

文章编号: 1004—5589 (2016) 03—0778—08

## 曲江断裂南东段全新世滑动速率

荆振杰<sup>1</sup>, 刘凤香<sup>2</sup>, 张井飞<sup>1</sup>, 谢富仁<sup>1</sup>

1. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085;
2. 中国地质博物馆, 北京 100034

**摘要:** 高精度 SPOT 卫星影像和野外地质调查表明, 曲江断裂南东段断错山前冲沟及河流 I 级和 II 级阶地, 在探槽中见到断裂断错全新世地层, 是一条右旋走滑的全新世活动断裂, 兼有逆冲性质, 断裂的最新活动是 1970 年通海 7.8 级地震。对曲江断裂典型走滑断错地貌进行研究, 曲江断裂南东段在五街一带水平滑动速率为  $(3.36 \pm 0.1)$  mm/a, 白林山一带水平滑动速率为  $(3.21 \pm 0.3)$  mm/a。

**关键词:** 曲江断裂; 全新世活动; 滑动速率; 断错地貌

**中图分类号:** P534.632; P542.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1004-5589.2016.03.018

## Holocene slip rate of southeastern segment of Qujiang fault

JING Zhen-jie<sup>1</sup>, LIU Feng-xiang<sup>2</sup>, ZHANG Jing-fei<sup>1</sup>, XIE Fu-ren<sup>1</sup>

1. Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China;
2. Geological Museum of China, Beijing 100034, China

**Abstract:** The high-resolution digital SPOT images and field investigation show that the southeastern segment of Qujiang fault offset the youngest gullies and the I and II grade fluvial terraces. Qujiang fault is a Holocene active right-lateral strike-slip fault, along with some reverse component which offset the Holocene deposit in the trench. The latest activity event is the 7.8 earthquake in Tonghai in 1970. Investigating typical landform offset by Qujiang fault, at the field of the Wujie and Bailinshan where is the southeastern segment of Qujiang fault, the right-lateral slip rate of this fault is  $(3.36 \pm 0.1)$  mm/a and  $(3.21 \pm 0.3)$  mm/a, respectively.

**Key words:** Qujiang fault; Holocene fault; slip rate; offset landform

### 0 引言

滇东南楔形构造区是由小江断裂和红河断裂所围限的区域<sup>[1]</sup>, 楔形构造区内主要有小江断裂、红河断裂、石屏—建水断裂和曲江断裂。许多学者详细研究了楔形构造区内断裂活动的几何学、运动学和地震活动性等特征<sup>[1-4]</sup>。曲江断裂是一条总体走向 N50°W, 并向南凸出的弧形断裂带, 断裂南东端被小江断裂南延的分支断裂所截断, 西北端受绿汁江断裂所限, 与石屏—建水断裂大致平行, 是滇东南楔形构造区的一条重要断裂带 (图 1)。根

据历史资料的考证, 1588 年和 1913 年分别在曲溪盆地和峨山两地发生了 6.8 和 7.0 级地震, 1970 年又于曲江断裂的枢纽转折部位发生了 7.8 级大地震。1970 年通海地震是曲江断裂最新活动的结果<sup>[2]</sup>, 曲江断裂上存在两个较大的凹凸体, 近代三次 7 级以上强震与凹凸体的位置明显有关<sup>[5]</sup>。据 1955—1973 年的水准资料分析, 曲江断裂大面积的下沉是通海地震的一种典型的垂直形变异常现象<sup>[6]</sup>。但对曲江断裂的最新活动证据及滑动速率缺乏详细研究, 有些文章给出了断裂的滑动速率, 但缺少直接的地质学和年代学的证据, 至今尚未发

收稿日期: 2015-12-21; 改回日期: 2016-01-15

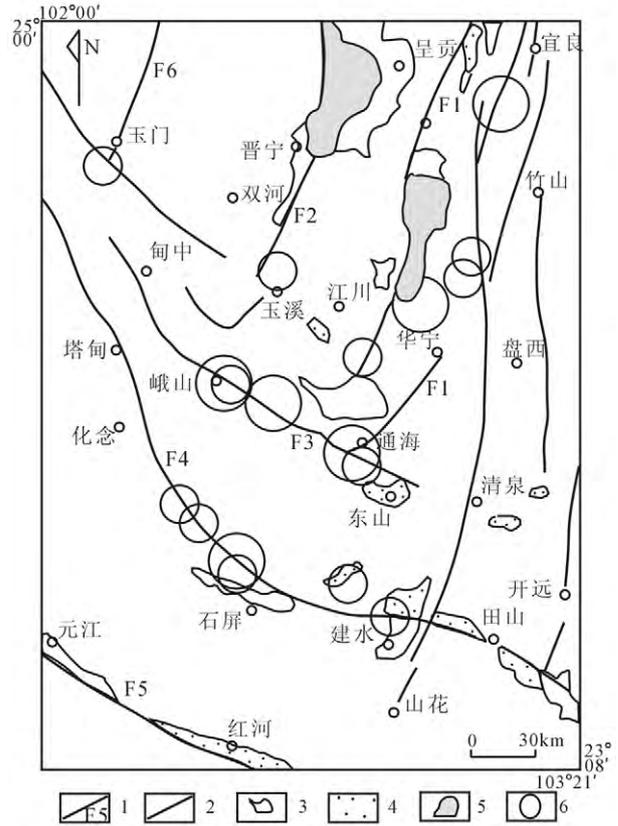
基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (ZDJ2013-15) 和国家科技支撑项目 (2006BAC13B01) 联合资助。

