

山西太谷断裂带全新世活动及其与 1303 年洪洞 8 级地震的关系^{*}

谢新生 江娃利 王焕贞 冯西英

(中国北京 100085 中国地震局地壳应力研究所)

摘要 最新调查结果表明, 太谷断裂断错山前冲沟 I 级阶地以及在黄土台地前缘形成断坎, 在地表及探槽中多处见到断裂断错全新世地层, 断裂的最新活动是 1303 年洪洞 8 级地震, 活动方式为右旋走滑兼正倾滑活动. 在该次地震中, 太谷断裂与灵石隆起上的绵山西侧断裂、临汾盆地东边界的霍山山前断裂一起活动, 形成长约 160 km 的地表破裂带. 除此之外, 该断裂曾在全新世中期及距今 7 700 年以后有过活动. 由此得到, 在山西断陷系, 两个断陷盆地边界断裂的贯通活动发生 8 级特大大震.

关键词 太谷断裂 全新世活动 1303 年洪洞地震 地表破裂带

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

引言

太谷断裂位于山西断陷系晋中盆地东界, 是山西断陷系 12 条主要盆地边界活动断裂之一, 长约 100 km, 同时也是这些断裂中研究程度较低的一条断裂. 其原因: 一是由于晋中盆地在历史记载中没有 7 级以上地震发生, 而该盆地南北两侧的临汾盆地和忻定盆地在历史时期均发生过 7 级以上强震; 二是因为交城断裂是控制晋中盆地新生界沉积的主要断裂, 因而在关注晋中盆地强震构造时, 交城断裂更容易受到重视; 三是太谷断裂作为晋中盆地的东边界, 基岩山前的线性程度差, 容易对它的活动性产生质疑.

我国地震学者对山西断陷系的研究, 起始于 20 世纪 60~70 年代. 邓起东等(1973)曾指出太谷断层在祁县子洪镇断错第四系下中更新统, 为正断层. 此后 30 年, 对太谷断裂开展研究较少. 孟繁兴等(1982)曾依据地形及考古资料, 论证平遥断裂在全新世以及自金代至清代之间存在活动. 孟繁兴所指的平遥断裂即是太谷断裂的中段. 遗憾的是孟繁兴等人的认识在当时没有引起人们的重视. 此后, 徐锡伟(1989)曾简述太谷断裂的南段延至灵石隆起马和小盆地东侧, 断裂方向由北东转成北北东, 与南部的霍山山前断裂连接; 并根据断面擦痕, 推测该段断层存在右旋走滑. 王圣洁和杨景春(1996)根据钻孔资料, 论证太谷断裂第四系断距达百米, 垂直活动速率为 0.1 mm/a. 在有关山西断陷系的图件中, 对太谷断裂的展布有两种表示: 一种是将太谷断裂与霍山山前断裂相连, 或略有错开, 但两者分

^{*} 地震科学联合基金重点课题(201017)资助. 中国地震局地壳应力研究所论著 2003A004.
2003-02-21 收到初稿, 2003-09-02 收到修改稿并决定采用.

别命名(邓起东等, 1973; 杨景春等, 1987; 苏宗正, 1988; 邓起东, 徐锡伟, 1995)^①; 另一种是将太谷断裂局限在晋中盆地东界, 向南未进入灵石隆起(张步春, 贾三发, 1986; 王圣洁, 杨景春, 1996).

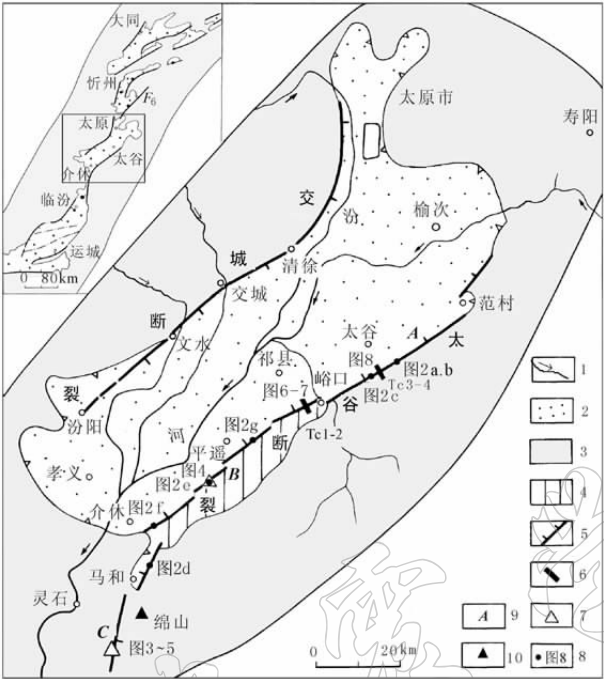


图 1 太谷活动断裂和绵山西侧断裂展布

- 1. 河流及流向; 2. 盆地内第四纪沉积; 3. 基岩山区; 4. 黄土台地;
- 5. 主要断裂; 6. 探槽开挖地点; 7. 填图地点; 8. 本文其它图件
- 所在位置; 9. 太谷断裂分段及绵山西侧断裂代号: A 表示太谷
- 断裂北段, B 表示太谷断裂南段, C 表示绵山西侧断裂;
- 10. 太岳山主峰绵山, 海拔 2 567 m

裂与北面太谷断裂和南面的霍山山前活动断裂分别相距 8 km 与 4 km(图 1).

近年本研究在航片判读的基础上, 对太谷断裂开展了断错地貌调查及探槽开挖. 以下介绍获得的主要研究结果.

1 太谷断裂的展布及活动特征

太谷活动断裂展布在晋中盆地东侧, 总体走向北东 45°, 北起太谷县范村, 向南经侯城、张兰、至介休常乐, 长约 100 km. 根据断裂的几何展布及构造地貌特征, 该断裂被划分为两个段落(表 1): 北段范村—峪口, 断层展布在基岩山前与盆地洪积扇后缘之间; 南段峪口—介休, 断层展布在黄土台地与盆地洪积扇后缘之间. 在介休以南的灵石隆起, 展布一条北北东及近南北方向活动断裂, 称为绵山西侧断裂. 该断裂经马和小盆地东侧, 过郑家庄、横河、西许, 南端延至灵石县西华吉村南, 长 35 km. 该断

表 1 太谷活动断裂次级段落及绵山西侧断裂展布

段落分段	断裂方向	长度 /km	与北面段落的 雁列方式	构造地貌特征
A 太谷断裂范村—峪口段	NE60°	42		基岩山前陡坎
B 太谷断裂峪口—介休段	NE50°	53	右阶	黄土台地前缘陡坎
(闫漫段)	NE65°-EW	(7)		
(庞庄段)	(NE35°)	(8)	(左阶)	
(张兰段)	(NE60°)	(17)	(左阶)	
(石屯—常乐段)	(NE70°)	(10)	(左阶)	
C 绵山西侧断裂	NE40°-SN	35	左阶	
(马和盆地段)	(NE40°)	(20)		山间小盆地东界
(横河—西华吉段)	(近 SN)	(15)		控制基岩河谷地貌

注: A, B, C 为太谷断裂北南两段及绵山西侧断裂代号, 其展布见图 1; 括号中表示的是次级段落的划分及特征.

