

doi:10.3969/j.issn.0253-4967.2018.03.011

# 日月山断裂德州段晚更新世以来的活动速率研究

李智敏<sup>1)</sup> 苏鹏<sup>2)</sup> 黄帅堂<sup>3)</sup> 田勤俭<sup>4)</sup> 殷翔<sup>1)</sup>

1) 青海省地震局, 西宁 810001

2) 中国地震局地质研究所, 活动构造与火山重点实验室, 北京 100029

3) 新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011

4) 中国地震局地震预测研究所, 地震预测重点实验室, 北京 100036

**摘要** 日月山断裂位于柴达木-祁连活动块体内部, 受到东昆仑断裂和祁连-海原断裂等主边界断裂控制, 形成了块体内部夹持于主边界断裂之间的次级构造。该断裂的构造位置特殊, 确定其晚更新世以来的活动速率可提供青藏高原东北缘向外扩展的最新活动信息。文中通过建立地貌面时间标尺, 分析断错的地貌标志, 获得了以下2点认识: 1) 晚更新世以来, 日月山断裂德州段主要发育一级洪积扇面 $f_p$ , 三级河流阶地 $T_1$ 、 $T_2$ 和 $T_3$ 。其中洪积扇 $f_p$ 的废弃年龄约 $(21.2 \pm 0.6)$ ka, 河流阶地 $T_2$ 的废弃年龄约 $(12.4 \pm 0.11)$ ka; 2) 日月山断裂晚更新世晚期以来的右旋走滑速率约 $(2.41 \pm 0.25)$ mm/a, 全新世以来的右旋走滑速率约 $(2.18 \pm 0.40)$ mm/a, 垂直滑动速率约 $(0.24 \pm 0.16)$ mm/a。日月山断裂德州段的右旋走滑速率在晚更新世晚期以来基本不变。日月山断裂并未切错大型块体的边界, 而是青藏高原东北缘地区夹持于区域大型左旋走滑断裂内部的1套右旋走滑断裂中的1支。在青藏高原东北缘整体生长和扩展的过程中, 右旋走滑断裂对各次级块体之间的变形协调起着十分重要的调节作用。

**关键词** 日月山断裂 活动速率 德州段 地貌标尺 晚更新世

**中图分类号**: P315.2

**文献标识码**: A

**文章编号**: 0253-4967(2018)03-656-16

## 0 引言

青藏高原东北缘是由东昆仑断裂带、祁连山-海原断裂带以及阿尔金断裂带控制的活动地块, 是新生代以来新构造活动的前沿地带和敏感部位。晚新生代以来, 青藏高原东北缘构造变形强烈, 区内遍布褶皱、逆冲和走滑断裂, 表明该区正处于地壳缩短、左旋剪切并伴随垂直隆升作用的阶段(邓起东等, 2002, 2004, 2008; 张培震等, 2006, 2013)。对于青藏高原东北缘的构造变形定量研究主要集中在北祁连山-河西走廊地区(郑文俊等, 2004, 2012; 付碧宏等, 2006; 徐锡伟等, 2007; 郑文俊, 2009), 而对南祁连地区诸如日月山等断裂的相关研究较少。

断裂的滑动速率不仅是地震危险性评价的重要指标, 而且是认识区域构造变形样式的重要依据(邓起东等, 2008)。日月山断裂带在青藏高原东北缘的构造位置特殊, 对其晚更新世以来的滑动速率的深入研究, 对认识该断裂的活动特征、以及青藏高原东北缘的运动方式具有

[收稿日期] 2017-10-31 收稿, 2018-01-20 改回。

[基金项目] 青海省科技计划项目(2017-ZJ-775)与中国地震局地震行业科研专项(201408023)共同资助。

重要意义。

## 1 区域概况

日月山断裂位于青藏高原东北缘柴达木-祁连活动地块内部,受东昆仑断裂、祁连-海原断裂和阿尔金断裂控制(图 1a),形成夹持于主边界断裂之间的次级构造。由于青藏块体向 NE 方向扩展,致使 NNW 向的区域主边界断裂发生左旋走滑,而夹持其间的 NNW 向的日月山断裂被剪切压扁,其运动性质为右旋走滑(Yuan *et al.*, 2011; 李智敏等, 2012)。

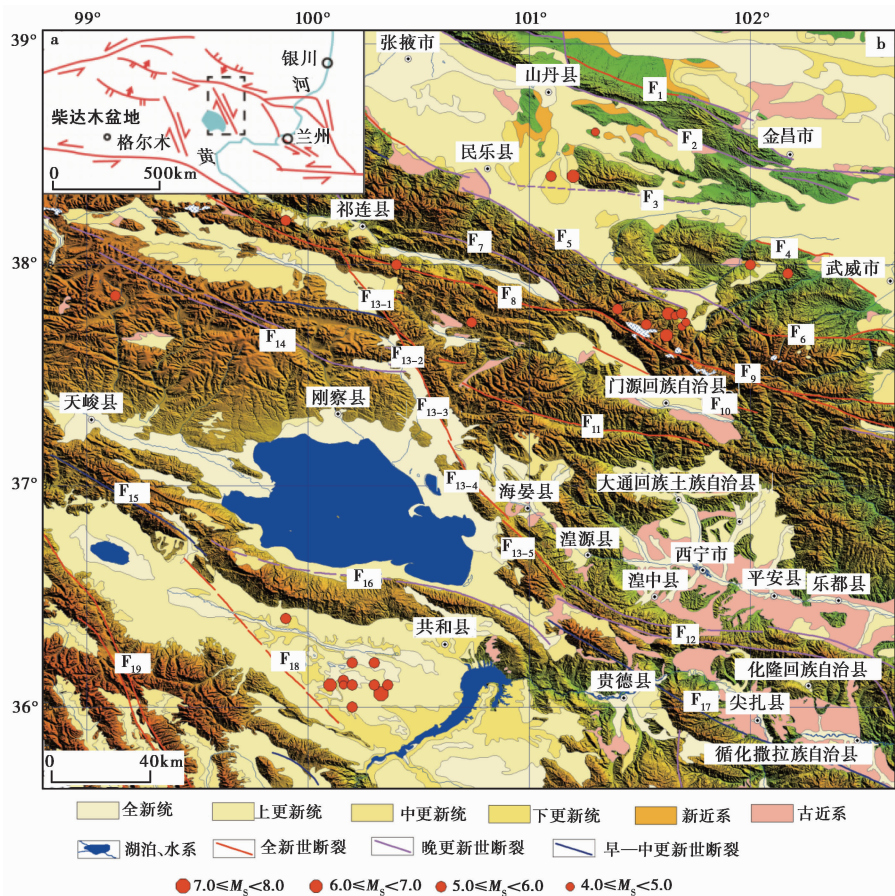


图 1 研究区区域地震构造图

Fig. 1 Seismic structural map of the study area.

F<sub>1</sub> 龙首山北缘断裂; F<sub>2</sub> 龙首山南缘断裂; F<sub>3</sub> 民乐-永昌断裂; F<sub>4</sub> 莲花山北缘断裂; F<sub>5</sub> 民乐-大马营断裂; F<sub>6</sub> 皇城-双塔断裂; F<sub>7</sub> 肃南-祁连断裂(俄堡段); F<sub>8</sub> 托莱山断裂; F<sub>9</sub> 冷龙岭断裂; F<sub>10</sub> 门源断裂; F<sub>11</sub> 达坂山断裂; F<sub>12</sub> 拉脊山断裂; F<sub>13</sub> 日月山断裂: F<sub>13-1</sub> 大通河段, F<sub>13-2</sub> 热水段, F<sub>13-3</sub> 德州段, F<sub>13-4</sub> 海晏段, F<sub>13-5</sub> 日月山段; F<sub>14</sub> 木里-江仓断裂带; F<sub>15</sub> 二郎洞-茶卡杯断裂; F<sub>16</sub> 青海南山北缘断裂; F<sub>17</sub> 倒淌河-临夏断裂; F<sub>18</sub> 哇玉香卡-拉干断裂; F<sub>19</sub> 鄂拉山断裂

日月山断裂北与 NNW 走向的托勒山北缘左旋走滑断裂相接,南部与拉脊山逆冲断裂斜接。断裂自北向南经过大通河、热水煤矿、茶拉河、托勒、克图和西岔,最终在克素尔盆地附近与拉脊山断裂相接,全长 180km。断裂控制了青海湖盆地、海晏盆地、大通河盆地、德州盆

地等新生代盆地的形成,同时控制着这些盆地之间的对冲山——大通山和日月山的隆升和变形。依据这4个拉分盆地将其划分为5段(袁道阳等,2003a;李智敏等,2013)(图1b)。

青藏块体向NE方向上的不断扩展,使得块体内部日月山断裂控制了区域不同类型地貌的发育,形成了研究区内地貌的基本骨架。区内地貌可分为断裂逆冲挤压形成的诸如日月山和大通山等的高山地貌,以及山前多条次级断层控制的台地、盆地和古近纪-新近纪古盆地面、广泛发育的2期冲洪积扇体以及大通河、哈尔盖河和茶拉河所形成的河流阶地面等。

