

Analysis and Application of the Geophysical Exploration Technology of CBM

Qing Pu Baoxian Chang

Comprehensive Geological Exploration Team of Coal Geology Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang, 830009, China

Abstract

In recent years, in order to achieve the grand goal of “carbon peak, carbon neutral” as soon as possible, and also to achieve the orderly mining and clean utilization of the traditional energy industry, China has also invested more and more in the CBM development. CBM is a kind of high quality energy, combustion opportunity does not produce any waste gas, the use is very wide. Before the construction of coal fields, the mining of CBM can not only meet the effective utilization of resources, but also provide a safe and convenient environment for coal mining in the future. In CBM development, the evaluation of gas content and distribution range of CBM climate selection is more important, and geophysical exploration technology becomes the leading condition and important means of CBM exploration.

Keywords

CBM; geophysical exploration; dessert prediction

煤层气地球物理勘探技术分析与应用

蒲青 常保险

新疆维吾尔自治区煤田地质局综合地质勘查队, 中国·新疆 乌鲁木齐 830009

摘要

近年来, 为了尽快实现“碳达峰、碳中和”的宏伟目标, 也为了实现传统能源行业有序开采、清洁利用的目的, 中国对煤层气开发的投入也越来越大。煤层气是一种优质的能源, 燃烧机会不产生任何废气, 用途十分广泛。在煤田建井开采之前, 先进行煤层气的开采既可以满足资源的有效利用, 又可以为以后煤的开采提供安全便利的环境。而煤层气开发中, 对煤层气候选区的含气量及分布范围的评价更是重中之重, 其中地球物理勘探技术更成为煤层气勘探的先导条件和重要手段。

关键词

煤层气; 地球物理勘探; 甜点预测

1 引言

煤层气(俗称“瓦斯”)是一种自生自储式非常规天然气。中国煤层气资源十分丰富, 主要分布在华北、西北及西南, 煤层气是中国重要接替能源之一。煤层气开发及利用主要有以下优点: ①在采煤前预先将煤层气开采出来, 能源有序开采, 减少资源浪费; ②煤矿减灾, 改善安全生产条件, 有效遏制煤矿瓦斯灾害; ③开发洁净能源, 保护大气环境。而煤层气勘探开发也面临着重大难题, 主要有: ①中国煤层气地质条件总体较为复杂, 勘探发现优质储量较为困难; ②已探明煤层气地质储量中, 可供规模开发的富集高渗优质储量比例小, 低品位储量缺乏适用的有效开发主体技术; ③已

建产能区块平均单井产量尚未达到项目要求, 产量增长尚未达到预期水平; ④煤层气井排采生产见效慢, 投资回收期长, 开发效益体现较为缓慢。

2 煤层气成因

煤层气主要成因主要分热成因和生物成因。热成因烃类气开始生成, 并一直贯穿整个煤化作用过程。原生热成因时期是成煤作用过程中随地层沉积而保存在煤层中的煤层气; 次生热成因主要是随着地质构造运动、地层温度升高等因素的影响, 煤化作用程度增加, 碳同位素交换平衡而伴生的产生的气、液态产物。生物成因主要由于泥炭—褐煤的早期成煤作用阶段具有较高的孔隙度, 含水量较高, 在低温条件下微生物对有机质的分解形成甲烷和少量其他流体; 随着成煤成熟度增加, 水被排出, 孔隙度减小, 温度上升到细菌生存的上限而使得生物成因甲烷减少, 同时复杂有机质裂解作用释放出甲烷和重烃, 并伴有部分非烃气体的形成。