现对曲江断裂滑动速率进行详细研究的报道。笔者在前人的工作基础之上, 依托构造地貌学的依据, 经过对数字化 SPOT 卫星影像 (像元精度 2.5 m) 的细致分析, 选择了 2 个具有典型走滑断层断错地貌特征的地点进行了研究。所选择的 2 个研究地点为五街村错断冲沟地貌和白林山断错河流地貌特征, 首次寻找到了曲江断裂南东段全新世活动的地质证据, 估算了断裂南东段的水平滑动速率。河流阶地及冲沟位错的水平位移, 在野外用皮尺测定, 其误差主要依据河流阶地的陡坎形态来确定。

### 1 断裂基本特征

曲江断裂是一条总体走向  $N50^{\circ}W$  并向南凸出的弧形断裂带, 曲江断裂沿曲江河谷延伸, 长约 100 km, 西北起自安居村, 向东南经岔河、峨山、小海洽、梅子树、水车田到五街后, 沿高大盆地北侧过白林山、姑娘村至大箐, 后沿曲溪盆地北缘至庙碑山以东, 止于小江断裂南段西支的李浩寨断裂, 在空间上由多条次级剪切断层组成 (图 2)。该断裂形成于晋宁运动末期<sup>[5]</sup>, 历经多期活动, 第四纪以来活动强烈。沿断裂发育最宽达 1 km 的构造破碎带, 其中糜棱岩带宽 500 ~ 600 m。沿断裂发育峨山、大海洽、高大和曲溪第四纪断陷盆地, 其中曲溪盆地第四系最大厚度约 650 m。断裂切错了不同时代的地层, 长期以来断裂活动以右旋走滑为主, 兼有逆冲性质。断层地貌主要表现为直线型沟槽状断裂谷, 并伴有一些断层崖和断层陡坎, 沿线地质体、水系和山脊右旋位错明显。断裂大致分为 3 段, 南东段: 曲溪至观音山一线; 中段: 石头村至峨山一线; 北西段: 峨山以北一线。

在峨山以西的西北段, 断裂活动总体水平相对其以东的中、东南段活动要弱些<sup>[7]</sup>。该断裂活动表现出枢纽运动特点, 大致以梅子树为界, 西北段断面



1. 主要断裂及编号; 2. 一般断裂; 3. 第四系地层; 4 第三系地层; 5. 水系; 6. 强震; F1. 小江断裂; F2. 普渡河断裂; F3. 曲江断裂; F4. 石屏—建水断裂; F5. 红河断裂; F6 罗茨—易门断裂。

图 1 曲江断裂及其周边地区主要构造线分布图<sup>[6]</sup>  
Fig. 1 Distribution of main tectonic lines around Qujiang fault and its neighbouring region

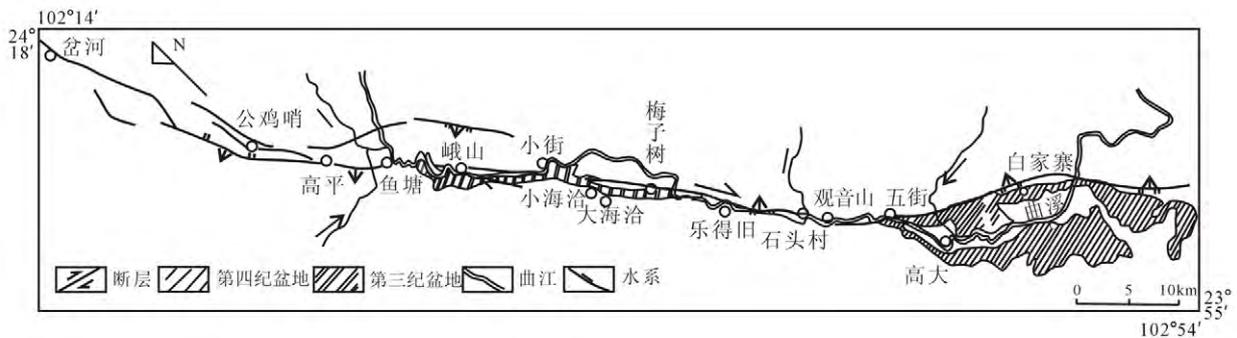


图 2 曲江断裂的位置与几何结构图<sup>[8]</sup>  
Fig. 2 Location of Qujiang fault and geometric structure

倾向南西，倾角  $50^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ；东南段倾角向北东，倾角  $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，在高大、白林山和曲溪等地见北东盘上元生界、古生界逆于第四系更新统之上。

为准确确定曲江断裂南东段的滑动速率，对五街断错冲沟地貌和白林山断错河流地貌特征进行了研究，研究区的分布见图3。

## 2 断裂断错地貌特征

### 2.1 五街断错冲沟地貌

在五街下村以南地区，曲江断裂从山前通过，

表现为走滑断裂典型的地貌组合，较为典型的是连续的冲沟、山脊同步右旋位错，并且在山脊上形成连续的断层三角面和断层陡坎，由于断层的右旋运动，断层切割了从山中由北东向南西流出的一系列冲沟，根据野外调查，所测量的冲沟不存在水平扭曲的假象（图4）。对五条现象明显的冲沟进行了测量，从北向南冲沟的位错量依次为 11.4 m、10.6 m、9.8 m、12.5 m、14.4 m，取平均值为 11.7 m，在距地表下 1 m 冲沟壁的细沙中采取光释光样品（图5），测得年代为距今  $(3.48 \pm 0.10)$

