

彭苏萍, 高云峰, 杨瑞召等. AVO 探测煤层瓦斯富集的理论探讨和初步实践—以淮南煤田为例. 地球物理学报, 2005, 48(6): 1475 ~ 1486

Peng S P, Gao Y F, Yang R Z, et al. Theory and application of AVO for detection of coalbed methane— A case from the Huainan coalfield. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2005, 48(6): 1475 ~ 1486

AVO 探测煤层瓦斯富集的理论探讨和初步实践 ——以淮南煤田为例

彭苏萍, 高云峰, 杨瑞召, 陈华靖, 陈信平

中国矿业大学资源与安全工程学院, 北京 100083

摘 要 以煤层瓦斯富集地质理论为基础, 根据煤层瓦斯与常规砂岩储层天然气赋存机理的对比, 提出了以煤层割理裂隙为探测目标的煤层瓦斯富集 AVO 技术预测理论. 根据 AVO 理论模拟, 煤层顶面反射振幅通常是随着炮检距的增大而减小; 不同结构媒体在 AVO 响应上存在明显的差异, 随着煤层割理裂隙发育程度的增强, 煤层顶面 AVO 的截距和梯度都会增大; 煤层厚度的调谐作用对其 AVO 特征有明显的影响. 通过对淮南煤田实际地震资料的处理和分析, 探讨了煤田地震资料 AVO 的处理和解释方法, 认为 AVO 梯度和伪泊松比反射系数是对煤层割理裂隙发育程度最为敏感的属性, 获得了研究区内有工程使用价值的瓦斯突出区预测成果, 初步证实了应用 AVO 技术检测煤层割理裂隙、预测煤层瓦斯富集部位的可行性.

关键词 AVO, 含煤地层, 瓦斯富集, 淮南煤田

文章编号 0001-5733(2005)06-1475-12 中图分类号 P631 收稿日期 2004-11-22, 2005-08-30 收修定稿

Theory and application of AVO for detection of coalbed methane ——A case from the Huainan coalfield

PENG Su-Ping, GAO Yun-Feng, YANG Rui-Zhao, CHEN Hua-Jing, CHEN Xin-Ping

School of Safety and Resource Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

Abstract Based on the geological theory of coalbed methane accumulation and contrast between the preserving mechanism of methane in coalbeds and that of natural gas in sandstone reservoirs, we propose a theory for detecting methane accumulation targeting at cleats and fractures in coalbed with the AVO technique. According to AVO modeling, amplitudes of the coalbed top interface decrease with the offset increasing. The AVO responses of coal of different structures are considerably different. Both intercept and gradient on the coalbed top interface increase with the density of cleats and fractures increasing. It also shows that the tuning effect of coalbed thickness can impair its AVO response. Then the AVO technique is practiced in the Huainan coalfield, and methods for seismic data AVO procession and interpretation are studied. The result shows that AVO attributes such as gradient and pseudo Poisson's ratio reflectivity are sensitive to gas accumulation and density of cleats and fractures in coalbeds. Dangerous zones with methane accumulation in the study area have been predicted according AVO anomalies. And the result is of engineering value for methane prevention and control.

基金项目 创新研究群体基金(50221402), 国家杰出青年基金项目(50025413), "十五"国家科技攻关重点项目(2001BA803B0403)和 973 项目(2002cb211707)资助.

作者简介 彭苏萍, 男, 1959 年生, 博士, 1988 年毕业于中国矿业大学北京研究生部, 教授, 博士生导师, 主要从事工程地质和与工程物探方面的教学与科研工作. E-mail: psp@cumt.edu.cn

Furthermore, the AVO technique has been confirmed practicable in detection of cleat and fracture density and gas accumulation in coalbeds.

Keywords AVO, Coal bearing strata, Methane accumulation, Huainan coalfield

1 引言

煤层瓦斯富集、突出和爆炸是煤矿开采过程中的重大自然灾害,严重威胁煤矿的安全生产和工作人员的人身安全,同时也制约着煤炭行业的发展和经济效益的提高^[1]. 随着矿井开采深度的增加,生产规模的扩大和集中,综合机械化开采强度的增大,煤与瓦斯突出事故发生的可能性和危害性也日趋严重. 因此,对煤与瓦斯突出做出预测工作的需求也更加迫切.

按预测范围和时间不同,煤与瓦斯突出的预测工作应包括区域性预测、局部预测和工作面预测三部分内容^[2]. 目前的研究工作主要集中在区域突出危险性预测和工作面突出危险性预测两个方面. 前者对煤矿生产缺少直接指导意义,后者只能预测掘进前方十几至几十米的距离,而且成本很高. 在局部预测方面,由于缺乏合适的技术和手段,相关的工作则很少,这也造成了实际预测工作的脱节.

地震勘探技术的发展及其在煤田的广泛应用,使根据地震资料预测煤层瓦斯突出区成为局部煤与瓦斯突出预测方法研究的重要领域,也是煤与瓦斯突出非接触式预测技术发展的必然趋势^[3].

在地震勘探中,作为烃类、岩性和裂隙的重要检测手段,AVO(amplitude variation with offset)技术在石油与天然气研究领域已经得到了广泛应用^[4-8]. 随着煤层气工业的兴起,一些学者已经把该项技术用于煤层和煤层气的研究工作中,并取得了一定效果,例如,Ramos and Davis^[9]在 Cedar Hill 煤层气田用 AVO 方法检测煤层裂隙;张爱敏等人^[10]研究了不同厚度煤层的 AVO 特征. 这些工作也为利用 AVO 技术预测煤层瓦斯局部富集和突出带来了希望.

2 AVO 技术探测煤层瓦斯局部富集的原理

常规含气砂岩 AVO 研究是以天然气为直接检测目标的. 其物理基础是:当水饱和砂岩变为气饱和砂岩时,由于游离态的天然气的压缩模量等于零,所以含气砂岩纵波速度降低、横波速度基本不变,泊

松比减小,从而使得气饱和砂岩与泥岩盖层之间的波阻抗差和泊松比差别增大,在地震资料上则会表现为明显的 AVO 异常.

煤层瓦斯的富集与其生成和运移是密切相关的,是整个成煤作用过程的结果^[11]. 其影响因素包括煤岩组成、煤的变质程度、煤层厚度、煤体结构、裂隙系统、煤层的埋藏深度以及围岩性质等^[12]. 通常,在不是特别大的研究范围内,同一煤层的煤岩组成、煤的变质程度、煤层厚度、煤层的埋藏深度以及围岩性质等因素变化不大,煤体结构和裂隙系统发育程度则是决定瓦斯富集程度的重要因素. 煤层中割理和裂隙越发育,瓦斯富集的程度会越高,其原因在于煤层中 90% 以上的瓦斯以分子状态吸附在微孔隙和割理裂隙表面,而游离态的瓦斯则很少^[13,14].

根据 Gregory 的实验室测定成果^[15],岩石的裂隙引起岩石的 V_p/V_s (纵、横波速度之比)和泊松比 σ 增大. 美国新墨西哥州 Cedar Hill 煤层气田煤样品试验测定结果(少量裂隙、中等裂隙、密集裂隙等三种分别为 0.31, 0.37, 0.43)表明煤的泊松比也是随着裂隙发育程度增大而增大的^[9]. 一般压实的砂岩泊松比在 0.17 ~ 0.26 之间,压实的泥岩泊松比在 0.28 ~ 0.34 之间^[16,17]. 因此,即使煤层的顶板和底板是泥岩,当煤层中的割理裂隙密度较大时,煤层与其顶(底)板之间将存在明显的泊松比差.

