

The Research on Inversion Prediction Reconstruction of Member 1 of Quan Group in M Area in Southern of Songliao Basin

Siyuan Chen, Tao Ling

College of Geosciences Institute, Northeast Petroleum University, Daqing Heilongjiang
Email: 65724632@qq.com

Received: May 6th, 2017; accepted: May 24th, 2017; published: May 27th, 2017

Abstract

Due to the hardship of Reservoir Prediction of Quan-1 Member in M Area, the method of curve rebuilding inversion is adopted in this paper. Reservoir Prediction is accomplished through a number of processes, such as well log data pretreatment, seismic data processing, wavelet calibration and control, geologic model and so on. The result proved to be reasonable, and the spatial morphology of sand bodies of Quan-1 Member is well illustrated. The sand layers are thick and distribute continually in the trough belts, and less distributed in anticline zones and slope belts, while existed as sweet spots in some local areas.

Keywords

Southern of Songliao Basin, Member 1 of Quan Group, Inversion Reconstruction, Reservoir Prediction

松辽盆地南部M地区泉一段重构反演预测研究

陈思远, 令涛

东北石油大学, 地球科学学院, 黑龙江 大庆
Email: 65724632@qq.com

收稿日期: 2017年5月6日; 录用日期: 2017年5月24日; 发布日期: 2017年5月27日

摘要

针对M地区泉一段储层预测难的特点, 本文采用曲线重构反演方法, 通过测井曲线资料预处理、地震资

料预处理、子波提取与合成记录质控、地质模型估算等重要环节的实现,从而完成了M地区泉一段储层预测工作。重构后反演效果较好,较好地刻画了泉一段砂体的空间展布,洼槽带厚砂体呈片状分布,背斜带和斜坡带砂体呈小片状为主,局部砂体呈甜点状为主。

关键词

松辽盆地南部, 泉一段, 重构反演, 储层预测

Copyright © 2017 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. 地质背景及技术难点

M地区位于松辽盆地南部的北端,北部与黑龙江省大庆油田相接,是松辽盆地南部东南隆起区最南端的二级构造单元之一,研究区构造格局整体呈北东向展布,平面上可划分为背斜带、斜坡带和洼槽带3个三级构造单元(图1)。目前钻遇泉一段探井4口,均分布在构造高部位的背斜带上。其中,C2井泉一段两个层段试油为含气层,砂岩厚度分别为31 m和16 m;C4井泉一段试油为含气层,砂岩厚度为31 m,该地区具有十分有利的勘探潜力。在实际的勘探开发工作中,该层系面临着诸多难题,主要集中在:①M地区含气储层具有多层组、多砂体、砂体单层厚度薄的特点,储层特征不清晰[1][2];②目的层地震资料主频低,信噪比和分辨率低,目的层段地震资料反射连续性差,难以分辨泉一段薄砂体,以及无法和满足定量预测的需要;③基于地震资料的沉积相研究相对薄弱,沉积相带的划分等还存在许多争议,严重制约了下一步勘探进程。为此,笔者在研究和借鉴前人成果的基础上,试图以M地区泉一段研究为例,利用重构地震反演方法开展对该区的砂体预测,从而明确该区储层空间展布特征。

2. 曲线重构方法的适应性分析

石油储层的主要研究方法为地震反演,主要依据地层的波阻抗差异特征。各种地球物理资料可以对地下不同地质体反映。如何将多种地球物理信息融合在一起充分揭示地下的地质特征,是地球物理工作者长期致力于研究的方向。曲线重构方法最终实现地球物理多信息融合,突出各信息的优势分量。常规波阻抗反演分辨率低,难以满足勘探精度的需要。因此,有必要构建曲线进行储层预测,但因为其与波阻抗曲线建立关系合理与否的原因,故在地震反演上存在一定的难度[3]。波阻抗反演即把地震资料中丰富的岩性、物性等信息转换为“可读的”岩性数据体,并结合钻井、测井成果,实现地震在横向上资料的预测功能,从而达到储层特征空间刻画的目的。但不足之处为原始波阻抗纵向分辨率不高,对薄砂岩识别精度较差(图2(a)),而通过曲线统计来看,自然伽马曲线在区分岩性效果较好(图2(b))。自然电位、电阻率等非速度类曲线在实际研究中对岩性识别发挥明显优势,虽然与地震资料没有与地震反射没有直接对应关系,但可探求一种非速度类测井曲线与速度类测井曲线融合曲线方法,综合体现地层背景与岩性背景信息,相当于在地震反演过程中加入了丰富的地质先验信息和岩石物性信息,使得反演结果更加准确。