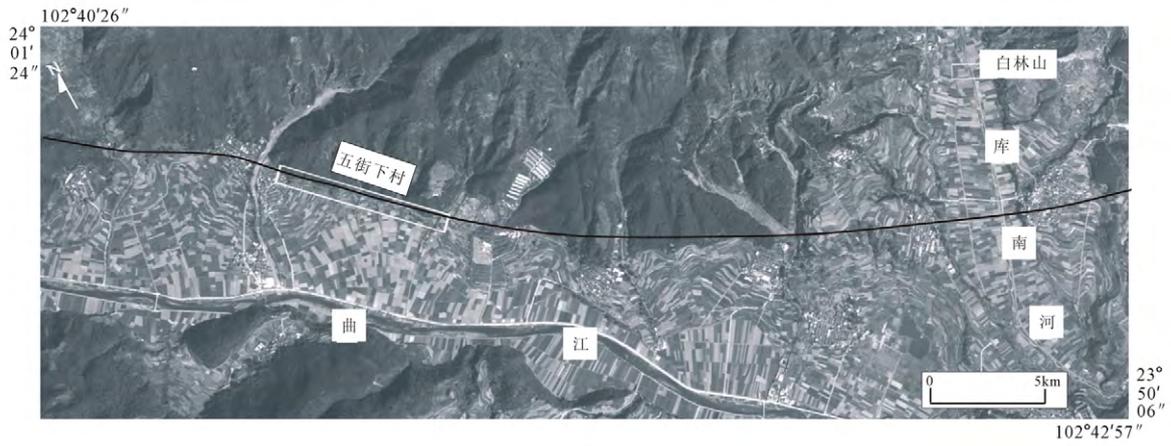
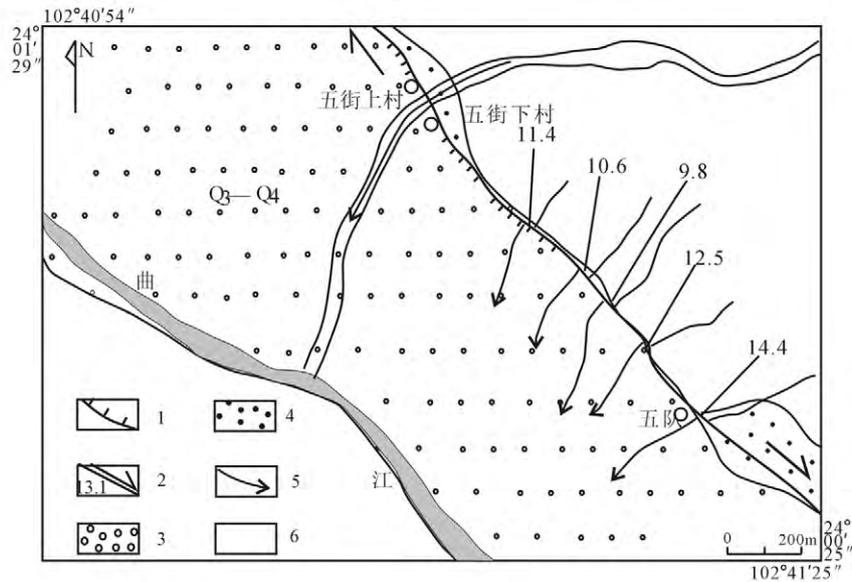


图3 研究区分布图 (SPOT5 裁剪)

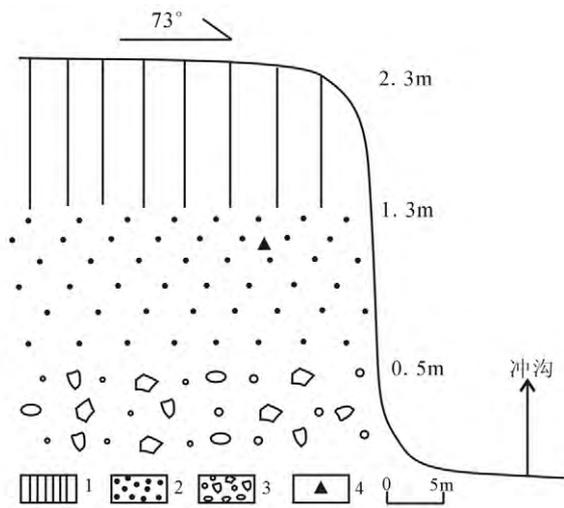
Fig. 3 Distribution of field observation sites



1. 断层陡坎; 2. 断层水平位错方式及错距/m; 3. 第四系; 4. 第三系; 5. 冲沟及流向; 6. 基岩地区.

图4 五街一带冲沟位错图

Fig. 4 Offset landforms near Wujie



1. 黄褐色粉土夹沙土层; 2. 褐色粉细砂层; 3. 砾石层; 4. 采样点.

