

山西中条山北麓断裂夏县段新构造运动

苗德雨, 李有利, 吕胜华, 田建梅, 王怡然, 司苏沛

(北京大学城市与环境学院地表过程重点实验室, 北京 100871)

摘要: 通过分析夏县段中条山北麓山麓剥蚀面上的黄土地层, 认为山麓剥蚀面形成于2.4 Ma以前。与邻近盆地内钻孔的研究成果对比, 得到中条山北麓断裂第四纪以来的垂直活动幅度约700 m, 抬升速率为0.29 mm/a。GPS测量得到断层将末次冰期极盛期形成的冲沟阶地垂直错断7 m, 垂直活动速率为0.28~0.5 mm/a。探槽揭示, 距今2万年以来断层有四次活动。距今8000年之前、距今4100年前后、距今3100年和距今720年以后。断距分别为大于2m、0.6 m、1.55 m和0.25 m。断层活动速率为0.22~0.55 m/a。

关键词: 中条山北麓断裂; 山麓剥蚀面; 阶地; 古地震; 活动速率

DOI: 10.11821/dlyj201404007

中条山北麓断裂是山西地堑系南部运城盆地东侧和南侧边界断裂。早期研究表明, 中条山北麓断裂东段(夏县段)和西段在全新世无活动, 中段可能为全新世活动断层^[1,2]。最近研究发现, 中条山北麓断裂中段洪积扇上发育断层陡坎, 确定了在距今7000多年有一次活动^[3]。近年来, 通过在中条山北麓断裂夏县段开展的冲沟阶地面变形测量与断层探槽研究, 发现中条山断裂东段有全新世活动的迹象。本文重点讨论中条山断裂夏县段新构造运动及其地貌表现。

1 研究区概况

山西地堑系分布于鄂尔多斯断块东缘南缘, 由一系列NE或近NE向断陷盆地构成^[4-7]。运城盆地在燕山运动后到第三纪初期以前一直处于相对稳定的阶段, 在喜马拉雅运动影响下, 晚新生代以来发生了强烈的断裂活动, 盆地下沉并开始接受深厚沉积。地震勘探资料揭示盆地新生界厚度达5000 m以上, 钻孔古地磁研究表明第四系厚度在400m以上^[8], 为南深北浅的半地堑式盆地。靠近中条山的区域是盆地下沉最强烈的地区, 目前仍发育湖泊洼地^[9,10]。中条山出露太古界变质岩系, 上覆的寒武系到二叠系构成了向南和向东掀斜的断块山地(图1), 高出运城盆地1500 m以上, 山地北坡陡峻, 断层三角面发育。

中条山北麓断裂由东北向西南, 断层走向由北东向变为北东东向再变为北东向, 主断层面倾向北西和北北西, 倾角为60°~80°, 是正断层性质的断裂带, 全长约130 km。以西姚温和磨河村为界, 中条山北麓断裂可以被分为西段(韩阳段)、中段(解州段)和东段(夏县段)(图1)^[1,2]。其中西段走向为NE, 长约20 km; 中段走向为NEE, 长约80 km; 东段走向为NE, 长约30 km。

收稿日期: 2013-07-15; 修订日期: 2013-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271019); 地震行业科研专项重大项目(200908001)

作者简介: 苗德雨(1986-), 男, 辽宁省抚顺人, 硕士研究生, 构造地貌学专业。E-mail: miaody_fighting@163.com

通讯作者: 李有利(1965-), 男, 陕西省扶风县人, 教授, 博士生导师。E-mail: liyouli@pku.edu.cn

山西地堑系有史以来发生了3次8级以上地震^[1,11]。运城盆地历史地震是公元793年永济6级地震和1642年硝池一带的6级地震^[1,12]。

2 断裂活动的地貌表现

2.1 构造台地

中条山断裂东段上升盘发育构造台地。台地在南部较宽,宽度大于10 km,向南穿过张店一带的中条山垭口,与三门峡盆地的高台地相连。向北宽度逐渐变小,至酒务头以北消失。台地受到流水作用

强烈侵蚀,台面破碎,有些地方呈高度相近的丘陵。从切过台地的地形剖面线可见(图2),台面海拔高度1000~700m,向运城盆地倾斜,台地前缘高出运城盆地约300 m。

高台地由基岩及上覆的上新世砾石层构成,在张店垭口台地上覆盖厚度大于80 m的黄土(图3)。由于强烈的侵蚀作用,多处见砾石仅保留于丘陵的顶部。地貌结构反映台地为中条山西北麓的山麓剥蚀面,后因中条山西北麓断裂的活动,逐渐抬升至现有高度。

