

天然气地球物理勘探

基于统计岩石物理学的流体成分反演应用实例研究

轩义华, 袁立忠, 汪瑞良, 秦成岗, 刘 铮, 吴湘杰
(中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院, 广东 广州 510240)

摘要:珠江口盆地番禺流花天然气区的 PY 气田位于陆架陆坡转折带上, 特殊的沉积环境导致该地区主要储层 SB21.0 砂岩含油气性结论复杂, 常规的 AVO 技术在该地区的应用存在陷阱。将统计岩石物理学与 AVO 理论结合, 得到流体成分反演理论。流体成分反演技术是 AVO 技术的延伸, 是一种定量的 AVO 技术, 其最终结果是直观的碳氢指示分布图。采用流体成分反演技术, 对研究区 SB21.0 储层进行含油气性预测。研究结果表明: 流体成分反演技术能较有效、准确地检测已上钻目标储层及验证未上钻目标储层的流体性质。该理论的深入应用将有助于指导番禺流花天然气区的进一步勘探。

关键词:流体成分反演技术; 统计岩石物理学; Monte Carlo 模拟; Bayes 分类理论

中图分类号: TE132 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1926(2010)05-0839-05

0 引言

众所周知, 地下不均匀性描述是储层可靠描述的关键因素, 部分不均匀性造成了解释的不确定性。地震储层描述中的一些方法是基于多元技术^[1]的纯粹统计方法。另一些方法是确定性的, 基于弹性理论及实验室观测导出的物理模型。依据特定的研究, 每一组技术都有某种程度的成功。优化策略是把每种方法最好的部分结合起来, 产生比单独使用纯粹统计或纯确定性技术都更好的结果^[2-10]。本文应用的统计岩石物理理论的创新之处是结合了 Monte Carlo 模拟和 Bayes 分类理论, 并将其应用到 AVO 理论中得到流体成分反演理论。流体成分反演理论研究的最终目的是获得 PY 气田主要储层含油气性的定量解释。实例研究结果表明: 该理论能有效地规避 AVO 技术陷阱, 达到定量预测储层含油气性的目的, 有助于提高该地区的勘探成功率。

1 统计岩石物理学

1.1 Monte Carlo 随机模拟

统计模拟已经成为一个受欢迎的数值方法, 用

这个方法可以处理许多概率问题。许多统计模拟过程中的一个步骤是提取样点 x_i , 以便获得一个期望概率分布函数 $F(x)$ 。一旦提取了大量的样点, 期望函数就可以从这些样点算出。这个过程被称作 Monte Carlo 模拟^[11]。常规 AVO 技术通常是建立 2 个叠前合成记录, 而 Monte Carlo 随机正演模拟建立是许多个人工合成记录。其基本模型是泥岩中嵌入砂岩的三层模型, 泥岩可用纵波速度 V_p 、横波速度 V_s 和密度 ρ 表述, 每一个参数有一个可能性分布图。砂岩可用包括盐水模数、盐水密度、气模数、气密度、油模数、油密度、基质模数、基质密度、干岩模数、孔隙度、页岩量、水饱和度以及厚度来描述。同泥岩参数一样, 砂岩每个参数都有可能性分布图。模型建立完毕之后, 便可得出相应的合成地震记录。

1.2 Biot-Gassmann 流体替换理论

依据从测井导出的概率分布, 用 Monte Carlo 模拟建立训练数据集。由 Biot-Gassman 方程解出的流体替换理论可以用于扩展训练数据集, 以此解释井中未遇到的孔隙流体情况。具体是从盐水砂岩开始, 利用 Biot-Gassman 方法进行流体替换求得油

收稿日期: 2010-02-24; 修回日期: 2010-06-21.

作者简介: 轩义华(1978-), 女, 山东冠县人, 工程师, 博士, 主要从事油气勘探及综合研究工作. E-mail: xuanyh@cnooc.com.cn.