与常规砂岩储层中的天然气相比,瓦斯对煤层弹性参数的影响比较复杂. 吸附态瓦斯在范德华力和孔隙水压力作用下以类似液体状态凝结在煤孔隙和裂隙的表面^[18]. 根据 Gassmann 方程^[19]和 Biot 理论^[20],吸附态瓦斯对弹性参数的影响类似于孔隙水,其影响是可以忽略的. 在分析气体对岩石弹性参数的影响时,Gassmann 方程和 Biot 理论假设岩石孔隙连通性好,使得游离态气体能够在地震波的扰动下在孔隙之间自由流动,在地震波的半个周期内从初始平衡状态达到新的平衡状态. 在满足这一假设条件时,孔隙中的游离态气体才能够导致岩石泊松比明显降低. 煤层微孔隙的孔径主要在 5 ~ 8 Å 之间,微孔隙的渗透率很小,只有毫达西数量级,游离态瓦斯不能够在微孔隙之间自由流动. 因此,可以忽略煤层微孔隙中的游离态瓦斯对煤泊松比的影响. 另外,由于绝大多数煤层都富含水,割理裂隙中

的游离态瓦斯主要是溶解在水中,其对煤泊松比的影响也可以被忽略。但是,当煤层不饱水(干燥煤层或者地下水仅仅充填了部分割理裂隙空间)时,游离态瓦斯会占据全部或部分割理裂隙空间。在这种情况下,根据 Cassmann 方程和 Biot 理论,割理裂隙中的游离态瓦斯将导致煤的泊松比减小,其影响不可忽略。而割理裂隙本身对煤泊松比的影响与割理裂隙中游离态瓦斯对煤泊松比的影响相反,因而根据泊松比等弹性参数难以对煤层的裂隙发育程度和瓦斯富集情况做出准确判断。

因此,在通常条件下(除了不饱水煤层),可以利用 AVO 技术探测煤层中的割理裂隙富集部位,进而预测瓦斯富集程度。

3 含煤地层理论模型 AVO 特征

在瓦斯局部富集 AVO 技术探测原理分析的基础上,筛选了一套数据(见表 1),进行 AVO 理论模型正演计算,研究煤层顶面振幅随入射角(偏移距)变化的特征。表中使用的煤层顶板砂岩和泥岩的纵波速度、横波速度、密度数据来自淮南某煤矿钻井岩芯实验室测定的资料^[21]。煤层参数则是参考已有的文献数据^[10,22,23]。

表 1 AVO 模型参数表

Table 1 Parameters of AVO models

	$V_p/(m \cdot s^{-1})$	$V_s/(m \cdot s^{-1})$	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	σ
原生煤 I ^[23]	2400	1259.4	1.500	0.310
构造煤 II ^[10]	1960	1090	1.390	0.276
煤层 构造煤 III ^[23]	1500	681.39	1.350	0.370
构造煤 V ^[23] (软分层)	650	195.98	1.250	0.450
顶板 泥岩	3170	1585	2.360	0.333
砂岩	3601	2172	2.562	0.214

在 AVO 模型分析中,首先研究具有不同煤体结构的煤层 AVO 特征,而不考虑薄层调谐效应的影响。AVO 正演模拟计算使用以 Zoeppritz 方程算法^[24,25]为基础的 AVO 正演软件。模型中煤层厚度设计为 50m,设计了原生煤 I、构造煤 II、构造煤 III、构造煤 V 等四种煤体结构的煤层;顶板和底板设计为砂岩、泥岩两种,顶板和底板的厚度各为 100m;选择 58Hz 零相位 Ricker 子波进行计算,结果见图 1。由图可见,(1)顶板岩性对 AVO 特征有很大影响,图中的曲线明显地按照顶板岩性(砂岩、泥岩)分为两

组;(2)当入射角小于 15°时,振幅随入射角的变化不明显;入射角在 15°~40°之间时,反射系数随入射角明显变化,对 AVO 分析最有意义;(3)对于不同破碎程度煤体,其反射系数随着入射角变化的梯度有很明显差异,因此,可以使用 AVO 探测煤体结构局部破碎,进而可能探测瓦斯局部富集;(4)无论是砂岩顶板还是泥岩顶板,软分层(即非常破碎的构造煤)的 AVO 特征都是突出的。这有利于使用 AVO 技术预测煤体结构变化以及瓦斯富集情况。

尽管厚煤层 AVO 响应能够展现不同煤体结构煤层的 AVO 特征,但是在实践中,煤层的厚度都比较薄(通常小于 10m),有必要考虑薄层调谐效应的影响。为此设计了另外一组模型,模型的顶板和底板均设计为泥岩,厚度为 100m,弹性参数为 $V_p = 3200m/s$, $V_s = 1700m/s$, $\rho = 2.45g/cm^3$;煤层的弹性参数为 $V_p = 2200m/s$, $V_s = 1050m/s$, $\rho = 1.45g/cm^3$;煤层厚度变化范围在 1~30m 之间;计算时,仍选择了 58Hz 零相位 Ricker 子波。模型研究结果表明,煤层的厚度对 AVO 梯度 G 有明显的影响(图 2a)。当煤层厚度小于 9m(近似 1/4 波长)时, G 的绝对值随着煤层的厚度增加而增大;煤层厚度介于 9~14m 之间, G 的绝对值随着煤层的厚度增加而减小;煤层厚度大于 14m 时, G 值趋于稳定,不再随煤层厚度变化而变化。AVO 截距 P (即零炮检距处的反射振幅)随着煤层厚度增加也表现出相似的变化特征(图 2b)。因此,在进行 AVO 分析时,首先应该根据其他资料(例如,钻井资料)确定目的层厚度的变化范围和规律,以便充分考虑煤层厚度对 AVO 反演结果的影响。

综合煤层的地质和地球物理条件、AVO 响应特征以及瓦斯富集机理,与砂岩含气储层 AVO 检测相比较,可以看出使用 AVO 技术探测瓦斯富集既有有利条件,也有不利条件(见表 2)^[26]。总体上来说,煤层中瓦斯富集部位煤的波阻抗总是低于围岩,泊松比一般高于围岩。这使瓦斯富集部位的 AVO 属性具有顶板反射为负截距、正梯度,底板反射为正截距、负梯度的简单特征^[27]。例外的情况是:当煤层围岩是成岩程度很低的泥岩或疏松砂岩,围岩的泊松比很大时,瓦斯富集部位煤的泊松比可能小于或近似等于围岩的泊松比。与常规天然气在圈闭顶部富集的特性比较,煤层瓦斯的局部富集特性增加了使用 AVO 技术的必要性,然而,当煤层的厚度和顶板岩性变化时,也增大了解释 AVO 异常的困难程度。

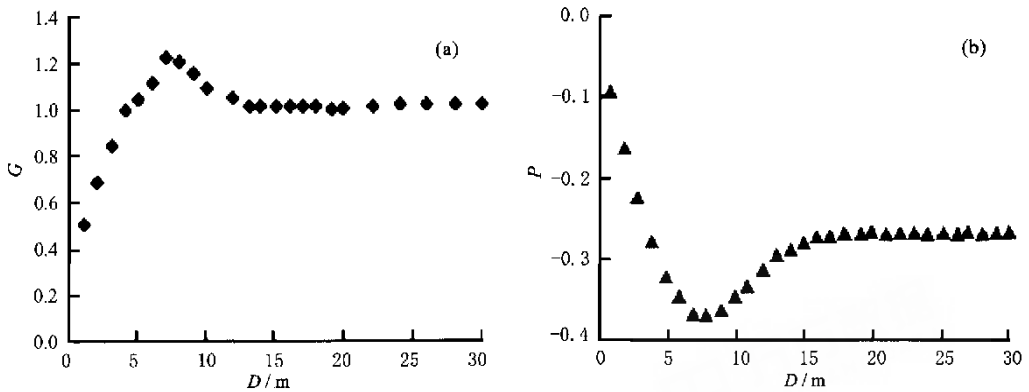


图2 煤层厚度 D 与 AVO 梯度 G (a) 和 AVO 截距 P (b) 的关系
(梯度 G 表示振幅随炮检距变化的快慢,无量纲)

Fig. 2 The correlation between coalbed thickness and AVO gradient (a) and AVO intercept (b)

表2 AVO 技术探测瓦斯富集有利条件和不利条件

Table 2 Favourable and unfavourable conditions in AVO for coalbed methane

有利条件	不利条件
1. 煤层与围岩的波阻抗差大,反射信号强,信噪比高.在强反射背景下提取 AVO 异常相对容易 2. 煤层中瓦斯富集部位的 AVO 异常特征相对简单 3. 煤层的空间展布(地质构造特征)相对稳定	1. 瓦斯富集部位煤层与围岩的泊松比差相对较小 2. 煤层的顶板岩性和厚度的变化 3. 煤层瓦斯局部富集,煤层低而变化大的渗透率

4 淮南煤田瓦斯局部富集 AVO 技术预测的初步实践

根据区域地质背景、瓦斯地质条件和地震资料采集等因素,本次研究选择淮南煤田潘三矿东四下山采区内的一个三维地震勘探区,进行实际地震资料的处理和分析,初步探讨了利用 AVO 技术预测煤层瓦斯富集部位的可行性.

