

# 乌鲁木齐市东北郊碗窑沟断层 超浅层地震探测初步研究

宋正娜<sup>1,2</sup>, 沈军<sup>2</sup>, 赵纯青<sup>2</sup>, 李军<sup>2</sup>, 陈建波<sup>2</sup>, 葛鸣<sup>2</sup>

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**碗窑沟断层是乌鲁木齐市主要的晚更新世中期活动断层,在市区与郊区被厚约数十米的第四系所覆盖。本文介绍了在乌鲁木齐市东北郊干扰背景较小地段对碗窑沟断层进行的超浅层纵波反射探测情况。在选取小道间距、适当偏移距、短排列、多次覆盖、高频检波器接收的工作方法和合理数据处理方法基础上,获取了3条典型纵波反射剖面,都可较清楚地分辨出第四系底界和断层位置。表明在探测环境比较好的条件下,采用合适的观测系统,在断层两盘介质存在明显差异的地区可以采用纵波反射方法探测出埋深小于50 m的断层。

**关键词:**超浅层地震探测; 乌鲁木齐; 碗窑沟断层

中图分类号: P631.4<sup>+</sup>2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2006)02-0172-08

## Elementary Research on Ultra-Shallow Seismic Exploration on Wanyaogou Fault in Northeastern Suburb of Urumqi

SONG Zheng-na<sup>1,2</sup>, SHEN Jun<sup>2</sup>, ZHAO Chun-qing<sup>2</sup>, LI Jun<sup>2</sup>, CHEN Jian-bo<sup>2</sup>, GE Ming<sup>2</sup>

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China)

**Abstract:** Wanyaogou Fault is the main active fault in Urumqi city, Xinjing Uygur Autonomous Region, which had actived in the middle period of late-Pleistocene. It is covered by the Quaternary deposits with depth of some tens meters in urban and suburban areas of Urumqi. In this paper, ultra-shallow P-wave reflection exploration for Wanyaogou Fault in northeastern suburb of Urumqi with less interference background is introduced. In the exploration, we used the methods of small geophone group interval, proper offset, short spread, multiple stacking fold and high-frequency geophones, as well as appropriate data processing method, 3 typical P-wave reflection profiles are carried out, from which the Quaternary base interface and the locations of the faults can be distinguished. The results show that in the good exploration environment, only if the proper surveillance layout is selected and the difference between the medium of both side is distinct, the ultra-shallow P-wave reflection method can be applied to detect the fault with depth of less than 50 m.

**Key words:** Ultra-shallow seismic exploration; Urumqi; Wanyaogou Fault

## 0 引言

浅层地震探测是城市活断层探测中的主要手段,特别在乌鲁木齐市活断层探测工作中浅层地震

探测方法尤其重要。乌鲁木齐市的山西断层、碗窑沟断层、九家湾与王家沟断层组地质地貌现象清晰,表明其在第四纪晚期(晚更新世以来)有过活动,其

收稿日期:2006-01-16

基金项目:中国地震局“十五”重点项目(发改投资[2004]356号)

作者简介:宋正娜(1980—),女(汉族),山东潍坊人,在读硕士研究生,主要从事浅层地震勘探应用及城市活断层探测工作。

大致位置从地质地貌上就可确定。但上述断层仍有一些段落被第四纪沉积物所覆盖,特别是西山断层和碗窑沟断层从市区通过,并被厚约40 m的河流相卵砾石层所覆盖。其准确的位置需通过浅层地震等手段加以确定。本文介绍了我们采用国产仪器设备在乌鲁木齐市东北郊对碗窑沟断层开展的浅层地震纵波反射初步探测情况。

碗窑沟断层西起乌鲁木齐市鲤鱼山西南,向NE经红光山、芦草沟、铁厂沟、闷葫芦沟延伸至阜康水磨沟河以东,走向约55°,展布于侏罗系中部地层构成的七道湾背斜核部,全长32 km。平面上略呈向NW微突的宽缓弧形,整体为高角度的走滑逆冲断层。隐伏段第四系覆盖层厚度一般不超过100 m,最浅处只有10 m左右。由于该断层埋深较浅,下伏侏罗系地层倾角在60°以上,且上覆第四系多为河流相卵砾石层和风积黄土层,厚度较薄,利用纵波反射探测存在很大难度。国内外的浅层地震多是针对数百米埋深的基岩构造进行探测,而对厚度仅数十

米的第四系超浅层地震探测经验不多<sup>[1-4]</sup>。但从理论上讲,在选择合适观测系统基础上还是可以获取数十米以内地层反射信号的。

### 1 超浅层地震测线布设与野外数据采集

在乌鲁木齐市东北红光山-馒头山断层隐伏区段,根据地质地貌资料在碗窑沟断层可能通过的位置上布设了三条浅层地震测线(图1),编号为测线I、II、III,总长度为834 m。其中测线II、III较短,位于清晰断层露头附近进行实验探测以获取典型断层反射特征;测线I较长,以探测断层经过八道湾的具体位置。三条测线经过地段地势平坦、交通及人为干扰较小、断层两盘第四系厚度差异明显,对断层探测较为有利;但上盘第四系内部及基岩顶界反射易与初至、面波等干扰混杂而难以分辨,这是超浅层地震探测中的较大难点。