据文献3表明,曲线的低频分量对于厚层砂岩响应最为敏感,而曲线的高频分量往往反映薄层砂岩。因此,把曲线作为信号分解成高低不同频率的尺度成分,然后利用曲线间的不同尺度分量对薄厚层敏感程度进行融合。

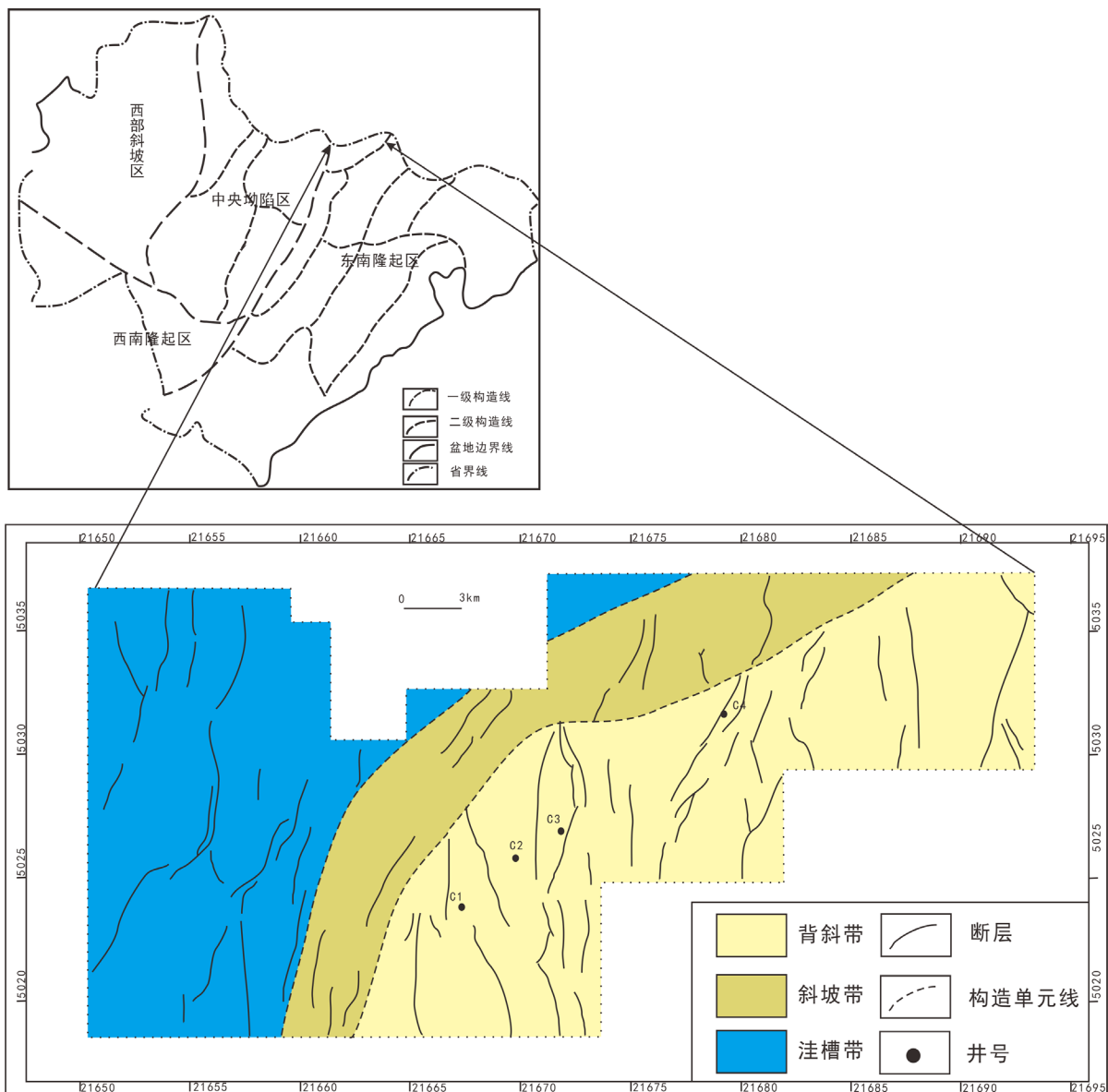


Figure 1. Geological map of the study area; I anticline; II slope; III groove
图 1. 研究区地质概况图; I 背斜带; II 斜坡带; III 洼槽带