4.1 三维地震勘探区概况

淮南煤田位于安徽省中北部,淮河中游的两岸,煤炭资源极为丰富,是我国重点煤炭生产基地之一.矿区含煤地层包括石炭系上统太原组、二叠系中下部的山西组、下石盒子组及上石盒子组.主要可采煤层 9~18 层,自下而上分为 A、B、C、D、E 五组,总厚度 22~34m,其中 13-1 煤单层厚度 6~10m.含煤地层具有煤层多、间距近、单层厚度大、分布连续稳定的特点.但是,由于受中生代构造的影响,矿区地质构造复杂,封闭性较好,地应力较高,主要煤层的构造煤比较发育,煤和瓦斯突出严重^[28].

潘三矿总体形态为一单斜构造,地层走向为 NWW-SEE,地层倾角一般 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$,呈浅部陡深部缓

的趋势.因受区域性南北挤压作用,井田内发育次一级的董岗郢向斜和叶集背斜.本次研究区位于叶集背斜南翼东段,基本上为一走向北西西,向南南西倾伏的单斜构造,倾角约为 $5^{\circ} \sim 7^{\circ}$.勘探区主要目的层 13-1 煤、11-2 煤和 8 煤层厚度均较大.13-1 煤层平均厚度 6.2m,赋存稳定.

勘探区三维观测系统为面元细分重叠方块式观测系统,9 线 252 炮制,接收点距和炮点距均为 40m,接收线距和炮线距均为 140m,最小炮检距 10m,最大炮检距 1372.9m.震源为高爆速成型炸药,激发井深 7m(正常情况)、11m(堤坝、路基旁)和 22~24m(建筑物附近).采样率 1ms.

勘探区内 13-1 煤、11-2 煤和 8 煤等主要煤层与砂泥岩顶底板之间存在较大的物性差异,因此,煤层顶的界面都对对应着能量强、连续性好的反射波.相对来说,11-2 煤层和 8 煤层的厚度较小,且受上部 13-1 煤层的屏蔽,反射波能量比 13-1 煤层产生的反射波能量弱,信噪比低.

4.2 三维 AVO 处理及其成果

4.2.1 三维 AVO 处理

本区 AVO 处理将常规处理与 AVO 特殊处理结合在一个完整的流程之中(图 3).图中的虚线将处

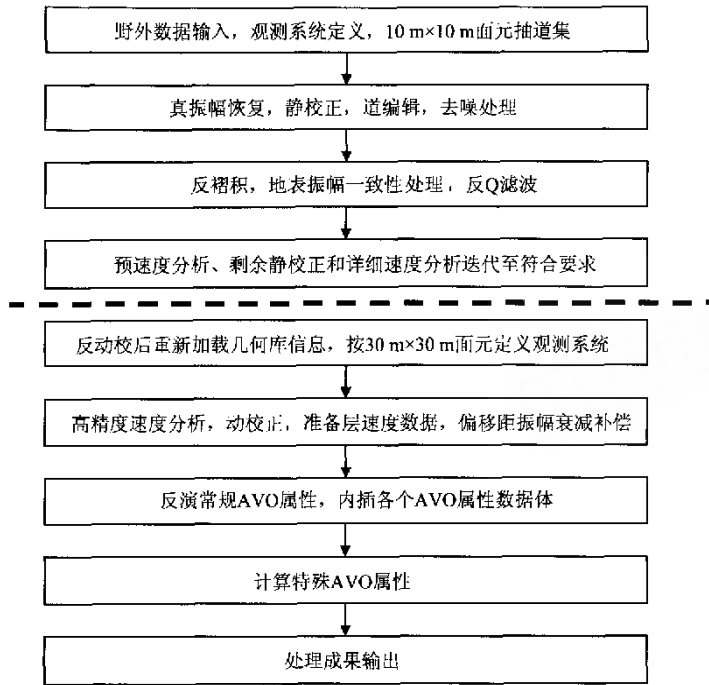


图 3 AVO 处理流程

Fig. 3 AVO processing flow chart

理流程分为两部分:上半部分是从常规处理流程继承的,通常称为 AVO 预处理,下半部分是 AVO 特殊处理。

AVO 预处理过程中需要解决的问题和采取的措施主要包括以下 6 个方面:

(1) 首先保证振幅保真处理。通过球面扩散补偿,叠前地表一致性振幅补偿,炮点域、共接收点域、偏移距域和 CDP 域等多域反褶积,对能量进行合理调整,保证了振幅处理的一致性。

(2) 加强定义观测系统时的质量控制和检查。采用多种方法发现观测系统记录和加载过程中的问题,校正炮点和检波点位置,消除野外施工带来的误差。

(3) 野外静校与初至折射静校相结合,提高静校精度,做好精细的速度分析和剩余静校正工作。

(4) 尽量在叠前处理中提高资料的分辨率。使用最小相位化反褶积,带限多道反褶积,地表一致性反褶积,零相位化反褶积合理搭配,主要应用了确定性反褶积技术,对于全区资料的实现在不降低信噪比的前提下,在有效频带范围内调整子波形态,提高分辨率。

(5) 做好叠前去噪。对于原始资料中存在的初至、面波、野值、高频噪声、无规则干扰波,分别采取

了初至切除、人工道编辑、高通滤波、中值滤波、内切滤波等去噪措施进行波场净化。

(6) 叠前做好反褶积,达到子波整形,校正子波的振幅谱与相位谱,展宽频谱,提高分辨率,衰减多次波等等多重目的。

AVO 特殊处理工作需要注意以下三个问题:

(1) 确认地震资料的偏移距符合 AVO 处理的要求。按照 AVO 处理对偏移距的要求,偏移距应当在 50m 到 1.5 倍最大勘探深度范围内均匀分布。对本次 AVO 处理使用的三维地震资料作了 CDP 面元内 2m 垂直叠加后,偏移距在 100 ~ 1000m 范围内基本上均匀分布;而偏移距小于 100m 或大于 1000m 的地震道偏少。本区 AVO 勘探目标 13-1 煤层的平均埋藏深度 670m 左右。因此,地震资料的偏移距基本上能满足 AVO 处理的最低需要。

(2) 确定适合 AVO 处理使用的面元大小。本次 AVO 处理在剩余静校正之后作反动校正,重新定义了观测系统。经过多次试验后,确定 AVO 处理使用 30m×30m 面元,这是经过实验能够使用的最小面元。

(3) 对新定义的 AVO-CDP 面元再作速度分析及各项 AVO 特别处理。

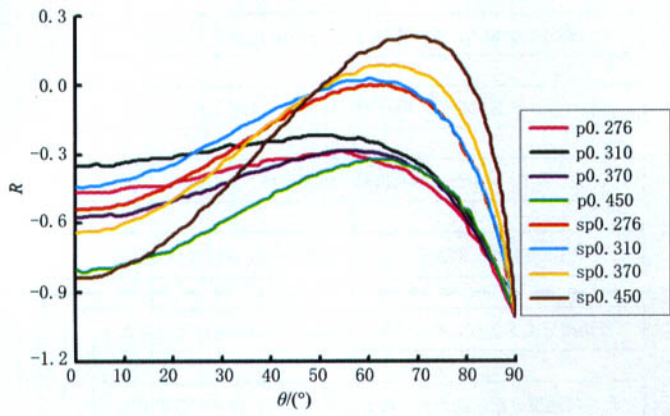


图 1 煤层顶面反射系数 R 随入射角 θ 变化关系
 sp 表示顶板为砂岩的模型, p 表示顶板为泥岩的模型, 数字表示泊松比值.