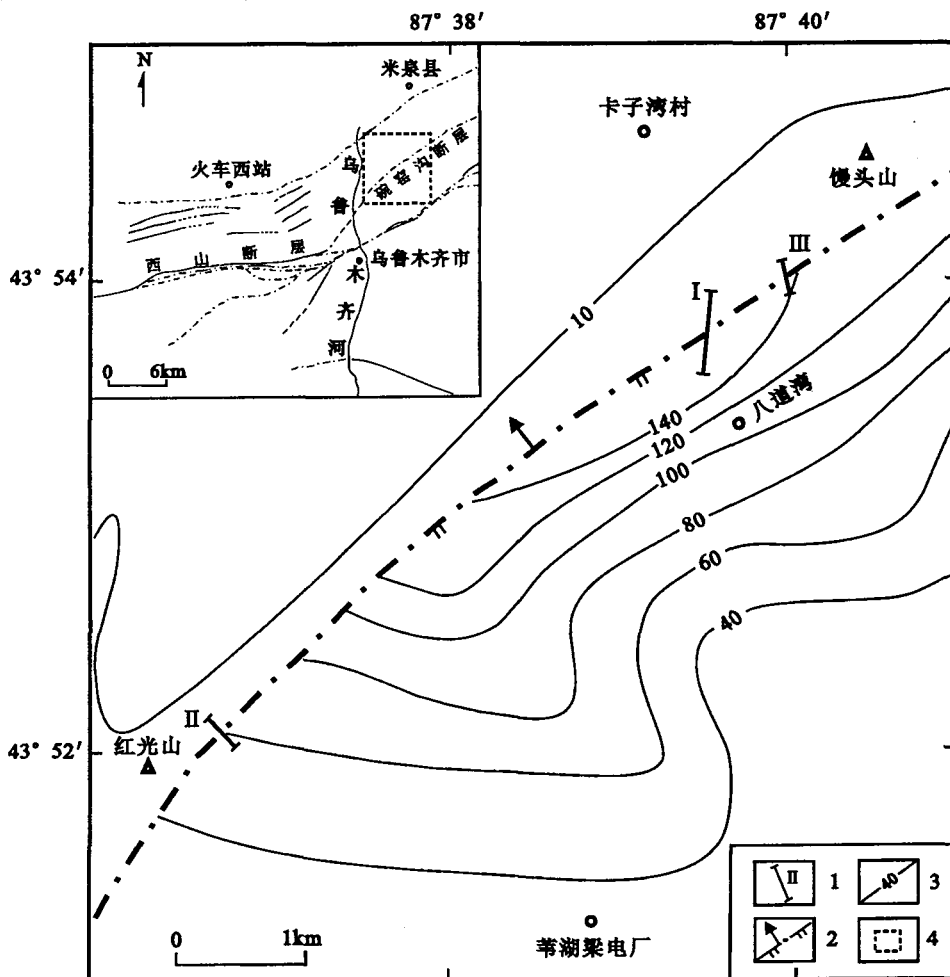


图1 乌鲁木齐市东北郊碗窑沟断层超浅层地震测线分布图

Fig. 1 Distribution of ultra-shallow seismic exploration traverses on the Wanyaogou Fault in northeastern suburb of Urumchi.

本次探测使用的 SE2404-48 型号多功能综合探测仪由吉林大学生产研制,仪器通道数为 48,模数转换 22 bit,动态范围 126 db,通道频率为 0~1000 Hz。测线经过地段地面结构坚实,适于采用锤击震源激发地震波。锤击方式激发能量相对较强,地震波主频较高,能提高地震探测的分辨率。在通过实验确定反射波有效频率范围(50~150 Hz)的基础上,选用了主频为 100 Hz 的 P 波检波器。

为有效获取目标层反射信号、提高探测精度及分辨率,选取单边追逐 6 次水平叠加观测系统。偏移距和道间距选择时综合考虑了是否可将有效波放在最佳接收时窗内<sup>[5-6]</sup>;经过扩展排列实验后,为 3 条测线选取的偏移距分别为 10 m、30 m、12 m,道间距为 1 m。野外采集的地震资料显示,上述观测系统参数的选择可基本保证地震记录的信噪比和分辨率。各测线的主要工作参数见表 1。

表 1 地震测线工作参数表

测线编号	探测地点	测线方向	测线长度/m	道间距/m	偏移距/m	覆盖次数	震源重量/kg	采样间隔/ms	采样点数	高~低截/Hz
I	八道湾	185°	500	1	10	6	15	0.5	1024	0~500
II	红光山	NW45°	156	1	30	6	15	0.5	1024	0~500
III	馒头山	NW10°	178	1	12	6	9.5	0.5	1024	0~500

