

The Fine Processing of Log Data in Post-Stack Geostatistics Inversion

Lingling Yan¹, Quanwen Liu^{2*}

¹BaYin GuoLeng Technology College, Korla Xinjiang

²School of Petroleum Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming Guangdong

Email: yll7245522@163.com, ¹liu005777@hotmail.com

Received: Jun. 1st, 2018; accepted: Jun. 18th, 2018; published: Jun. 25th, 2018

Abstract

This paper uses the reliable quality and vertically consistent logging data, to evaluate fine stratigraphic petrophysical parameters and parameters of the consistency of results for inspection and quality control, the curve of the poor quality for editing. The logging response is calculated by multiple regression method, and the standard well is inspected and treated with multi-well standardization, and the histogram and crossplot are normalized to the same geological strata in the target well. The parameters from log processing are put into RPM module, the longitudinal and shear wave velocities are modeled using Xu&White rock physical models, and the skeleton point parameters are fine-tuned, to make the correlation between model data and measured data high. This method can be used to optimize rock physical model and skeleton parameters in the work area.

Keywords

Petrophysical Parameters, Petrophysical Model, RPM Module, Skeleton Point Parameters

叠后地质统计学反演中测井数据的精细处理

闫玲玲¹, 刘全稳^{2*}

¹巴音郭楞职业技术学院, 新疆 库尔勒

²广东石油化工学院石油工程学院, 广东 茂名

Email: yll7245522@163.com, ¹liu005777@hotmail.com

*通讯作者。

收稿日期: 2018年6月1日; 录用日期: 2018年6月18日; 发布日期: 2018年6月25日

摘要

本文采用纵向质量可靠、横向具有一致性的测井资料, 对地层的岩石物性参数进行精细评价, 并对参数结果的一致性进行检查和成果质量控制, 质量差的曲线进行编辑。用多元回归方法计算测井响应, 选择标准井进行多井标准化程度检查和处理, 用直方图和交会图对目标井相同地质层位进行标准化处理。把测井处理得到的参数输入RPM模块, 用Xu&White岩石物理模型进行纵、横波速度的建模, 微调骨架点参数, 使模型数据和实测数据达到较高的相关性, 这种方法可用于工区内的优化岩石物理模型和骨架参数点。

关键词

岩石物性参数, 岩石物理模型, RPM模块, 骨架点参数

Copyright © 2018 by authors 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

叠后地质统计学反演方法是将随机模拟的思想引到地震反演中, 以叠后地震数据做约束, 用随机模拟算法得出其他属性数据体, 实现储层预测。该方法兼顾了地震数据的横向分辨率与测井数据的纵向分辨率, 以井上的声波阻抗作为输入, 并建立阻抗与储层参数间的关系, 模拟出高分辨率的储层敏感参数的数据体[1]。

前人在对由测井和钻井环境引起的测井曲线测量偏差进行修正时, 由于多井间不同仪器、不同测量环境、不同采集时间和不同井眼条件引起的测量结果系统差异较大, 井距间的内插值较大, 反演结果的分辨率不高。叠后地质统计学反演在测井数据处理方面能够实现小井距间的精细尺度内插, 将高分辨率的井数据和低分辨率的地震数据联合应用, 并可生成能够直接输入到油藏数值模拟软件的文件, 通过地质统计学随机模拟建立的储层模型, 更为精确而且能够考虑储层空间的不确定性, 以及储层参数在空间上的变异性, 对非均质性储层预测具有较高的可信度, 目前该项技术已在国内外许多复杂油气藏开发中逐渐得到应用[2]。

哈拉哈塘油田新垦区块奥陶系一间房组碳酸盐岩储集体主要以溶洞和缝洞型储层为主, 非均质性强, 常规的测井数据的处理很难满足要求, 本次研究通过对测井数据的精细处理为叠后地质统计学反演打下坚实的基础。

2. 测井资料处理和岩石矿物分析

2.1. 测井资料的处理

测井资料处理是测井解释和岩石物理建模工作的基础, 质量控制的主要目的是校正由井眼垮塌造成的曲线异常响应, 补偿多井间由于不同仪器、不同测量环境和井眼条件引起的测量结果差异, 以提供完整、合理的测井曲线[3] [4]。

测井资料的质量控制主要包括: 对工区内重点井自然伽马、中子、声波和密度曲线进行校正处理, 并开展多井一致性检查和标准化处理工作。在获得了纵向质量可靠、横向具有一致性的测井资料后, 根据后续地层评价和岩石物理参数建模工作的要求, 对地层的岩石物性参数, 如矿物含量、孔隙度等进行了精细评价, 并对参数结果的一致性进行检查和成果质量控制[5] [6]。

1) 测井资料质量控制和一致性处理

数据可用性检查和质量检查; 不同测井序列之间曲线的拼接; 校深处理; 数据编辑, 包括补充缺失段、尖峰消除等; 坏井眼、泥浆密度和温度校正。

测井曲线是建立测井资料和地震资料关系的基础, 在质量控制过程中, 需要对质量差的曲线进行编辑, 特别是密度和声波。在编辑过程中, 选择多元回归方法计算测井响应, 用质量好的井段, 替换质量差井段的测井资料。选择标准井进行多井标准化程度检查和处理, 在标准化处理过程中, 主要采用直方图和交会图对目标井相同地质层位进行标准化处理。

