

# 夏垫断裂大胡庄探槽古地震事件分析\*

邓梅<sup>1</sup>, 沈军<sup>1♣</sup>, 李西<sup>2</sup>, 祁高<sup>1</sup>, 戴训也<sup>1</sup>, 王昌盛<sup>1</sup>, 刘泽众<sup>1</sup>

(1. 防灾科技学院, 河北燕郊 065201; 2. 云南省地震局, 云南昆明 650224)

**摘要:** 夏垫断裂是北京平原区内1条极为重要的隐伏活动断裂, 同时也是1679年三河—平谷 $M_s8.0$ 地震的发震断层。为获取该断裂完整的古地震序列, 主要开展了2方面工作: ①以大胡庄探槽原始资料为基础, 重新对探槽进行了解译, 共识别出3个埋藏古土壤, 6个崩积楔和1次砂土液化现象; ②结合该断裂其它部位探槽揭示的古地震事件, 通过对比各探槽标志性地层, 建立不同探槽中古地震事件在同一时间轴上的联系, 得到夏垫断裂完整的古地震序列。结果表明: 距今31 ka以来, 夏垫断裂共发生过11次古地震事件, 古地震平均复发间隔约为2.8 ka, 但距今25~15 ka存在1个古地震丛集期, 丛集期内共发生5次强震, 平均复发间隔约为2.0 ka, 反映出夏垫断裂活动性存在阶段性的差异。

**关键词:** 夏垫断裂; 古地震事件; 崩积楔; 砂土液化; 标志性地层

**中图分类号:** P315.21

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2018)02-0293-09

## 0 引言

夏垫断裂是华北平原北部北京平原区内1条重要的活动断裂, 其走向 $N50^\circ E$ , 倾向SE, 倾角 $50^\circ \sim 70^\circ$ 。据史料记载, 1679年9月2日三河—平谷8.0级大地震是该断裂最近一次地表破裂型地震事件, 造成京东地区惨烈的灾难, 地震后, 在地表形成了1条西起东柳河屯, 经夏垫镇北, 东止于东兴庄, 长约10 km的地震断层陡坎, 并显示出东南盘下降, 西北盘抬升的正断倾滑兼有右旋走滑分量的性质(彭一民等, 1981; 孟宪梁等, 1983; 向宏发等, 1988)。随着首都圈社会经济的快速发展, 对夏垫断裂的地震地质特征的研究就显得更加重要, 从20世纪80年代开始, 众多学者从地震地质特征、断裂性质等方面对夏垫断裂进行了研究。许多学者借助微地貌测量、大地切片法、浅层地震勘探、地球化学探测、槽探和钻探等一系列综合探测技术, 对三河—平谷8.0级地震的宏观震中、地质构造背景、发震断层及其破裂方式、大地震的重复性问题进

行过不同程度的研究(冉勇康等, 1997; 江娃利等, 2000; 徐锡伟等, 2000; 何宏林等, 2008; 刘保金等, 2009; 毛昌伟等, 2010; 万永魁等, 2014)。近年来, 围绕断层两盘开展的地层沉积旋回、岩芯粒度分析和地层氧化铁含量变化的研究揭示了夏垫断裂两盘地层沉积环境和地层厚度的差异性(杨晓平等, 2012; 张超等, 2014; 刘智荣等, 2016), Xu等(2016)也对北京平原区的构造地裂缝做了较为详细的研究。

前人已利用过探槽研究夏垫断裂的古地震事件, 获得的古地震时限大都晚于15 ka。为获取夏垫断裂更长时段较为完整的古地震序列, 本次工作在大胡庄南约700 m处开挖了一个深约11 m的大探槽。通过对探槽剖面的解译分析, 获得了埋藏古土壤、崩积楔以及砂土液化等古地震事件识别标志所对应的11次古地震事件。在结合前人研究成果的基础上, 找到各探槽之间的标志性地层, 建立各探槽揭示的古地震事件在同一时间轴上的联系, 利用逐次限定的方法获得了夏垫断裂在当前研究程度下更长时段(31 ka以来)的古地震序列及强震复发间隔。

\* 收稿日期: 2017-09-22.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41372216)和中央高校基本科研业务费研究生科技创新项目(ZY20170313)联合资助。

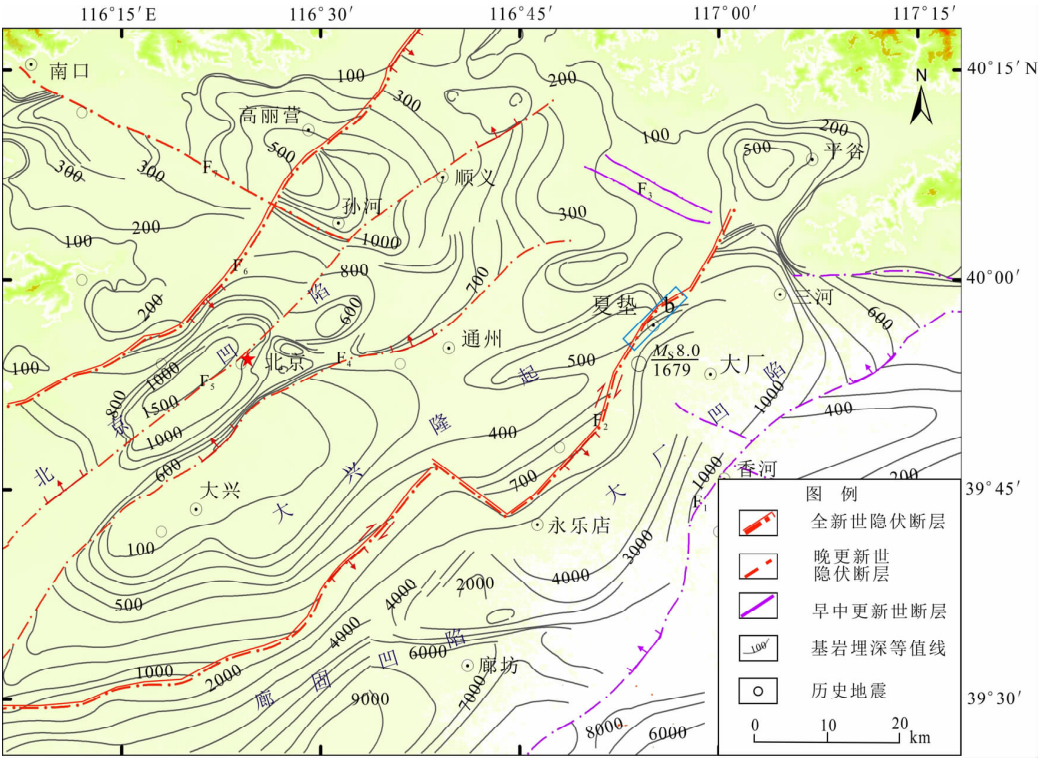
**♣ 通讯作者:** 沈军(1966-), 男, 博士, 教授, 长期从事地震地质、工程地质、活断层探测等方面研究, E-mail: 1417473260@qq.com.

