

山西断陷系交城断裂全新世古地震活动初步研究*

江娃利 谢新生 王瑞 王焕贞 冯西英

(中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要: 断错地貌调查及探槽开挖表明, 晋中盆地西界分布的黄土台地的前、后缘均存在断层, 断层的最新活动位于地表陡坎的前缘, 地表见到的断层最新活动断面的上升盘是早全新世地层。同时, 新民探槽开挖表明, 该断裂在早全新世以后曾发生三次古地震事件, 最新一次活动接近距今 2 748a, 另两期古地震事件的时间分别距今 4 037 ~ 5 910a 及 8 360 ~ 5 910a。如果取后两次古地震事件时间跨度的中值, 这三次古地震事件的间隔分别是 2 225a 和 2 162a, 平均 2 193a。

关键词: 交城断裂; 断错地貌; 探槽; 全新世; 古地震活动; 山西

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2004)02-184-07

0 引言

交城断裂位于山西断陷系中部晋中盆地西界, 是控制晋中盆地新生界沉积的主要边界断裂^[1]。晋中盆地新生界最大厚度 3 800m^[2] (图 1b), 在山西断陷系内其新生界沉积厚度仅次于运城盆地。运城盆地的新生界沉积厚度为 5000m 以上^[3], 大同盆地、忻定盆地及临汾盆地新生界最大厚度分别为 3 500m, 2 400m 和 2 200m。晋中盆地第四系最大厚度 600m, 其南侧临汾盆地及北面大同盆地的第四系最大厚度分别为 800m 和 900m^[2]。

在 20 世纪 70 年代初交城断裂被列入山西断陷系 15 条主要第四纪活动断裂之一^[1]。有关交城断裂晚第四纪活动状况, 在 20 世纪 90 年代以后被逐渐报道。90 年代初江娃利等^[4,5]报道了在交城—清徐一带全新世断层陡坎的展布及断裂断错全新世中期地层。90 年代中期以后程新原^[6]、许桂林^[7]、马保起^[8]发表了对交城断裂的有关研究。程新原等^[6]将交城断裂分为 3 段, 中段从小井峪至文水县, 长 70km, 并指出在该段南峪村断层断错距今 9 万年的地层, 同时被距今 3.4 万年的地层覆盖。许桂林等^[7]依据断层活动性将交城断裂分为 5 段, 全新世活动段落位于交城—清徐, 长 34km, 同时指出全新世时期有 2 期活动, 活动时间分别距今 3 860 ~ 5 110a 以及距今 8 000a 左右。马保起等^[8]将交城断裂分为 3 段, 南北两段为晚更新世活动, 中段为全新世活动 (表 1)。同时马保起等^[8]提出, 交城断裂的活动时代与河谷构造地貌之间存在矛盾, 即中段全新世活动段落的交城—清徐一带基岩山区的河谷为宽谷, 而北段的晚更新世活动段落为峡谷。从河谷构造地貌来看, 应该北段的断层活动比中段更强烈。

尽管前人对交城断裂已取得一定的认识, 但交城断裂缺少大探槽开挖, 断裂的最新活动时期及全新世古地震期次均有待探槽开挖的证据, 全新世活动段落的展布需要断错地貌的证据。本项研究对交城断裂自北而南开展了断错地貌初步调查, 并在断裂中段开挖了清徐县新民探槽。以下介绍取得的主要研究成果。

* 收稿日期: 2003-08-12.

基金项目: 地震重点基金课题 (201017) 资助, 中国地震局地壳应力所论著 (2003A008).

作者简介: 江娃利 (1952~), 女, 北京人, 研究员, 主要从事活动断裂研究工作.

