

浅层河道砂精细描述技术在埕岛地区中的应用

史潇潇

中国石化胜利油田分公司海洋采油厂, 山东 东营

收稿日期: 2023年12月28日; 录用日期: 2024年3月8日; 发布日期: 2024年3月15日

摘要

由于河道迁移频繁, 河道砂具有厚度薄、横向变化快、多期河道叠置等特点, 单砂体识别困难, 常规方法难以满足勘探程度较高的油田进一步精细挖潜的需求。针对埕岛油田馆上段河道砂储层的特点, 本文提出基于多方法融合的薄储层精细描述技术: 应用时频分析方法对地震数据进行高分辨处理, 提取多种地震属性拟合分析河道整体分布走向及规模, 并采用曲线校正及地质统计学进行井震联合反演, 以提高薄储层预测精度。研究结果表明: ① 地震多属性融合分析可有效刻画河道平面展布, 明确河道发育演变历程, 半定量计算河道砂体厚度; ② 对测井资料进行高质量预处理后采用地质统计学反演可提高储层横纵向识别精度, 纵向上可有效识别厚度大于5米薄储层, 横向上砂体连断叠置关系识别准确度提高; ③ 由此形成一套浅层河道砂储层精细描述技术体系, 已应用于埕岛油田西北部A208块馆上段的新区产能建设, 并取得显著成效, 可为类似区块的勘探开发提供有力技术支撑。

关键词

馆陶组, 河道砂, 地震高分辨处理, 多属性融合, 地质统计学反演

Application of Fine Description Technology for Shallow Channel Sand in Chengdao Area

Xiaoxiao Shi

Haiyang Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying Shandong

Received: Dec. 28th, 2023; accepted: Mar. 8th, 2024; published: Mar. 15th, 2024

Abstract

Due to frequent river migration, river sand has the characteristics of thin thickness, rapid lateral changes, and multiple overlapping river channels. It is difficult to identify single sand bodies, and conventional methods are unable to meet the needs of further refined exploration of oil fields with

high exploration levels. This paper proposes a fine description technique for thin reservoirs based on multi method fusion, targeting the characteristics of sand reservoirs in the Guanshang section of Chengdao Oilfield. The technique involves high-resolution processing of seismic data using time-frequency analysis methods, extracting multiple seismic attributes to fit and analyze the overall distribution direction and scale of the river channel. Curve correction and geostatistics are used for well seismic joint inversion to improve the accuracy of thin reservoir prediction. The research results indicate that: (1) seismic multi-attribute fusion analysis can effectively characterize the planar distribution of river channels, clarify the development and evolution process of river channels, and semi quantitatively calculate the thickness of river sand bodies; (2) After high-quality preprocessing of logging data, the use of geostatistical inversion can improve the accuracy of reservoir identification in both horizontal and vertical directions. Thin reservoirs with a thickness greater than 5 meters can be effectively identified in the vertical direction, and the accuracy of identifying the stacking relationship of sand bodies in the horizontal direction can be improved; (3) This has formed a fine description technology system for shallow channel sand reservoirs, which has been applied to the production capacity construction of the Guanshang section of A208 block in the northwest of Chengdao Oilfield, and has achieved significant results, providing strong technical support for the exploration and development of similar blocks.

Keywords

Guantao Formation, Channel Sand, Seismic High-Resolution Processing, Multi-Attribute Fusion, Geostatistical Inversion

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

河流相储层是我国东部老油田的主要储集类型，具有内部构型复杂、储层厚度薄、多期河道叠置、岩相变化快、横向变化剧烈的特点[1]。随着勘探程度的逐渐提高，尚未进行勘探开发的油藏的分布越来越复杂，常规方法难以进行准确预测的油气藏已经成为目前主要勘探开发目标。

埕岛油田位于埕北低凸起东南部，受埕北断裂带控制，馆上段是埕岛油田主力含油层位和生产层系。近年来随着埕岛主体馆陶组大型、整装岩性 - 构造油气藏基本探明并投入开发，勘探开发重点向主体周边地区转移[2]。研究区馆上段以曲流河沉积为主，主发育岩性 - 构造油藏，含油层系较多。但同时由于河道不断迁移、频繁改道，砂体存在厚度薄、宽度窄、横向变化快、多期河道叠置、地震资料分辨率有限等问题，单砂体识别困难。能否实现对单砂体的精细刻画是老油田充分挖潜的关键因素。

基于此，本文提出基于多方法融合的浅层河道砂描述技术：首先对地震数据进行高分辨处理；通过去砂实验及正演模拟，明确不同砂体的地震响应特征；利用多地震属性融合技术半定量分析河道整体分布走向及规模；在对测井曲线进行高质量预处理的基础上，优选稀疏脉冲反演和地质统计学反演方法对储层横纵相展布进行细致刻画。由此形成一套对浅层河道砂储层进行精细描述的技术体系，并在埕岛地区西北部进行实际应用。

2. 地震数据高分辨处理

由于地下介质对地震波具有高频吸收衰减现象，地震资料通常缺失高频信息、主频偏低。埕岛地区

三维地震数据主频为 35 Hz，理论视分辨率为 20 米，对厚度 10 米以上砂体可做到近似分辨。而研究区馆上段薄储层绝大部分砂体厚度为 2~10 米，在纵向上常规地震难以精细识别。为了改善地震资料的空间分辨率，本文进行提频处理，应用时频分析方法，建立特定工区的衰减特征矩阵，将地震数据逆时补偿至地震基准面，可以得到高频衰减补偿后的高分辨率数据体。

埕岛地区三维地震纯波数据、处理过程数据和处理成果数据频谱分析(图 1)。其中图 1(a)为处理前纯波数据加增益显示，其下方是目标层段馆陶组频谱分析，有效带宽在 0~85 Hz，主频 30 Hz。图 1(b)为一次迭代结果，衰减的高频能量明显得到补偿，表现出梯形特征；但相较于炸药振源的正态谱，其高频信息仍未得到充分表达，此时，观察时域地震数据的视分辨率，未有明显改善。图 1(c)是对图 1(b)调整部分参数进行二次迭代处理的结果。此时主频提升至 60 Hz，其频谱表现为正态特征，且时域数据的高频信息得到表达，其视分辨率明显改善，数据的有效带宽依然在有效带宽范围之内。