2) 测井解释与地层评价

测井解释与地层评价为岩石物理建模提供了合适的输入参数, 岩石物理建模首先对总孔隙度、裂缝孔隙度、孔洞孔隙度、基质孔隙度、矿物含量和饱和度进行估算, 然后基于多井参数解释和地层评价选取合适的矿物骨架点, 应用最优化测井解释模块 Statmin 分别计算得到了各井的总孔隙度、裂缝孔隙度、孔洞孔隙度、基质孔隙度、黏土、白云石和方解石含量。

① 岩性识别和响应特征分析

奥陶系一间房组碳酸盐岩矿物成份主要为方解石, 含量一般大于 90%, 最高达 99%; 其次为泥质, 其含量具明显分段性, 一般小于 5%, 最高可达 26%; 其次为白云石, 含量一般低于 2%。其结构组分中粒屑种类及含量都具明显分段性, 产层岩石类型主要是生屑灰岩、粒屑泥晶灰岩及泥晶灰岩。

② 奥陶系上统泥质灰岩岩石体积物理模型

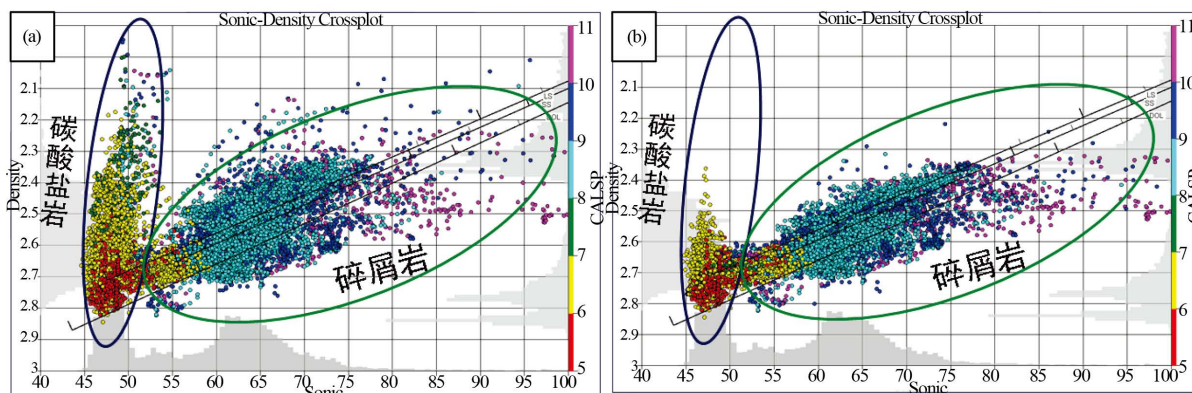
奥陶系上统泥质灰岩地层相对电阻率较低, 但随着灰质含量的增加略有增高。在孔隙度、黏土和骨架矿物含量参数计算过程中, 要质量检查、校正和标准化处理后的中子、密度、电阻率和自然伽马曲线, 首先根据中子和密度曲线的分析, 拾取湿黏土与干黏土的中子密度的响应值; 然后对自然伽马的灰岩和泥岩基线趋势分析, 根据经验的 Larinov Old 黏土含量模型, 计算得到了黏土含量指示参数 VCLGR; 最后输入黏土含量、标准化后的声波、中子和密度曲线。在 Statmin 最优化测井解释模块中进一步优化求解奥陶系上统的黏土、方解石和孔隙度参数。

③ 奥陶系中下统裂缝型碳酸盐岩体积物理模型

裂缝型储层测井特征上表现为齿状低电阻率、低自然伽马, 声波、中子、密度等无显著变化特征, FMI 成像成低阻正弦线; 裂缝孔洞型储层测井特征上表现为低电阻率、低自然伽马(部分充填、半充填伽马略有增高), 声波、中子、密度等具跳变特征, FMI 成像成斑块状暗色图像特征, 有裂缝、洞穴和基质孔隙三大类储集空间。在各种矿物相对体积求解计算过程中, 首先根据经验的 Larinov Old 黏土含量模型, 计算得到了黏土含量指示参数 VCLGR; 根据多元回归得到视孔洞孔隙度, 根据深浅电阻率测井计算得到了视裂缝孔隙度, 以 VCLGR、Density、PHIDT (视声波孔隙度)、CNL 以及 PORKD (视孔洞孔隙度)和 PORF (视裂缝孔隙度)为参数, 在 Statmin 最优化测井解释模块中优化求解得到了奥陶系中下统黏土、白云石、方解石、总孔隙度、孔洞孔隙、基质孔隙和裂缝孔隙参数。

