

曹朋军,夏方华,李世斌,等.夏垫断裂东北段地震勘探资料研究[J].地震工程学报,2021,43(1):56-62.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2021.01.056

CAO Pengjun, XIA Fanghua, LI Shibin, et al. Analysis of the Northeast Segment of the Xiadian Fault Based on Seismic Exploration Data[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2021, 43(1): 56-62. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2021.01.056

## 夏垫断裂东北段地震勘探资料研究

曹朋军<sup>1</sup>, 夏方华<sup>2</sup>, 李世斌<sup>1</sup>, 王茜<sup>1</sup>, 夏训银<sup>1</sup>, 袁航<sup>1</sup>, 刘文强<sup>1</sup>

(1. 天津市地球物理勘探中心, 天津 300170; 2. 华北地质勘查局综合普查大队, 河北 燕郊 065203)

**摘要:** 为查明夏垫断裂东北段的空间位置、性质及其活动性,由大厂八百户起向东北方向,经过三河齐心庄至北京马坊镇,以可控震源激发方式,完成高分辨率浅层地震勘探测线 7 条,长约 22 km。各地震反射时间剖面波组特征变化明显,断裂特征清晰,获取了准确的断点定位及断裂发育特征,展现了自八百户经齐心庄至马坊镇延伸约 20 km 范围内夏垫断裂的空间展布及浅部构造特征。结果表明:研究区内夏垫断裂为倾向 SE、视倾角约为 69° 的正断层,结合以往研究成果分析,夏垫断裂属于全新世活动断裂;同时揭示夏垫断裂东北段明显的分段性,齐心庄以北出现一倾向 NW 的分支断裂。

**关键词:** 浅层地震勘探; 反射时间剖面; 夏垫断裂

中图分类号: P315.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2021)01-0056-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2021.01.056

## Analysis of the Northeast Segment of the Xiadian Fault Based on Seismic Exploration Data

CAO Pengjun<sup>1</sup>, XIA Fanghua<sup>2</sup>, LI Shibin<sup>1</sup>, WANG Qian<sup>1</sup>, XIA Xunyin<sup>1</sup>, YUAN Hang<sup>1</sup>, LIU Wenqiang<sup>1</sup>

(1. Tianjin Geophysical Exploration Center, Tianjin 300170, China;

2. Exploration Unit of North China Geological Survey Bureau, Yanjiao 065203, Hebei, China)

**Abstract:** High-resolution seismic reflection surveys are an irreplaceable geophysical method for investigating active faults in thick overburden areas. To identify the spatial location, property, and activity of the northern section of the Xiadian fault, a shallow seismic exploration was carried out, and seven high-resolution shallow seismic exploration survey lines were laid out with a total length of approximately 22 km. To ensure that the detection results could reveal the geological structure characteristics of greater depth and higher resolution, the observation system used unilateral vibroseis excitation and obtained reliable original data. The fine data processing found that the characteristics of the seismic reflection time profile vary and the fault features are clear. The accurate location of breakpoints and fault development characteristics were obtained. Results show that the Xiadian fault is a normal fault with a SE tendency and a dip angle of approximately 69° and it is also a Holocene active fault. The spatial distribution and shallow structural character-

istics of the Xiadian fault in the range of approximately 20km are shown, and the fracture trend of the Xiadian fault within the range of the interpretation survey line is approximately N40°E.