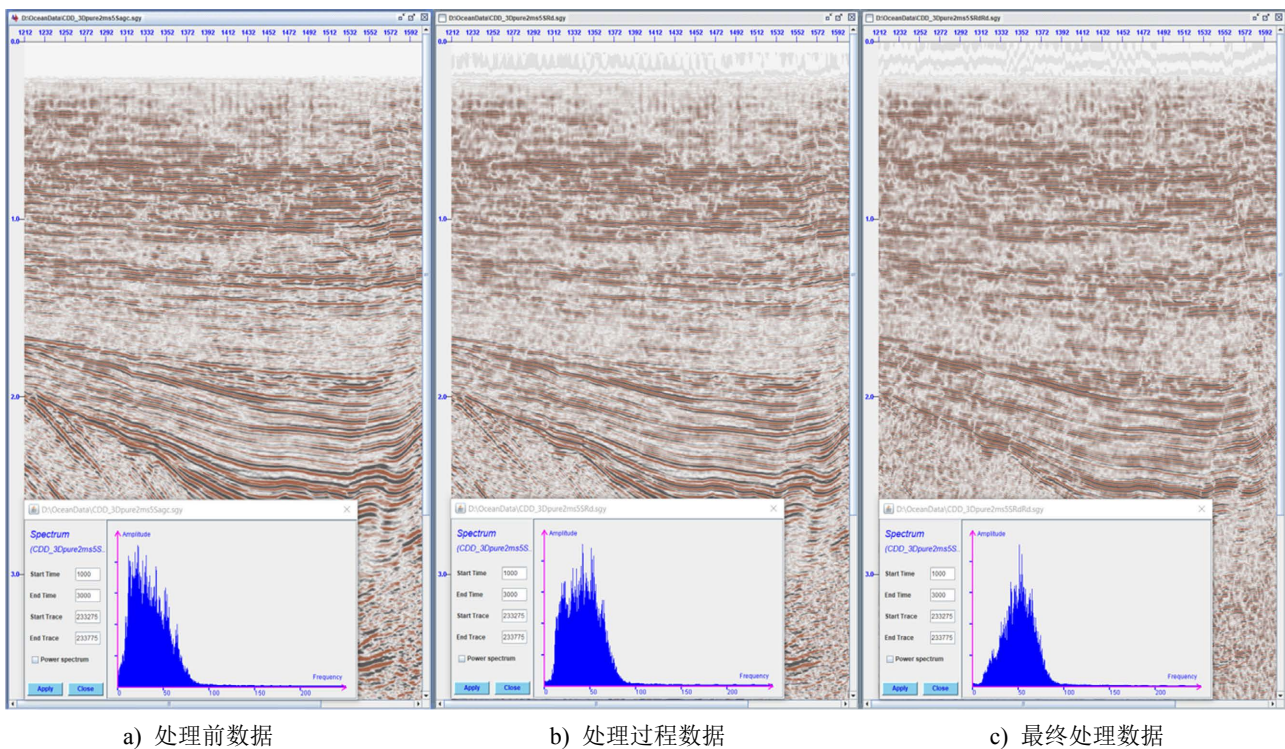


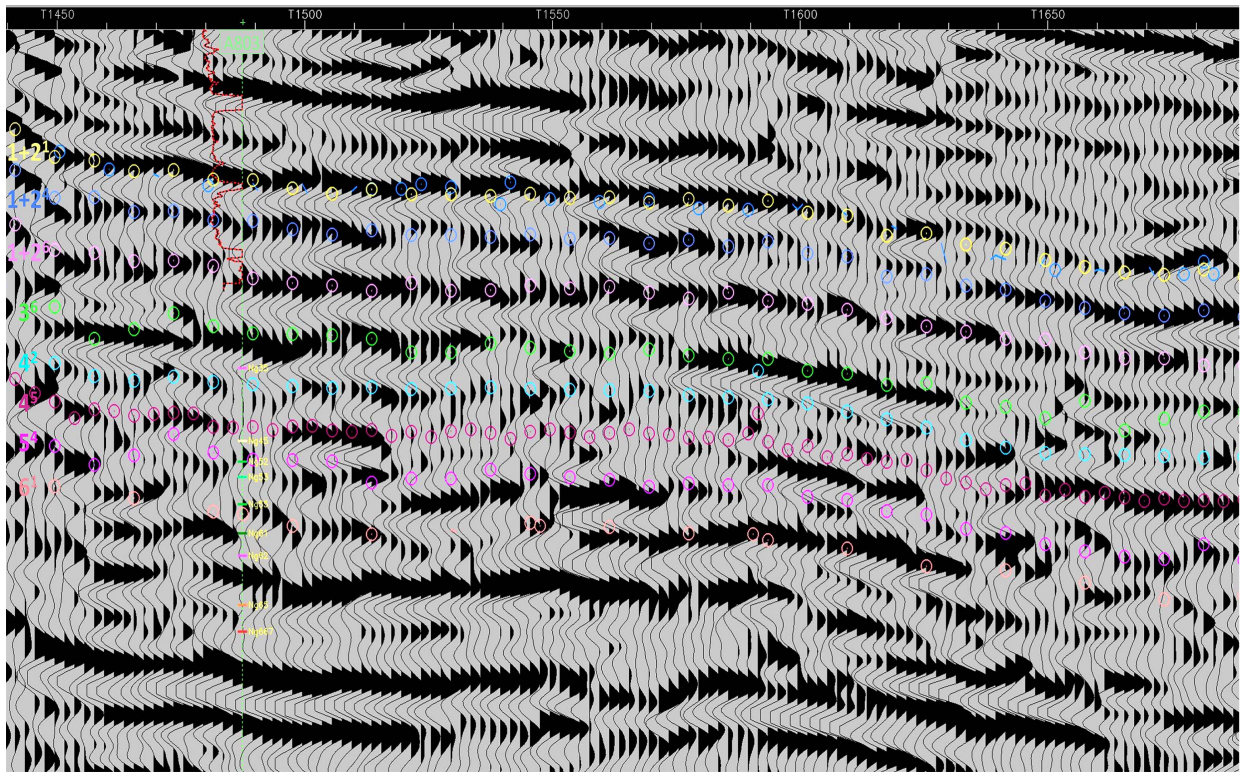
Figure 1. High resolution processing of 3D seismic pure wave data in Chengdao oilfield

图 1. 埕岛油田三维地震纯波数据高分辨处理过程

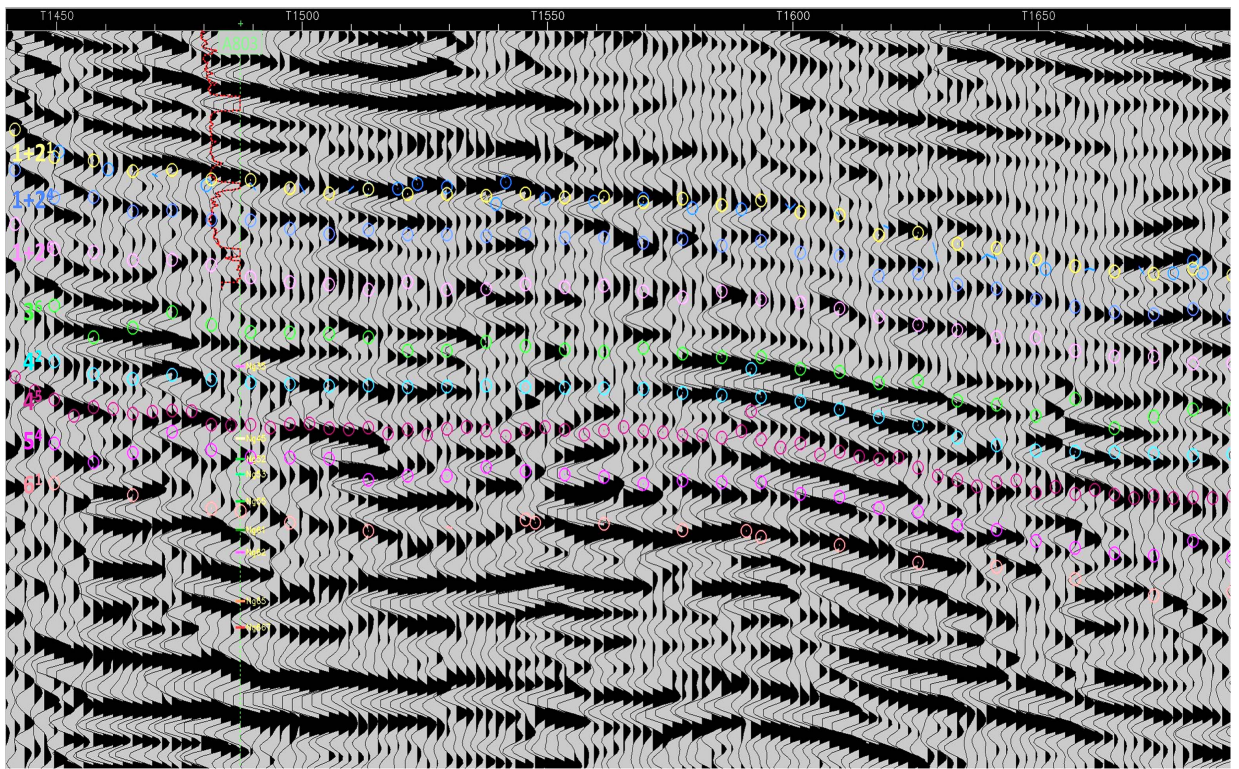
过 A803 井切南北向剖面，为埕岛油田三维主测线 1766 地震剖面(图 2)，对馆上段 $1+2^1$ 、 $1+2^4$ 、 $1+2^6$ 、 3^6 、 4^2 、 4^5 、 5^4 、 6^1 从上至下共 8 个小层进行解释。

处理前地震剖面图中馆上段 $1+2^4$ 小层的地震反射层整体表现出倾斜叠置形态，但其地震反射结构具体细节难以进行识别。馆上段 3^6 、 4^5 两小层箭头所示位置的地震反射波组表现为两组反射互相干扰难以分辨的状态，给地质等时面解释造成困惑(图 2(a))。

