反射槽波探测煤层断层构造的应用研究

杨顺[1,2)],孙文斌[3)],朱广辉[3)],韩建光[1)]
1)中国地质科学院,北京,100037; 2)中国地质大学,武汉,430074;
3)北京探创资源科技有限公司,北京,100067

www.
geojournals.cn/georev

内容提要:在实际煤田地球物理勘探中,常规的地面地震勘探技术无法对煤层中的小断层、陷落柱、夹矸等微幅构造体进行精细的探测。相比于地面地震勘探,槽波地震勘探直接在煤层中激发,能量强,范围大,能够精确探测煤层中的微幅构造体。笔者等针对反射槽波地震数据的特征,给出了一种有效的反射槽波地震数据精细处理技术和流程,通过对频散分析以及槽波包络叠加等关键技术进行试验研究,提高反射槽波地震数据的成像精度,进而更准确地识别煤层中小断层等微幅构造。实际煤田反射槽波的应用试验表明,反射槽波勘探准确识别出煤层中的小断层构造,验证了反射槽波勘探技术的实用性以及本文反射槽波地震数据处理技术的有效性。

关键词:反射槽波;断层;频散分析;包络叠加法;成像

我国是煤炭生产和消费大国,目前煤炭是我国的主体能源(滕吉文等, 2016)。随着煤田开采越来越趋于高效化和经济化,煤层的开采效率很大程度上依赖于地下地质条件的勘查程度。目前阻碍开采进度或造成事故的煤层地质问题多是由于探测时未查明的小构造所造成的(乐勇等, 2013),如小断层、陷落柱和褶曲等都会影响煤层工作面回采,因此查明地下煤层中小构造,对施工设计、储量估计、地质灾害预防以及煤矿开采工作至关重要。三维地震勘探是目前煤田采区最有效的勘探技术之一,在煤田勘探中已经得到广泛应用,并取得了良好的成效(武磊彬等, 2009),但地面地震勘探技术在精细探查煤层构造时存在明显缺点,如高频信号在地层的吸收衰减、煤层间的多次波干扰现象、能量扩散等问题,同时三维地震偏移速度精度不够、小断层反应模糊以及地震时—深转换速度不准等, 导致地面地震勘探在勘查煤层时分辨率不够高(程建远等, 2009),地震解释成果无法完全满足生产部门的生产要求。

相比于地面地震勘探,槽波地震勘探是利用在井下煤层开采工作面中激发、传播和接收的导波来探查煤层地质构造以及岩性变化的地球物理方法(姬广忠, 2017),具有高效、准确、分辨率高的优点,其在煤矿勘探中探测距离大、抗干扰能力强、波形明显(胡国泽等, 2013),槽波地震勘探能够准确探明煤层空间中的不连续性、断层、陷落柱、冲刷带等异常体,还可以获得工作面内部的其他地质信息(韩德品等, 2009),在探测小型构造时具有显著的优势。Evision(1955)在新西兰煤矿的煤层中首次发现了通过煤层制导的槽波,阐述了槽波在煤层勘探中应用前景;Krey(1963)从理论上计算了槽波的频散关系, 奠定了槽波地震勘探的基础;随后越来越多的学者相继对槽波进行了研究,推动了槽波勘探的发展。刘天放等(1994)在其编著的《槽波地震勘探》中详细的论述了槽波相关理论,提出了提取频散曲线的方法;李天元等(1997)研究了我国槽波的赋存状态,并将其分为四类,还研究了通过钻孔实现槽波地震勘探的技术;杨真等(2010)研究了SH型槽波的频散特征及波形模式和薄煤层中透射槽波的时频域特征、速度特征;姬广忠等(2012)对煤矿井下槽波进行了三维数值模拟,发现由于巷道的影响,巷道壁上产生很强的巷道振型槽波,煤层中则出现了以Love型为主的槽波,并分析了实际槽波的形成机理;皮娇龙等(2018)开展了煤层内槽波地震勘探

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:42174157)、中国地质科学院基本科研业务费项目(编号:JKY202216)和企业合作开发项目(编号:5600B2021000004)的成果。
收稿日期:2022-06-28;改回日期:2022-11-21;网络首发:2022-12-20;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.12.021
作者简介:杨顺,男,1996年生,硕士研究生,地球物理专业; Email:1603758344@qq.com。通讯作者:韩建光,男,1987年生,博士,副研究员,主要从事地震波偏移成像及深部探测方法研究;Email: hanjianguang613@163.com。

的数值模拟和物理模拟的初步研究工作。目前,槽波地震勘探技术已经较为成熟,可以成功的探测出煤层中的不连续地质,如断层或断裂带、泥床分布和冲刷带等,是一种有效的小构造探测方法(Mechie et al., 2019)。槽波勘探主要有反射法、透射法以及反射—透射联合勘探法。槽波透射法主要应用于煤层厚度变化情况、夹矸厚度分布情况、空区、空巷探查等(程久龙等, 2014)。槽波反射法主要探查煤层中的各种大小断层、侵入体以及岩体等异常体。

