

槽波地震勘探在永城矿区车集煤矿的应用

张亚伟, 于 坤

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2022年12月9日; 录用日期: 2023年1月10日; 发布日期: 2023年1月18日

摘 要

随着槽波地震勘探技术近几年的广泛应用, 许多煤矿利用此技术在工作面内对地质异常情况进行探查, 取得了不错的探测效果。槽波地震勘探技术分为透射法和反射法, 在复杂地质的工作面或者采集的槽波数据质量较差的情况下, 需要联合两种方法联合解释提高探测结果的准确性。本文根据永城矿区车集煤矿29采区火成岩侵入情况, 对2903工作面采用槽波地震勘探技术, 联合应用透射槽波和反射槽波, 成功探查出工作面的异常构造和火成岩的侵入范围。

关键词

槽波地震勘探, 透射法, 反射法, 火成岩

Application of Channel Wave Seismic Exploration in Cheji Coal Mine of Yongcheng Mining Area

Yawei Zhang, Kun Yu

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Dec. 9th, 2022; accepted: Jan. 10th, 2023; published: Jan. 18th, 2023

Abstract

With the wide application of channel wave seismic exploration technology in recent years, many coal mines use this technology to explore geological anomalies in the working face, and have achieved good detection results. Channel wave seismic exploration technology is divided into the transmission method and the reflection method. In the case of the complex geological working face or poor quality of collected channel wave data, it is necessary to combine the two methods to

improve the accuracy of detection results. In this paper, according to the intrusion of igneous rock in 29 mining area of Cheji Coal Mine in Yongcheng Mining Area, the channel wave seismic exploration technology is adopted for 2903 working face, and the transmission channel wave and reflection channel wave are jointly applied to successfully explore the abnormal structure of the working face and the intrusion range of igneous rock.

Keywords

Channel Wave Seismic Exploration, Transmission Method, Reflection Method, Igneous Rock

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,地震数据处理软件和工程实际应用等方面都已经发展成熟,成为地下地质构造探测的首选技术手段,在油气田勘探开发,煤炭资源地质勘探和工程病害探测等多个领域,均已得到广泛的应用[1]。在众多的地震勘探方法中,槽波地震勘探是一种有效的矿井构造的地震勘探方法[2] [3]。

槽波地震勘探是利用在煤层中激发和传播的导波,探查煤层不连续性的一种地球物理方法,是地震勘探的一个分支。槽波地震勘探可以探查小断层、陷落柱、煤层分叉与变薄带、采空区及废弃巷道等地质异常,具有探测距离大、精度高、抗干扰能力强、波形特征较易于识别以及最终成果直观的优点,尤其在探测精度和距离上优于其他煤矿井下勘探方法,是目前最有效的探测方法之一[4] [5]。经过近十年的发展,槽波探测方法已成为矿井物探最常用的方法之一[6]。Guo Chang-fang [7]等结合遗传算法和同时迭代重建技术提出了 GA-SIRT 混合方法,提高了煤厚反演的准确性;荣晓伟[8]通过槽波频散曲线提取,实现了夹矸的厚度、位置以及速度等属性预测;廉洁等[9]采用反射法,计算并预测了断层位置和走向,并具有极高的精准度。

车集井田的构造形态明显受永城复式背斜所控制并且位于其中段东翼。车集井田的构造为全隐伏的单斜构造,新生界覆盖厚度约 200 m,单斜总体走向 NNE,与永城复背斜轴向基本一致,井田浅部地层走向 NNE,中深部 10 勘探线以南地层走向近 SN,10~16 勘探线之间转为 NNE 向,16~20 勘探线之间转为北东向,20~26 勘探线之间转为 NNE 向,全井田地层走向大致呈“S”形展布,地层倾向南东,倾角一般为 7°~20°,井田内以近 SN 向、NNE 向和 NE 向的正断层为主,南部及西北部各发育有一组较为宽缓的褶曲。本次将槽波勘探应用于 2903 工作面,经过巷道的揭露发现工作面内可能存在大断层和火成岩条带侵入,本次槽波地震勘探工作为首次对 29 采区此类火成岩侵入构造进行探查,对比槽波勘探对此类构造的探查效果。