表 1 交城断裂活动段落划分

程新原等 (1996 年)			许桂林等 (1998 年)			马保起等 (1999 年)			本研究 (2003 年)		
段落名称	长度/km	活动时代	段落名称	长度/km	活动时代	段落名称	长度/km	活动时代	段落名称	长度/km	活动时代
北段	-	-	柴村段	18	Q ₂	北段	-	Q ₃	凤声沟—上兰村	35	Q ₄
小北亚段	28	Q ₃	晋祠段	24	Q ₃						
中											
井											
峪											
南											
文											
水											
文	42	Q ₃	清徐—交城段	34	Q ₄	中段	-	Q ₄	小井峪—文水	70	Q ₄
水			文水段	9	Q ₃ ²						
段											
南											
段											
总											
长	140	-	汾阳段	40	Q ₁	南段	-	Q ₃	汾阳段	25	Q ₄
			总长	125	-				总长	130	-

1 交城断裂断错地貌特征

交城断裂自北端的上兰村到南端的栗家庄,长约 130km,按其几何展布特征可分为 3 段。北段自凤声沟至上兰村,山前线由北北东转向北北西,在上兰村以北的思西村北侧,仍显示一段北东东方向的山前线,长约 35km。北段与中段呈左阶展布,阶区宽约 8km。中段自小井峪向南连续展布至文水县的马西乡附近,长约 70km。中段与南段呈左阶展布,阶区宽约 3km。南段两条断裂平行分布,相距 2.7km。北面一条在安上村—桑枣坡村西北展布,长约 27km,南面一条长度较短,长约 10km,位于杏花村以东洪积扇前缘地表陡坎清楚,位于杏花村以西地表陡坎渐不清楚,也许受到修筑公路的影响(图 1)。

交城断裂的断错地貌特征明显,沿断裂的多数地段可见到基岩山前分布的台地,高的达 40~50m,低的为 5~10m。野外调查见到断层出露的 14 个点位,其中在断裂北段有 6 个点位,在断裂中段有 8 个点位,均位于黄土台地后缘。另有 11 个点位位于黄土台地陡坎前缘(表 2,图 2)。在断裂南段平行展布的两条陡坎,均为黄土台地陡坎。该处冲沟出露显示,北侧黄土台地陡坎以北的基岩与黄土之间为披盖关系,不是断层关系。在断裂北段各有一个被断错的黄土台地地层和被断错的冲沟堆积物的热释光测年数据,测年结果距今 $12990 \pm 1140a$ 、 $8390 \pm 710a$ 。在断裂中段,有 3 个黄土台地的地层测年数据,其热释光年龄分别距今 $15310 \pm 1290a$ 、 $7230 \pm 610a$ 、 $103350 \pm 8780a$,其中后 2 个数据来自方山村人工取土揭露的大剖面,断裂断错具水平层理的砂砾石现象非常清楚(图 2d)。此外,在三角村有一个断层陡坎上升盘黄土的热释光年龄,距今 $16570 \pm 1410a$ 。在断裂南段有一个黄土台地陡坎前缘地层的测年数据,热释光年龄距今 $104650 \pm 8890a$ 。这些数据代表了堆积物的年代,而不代表断层的最新活动年代。对于正倾滑断层来说,确认断层的最新活动年代需要在断层陡坎的下降盘通过开挖探槽给予确认。从上述前 6 个测年数据来看,在交城断裂的基岩山前,断层最新活动断面上升盘的黄土台地由全新世早期地层组成,其间切割黄土台地的河流阶地的年代略新。

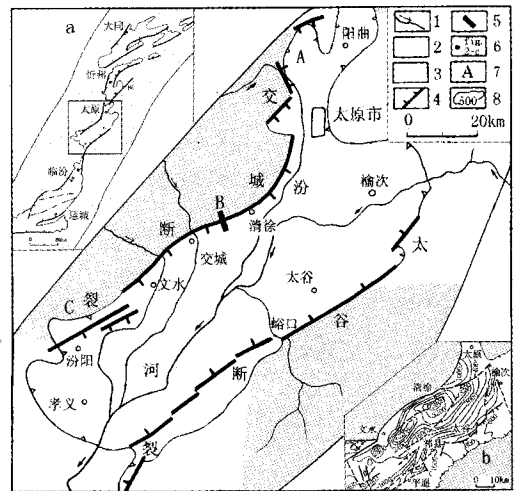


图 1 交城断裂平面展布

a. 图 1 的区域位置; b. 晋中盆地新生界等厚度图(单位: m) 1. 河流水系; 2. 盆地第四系沉积; 3. 基岩山区; 4. 盆地边界主要断裂; 5. 探槽开挖地点; 6. 图 2 断层剖面地点, 编号同图 2; 7. 交城断裂的几何分段; 8. 新生界等厚度(单位: m)

