

Methods of Modeling and Prediction a Fluid Factor for Dense Reservoir

Tao Yuan

Northeast Oil & Gas Branch of Sinopec, Changchun Jilin
Email: zhangd.dbsj@sinopec.com

Received: Sep. 9th, 2019; accepted: Sep. 22nd, 2019; published: Sep. 29th, 2019

Abstract

At present, the main oil and gas enrichment areas are gradually entering the middle and late stages of development, and it is urgent to find new capacity replacement areas. Under the premise of ensuring efficiency, effective development of new resources has become the bottleneck of most of the oil and gas fields, which also for reservoir description technology put forward higher requirements. This paper in order to solve the problem of fine reservoir description of tight clastic rocks, a more sensitive fluid factor is constructed for seismic prediction through dense rock petrophysical analysis. At the same time, the paper also uses prestack airspace inversion to improve the lateral accuracy, and realizes the fine description of the clastic reservoir in Longfengshan area and the development of horizontal well deployment.

Keywords

Dense Reservoir, Shear Wave Estimation, Spatial Variation Inversion, Fluid Factor

致密储层流体因子的构建及地震预测方法

元 涛

中国石油化工股份有限公司东北油气分公司, 吉林 长春
Email: zhangd.dbsj@sinopec.com

收稿日期: 2019年9月9日; 录用日期: 2019年9月22日; 发布日期: 2019年9月29日

摘 要

当前各个油气主力富集区逐渐进入开发中后期, 寻找新的产能接替区已迫在眉睫。如何在保证效益的前提下, 高效的开发新增资源已变成多数油气田的瓶颈, 这也对储层描述技术提出了更高的要求。针对致

密碎屑岩的储层精细描述难题,通过致密层岩石物理分析,构建一种更为敏感的流体因子进行地震预测,并采用叠前空变反演提高横向精度,实现了龙凤山地区碎屑岩储层精细描述和开发水平井部署。

关键词

致密储层, 横波估算, 空变反演, 流体因子

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近些年来,随着勘探开发的逐渐深入,各个油气富集区已被完全开发动用或进入开发后期。高含水、低丰度、开发成本高、难度大已经变成了目前各个油气田面临的主要难题。松辽盆地内致密碎屑岩储层是产能接替的优选,但是致密碎屑岩储层孔渗条件差,利用常规地球物理手段预测精度低,无法满足勘探开发的实际需求。为了解决该问题,陈美伊[1]等人提出采用等时相控反演的方法,章雄等人采用了波形指示叠前地震反演方法,在分辨率控制方面采用了纵向依靠井约束,横向依托相控约束的策略。这种附加测井、地质等信息的方法更多地适用于成熟区域。本文介绍的龙凤山地区营城组地质情况复杂,大段泥岩发育并且砂泥岩交互出现,储层规模小,横向分布不均,变化极快。测井资料揭示目的层段砂泥波阻抗叠置,并且低孔条件下的气层仍然不具备常规的低值特征(图1)。因此采用叠后地震预测十分困难[1]-[9]。