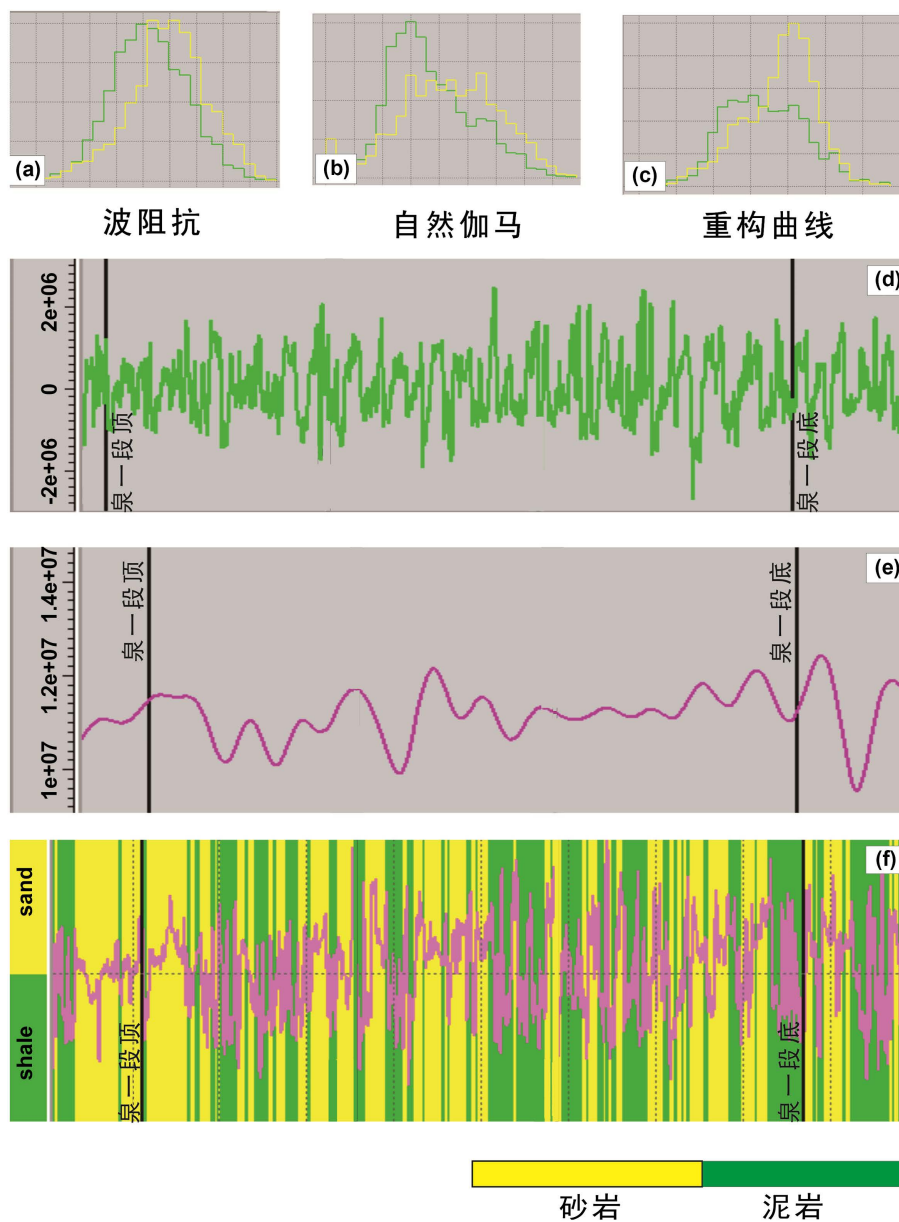
首先, 以声波曲线为载体, 对目的层进行时深转换, 同时将自然伽马曲线与声波曲线进行拟合统计, 将自然伽马曲线转换成拟波阻抗曲线, 保证其在同一量纲内。

其次, 建立一个时间域母函数—— $\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi(\omega)|^2 |\omega|^{-1} d\omega < \infty$ 平方可积函数 $\psi(t)$ (即 $\psi(t) \in L^2(R)$), 其中是 $\psi(t)$ 的傅里叶频谱, 该式适用条件为时深转换后自然伽马或波阻抗曲线等。在对母函数进行伸缩平移变换, 得到一函数簇(式 1):