表2 交城断裂断层剖面及地表陡坎出露地点

分段	地点	构造部位	陡坎高度/m	断层上升盘地层	断层下降盘地层	取样及测年/aB.P.
北段	太原市风声沟	黄土台地后缘		奥陶系灰岩	黄色亚砂土	12 990 ± 1 140
	圪燎沟	黄土台地前缘陡坎	10			
	太原柴村砖场	黄土台地后缘		砖红色亚砂土	黄色亚砂土	
	柴村渣石厂	黄土台地后缘		奥陶系灰岩	黄色亚砂土	
	西张村西渣石厂	黄土台地后缘		奥陶系灰岩	黄色亚砂土	
	呼延村西	黄土台地前缘陡坎	40			
	大留村西沟口	黄土台地后缘		灰岩	黄土加碎石	8 390 ± 710
	大留村西	黄土台地前缘陡坎	50			
	大留村西采石场	黄土台地后缘		灰岩	黄土及碎石	
	土堂村西	黄土台地前缘陡坎				
中段	石庄头新村西	黄土台地后缘		砂岩页岩	黄色亚砂土含碎石	15 310 ± 1 290
	王家坟西	黄土台地后缘		奥陶系灰岩	黄色亚砂土	
	大峪沟沟口	黄土台地中间		砂层含细砾	砂砾石层	6 970 ± 830 *
	梁泉西水泉沟口	黄土台地后缘		页岩碎石	黄色亚砂土	
	都沟沟口	黄土台地前缘陡坎	16			
	市儿口沟沟口	一级台地之间		砂砾石	砂砾石	5 810 ± 630 *
	方山村东	黄土台地之间		砂砾石	砂砾石	7 230 ± 610
						103 350 ± 8 780
	三角村	黄土台地前缘陡坎	10			16 570 ± 1 410
	交城田家村北	黄土台地后缘		二迭系页岩	黄色亚砂土	
	瓦窑村西	黄土台地前缘陡坎	20			
	北徐村	黄土台地前缘陡坎	6~7			
	沟口村沟头	冲沟一级阶地下部		二迭系砂岩	黄土加碎石	
	章多村西	黄土台地前缘陡坎	12			
	章多村北冲沟内	黄土台地后缘		二迭系砂岩	碎石及黄土	
孝子渠村东冲沟沟口	黄土台地后缘		二迭系砂岩	黄土		
南段	汾阳县张家堡北	黄土台地前缘陡坎	7			104 650 ± 8 890
	窑头北—辛庄村北	黄土台地前缘陡坎	5~6			

