doi: 10.11720/wtyht.2026.0120
杨勤林. 基于各向异性反演的河道砂岩薄储层预测方法研究及应用[J]. 物探与化探, 2026, 50(5): 926-932. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.0120
Yang Q L. Research and application of a prediction method for thin channel sandstone reservoirs based on anisotropic inversion[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2026, 50(5): 926-932. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.0120

# 基于各向异性反演的河道砂岩薄储层预测方法研究及应用

杨 勤 林
(中石化石油物探技术研究院有限公司, 江苏 南京 211003)

**摘 要**: 河道砂岩具有一定的方位各向异性特征, 考虑各向异性反演能实现对河道砂体更精细的预测, 但由于待反演参数过多, 直接反演结果往往不稳定。本文首先基于测井资料确定河道砂体的各向异性特征, 对比不同 AVO 近似方程发现 Rűger 三项式方程相对更加精确; 针对各向异性反演的不稳定性问题, 基于宽方位高密度地震资料, 提出了两步法反演实现策略, 首先分扇区反演得到不同扇区的梯度项, 然后使用稳健的线性反演算法求解各向异性参数和弹性参数相对值; 最后开展机器学习高分辨率融合反演得到弹性参数绝对值, 并结合岩石物理特征分析, 预测了河道砂体薄储层的分布, 其结果与测井资料和地质认识相吻合, 说明该方法对类似地区河道砂岩薄储层预测和各向异性反演具有借鉴意义。

**关键词**: 河道砂岩; 方位各向异性; 各向异性反演; 宽方位高密度; 高分辨率融合反演
**中图分类号**: P631.4; P31 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2026)05-0926-07

## 0 引言

近几年来, 随着宽方位地震资料逐步推广应用, 相关研究发现河道砂体受河道展布方向、砂体厚度和储层物性差异等因素影响, 呈现出地震方位各向异性特征, 表现出不同方向的振幅属性存在差异, 不同方向的纵、横波速度也存在一定差异, 常规叠后振幅属性和各向同性反演未考虑河道的各向异性特征, 对河道砂体的边界往往难以准确刻画[1-5]。充分挖掘河道砂体的各向异性信息, 能提高类似地质体的刻画精度。刘海宁[6]、王允清等[7] 基于正演分析河道砂体在不同方位属性上存在差异, 通过优选方位属性定性预测河道砂体展布, 取得了较好的应用效果; 覃素华等[8] 分析不同方位反演结果存在差异, 采用优势方位反演预测碎屑岩储层展布, 相比全叠加反演结果精度更高。

在各向异性反演算法方面, 由于考虑各向异性参数影响, 相比常规叠前反演, 各向异性反演求解难度加大, 反演结果的不稳定性也增加。李勤等[9] 在反演算法方面进行优化, 采用模拟退火的粒子群算法实现各向异性反演; 张广智等[10] 采用简化 Rűger 方程近似式估算纵、横波阻抗和各向异性梯度参数; 刘财等[11] 等利用各向异性石物理模型约束和贝叶斯框架反演等, 获得纵、横波速度和各向异性参数, 提高了估算结果的准确性。

济阳坳陷东营凹陷古近系广泛发育水下分流河道砂体, 纵向多期河道叠置, 多为 3~5 m 薄砂体, 同时具有方位各向异性特征, 随着宽方位高密度地震资料的逐步应用, 储层各向异性反演具有更可靠的数据基础。本次首先基于正交偶极测井分析河道砂岩的各向异性特征, 并通过正演分析不同 AVO 近似方程的误差, 发现 Rűger 三项式方程相对更精确; 针对各向异性反演的不稳定性问题, 基于宽方位高密

**收稿日期**: 2026-05-28; **修回日期**: 2026-07-31
**基金项目**: 中国石油化工股份有限公司科技项目"东部断陷盆地邻源地质体地球物理处理与解释攻关"(P24138)
**作者简介**: 杨勤林(1980-), 男, 汉族, 湖北潜江人, 博士, 高级工程师。研究方向为地震资料综合解释和储层预测工作。Email: yangql.swty@sinopec.com

度地震资料, 采用两步法反演实现策略, 先分扇区反演梯度项, 再求解各向异性参数和弹性参数; 最后开展机器学习高分辨率融合反演, 并结合储层岩石物理特征分析结果, 对研究区沙河街组沙四段河道砂体薄储层展布进行预测, 预测结果与实际钻井和地质认识相吻合, 更好地突出了河道砂体边界和各向异性特征等。