**Keywords:** shallow seismic exploration; reflection time profile; Xiadian fault

## 0 引言

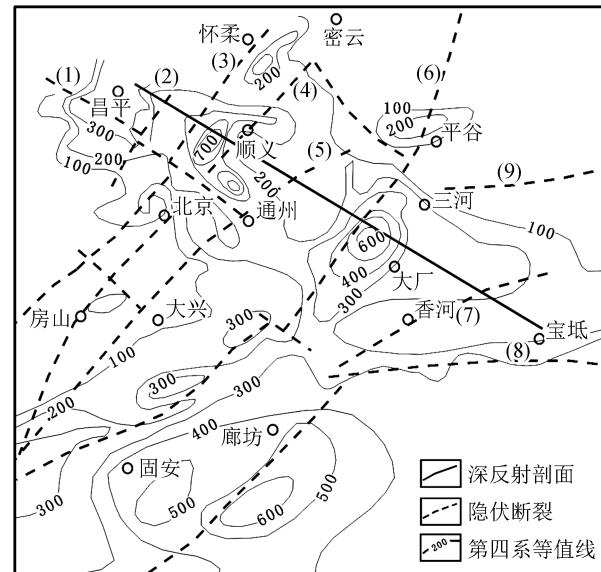
夏垫断裂为首都东部平原区一条重要的隐伏活动断裂,位于大厂凹陷与大兴通县凸起两个第四纪构造单元的交接部位<sup>[1-2]</sup>。该断裂走向40°~50°,倾向南东,倾角为50°~70°,长120 km,1679年该断裂上曾发生三河—平谷M8.0大地震,至今依然可见当时地震形成的陡坎。抗干扰高分辨率地震反射勘探是探测厚覆盖区隐伏断裂的有效方法,近年来在不同的探测目的中取得了较好的效果<sup>[3-7]</sup>,能够得到几十米至上千米的中浅部地质构造信息。由于夏垫断裂处于人口稠密的首都东部平原区,近年来在该断裂带上持续开展了多次地震勘探研究。赵成彬在夏垫断裂上开展了浅层纵、横波联合探测试验,针对该断裂的浅部特征进行了高分辨率探测,所布设测线位于潘各庄与齐心庄之间,根据纵横波剖面特征得出夏垫断裂是一条高倾角、错断至近地表的第四纪活动断裂带,且由两条断裂组成<sup>[8]</sup>。刘保金开展了单次覆盖深反射和浅层反射勘探,揭示了三河—平谷地震区的地壳结构和断裂的深、浅构造特征<sup>[9]</sup>。探测结果表明,夏垫断裂为全新世活动断裂,地壳深断裂和浅部断裂具有上下一致的对应关系,且陡倾断层切割缓倾断层,均南东倾,在深度约20 km处转换为一个具有一定宽度的反射能量带,并向下延伸至莫霍面。雍凡在马坊镇南部布设了一条EW向的高分辨率地震反射勘探测线,地震剖面反映该测区内的夏垫断裂是一条高倾角、错断至近第四纪内部的活动断层<sup>[10]</sup>。马志霞在夏垫断裂震中区开展浅层人工地震勘探,所布测线位于小史各庄至南张岱,解释夏垫断裂为走向约N40°E、倾向SE、视倾角约为72°的正断层,根据反射时间剖面上夏垫断裂的特征并结合槽探和地貌测量结果,推测夏垫断裂为全新世活动断层<sup>[11]</sup>。

本文在前人物探工作的基础上,以可控震源激发方式,针对夏垫断裂东北段开展多剖面高精度地震反射勘探,查明了断裂的空间展布形态及断裂特征。

## 1 地质构造及深地震反射

研究区位于北京东部华北沉降带与燕山隆起区相交会的平原区,为华北裂陷盆地东北端与北西向

张家口-蓬莱断裂带的复合、交会部位,新构造运动强烈,地震活动与断裂构造关系比较密切<sup>[12]</sup>。区内断裂分布以NE向断裂为主,部分NW向、EW向断裂(图1)。



(1)南口-孙河断裂;(2)小汤山-东北旺断裂;(3)黄庄-高丽营断裂;(4)顺义-良乡断裂;(5)通县-南苑断裂;(6)夏垫断裂;(7)香河断裂;(8)宝坻断裂;(9)段甲岭-邦均断裂

图1 研究区地质构造简图(据文献[9])

Fig.1 A brief map of the geological structure of the study area

赵金仁等<sup>[13]</sup>通过宽角反射、折射和深反射结合揭示夏垫断裂为一条深浅共存特征明显的断裂构造带,上陡下缓呈铲形状态,基底结构变化大。刘保金等<sup>[14]</sup>在北京地区地壳精细结构的深反射剖面探测完成一条长度100 km,NW向剖面(图1)。深地震反射剖面解释成果揭示夏垫断裂特征清晰,剖面桩号约40 km左右,存在两条倾向SE的断裂F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>(图2)。其中,F<sub>5</sub>倾角较陡,错断较深,向下可至上下地壳分界面附近,深约16~18 km,剖面浅部大约500 m(深约420~450 m)切割断裂F<sub>6</sub>,并向上延伸至近地表。断裂F<sub>6</sub>倾角相对较缓,错断凹陷内所有地层,大约深7~8 km左右终止于香河断裂之上。夏垫断裂上升盘一侧大兴通县凸起上,反射波近水平分布,且地层反射波能量较弱、横向延续较短,这表明第四系覆盖较薄,下伏为基岩地层;在下降盘大厂凹陷盆地内,剖面反射波能量较强、横向连续性较好,沉积厚,且地层向断裂一侧倾斜。

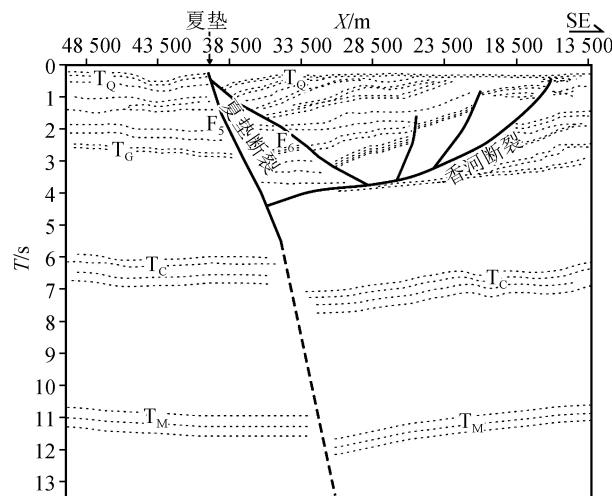


图2 夏垫断裂深反射时间剖面解释(据文献[14])