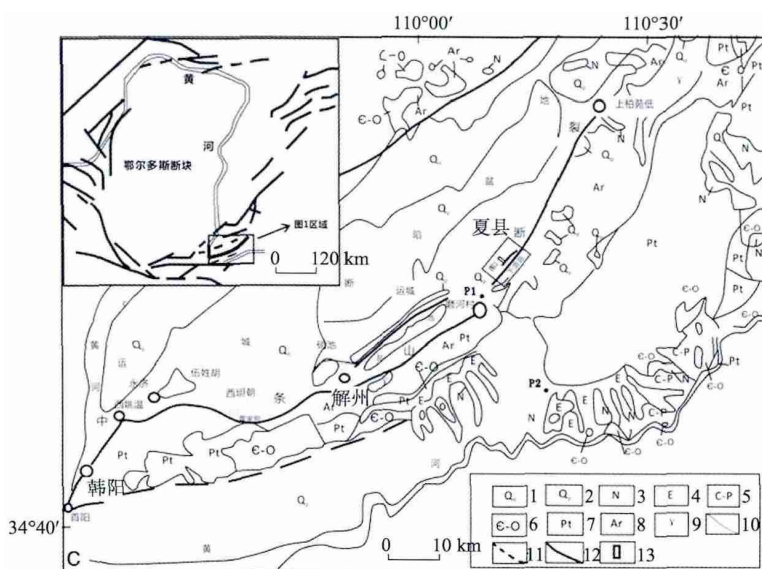
台地上砾石层中夹有桔红色粘土层,性状与邻近地区三趾马红土相近。在平陆县望原村,见石炭系砂岩上覆盖2 m厚砾石层,地貌部位相当于上述古山麓剥蚀面,海拔高度674 m。其上覆盖100 m厚的黄土古土壤沉积(图4C)。古地磁研究表明,砾石层以上地层开始堆积于2.4 Ma BP,据此推断台地形成于新近纪晚期。

钻孔揭示,运城盐湖东端新近纪晚期以来的地层厚度大于600 m,距今约2.4 Ma的M/G界线位于地面以下400 m处(图4B)^[8]。根据台地前缘高出盆地300 m,得到中条山北麓断裂第四纪以来的垂直断距约700 m。估算出中条山北麓断裂距今2.4 Ma以来的平均垂直活动速率为0.29 mm/a。

2.2 断层陡坎

断层切割台地的冲沟,冲沟中发育的三级以上阶地属于上升盘,下降盘冲沟两侧发育两级阶地,与上升盘的两级低阶地对应。中条山断裂将二级以上阶地错断,形成了断层陡坎。在下湫底沟口,用差分GPS测量了断层错断二级阶地的地形剖面(图5),得到陡坎的高度为7 m。

在该阶地剖面砾石层顶部,采集到炭屑,其¹⁴C年龄为Cal BP 24870~24500(表1)。推测二级阶地形成于末次冰期极盛期(MIS2阶段),一般认为与末次冰期极盛期对应的气候阶地形成于距今约1.4万年以后,由此推测断层的活动速率约为0.5 mm/a。若以¹⁴C年龄



1. 第四纪全新统; 2. 第四纪更新统; 3. 新近纪; 4. 古近纪; 5. 石炭-二叠纪;
6. 寒武-奥陶纪; 7. 元古宙; 8. 太古宙; 9. 燕山期侵入岩; 10. 地质界线;
11. 推测断层; 12. 中条山北麓断裂; 13. 探槽

图1 山西中条山北麓地质简图(修改自文献[2])

Fig. 1 Tectonic sketch of the northern Zhongtiao Mountain (after Ref. [2])

为 Cal BP 24870~24500 估算，得到断层的垂直活动速率为0.28~0.29 mm/a。

3 断层探槽剖面

在夏县下湫底沟口冲沟二级阶地断层陡坎处，通过切坡和向下挖掘，获得了长11 m、深8 m的探槽剖面，揭示了断层和断层两侧的地层单元。

- (1)黄色粉砂，中部夹一层厚5 cm粗砂层。厚度2 m不见底；
- (2)底部灰色砾石层，棱角状，分选差，上部含砾石砂层，水平层理；厚1 m；

表1 下湫底探槽¹⁴C样品数据
Tab. 1 ¹⁴C age data of Xiayandi trench

样品编号	样品性质	测试年龄(BP)	校正年龄 ^[13]
X-13	炭屑	720+/-30	Cal BP 690~660
X-16	有机沉积物	4140+/-30	Cal BP 4820~4570 Cal BP 4540~4530
X-20	炭屑	25870+/-140	Cal BP 30950~30400
XND-2	炭屑	20690+/-90	Cal BP 24870~24500