## 1　研究区概况和储层特征分析

研究区位于济阳坳陷东营凹陷南坡, 沙河街组沉积时期形成了以湖泊—三角洲前缘为主的沉积体系, 物源充足, 岩性圈闭发育。目的层沙四段岩性复杂, 以粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩和灰质砂岩等为主, 储集体类型包括水下分流河道砂体、滩坝砂和席状砂等, 多期河道砂体相互叠置, 单层砂体厚度 3~5 m, 孔隙度 6%~15%, 储层主要分布在渗透性砂岩与灰质砂岩层段, 在测井曲线上表现为低自然电位、低自然伽马、高电阻率和低声波时差等特征, 具有相对高纵波速度和低密度弹性参数特征。

正交偶极声波测井资料可以获得地层的快、慢横波速度信息, 利用横波速度的差异能计算出地层的各向异性强度和方位等, 进一步分析河道砂体的方位各向异性特征[12-13]。图 1 为 B1 井正交偶极子测井各向异性分析, 沙四段发育多套河道砂岩储层, 偶极测井资料的快、慢横波时差表现出明显差异, 从各向异性大小上看, 低自然伽马的砂岩段相对泥岩段各向异性明显突出, 各向异性相对值差异达到 10%~15%, 厚层砂体的各向异性特征更加明显, 说明河道砂岩储层也具有较强的方位各向异性特征。从不同位置的方位分布特征上看, 偶极测井计算的速度各向异性方向以近 NE 向为主, 与研究区目的层段主体河道的展布方向一致, 表明研究区速度的各向异性特征与河道的发育程度密切相关。

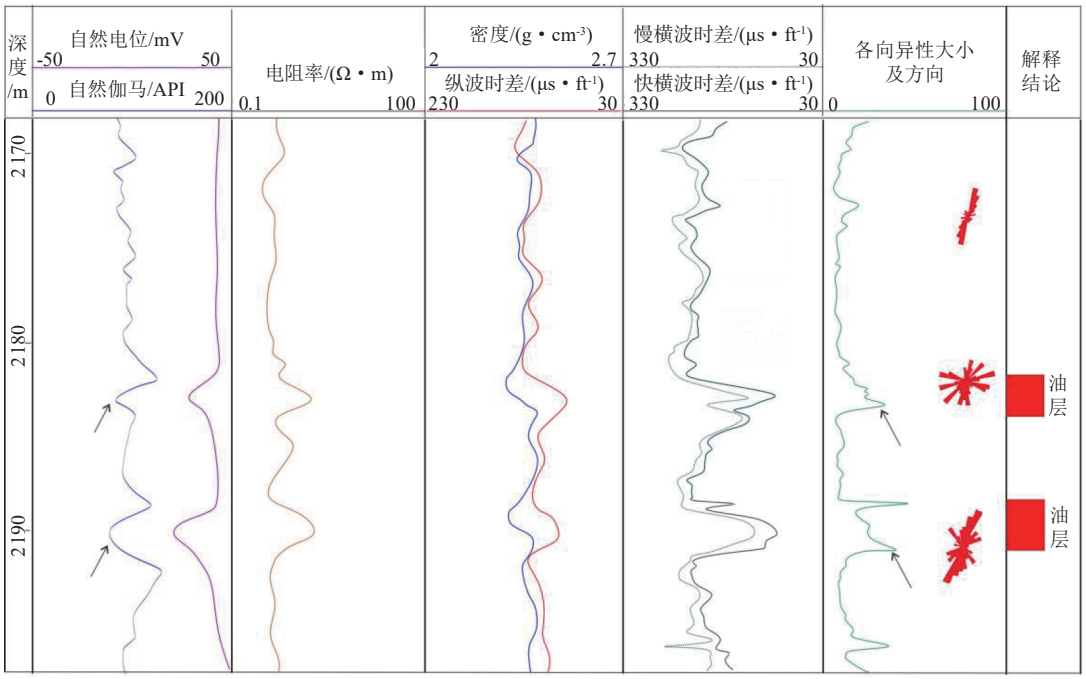



**图 1　B1 井沙四段各向异性特征分析**

**Fig. 1　Analysis chart of anisotropy characteristics of $Es^4$ member in well B1**

## 2　各向异性方程正演和误差分析

使用近似方程开展叠前反演的适用性分析, 能够了解不同近似方程的误差大小, 以便选择适用于研究区的近似方程开展后续叠前反演研究。本文使用 Zoeppritz 方程、Rűger 两项式、三项式方程等常用近似方程, 根据实际纵波速度 $V_P$、横波速度 $V_S$、密度 $\rho$ 和正交偶极测井资料解释的各向异性参数等数据(表 1), 开展叠前正演研究, 对比分析不同 AVO 近似方程与精确解的误差值大小。

