

文章编号: 1001-1986(2007)06-0054-03

# 利用地震 P 波确定煤层瓦斯富集带的分布

崔若飞, 钱 进, 陈同俊, 毛欣荣, 李仁海, 刘 伍, 高 级, 崔大尉

(中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 查明煤层瓦斯富集区域, 对可能的瓦斯突出点进行预报, 是当前煤矿生产中亟待解决的重要课题。利用地震 P 波对裂缝性地层所表现出的方位各向异性特征, 根据地震属性随方位角变化可以预测裂隙发育方向和密度的基本原理, 应用多种地震 P 波方位属性预测裂隙发育带。通过对淮南张集煤矿西三采区三维地震 P 波资料的处理, 获得 6 个方位地震数据体, 从中提取多种与煤层和围岩裂隙相关的地震属性, 并计算出裂隙的发育方向和密度, 为确定瓦斯富集带的分布提供了一种新的途径。

**关键词:** 地震 P 波; 裂隙; 方位各向异性; 瓦斯富集带; 地震属性

**中图分类号:** P631.4 **文献标识码:** A

## Locating the distribution of coalbed methane enriched area using seismic P-wave data

CUI Ruo-fei, QIAN Jin, CHEN Tong-jun, MAO Xin-rong, LI Ren-hai, LIU Wu, GAO Ji, CUI Da-wei

(College of Resource and Earth Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** It is an important problem to be urgently settled that the coalbed methane enriched area must be detected and the possible gas outburst position should be predicted during the coal mine production. Based on the azimuth anisotropy of seismic P-waves to fractured strata and the prediction principle of the fracture orientation and density utilizing seismic attribute variation with azimuth, fracture zones are detected using seismic P-wave azimuth attributes. After 3D seismic P-wave data in West 3 mining area, Zhangji coalmine, Huainan, are processed, 6 azimuth data cubes are obtained from which several attributes related with coal and roof/bottom fracture are extracted, and then, fracture density and orientation are measured. This method is a new tool for locating the distribution of coalbed methane enriched area.

**Key words:** seismic P-wave data; fracture; azimuth anisotropy; methane enriched area; seismic attribute

瓦斯突出是指煤矿生产过程中, 从煤层、岩层及采空区释放出的各种有害气体在工作面上富集并涌出, 从而引起瓦斯爆炸的煤矿灾害。影响煤层瓦斯含量的主要因素有煤化程度、煤层的埋藏深度、煤层和围岩的透气性、煤层倾角、地质构造等。瓦斯涌出量预测是矿井进行通风设计时必不可少的环节, 瓦斯防治措施是否得当将直接影响到矿井的安全生产。因此, 查明煤层瓦斯富集区域, 对可能的瓦斯突出点进行预报, 是当前煤矿生产中亟待解决的重要课题。一般认为, 煤层中的节理裂隙密集带是瓦斯富集的部位。所以, 预测节理裂隙密集带是查明煤层瓦斯富集区域的前提。

本文基于地震 P 波对裂缝性地层所表现出的方位各向异性特征, 根据地震属性随方位角变化可以预测裂隙发育方向和密度的基本原理, 运用多种地震 P 波方位属性预测裂隙发育带<sup>[1-2]</sup>。通过对淮南

张集煤矿西三采区三维地震 P 波资料的处理, 获得 6 个方位地震数据体, 并从中提取多种与煤层和围岩裂隙地震属性, 应用修正的阻尼最小二乘算法, 计算出裂隙的发育方向和密度, 为确定瓦斯富集带的分布提供了一种新的途径。

## 1 基本原理

根据弹性力学理论, 裂缝性地层表现出各向异性特征。因此, 裂缝研究的理论基础是地球介质的各向异性理论。

国内外学者通过大量的正演模拟计算证明了反射 P 波在裂隙性地层中表现为方向各向异性。主要表现在叠前 P 波数据的振幅、速度和旅行时差随炮检距或方位角的变化<sup>[3-6]</sup>。研究结果表明, 反射 P 波对裂缝性地层所表现出的方位各向异性特征非常敏感, 所有的 P 波属性分布函数均为椭圆, 如图 1 所

收稿日期 2007-07-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(40574057)