经由高分辨处理之后，构造解释层位整体走向与处理前相似，但细节表现得更加清晰。图中馆上段 $1+2^4$ 小层处地震波组表现出从左向右依次为 4 组低角度 S 形前积结构特征，且在两组前积结构交汇处表现出波形复合形态。馆上段 3^6 小层箭头处表现出清晰的上下两个层次的波组特征。馆上段 4^5 小层箭头处表现出向左侧积与顶超特征(图 2(b))。



a) 埕岛油田三维 Line1766 处理前地震剖面



b) 埕岛油田三维 Line1766 处理后地震剖面

Figure 2. Seismic section of Chengdao oil field before and after 3D Line1766 processing
图 2. 埕岛油田三维 Line1766 处理前后地震剖面

由此可见，埕岛地区三维地震叠后纯波数据在馆上段目标层位的高分辨处理较有成效，可揭示更丰富的地质结构地震反射波细节。地震资料的这些改进，可以解释出更为准确的地质等时面，根据地震反射结构更准确地描述地质沉积特征，为砂体精细描述提供基础。

3. 多属性分析

地震处理中的层位属性通常也被称为同相轴属性，一般是指从三维地震数据体中提取的某一地质构造界面的地层属性，主要反映的该地质构造界面附近的地层信息。相比较原始地震记录而言，地震属性数据蕴含更为丰富的地质信息，在对地下储层的预测和评价中起到至关重要的作用。

3.1. 河道展布及演变历程

针对埕岛地区各小层，沿层提取均方根属性、振幅和属性、最小振幅属性、等十几种地震属性。并结合已知井情况对各类属性资料的平面图进行综合分析，筛选出能够反演岩性变化特征的属性参数作为最终储层预测的基础数据。

分析认为，该地区振幅类信息，尤其均方根振幅属性能够反映该区储层变化特征。通过馆上段各砂组地层切片瞬时振幅属性分析，能够在宏观上掌握埕岛地区河道整体分布走向及厚度，为后续储层预测指明方向(图 3)。

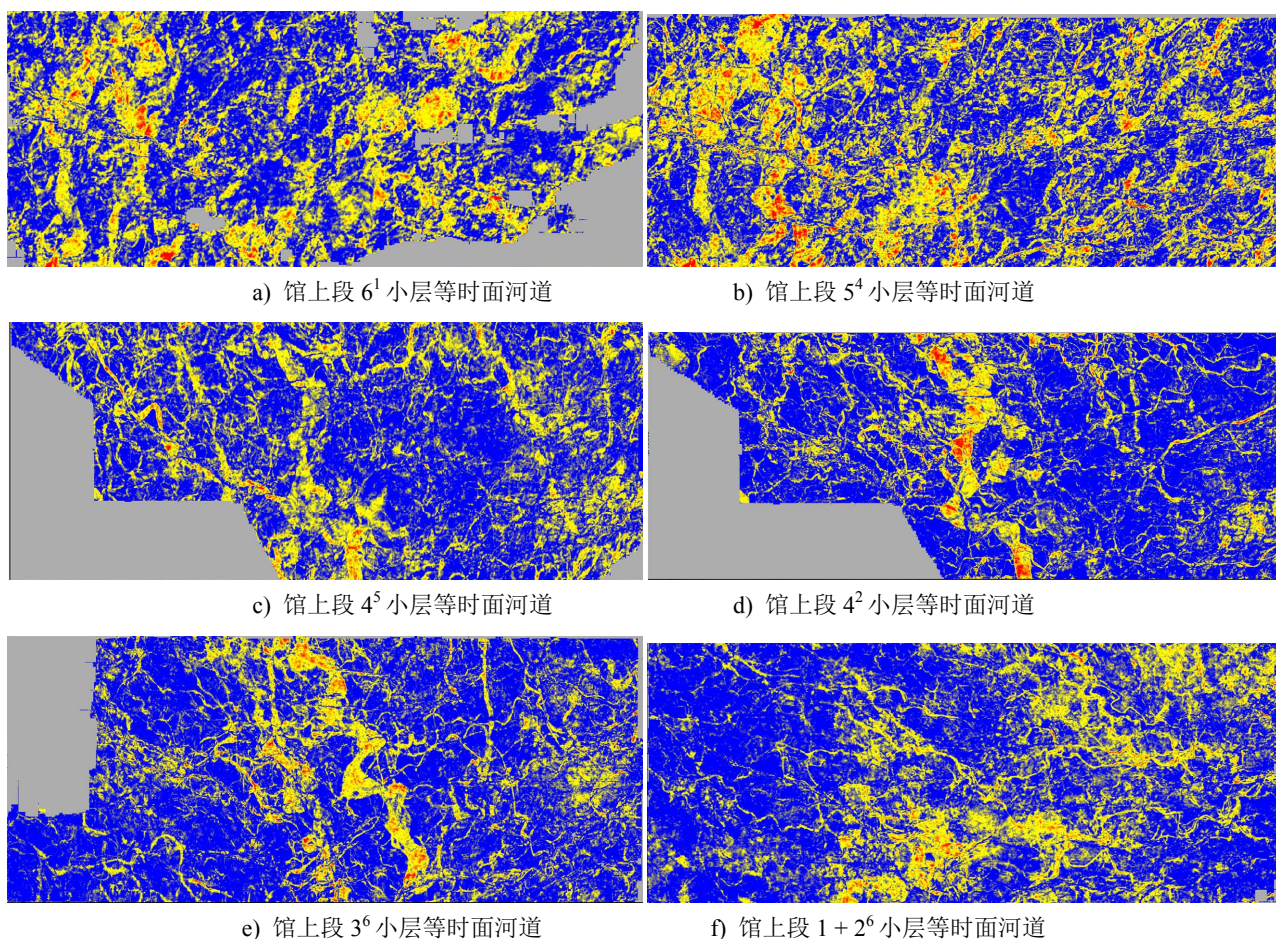


Figure 3. Isochronous channel of main formations in Chengdao Oilfield

图 3. 埕岛油田各主力层等时面河道

由各主力层等时面河道分析可知，埭岛地区馆上段各砂组在不同时期，其各自河道发育特点各不相同，表现为河道走向改变，发育宽度、弯曲度不同。总体上，埭岛地区馆上段河道发育特征有如下特点：

- 1) 从馆上段 6 砂组到馆上段 1+2 砂组，河道宽度逐渐减小、河流沉积作用呈逐步减弱趋势；
- 2) 馆上段 6 砂组和馆上段 5 砂组河道发育以北东走向为主，由于深层断裂发育密度增加，整体上河道成像清晰度较差；
- 3) 从馆上段 4 砂组起河道成像清晰度明显改善，河道发育整体方向由北东向转变为北西向，中部发育一条规模较大的主河道，周边发育支流及多条网状交织的规模较小的河道；
- 4) 馆上段 1+2 砂组河道表现出高弯曲特征，可发现河流改道作用。

3.2. 多属性拟合砂体厚度

由于地震属性与储层特征对应关系复杂，利用地震单一属性进行储层预测往往存在多解性。随着地震属性研究的深入，地震属性的数量和分类也更为细化，因此地震多属性的优化组合与综合分析成为必然[3]。

本次多属性分析主要以众多地震属性与实钻井储层厚度匹配关系为判断依据，分析本区对储层敏感的地震属性，通过拟合多地震属性与实钻井储层厚度的相关公式，把多属性组合转换为储层厚度，从而半定量地刻画储层展布规律。

以主力层馆上段 4⁵ 小层为例，统计研究区内 85 口探井储层厚度，并沿层提取共 38 种地震属性(图 4)，统计两者间相关系数，从中优选出三种对该层储层厚度敏感的地震属性：最大能量，均方根振幅，地震弧长。