Fig. 1 Reflection coefficient versus incident angle of coalbed surface

sp represent sandstone/coalbed models, p are those mudstone/coalbed models. The following numbers of sp or p are coalbed Poisson's ratio.

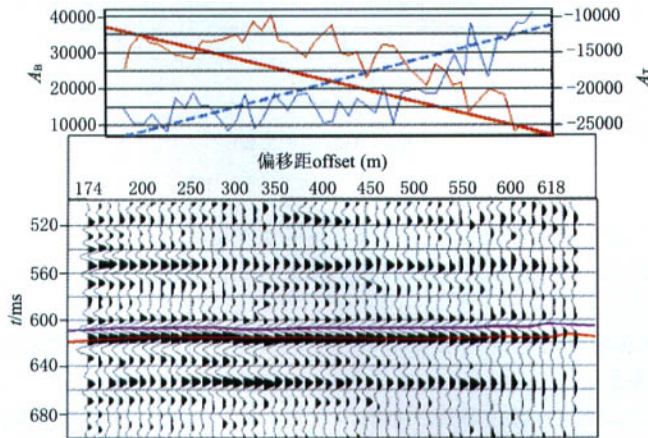


图 4 13-1 煤层瓦斯富集区 AVO 特征

Fig. 4 A CDP bin from anomaly area showing AVO characteristics of coalbed 13-1

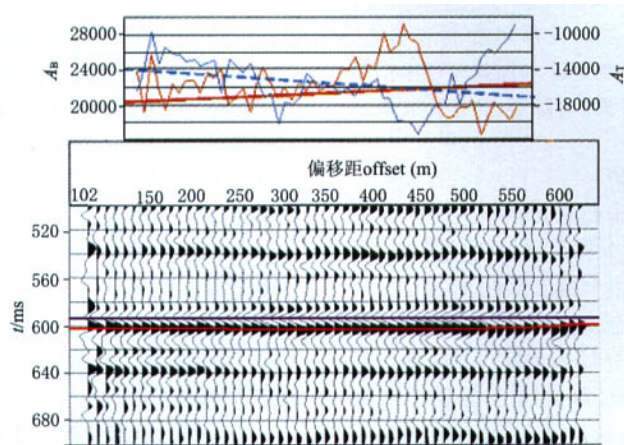


图 5 13-1 煤层非瓦斯富集区 AVO 特征

Fig. 5 A CDP bin from non-anomaly area showing AVO characteristics of coalbed 13-1

4.2.2 三维 AVO 处理成果

AVO 处理成果主要包括 CDP 超道集和各种 AVO 属性数据体。这些成果是地质特征解释的重要依据,也可以反映 AVO 处理的合理性。

图 4 展示了由异常区内 5 个 CDP 道集组合而成的 CDP 超道集及 13-1 煤层反射同相轴正相位和负相位振幅随偏移距的变化。为了绘图的方便,在超道集内按 10m 偏移距范围作了垂直叠加。图上部的红色曲线是煤层底板反射界面(反射同相轴正相位)的振幅值(A_b)随偏移距的变化;蓝色曲线是煤层顶板反射界面(反射同相轴负相位)的振幅值(A_r)随偏移距的变化。从图中可以看出,反射同相轴负相位的振幅绝对值随偏移距增大而减小,梯度为正;反射同相轴正相位的振幅值随偏移距增大而减小,梯度为负。根据 AVO 技术探测瓦斯局部富集的原理,这样的变化指示了瓦斯富集部位。

图 5 展示了非异常区 CDP 超道集及 13-1 煤层反射同相轴正相位和负相位振幅随偏移距的变化。从图中可以看出,反射同相轴负相位的振幅绝对值随偏移距增大而略有增大,呈现微弱的负梯度异常;反射同相轴正相位的振幅值随偏移距增大而有稍许增大,呈现微弱的正梯度异常。根据 AVO 技术探测瓦斯局部富集的原理,这样的变化指示瓦斯含量相对较低的部位。图 5 也从一个方面显示,本次 AVO 处理对振幅的补偿是合理的,处理结果同时保留了异常区和非异常区的振幅随偏移距的真实变化。

探测瓦斯富集使用的 AVO 反演理论方法以及所获得的 AVO 属性,与勘探天然气的 AVO 反演理论方法以及所获得的 AVO 属性^[29]相同。需要说明的是:(1)反演前对 CDP 道集作了严格的顶部切除,以排除临界反射的影响。(2)对反演获得的各个 AVO 属性数据体做内插,使得数据体的纵/横测线距与常规偏移叠加数据体的测线距相同。(3)选择了目标煤层反射同相轴的正相位对应的 AVO 异常,作水平切片,以方便地利用地震资料常规解释成果。(4)在现行 AVO 理论中,根据地震资料不能直接计算泊松比值。文献[30]在假定 $V_p/V_s = 2$ 的条件下,将伪泊松比反射系数($\Delta\sigma$)定义为

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} \approx \frac{\Delta V_p}{V_p} - \frac{\Delta V_s}{V_s}$$

式中 ΔV_p 、 ΔV_s 、 $\Delta\sigma$ 分别是反射界面两侧介质的纵波速度、横波速度、泊松比的差值。

在 AVO 处理中,也不能直接根据上式计算伪泊松比反射系数。但是,在假设 $V_p/V_s = 2$ 的条件下,

可以证明,伪泊松比反射系数等于截距与梯度之和的一半^[31]。本次 AVO 处理的伪泊松比反射系数就是按照这种假设计算的。

4.3 三维 AVO 成果解释

在 AVO 成果解释过程中,主要是通过分析 AVO 异常的分布与研究区内的小型褶曲、断层、煤层厚度以及已知钻孔资料等地质因素之间的关系,研究 AVO 异常对煤层瓦斯局部富集表征能力。

4.3.1 AVO 异常与小褶曲的关系

在 13-1 煤层的 AVO 梯度异常与该煤层底板等时线的叠合图中(图 6),红色表示强负梯度异常,即振幅随偏移距增大而减小的梯度大。黑色曲线是根据叠加偏移数据体解释的 13-1 煤层底板反射时间绘制的等时线。三条蓝色虚线指示了三个背(向)斜轴的大致位置。

常规地震资料地质解释结果表明,13-1 煤层在测区内有两个小型背斜和一个小型向斜由南向北呈“簸箕”状展开。测区东南部存在两条大断层,它们延伸到测区之外。“簸箕”状背(向)斜这一最低层次的叠合构造格局似乎与形成测区南部两条较大断层的构造运动有关。据此分析认为,单斜背景下出现的小型背(向)斜主要是后期构造运动作用的结果。按照地质力学对构造应力和断裂分布的预测,这些背(向)斜轴部和倾没(转折)端是地应力集中的地方,也比较容易产生层间滑动现象。因此,这些部位是煤体比较容易破碎,“软分层”容易发育的地方,也应当是瓦斯富集的地方。

根据 AVO 梯度异常集中出现的位置,将强异常分为 A、B、C 三个异常区。其中,强梯度异常出现在背(向)斜轴部的位置,并与背(向)斜轴部曲率的大小相关。A 异常区是测区内主要的异常区,它出现在中部向斜的轴部,沿向斜同相轴,南西部异常强,北东部异常相对较弱。该向斜轴部的形态,北东部相对宽缓,南西部曲率较大。B 和 C 异常区都出现在背斜的倾没(转折)端。将图中强负梯度异常区的位置解释为煤体破碎、“软分层”发育、瓦斯富集的位置,既符合地质力学的规律,也符合地震反射的规律。

另外,如果在探测天然气时在向斜轴部出现 AVO 强异常区,那就很反常了,也不可能是天然气赋存的标志,而有可能是向斜导致的地震波能量聚焦。但是,探测煤层瓦斯富集时,探测的对象不是游离态的瓦斯而主要是吸附态的瓦斯,AVO 强异常区出现在向斜轴部,应当视为正常的现象。在本测区,由于小向斜的曲率很小,出现在向斜轴部的 AVO 异