作者简介: 崔若飞(1954—), 男, 河南洛阳人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为煤田地震勘探理论与工程应用。

示。图 2 给出一个宏面元的方位道集, 每 10° 一个 CMP 道集, 18 个道集按方位依次排列, 箭头的位置为目的层。从图 2 中可以发现, 宏面元的每个方位道集的振幅强弱是不同的, 将它们提取并做椭圆拟合, 椭圆的长轴方向作为裂隙的主方向, 就可以得到裂隙发育带的分布, 见图 3。

在煤田地震勘探中, 可以应用方位各向异性的基本原理, 即利用地震属性随炮点和检波点入射方位角的变化来预测裂隙的发育方向和发育密度。Mallick 等人经过大量的研究发现, 固定偏移距的地震 P 波振幅和速度等可表达为<sup>[3]</sup>

$$F(\alpha) = A + B \cos 2\alpha, \tag{1}$$

式中  $\alpha$  是激发方向相对于裂隙走向的取向角;  $A$  是与偏移距有关的偏置因子;  $B$  是与偏移距和裂隙特征有关的振幅和速度等调制因子;  $F(\alpha)$  则为振幅和速度等的方位各向异性特征。

在 Mallick 等人的理论模型研究中不但发现可以通过  $\alpha$  来计算裂隙的发育方向, 而且得到裂隙密度与  $B/A$  值成正比的结论。因此, 地震 P 波属性提供了一种定量计算裂隙密度的方法。