反射槽波勘探精度高,抗干扰能力强,同时还具有强振幅、波形易于识别、探测结果直观等优点,在多个矿区已经得到了应用,适合高精度槽波地震勘探(杨思通等, 2012)。槽波探测的精度不但需要高质量的采集数据,而且取决于数据处理阶段参数的确定、资料分析和处理手段。目前反褶积压缩波列、径向道变换压制直达波、槽波绕射偏移成像以及包络叠加方法均能有效提高反射槽波的成像精度。本文利用反射槽波勘探方法对我国山东某矿区煤层小断层构造进行应用研究。首先简单介绍反射槽波地震勘探的基本原理,给出了反射槽波数据精细处理流程,并将其应用于实际煤层小断层勘探,对实际资料中的反射槽波进行频散分析、单炮记录分析,采用基于包络叠加的方法来计算槽波波列的能量,提高成像精度,最后有效识别出煤层中的断层构造,验证了方法的有效性和实用性。

1 反射槽波的基本原理

在实际煤系地层中,煤层的速度和密度低于顶底板的围岩,所以煤层是夹在顶底层间的一个低速层,形成了波阻抗差异,当在煤层中激发震源产生地震波,就会在顶底板之间形成多次反射波,不同类型的层间多次波相互干涉叠加形成槽波(刘天放等, 1994; 乔勇虎等, 2018)。当煤层工作面中有断层、夹矸、陷落柱等不连续的地质构造体时,会形成强烈的波阻抗差异界面,震源激发的槽波在传播过程中遇到异常构造后形成反射波,进而传回巷道内的检波器被接收,即反射槽波(王季, 2015; 杨辉, 2018),反射槽波形成原理如图 1 所示。若煤层中有较为明显的异常时,则反射槽波信号较强,若煤层中异常构造体小或不突出,则反射能量弱或没有,因此可以根据反射槽波的有无或者强弱来判断煤层内部构造情况。

2 反射槽波数据处理流程及关键技术

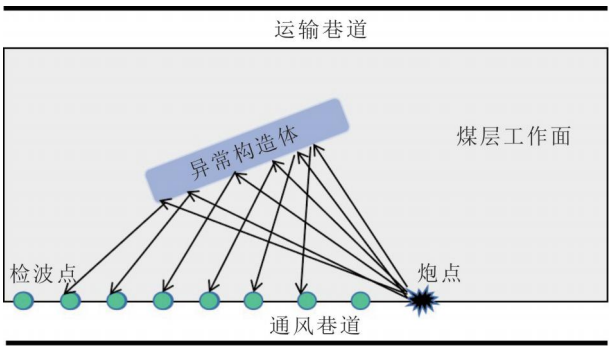

图 1 反射槽波的形成原理示意图

Fig. 1 The formation principle of the reflected in-seam waves

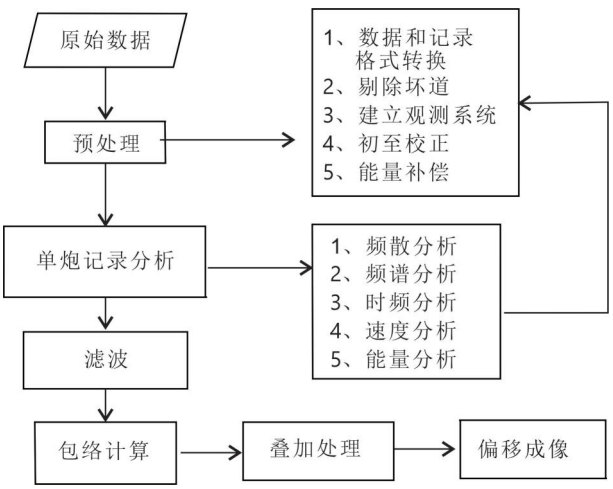

图 2 反射槽波数据处理流程图

Fig. 2 Reflected in-seam waves data processing flowchart

2.1 处理流程

数据的分析、处理是槽波地震探测技术的关键。槽波能量主要集中在煤层中并沿着煤层以柱面波的形式传播,频率越高,在煤层中的能量越集中。当遇到断层或其他异常构造时,槽波的能量将发生显著的变化。因此,提出针对槽波能量处理的一系列措施,从而反演出煤层中的断层或破碎带等构造异常体。反射槽波数据处理流程如图 2 所示,包括预处理、单炮记录分析、滤波、包络计算、叠加处理、偏移成像等。

2.2 关键技术

2.2.1 频散分析

槽波最显著的特点就是频散,即槽波的速度随频率而变化(David and Stewart, 1979; 任亚平, 2015)。在常规地震勘探中,地震波的速度与传播介质的密度、弹性参数、传播方向有关,但与地震波