Fig.2 Interpretation of deep reflection time profile of Xiadian fault

区域地质、深反射地震成果及钻孔资料表明<sup>[13-16]</sup>,第四系地层覆盖厚度受夏垫断裂正断倾滑运动的影响,断裂东西两侧差异大,大厂第四纪凹陷持续沉降,堆积了厚约600~700 m的第四纪松散沉积物,大兴凸起内第四系松散沉积物厚仅300~400 m。第四系等厚线分布表明,第四纪以来大厂凹陷为一西北深、东南浅的倾斜断陷盆地。

## 2 浅层地震勘探

### 2.1 地层发育特征

研究区地表地势平坦,总体趋势由NW向SE方向缓倾斜(图1),地表多为第四系覆盖区,以冲积—湖积地层为主。地表为未胶结灰黄、黄褐色亚砂土、亚黏土、黏土、砂层,同时下伏基岩埋深较浅,地震波阻抗界面明显,能形成能量较强的反射波,激发层位易于追踪,激发条件较好。结合区域地质和三河市活动断层探测与地震危险性评价项目-标准钻孔探测工作,研究区地层层序分布从上至下:测区内的全新统( $Q_h$ )分布于较大河流的冲积平原的顶部和河床中,岩性为灰黑色粉砂质黏土;上更新统( $Q_{P3}$ )分布于三河及周围平原上部,与下伏中更新统翟里组整合接触,标志层为底部的棕红色黏土沉积;中更新统( $Q_{P2}$ )分布于三河及周围平原区,受区域断裂影响厚度差异较大,与下伏上更新统夏垫组整合接触,为一套河流相沉积地层;下更新统( $Q_{P1}$ )分布于三河市及周围冲洪积平原底部,与下伏元古界为平行不整合接触关系,部分地区整合接触覆盖于上新统顺义组之上。底部岩性主要为灰色-灰白色粗

砂-细砂。

### 2.2 测线布置

由八百户向东北方向途经双白、夏垫北、齐心庄、刘辛庄、北京马坊镇一线,布设浅层地震勘探剖面7条(图2)。L10测线长2.9 km,位于大厂谢疃村南,沿蒋谭线近东西向布设。L11测线长2.3 km,位于小石各庄南乡间路自西向东至大厂检验工业园。L12测线长2.5 km,位于双白村南自西向东至牛万屯村。L13测线长2.2 km,位于东柳河屯南自西向东至齐家屯。L14测线长3.8 km,位于齐心庄附近,南起G102沿齐大路由南和向北至京秦高桥下。L15测线长4.7 km,位于小蒋村乡间道路自西向东至刘辛庄东北。L16测线长3.5 km,位于褚家庄村北自西向东至曹庄子西北。

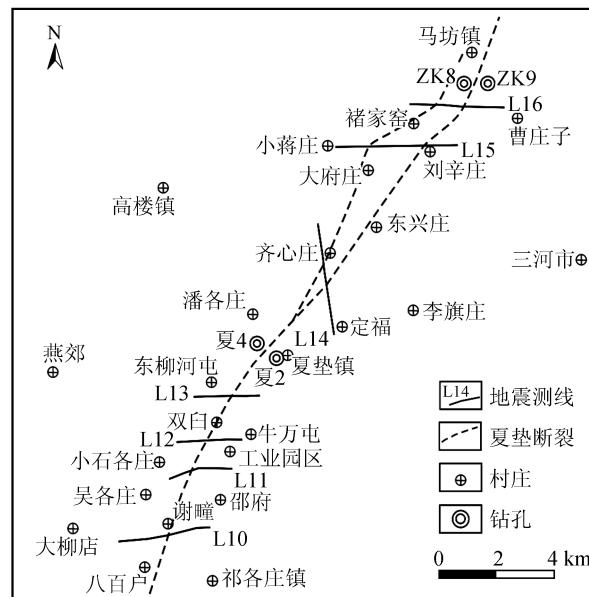


图3 地震勘探测线及夏垫断裂展布图

Fig.3 Seismic survey lines and distribution of Xiadian fault

### 2.3 数据采集及处理

地震数据采集选用法国Sercel公司408 UL遥测地震数据采集系统,震源采用美国莫兹公司产的M18-612型可控震源,检波器采用3个/串60 Hz的高频检波器串采用点组合的方式接收地震波。解决了在城市及强干扰背景下开展浅层高分辨率地震勘查工作的抗干扰及能量不足的问题。

并据已往工作经验及现场试验,确定野外勘探采集参数为:可控震源单边下倾激发,12 m偏移距,2 m道距,240道接收,12 m炮距,覆盖次数24次,0.5 ms采样,扫描频率15~180 Hz,记录长度2 s。

数据处理采用绿山、FOCUS等软件交互式处

理, 主要处理模块包括: 预处理、层析静校正、干扰波压制、振幅补偿、反褶积、速度分析与动校正、剩余静校正、叠后衰减随机噪声和叠后偏移、时深转换等。

### 3 地震剖面特征分析

#### 3.1 南西段大厂工业园区反射剖面特征及解释

南西段大厂工业园区附近布设的 4 条测线, 反射时间剖面 800 ms(深度约 700 m)以浅, 划分 6 组特征明显的反射波组(图 4), 分别标示为  $T_{01}$ 、 $T_{02}$ 、 $T_{03}$ 、 $T_{04}$ 、 $T_{05}$ 、 $T_{06}$ , 均为第四系及内部反射。由剖面