2. 槽波地震勘探原理

2.1. 槽波的形成

煤层与围岩的界面一般表现出良好的反射面,由于与顶底板围岩相比表现出低密度、低速度的特点,煤层总是以较低的波阻抗出现。地震波在煤层中激发的纵波和横波以球面波的形式围绕震源向四面传播,以不同的角度进入顶底板界面。而波在传播的过程中分两种情况,第一种当入射角小于临界角时,围岩吸收了大部分的透射能量,只有一部分能量反射到煤层中,并继续在煤层中多次反射、透射且伴随着能

量的迅速衰减；第二种当入射角大于等于临界角时，则入射到顶、底板界面的地震波能量将全反射回到煤层，并在煤层中多次反射，最后禁锢在煤层之中，其传播路径如图 1 所示。上下行波在煤层这个低速槽中扩散传播的过程中相互迭加和干涉，众多谐波的分量相互抵消、相互削弱、逐渐消失；即只有满足一定条件的各种谐波在槽内相长干涉，形成在煤层内不断向前传播垂直于煤层面的驻波，就形成了槽波。

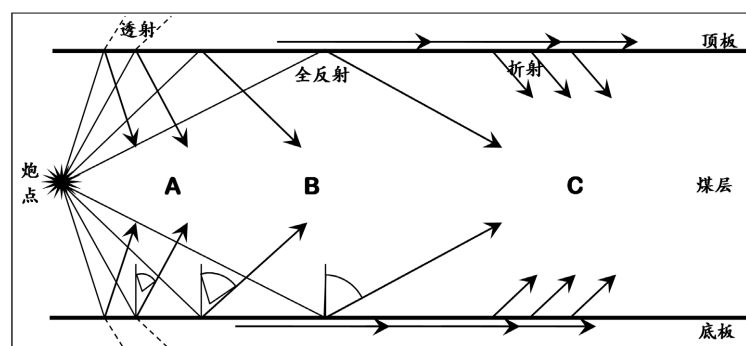


Figure 1. Formation principle diagram of channel wave
图 1. 槽波形成原理示意图

2.2. 槽波透射法

槽波基本的观测方法分为透射法和反射法，槽波透射法是通过在不同的顺槽内布置炮点和检波点，如图 2 所示一侧激发，另一侧接收直达波的透射信号，通过分析接收槽波的有无和强弱来判断槽波透射区域的煤层的连续性，判断区域内是否存在异常构造。透射法探测范围最大可为煤厚的 300 倍，并且是槽波地震法中最常用和最基本的方法。

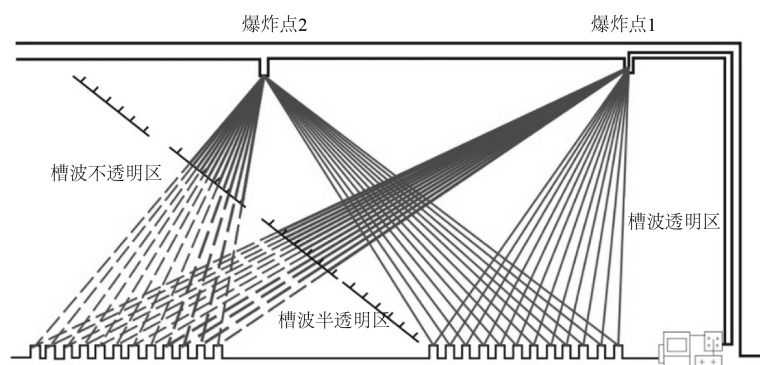


Figure 2. Schematic diagram of transmission wave exploration
图 2. 透射波勘探法示意图

2.3. 槽波反射法

槽波反射法是通过在相同的顺槽内布置炮点和检波点如图 3 所示，当槽波在煤层中遇到构造异常，会因为波阻抗的差异而产生反射，通过分辨接收点接收的反射信号，判断出异常构造的位置，从而分析构造的发育情况。其优点是利用一条巷道就可以探查小构造，局限性是没有透射的探测效果好。