1 活动构造背景

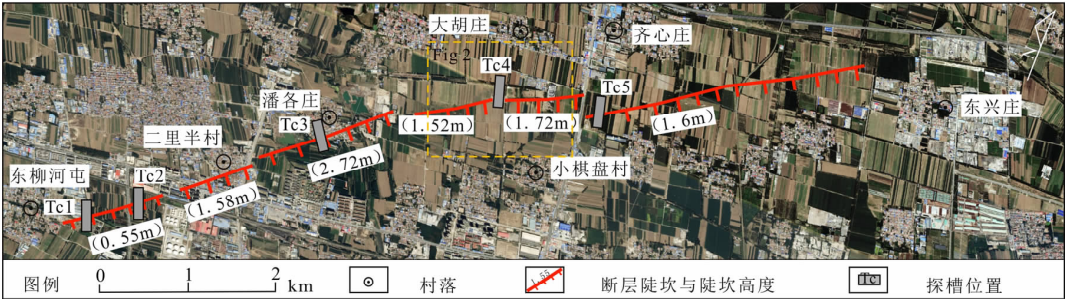
北京平原区位于华北平原北部，主要包括北京、天津及河北省部分地区，属大清河、永定河、北运河、潮白河、蓟运河 5 大水系的冲洪积平原（梁灵君等，2011）。其西临太行余脉的西山，北倚燕山山脉的军都山，两山交汇于南口关沟地区，形成一个独特的向东南面朝渤海湾的半圆形的“北京湾”。平原的海拔高度一般为 20~60 m，向

东南渤海湾方向缓慢降低，坡降约 5‰（赵忠海，2009；徐倩华，2010）。

基岩（新生代底界）埋深等值线反映了新生代以来北京平原区基本是以接受堆积为主的沉积环境。其中廊固凹陷基岩埋深达 9 000 m，其次是大厂凹陷，基岩埋深也达到了 4 000 m，夏垫断裂两侧的大厂凹陷和大兴隆起基岩埋深相差 3 300 m。区域的伸展构造环境作用促使本地区张性为主的不同规模的正断层发育，并在断裂的控制作用下，发育了一系列不对称的半地堑式的凹陷盆地，



(a) 北京平原区地震构造图



(b) 1679 年三河—平谷 8.0 级地震地表破裂带陡坎分布图

F<sub>1</sub>: 香河—皇庄断裂; F<sub>2</sub>: 夏垫断裂; F<sub>3</sub>: 二十里长山断裂; F<sub>4</sub>: 南苑—通县断裂; F<sub>5</sub>: 前门—良乡断裂; F<sub>6</sub>: 黄庄—高丽营断裂; F<sub>7</sub>: 南口—孙河断裂; Tc1、Tc3 为向宏发等（1988）开挖的探槽位置; Tc2 为冉勇康等（1997）开挖的探槽位置; Tc4 为本文的探槽位置; Tc5 为江娃利等（2000）开挖的探槽位置

图 1 北京平原区地震构造图与夏垫断裂陡坎分布

Fig. 1 Seismotectonic map of the Beijing plain and fault scarp distribution of the Xiadian Fault

如郎固凹陷、大厂凹陷等。盆地的一侧受活动断裂的控制，盆地沉积中心逐渐向断裂控制一侧边界转移，形成类似箕形的盆地（刘保金等，2011）。北京平原区强烈的新构造活动发育了许多以垂直运动为主的断裂，区内发育有 NE 和 NW 两个方向的活动断裂，NE 向断裂主要有夏垫断裂、香河—皇庄断裂、南苑—通县断裂、良乡—前门断裂和黄庄—高丽营断裂，NW 向断裂主要包括南口—孙河断裂、二十里长山断裂（图 1）。夏垫断裂是区内活动较为强烈的断裂之一，该断裂北起平谷王辛庄，经马坊、夏垫，南抵曹务营一带，总长 120 km（彭一民等，1981）。

## 2 大胡庄探槽揭露的古地震事件

### 2.1 探槽位置

为了完善夏垫断裂更长时段的地震事件序列，我们选择在跨断层陡坎的 1 处人工采沙坑的边缘采取阶梯状开挖的方式获得 1 个单壁的大胡庄大探槽（图 2）。大胡庄探槽位于齐心庄镇大胡庄村南约 700 m 处，海拔高度约为 10 m。该探槽是由上下两部分组成的联合大探槽，上部探槽最大深度 3.5 m，长约 7 m，下部探槽最大深度 8.5 m，长约 8 m，上下探槽的水平距离约为 4 m。在探槽的东西两侧仍然保存有较为明显的地震陡坎遗迹，

利用载波相位差分技术（Real-time kinematic，简称 RTK），实测探槽东侧陡坎高度为 1.72 m，西侧为 1.52 m。

### 2.2 探槽揭露的地层序列

结合所在层位的测年数据将探槽剖面的地层分为 6 个地层单元，即土壤层、粘土层、粉砂质粘土层、粘土与粉砂层、粘土层、粉砂层。再根据各地层单元中是否包含崩积楔等古地震事件标志而进一步划分出亚层，地层编号由新到老、从上盘到下盘依次标记描述。

