

瑞利波勘探技术在探测瓦斯聚集区域中的应用

赵兆, 王勇, 张仲礼

(煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054)

摘要: 在煤矿生产过程中, 煤与瓦斯突出的问题经常发生, 我国瓦斯灾害已成为煤矿群死群伤的头号杀手。煤与瓦斯突出是地应力、瓦斯、煤体结构等诸多因素综合作用的结果。其中, 地质构造因素起着主导控制作用。地质构造复杂的区域通常属于瓦斯灾害易发区域。发生煤与瓦斯突出的位置, 多与地质构造破坏带有关, 或发生在小断层, 或发生在小背斜褶曲, 或发生在裂隙带。笔者简要介绍了一种探测有地质构造区域的方法——瑞利波探测法。该方法利用了瑞利波的频散特性与岩土的物理力学性质的相关性的原理, 通过对井下实地采集的数据进行分析、处理、解释, 所预测的异常区域与实际的瓦斯卸压孔所显示的异常区域相符, 是一种有效的探测方法, 对保证煤矿安全生产有指导作用。

关键词: 瑞利波; 勘探; 瓦斯; 超前探; 预报

中图分类号: P631 **文献标识码:** A

1 概述

在瓦斯灾害易发区通常赋存着较高的瓦斯含量, 有着较高的瓦斯压力。因此, 预测高瓦斯含量和高瓦斯压力区域可以预测瓦斯灾害的易发区。

有效快捷地预测瓦斯突出的危险性, 对煤矿安全生产显得尤为重要。瑞利波勘探是一种新型的勘探方法, 利用其频散特性与岩土的物理力学性质的相关性, 可以解决诸多的工程地质问题(杨成林, 1993; 李锦飞等, 1997)。所以, 利用瞬态瑞利波的频散特性与煤岩的物理力学性质的相关性, 在煤与瓦斯突出危险性预测中的应用有着广阔的前景。

2 基本原理

瑞利波是一种沿着自由表面传播的波, 地球-空

气界面可以看做是自由界面。瑞利波是P波与SV波干涉的结果。质点运动轨迹在均匀介质中为逆时针方向, 呈椭圆极化。理论上说, 瑞利波只能沿着均匀半空间自由表面和均匀介质自由界面传播。地滚波是瑞利波中的一种特殊波, 它沿着地表传播, 其特征是低速, 低频和强振幅。

瑞利面波频散曲线的提取方法虽然很多, 但目前基本上大多都采用 $f-k$ 域分析法。该方法先将实测的 $x-t$ 域记录变换到 $f-k$ 域, 然后根据能量的差异将面波的能量团保留, 其余部分剔除, 再反变换到 $x-t$ 域去求取其频散曲线。这种方法使用简单, 且对面波的提纯有一定的可靠度(肖伯勋等, 2004)。Stoke等(Stoke, 1982)采用锤击震源, 通过两个检波器之间的互谱相位信息求取面波的相速度, 成为最初的瞬态面波勘探试验。刘云祯(刘云祯, 1996)自行研制了SWS瞬态面波多道数据采集处

收稿日期: 2009-12-24; 修回日期: 2010-03-01

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目, 老矿区深部资源井下综合勘探技术与装备研究的专题1. 井下高分辨率地震勘探方法技术, (2006BA B01B11)

作者简介: 赵兆(1981-), 男, 陕西韩城人, 在读硕士研究生, 从事井下地球物理勘探仪器的研发和应用工作。E-mail: zhaozhao_001@163.com

理系统,并将其应用于机场工程勘探、浅层煤田勘探、地下煤巷探测等工作中,取得了较好的效果。肖柏勋等(肖柏勋,1998)研制的LXII岩土工程质量检测分析仪中包含的瞬态多道瑞利波勘探的子系统,利用Prony法进行频散曲线的求取,并利用遗传

算法对“之”字型频散曲线进行反演。

如图1瞬态瑞利波勘探原理图所示,当在地面上施加一个瞬间激振力后,在地面表层就有瑞利波的传播。我们通过专用仪器对瑞利波进行信号采集、分析,从而得到瑞利波的频散曲线。如图2所示,当