2.4. 槽波 CT 层析成像技术

CT 是一种层析成像技术。这是一种从数据到图像的重建技术，是在通过计算机处理后，通过获得对

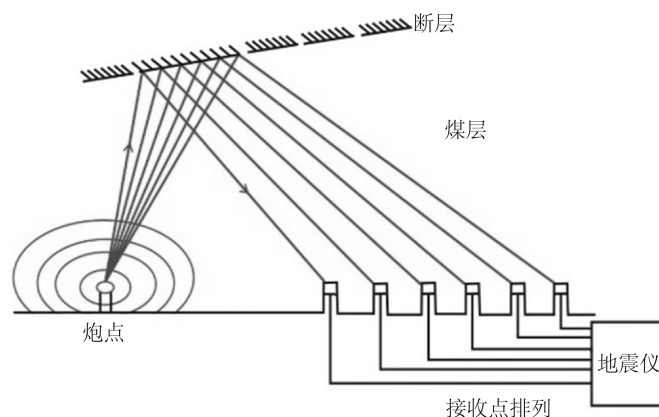


Figure 3. Schematic diagram of reflected wave exploration
图 3. 反射波勘探法示意图

象的横截面的图像, 基于对象的横截面的一系列投影数据, 从而获得对象中确切位置上的每种物质的物理性质的信息。地震 CT(层析成像)是一种通过分析观测的地震波的运动学和动力学特征, 获得沿射线路径上介质物性信息的重要方法。可以利用人工地震, 也可以利用自然地震来实现不同的研究目的和需求, 比如获得不同条件下不同介质的分层情况和构造图像。

煤层中的槽波经过陷落柱、断层等构造时, 能量和速度会发生变化, 可以通过槽波 CT 成像技术, 成像出陷落柱、断层等位置大小。

目前常用的 CT 算法有反投影(Back Projection Technique 简称 BPT), 代数重建技术(Algebraic Reconstruction Technique 简称 ART), 联合代数重建技术(Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique 简称 SART), 联合迭代重建(Simultaneous Iterative Reconstruction Technique 简称 SIRT)以及最小二乘(Least Square)QR 分解简称 LSQR 等。以上几种 CT 图像重建方法, 各有优缺点。BPT 方法简单快速, 但分辨率低。ART 这种方法是按射线依次修改有关像元的图像向量的一类迭代算法, 虽然它的计算速度较快, 但是迭代收敛性能较差, 并且依赖于初值选择。SART 通过改进 ART 的误差修正计算, 能有效的抑制代数重建法所带来的模糊性和收敛慢等缺点, 与 ART 相比较, 其重建速度更快, 重建精度更高。LSQR 是利用 Lanczos 方法求解最小二乘问题的一种投影方法。该方法极大地节省了内存, 又克服了 ART 的不稳定性。在实际中以 BPT、ART、SART 等运用最多。

3. 槽波勘探实例

3.1. 工作面概况

2903 工作面位于 29 采区, 为该矿下一接替工作面, 北为 29 三条下山及保护煤柱, 南侧为火成岩侵蚀影响带, 东为 2905 工作面, 西为 2901 工作面、采空区。工作面走向长 975~1007 m, 倾斜长 179~246 m。从巷道掘进过程中顶板支护实钻结果分析, 煤层直接顶厚约 4.32 m, 多为泥岩及砂质泥岩; 基本顶岩性以细粒砂岩、粉砂岩居多, 厚度约 9.7 m; 煤层的直接底厚度约 4.28 m, 以泥岩为主; 基本底厚度约 14.3 m, 以细砂岩、砂质泥岩为主。

3.2. 观测系统设计

为了保证 2903 工作面的顺利回采, 需要对工作面内的断层和火成岩侵入区域进一步探查, 本次勘探采用槽波透射与反射相结合的方法, 打孔深度 3 m, 使用同一批次乳化炸药激发, 使用存储式无缆遥测

地震仪 YTZ-3, 完成测线长度共计 960 m, 激发炮点 97 个, 本次 2903 工作面槽波地震探测沿上、下顺槽布置炮点和上顺槽布置检波器点。其中 2903 工作面上顺槽采用 10 m 接收道距, 共布设检波点 96 个。工作面上、下顺槽采用 20 m 炮间距, 共布设炮点 97 个。工作面实际测点布置如表 1 所示, 工程布置图如图 4 所示。

Table 1. Actual measuring point arrangement list in 2903 working face

表 1. 2903 工作面实际测点布置一览表

巷道名称	炮点编号	炮点间距(m)	炮数(个)	接收点编号	接收点间距(m)	接收点数(个)
上顺槽	S1-S48	20	48	R1-R96	10	96
下顺槽	S49-S97	20	49			
总计			97			96