**表 1　不同岩性弹性参数及估算各向异性参数**

**Table 1　Elastic parameters and estimated anisotropy parameters for different lithologies**

| 岩性 | $V_P$/(m·s$^{-1}$) | $V_S$/(m·s$^{-1}$) | $\rho$/(g·cm$^{-3}$) |
|---|---|---|---|
| 泥岩 | 3 154 | 1 511 | 2.446 |
| 砂岩 | 4 204 | 2 287 | 2.426 |
| $\Delta\varepsilon$=0.01, $\Delta\delta$ = −0.01, $\Delta\gamma$=0.02 | | | |

图 2 是不同方程拟合精确解的误差分析，图中黑色虚线为 Zoeppritz 各向异性精确解，黄色虚线为 Rüger 三项式近似解，考虑了远角度；黄色实线为 Rüger 两项式近似解，只考虑了近角度。对比不同 AVO 近似方程结果发现，考虑到各向异性的 Rüger 方程相比各向同性方程的误差要小一些。对比 Rüger 方程三项式和两项式结果，当入射角在 25°以上时，Rüger 两项式的误差随着入射角的增大，误差越来越大。本区目的层最大入射角可以达到接近 40°，使用 Rüger 两项式方程误差较大，而 Rüger 三项式虽然在入射角达到 35°以后有误差，但相对于 Rüger 两项式方程误差小很多。

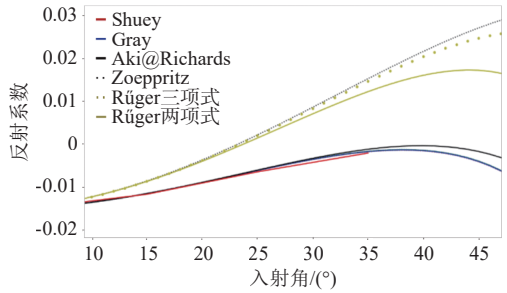



**图 2　Rüger 两项式和三项式近似方程等拟合精确解对比**

**Fig. 2　Comparison of exact solutions fitted by Rüger two-term and three-term approximation equations**

## 3　各向异性叠前弹性反演方法

根据研究区正交偶极子测井资料，储层段具有强方位各向异性，若采用各向同性反演会产生较大误差，因此需选用 Rüger 三项式的各向异性反演方法，相比 Rüger 两项式近似方程，该方法抗噪性更强，弹性参数求解精度更高，但由于 Rüger 三项式包含纵横波速度、密度和各向异性等多个待求解参数，直接反演求解的难度大，稳定性也较差。

Rüger 各向异性 HTI 介质近似方程如下[14-19]：

$$R_{pp}(\theta,\varphi)\approx\frac{1}{2}\frac{\Delta Z}{Z}+\left\{\frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta V_P}{V_P}-4\left(\frac{V_S}{V_P}\right)^2\cdot\frac{\Delta\mu}{\mu}+\left[\Delta\delta+2\left(\frac{2V_S}{V_P}\right)^2\Delta\gamma\right]\cos^2\varphi\right\}\sin^2\theta+\frac{1}{2}\left[\frac{\Delta V_P}{V_P}+\Delta\varepsilon\cos^4\varphi+\Delta\delta\sin^2\varphi\cos^2\varphi\right]\sin^2\theta\tan^2\theta\approx A+B\cdot\sin^2\theta+C\cdot\sin^2\theta\tan^2\theta,\quad(1)$$

式中：$Z$ 为纵波阻抗；$V_P$、$V_S$ 分别为纵波和横波速度；$\theta$和$\varphi$分别为入射角和方位角，方位角是测线与 HTI 介质对称轴夹角；$\delta$、$\varepsilon$和$\gamma$分别为 Thomsen 弱各向异性参数。