的频率无关,而槽波在煤层中的波速是由本身的频率以及煤厚变化所决定的。槽波由不同的层间多次波干涉叠加而形成,在传播过程中,不同频率的简谐波波速不同,因此在同一时间的传播距离各有差异。当传播一定时间后,短脉冲简谐波会变为长波列,最后形成槽波的波形在传播过程中不断变化的状态,即槽波的频散(Schott and Waclawik, 2015; 郭银景等, 2020)。槽波的频散特征对求取煤层速度、围岩信息以及煤层速度有着关键作用,在槽波数据解释时,频散特征不仅能够证明槽波的存在,也可以用来解释煤层地质信息。频散分析实际上就是求取槽波记录中的群速度与相速度曲线,Love 型槽波的频散方程为:

$$\begin{pmatrix} ikB_{N+1}\mathrm{e}^{-i\eta_{N+1}k\sum_{i+1}^{N}h_i} \\ -\mathrm{i}\eta_{N+1}k\mu_{N+1}B_{N+1}\mathrm{e}^{-i\eta_{N+1}k\sum_{i=1}^{N}h_i} \end{pmatrix} = \boldsymbol{a}_N\boldsymbol{a}_{N-1}\boldsymbol{a}_{N-2}\cdots\boldsymbol{a}_1\begin{pmatrix} ikA_0 \\ i\eta_0k\mu_0A_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} ikA_0 \\ i\eta_0k\mu_0A_0 \end{pmatrix} \tag{1}$$

其中, $\boldsymbol{a}_n = \begin{pmatrix} \cos\theta_n & i\eta_n^{-1}\mu_n^{-1}\sin\theta_n \\ i\eta_n\mu_n\sin\theta_n & \cos\theta_n \end{pmatrix}$ $(n=1, 2,3\cdots N)$, A, B 为任意系数;N 为地层数目;h:层厚;μ_n:第 n 层的剪切模量。

2.2.2　槽波包络叠加成像

煤矿井下槽波数据通常噪音大、信噪比低,需要压制噪音,包括工频噪音压制、声波噪音压制、随机噪音衰减等;由于槽波波列长,需要研究反射槽波特征函数,对槽波波列进行压缩;槽波波场含有纵波、直达槽波、反射槽波等多种波,采用频率滤波、极化滤波等方法,对槽波波场进行分离;反射槽波能量较弱,需要消除几何扩散能量衰减影响,增强反射槽波。

(1)包络计算。槽波的整体频率偏高,尤其是在埃里相频率周围;此外,由于频散效应的影响,波列之间相隔甚远,相邻地震道的槽波相位不能对比,进行相应的叠加处理时会引起反向消除。因此,需要在对槽波波列做适当处理之后再进行叠加和速度分析。信号包络就是常用的处理方法之一,该方法是将波形序列转换为能量序列,转换之后的信号在外形与之前的信号一致,转换使得信号频率降低(赵立明等, 2014)。

实测的地震道可看成一个复地震道在实平面上的投影,称为实地震道;复地震道在虚平面上的投影称为虚地震道,它与实地震道互为正交地震道,复地震道可表示为:

$$c(t) = x(t) + ix_i(t) \tag{2}$$

式中, $c(t)$ 表示复地震道;$x(t)$ 为实地震道;$x_i(t)$ 为虚地震道。根据希尔伯特变换,虚地震道可直接从实地震道求取,表达式如下:

$$x_i(t) = \frac{1}{\pi t} * x(t) = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{x(\tau)}{t-\tau}\mathrm{d}\tau \tag{3}$$

式中, $x_i(t)$ 称为 $x(t)$ 的希尔伯特变换,实际上相当于对信号道进行一次 90°纯相位滤波。其滤波因子及频率响应分别是:

$$\begin{cases} h(t) = \dfrac{1}{\pi t} \\ H(f) = \begin{cases} -i & f > 0 \\ i & f < 0 \end{cases} \end{cases} \tag{4}$$

根据以上推导,可以得到实地震道 $x(t)$ 和虚地震道 $x_i(t)$,则地震道的包络 $E(t)$ 可按下式计算:

$$E(t) = \sqrt{x(t)^2 + x_i(t)^2} \tag{5}$$

地震道包络可理解为地震波的瞬时振幅,它把地震道的概念向复数域扩展。求取反射槽波包络的过程实现了从波形序列向能量序列的变换,变换之后信号仍然与之前保持一致。反射槽波包络频率较低,相干性强,在叠加之后效果明显,能够实现反射槽波的精确成像。

(2)叠加处理成像。共深度点(CDP)或共反射点叠加技术是地面地震勘探的核心方法,它以不同的炮检距对同一反射点进行多次重复观测,然后把同一反射点的 CDP 道集经过正常时差校正或动校正后进行叠加,这种方法对于提高信噪比、压制多次波及突出反射波有明显效果。反射槽波信号一般较弱,记录的信噪比低,严重影响到反射槽波成像。因此,本文采用多次叠加技术处理反射槽波。槽波是频散波,相速度与群速度存在明显差异且依赖于频率,但是槽波埃里相具有速度变化小的特点,因此可以通过估算出埃里相速度来进行动校正叠加处理,如图 3 所示,运用槽波埃里相的特性,估算出速度值进行多次叠加后,反射槽波同相轴有了明显的增强。

