

# 一种薄互层条件下致密砂体展布地震综合预测的策略

王 团

(大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 大庆 163712)

**摘要:** 松辽盆地北部上白垩统高台子油层发育典型的致密砂岩储层, 属于三角洲前缘沉积环境, 该套地层从上至下有三套主力砂层组, 每套砂层组均为砂泥岩薄互层, 单层砂岩厚度超薄, 一般为2 m~3 m。寻找区域内砂体比高的砂层组并刻画砂组内部单砂体空间分布是致密油勘探开发的关键所在。而常规属性分析及地震反演储层预测效果差、精度低, 为此提出了针对性的地震综合预测策略, 除地震资料保真高分辨率处理和岩石物理分析外, 主要包括砂层组级的多属性融合砂地比预测技术以及单砂体级的相控地质统计学反演技术。具体工作流程为: 第一在地震属性归一化基础上, 利用聚类分析方法将地震属性划分为三大类, 每类挑选相关性最高的地震属性进行多元线性拟合, 建立砂层组级的多属性融合砂地比预测模型; 第二利用统计分析手段建立井点先验信息与砂地比对应关系, 建立砂地比先验信息约束的单砂体级的相控地质统计学反演方法。松辽盆地北部某区块应用实例表明, 综合预测策略在评价砂层组级的砂体发育情况、刻画砂层组内部薄砂体空间展布方面取得较好的效果, 指导了水平井井组的部署方案优化设计。

**关键词:** 三角洲前缘; 薄互层; 致密砂岩; 砂层组; 砂地比预测; 单砂体预测

**中图分类号:** P618.13

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.06.06

## 0 引言

随着构造油气藏资源逐渐枯竭, 岩性油气藏逐渐成为目前油气勘探和储量提交的主体, 其中三角洲前缘储层中的油气在岩性油气藏中占有很大比例<sup>[1]</sup>, 如松辽盆地北部上白垩统高台子油层、鄂尔多斯盆地三叠系延长组致密油层等。三角洲前缘储层一般为砂泥岩薄互层, 砂体规模小、横向变化快、非均质性强, 该类油气藏动用效果差, 钻井成功率低<sup>[2]</sup>, 寻找区域内砂体比高的砂层组并精细刻画砂组内部单砂体空间分布是提高该类储层钻井成功率的关键所在。

对于刻画砂泥岩薄互层中的单砂体, 地震预测技术遇到极大挑战<sup>[3-4]</sup>。在保幅宽频成像基础上,

地震属性分析和井震结合高分辨率反演是识别薄储层主要的两种方法<sup>[5-9]</sup>。基于薄层调谐作用的地震属性分析可实现砂层组级别厚度预测, 但纵向分辨率低<sup>[10-11]</sup>; 井震联合高分辨率反演利用测井及地质信息补偿地震资料频宽不足的缺点, 纵向分辨率可达单砂体级别, 但多解性强<sup>[12-13]</sup>。因此需要针对三角洲前缘薄互层砂体建立起一套有效的井震联合刻画方法。笔者以松辽盆地北部某区块高台子致密油层为例, 在储层特征及岩石物理规律分析基础上, 改进、完善薄互层砂体常规井震反演及地震属性分析方法, 建立一种薄互层条件下致密砂体展布地震综合预测的策略, 评价砂层组级别的砂体发育情况、精细刻画砂层组内部薄砂体空间展布, 有效指导油田水平井井组的部署方案优化设计。

收稿日期: 2023-08-15

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项(2016E-0201); 中央引导地方科技发展专项(ZY20B13)

作者简介: 王团(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事岩石物理分析、地震反演及储层预测工作, E-mail: 15845945729@163.com。

## 1 区域地质特征

三角洲外前缘为三角洲前缘亚相中靠近前三角洲泥质的部分。由于远离物源区,分流河道能量减弱,湖浪改造能力增强,岩性通常以厚层泥岩与薄层粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩互层的沉积体为主。松辽盆地北部高台子致密油层为典型的三角洲

外前缘沉积环境,席状砂和远砂坝为主要的砂体沉积类型。该套地层从上至下有三套主力砂层组(图1),每套砂层组均为砂泥岩薄互层,单层砂岩厚度超薄,一般为2 m~3 m,平面及横向连续性差,岩心实测粉砂岩有效孔隙度一般为3.1%~15.5%,平均7.8%,渗透率一般为0.01 mD~1.26 mD,平均0.106 mD,具有低孔低渗特点,粉砂岩夹层粘土含量较低,一般为7%~23%,平均为16.6%。

