

郝凯, 田勤俭, 刘保金, 尹功名. 2008. 郑州老鸦陈断裂的探测与活动性调查研究. 地震学报, 30(4): 416-423.
Hao Kai, Tian Qinjian, Liu Baojin, Yin Gongming. 2008. Exploration of the Laoyachen fault, Zhengzhou of China, and its activity investigation. *Acta Seismologica Sinica*, 30(4): 416-423.

郑州老鸦陈断裂的探测与 活动性调查研究^{*}

郝 凯¹⁾,[†] 田勤俭¹⁾ 刘保金²⁾ 尹功名³⁾

1) 中国北京 100036 中国地震局地震预测研究所

2) 中国郑州 450002 中国地震局地球物理勘探中心

3) 中国北京 100029 中国地震局地质研究所

摘要 通过浅层地震勘探、钻孔联合剖面分析、野外地貌调查以及新地质年代测定等技术方法, 对原先认定的郑州老鸦陈断裂的活动性开展调查。其中, 浅层地震勘探结果表明, 该断裂仅存在于新近纪以前的地层, 而在新近纪地层内均未发现该断层错断和活动迹象。同时, 地表的地质地貌调查亦发现“地貌陡坎”与老鸦陈断裂的位置不一致。另外钻探和钻孔联合剖面的分析也表明, 地表的陡坎仅发育在马兰黄土中, 其下地层平缓, 没有错断现象, 认为该陡坎的形成与老鸦陈断层没有关系, 但可能与黄河改道变迁的侵蚀作用有关。因此, 老鸦陈断裂不属于活动断裂。

关键词 老鸦陈断裂 断层活动性 浅层地震勘探 钻探 地貌调查

文章编号: 0253-3782(2008)04-0416-08 中图分类号: P315.2 文献标识码: A

Exploration of the Laoyachen fault, Zhengzhou of China, and its activity investigation

Hao Kai^{1),†} Tian Qinjian¹⁾ Liu Baojin²⁾ Yin Gongming³⁾

1) Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

2) Geophysical Exploration Center, China Earthquake Administration, Zhengzhou 450002, China

3) Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

Abstract: Activity of the Laoyachen fault, which was previously recognized as an active fault, is investigated by means of shallow seismic exploration, bore-hole composite profile analysis, geomorphologic survey and geological dating. The seismic exploration result indicates that this fault only appears in the strata before Neogene, while it has not cut through the Neogene strata themselves. The surface geological and geomorphologic survey show that the position of so-called “fault scarp” is not consistent with the outcrop of the Laoyachen fault. Moreover, the result of drilling and borehole composite profile analysis denotes

* 基金项目 国家科技支撑计划课题(2006BAC13B01-02-02)资助。

收稿日期 2007-12-19 收到初稿, 2008-05-06 决定采用修改稿。

† 通讯作者 e-mail: haokai1898@163.com

that the scarp only grew in the Malan Loess, and the strata below kept gentle without offsetting. We think that the formation of this scarp may be associated with the course change of the Yellow River, rather than being related to the motion of the Laoyachen fault. Therefore, the Laoyachen fault is not an active fault.

Key words: Laoyachen fault; fault activity; shallow seismic exploration; drilling; geomorphologic survey

引言

随着 20 世纪 90 年代后期美国洛杉矶北岭、日本阪神等一系列城市地震的发生 (Miya-ta, Maeda, 1998), 世界各国政府越来越清楚地认识到城市活断层探测与研究的重要性和急迫性, 相继实施了大城市减灾项目, 试图通过城市及其邻近地区有潜在发震危险的活断层探测, 更合理地进行城市规划和抗震设防, 减轻城市可能遭遇的地震损失。目前国外主要通过绘制详细的活断层图、钻孔和槽探、形变监测以及综合地球物理探测等方法调查城市活断层 (Yeats *et al.*, 1997; Fuis, 1998; Fuis *et al.*, 2001)。1976 年我国唐山 7.8 级和 1999 年我国台湾集集 7.6 级等城市地震均造成严重的人员伤亡和经济损失。吸取唐山地震和国内外其它一些地震的教训, 我国政府对以活动断裂为代表的活动构造及其地震危险性问题给予了极大的重视。20 世纪 90 年代末, 我国开始全面制订大城市活动断裂探测和地震危险性评价计划, 并已在福州等城市通过地质地貌、地球化学和地球物理方面的多种探测方法结合进行了试验性工作。取得一定的成果后, 先后在国内 20 几个大城市(包括郑州市)开展了活断层探测工作(邓起东等, 2003)。