3　实际煤田应用分析

3.1　工区概况

我国山东某煤矿 5305 工作面煤层厚度最大

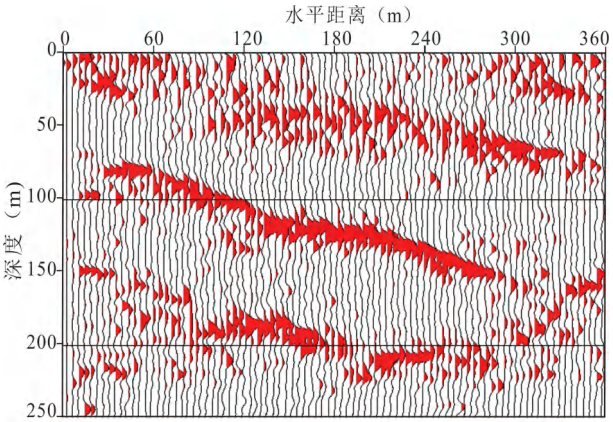

图 3 反射槽波的叠加同相轴

Fig. 3 The superposition event of the reflected in-seam waves

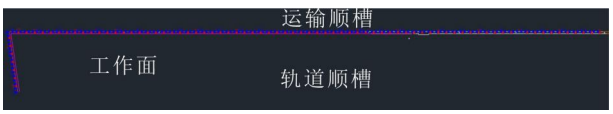

图 4 工作面测点布置图

Fig. 4 Arrangement measurement point layout of the work-plane

7.4 m,最小 3.4 m,平均 7.7 m,属结构简单、稳定的中厚煤层。顶板、底板岩性为泥岩、细粒砂岩、粉砂岩、砂质泥岩。顶底板结构稳定,与煤层形成了良好的低速夹层,为槽波的形成创造了有利条件,工作面内断层发育。该工作面长约 1129 m,面宽 189 m,本次反射槽波勘探测线沿工作面运输顺槽和切眼巷道同时布设炮点与检波点,共设置 78 个炮点,炮间距为 20 m,使用 126 个检波器接收,道间距为 10 m,采集系统布设如图 4 所示。

3.2 反射槽波精细处理与分析

本次槽波勘探共采集了 78 个单炮记录,典型单炮记录如图 5 所示,从图中可以看出,单炮记录中可以见到清晰的反射槽波,此外有反射波叠合在其他干扰波中。

根据工作面回采地质资料,估算出煤层和围岩的地质参数(表 1)。依据 Love 型槽波频散公式计

表 1 工作面围岩、煤层地质参数表

Tabel 1 Geological parameters of surrounding rocks and coal seam of the work-plane