可以看出夏垫主断裂错断干脆、明显, 断裂处反射波组扭曲波动大, 解释断点 5 个  $F_{P1}$ 、 $F_{P2}$ 、 $F_{P3}$ 、 $F_{P4}$ 、 $F_{P5}$ (图 4)。结合夏 2 孔和夏 4 孔(图 2)资料<sup>[17]</sup>, 把  $T_{06}$  反射波解释为第四系底界,  $T_{03}$ 、 $T_{04}$ 、 $T_{05}$  为中更新统,  $T_{02}$  为上更新统,  $T_{01}$  为全新世。剖面时深转换后, L13 剖面  $T_{06}$  在下降盘埋深约 670 m, 上升盘埋深约 460 m, 垂直落差约 310 m, 与徐锡伟所解释的夏垫断裂两侧第四纪垂直位移 319 m 较吻合<sup>[2]</sup>。剖面揭示第四系底界埋深向南西逐渐变浅, L10 剖面上显示  $T_{06}$  埋深 400~500 m。

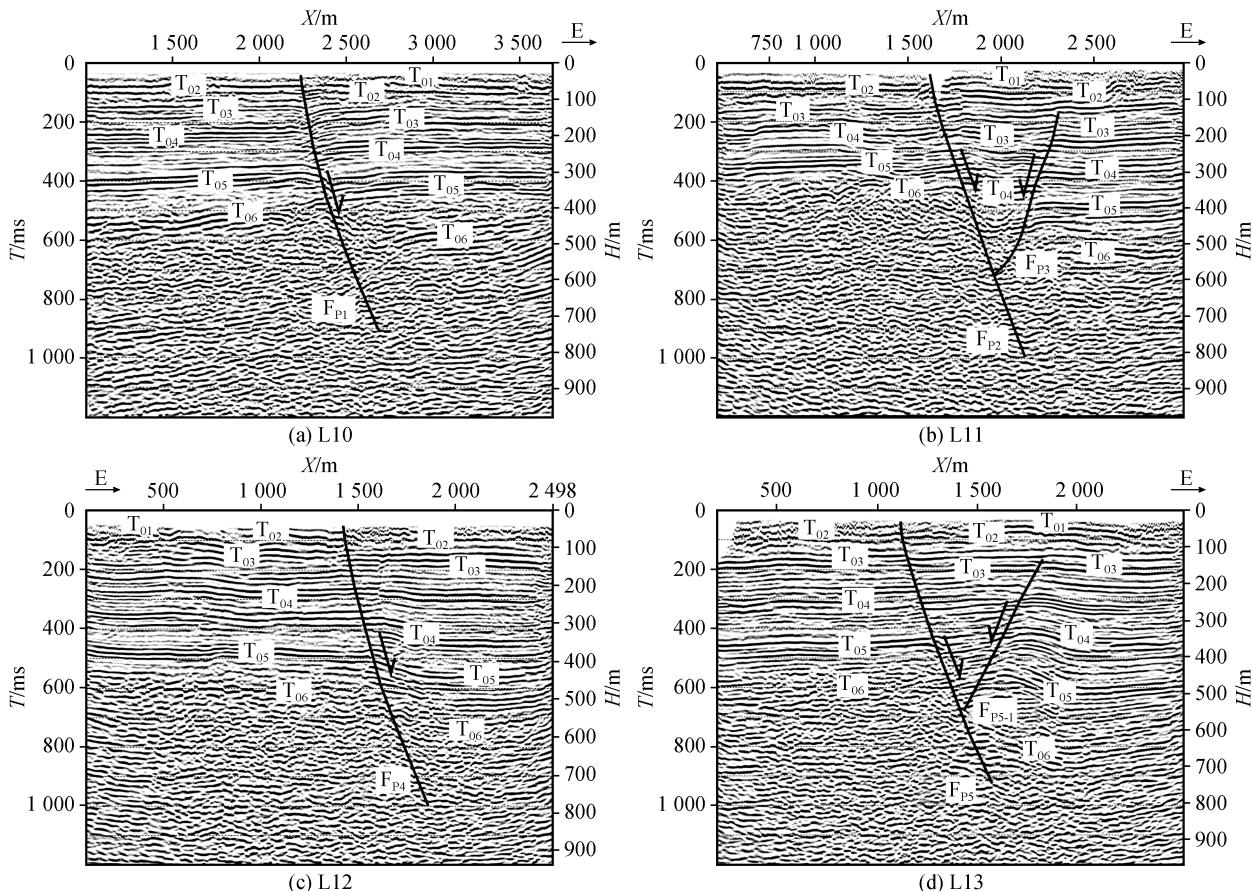


图 4 L10-L13 测线反射时间剖面成果图

Fig.4 Seismic reflection time profile of L10-L13

剖面可揭示夏垫主断裂  $F_{P1}$  上断点位于桩号 2 240 m 附近, 埋深约 25 m, 断距 10 m 左右。 $F_{P2}$  上断点位于桩号 1 600 m 附近, 埋深约 27 m, 断距 9 m 左右。 $F_{P4}$  上断点位于桩号 1 426 m 附近, 埋深约 41 m, 断距 12 m 左右。 $F_{P5}$  上断点位于桩号 1 122 m 附近, 埋深约 30 m, 断距 10 m 左右。各反射剖面解译断裂特征详细见表 1。