老鸦陈断裂北起黄河南岸, 沿邙山东侧向南东方向延伸穿过郑州市区, 向十八里河方向延伸, 是郑州市内重要的断裂(刘尧兴, 2001)。研究老鸦陈断层的形态特征及其活动性, 是研究郑州市地震危险性和危害性的重要依据, 对郑州市的生产建设有着重要意义。针对老鸦陈断裂的重要性和郑州市活断层探测的具体情况, 在郑州市活动断层探测项目中, 首先开展了老鸦陈断裂探测和活动性调查专题工作。

老鸦陈断裂最早是在 1988 年郑州市地震小区划工作中发现的, 尔后又对郑州市区老鸦陈隐伏断裂进行了综合研究, 认为该断裂在全新世是活动的^①、^②(侯清卫, 吴怡, 2000; 赵成斌等, 2007)。其主要依据是当时布设在东风路和金水路的浅层地震横波勘探剖面解译和邙山东侧的地貌陡坎。由于老鸦陈断裂的隐伏性, 很多专家对该断裂的活动性提出了质疑。本着求实的科学精神, 我们试图通过有力的论证方法解释该断裂的活动性。由于该地区新生代地层较厚, 且目标断层的位置、性质及断裂活动性不确定, 最终采用了浅层地震勘探、钻孔联合剖面分析、野外地貌调查以及新地质年代测定等技术方法, 力求解决老鸦陈断裂活动性以及断裂与地貌陡坎的关系。

1 浅层地震勘探

本次浅层地震勘探在测区内共布设了 11 条纵波地震勘探测线, 按照所设计探测深度

① 郑州市地震局. 1993. 郑州市区老鸦陈隐伏断裂综合研究报告.

② 中国地震局地质研究所. 2003. 黄河、新乡—商丘、老鸦陈隐伏断裂活动性探测报告.

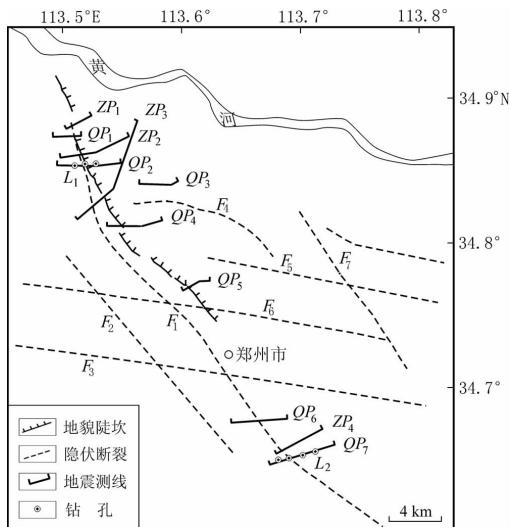


图 1 郑州地区断层分布图

QP 表示浅层地震勘探测线编号; ZP 表示中浅层地震勘探测线编号; L_1 表示古荥镇大河路联合钻孔剖面位置; L_2 表示 107 国道旁联合钻孔剖面位置; F_1 表示老鸦陈断裂; F_2 表示古荥断裂; F_3 表示须水断裂; F_4 表示柳林断裂; F_5 表示中牟断裂; F_6 表示上街断裂; F_7 表示花园断裂

Fig. 1 Distribution of faults in Zhengzhou region

QP : Shallow seismic exploration line; ZP : Medium-shallow seismic exploration line; L_1 : Composite borehole survey site at Dahe road of Guxing town; L_2 : Borehole survey site by No. 107 national road; F_1 : Laoyachen fault; F_2 : Guxing fault; F_3 : Xushui fault; F_4 : Liulin fault; F_5 : Zhongmu fault; F_6 : Shangjie fault; F_7 : Huayuan fault

并伴有反射能量的突变和同相轴的横向间断等现象; 另外, 地层产状在该位置两侧也出现有明显不同, 桩号 4700 m 以西, 地层产状近于水平, 桩号 4700 m 以东, 所有的地层界面一律向东倾斜, 这些现象表明在该处应有断层存在。从断层在剖面上出现的位置和性质来看, 该断层应是老鸦陈断层的反映。老鸦陈断层在剖面上倾向北东, 视倾角约为 60° — 70° , 为正断层。该断层错断了二叠系、石炭系或奥陶系地层, 推测向下延伸至结晶基底。从 T_N 反射波及其以浅的各反射波同相轴的横向连续性来看, 在 $Q+N$ 地层内部均没有出现断层引起的地层错断现象, 尤其是强能量的标准反射波 T_N 在剖面上连续性非常好, 说明老鸦陈断层为一条新近纪之前的断层。