图 4 为淮南张集煤矿西三采区地震 P 波速度随入射方位角的变化规律, 图中点代表实际的速度样点值, 线代表数值拟合后的曲线。

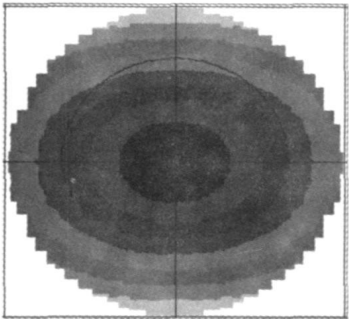


图 1 P 波属性的方位各向异性

Fig.1 Azimuth anisotropy of P-wave attributes

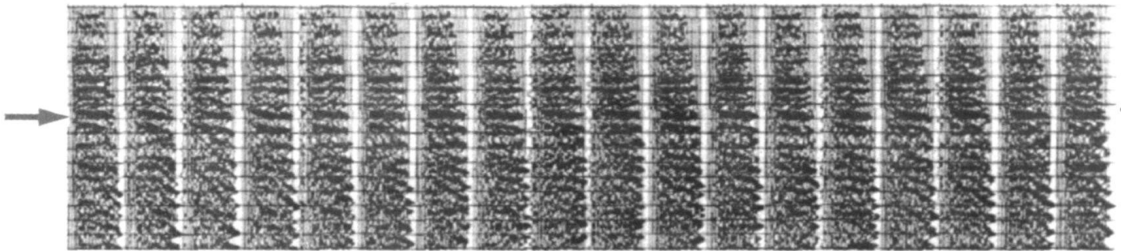


图 2 宏面元的方位 CMP 道集

Fig.2 Azimuth CMP gathers in the macro bin

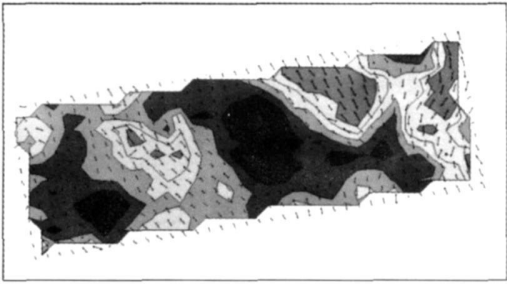


图 3 利用地震 P 波属性得到裂隙发育带的分布

Fig.3 Fracture distribution determined by using seismic P-wave attributes

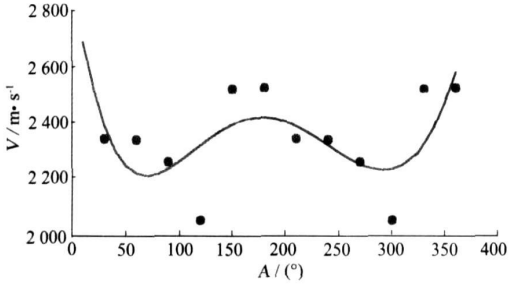


图 4 地震 P 波速度随入射方位角的变化

Fig.4 Variation of seismic P-wave velocity with incidence azimuth

2 基本方法

方位道集地震数据处理方法的基本思路是: 为了增加用于裂隙属性计算的有效覆盖次数, 首先将 9 个面元的地震数据形成宏面元 (30 m×30 m), 然后按 30° 的方位角增量抽取 6 个方位道集, 分别对这 6 个方位道集进行速度分析、NMO 校正、叠加和偏移, 得到 6 个方位偏移数据体, 最后从中提取多种地震属性用来计算裂隙的发育方向和密度, 并分析比较每种地震属性的效果。处理流程见图 5。

3 应用实例

利用淮南张集煤矿西三采区三维地震 P 波资料

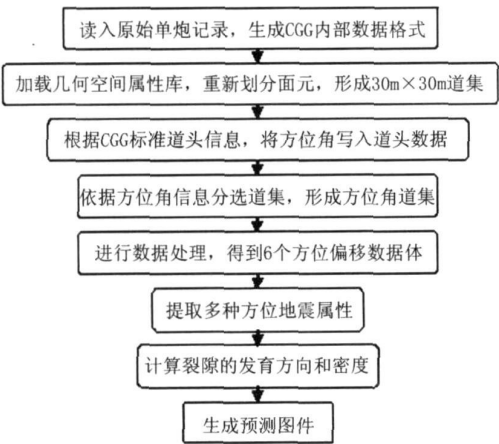


图 5 处理流程图

Fig.5 Flow chart of processing for azimuth gathering  
进行处理和解释,观测系统为束状 8 线 8 炮中点激发,48×8 道接收,覆盖次数为 24 次,CMP 网格为10 m×10 m,在偏移前通过插值加密为 5 m×5 m。该区的三维地震资料采集过程中存在问题,由于采用的观测系统方位角较窄,导致了各个方位角上的炮检距和覆盖次数分布不十分均匀,因此在抽取方位道集时,要尽量使各个方位上的炮检距和覆盖次数分布均匀,减小其对处理结果的影响。

使用本文提出的方法,先抽取方位道集,并对其进行相应的处理,得到 6 个方位偏移数据体;然后利用地震属性技术,针对某一目标层位,从时间属性、振幅属性、频率属性和相位属性中分别提取了波峰相位时间、时域平均能量、峰值频率和平均频率相位 4 种属性;其次用这 4 种地震属性分别计算出裂隙的发育方向和密度,得到图 6 成果。图 6a 为利用波峰相位时间属性识别裂隙带;图 6b 为利用时域平均能量属性识别裂隙带;图 6c 为利用峰值频率属性识别裂隙带;图 6d 为利用平均频率相位属性识别裂隙带。图 6 中,直线方向表示裂隙的方向,直线长度表示裂隙的密度。

综合各种地震属性预测结果得到最终的预测成果图(图 7)。将图 7 的预测成果与图 8 的地震解释成果比较后,发现两者之间非常吻合,这就验证了利用地震 P 波方位属性预测裂隙发育带的正确性。结果还表明,利用平均频率相位属性识别裂隙发育带的效果最为明显,利用峰值频率的效果次之,而利用波峰相位时间和时域平均能量的效果最弱。