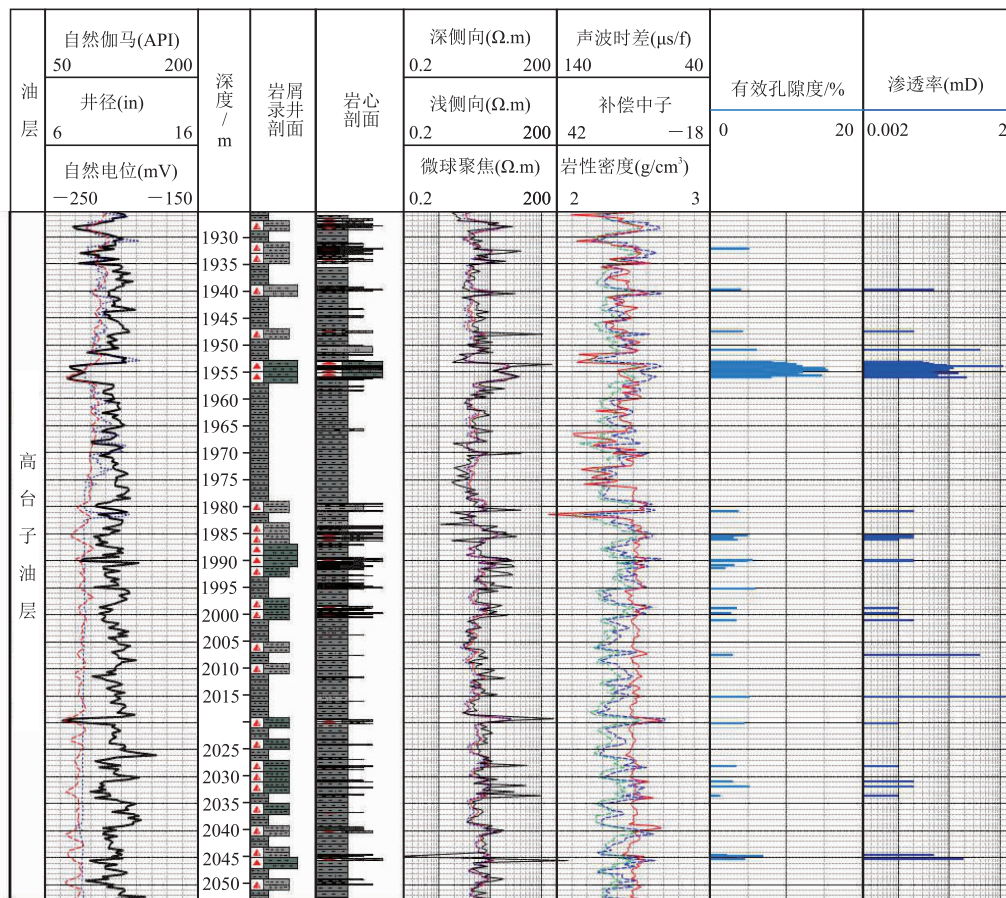


图1 高台子油层QP1井综合柱状图

Fig. 1 The comprehensive histogram of QP1 well in Gaotaizi oil layer

## 2 薄互层条件下致密砂体展布地震综合预测的策略

对于三角洲外前缘砂泥岩薄互层,整体的地震预测策略是在地震资料保真高分辨率处理和岩石物理分析基础上,开展砂层组级的多属性融合砂地比预测,实现整个区域平面上砂体分布预测,优选部井有利区;然后应用单砂体级的相控地质统计学反演技术,精细刻画有利区内薄层砂体空间展布,优选最

优靶层,指导井位部署方案优化设计。

### 2.1 地震资料保真高分辨率处理

地震资料处理是储层预测的基础,为了得到研究区保真高分辨率地震数据,建立了以近地表Q补偿、两步法地表一致性反褶积及叠后谱反演拓频为核心的保真高分辨率处理流程。

近地表Q补偿是影响地震资料分辨率的重要因素,主要是利用微测井资料求其表层旅行时,通过与地震资料联合,采用谱比法求取相对Q值,再应用高效稳健的Q补偿算法进行补偿处理;为了消除

地表不一致因素对地震子波的影响,增强地震子波横向稳定性,恢复地下地层的反射系数,在表层吸收补偿的基础上进一步采用地表一致性反褶积处理技术,使地震波在横向上波形一致,在纵向上压缩子波,提高分辨率,主要采用炮检域两步法地表一致性反褶积方法来消除近地表引起的激发子波差异,在保持相位的一致性前提下有效展宽地震资料频谱;由于研究区单层砂岩厚度薄,通过叠前表层吸收补偿及地表一致性反褶积处理,地震资料分辨率得到提高,还需在叠后剖面上进一步挖掘地震资料潜力,增强层间弱反射信号特征,笔者主要采用基于时频分析和谱分解的叠后谱反演处理技术进一步拓宽频带,在保持低频成分不被破坏的同时,有效地补偿高频成分。通过保真高分辨率处理,研究区地震资料