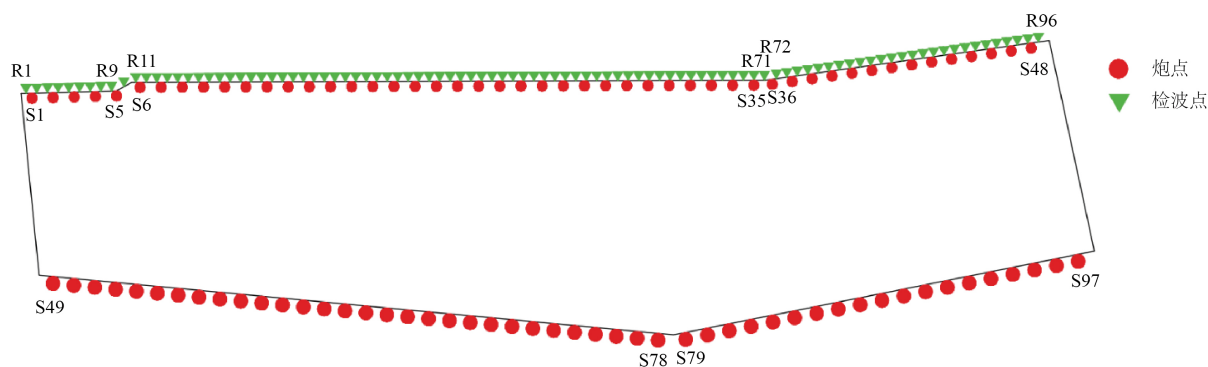


Figure 4. Channel wave observation system of 2903 working face in Cheji coal mine

图 4. 车集煤矿 2903 工作面槽波观测系统

3.3. 数据处理与解释

其中所采集到的 96 道数据中, 90 道可用, 所采集数据的原始数据质量较高。在井下完成对数据的采集后, 还需要对采集到的原始数据进行提取与格式转换, 同时在数据转换完成后需要对其观测系统按照炮检关系进行配置等其他处理, 下图 5 所示是处理过后的 25 炮单炮记录, 图中可见最先到达的是纵波, 其次速度较慢能量较强的是横波, 比横波速度略慢能量增强更明显的是槽波。而槽波的振幅变化对构造更敏感, 若槽波的振幅能量有明显的衰减, 则说明能量衰减区域存在构造或者异常, 若槽波振幅能量无明显衰减则说明该区域煤层无异常或者构造。

煤层厚度约 3 m, 槽波频段较高, 对槽波数据槽波部分进行频散分析(图 6), 分析可知槽波的主频约为 200~500 Hz, 槽波速度约为 1000 m/s。对槽波数据采用主频 200~500 Hz 带通滤波后, 采用归一化 1 法 CT 成像。图 7 为车集煤矿 2903 工作面透射槽波能量衰减 CT 成像图, 其是根据透射能量在传播过程中的衰减程度通过算法来反演出工作面煤层中一些构造异常的位置和范围。图 7 中蓝绿色的部分反映的是槽波能量较强的区域, 则说明该区域煤层无异常和构造存在; 图 7 中红黄色部分反映的是槽波能量较弱的区域, 说明槽波未能顺利穿过该区域, 则说明该区域煤层有异常和构造存在。利用上顺槽布置的炮点和检波点, 在进行带通滤波和空气声波的切除后, 利用反射绕射波成像得到图 8, 图 8 为车集煤矿 2903 工作面反射槽波绕射偏移成像图, 图中红暗黄色较深部分为主要的地质异常部分, 能反应异常构造的边界。