① 国家地震局地震地质大队, 北京大学地质地理系. 1975. 临汾盆地活动构造体系特征与地震活动.

北段自太谷县范村—峪口，北东走向，表现为山前基岩陡崖与盆地洪积扇后缘断层接触。在太谷县里美村东侧的基岩山前，可见到三迭纪砂岩由山里近水平产状到山前转为倾向北西，倾角 82° (图 2a)。这种现象在太谷断裂沿线并不多见，多数断面附近的基岩地层产状均较平缓。在里美村东南冲沟，可见到冲沟内发育 I 级堆积阶地，该级阶地的下部分布厚约 1.4 m 的灰黑色垆土层，其 ^{14}C 年龄距今 $(4\,880\pm200)\text{a}$ 。该灰黑色垆土层之上为厚 3 m 的黄色亚砂土。该阶地在山前被错断 (图 2b)，表明断裂的活动时代在距今 $(4\,880\pm200)\text{a}$ 以后。基岩山前冲沟 I，II 级阶地的断错现象，在西山底及东山底也可见到 (图 2c)。

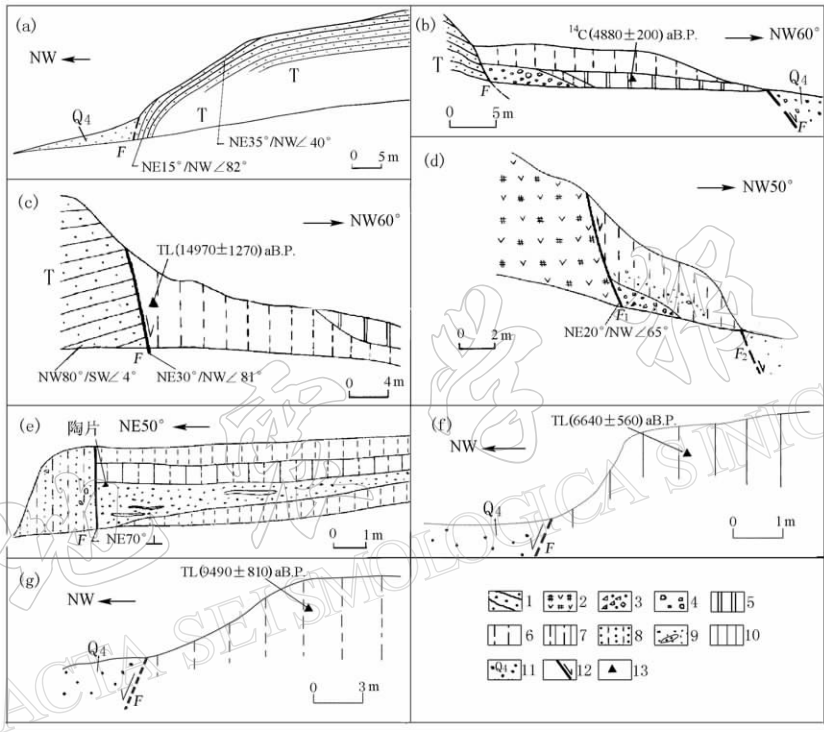


图 2 太谷断裂断层露头剖面

(a) 太谷县里美村东山前断层剖面；(b) 太谷县里美村东南冲沟沟口 I 级阶地剖面；(c) 太谷县东山底冲沟沟口剖面；(d) 介休县兴地村东侧小沟沟口；(e) 介休县张兰乡仙台村西南冲沟沟口断层剖面；(f) 介休县龙头村北洪积扇地表陡坎及取样位置；(g) 平遥县庞庄东南黄土台地前缘陡坎及取样点剖面

1. 三迭纪砂岩；2. 基岩破碎带；3. 基岩碎石组成的崩积楔；4. 砂砾石层；5. 灰黑色垆土；6. 黄色或棕黄色亚砂土；7. 红黄色亚粘土；8. 黄色亚粘、亚砂土；9. 灰褐色砂层；10. 黄褐色粘土；11. 断层下降盘洪积扇后缘；12. 断层；13. 取样地点及年代

太谷断裂的南段为峪口—介休段，北东走向，南端点到达介休的常乐村，常乐村位于图 2f 点西侧。该段展布在黄土台地前缘，由 4 段次级段落左阶雁列组成，线性陡坎明显。热释光测年表明，该黄土台地前缘由晚更新世末期至全新世初期地层组成。位于平遥县下闫灿村西，黄土台地前缘黄色粉砂土的热释光年龄距今 $(11\,410\pm960)\text{a}$ ；位于平遥县庞庄东黄土台地前缘黄色亚砂土的热释光年龄距今 $(9\,490\pm810)\text{a}$ (图 2g)；介休县张兰乡仙台村西黄土台地前缘黄色粉砂土的热释光年龄距今 $(15\,520\pm1\,320)\text{a}$ 。该段黄土台地后缘与

基岩之间的线性界线不明显。由于断层展布在黄土之中，野外不易直接见到断面。但在介休县仙台村西公路西侧冲沟右旋扭曲处见到断错冲沟 I 级阶地的断面(图 2e)，断面直立，走向北东 70°。其中断层北盘的砂砾石地层中含青灰色细纹陶片，陶片距地表 1.3 m，表明该套地层是近千年内的堆积。洪山黄土台地由上更新统钙华层组成，该台地前后缘均存在断层，台地前缘的断层活动时代更新，控制盆地洪积扇后缘。在介休东侧的龙头村北的河流洪积扇上，存在北东东向高 2~3 m 的断层陡坎(图 2f)，并有近东西方向的凹沟展布。该处陡坎上升盘的黄褐色粘土热释光测年为距今(6 640±560)a，表明该冲沟的洪积扇由全新世地层组成。从河流流向及该陡坎的展布方向判断，该陡坎不可能由河流侵蚀形成，这种地貌面的整体落差也不可能是人工所为，可能受到断层活动的影响。