#### 3.2 中心段齐心庄至刘辛庄反射剖面特征及解释

中心段齐心庄至刘辛庄布设的 L14 和 L15 测

线。反射时间剖面 800 ms(深度约 710 m)以浅, 同样划分出相同的 6 组特征明显的反射波组(图 5)。剖面上下盘的波组特征差异明显, 上盘反射波组明显多于下盘, 反射波组出现在 20~800 ms, 且波组层位丰富, 层间关系清晰; 下盘反射波组明显变少、变浅, 有效反射波组出现在 400 ms 以浅。各剖面断裂处反射波组扭曲波动大, 被错断干脆、落差大, 解释出断点 5 个  $F_{P6}$ 、 $F_{P7}$ 、 $F_{P8}$ 、 $F_{P9}$ 、 $F_{P10}$ (图 5)。其中, L14 测线反射时间剖面成果图中揭示断点  $F_{P6}$  倾向

南,较陡立,正断层性质,上断点位于桩号 4 192 m 附近,并贯穿全部有效波组向上延伸至近地表。结合以往研究<sup>[18]</sup>及剖面特征分析,解译上断点错断至近地表,为全新世活动断裂。 $T_{06}$ 在下降盘的埋深约

655 m,上升盘的埋深约 332 m,垂直落差约 323 m,与徐锡伟所解释的夏垫断裂两侧第四纪垂直位移 319 m 较吻合<sup>[2]</sup>。反射剖面解译各断裂特征详细见表 1。

表 1 地震反射剖面断裂特征一览表

Table 1 A list of fault characteristics in seismic reflection section

| 断裂编号              | 断点位置 /m | 可分辨的上断点 埋深/m | 对应反射层位          | 上断点断距/m | 视倾向 | 视倾角/(°) | 推测错断时代          |
|-------------------|---------|--------------|-----------------|---------|-----|---------|-----------------|
| F <sub>P1</sub>   | 2 240   | 22~27        | T <sub>01</sub> | 10      | E   | 66      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P2</sub>   | 1 600   | 25~30        | T <sub>01</sub> | 9       | E   | 68      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P3</sub>   | 2 300   | 130~136      | T <sub>03</sub> | 15      | W   | 68      | Q <sub>P2</sub> |
| F <sub>P4</sub>   | 1 426   | 37~43        | T <sub>01</sub> | 12      | E   | 67      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P5</sub>   | 1 122   | 28~32        | T <sub>02</sub> | 10      | E   | 67      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P5-1</sub> | 1 812   | 135~143      | T <sub>03</sub> | 18      | W   | 66      | Q <sub>P2</sub> |
| F <sub>P6</sub>   | 4 192   | 20~25        | T <sub>01</sub> | 10      | S   | 65      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P7</sub>   | 4 844   | 34~40        | T <sub>02</sub> | 9       | N   | 70      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P8</sub>   | 1 038   | 25~30        | T <sub>01</sub> | 4       | W   | 62      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P9</sub>   | 3 034   | 20~25        | T <sub>01</sub> | 4       | E   | 71      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P10</sub>  | 1 992   | 24~27        | T <sub>01</sub> | 9       | E   | 73      | Q <sub>h</sub>  |
| F <sub>P11</sub>  | 1 518   | 90~100       | T <sub>05</sub> | 20      | W   | 69      | Q <sub>P2</sub> |
| F <sub>P12</sub>  | 2 156   | 24~28        | T <sub>01</sub> | 4       | E   | 70      | Q <sub>h</sub>  |