有效频带拓宽到 8 Hz~82 Hz,砂层组反射特征清晰,目的层间信息丰富,能够满足后续砂体预测需求。

## 2.2 储层岩石物理分析

地下介质弹性参数规律研究是地震振幅属性分析及反演结果解释的基础。通过对研究区典型井测井资料目的层段进行岩石物理交会分析,图 2 为纵波阻抗与密度交会图及自然伽马和电阻率交会图,色标为泥质含量,红色代表泥质含量低、蓝色代表泥质含量高。整体岩石物理规律表现为随着泥质含量增加,纵波阻抗降低、密度降低、电阻率降低、自然伽马增高,并且纵波阻抗能够很好地区分岩性,粉砂岩具有高纵波阻抗特征、泥岩具有纵波低阻抗特征,为后续砂泥岩岩性识别奠定岩石物理基础。

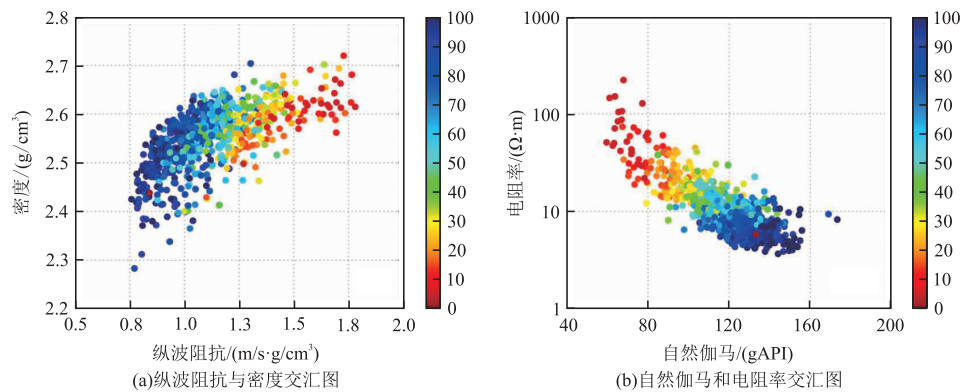


图 2 纵波阻抗与密度交会图和自然伽马和电阻率交会图

Fig. 2 The crossplot of longitudinal wave impedance and density and the crossplot of natural gamma and resistivity

## 2.3 砂层组级别多属性融合砂地比预测

对于砂层组级别,主要利用砂地比评价主力砂体集中段内砂体发育情况,以此作为后续有利区优选的重要依据。针对研究区高台子油层的地质特征和实际井震数据,选用井旁道敏感地震属性与井点砂地比信息进行多元逐步回归分析,建立多属性融合砂地比预测模型。

地震属性种类多样,选取对砂地比最为敏感的地震属性是准确预测的关键。地震属性提取主要分为层属性提取和体属性提取,层属性主要用来反映砂体在平面的变化规律,体属性反映砂体的三维空间变化。因此,本研究主要以提取层属性为主,开展

平面砂层组级别砂体分布研究,共提取了平均能量、平均反射强度、振幅峰态、最大振幅、均方根振幅、瞬时带宽、瞬时主频、瞬时频率、纵波阻抗、弧长、品质因子等 11 种能够反映砂泥岩储层地质特征的地震属性。

单一地震属性的敏感性分析主要是利用交会图和相关系数分析法。通过建立砂地比和地震属性间的线性拟合关系,可以获得各种地震属性与砂地比的相关性(表 1),这 11 种属性和砂地比的相关系数均低于 0.6,相关性较差,说明研究区仅用单一属性不能很好地反映砂地比信息。若仅选用较敏感的单—属性参与插值计算,则井间约束效果很难达到最佳。

表 1 地震属性与砂地比相关系数统计表

Tab. 1 The statistical table of correlation coefficients between seismic attributes and sandstone-strata thickness ratio

地震属性	平均能量	平均反射强度	振幅峰态	最大振幅	均方根振幅	瞬时带宽	瞬时主频	瞬时频率	弧长	纵波阻抗	品质因子
相关系数	0.58	0.52	0.57	0.49	0.52	0.58	0.6	0.59	0.04	0.6	0.47

组合地震属性的优选,主要是找出能够较好反映砂地比信息、又相互独立的地震属性组合<sup>[14-17]</sup>。目前属性优选的方法很多,如深度学习、决策树、神经网络、聚类分析、相关性分析等<sup>[18-19]</sup>,但不同方法在实际应用过程中效果差异较大。就该研究区而言,关键是这些地震属性组合是否真正对目标预测参数敏感,还需要进一步选择更适合的分析方法建立两者之间的相关性,依据预测关系的拟合效果进行综合判断。针对研究区具体地质特征和实际测井、地震数据,选用简单实用的井点砂地比信息和井旁道敏感地震属性进行多元逐步回归分析,建立砂地比预测模型,具体过程分为以下三个步骤:

第一步,地震属性归一化处理。主要是依据地震属性参数特点,采用极差标准化的方法对所提取的地震属性进行归一化处理,即:

$$X_n = \frac{X_{att} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

式中: $X_n$  为归一化后的地震属性参数值; $X_{att}$  为归一化前的地震属性参数值; $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$  为实际地震属性的最小值、最大值。

归一化后的地震属性数值范围都位于 $[0, 1]$ 之间,能够消除不同量纲及数量级引起的压低绝对值小的属性而放大绝对值大的属性对预测结果产生的不利影响。

第二步,地震属性系统聚类分析。在归一化地震属性基础上,开展系统聚类分析,得到聚类谱系图(图3),将研究区11种属性划分为3大类:I类为平均能量、平均反射强度、均方根振幅、弧长、品质因子;II类为瞬时带宽、瞬时主频、瞬时频率、最大振幅、振幅峰态;III类为纵波阻抗。基于地震属性聚类分析结果,根据研究区砂地比和单一地震属性的相关系数分析表(表1),从每大类中挑选相关性最高的地震属性作为砂地比参数预测的自变量,第I类优选敏感地震属性为平均能量、第II类优选敏感地震属性为瞬时主频、第III类优选敏感地震属性为纵波阻抗。

第三步,地震属性回归分析及砂地比参数拟合。基于步骤二优选出的平均能量、瞬时主频及纵波阻抗等敏感地震属性,开展多元逐步回归分析,建立砂地比地震预测模型。

本次回归分析建立的砂地比预测公式为:

$$H = 41.6 + 8.25 * W1 + 8.34 * W2 - 23.82 * W3 \quad (2)$$

式中: $H$  代表砂地比; $W1$  代表归一化后的纵波阻抗; $W2$  代表归一化后的平均能量; $W3$  代表归一化

后的瞬时主频。

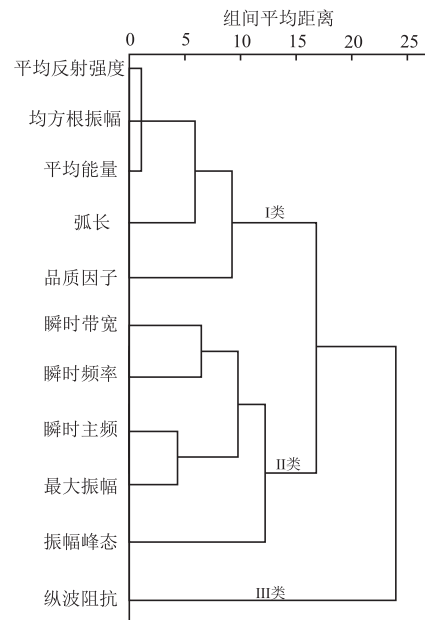


图3 多种地震属性聚类分析谱系图

Fig. 3 Cluster analysis spectrum of multiple seismic attributes

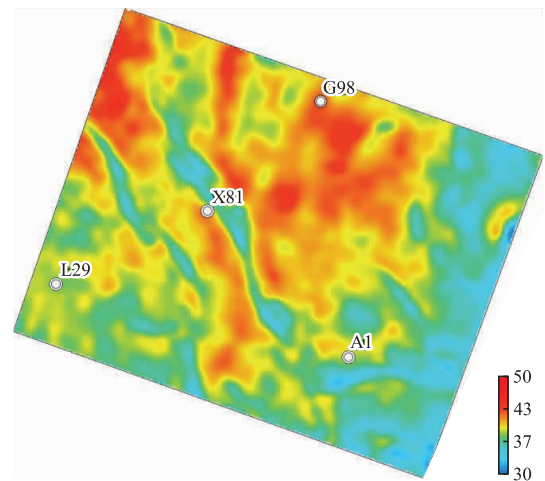


图4 研究区上砂层组多属性融合砂地比预测平面图

Fig. 4 The plan for predicting the sandstone-strata thickness ratio using multi-attribute fusion of the upper sand group in the research area

通过对上述回归拟合公式进行方差分析,拟合公式的复相关系数为0.82,相比于单一属性,组合地震属性相关性明显提高,说明平均能量、瞬时主频和纵波阻抗地震属性可以作为研究区高台子油层砂地比预测的敏感组合地震属性自变量。图4是研究区上砂层组多属性融合砂地比预测结果,图中红、黄色代表高砂地比。高砂地比区域主要分布在研究区西侧,与钻井分析结果相符。并且A1井是后验井,