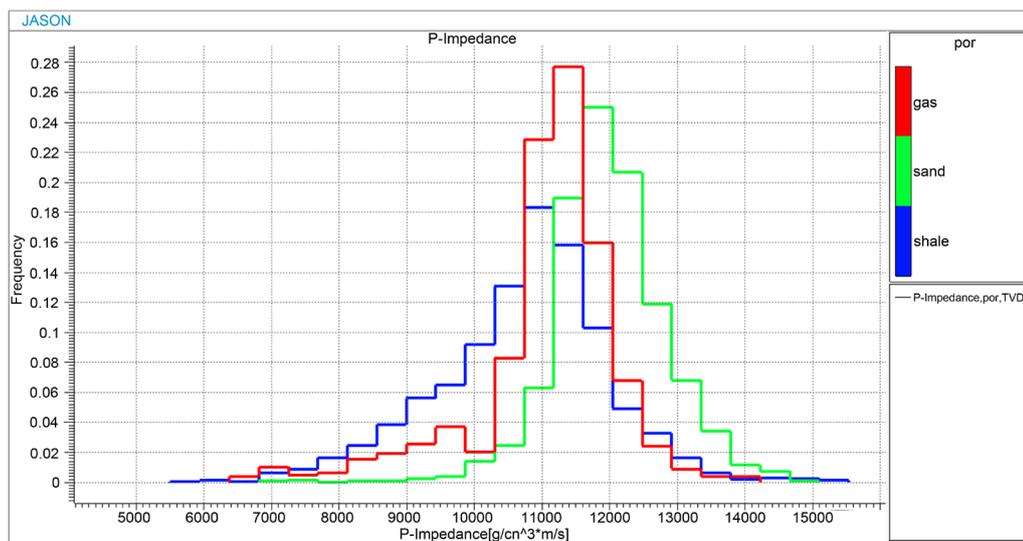


Figure 1. PDF of P-impedence in target layer

图1. 目的层波阻抗分布直方图

针对前面所述的难点,本次研究采用了岩石物理分析方法精准划分岩性,采用新的横波估算方法为后续开展的叠前反演提供保障,独创流体因子完成主要目的层的烃类检测与含气性分析工作;而后采用测试的空变反演技术方法预测储层岩体的厚度、平面分布特征,进一步选用随机模拟的反演方法来提高纵向的分辨率,完成储层的展布特征描述。

2. 致密层横波估算方法

现在常规一般做的叠后反演比较多，叠后反演运用了纵波速度和密度计算得到的波阻抗来分析储层，对于致密储层来说，砂体横向变化快，砂泥岩波阻抗叠置区域多，仅仅利用叠后反演得到的信息无法满足勘探的需要。这就使反演从叠后走向叠前，叠前反演利用横波对流体不敏感，与纵波、密度结合起来，可以得到一系列弹性参数，可以有效的识别流体的信息。横波速度预测是岩石物理建模的重要组成部分，它依赖于具体的岩石物理模型。因此，致密层横波预测的关键是选择合适的等效介质模型。图 2 所示为针对致密层岩石构建的体积模型，其中对于压实影响下的储层总孔隙度做了详细分解，流体预测的关键在于有效孔隙度的正确还原。



Figure 2. Volume model of dense rock
图 2. 致密岩石体积模型

针对致密砂岩的特点，选用适用于低孔渗条件的徐怀特模型，徐怀特模型物理意义明确，模型假设硅质碎屑岩主要由石英与黏土矿物组成，将岩石孔隙类型分为砂岩孔隙和泥岩孔隙，更加符合碎屑岩情况；据两种矿物的体积含量对岩石总孔隙度加权获得两种孔隙的孔隙度，并引入扁率描述孔隙形状。该理论模型是基于 Gassmann 方程、K-T 模型及等效介质理论提出的利用孔隙度和泥质含量等参数估算纵横波的方法，根据微分有效介质模型计算的干岩模量和 Brie 经验公式计算的孔隙流体模量，利用含水饱和度、孔隙度和泥质含量定量计算岩石的密度、纵波和横波速度等资料。它是完全遵循岩石物理意义的模型，它全面包含了影响岩石弹性特征的三个方面：一是组成岩石的矿物及组分比例；二岩石的孔隙及结构；三是孔隙中的流体。而且徐怀特模型可以同时计算出对应于岩石弹性特征的三个独立变量：纵波速度、横波速度及密度，有利于进行质控。图 3 右边第三道是用拟合的方法估算的曲线，右边第二道是 Gassmann 估算的曲线，右边第一道是徐怀特模型估算的曲线，从中可以直观看出徐怀特估算的曲线与原始曲线效果最好。