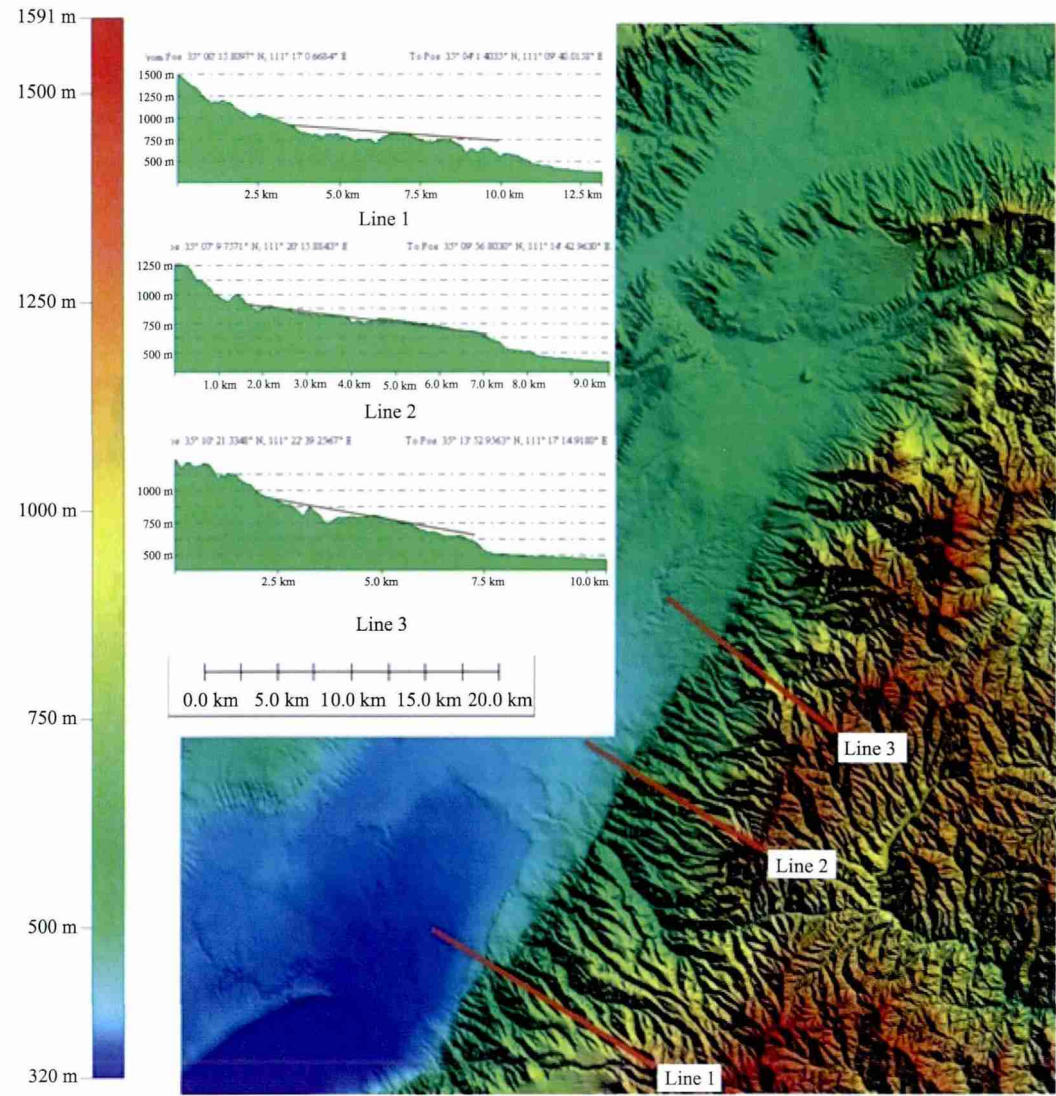
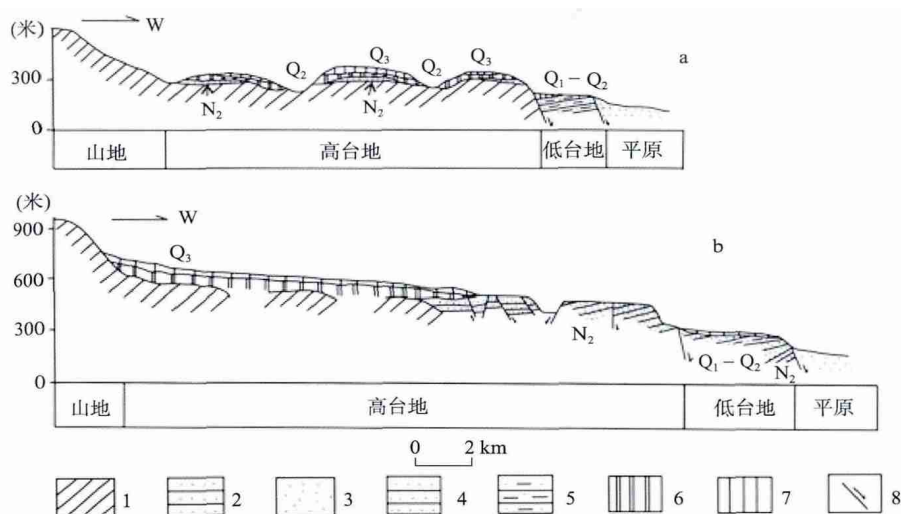


图2 中条山西北麓夏县段地势图 (DEM来源于ASTER GDEM 2，误差20 m)
Fig. 2 Relief along the northwest front of the Zhongtiao Mountains



1. 基岩; 2. 砾岩; 3. 砂砾石层; 4. 砂; 5. 粉砂; 6. 离石黄土; 7. 马兰黄土; 8. 断层

(a) 南山底附近; (b) 王峪口附近

图3 中条山夏县段西北麓构造台地示意图

Fig. 3 Structure of the tectonic tableland along the northwest front of the Zhongtiao Mountains