煤层参数	横波速度(m/s)	密度(g/cm^3)	煤厚(m)
顶板	2100	2.6	—
煤层	1000	1.3	7.7
底板	2100	2.6	—

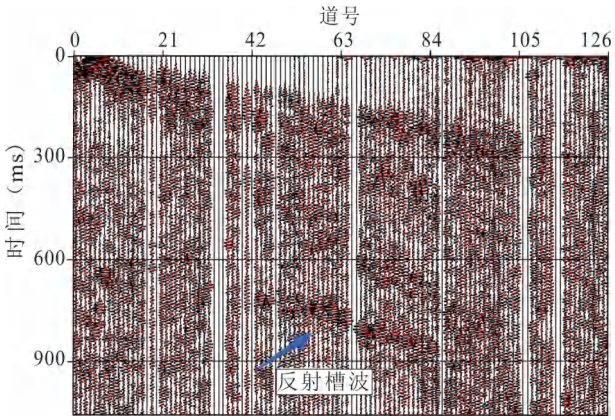

图 5 典型反射槽波单炮记录

Fig. 5 Single-shot record of typical reflected in-seam waves

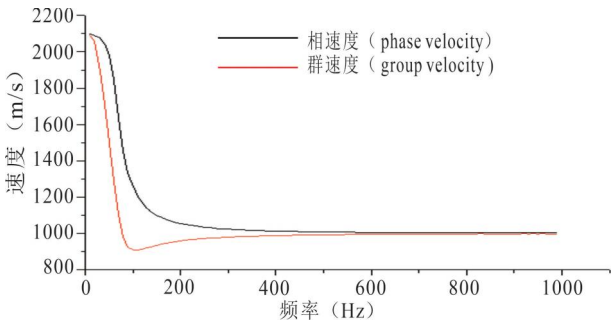

图 6 Love 型槽波理论频散曲线

Fig. 6 Theoretical dispersion curve of the Love in-seam waves

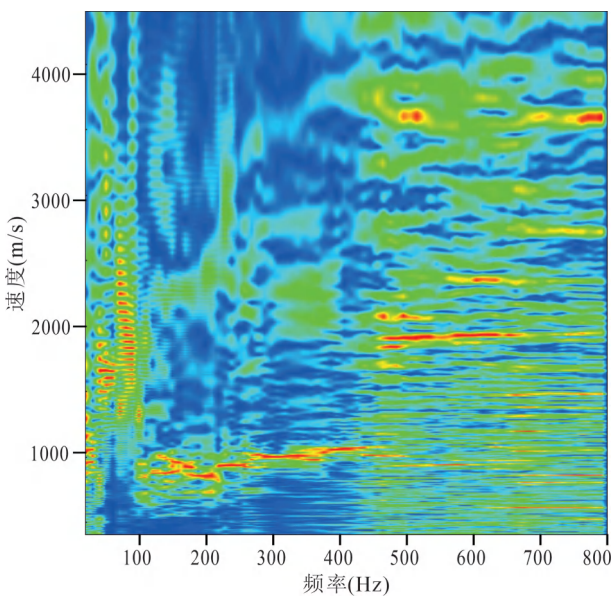

图 7 Love 型槽波实际频散曲线

Fig. 7 Actual dispersion curve of the Love in-seam waves

算槽波的理论频散曲线如图 6 所示。另外,选取实际回采数据中的典型道,按照式(1)所述计算方法

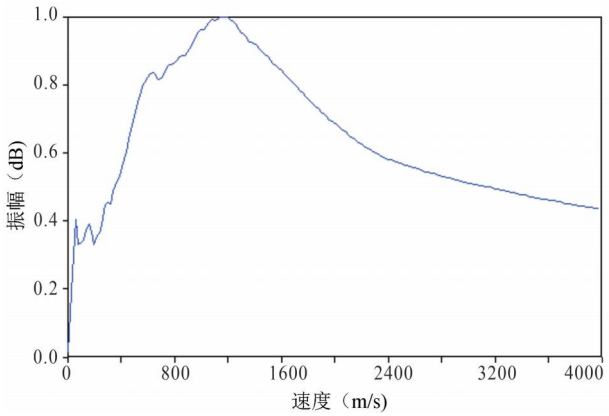

图 8 速度分析图

Fig. 8 Schematic diagram of velocity analysis

绘制频散曲线,从而可以得到各频率上槽波的速度,计算结果见图 7。由图 6 和图 7 分析可知,工作面内煤层的槽波埃里相频率约为 100~200 Hz,群速度为 900~1000 m/s,槽波大部分能量集中在埃里相附近。实际数据中提取的频散曲线包含噪声,噪声成分主要集中于 0~100 Hz 范围内,而槽波的有效频段在 100~400 Hz,可以通过 100~400 Hz 的带通滤波消除干扰波,从而获得高质量的槽波数据。

槽波速度受频率的影响,当煤层厚度增加时,槽波的主频会随之降低,进而影响槽波的速度,因此煤层厚度对槽波的速度有着间接的影响,通过对槽波的速度及波长进行分析,可以对研究煤层厚度变化有更清晰的认识,图 8 为槽波的速度分析图,从图中可以看出,槽波的速度分布较广,埃里相的速度大约为 1000 m/s。此外,槽波的能量变化直接反应构造发育及煤层的破碎程度。当槽波在煤层中遇到陷落柱或断层时,其能量将急剧降低,利用这一个特征,可定位断层、陷落柱等构造的位置。

本次反射法探测接收的槽波数据有效频带很宽,在 100~400 Hz 均存在有效信号,但部分单炮记录中反射波难以辨别。经预处理、单炮记录分析、频率域滤波后,对各单炮记录进行包络叠加处理,结果如图 9 所示。综合考虑单炮记录质量及观测系统因素,图中同相轴认定为工作面运输顺槽西侧断层反射波叠加同相轴。依据反射数据处理结果,并结合钻孔、工作面巷道以及附近岩巷等已揭露的地质信息,进行综合解释和对比分析。本次工作面槽波探测共解释 1 条断层 CH-F1,断层落差大于 6.0 m。CH-F1 位于探测巷道中段,从反射数据处理结果看,CH-F1 断层反射波在图示的中间部位同相轴清晰,对比分析单炮记录,可以认定 CH-F1 断层在图示的 200~800 m 段是可靠的。在图示 0~200 m 的左侧区域及 800~1000 m 的右侧区域,由于边界数据原因,小偏移距的地震道反射波几乎难以分辨,因此该区域的断层为推测断层。

