

槽波地震勘探技术在义马矿区的应用

廉洁^{1,2} 李松营² 王伟³ 姚小帅² 郭国鹏² 王康²

(1. 河南理工大学 资源环境学院 河南 焦作 454000; 2. 义马煤业集团股份有限公司 地质研究所 河南 义马 472300;
3. 中国科学院 地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室 北京 100101)

摘要: 为掌握义马矿区煤厚变化大、中小型断层发育、原开采的小煤矿采空区位置等情况,采用槽波地震透射法与反射法对煤厚变化大、中小型断层发育及小煤矿采空区分布等煤层条件下的槽波响应特征进行研究。试验结果表明:将1 900、1 300 m/s的槽波速度等值线分别作为3、5 m煤厚等值线,回采中揭露煤厚与槽波勘探预测基本一致;槽波地震CT叠加剖面图中的强反射震相可预测判定断层位置。经验证此处回采中揭露1条延展长度约108 m的正断层。槽波地震勘探技术在义马矿区取得较好的应用效果,能准确预测工作面内煤厚变化大、中小型断层发育等地质情况。

关键词: 槽波;煤厚变化;中小断层;采空区;地震勘探

中图分类号: TD167 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2015)12-0162-04

Channel wave seismic exploration technology applied to Yima Mining Area

Lian Jie^{1,2}, Li Songying², Wang Wei³, Yao Xiaoshuai², Guo Guopeng², Wang Kang²

(1. School of Resources and Environment Henan Polytechnic University, Jiaozuo, 454000, China; 2. Research Institute of Geology, Yima Coal Mining Group Corporation Limited, Yima, 472300, China; 3. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China)

Abstract: In order to understand a high varied seam thickness, medium and small fault development, unclear goaf location of the small mine operation and other conditions in Yima Mining Area, a channel wave seismic transmission method and a reflection method were applied to study the channel wave response characteristics of the seismic transmission method under the high varied seam thickness, medium and small fault development, goaf distributions in previous small mines and other seam condition. The test results showed that the isoline of channel wave speed of 1 900 m/s and 1 300 m/s could be as the isoline of 3 and 5 m seam thickness and the mining operations showed that the seam thickness and the channel wave exploration prediction were the same basically. The high reflection seismic phase in the CT stack section drawing of the channel wave seismic could be applied to predict and determine a fault location and the verification showed that in the mining operation, the location exposed a normal fault with a expended length about 108 m. The channel wave exploration technology was applied to Yima Mining Area with a good effect and could accurately predict the seam thickness variation of the coal mining face, the medium and small fault development and other geological conditions.

Key words: channel wave; seam thickness variation; medium and small faults; goaf; seismic exploration

0 引 言

槽波地震勘探是利用煤层中激发和传播的地震槽波探查煤层内中小断层或其他地质异常的一种地球物理方法,是地震勘探的一个分支^[1]。1955年, Evison 在新西兰首次于煤层中激发和记录到了槽

波,并在《Nature》杂志首次发表了有关槽波的论文,文中叙述了试验过程,并对数据分析和解释,指出这种波具有频散特征^[2]。1963年,德国 Krey 指出煤层应该是地震能量的一个良好的波导层,并预言可以在采煤工作面上用地震方法检测煤层中的小断层。Krey 首次详细地从理论上对槽波的频散关系

收稿日期:2015-08-28;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2015.12.031

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41130419)

作者简介:廉洁(1987—),男,河南洛宁人,硕士研究生。Tel:15239898119 E-mail:lianjie7891@163.com

引用格式:廉洁,李松营,王伟,等.槽波地震勘探技术在义马矿区的应用[J].煤炭科学技术,2015,43(12):162-165.

Lian Jie, Li Songying, Wang Wei et al. Channel wave seismic exploration technology applied to Yima Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(12): 162-165.