Amplitude_Standard_Deviation (Amplitude_Standard_Deviation - Grid)	93.8544	Instantaneous_Phase (Instantaneous_Phase - Grid)	23.9065
Avg_Amplitude (Avg_Amplitude - Grid)	10.3265	Isoschron_Thickness (Isoschron_Thickness - Grid)	62.5845
Avg_Magnitude (Avg_Magnitude - Grid)	97.2938	Isoschron_Thickness (Isoschron_Thickness - Grid)	68.4298
Avg_Negative_Amplitude (Avg_Negative_Amplitude - Grid)	92.6442	Max_Amplitude (Max_Amplitude - Grid)	95.0449
Avg_Negative_Trough_Amplitude (Avg_Negative_Trough_Amplitude - Grid)	88.7856	Max_Magnitude (Max_Magnitude - Grid)	97.7817
Avg_Peak_Amplitude (Avg_Peak_Amplitude - Grid)	7.48985	Min_Amplitude (Min_Amplitude - Grid)	92.0794
Avg_Positive_Amplitude (Avg_Positive_Amplitude - Grid)	95.1912	Ratio (Ratio - Grid)	41.8408
Avg_Positive_Peak_Amplitude (Avg_Positive_Peak_Amplitude - Grid)	69.5888	RMS_Amplitude (RMS_Amplitude - Grid)	97.2041
Avg_Seismic_Energy (Avg_Seismic_Energy - Grid)	97.3232	RMS_Amplitude (RMS_Amplitude - Grid)	97.3232
Avg_Trough_Amplitude (Avg_Trough_Amplitude - Grid)	1.70803	Seismic_Arc_Length (Seismic_Arc_Length - Grid)	90.0638
Bandwidth (Bandwidth - Grid)	17.6838	Sum_Amplitude (Sum_Amplitude - Grid)	9.9837
Bandwidth_Rating_Bias (Bandwidth_Rating_Bias - Grid)	19.6589	Sum_Magnitude (Sum_Magnitude - Grid)	97.1429
Bandwidth_Rating_Debias (Bandwidth_Rating_Debias - Grid)	19.5879	Sum_Negative_Amplitude (Sum_Negative_Amplitude - Grid)	88.3137
Acoustic_Amplitude (Default Acoustic_Amplitude - Grid)	0	Sum_Negative_Amplitude (Sum_Negative_Amplitude - Grid)	83.6565
Snap_Criteria (Default Snap_Criteria - Grid)	13.7912	Sum_Positive_Amplitude (Sum_Positive_Amplitude - Grid)	89.274
Time (Default Time - Grid)	46.418	Threshold (Threshold - Grid)	68.4298
Dominant_Frequency (Dominant_Frequency - Grid)	14.6878	Time_at_Max_Amplitude (Time_at_Max_Amplitude - Grid)	48.6365
Energy_Half_Time (Energy_Half_Time - Grid)	5.09027	Time_at_Min_Amplitude (Time_at_Min_Amplitude - Grid)	45.2909
Instantaneous_Frequency (Instantaneous_Frequency - Grid)	29.0359	Zero_Crossing_Count (Zero_Crossing_Count - Grid)	12.2099

Figure 4. Analysis of sensitive attributes of 4⁵ layers in the upper section of the hall
图 4. 馆上段 4⁵ 小层敏感属性分析

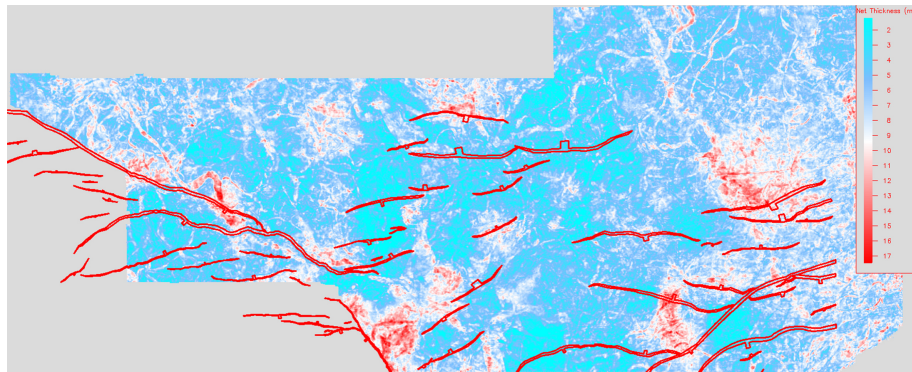


Figure 5. Thickness plan of 4⁵ small-layer multi-attribute fitting in the upper section of hall
图 5. 馆上段 4⁵ 小层多属性拟合厚度平面图

通过回归分析法确定各种属性的权值，建立储层厚度与多属性间最为吻合的定量计算关系[4]，进行了厚度转换(图 5)。图中红色 - 白色区域代表河道砂体分布，颜色越红代表砂体越发育，预测结果与宏观沉积认识规律基本一致。

经由拟合，各小层预测砂体展布均与宏观沉积认识规律相符，各主力层最大厚度从 15 m~22 m 不等。这样一来可以以半定量的方式预测砂体厚度。

4. 砂体精细描述

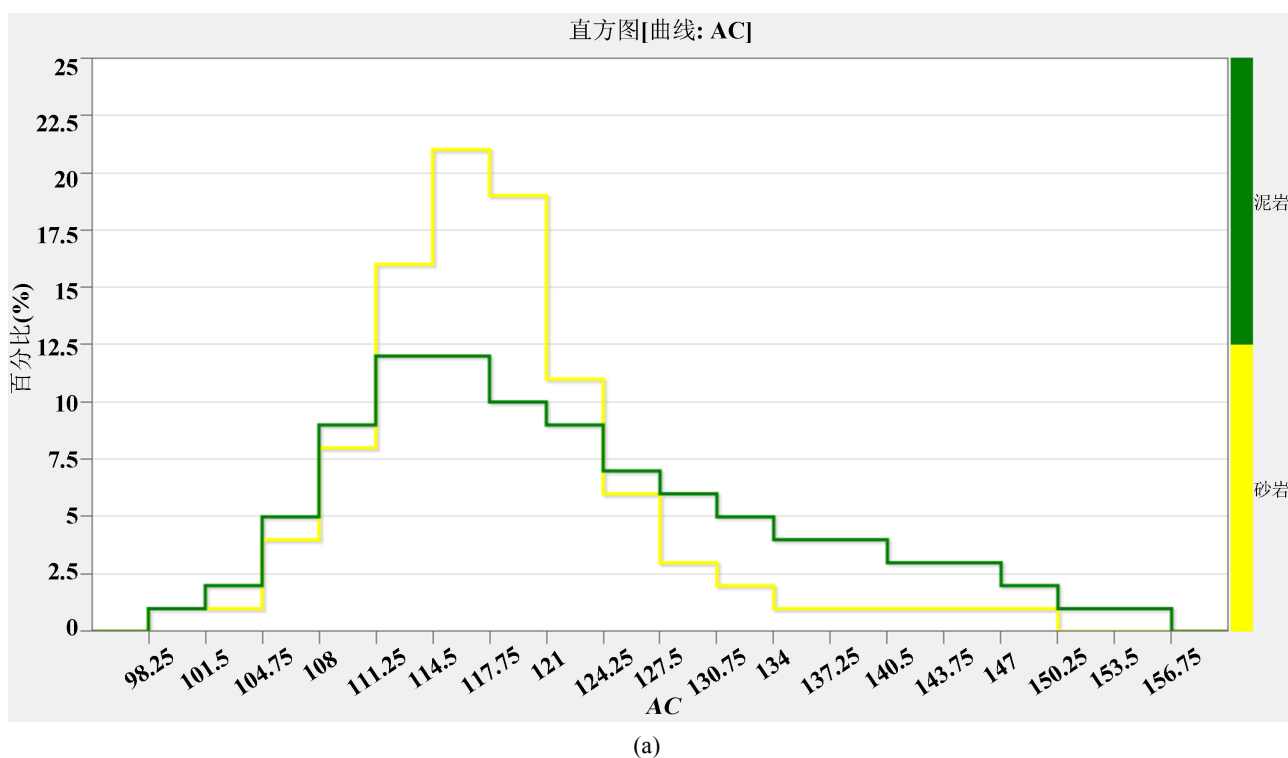
在前期多种技术方法研究基础上，对本区储层展布规律有了宏观认识。为更准确地进行储层描述，选取了以提高地震分辨率为目的的地震反演技术。地震反演的最终目的是既要提高地震分辨率，又要保证高频成分的合理性，与沉积规律、地质认识相吻合。这就需要提高地震资料品质，优选适用本区的反演方法，在相控基础上开展反演预测。

4.1. 曲线校正

测井约束地震反演在储层预测中起着非常重要的作用，弥补了地震有限带宽的不足，而反演预测的成败主要由测井资料的准确性所决定。多数情况下，由于井壁坍塌、地层压实程度等因素的影响，声波曲线难以反映岩性变化，导致岩性识别困难，反演结果不能准确预测有效储层的分布情况[5]。