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) a \tag{式 1}$$

($b \in R$ 且 $a \neq 0$), 式中: a 为尺度参数; b 为时间平移参数; t 为曲线变量。

尺度参数 a 大小决定分解后频率的高低, 而时间平移参数 b 决定转换后量纲范围。曲线高(低)频提取



a. 波阻抗曲线岩性统计直方图 b. 自然伽马曲线岩性统计直方图 c. 重构曲线岩性统计直方图
 d. 自然伽马曲线高频分量 e. 波阻抗曲线低频分量 f. 重构后的拟波阻抗曲线

Figure 2. Schematic diagram of curve reconstruction in M area
图 2. M 地区曲线重构示意图

意义为将一维的时间函数分解为一个二维参数空间(a , b), 从而形成一种能在时间(或空间)坐标位置 b 和尺度(时间周期) a 上具有变化的相对振幅的一种变换函数。

因此, 利用公式(1)将原始曲线进行分析, 自然伽马曲线对薄砂岩响应较好, 波阻抗曲线虽然对薄层砂岩响应不够敏感, 但能够反映大套砂旋回特征。据此, 把波阻抗曲线的低频分量与自然伽马高频分量结合(图 2(d)、图 2(e)), 构建出拟波阻抗曲线(图 2(f)), 重构后的拟波阻抗曲线对砂岩和泥岩的区分较之前有较大改进, 波阻抗曲线与拟波阻抗曲线在厚砂岩对应较好, 而对于 8 m 左右的薄砂岩, 重构后的拟波阻抗曲线对薄砂岩响应更为敏感(图 2(c))。

3. 反演技术的应用

严格来说, 一个好的反演成果都应建立在对测井资料的分析 and 校正基础之上[4]-[10], 重构地震反演也不例外。测井资料预处理不仅是地震反演一项前期必要的工作, 而且会直接影响后期反演效果的好坏。因此在开展地震反演之前需要进行曲线预处理, 确保这一环节工作不会影响到后续工作中。在这些关键技术环节中, 须重点对测井资料标准化、地震资料预处理、子波提取与合成记录标定、测井数据统计分析等开展研究。

3.1. 曲线资料预处理

测井曲线是约束地震反演处理中用到的最重要的基础资料。但由于测井资料受井径变化、泥浆浸染、仪器性能等多方面因素影响, 使得测井数据存在随机误差和系统误差, 因此需要对测井资料进行环境校正和标准化处理, 使测井资料真实反映地下情况, 以确保地震反演不受影响。以声波曲线为例, 曲线标准化具体操作流程如下: ①选取泥岩标准层段, 通常选取全区稳定发育的泥岩层段, 如青一段泥岩可作为本次标准层段; ②综合全区录井等砂泥岩统计, 定准标准井如 C2 井; ③计算其他井与标准井在标准层段偏差值; ④对其他校正井进行校正, 完成了声波曲线标准化工作。

3.2. 地震资料预处理

频带宽度是评价地震数据分辨率的主要指标。原始地震资料主频越高, 其反演分辨率越高。研究区原始地震资料泉一段主频 25 Hz, 地震分辨视厚度在 15 米左右, 该分辨率难以应对薄层、横向变化快的储层进行准确定量描述。因此, 采用有限频带宽度且比较接近实际地震数据的理论模型进行了频带宽度对反演结果影响的分析, 以此提高剖面信噪比, 拓宽地震资料频宽。反褶积合适与否直接影响地震数据的分辨率和信噪比, 通过对比反褶积前后自相关和统计子波看, 地表一致性反褶积后子波主瓣的能量更加集中, 自相关的一致性得到了加强, 补偿近地表与大地吸收衰减以及提高地震数据成像分辨率方面起到了重要作用(图 3)。处理结果资料的主频提高到 30 Hz, 地震分辨视厚度变为 13 m 左右, 处理后的地震剖面在信噪比、分辨率方面得到了提高, 从而为砂体预测提供了高质量的基础地震资料。