## 2 数据与方法

本文首先对研究区晚更新世以来的地貌面进行详细划分并对其定年,建立了研究区的地貌时间标尺。然后通过分析断错的地貌标志,来认识日月山断裂德州段的晚更新世以来的滑动速率。

基于Google Earth在线影像数据、无人机航测以及野外地质地貌调查,本文对研究区晚更新世以来的构造地貌单元进行了定量解译。其中Google Earth在线影像数据的水平分辨率达2.5m(Potere,2008),水平精度约2m(Mohammed *et al.*,2013)。通过比较研究区不同时段的历史影像,本文选用2004年10月24日的Google Earth历史影像进行构造地貌解译。通过无人机对关键地貌单元进行航测,生成了分辨率 $<0.05\text{m}$ 的DEM数据,其垂直精度10~15cm。

地貌面的划分主要依据地貌面的分布高度、残存的规模、延伸方向以及地貌面序列特征等(苏鹏等,2016)。水平距离的测量主要基于Google Earth在线影像数据,垂直位错的测量基于无人机航测得到的DEM数据。以洪积扇面边缘的位错量代表该级洪积扇的水平位错。考虑到河流阶地形成后,其前缘还会受到河流的侧蚀,导致阶地前缘的位错量往往不能代表该级阶地被废弃以来的断错量。因此,本文以河流阶地面后缘的位错量代表该级阶地面被废弃以来的位错量。

地貌面的定年通过在相关地貌面上开挖探槽,对探槽剖面中的冲洪积相沉积物通过光释光和 $^{14}\text{C}$ 定年来确定相应地貌面的年代。因探槽位于相应的地貌面上,其年龄可接近相应地貌面的废弃年龄。其中光释光测年是在浙江省中科释光检测技术研究所完成的, $^{14}\text{C}$ 测年在美国贝塔实验室完成。误差计算过程中,采用蒙特·卡罗方法(Monte Carlo method),重复实验10万次,最终结果取均值,误差为1个标准差( $\mu \pm \sigma$ )。

## 3 结果

### 3.1 地貌面断错特征

日月山断裂德州段东北侧为日月山脉,西南侧为德州盆地,活动断裂沿着山脉和盆地边界展布(图2a)。日月山断裂的断层陡坎平直、连续,坡度较陡,在影像上表现为明显的线性,在地形高且坡度较陡的位置陡坎保存仍较为完整,推测日月山断裂在全新世以来的活动性较强。

发源于日月山的一系列河流,横穿日月山断裂,流向德州盆地,在盆山交界处发育了洪积扇,河流之后多次侧蚀和下切,在洪积扇面上又发育了一系列的河流阶地。通过对日月山断裂德州段晚更新世以来的构造地貌单元进行遥感解译及野外地质调查,在该区识别出1级洪积扇面和3级河流阶地面(图2b)。最新的断裂活动将这些地貌面断错(图3,4,5),其中3个流域的断错地貌信息保留得最为完整,为方便对其进行定量分析和描述,本文自NW往SE,分

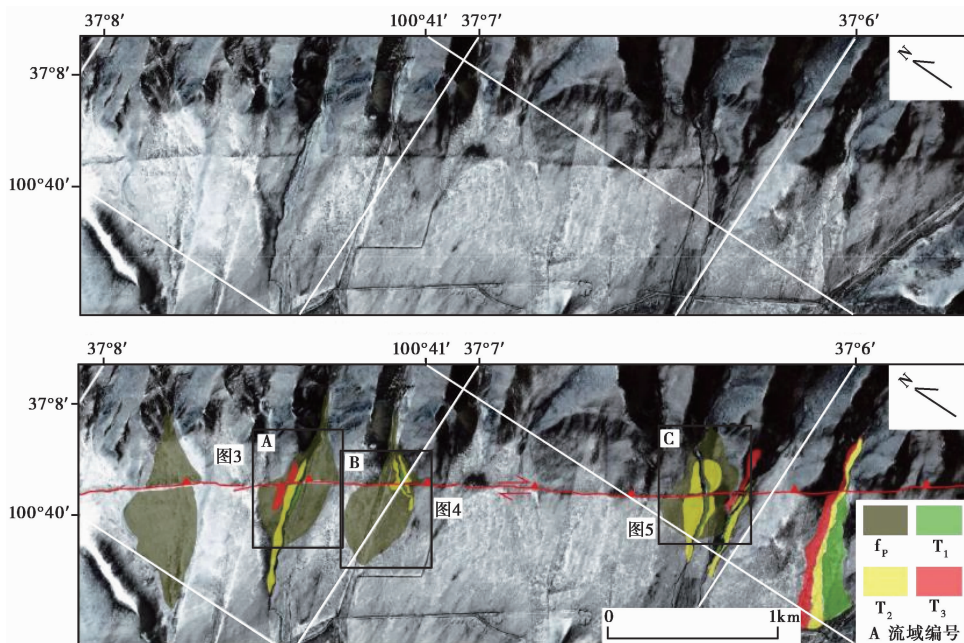


图 2 日月山断裂德州段构造地貌解译图

Fig. 2 Geomorphic interpretation of Riyue Shan Fault at Dezhou.

a 原始影像；b 解译图； $f_p$  洪积扇面， $T_1$ — $T_3$  河流阶地；底图为 Google Earth 影像

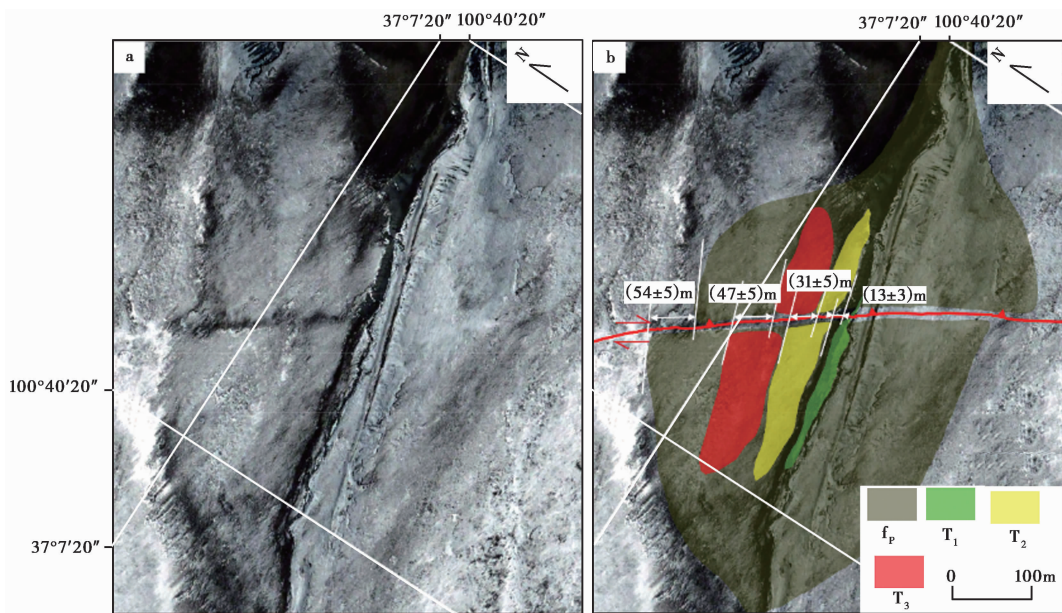


图 3 流域 A 断错地貌解译图

Fig. 3 Geomorphic interpretation of catchment A at Dezhou.

a 原始 Google Earth 影像；b 解译图； $f_p$  洪积扇面， $T_1$ — $T_3$  河流阶地；底图为 Google Earth 影像；位置见图 2b

别编号为 A、B、C(图 2b)。

流域 A 中主要发育 1 级洪积扇面  $f_p$  和  $T_1$ — $T_3$  3 级河流阶地面(图 3)。洪积扇面  $f_p$  和德州盆地面具有明显的扇形地貌边界。日月山断裂的最新活动将该洪积扇面断错,以北侧边缘为地貌标志,可知该洪积扇面被废弃以后,日月山断裂的右旋位错量约  $(54\pm 5)$  m。洪积扇面上发育的河流阶地也发生了右旋位错。其中  $T_1$  阶地位位错量不明显。 $T_2$  阶地前缘被右旋位错  $(13\pm 3)$  m,  $T_2$  阶地后缘被右旋位错  $(31\pm 5)$  m; 认为  $T_2$  阶地被断错后其前缘遭受过河流侧蚀,其后缘的断错量更能代表  $T_3$  阶地被废弃后的总断错量。 $T_3$  阶地面与洪积扇面基本属于同一期地貌面,其后缘的右旋位错量为  $(47\pm 5)$  m。