2.2. 测井资料质量控制

通过对井眼环境进行分析, 密度等曲线在井眼垮塌层段, 存在着不合理的响应, 利用密度 - 声波交会图, 可识别出测量有问题的测井层段, 如图 1(a)所示。



(a) well_10 井校正前密度 - 声波交会图; (b) 校正后密度 - 声波交会图。

Figure 1. Pre-calibration and post-calibration density of well_10 well-sonogram

图 1. Well_10 井校正前与校正后密度 - 声波交会图

图 1 校正前测试点分布的不集中, 经过对该测井段测井校正后, 密度 - 声波交会图的测试点分布较为合理。

经过试验, 这些层段的响应无法应用环境校正方法进行校正, 为此采用多元线性拟合的方法, 在相同岩相和岩性、相同含流体类型层段建立多元线性方程, 如图 2 所示 well_10 校正前后密度 - 声波交会图对比。方程形式如下:

$$\text{Log}_{\text{rec}} = f(\text{RILD}, \text{CNL}, \text{DEN})$$

用线性拟合方程, 在岩相、岩性和含流体性质类似且相距较近的层段, 经过对质量较好的测井曲线进行多元线性拟合, 建立基准曲线和计算曲线直接的函数响应关系, 而后在井眼垮塌层段对密度测井响应进行校正, 如图 2 所示 well_10 密度曲线校正前和校正后的曲线对比图, 第 3 道红色实线为原始密度, 蓝色实线是校正后密度。

2.3. 测井曲线标准化处理

测井曲线标准化处理的难点是标准地层的选择和多井间系统偏差的认识。根据对基础测井资料和地质条件的分析, 对奥陶系一间房组进行了标准化处理; 研究选择奥陶系中下统深浅电阻率响应差异较小的致密地层作为多井一致性处理的标准层, 选择 well_10 井作为标准井, 主要原因是, 碳酸盐岩地层在全工区范围都有较稳定的分布, 利于各井间的对比分析; 该井的钻井深度适中, 钻穿了所要研究目的层; 该井井眼状况相对较好, 曲线的测量受井眼环境影响相对较小; 该井测井项目较齐全, 测井资料品质较好, 并且还有诸多的岩芯分析资料可供参考; 通过单井测井分析发现, 该井测井资料在目的层段的响应特征与该地区的经验认识相吻合, 基本反应了该区研究目的层的测井响应规律, 另外, 钻井泥浆的差异也是影响放射性测井曲线响应的重要因素。

标准化处理前(图 3(a))和标准化处理后(图 3(b))对比可看出, 标准化处理后各井的阻抗和孔隙度的相关性明显变好。

2.4. 储层物性参数测井评价

应用 Statmin 最优化测井解释软件模块进行测井地层评价模型的搭建和各矿物含量的求解计算, 可用于计算岩性、矿物以及孔隙度等参数。同时, 该工具可以按照数据所反映的矿物类型, 计算得到该矿物的体积[7] [8] [9] [10]。在该模块中可以建立平衡、超定和欠定的模型, 可以建立计算速度比非线性响应

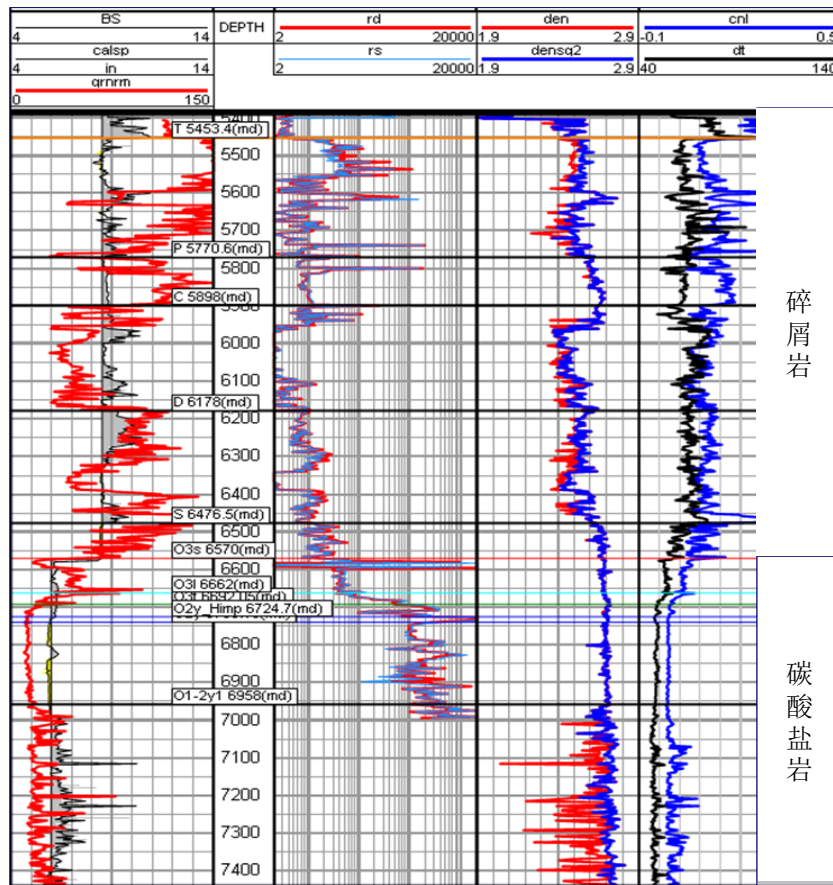
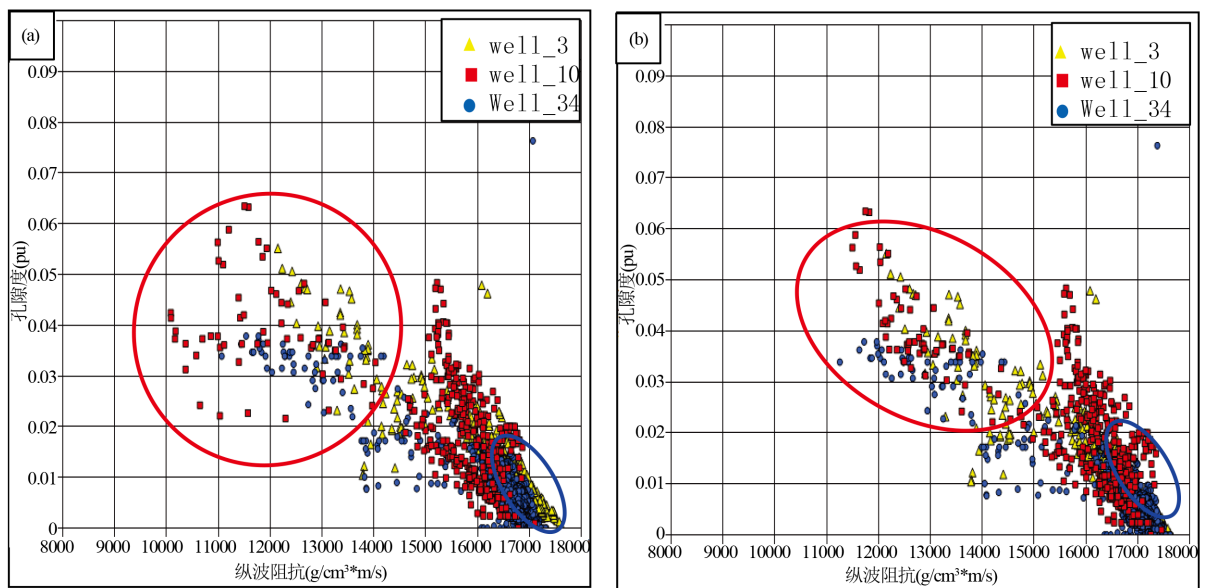