4　结论

(1)本文实际槽波地震探测在运输顺槽布置测线并采用槽波反射法,工作面槽波反射数据处理使用了包络叠加法,中间区段成像结果可靠,两侧边界

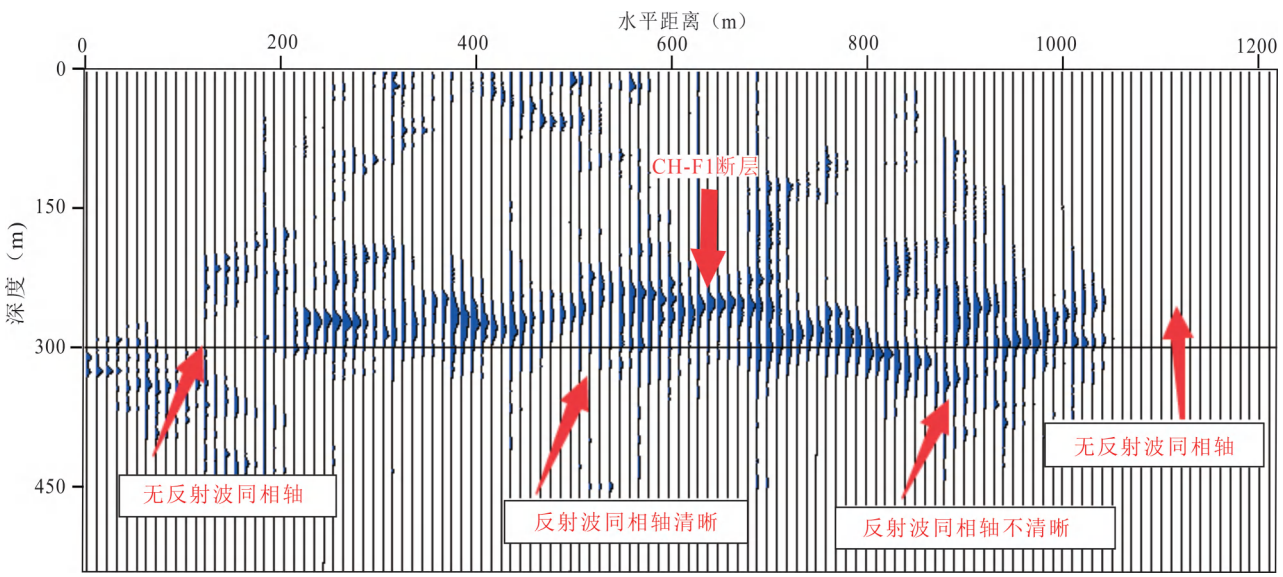

图 9 反射槽波成像结果

Fig. 9 Imaging result of the reflected in-seam waves

区域可靠性较差,如果轨道顺槽也同时采用反射槽波进行勘探,两个巷道互相验证,数据质量将会得到提升。

(2)根据反射槽波探测结果,推测认为在工作面运输顺槽西侧存在落差大于 6 m 的断层,该断层从工作面北侧由东北向西南方向延伸进入西侧区域,且断层延伸较远。

(3)本文实际反射槽波探测中,受到一定程度井底的噪声、工频电磁波以及放炮过程中的施工干扰,并且出现了少量的异常地震道,通过相关的预处理和去噪技术较好的提高了信噪比。

(4)实际煤层工作面反射槽波勘探测试结果表明,反射槽波勘探能够准确的探测出煤层中的异常构造体并确定其大致位置,验证了反射槽波技术的可行性和有效性。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

程建远, 王寿全, 宋国龙. 2009. 地震勘探技术的新进展与前景展望. 煤田地质与勘探, 37(2): 55 ~ 58.

程久龙, 李飞, 彭苏萍, 孙晓云. 2014. 矿井巷道地球物理方法超前探测研究进展与展望. 煤炭学报, 39(8): 1742 ~ 1750.

郭银景, 巨媛媛, 范晓静, 张建华. 2020. 槽波地震勘探研究进展. 煤田地质与勘探, 48(2): 216 ~ 227.

韩德品, 赵错, 李丹. 2009. 矿井物探技术应用现状与发展展望. 地球物理学进展, 24(5): 1839 ~ 1849.

胡国泽, 滕吉文, 皮娇龙, 王伟, 乔勇虎. 2013. 井下槽波地震勘探——预防煤矿灾害的一种地球物理方法. 地球物理学进展, 28(1): 439 ~ 451.

姬广忠. 2017. 反射槽波绕射偏移成像及应用. 煤田地质与勘探, 45(1): 121 ~ 124.

姬广忠, 程建远, 朱培民, 李辉. 2012. 煤矿井下槽波三维数值模拟及频散分析. 地球物理学报, 55(2): 645 ~ 654.

乐勇, 王伟, 申青春, 吕东亮. 2013. 槽波地震勘探技术在工作面小构造探测中的应用. 煤田地质与勘探, 41(4): 74 ~ 77.

李天元, 王文德, 赵炯, 王谊. 1997. 槽波反射法探测效果的影响因素及改进措施. 煤田地质与勘探, 5(1): 59 ~ 61+38.

刘天放, 潘冬明, 李德春, 李海山. 1994. 槽波地震勘探. 北京: 中国矿业出版社.

皮娇龙, 滕吉文, 刘有山. 2018. 地震槽波的数学—物理模拟初探. 地球物理学报, 61(6): 2481 ~ 2493.

乔勇虎, 滕吉文. 2018. 煤层厚度变化时地震槽波理论频散曲线计算方法及频散特征分析. 地球物理学报, 61(8): 3374 ~ 3384.

任亚平. 2015. 槽波地震勘探在煤矿大型工作面的应用. 煤田地质与勘探, 43(3): 102 ~ 104+109.

滕吉文, 乔勇虎, 宋鹏汉. 2016. 我国煤炭需求、探查潜力与高效利用分析. 地球物理学报, 69(12): 4633 ~ 4653.

王季. 2015. 反射槽波探测采空巷道的实验与方法. 煤炭学报, 40(8): 1879 ~ 1885.