(3)黄色砾石层, 底部砾石较小, 个别砾石粒径接近 10 cm, 其他砾石粒径小于 3 cm。中部砾石粗大, 多数砾石粒径大于 10 cm。顶部砾石粒径多小于 5 cm, 夹杂少量粒径近 10 cm 砾石, 厚 1 m;

(4)黄色粉砂, 厚度 0.8 m;

(5)砾石层, 砾石棱角状, 粒径多大于 5 cm, 厚度 0.5 m;

(6)黄色粉砂层, 底部夹一层厚 10 cm 的砾石层, 厚 0.8 m;

(7)黄色砾石层, 砾石棱角状, 粒径多小于 5 cm, 厚度 0.4 m;

(8)黄色粉砂, 厚度 0.6 m;

(9)黄色细砂砾层, 厚度 0.7 m;

(10)黄色粉砂, 厚度 2 m, 土层的顶部为地表土壤;

(11)褐黄色粉砂层, 厚 1.7 m 不见底。该层顶部两个炭屑的 ^{14}C 年龄分别为 Cal BP 30950~30400 和 Cal BP 24870~24500。

(12)楔状砂砾石堆积, 靠近 F1 断层厚度 2 m, 离开断层 4 m 处尖灭。下部砾石粗大, 上部砾石较小。该层被 F2 断层错断, 断距约 60 cm。

(13)黄色粉砂层, 厚度 0.5 m; 该层被 F2 断层错断, 断距约 60 cm;

(14)黄褐色粉砂, 顶部颜色较深, 向下颜色变浅。F2 断层下降盘厚度较大, 约为 2m。该层底部一个炭屑样品的 ^{14}C 年龄为 Cal BP 4820~4570、Cal BP 4540~4530;

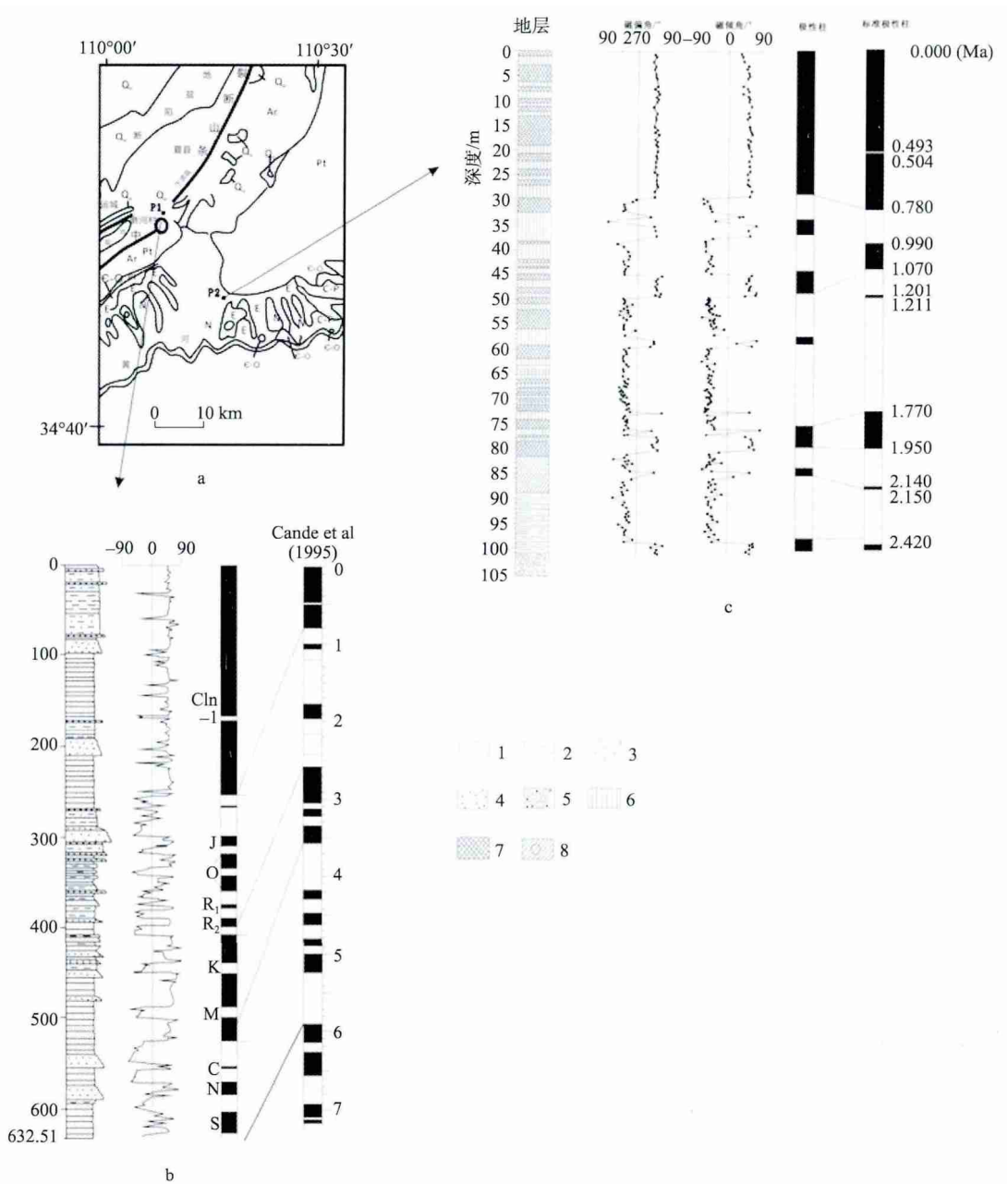
(15)黄色粉砂, 厚 30 cm;