Figure 2. Results of the well_10 curve measurement density calibration results
图 2. Well_10 曲线测量密度校正成果图



(a) 标准化前波阻抗和孔隙度关系图; (b) 标准化后波阻抗和孔隙度关系图。

Figure 3. The relationship between wave impedance and porosity before and after normalization
图 3. 标准化前和标准化后波阻抗和孔隙度关系图

方程更加快速的线性响应方程。

1) 岩石矿物骨架分析

根据中子 - 密度、声波 - 密度交会图拾取了干黏土与湿黏土点。应用 Larinov Old 自然伽马计算黏土含量经验模型计算得到另一黏土含量指示值 VCLGR, 方程为:

$$VCLGR = 0.33 \times (22X - 1);$$

$$X = (GR_{log} - GR_{clean}) / (GR_{clay} - GR_{clean});$$

其中: GR_{clay} ——100%黏土岩层段伽马测井响应; GR_{clean} ——纯石灰岩段伽马测井响应; GR_{log} ——伽马测井曲线实际响应;

对于奥陶系上统灰质泥岩地层, 以 VCLGR、标准化的 DEN、CNL 和 DT 为参数, 应用 Statmin 最优化模块得到了黏土、方解石、白云石和孔隙度参数, 选取应用于计算的矿物骨架点参数如表 1 所示。

对于奥陶系上统灰质泥岩地层, 以 VCLGR (伽马计算黏土含量)、Density (体积密度)、DT (声波孔隙度)、CNL (补偿中子孔隙度)、PORKD (视孔洞孔隙度)、PORF (视裂缝孔隙度) 为参数, 应用 Statmin 最优化模块进一步优化得到黏土、方解石、白云石、孔隙参数, 应用于计算的矿物骨架点参数[11] [12] [13]。

2) 体积模型建立

根据岩石骨架参数, 运用最优化软件就可以计算储层体积模型。由于采用一致性处理后的测井曲线, 所有井采用统一骨架参数, 因此各井体积模型是一致性的, 图 4 为 well_3 测井体积模型计算质控图。

图 4 第一道为自然伽马, 第二道为电阻率, 第三道为自然伽马计算的泥质含量, 第四道为补偿密度, 第五道为补偿中子, 第六道为补偿声波, 第七道为质控参数(一般小于 1 为优, 1~5 为良), 第八道为孔隙度(红色的 POR 为原测井计算, 蓝色 PHIE 为本次计算), 第九道为孔隙度大于 1.8% 的储层, 第十道为泥质、灰质及总孔隙度的体积含量。蓝色为实测曲线, 红色为模型曲线, 可见二者基本接近, 模型精度较高, 而 6610~6632 m 井段由于井眼部分坍塌造成部分曲线失真, 使模型精度下降。

图 5 为 well_4 Statmin 模块计算与测井计算孔洞孔隙度对比。图 5, b 图第二道蓝色实线为根据回归关系重新评价结果, 对比分析可以发现, 本次结果的解释精度较高。