上部探槽的地层主要为土壤层、粘土层和粉砂质粘土层（图 3b）。U0 为灰黑色土壤层，两盘皆有分布，含大量植物根系，层厚 0.4 ~ 0.5 m；U1 为浅黄褐色粘土，两盘皆有分布，层厚 0.6 ~ 0.8 m。S 为灰褐色古土壤层，两盘皆有分布；S1 为灰褐色古土壤层，层厚约 0.3 m，存在螺壳碎屑，螺壳  $^{14}\text{C}$  测年数据距今  $(12.86 \pm 0.035)$  ka；U1-1 为灰黄色粘土，层厚约 0.4 m；S2 为灰褐色古土壤层，层厚 0.3 ~ 0.4 m；U1-2 为灰黄色粘土，层厚约 0.6 m；S3 为灰褐色古土壤层，断层附近附近有 2 处明显的位错，层厚约 0.4 m，富含植物根系，含有铁锈色的锈斑，该层  $^{14}\text{C}$  测年数据距今  $(15.05 \pm 0.045)$  ka；上述地层为同 1 套地层细分出古土壤与粘土的 3 个沉积旋回，这可能是 3 次古地震事件导致沉积环境的快速变换，从而形成 3 个间断的古土壤面。崩积楔 W1 下伏于 S3 之下，为褐色粉砂和粘土混杂堆积。U2 为浅灰黄色粉砂质粘土，上部探槽揭露的层厚约 2 m，该层顶部  $^{14}\text{C}$  测年数据距今  $(14.98 \pm 0.045)$  ka。

下部探槽主要包含粘土层、粉砂质粘土层、粉砂层等 5 个地层单元（图 4b）。U1-2 为灰黄色粘土，通过分析对比认为该层与上部探槽 U1-2 为同一地层，该层下伏的 S3、W1 都与上部探槽的地层相对应。U2-1 为浅黄褐色粘土，近水平层理，层厚 0.7 m，局部含碳，含少量植物根系，有竖条锈斑发育，层中出现 2 条直径约为 1 cm 的砂脉，该层顶部  $^{14}\text{C}$  测年数据距今  $(15.69 \pm 0.045)$  ka，针对本层中有 2 个测年数据（样品编号：XD13- $^{14}\text{C}$ -11-1，XD13- $^{14}\text{C}$ -11-2）偏小的现象，我们认为这是由于淋滤作用导致上部年轻地层的含碳颗粒下渗到该地层中所致。该层底部



图 2 大胡庄探槽位置图

Fig. 2 Location of the Dahuzhuang trench



发育淡黄色粘土质的崩积楔 W2, 该崩积楔的位置稍稍远离断层面, 并且断面远端的厚度较大, 这可能是因为 1 次地震事件之后, 上盘在下降的过程中局部形成低洼地势的断陷塘, 在净水环境下接受沉积形成的。U2-2 为灰褐色粉砂质粘土, 层

厚 0.5 ~ 0.8 m, 该层顶部<sup>14</sup>C测年数据距今 ( $17.34 \pm 0.045$ ) ka; U2-3 为浅灰褐色粉砂质粘土, 层厚 0.3 ~ 0.6 m, 该层顶部<sup>14</sup>C测年数据距今 ( $18.82 \pm 0.05$ ) ka, 底部发育有浅灰褐色的崩积楔 W3; U2-4 为灰色粘土质粉砂, 层厚 1.0 ~ 1.5 m, 该

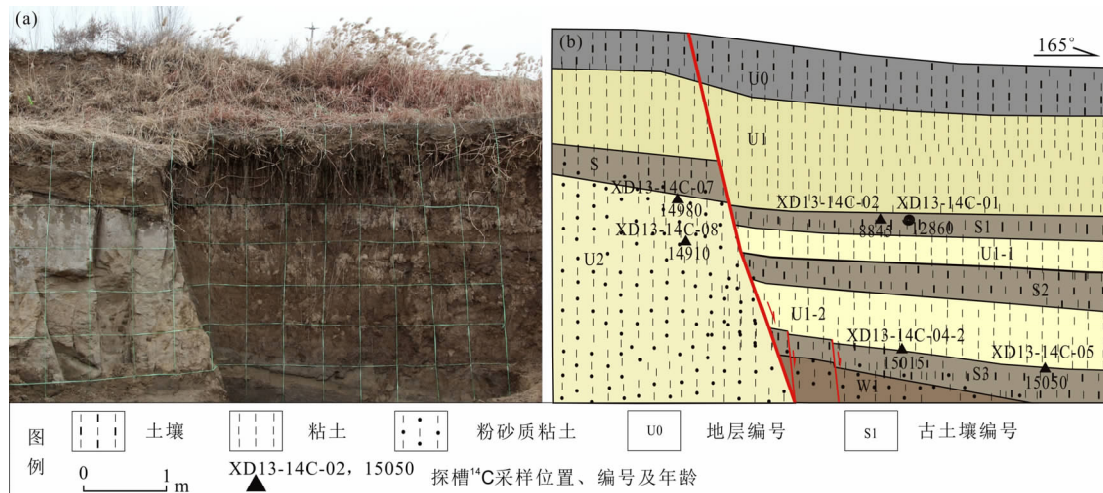


图 3 上部探槽照片 (a) 及综合解释图 (b)

Fig. 3 Picture of the upper trench (a) and comprehensive interpretation diagram (b)