## 2 数据处理

测线 I~III 中 95% 以上的原始地震时间记录反射信号清晰、地震波信息丰富。资料处理使用美国 Kansas 大学研制的 WinSeis 数据处理软件,该软件具备了反射波地震数据处理的基本功能,可满足工程地震探测的需要,处理流程见图 2。数据处理过程中利用频率域与时间域数字滤波消除低频干扰的影响,着重于面波与声波干扰的削弱;采用反褶积尽可能压制噪声;对初至进行切除编辑并抽取废道;对地形和地表低速带进行静校正;通过速度分析与速度扫描提取叠加速度结构;对叠加剖面进行道内均衡及零倾角滤波修饰。数据处理流程见图 2。

## 3 探测结果与地质解释

对时间剖面进行地质解释时,断层识别一般可依据以下特征表现<sup>[7]</sup>:

- (1) 反射层的错断和波组关系的错位;
- (2) 反射波同相轴突然增减或消失,波组间隔突然变化;
- (3) 反射波同相轴产状突变,反射零乱或出现空白带;
- (4) 标准反射波同相轴发生分叉、合并、扭曲、强相位转换等现象;
- (5) 绕射波、断面波的出现往往也预示着断层的存在。

结合研究区及其附近的地质探槽及断层露头等资料<sup>①</sup>,对三条纵波反射时间剖面进行了初步分析与解释。地质解释图中各反射波组深度依据速度分析结果与附近钻孔资料获得<sup>②</sup>。

### 3.1 剖面 I

测线方向由 N 向 S,叠加剖面长度为 509.5 m

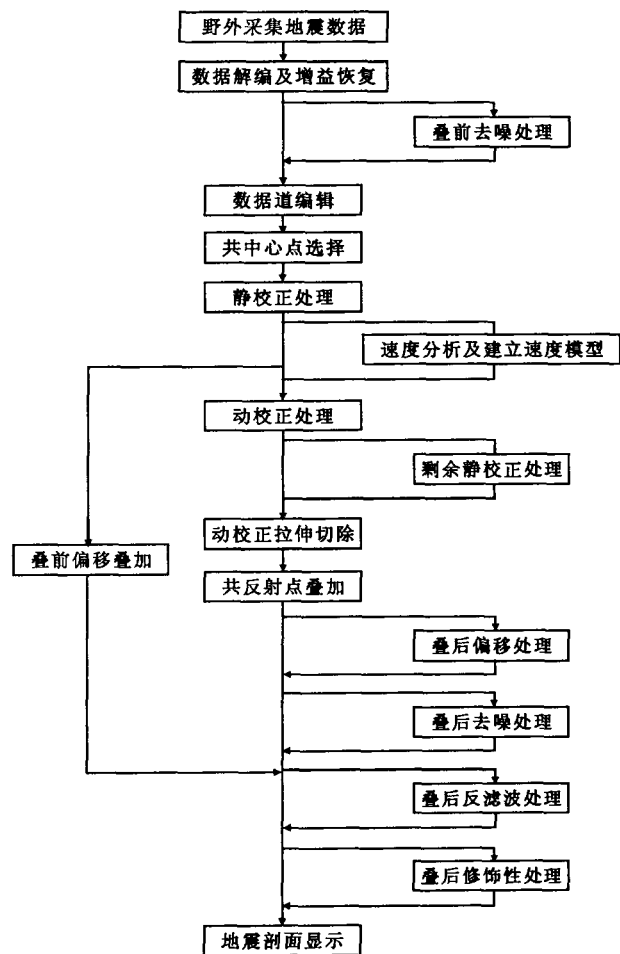


图 2 地震反射波法的数据处理流程图

Fig. 2 Flow chart of data processing for seismic reflection method.

① 新疆地震局. 乌鲁木齐城市活断层探测目标区初查与主要活断层鉴定研究报告之一, 目标区主要活断层地震地质初查与活动性鉴定. 2004.

② 新疆地震局. 新疆强震台网工程地质勘察. 2004.

(图3(a)),相应的地质解释图见图3(b)。剖面以A点(CDP740)为界,两侧反射波组特征差异十分明显。A点北侧50ms以上T<sub>1</sub>、T<sub>Q</sub>反射波组能量和信噪比均较高,横向上分段显示较好,其埋深分别约为15m、23m,可能分别为第四系内部、基岩顶界的反射;南侧反射信号非常微弱,仅模糊可见100ms以

上存在来自黄土层内部的反射波组。上述特征反映了A点两侧介质物性差异明显,基岩埋深具有较大落差,A点为清楚的断层异常。断层倾向北西,倾角较陡;依据第四系等厚线资料,断层垂直位错量可能在100m左右,可能错断了基岩顶界至晚更新世黄土层。