流域 B 中可识别出 1 级洪积扇面  $f_p$  和  $T_1$ — $T_2$  2 级河流阶地面(图 4)。洪积扇面  $f_p$  在水流方向上,呈现出中间高两侧低的上凸型地貌。在该级洪积扇面上发育了  $T_1$ — $T_2$  2 级河流阶地。 $T_1$  阶地仅在河流左岸保留,断错特征不明显。 $T_2$  阶地在河流两岸均有保留,日月山断裂活动将  $T_2$  阶地右旋错动,其中左岸的  $T_2$  阶地后缘的右旋断错量约  $(25\pm 5)$  m,右岸的  $T_2$  阶地后缘的右旋断错量约  $(27\pm 5)$  m,  $T_2$  阶地前缘现今的位错量在两岸均不明显。基于无人机航测得到的 DEM 数据,  $T_2$  阶地形成以来,右岸的垂直位错量约  $(1.6\pm 0.5)$  m(图 4d 中 A),左岸的垂直位错量约  $(1.7\pm 0.5)$  m(图 4d 中 B)。

流域 C 中可识别出 1 级洪积扇面  $f_p$  和  $T_1$ — $T_2$  2 级河流阶地面(图 5)。洪积扇面  $f_p$  在水流方向具有上凸型地貌特征。日月山断裂活动造成该流域的地貌面和水系发生右旋错动。其中洪积扇面的右旋位错量约  $(49\pm 5)$  m,  $T_2$  河流阶地面的右旋位错量约  $(26\pm 5)$  m(图 5b)。基于无人航测获得的 DEM 数据,得到该流域中河道的右旋位错量约  $(20\pm 5)$  m,  $T_2$  阶地的垂直位错量分别为  $(4.5\pm 0.5)$  m 和  $(4.2\pm 0.5)$  m(图 5c, d)。

### 3.2 地貌面定年

为限定地貌面的年龄,本文在相关地貌面上开挖探槽,通过对所含碳样进行  $^{14}\text{C}$  定年(表 1),以及对冲洪积相砂层通过释光定年(表 2)的方式来确定地貌面的年龄。在流域 B 和 C 中共有 2 个取样探槽,均位于  $T_2$  阶地面上(图 4b, 5b)。

#### 3.2.1 TC1 探槽

该采样点位于流域 C 冲沟南岸约 10m 处。TC1 探槽长 21m,宽 2m,深 3~4m,走向 235°(图 5)。TC1 探槽共揭露出 U1—U3 3 套地层(图 6)。

U1 分选磨圆差,粒径粗,为典型的冲洪积相沉积物。U1 可进一步划分为 4 个亚层。U1-1: 细砂层,颜色为淡黄色,层理不明显,层厚约 5cm; U1-2: 黏土质细砾层,颜色为灰绿色,砾石砾径以 1~2cm 为主,偶见 3~4cm 的砾石,磨圆度较差,砾石呈次棱角状,半胶结,层厚约 50cm,在细砾层中部土黄色细砂透镜体中(DZTC1-04)释光(采样深度为 2.9m)测年结果为  $(21.8\pm 1.0)$  ka; U1-3: 中砾层,颜色为灰白色,砾石砾径以 5~20cm 为主,偶见 30~40cm 的砾石,底部发育厚约 10cm 的细砾层,砾石呈次棱角状、次圆状,分选较差,层厚 1~1.5m; U1-4: 含砾中砂层,颜色为灰白色,砾石砾径 2~3cm,为断塞塘沉积,层理较为清楚,在断层附近发生变形,该层厚度约 1m,靠近底部中砂层(DZTC1-06)释光(采样深度为 2.0m)测年结果为  $(23.8\pm 1.3)$  ka(表 2)。

U2 主要为粉细砂—粗砂层,属于河漫滩相沉积物。U2 可进一步划分为 3 个亚层。U2-1: 粗砂层,颜色呈黄褐色,偶见中砾,层理不明显,厚度约 20cm,未见底,靠近底部粗砂层

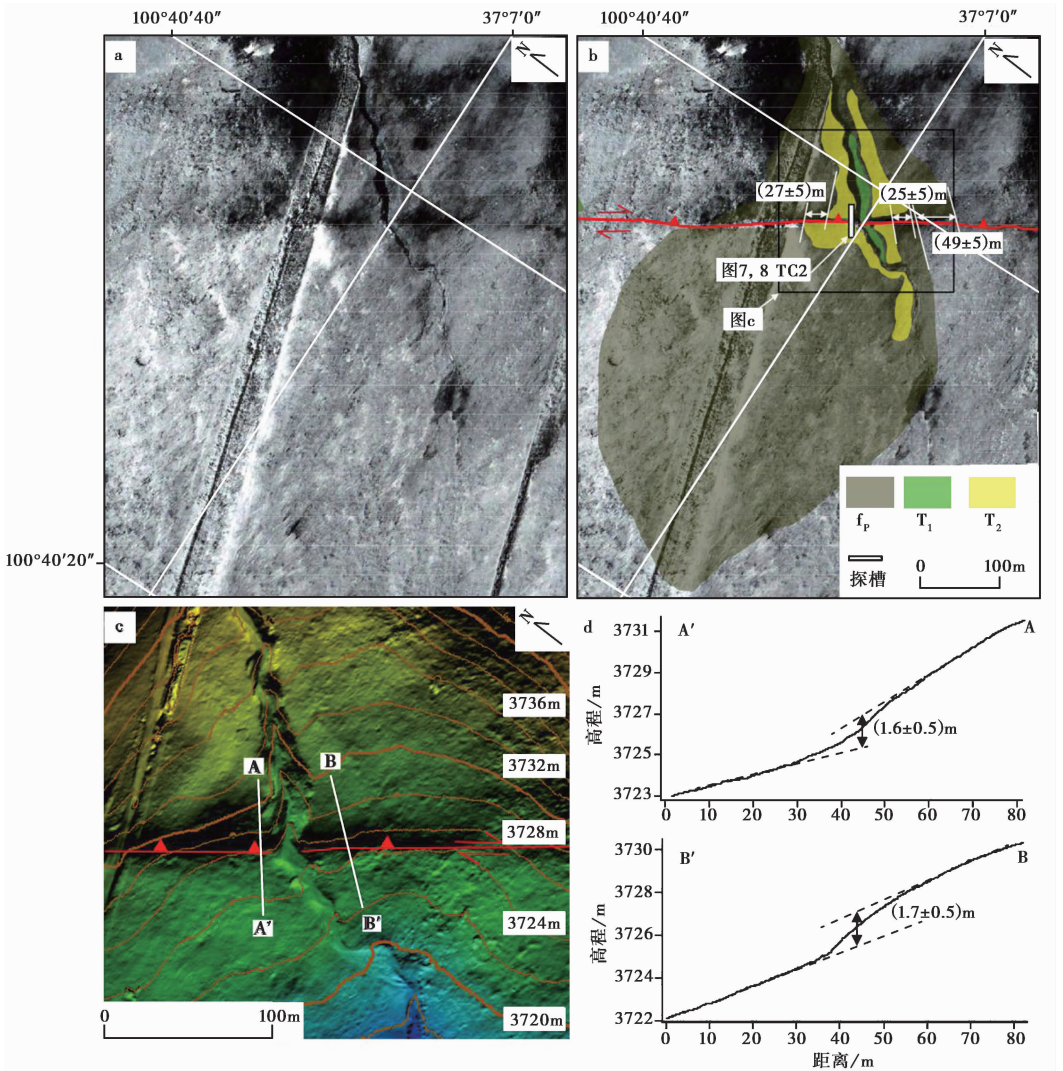


图 4 流域 B 断错地貌解译图

Fig. 4 Geomorphic interpretation of catchment B at Dezhou.

a 原始 Google Earth 影像, 位置见图 2b; b 解译图, 位置见图 2b; c 无人机航测得到的 DEM, 位置见图 4b; d 地形剖面, 位置见图 4c;  $f_p$  洪积扇面,  $T_1$ — $T_3$  河流阶地地面

(DZTC1-16) 释光 (采样深度为 3.0m) 测年结果为  $(13.3 \pm 0.7)$  ka; U2-2: 中细砾层, 该层厚约 6cm, 砾石大小较为均一, 砾径 5~7cm, 分选较好, 呈棱角、次棱角状, 岩性类似 U1-3, 推测为  $F_1$  断层坎前沉积物; U2-3: 粉细砂层, 颜色为土黄色, 层厚 50~60cm, 夹有黑色泥砾及火焰状砂质黏土, 泥砾在上、下盘之间发生揉皱变形, 具有层理 (表 2)。

U3 为砂质黏土层, 主要为风成物。U3 可进一步划分为 2 个亚层。U3-1: 砂质黏土层, 较为疏松, 下部层厚约 30cm, 表现为土黄色砂层条带的反倾变形, 上部层厚约 40cm, 表现为近水平的灰黑色黏土条带, 靠近黏土层中部 (DZTC1-18, DZTC1-CS02) 释光 (采样深度为 1.5m) 和  $^{14}\text{C}$  (采样深度约 1.35m) 测年结果分别为  $(5.5 \pm 0.2)$  ka 与  $(2940 \pm 30)$  BP; U3-2: 腐殖层, 颜