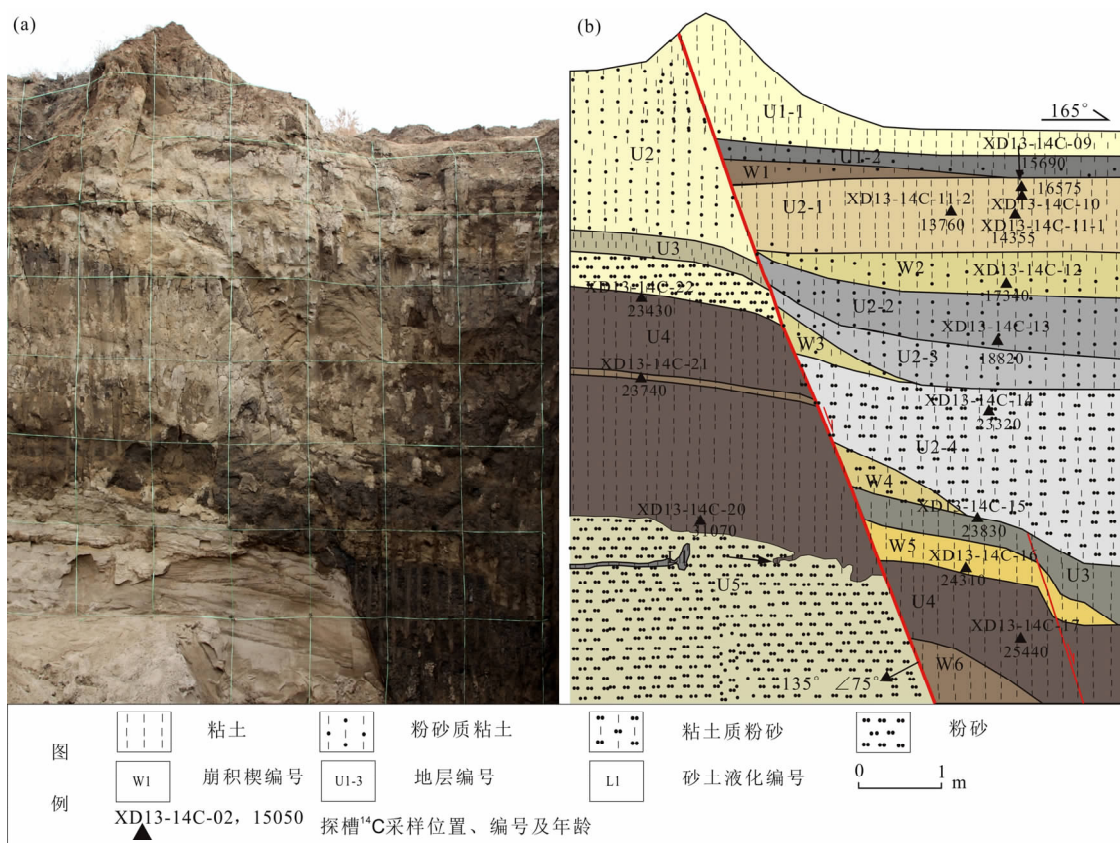


图 4 下部探槽照片 (a) 及综合解释图 (b)

Fig. 4 Picture of the lower trench (a) and comprehensive interpretation diagram (b)

层上部 $^{14}\text{C}$ 测年数据距今 $(23.32 \pm 0.07)$  ka, 底部发育崩积楔 W4, 成分与上覆地层相似; U3 为灰褐色粘土, 层厚 $0.2 \sim 0.4$  m, 该层顶部 $^{14}\text{C}$ 测年数据距今 $(23.83 \pm 0.08)$  ka, 该层下伏崩积楔 W5, 成分为浅灰黄色粘土; U4 为深褐色粘土, 未见底界, 该层顶部 $^{14}\text{C}$ 测年数据距今 $(24.31 \pm 0.08)$  ka, 底部 $^{14}\text{C}$ 测年数据距今 $(25.44 \pm 0.08)$  ka。崩积楔 W6 位于 U4 底部, 岩性成分为深褐色粘土, 较为松散, 其与上覆地层存在明显的界限。

相比于上盘, 下盘的沉积环境较为稳定, 地层也较容易划分。U2 为浅灰黄色粉砂质粘土, 与上部探槽中的 U2 为同一层, 通过分析对比上下探槽的地层可确定断层下盘该层厚度约 3 m; U3 为浅灰褐色粘土和浅灰黄色粉砂, 前者层厚约 0.3 m, 后者层厚 0.8 m, 粉砂分选好, 该层与上盘的 U3 的岩性非常相似, 可能是含水量的不同导致下盘的颜色更深一些; U4 为深褐色粘土, 层厚约 3 m, 中间夹一薄层粉砂, 该层顶部、中部、底部 $^{14}\text{C}$ 测年数据距今 $(23.43 \pm 0.07)$  ka、 $(23.74 \pm 0.08)$  ka、 $(31.07 \pm 0.14)$  ka, 底部与下伏粉砂层呈不整合接触。U5 为灰白色粉细砂, 层厚 2.5 m, 未见底界, 有斜层理, 分选好, 层中发育灰色薄层粘土, 薄层粘土周围含有锈斑, 并伴有揉皱现象, 可能是一次砂土液化。

### 2.3 探槽揭露的古地震事件

一般来说, 凡是震级大于 $6\frac{1}{2}$ 的地震都会在地表产生明显的错动和变形(孟宪梁等, 1983)。要完整地揭示古地震事件, 就需要在探槽剖面中仔细地寻找识别古地震事件的一般标志, 例如断层坎前沉积地层中沉积相往往具有二元结构的崩积楔, 断层上盘的埋藏古土壤以及砂土液化等标志(冉勇康等, 2014)。我们在上部探槽的上盘识别出 3 次埋藏古土壤 S1、S2、S3 对应的 3 次古地震事件和崩积楔 W1 所对应的古地震事件。在下部探槽识别出 6 个崩积楔(其中有 1 个与上部探槽揭示的 W1 相同)以及 1 次砂土液化现象。

根据 $^{14}\text{C}$ 测年数据, 我们只能确定 S1、S2、S3 所对应的 3 次古地震事件的起止时限范围应该为距今 $(15 \sim 0.31)$  ka, 其中最近一次古地震事件 S1 的起止时限为距今 $(8 \sim 0.31)$  ka, 由于 S1 的时