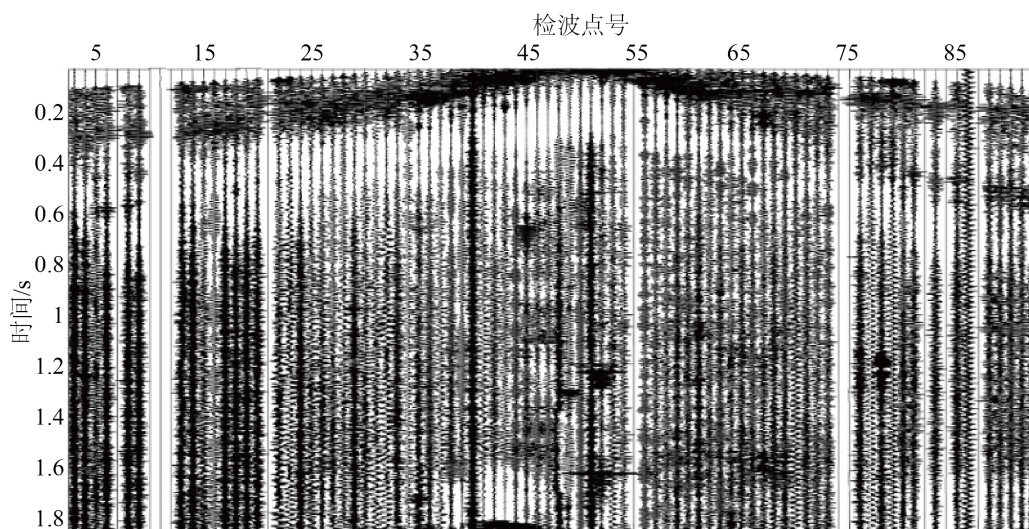


Figure 5. Channel wave data of 2903 working face 25 gun in Cheji coal mine
图 5. 车集煤矿 2903 工作面 25 炮槽波数据

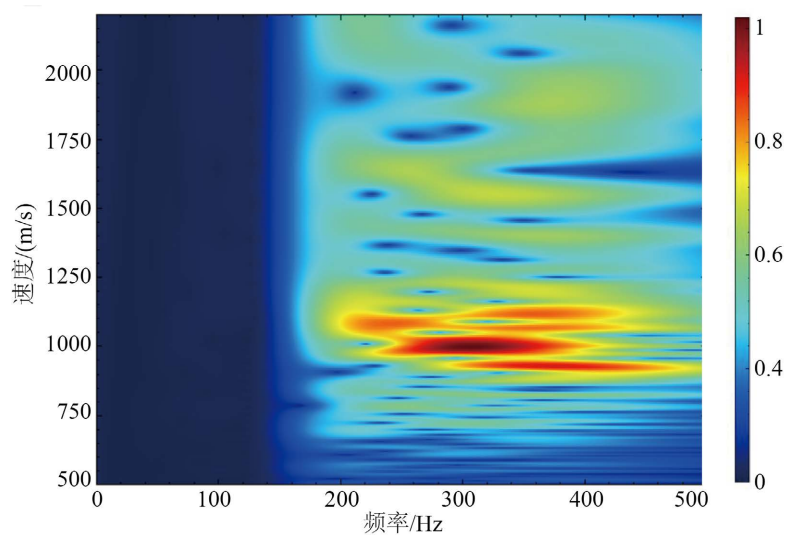


Figure 6. Channel wave dispersion diagram of 2903 working face in Cheji coal mine
图 6. 车集煤矿 2903 工作面槽波频散图

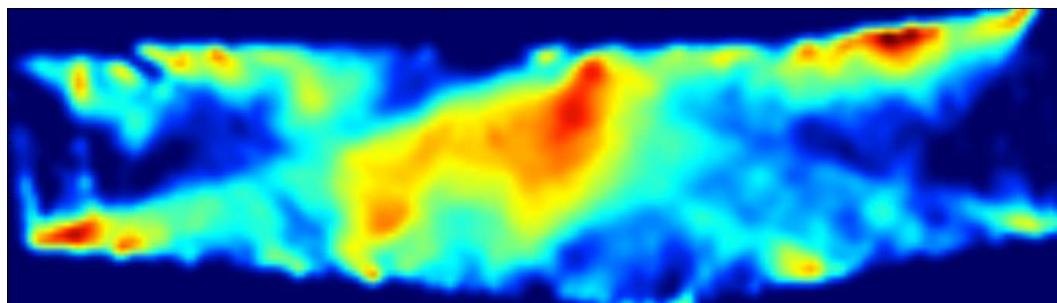


Figure 7. Transmission channel wave CT imaging figure of 2903 working face in Cheji coal mine
图 7. 车集煤矿 2903 工作面透射槽波 CT 成像图

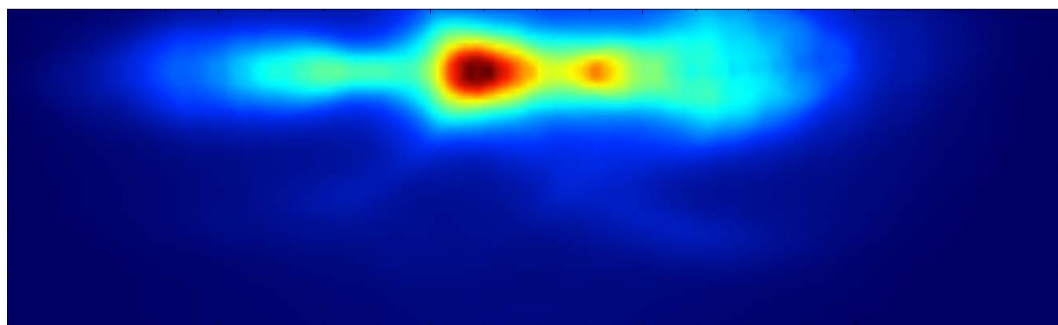


Figure 8. Reflection channel wave diffraction migration imaging figure of 2903 working face in Cheji coal mine
图 8. 车集煤矿 2903 工作面反射槽波绕射偏移成像图