3.3. 子波提取与合成记录质控

地震合成记录是地震反演进行时深转换必要的工作, 而子波的提取是地震合成记录标定中最重要的技术环节, 子波的好坏将直接影响到反演结果的多解性和分辨率[11] [12]。因此, 对子波提取工作进行质量控制是非常关键的, 具体做法是首先选取与地震资料主频一致的理论雷克子波即 30 Hz, 与测井波阻抗曲线生成合成记录, 初步将两者的主要波组对齐。然后从各井井旁地震道分别提取子波, 等合成记录与井旁地震道调到一定相似程度后, 再分别从每口井的测井曲线中提取新的子波, 提取的地震子波的原则是能量比较集中, 主峰旁瓣比较大。如果条件不满足, 再次调节时深关系曲线, 使合成记录逼近实际地震道形状, 直到合成记录与实际地震记录达到最佳匹配为止, 相关系数一般控制在 70% 以上为最佳, 确保合成道与地震剖面在频率、相位等特征上一致。

3.4. 地质模型估算

模型估算通过优化权重分布, 微调解释层位等, 使得生成的模型满足: ①与井曲线和解释层位基本匹配; 与合成地震记录和地震数据匹配; ②为约束稀疏脉冲反演提供与地质构造相一致的低频分量模型; ③限定重构反演的研究层位, 并提供层位接触关系的信息以及为其他功能函数提供层位限定, 确保结果在研究的目的层内, 选择与地震数据相符合的低通滤波器, 求取井旁道阻抗值的低频模型分量。通过地

质模型约束条件, 使得井间的权重分布遵从地震数据、构造模型的变化, 从而根据参数模型中的权重分布、层位、地层接触关系等产生真实的低频模型。经过多次反演和地质分析, 对层位、断层进行修改, 从而满足模型的要求。

4. 反演效果与应用

4.1. 地震反演效果分析

通过优化本区的反演参数, 综合分析多种资料, 一定程度上降低了地震反演的多解性。砂体空间对接情况反映了储层空间变化规律, 从过井反演剖面来看(图 4), 纵向上为多套砂岩叠置, 平面上砂体发育在不同构造单元发育不同。位于构造高部位的背斜带砂体发育主要受断裂控制明显, 横向连续性较好, 砂体厚度较大, 而斜坡带砂体多呈透镜状发育, 砂体间横向连续性较差, 单砂体发育厚度一般, 而洼槽带内地层发育厚, 但单砂体发育相对较薄。

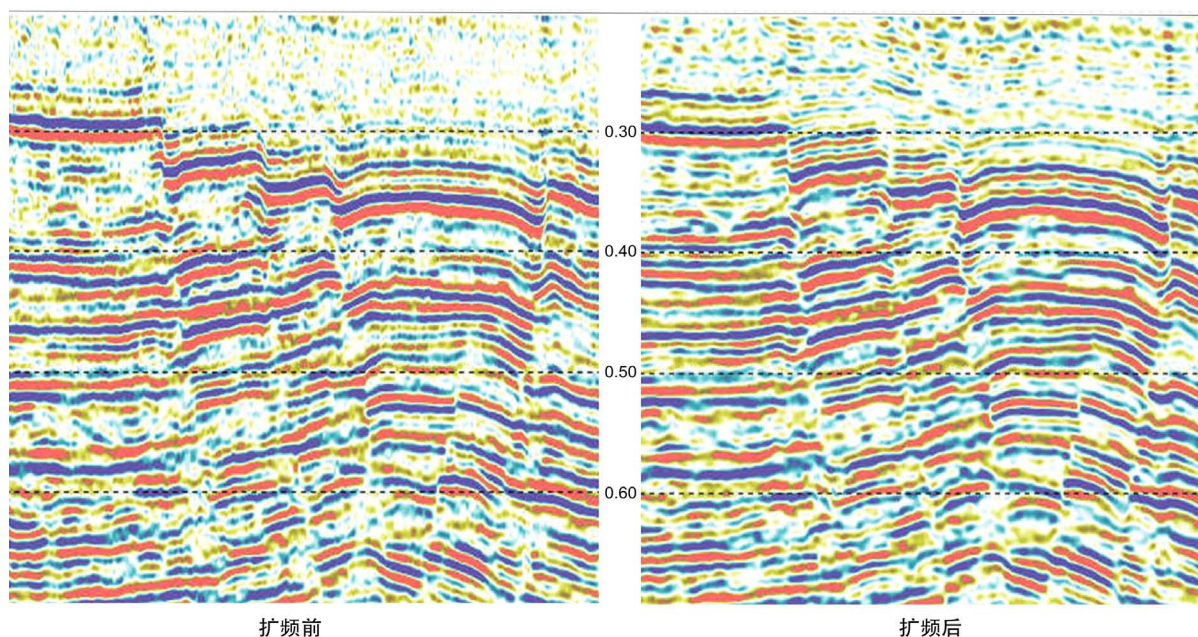


Figure 3. Comparison of the results before and after frequency extension of the target layer seismic data in M area
图 3. M 地区目标层地震资料拓频前后效果对比