砂岩和气砂岩模型的对应响应。对以上过程多次重复,得到3种砂岩流体的每种可能性分布图(图1)。

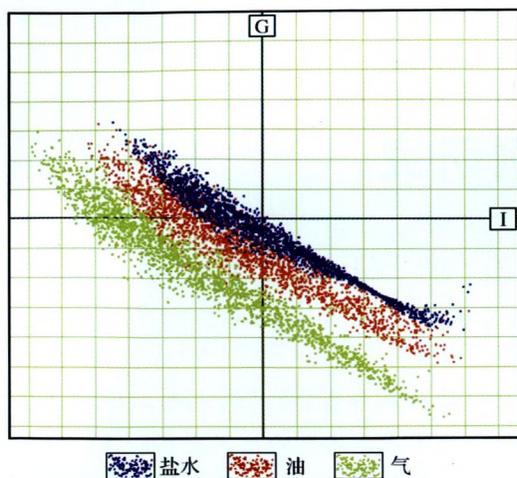


图1 3种砂岩流体的可能性分布示意

1.3 Bayes 分类理论

分类的目的是依据观测到的输入(如截距 P 和梯度 G) 预测结果(例如油、气或水)。已经有了作为输入的训练数据集。使用训练数据,要设计一个分类准则或预测模型,使用这个分类准则或预测模型可以预测未知的新数据结果。分类问题的一个基本方法由 Bayes 决策理论提供^[12]。

利用 Bayes 理论(式1)可计算任何新点(截距、梯度)属性(盐水、油、气)类型的可能性:

$$P(\tilde{F} | I, G) = \frac{P(I, G | \tilde{F}) \times P(\tilde{F})}{\sum_k P(I, G | F_k) \times P(F_k)} \quad (1)$$

式(1)中: $P(F_k)$ 为主可能性; F_k 为盐水、油或气; $P(I, G | F_k)$ 为从随机模拟输出重估算合适的分布(如高斯分布)。

在储集层预测中,若储集层中只含有油、气、水中的某一相,随机模拟分布如图2所示;当储集层中含有油、气、水中的二相或三相时,分布图重叠,预测的可能性值降低(图3),但是预测的准确性仍然比较高。

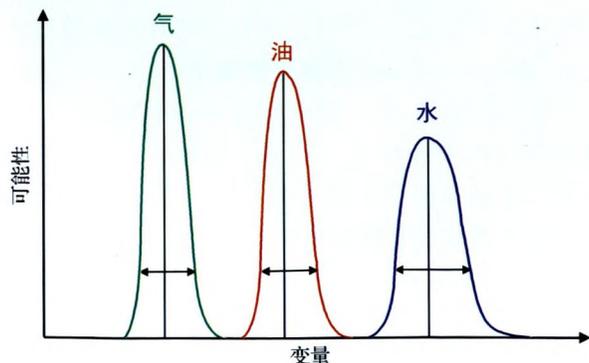


图2 含油、气或水单相时的可能性分布特征

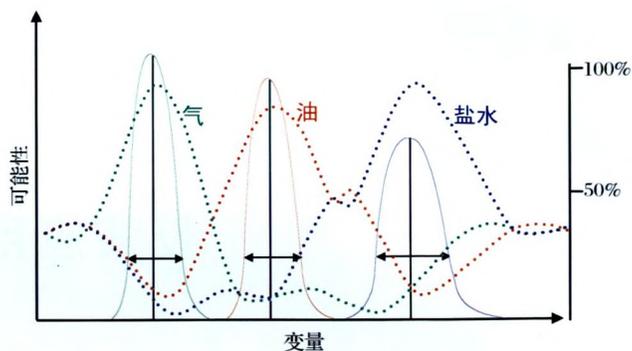


图3 油、气或水共存时多相可能性分布

2 储层含油气性

2.1 研究区概况

研究区 PY 气田位于珠江口盆地中南部番禺低隆起—白云凹陷北坡,主要目的层段 SB21.0 砂岩位于 18.5Ma 最大海泛面之下,21.0Ma 层序界面上,形成大型的构造+岩性复合圈闭,且在地震剖面上有很好的亮点显示。受断层的分割,从北向南依次为北块、中块和南块(图4)。其中,南块面积最大,以构造圈闭为主。SB21.0 砂体之上覆盖着一套厚度约为 50 m 的高速高阻泥岩,砂岩相对于泥岩呈现低速度、低密度、低阻抗、低伽马的特征。PY 气田已钻探 5 口井、未上钻 1 口井。其中已钻探的 A 井、D 井、C 井、E 井钻遇含气储层, B 井钻遇含水储层; F 井为未上钻的验证井。通过对已钻井做正演研究,研究发现在利用 AVO 理论预测该地区储层含油气性时存在很大的不确定性;目标区内含气储层 AVO 类型多样、且含水储层也表现出典型的 AVO 异常特征。在储层岩性复杂、泊松比关系异常的 PY 地区, AVO 理论较难有效预测储层的含油气性。