进行了计算,并且讨论了在井下的试验结果^[3]。20世纪70年代,随着煤炭需求量的增加,综采机械化采煤对煤层小构造预测的要求更加迫切,世界各国先后成立研究机构,展开槽波地震的井下试验。80年代以来,德国、英国、澳大利亚等国家先后把槽波地震技术投入井下实际使用^[4]。我国开展槽波地震勘探研究起步较晚,1978年煤炭科学研究总院重庆分院、焦作矿业学院、渭南煤矿专用设备仪器厂及一些矿务局合作,开始进行现场试验,同时也进行物理模型研究及矿井地震仪的研制。1986年,煤炭科学研究总院西安分院引进 SEAMEX85 槽波地震仪及专用软件 ISS 后,广泛开展现场试验,在陷落柱、冲刷带、断层等探测中取得了不少成功的例证。但是,当时的仪器存在质量大、体积大、价格高等缺点,加上后来煤炭行业低迷,槽波技术的推广和发展也变得缓慢^[5-7]。2010年,为解决义马矿区煤厚变化较大、中小型断层发育、矿区周边小煤矿采空区分布复杂等问题,义马煤业集团地质研究所引入德国 Summit- II EX 型槽波地震勘探系统,在义马矿区进行了大量试验,在探测煤厚变异、中小断层发育、小煤矿采空区边界等方面取得较好的应用效果。

1 矿区概况

义马矿区位于河南省豫西地区,矿区包含陕潼、义马、新安、宜洛、偃龙和寺湾煤田,矿区现有 15 对生产矿井,3 对在建矿井,地质条件复杂,存在以下特点:①受沉积基底不平、后期冲刷及构造改造作用,煤厚变化较大(0~34 m)。②中小型断裂构造发育,对煤厚变化影响较大,并且与水害、瓦斯、顶板等灾害发生有密切的关系。③煤层浅部的小煤矿分布总数超过 2 000 个,安全生产受到严重威胁^[8]。④受义马逆掩断层的挤压影响,地应力集中,冲击地压频发,危害较大。

2 槽波地震勘探技术

2010 年以来,在义马矿区开展槽波透射、反射勘探试验共计 20 次,研究目标包括透射法探测煤厚变异、小断层发育等情况,反射法探测断层发育、小煤矿采空区分布等情况。

2.1 透射法探测工作面煤厚变异

煤层厚度变化对槽波频散特征影响十分明显,随着煤厚增大,勒夫波主频段向低频移动,对应于同一频率波速降低,即同一频率的波速随煤厚增加而减

小^[9-11]。因此,主频段槽波携带煤厚信息,应用层析成像方法可获得槽波速度分布与煤层厚度分布。

11060 试验工作面宽度 135 m、长度 450 m,煤厚变化 0.4~8.0 m,平均煤厚 4.5 m,煤厚变异系数 37%。激发震源为炸药,用药量 200 g,炮距 10 m,共 36 炮,采用二分量检波器接收,检波点距 20 m,共 22 个检波点单炮槽节点如图 1 所示。

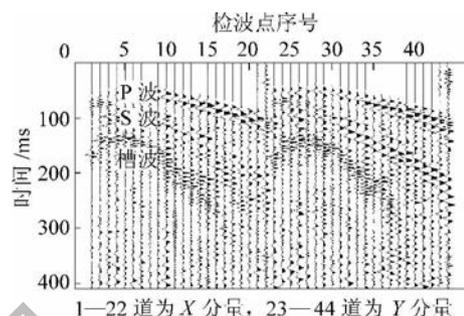


图 1 单炮槽波记录

Fig. 1 Record of single shot of channel wave

依据理论煤厚与槽波频散曲线变化关系,成像时使用 125 Hz 的频率对厚度 2~5 m 的煤层较为可信^[12-13]。选用 125 Hz 槽波速度进行层析成像反演,计算出槽波波速图。探测区域槽波群速度为 500~2 600 m/s,表示该区域煤层厚度为 1~8 m。将巷道揭露的煤层厚度与槽波波速进行拟合,速度大于 1 900 m/s 的区域其厚度在 3 m 以下,速度为 1 300~1 900 m/s 的区域表示其煤厚度为 3~5 m,速度小于 1 300 m/s 的区域表示其厚度在 5 m 以上。现工作面已回采完毕,经验证,实际煤厚变化与勘探预测较为一致,如图 2 所示。