图 5 五街冲沟采样剖面

Fig. 5 Sampling cross-section of Wujie gully

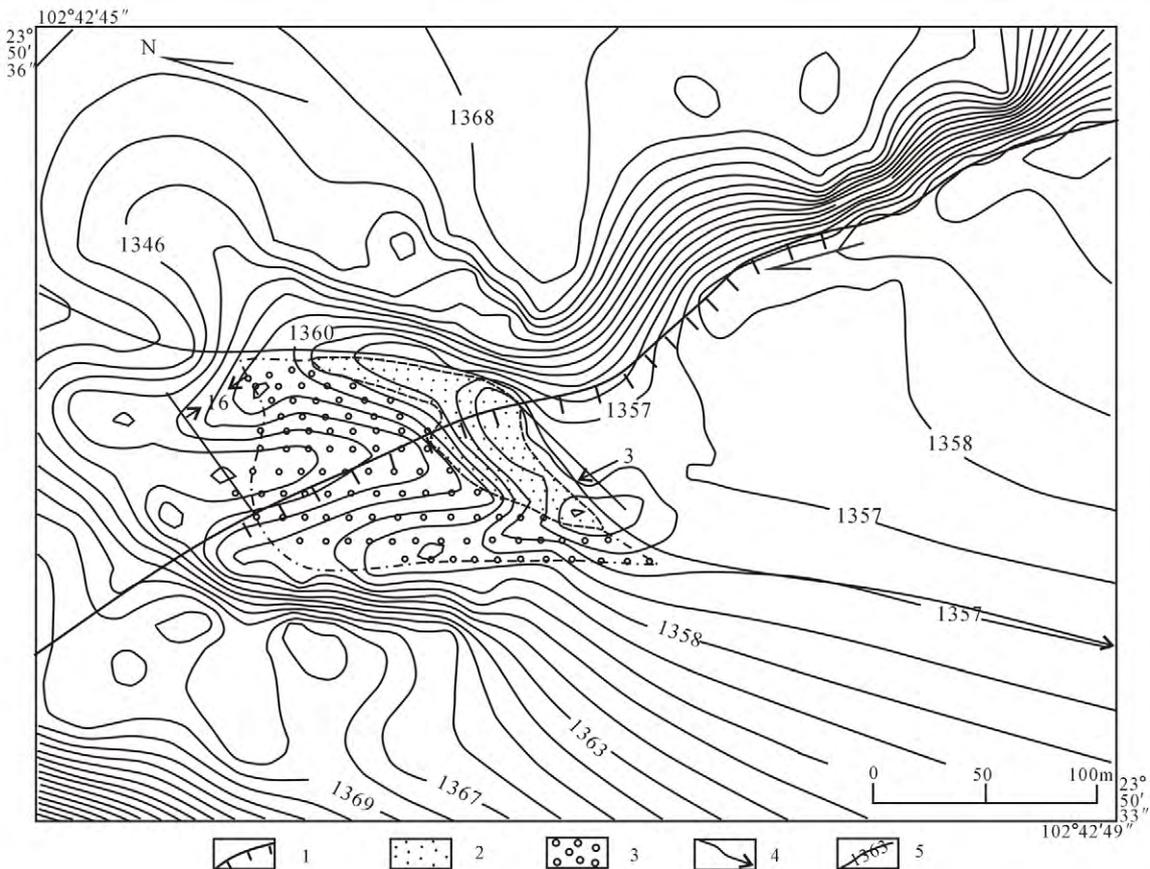
ka, 由此得到断裂的水平滑动速率为 ( 3.36 ± 0.1 ) mm/a。

上述冲沟属较小的冲沟或纹沟, 属于同步弯曲型, 是对走滑断裂活动的影响过程最简单的一种<sup>[9-11]</sup>, 其位错量易于识别和测量, 在估算断错量和滑动速率时, 人为影响因素较小, 所得数据相对可靠。

### 2.2 白林山断错阶地地貌

在白林山村北, 库南河流从山谷中流出, 并向南汇入曲江, 曲江断裂以北西走向穿过库南河, 河流两侧山脊均被错断形成断裂谷, 局部地段形成断层三角面, 库南河阶地被右旋错段, 河床发生右旋拐弯 (图 6)。

库南河在出山口处发育二级阶地, T1 阶地展布在库南河西南岸, 上部主要为细沙层, 下部为砂卵石层, 粒径为 3 ~ 5 cm, T1 阶地底部河床相砾石



1. 断层及陡坎; 2. 一级阶地; 3. 二级阶地; 4. 库南河; 5. 等高线.