武磊彬, 徐爽. 2009. 叠前时间偏移技术在淮北某煤矿采区三维地震勘探中的应用与效果. 地球物理学进展, 24(6): 2267 ~ 2273.

杨辉. 2018. 反射槽波在阳煤和顺矿区小构造探查中的应用. 煤田地质与勘探, 46(S1): 37 ~ 40+45.

杨思通, 程久龙. 2012. 煤巷小构造 Rayleigh 型槽波超前探测数值模拟. 地球物理学报, 65(2): 655 ~ 662.

杨真, 冯涛, Wang Shugang. 2010. 0.9 m 薄煤层 SH 型槽波频散特征及波形模式. 地球物理学报, 53(2): 442 ~ 449.

赵立明, 崔若飞. 2014. 全数字高密度三维地震勘探在煤田精细构造解释中的应用. 地球物理学进展, 29(5): 2332 ~ 2336.

Cheng Jianyuan, Wang Shouquan, Song Guolong. 2009&. The new development and foreground of seismic exploration. Coal Geology & Exploration, 37(2): 55 ~ 58.

Cheng Jiulong, Li Fei, Peng Suping, Sun Xiaoyun. 2014&. Research progress and development direction on advanced detection in mine roadway working face using geophysical methods. Journal of China Coal Society, 39(8): 1742 ~ 1750.

David K, Stewart G. 1979. In-seam seismic methods: A Review. Exploration Geophysics, 10(3): 222 ~ 222.

Evsion F F. 1955. A coal seam as a guide for seismic energy. Nature, 176: 1224 ~ 1225.

Guo Yinjing, Ju Yuanyuan, Fan Xiaojing, Zhang Jianhua. 2020&. Progress in trough wave seismic exploration. Coal Field Geology and Exploration, 48(2): 216 ~ 227.

Han Depin, Zhao Pu, Li Dan. 2009&. Application status and development prospects of mine geophysical exploration technology. Progress in Geophysics, 24(5): 1839 ~ 1849.

Hu Guoze, Teng Jiwen, Pi Jiaolong, Wang wei, Qiao yonghu. 2013&. In-seam seismic exploration techniques—A geophysical method predicting coal-mine disaster. Progress in Geophysics, 28(1): 439 ~ 451.

Ji Guangzhong. 2017&. Diffraction migration imaging of reflected in-seam waves and its application. Coal Geology & Exploration, 45(1): 121 ~ 124.

Ji Guangzhong, Cheng Jianyuan, Zhu Peimin, Li hui. 2012&. 3-D numerical simulation and dispersion analysis of in-seam wave in underground coal mine. Chinese Journal of Geophysics, 55(2): 645 ~ 654.

Krey T C. 1963. Channel waves as a tool of applied geophysics in coal mining. Geophysics, 28: 701 ~ 714.

Le Yong, Wang Wei, Shen Qingchun, Lu Dongliang. 2013&. Application of Slot Wave Seismic Exploration Technology in Coal Mining Face Structure Detection. Coal Geology & Exploration, 41(4): 74 ~ 77.

Li Tianyuan, Wang Wende, Zhao Jiong, Wang Yi. 1997&. Impact factors and improvement measures of trough wave reflection method. Geology and Exploration, 5(1): 59 ~ 61+38.

Liu Tianfang, Pan Dongming, Li Dechun, Li Haishan. 1994&. In-Seam Seismic Exploration. Beijing: China Mining University Press.

Mechie J, Schurr B, Yuan X, Schneider F, Sippl C, Minaev V, Gadoev M, Oimahmadov I, Abdybachaev U, Moldobekov B, Orunbaev S. 2019. Observations of guided waves from the Pamir seismic zone provide additional evidence for the existence of subducted continental lower crust. Tectonophysics, 762: 1 ~ 16.

Pi Jiaolong, Teng Jiwen, Liu Youshan. 2018&. Preliminary study on the numerical—physical simulation of seismic in-seam waves. Chinese Journal of Geophysics, 61 (6): 2481 ~ 2493.

Qiao Yonghu, Teng Jiwen. 2018&. Calculation method for theoretical

dispersion curves of seismic channel waves considering variation of coal-seam thickness and analysis of dispersion characteristics. Chinese Journal of Geophysics, 61 (8): 3374 ~ 3384.

Ren Yaping. 2015&. Application of ISS in supper large coal face. Coal Geology & Exploration, 43(3): 102 ~ 104+109.

Schott W, Waclawik, P. 2015. On the quantitative determination of coal seam thickness by means of in-seam seismic surveys. Canadian Geotechnical Journal, 52(10): 1496~1504.

Teng Jiwen, Qiao Yonghu, Song Penghan. 2016&. Analysis of exploration, potential reserves and high efficient utilization of coal in China. Chinese Journal of Geophysics, 59(12): 4633 ~ 4653.

Wang Ji. 2015&. Experiment and method of void roadway detection using reflected in-seam wave. Journal of China Coal Society, 40 (8): 1879 ~ 1885.