QP_2 测线经过地段内的第四纪地层界面在横向上有起伏变化不大, 仅在剖面的中部出现小的隆起(图 3)。而在双程到时 0.20 s 以下的新近系内部, 所有的地层反射均呈西高东低的单斜形态, 且随着深度的增加, 这些反射面的倾角逐渐变大。从剖面反射波同相轴的横

的不同, 把 11 条纵波测线又分为探测深度 1—2 km 的 4 条中浅层地震测线(ZP_1 — ZP_4)和探测深度 30—100 m 的 7 条浅层地震勘探测线(QP_1 — QP_7)(图 1)。其中 ZP_1 , ZP_2 , QP_1 , QP_2 , QP_4 横跨了断裂北段的地貌陡坎(图 1)。为便于对剖面反射波组进行层组划分和地质解释, 根据资料处理时获得的地震波速度资料和时间剖面上不同界面反射波的双程到时, 计算出了相应地层反射界面的埋藏深度。在对剖面反射波组进行地质分层时, 参考了郑州市地震小区划资料以及测区附近的地质钻孔资料, 地层反射波组分别用 T_Q , T_N , T_E , T_P , T_C , T_0 — T_5 , T_{01} — T_{05} 标出(图 2、图 3)。在剖面图上用 T_Q 表示第四系的底界, T_N 表示新近系的底界, T_E 表示古近系的底界, T_P 表示二叠系的底界, T_C 表示石炭泥盆系的底界, T_0 和 T_{01} — T_{05} 代表第四系内部的地层反射, T_1 — T_4 代表新近系内部地层界面反射, T_5 代表古近系内部的地层反射^①(刘保金等, 2007)。下面对古荥附近横跨地貌陡坎的 ZP_2 和 QP_2 测线进行对比介绍。

古荥 ZP_2 测线剖面所揭示的断层特征非常清楚(图 2)。在测线桩号 4700 m 附近, 剖面双程到时 1.0 s 以下的反射波均出现有明显的波形畸变和反射波同相轴的明显错

^① 郑州市地震局, 1993. 郑州市区老鸦陈隐伏断裂综合研究报告.

向连续性来看, 这些反射同相轴在横向 上都比较连续, 尤其是标准反射波 T_Q 和 T_2 在整个剖面上都能被连续可靠追踪, 且不存在反射波同相轴的错断现象, 因此, 在该测线范围内不存在第四纪活 动断层, 即表明老鸦陈断层没有延伸到 第四系内部。

在所测的另外浅层测线上, 除 107 国道测线发现在埋深 70 m 以下有不太 明显的扰动的同向轴现象外, 都可识别 出多组能量较强、横向连续性好、阶面 起伏变化形态明显的反射波同相轴。而 结果都显示剖面反射波同相轴横向连 续, 尤其标准反射波 T_Q 和 T_2 在整个剖 面上都能连续可靠追踪, 且未错断。因 此通过综合分析布设在老鸦陈断裂上 不同探测深度的地震测线的地震反射波叠 加时间剖面和深度剖面特征可知, 老鸦 陈断层自北向南仅出现在探测深度 1—2 km 的中浅层地震测线上, 其上断点均位于新近系底板 T_N 反射面附近。老鸦陈断层错断了 古近纪(E)及其以深的地层, 向上没有错断 Q+N 地层(图 4)。图 4a—d 表明, 在探测深度 30—100 m 的浅层纵波测线和探测深度 10—50 m 浅层横波测线上, 均未发现错断到第四 纪覆盖层内部的活动断层。因此, 老鸦陈断层应是一条倾向 NE、倾角 60°—70°、走向 NNW 的正断层。该断层错断了新近纪以前的地层, 自新近纪以来已不再活动。