图 6 白林山错段河流地貌图

Fig. 6 Landforms of faulted gullies in Bailinshan

为次圆状, 粒径一般为  $1.0 \sim 0.1 \text{ m}$ , 砾石层上覆有厚约  $2.0 \text{ m}$  的漫滩相细砂层, 阶地前缘陡坎水平位移  $3 \text{ m}$ , 在其顶面之下  $0.5 \text{ m}$  处取热释光样品, 测年结果为  $(0.91 \pm 0.07) \text{ Ka BP}$ 。由此得到断裂的水平滑动速率为  $(3.29 \pm 0.24) \text{ mm/a}$ 。但其前缘处于现今河床拐弯处, 河流的侧向侵蚀作用会导致河床跨断裂带的水平偏移量不断扩大。所以, 该位移量不能作为 T 阶地和洪积扇形成以来断裂的水平位错量<sup>[12, 13]</sup>。

T2 阶地地面上表现为高  $1.0 \text{ m}$  的陡坎, 断裂通过处, T2 阶地前缘陡坎由于开挖、耕种等人为因素, 与 T1 阶地的界限模糊不清, 难以测得断裂断错的水平位移, 而阶地后缘保存的相对完整, 断错陡坎位错清晰, 所测得的数据相对准确<sup>[14-17]</sup>。T2 阶地后缘被断裂右旋水平位错  $16 \text{ m}$ 。T2 阶地上覆厚约  $2 \text{ m}$  的冲积层, 呈二元结构特征, 下部河床相砾石层为次棱角状一次圆状, 砾径最大可达  $0.6 \text{ m}$ , 一般为  $20 \sim 30 \text{ cm}$ , 向上砾径变小, 直至顶部的漫滩相粉砂层, 发育水平层理, 粉砂层顶部现已被改造成稻田。在阶地面之下  $1.5 \text{ m}$  处粉砂层中取光释光样品 (图 7), 测年结果为  $(4.98 \pm 0.33) \text{ Ka BP}$ , 由此得到断裂的水平滑动速率为  $(3.21 \pm 0.3) \text{ mm/a}$ 。

### 3 探槽揭示的断裂全新世活动

在五街断错冲沟地貌和白林山断错河流地貌特征的附近, 没有地表断层剖面出露, 为了保证所测得的水平位移是断裂活动的结果及揭示断层的最新活动, 在五街上村和五街下村分别开挖了探槽。

#### 3.1 五街上村探槽

五街上村探槽位于村后的断层陡坎, 断裂从五街上村村内通过, 1970 年通海地震在村内形成了宽约  $1 \text{ m}$  的裂缝, 位于断裂上的房屋被破坏, 在冲沟的两岸形成断层陡坎, 探槽长约  $6 \text{ m}$ , 深  $4.0 \text{ m}$ , 走向  $N60^\circ E$  (图 8), 探槽揭露的地层为河流相的冲洪积物, 主要为砂层与砾石层, 其中砾石磨圆度较差, 砂层的分选不好, 局部砂层与砾石层混杂。探槽揭示出两条断面, 其中 F1 为主断面, 靠近主断面 F1 的左侧有断层崩积楔, 沿着断面可见砾石定向排列; F2 为次级断面, 地层断距较小, 且在 F2 的两侧没有发现断裂的充填物, 因此定为次级断面或 1970 年的通海地震产生的地震裂缝。断层