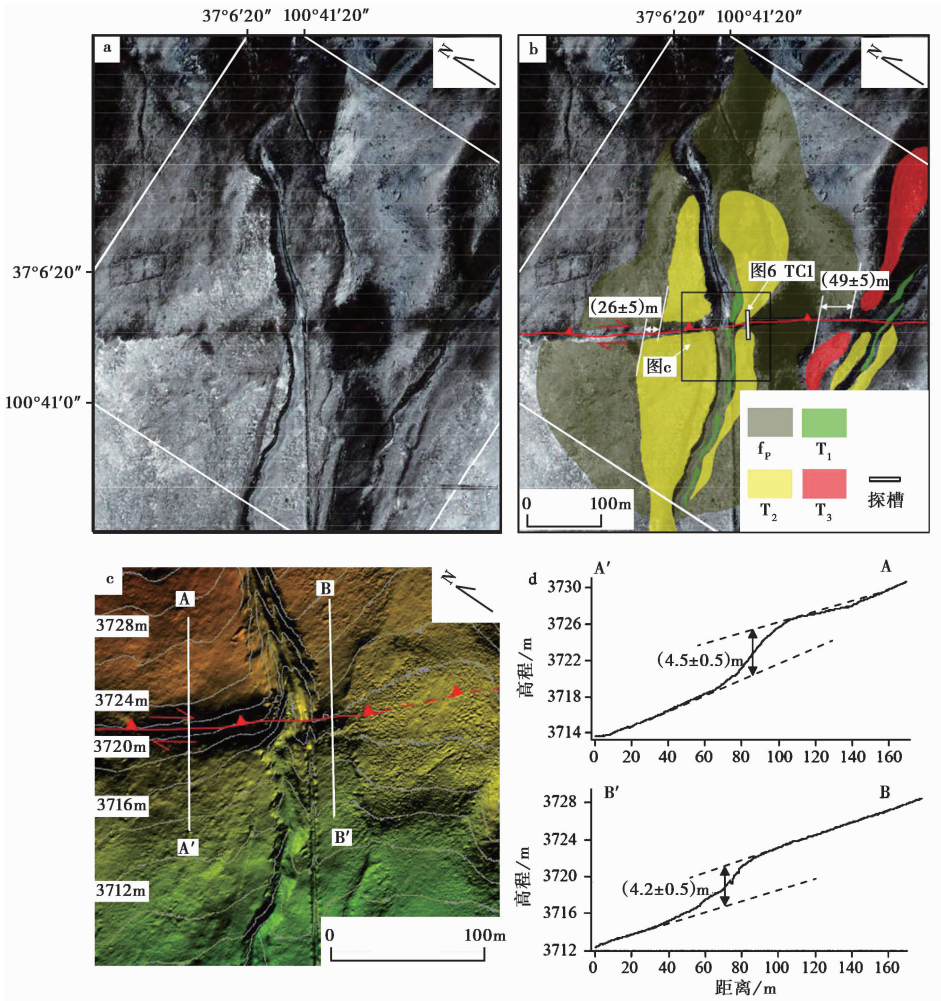


图5 流域C断错地貌解译图

Fig. 5 Geomorphic interpretation of catchment C at Dezhou.

a 原始影像; b 解译图; c 无人机航测得到的DEM;  $f_p$  洪积扇面,  $T_1$ — $T_3$  河流阶地地面;

底图为 Google Earth 影像, 位置见图 2b

色为黑色, 植物根系发育, 土壤松散, 无层理, 层厚约 40cm, 靠近底部腐殖土(DZTC1-19)释光(采样深度为 0.25m)测年结果为 $(0.8 \pm 0.1) \text{ka}$ (表 1, 2)。

### 3.2.2 TC2 探槽

TC2 探槽在  $T_2$  阶地面上的垂直断层陡坎处布设; 该探槽长 14m, 宽约 2m, 深 2~3m, 垂直落差 5.5m, 探槽走向  $62^\circ$ 。TC2 探槽南北两壁剖面主要揭露 U1—U2 两套地层(图 7, 8)。

#### 3.2.2.1 TC2 探槽南壁

U1 主要为细砂—中砂层, 以及细砾—中砾层, 属于河漫滩相与河流相沉积物。U1 可进一步划分为 7 个亚层。U1-1: 黏土质细砾层, 颜色为青灰色, 砾径 0.5~3cm, 以细砾为主, 分选较好, 砾石呈棱角状, 砾石层露头厚度约 40cm, 含长约 20cm、厚约 6cm 的土黄色细砂透镜体

以及长 70cm、厚 15cm 的砖红色砂砾石透镜体; U1-2: 黏土质细砾层, 颜色为灰绿色, 砾石砾径以 1~2cm 为主, 偶见 3~4cm 的砾石, 分选性较好, 磨圆度较差, 砾石呈次棱角状, 层厚 13~30cm, 在断层下盘该层尖灭, 可见层理; U1-3: 细砂层, 颜色为土黄色, 偶见砾石, 砾径 2~3cm, 层厚 10~25cm, 该层只在主断层下盘发育, 可见层理, 推测其来源为西南侧青海湖风成堆积搬运沉积形成, 细砂层中部 (DZTC2-S1) 释光 (采样深度为 2.25m) 测年结果为 (13.7±0.6) ka; U1-4: 中砾层, 颜色为砖红色, 砾径

表 1  $^{14}\text{C}$ 测年结果  
Table 1  $^{14}\text{C}$  dating results

送样编号	测试年龄/a	校正年龄/a
DZTC1-CN01	122.2±0.3 (pMC)	122.5±0.3 (pMC)
DZTC1-CS02	2 940±30	2 940±30
DZTC1-CN03	109.0±0.3 (pMC)	109.6±0.3 (pMC)
DZTC1-CN04	112.1±0.3 (pMC)	112.4±0.3 (pMC)
DZTC2-01	NA	12 080±50
DZTC2-02	12 260±40	12 280±40
DZTC2-04	12 240±40	12 250±40
DZTC2-05	12 180±40	12 220±40

注 pMC 代表现代碳百分比 (percent modern carbon), 表示测试的放射性碳样品是 1950 年后形成的。

表 2 光释光测年结果

Table 2 Results of optically stimulated luminescence dating

送样编号	U/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Th/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	K/%	测试粒径/ $\mu\text{m}$	剂量率/ $\text{Gy}\cdot\text{ka}^{-1}$	等效剂量/Gy	年龄/ka
DZTC1-2	1.56±0.07	8.21±0.25	1.78±0.06	4~11	3.2±0.1	64.8±1.2	20.5±0.9
DZTC1-4	1.53±0.07	8.14±0.24	1.54±0.05	4~11	2.9±0.1	62.5±1.4	21.8±1.0
DZTC1-6	1.68±0.08	8.71±0.26	1.79±0.06	4~11	3.2±0.1	76.8±2.8	23.8±1.3
DZTC1-14	2.05±0.09	9.70±0.28	1.76±0.06	4~11	3.4±0.1	46.1±1.4	13.5±0.7
DZTC1-16	1.49±0.07	8.22±0.25	1.69±0.06	90~120	2.6±0.1	34.4±1.0	13.3±0.7
DZTC1-18	2.12±0.09	10.70±0.30	1.79±0.06	4~11	3.6±0.1	19.8±0.2	5.5±0.2
DZTC1-19	2.00±0.08	10.90±0.31	2.10±0.06	4~11	3.9±0.1	3.3±0.1	0.8±0.03
DZTC2-S1	1.09±0.06	5.99±0.20	1.47±0.05	4~11	2.5±0.1	34.2±0.5	13.7±0.6
DZTC2-S2	2.63±0.10	12.00±0.34	1.97±0.06	4~11	4.0±0.1	44.6±0.4	11.1±0.4
DZTC2-S4	1.57±0.07	9.10±0.26	1.69±0.06	4~11	3.2±0.1	7.4±0.1	2.3±0.1
DZTC2-S6	1.31±0.06	5.36±0.18	1.55±0.05	4~11	2.6±0.1	51.8±1.3	19.9±0.9
DZTC2-N1	1.60±0.07	8.82±0.26	1.55±0.05	4~11	3.1±0.1	7.6±0.1	2.4±0.1
DZTC2-N2	2.01±0.08	9.01±0.26	1.73±0.06	4~11	3.4±0.1	6.8±0.6	8.0±0.3
DZTC2-N4	1.04±0.06	4.48±0.16	1.44±0.05	4~11	2.3±0.1	38.5±0.6	16.4±0.7
DZTC2-N5	1.86±0.08	7.83±0.24	1.67±0.06	4~11	3.1±0.1	79.7±1.1	25.8±1.0
DZTC2-N7	2.44±0.10	11.50±0.32	1.80±0.06	4~11	3.8±0.1	28.5±0.3	7.5±0.3

以 2~7cm 为主, 偶见 10~15cm 砾石, 分选、磨圆均较差, 砾石呈次棱角状, 层厚约 1m, 在层顶距顶部 10cm 处发育 1 套长约 2m、厚 10~30cm 的中砂透镜体, 可见层理; U1-5: 坎前堆积, 该层由灰白色中细砂组成, 含少量小砾石, 粒径一般为 1~2cm, 该层中部 (DZTC2-S6) 释光 (采样深度分别为 1.75m) 测年结果为 (19.9±0.9) ka; U1-6: 中砾层, 颜色为灰白色, 砾径以 3~7cm 为主, 偶见 10~15cm 的砾石, 分选、磨圆度均较差, 砾石呈次棱角状, 层厚约 60cm,