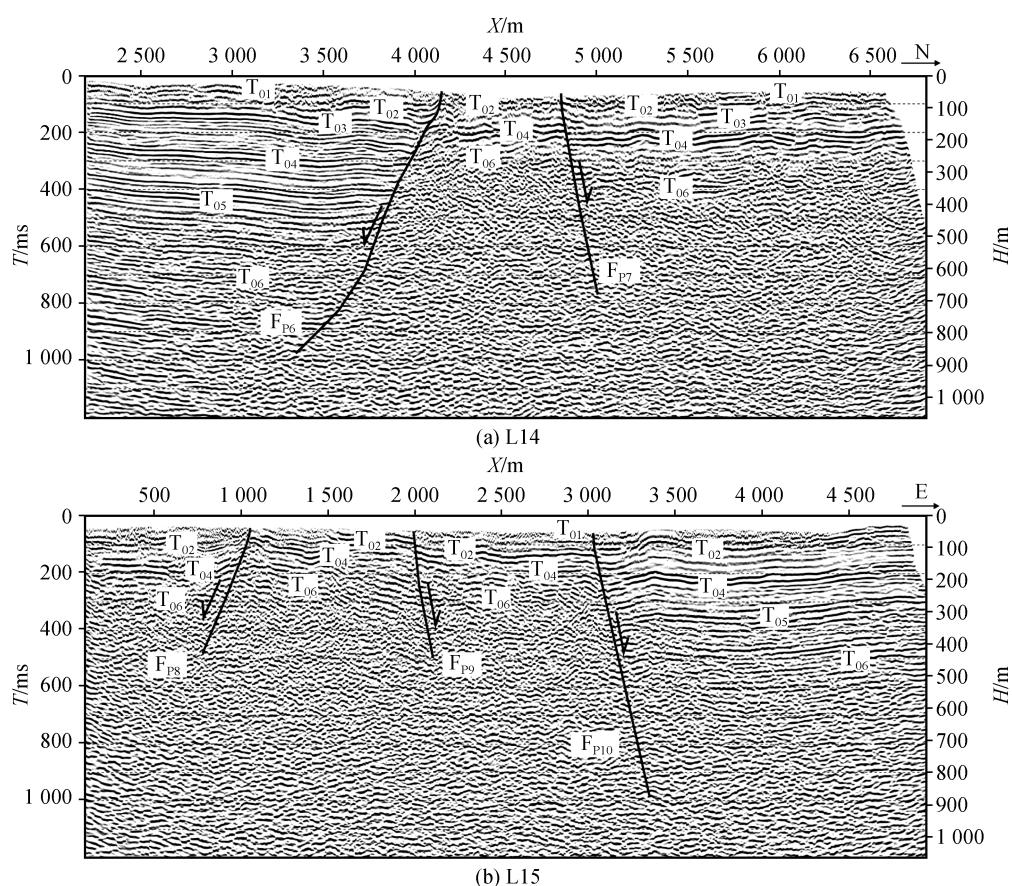


图 5 L14-L15 测线反射时间剖面成果图

Fig.5 Seismic reflection time profile of L14-L15

### 3.3 北东段反射剖面特征及解释

位于北东段布设的 L16 测线,反射时间剖面

(图 6),可以看出剖面上有效反射波组少,300 ms 以浅,划分 4 组特征明显的反射波组,分别标示为

$T_{02}$ 、 $T_{04}$ 、 $T_{05}$ 、 $T_{06}$ 。剖面约 120 ms、220 ms 处  $T_{04}$ 、 $T_{05}$  两组强反射层位, 深部能量相对弱、反射波杂乱。反射时间剖面上, 波组错断清晰, 解释出 2 个断点  $F_{P11}$ 、 $F_{P12}$ 。结合 ZK8 孔和 ZK9 孔(图 2)资料<sup>[17]</sup>, 时深转换后  $T_{06}$  在下降盘的埋深约 210 m, 上升盘的埋

深约 172 m, 垂直落差约 38 m, 与何付兵所解释的夏垫断裂两侧第四纪垂直落差约 34.8 m 较吻合<sup>[19]</sup>。剖面可揭示的断点  $F_{P11}$  位于桩号 1 518 m 附近, 埋深约 95 m, 断距 20 m 左右。 $F_{P12}$  位于桩号 2 156 m 附近, 错断至近地表。

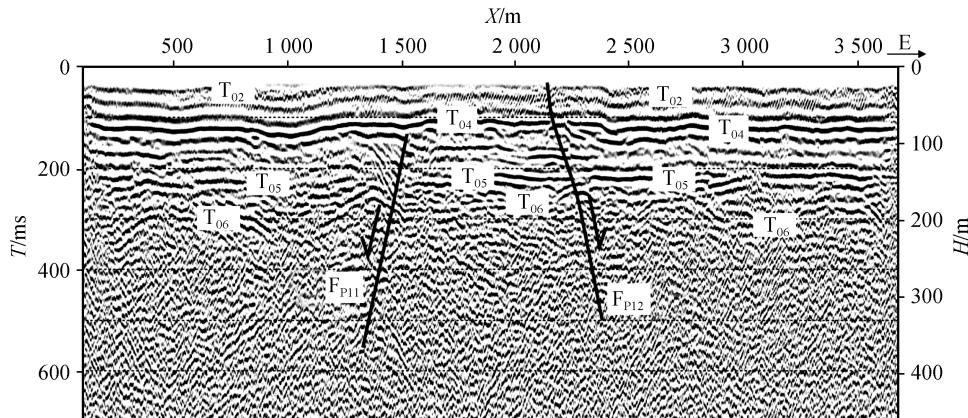


图 6 L16 测线反射时间剖面成果图

Fig.6 Seismic reflection time profile of L16

### 3.4 综合分析

研究区布设的 7 条浅层地震勘探测线, 反射时间剖面均解释出夏垫断裂的可靠断点。根据反射时间剖面波组特征和断裂的特征, 在研究区内可将其分为 3 段: 南西段大厂工业园区段、中心段齐心庄刘心庄段、北东段曹庄子。根据反射时间剖面波组特征, 结合钻孔及以往成果<sup>[17-19]</sup>, 各剖面解译断裂特征详细见表 1。