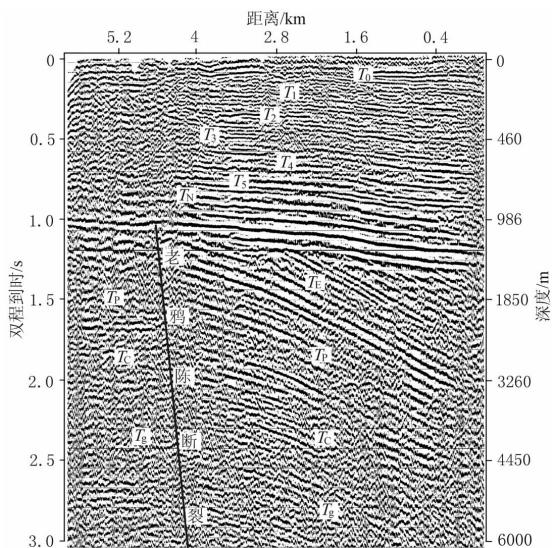


图 2 ZP_2 测线浅层地震反射波叠加剖面

断裂向上未错断新近系, 新近系以来地层趋于平缓

Fig. 2 Shallow seismic exploration reflection profile of ZP_2 . The fault has not cut through the nearly flat Neogene strata

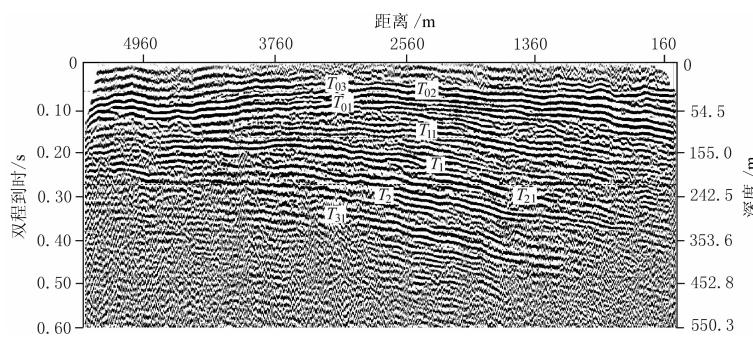


图 3 QP_2 测线浅层地震反射波叠加剖面

Fig. 3 The QP_2 reflection profile of shallow seismic exploration

2 联合钻孔资料

在浅层地震勘探结果的基础上, 为了进一步研究老鸦陈断裂的活动性, 共布设了 2 条 联合钻孔, 分别位于郑州市南 107 国道与京广铁路交汇处 L_2 联合钻孔和郑州市北的古荥

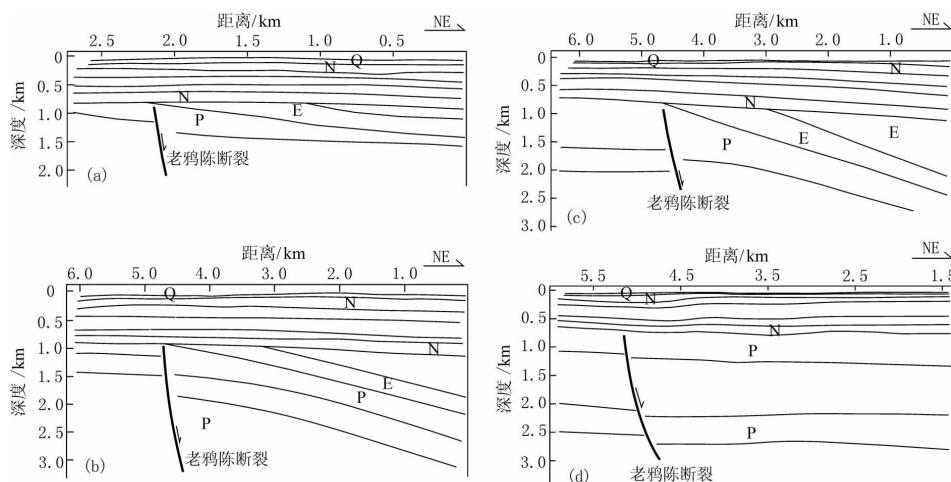


图4 中浅层地震反射深度剖面图

(a)–(d)分别表示 ZP_1 , ZP_2 , ZP_3 和 ZP_4 测线地震反射深度剖面。图中表明老鸦陈断裂未错断新近系, 新近系以来地层趋于平缓。P表示二叠系; E表示古近系; N表示新近系; Q表示第四系。

Fig. 4 The reflection profile of medium-shallow seismic exploration

The fault has not cut nearly flat Neogene strata as seen in the profile (a), (b),