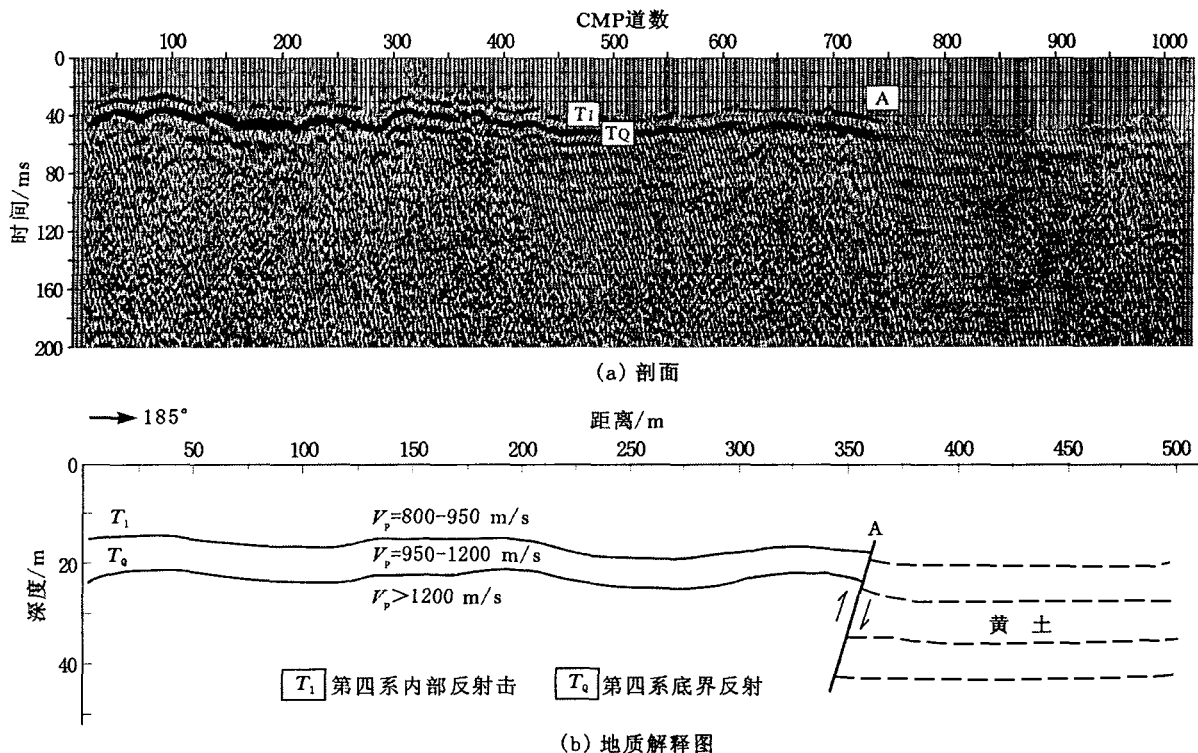


图3 碗窑沟断层八道湾村超浅层地震剖面及其地质解释(剖面I)

Fig. 3 Ultra-shallow seismic time profile and its geological interpretation on Wanyaogou Fault in Badaowan Village (profile I).

### 3.2 剖面II

测线横跨一个宽阔的干河床,测线方向由SE向NW,叠加剖面长119.5m(图4)。以A点(CDP48)为界,两侧反射波组特征差异明显:左侧80ms以上的T<sub>1</sub>'、T<sub>2</sub>'反射波组能量较弱、但较清楚,呈近水平状;而100ms左右的T<sub>Q</sub>甚为模糊,且与干扰波混杂。右侧T<sub>1</sub>~T<sub>W</sub>反射波组的能量及信噪比均较高,B~C段(CDP130~174)两侧反射波组同相轴对应较好、界面起伏变化形态清楚,较好反映了地下地层构造形态。其中T<sub>1</sub>、T<sub>1</sub>'、T<sub>2</sub>'可能来自第四系覆盖层内部,T<sub>Q</sub>可能为第四系底界反射,T<sub>W</sub>可能来自基岩风化带内部。

依据剖面反射波组特征,剖面上有三处异常。A点两侧反射波组特征差异鲜明,左侧第四系深达65m,而右侧仅约30m,反映两侧第四系厚度及介质物性存在截然差别,推断为断层异常,可能错断了基岩顶界及晚更新世黄土与砾石层,为晚更新世末

期浅黄色黄土层所覆盖。B~C段反射波组关系与两侧迥异,T<sub>Q</sub>、T<sub>W</sub>在两点附近均发生明显错断,且反射波T<sub>W</sub>在B~C之间十分零乱,T<sub>1</sub>在该区间几近空白,推断由断层活动所致。B、C处两断层水平间断宽度约25m,倾向相反,这两处断层均错断了基岩顶界及黄土与砾石底界,具有第四系活动性。

综上所述,A点的断层反射特征十分清晰,比前人推断的断层位置偏东南约54m,表明前人资料<sup>③</sup>存在一定偏差。

### 3.3 剖面III

测线顺一跨断层的近SN向干河床布设,地势平坦,在测线东侧的矿坑陡壁上可见清楚的断层露头。测线方向为NW10°,叠加剖面长154.5m(图5)。对剖面进行解释时利用了附近的断层剖面(图6)进行了对比验证。由图5可知,剖面可分为反射特征

③ 新疆地质矿产局. 新疆乌鲁木齐1:5万工程地质图. 1988.