3) 测井地层评价物性参数质量控制

为了确保岩石物理建模过程中参数的稳定性, 建立多井相应层段孔隙度和波阻抗参数的多井交会图, 如图 6(a)所示为一致性处理前一间房组纵波阻抗与总孔隙度的交会图, 其不同颜色代表不同的井; 图 6(b)为一致性处理后纵波阻抗与总孔隙度的交会图, 一致性处理后纵波阻抗和总孔隙度呈现出较好的相关性。

Table 1. Statmin model skeleton point parameter of ordovician in new reclamation block

表 1. 新垦区块中奥陶统一间房组 Statmin 模型骨架点参数

	泥质含量		灰岩含量		孔隙度		云岩	
	骨架点	误差	骨架点	误差	骨架点	误差	骨架点	误差
伽马计算黏土含量	1	0.05	0	0.04	0	0.05	0	0.06
体积密度	2.78	0.05	2.71	0.06	1	0.06	2.87	0.06
补偿中子孔隙度	0.22	0.03	0	0.02	1	0.04	0.02	0.04
声波孔隙度	70	2.5	46.5	3	180	3	41.5	3.5

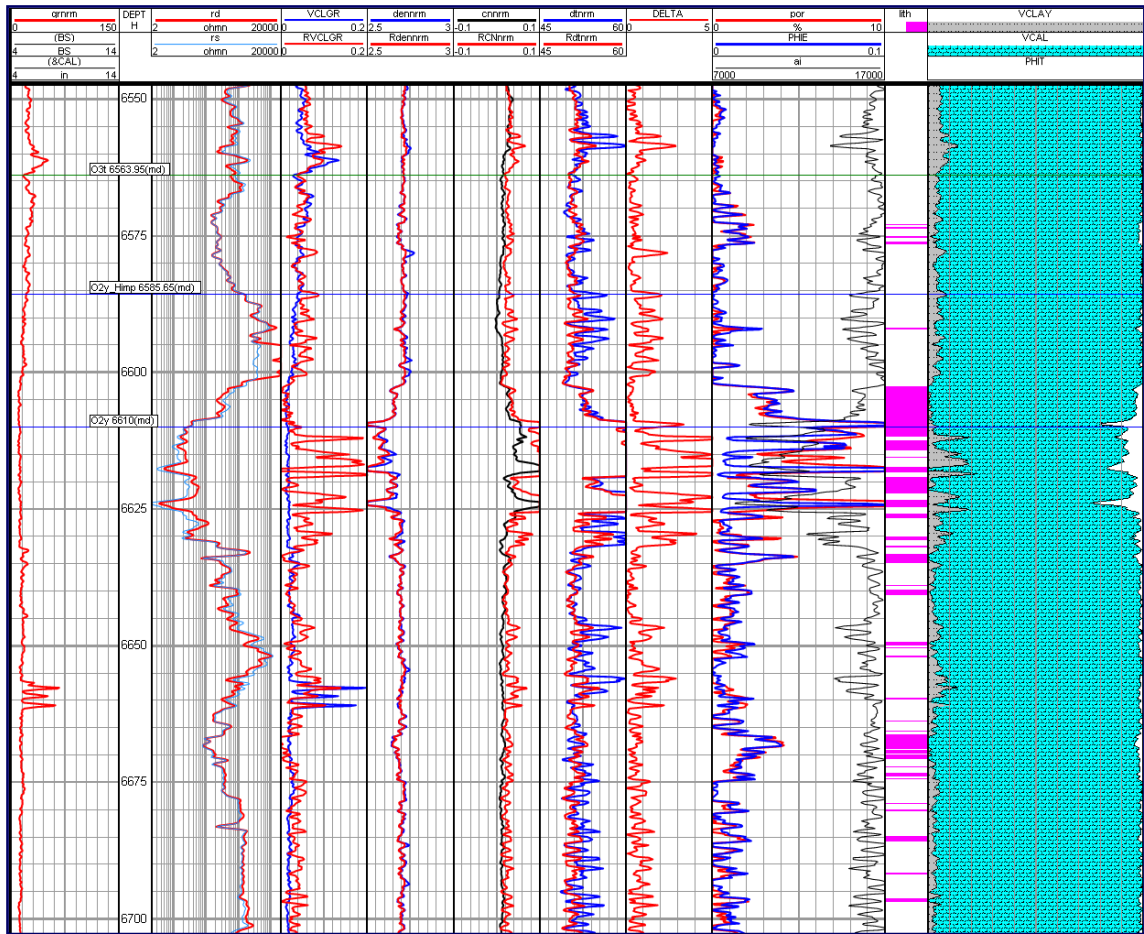
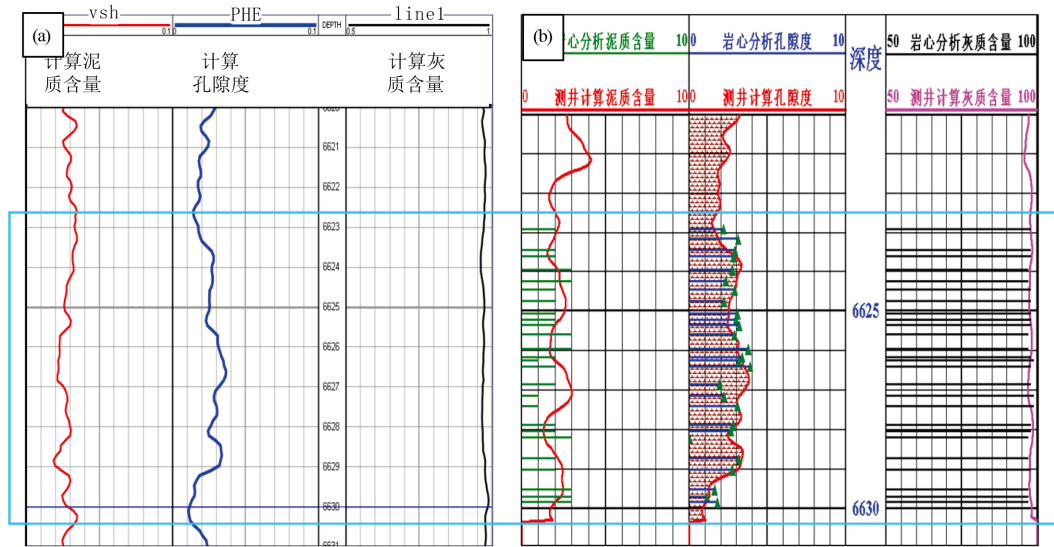
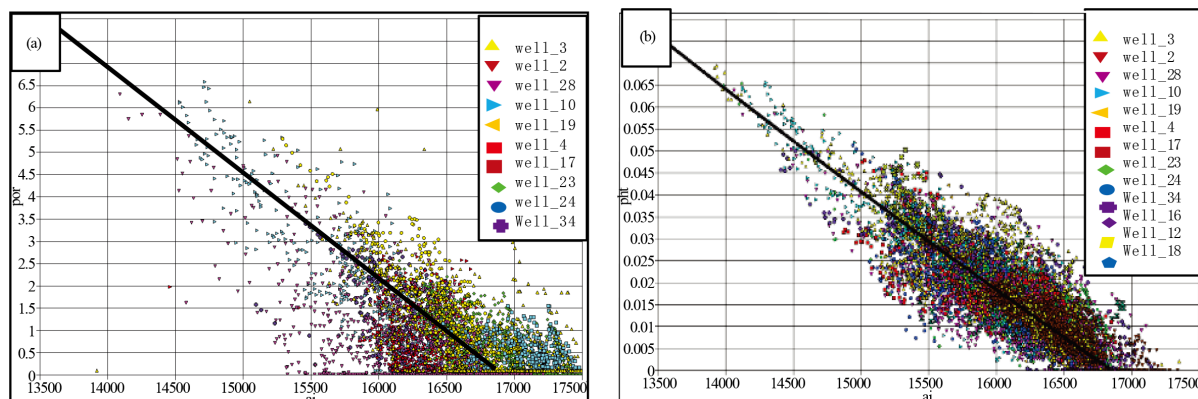