井上上砂层组砂地比为 36.3%,地震预测砂地比为 38.5%,误差较小,说明预测结果可靠。

### 2.4 井震结合高分辨率地震反演单砂体刻画

对于单砂体级别,主要利用井震结合高分辨率反演精细刻画有利区内部薄层砂体空间分布,优选最优靶层,指导井位部署。研究区岩石物理规律表明纵波阻抗能够很好区分粉砂岩和泥岩,因此利用叠后地震反演识别砂体。

叠后地震反演主要分为基于褶积和基于模型的反演两大类。基于褶积的波阻抗反演一般受地震频宽的限制<sup>[20]</sup>,纵向分辨率和精度不能满足薄层砂体精细描述的需求,如递推反演、道积分反演、稀疏脉冲反演等;基于模型的地质统计学随机反演充分利用地质、地震和测井信息,依托马尔科夫链蒙特卡洛算法,井点处遵循测井数据、井间以地震数据作为参考,在保证反演结果纵向高分辨率的同时充分利用地震数据的横向信息,使得反演结果更加符合地质规律<sup>[21]</sup>。在地质统计学随机反演建立储层空间模

型时,一般利用常数砂地比拟合岩性概率密度函数,但是实际砂地比在目的层段内具体分布是随机的,远离井控区设定的常数砂地比数值可能会与实际砂地比分布存在较大差异,影响最终的反演结果。针对该问题,针对高台子油层三角洲外前缘单砂体厚度薄的特点,在常规地质统计学反演基础上,结合地震地质认识,利用统计分析手段得到井点先验信息与砂地比对应关系,建立砂地比先验信息约束的单砂体级的相控地质统计学反演方法,降低反演多解性,提高薄层砂体预测符合率。

松辽盆地北部高台子油层经历了多期水退—水进沉积过程,从上至下发育三套主力砂层组,每套砂层组均为砂泥岩薄互层,单层砂体厚度薄。基于研究区已钻井沉积旋回特征认识,通过井资料统计分析建立高台子油层岩性与砂地比的对应关系,从而将井上的岩性解释结果转化为目的层纵向上砂地比分布,替代常数砂地比(图 5),约束常规地质统计学反演。

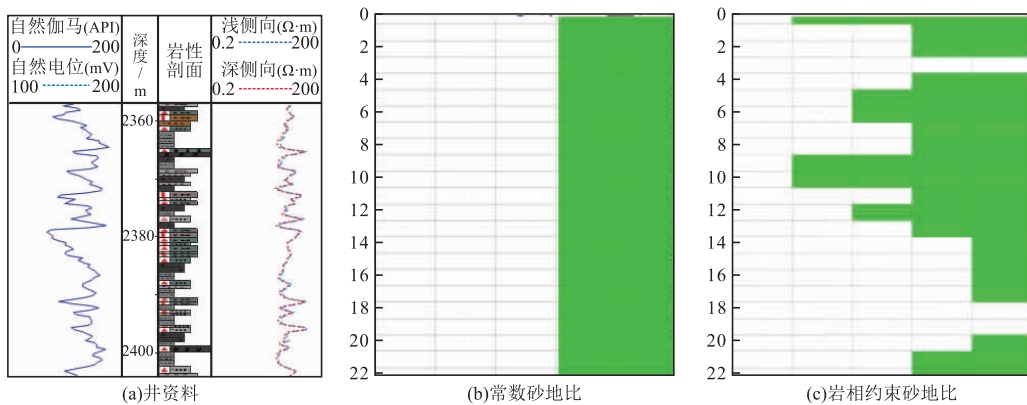


图 5 相控地质统计学反演约束条件实例

Fig. 5 The example of constraints for facies-controlled geostatistical inversion

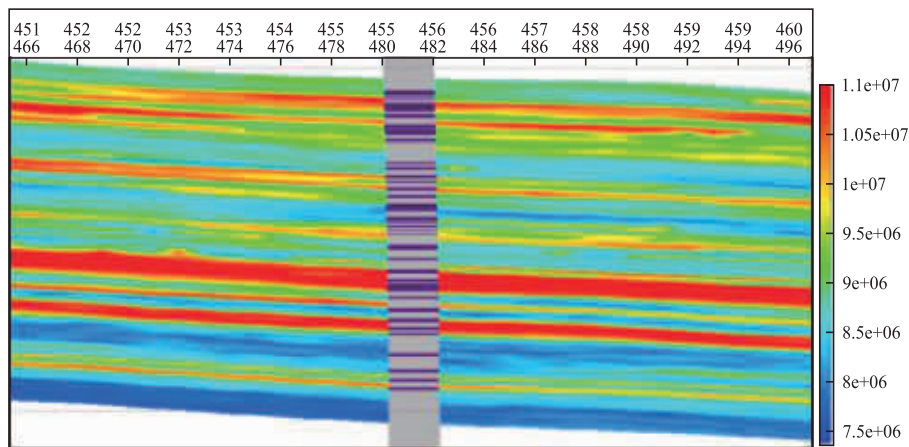


图 6 常规地质统计学反演剖面

Fig. 6 The profile of conventional geostatistical inversion

图 6 和图 7 分别是研究区常规地质统计学反演结果和岩相约束地质统计学反演结果,图中红、黄色为高阻抗值,指示砂岩储层,井上紫色代表砂岩、灰色代表泥岩。纵向上常规地质统计学反演和岩相约束地质统计学反演反映的砂体分布规律基本一致,