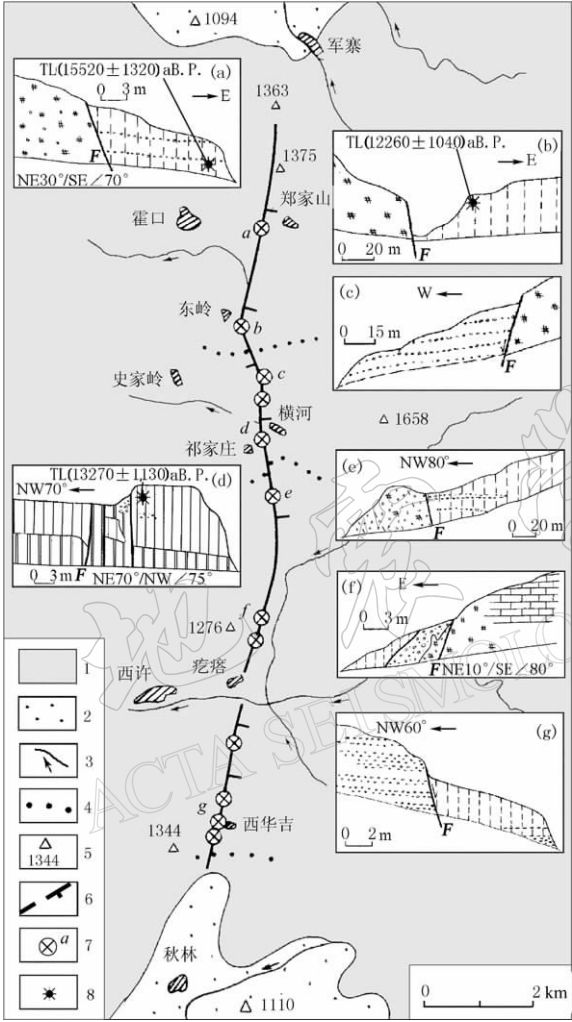


图 3 绵山西侧断裂平面展布及断层剖面

1. 基岩山区; 2. 盆地第四纪沉积; 3. 冲沟及水流方向; 4. 分水岭; 5. 海拔高程(单位: m); 6. 太谷断裂南段; 7. 断层出露点位及剖面编号: a. 郑家山西, b. 东岭村东, c. 刘家沟东壁剖面, d. 横河村西南剖面, e. 七盘沟东红条沟沟口剖面, f. 疙瘩沟沟北剖面, g. 西华吉村南冲沟沟头剖面; 8. 热释光测年样品取样点

流洪积扇上，存在北东东向高 2~3 m 的断层陡坎(图 2f)，并有近东西方向的凹沟展布。该处陡坎上升盘的黄褐色粘土热释光测年为距今(6 640±560)a，表明该冲沟的洪积扇由全新世地层组成。从河流流向及该陡坎的展布方向判断，该陡坎不可能由河流侵蚀形成，这种地貌面的整体落差也不可能是人工所为，可能受到断层活动的影响。

绵山西侧断裂在介休以南灵石隆起上的山间小盆地东缘及基岩河谷之间通过，断裂由北北东方向转为近南北方向。该段又可分为南北两个次级段落。北面次级段落落在马和小盆地东侧，表现为盆地洪积扇后缘与基岩陡崖断层接触。该处绵山为太岳山的主峰，山势险峻，山体边缘形成多级基岩断面，冲沟表现为峡谷。在马和小盆地东侧的兴地村东，可见到基岩破碎带与盆地洪积扇后缘的桔红色亚砂土断层接触(图 2d)，桔红色亚砂土之下有一碎石楔。由马和小盆地向南，断裂在南北向基岩沟谷中通过。在灵石县郑家庄西至西华吉村南长约 15 km 地段，多处可见到断层剖面(图 3)。这些断面倾角近于直立，断错晚第四纪地层。其中在郑家山西、东岭村东、以及横河南断层断错了热释光年龄距今(15520±1320)a、(12260±1040)a 和(13270±1130)a 的黄色粘土、亚砂土及亚粘土(图 3)。

2 太谷断裂的右旋走滑活动

沿太谷断裂可在多个地段见到冲沟的右旋变位, 其中冲沟连续扭错现象明显的地段位于介休县仙台—南贾一带及灵石隆起近南北方向的段落. 介休县仙台—南贾一带位于黄土台地前缘, 数条由南向北流的冲沟在穿过黄土台地前缘时出现断头断尾以及明显的右旋扭曲. 本研究实测该段长度 10 km, 包括 41 条冲沟, 其中 21 条冲沟出现右旋扭曲, 占实测冲沟总数 51%; 4 条冲沟出现左旋扭曲, 占实测冲沟总数 10%; 另有 10 条冲沟旋向不明, 6 条冲沟无下游(图 4, 表 2). 在出现左旋扭曲的冲沟中, 有 3 条冲沟的沟口均位于邻近大沟洪积扇的西侧, 由于早期洪积扇形成的地势作用, 致使流出黄土台地的冲沟不得不向西流, 形成左旋扭曲的假象. 另有一条冲沟位于断层分布的阶区. 在旋向不明的 10 条冲沟中, 有 6 条位于断层展布的阶区部位, 2 条为一支下游对应 2 支上游, 另有 2 条大河旋性不清. 因为这些支流是晋中盆地由北向南流入汾河的东岸支流, 因此上述的右旋现象不存在支流流入主流时出现水平扭曲假象的可能, 而是太谷断裂右旋走滑活动的反映. 在上述出现右旋扭曲的 21 条冲沟中, 有 7 条冲沟出现 7~13 m 右旋位移, 约占右旋冲沟总数的 33%; 有 9 条冲沟出现大于 100 m 右旋位移. 从表 2 可以看到, 整体而言, 在这 21 条具右旋扭曲的冲沟中, 其右旋位移量大的冲沟其上游的长度也大, 显示了冲沟右旋位移量随时间的累积; 而 7~9 m 左右的位移量, 大体代表了太谷断裂最新一次活动的右旋位移.

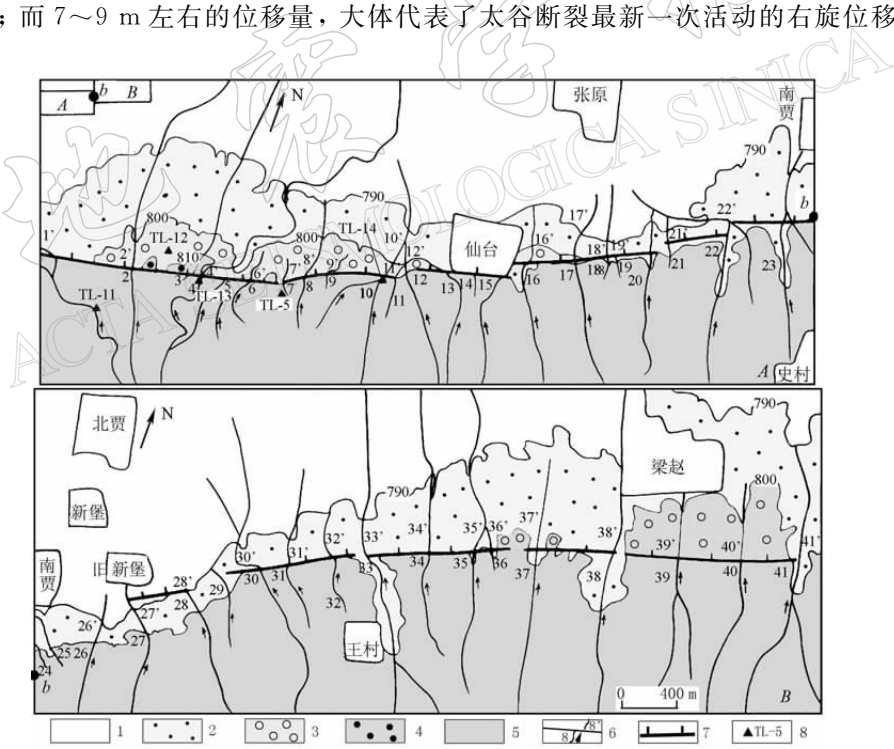


图 4 太谷断裂介休张兰乡冲沟实测平面图

- 1. 盆地内第四纪沉积; 2. 洪积扇后缘, 海拔高程 790~800 m; 3. 洪积扇后缘, 海拔高程 800~810 m; 4. 洪积扇后缘, 海拔高程 810~820 m; 5. 黄土台地及前缘, 海拔高程 800~840 m; 6. 冲沟上下游及冲沟流向; 7. 断层; 8. 热释光取样点