(c) and (d). P: Perm; E: Eocene; N: Neogene; Q: Quaternary

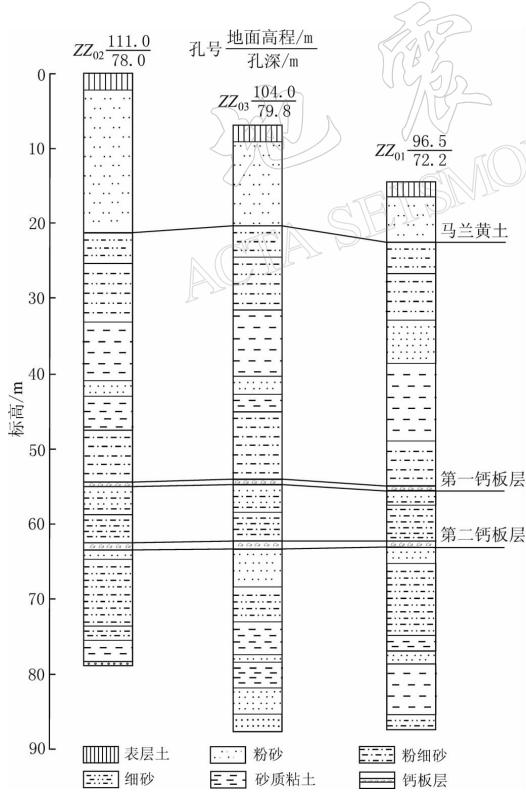


图5 古荣镇大河路 L_1 联合钻孔剖面
Fig. 5 The L_1 borehole profile at Dahe road of Guxing town

镇大河路的 L_1 联合钻孔(图1)。古荣镇大河路联合钻孔与大河路测线(QP_2)基本重合, 包括3个钻孔, 钻孔编号 ZZ_{01} 位于陡坎的坡下、 ZZ_{02} 位于陡坎的坡上, 而钻孔 ZZ_{03} 则在坡的中间。这3个钻孔的岩性特征主要是以松散的粉沙和粘土为主, 并含固结坚硬的钙质胶结层: 钙板层。通过3个钻孔的对比分析, 确定了3个地层标志层: 第一个标志层为黄土状黄土; 第二个标志层为第一钙板层, 埋深为55 m处; 第三个标志层为第二钙板层, 埋深为63 m处。两个较厚钙板层的顶底板高程在3个钻孔中一致, 即表明这两个层是连续水平的(图5), 两层钙板标志层没有位错, 说明断裂未切穿该套地层。与 QP_2 浅层勘探的解释结果吻合。

在郑州市南107国道(跨越京广铁路)旁, 布设了一条浅层勘探测线(QP_7)。据浅层地震勘探结果, 发现在埋深70 m以下有不太明显的扰动同向轴现象。而相邻的中浅层测线(ZP_4)上(图4d), 在深部也发现了断层的存在, 上断点埋深为约800 m。

因此, 沿这条测线自西向东分别布设了 4 个钻孔, 孔深均为 117 m。4 个钻孔的岩性近似一致, 从上到下可以划为两部分: 上部颜色较浅, 固结程度较差、松散, 钙质含量较少; 下部颜色较深, 固结程度好, 钙质含量多。上部分又可以见到 3 个明显的标志层: 标志层 1 泥炭层、标志层 2 粘土层和标志层 3 高钙质含量层。从这三个标志层可以看出在 68 m 以上并不存在地层错动(图 6)。

在 107 国道的剖面中, 共采集和分析了 1 个¹⁴C 样品、6 个光释光和 10 个 ESR(包括 5 个沉积物样品和 5 个碳酸盐样品)(表 1)。从表 1 可以看出, 标志层 3 的时代可能早于更新世晚期, 而此层以下的年龄大于 2000 ka, 为前第四纪地层。根据实际测年结果和孢粉分析结果, 该剖面 70 m 处为地质时代划分的明显界限, 70 m 以上为第四纪沉积物, 而 70 m 以下的地层应置于新近纪。因此, 老鸦陈断层新近纪以来已不再活动。

