

微动和浅震反射技术在威宁-水城断裂构造隐伏地段的探测应用

邱 鹏,王家海

(贵州省工程防震研究院,贵州 贵阳 550001)

[摘 要] 威宁-水城断裂近年来地震较为频繁,历史地震最大震级为 5.5 级,为贵州地震发育较为频繁的一条较大断裂。本文为探查该断裂的隐伏部位的延续,进而判定该断裂隐伏段的位置、走向、倾向、断距等特征,利用微动和浅层地震反射两种物探方法对威宁-水城断裂重点位置进行精确定位。由于面波干扰的影响,根据地震反射剖面很难准确判定浅地表断层的精确位置。本文根据浅地表地层的错断往往会引起地层横向的速度变化的原理,利用微动方法提取 2-5Hz 频率范围的瑞雷面波相速度频散曲线,再利用面波层析成像方法反演获取面波二维相速度图像,从而反映出浅地表地层速度结构的变化,可以从另一方面揭示浅地表断层的精确位置。将这两种方法同时应用于威宁-水城断层勘探中,可在一定程度上弥补浅层地震反射勘探方法上判断断层浅地表地层精确位置上的不足。同时根据两种物探方法判断断层深浅位置不同,使两种方法能够相互验证。

[关键词] 浅层地震反射 威宁-水城断裂 微动探测

[中图分类号] P631.4;P542.3 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2023)02-134-06

1 引言

威宁-水城断裂近年来地震较为频繁,历史地震最大震级为 5.5 级。然而该断裂形态复杂,特别是威宁县与水城区相接壤地区,该区域隐伏段较大,且位于该断裂北段,若不探查清楚其位置、走向、倾向、断距等特征,将会对该断层活动性研究产生较大影响。故本文利用微动和浅层地震反射两种物探方法对威宁-水城断裂北段重点隐伏位置进行精确定位(李亮等,2021)。同时将这两种方法同时应用于断层勘探中,可在一定程度上弥补浅层地震反射勘探方法上判断断层精确位置上的不足。

威宁-水城断裂总体是由一系列平行或斜切北西向褶皱的断裂构成(如图 1 所示),这些断裂或首尾相连,或彼此斜列,互相交错密集成带,组

成宽约 2~10 km 的北西向断裂带。断裂总体走向 290°左右,倾向或南或北,倾角 60°~80°,为一条以压性为主兼具左行剪切的构造面群。

断裂在新构造期活动明显,沿断裂带常常形成谷地和洼地;在断裂北端陡起崖—耿家屯断层间形成威宁草海盆地,盆地中堆积更新统与全新统厚达 80~90 m,其形成与两侧断裂在第四纪活动有关;中段与南端各有一处温泉出露,水温分别为 31℃ 和 34℃。

2 物探方法技术及资料处理

2.1 浅层地震反射

浅层人工地震勘探方法由于其勘探深度范围大,分辨率和精确度最高(邓起东等,2003)。浅层

[收稿日期] 2022-12-07 [修回日期] 2023-04-07

[基金项目] 贵州省地震局地震科技基金项目([2023]03 号)、贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2020]4Y053 号)联合资助。