但在细节有所不同,基于岩相约束地质统计学反演预测砂体横向连续性和纵向分辨率要高于常规反演结果,与单井岩性解释结果吻合更好。反演结果可以清晰刻画薄层砂体的空间展布,反映纵向沉积演化规律。

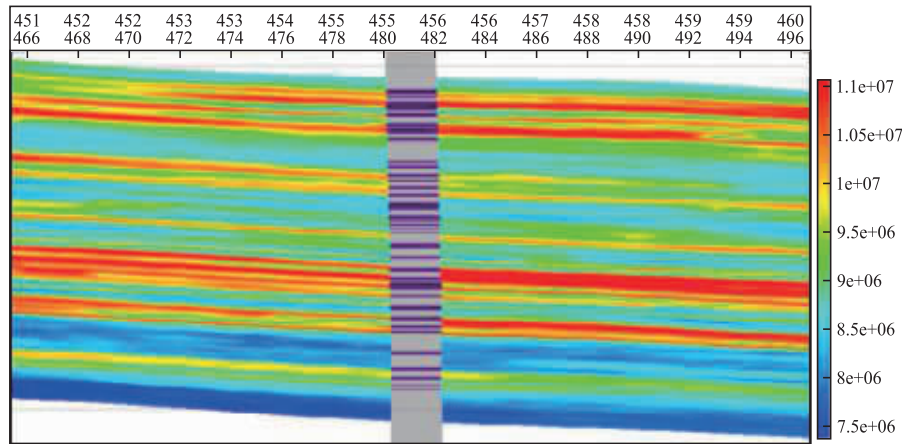


图 7 岩相约束地质统计学反演剖面

Fig. 7 The profile of facies-controlled geostatistical inversion

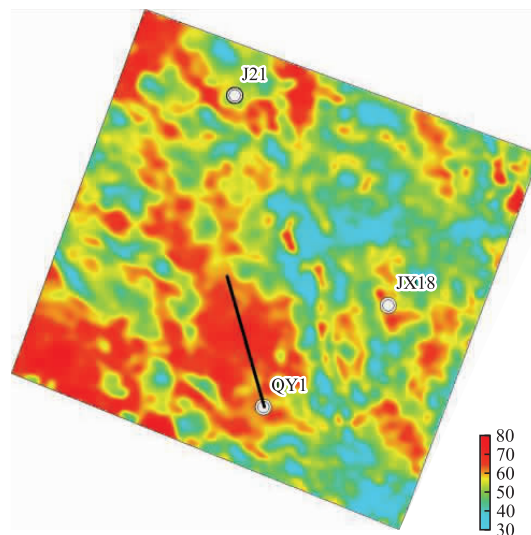


图 8 目标区上砂层组砂地比预测平面图

Fig. 8 The plan for predicting the sandstone-strata thickness ratio in the research area

### 3 应用效果分析

将多属性融合砂层组级砂地比预测结果和相控地质统计学反演单砂体刻画结果进行有机结合,可以指导油田井位部署方案。利用本次研究成果进行井位优选,图 8 是井位目标区上砂层组砂地比预测平面图,钻前砂地比预测结果显示目标区西南部位砂体发育,可以作为部

井有利区;JX18 井测井解释及试油结果显示上砂层组顶部发育物性条件好的相对厚层含油砂岩,利用相控地质统计学反演进行单砂体精细刻画(图 9),该层含油砂岩在甜点区横向分布稳定,可以作为水平井部井靶层。针对该层含油砂岩,部署了 QY1 井,水平段长度为 1 450 m,钻探后该井试油获高产工业油流,证实了笔者提出的薄互层条件下致密砂体展布地震综合预测策略有效性。