针对上述各向异性反演的求解问题，本次提出了采用分步反演实现策略：首先分扇区利用不同方位的部分叠加数据，通过椭圆拟合方法得到各向异性对称轴的方位角，将方位角转化为已知参数；然后分扇区求解对应 *ABC* 方程，得到不同扇区的 *A* 项、*B* 项和 *C* 项；利用不同扇区反演结果和 Rüger 的 HTI 介质三项式方程，最后分开求解 $\Delta V_P/V_P$、$\Delta V_S/V_S$ 和 $\Delta\rho/\rho$ 等弹性参数反射率和各向异性参数（图 3）。

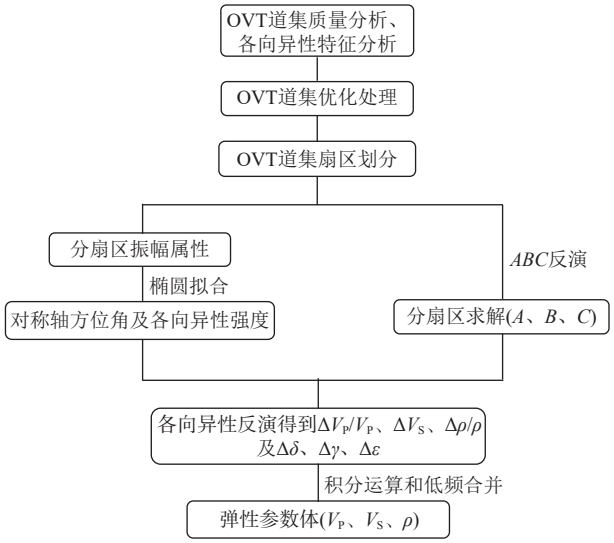



**图 3　各向异性反演技术实现流程**

**Fig. 3　Flowchart of anisotropy inversion technology**

根据研究区各向异性方位分布特征，河道发育方向和各向异性方向以近 NE 向为主，将 OVT 道集数据划分为 6 个不同方位扇区的道集，包括 0°~30°、30°~60°、60°~90°、90°~120°、120°~150°和 150°~180°等，针对每一个方位扇区道集，首先利用前面 Rüger 三项式方程开展 *ABC* 反演，得到 6 个（与划分扇区数目对应）各向异性强度 $B_i$ 项以及 $A_i$ 项结果，$i$=1、2、3、4、5、6；再采用稳健的线性反演算法求解 *B* 项中的 $\Delta V_P/V_P$ 和 $\Delta\mu/\mu$，$\Delta\mu/\mu\approx\Delta\rho/\rho+2\Delta V_S/V_S$ 与 $A=\Delta\rho/\rho+\Delta V_P/V_P$ 结合，得到相应弹性参数反射率数据，通过积分运算得到弹性参数相对值，最后通过低频合并可以得到 $V_P$、$V_S$ 和密度 $\rho$ 等绝对值数据体。

图 4 为过井点的各向同性和各向异性反演的纵波速度剖面，两者反演剖面结果整体具有相似性，但各向异性反演剖面的连续性相对更好，与测井曲线具有更好的对应关系，说明采用本方法各向异性反演的弹性参数结果相对稳定、可靠。