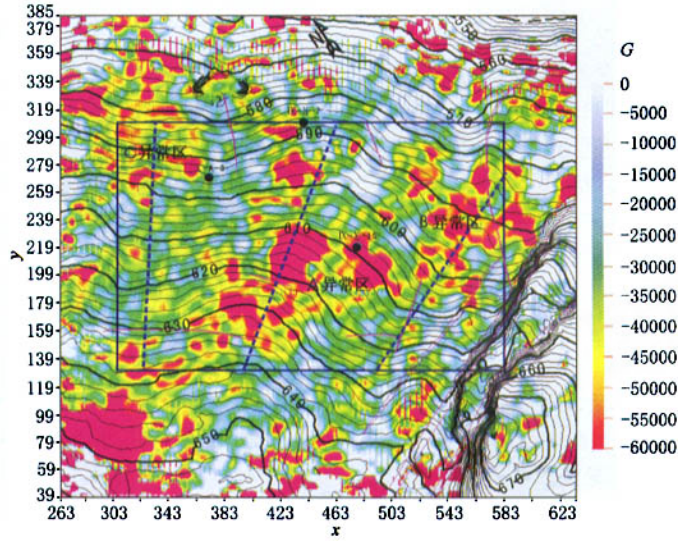


图 6 13-1 煤层等时线背景下的梯度异常(等值线单位:m)

Fig. 6 AVO gradient anomaly in the background of isochrone of coalbed 13-1 (unit: meter)

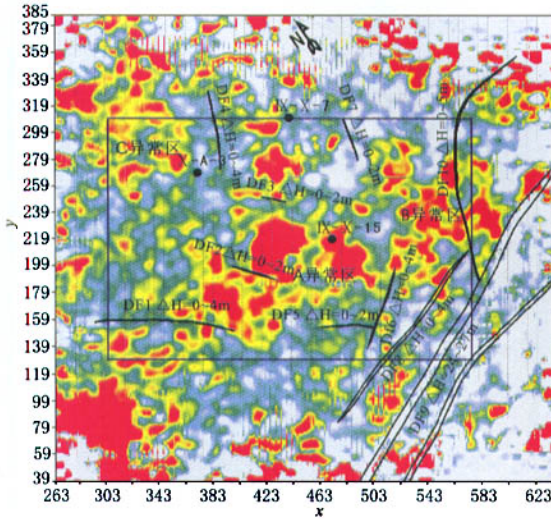


图 7 13-1 煤层断层与梯度异常的关系

Fig. 7 The relation between AVO gradient anomaly and faults of coalbed 13-1

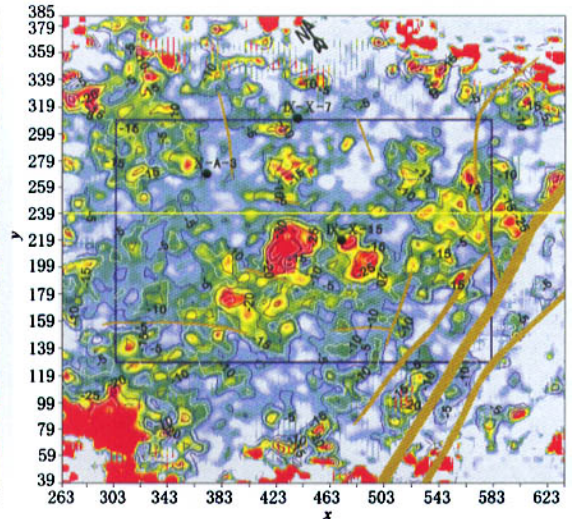


图 8 13-1 煤梯度异常与伪泊松比反射系数等值线复合图

Fig. 8 13-1 coalbed AVO gradient anomaly and pseudo-Poisson's ratio reflectivity

常不可能与地震波能量聚焦有关。

4.3.2 AVO 异常与断层的认识及其关系

瓦斯研究的理论和实践表明,对于瓦斯富集,断层的作用是双重的。由于煤层是脆性岩层,断裂运动使断层附近的煤层中产生大量的裂隙。在断层中,中、小断层,特别是微断裂,可以增加煤层裂隙密

度,增大煤层吸附瓦斯的表面积,又不会成为瓦斯逸散的通道,对瓦斯富集起建设性作用。而断距大的张性断层,与浅部的多孔隙岩石连通,成为瓦斯逸散的通道,对瓦斯的富集起破坏性作用。

根据研究区常规地质解释成果,13-1 煤层上共解释断层 10 条,全部为正断层,走向北北东-北东

的6条,走向北西的4条(图7)。按垂直落差 ΔH 大小统计,断距10m以上的断层1条,为DF9;3~10m的断层4条,为DF1、DF6、DF8和DF10;其余5条断层的断距小于2m。

图7中一个突出的特点是,在对应断层位置上,几乎没有较强的AVO异常,最强的异常出现在断层之间。断层对AVO异常的控制作用首先表现在A异常区。在测区内,东北部(图的上半部)断层较少,西南部(图的下半部)断层密集。最强的异常区出现在测区西南部中间断层最密集的地方。A异常区西异常体是测区内面积最大、异常强度最大的异常,它处在断层DF4、DF5、DF6、DF7形成的矩形中,异常区内还有DF1、DF2等断层。在大的断层密集的地方,微断层和裂隙也将更密集,因而能够形成最强的异常。A异常区向西南部延伸的部分,除了断层DF1、DF2的影响之外,还受到DF12、DF13、DF30(图中未画出)的影响。尽管后三个断层只错断了13-1煤层下方的11煤层,但是,产生这些断层的地应力可能在13-1煤层及其上下岩层中造成微断裂和裂隙,从而破坏13-1煤层的煤体结构。因此,在这个部位也出现了较强的AVO异常。

但是,不是所有的断层都对AVO异常有控制作用。断层DF5、DF6、DF8之间及其附近没有强异常。断层DF10穿过了B异常区,然而,B异常区的异常强弱分布形态没有明显地受到DF10的影响;B、C两个强异常区内没有其他可以观测到的断层。这说明断层活动只是造成煤体结构破坏,形成AVO强异常的因素之一。同时,也要考虑另一种可能性:如果煤层顶板是泥岩或页岩时,只有煤体破碎达到IV类(碎粒煤)或V类(全粉煤即软分层)的程度时,才能使煤层相对于顶板/底板的泊松比差足够大,从而产生可以观测到的梯度异常。

从表面上看,断层位置与AVO强异常分布关系并不符合煤矿瓦斯防治工作中获得的经验,然而,却符合地震反射理论。断层的存在破坏了反射界面的完整性。断层面本身是一个散射面,在断层及其附近的CDP道集上,反射同相轴的质量必然变差。并且,这些看似同一个同相轴的反射信号,并不一定来自同一个CDP面元。因此,在断层位置上也就不应当出现强AVO异常。在断层位置上没有出现AVO异常,并不表示在断层位置上没有瓦斯富集。而且即使瓦斯正好在断层位置富集,AVO技术也不大可

能指示这样的富集位置。

煤矿瓦斯突出多发生在断层部位,而AVO强异常位置与断层位置不一致,这两者之间不矛盾。使用AVO技术探测瓦斯富集,探测的是地应力静态平衡状态下瓦斯的分布状况。这时瓦斯可能正好在断层位置富集(如果断层是压性断层),也可能在偏离断层不太远的地方富集(如果断层是张性断层)。煤矿开采过程中出现的瓦斯突出,是瓦斯动态平衡问题。由于采掘活动破坏了地应力的平衡状态,吸附态的瓦斯可能会转变为游离态,与煤层中原有的游离态瓦斯一起在地应力作用下向压力降低的方向运移。巷道掘进工作面是压力低的部位,因此,在断层附近瓦斯涌出量明显增加甚至发生瓦斯突出。AVO技术不能预测这种动态平衡过程。

4.3.3 AVO异常与其他地质因素的关系

根据前人的研究成果,淮南煤层中的“软分层”的成因与构造运动产生的层间滑动有关^①。在没有断层的地方,也可能存在“软分层”。这一点对于淮南煤田AVO异常的解释也有指导意义。这也可能是本测区的一些局部AVO异常与断层关系不很密切的原因。