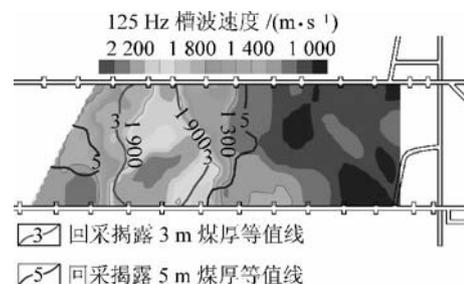


图 2 透射法探测煤厚变化结果

Fig. 2 Seam thickness variation detected results with transmission method

2.2 透射法探测工作面内小断层

槽波透射法可用于估计断层落差的大小。由于槽波能量束缚于煤层中,槽波的传播会受到煤层内断层的阻碍。通常在落差大于煤层厚度的断层之后,是不可能观测到槽波的,另一方面观测到槽波意

味着：①根本没有断层；②有落差小于煤层厚度的断层存在。所以槽波地震透射法可根据对槽波的追踪确定断层的存在、位置和落差^[14]。

12041 试验工作面宽度 120 m、长度 250 m，煤层厚度变化范围 0~8.4 m，平均煤厚 4.2 m，煤厚变异系数 46%。激发震源为炸药，药量 200 g，炮距 10 m，共 25 炮，采用二分量检波器接收，检波点距 20 m，共 12 个检波点。槽波透射法采用 CT 层析成像法处理数据。在对 300 张频散图拾取 125 Hz 的槽波速度时，对于不存在明显频散曲线的，即槽波难以识别或槽波被强烈干扰的频散图拾取为高速。这样经过 CT 层析成像后得到的高速区域，代表煤层变薄或槽波无法透过、难以识别的区域，结合工作面揭露的地质信息分析，推测 1 号异常区为断层发育区，2 号异常区为煤层变薄区，如图 3 所示。经验证与勘探预测较为一致。

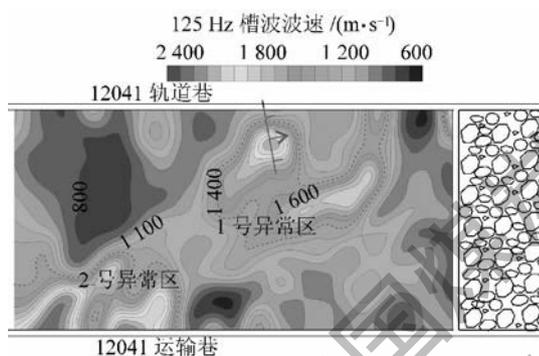


图 3 透射法探测小断层结果

Fig. 3 Small fault detected results with transmission method

2.3 反射法探测断层

槽波在沿煤层传播过程中，遇到断层等不连续构造形成的波阻抗分界面时，便会产生反射。根据槽波传播速度及反射波到达检波器的时间，即可求出反射体的位置^[14-15]。

在 2505 工作面下巷实体煤帮布置槽波反射，探测工作面内断层发育情况。设计测线长 460 m，勘探区域煤层厚度变化范围 0~8.5 m，平均煤厚 3.0 m。激发震源为炸药，药量 200 g，炮距 20 m，共 23 炮孔，采用 2 分量检波器接收，检波点距 20 m，共 24 个检波点，检波点与炮点相间布置，如图 4 所示。

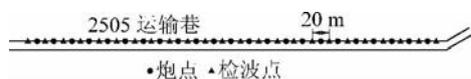


图 4 反射法观测系统

Fig. 4 Observation system of reflection method

在反射叠加剖面图中，靠近观测剖面最近、最早到达的强震相是直达波，随后到达、出现在剖面右侧的次强震相是反射震相。该反射震相距离观测剖面 70~100 m，走向与巷道大致呈 20°斜交，沿走向延展约 100 m，推断为断层。经回采验证，在预测断层位置出现一正断层，该断层落差 6 m、倾角 75°、沿走向延展 108 m，与勘探预测结果较为一致，如图 5 所示。