## 4　机器学习高分辨率融合反演

传统基于模型的高分辨反演方法，反演结果的

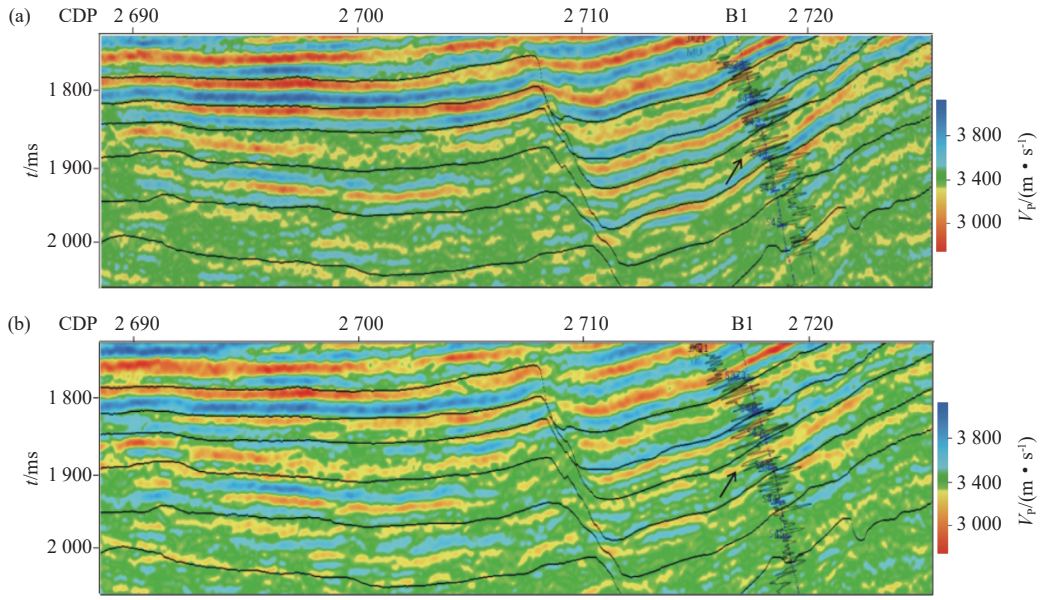



**图 4　各向同性反演 (a)、各向异性反演 (b) 纵波速度反演剖面**

**Fig. 4　Isotropic inversion (a) and anisotropic inversion (b) P-wave velocity inversion profiles**

高频部分容易出现模型化问题, 地质统计反演以地质统计分析为基础, 以地震数据为软约束, 将随机模拟和地震反演相结合, 但反演结果仍然具有很大的不确定性和随机性, 缺少地震相特征约束, 特别是一些突变的地质现象(如河道、砂体尖灭和串珠缝洞等), 在反演结果中很难得到体现[20-22]。

针对上述问题, 结合河道砂岩的各向异性特征, 本次采用了机器学习高分辨融合反演方法, 首先将地震数据、测井数据低频和高频部分作为输入特征参数, 预测目标曲线为标签数据, 地震数据为前面各向异性反演结果, 由于测井数据样本相对有限, 采用支持向量机(support vector machine, SVM)算法[23-26]建立不同特征参数与目标曲线之间的非线性关系, 应用到三维数据体得到高分辨率地震反演结果(图 5)。与传统的高分辨反演方法不同的是, 该方法发挥了机器学习在高维空间强大的拟合能力, 同时保持了原始地震数据中反映的地质体特征。

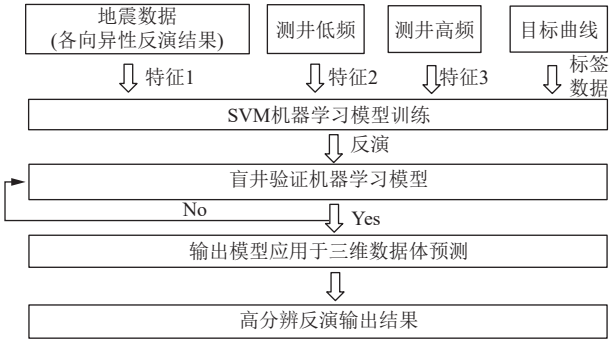



**图 5　小样本机器学习高分辨率融合反演技术流程**

**Fig. 5　Flowchart of high-resolution fusion inversion technology based on small-sample machine learning**

图 6 为前文各向异性反演后得到的常规纵波速度反演以及机器学习融合反演结果, 常规反演的纵向分辨率相对有限, 只能反映厚度较大的砂体分布情况, 高分辨率融合反演相比常规反演具有更加丰富的地质信息, 纵向能分辨 3~5 m 薄储层, 井点处与测井曲线具有较好的对应关系, 井点统计相对误差小于 10%, 横向上也较好地保持了地震资料的变化特征, 反映了研究区目的层段不同位置河道砂体的非均质性变化。

## 5　应用效果

依托研究区单点高密度宽方位地震资料, 通过各向异性反演获得纵波速度、密度和各向异性强度等, 结合岩石物理特征分析结果, 获得沙河街组沙四段砂体厚度预测图。对比各向同性、各向异性反演预测的砂体厚度和各向异性强度反演结果(图 7), 发现各向异性反演与各向同性反演整体相似, 但对砂体展布和河道边界刻画更加清晰, 河道砂体发育位置对应较强的各向异性特征, 主河道呈 NNE 和 EW 方向展布, 与储层各向异性方向一致, 井点砂体厚度预测误差均小于 15%(表 2), 更加精准反映了研究区目的层段河道砂体厚度和分布特征。