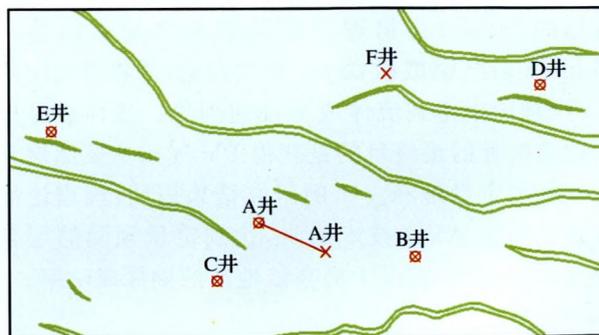


图4 PY 气田平面特征

2.2 正演模拟

AVO 技术是根据振幅随炮检距的变化规律所反映出的地下岩性及其孔隙流体的性质来直接预测油气和估计岩性参数的一项技术,其理论基础是描

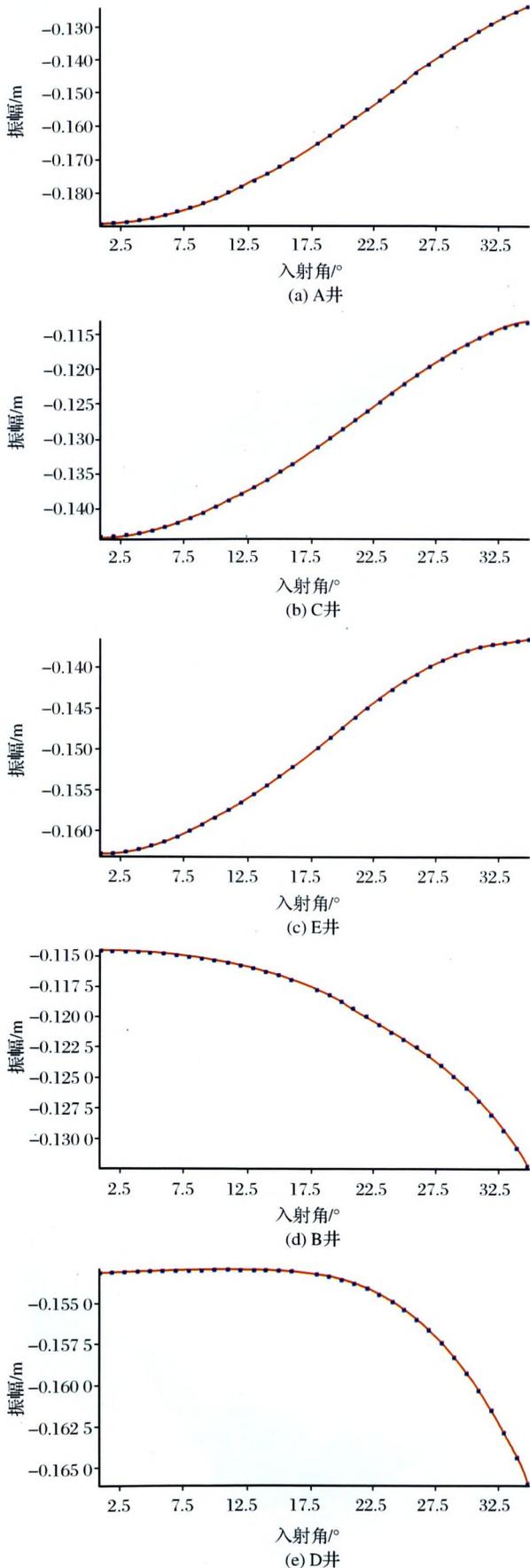


图5 各井 AV0 响应曲线

述反射系数随入射角及地层岩性参数变化关系的 Zoeppritz 方程。该方程全面考虑了平面纵波和横波入射在水平界面两侧产生的纵横波反射与透射能量之间的关系。当地震纵波(P波)非垂直入射到2种介质分界面时,将产生4种波,即反射纵波、反射横波、透射纵波和透射横波,其角度和速度遵守斯奈尔定律。通过计算得到每口已钻井的 AV0 响应曲线(图5)。