注：测年样品由中国地震局地壳应力研究所热释光实验室完成，*为1992年测试结果，其余为2002年测试结果。

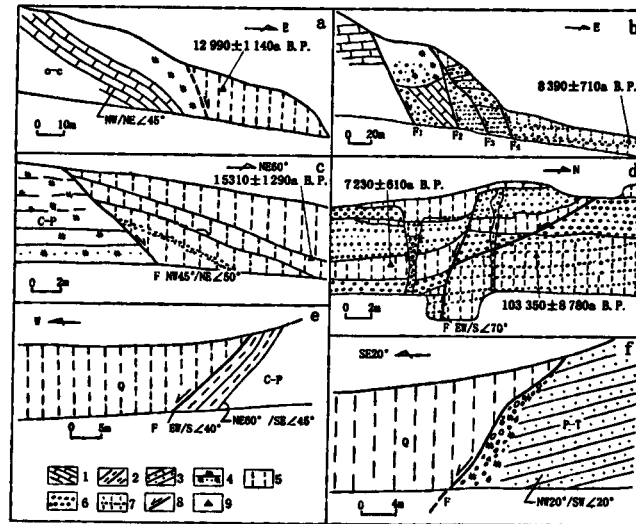


图2 交城活动断裂部分断层剖面

a. 太原风声沟黄土台地后缘剖面；b. 太原北大留村西黄土台地后缘剖面；c. 清徐石庄头新村西剖面；d. 清徐方山北人工采石出露大剖面；e. 交城田家村北台地后缘剖面；f. 文水县孝子渠村东沟头剖面
 1. 奥陶纪-石炭纪灰岩；2. 石炭纪-二迭纪页岩；3. 二迭纪-三迭纪砂岩；4. 砂页岩破碎带；5. 黄色亚砂土；6. 砂砾石层；7. 砂土含砾；8. 断面；9. 热释光取样点

2 从探槽获取的古地震事件信息

从上述表 2 可以看到，位于交城断裂的地表陡坎前缘处，有些地点可考虑开挖探槽。其中一个地点位于断裂北段的土堂村，地处断裂中段的两个地点位于市儿口沟西侧及章多村南，另一个地点位于断裂南段的窑头村东。这些探槽之间由北向南各相距 50km, 28km, 14km。在这四个地点开挖探槽除获取断裂的最新活动时间外，也可对探槽之间的最新活动时间、事件的期次进行对比，用于确定断裂是否分段活动。

鉴于经费有限，本研究在最有把握获取断裂最新活动的地点、断裂中段的市儿口沟西侧、清徐县新民村实施了探槽开挖。

新民探槽位于山前市儿口冲沟堆积物形成的一级台地前缘，该台地高出洪积扇后缘 12m。同时市儿口沟还发育一级阶地，高出河道约 5m，由冲沟的砾石组成，与盆地后缘的洪积扇连接（图 3）。

新民探槽开挖工程的跨度达到 35m，探槽揭露长度 26m，是在开挖了 5 个小型探槽之后，打通了两个探槽，并扩大了一个探槽，最后形成 4 个探槽。探槽的最大深度 5m。由于探槽内土质疏松，淤泥多，在探槽开挖过程中多次发生塌方。为使探槽揭露剖面达到一定深度，不断加宽探槽，最大宽度达到 5m。

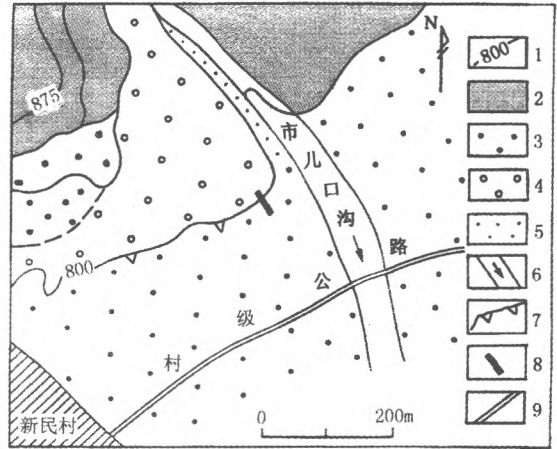


图 3 交城断裂新民探槽平面位置图

1. 地表海拔等高线，单位：m；2. 基岩山区；3. 洪积扇后缘；4. 一级台地；5. 冲沟一级阶地；6. 冲沟河道；7. 地表陡坎；8. 探槽开挖地点；9. 公路