[作者简介] 邱鹏(1989—),男,湖北黄冈人,工程师,工科硕士,主要从事物探、地震安全性评价等相关研究工作。

[通讯作者] 王家海(1991—),男,贵州水城人,工程师,主要从事地震监测、地震安全性评价等相关研究工作。

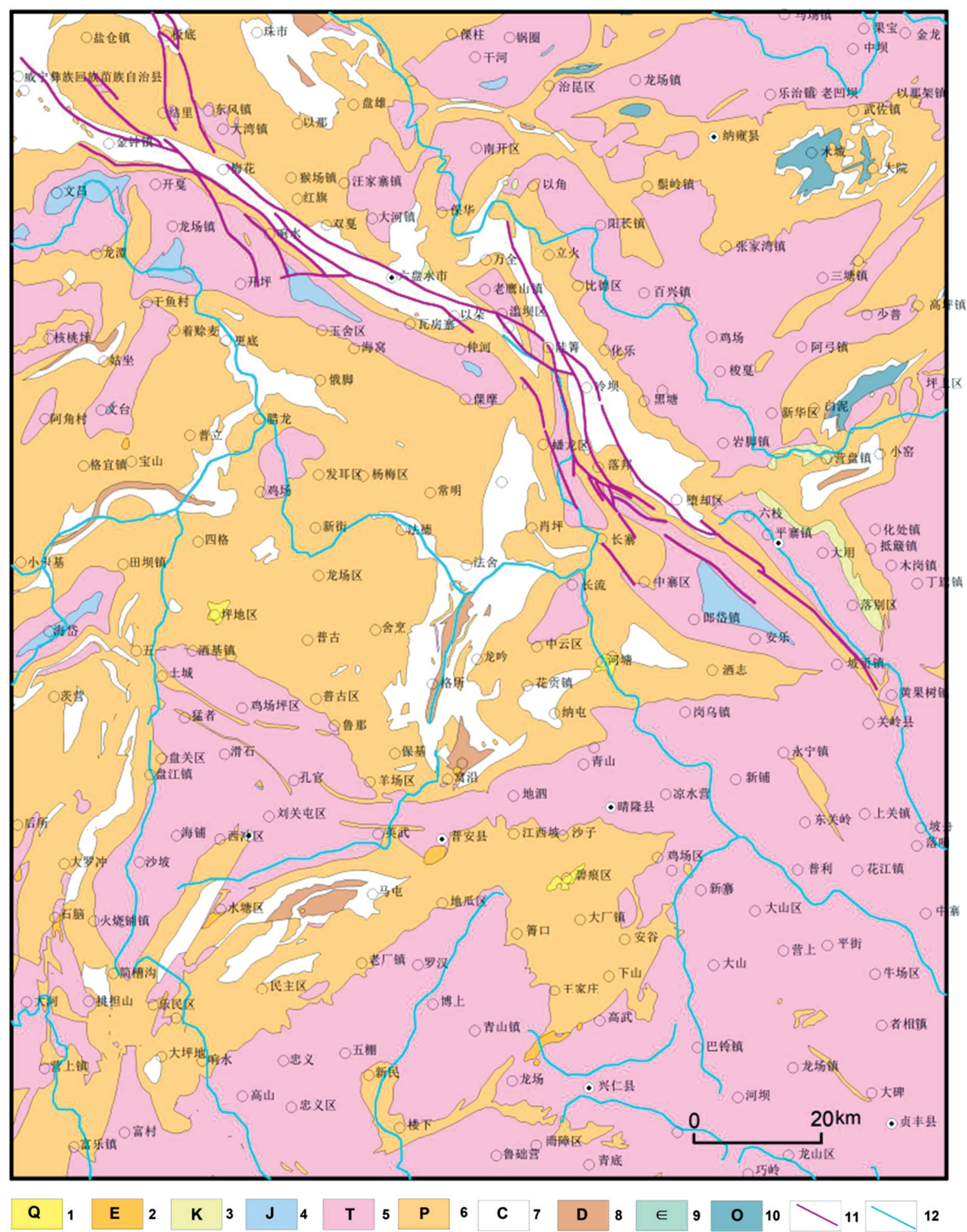


图1 威宁-水城断裂地质构造简图(据贵州省区域地质志,2021)

Fig.1 Geological structure diagram of Weining - Shuicheng fault(after Regional geology of Guizhou Province,2021)