从图5看出,目标区南块的 A 井、C 井、E 井含气储层表现为振幅随偏移距增大而减小;北块的 D 井含气储层表现与南块不同,为振幅随偏移距增大而增大。特别是南块的含水储层(B 井)表现为振幅随偏移距增大而增大的典型含气特征。可见该地区储层 AV0 响应特征复杂多样。

3 流体成分反演技术应用

3.1 道集数据准备

我们提取过 A 井的实际井旁原始道集的振幅响应曲线(图6),可以看出实际原始道集的 AV0 响应曲线与 AV0 正演模型响应特征不同(图5a、图6):图5a所示的 AV0 响应特征为振幅随偏移距增大而减小,图6所示的 AV0 响应特征为振幅随偏移距增大而增大。我们落实了这口井的测井曲线是正确的,因此在正式进行流体成分反演之前,有必要通过改变道集的横向振幅能量实现井正演和地震响应特征一致,以满足研究要求的可行性。

由于地震波传播的吸收与衰减和频率相关,高频衰减快、低频衰减慢,而含流体特别是含气储层的吸收与衰减明显增强,因此含气与不含气储层吸收与衰减在不同频率范围内存在明显差异,利用这种不同频率范围的吸收与衰减引起的地震振幅差异,开展不同频带的 AV0 分析与反演研究,将有利于气藏识别和流体检测。具体采用了通过滤波技术实现改变道集的横向振幅能量。通过实验,频段为 25~35 Hz 的滤波后道集满足 AV0 响应特征与井上响应特征一致的要求(图5a,图7)。

3.2 反演实例

首先,我们利用常规 AV0 技术在该地区进行含油气性预测,得到 AV0 属性平面图(图8)。从图8可以看出有利的勘探目标主要集中在 NEE 向,并且 C 井井点所在位置没有含气性显示。C 井的实钻结果为层钻遇 2 层厚度为 26.82 m 的气层。表明常规 AV0 技术在该地区的应用存在陷阱。