3 地貌陡坎的调查

邙山东侧陡坎呈 NW 走向(见图 1 实测地貌陡坎位置), 前人认为坎状地貌的形成受老鸦陈断层控制^①(侯清卫, 吴怡, 2000; 赵成斌等, 2007)。为了确定两者之间的关系, 本文利用多种测量手段获得了该陡坎的几何形态。调查结果显示该陡坎从 NW 向 SE 方向可分为 3 段: 第一段为邙山东侧, 古荥以北, 陡坎高差约 15 m, 其西侧以发育深切沟谷的黄土台地为特征, 东侧为河流冲积平原; 第二段为古荥以南, 郑州以北, 陡坎高差约 8—10 m, 局部地段受后期人为改造形迹不清; 第三段为郑州以南, 陡坎的高差减少至 3—5 m 后, 向南逐渐隐伏于河流冲积层下部。

结合物探和钻探两方面的工作, 对该陡坎与老鸦陈断裂的关系进行了讨论。见本文第二部分联合钻孔资料, 横跨陡坎 500 m 古荥联合钻孔剖面显示, 未发现地层断错现象(图 5)。

从物探解译结果来看, 断裂的位置与陡坎位置没有保持一致性, 见图 1 中断裂位置与

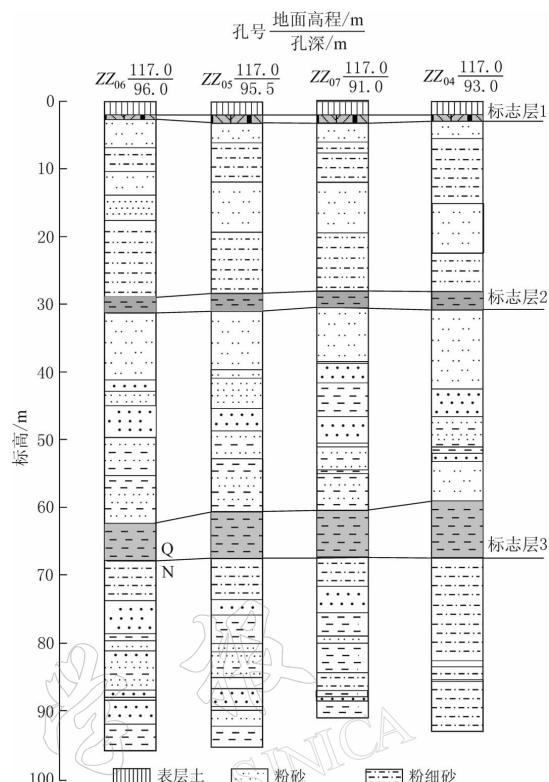


图 6 107 国道旁 L_2 联合钻孔剖面

钻孔显示标志层 3 没有发生位错, 经测年分析该层属于早更新世晚期, 说明断裂未切穿第四纪地层

Fig. 6 The L_2 borehole profile by the No. 107 national road

The fault has not cut the third marker horizon formed during late lower Pleistocene. This means that the fault has not cut Quaternary

^① 郑州市地震局. 1993. 郑州市区老鸦陈隐伏断裂综合研究报告.

表 1 郑州市南 107 国道和京广铁路交汇处钻孔年代样品年龄表

Table 1 Age-dating of the cores from borehole L_1 and L_2

样品编号	深度/m	岩性	送样类型	年龄/ka
$ZZ_{06}-D_1$	2.2	灰黑色粘土含碳量高	14C	9.095 ± 0.09
$ZZ_{06}-D_3$	6.6	灰色粉砂、细砂	OSL	48.5 ± 2.8
$ZZ_{06}-D_4$	13.3	灰黄色粉砂	OSL	77.0 ± 18
$ZZ_{06}-D_5$	19.5	灰黄色粘土质粉砂	OSL	135.5 ± 10.4
$ZZ_{06}-D_7$	28.2	灰黄色粘土质粉砂	OSL	185.6 ± 12.0
$ZZ_{06}-D_8$	29.8	红褐色粘土	OSL	190.8 ± 2.7
$ZZ_{06}-D_{11}$	41.7	灰黄色粗砂	OSL	167.1 ± 13.1
$ZZ_{06}-D_{14}$	49.9	钙质砂岩	ESR 碳酸盐	1267 ± 125
$ZZ_{06}-D_{15}$	55.9	黄色粘土质粉砂	ESR 沉积物	670 ± 65
$ZZ_{06}-D_{17}$	64.2	钙板层含方解石晶体	ESR 碳酸盐	1491 ± 150
$ZZ_{06}-D_{19}$	66.9	灰黄色粘土	ESR 沉积物	803 ± 80
$ZZ_{06}-D_{20}$	67.3	钙板层	ESR 碳酸盐	1596 ± 160
$ZZ_{06}-D_{21}$	68.9	红褐色粉砂	ESR 沉积物	888 ± 90
$ZZ_{06}-D_{25}$	76.8	红褐色细砂	ESR 沉积物	1125 ± 110
$ZZ_{04}-D_2$	85.3	棕红色粉砂质粘土	ESR 碳酸盐	>2000
$ZZ_{04}-D_1$	83.1	棕红色粉砂质粘土	ESR 碳酸盐	>2000
$ZZ_{06}-D_{31}$	89.8	棕红色粗砂	ESR 沉积物	>2000