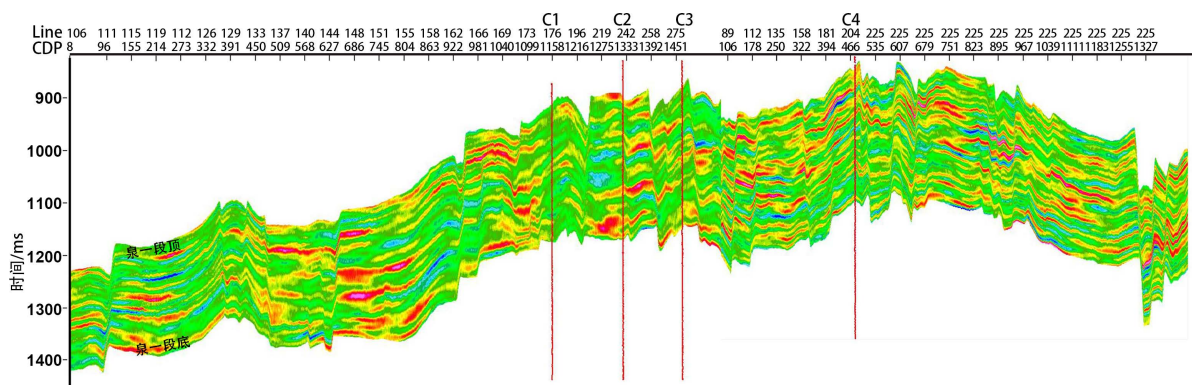


Figure 4. Reconstructed impedance inversion profile
图 4. 重构波阻抗反演剖面

地震反演纵向分辨率高低决定了能否精细刻画出砂体空间展布[13]。通过对比钻井砂岩厚度和砂体预测吻合率得知, 纵向上能够识别出大于 8 m 的厚砂岩, 随着单层砂岩厚度增大, 反演纵向符合率也随之提高。总体上, 砂体厚度误差平均控制在 10% 左右, 从而能很好为地质分析提供可靠佐证。

4.2. 泉一段砂体预测

通过对砂泥岩与反演成果统计分析得知(图 5), 设定砂岩门槛值为 $1.085e + 06 \text{ kg/m}^3 * \text{m/s}$, 重构波阻大于这个门槛值为砂岩, 低于这个门槛值为泥岩, 从而绘制 M 地区储层预测平面图。从储层预测平面来看(图 6), 总体上泉一段砂岩较发育, 但在不同的三级构造单元内分布不均衡。厚砂呈片状分布, 洼槽带平均砂体厚度约 50 m, 最厚砂体达 70 m, 主要分布在风华镇附近, 呈南北方向延展; 背斜带和斜坡带砂体呈小片状为主, 东部较西部发育差, 其中, C2 井附近砂岩发育最厚, 砂岩厚度 65 m, 砂体最薄砂岩分布在区内北部背斜带上, 砂体呈甜点状为主, 砂体厚度平均 30 m。砂地比最高区域主要分布在斜坡带、背斜高点以及研究区西部。

M 地区储层发育情况与沉积关系密切。顺物源方向(物源为东南方向)砂体呈条带状为主, 尤其近物源处砂体较发育, 砂体横向连续性好, 远物源处砂体较薄, 垂直物源方向砂体通常为透镜状为主。泉头组一段以曲流河沉积为主, 泉一段沉积时期沉积速度快, 水动力强, 物源丰富, 沉积物以粒度较粗砂岩、粉砂岩为主, 近物源方向表现为砂岩发育, 沉积早期河流作用最为强盛, 河道逐渐变宽, 河道砂体广泛发育, 曲线表现为箱型为主, 如风华镇的分流河道砂体宽约 600 m, 砂厚约 70 m, 南北延伸长度 28 km, 到泉一段沉积晚期河流作用逐渐减弱, 研究区局部地区天然堤、河漫滩等细粒沉积物面积有所增大, 反