表 2 太谷断裂介休—仙台平遥县—梁赵冲沟实测数据

冲沟 编号	变位 方式	变位距 离/m	陡坎高 度/m	上游长 度/m	取样及测年 /aB. P.	备 注
1	L	250			TL-11	沟底有砾石层, 冲沟位于洪积扇扇顶 西侧
2	X		4. 0			沟头零星砾石
3	R	22, 7. 5		50		
4	R	200	3. 2	9 500	TL-13, 13510±1150	沟壁出现砾石层, 冲沟有流水
5	D					无下游
6	R	60, 12	2. 0	300		
7	R	35	2. 5	110	TL-5, 15520±1320	断尾沟
8	R	110		770		断尾沟
9	R	150, 70	3. 0	150		断尾沟
10	R	150, 16, 7. 0		500	TL-14 为青灰色陶片	
11	R	30		850		
12	L			1 100		位于断裂阶区部位
13	D					村庄影响, 无下游
14	D					村庄影响, 无下游
15	D					村庄影响, 无下游
16	R	60		6 000		无砾石层出露
17	R	130		900		位于小洪积扇扇顶东侧
18	R	13	11, 2. 0	220		
19	D					无下游
20	R		3. 0	850		位于断裂阶区部位
21	R	8. 4	2. 0	200		
22	R	300		3 000		以洪积扇顶对比为右旋, 河道位于洪 积扇扇顶西侧, 显示左旋
23	R	50		800		无砾石层出露
24	X					位于断裂之间阶区
25	X					位于断裂之间阶区
26	X					位于断裂之间阶区
27	X					位于断裂之间阶区
28	X					位于断裂之间阶区
29	D					位于断裂之间阶区
30	L	180		6 000		无砾石层出露, 位于洪积扇扇顶西侧
31	R	9. 6		450		下游显示右旋
32	L		2. 0, 8. 0			位于洪积扇扇顶西侧
33	X		3. 0	5 500		陡坎北侧见零星砾石
34	R	30, 9. 0		800		
35	R	70	3. 0	1 100		
36	X					一支下游对应两支上游
37	R	50		2 200		
38	R	100		1 200		
39	X			1 100		一支下游对应两支上游
40	R	150	6. 0	950		上游显示右旋
41	R	250				

注: 在变位方式中, R 表示右旋; L 表示左旋; X 表示旋性不明显; D 表示无下游冲沟。

位于灵石隆起的绵山西侧断裂的右旋走滑现象, 表现在冲沟穿过断层时的右旋扭曲。
图 5 是灵石西华吉村南 3 条冲沟的同步扭曲平面图, 其中冲沟 a 与 b 的右旋扭曲位移量约

50 m, 冲沟 c 的右旋位移量约 30 m. 实地调查表明, 这些位移量中包含着更小的右旋位移. 例如, 冲沟 a 包含有 7 m 的右旋扭曲. 该处断面的近直立的倾角与断层的走滑现象相互呼应.

3 探槽揭示的断裂全新世活动

为了进一步获取太谷断裂全新世最新活动证据, 本研究分别选择断裂南段祁县下闫灿及断裂北段太谷东山底开挖探槽.

3.1 下闫灿探槽

下闫灿探槽位于断裂中段祁县下闫灿村黄土台地陡坎前缘与洪积扇后缘交接的部位. 虽然在地貌上已确认黄土台地前缘存在活动断裂, 但由于人类改造, 地表微地貌变化很大, 要在一个探槽内见到断面, 难度较大. 本研究在该地点开挖的第一个探槽 Tc-1 选择在洪积扇后缘地面坡度较大、连续出现地表小陡坎之后一处 1.3 m 陡坎处(图 6). 探槽开挖结果表明, 地面 3 m 以上为人工扰动土, 3 m 以下存在一层厚约 1 m 的灰褐色垆土, ^{14}C 测年距今 $(3277 \pm 250)\text{a}$, 该层在探槽内连续分布, 表明此处的地表陡坎是人工改造形成. 此后又沿着探槽 Tc-1 西侧水渠, 在 400 m 范围内开挖了 10 个探坑, 用于确认灰褐色垆土的分布. 最后打通了其中的 4 号、9 号及 10 号 3 个探坑见到断面, 即是下闫灿探槽 Tc-2 的位置(图 6). 在 Tc-2 探槽中挖出的断面距离台地前缘的主陡坎 160 m.

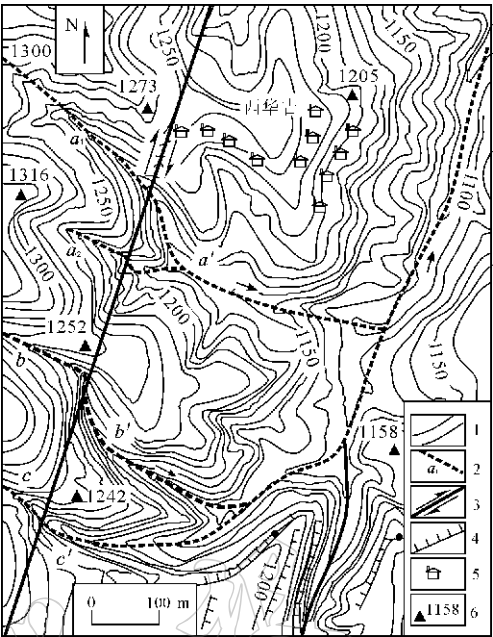


图 5 灵石西华吉村南冲沟右旋扭曲平面图

- 1. 地形等高线, 等高线间隔 10 m; 2. 冲沟及流向;
- 3. 绵山西侧断裂南段; 4. 地形陡坎; 5. 村庄;
- 6. 海拔高程, 单位: m