埕岛地区馆上段储层具有高声波时差、低密度的特征。但原始测井曲线的砂泥岩声波时差及密度叠合严重，对储层识别能力较差(图 6)。这是由于研究区泥岩段井壁坍塌严重，受泥浆浸泡，导致泥岩速度降低，砂泥岩速度比较接近，95%以上泥岩段存在扩径现象。为此，需要对泥岩段进行测井曲线校正。

声波时差曲线应用 Faust 公式进行转换，转换后的声波曲线抽取泥岩段，对原曲线进行覆盖。密度方面应用转换校正后的声波曲线，运用 Gardner 公式进行转换。最终获得本区波阻抗曲线。



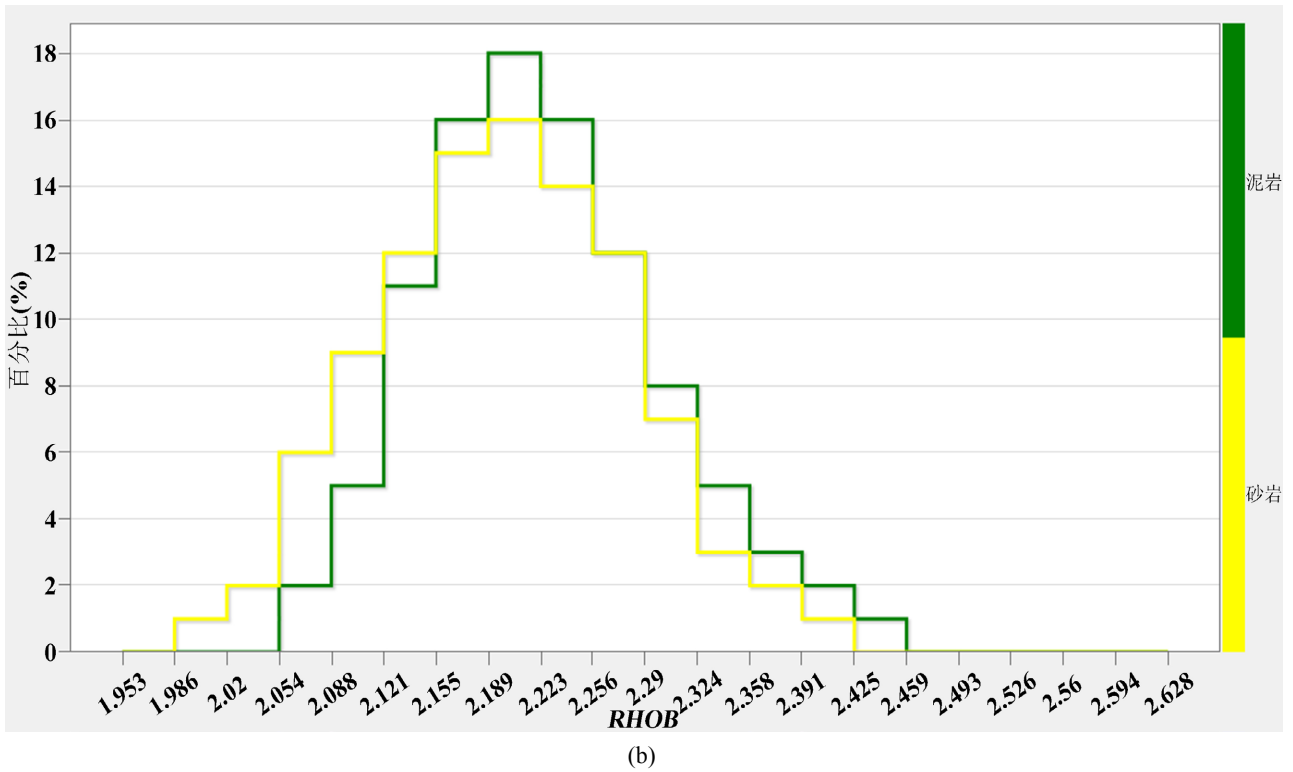
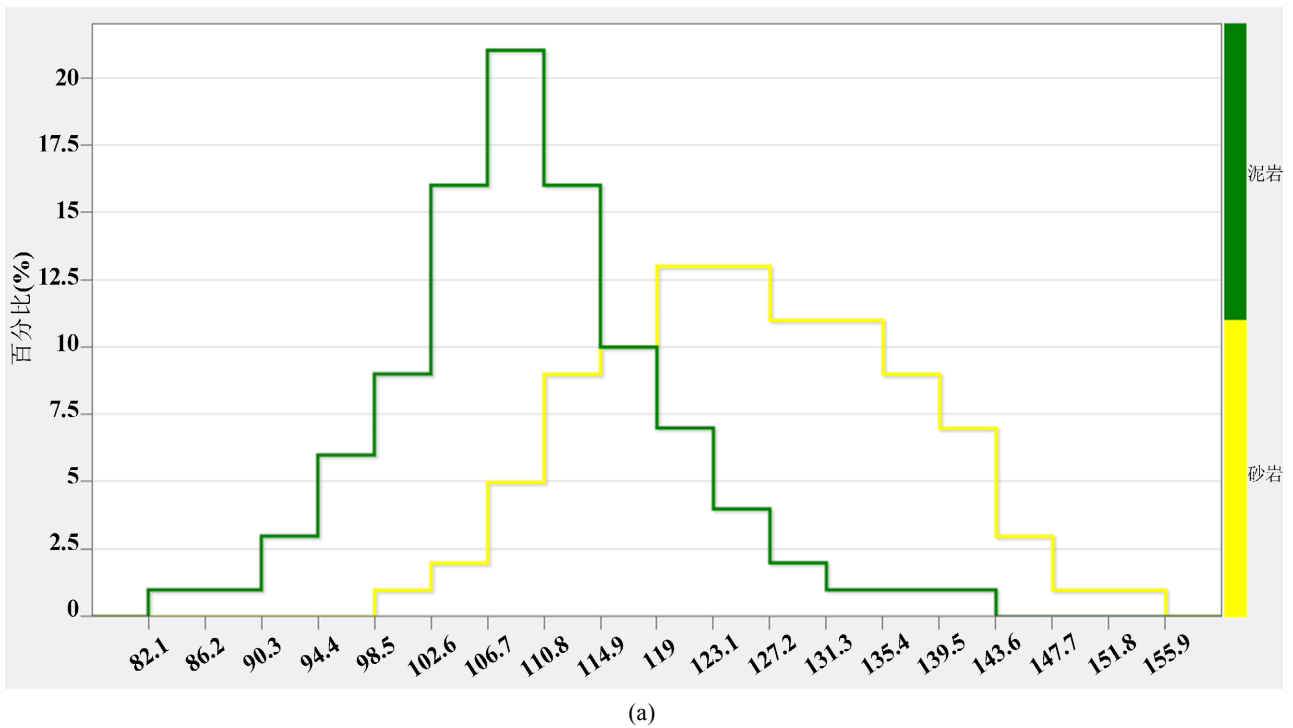


Figure 6. Histogram of acoustic time difference and density distribution of sand group 1~6 in Guanshang Section, Chengdao area
图 6. 埕岛地区馆上段 1~6 砂组声波时差、密度分布直方图