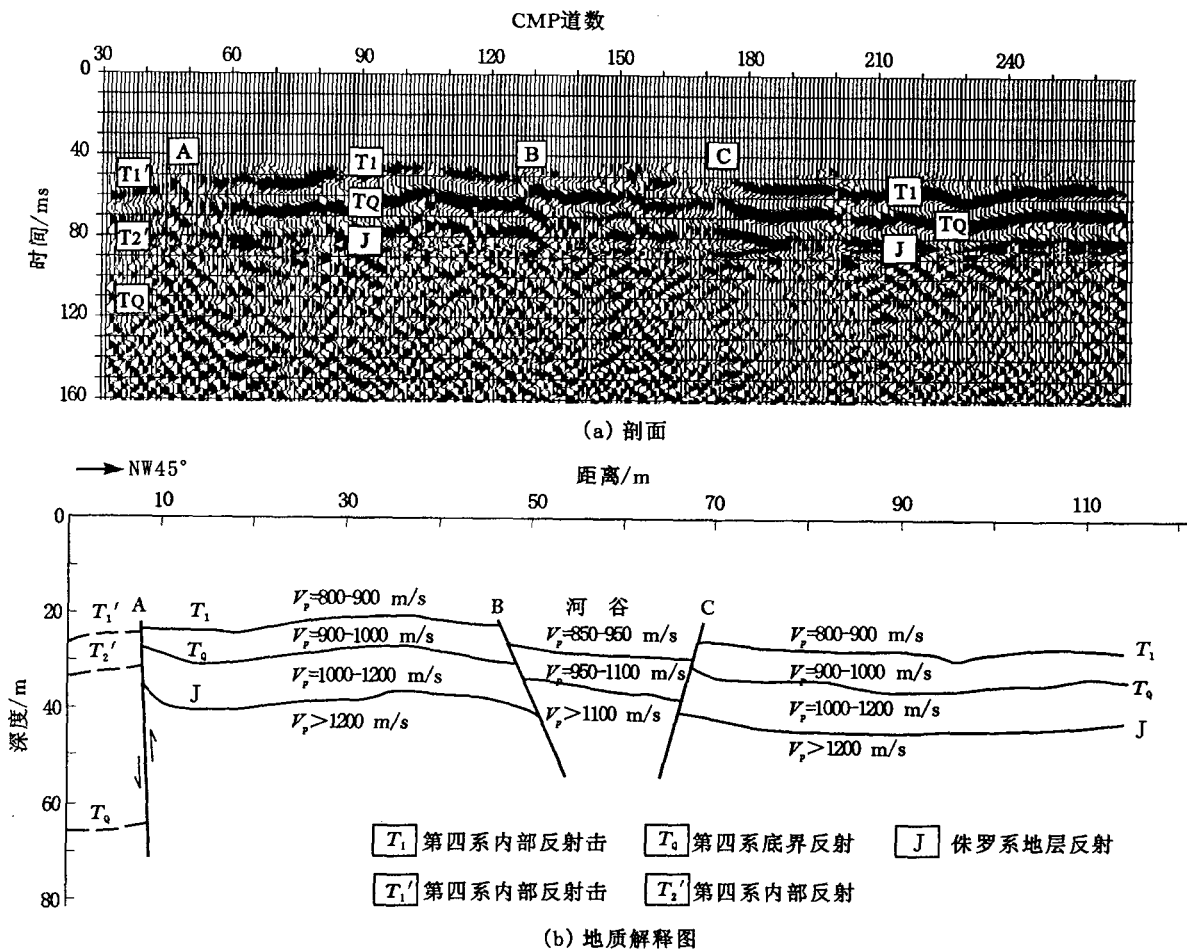


图4 碗窑沟断层红光山超浅层地震剖面及其地质解释(剖面II)

Fig. 4 Ultra-shallow seismic time profile and its geological interpretation on Wanyaogou Fault in Hongguangshan (profile II).