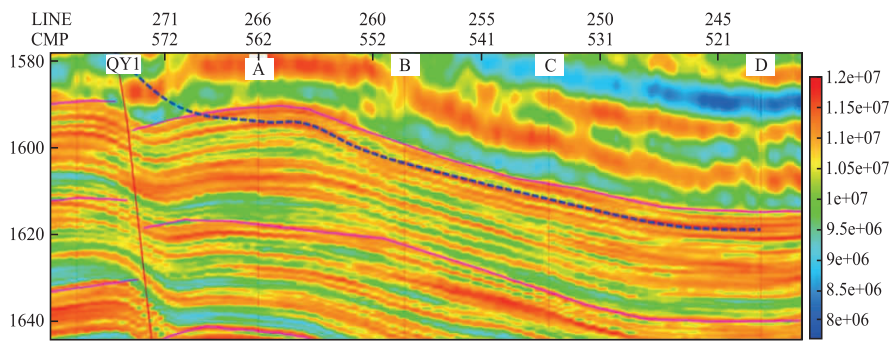


图 9 过 QY1 井相控地质统计学反演剖面图

Fig. 9 The profile of facies-controlled geostatistical inversion of QY1 well

## 4 结论

1)多属性融合砂地比预测通过聚类分析,综合优选振幅类、频率类、阻抗类多种信息,预测精度更高,能够定量反映砂层组级砂体发育情况。

2)相控地质统计学反演通过统计分析建立岩性与砂地比对应关系,取代常数砂地比对储层统计学模型进行约束,能够降低反演多解性,提高薄层砂体预测符合率。

3)联合应用多属性融合砂地比预测和相控地质统计学反演指导井位部署方案优化设计,能够有效提高油田钻井成功率,对砂泥岩薄互层致密油勘探开发具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 迟元林,蒙启安,杨玉峰. 松辽盆地岩性油藏形成背景与成藏条件分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5): 10-15.  
CHI Y L, MENG Q A, YANG Y F. Origin background and reservoir forming condition of lithologic oil pools in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oil-field Development in Daqing, 2004, 23(5): 10-15. (In Chinese)
- [2] 肖佃师,卢双舫,王海生,等. 三角洲前缘薄砂体地震综合预测方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(4): 62-69.  
XIAO D S, LU S F, WANG H S, et al. Comprehensive prediction method of seismic to thin sandstone reservoir in delta-frontal[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(4): 62-69. (In Chinese)
- [3] 凌云研究组. 地震分辨率极限问题的研究[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(4): 435-442.

Ling Yun Research Group. Study of seismic resolution limit[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39(4): 435-442. (In Chinese)

- [4] KALLWEIT R S, WOOD L C. The limits of resolution of zero-phase wavelets[J]. Geophysics, 1982, 47(7): 1035-1046.
- [5] CHOPRA S, MARFURT K J. Seismic attributes—a historical perspective[J]. Geophysics, 2005, 70(5): 3S0-28S0.
- [6] HAAS A, DUBRULE O. Geostatistical inversion—a sequential method of stochastic reservoir modelling constrained by seismic data[J]. First Break, 1994, 12(11): 561-569.
- [7] 王雷,袁立川,孟庆岩,等. 地震波形分类技术在大情字井地区薄砂体预测中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2023, 45(4): 428-434.  
WANG L, YUAN L C, MENG Q Y, et al. Application of neural seismic waveform classification technology in thin Sand Body prediction[J]. Computing techniques for geophysical and geochemical exploration, 2023, 45(4): 428-434. (In Chinese).
- [8] 陈思远,丁蔚楠,曹俊兴,等. 中江气田沙溪庙组“暗点”型薄砂岩储层隐蔽机理分析及识别对策[J]. 物探化探计算技术, 2023, 45(3): 281-288.  
CHEN S Y, DING W N, CAO J X et al. Concealed mechanism analysis and identification countermeasures of dim-spot thin sandstone reservoir in Shaximiao formation of Zhongjiang gas field[J]. Computing techniques for geophysical and geochemical exploration, 2023, 45(3): 281-288. (In Chinese).
- [9] 刘烜良,张军华,白青林,等. 基于BO-XGBoost优化方法的砂岩厚度预测方法研究与应用[J]. 物探化探计算技术, 2024, 46(2): 146-153.  
LIU X L, ZHANG J H, BAI Q L, et al. Research and application of sandstone thickness prediction meth-