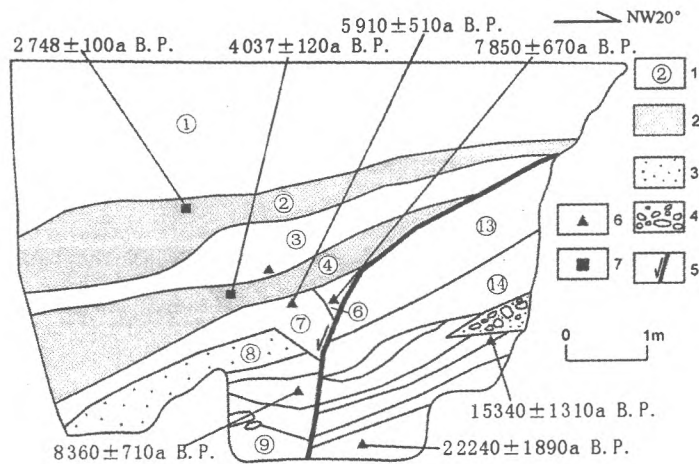


图 4 交城断裂新民 1 号探槽西壁剖面

1. 地层分层编号；2. 灰黑色、灰褐色淤泥层；3. 粗砂；4. 砾石层；5. 断层；6. 热释光取样点；7. ¹⁴C 取样点

(地层分层简要描述：①地表耕植土及人工扰动土，含小粒红砖屑，褐黄色亚砂土夹亚粘土；②灰褐色亚粘土，灰色与褐色亚粘土混杂，¹⁴C-3 样品碳十四年龄距今 2 748 ± 100aB.P.；③黄褐色亚粘土，TL-16 样品热释光年龄距今 8 660 ± 580aB.P.；④灰黑色淤泥层，¹⁴C-2 样品碳十四年龄距今 4 037 ± 120aB.P.；⑤灰黑色砂土，局部为粗砂，只在 3 号探槽出现，¹⁴C-4 样品碳十四年龄距今 2 555 ± 100aB.P.；⑥红褐色亚粘土，呈楔状分布，TL-23 样品热释光年龄距今 7 850 ± 670aB.P.；⑦褐黄色亚砂土，TL-22 样品热释光年龄距今 5 910 ± 510aB.P.；⑧粗砂含小砾及中细砂层，中下部位 TL-21 样品热释光年龄距今 8 360 ± 710aB.P.；⑨砾石层，有一定磨圆，砾石成分为砂岩，砾径大多 10~15cm；⑩灰黄色亚砂土，仅在 3 号槽出现；⑪褐色淤泥层，其中夹 10cm 灰黑色淤泥，仅在 3 号槽中段出现；⑫粗砂夹砾石，砾径 1~3cm 及小于 1cm，在 3 号探槽出现；⑬红褐色亚砂土夹亚粘土；⑭细砂、含砾粗砂、中砂互层，具倾斜层理，夹含砾粗砂及砾石层透镜体，中部 TL-15 样品热释光年龄距今 15 340 ± 1 310aB.P.，探槽底部 TL-20 样品热释光年龄距今 22 240 ± 1 890aB.P.)

新民探槽共揭露地层 14 层，断层出露在 1 号探槽。1 号探槽出露地层 10 层，3 号探槽出露了 1 号探

槽没有出现的地层4层(图4)。在新民探槽共取¹⁴C样品3个, TL样品8个, 实测¹⁴C样品3个, TL样品6个。

从新民探槽剖面图可知, 出露断面的1号探槽揭示了5大套地层, 近地表2m为地表耕植土及人工扰动土, 为褐黄色亚砂土夹粘土块, 含小粒红砖屑及碳屑。此层之下为两层淤泥层, 其间夹一层黄褐色亚粘土。在2号及3号探槽, 该两层淤泥层合为一层。在3号探槽的南段及4号探槽, 该淤泥层已不明显, 渐变为灰褐色及褐色亚砂土。在1号探槽淤泥层之下, 断层南盘为一套以粗砂为主加中细砂的地层, 断层北盘的上部为红褐色亚砂夹亚粘土, 下部为一套细砂为主夹粗砂及砾石层透镜体的具倾斜层理的地层。

新民探槽揭示了以下构造现象:

(1) 新民探槽揭示的灰褐色淤泥层近10°的倾斜, 代表了断层的最新活动。因为该淤泥层形成时是静水环境, 该层的原始层面应是近水平面, 但目前该层位出现了倾斜。

(2) 除了上述灰褐色淤泥层的倾斜显示了断层事件以外, 该灰褐色淤泥层的形成紧邻断层分布, 在离开断面的3号、4号探槽中该地层出现尖灭, 显示该层是伴随断层倾滑活动而形成的邻近断面附近的加积层(图5)。