(16)黄褐色粉砂, 顶部颜色较深, 向下颜色变浅, 厚 1 m;

(17)黄色砂砾石, 砾石呈棱角状, 无分选, 无层理, 呈上大下小的楔形, 宽 1.2 m, 向下深 1.8 m 处尖灭, 东侧为 F1 断层面, 靠近断层有砾石平行断层排列, 西侧为向东倾的不平整面;

(18)浅黄色粉砂, 厚 1.5 m; 底部有墓穴, 其中一墓穴中出土装有五铢钱的陶罐;

(19)黑色灰烬层, 为早期墓穴底部;



A. 钻孔与剖面位置；B. 运城盐湖东端钻孔柱状图^[9]；C. 望原剖面柱状图（傅建利提供）
1. 黏土；2. 粉砂质黏土；3. 黏土质粉砂；4. 砂；5. 砾石；6. 黄土；7. 古土壤；8. 次生黄土

图4 中条山西北麓台地上黄土剖面和运城盆地钻孔剖面

Fig. 4 Sections of loess on the tableland and lacustrine deposits in the Yuncheng basin

- (20)早期墓穴内堆积；
- (21)灰色灰土层，¹⁴C年龄为Cal BP 690~660，为晚期墓穴底；
- (22)棕色泥土层，水平层理，为晚期墓穴内进水后的沉积物，厚约3 cm。该层被F1断层错断25 cm；
- (23)浅黄色粉砂层，厚约2 m。

上述剖面中, F1 断层断到地表, 但两盘的地层无法对比, 表明断层长期以来有活动, 但无法确定总断距。断层下降盘的 12 层为断层崩积楔, 代表一次断层活动事件。在该崩积楔下伏地层顶部, 两个炭屑的 ^{14}C 年龄分别为 Cal BP 30950~30400 和 Cal BP 24870~24500, 推断这次断层活动事件发生在距今 2 万年以后。该崩积楔被黄土及埋藏土壤覆盖。若埋藏土形成于全新世大暖期, 可以推断这次事件发生在距今 8000 年以前。由崩塌楔厚度约 2m, 推断断层垂直断距大于等于 2 m。

F2 断层将上述崩积楔和上覆的黄土错断, 断层终止于下部埋藏土 (14) 中。在层 14 中一个炭屑样品的 ^{14}C 年龄为 Cal BP 4820~4570、Cal BP 4540~4530。根据样品位置与断层终止点的位置判断, 断层活动时间在下部埋藏土堆积与发育过程中, 接近 Cal BP 4820~4530。这次断层活动垂直断距为 60 cm。

在上部埋藏土 (16) 形成以后, F1 断层又经过一次活动, 断层上升盘的砾石塌落进断层顶部的拉张裂隙形成构造充填楔 (17)。虽然构造充填楔顶部见墓穴堆积, 说明构造充填楔经过人工改造, 但根据断层上升盘顶部砾石层 (9) 的高度应高于充填楔顶的高度判断, 断层活动早于第 18 层黄土的堆积。上部埋藏土 (16) 为剖面上最新的埋藏土, 应为全新世大暖期的产物, 根据全新世气候变化规律和前人研究成果^[14], 推断这层埋藏土形成于距今 3100 年前。据此, 我们推断这次断层活动的时间应在距今 3100 年左右。

F1 断层最新活动造成了墓穴底和墓穴中静水沉积层垂直错断 25 cm。剖面揭示, 有两期墓穴, 晚期的墓穴切割了早期的墓穴堆积, 断层活动将晚期的墓穴错断。晚期墓穴底部的灰层 ^{14}C 年龄为 Cal BP 690~660。指示在距今 720 年以后断层有一次活动, 垂直断距为 25 cm。距今 700 年以来, 运城盆地在 1642 年发生过一次 6 级地震, 根据文献记载推断震中可能在硝池一带, 断层的活动可能和这次地震有关。

根据早期崩积楔 (12) 顶部与断层上升盘顶部砾石层 (9) 顶面的垂直距离约为 1.8m, 减去最新活动垂直断距 25 cm, 得到距今 3100 年左右的断层活动的垂直断距为