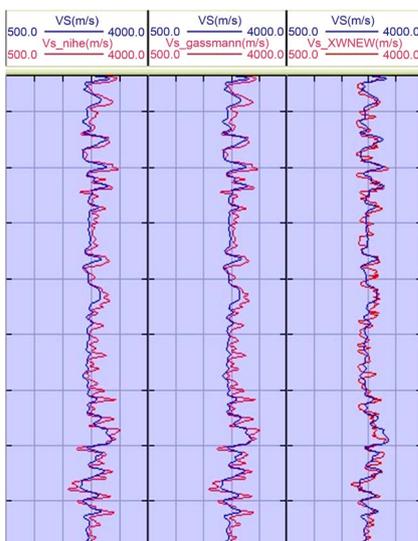


Figure 3. Vs curves of different estimation methods
图 3. 多方法估算横波曲线对比图

3. 致密储层流体因子构建方法

在研究区内储层一般致密，孔隙度很低，且非均质性强。深层致密砂岩弹性参数值较为接近，在地震剖面上储层表现为弱反射特征，常规叠前弹性参数反演检测结果往往无法有效区分储层是否含油气，因此，如何探寻有效的地震预测方法进行致密砂岩储层“有效性”预测是亟需解决的关键问题。选取岩性和含气性敏感参数优化组合的方式来建立“流体因子”，通过预测储层含油气性进而评价储层有效性，仍然是目前行之有效的方法之一。

利用岩心在干燥状态、饱含气、饱含水三种状态下的模拟，获得这三种状态下孔隙度、纵横波速度及密度等几个基础参数。泊松比 σ 和拉梅常数 λ 区分气砂和水砂的变化率较其他参数大，剪切模量 μ 对于区分砂岩和泥岩差异最为突出。对三种参数进行优化组合，提出了流体因子 Q 公式(1):

$$Q = \frac{1}{(\gamma_{sat}^2 - \gamma_{dry}^2)\sigma} = \frac{1}{\alpha\sigma} = \frac{\mu}{f\sigma} \quad (1)$$

μ 只能区分岩性，而 f 及 σ 低值能区分含气砂岩，组合成流体因子以后，高值表征含气砂岩，中值表征水砂，低值表征泥岩，解决了泥岩与含气砂岩弹性参数叠置的矛盾，放大了气砂与水砂的差异。

4. 致密层流体因子的叠前预测方法

叠前空变反演方法是对叠前三参数反演方法的改进，目的在于复杂薄互层的岩性圈闭预测中改善反演结果的横向控制(或空间稳定性)。为了提高初始模型在反演迭代过程中的修正效果，采用贝叶斯框架下正则化目标函数构建方法，得到公式(2)。

$$F(r) = \frac{\alpha}{2}(d - Gr)^T(d - Gr) + \frac{\beta}{2} \log \left[\frac{1}{1 + r^T r} \right] + \frac{\mu}{2}(Kr - \xi)^T(Kr - \xi) \quad (2)$$

其中第一项为模型误差项。

进一步加入空变因子 C ，并进行权值归一化处理得到公式(3):

$$F(\theta) = \frac{\alpha \cdot C(x, y, \theta)}{2 \max(C)}(d - Gr)^T(d - Gr) + \frac{\beta}{2} \log \left[\frac{1}{1 + r^T r} \right] + \frac{\mu}{2}(Kr - \xi)^T(Kr - \xi) \quad (3)$$

公式(3)中第一项为主要的空变约束项，用于改善初始模型，尤其是井点揭示了储层厚度和薄互程度差异时的横向约束效果。后两项则代表了稀疏性和正则化算法。空变因子的引入不仅改变了反演初始值，同样还增加迭代优化过程中的搜索向量空间。然而，对于常见的多元参数优化方法来说，只要符合搜索方向的共轭条件，就可以避免局部极值的出现。因此，新方法能够充分利用地震资料优势频带信息，并加入了低频模型横向迭代修正功能，从而减少了反演对初始模型的依赖。