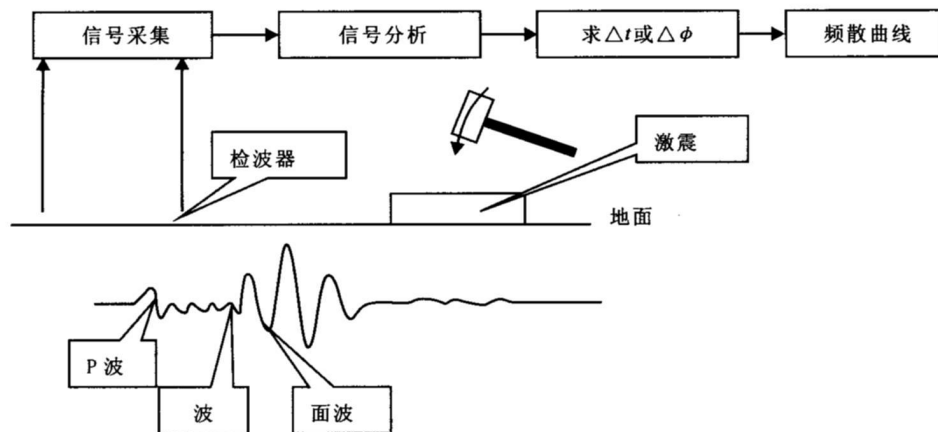


图1 瞬态瑞利波勘探原理图

Fig. 1 Transient Rayleigh wave exploration

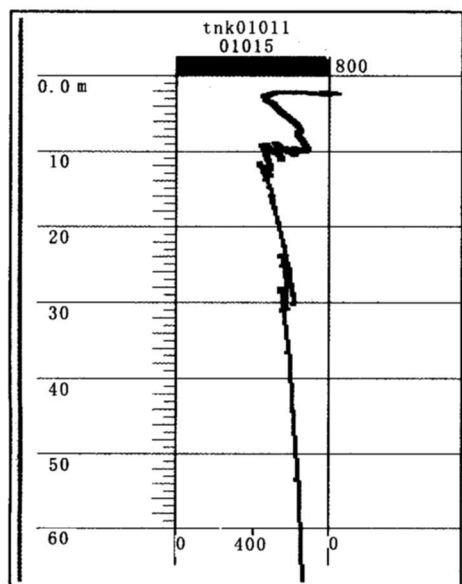


图2 典型频散曲线

Fig. 2 Classical dispersion curve

出现不同介质的分界面时,频散曲线会出现一个所谓“之”字形拐折。所以,在依据频散曲线进行地质分析时,一般认为“之”字形拐折的中点为层的分界面(张碧星等,2002;张碧星等,2000)。

3 施工方法

瑞利波探测根据实地探测的地质条件与现场施工的条件不同有多种施工方式,各种方式施工观测系统均在同一直线上(柴华友等,2002)。

根据相应的地质条件与探测深度来选择不同的激发方式。手锤、大锤、强夯落锤均可作为激振工具。锤重越大,接触面越大,接触面刚度越小,激振频率越低。接触面刚度可以通过锤垫来改变,当激发点岩体较硬时,可采用胶木、橡皮垫以降低激振频率;当激发点较松软时,可采用钢块垫以提高激振频率(柴华友等,2003)。当进行浅部测试时,可采用小铁锤。当测试深度较大时,可采用大铁锤或重铁块作为震源(杨成林,1993)。

(1) 当施工地点较为宽阔,有6 m以上的距离时,可采用第一种观测系统。这种观测系统中7个点(震源点以及6个接收点)其间距均为100 cm。

(2) 当施工地点距离有限,例如掘进巷道迎头截面直径大于3.5 m时,可采用第二种观测系统。6个检波器均匀排列,道间距为50 cm,震源与第一道检波器之间的距离应保持在1 m左右。