此外 地震属性的提取与地震资料的质量关系密切,这就要求高信噪比、高分辨率和高保真度的地

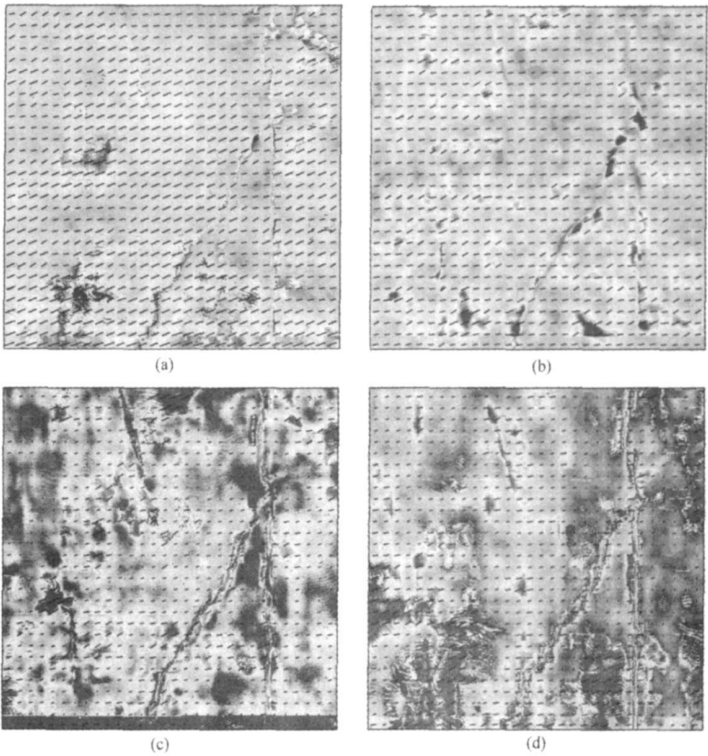


图 6 利用地震 P 波属性识别裂隙发育带

Fig.6 Fracture detection determined by using seismic P-wave azimuth attributes  
a——波峰相位时间;b——时域平均能量;c——峰值频率;d——平均频率相位



图 7 最终预测成果图

Fig.7 Final prediction

震资料的采集和处理,即使用宽方位三维地震勘探采集技术进行野外数据采集,使各个方位角上的炮检距和覆盖次数分布更加合理,然后进行精细处理,从而可以得到品质较高的方位道集数据。

4 结论

理论分析和实际资料处理结果表明,应用方位各向异性技术和地震属性技术,利用地震 P 波方位

文章编号: 1001-1986(2007)06-0057-04

# 2D 有限差分偏移技术在探地雷达信号成像中的应用

甄志中<sup>1</sup>, 王晋国<sup>2</sup>, 石显新<sup>3</sup>

(1. 西安文理学院物理系, 陕西 西安 710065; 2. 长安大学物理系, 陕西 西安 710064; 3. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 由于绕射波的存在, 很难准确估计探地雷达剖面中目标的尺寸, 因此, 对目标进行成像研究具有重要意义和应用价值。采用 2D 有限差分偏移技术对典型的合成记录及实测探地雷达剖面进行了成像处理, 结果表明, 偏移可以大大提高探地雷达资料的横向分辨率。在实际资料处理中, 通过对点目标绕射波的准确归位, 可以简单估计地下介质的电磁波速度。讨论了工程处理中速度模型的建立, 实际数据的非零偏等偏移处理中的核心问题。

**关键词:** 2D 有限差分; 偏移; 探地雷达; 成像

**中图分类号:** P631.3      **文献标识码:** A

## Ground penetrating radar data imaging via the 2D finite-difference migration method

ZHEN Zhi-zhong<sup>1</sup>, WANG Jin-guo<sup>2</sup>, SHI Xian-xin<sup>3</sup>

(1. Department of Physics, Xi'an University of Arts and Science, Xi'an 710065, China;  
2. Department of Physics, Chang'an University, Xi'an 710064, China;  
3. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Due to the interference of diffraction waves, the position and shape of detects can not be easily interpreted. Therefore migration is very important for ground penetrating radar(GPR) data processing. The synthetic and filed GPR data are processed by the 2D finite-difference migration method. The study results indicated that compared to the GPR data, the spatial resolution is increased obviously using the migration method. When the diffraction energy is efficiently focused on defects, the electromagnetic wave velocity underground can be estimated in filed GPR data. Some factors, such as velocity moded, real offset section which effect the GPR migration results are mentioned.

**Key words:** 2D finite-difference; migration; GRP; image

收稿日期: 2007-06-05

基金项目: “十一五”国家科技支撑项目(2006BAF02A007)

作者简介: 甄志中(1948—), 男, 河南孟县人, 教授, 主要从事理论物理、波在复杂煤质中的传播及成像等研究。