【作者简介】蒲青(1987-), 男, 中国四川西充人, 本科, 正高级工程师, 从事煤田勘探, 煤炭、煤层气地震勘探, 地震勘探研究。

3 煤层气地球物理预测技术

地震探测煤层气的基础在于对地质条件的精确探测。这些地质条件主要包括地质构造、煤层埋深、煤层厚度、煤体结构、煤层裂隙、顶板岩性、煤层吸附气、煤层气含量等。

采用的地震技术主要包括3D3C地震技术、AVO技术、地震叠前、叠后反演技术、地震属性分析技术、地震波形分类技术等。

3.1 AVO 技术预测煤层气有利区

AVO是指地震波振幅随偏移距变化的一种关系，可有效研究煤层裂隙发育情况。AVO理论是Zoeppritz方程的近似简化式：

$$R_p(\theta) \approx R_0 + [A_0 R_0 + \frac{\Delta\delta}{(1-\delta)^2}] \sin^2 \theta \approx P + G \sin^2 \theta$$

其中：

$$P = \frac{1}{2} [\frac{\Delta v_p}{v_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho}]$$

$$G = \left\{ \frac{\frac{\Delta v_p}{v_p}}{\frac{\Delta v_p}{v_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho}} - 2 \left[1 + \frac{\frac{\Delta v_p}{v_p}}{\frac{\Delta v_p}{v_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho}} \right] \frac{1-2\delta}{1-\delta} \right\} P + \frac{\Delta \delta}{(1-\delta)^2}$$

式中， θ 为入射角； $R_p(\theta)$ 随 θ 变化的P波反射系数； v_p 、 ρ 、 δ 为反射界面两侧介质的纵波速度、密度、泊松比的平均值； Δv_p 、 $\Delta \rho$ 、 $\Delta \delta$ 反射界面两侧纵波速度、密度、泊松比的相对变化率。P为截距，是由零炮检距截距构成的地震道，代表反射界面两侧的波阻抗变化；G为斜率，斜率G构成的地震道称为梯度叠加道，代表反射界面两侧的泊松比和密度变化。

当地层中含气时，明显地降低了岩石的纵波速度，而横波速度则相对保持不变，即其泊松比明显下降，从而导致界面两侧介质的泊松比差相应增加。

当储层的煤层含气量增大或富集时，煤层顶板和底板的截距和梯度的绝对值都随着含气量的增大而增大；顶板反

射界面的截距为负值，梯度为正值；底板反射界面的截距为正值，梯度为负值。对应的CDP道集上则出现振幅随偏移距增大而减小的AVO现象，这是用AVO技术对煤层气富集部位进行预测的基础之一。剪切模量差异和密度差异是导致煤层气储层的AVO异常特征的控制因素，如图1所示。

3.2 煤层气弹性多参量反演预测

煤层气弹性多参量反演目前有较多的方法，但应用较广的方法主要为叠前弹性阻抗变化量、叠前密度变化量、叠前剪切模量变化量、叠前拉梅常数变化量、叠前AVO振幅变化量、频率变化量等。一般来说，主要运用叠前弹性三参量，即密度、剪切模量、拉梅常数三参量进行反演。

煤层气大部分以吸附态的形式存在于储层的微孔隙中，而微孔隙是煤层气富集的主要影响因素。微孔隙的发育程度高必然导致煤层密度减小，且速度和密度存在一定的正比例关系，即密度减小导致速度降低、含气量与弹性参数呈负相关关系。弹性模量法三参数反演技术就是建立在储层含气性与储层弹性参数变化量之间对应关系的基础上形成的技术。辅助以区内的地质、测井、钻井资料，对地震资料弹性三参数进行反演计算，获得的密度变化量、剪切模量变化量、拉梅常数变化量的异常数据，确定其异常区域，从而圈定煤层气富集区域。

煤层气储层的含气量与密度之间存在负相关关系，即密度降低，含气量增加；剪切模量表示弹性体抗拒剪切变形的能力，与含气量也存在负相关关系，随含气量提高，剪切模量出现降低，说明煤层气储层容易发生裂隙。