(3) 当施工地点较为狭窄,例如截面直径小于

3 m 的巷道,可采用第三种观测系统。震源和第1个接收点之间的间距还是1 m,第3和第4个接收点之间的间距也是1 m,而第道1和第2道、第道2和第3道之间的距离为20 cm。第4道和第5道、第5道和第6道之间的距离为20 cm。

4 实例分析

瑞利波探测技术在很多地方都得到了很好的验证,作为煤矿超前探测预报方面起了重要的作用,正逐渐成为煤矿地质预报,预防灾害必不可少的手段之一。

下面以 YTR (D) 瑞利波探测仪在国阳公司寺

家庄煤矿的探测为例。在国阳公司寺家庄煤矿15104工作面切巷瑞利波试验验证:

(1) 15104 切巷超前探测解释成果。图3 中左侧为深度坐标,右侧有8条曲线,它们是8个测点的频散曲线所对应的对数曲线,每条对数曲线所显示黑色脉冲为单次测量可能的异常点,应结合地质资料及多次测量数据综合解释。由它们连成切巷的二维剖面预报图,在工作面内有2个地质分层比较明显,分别位于20~30 m 和50~70 m 附近。以上2处层位为异常区域,可能会有地质分层或瓦斯应力区,由于数据未根据本矿实际地质资料进行校正处理,仅仅是对采集的数据进行处理解释,故处理结果可能会有一定误差。

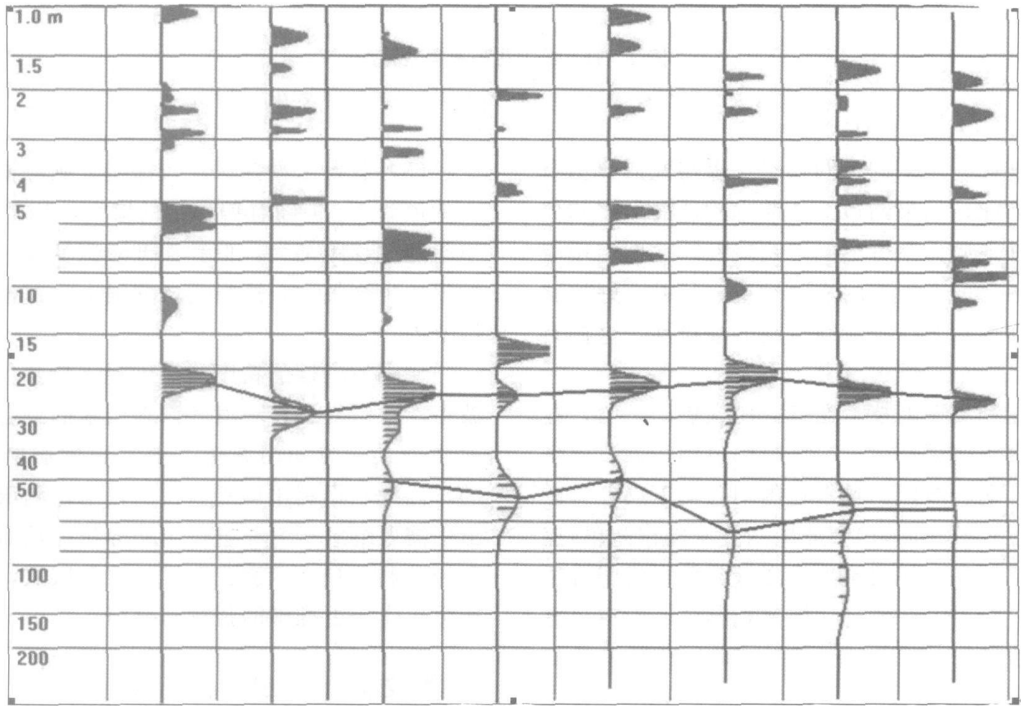


图3 切巷探测剖面图
Fig. 3 Cutting lane detection plane surface

(2) 15104 切巷超前探测平面图解释成果。图4 中三角标号为探测地点,共有13个测点。斜线区域为瑞利波探测所预报的异常区域,如图4所示,异常区域一共4个,分别为A、B、C、D。这4个区域预测为瓦斯聚集的异常区域。经实际打钻验证,卸压孔主要异常范围与所预测的C异常带(20~30 m)吻合较好。