## 6　结论

本文针对河道砂岩薄储层的地震预测问题, 分析了河道砂岩储层和各向异性特征, 以宽方位地震

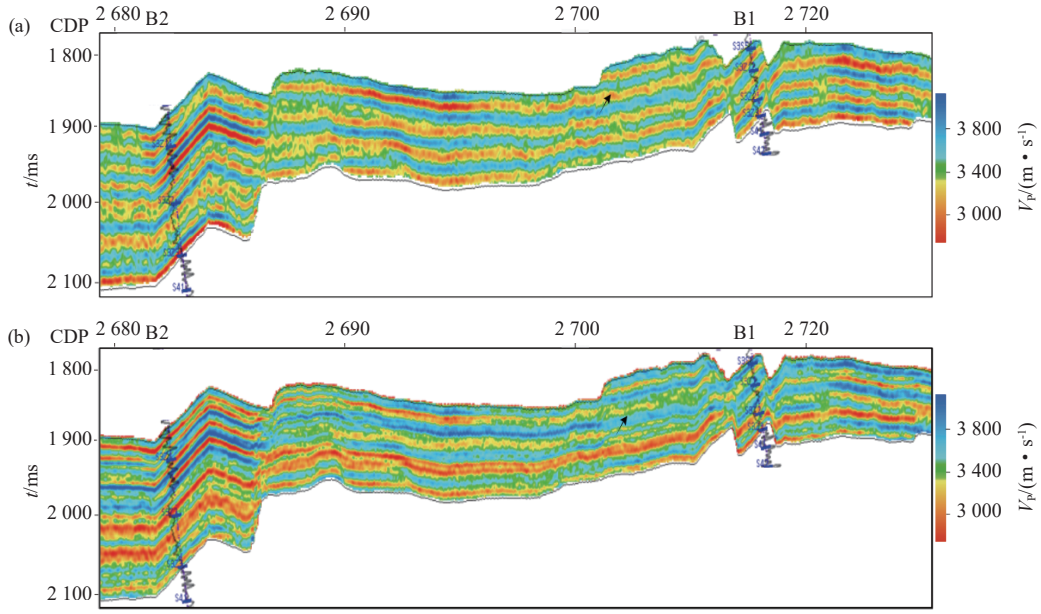



**图 6　常规反演纵波速度(a)及机器学习融合反演纵波速度(b)剖面**

**Fig. 6　Conventional inverted P-wave velocity (a) and machine learning fusion inverted P-wave velocity (b) profile**

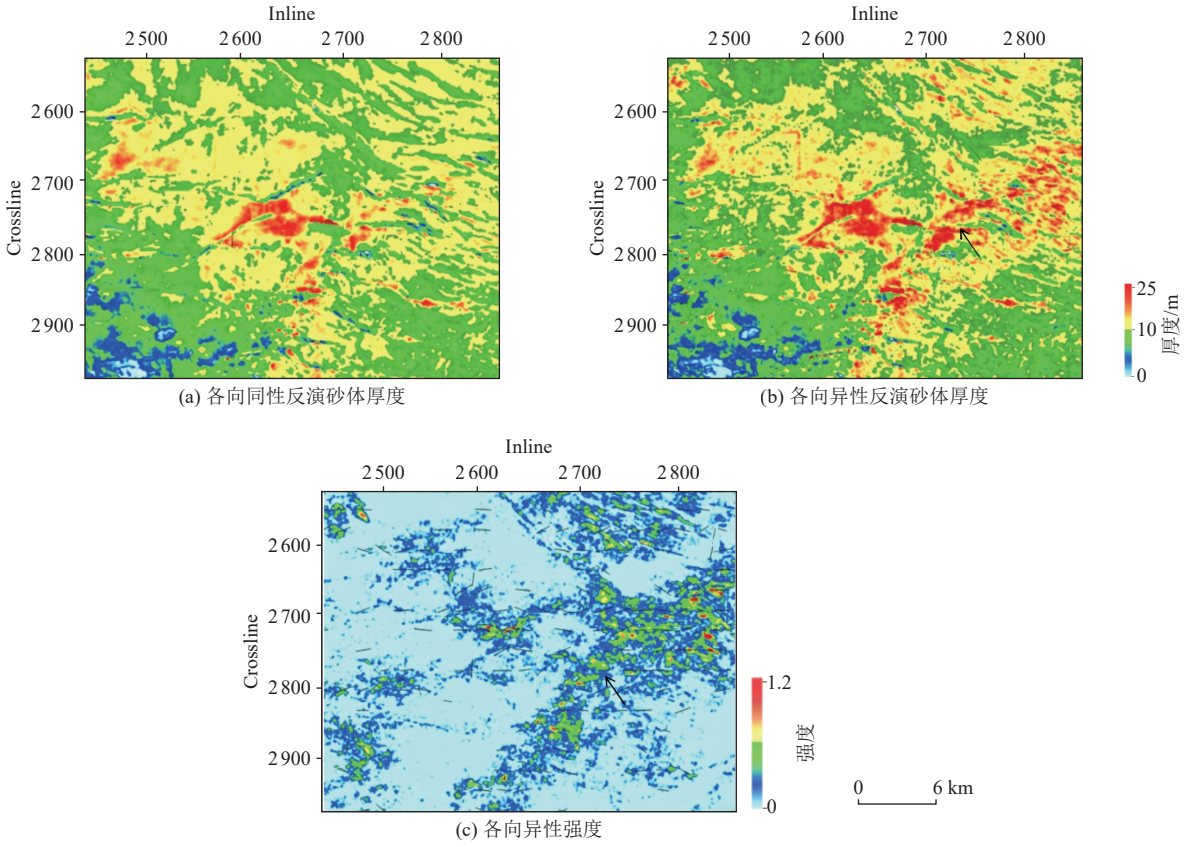



**图 7　渤海湾盆地东营凹陷 B 区块沙四段储层预测平面**

**Fig. 7　Reservoir prediction sand body thickness maps of $Es^4$ in Block B, Dongying Depression, Bohai Bay Basin**

资料为基础，提出了一种基于各向异性反演的河道砂岩薄储层预测方法，实现了河道砂岩薄储层的定量预测，提升了河道砂体刻画和薄储层反演预测精度。

1)基于正交偶极测井资料证实了河道砂体具有较明显的方位各向异性特征，正演模拟分析结果表明，Rűger 各向异性三项式考虑了大入射角的各向异性信息，计算精度和抗噪能性等优于传统两项式近似公式。

2)基于 OVT 域宽方位道集资料，采用两步法实现了 Rűger 各向异性反演，获得各向异性参数和弹