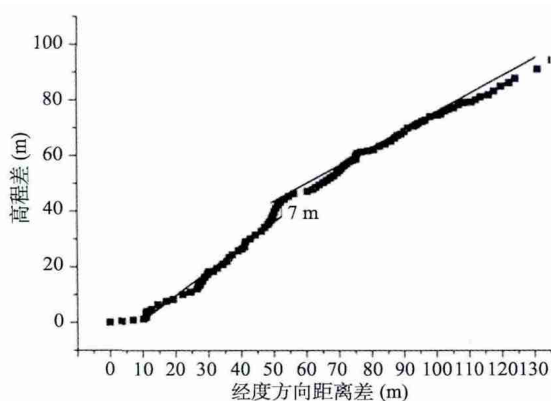


图5 夏县湫底沟二级阶地断层陡坎 GPS 测量剖面

Fig. 5 A Profile across the fault scarp on the terrace of Xiayandi valley

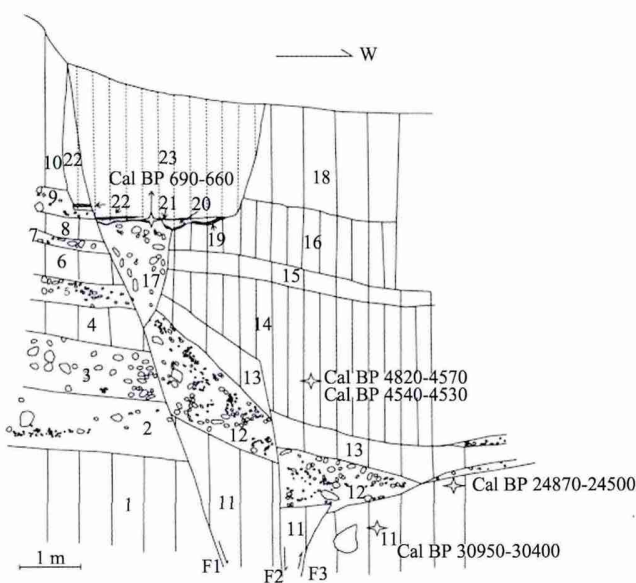


图6 下湫底探槽剖面

Fig. 6 Log of the Xiayandi trench

根据早期崩积楔 (12) 顶部与断层上升盘顶部砾石层 (9) 顶面的垂直距离约为 1.8m, 减去最新活动垂直断距 25 cm, 得到距今 3100 年左右的断层活动的垂直断距为

1.55 m。

断层F2下降盘以层12为界分上下两部分，下部为含有粗砂、砾石透镜体的黄色粉砂，为冲积物，上部为质地均一的粉砂，为风成黄土，说明层12崩积楔为冲沟阶地面上的堆积物。断层F2下降盘崩积楔（层12）的底部与F1断层上升盘最上部的砾石层顶面的垂直距离约为5 m。因断层上升盘可能受到剥蚀而降低，推测断层的垂直断距的最小值为5 m。阶地顶部年轻的 ^{14}C 年龄为Cal BP 30950~30400，估算断层活动速率的为0.162~0.164 mm/a。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 中条山北麓夏县段构造台地为古山麓面，上覆的黄土地层指示山麓面形成于新近纪末期，代表构造相对稳定时期。此后，断裂强烈活动，山麓剥蚀面抬升，第四纪以来的抬升幅度约700 m，抬升速率为0.29 mm/a。

(2) 探槽揭示，距今2万年以来，断层有四次活动。第一次活动发生在距今2万年到距今8000年之间，垂直断距大于等于2 m；第二次活动发生于大约Cal BP 4820~4530，垂直断距为60 cm；第三次活动发生在距今3100年前，垂直断距为1.55 m；在距今720年以后断层最后一次活动，垂直断距为25 cm。该段断层为全新世活动断层。

(3) 根据河流阶地错断7 m，估算得到断层垂直活动速率为0.28~0.5 mm/a。根据探槽中古地震事件相伴的最小垂直总位移4.4m，估算得到断层垂直活动速率为0.22~0.55mm/a。

4.2 讨论

中条山西北麓古山麓剥蚀面，反映上新世晚期新构造活动比较缓和。中条山抬升较弱，长期的剥蚀作用造成山地后退，形成了宽度可达10 km的山麓剥蚀面。这与钻孔研究得到的运城盆地在5.90-3.60 Ma BP盆地快速沉降期，在3.60-2.58 Ma BP收缩期^[8]的结论相符。中条山西北麓古山麓剥蚀面上覆黄土地层的古地磁研究指示古山麓剥蚀面在距今240万年前开始抬升，反映构造运动又进入活跃期。中条山西北麓断层的强烈活动，山麓剥蚀面相对运城盆地抬升，至今相对运动的幅度达700m，平均垂直活动速率为0.29mm/a。

中条山北麓断裂将发源于山地的冲沟的阶地错断，由于断层下降盘只发育两级最年轻的阶地，本文只获得了第二级阶地上断层陡坎的高度为7 m。虽然陡坎为阶地面上覆盖风成黄土后的陡坎，但在断层附近，断层两盘上覆盖的黄土厚度相近，由此认为该高度接近断层的垂直断距。由阶地沉积中的两个炭屑样品的 ^{14}C 年龄判断，第二级阶地堆积于末次冰期极盛期。若用年轻的 ^{14}C 年龄估算，得到断层垂直活动速率为0.28~0.29 mm/a，这为最小活动速率；若假设该阶地下切于1.4万年前，则估算得到断层垂直活动速率为0.5 mm/a。