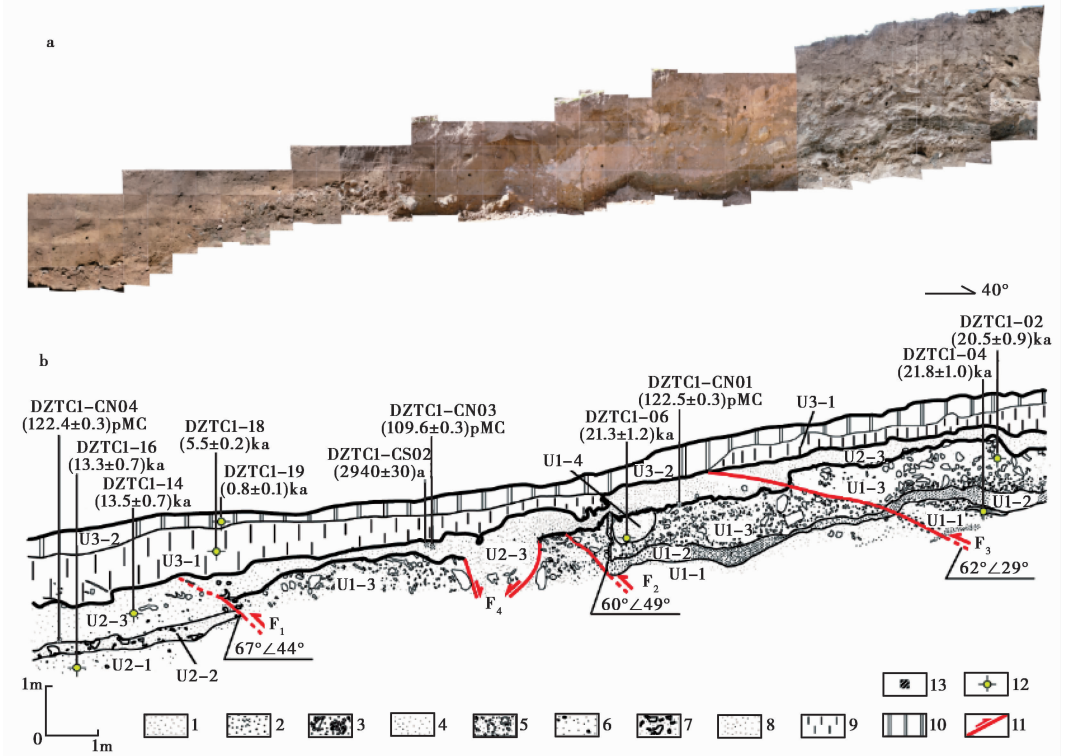


图 6 德州村 TC1 探槽剖面图

Fig. 6 Log of trench TC1 at Dezhou Village.

- 1 细砂层; 2 黏土质细砾层; 3 灰白色中砾层; 4 含砾中砂层; 5 深灰色中砾层; 6 粗砂层; 7 中细砾石层; 8 粉细砂层;
- 9 砂质黏土层; 10 腐殖层; 11 断裂; 12 释光样取样位置; 13 <sup>14</sup>C 取样位置

探槽南壁砂砾石中间 (DZTC2-02, DZTC2-05; 采样深度分别为 1.8m, 1.7m) <sup>14</sup>C 测年结果为 (12 280±40)a、(12 250±40)a; U1-7: 含砾粗砂层, 颜色为灰白色, 砾石砾径以 2~5cm 中砾为主, 偶见 8~10cm 的砾石, 分选、磨圆均较差, 砾石呈次棱角状, 该层为断层 Fs1 活动后形成的崩积楔 (表 1, 2)。

U2 主要为粉砂质黏土层, 属于风成物。U2 可进一步划分为 2 个亚层。U2-1: 砂质粉土, 颜色为土黄色, 层内含有少量砾石, 砾径 3~15cm, 呈棱角、次棱角状, 层厚 49~100cm, 层内发育 1 套厚约 1m 的 U 型沉积层, 为古河道侵蚀形成并在后期为土黄色细砂层充填, 靠近细砂层底部 (DZTC2-S2) 释光 (采样深度为 1.3m) 测年结果为 (11.1±0.4) ka, (DZTC2-01) <sup>14</sup>C 测年结果为 (12 080±50)a, 中部 (DZTC2-04; 采样深度为 1.25m) <sup>14</sup>C 测年结果为 (12 220±40)a; U2-2: 腐殖层, 颜色为黑色, 植物根系发育, 土壤松散, 无层理, 层厚 20~50cm, 靠近细腐殖层层底部 (DZTC2-S4) 释光 (采样深度为 0.4m) 测年结果为 (2.3±0.1) ka (表 1, 2)。

### 3.2.2.2 TC2 探槽北壁

U1 主要为细砂—中砂层和细砾—中砾层, 属于河漫滩相与河流相沉积物。U1 可进一步划分为 6 个亚层。U1-1: 黏土质细砾层, 颜色为青黑色, 砾径为 0.5~3cm, 分选较好, 磨圆度较差, 以角砾为主, 顺坡层理明显, 可见厚度约 40cm, 层内夹有土黄色的细砂透镜体以及长约

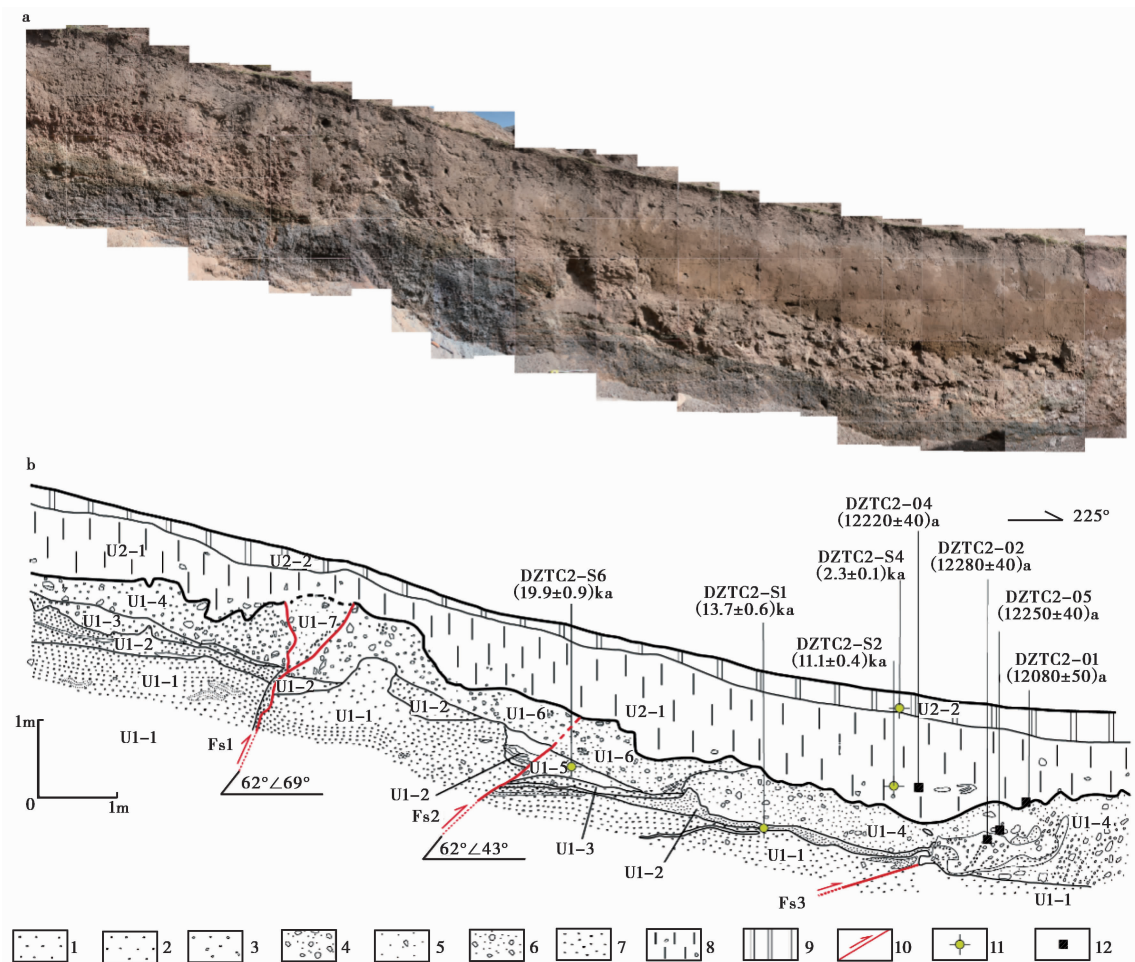


图 7 德州村 TC2 探槽南壁剖面图

Fig. 7 Log of the southern wall of trench TC2 at Dezhou Village.