差异鲜明的三部分:(1) CDP12 ~ 108 之间, 130 ms 以上  $T_1$  ~  $T_Q$  各反射波组具有较好的横向连续性, 呈近水平状;(2) CDP108 ~ 175 之间,  $T_Q$  及其以下反射波组出现多处断错扭曲, 属断层异常带;(3) CDP175 右侧 90 ms 以上的各反射波组具有较高分辨率。

A ~ B 段 (CDP108 ~ 122) 两侧  $T_1$  至  $T_Q$  的反射波组间隔突然变化,  $T_2$  中断,  $T_Q$  出现严重断错, 其间反射零乱, 推断由断层活动影响所致。A 点断层倾向 NW, 南盘下降, 其水平影响宽度约 28 m,  $T_Q$  断错约 30 m; 这与图 6 中揭示的断层倾向及第四系落差基本吻合。C 点 (CDP166) 处  $T_Q$  与基岩风化带内部的反射波组均断错扭曲、且有短小绕射出现, 可能存在规模较小的次级断裂。

上述三条地震反射剖面中, 主要存在二至三组来自第四系及基岩顶界的反射波组, 其中  $T_Q$  及其以上反射波组均存在间断点, 仅在剖面 III 中  $T_1$  波组尚且连续, 表明断层可能切割了基岩顶界且断错了第四系。三条剖面中均在 A 点存在清楚的断层反射异

常, 断层均倾向北西。剖面 I、III 中, A 点断层上盘埋深约 20 ~ 25 m, 下盘大于 50 m, 断距大于 25 m; 剖面 II 中断层上下盘埋深分别约为 30、65 m, 断距约 35 m。同时, 剖面 III 中的 C 点处还可能存在着 1 条规模较小的次级断裂, 也在一定程度上错切了第四系底部。上述三条剖面揭示的反射波组地质层位错断迹象、断层倾向、第四系落差等都与图 7 中乌鲁木齐矿务局地形地质图中 1 线剖面反映的断层部分特征较为一致。

上述剖面解释中的第四系为上更新统和全新统, 这与图 7 中反映的地质层位相吻合。这些地层的局部断错现象表明该断层在晚更新世有过活动。最新活动的准确时间尚需地质工作加以确定。

#### 4 结论与讨论

目标层埋深小于 50 m 的反射波探测属于超浅层探测。超浅层纵波反射方法的垂直分辨率受到限制, 一般情况下需采用横波反射方法。但在一定条件

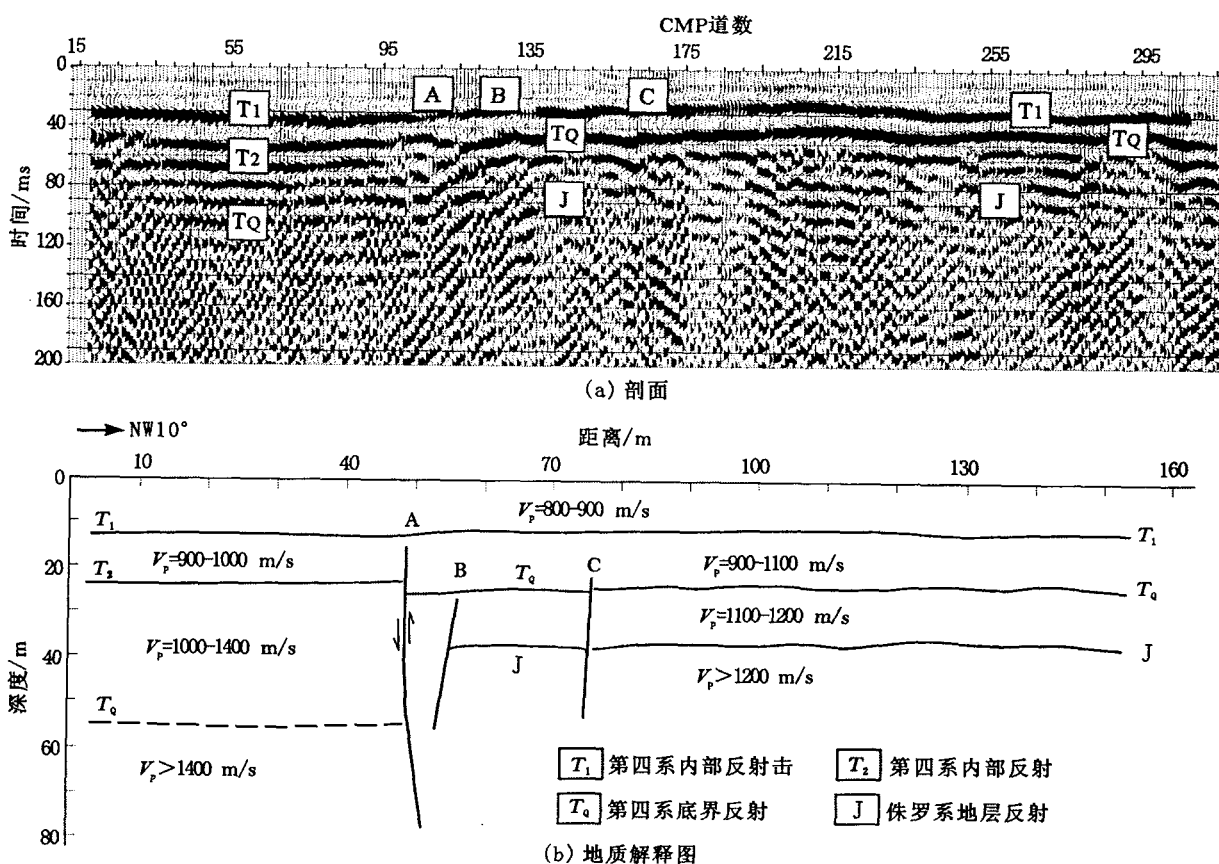
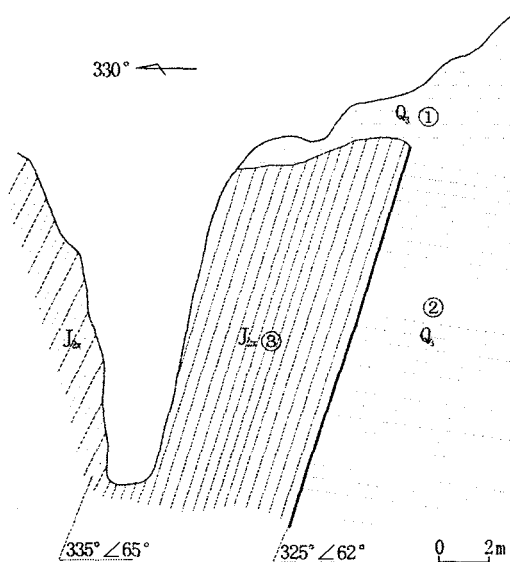