距今2万年以来，断层有前述四次活动。断层活动的时间间隔最小为近1400年，最大为大于2300年，间隔越大，前一次断层活动的断距越大，符合时间可预测模型（Time-predicable model）^[15,16]。探槽剖面揭示四次活动的总位移最小值为4.4 m，若第一次活动发生在距今2万年左右，估算活动速率约为0.22 mm/a；若第一次活动发生在距今8000年左右则估算活动速率约为0.55 mm/a，即断层垂直活动速率为0.22~0.55 mm/a。

中条山北麓断裂夏县段第四纪以来是否近匀速活动还需进一步研究。另外，探槽剖面只揭示了一条断层，而正断层山前地带常发育多条断层^[17-21]，一条断层的活动速率常小于多条断层构成的总断裂的活动速率。

参考文献(References)

- [1] 苏宗正, 程新原, 安卫平, 等. 山西运城盆地的中条山断裂. 见: 中国地震局地质研究所. 活动断裂研究(8). 北京: 地震出版社, 2001: 120-130. [Su Zongzheng, Cheng Xinyuan, An Weiping, et al. Zhongtiaoshan mountain fault zone of Yuncheng Basin, Shanxi. In: Institute of Geology of China Seismological Bureau. Active Fault Research (8). Beijing: Seismological Press, 2001: 120-130.]
- [2] 程绍平, 杨桂枝. 山西中条山断裂带的晚第四纪分段模型. 地震地质, 2002, 24(3): 89-302. [Cheng Shaoping, Yang Guizhi. Late Quaternary segmentation model of the Zhongtiaoshan fault, Shanxi Province. Seismology and Geology, 2002, 24(3): 89-302.]
- [3] 田建梅, 李有利, 司苏沛, 等. 中条山北麓中段洪积扇上全新世断层陡坎的发现及其新构造意义. 北京大学学报: 自然科学版, 2013, 49(6): 986-992. [Tian Jianmei, Li Youli, Si Supei, et al. Discovery and neotectonic significance of fault scarps on alluvial fans in the middle of northern piedmont of Zhongtiaoshan Mountains. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2013, 49(6): 986-992.]
- [4] 国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组. 鄂尔多斯周边活动断裂系. 北京: 地震出版社, 1988: 77-108. [Research Group on the Active Fault Study around Erdos by Seismological Bureau of China. Active Fault System around Erdos. Beijing: Seismological Press, 1988: 77-108.]
- [5] 王乃樑, 杨景春, 夏正楷, 等. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌. 北京: 科学出版社, 1996: 206-218. [Wang Nailiang, Yang Jingchun, Xia Zhengkai, et al. Cenozoic Era Sedimentary and Morphotectonics of Shanxi Graben System. Beijing: Science Press, 1996: 206-218.]
- [6] Li Youli, Yang Jingchun, Xia Zhengkai, et al. Tectonic geomorphology in Shanxi Graben System. Northern China. Geomorphology, 1998, 23: 77-89.
- [7] 胡孟春. 渭河盆地的地质构造与构造地貌类型. 地理研究, 1989, 8(4): 56-64. [Hu Mengchun. The relationship between the tectonic landforms and structures in Weihe River Basin. Geographical Research, 1989, 8(4): 56-64.]
- [8] 王强, 李彩光, 田国强, 等. 7.1 Ma 以来运城盆地地表系统巨变及盐湖形成的构造背景. 中国科学: D, 2000, 30(4): 420-428. [Wang Qiang, Li Caiguang, Tian Guoqiang, et al. The great surface system changes and the tectonic setting of the saline lake in Yuncheng Basin, Shanxi Province since 7.1Ma. Science China: Series D, 2000, 30(4): 420-428.]
- [9] 李有利, 杨景春. 山西运城盐湖沉积环境及其演化. 地理研究, 1994, 13(1): 70-75. [Li Youli, Yang Jingchun. Environmental evolution of Yuncheng saline lake in Shanxi of China. Geographical Research, 1994, 13(1): 70-75.]
- [10] 吴艳宏, 吴瑞金, 王强, 等. 运城盆地 11 kaBP 以来气候环境变迁与湖面波动. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(2): 83-86. [Wu Yanhong, Wu Ruijin, Wang Qiang, et al. Palaeoclimatic variation and lake level fluctuation in Yuncheng Basin, Shanxi Province since 11 kaBP. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(2): 83-86.]
- [11] 徐锡伟, 邓起东, 董瑞树, 等. 山西地堑系强震的活动规律和危险区段的研究. 地震地质, 1992, 14(4): 305-316. [Xu Xiwei, Deng Qidong, Dong Ruishu, et al. Study on strong earthquake activities and risk areas in Shanxi Graben System. Seismology and Geology, 1992, 14(4): 305-316.]
- [12] 安卫平. 山西地震等震线图集. 北京: 地震出版社, 2009: 1-81. [An Weiping. The Atlas of Shanxi Earthquake Isoseismal Lines. Beijing: Seismological Press, 2009: 1-81.]
- [13] Reimer P J, Baillie M G, Bard E, et al. Intcal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years Cal BP. Radiocarbon, 2009, 51: 1111-1150.
- [14] 查小春, 黄春长, 庞奖励. 运城盆地洪积平原全新世环境演变与侵蚀阶段研究. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 131-135. [Cha Xiaochun, Huang Chunchang, Pang Jiangli. Holocene environment change of pedogenesis and erosion phases on pluvial-alluvial fan in Yuncheng Basin, Shanxi Province. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(1): 131-135.]
- [15] Burbank D W, Anderson R S. Tectonic Geomorphology. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2012: 73-76.
- [16] Shimaki K, Nakata T. Time-predictable recurrence model for large earthquakes. Geophysical Research Letters, 1980, 7: 279-282.
- [17] 邓起东, 汪一鹏, 廖玉华, 等. 断层崖崩积楔及贺兰山山前断裂全新世活动历史. 科学通报, 1984, (9): 557-560. [Deng Qidong, Wang Yipeng, Liao Yuhua, et al. Fault colluvium study and Holocene activity of Helan Mountain front fault. Chinese Science Bulletin, 1984, (9): 557-560.]
- [18] 杨景春, 郭正堂, 曹家栋. 用地貌学方法研究贺兰山山前断层全新世活动状况. 地震地质, 1985, 7(4): 23-31. [Yang Jingchun, Guo Zhengtang, Cao Jiadong. Investigation on the Holocene activities of Helan Mountain piedmont fault by use of geomorphological method. Seismology and Geology, 1985, 7(4): 23-31.]
- [19] 冉勇康, 张培震, 陈立春. 河套断裂带大青山山前断裂晚第四纪古地震完整性研究. 地学前缘, 2003, 10(特刊): 207-210. [Ran Yongkang, Zhang Peizhen, Chen Lichun. Research on the completeness of paleoseismic activity history since Late quaternary along the Daqingshan piedmont fault in Hetao Depression Zone of Northern China. Earth Science Frontiers, 2003, 10(S): 207-216.]
- [20] 谢新生, 江娃利, 孙昌斌, 等. 山西交城断裂带多个大探槽全新世古地震对比研究. 地震地质, 2008, 30(2): 412-430.