Figure 4. Well_3 well logging volume model to calculate the quality control diagram
 图 4. Well_3 井测井体积模型计算质控图



(a) Jason 计算孔隙度; (b) 测井计算的孔隙度。

Figure 5. Porosity comparison of well_4 well
 图 5. Well_4 井孔隙度对比图



(a) 测井纵波阻抗与孔隙度交会图-原始曲线; (b) 测井纵波阻抗与孔隙度交会图-一致性处理后。

Figure 6. Comparison of the relationship between longitudinal wave impedance and porosity

图 6. 纵波阻抗与孔隙度关系对比图

3. 岩石物理建模

岩石物理性质能够直接反映地层情况。主要使用 RPM (Rock Physics Module)岩石物理分析模块进行岩石物理模型分析, RPM 将测井分析与用于 AVO 属性分析相结合。AVO 分析缺少纵波时差测井曲线或者缺少横波时差测井曲线, 需合成与实测曲线近似相同误差的可靠的声波曲线, 同时补齐一些井缺失的密度曲线, 校正一些失真的密度曲线[14] [15] [16]。

应用 RPM 进行岩石物理建模的技术流程为: 建立理论岩石模型基础, 应用流体和矿物构成以及岩石结构等基础信息, 获得有效的岩石弹性属性, 根据对实测的弹性波曲线与合成曲线的对比结果来确定模型参数。建立了岩石物理模型后, 模拟预测建模井中不存在的弹性曲线, 也可以进行流体替换研究和侵入校正工作。

首先把测井地层评价处理得到的各矿物含量、孔隙度、饱和度等参数输入 RPM 模块, 然后选用 Xu&White 岩石物理模型进行纵、横波速度的建模, 通过微调骨架点参数, 使模型数据和实测数据达到较高的相关性, 最后确定可用于工区内的优化岩石物理模型和骨架参数点, 岩石物理建模关键参数见表 2, 计算方法的选用:

干岩石模量计算方法: 微分等效介质(DEM);

油气体积模量计算方法: Batzle&Wang;

油(气)水两相流体体积模量计算方法: $(K \times \text{brine} - K \times \text{hc}) \times \text{Sw}^{\text{Brie}} + K \times \text{hc}$