工作面上下巷及切眼掘进期间实际揭露多条断层, 3 号断层在下巷揭露, 从巷道左帮摆入, 进入巷道延展一段后, 又从左帮摆出, 在回采区域外, 对工作面回采影响较小; 2 号断层在工作面下巷揭露落差为 6.0 m, 上巷揭露落差 12.7 m, 且位于工作面中部, 对工作面回采影响极大, 上巷和切眼部分有连续的火成岩侵入截断面, 工作面内部应仍有较大区域的火成岩侵入, 对工作面回采有一定影响, 其余断层落差不大于 2.0 m, 对工作面回采影响较小。根据槽波探测情况和巷道揭露情况, 槽波综合解释构造结果如下图 9 所示。图中红色虚线部分为槽波解释断层, 红色实线部分为槽波解释火成岩侵入部分。

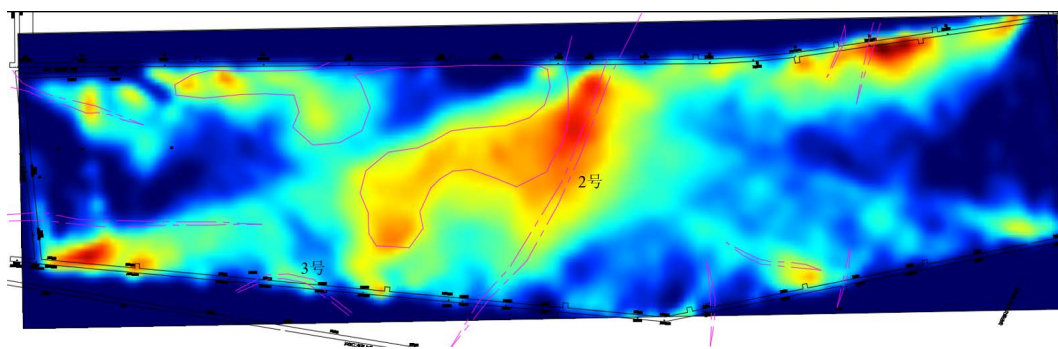


Figure 9. Channel wave data spectrum figure of 2903 working face in Cheji coal mine
图 9. 车集煤矿 2903 工作面槽波数据频谱图

下图 10 为车集煤矿 2903 工作面后期回采的揭露图, 红色部分为揭露的断层, 黄色部分为火成岩从底板侵入的区域, 洋红色部分为火成岩从中间或者顶板侵入的区域。图 11 为槽波 CT 成像与实际揭露叠加对比图。

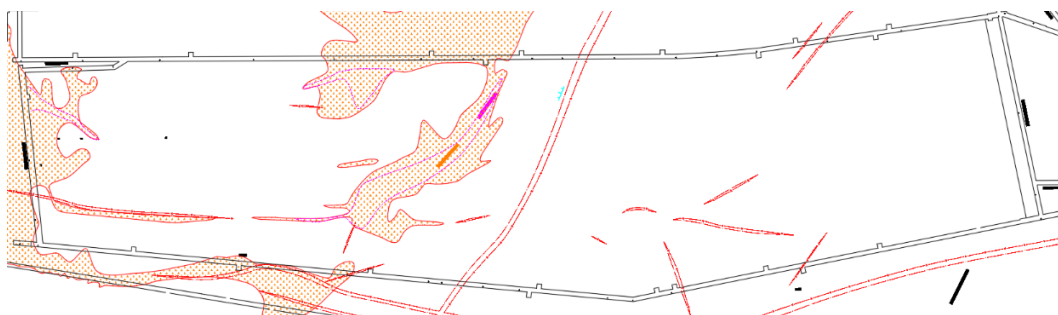


Figure 10. Exposure map of late mining of 2903 working face in Cheji coal mine
图 10. 车集煤矿 2903 工作面后期回采的揭露图