利用基于统计岩石物理学的流体成分反演技术

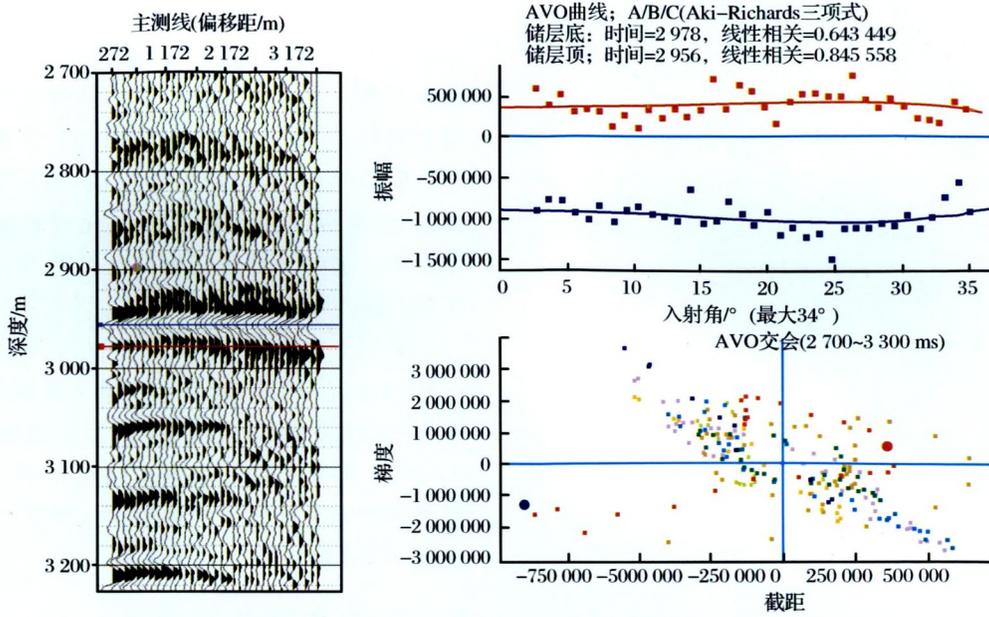


图6 A井井旁地震道梯度交会分析

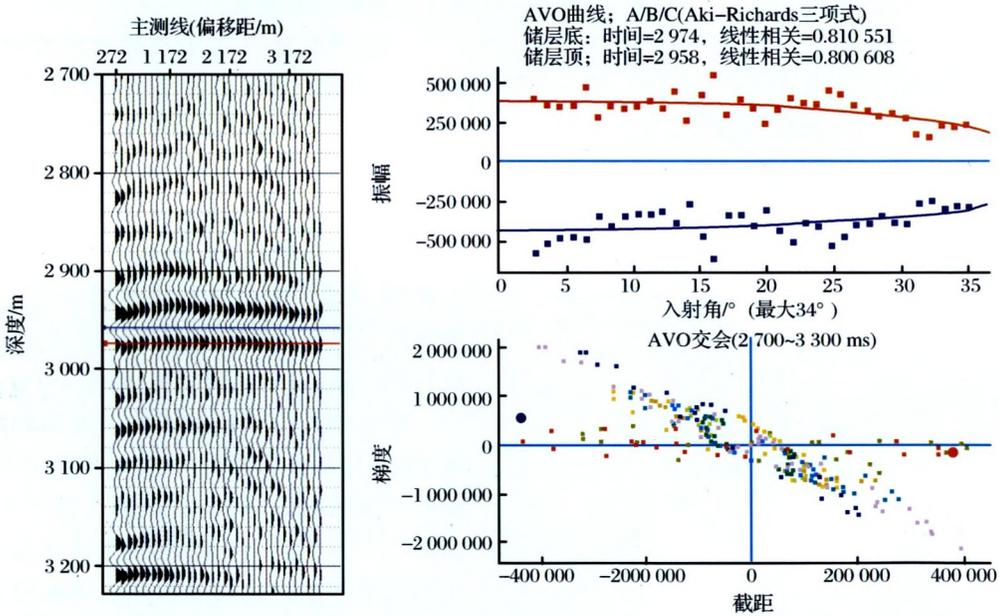


图7 A井井旁地震道梯度交会分析(25~35Hz频段滤波后)

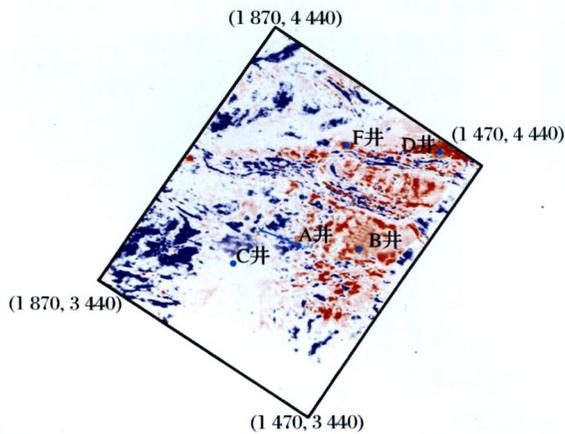


图8 沿气层顶得到的 AVO 属性平面

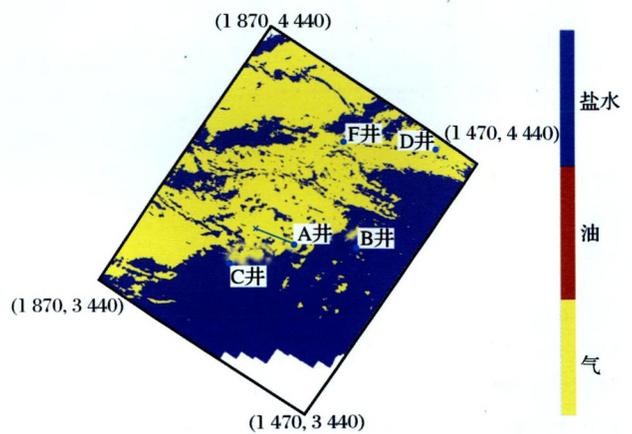


图9 碳氢指示因子

在该地区展开应用试验,得到最终的碳氢指示图(图9)。对比常规 AVO 技术结果,流体成分反演技术更准确地预测了有利的勘探区带是在 NWW 方向,且与实钻井储层含油气结果吻合;对比目标区构造图,含气范围、气水界面与地质认识较吻合,且含气性与已钻井实钻结果均吻合。作为验证井的 F 井钻井证实钻探到气层,验证结果证明流体成分反演理论有效且准确。