其中 Brie = 2; K 是剪切模量; brine 是地下矿化水; hc 是烃; Sw 是含水饱和度。

流体置换方法用 Gaussman 方程。根据实测井的横波资料和 Statmin 最优化计算岩石物理体积模型展开研究, 对密度测量错误段进行了岩石物理模型的拟合, 对此段缺失或者是测量错误的密度和声波曲线进行了校正处理, 这都将为后续的叠后反演提供保障, 并建立了泥质含量、裂缝孔隙度、孔洞孔隙度岩石物理定量解释图版(图 7)。

针对研究区原油密度较轻的情况, 对利用地震弹性信息进行烃类检测是否可行进行相关测试。按照前面所述测井岩石物理分析认为孔隙度使 V_p/V_s 降低、阻抗降低, 裂缝使 V_p/V_s 升高, 造成 V_p/V_s 流体识别窗口有限, 因此传统利用 V_p/V_s 识别流体困难。

4. 结论

对比研究区和塔中地区的流体检测, 如图 8, 塔中地区应用速度密度比参数区分流体效果较好。从

Table 2. Key parameters of Xu&White rock physical model
表 2. Xu&White 岩石物理模型关键参数表

参数	参数值	备注
油 API 密度	29.3 API	Laboratory PVT test
气油比(gas oil ratio)	30	Laboratory PVT test
气比重(gas gravity)	0.88	Laboratory PVT test
地层水矿化度(salinity)	80.000 ppm	Laboratory PVT test
方解石矿物密度(calcite density)	2.71 g/cc	Theoretical value
白云石矿物密度(dolomite density)	2.87 g/cc	Theoretical value
黏土矿物密度(clay density)	2.75 g/cc	Evaluation
方解石矿物纵波速度(calcite p-sonic)	47.5 us/ft	Theoretical value
黏土矿物纵波速度(clay p-sonic)	72.5 us/ft	Evaluation
白云石矿物纵波速度(quartz p-sonic)	43.5 us/ft	Theoretical value
方解石矿物纵波速度比(calcite vpvs)	1.93	Theoretical value
黏土矿物纵波速度比(clay vpvs)	1.99	Evaluation
白云石矿物纵波速度比(quartz vpvs)	1.85	Theoretical value
骨架矿物长宽比(matrix aspect ratio)	0.12	Evaluation
泥质矿物长宽比(clay aspect radio)	0.05	Evaluation

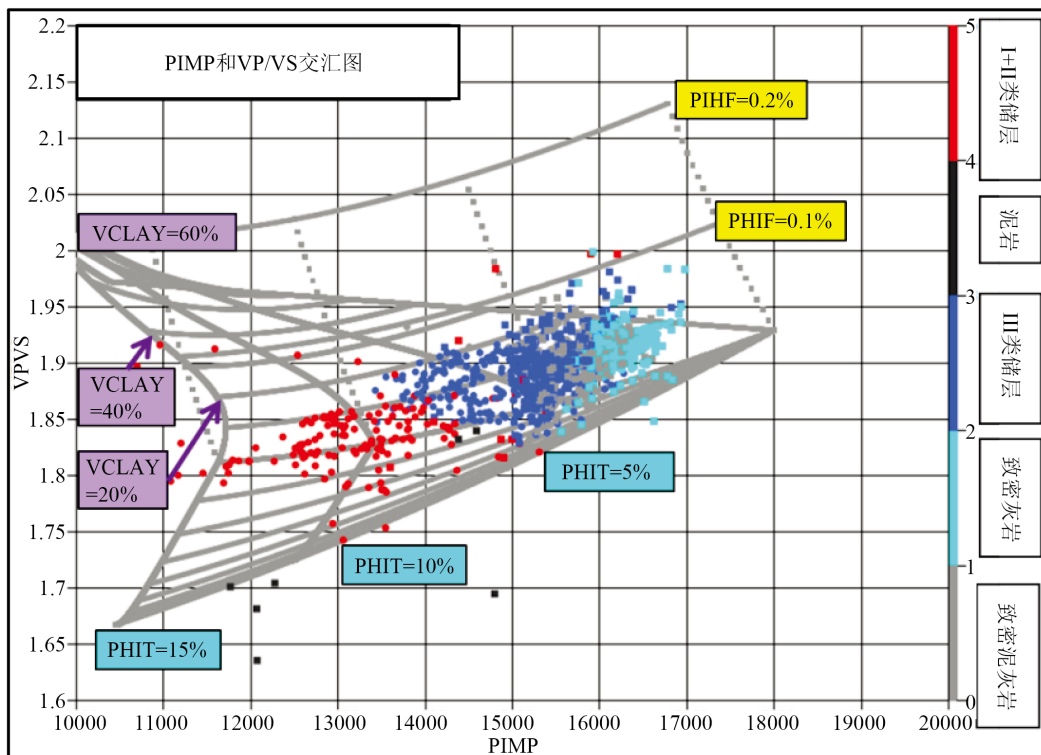
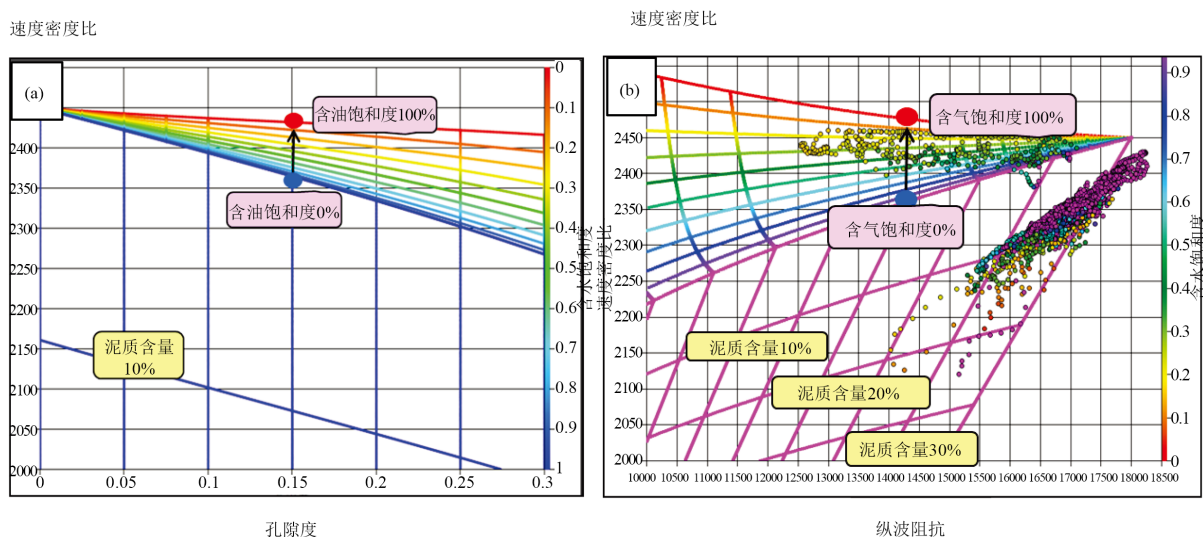