限跨度太长, 推测事件时限为 5 ka 左右; S2、S3 则只能确定事件的期次, 推测 S2 的时限应该在 11 ka 左右, S3 在 13.8 ka 左右。

鉴于大胡庄探槽深度较深、周围地层岩性多为粘土和粉砂。刚开挖的探槽新鲜面粘土层较为黏稠, 造成探槽壁难以被清理平整, 再加上该层含水量较高, 层中的崩积楔一时难以辨别, 需要晾晒方可看出崩积楔的形态。探槽中的粉砂层则较为松散, 新鲜面极易风化从而造成崩积楔的识别困难。我们对大胡庄探槽进行了多期次的清理工作, 并拍摄留存不同时期探槽壁的原始照片。为了补充古地震事件的完整性, 通过对比不同时期的照片以及利用图像增强的方式来确定一些不太明显的崩积楔, 并通过其所在的上下地层的年龄限定古地震事件的起止时间。一个崩积楔代表着一次古地震事件, 大胡庄探槽总共揭示出 6 个崩积楔(图 5), 崩积楔编号从新到老依次为 W1 ~ W6, 对应的古地震事件为 E4 ~ E9。W1 长约 2 m, 靠近断层一侧厚 0.5 m。W2 的形态与其它崩积楔有所不同, 远离断层面一侧沉积较厚, 厚度约 0.5 m, 长度约为 1.5 m。W3 与周围地层的界限不是很明显, 但通过比对不同时期的剖面仍可推测该处存在崩积楔。W4 长约 1.8 m, 形似钝角三角形倚于断面之上。W5 靠近断层面一侧有牵引变形的痕迹, 尾部也有错动的迹象。W6 为探槽底部的崩积楔, 可以清楚地看到崩积楔与周围地层明显的界限, 缺乏下伏地层年代数据。断层下盘的底部有一处砂土液化现象, 通过上覆地层 $^{14}\text{C}$ 测年数据 $(31.07 \pm 0.14)$  ka, 可得出稍早于 31.21 ka, 发生过一次古地震, 记为 E10。加上 1679 年的 8.0 级地震, 记为 E0。表 1 表明大胡庄探槽总共揭示了 11 次地震事件, 其中埋藏古土壤对应了 3 次, 崩积楔对应了 6 次, 砂土液化对应了 1 次地震, 以及 1679 年的 8.0 级地震。

### 2.4 同震位移

通过对大胡庄探槽地层序列进行分析, 我们得到断裂两盘不同时期的位错量。下部探槽 U4 层的位错量为 3.2 m, U3 层的位错量为 2.85 m, 上述 2 个层位断距的差异也佐证了 W5 的存在。探槽剖面中未能计算出 U2 层的位错量, 但该地层单元上下盘的地层厚度存在明显的差异, 断裂上盘地



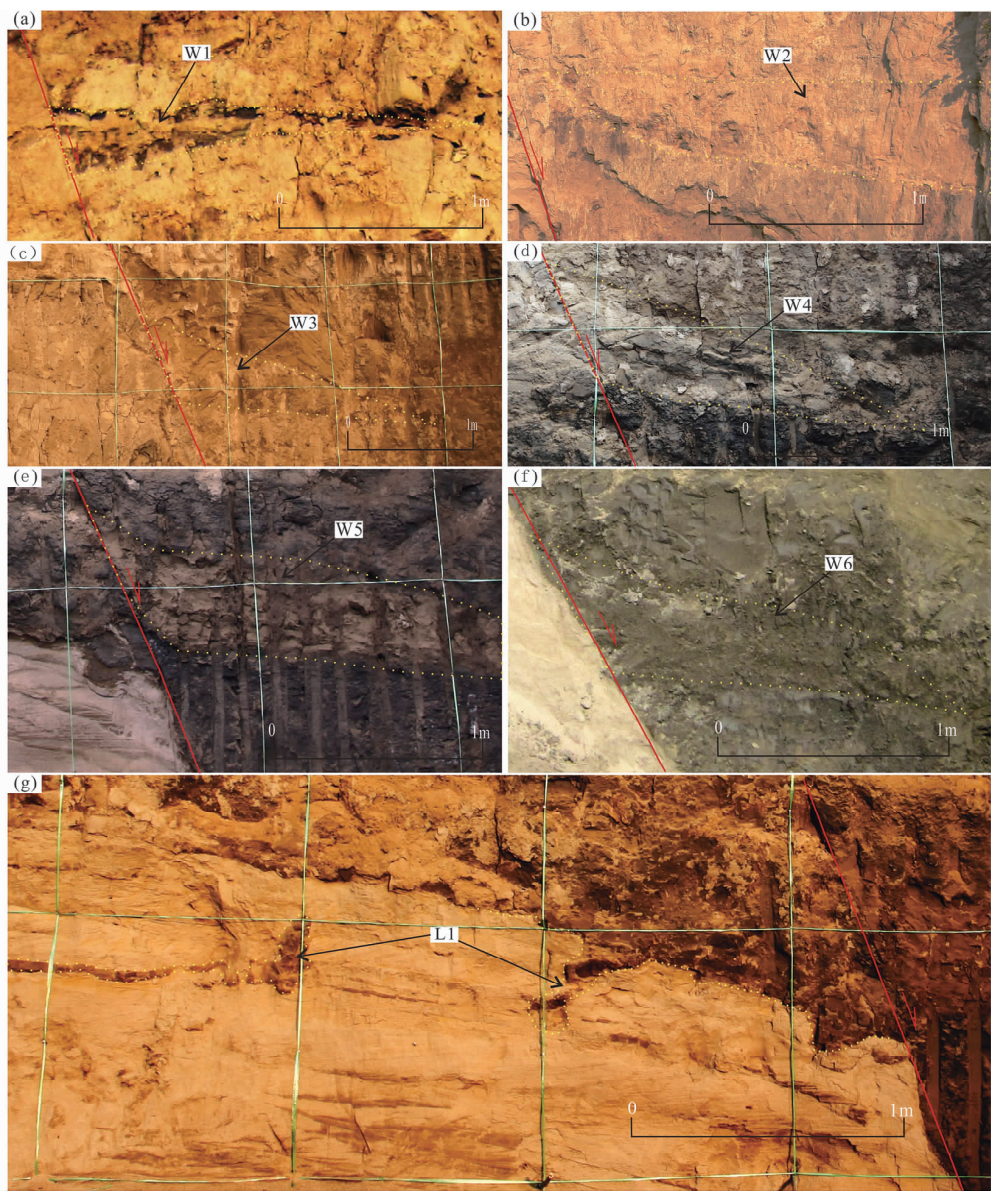


图 5 崩积楔 (a - f) 与砂土液化 (g) 局部放大图  
Fig. 5 Zoom - in pictures of collapse wedge (a - f) and sand liquefaction (g)