- od based on BO-XGBoost optimization method [J]. Computing techniques for geophysical and geochemical exploration, 2024, 46(2): 146–153. (In Chinese)
- [10] 王开燕, 徐清彦, 张桂芳, 等. 地震属性分析技术综述[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(2): 815–823.  
WANG K Y, XU Q Y, ZHANG G F, et al. Summary of seismic attribute analysis[J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(2): 815–823. (In Chinese)
- [11] 崔凤林, 孙成治, 唐建人. 松辽盆地茂 8 井三维地震区薄互层储层预测方法及效果[J]. 石油物探, 1993, 32(4): 1–10.  
CUI F L, SUN C Z, TANG J R. Prediction method and its effect for thin interred reservoir in a 3-d seismic survey area of Songliao basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 1993, 32(4): 1–10. (In Chinese)
- [12] ARTUN E, TORO J, WILSON T. Reservoir characterization using geostatistical inversion [R]. SPE 98012, 2015.
- [13] 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.  
WANG X W, LIU H, TENG B B, et al. Application of geostatistical inversion to thin reservoir prediction [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 730–735. (In Chinese)
- [14] 王永刚, 刘伟, 黄国平. 地震属性的 GA-BP 优化方法[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(6): 606–611.  
WANG Y G, LIU W, HUANG G P. GA-BP optimization of seismic attribution[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2002, 37(6): 606–611. (In Chinese)
- [15] 刘光蕊, 陈发亮, 韩福民, 等. 利用地震多属性技术进行储层预测与评价: 以东濮凹陷濮城地区沙一段为例[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(4): 47–49.  
LIU G R, CHEN F L, HAN F M, et al. Forecast and estimation of reservoir by optimized seismic multi-attribute-case study of Sha I member, Pucheng area, Dongpu sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(4): 47–49. (In Chinese)
- [16] 吴海波, 王江, 李军辉. 地震多属性融合技术在贝尔凹陷储层预测中的应用[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(2): 96–101.  
WU H B, WANG J, LI J H. Application of seismic multi-attribute fusion technique to the reservoir prediction in Beier Depression [J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(2): 96–101. (In Chinese)
- [17] 王冬娜, 郝杰, 李君, 等. 地震属性分析在南堡凹陷的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2018, 53(增刊 1): 158–163.  
WANG D N, HAO J, LI J, et al. Application of seismic attribute analysis in Nanpu sag[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2018, 53(Suppl 1): 158–163. (In Chinese)
- [18] 夏竹, 李中超, 贾瑞忠, 等. 井震联合薄储层沉积微相表征实例研究[J]. 石油地球物理勘探, 2016, 51(5): 1002–1011.  
XIA Z, LI Z C, JIA R Z, et al. Thin reservoir sedimentary microfacies characterization based on well logging and seismic data: A case study[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2016, 51(5): 1002–1011. (In Chinese)
- [19] 石军, 熊苡. 多元统计、聚类分析法在自然资源开发中的应用[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2003, 17(1): 81–83.  
SHI J, XIONG Y. Multivariate statistical and cluster analysis method applied in exploit of natural resources [J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2003, 17(1): 81–83. (In Chinese)
- [20] 郭朝斌, 杨小波, 陈红岳, 等. 约束稀疏脉冲反演在储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2006, 45(4): 397–400.  
GUO C B, YANG X B, CHEN H Y, et al. Application of constrained sparse pulse inversion in reservoir prediction[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(4): 397–400. (In Chinese)
- [21] 赵海波, 唐晓花, 李奎周, 等. 基于地震岩石物理分析与叠前地质统计学反演技术的齐家地区致密薄储层预测[J]. 石油物探, 2017, 56(6): 853–862.  
ZHAO H B, TANG X H, LI K Z, et al. Tight thin-bed reservoir prediction using rock physics analysis and prestack geostatistical inversion in the Qijia area[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2017, 56(6): 853–862. (In Chinese)

## A seismic prediction strategy for tight sand body distribution in thin interbedded layers

WANG Tuan

(Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Ltd, Daqing 163712, China)

**Abstract:** The Upper Cretaceous Gaotaizi oil layer in the northern Songliao Basin develops a typical tight sandstone reservoir in the delta front sedimentary environment. There are three main sand formations from top to bottom in this set of strata, each of which is a thin interbed of sand and mudstone, and the thickness of a single sandstone is ultra-thin, generally 2–3m. The key to tight oil exploration and development is to find a sand formation with a high net-to-gross ratio in the target area and to characterize the spatial distribution of a single sand body in the sand formation. However, conventional attribute analysis and seismic inversion have poor reservoir prediction results and low accuracy. For this reason, a targeted, comprehensive seismic prediction strategy is proposed. In addition to fidelity and high-resolution processing of seismic data and petrophysical analysis, it mainly includes multi-attribute fusion net-to-gross ratio prediction technology of sand formation and facies-controlled geostatistical inversion technology of single sand body. The specific workflow is as follows: based on seismic attribute normalization, the seismic attributes are divided into three categories using the cluster analysis method, and each category selects the seismic attributes with the highest correlation for multivariate linear fitting and establishes a multi-attribute fusion net-to-gross ratio prediction model of sand formation; secondly, the corresponding relationship between the prior information of well point and the net-to-gross ratio is established by using statistical analysis method, and the facies-controlled geostatistical inversion method of single sand body constrained by the prior information of net-to-gross ratio is established. The application example in the north of Songliao Basin shows that the comprehensive prediction strategy has achieved satisfactory results in evaluating the development of sand bodies and depicting the spatial distribution of thin sand bodies in the sand formation, which guides the optimal design of the deployment scheme of horizontal well groups.

**Keywords:** delta front; thin interbedded layers; tight sandstone; sand groups; net-to-gross ratio prediction; single sand body prediction