断层  $F_{P1}$ 、 $F_{P2}$ 、 $F_{P4}$ 、 $F_{P5}$ 、 $F_{P10}$ 、 $F_{P12}$  视倾向东, 视倾角约  $65^{\circ} \sim 73^{\circ}$ , 断层  $F_{P6}$  视倾向南, 视倾角约  $65^{\circ}$  左右, 综合分析夏垫断裂为北东走向, 剖面显示各上断点均错断至近地表, 据此进行断层组合。夏垫主断裂为走向北东, 倾向南东, 倾角约  $69^{\circ}$  的正断层, 为全新世活动断裂。

另由齐心庄向北东方向各反射时间剖面, 揭示出夏垫断裂西北侧出现分支断裂。断层  $F_{P7}$  视倾向北, 视倾角约  $70^{\circ}$  左右, 断层  $F_{P8}$ 、 $F_{P11}$  视倾向西, 视倾角分别为  $62^{\circ}$ 、 $69^{\circ}$  左右, 各剖面解释断层均错断至近地表。夏垫分支断裂为走向 NE, 倾向 NW, 倾角约  $66^{\circ}$  左右的全新世活动的正断层。

## 4 结论

本文基于前人野外地质、物探、钻探和地震勘探资料的研究成果, 在研究区内采用可控震源浅层地震勘探方法, 获得了 7 条 700 m 深度范围内的地震剖面, 揭示出夏垫断裂东北段的形态特征(图 2): 浅

层地震剖面揭示特征与深地震反射具有上下一致的对应关系, 均表现为上陡下缓的铲形正断层。夏垫断裂为大厂凹陷与大兴通县凸起的分界断裂, 是 1679 年三河—平谷 8 级地震的地震断层, 为新构造运动产物, 是该区地震发生的重要因素, 也是影响本地区地壳稳定的构造背景<sup>[2, 9, 13-15]</sup>。夏垫断裂区内南起大厂县小八百户向东北方向延伸穿过谢疃、双白村、经过夏垫镇西北侧后, 进入三河市并由齐心庄镇荣家堡村西侧穿过、向东北穿过中坛村、褚家窑村南部后, 进入北京市马坊镇工业区马坊路与 S204 省道交汇处附近穿过。断裂走向北东  $40^{\circ}$  左右, 倾向南东、倾角  $69^{\circ}$  左右的正断层, 沿断裂走向(由西南向东北)地层逐渐变浅, 上断点埋深逐渐变浅至近地表, 并于齐心庄附近夏垫断裂出现分枝, 位于夏垫断裂的北段, 西侧出现一条走向 NE、倾向 NW 的正断层。

地震反射时间剖面, 反射波组能量强, 断裂错断清晰, 上断点大部分反映至近地表, 依据地震反射剖面上夏垫断裂的特征并结合槽探和钻孔<sup>[17-19]</sup>, 推测夏垫断裂东北段为全新世活动断层。

## 参考文献(References)

- [1] 向宏发, 方仲景, 徐杰, 等. 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, 1988, 10(1): 15-28.  
XIANG Hongfa, FANG Zhongjing, XU Jie, et al. Tectonic Background of Sanhe—Pinggu Seismic Area and Research on Large Earthquake Repeatability[J]. Seismology and Geology, 1988, 10(1): 15-28.