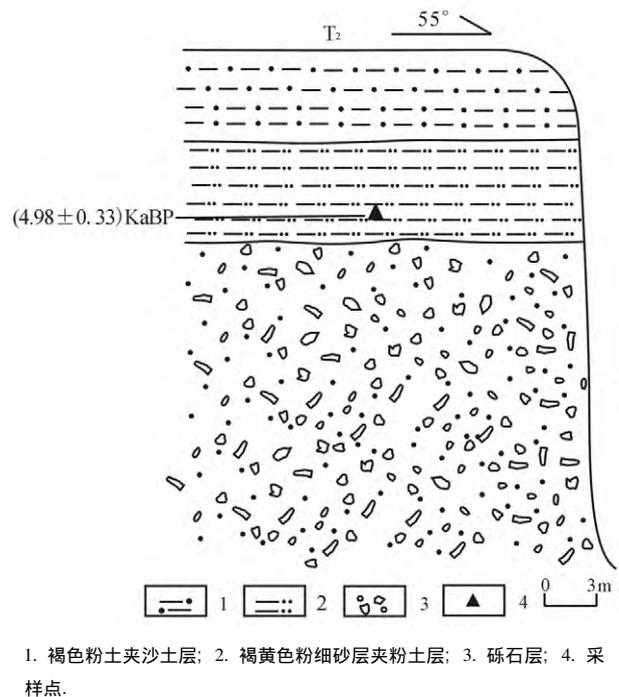


图 7 库南河 T2 阶地采样剖面图

Fig. 7 Cross-section of Kunanhe T2 terrace

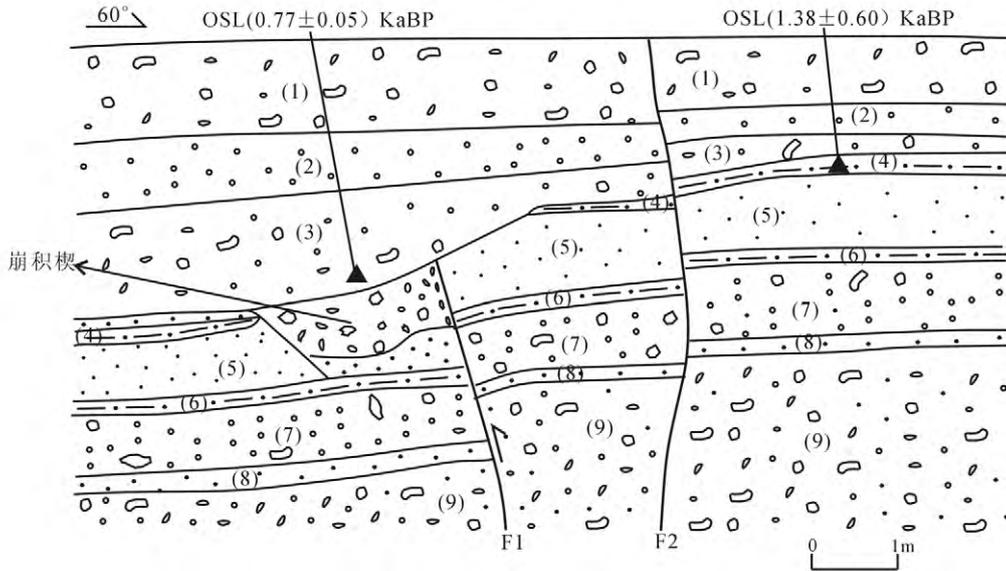
走向  $N50^\circ W$ , 倾向 NE, 倾角  $60^\circ \sim 85^\circ$ 。自 (4) 层以下的地层均发生同步位错, 显示断层为逆冲性质, 断错的垂直距离为  $1.1 \text{ m}$ 。在 (3) 层的底部采取光释光样品, 测得年代距今为  $(0.77 \pm 0.05) \text{ ka}$ , 在粉砂层 (4) 中取光释光样, 测得年代为距今  $(1.38 \pm 0.20) \text{ ka}$ , 根据被断错地层的年代限定, 断层活动时代为全新世活动断裂。根据断错地貌、断错的地层和断裂带的物质结构判定, 探槽揭示的地震事件为 1970 年通海大地震活动的结果, 其中 F1 为主断面, F2 可能为地震震荡时形成的次级断面或地震裂缝 (图 8)。

#### 3.2 五街下村探槽

在五街下村冲沟连续右旋拐弯的断层陡坎位置进行探槽开挖, 发现 (6) 层被断错, 断层走向为  $N55^\circ \sim 65^\circ W$ , 倾向 NE, 倾角  $50^\circ \sim 70^\circ$ , 形成宽约  $1 \text{ m}$  的断层带, 断层带内物质为砂土混合夹块石的混杂堆积, 颜色杂色, 该层土为 1970 年通海地震的产物, 当时地震产生宽度约  $1.0 \text{ m}$  的地震裂缝。(5) 层为 1970 年发生 7.8 级通海地震前的地表层, 为山前堆积物质, 由于断层的逆冲作用, 使得该层抬升, 其上覆盖的 (1) 层是通海地震后快速堆积的物质; 位于断裂左侧的 (5) 层在通海地震前由

于人为改造梯田, 被修整或挖除, 改造之后成为通海地震前的梯田 (层 (4))。层 (2) 是通海地震后经人为改造的现在梯田。在被该断层断错了的 (6) 层细沙中采集光释光样, 测得年代为距今

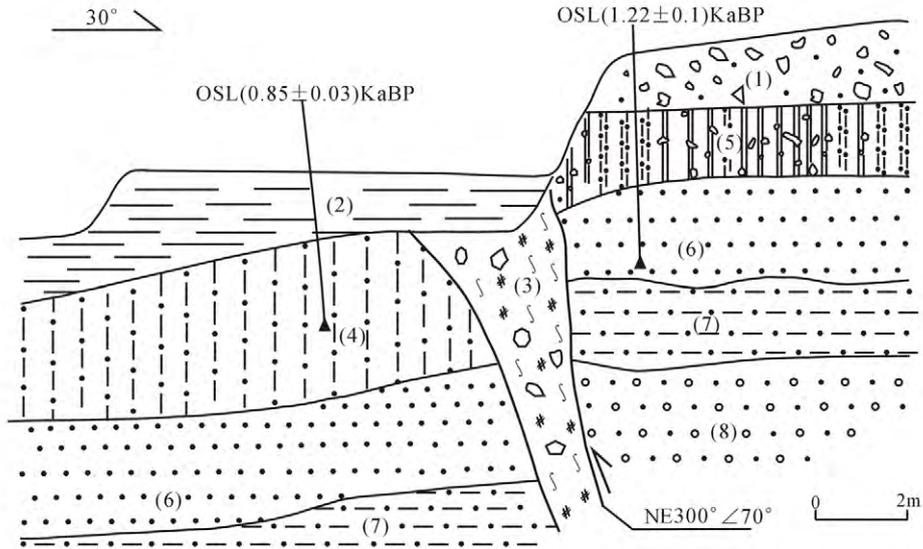
( $3.42 \pm 0.10$ ) ka, 在粉砂层 (4) 中取光释光样, 测得年代为距今 ( $0.85 \pm 0.03$ ) ka, 根据被错断地层的年代限定, 断层活动时代为全新世活动断裂 (图 9), 探槽揭示的是 1970 年通海地震的结果。



(1) 杂色砾石夹砂层, 厚 85 cm; (2) 褐红色的粗砂层, 含黏性土; (3) 砾石混杂粗砂层, 局部含有粉细砂和黏性土; (4) 粉沙含黏土层, 暗红色, 含水量较大; (5) 细砂层, 褐色, 含中粗砂约 35%; (6) 灰黑色粉细砂含土层, 厚度为 0.8 m, 含水量近于饱和; (7) 中粗砂夹砾石层, 砾石中等磨圆, 厚度 1.0 m; (8) 褐色粉细砂含土层, 厚度 0.8 m; (9) 砾石层, 中等磨圆, 可见厚度 1.2 m; 黑三角表取样点。