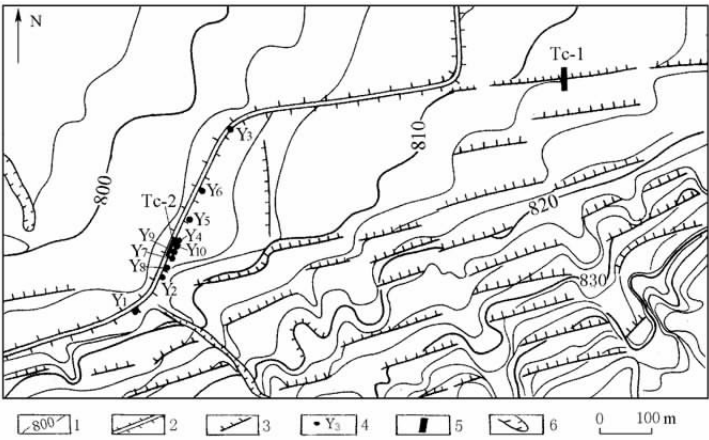


图 6 太谷断裂祁县下闫灿探槽平面图

- 1. 等高线及海拔高程, 间距 2.5 m; 2. 排水渠; 3. 地表陡坎; 4. 探坑地点及编号; 5. 探槽地点; 6. 水沟

下闫灿 Tc-2 探槽长 17 m、深 4 m，揭露出 13 层地层，探槽两壁可以对比。这些地层属于细粒物质，为亚砂土、亚粘土及粉砂类(图 7)。其中探槽中下部分布一层灰褐色垆土及灰黑色粘土(层⑩~⑪)，两者厚度接近。其中灰褐色垆土的¹⁴C 测年距今(3977±150)a，灰黑色粘土的¹⁴C 测年距今(3350±150)a，大体属于全新世晚期同层沉积。探槽内揭示的构造现象如下：

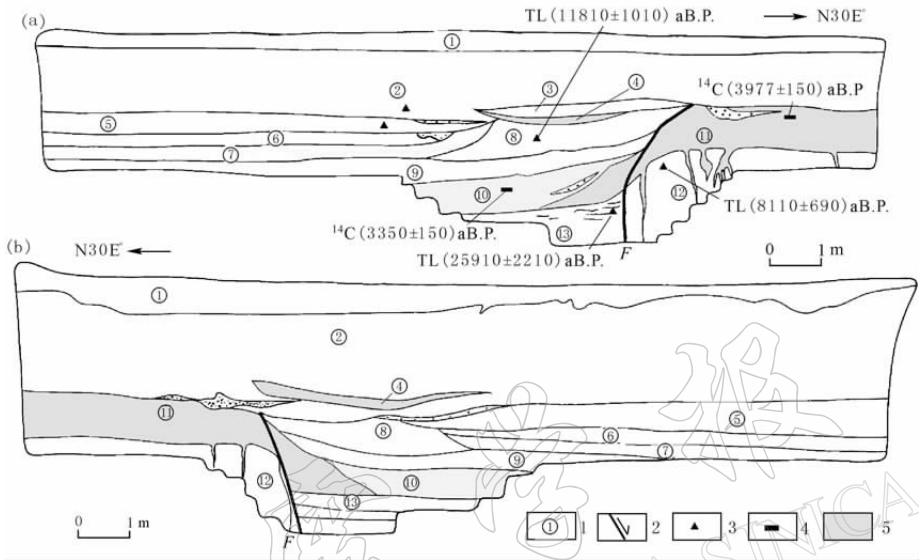


图 7 太谷断裂下闫灿 Tc-2 探槽剖面

(a) 探槽西壁；(b) 探槽东壁。1. 地层层序；2. 断层；3. 热释光取样点；4. ¹⁴C 取样点。5. 灰褐色垆土灰黑色粘土。地层简述：① 坡积及扰动土，厚 0.4 m；② 上部浅黄色亚砂土，下部黄色亚砂土，含碳屑，底部取 TL-22 样品，厚 1.3 m；③ 西壁上部灰褐色粘土，下部黄色亚砂土，东壁缺少该层，厚 0.2 m；④ 褐色粘土，厚 0.1 m；⑤ 黄色亚砂土，上部取 TL-21 样品，厚 0.3 m；⑥ 西壁黄色、灰褐色亚砂土、亚粘土互层；东壁黄色亚砂土夹黑色粘土条带，厚 0.2 m；⑦ 灰褐色粘土，西壁中间夹灰黑色亚粘土、粘土条带，厚 0.3 m；⑧ 黄色亚砂土，加褐色亚粘土团块，中部取 TL-20 样品，测年结果距今(11810±1010)a，属于崩积楔堆积，厚 0.5~0.8 m；⑨ 灰黄色亚砂、亚粘土，向南为黄色亚砂土，厚 0.4 m；⑩ 灰黑色粘土，含一层浅灰褐色粘土略具倾斜透镜体，及一层黄色亚砂土倾斜透镜体，中部¹⁴C-4 样品测年距今(3350±150)a，厚 0.7 m；⑪ 灰褐色垆土，疏松有气孔，上部局部地段含砂砾石层，粒径 0.5~2.0 cm，磨圆好，上部¹⁴C-3 样品测年距今(3977±150)a，该层底界与下伏地层之间存在混杂现象，厚 0.8 m；⑫ 黄色粉砂，其中含多条充填灰褐色垆土的脉状条带，其上部 TL-18 样品测年距今(8110±690)a，厚 1.6 m；⑬ 灰黄色亚粘土夹褐色、灰色粘土、亚粘土条带，上部粘土成份多，下部粉砂成份多，靠近断面粘土条带多，略向南倾，中部 TL-19 样品测年距今(25910±2210)a，厚 0.8 m

1) 层⑪自北向南在 2 m 多范围内出现急剧的倾斜下降，垂直位移达 1.2 m。在探槽中部及南部出现的层③~⑨的地层在探槽北部没有出现。这套地层属于层⑩~⑪断陷后再沉积地层。探槽中的层③和层④是层⑤沉积以后小冲沟局部侵蚀后的再沉积。

2) 在探槽西壁中部底层地层中出现近直立断层，断层两侧分别为黄色粉砂及灰黑色粉砂加褐色、灰色粘土、亚粘土条带。在探槽东壁断面向南东方向倾斜，倾角 75°。热释光测年结果表明，断面北侧的层⑫黄色粉砂的年龄距今(8110±690)a，断面南侧层⑬灰黑色粉砂加褐色、灰色粘土、亚粘土条带的年龄距今(25910±2210)a。

3) 在探槽北部底层黄色粉砂层中, 出现多条灰褐色垆土脉, 最宽处达 20 cm. 这些灰褐色垆土脉分布在层⑫中, 其母层是层⑪, 有可能是在地震振荡时形成.

上述现象显示下闫灿剖面存在 2 次断层活动事件. 其中太谷断裂的最新活动事件错断层⑪, 该层的 ^{14}C 年龄距今 $(3\,977\pm150)\text{a}$, 层⑩的 ^{14}C 年龄距今 $(3\,350\pm150)\text{a}$. 由此表明该次事件(E_1)的时间发生在距今 $(3\,350\pm150)\text{a}$ 之后. 探槽剖面上灰褐色垆土脉的出现, 也是该次事件的产物. 该次事件的垂直位移 1.2 m. 此前的另一次断层活动事件(E_2), 以层⑫及⑬层之间的断面为代表. 这两层同位于层⑩、⑪之下, 但两者之间的断面接触是在层⑪沉积以前即已存在, 致使这两套时代相距较远的地层直接接触. 该次事件发生的时间是在层⑫之后及层⑪之前, 即距今 $3\,977\sim8\,110\text{a}$.