(3) 在上述的淤泥层之下, 位于断面附近, 层⑥形成楔状堆积, 同时邻近断面层⑦也形成局部的反向倾斜, 即山前地层本应顺坡面方向向南倾斜, 但邻近断层面出现向北的倾斜, 这种现象显示了断层活动对地层造成的拖拽。

(4) 在1号探槽下部, 断层下降盘的层⑧是一套粗砂夹中细砂沉积, 断层上升盘的层⑭是一套细砂夹中砂的沉积, 这两套地层岩性对不上。探槽底部断层下降盘的层⑨与断层上升盘的层⑬之间至少存在2.4m的垂直位移, 减去层⑥及层⑦楔状堆积事件反映的垂直位移, 还存在1.2m的垂直位移是层⑦以前断层垂直位移活动的反映。

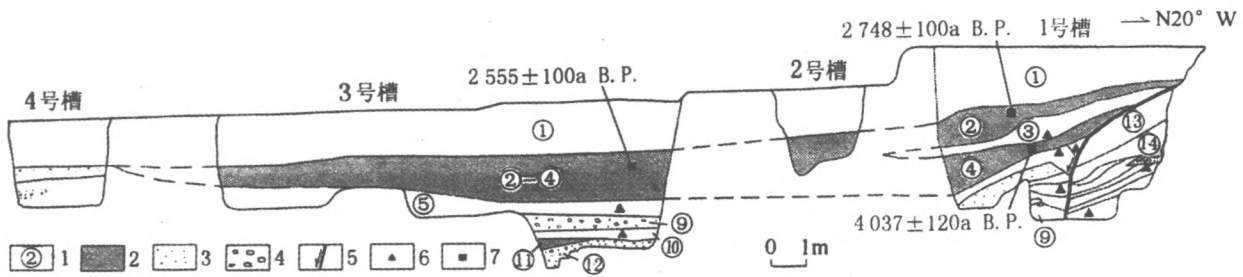


图5 交城断裂新民探槽联合剖面图

1. 地层分层; 2. 灰褐色、黑灰色淤泥; 3. 粗砂; 4. 砾石层; 5. 断面; 6. 热释光测年样品点位; 7. ¹⁴C测年样品点位

上述构造现象揭示交城断裂曾存在以下三期断层活动事件: 第一, 断裂的最新活动事件(E₁)以探槽中层②~④灰褐色亚粘土和灰黑色淤泥层的倾斜为代表, 该次事件的时间晚于探槽中层②的¹⁴C样品年代, 即事件发生在距今2748 ± 100a以后。第二, 在E₁事件之前的一次事件(E₂)应以层②~④灰褐色亚粘土和灰黑色淤泥的形成代表。同时上面所述的层⑥的楔状沉积及层⑦近断面的反倾斜也很有可能是这次断层活动事件的显示。其发生的时间应在层⑦形成之后, 及层④沉积之前, 即距今4037 ~ 5910a之间, 层⑥的楔形堆积有可能也是该次事件发生后的崩积。层⑥的岩性为红褐色亚粘土, 接近层⑬的岩性, 反映层⑥有可能来自层⑬的崩落, 其热释光年代距今7850 ± 670a, 也明显比⑦的年代偏老, 第三, 更早一次的断层活动事件(E₃)以层⑧及层⑭之间的断错为代表, 其活动时代应位于层⑧与层⑦地层年代之间, 即距今8360 ~ 5910a。综合上面所述, 交城断裂全新世三期古地震的时间分别距今约2748a、4037 ~ 5910a及8360 ~ 5910a。取后两次事件时间间隔的中值, 这三次古地震事件的间隔分别为