Figure 7. Physical quantity of shale rock
图 7. 泥质灰岩测井岩石物理量版



(a) 研究区流体识别量版; (b) 塔中地区流体识别量版。

Figure 8. Comparison of fluid identification volume
图 8. 流体识别量版对比

图可以看出泥质含量使速度密度比明显降低, 含油饱和度使速度密度比明显升高, 其中孔隙度越大, 含油饱和度对速度密度比影响越大。速度密度比参数可减小孔隙度影响, 增大流体和泥质影响因素, 泥质的影响为反方向(减小)变化; 哈拉哈塘含气少, 原油较重, 随着含油饱和度的增加, 密度降低量比含气地层小很多, 但是速度不明显, 因而速度密度比随着孔隙度的增大而逐渐降低, 就造成适应于塔中的因子在研究区做流体检测比较困难; 哈拉哈塘为油藏为主, 引起的弹性参数的变化量较小。

参考文献

- [1] 刘雯林. 油气田开发地震技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [2] 刘文波, 汪益宁, 滕蔓, 等. 反演技术在喇嘛甸油田储层预测中的应用[J]. 石油天然气学报, 2011, 12(33): 63-67.
- [3] 秦月霜, 郭海晓, 陈友福. 变差函数对地震反演精度的影响[J]. 大庆石油学院学报, 2009, 21(3): 86-89.
- [4] 韩翀, 臧殿光, 李建华. 地质统计学反演在四川盆地 L 地区储层预测中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(3): 310-315.
- [5] 张小艳, 谭勇. 变差函数球状模型的自动拟合与实现[J]. 物探与化探, 2010, 34(2): 253-257.
- [6] 徐立恒, 陈显森, 姜岩, 等. 不同变差函数变程下随机反演与随机模拟对比分析[J]. 物探与化探, 2012, 36(2): 224-227.
- [7] 高金玉, 马明福, 沙雪梅, 等. 随机模拟方法在阿尔及利亚 Oued Mya 盆地的应用[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(3): 86-89.
- [8] 刘百红, 李建华, 魏小东, 等. 随机反演在储层预测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(2): 581-589.
- [9] 王香文, 刘红, 滕彬彬, 等. 地质统计学反演技术在薄储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 730-735.
- [10] 刘丹, 徐伟. 随机反演在陆丰 13-1 油田储层预测中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2012, 34(3): 331-335.
- [11] 张国华, 张会星. 地质统计学反演与常规反演在储层预测中的应用效果对比分析[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(4): 57-62.
- [12] 孙思敏, 彭仕宓. 地质统计学反演方法及其在薄储层砂体预测中的应用[J]. 西安石油大学学报, 2007, 22(1): 41-48.
- [13] Yarus, J.M. and Chambers, R.L. 随机建模和地质统计学: 原理、方法和实例研究[M]. 穆龙新, 等, 译. 北京: 石油工业出版社, 2000.

- [14] Teng, L. (2012) Probabilistic Petrophysical Properties Estimation Integrating Visco-Elastic AVA Inversion with Statistical Rock Physics. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1422-1424.
- [15] Al Mustafa, H. and Girolidi, L. (2013) A Class IA AVO Sand in Saudi Arabia: The Search for the Optimum Lithology and Fluid Indicator. *SEG Annual Meeting*, Houston, 22-27 September 2013, 1320-1322.
- [16] Haas, A. and Dubrule, O. (1994) Geostatistical Inversion—A Sequential Method for Stochastic Reservoir Modeling Constrained by Seismic Data. *First Break*, **13**, 561-569.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org