通过大量试验及生产情况反馈，初步形成以下经验关系：叠前波阻抗变化量参数—检测煤层气含气量异常；叠前密度变化量参数—检测探测吸附态煤层气；叠前剪切模量变化量参数—检测煤层裂隙异常及渗透率；叠前拉梅常数变化量参数—检测煤层游离气异常；叠前AVO振幅变化量参数—检测煤层气含气量异常；频率变化量参数—检测煤层游离气异常^[1]。

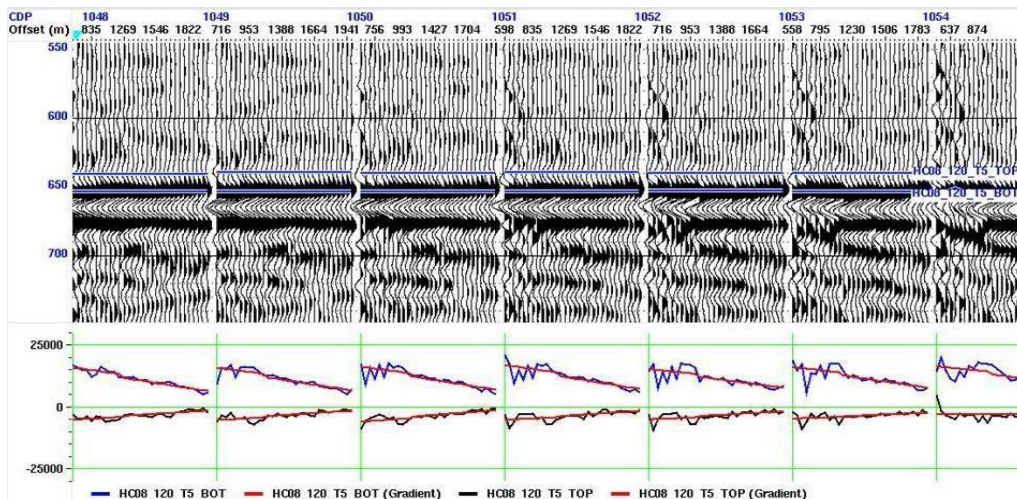


图1 振幅随偏移距的变化与AVO正演数值模拟

3.3 方位各向异性技术

根据研究及实际勘探成果分析,反射波对裂缝型发育地层所表现出的方位各向异性特征很明显,地震频率的衰减和裂缝型发育地层的空间变化关系密切,沿裂缝走向反射波振幅能量衰减减小,垂直裂缝走向反射波衰减大,这就导致了不同方向地震反射波振幅差异化,反射波振幅差异越大,裂缝各向异性强度越大。而振幅的大小又引起地震波的其他动力学特征(如主频)和运动学特征(如速度)的变化,我们寻找其中变化量较明显的特征,利用叠前地震资料提取方位地震属性检测裂缝型发育地层(即储层)是可以实现的。

方位各向异性技术是基于纵波的理论基础,假设地层裂缝是垂直于地层平行排列,利用反射纵波振幅随方位角变化特征能有效判断裂缝的方位和大小,反射振幅(F)和方位角的变化可表示为:

$$R(\theta)=A+B \times \cos 2\theta$$

式中,A为与偏移距有关的偏置因子,即均匀介质下的振幅;B为与偏移距和裂缝信息相关的调制因子,即固定偏移距时振幅随方位角的变化量。可以看出,该公式类似椭圆表示方式,当炮检方向平行裂缝走向(即 $\theta=0$)时, $R=A+B$ 最大;当炮检方向垂直裂缝走向(即 $\theta=90^\circ$)时, $R=A-B$ 最小。根据上述情况可直观分析裂缝情况。