- 1 黏土质细砾层(青灰色); 2 黏土质细砾层(灰绿色); 3 细砂层; 4 中砾层(砖红色); 5 坎前堆积; 6 中砾层(灰白色);  
7 含砾粗砂层; 8 砂质粉土; 9 腐殖层; 10 逆断层; 11 释光样取样位置; 12  $^{14}\text{C}$ 取样位置

70cm 砖红色的砂砾石透镜体; U1-2: 黏土质细砾层, 颜色为灰绿色, 砾石砾径以 1~2cm 为主, 偶见 3~4cm 的砾石, 分选性较好, 磨圆度较差, 砾石呈次棱角状, 层厚 13~30cm, 在断层下盘该层尖灭, 可见层理, 推测该层形成于一种气候潮湿且水动力较稳定的环境下; U1-3: 细砂层, 颜色为土黄色, 偶见细砾, 砾石砾径 1~2cm, 层厚为 10~25cm, 该层仅见于主断层下盘, 其成因类型为风积砂, 细砂层中间 (DZTC2-N4) 释光 (采样深度为 0.6m) 测年结果为  $(16.4 \pm 0.7) \text{ka}$ ; U1-4: 砂砾石层, 颜色为灰白色, 砾石砾径以 2~5cm 中砾为主, 偶见 20cm 左右的砾石, 分选、磨圆均较差, 砾石呈次棱角状, 层厚 15~20cm, 可见层理; U1-5: 中砾层, 颜色为砖红色, 砾径以 2~7cm 为主, 偶见砾径为 20cm 的砾石, 砾石分选和磨圆度均较差, 呈次棱角状, 层厚约 1m, 在该层上部距顶面约 10cm 处, 夹有 1 个中砂透镜体, 透镜体长约 2m, 厚 10~30cm; U1-6: 含砾粗砂层, 颜色为暗红色, 砾石砾径以 3~5cm 中砾为主, 偶见 15cm 左

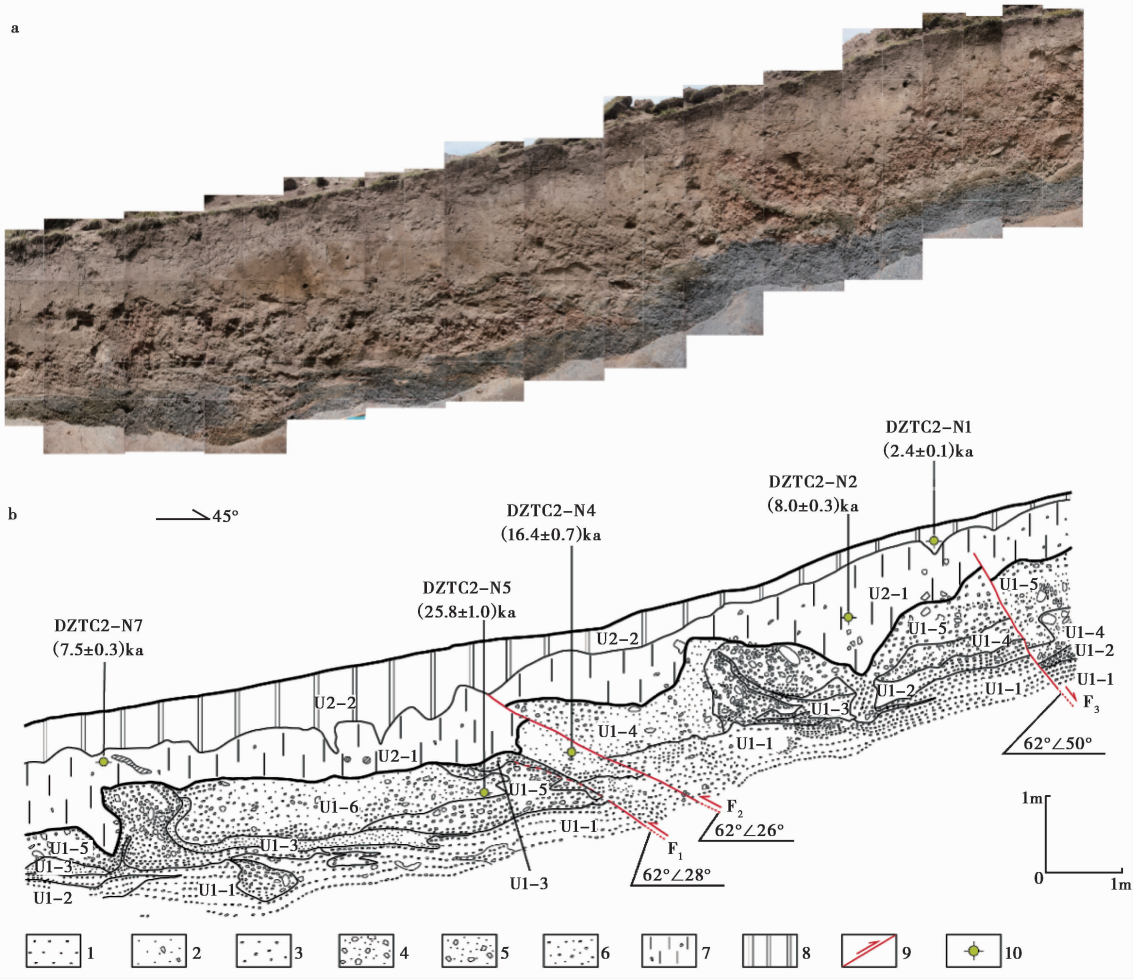


图 8 德州村 TC2 探槽北壁剖面图

Fig. 8 Log of the northern wall of trench TC2 at Dezhou.

- 1 黏土质细砾层(青黑色); 2 黏土质细砾层(灰绿色); 3 细砂层; 4 砂砾石层; 5 中砾层;
- 6 含砾粗砂层; 7 细砂层; 8 腐殖层; 9 断裂; 10 释光样取样位置

右的砾石,分选、磨圆均较差,砾石呈次棱角状,层厚 15~20cm,可见层理,砂砾石下部(DZTC2-N5)释光(采样深度为 4m)测年结果为(25.8±1.0)ka(表 2)。

U2 主要为粉砂质黏土层,属于风成物。U2 可进一步划分为 2 个亚层。U2-1:砂质粉土,颜色为土黄色,含有中细砾,砾石砾径以 3cm 左右为主,偶见 10cm 左右的砾石,层厚 40~100cm,靠近细砂层下部(DZTC2-N2)释光(采样深度为 1.4m)测年结果为(8.0±0.3)ka,上部(DZTC2-N7)释光(采样深度为 1.2m)测年结果为(7.5±0.3)ka; U2-2:腐殖层,颜色为黑色,植物根系发育,土壤松散,无层理,层厚 20~50cm,靠近腐殖层底部,(DZTC2-N1)释光(采样深度为 0.25m)测年结果为(2.4±0.1)ka(表 2)。

## 4 讨论

### 4.1 时间标尺

TC1 探槽共揭露 3 套地层, 分别为冲洪积相 U1、河漫滩相 U2, 以及风成相 U3(图 6)。冲洪积相 U1 地层内部共有 3 个释光样品, 样品的年龄一致, 约  $(21.2 \pm 0.6)$  ka, 该年龄为洪积扇面表层冲洪积物开始沉积的时代, 接近洪积扇面  $f_p$  的废弃年龄。河漫滩相 U2 地层内部共获得 2 个释光样品, 年龄一致, 约  $(13.4 \pm 0.5)$  ka, 该样品接近地表, 可代表河流阶地  $T_2$  的废弃时代。风成相 U3 地层年龄  $< (12.08 \pm 0.05)$  ka, 具有穿时性。

TC2 探槽南壁揭露 2 套地层, 分别为河漫滩相与河流相沉积物 U1, 以及风成相 U2(图 7)。其中在 TC2 探槽南壁的河漫滩相与河流相沉积物 U1 中有 3 个  $^{14}\text{C}$  样品和 2 个释光样品。U1-5 中的释光样品采集于坎前堆积物, 年龄  $((19.9 \pm 0.9)$  ka) 相对偏大, 可能是下部地层被错动到古地表后, 未充分曝光, 不能代表临近层位的沉积年龄。U1 中其余的 3 个  $^{14}\text{C}$  样品与 1 个释光样品的年龄一致, 约  $(12.6 \pm 0.2)$  ka, 样品接近地表, 可代表河流阶地  $T_2$  的废弃年龄。风成相 U2 中的 DZTC2-S2 和 DZTC2-04 样品揭露 U2 地层底部的年龄约 12.2ka, 进一步说明  $T_2$  阶地的废弃年龄在  $(12.6 \pm 0.2)$  ka 和 12.2ka 之间, 约  $(12.4 \pm 0.11)$  ka。

TC2 探槽北壁的地层与南壁类似, 也出露 2 套地层, 分别为河漫滩相、河流相沉积物 U1 和风成相 U2(图 7, 8)。U1 地层中的 2 个释光采样点均位于断层下盘, 年龄均老于南壁揭露的相应地层的年龄  $((12.6 \pm 0.2)$  ka)。因为北壁 U1 地层中的样品较少, 本文认为通过 TC2 探槽南壁限定的  $(12.4 \pm 0.11)$  ka 更能代表  $T_2$  阶地的废弃年龄。风成相 U3 中样品揭露该套地层属于全新世, 具有穿时性。