1—第四系;2—古近系;3—白垩系;4—侏罗系;5—三叠系;6—二叠系;7—石炭系;8—泥盆系;9—奥陶系;10—寒武系;11—威宁-水城断裂;12—河流水系

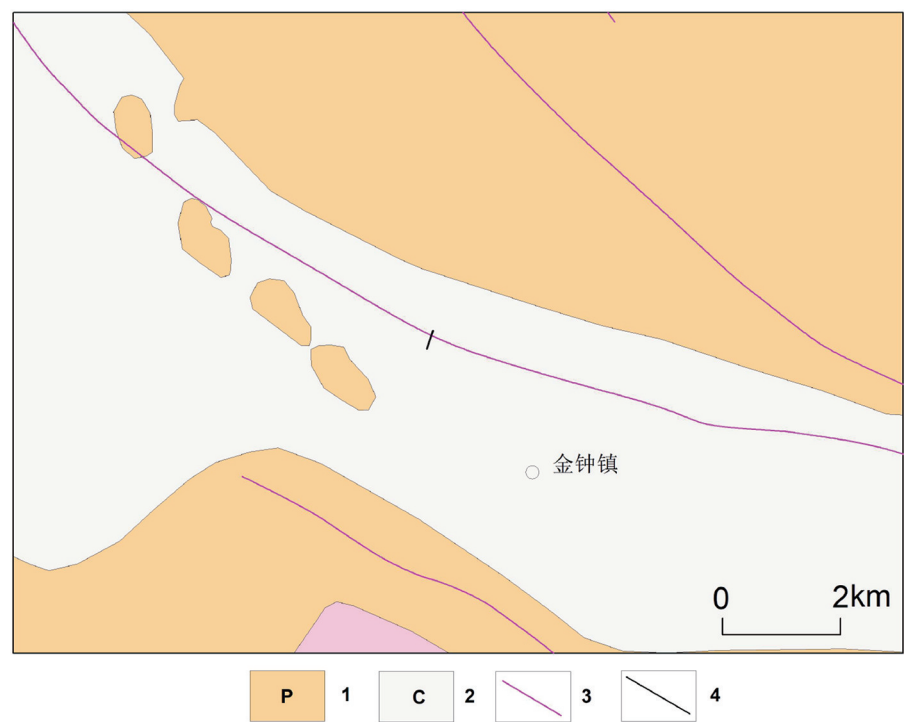


图 2 目标区地球物理测线位置示意图(据贵州省区域地质志,2021)

Fig. 2 Location diagram of geophysical survey line in target area(afte Regional geology of Guizhou Province,2021)

1—二叠系;2—石炭系;3—威宁-水城断裂;4—地球物理测线

地震反射方法是利用地层之间由于波阻抗差异所产生的反射相位特征来推测、解释地下构造(徐明才等,2005)。通过分析反射波阻抗特征的变化而做出是否存在断层的判断。(酆少英等,2010)。本次观测系统采用最大偏移距46 m,道间距 2 m,56 道接收,炮间距 4 m,覆盖次数 14 次。

资料处理的基本流程:

(1) 滤波

①一维滤波

采用一维滤波方法滤除记录中的有效波与干扰波的频谱不发生重叠成分。

②二维滤波

对于那些与有效波频率重叠部分,且具有视速度差异的干扰波(如声波、面波或其它的低速线性干扰波),采用二维滤波方法来压制。

③二维倾角滤波

有效反射波和干扰波的频带几乎完全重叠部分。采用二维倾角滤波方法,可有效地压制与有用信号频率相同但具有视速度差异的线性干扰波,有效反射波信号得到明显增强。

(2) 静校正处理

因地表起伏不平、近地表速度变化等不规则影响,将使原始地震记录的初至出现不规则的时

差变化、反射波同相轴的双曲线形态出现畸变,从而影响叠加效果。

(3) 剩余静校正处理

数据经过静校正处理后,不一定能完全消除表层因素的影响,另外,当动校正速度不准时,也会产生剩余静校正量。为了提高叠加剖面质量,本次采用 5 次高斯-塞德尔迭代处理方法来求取剩余静校正量。

(4) 提高分辨率处理

本次采用预测子波反褶积和时变谱白化处理来提高地震资料的分辨率。

(5) 速度分析

为了得到高质量的水平叠加剖面,在处理中反复进行了多次速度分析。在速度分析前,首先求得选定道集的速度谱、常速度扫描剖面 and 共炮点距剖面,然后进行交互式速度拾取。为了合理地拾取叠加速度,浅层拾取的速度间隔较小,同时避开因多次反射和折射波能量团的影响。