从上述分析可以看到, 下闫灿探槽揭示的断裂最新活动方式与断层地表陡坎展示的活动方式不协调. 地表陡坎展示的太谷断裂的活动是南升北降, 而探槽揭示的断层所伴随的垂直活动是北升南降. 出现这种现象有两种可能: 一是太谷断裂的最新活动以走滑为主, 兼具倾滑活动, 在局部地段, 倾滑活动表现为北升南降; 另一种可能是探槽揭露的断面只是平行于太谷断裂的一个分支, 其南面还有主断面, 分支断面的北升南降现象只是主断面向南升北降活动的局部表现. 结合探坑资料分析, 在距离 Tc-2 探槽南约 7 m 的 7 号探坑, 距地表 5.3 m 以下仍未见到褐灰色垆土层. 因此上述第二种可能性较大.

3.2 东山底探槽

沿太谷断裂的另一个探槽开挖地点位于太谷县东山底村西, 距离祁县下闫灿探槽 20 km(图 1). 该点位于基岩山前与洪积扇后缘交接处. 在东山底开挖了 2 个探槽: 一个探槽紧邻东山底村西南角小冲沟沟口, 称东山底 Tc-3 探槽; 另一个探槽位于东山底村西南基岩山前, 称东山底 Tc-4 探槽. 东山底 Tc-3 探槽的开挖长度 17 m, 最大深度 4.5 m. 在探槽底部出露一个宽约 2 m、上宽下窄、略显楔状的断层带, 但因该探槽揭示的是断层断错晚更新世末期地层的活动, 在此不再赘述.

东山底 Tc-4 探槽沿一小冲沟南侧沟壁开挖(图 8b), 紧邻基岩断崖, 小冲沟在通过断层时出现 14 m 的右旋扭曲. 东山底 Tc-4 探槽剖面长 28 m, 最大深度 7 m. 探槽内出露地层 10 层, 其中包含 2 层灰黑色垆土(图 8a). 探槽内出露的构造现象如下:

1) 探槽内分布 2 条断面: 南面一条(F_1)为主断面, 控制了基岩破碎带与晚第四纪地层的接触, 断面倾角局部凹凸不平, 上部相对较缓, 下部呈直立状态; 另一条断面(F_2)分布在主断面(F_1)以北约 5 m 处, 控制了探槽内下部灰黑色垆土的分布及探槽底部层⑧与层⑨的接触. 这两套地层的热释光年龄分别距今 $(7\,750\pm660)\text{a}$ 及 $(10\,710\pm910)\text{a}$.

2) 探槽剖面上部灰黑色垆土层②仅分布在探槽的南段, 呈楔状形态. ^{14}C 测年距今 $(3\,880\pm150)\text{a}$. 该层的展布形态与断层的倾滑活动有关, 同时基岩主断面将该层的上部错断. 探槽中的下部灰黑色垆土层④分布在探槽的中段及北段, 该层顶面的 ^{14}C 年龄距今 $(4\,450\pm170)\text{a}$. 在距 F_2 断面处, 该层下部出现液化现象, 灰黄色亚砂土呈不规则的形态侵入到黑色垆土下部(图 8b). 当然, 这也可能不是单纯的液化现象, 因为这种现象仅在断面附近出现, 应有断层活动的影响. 此外在上下灰黑色垆土之间, 出现一套灰黄色亚粘土与褐灰色亚粘土互层, 命名为层③, 近水平层理, 与下伏灰褐色垆土之间呈小角度不整合.

上述现象表明, 东山底 Tc-4 探槽剖面反映了 3 次断层活动事件: 最新的断层活动事件是探槽中的主断面将层②灰黑色垆土错断, 该次事件(E_1)发生在距今 $(3\,880\pm150)\text{a}$ 之

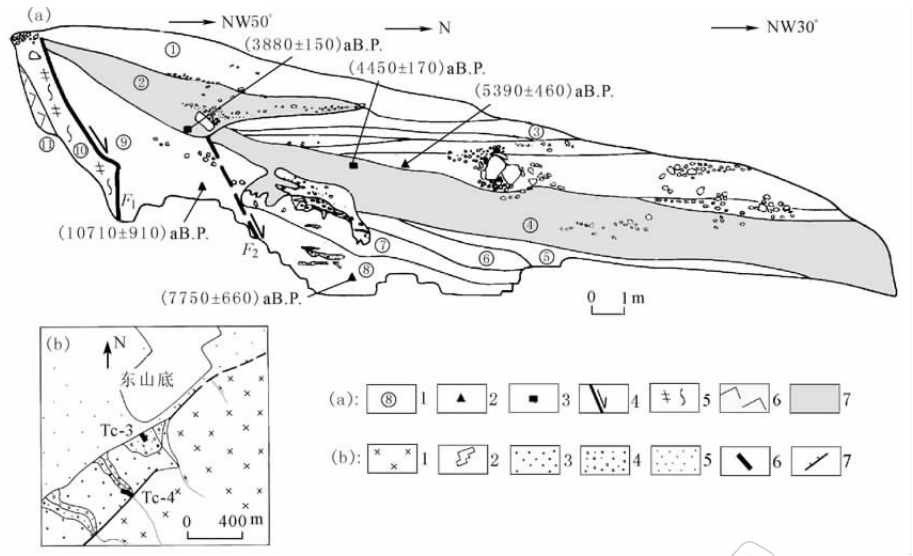


图 8 太谷断裂东山底 Tc-4 探槽平面图及西壁剖面

(a) 东山底 Tc-4 探槽西壁剖面: 1. 地层编号, 2. 热释光取样点, 3. ^{14}C 取样点, 4. 断层, 5. 三迭纪砂岩破碎带, 6. 三迭纪砂岩碎裂岩, 7. 灰黑色垆土层; (b) 太谷断裂东山底探槽平面图: 1. 基岩山地, 2. 村庄, 3. 洪积扇后缘, 4. 冲沟冲积物, 5. 洪积扇, 6. 探槽开挖地点, 7. 断层。① 灰黄色亚粘土, 富含气孔, 含零星碎石, 厚 0.7~1.4 m; ② 灰黑色垆土, 呈楔状形态分布, 中段底部及北部含大量碎石, 底部取 ^{14}C -5 样品, 测年结果距今 $(3\,299\pm150)\text{a}$, 最大厚度 1.8 m; ③ 包括 3 层灰黄色粘土夹 2 层褐灰色亚粘土, 具近水平的层理, 中段及北段含大量碎石, 大小不一, 底部取 TL-30, 测年结果距今 $(5\,390\pm460)\text{a}$, 最大厚度 2.3 m; ④ 灰黑色垆土, 富含大量白色植物根须, 上部取 ^{14}C -6 样品, 测年结果距今 $(4\,450\pm170)\text{a}$, 厚 0.7~2.0 m; ⑤ 碎石层, 母岩为砂岩, 粒径大多小于 1 cm, 含大量碎石粉末, 厚 0.7 m; ⑥ 灰色亚砂土, 含碎石, 碎石粒径 0.3~1 cm 居多, 厚 0.8 m; ⑦ 灰黄色亚砂土, 厚 0.4~1.0 m; ⑧ 黄色亚砂土, 探槽中部地段含灰褐色垆土块, 中下部取 TL-29 样品, 测年结果距今 $(7\,750\pm660)\text{a}$, 厚 1.8 m; ⑨ 黄色亚砂土, 取 TL-28 样品, 测年结果距今 $(10\,710\pm910)\text{a}$, 厚 2.4 m; ⑩ 砂岩破碎带, 由构造透镜体及砂岩粉末组成; ⑪ 砂岩碎裂岩