表 1 大胡庄探槽古地震事件基本参数  
Tab. 1 Paleo - earthquake main parameters from the Dahuzhuang trench

事件编号	判定事件的标志	上覆地层年龄/a	下伏地层年龄/a	事件时间/a	同震位移/m
E0	地表陡坎	—	—	1 679	1. 72
E1	埋藏古土壤 S1	—	8 845 ± 30	5 000 *	0. 48
E2	埋藏古土壤 S2	—	—	11 000 *	0. 48
E3	埋藏古土壤 S3	—	15 015 ± 40	13 800 *	0. 48
E4	崩积楔 W1	15 050 ± 45	15 690 ± 45	15 370 ± 275	0. 1
E5	崩积楔 W2	15 690 ± 45	17 340 ± 45	16 515 ± 780	0. 33
E6	崩积楔 W3	18 820 ± 50	23 320 ± 70	21 060 ± 2 190	0. 33
E7	崩积楔 W4	23 320 ± 70	23 830 ± 80	23 570 ± 180	0. 33
E8	崩积楔 W5	23 830 ± 80	24 310 ± 80	24 070 ± 160	0. 35
E9	崩积楔 W6	25 440 ± 80	—	25 520	—
E10	砂土液化 L1	31 070 ± 140	—	31 070	—

注：表中含有 \* 为本文推测的事件时限。

层厚度约为 4 m，而下盘的地层厚度约为 3 m，在该时段内（24 ~ 15）ka 两盘的沉积速率的差异恰好说明本段发生过古地震事件，位错量大约为 1 m。上部探槽两盘的古土壤层 S 的位错量约为 1.75 m。由此，我们得到了夏垫断裂 24.3 ka 以来的累计位移量为 3.2 m，W5 所对应的地震事件的同震位移约为 0.35m，W4，W3，W2 所对应的 3 次地震事件的平均同震位移约为 0.33 m，W1 所对应的地震事件的同震位移约为 0.1 m，S1，S2，S3 所对应的 3 次地震事件平均的同震位移为 0.48 m。

因为风化剥蚀以及人工改造等原因地震造成的垂直形变随着时间的推移会被逐渐分散到更大的区域之中，探槽中揭示的断距往往只是形变的一部分，但不同时段断距的差异仍能识别出古地震事件的期次。我们沿着探槽剖面旁边近南北向的公路利用 RTK 获得长约 1.2 km 的微地貌测线（图 6）。图 6 显示测量区域内断裂两盘上、下原始面高程相差约 3.6 m，而我们实测的 1679 年地震的陡坎高度与该数值相差约 2 m，这说明夏垫断裂的形变量不仅包含探槽中的位错量和陡坎高度，还需要考虑分散到更大范围内的地表形变量。

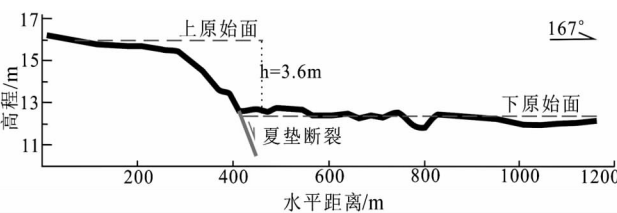


图 6  大胡庄地形剖面图  
Fig. 6  Topography profile of Dahuzhuang

3  讨论

3.1  与前人资料对比

前人利用探槽技术对夏垫断裂的古地震的研究取得丰硕成果，揭示了距今 20 ka 以来的多期次古地震事件。向宏发等（1988）最早利用探槽技术对夏垫断裂开展古地震研究，在潘各庄和东柳河屯等地开挖了多个探槽，其中，潘各庄 3 号探槽长度 6.2 m，最大深度 3.78 m，东柳河屯探槽长度 8 m，最大深度 3.5 m。冉勇康等（1997）在东柳河屯东北开挖了长度 20 m，深度 6 m，上宽 6 m、下宽 1.5 m 的大探槽。江娃利等（2000）在齐心庄也开挖了多个探槽，其中最具有代表性的齐心庄 2 号探槽长度 14 m，最大深度 4 m。通过对以上探槽的地层岩性及测年数据的分析对比，发现都具有相同的含有螺壳碎片的地层，测年结果都在 15 ka 左右。

根据表 2 中标志层以及对应的测年数据可以得到以下结果。首先，除了东柳河屯探槽之外的探槽都有螺壳碎片存在，东柳河屯东北探槽的螺壳碎片 <sup>14</sup>C 测年结果为距今（11.62 ± 0.15）ka，大胡庄探槽螺壳碎片 <sup>14</sup>C 测年结果为距今（12.86 ± 0.035）ka，两地螺壳碎片测年结果基本一致。其次，在所有探槽中都含有薄层碳屑或螺壳碎片，且该层或附近层位的碳屑 <sup>14</sup>C 测年结果都在 15 ka 左右，因此，我们认为以上探槽中含有螺壳碎片、薄层碳屑属于同一时代的标志性微地层单元，基于此建立起各个探槽在时间轴上的联系。

