地震学报*, 2012, 34(2): 186-191  
Lei Q Y, Chai C Z, Wang Y, et al. Activity characteristics of Xidatan buried fault in Yinchuan basin in Late Quaternary[J]. *North-western Seismological Journal*, 2012, 34(2): 186-191
- [13] 雷启云, 柴炽章, 郑文俊, 等. 钻探揭示的黄河断裂北段活动性和滑动速率[J]. *地震地质*, 2014, 36(2): 464-477  
Lei Q Y, Chai C Z, Zheng W J, et al. Activity and slip rate of the northern section of Yellow River fault revealed by drilling[J]. *Seismology and Geology*, 2014, 36(2): 464-477
- [14] 雷启云, 柴炽章, 杜鹏, 等. 1739年平罗8级地震发震构造[J]. *地震地质*, 2015, 37(2): 413-429  
Lei Q Y, Chai C Z, Du P, et al. The seismogenic structure of the *M*8.0 Pingluo earthquake in 1739[J]. *Seismology and Geology*, 2015, 37(2): 413-429
- [15] 宁夏回族自治区地质矿产局. 宁夏回族自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990  
Geological and Mineral Resources Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region. Regional geological records of Ningxia Hui Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990
- [16] 霍福臣, 潘行适, 尤国林, 等. 宁夏地质概论[M]. 北京: 科学出版社, 1989  
Huo F C, Pan X S, You G L, et al. Introduction to geology of Ningxia[M]. Beijing: Science Press, 1989
- [17] 国家地震局地质研究所, 宁夏回族自治区地震局. 海原活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1990  
Institute of Geology, State Seismological Bureau, Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region. Haiyuan active fault belt[M]. Beijing: Seismological Press, 1990
- [18] 张维歧, 焦德成, 柴炽章, 等. 天景山活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 2015  
Zhang W Q, Jiao D C, Chai C Z, et al. Tianjingshan active fault zone[M]. Beijing: Seismological Press, 2015
- [19] 潘进礼, 马学东, 马玉学, 等. 宁夏银川盆地灵武地区古近纪—新近纪沉积岩地球化学特征及对古环境演化的启示[J]. *地质通报*, 2022, 41(2/3): 296-305  
Pan J L, Ma X D, Ma Y X, et al. Geochemistry characteristics of Paleogene-Neogene sedimentary rocks in the Lingwu area of Yinchuan basin, Ningxia and its enlightenment for paleoenvironmental evolution[J]. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(2/3): 296-305
- [20] 徐清海, 吴楠, 王健, 等. 银川盆地清水营组咸化湖盆沉积特征与湖盆演化[J]. *地球科学*, 2023, 48(1): 317-328  
Xu Q H, Wu N, Wang J, et al. Sedimentary characteristics and Lake Basin evolution of Salinized Lake basin of Qingshuiying formation in Yinchuan basin[J]. *Earth Science*, 2023, 48(1): 317-328
- [21] 宁夏回族自治区地震局. 宁夏回族自治区地震历史资料汇编[M]. 北京: 地震出版社, 1988  
Earthquake Agency of Ningxia Hui Autonomous Region. Compilation of historical earthquake data in Ningxia Hui Autonomous Region[M]. Beijing: Seismological Press, 1988