(6) 动校正

动校正处理是针对共反射点道集的,它把炮间距不同的各道上来自同一界面、同一点的反射波到达时间,经正常时差校正后,使之成为在共深度点上的自激自收时间。

(7) 叠加处理

经过上述一系列方法处理后,将自激自收的 CDP 道集记录进行叠加处理,形成能直观反映工区地下地质构造形态、可供解释的水平叠加时间剖面。

(8) 速度提取

本文采用地面反射地震资料求取速度,尽管该方法求得的速度精度不如地震波测井,但在没有地震测井资料的情况下,采用该方法求取地震波速度仍不失为一种有效手段。

通过反射波资料处理时获得的叠加速度(也称 NMO 速度)资料和时间剖面上不同界面反射波的双程垂直到时 t_0 ,由迪克斯(DIX)公式求不同地层反射界面以上的平均速度($\bar{V}$)和深度(H),由叠加速度(V_a)资料求取层速度(V_i)和平均速度($\bar{V}$)的计算公式分别为:

$$V_i = \sqrt{\frac{V_{a,n}^2 t_n - V_{a,n-1}^2 t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}} \quad (4-1)$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{i+1} - t_i) V_i}{\sum_{i=1}^n (t_{i+1} - t_i)} \quad (4-2)$$

将地震反射时间剖面转换成深度剖面的时—深转换公式为:

$$H = \frac{1}{2} \bar{V} t_0 \quad (4-3)$$

式中 H 为深度, $\bar{V}$ 为平均速度, t_0 为反射波双程垂直到时,通过以上速度转换公式,可以得到地下各层的平均速度参数。

地震反射界面是地层波阻抗有差别的物理界面(韩松,2016)。一般情况下,地震波同相轴即反映地下岩性界面。对断层的判别,其重要标志是反射波同相轴的横向变化(赵家福,2007)。经处理后的反射时间剖面见图3所示,从图3浅层地震反射测线时间剖面图上看,在100 ms附近存在一组较强的反射波组,且形成连续的同相轴,反射能量较强。根据反射波同相轴的横向变化,存在21~30 m及96~106 m处的同相轴连续性差,出现明显错断。该处反射同相轴出现突然增减或消失,波组间隔突然变化,这是由于断层错动,引起两侧地层产状突变,以及由于断层的屏蔽作用,引起断面下反射波射线畸变等原因造成的。

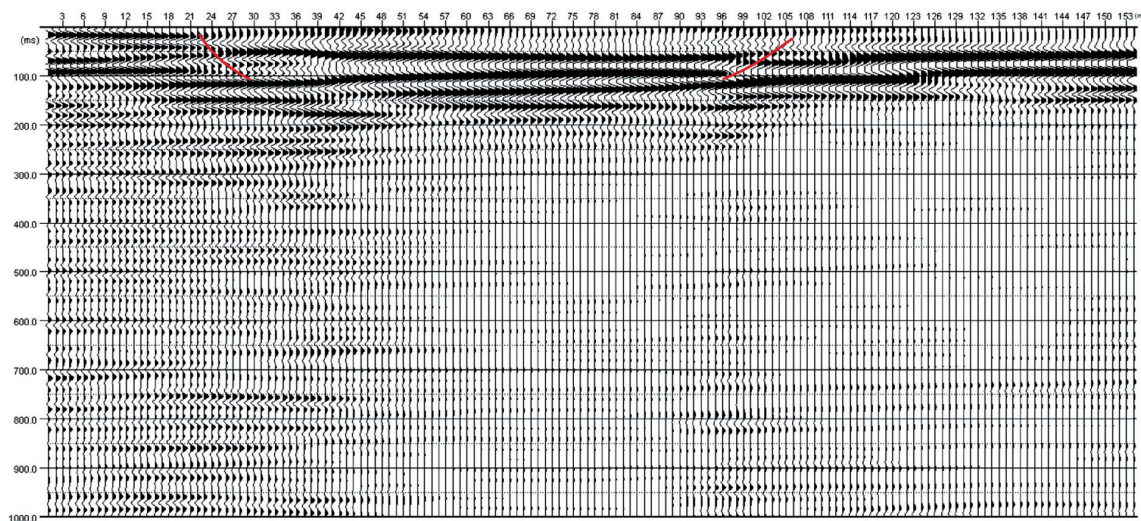


图3 研究区浅震反射勘探时间剖面(v-t)异常解释图

Fig. 3 Anomaly interpretation diagram of shallow seismic reflection exploration time profile(v-t) in the study area