实现方法:为了增加有效覆盖次数,利用三维地震资料宽方位角的属性,将多个面元(3个以上)数据形成新的面元,然后调整入射角方向增量抽道集,对抽取的各道集进行速度分析、叠加和偏移,得到多个方位偏移数据体,从各个方位偏移数据体中提取与裂隙有关的地震属性参数(包括振幅、频率、速度)进行融合,利用融合后的方位地震属性对裂隙发育带进行预测和解释,半定量计算裂隙发育带的密度和方向,利用计算得到的B/A值来描述裂隙的密度和方位角,当B/A处于高值时,认为该处裂隙发育较好,当B/A处于低值时,认为该处裂隙发育较差^[2]。

3.4 叠后反演技术

地震叠后反演技术是一门集地震、测井、岩性、钻孔、计算机等多学科的综合地球物理勘探技术。地震反演技术是根据钻孔测井数据对井旁地震资料进行约束反演,并在此基础上对孔间地震资料进行反演,推断煤层、岩层性质在平面上的变化情况,这样就把具有高纵向分辨率的已知测井资料与连续观测的地震资料联系起来,实行优势互补,有效提高三维地震资料的纵、横向分辨率和对地下地质情况的勘探研究程度,利用测井数据对井旁地震资料进行约束,推断构造、煤层、岩层的平面分布和厚度变化,从而达到预测煤层气的目标。

3.5 地震属性分析技术

地震属性技术是通过应用研究、算法计算及综合软件系统来提取、储存、可视化、分析、验证及评价地震属性的

技术。地震属性技术应用于地震解释处理、地震构造绘图、地震地层解释、地震岩性学和模拟、构造异常分析和模拟等各个方面。地震属性分析包括地震层面属性及地震体属性分析等方面,主要通过叠前、叠后地震数据,经过数学变换而导出的有关地震波的几何形态、运动学特征、动力学特征和统计学特征的特殊属性值。不同的属性,揭示了不同的不易探测的地质体的岩性、物性变化。地震层面属性属统计学特征范畴,它主要沿给定的层位的体属性进行统计计算,并将计算的结果在一个面上表现出来,突出和刻画沿层异常地质体的属性特征^[3]。

按属性目标分类,可分为(基于)剖面属性、(基于)层位属性与(基于)数据体属性。剖面属性通常是瞬时地震属性或某些特殊处理(方差体、相干体)结果,层位属性是沿层面求取的,是一种与层位界面有关的地震属性,它提供了层位界面或两个层位界面之间的变化信息,特别是小断层和小陷落柱识别具有很高的研究价值,如方差体、相干体,可提供地震信号相似性和连续性方面的最佳信息。

常涉及的地震属性有振幅、频率、能量值、相位、倾角属性、方差、相干等,针对构造而言,从属性的基本定义出发,一般认为振幅是最稳健和有价值的,但是频率属性更有利于揭示地层的细节^[4]。

4 结论

论文仅介绍了几种较有代表性的煤层气地球物理勘探方法(预测技术),煤层气地球物理勘探方法(预测技术)从资料采集参数的设计、对比,叠前叠后处理技术分析,解释方法综合运用,叠后反演,属性分析,地震波的几何形态、运动学特征、动力学特征分析等各方面都具有较大的研究价值。煤层气地球物理勘探根据各地区和各煤、岩层的地震响应特征的不同,通过地球物理方法预测煤层气富集区(甜点区)可根据实际情况选取不同的具有明显响应的方法、参数进行预测,同时也可选取多种方法、参数进行综合比较研究,也可以引入综合评价因子的概念,对不同参数与煤层气含气性相关的叠加属性进行加权拟合,可更高效地预测煤层气富集区。

参考文献

- [1] 邱杰,符文,孟祥迪,等.AVO技术在煤层气勘探中的应用[J].中国煤炭地质,2013,25(3):55-57.
- [2] 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[J].地球物理学报,2005,48(6):1475-1485.
- [3] 孙秀华,王真理.最优的Zoeppritz方程的简化综述[J].地球物理学进展,2010,25(1):101-102.
- [4] 张留荣,曾维望.地震技术在煤层气勘探开发中的应用现状与发展趋势[J].中国煤炭地质,2017,29(6):68-73.