校正前砂泥岩速度叠置，校正后泥岩声波时差略低于砂岩声波时差，泥岩声波速度略高于砂岩声波速度(图 7)，符合研究区砂泥岩测井曲线规律。



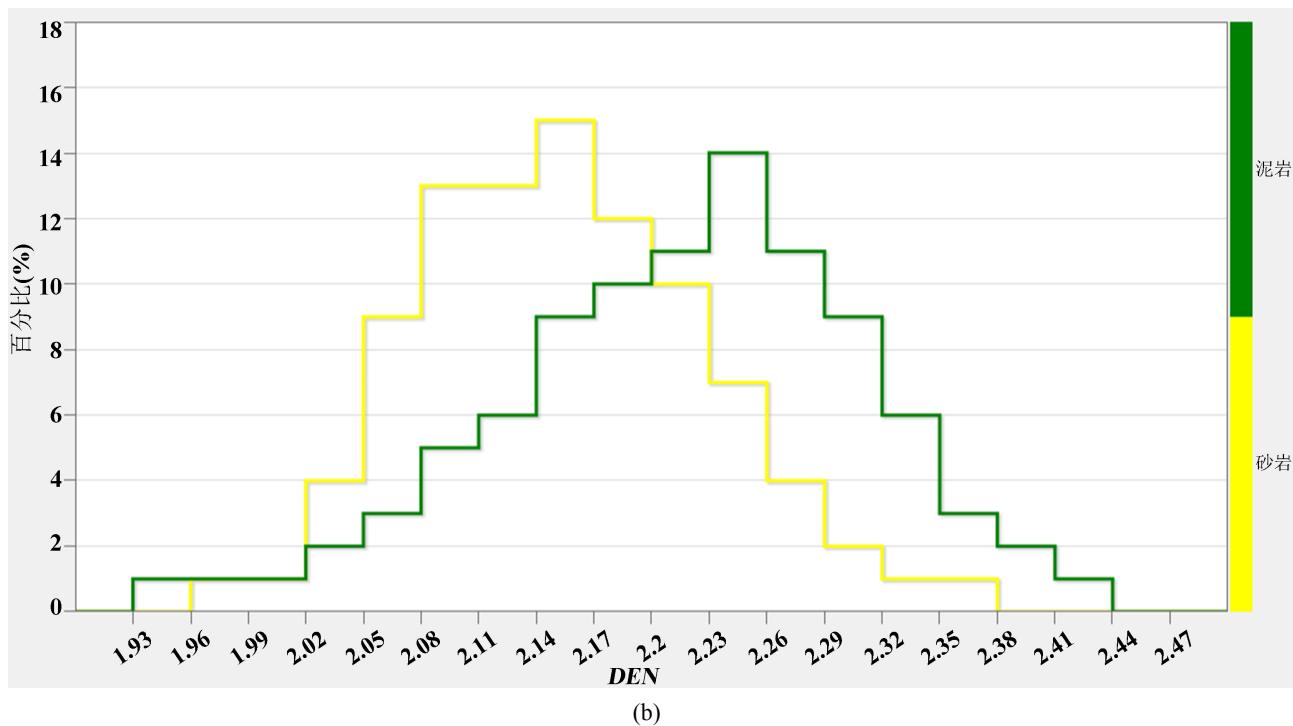
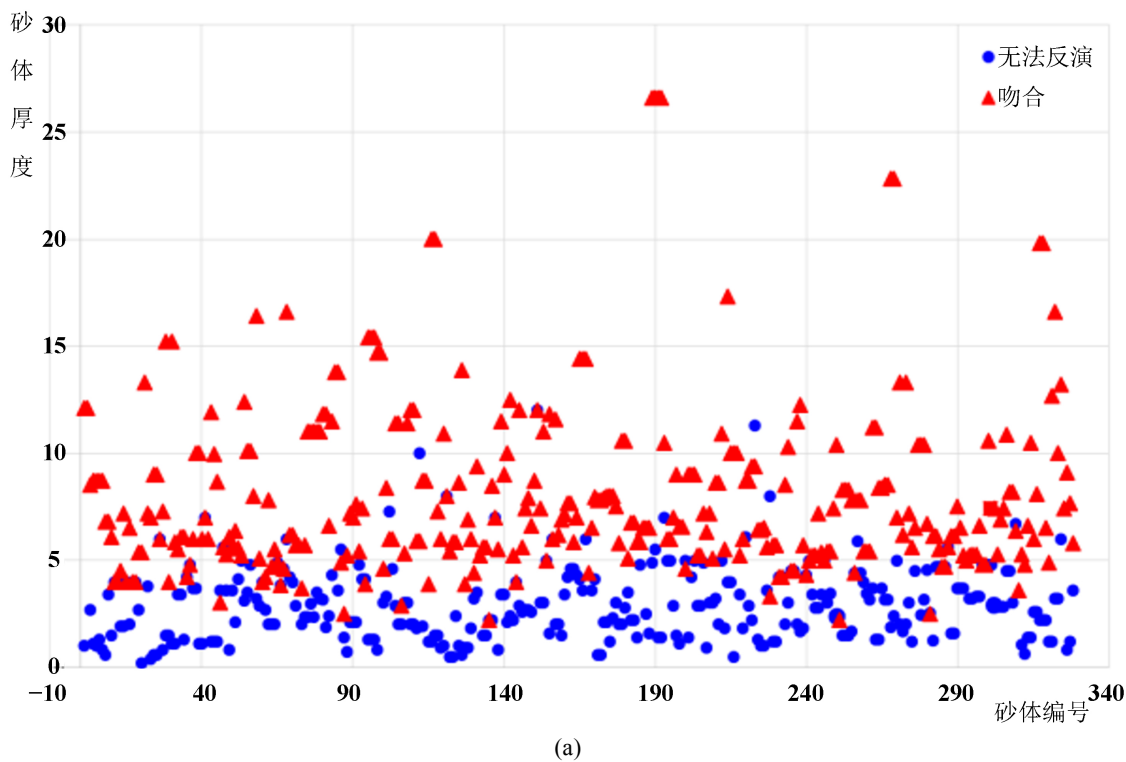


Figure 7. Histogram of acoustic time difference and density distribution in Guanshang Section 1~6 Sand Group in Chengdao area (after correction)
图 7. 埕岛地区馆上段 1~6 砂组声波时差、密度分布直方图(校正后)

4.2. 地质统计学反演



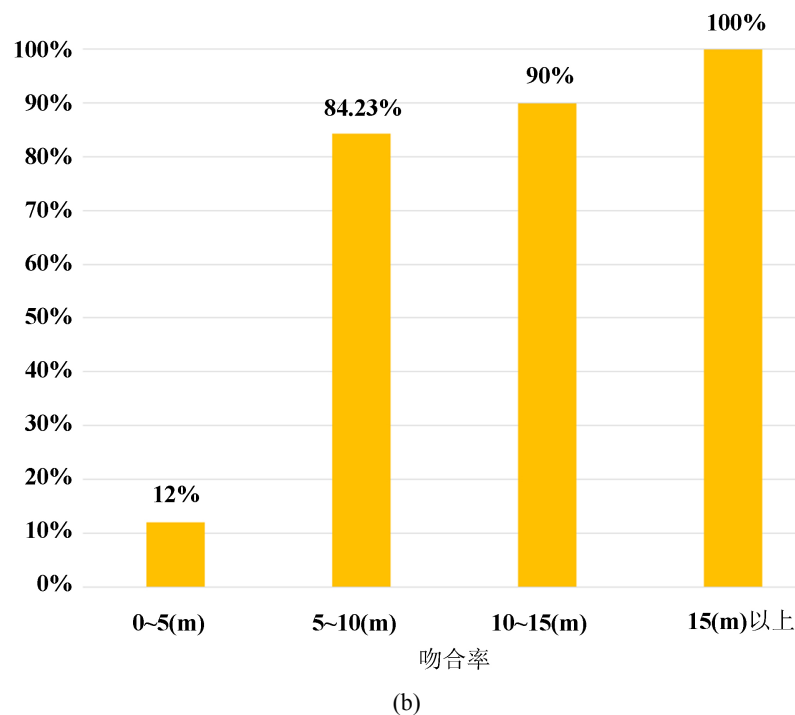


Figure 8. Comparative statistics of the coincidence between inversion results and real drilling sand body
图 8. 反演结果与实钻砂体吻合度对比统计

埕岛油田为海上油田，相较陆上油田而言井数较少、分布无规律、地震资料信噪比较高，同时对反演质量需求较高。结合本区资料特征分析，认为本区以稀疏脉冲反演与地质统计学反演相结合的方式最为可靠。以测井约束反演作为质量控制，约束储层的横向变化，用地质统计学反演分辨储层的纵向变化，两者结合达到精细识别储层的目的。既保证了地震波形原有变化趋势，又保留了纵向高分辨率。

将得到的反演数据体结果与研究区探井实际钻遇情况对照，经统计分析，对目的层段 5~10 m 单砂体有效识别吻合率约达 84%，极大提高了薄砂体的预测精度(图 8)。

同时横向连通叠置关系的识别度得到了极大提高，以 A85 井~A323 井之间的连通关系为例进行分析。

A323 井于 2005 年完井，于馆上段 4^s 小层钻遇油层 3.8 m。经地震追踪认为该井位于钻遇砂体低部位，砂体满含油(图 9、图 10)。因此于同砂体高部位部署探井 A85 井，并于 2021 年 11 月实施。但 A85 井实钻失利，于馆上段 4^s 小层钻遇水层 4 m，两井之间出现油水矛盾。完井时根据原地震资料讨论认为 A323 井南侧紧邻地震轴存在向上抬升的趋势，该处砂体可能实际并不相通，南部砂体整体不含油(图 9 上)。