图 8 五街上村探槽剖面

Fig. 8 Fault section of Wujieshang village



(1) 坡积碎石土, 厚 35 cm; (2) 黑色的粉砂土, 含黏性土; (3) 断裂充填物, 由土、砂与细砾石混杂组成, 局部夹杂块石, 成分较复杂, 颜色为杂色, 呈梯形; (4) 粉沙含黏土层, 灰褐色, 含水量较大; (5) 含块石土层, 较硬, 块石直径大小不等; (6) 灰黑色中粗砂含黏土层, 厚度 0.8 m, 含水量近于饱和; (7) 褐色细砂夹土层; (8) 砾石层, 砾石中等磨圆, 厚度 1.0 m, 上盘的可见厚度 1.2 m; 黑三角表取样点。

图 9 五街下村探槽剖面

Fig. 9 Fault section of Wujixia village

## 4 结论

(1) 曲江断裂为全新世活动断裂, 最新活动时期是1970年的通海7.8级地震。断裂活动以右旋走滑为主, 兼有逆冲性质。

(2) 断裂断错了山前冲沟和河流阶地, 根据断错阶地地貌得到的水平滑动速率为 $(3.21 \pm 0.3)$  mm/a, 根据断错冲沟得到的水平滑动速率为 $(3.36 \pm 0.1)$  mm/a。

致谢 文中光释光样品均由中国地震局地壳应力研究所释光年代实验室赵俊香测试, 马保起研究员、张世民研究员在本文形成过程中提出了宝贵意见, 在此一并致谢。

### 参考文献:

- [1] 何宏林, 李坪, 方仲景. 滇东南楔形构造区发震构造背景探讨 [J]. 地震地质, 1992, 14 (3): 217-226.  
HE Hong-lin, LI Ping, FANG Zhong-jing. Analysis of seismogenic conditions in the wedge tectonic region of southeast Yunnan Province [J]. Seismology and Geology, 1992, 14 (3): 217-226.
- [2] 张俊昌. 曲江断裂的新活动与通海地震 [J]. 地震研究, 1979, 2 (1): 38-43.  
ZHANG Jun-chang. The new activities of Qujiang fault and Tonghai earthquake [J]. Journal of Seismological Research, 1979, 2 (1): 38-43.
- [3] 向宏发, 魏顺民, 徐锡伟, 等. 川滇南部地区活动块体划分与现今运动特征分析 [J]. 地震地质, 2000, 22 (3): 253-264.  
XIANG Hong-fa, GUO Shun-min, XU Xi-wei, et al. Active block division and present-day motion features of the south region of Sichuan-Yunnan provinces [J]. Seismology and Geology, 2000, 22 (3): 253-264.
- [4] 韩新民, 毛玉平. 石屏—建水断裂带未来三十年内七级以上大地震危险性分析 [J]. 地震研究, 1993, 16 (1): 52-59.  
HAN Xin-min, MAO Yu-ping. Seismic risk analysis to Shiping-Jianshui fault zone in the next 30 years [J]. Journal of Seismological Research, 1993, 16 (1): 52-59.
- [5] 周瑞琪, 皇甫岗, 韩源. 曲江断裂断面结构及地震地质意义 [J]. 地震研究, 1995, 18 (1): 68-74.  
ZHOU Rui-qi, HUANG Pu-gang, HAN Yuan. The fault plane structure of the Qujiang fault and its seismogeological implication [J]. Journal of Seismological Research, 1995, 18 (1): 68-74.
- [6] 俞维贤, 王彬, 刘玉权, 等. 曲江断裂及其周边地区现今地壳垂直形变特征 [J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24 (1): 85-89.  
YU Wei-xian, WANG Bin, LIU Yu-quan, et al. Characteristics of recent vertical crustal deformation in Qujiang fault and its neighbouring region [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2004, 24 (1): 85-89.
- [7] 云南省地震局地质队. 1970年通海地震地质考察 [M]. 北京: 地震出版社, 1987: 86-87.  
Yunnan Province Seismological Bureau. Tonghai earthquake in 1970 geological surveying [M]. Beijing: Seismological Press, 1987: 86-87.
- [8] 刘祖荫, 皇甫岗, 金志林. 一九七〇年通海地震 [M]. 北京: 地震出版社, 1999: 34-35.  
LIU Zu-yin, HUANG Pu-gang, JIN Zhi-lin. Tonghai earthquake in 1970 [M]. Beijing: Seismological Press, 1999: 34-35.
- [9] 马保起, 苏刚, 侯志华, 等. 利用岷江阶地的变形估算龙门山断裂带中段晚第四纪滑动速率 [J]. 地震地质, 2005, 27 (2): 234-242.  
MA Bao-qi, SU Gang, HOU Zhi-hua, et al. Late quaternary slip rate in the central part of the Longmenshan fault zone from terrace deformation along the Minjiang river [J]. Seismology and Geology, 2005, 27 (2): 234-242.
- [10] 马保起, 李德文, 苏刚, 等. 云南建水—蒙自一带冲沟走滑断错及其意义 [J]. 中国地震, 2005, 21 (2): 84-192.  
MA Bao-qi, LI De-wen, SU Gang, et al. Laterally fault gullies and their significance in the Jianshui-Mengziregion Yunnan Province [J]. Earthquake Research in China, 2005, 21 (2): 184-192.
- [11] 崔国驻, 李恩泽, 曾昭发. 活动断层与地球物理方法 [J]. 世界地质, 2003, 22 (2): 185-190.  
CUI Guo-zhu, LI En-ze, ZHENG Zhao-fa. Active fault and geophysical methods [J]. Global Geology, 2003, 22 (2): 185-190.
- [12] Cowgill E. Impact of riser reconstructions on estimation of secular variation in rates of strike-slip faulting: revisiting the Cherchen River site along the Altyn Tagh fault, NW China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007, 254: 239-255.