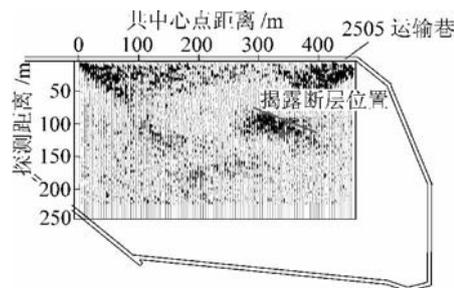


图 5 反射法探测小断层结果

Fig. 5 Results of small fault detected by reflection method

2.4 反射法探测小煤矿采空区

义马矿区浅部存在大量的 20 世纪 80—90 年代开采的小煤矿采空区，对大型矿开采留下安全隐患。采用槽波反射法，寻找可识别的反射槽波埃里震相，定位煤层空洞反射边界，其探测范围和精度均优于其他技术^[17]。

15030 工作面勘探区平均埋深 245 m，在已有工作面上巷对浅部未采区域进行槽波反射法勘探。设计测线长 410 m，勘探区域煤层厚度变化范围 0.1~8.8 m，平均煤厚 3.3 m，煤厚变异系数 57%。激发震源为炸药，药量 200 g，炮距 5 m，共 83 炮，采用 2 分量检波器接收，检波点距 15 m，共 27 个检波点，每 2 个检波点之间布置 2 个炮点。反射叠加剖面图中，靠近观测剖面最近的、最早到达的强震相是直达波，之后区域中 125~260 m、100~140 m 远距离出现较弱的反射震相，推断可能为小煤矿采空区边界位置，如图 6 所示。

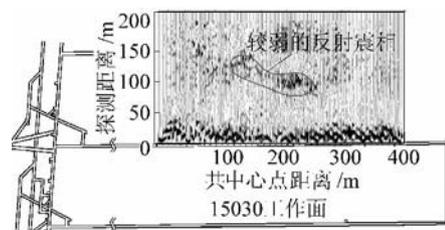


图 6 反射法探测小煤矿采空区

Fig. 6 Small mine goaf detected results with reflection method

经验证 在距测线 140 m 远的巷道掘进过程中并未发现小煤矿采空区。在巷道掘进至 113 ~ 237 m 时出现煤厚小于 1 m 的薄煤区, 分析此段煤层变薄区域可能是反射剖面中较弱的反射波产生的原因。

3 结 语

1) 槽波地震勘探从煤矿井下直接对目标体进行探测, 相比于地面地震的方法, 距离目标体更近, 精度、可信度更高。应用槽波地震透射及反射法探测义马矿区的煤层厚度变化、中小型断层、小煤矿采空区边界等取得较好的应用效果。

2) 根据义马矿区的经验, 槽波的适应性除受煤层平均厚度、硬度、密度、埋深及围岩弹性参数等因素影响外, 还受到煤厚变异系数的影响。一般来说, 煤厚变异系数越大, 煤层槽波适应性越差。因此, 在不稳定、极不稳定煤层中应用槽波地震技术时, 如何采集到震相清晰的槽波数据、提取不易识别的槽波信号及在反射勘探中剔除煤层变薄区造成的干扰反射波等, 是需要解决的问题之一。

3) 未来可深入研究槽波及较早到达的纵波、横波, 寻找与瓦斯富集区、地压集中区等相关性, 充分利用槽波所携带的地质信息, 在煤矿瓦斯、冲击地压等灾害的防治方面发挥作用。

参考文献:

- [1] 刘天放, 潘冬明, 李德春, 等. 槽波地震勘探 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [2] Evison F F. A coal seam as a guide for seismic energy [J]. *Nature* 2013, 1955(176): 1224 - 1225.
- [3] Krey T C. Channel waves as a tool of applied geophysics in coal mining [J]. *Geophysics* 1963, 28(5): 701 - 714.
- [4] 皮娇龙, 滕吉文, 杨 辉, 等. 地震槽波动力学特征物理 - 数学模拟及应用进展 [J]. *地球物理学进展* 2013, 28(2): 958 - 974. Pi Jiaolong, Teng Jiwen, Yang Hui *et al.* Research advance in analogue - numerical simulation on the dynamic characteristics of in - seam seismic and its application [J]. *Progress in Geophysics*, 2013, 28(2): 958 - 974.
- [5] 储绍良. 西德槽波勘探技术 [J]. *煤炭科学技术*, 1982, 10(3): 50 - 54. Chu Shaoliang. In - seam seismic exploration techniques in West Germany [J]. *Coal Science and Technology*, 1982, 10(3): 50 - 54.
- [6] 左德堃. 国外煤田矿井物探技术的发展 [J]. *煤炭科学技术*, 1978, 6(9): 60 - 63. Zuo Dekun. Developments of mine geophysical techniques in foreign coalfields [J]. *Coal Science and Technology* 1978, 6(9): 60 - 63.
- [7] 胡国泽, 滕吉文. 槽波地震勘探技术在预防煤矿灾害方面的研究与应用 [C] // 中国地球物理学会. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2011: 701.
- [8] 李松营, 杜毅敏, 孙晓震, 等. 矿井小煤窑水害及其防治 [J]. *焦作工学院学报* 2003, 22(3): 184 - 186. Li Songying, Du Yimin, Sun Xiaozhen *et al.* Preventing and controlling water hazards in small coal mines in Yima Coalfield [J]. *Journal of Jiaozuo Institute of Technology* 2003, 22(3): 184 - 186.
- [9] 柴登榜. 矿井地质工作手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984: 668 - 684.
- [10] 姬广忠, 程建远, 朱培民. 煤层 Love 型槽波数值模拟及其频散特征分析 [J]. *煤炭科学技术* 2011, 39(6): 106 - 109. Ji Guangzhong, Cheng Jianyuan, Zhu Peimin. Numerical simulation of seam Love type channel - wave and analysis on dispersion features [J]. *Coal Science and Technology* 2011, 39(6): 106 - 109.
- [11] 李松营, 李书文. 综合物探的奥陶系灰岩突水预警技术 [J]. *河南理工大学学报* 2013, 32(5): 552 - 555. Li Songying, Li Shuwen. Comprehensive geophysical exploration technology for early warning in ordovician Limestone water inrush [J]. *Journal of Henan Polytechnic University* 2013, 32(5): 552 - 555.
- [12] 王 伟, 高 星, 李松营, 等. 槽波层析成像方法在煤田勘探中的应用: 以河南义马矿区为例 [J]. *地球物理学报*, 2012, 55(3): 1054 - 1062. Wang Wei, Gao Xing, Li Songying *et al.* Channel wave tomography method and its application in coal mine exploration: An example from Henan Yima Mining Area [J]. *Chinese Journal of Geophysics* 2012, 55(3): 1054 - 1062.
- [13] 乐 勇, 王 伟, 申青春, 等. 槽波地震勘探技术在工作面小构造探测中的应用 [J]. *煤田地质与勘探* 2013, 41(4): 74 - 77. Le Yong, Wang Wei, Shen Qingchun *et al.* Application of ISS in detection of small structures in working face [J]. *Coal Geology & Exploration* 2013, 41(4): 74 - 77.
- [14] 左德堃, 马超群, 李新田, 等. 槽波地震法探测煤层的不连续构造 [J]. *煤炭科学技术*, 1986, 14(3): 18 - 22. Zuo Dekun, Ma Chaoqun, Li Xintian *et al.* Detection of discontinuous structures in coal seam by using method of in - seam seismic survey [J]. *Coal Science and Technology* 1986, 14(3): 18 - 22.
- [15] 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. Hu Guozhe, Teng Jiwen, Pi Jiaolong *et al.* In - seam seismic exploration techniques - a geophysical method predicting coal - Mine disaster [J]. *Progress in Geophysics* 2013, 28(1): 439 - 451.
- [16] 杨 真. 基于 ISS 的薄煤层采空边界探测理论与试验研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009: 104 - 110. Yang Zhen. Theory of using an in - seam seismic (ISS) method for uncertain boundary detection in a thin coal seam [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2009: 104 - 110.
- [17] 刘玉忠. 采区槽波探测的适应性分类 [J]. *煤田地质与勘探*, 1997, 25(4): 54 - 57. Liu Yuzhong. Adaptability classification of in - seam wave surveying in mining districts [J]. *Coal Geology & Exploration*, 1997, 25(4): 54 - 57.