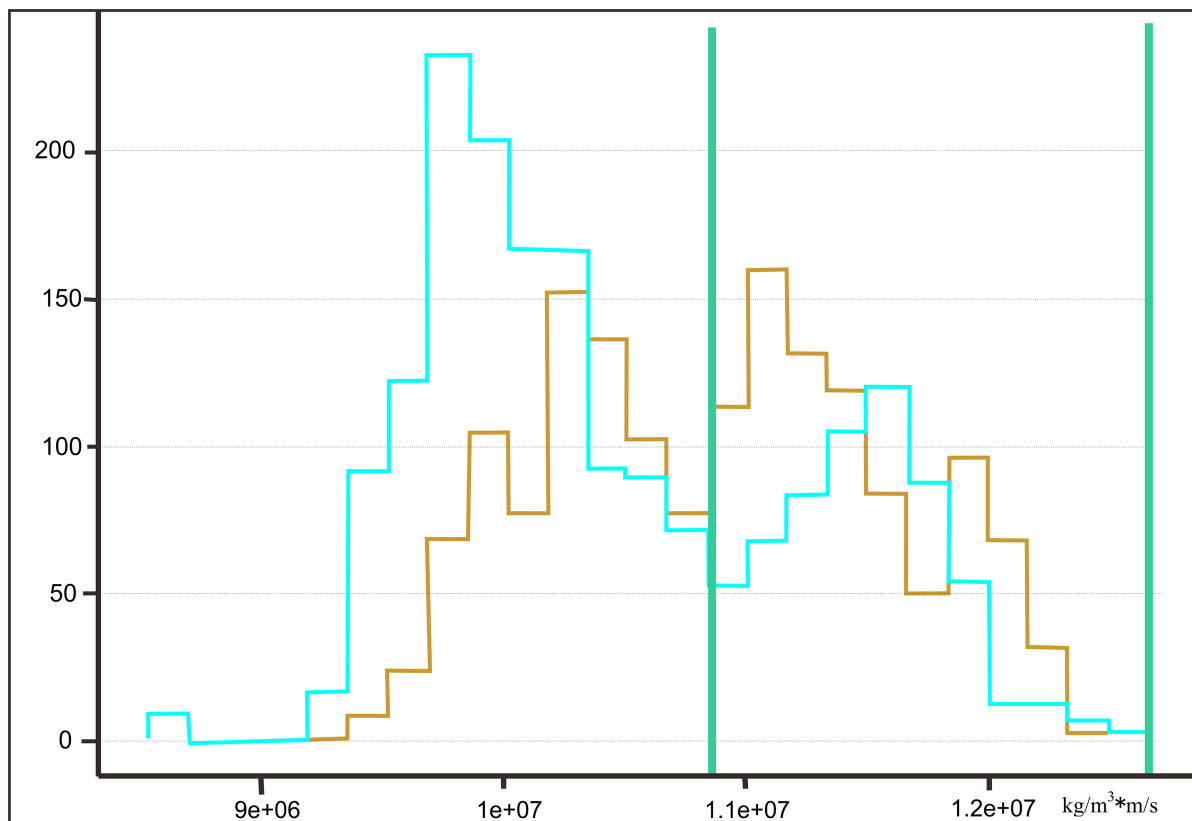


Figure 5. Threshold value of M area

图 5. M 地区门槛值

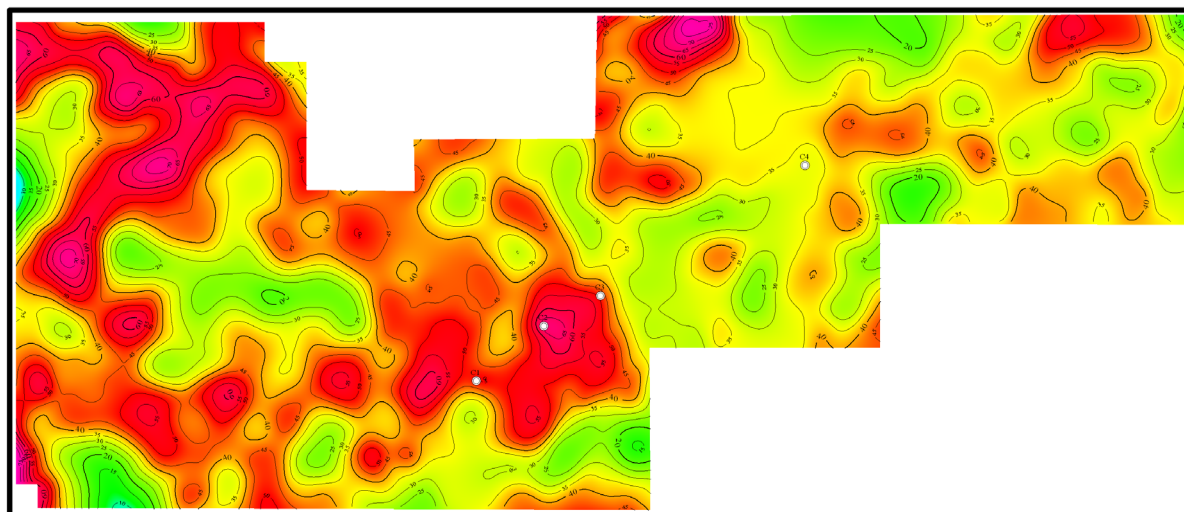


Figure 6. Prediction map of the member 1 of Quan Group in M Area

图 6. M 地区泉一段砂体预测图

演剖面上表现为砂体横向连续性不好, 如东部背斜带砂体厚度较薄。砂体与油源断裂匹配, 从而构造了典型的岩性-构造气藏, 这对 M 地区泉一段下一步勘探具有非常重要的意义。

5. 结论与认识

(1) 通过测井曲线标准化、地震资料预处理、子波标定及质控、地质低频模型等重要环节, 最终实现了 M 地区砂体的预测。重构反演应用表明, 该方法对砂体预测效果较好, 利用砂体预测平面图, 进一步落实了储层展布特征。

(2) 总体上泉一段砂岩较发育, 但在不同构造单元内分布不均衡。洼槽带厚砂呈片状分布, 背斜带和斜坡带砂体呈小片状为主, 局部砂体呈甜点状为主。M 地区储层发育情况与沉积关系密切。顺物源方向砂体呈条带状为主, 垂物源方向砂体通常为透镜状为主。

项目资助

国家大学生创新创业训练计划项目: 单一河道砂体地震刻画方法研究。

参考文献 (References)

- [1] 段云卿, 王彦春, 覃天, 等. 储层地震反演在辽河油田大民屯凹陷的应用[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2007, 32(4): 554-558.
- [2] 单敬福, 王峰, 孙海雷, 等. 基于地震波阻抗反演的小层砂体预测技术——在大庆油田州 57 水平井区块的应用[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 212-218.
- [3] 李占东, 赵伟, 李阳, 等. 开发地震反演可行性研究及应用——以大庆长垣北部油田为例[J]. 石油与天然气, 2011, 54(32): 797-806.