AVO模型研究表明薄煤层调谐效应对AVO异常的绝对值有明显的影 响,但在煤层厚度变化不大时,它对AVO异常的相对值影响不大。本文使用的都是AVO异常的相对强度,因此,前面对本测区AVO异常的解释没有明确提及薄层调谐效应的影响。根据淮南煤矿开采13-1煤层的经验,13-1煤层的厚度很少超过10m。根据本测区地震资料主频率(约50Hz)和煤层速度(约2200m/s),1/4地震波长是11m。在煤层最大厚度小于1/4地震波长时,薄层调谐效应导致AVO异常随煤层厚度增大而增大。由于13-1煤层最大厚度很难超过11m,即使其厚度有明显变化,薄层调谐效应对AVO异常影响都是使异常增大,影响的趋势一致。这有利于判断薄层调谐效应的影响。一般说来,煤层厚度大,瓦斯富集的可能性大。当煤层厚度较大但仍然小于1/4地震波长时,薄层调谐效应使AVO截距和梯度随煤层厚度增大而增大,其影响不大可能造成解释上的错误。但是,当煤层厚度小于1/12地震波长并且煤体破碎瓦斯富集时,薄层调谐效应可能使AVO截距和梯度异常不显著,造成解释上的错误。因此,在解释与煤层瓦斯富集有关的AVO异常时,利用其他途径和技术

① 安徽省煤田地质局第一期探队物探测量队,安徽省淮南煤田潘三矿勘探(精查补充)地质报告,1992年

(例如,钻井资料、地震反演等等)对地震测区内目的层的厚度变化有一个可靠的估计,是十分必要的。

4.3.4 钻井资料对 AVO 成果的证明

本地震测区内,有 3 口钻孔,邻近 13-1 煤层的地质录井及对应位置的 AVO 异常情况见表 3,各钻井的位置见图 6。

表 3 钻孔位置和 13-1 煤层煤体结构、顶板和底板岩性、AVO 异常情况

Table 3 Well locations and coal body structure, root and floor rock, AVO anomaly of coalbed 13-1

井位编号	IX-X-7	IX-X-15	X-A-3
20m 顶板砂岩百分比	0.55	0.31	0.69
20m 内顶板岩性描述	粘土岩、粉砂岩、细砂岩、砂质粘土岩、炭质泥岩互层	泥岩、砂质泥岩	砂岩、泥岩、砂质泥岩
直接顶板岩性描述,直接顶板岩厚度	粘上岩,1.63m	泥岩 7.2m	细砂岩,2.08m
13-1 煤层(煤总厚度)、夹矸(总厚度)、煤体结构描述	(6.29m)、夹矸两层(0.67m)、上层夹矸为含碳粘土岩,下层夹矸为碳质泥岩,(录井无煤体结构描述,推测为原生煤)	(5.95)、夹矸两层(1.35m)、黑色粉末状为主,含较多块状煤,下部夹薄层泥岩夹矸,属半暗半亮型煤	(6.37)、泥岩夹矸 1 层(0.57m)、煤呈深黑色,以亮煤成分为主,含少量的暗煤和镜煤,属半亮型煤,煤的灰份少,煤质好
直接底板岩性描述	砂质粘上岩	砂质泥岩	砂岩
对应井孔位置 AVO 异常描述	极低值梯度异常 无伪泊松比异常	强梯度异常 较强伪泊松比异常	极低值梯度异常 极低值伪泊松比异常

IX-X-15 孔位于 A 异常区东异常体,对应测区内最强的梯度异常和伪泊松比异常。该井录井记录对 13-1 煤层煤体结构的描述表明该钻孔位置“软分层”发育。该孔 13-1 煤层的直接顶板是泥岩,厚度达 7.2m(中间夹煤 0.6m),直接底板是砂质泥岩。这样的顶板和底板条件有利于保存煤变质过程中生成的瓦斯。该孔位置邻近 A 异常区东、西异常体之间的小断层,具有构造运动形成“软分层”和煤体破碎的动力条件。这个位置应当是瓦斯富集的部位,与根据 AVO 异常所作的预测一致。

X-A-3 孔对煤体结构的描述表明该钻孔位置 13-1 煤层的煤体结构属于 I 类(原生煤)或 II 类(破裂煤)。IX-X-7 孔的录井记录缺少煤体结构描述,推测为 I 类(原生煤)或 II 类(破裂煤),不属于 IV 类(碎粒煤)或 V 类(糜棱煤或软分层)。X-A-3 孔 13-1 煤层的直接顶板是细砂岩,20m 内顶板岩层的砂岩百分比为 0.69; X-A-3 孔 13-1 煤层的直接顶板是 1.63m 厚的泥岩,20m 内顶板岩层的砂岩百分比为 0.55。从顶板岩性来看,IX-X-7 和 X-A-3 两个钻孔处 13-1 煤层瓦斯的保存条件较差。根据钻孔录井记录,这两个钻孔位置不应当是瓦斯富集区。这也与根据 AVO 异常所作的预测一致。

这三个钻孔的录井记录支持前一节中对 AVO 异常的解释,从另一个侧面证明了 AVO 技术在本测区预测瓦斯富集的能力。

4.3.5 瓦斯富集部位综合预测

根据煤层弹性参数特征,泊松比的变化直接反映了煤体结构的变化,因此,可以选择伪泊松比反射系数作为对瓦斯富集敏感的 AVO 属性。研究中,为了进一步划分瓦斯富集和突出危险区,将伪泊松比反射系数异常等值线叠加在梯度异常之上(图 8)。与图 6 的梯度异常比较,图 8 加大了色标的动态范围,突出了伪泊松比反射系数与梯度异常的关系。根据两种属性异常分布的特征和规律,可将图中的红色和淡红色区域定为突出危险区,将绿色区域定为突出威胁区,将白色区域定为相对低瓦斯区。预测结果可以作为煤矿瓦斯防治的重要参考。

5 结论

使用 AVO 技术探测煤层瓦斯富集,具有可靠的物理基础,即割理裂隙增大了煤层吸附瓦斯的内表面积,有利于瓦斯富集。随着煤层割理裂隙密度增大,其与围岩的泊松比差增大,从而导致反射振幅随偏移距变化的梯度、截距和伪泊松比增大等明显的 AVO 异常。

煤层顶面反射振幅通常是随着炮检距(入射角)的增大而减小。不同结构煤体在 AVO 响应上存在明显的差异,随着煤体结构破坏程度的增强,煤层顶 AVO 的截距和梯度都会增大。煤层的厚度的调谐作

用对其 AVO 特征有明显的影 响。煤层顶板岩性和煤层厚度变化是实际资料 AVO 解释中应注意的重要因素。

由于煤层地质特征和瓦斯赋存状态与常规砂岩天然气储层有明显的差异,它们的 AVO 技术探测原理、解释依据和方法也不同。煤层 AVO 异常指示割理裂隙密度大的部位,为瓦斯富集部位预测提供必要依据。因此,AVO 是一种间接瓦斯富集探测技术。

对淮南煤田潘三煤矿实际三维地震资料 AVO 处理获得了可靠的 AVO 属性数据体。通过 AVO 属性异常分布与研究区内钻孔资料以及小褶曲、断层、煤体结构和煤层厚度等瓦斯富集控制因素的综合分析,为工区内瓦斯富集预测提供了重要依据。在研究区内,存在三个 AVO 属性异常区。根据瓦斯、地质和构造研究结果,这些异常区均属于瓦斯突出危险区,从而为煤矿瓦斯防治提供了依据,同时也初步证明利用 AVO 技术探测煤层瓦斯富集的可行性。

参考文献(References)