图5 碗窑沟断层馒头山超浅层地震剖面及其地质解释(剖面Ⅲ)

Fig. 5 Ultra-shallow seismic time profile and geological interpretation on Wanyaogou Fault in Mantoushan (profile III).



① 浅土黄色砂土 ② 灰黄色砂土层 ③ 侏罗系含煤砂岩

图6 馒头山南人工揭露碗窑沟断层剖面

Fig. 6 Gross section of Wanyaogou Fault at the south of Mantoushan

的上述三条剖面都可较清楚地分辨出第四系底界、基岩埋深和断层位置,具有一定代表性,可作为今后对该断层进行浅层地震纵波反射探测的参考。

在超浅层纵波反射探测中最重要的问题是选择好观测系统。首先要依据扩展排列实验选好最小和最大偏移距,在超浅层探测中,近震源道记录中反射波与直达波、面波很难分辨,所以需要一定的偏移距才能将其与干扰波分辨清楚;同时最大偏移距不能过大,由于目标层埋深很浅,若排列长度过大,记录的多为折射波,所以需要采用短排列、小道间距。地震资料显示,6~12次叠加就可满足探测需要。另外,要提高浅层地震探测的分辨率还需要采用小的炮间距。探测结果表明,本次探测工作中采用一定的偏移距(10~30 m)、1 m道间距、6次叠加、24道接收的观测系统是比较合理的。

尽管在理想条件下,纵波反射可以得到令人满意的超浅层探测结果,但纵波反射的纵向分辨率较低,而横波反射能够得到分辨率更高的反射剖面。国内外目前已有很多这方面的例子,如日本某地相同位置的纵、横波反射地震剖面对比图<sup>[2]</sup>(图8)就

下,纵波反射仍然可以得到清楚的反射剖面,并可作为判断断层位置的可靠依据。乌鲁木齐碗窑沟断层

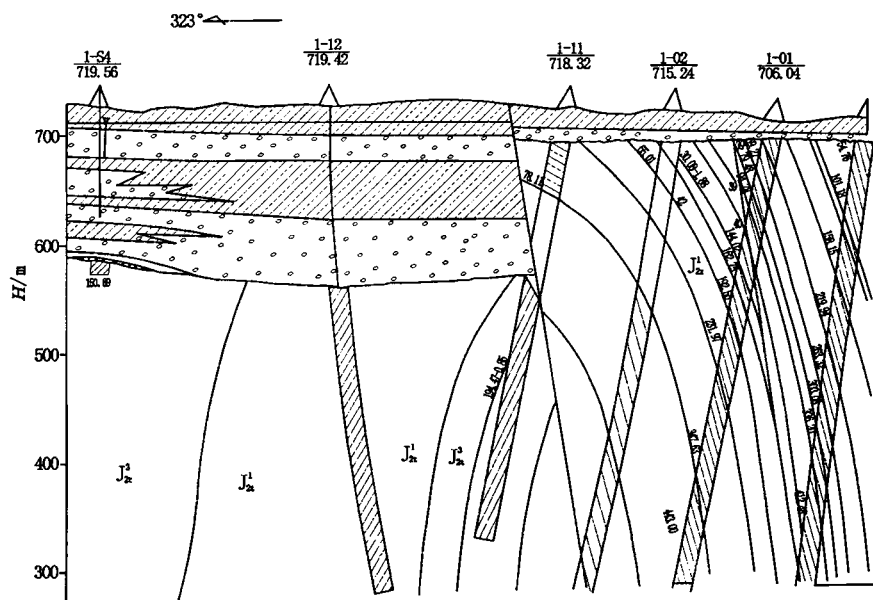


图7 淮南煤矿八道湾地形地质勘探1线剖面图(据乌鲁木齐矿务局)

Fig.7 Profile of the first prospecting line of topographic and geological map at Baodaowan in Zhunnan Mine from by Urumqi Bureau of Mining.