2.2 微动勘探技术

微动方法没有固定的震源(孙勇军等,2009),它是利用地球本身存在的由于人类活动和自然现象等带来的微动信号来研究地壳浅层信息(何正勤等,2007)。通过微动的频谱特性来研究微动在时间和空间上的变化,进而获得探测区域地壳浅层速度结构(李洪丽,2020)。微动探测方法是以平稳随

机过程理论为依据,从微动信号中提取面波(瑞利波)的频散曲线(甘棣元,2007),通过对频散曲线的反演,得到地下介质的横波速度,从而获得地下土层的构造信息(雷晓东等,2017)。本次测线有效微动测点14个,点间距5 m,此次作业根据现场条件采用了10个台站一字型台阵滚动作业,每个测点采用9个台站数据,同时采集2个测点数据。

由各测点计算出的速度得到的浅层二维S波

速度剖面图由下图 5 所示(刘永勤等,2010)。由图 5 可知,微动视横波速度值由浅入深逐渐增大,最小值 300 m/s,最大值 1 350 m/s,整体等值线异常形态表现为不稳定变化,视横波速度剖面在 S2-S6 段等值线表现为同向扭曲。S 波速度对于地层内的流体、温度变化和介质性质十分敏感(冯少孔,2003)。地下介质孔隙中的充填物、介质的风化程度和破碎带的宽度以及埋藏深度都会对地层波速产生影响(丁连靖等,2005)。由于波速在气体和液体中传播速度低于固体中的传播速度,裂隙的存在会使地震波传播速度减慢(张雷,2020)。由此可推测在 S2-S6 之间可能存在断裂通过如图 4 所示。

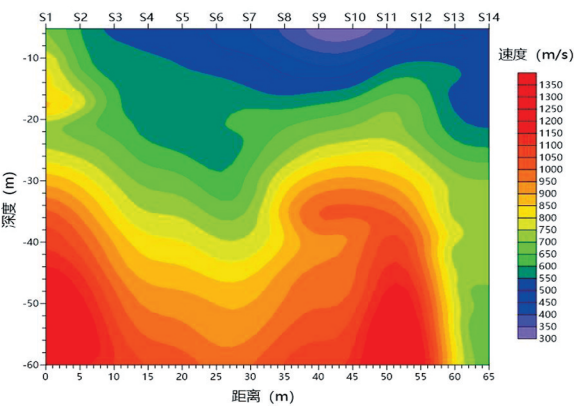


图 4 研究区微动勘探剖面(v-h)异常解释图
Fig. 4 Anomaly interpretation diagram of the micro exploration profile(v-h) in the study area