(下转 819 页)

Technology, 2015, 10: 183-185.

- [9] 李洪革, 李本才, 韩龙, 等. 丁冶伊通地堑二号断层几何学特征及其与油气关系石油 [J]. 地球物理勘探, 2004, 39 (5): 614-617.

LI Hong-ge, LI BEN-cai, HAN Long, et al. Geometric feature of No. 2 fault in Yitong graben and its relation to oil-gas [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39 (5): 614-617.

- [10] 艾尚军, 许运新, 郭殿军, 等. 砂岩油田开发地质研究内容与方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 1-234.

AI Shang-jun, XU Yun-xin, GUO Dian-jun, et al. Geological study of sandstone oil field development [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 1-234.

(上接 784 页)

- [13] 金东淳, 崔天日. 物探方法在探测隐伏断层中的应用 [J]. 世界地质, 2003, 22 (1): 82-85.

JIN Dong-chun, CUI Tian-ri. Applying geophysical methods for detecting buried faults [J]. Global Geology, 2003, 22 (1): 82-85.

- [14] 程绍平. 断错阶地水平位移量确定中的一个理论问题 [C] // 活动断裂研究 (1), 北京: 地震出版社, 1991: 184-189.

CHENG Shao-ping. A theoretical problem in determining the lateral displacements for the fault terraces [C] // Research on Active Fault (1), Beijing: Seismological Press, 1991: 184-189.

- [15] 任俊杰, 张世民, 侯志华, 等. 滇西北通甸—巍山断裂中段的晚第四纪滑动速率 [J]. 地震地质, 2007, 29 (4): 756-764.

REN Jun-jie, ZHANG Shi-min, HOU Zhi-hua, et al. Study of late quaternary slip rate in the mid-segment of

the Tongdian-Weishan fault [J]. Seismology and Geology, 2007, 29 (4): 756-764.

- [16] 王峰, 徐锡伟, 郑荣章. 用阶地测量方法探讨阿尔金山断裂中段全新世滑动速率 [J]. 地震地质, 2004, 26 (1): 61-70.

WANG Feng, XU Xi-wei, ZHENG Rong-zhang. Study on Holocene strike-slip rates of the middle Altyn Tagh fault by terraces offset measurement [J]. Seismology and Geology, 2004, 26 (1): 61-70.

- [17] 王峰, 徐锡伟, 郑荣章, 等. 阿尔金山断裂带西段车尔臣河以西晚第四纪以来的滑动速率研究 [J]. 地震地质, 2004, 26 (2): 200-208.

WANG Feng, XU Xi-wei, ZHENG Rong-zhang, et al. Late quaternary slip-rates on the Altyn Tagh fault west to the Qarqan river [J]. Seismology and Geology, 2004, 26 (2): 200-208.

(上接 788 页)

- [6] 高东. 十屋断陷含油气系统及勘探潜力分析 [J]. 石油物探, 2004, 43 (2): 196-201.

GAO Dong. Petroleum system in Shiwu faulted sag and analysis of exploration prospect [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43 (2): 196-201.

- [7] 张婷婷, 遇运良, 韩娇艳, 等. 十屋油田油藏主控因素分析 [J]. 世界地质, 2012, 31 (1): 134-136.

ZHANG Ting-ting, YU Yun-liang, HAN Jiao-yan, et al. Analysis of main controlling factor on oil reservoir on Shiwu oilfield [J]. Global Geology, 2012, 31 (1): 134-136.

- [8] 鲁雪松, 蒋有录, 吴伟. 对断层开启机制的再认识 [J]. 油气地质与采收率, 2004, 11 (6): 7-10.

LU Xue-song, JIANG You-lu, WU Wei. Re-understanding of fault unsealing mechanism [J]. Petroleum Geology

and Recovery Efficiency, 2004, 11 (6): 7-10.

- [9] 刘华, 蒋有录, 蔡东梅, 等. 东营凹陷古近系原油物性及其影响因素 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13 (3): 8-10.

LIU Hua, JIANG You-lu, CAI Dong-mei, et al. Physical properties and influence factors of crude oil from Paleogene in Dongying Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13 (3): 8-10.

- [10] 刘静江, 刘池洋, 王震亮, 等. 另外一种类型的差异聚集作用: 油气的差异溶解作用 [J]. 地学前缘, 2009, 16 (5): 264-272.

LIU Jing-jiang, LIU Chi-yang, WANG Zhen-liang, et al. Another type of oil and gas differential accumulation: differential dissolution [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16 (5): 264-272.