[Xie Xinsheng, Jiang Wali, Sun Changbin, et al. Comparison study on Holocene paleoseismic activities among multi-trenches along the Jiaocheng Fault Zone, Shanxi. *Seismology and Geology*, 2008, 30(2): 412-430.]

[21] McCapin J. *Paleoseismology*. Manhattan: Academic Press, 2009: 171-269.

Neotectonic activity in Xiaxian segment of the North Zhongtiao Mountain Fault Zone, Shanxi

MIAO Deyu, LI Youli, LV Shenghua, TIAN Jianmei, WANG Yiran, SI Supei

(College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: North Zhongtiao Mountain Fault Zone (NZFZ) is the east and south boundary fault of Yuncheng Basin, which is the southernmost basin of Shanxi Graben System. NZFZ comprises three segments, i.e. the western (Hanyang) segment, the middle (Xiezhou) segment and the eastern (Xiaxian) segment. This paper focuses on the Xiaxian segment of NZFZ. We characterize the pattern of this segment on the basis of the analysis on loess sediments, drilling results and GPS data. The loess/paleosol sequence constrains chronologically the formation of the paleo-piedmont developing in the northwest front of the east part of the Zhongtiao Mountains at about 2.4 MaBP. Based on the drilling results from the adjacent Yuncheng Basin, we define that the total vertical displacement during the Quaternary is about 700 m, which gives rise to an uplift rate of 0.29 mm/a. In response to uplifting of the Zhongtiao Mountain, several terraces were formed along the gullies flowing through the fault. The formation age of the deformed terrace T2 is dated at about 2.5 kaBP by ^{14}C dating method. Together with the deformation of ~ 7 m according to the field investigation and GPS measurements, the slip rate is defined as 0.28-0.29 mm/a. At the Xiaxian segment, four paleoseismic events were revealed by the trenching study at Xiayandi. The oldest event was constrained at 20-6 kaBP with the vertical displacement of >2 m. The subsequent event occurred around 4140 ± 30 aBP with a vertical displacement of 0.6 m. The third event occurred at 3100 aBP with a vertical displacement of 1.55 m. The youngest event is constrained chronologically at 720 aBP with a vertical displacement of 0.25 m. Based on the total displacement of >4.4 m, we conclude that the vertical slip rate should be 0.22-0.55 mm/a. The above results on NZFZ are different from the previous studies, which propose a relatively inactive tectonic setting during Holocene in the present study area.

Key words: North Zhongtiao Mountain Fault Zone; piedmont; fluvial terrace; paleo-earthquake; slip rate