- [4] 张鸣宁, 松华. 重构曲线在地震反演中的应用[J]. 断块油气田, 2008, 15(2): 34-36.
- [5] 凌云, 惠晓宇, 孙德胜, 等. 薄储层叠后反演影响因素分析与地震属性解释研究[J]. 石油物探, 2008, 47(6): 531-558.
- [6] 吴媚, 李维新, 符力耘. 基于测井曲线分频分析的地震反演[J]. 石油地球物理勘探, 2007(42): 65-71.
- [7] 李琼, 贺振华. 地震高分辨率非线性反演在薄互储层识别中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(6): 708-712.

- [8] 刘铁立, 侯高文. 利用地震高分辨率非线性反演识别薄互储层[J]. 特种油气藏, 2005, 12(4): 18-20.
- [9] 石万忠, 何生, 陈红汉. 多地震属性联合反演在地层压力预测中的应用[J]. 石油物探, 2006, 45(6): 580-585.
- [10] 慎国强, 孟宪军, 王玉梅, 等. 随机地震反演方法及其在埕北 35 井区的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(1): 75-81.
- [11] 郑四连. 地震综合反演方法在准噶尔盆地 YJ 地区砂体预测中的应用[J]. 石油物探, 2009, 48(6): 568-576.
- [12] 郑爱敏, 符志国, 廖娟. 地震反演储层预测技术在白马庙地区的应用[J]. 天然气工业, 2009, 29(8): 47-49.
- [13] 杨贵祥, 黄捍东, 高锐, 等. 地震反演成果的沉积学解释[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 415-419.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: ojs@hanspub.org