晚更新世以来研究区主要发育 1 级洪积扇面  $f_p$ , 3 级河流阶地面  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$ 。其中, 洪积扇面  $f_p$  的地貌面高度和河流阶地  $T_3$  高度一致, 推测属于在同一时期形成的不同类型的地貌面。通过在相应地貌面上开挖探槽, 共揭露 3 套地层, 由老到新分别为洪积相、河流相和风成相。其中洪积相沉积物的年龄对应于洪积扇  $f_p$  的废弃时代, 约  $(21.2 \pm 0.6)$  ka; 河流相顶部的年龄和风成相底部的年龄, 对应河流阶地  $T_2$  的废弃年龄, 约  $(12.4 \pm 0.11)$  ka。

### 4.2 活动速率

在 A、B 和 C 流域中, 洪积扇面  $f_p$  的右旋位错量分别约  $(54 \pm 5)$  m、 $(49 \pm 5)$  m 和  $(49 \pm 5)$  m,  $T_2$  阶地的右旋位错量分别约  $(31 \pm 5)$  m、 $(27 \pm 5)$  m、 $(25 \pm 5)$  m 和  $(26 \pm 5)$  m(图 3, 4, 5)。可知自洪积扇面  $f_p$  被废弃以来, 日月山断裂的累积右旋位错量约  $(51 \pm 5)$  m。结合洪积扇面  $f_p$  的废弃年龄  $(21.2 \pm 0.6)$  ka, 可知晚更新世晚期以来, 日月山断裂的右旋滑动速率约  $(2.41 \pm 0.25)$  mm/a。自河流阶地  $T_2$  被废弃以来, 日月山断裂的累积右旋位错量约  $(27 \pm 5)$  m。结合  $T_2$  阶地地面的废弃年龄约  $(12.4 \pm 0.11)$  ka, 可知全新世以来日月山断裂的右旋滑动速率约  $(2.18 \pm 0.40)$  mm/a。对比不同时间段的右旋滑动速率, 可知日月山断裂德州段的右旋滑动速率在晚更新世晚期以来基本不变。

在 B 流域中,  $T_2$  阶地地面的垂直位错量分别约  $(1.6 \pm 0.5)$  m、 $(1.7 \pm 0.5)$  m。在 C 流域中,  $T_2$  阶地地面的垂直位错量分别约为  $(4.5 \pm 0.5)$  m、 $(4.2 \pm 0.5)$  m。2 个流域的垂直位错量有一定的差别, 但都远小于走滑位错量。造成该断裂不同点垂直位错差别较大的原因可能是: 1) 走滑断层随着走向的改变, 断层产状发生了变化, 进而导致有些地区的逆冲分量变大; 2) 研究区

以河流阶地面作为地貌标识进行变形分析;然而河流阶地面被断错后,又沉积了风成堆积物,由于不同部位的风成堆积物的厚度不同,导致仅以地表位错计算垂直位错量会有一些的差别(图6,7,8),但可以推测地表的垂直位错量均小于真实的垂直位错量。考虑到TC1和TC2两个探槽揭露的风成堆积物的厚度均 $<2\text{m}$ ,本文假设日月山断裂德州段的垂直位错量的下限约 $(3.0\pm 2)\text{m}$ ,结合 $T_2$ 阶地面的废弃年龄约 $(12.4\pm 0.11)\text{ka}$ ,得到全新世以来日月山断裂德州段的垂直滑动速率约为 $(0.24\pm 0.16)\text{mm/a}$ 。

本文研究认为,日月山断裂以右旋走滑运动为主,兼有逆冲运动。利用断错地貌方法获得了日月山断裂德州段全新世以来的右旋和垂直滑动速率。前人研究认为,日月山断裂晚更新世以来的水平滑动速率为 $(3.25\pm 1.75)\text{mm/a}$ ,垂直滑动速率达 $(0.24\pm 0.14)\text{mm/a}$ (袁道阳等,2003b)。在日月山断裂海晏段贺湾一带( $37^{\circ}6'10.7''\text{N}$ , $100^{\circ}41'7.8''\text{E}$ ),断层断错1级冲洪积阶地 $(9\pm 2)\text{m}$ ,相应的 $^{14}\text{C}$ 样品年龄为 $(7\ 057\pm 110)\text{a}$ ,得到日月山断裂海晏段全新世滑动速率约 $1.3\text{mm/a}$ ;在查地一带( $36^{\circ}56'29.4''\text{N}$ , $100^{\circ}49'1.9''\text{E}$ ),冲沟阶地 $T_2/T_1$ 断错量为 $(12\pm 3)\text{m}$ ,相应地 $T_2$ 阶地 $^{14}\text{C}$ 年龄为 $(10\ 053\pm 135)\text{a}$ ,由此得到断裂全新世滑动速率为 $(1.2\pm 0.4)\text{mm/a}$ (Yuan *et al.*, 2011)。由于野外工作对断错标志和位移量的判断有别以及测年样品的误差等因素,导致不同学者获取的滑动速率存在差异,但总体而言对断裂活动性的认识比较接近,滑动速率的差异并不大。

日月山断裂并未切错大型块体的边界,而是青藏高原东北缘地区夹持于区域大型左旋走滑断裂内部的1套右旋走滑断裂中的一支。在青藏高原东北缘整体生长和扩展的过程中,右旋走滑断裂对各次级块体之间的变形协调起着十分重要的调节作用。第四纪早期,由于青藏块体继续向NE方向扩展,在区域NE构造应力作用下,青藏高原东北缘块体发生了NE向的挤压缩短、顺时针方向的旋转和SEE向的挤出等构造变形,致使NNW向的区域主边界断裂发生左旋走滑,而夹持其间的NNW向断裂产生剪切压扁,导致NNW向日月山断裂和鄂拉山断裂的右旋走滑。从整个青藏高原东北缘的区域上看,以祁连山-海原断裂带和东昆仑断裂带为代表的NNW—NW向左旋走滑的大型主边界断裂与日月山断裂和鄂拉山断裂为代表的块体内部NNW向右旋走滑断裂,这2组走滑断裂可能构成了1组共轭剪切构造(Yuan *et al.*, 2011)。NNW向右旋走滑断裂:日月山断裂和鄂拉山断裂并没有错断NNW向的东昆仑断裂带、海原-祁连山断裂带等主边界断裂,而是夹持在它们之间的次级构造,是受青藏高原东北缘NE向区域构造应力挤压作用和右旋剪切而导致的块体内部剪切压扁的产物(袁道阳等,2004)。除剪切压扁之外,也可能与两侧主走滑断裂的左旋走滑所导致的块体内部逆时针旋转有关(国家地震局地质研究所等,1993)。

## 5 结论

本文对研究区晚更新世以来的地貌面进行了详细划分及定年,建立了研究区的地貌时间标尺。通过分析断错的地貌标志,讨论了日月山断裂德州段的晚更新世以来的滑动速率。主要得到以下2点认识:

(1)晚更新世以来,日月山断裂德州段主要发育1级洪积扇面 $f_p$ ,3级河流阶地面 $T_1$ 、 $T_2$ 和 $T_3$ 。其中洪积扇 $f_p$ 的废弃年龄约 $(21.2\pm 0.6)\text{ka}$ ,河流阶地 $T_2$ 的废弃年龄约 $(12.4\pm 0.11)\text{ka}$ 。

(2) 日月山断裂晚更新世晚期以来的右旋滑动速率约  $(2.41 \pm 0.25)$  mm/a; 全新世以来的右旋滑动速率约  $(2.18 \pm 0.40)$  mm/a, 垂直滑动速率约  $(0.24 \pm 0.16)$  mm/a。日月断裂德州段的右旋滑动速率在晚更新世晚期以来基本不变。