经由本次反演处理发现，A323 井南侧紧邻地震轴抬升趋势是受到上层叠置小砂体干扰，同时在 A85 北侧出现上下两层砂体尖灭处叠置情况。证明 A85 井及 A323 井于馆上段 4 砂组底钻遇储层实际分属不同小层，井间无连通关系，有效解释两井间油水矛盾问题(图 9 下)。

根据新的反演结果对该处砂体重新进行追踪刻画。原讨论认为该块砂体与 A323 井实际不连通未成藏，经由新认识共新增描述有利砂体面积 3.26 km² (图 10 右)，可在将来的井位部署中进行进一步勘探评价。

从反演效果来看，砂体纵向分辨率提高至可有效识别厚度大于 5 m 储层；横向上砂体边界及连断关系更加清晰；实钻井测井解释成果与反演成果对应关系良好，基本吻合率较高。

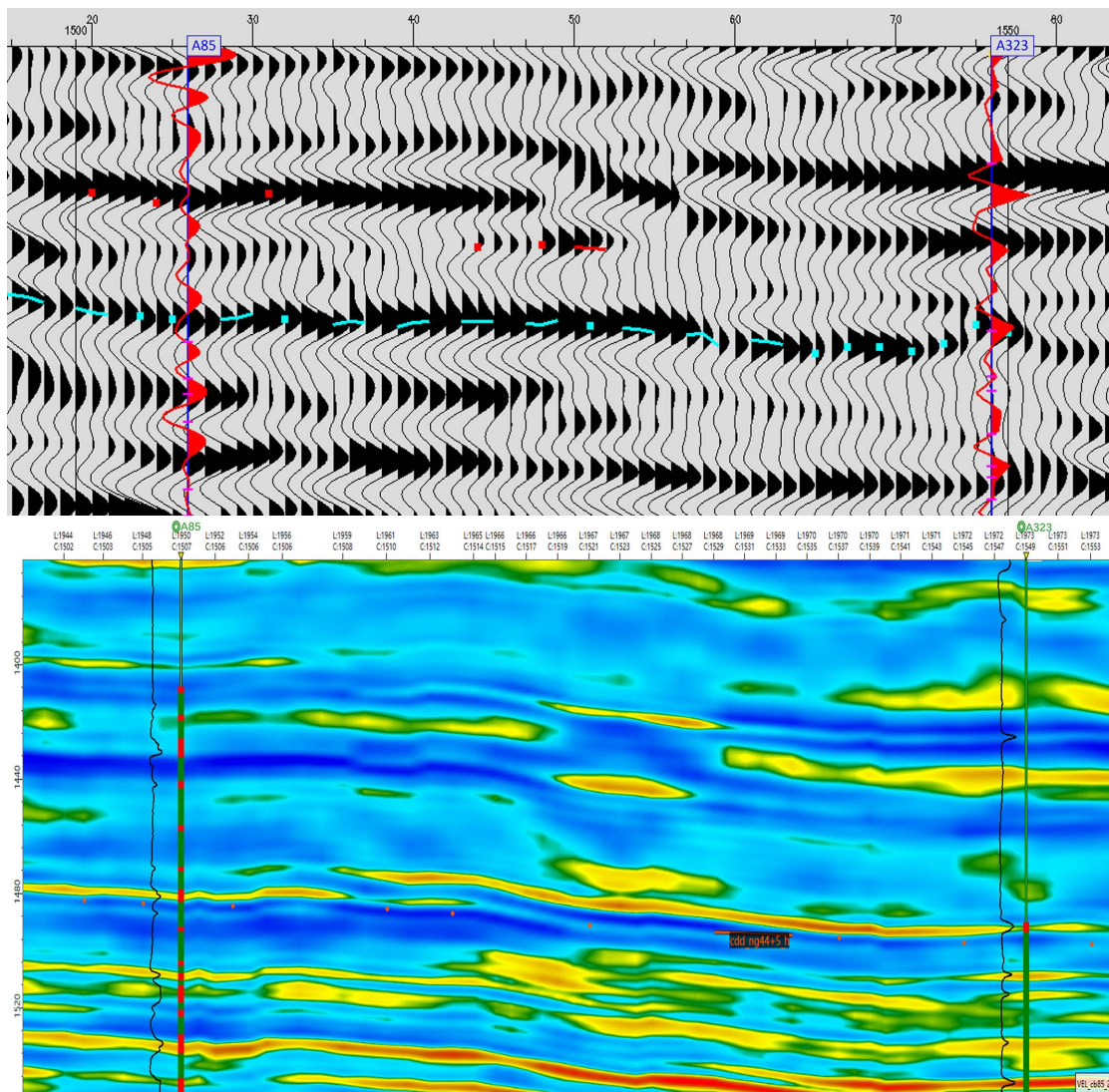


Figure 9. Seismic and inversion profiles of well A85-A323
 图 9. 过 A85-A323 井地震及反演剖面图



Figure 10. Map comparison of A323 Upper section Guadian 4⁵ small layer sand body characterization
 图 10. A323 块馆上段 4⁵ 小层砂体刻画图对比

5. 实施效果

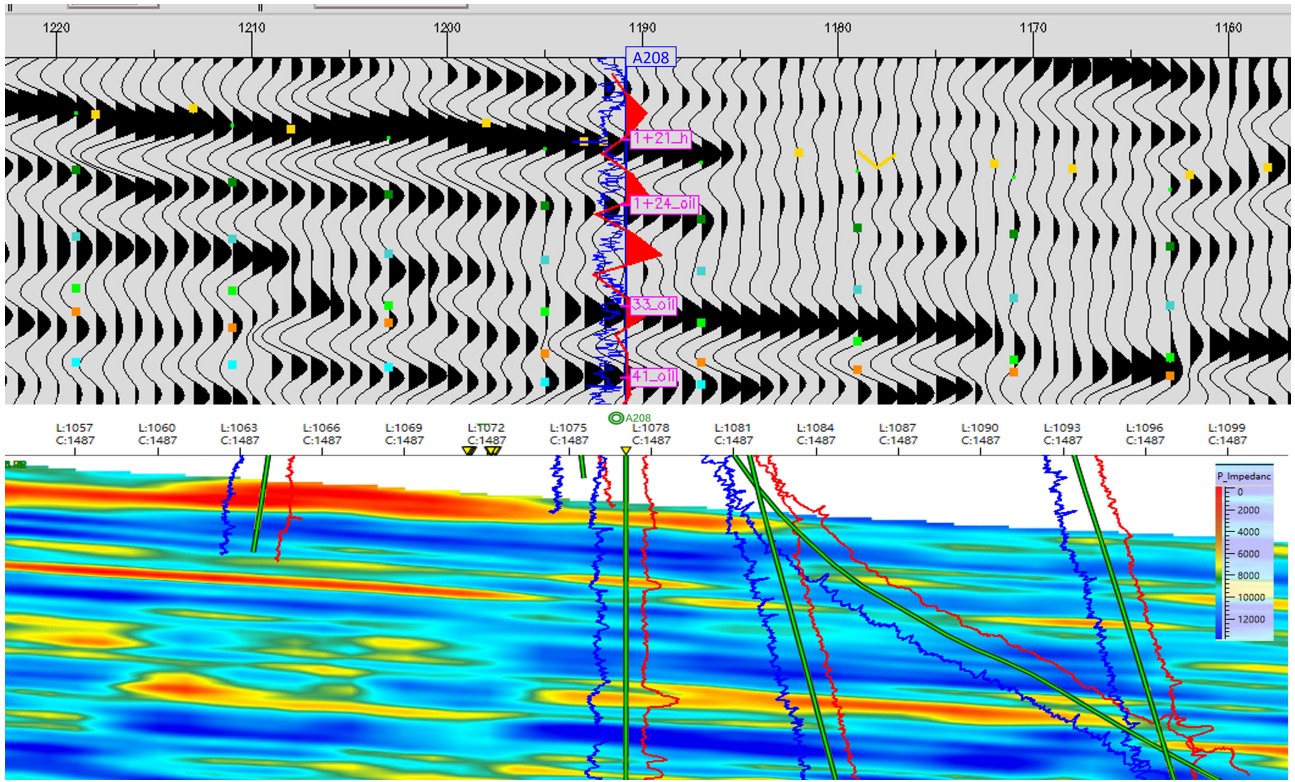


Figure 11. East-West seismic and inversion profile of well A208

图 11. A208 井东西向地震及反演剖面

埕岛西北部 A208 块于 2021 年制定开发方案。该井区位于埕岛油田主体外围，无依托海工设施，新建平台及海工设施投入开发投资高风险大。因此，方案遵循“少井高产”理念，为提高单井控制储量和单井产能，加大水平井和复杂结构井的应用力度，部署 4 口水平井及 4 口分支水平井。