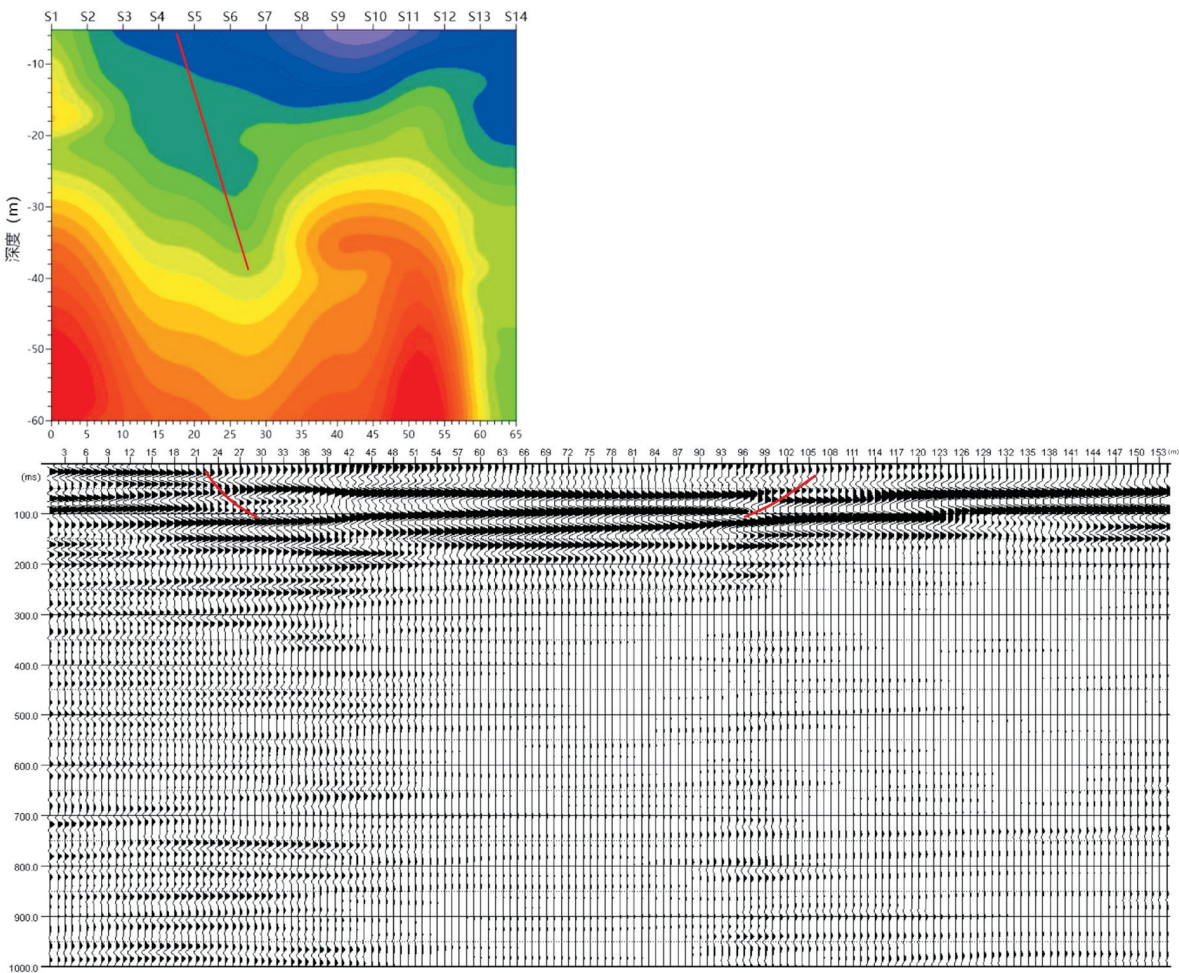


图 5 研究区微动勘探剖面与浅震反射勘探异常解释对比图
Fig. 5 Comparison of anomaly interpretation between the micro exploration profile and shallow seismic reflection exploration in the study area

将微动剖面与浅层人工地震勘探成果对比,认为剖面视横波速度值小于 800 m/s 异常为第四系反映,视横波速度值在 800~1 700 m/s 为新近系反映。按照此原则推断解释地层剖面,地质解释成果与浅层人工地震勘探结果吻合较好。

3 讨论与结论

在贵州某地活断层浅层勘探中,联合运用了浅层地震反射法和微动探测法确定了断层的存在

及位置。基于此有以下几点认识:

(1)在活断层调查中,单凭浅层地震反射法所得到的剖面难以准确判断断层位置。将微动勘探法和浅层地震反射法联合应用,可将二者的结果相互印证,弥补单一勘探方法的不足。同时微动勘探法为浅层地震反射提供了速度面,为精确断层面上断点提供一定的数据支撑。

(2)微动方法由于没有固定的震源,利用地球本身存在的微动信号来研究地壳浅层信息。该方法操作简单、施工方便、探测成本低、对周围环境无破坏,而且高分辨率S波速度结构反演能够很好地反映地下介质低速层的空间变化,很适合在城市活断层探测方向上进行应用。