**致谢** 感谢审稿专家对论文提出的宝贵修改意见。

## 参 考 文 献

- 邓起东, 陈立春, 冉勇康. 2004. 活动构造定量研究与应用 [J]. 地学前缘, 11(4): 383—392.
- DENG Qi-dong, CHEN Li-chun, RAN Yong-kang. 2004. Quantitative studies and applications of active tectonics [J]. Earth Science Frontiers, 11(4): 383—392(in Chinese).
- 邓起东, 闻学泽. 2008. 活动构造研究: 历史、进展与建议 [J]. 地震地质, 30(1): 1—30. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2008.01.002.
- DENG Qi-dong, WEN Xue-ze. 2008. A review on the research of active tectonics: History, progress and suggestions [J]. Seismology and Geology, 30(1): 1—30(in Chinese).
- 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 2002. 中国活动构造基本特征 [J]. 中国科学(D辑), 32(12): 1020—1030.
- DENG Qi-dong, ZHANG Pei-zhen, RAN Yong-kang, *et al.* 2003. Basic characteristics of active tectonics of China [J]. Science in China(Ser D), 46(4): 356—372.
- 付碧宏, 张松林, 谢小平, 等. 2006. 阿尔金断裂系西段: 康西瓦断裂的晚第四纪构造地貌特征研究 [J]. 第四纪研究, 26(2): 228—235.
- FU Bi-hong, ZHANG Song-lin, XIE Xiao-ping, *et al.* 2006. Late Quaternary tectono-geomorphic features along the Kangxiwar Fault, Altyn Tagh fault system, northern Tibet [J]. Quaternary Sciences, 26(2): 228—235(in Chinese).
- 国家地震局地质研究所, 国家地震局兰州地震研究所. 1993. 祁连山-河西走廊活动断裂系 [M]. 北京: 地震出版社.
- Institute of Geology, SSB, Lanzhou Institute of seismology, SSB. 1993. The Qilian Mountains-Hexi Corridor Active Fault System [M]. Seismological Press, Beijing(in Chinese).
- 李智敏, 李文巧, 田勤俭, 等. 2013. 青藏高原东北缘热水-日月山断裂带热水段古地震初步研究 [J]. 地球物理学进展, 28(4): 1766—1771.
- LI Zhi-min, LI Wen-qiao, Tian Qin-jian, *et al.* 2013. A preliminary study on paleo-earthquake of the Reshui segment in Reshui-Riyue Mt. fault zone, Qinghai Province [J]. Progress in Geophysics, 28(4): 1766—1771(in Chinese).
- 李智敏, 王强, 屠泓为. 2012. 热水-日月山断裂带遥感特征初步探讨 [J]. 高原地震, 24(3): 16—22.
- LI Zhi-min, WANG Qiang, TU Hong-wei. 2012. The remote sensing characteristic preliminary discussion on Reshui-Riyue Mountain fault zone [J]. Plateau Earthquake Research, 24(3): 16—22(in Chinese).
- 苏鹏, 田勤俭, 梁朋, 等. 2016. 基于青衣江变形河流阶地研究龙门山断裂带南段的构造活动性 [J]. 地震地质, 38(3): 523—545.
- SU Peng, TIAN Qin-jian, LIANG Peng, *et al.* 2016. Using deformed fluvial terraces of the Qingyijiang River to study the tectonic activity of the southern segment of Longmenshan fault zone [J]. Seismology and Geology, 38(3): 523—545(in Chinese).
- 徐锡伟, 于贵华, 陈桂华, 等. 2007. 青藏高原北部大型走滑断裂带近地表地质变形带特征分析 [J]. 地震地质, 29(2): 201—217. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2007.02.002.
- XU Xi-wei, YU Gui-hua, CHEN Gui-hua, *et al.* 2007. Near-surface character of permanent geologic deformation across the mega-strike-slip faults in the northern Tibetan plateau [J]. Seismology and Geology, 29(2): 201—217(in

Chinese).

- 袁道阳, 刘小龙, 刘百箴, 等. 2003a. 青海热水-日月山断裂带古地震的初步研究 [J]. 西北地震学报, 25(2): 136—142.
- YUAN Dao-yang, LIU Xiao-long, LIU Bai-chi, *et al.* 2003a. A preliminary study on palaeo-earthquake events of the Reshui-Riyue Mt. active fault zone in Qinghai Province [J]. Northwestern Seismological Journal, 25(2): 136—142 (in Chinese).
- 袁道阳, 刘小龙, 张培震, 等. 2003b. 青海热水-日月山断裂带的新活动特征 [J]. 地震地质, 25(1): 155—165. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2003.01.015.
- YUAN Dao-yang, LIU Xiao-long, ZHANG Pei-zhen, *et al.* 2003b. Characteristics of the modern activity of the Reshui-Riyueshan fault zone in Qinghai Province [J]. Seismology and Geology, 25(1): 155—165 (in Chinese).
- 袁道阳, 张培震, 刘百箴, 等. 2004. 青藏高原东北缘晚第四纪活动构造的几何图像与构造转换 [J]. 地质学报, 78(2): 270—278.
- YUAN Dao-yang, ZHANG Pei-zhen, LIU Bai-chi, *et al.* 2004. Geometrical imagery and tectonic transformation of Late Quaternary active tectonics in northeastern margin of Qinghai-Xizang Plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 78(2): 270—278 (in Chinese).
- 张培震, 邓起东, 张竹琪, 等. 2013. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程 [J]. 中国科学(D辑), 43(10): 1607—1620.
- ZHANG Pei-zhen, DENG Qi-dong, ZHANG Zhu-qi, *et al.* 2013. Active faults, earthquake hazards and associated geodynamic processes in continental China [J]. Science in China (Ser D), 43(10): 1607—1620 (in Chinese).
- 张培震, 郑德文, 尹功明, 等. 2006. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论 [J]. 第四纪研究, 26(1): 5—13.
- ZHANG Pei-zhen, ZHENG De-wen, YIN Gong-ming, *et al.* 2006. Discussion on Late Cenozoic growth and rise of northeastern margin of the Tibetan plateau [J]. Quaternary Sciences, 26(1): 5—13 (in Chinese).
- 郑文俊. 2009. 河西走廊及其邻区活动构造图像及构造变形模式 [D]. 北京: 中国地震局地质研究所.
- ZHENG Wen-jun. 2009. Geometric pattern and active tectonics of the Hexi Corridor and its adjacent regions [D]. Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing (in Chinese).
- 郑文俊, 袁道阳, 何文贵. 2004. 祁连山东段天桥沟-黄羊川断裂古地震活动习性研究 [J]. 地震地质, 26(4): 645—657. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2004.04.011.
- ZHENG Wen-jun, YUAN Dao-yang, HE Wen-gui. 2004. Characteristics of palaeo-earthquake activity along the active Tianqiaogou-Huangyangchuan Fault on the eastern section of the Qilianshan Mountains [J]. Seismology and Geology, 26(4): 645—657 (in Chinese).
- 郑文俊, 张培震, 葛伟鹏, 等. 2012. 河西走廊北部合黎山南缘断裂晚第四纪滑动速率及其对青藏高原向东北扩展的响应 [J]. 国际地震动态, (6): 30.
- ZHENG Wen-jun, ZHANG Pei-zhen, GE Wei-peng, *et al.* 2012. Late Quaternary slip rates of the southern margin thrust fault of Heli Shan at the northern Hexi Corridor and their implications for northeastward growth of the Tibetan plateau [J]. Recent Developments in World Seismology, (6): 30 (in Chinese).
- Mohammed N Z, Ghazi A, Mustafa H E. 2013. Positional accuracy testing of Google Earth [J]. International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, 4(6): 6—9.
- Potere D. 2008. Horizontal positional accuracy of Google Earth's high-resolution imagery archive [J]. Sensors, 8(12): 7973—7981.
- Yuan D Y, Champagnac J D, Ge W P, *et al.* 2011. Late Quaternary right-lateral slip rates of faults adjacent to the lake Qinghai, northeastern margin of the Tibetan plateau [J]. Geological Society of America Bulletin, 123(9-10): 2016—2030.

## SLIP RATES OF THE RIYUE MT. FAULT AT DEZHOU SEGMENT SINCE LATE PLEISTOCENE

LI Zhi-min<sup>1)</sup> SU Peng<sup>2)</sup> HUANG Shuai-tang<sup>3)</sup> TIAN Qin-jian<sup>4)</sup> YIN Xiang<sup>1)</sup>

1) *Qinghai Earthquake Administration, Xining 810001, China*

2) *Key Laboratory of Active Tectonics and Volcano, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China.*

3) *Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China*

4) *Key Laboratory of Earthquake Prediction, Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China*

### Abstract

The Riyue Mt. Fault is a secondary fault controlled by the major regional boundary faults (East Kunlun Fault and Qilian-Haiyuan Fault). It lies in the interior of Qaidam-Qilianshan block and between the major regional boundary faults. The Riyue Mt. fault zone locates in the special tectonic setting which can provide some evidences for recent activity of outward extension of NE Tibetan plateau, so it is of significance to determine the activity of Riyue Mt. Fault since late Pleistocene to Holocene. In this paper, we have obtained some findings along the Dezhou segment of Riyue Mt. Fault by interpreting the piedmont alluvial fans, measuring fault scarps, and excavating trenches across the fault scarp. The findings are as follows: (1) Since the late Pleistocene, there are an alluvial fan  $f_p$  and three river terraces  $T_1$ - $T_3$  formed on the Dezhou segment. The abandonment age of  $f_p$  is approximately  $(21.2 \pm 0.6)$  ka, and that of the river terrace  $T_2$  is  $(12.4 \pm 0.11)$  ka. (2) Since the late Pleistocene, the dextral strike-slip rate of the Riyue Mt. Fault is  $(2.41 \pm 0.25)$  mm/a. In the Holocene, the dextral strike-slip rate of the fault is  $(2.18 \pm 0.40)$  mm/a, and its vertical displacement rate is  $(0.24 \pm 0.16)$  mm/a. This result indicates that the dextral strike-slip rate of the Riyue Mt. Fault has not changed since the late Pleistocene. It is believed that, as one of the dextral strike-slip faults, sandwiched between the the regional big left-lateral strike-slip faults, the Riyue Mt. Fault didn't cut the boundary zone of the large block. What's more, the dextral strike-slip faults play an important role in the coordination of deformation between the sub-blocks during the long term growth and expansion of the northeast Tibetan plateau.

**Key words** Riyue Mt. Fault, activity rates, Dezhou segment, geomorphic markers, Late Pleistocene

〔作者简介〕 李智敏，男，1977年生，2005年于中国地震局兰州地震研究所获构造地质学硕士学位，副研究员，现主要从事活动构造、历史强震次生灾害研究，电话：0971-6127653，E-mail：minhero\_168@126.com。