利用改进的目标函数开展叠前三参数反演，能够避免致密储层相变引起流体预测精度下降；同时根据公式(1)可知，流体因子 Q 中合理规避了密度项带来的反演精度问题，同样适用于入射角度不足的中深层。

5. 应用效果

目前许多油气田已将水平井作为重要的开采技术，对于研究区域内的单层、薄砂体发育的地质情况，采用水平井开发是最适宜的开发方案，可降低开发成本，提高经济效益。龙凤山营城组作为松南断陷地层的重要油气聚集区，一直以来受储层致密的影响，油气动用难度大。

地震振幅属性一直以来被作为沉积认识的重要依据，然而随着埋深增大、储层致密化等影响，影响叠后地震属性的判识效果。图4所示，目的层段均方根振幅属性平面图杂乱，难以支撑后续认识。

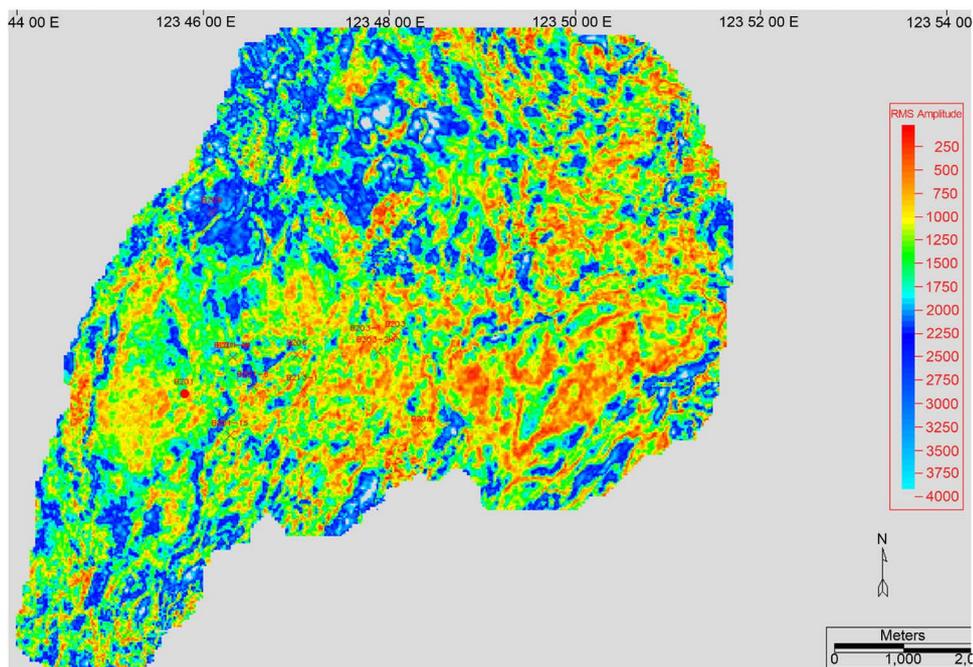


Figure 4. RMS amplitude of target layer
图 4. 目的层均方根振幅平面图

通常，利用地震随机反演可以在一定程度上借助非弹性参数实现目的层岩性预测，然而由于对井网密度要求高，预测结果往往在横向上难以保持精度，并且仍无法实现对储层流体的预测(图 5)。采用本文提出的致密层叠前流体因子的预测方法，通过叠前高精度反演得到流体因子数据体，如图 6 所示，红黄暖色调高值表征气砂，绿色中值表征干砂，蓝白色表征泥岩。对比图 5，该流体因子比单纯利用岩性数据体更能有效、清晰地刻画目的层含气砂体的展布，可以直接追踪气砂的空间分布(图 7)，从而解决了图 4 所示的认识问题。最终，根据流体因子的预测结果，对多口水平的实施方案作了修正，有效规避了气水关系不清所导致的风险。