Wu Leibin, Xu Shuang. 2009&. Applied effect of prestack time migration technology in 3D seismic exploration at a coal mine of Huaibei. Progress in Geophysics, 24(6): 2267 ~ 2273.

Yang Hui. 2018&. Application of reflected in-seam waves in detecting small structure in Heshun mining area of Yangquan coal group. Coal Geology & Exploration, 46 (S1): 37 ~ 40+45.

Yang Sitong, Cheng Jiulong. 2012&. The method of small structure prediction ahead with Rayleigh channel wave in coal roadway and seismic wave field numerical simulation. Chinese Journal of Geophysics, 65(2): 655 ~ 662.

Yang Zhen, Feng Tao, Wang Shugang. 2010&. Dispersion characteristics and wave shape mode of SH channel wave in a 0.9m-thin coal seam. Chinese Journal of Geophysics, 53(2): 442 ~ 449.

Zhao Liming, Cui Ruofei. 2014&. Application of digital high-density seismic exploration in fine structural interpretation in coalfield. Progress in Geophysics, 29 (5): 2332 ~ 2336.

Application research of reflected in-seam waves in detecting fault structure of coal seam

YANG Shun[1, 2], SUN Wenbin[3], ZHU Guanghui[3], HAN Jianguang[1]

1) *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Beijing*, 100037;

2) *China University of Geosciences*, *Wuhan*, 430074;

3) *Beijing Tan Chuang Resources Technology Co.*, *Ltd.*, *Beijing*, 100067

Objective: In the actual coalfield geophysical exploration, conventional surface seismic exploration technology cannot carry out fine detection of small faults, collapse columns, and rock parting in coal seams. Compared with surface seismic exploration, in-seam seismic exploration is directly excited in the coal seam, with strong energy and large range, which can accurately detect the small frame structure in the coal seam.

Methods: Compared with ground seismic exploration, in-seam seismic exploration has the advantages of high efficiency, accuracy and high resolution, and its detection distance is large, anti-interference ability and obvious waveform in coal mine exploration, and in-seam seismic exploration can accurately detect abnormal structures such as discontinuities, faults, collapse columns, scouring zones and other abnormal structures in coal seam space, and other geological information inside the working face can also be obtained, which has significant advantages in detecting small structures. According to the characteristics of reflected in-seam wave seismic data, an effective fine processing technology is proposed in this paper. Through experimental research on key technologies such as dispersion analysis and envelope superposition, the imaging accuracy is improved, and then the microstructure such as small faults in coal seam is accurately identified.

Results: According to the results of the reflected trough wave detection, it is speculated that there is a fault with a drop greater than 6 m on the west side of the working face transport trough, and the fault extends from the north side of the working face from northeast to southwest into the west side area, and the fault extends farther. In the actual reflection slot wave detection in this paper, it is subject to a certain degree of noise at the bottom of the well, power frequency electromagnetic and construction interference during the firing process, and a small number of abnormal seismic tracks occur, and the signal-to-noise ratio is better improved by related pretreatment and denoising technology.

Conclusions: In the actual reflection in-seam wave detection in this paper, it is subject to a certain degree of noise at the bottom of the well, power frequency electromagnetic wave and construction interference during the firing process, and a small number of abnormal seismic tracks appear, and the signal-to-noise ratio is better improved by

related pretreatment and denoising technology. The application research in actual coalfield shows that the reflected in-seam wave exploration accurately identifies the small fault in the coal seam, which verifies the practicality of the reflected in-seam seismic exploration technology and the effectiveness of the seismic data processing technology of the reflected in-seam wave.

Keywords: reflected in-seam wave; fault; dispersion analysis; envelope superposition method; imaging

Acknowledgements: This research is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 42174157), the Research Fund of Chinese Academy of Geological Sciences (No. JKY202216), and Enterprise Cooperative Development Project (No. 5600B2021000004).

First author: YANG Shun, male, born in 1996, Postgraduate; Email: 1603758344@qq.com

Corresponding author: HAN Jianguang, male, born in 1987, Ph. D., associate professor, is mainly engaged in seismic wave migration imaging and deep detection method research; Email: hanjianguang613@163.com

Manuscript received on: 2022-06-28; Accepted on: 2022-11-21; Network published on: 2022-12-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2022.12.021 **Edited by**: LIU Zhiqiang

中国地质学会 2022 年度 “地质科技重要进展”和“地质找矿重大成果”揭晓

2023 年 **3** 月 **21** 日,经单位推荐——形式审查——公示——初审——审定等程序,遴选产生了中国地质学会 **2022** 年度“地质科技重要进展、地质找矿重大成果”(附表 **1**、表 **2**)。

附表:**1**. 中国地质学会 **2022** 年度地质科技重要进展

2. 中国地质学会 **2022** 年度地质找矿重大成果

(袁彭 供稿)

YUAN Peng: The results of “Major Advances in Geological Science and Technology” and “Major Achievements of Geological Prospecting” by the Geological Survey of *Geological Society of China* in 2022 had been announced

(附表 1 下转第 1062 页;附表 2 下转第 1207页)