表 2  各探槽标志层层位对比  
Tab. 2  Comparison of symbol layer in each trench

探槽名称	标志层岩性	采样位置及距地表深度	测年数据/a	地层分布
东柳河屯（Tc1）	层（2）浅灰色亚粘土，顶部含有 1cm 含碳屑	下盘，碳屑：约 1 m	<sup>14</sup> C：14 465 ± 240	上下盘皆有分布
东柳河屯东北（Tc2）	层（4）灰白色细砂和粉砂，底部灰黑色粘土层中夹有含螺壳粉砂层	上盘，螺壳：4 m， TL：3.95 m	<sup>14</sup> C：11 620 ± 150 TL：14 740 ± 1190	上下盘皆有分布
潘各庄（Tc3）	层（2）灰绿色亚砂、亚粘土，上部为灰白色含螺壳粉砂层，顶部含有 1cm 碳屑层	下盘，碳屑：约 2 m	<sup>14</sup> C：15 050 ± 145	上下盘皆有分布
齐心庄（Tc5）	层（1）灰黑色粘土，含螺壳碎片，上部含少量锈斑，下部减少	下盘，碳屑：约 2.1 m	<sup>14</sup> C：15 068 ± 150	下盘
大胡庄（Tc4）	层（S1）灰褐色古土壤，含螺壳碎片；层（S3）灰褐色古土壤，含锈斑、植物根系	上盘，螺壳：2.0 m， 碳屑：约 3.3 m	<sup>14</sup> C：12 860 ± 35 <sup>14</sup> C：15 050 ± 45	上盘

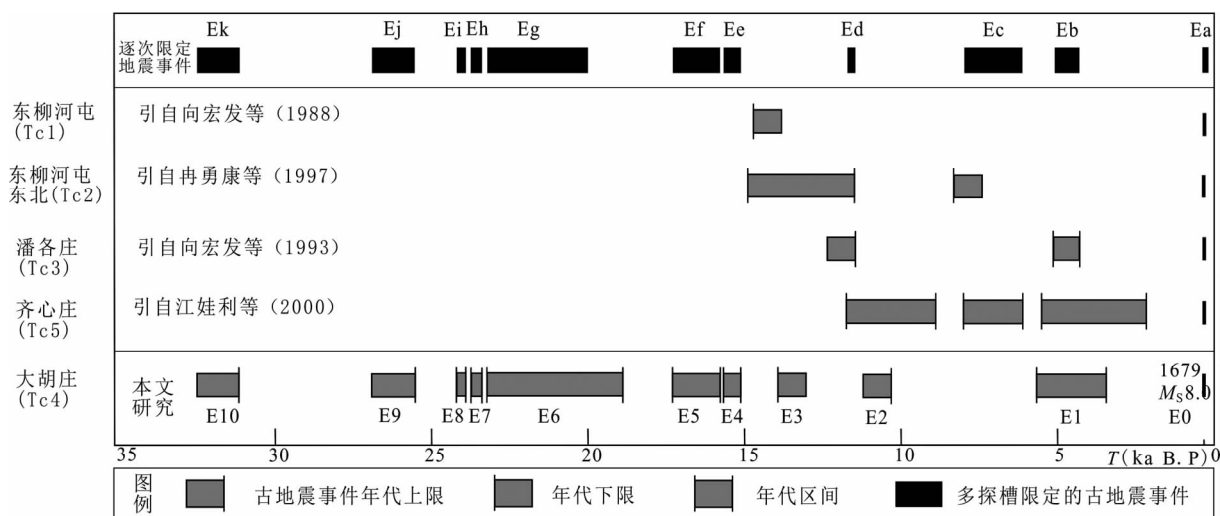


图7 夏垫断裂不同部位探槽揭示古地震对比

Fig. 7 Comparison of paleoseismicity at different zone of the Xiadian fault

### 3.2 古地震逐次限定

逐次限定法由张培震等(2003)运用于海源断裂的古地震分析之中,本文通过对比夏垫断裂5个探槽的古地震事件,利用逐次限定的方式得到11次古地震事件,由新到老依次记为Ea-Ek(图7)。其中,Ea是1679年三河—平谷8.0级地震;Eb由Tc3和Tc5所揭露,事件时限由T3限定,为 $(4.73 \pm 0.43)$  ka BP;Ec由Tc2和Tc5限定,事件时限由Tc5限定,为 $(7.07 \pm 0.95)$  ka BP;Ed由Tc1、Tc2、Tc3、Tc5共同揭露,Tc2限定事件上限,Tc5限定事件下限,故本次事件的时间为 $(11.62 \pm 0.15)$  ka BP;Ee和Ef仅由Tc4揭露,事件时限分别为 $(15.37 \pm 0.275)$  ka BP、 $(16.52 \pm 0.78)$  ka BP;Eg由Tc2和Tc4共同揭露,Tc2限定事件上限,Tc4限定事件下限,所以Eg时限为 $(21.63 \pm 1.625)$  ka BP;Eh和Ei仅由Tc4揭露,事件时限分别为 $(23.57 \pm 0.18)$  ka BP、 $(24.07 \pm 0.16)$  ka BP;Ej和Ek由Tc4揭露了上限,分别为25.52 ka BP和31 ka BP,因而2个事件的时间分别距今25.52 ka、31 ka左右。从11次古地震事件在时间轴上的分布来看,31 ka以来的平均复发间隔为2.82 ka。此外,夏垫断裂的古地震存在1个丛集期,即距今25~15 ka内发生了5次强震,平均复发间隔为2 ka。

## 4 结论

通过对夏垫断裂地震地表破裂带上大胡庄探

槽古地震事件分析,主要获得以下结论:

在大胡庄及其它探槽中,我们都找到含有螺壳碎片及薄层碳屑的标志层,标志层内各探槽螺壳碎片或碳屑的 $^{14}\text{C}$ 测年数据基本相符,这表明该标志层是宏观环境下存在的微地层单元。本文也揭示了夏垫断裂31 ka以来的11次古地震事件,平均复发间隔为2.8 ka。但距今25~15 ka存在1个古地震丛集期,丛集期内共发生5次强震,平均复发间隔2 ka。