后, 其活动年代较距今 3 880a 要新的多。因为距今 3 880a 反映的是呈楔形的层②灰黑色垆土底部的年代, 而断层断错了该层顶部, 现今层②灰黑色垆土上部仅覆盖 1 m 多的坡积地层; 另一次较早的断层活动事件以层④灰黑色垆土下部靠近断面的液化现象为代表。该次事件(E_2)的活动事件应略早于层④灰黑色垆土的年代, 即距今 $(4\,450\pm170)\text{a}$ 之前。此外, 层⑧地层仅在断层下降盘出现, 也有可能代表了更早期一次的断层活动(E_3), 其活动时代有可能在距今 $(7\,750\pm660)\text{a}$ 以后。

4 太谷断裂的最新活动与 1303 年山西洪洞 8 级地震关系

4.1 1303 年山西洪洞 8 级地震等震线分布

1303 年山西洪洞 8 级地震是我国依据历史记载确定的最早的 8 级地震。有关该次地震的破坏范围在不同时期不同的文献中有所不同。以下对此进行简要叙述。

1960 年李善邦主编的中国地震目录将该次地震的震中定在 37.0°N , 111.8°E 。极震区位于赵城—孝义—平遥, 重破坏区的范围圈定成北北东方向长条状, 长 250 km。1971 年中央地震工作小组办公室将该次地震的震中定在 36.3°N , 111.7°E 。重破坏区南边界在临汾

至曲沃之间，北边界在介休以北，长度约 200 km. 1983 年顾功叙主编的地震目录，沿用了 1971 年中央地震工作小组办公室的资料. 此后不同学者对该次地震的破坏范围进行了圈定. 从表 3 可以看出，如果Ⅸ度区属于重破坏区，前人对Ⅸ度区的展布范围分歧不大，均约 200 km. 但Ⅹ度区的展布范围存在差异. 齐书勤(1983)圈定的长轴范围达到 110 km，武烈等(1988)为 44 km，徐锡伟和邓起东(1993)为 80 km，闵子群(1995)为 134 km(图 9).

表 3 前人圈定的 1303 年洪洞地震高烈度区范围

序号	烈度	长轴长度 /km	文 献
1	重破坏区	250	李善邦(1960)
2	重破坏区	200	中央地震工作小组办公室(1971)
3	极震区	36	顾功叙(1983)
4	重破坏区	200	齐书勤(1983)
	Ⅺ~Ⅹ度区	110	
5	Ⅸ度区	230	武烈等(1988)
	Ⅺ度区	<30	
	Ⅹ度区	44	
6	Ⅸ	198	徐锡伟和邓起东(1993)
	Ⅺ	45	
	Ⅹ度区	80	
7	Ⅸ度区	190	闵子群(1995)
	Ⅹ度区	134	
	Ⅸ度区	200	

4.2 1303 年山西洪洞 8 级地震地表破裂带分布

最早认识到属于 1303 年洪洞 8 级地震的地表破坏现象是位于临汾赵城的郗堡地滑，刘光勋等(1982)曾介绍这方面的调查. 孟宪梁等(1985)在研究该次地震的地表破坏遗迹时提出，霍山山前断裂是该次地震的发震构造. 此后，徐锡伟和邓起东研究了该次地震的地表破裂带，从断层的活动时代、活动方式确认霍山山前断裂是该次地震的发震构造，得到该次地震地表地震断层破裂长度 45 km，最大右旋走滑位移 10 m(徐锡伟，1989；徐锡伟和邓起东，1990，1993；Deng, Xu, 1994). 这些认识构成了 20 世纪 90 年代初对 1303 年洪洞地震发震构造的主体认识.

经过近年调查，本研究结果表明，在 1303 年洪洞 8 级地震中，太谷断裂、绵山西侧断裂曾与霍山山前断裂一起活动. 支持这一论点主要有以下证据：

1) 平面展布. 位于晋中盆地和临汾盆地之间的灵石隆起上发育绵山西侧活动断裂. 该断裂南距霍山山前活动断裂 4 km，北距太谷断裂 8 km，这 3 条断裂总体呈左阶雁列方式展布. 同时在这 3 条断裂带内部，也存在次级断裂之间的阶区以及断裂的不连续，间距为 3~7 km.

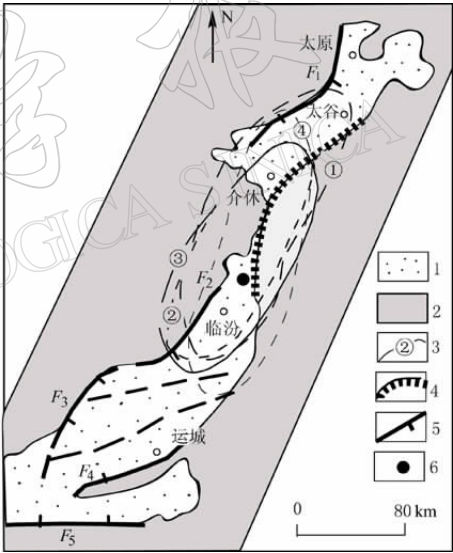


图 9 1303 年山西洪洞 8 级地震的地表破裂及等震线分布

1. 盆地第四纪沉积；2. 基岩山地；3. 前人圈定的 1303 年洪洞地震烈度线Ⅸ度区的范围：① 齐书勤(1983)，② 武烈等(1988)，③ 徐锡伟和邓起东(1993)，④ 闵子群(1995)；4. 1303年洪洞 8 级地震地表地震断层，由霍山山前断裂及太谷断裂组成；5. 盆地边缘活动断裂及编号：F₁ 为交城断裂，F₂ 为罗云山山前断裂，F₃ 为韩城断裂，F₄ 为中条山山前断裂，F₅ 为渭南—华山北缘断裂；6. 1303 年洪洞地震 8 级地震震中

由此表明,这 3 条断裂之间的阶区规模与这 3 条断裂带内部不连续的规模之间,并不存在量级的差别,均不足以成为阻挡 8 级地震的地表破裂的障碍体。

2) 断裂活动方式. 太谷断裂及绵山西侧断裂最新活动表现出的右旋走滑活动,与霍山山前断裂 1303 年的右旋走滑活动相一致。

3) 断裂活动时代. 太谷断裂多处断错了距今 1 万年以内的地层,证明太谷断裂在全新世强烈活动. 沿太谷断裂东山底开挖的 Tc-4 探槽,揭示距今 3 000 多年的灰褐色垆土层被断,其上坡积覆盖,表明其活动时代很新;沿太谷断裂开挖的下闫灿 Tc-2 探槽,断错距今 3 000 多年的灰黑色垆土,因其上覆盖有 2 m 的黄色亚砂土,尚不足以证明断裂是 1303 年的活动. 在介休仙台断层断错了含青灰色陶片的亚砂土层,表明断裂的活动时代是在近千年的人类历史时期. 此外,沿绵山断裂在西许出露清晰的地震沟槽,表明该断裂的活动时代很新。