但该井区仅钻 A208、A209、B202 共 3 口探井、资料较少，油藏认识难度大。需针对该井区强化油藏描述、精准识别砂体边界及内部变化点、避开低效储层区，才能降低投资风险、高效建产。

因此，在该区的实际产能建设中应用该套浅层河道砂储层精细描述技术体系。同时由于研究区探井资料较少，为提高反演质量，在实施过程中进行随钻油藏描述：每完钻一口井后及时对测井资料进行校正处理并加入井集提取子波，再次进行新的地质统计学反演。

该井区于 2021 年 11 月开始实施。实施过程中根据实钻情况及最新反演结果及时进行后续井调整。一方面通过控制点和双靶点控制井轨迹，使其在目的层之上钻遇尽量多的过路层；另一方面调整目的层靶点，使其在目的层尽量钻遇储层最厚点。

以馆上段 $1 + 2^4$ 小层为例。探井 A208 并于该小层钻遇油层 3.3 m。根据原始地震数据地震轴进行的砂体刻画认为该探井控制的砂体面积达 1.64 km²，为此在砂体西北部部署一口水平井(图 11、图 12 左)。但新的随钻反演数据体认为该地震轴由两层叠置薄砂体互相干涉形成，A208 井实际控制的砂体形态为规模较小的北西向窄河道砂体，面积仅 0.19 km² (图 11、图 12 右)。

后续实钻过程中馆上段 $1 + 2^4$ 小层原预测砂体共钻 8 口过路井，其中仅有 A208A-2 井钻遇油层 4.6 米，与反演的砂体描述吻合。因此及时取消了在该砂体西北部原本部署的水平井(图 12)。

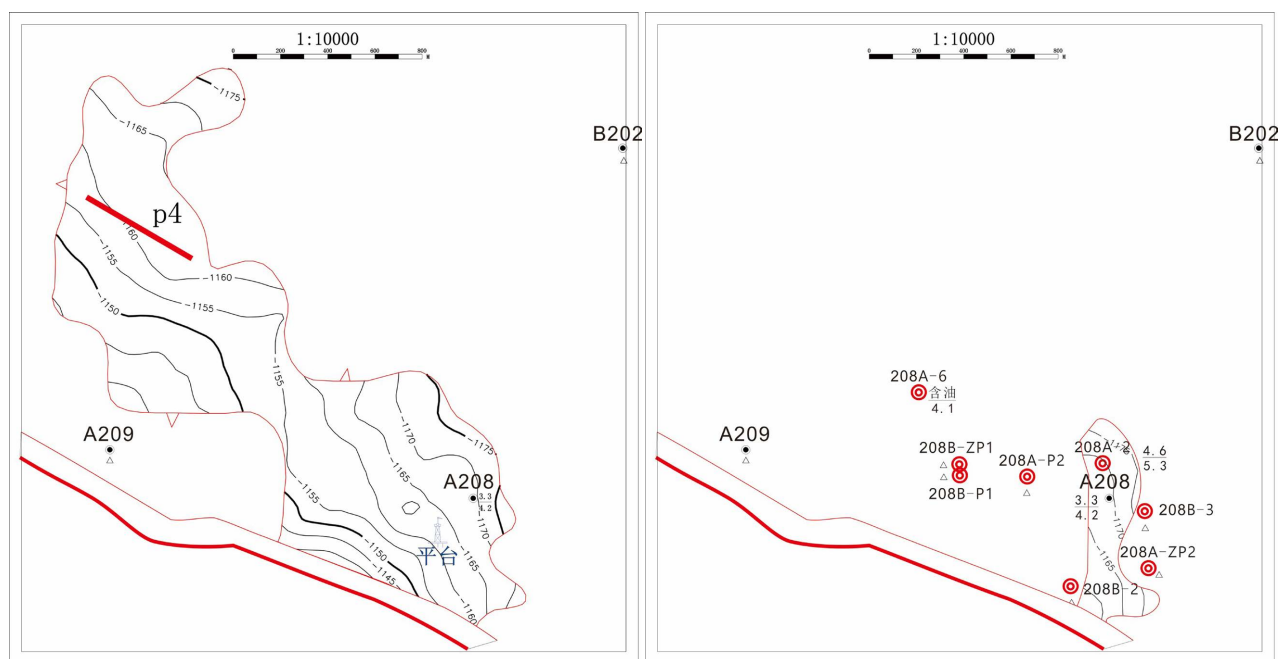


Figure 12. Sand body diagram of $1 + 2^4$ small layer scheme design and sand body diagram of real drilling inversion characterization in block 208

图 12. 208 块 $1 + 2^4$ 小层方案设计砂体图及实钻反演刻画砂体图

在实施 5 口定向井后，根据已钻井钻遇情况及随钻反演数据体，于 2022 年初对各小层砂体边界及厚度进行重新绘制，并再次进行整体方案调整。新方案对比动用面积整体减少 0.8 km^2 ，动用储量增加 164 万吨，新井井数整体增加 4 口。

目前 20 口井已全部完钻。定向井实钻厚度超出方案设计 80.5%；8 口水平井及水平分支井水平段实钻钻遇率达到 96.1%，其中 5 口水平井水平段钻遇率高达 100%。目前该井区已全部投产，平均日油高于方案设计 32%。

由此可见该套浅层河道砂储层精细描述技术体系实际应用效果较好，可在其他浅层河道砂区块进行推广运用。

6. 结论

通过研究，主要取得以下几方面成果：

1) 运用时频分析方法对埕岛地区叠后纯波地震数据进行高分辨处理，建立埕岛地区本地特征衰减场，针对性补偿地震高频成分，将地震数据主频由 35 Hz 提升至 60 Hz，极大提高了地震分辨率；

2) 通过拟合多地震属性与实钻储层厚度的相关公式，半定量地刻画储层展布规律。分析可知埕岛地区馆上段河道发育特征：由下至上河道宽度逐渐减小、河流沉积作用呈逐步减弱趋势，断裂发育密度减小，河道发育主要方向由北东向转变为北西向再转变为东西向，由低弯度转变为高弯度并出现河流改道作用；

3) 埕岛地区储层具有埕岛地区馆上段储层具有高声波时差、低密度的特征。但由于埋深较浅地层疏松，埕岛地区泥岩段存在较严重的井径垮塌情况，导致泥岩测井曲线声波时差增大、密度降低，砂泥岩曲线叠置严重，直接进行反演效果较差。通过使用声波曲线进行校正，得出研究区真实砂泥岩岩石物理参数，可有效区分储层；

4) 优选地质统计学反演方法, 最终做到纵向上可以有效识别厚度大于 5 m 储层, 横向上可以有效区分砂体边界及连断关系, 整体形成了浅层河流相薄储层地震描述技术体系, 并在埕岛地区 A208 块的产能建设中取得了定向井实钻厚度超出方案设计 80.5%、水平井平均钻遇率达到 96.1% 的良好现场应用效果, 有效实现了高效建产, 可在其他浅层河道砂区块进行推广运用。

参考文献

- [1] 朱宝衡, 谢春雨. 多尺度混合反演技术在河流相薄储层预测中的应用[J]. 复杂油气藏, 2021, 14(2): 22-27.
- [2] 杨启浩, 姜林. 河道砂体储层描述技术在埕岛油田主体周边馆陶组的应用[J]. 科教导刊(电子版), 2018(10): 257-257.
- [3] 卢溜, 张广智. 卷积神经网络在地震多属性分析中的应用[C]//中国地球物理学会. 2015 年中国地球科学联合学术年会论文集(二十)——专题 51 油藏地球物理. 2015: 2173-2174.
- [4] 颜世翠. 多属性趋势拟合技术在滩坝砂储层预测中的应用[J]. 内江科技, 2013, 34(5): 131-132.
- [5] 刘百红, 郑四连, 关达. 拟声波宽带约束波阻抗反演在储层预测中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(6): 416-421.