- [1] 马尚权,王恩元,何学秋等.煤与瓦斯突出预测预报方法.矿山机械,2001,29(5):71~72
Ma S Q, Wang E Y, He X Q, et al. Prediction methods of coal and gas outbursts. *Mining & Processing Equipment* (in Chinese), 2001, 29(5): 71~72
- [2] 樊栓保.国内外煤与瓦斯突出预测的新方法.矿业安全与环保,2000,27(5):17~19
Fan S B. New methods for coal and gas outburst prediction at home and abroad. *Mining Safety & Environmental Protection* (in Chinese), 2000, 27(5): 17~19
- [3] 吕绍林.瓦斯突出地球物理场研究[博士论文].长沙:中南工业大学,1998
Lü S L. Study on the geophysical field of outbursts [Ph. D. thesis] (in Chinese). Changsha: Central South University of Technology, 1998
- [4] Swan H W. Properties of direct AVO hydrocarbon indicators. In: Castagna J P, Backus M M, eds. Offset-dependent reflectivity theory and practice of AVO analysis, SEG, 1993
- [5] Castagna J P, Smith S W. Comparison of AVO indicators: a modeling study. *Geophysics*, 1994, 59: 1849~1855
- [6] 陈信平.漫谈 AVO.中国海上油气,1997,11(增刊):1~58
Chen X P. AVO discussion. *China Offshore Oil and Gas* (in Chinese), 1997, 11 (Suppl.): 1~58
- [7] 中国新兴石油公司石油物探研究所编译.SEG第68届年会论文概要.北京:石油工业出版社,1999
Institute of Geophysical Prospecting, China Xinxing Petroleum Corporation (translator). Expanded Abstracts of 68th Annual Internat SEG Mtg. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999
- [8] 郭建,宋玉龙.SEG第70届年会论文概要.北京:石油工业出版社,2002
Guo J, Song Y L. Expanded Abstracts of 70th Annual Internat SEG Mtg (in Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 2002
- [9] Ramos A C B, Davis T L. 3-D AVO analysis and modeling applied to fracture detection in coalbed methane reservoirs. *Geophysics*, 1997, 62: 1683~1695
- [10] 张爱敏,汪洋,赵世尊.不同厚度煤层 AVO 特征及模型研究.中国矿业大学学报,1997,26(3):36~41
Zhang A M, Wang Y, Zhao S Z. Study on the AVO model and AVO character of coal seams with different thickness. *Journal of China University of Mining & Technology* (in Chinese), 1997, 26(3): 36~41
- [11] 杨建业,杜美利,苏小鹏等.煤层气藏的储集特征及储层评价.西安地质学院学报,1995,17(3):77~82
Yang J Y, Du M L, Su X P, et al. The reserved characteristics of coal layer gas deposits and the evaluation of gas-bearing seam. *Journal of Xi'an College of Geology* (in Chinese), 1995, 17(3): 77~82
- [12] 苏现波,盛建海.河南省下二叠统山西组二1煤煤层气储层描述.焦作工学院学报,1999,18(1):9~13
Su X B, Sheng J H. Coalbed methane reservoir characterization of Π_1 coal in Shanxi formation (low Permian), Henan province. *Journal of Jiaozuo Institute of Technology* (in Chinese), 1999, 18(1): 9~13
- [13] 周世宁,林柏泉.煤层瓦斯赋存与流动理论.北京:煤炭工业出版社,1999
Zhou S N, Lin B Q. The Theory of Gas Flow and Storage in Coal Seams (in Chinese). Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1999
- [14] Yee D, Seidle J P, Hanson W B. Gas sorption on coal and measurement of gas content. In: Law B E, Rice D D eds. Hydrocarbons from Coal, AAPG studies in Geology No. 38. AAPG, 1993, 9: 203~218
- [15] Gregory A G. Fluid saturation effect on dynamic elastic properties of sedimentary rocks. *Geophysics*, 1976, 41: 895~921
- [16] Domenico S N. Rock lithology and porosity determination from shear and compressional wave velocities. *Geophysics*, 1984, 49: 1188~1195
- [17] Gregory A R. Aspects of rock physics from laboratory and log data that are important to seismic interpretation, in seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration. *Am. Assn. Petr. Geol. Memoir*, 1977, 26: 15~46
- [18] Steidl P F. Coal as a Reservoir: in a guide to coalbed methane reservoir engineering. Gas Research Institute Report No. GRI-94/0397, Chicago, 1996
- [19] Cassmann F. Elastic waves through a packing of spheres. *Geophysics*, 1951, 16: 637~685
- [20] Biot M A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid; I. Low-frequency; II. High-frequency range. *Journal of the Acoustic Society of America*, 1956, 28: 169~178 & 179~191
- [21] 彭苏萍,高云峰,彭晓波等.淮南煤田含煤地层岩石物性参数研究.煤炭学报,2004,29(2):177~181
Peng S P, Cao Y F, Peng X B, et al. Study on the rock physics

- parameters of coal bearing strata in Huainan coalfield. *Journal of Coal Science & Engineering* (in Chinese), 2004, **29**(2): 177 ~ 181
- [22] 郭德勇, 韩德馨. 围压下构造煤的波速特征实验研究. *煤炭科学技术*, 1998, **26**(4): 21 ~ 23
- Guo D Y, Han D X. Experimental study on velocity characters of disturbed coal under confined pressure. *Journal of Coal Science & Engineering* (in Chinese), 1998, **26**(4): 21 ~ 23
- [23] 吕绍林. 超声波探测瓦斯突出煤体. *矿山安全与环保*, 1997, (3): 15 ~ 18
- Lu S L. Using ultrasonic wave to detect gas outburst coal. *Mining Safety & Environmental Protection* (in Chinese), 1997, (3): 15 ~ 18
- [24] Zoeppritz K. On the reflection and propagation of seismic waves. *Göttinger Nachrichten*, 1919, 1: 66 ~ 84
- [25] Wang Y. Approximations to the Zoeppritz equations and their use in AVO analysis. *Geophysics*, 1999, **64**: 1920 ~ 1927
- [26] Peng S P, Yang R Z, Chen H J, et al. Favorable and unfavorable conditions in AVO for coalbed methane. *Geophysics* (Submitted)
- [27] 彭苏萍, 高云峰. 含煤地层振幅随偏移距变化正演模型研究. *科学通报*, 2005, **50**(增刊): 1 ~ 7
- Peng S P, Gao Y F. Study on the amplitude versus offset forward modeling of coal bearing strata. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2005, **50** (Suppl.): 1 ~ 7
- [28] 徐磊, 张华, 桑树勋等. 淮南地区煤储层含气性总体特征. *中国煤田地质*, 2002, **14**(2): 28 ~ 30
- Xu L, Zhang H, Sang S X, et al. Overall properties on gas-bearing nature of coal gas reservoir in Huainan region. *Coal Geology of China* (in Chinese), 2002, **14**(2): 28 ~ 30
- [29] Shuey R T. A simplification of the Zoeppritz equations. *Geophysics*, 1985, **50**: 609 ~ 614
- [30] Vern R, Hilterman F. Lithology color-coded seismic sections: The calibration of AVO crossplotting to rock properties. *The Leading Edge*, 1995, **14**(8): 847 ~ 853
- [31] Castagna J P, Smith S W. Comparison of AVO indicators: A modeling study. *Geophysics*, 1994, **59**: 1849 ~ 1855

例

作者: [彭苏萍](#), [高云峰](#), [杨瑞召](#), [陈华靖](#), [陈信平](#), [PENG Su-Ping](#), [GAO Yun-Feng](#), [YANG Rui-Zhao](#), [CHEN Hua-Jing](#), [CHEN Xin-Ping](#)

作者单位: [中国矿业大学资源与安全工程学院, 北京, 100083](#)

刊名: [地球物理学报](#) **ISTIC** **SCI** **PKU**

英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF GEOPHYSICS](#)

年, 卷(期): 2005, 48(6)

引用次数: 16次

参考文献(32条)