4) 孟繁兴等(1982)从文物考古角度,指出位于平遥断层陡坎前缘冀郭村的慈相寺,修建于公元 1195 年,在公元 1600 年以前被毁,证明在该期间断裂曾有过强烈活动。

5) 尽管 1303 年 8 级地震的震中定在洪洞,但该次地震的严重破坏区或地震烈度Ⅸ度区的长轴展布有 200 km. 其中包含了霍山山前断裂、绵山西侧断裂及太谷断裂的大部分地段,即霍山山前断裂至太谷断裂长约 160 km 的地段,大体对应该次地震的Ⅸ度区的破坏范围. 以往研究 1303 年洪洞地震时,认为该次地震的地表破裂长度及地表破坏范围与震级不相匹配的疑问(江娃利等,2000),由此得到解决(图 9)。

5 结语

综上所述,本研究得到以下几点主要认识:

1) 位于晋中盆地东边界的太谷断裂属于全新世活动断裂。

2) 在太谷断裂与霍山山前断裂之间的灵石隆起发育绵山西侧断裂. 该断裂属于全新世活动断裂。

3) 太谷断裂及绵山西侧断裂在第四纪晚期除正倾滑活动外,还存在右旋走滑活动。

4) 太谷断裂在全新世时期曾发生多期活动. 已有的资料表明,除该断裂的最新一次活动以外,该断裂在全新世中期及距今 7 700 a 以后有过活动。

5) 太谷断裂的最新活动时期是 1303 年洪洞 8 级地震,断裂的活动方式为右旋走滑兼正倾滑活动. 该次地震的发震构造是霍山山前断裂、绵山西侧断裂和太谷断裂. 该次地震的地表破裂长度达到 160 km. 由此得到,在山西断陷系两个断陷盆地边界断裂的贯通活动,发生 8 级特大地震。

参 考 文 献

- 邓起东,王克鲁,汪一鹏,等. 1973. 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, (1): 37~47
- 邓起东,徐锡伟. 1995. 山西断陷盆地的活动断裂和分段性研究[A]. 见: 国家地震局地质研究所编. 现代地壳运动研究[C]. 北京: 地震出版社, 225~242
- 顾功叙主编. 1983. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社, 24
- 江娃利,肖振敏,谢新生. 2000. 鄂尔多斯块体周边正倾滑活动断裂历史强震地表破裂分段[J]. 地震学报, 22(5): 517~526
- 李善邦主编. 1960. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社, 17

- 刘光勋, 孟繁兴, 肖振敏, 等. 1982. 山西洪洞郇堡村古地震遗迹及有关问题的研究[A]. 见: 中国地震学会地震地质专业委员会编. 中国活动断裂[C]. 北京: 地震出版社, 291~294
- 孟繁兴, 刘光勋, 肖振敏, 等. 1982. 利用地质和考古方法研究山西平遥活断层的现代构造运动[A]. 见: 中国地震学会地震地质专业委员会编. 中国活动断裂[C]. 北京: 地震出版社, 127~132
- 孟宪梁, 于慎谔, 奚云. 1985. 山西洪洞 8 级地震形变遗迹研究[J]. 地震地质, 7(4): 1~10
- 闵子群主编. 1995. 中国历史强震目录[M]. 北京: 地震出版社, 37
- 齐书勤. 1983. 试论 1303 年山西 8 级地震的几个问题[J]. 华北地震科学, 1(1): 36~44
- 苏宗正. 1988. 山西断陷带地震活动的新构造背景[J]. 山西地震, (4): 2~6
- 徐锡伟. 1989. 山西地堑系的新构造活动特征及其形成机制[D]: [学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 1~242
- 徐锡伟, 邓起东. 1990. 山西霍山山前断裂晚第四纪活动特征和 1303 年洪洞 8 级地震[J]. 地震地质, 12(1): 21~30
- 徐锡伟, 邓起东. 1993. 1303 年洪洞地震的地震构造[A]. 见: 马宗晋主编. 山西临汾地震研究与系统减灾[C]. 北京: 地震出版社, 149~158
- 王圣洁, 杨景春. 1996. 晋中盆地新构造运动特征[A]. 见: 王乃梁, 杨景春, 夏正楷, 等编. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌[C]. 北京: 科学出版社, 260~277
- 武烈, 齐书勤, 王汝鹏. 1988. 1303 年山西洪洞 8 级地震和 1679 年临汾 8 级地震[A]. 见: 郭增建, 马宗晋主编. 中国特大地震研究[C]. 北京: 地震出版社, 6~35
- 杨景春, 韩慕康, 刘光勋, 等. 1987. 汾河南段河流阶地与新构造运动[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 1[C]. 北京: 地震出版社, 30~41
- 张步春, 贾三发. 1986. 山西地震带的地震地质背景[A]. 见: 国家地震局地质研究所编. 现代地壳运动研究 2[C]. 北京: 地震出版社, 44~54
- 中央地震工作小组办公室主编. 1971. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社, 18
- Deng Qidong, Xu Xiwei. 1994. Studies on the surface rupture zone of 1303 Hongdong earthquake of $M=8$ and Paleoequakes of Huoshan fault in Shanxi Province[J]. *Earthquake Research in China*, (2): 231~245

HOLOCENE ACTIVITIES OF THE TAIGU FAULT ZONE, SHANXI PROVINCE, IN RELATION TO THE 1303 HONGDONG $M=8$ EARTHQUAKE

Xie Xinsheng Jiang Wali Wang Huanzhen Feng Xiying

(Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing, 100085, China)

Abstract: The Taigu fault zone is one of the major 12 boundary active faults of the Shanxi fault-depression system, located on the eastern boundary of the Jinzhong basin. As the latest investigation indicated, the fault zone had dislocated gully terrace of the first order, forming fault-scarp in front of the loess mesa. It has been discovered in many places in ground surface and trenches that Holocene deposits were dislocated. The latest activity was the 1303 Hongdong $M=8$ earthquake, the fault appeared as right-lateral strike-slip with normal faulting. During that earthquake, the Taigu fault together with the Mianshan western-side fault on the Lingshi upheaval and the Hoshan pediment fault on the eastern boundary of the Linfen basin was being active, forming a surface rupture belt of 160 km in length. Moreover, the Taigu fault has been active in the mid-stage of Holocene and near 7700 a. B. P. From these we learnt that, in Shanxi fault-depression system, the run-through activity of two boundary faults of depression-basins might generate great earthquake with $M=8$.

Key words: Taigu fault; Holocene activities; 1303 Hongdong earthquake; surface rupture zone