(3)首次在贵州地区采取微动和浅层地震反射方法联合应用进行活断层探测,选取位于威宁县与水城交界处的金钟镇威水断裂隐伏段为探测点。就本次联合应用的效果,该方法取得了比较理想的效果,解译出的断裂位置基本一致(如图5)。

[参考文献]

- 邓起东,徐锡伟,张先康,等. 2003. 城市活动断裂探测的方法和技术[J]. 地学前缘,10(1):93-103.
- 丁连靖,冉伟彦. 2005. 天然源面波频率-波数法的应用[J]. 物探

与化探,29(2):138-141.

- 冯少孔. 2003. 微动勘探技术及其在土木工程中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,22(6):1029-1036.
- 鄯少英,龙长兴,高锐,等. 2010. 高分辨折射和浅层地震反射方法在活断层探测中的联合应用[J]. 地质学报,32(6):718-724.
- 甘捷元. 2007. 城市浅地表微动探测信号影响因素的研究[D]. 吉林:吉林大学,25-40.
- 何正勤,丁志峰,贾辉,等. 2007. 用微动中的面波信息探测地壳浅部的速度结构[J]. 地壳物理学报,50(2):492-498.
- 韩松. 2016. 浅层地震反射在不良地质体勘察中的应用研究[J]. 铁道工程学报,33(06):11-15+109.
- 雷晓东,杨全合,李晨,等. 2017. 北京凤河营地热田东北部综合地球物理勘[J]. 物探与化探,41(2):249-255.
- 李洪丽. 2020. 利用微动方法研究吉林市浅层二维剪切波速度结构[J]. 物探化探计算技术. 42(05):563-568.
- 刘永勤,廖远国,李学专,等. 2010. 微动探测技术在轨道交通工程勘察中的应用研究[J]. 工程勘察,S1:1-11.
- 李亮,汶小岗,王辉,等. 2021. 防空洞物探方法探测效果对比分析[J]. 陕西煤炭. 40(06):68-72.
- 孙勇军,徐佩芬,凌廷群,等. 2009. 微动勘查方法及其研究进展[J]. 地球物理学进展,02:326-334.
- 徐明才,高景华,荣立新,等. 2005. 地面地震层析成像和高分辨地震联合勘探技术[J]. 地质与勘探,41(4):83-87.
- 赵家福. 2007. 抗干扰高分辨率浅层地震勘探在城市活断层探测中的应用研究[D]. 吉林:吉林大学,21-32.
- 张雷. 2012. 分析土木工程中微动勘探技术的应用[J]. 数字技术与应用,05:45.

Application of Fretting and Shallow Seismic Reflection Techniques in Detecting Conceal Section in Weining-Shuicheng Fault Structure

QIU Peng, WANG Jia-hai

(Guizhou Institute of Earthquake Engineering, Guiyang 550001, Guizhou China)

[Abstract] Small earthquakes and microearthquakes often occur near the Weining - Shuicheng fault, especially in the Weining area. In recent years, small earthquakes are more frequent, and historical earthquakes are also controlled at the western end of the fault, with the maximum magnitude of 5.5. In this paper, two geophysical methods of fretting and shallow seismic reflection are used to precisely locate the key positions of weining - Shuicheng fault. The features of surface fault distribution in the study area and conceal condition of 2 physical prospecting method are compared. It is difficult to determine the exact location of the fault only according to the variation of a single in-phase axis on the seismic reflection profile. According to the shallow strata fault fault often causes formation of lateral velocity change, in this paper, using the method to extract 2-5 Hz frequency Rayleigh wave celerity frequency scattering curve, then to get the wave two-dimensional phase velocity image by use surface wave tomography method. By reflect the change of underground velocity structure, it can find out the exact position of shallow fault in another side. If the 2 methods are used in the Weining-Shuicheng fault exploration in the meantime, it will make up for the deficiency of shallow seismic reflection prospecting method in exact fault position determination to a certain extent.

[Key Words] Shallow seismic reflection; Weining-Shuicheng fault; Fretting detection