- [2] 徐锡伟,江娃利.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,2000,22(1):9-19.  
XU Xiwei, JIANG Wali. Reconstruction of Paleoseismological Sequence Using Stratigraphic Records from Drill Logs: A Study at the Xiadian Fault, Beijing [J]. Seismology and Geology, 2000, 22(1): 9-19.
- [3] 方盛明,张先康,刘保金,等.探测大城市活断层的地球物理方法[J].地震地质,2002,24(4):606-613.  
FANG Shengming, ZHANG Xiankang, LIU Baojin, et al. Geophysical Methods for the Exploration of Urban Active Faults [J]. Seismology and Geology, 2002, 24(4): 606-613.
- [4] 孟立朋,彭远黔,温超,等.浅层地震勘探在输油管线工程中的应用[J].地震工程学报,2016,38(S1):49-54.  
MENG Lipeng, PENG Yuanqian, WEN Chao, et al. Application of Shallow Seismic Exploration in an Oil Pipeline Project [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(S1): 49-54.
- [5] 范强,冉志杰,周月玲,等.桐柏断裂地震勘探资料研究[J].地震工程学报,2017,39(S1):25-34.  
FAN Qiang, RAN Zhijie, ZHOU Yueming, et al. Analysis of Tongbai Fault Based on the Seismic Exploration Data [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(S1): 25-34.
- [6] 孟立朋,彭远黔,冉志杰,等.浅层人工地震探测揭示的夏垫断裂西南段特征[J].地震工程学报,2019,41(1):155-161.  
MENG Lipeng, PENG Yuanqian, RAN Zhijie, et al. Features of the Southwest Segment of Xiadian Fault Revealed through Shallow Seismic Prospecting [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(1): 155-161.
- [7] 许汉刚,范小平,冉勇康,等.郯庐断裂带宿迁段 F<sub>5</sub> 断裂浅层地震勘探新证据[J].地震地质,2016,38(1):31-43.  
XU Hangang, FAN Xiaoping, RAN Yongkang, et al. New Evidences of The Holocene Fault in Suyuan Segment of the Tanlu Fault Zone Discovered by Shallow Seismic Exploration Method [J]. Seismology and Geology, 2016, 38(1): 31-43.
- [8] 赵成彬,酆少英,秦学业,等.夏垫断裂浅部特征高分辨反射地震探测研究[J].地震研究,2010,33(1):81-85,119.  
ZHAO Chengbin, FENG Shaoying, QIN Xueye, et al. Research on the Shallow Structure Characteristics of Xiadian Fault Using High-resolution Artificial Seismic Exploration Method [J]. Journal of Seismological Research, 2010, 33(1): 81-85, 119.
- [9] 刘保金,张先康,陈颤,等.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,2011,54(5):1251-1259.  
LIU Baojin, ZHANG Xiankang, CHEN Yong, et al. Research on Crustal Structure and Active Fault in the Sanhe—Pinggu Earthquake (M8.0) Zone Based on Single-fold Deep Seismic Reflection and Shallow Seismic Reflection Profiling [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(5): 1251-1259.
- [10] 雍凡,蒋正中,罗水余,等.夏垫断裂北段浅部构造的高分辨率地震反射勘探研究[J].工程地球物理学报,2014,11(6):832-836.  
YONG Fan, JIANG Zhengzhong, LUO Shuiyu, et al. The Seismic Reflection Study on High-Resolution Profile of Shal-
- low Structure in North Part of Xiadian Fault [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2014, 11(6): 832-836.
- [11] 马志霞,张国宏,陈旭庚,等.利用浅层地震反射法探测夏垫断裂浅部特征及空间展布[J].地震学报,2018,40(4):399-410.  
MA Zhixia, ZHANG Guohong, CHEN Xugeng, et al. Shallow-Structural Characteristics and Spatial Distribution of Xiadian Fault by Shallow Seismic Reflection Method [J]. Acta Seismologica Sinica, 2018, 40(4): 399-410.
- [12] 徐杰,周本刚,计风桔,等.华北渤海湾盆地地区大震发震构造的基本特征[J].地震地质,2012,34(4):618-636.  
XU Jie, ZHOU Bengang, JI Fengju, et al. Features of Seismogenic Structures of Great Earthquakes in the Bohai Bay Basin Area, North China [J]. Seismology and Geology, 2012, 34(4): 618-636.
- [13] 赵金仁,张先康,张成科,等.利用宽角反射/折射和深反射探测剖面揭示三河—平谷大震区深部结构特征[J].地球物理学报,2004,47(4):646-653.  
ZHAO Jinren, ZHANG Xiankang, ZHANG Chengke, et al. Deep Structural Features of the Sanhe—Pinggu Great Earthquake Area Imaged by Wide-angle and Deep Seismic Reflection Profiling [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2004, 47(4): 646-653.
- [14] 刘保金,胡平,孟勇奇,等.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,2009,52(9):2264-2272.  
LIU Baojin, HU Ping, MENG Yongqi, et al. Research on Fine Crustal Structure Using Deep Seismic Reflection Profile in Beijing Region [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(9): 2264-2272.
- [15] 徐锡伟,吴卫民,张先康,等.首都圈地区地壳最新构造变动与地震[M].北京:科学出版社,2002,1-376.  
XU Xinwei, WU Weimin, ZHANG Xiankang, et al. New Changes of Crustal Tectonic and Earthquake in Capital Circle [M]. Beijing: Science Press, 2002, 1-376.
- [16] 陈望和,倪明云.河北第四纪地质[M].北京:地质出版社,1987.  
CHEN Wanghe, NI Mingyun. Quaternary Geology of Hebei Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [17] 李善明.北京平原区钻孔柱状图图集[M].北京:北京市地震地质会战办公室,1987:1-333.  
LI Shanming. Atlas of Borehole Histograms in Beijing Plain [M]. Beijing: Beijing Seismological Geology Office, 1987: 1-333.
- [18] 冉志杰,李皓,吕国军,等.夏垫断裂带深部构造特征地震探测[J].地震工程学报,2013,35(3):656-663.  
RAN Zhijie, LI Hao, LÜ Guojun, et al. Seismic Detecting for the Shallow Tectonic Features of the Xiadian Fault [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 656-663.
- [19] 何付兵,白凌燕,王继明,等.夏垫断裂带深部构造特征与第四纪活动性讨论[J].地震地质,2013,35(3):490-505.  
HE Fubing, BAI Lingyan, WANG Jiming, et al. Deep Structure and Quaternary Activities of the Xiadian Fault Zone [J]. Seismology and Geology, 2013, 35(3): 490-505.