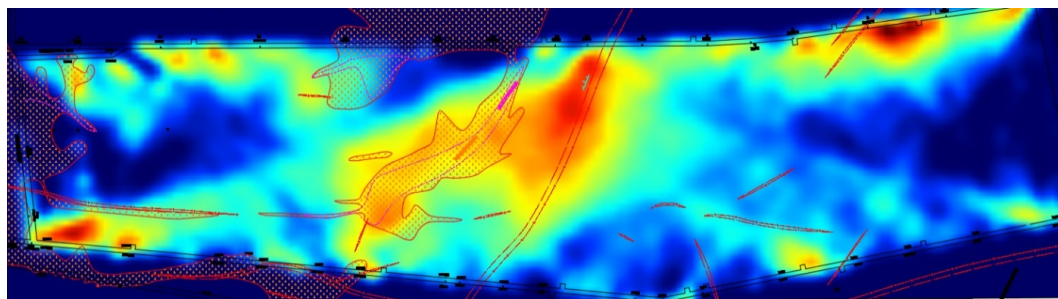


Figure 11. 2903 working face channel wave CT imaging and actual exposure superposition contrast map
图 11. 2903 工作面槽波 CT 成像与实际揭露叠加对比图

3.4. 探测结果与分析

根据此次槽波地震勘探结果与工作面实揭地质资料对比分析,对于工作面回采区域内大于煤厚的断层,本次槽波地震勘探施工探测准确率达到 90%,并准确预计其位置、走向及延展长度;工作面中部发育的一条火成岩条带,该条带内火成岩沿煤层中间及顶板侵入,且火成岩附近煤层蚀变为天然焦,在垂向上基本占据了整个煤厚,对槽波信号的传递影响较大,异常较明显,因此对该异常区的判断也比较准确。

工作面内部个别小断层未能准确预测,推测未能探测到的原因可能是断层落差较小,槽波可沿未断开煤层传播,且该个别断层在工作面内延展长度较小,对于槽波信号的传播影响较小;断层基本与巷道垂直,与槽波传播路径基本平行,从而造成了地质异常信号的漏失;该断层落差小于煤厚,对槽波信号的传递未造成太大的影响。工作面切眼部分的火成岩侵入部分未能探测准确,其原因可能是切眼上下部分各有断层影响了槽波的传播,影响了槽波探测的结果。

4. 结语

通过实际回采揭露的地质构造与槽波探测结果进行对比验证,得到以下结论:

- 1) 槽波在车集煤矿 2903 工作面发育良好,通过槽波地震勘探方法成功探测出工作面内地质构造,为工作面的回采工作提供了可靠地质依据。
- 2) 槽波在联合透射和反射法对工作面进行解释时候,具有更高的准确度,并且对范围性构造异常探查同样具有较高的准确度。
- 3) 槽波在探测火成岩侵入此类大范围的地质异常体方便,同时具有较高的准确度。

参考文献

- [1] 程建远,李浙龙,张广忠,杨辉. 煤矿井下地震勘探技术应用现状与发展展望[J]. 勘探地球物理进展, 2009, 32(2): 96-100+111.
- [2] 刘天放,潘冬明,李德春,李海山. 槽波地震勘探[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [3] 胡国泽,滕吉文,皮娇龙,等. 井下槽波地震勘探——预防煤矿灾害的一种地球物理方法[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(1): 439-451.
- [4] 崔焕玉,朱建民. 槽波地震技术探测煤矿地质构造[J]. 煤炭与化工, 2013, 36(1): 79-81.
- [5] 程建远,江浩,姬广忠,吴海. 基于节点式地震仪的煤矿井下槽波地震勘探技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(2): 25-28.
- [6] 郭银景,巨媛媛,范晓静,张建华. 槽波地震勘探研究进展[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(2): 216-227.
- [7] Guo, C.F., Yang, Z., Chang, S., Ren, T. and Yao, W.L. (2019) Precise Identification of Coal Thickness by Channel Wave Based on a Hybrid Algorithm. *Applied Sciences*, 9, Article 1493. <https://doi.org/10.3390/app9071493>

- [8] 荣晓伟. 含夹矸煤层槽波频散特性及其影响因素分析[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(7): 77-79.
- [9] 廉洁, 李松营, 滕吉文, 等. 槽波探测技术的多领域应用与试验[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2017, 36(5): 35-40.