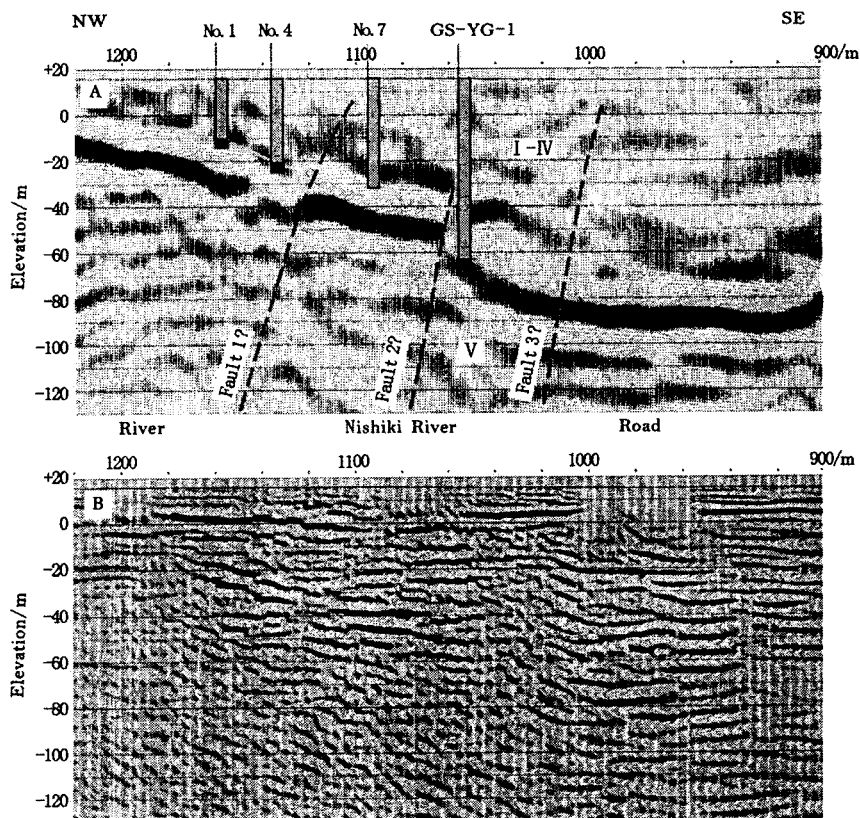


图8 日本某地相同位置的纵波反射与横波反射剖面对比图  
(A为纵波深度剖面解释图,B为横波深度剖面)

Fig.8 Contrast of P-wave and S-wave reflection profiles on the same location in Japan(A is interpreted depth-converted P-wave profile, B is depth-converted S-wave profile).

很好地说明该问题。从这两个剖面中可以看出,纵波反射可以得到埋深40 m 以内的地层反射,但其分辨率比横波反射差的多,而横波反射能够得到更高的分辨率、更加丰富的反射信息(更多的反射波组)。因此,在有条件的情况下在超浅层地震探测中应选择横波反射探测方法。遗憾的是上述三条剖面均暂缺纵、横波反射方法的对比。

本文得到了新疆维吾尔自治区地震局胡军研究员与吴传勇硕士的支持与帮助,在此一并深表谢意。

#### [参考文献]

- [1] John N Louie, Sathish k. Pullammanappallil. Seismic depth imaging of normal faulting in the southern Death Valley basin[J]. *Geophysics*, 1997, **63**(1):223 - 230.
- [2] Kiyohide Mizuno, Taku Komatsubara, Koichi Shimokawa, et al. . Geological surveys across concealed active faults in the Yamaguchi basin, western Japan[A]. in: *Annual Report on Active Fault and Paleoseismic Researches*[R]. 2004, **4**:221 - 230.
- [3] 马文涛,徐锡伟,郝书俭,等.北京市立水桥附近黄庄-高丽营隐伏断裂的浅层地震勘探[J]. *地震地质*, 2004, **26**(4):698 - 705.
- [4] 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. 135 - 187.
- [5] 刘保金,张先康,方盛明,等.城市活断层探测的高分辨率浅层地震数据采集技术[J]. *地震地质*, 2002, **24**(4):524 - 532.
- [6] 潘纪顺,张先康,刘保金,等.城市活断层的抗干扰高分辨率浅层地震勘探研究[J]. *中国地震*, 2003, **19**(2):148 - 157.
- [7] 陈宏林,丰继林.工程地震勘察方法[M].北京:地震出版社, 1998. 131 - 132.