大胡庄探槽揭示了早于15 ka的更长时段的古地震序列,也在15 ka以来或标志层之上发现3个埋藏古土壤对应的3次地震事件,完善了31 ka以来的完整古地震事件序列,为分析夏垫断裂的活动特征提供了依据。随着三河市城市活动断层探测项目的开展以及更多科研工作者对夏垫断裂的关注,必将会建立健全各研究成果之间的关系网络,也能够更加准确地鉴定夏垫断裂的活动性。

本文的探槽开挖工作得到防灾科技学院诸多本科同学特别是焦轩凯的支持,撰写过程中得到云南省地震局张彦琪高级工程师的指导,以及审稿专家提出的宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。

### 参考文献:

- 何宏林,闵伟,原口强. 2008. 1679年三河—平谷8级地震破裂带的大地切片实验研究[J]. 地震地质, 30(1): 289-297.
- 江娃利,侯治华,肖振敏,等. 2000. 北京平原夏垫断裂齐心庄探槽古地震事件分析[J]. 地震地质, 22(4): 413-422.



- 梁灵君,杨忠山,白国营. 2011. 基于GIS的北京市平原区流域水系划分方法探讨[J]. 北京水务, (6): 4-6.
- 刘保金,胡平,孟勇奇,等. 2009. 北京地区地壳精细结构的深地震反射剖面探测研究[J]. 地球物理学报, 52(9): 2264-2272.
- 刘保金,张先康,陈颀,等. 2011. 三河—平谷8.0级地震区地壳结构和活动断裂研究——利用单次覆盖深反射和浅层地震剖面[J]. 地球物理学报, 54(5): 1251-1259.
- 刘智荣,沈军,黄静宜,等. 2016. 河北三河晚更新世地层粒度特征分析[J]. 地质学报, 90(5): 997-1005.
- 毛昌伟,丁锐,龚正,等. 2010. 1679年三河—平谷8级地震地表断层陡坎的GPS测量[C]//地壳构造与地壳应力文集, 11-18.
- 孟宪梁,杜春涛,王瑞,等. 1983. 1679年三河—平谷大震的地震断裂带[J]. 地震, (3): 18-23.
- 彭一民,李鼎容,谢振钊,等. 1981. 北京平原区同生断裂的某些特征及其研究意义[J]. 地震地质, 3(2): 57-64.
- 冉勇康,邓起东,杨晓平,等. 1997. 1679年三河—平谷8级地震发震断层的古地震及其重复间隔[J]. 地震地质, 19(3): 193-201.
- 冉勇康,李彦宝,杜鹏,等. 2014. 中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(3)——正断层破裂特征、环境影响与古地震识别[J]. 地震地质, 36(2): 287-301.
- 万永魁,沈军,于晓辉,等. 2014. 北京平原区夏垫活动断裂滑动速率及古地震复发间隔[J]. 防灾科技学院学报, 16(3): 38-45.
- 向宏发,方仲景,徐杰,等. 1988. 三河—平谷8级地震区的构造背景与大震重复性研究[J]. 地震地质, 10(1): 15-28.
- 向宏发,方仲景,张晚霞,等. 1993. 北京平原区隐伏断裂晚第四纪活动性的初步研究[J]. 地震学报, 15(3): 385-388.
- 徐倩华. 2010. 北京平原区第四纪地层与新构造运动[D]. 北京: 中国地质大学.
- 徐锡伟,计凤桔,于贵华,等. 2000. 用钻孔地层剖面记录恢复古地震序列: 河北夏垫断裂古地震研究[J]. 地震地质, 22(1): 9-19.
- 杨晓平,曹景虎,陈献程. 2012. 夏垫活动断裂两盘岩心氧化铁变化[J]. 地震地质, 34(4): 659-671.
- 张超,沈军,赵江涛,等. 2014. 北京平原夏垫断裂沉积旋回研究[J]. 防灾科技学院学报, 16(2): 49-57.
- 张培震,闵伟,邓起东,等. 2003. 海源活动断裂带的古地震与强震复发规律[J]. 中国科学: 地球科学, 33(8): 705-714.
- 赵忠海. 2009. 北京平原区新构造活动及其引发的不良地质现象分析[J]. 资源环境与工程, 23(3): 282-286.
- Xu L Q, Li S Z, Cao X Z, et al. 2016. Holocene Intracontinental Deformation of the Northern North China Plain: Evidence of Tectonic Ground Fissures[J]. Journal of Asian Earth Science, 119(9): 49-64.

## Analysis of Paleoseismic Events of the Dahuzhuang Trench at the Xiadian Fault

DENG Mei<sup>1</sup>, SHEN Jun<sup>1</sup>, LI Xi<sup>2</sup>, QI Gao<sup>1</sup>, DAI Xunye<sup>1</sup>, WANG Changsheng<sup>1</sup>, LIU Zezhong<sup>1</sup>

(1. Institute of Disaster Prevention, Yanjiao 065201, Hebei, China)

(2. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

### Abstract

The Xiadian fault is an important buried active fault located in the Beijing plain. It is also the seismogenic fault of the Sanhe – Pinggu  $M_s$ 8.0 earthquake occurred in 1679. In order to obtain the complete paleoseismic sequence of the fault, the following two aspects are carried out. First, we reinterpret the Dahuzhuang trench based on the origin trench datum and reveal three paleosol, six collapse wedges and one sand liquefaction. Second, combined with the events revealed by the trenches in other parts of the fault, we established the relationship between the seismic events of different trenches at the same time axis. Then, we get intact paleoseismic sequence of the Xiadian fault. The results show that the Xiadian fault has occurred 11 paleoseismic events (including the 1679 earthquake) since 31 ka and the average recurrence interval of earthquake was 2.82 ka. Meanwhile, there were five strong earthquakes from 25 ka to 15 ka and the average recurrence interval was 2 ka. It reflects that the activity of the Xiadian fault exists differences at different stages.

**Keywords:** the Xiadian fault; paleoseismic event; collapse wedge; sand liquefaction; symbol layers