5 结论

从地质角度研究瓦斯突出机理和瓦斯突出危险性预测在我国尚处于起步阶段。国外资料 and 我国高瓦斯矿井实际开采的经验表明,发生煤与瓦斯突出的位置,多与地质构造破坏有关,或发生在小断层,或发生在小背斜褶曲,或发生在裂隙带,无论在

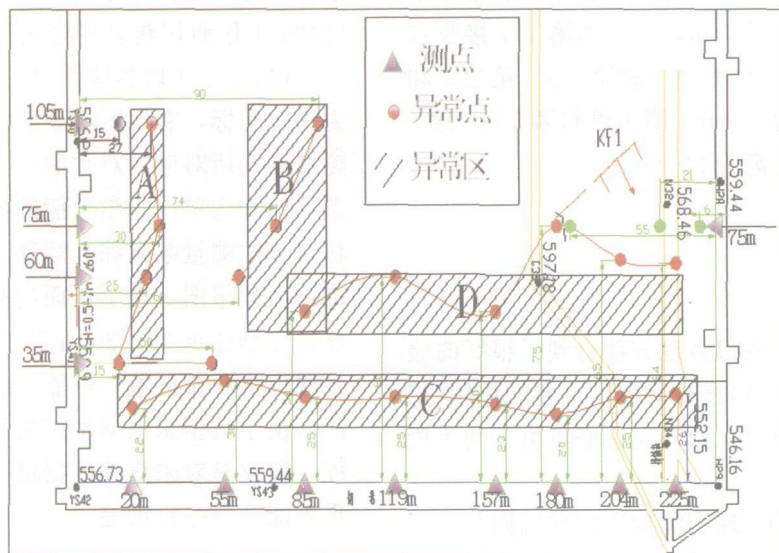


图4 15104切巷预报异常区域

Fig. 4 The prediction abnormalities area in 15104 cutting lane

一煤层还是在同一矿的不同煤层,煤与瓦斯突出极不均一。因此,如果知道工作前方构造的形态和位置,再根据地质力学方法确定构造性质,即运用应力场分析确定前方构造的力学性质,是否有好的储气构造,即可预测煤与瓦斯突出的危险性,这样对于保证井下安全有重大意义。

这次瑞利波探测技术在寺家庄煤矿的试验,在探测瓦斯聚集区域开辟了一条新的道路。通过现场试验发现,瑞利波探测技术在国阳公司下属寺家庄煤矿得到了有效验证,瑞利波探测技术操作简单,探测施工效率较高,超前预测距离远,数据解释方法容易掌握。它与以往的打钻探测相结合,能取得更好的地质信息,大大节约了打钻成本,因此具备推广价值。

瑞利波探测技术在工程中的应用已很广泛,但实际应用中还存在以下问题:

(1) 关于实测面波频散曲线的Z字型现象,从理论模型的解析中还不能精确地解释此现象。因为理论的频散曲线,在介质分界面处只出现折点,对此还需深入研究和数值模拟计算。

(2) 测试深度相对较浅,一般情况下可靠的测量深度为20~30 m,最深不过50~60 m。当测试深度加大时,震源信号就必须具有足够的低频信号,否则误差也会加大。

(3) 若要求勘探深度较深时,则应适当选择较大的道间距。但随着偏移距的增大,拐点会越来越明显。但是随偏移距加大,低频面波衰减变大,有效信号的损失也会加大,这样频散曲线上深部信息的可靠性变差。

瑞利波勘探的精度和深度受采集参数、震源、检波器、及野外工作环境等许多因素的综合影响,片面强调某一方面而忽略其他方面的影响是不合适的。因此利用瑞利波探测技术预测煤与瓦斯突出仍需要继续研究和进行实验分析,从而更准确的利用瑞利波技术探测瓦斯异常聚集区域,对煤与瓦斯突出作出更准确的预测与分析。

参考文献 (References):