注：地质样品年龄由中国地震局地质研究所测定。

陡坎位置。从图 1 可以看出，北部的第一段内物探探测得到的断点在地表投影位置与陡坎位置基本相同；中部的第二段内物探探测得到的断点在地表投影位置与陡坎位置有一定的差别；南部第三段内物探结果所得到的老鸦陈断裂断点在地表投影位置和陡坎位置相差较大。

从物探和钻探的资料结果显示，该地貌陡坎与老鸦陈断裂没有必然的断错关系。经查阅相关文献，郑州地区在全新世以来经历了多次黄河改道变迁（夏东兴等，1993），我们认为该地貌陡坎与黄河的改道有很大关系。从钻孔资料显示，陡坎形成在马兰黄土中，马兰黄土以下地层比较平缓，且没有明显断错，陡坎上下两侧的岩层厚度相当，因此我们认为该陡坎是马兰黄土形成之后，由于侵蚀作用形成的，而该地区在全新世以来经历的多次黄河改道变迁应该是其形成的主因，与老鸦陈断裂没有关系。

4 结论

通过对老鸦陈断裂浅层地震勘探、钻孔联合剖面以及野外地貌陡坎的测量，表明老鸦陈断裂为一条倾向 NE、走向 NW 的正断层。该断层错断了新近纪(N)以前的地层，在新近纪和第四纪地层内部未发现断层错断现象。同时邙山东侧的地貌陡坎与实际断裂位置没有一致性，钻孔表明该陡坎仅发育在马兰黄土中，以下地层平缓，没有错断和不整合现象，认为陡坎的形成与断层没有关系。考虑该地区黄河多次改道变迁事实，邙山东侧地貌陡坎的形成与之有一定关系。当然该陡坎的形成原因还需进一步研究探讨。我们认为老鸦陈断裂不属于活动断裂，邙山东侧的地貌陡坎与老鸦陈断裂没有直接联系。

本研究工作得到中国地震局活断层监理组邓起东院士、杨主恩研究员、卢造勋研究员

等专家的关怀和指导; 并得到河南省地震局、郑州市地震局有关部门的大力支持。在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 邓起东, 徐锡伟, 张先康, 王广才. 2003. 城市活动断裂探测的方法和技术[J]. 地学前缘, **10**(1): 93–103.
- 侯清卫, 吴怡. 2000. 老鸦陈断层的地质特征及活动性[J]. 华南地震, **20**(3): 71–75.
- 刘保金, 赵成斌, 田勤俭, 刘尧兴, 鄢少英. 2007. 浅层地震勘探揭示的郑州老鸦陈断层特征[J]. 地震灾害防御技术, **2**(3): 221–229.
- 刘尧兴. 2001. 豫北地区新构造活动特征及中长期地震预报研究[M]. 西安: 西安地图出版社: 15–26.
- 夏东兴, 吴桑云, 郁彰. 1993. 末次冰期以来黄河变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, **13**(2): 83–88.
- 赵成斌, 李德庆, 赵景尧, 袁洪克, 孙振国. 2007. 郑州东区浅部断层的构造特征研究[J]. 中国地震, **23**(1): 65–73.
- Fuis G S. 1998. West margin of North America—a synthesis of recent seismic transects[J]. *Tectonophysics*, **288**: 265–292.
- Fuis G S, Ryberg T, Godfreg N J, Okaya D A, Murphy J M. 2001. Crustal structure and tectonics from the Los Angeles Basin to the Mojave Desert, Southern California[J]. *Geology*, **29**(1): 15–18.
- Miyata T, Maeda Y. 1998. Ground damages in the urban area of Kobe at the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake[J]. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **51**: 89–101.
- Yeats R S, Sieh K, Allen C R. 1997. *The Geology of Earthquakes*[M]. New York and Oxford: Oxford University Press: 473–485.