2 225a 和 2 162a, 平均为 2 193a。

3 结论

本项研究得到以下几点主要结论：

(1) 展布在晋中盆地西界的交城断裂的断错地貌清楚，在地表保留有由早全新世地层组成的黄土台地及断错的河流阶地，断层的最新活动位于地表陡坎的前缘。

(2) 在平面展布上，交城断裂以左阶形式分为三段，但因其具有相同的断错地貌特征，在未得到探槽资料证实之前，目前缺少证据表明该断裂的各段活动时代不同。

(3) 在前人以地层剖面证实交城断裂断错距今 4 000 ~ 5 000a 地层的基础上，本项研究通过探槽开挖获取交城断裂的最新活动为接近距今 2 748a，以及交城断裂在早全新世以来曾发生三期古地震事件，这三期古地震事件的时间分别距今约 2 748a、4 037 ~ 5 910a 及 8 360 ~ 5 910a。取后两次事件的中值，得到这三次古地震事件的间隔分别为 2 225a 和 2 162a，平均为 2 193a。

(4) 新民探槽中断层下降盘的最老地层距今 8 360a，目前所获知的是距今 8 360a 以来交城断层活动的古地震事件。此外，在新民探槽中断层紧邻 1 号探槽北端出露，地表该探槽的北界是水渠及果树。如果该探槽继续向北及向深扩展，将获得更丰富的断层活动信息。

参考文献

- [1] 邓起东, 王克鲁, 汪一鹏, 等. 山西隆起区断陷地震带地震地质条件及地震发展趋势概述 [J]. 地质科学, 1973, (1): 37-47.
- [2] 苏宗正. 山西断陷带地震活动的新构造背景 [J]. 山西地震, 1988, (4): 2-6.
- [3] 程绍平, 杨桂枝. 山西中条山断裂带的晚第四纪分段模型 [J]. 地震地质, 24 (3): 289-302.
- [4] 江娃利, 聂宗笙, 张康富. 山西交城断裂断错全新世洪积扇 (简报) [J]. 地震地质, 1992, 14 (3): 216.
- [5] 江娃利. 山西交城断裂全新世活动证据及第四纪活动历史 [A]. 见: 国家地震局地壳应力研究所编. 地壳构造与地壳应力文集 (6) [C], 1993, 北京: 地震出版社. 98-104.
- [6] 程新原, 侯廷爱. 交城断裂中段的的活动特征及其地震危险性 [J]. 山西地震, 1996, (3): 28-32.
- [7] 许桂林, 马保起, 江娃利. 山西交城断裂带第四纪活动习性及其分段特征 [A]. 见: 中国地震局地壳应力研究所编. 地壳构造与地壳应力文集 (11) [C], 1998. 13-21.
- [8] 马保起, 许桂林, 盛小青等. 山西交城断裂活动的构造地貌学研究 [A]. 见: 国家地震局地壳应力研究所编. 地壳构造与地壳应力文集 (12) [C], 1999. 7-15.

Preliminary Study on Activity of Holocene Paleoearthquakes along the Jiaochen Fault in the Shanxi Downfaulted System

Jiang Wali Xie Xinsheng Wang Rui Wang Huanzhen Feng Xiying
(*Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing, 100085*)

Abstract

The Jiaochen fault is located at the western margin of the Jinzhong basin in Shanxi province. The investigation shows that the front and back borders of the loess platform along the western margin of the Jinzhong basin are controlled by the faults. The latest activity of the fault is along the front of the ground scarp. The upthrown block of the latest active fault is the stratum of Early Holocene. And it shows by research on the Xinming trench that three paleoearthquakes have been occurred since Early Holocene along the Jiaochen Fault. The latest activity occurred nearly 2,748 years ago. The other two events occurred respectively about 4,037 ~ 5,910 years ago and about 5,910 ~ 8,360 years ago. Assuming that the dates of the last two events are the mid values, the intervals of the paleoearthquake events is about 2,225 and 2,162 years. The average interval of the events is about 2,193 years.

Key words: the Jiaochen Fault, dislocated landform, exploratory trench, Holocene, activity of paleoearthquake, Shanxi