- 杨成林. 瑞利波勘探 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- Yang Chenglin. Rayleigh wave exploration [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1993.
- 李锦飞, 李人厚. 瑞利波勘探技术的发展与应用 [J]. 煤炭学报, 1997, 22 (2): 122-126.
- Li Jinfei, Li Renhou. The development and application of Rayleigh wave exploration technology [J]. China Coal Society, 1997, 22 (2): 122-126.
- 张碧星, 鲁来玉, 鲍光淑. 瑞利波勘探中“之”字形频散曲线研究 [J]. 地球物理学报, 2002, 45 (2): 263-274.
- Zhang Bixing, Lu Laiyu, Bao Guangshu. Mechanism of

- zigzag dispersion curves in Rayleigh wave exploration study [J]. Chinese J. Geophys. 2002, 45 (2): 263-274.
- 张碧星, 肖柏勋, 杨文杰, 等. 瑞利波勘探中“之”字形频散曲线的形成机理及反演研究 [J]. 地球物理学报, 2000, 43 (4): 557-567.
- Zhang Bixing, Xiao Boxun, Yang Wenjie, et al. Mechanism of zigzag dispersion curves in Rayleigh wave exploration and its inversion study [J]. Chinese J. Geophys. 2000, 43 (4): 557-567.
- 柴华友, 汪江波, 周一勤, 等. 瑞利波分析方法及应用进展 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21 (1): 119-125.
- Chai Huayou, Wang Jiangbo, Zhou Yiqin, et al. Analysis Method and Application of Rayleigh wave [J]. Chinese journal rock mechanics, 2002, 21 (1): 119-125.
- 柴华友, 刘明贵, 白世伟, 李祺. SASW 测试相位差不确定性分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22 (10): 1742-1748.
- Chai Huayou, Liu Minggui, Bai Shiwei, Li Qi. Sasw test phase uncertainty analysis [J]. Chinese journal rock mechanics, 2003, 22 (10): 1742-1748.
- 肖伯勋, 李长征. 瑞雷面波勘探技术研究述评 [J]. 地球物理学报, 2004, 01 (1): 38-47.
- Xiao Baixun, Li Changzheng. Rayleigh surface wave exploration Technology Review [J]. Chinese J. Geophys. 2004, 01 (1): 38-47.
- J. S. Heisey, K. H. Stoke and A. H. Meyer. Muduli of pavement systems from spectral analysis of surface waves [J]. Transportation Research Record, No852, D. C. Washighton, 1982.
- 刘云祯, 王振东. 瞬态表面波法的数据采处理系统及其应用实例 [J]. 物探与化探, 1996, 20 (1): 28-33.
- Liu Yunzhen, Wang Zhendong. Transient surface wave method of data mining processing system and its applications [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1996, 20 (1): 28-33.
- 肖柏勋. 岩体原位弹性波测试技术应用研究. “九五”国家科技攻关项目成果报告 [R]. 2000.
- Xiao Baixun. Elastic wave of rock in-situ testing techniques applied research. "95" national scientific and technological project report on the outcome [R]. 2000.

Using Rayleigh Wave Exploration Technology for Detecting Gas Accumulating Area

ZHAO Zhao, WANG Yong, ZHANG Zhong-li

(Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an, 710054 Shaanxi, China)

Abstract: During coal production, accidents of coal and gas outburst happen frequently in china, which has become the top killer of miners. Coal and gas outburst is the result of various factors such as ground stress, gas, and coal body structure, of which the geological factor plays a leading role. Complex regional geological structures are usually of the gas disaster-prone areas. The position where coal and gas outburst often happens is usually related to the destruction of the geological structures, such as secondary fault, small anticline, and fractured zone. The author briefly describes a method, the Rayleigh wave exploration technology, for detecting regional geological structure. This method makes use of the Rayleigh wave dispersion characteristics and the principles related to mechanical properties of rock and soil. The analysis, process, and interpretation of the underground field data shows that the prediction of abnormal area is in good agreement with that of practical drilling. So it is an effective detecting method.

Key words: Rayleigh waves; exploration; gas; advance exploration; prediction