1. [马尚权](#), [王恩元](#), [何学秋](#), [王立兵](#) [煤与瓦斯突出预测预报方法](#)[期刊论文]-[矿山机械](#) 2001(5)
2. [樊栓保](#) [国内外煤与瓦斯突出预测的新方法](#)[期刊论文]-[矿业安全与环保](#) 2000(5)
3. [吕绍林](#) [瓦斯突出地球物理场研究](#)[学位论文] 1998
4. [Swan H W](#) [Properties of direct AVO hydrocarbon indicators](#) 1993
5. [Castagna J P](#), [Smith S W](#) [Comparison of AVO indicators:a modeling study](#) 1994
6. [陈信平](#) [漫谈AVO](#) 1997(zk)
7. [中国新兴石油公司石油物探研究所](#) [SEG第68届年会论文概要](#) 1999
8. [郭建](#), [宋玉龙](#) [SEG第70届年会论文概要](#) 2002
9. [Ramos A C B](#), [Davis T L](#) [3-D AVO analysis and modeling applied to fracture detection in coalbed methane reservoirs](#) 1997
10. [张爱敏](#), [汪洋](#), [赵世尊](#) [不同厚度煤层AVO特征及模型研究](#)[期刊论文]-[中国矿业大学学报](#) 1997(3)
11. [杨建业](#), [杜美利](#), [苏小鹏](#), [李慧利](#) [煤层气藏的储集特征及储层评价](#)[期刊论文]-[西安地质学院学报](#) 1995(3)
12. [苏现波](#), [盛建海](#) [河南省下二叠统山西组二1煤煤层气储层描述](#)[期刊论文]-[焦作工学院学报](#) 1999(1)
13. [周世宁](#) [林柏泉煤层瓦斯赋存与流动理论](#) 1999
14. [Yee D](#), [Seidle J P](#), [Hanson W B](#) [Gas sorption on coal and measurement of gas content](#) 1993
15. [Gregory A G](#) [Fluid saturation effect on dynamic elastic properties of sedimentary rocks](#) 1976
16. [Domenico S N](#) [Rock lithology and porosity determination from shear and compressional wave velocities](#) 1984
17. [Gregory A R](#) [Aspects of rock physics from laboratory and log data that are important to seismic interpretation, in seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. Am. Assn. Petr](#) 1977
18. [Steidl P F](#) [Coal as a Reservoir: in a guide to coalbed methane reservoir engineering](#) 1996
19. [Gassmann F](#) [Elastic waves through a packing of spheres](#) 1951
20. [Biot M A](#) [Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid: I. Low-frequency; II. High-frequency range](#) 1956
21. [彭苏萍](#), [高云峰](#), [彭晓波](#), [张慎河](#), [赵国平](#) [淮南煤田含煤地层岩石物性参数研究](#)[期刊论文]-[煤炭学报](#) 2004(2)
22. [郭德勇](#), [韩德馨](#) [围压下构造煤的波速特征实验研究](#) 1998(4)
23. [吕绍林](#) [超声波探测瓦斯突出煤体](#) 1997(3)
24. [Zoeppritz K](#) [On the reflection and propagation of seismic waves](#) 1919
25. [Wang Y](#) [Approximations to the Zoeppritz equations and their use in AVO analysis](#) 1999
26. [Peng S P](#), [Yang R Z](#), [Chen H J](#) [Favorable and unfavorable conditions in AVO for coalbed methane](#)

27. [彭苏萍, 高云峰](#) [含煤地层振幅随偏移距变化正演模型研究](#) [期刊论文]-[科学通报](#) 2005(z1)
28. [徐磊, 张华, 桑树勋, 范炳恒](#) [淮南地区煤储层含气性总体特征](#) [期刊论文]-[中国煤田地质](#) 2002(2)
29. [Shuey R T A](#) [A simplification of the Zeppritz equations](#) 1985
30. [Verm R, Hilterman F](#) [Lithology color-coded seismic sections: The calibration of AVO crossplotting to rock properties](#) 1995(8)
31. [Castagna J P, Smith S W](#) [Comparison of AVO indicators: A modeling study](#) 1994
32. [安徽省煤田地质局第一勘探队物探测量队](#) [安徽省淮南煤田潘三矿勘探\(精查补充\)地质报告](#) 1992

相似文献(2条)

1. 期刊论文 [师素珍, 韩毅, 刘万金, 邹冠贵, 李巧灵, Shi Suzhen, Han Yi, Liu Wanjin, Zou Guangui, Li Qiaoling](#) [含煤地层AVO正演模型参数优选分析](#) -[中国煤炭地质](#)2009, 21(4)
采用GEOVIEW软件,选取顶底板为泥岩,中间为煤层(厚度变化范围0~30m)的三层介质作模型,通过改变中间煤层的厚度、处理采样率、子波等参数,并保持上下围岩参数不变的方式来讨论相关参数对AVO响应的影响,结果表明当处理采样率越高时,AVO截距和梯度精度就越高;子波采样率过低,会引起AVO截距和梯度值的扰动现象;当子波采样率提高到一定程度时,扰动现象消除;子波主频的大小决定了调谐效应的范围,提高地震波主频,有利于提高分辨率;子波长度的变化对AVO截距和梯度值求取影响不大,上述结论为AVO正演模型参数优选提供了依据,其最佳参数的选取可有效提高含煤地层AVO正演模型的精度.
2. 期刊论文 [彭苏萍, 高云峰](#) [含煤地层振幅随偏移距变化正演模型研究](#) -[科学通报](#)2005, 50(z1)
通过正演模型研究,对煤层顶、底界面振幅随偏移距变化(Amplitude versus offset, AVO)特征及其影响因素进行了分析.结果表明,煤层顶界面的反射幅先是随着炮检距(入射角)的增大而减小,然后再逐渐增大;煤层底界面的反射波振幅最初也是随着炮检距(入射角)的增大而减小,但容易发生全反射,不利于AVO分析.不同结构媒体在AVO响应上存在明显的差异,随着媒体结构破坏程度的增强,煤层顶界面反射波AVO的截距和梯度都会增大.媒体结构相同时,与泥岩顶板相比,以砂岩为顶板的煤层顶部表现为较大的反射振幅绝对值和变化梯度.煤层厚度的调谐作用对其AVO属性也有明显的影响.

引证文献(16条)

1. [常锁亮, 刘大锰, 林玉成, 陈强](#) [频谱分解技术在煤田精细构造解释及煤含气性预测中的应用](#) [期刊论文]-[煤炭学报](#) 2009(8)
2. [李国发, 常索亮, 侯伯刚](#) [起伏地表煤田地震资料静校正](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2009(3)
3. [李飞, 张智, 曹志勇, 李晶](#) [陷落柱地震波场特征分析](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2009(3)
4. [王琴莉, 韩建光, 武振波, 李世豪](#) [煤层AVO正演模拟](#) [期刊论文]-[煤炭技术](#) 2009(6)
5. [陈同俊, 崔若飞, 刘恩儒](#) [VTI型构造煤AVO正演模拟](#) [期刊论文]-[煤炭学报](#) 2009(4)
6. [彭苏萍, 杜文凤, 苑春方, 勾精为, 何兵寿](#) [不同结构类型媒体地球物理特征差异分析和纵横波联合识别与预测方法研究](#) [期刊论文]-[地质学报](#) 2008(10)
7. [陈同俊, 崔若飞, 刘恩儒](#) [构造煤AVO特征及正演模拟研究](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2008(5)
8. [常锁亮, 刘大锰, 王明寿](#) [煤层气勘探开发中地震勘探技术的作用及应用方法探讨](#) [期刊论文]-[中国煤层气](#) 2008(2)
9. [常锁亮, 杨起, 刘大锰, 刘洋, 李国发, 索重辉](#) [煤层气储层物性预测的AVO技术对地震纵波资料品质要求的探讨](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2008(4)
10. [滕吉文, 张雪梅, 杨辉](#) [中国主体能源——煤炭的第二深度空间勘探、开发和高效利用](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2008(4)
11. [赵明国, 王珊, 赵腾飞](#) [储层参数对AVO截距-梯度交会图的影响](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2008(02)
12. [尚永生, 杨长春, 王真理, 范桃园](#) [塔里木盆地卡4区块AVO研究](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2007(05)
13. [王怀洪, 巩固, 田育鑫](#) [东部煤炭数字地震勘探技术发展及关键问题讨论](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2007(04)
14. [刘洪林, 朱秋影](#) [基于叠前深度偏移的AVO反演及解释](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2007(03)
15. [张平松, 刘盛东, 李培根](#) [煤矿井巷间地质构造及其异常多波联合探测技术与应用](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2007(02)

16. [于景邨](#), [刘志新](#), [岳建华](#), [刘树才](#) [煤矿深部开采中的地球物理技术现状及展望](#) [期刊论文]-[地球物理学进展](#)
2007(02)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dqwlxb200506034.aspx

下载时间: 2010年5月7日