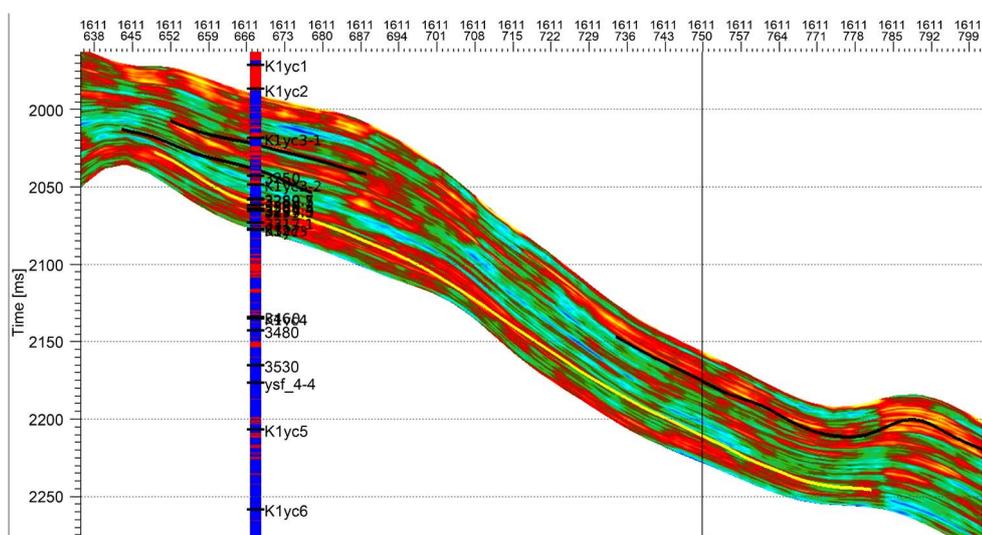


Figure 5. Section of V-shale prediction
图 5. 工区过井非常规泥质含量预测剖面

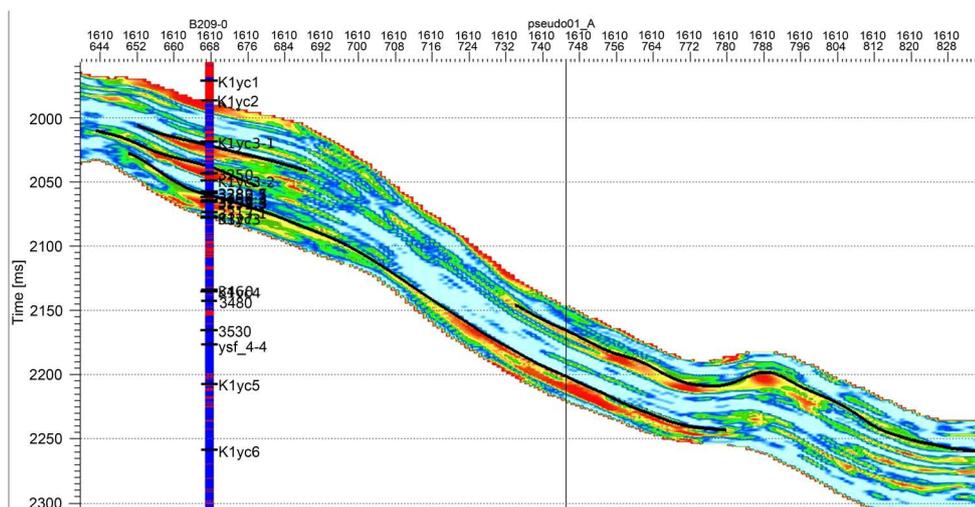


Figure 6. Section of Q prediction
图 6. 工区过井致密层流体因子预测剖面

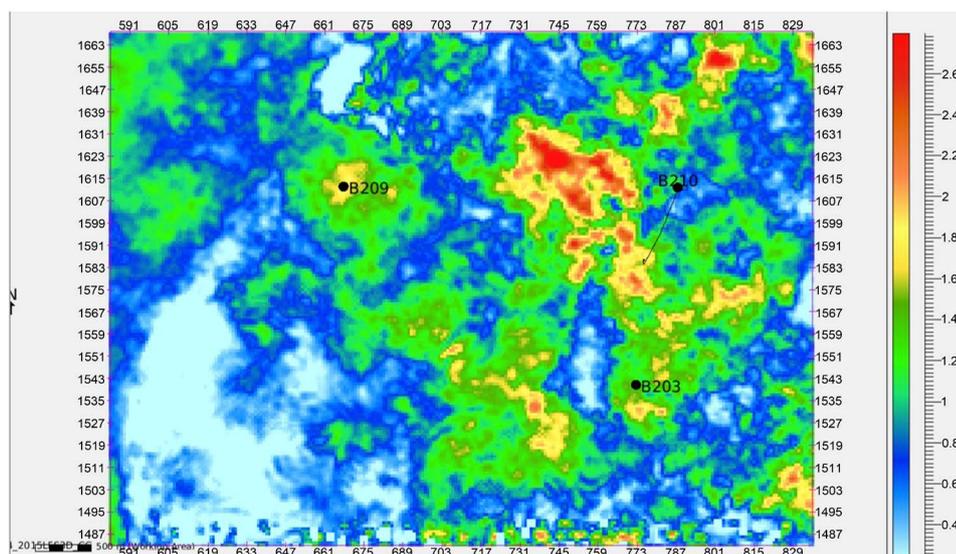


Figure 7. Plan of Q prediction in target layer
图 7. 目的层致密层流体因子平面图

6. 结论及认识

1) 针对致密碎屑岩储层有效孔隙低而开展的精准测井解释和岩石物理建模工作，指导了岩石物理横波估算，进一步提出更为敏感的流体因子，为叠前地震反演提供了有力的基础数据支撑。

2) 叠前空变反演方法适用于井位分布不均匀或储层横向快速变化的地区。空变因子的加入进一步提高了模型数据再反演过程中的约束效果。

3) 综合运用地质、测井、地震属性、叠前叠后储层精细描述结果，实现勘探开发一体化，本着加快天然气产能建设、多维度降本提效的方针政策。龙凤山地区开发井位实现了全部高产。

参考文献

[1] 陈美伊, 秦月霜, 王建民, 等. 基于等时相控反演的致密砂岩储层地震识别方法[J]. 石油地球物理勘探, 2016,

51(4): 782-791.

- [2] 殷八斤, 曾灏, 杨在岩. AVO 技术的理论与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [3] 印兴耀, 曹丹平, 王保丽, 等. 基于叠前地震反演的流体识别方法研究进展[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(1): 22-34.
- [4] 许翠霞, 马朋善, 赖令彬, 等. 致密砂岩含气性敏感参数——以松辽盆地英台气田营城组为例[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(6): 712-716.
- [5] 杨培杰, 董兆丽, 刘昌毅, 等. 敏感流体因子定量分析与直接提取[J]. 石油地球物理勘探, 2016, 51(1): 158-164.
- [6] Quakenbush, M., Shang, B. and Tuttle, C. (2006) Poisson Impedence. *The Leading Edge*, **25**, 128-138. <https://doi.org/10.1190/1.2172301>
- [7] Smith, G.C. and Gildow, P.M. (1987) Weighted Stacking for Rock Property Estimation and Detection of Gas. *Geophysics Prospecting*, **35**, 993-1014. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1987.tb00856.x>
- [8] 高树芳, 范玲, 梁晓宇, 等. 测井曲线标准化方法及其对测井解释结果的影响[J]. 国外测井技术, 2008, 23(2): 17-22.
- [9] 孙成禹. 空变地震子波的提取方法研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(1): 77-80.