4 结论

在勘探程度日益精细的今天,如何有效地预测储层的含油气性、提高勘探成功率是各油田生产工作的重点。在储集层岩石物理特征复杂的 PY 气田,常规的预测技术(如 AVO 技术)不但很难预测该地区主要目的层的含油气性,并且在预测有利的勘探区带方面存在很大的不准确性。经实践应用基于统计岩石物理学的流体成分反演技术能较有效、较准确地预测 PY 气田储层含油气性。该技术量化地实现了对储层含油气性的预测,它在 PY 气田的成功应用预示着它将是储层预测和烃类检测工作的新途径和未来的技术发展方向。

参考文献:

- [1] Fournier F. Extraction of quantitative geologic information from seismic data with multidimensional statistical analysis, Part I, methodology, and Part II, a case study[C]//Soc. Expl. Geophys. 59th Ann. Int. Mtg., Expanded Abstracts, 1989; 726-733.
- [2] Lucet N, Mavko G. Images of rock properties estimated from a crosswell tomogram[C]//Soc. Expl. Geophys. 61st Ann. Int. Mtg., Expanded Abstracts, 1991; 363-366.
- [3] Mu Zhiqian, Zhou Lihong, Yi Jigui, *et al.* Application of reservoir prediction technology in Zhangdong, Dagang oilfield [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(6): 849-856. [牟智全, 周立宏, 易继贵, 等. 地震储层预测技术在张东地区的应用 [J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(6): 849-856.]
- [4] Avseth P, Mavko G, Mukerji T. Seismic lithofacies prediction using AVO-analysis: Application to a North Sea deep-water clastic system[C]//Am. Assoc. Petr. Geol. 82nd Ann. Mtg, Expanded Abstracts, 1998; 1888.
- [5] Avseth P, Mukerji T, Mavko M, *et al.* Statistical discrimination of lithofacies from pre-stack seismic data constrained by well log rock physics. Application to A north Sea turbidite system[C]//Soc. Expl. Geophys. 68th Ann. Mtg, Expanded Abstracts, 1998; 890-893.
- [6] Avseth P, Mukerji T, Mavko G, *et al.* Rock physics and AVO analysis for lithofacies and pore fluid prediction in a North Sea oil field[J]. *The Leading Edge*, 2001, 20(4): 429-434.
- [7] Avseth P, Mukerji T, Jørstad T, *et al.* Seismic reservoir mapping from 3-D AVO in a north Sea turbidite system[J]. *Geophysics*, 2001, 66(4): 1157-1176.
- [8] Li Zaiguang, Yang Zhanlong, Liu Juntian, *et al.* Hydrocarbon detection by integrating multiple attributes[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(5): 727-730. [李在光, 杨占龙, 刘俊田, 等. 多属性综合方法预测含油气性及其效果[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(5): 727-730.]
- [9] Mukerji T, Jørstad A, Avseth P, *et al.* Mapping lithofacies and pore-fluid probabilities in a North Sea reservoir: Seismic inversions and statistical rock physics[J]. *Geophysics*, 2001, 66(4): 988-1001.
- [10] Yue Youxi, Yang Li. Basic theories and methods of seismic reservoir prediction [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(4): 563-570. [乐友喜, 杨丽. 储层地震预测基础理论方法研究[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(4): 563-570.]
- [11] Avseth P, Mukerji T. *Quantitative Seismic Interpretation* [M]. Gary Mavko; Cambridge University Press, 2005.
- [12] Duda R O, Hart P E, Stork D G. *Pattern Classification* [M]. New York: John Wiley & Sons, 2000.

Realization and Application of AVO Fluid Inversion Based on Statistical Petrophysics

XUAN Yi-hua, YUAN Li-zhong, WANG Rui-liang, QIN Cheng-gang, LIU Zheng, WU Xiang-jie
(Research Institute of Shenzhen Branch, CNOOC Energy Technology & Services Co. Ltd., Guangzhou 510240, China)

Abstract: PY gas field is at shelf break turing zone, and the special depositional environment leads to complicated T50 sand forecasting. The common AVO theory is not applicable in PY gas field. AVO fluid inversion (AFI) is a quantitative technique on the basis of statistical petrophysics and AVO theory, making carbon hydrogen probability graph. The predication of T50 gas sand using AFI suggest that the AFI theory can estimate the hydro of bored well and certified well validly and accurately. It can be believed that the applications of AFI will guide the additional exploration and improve success rates of gas exploration.

Key words: AVO fluid inversion; Statistical petrophysics; Monte Carlo simulation; Bayes category theory.