**表 2　不同反演方法预测砂体厚度误差统计**

**Table 2　Statistical of sand body thickness prediction errors for different inversion methods**

| 井名 | 测井厚度/m | 各向同性反演预测厚度/m | 各向同性反演误差/m | 各向异性反演预测厚度/m | 各向异性反演误差/m | 各向异性反演相对误差/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | 26.0 | 21.0 | −5.0 | 24.0 | −2.0 | 7.7 |
| B2 | 25.0 | 19.0 | −6.0 | 22.6 | −2.4 | 9.6 |
| B3 | 30.0 | 22.0 | −8.0 | 26.0 | −4.0 | 13.3 |
| B4 | 24.0 | 20.0 | −4.0 | 24.0 | 0 | 0 |

性参数体等, 且反演剖面连续性和抗噪性优于各向同性反演, 更好地反映了河道砂体各向异性特征; 结合机器学习高分辨率融合反演方法, 更精细刻画了河道薄砂体的变化特征。

3)各向异性高分辨率反演结果提高了河道边界刻画的清晰度, 储层预测结果与测井和地质认识吻合, 可为类似河道砂岩薄储层预测和各向异性反演等提供技术借鉴。

**致谢**: 感谢北京珠玛阳光科技有限公司杨建礼、范伟佳等在各向异性反演方面给予的技术支持, 以及江汉油田勘探开发研究院同志们的数据支持和技术指导。

## 参考文献(References):

[1] 张永升, 刘军, 黄超, 等. 高精度方位各向异性反演在顺北 8 号带裂缝检测中的应用 [J]. 石油物探, 2024, 63(6): 1238−1246.
Zhang Y S, Liu J, Huang C, et al. Application of high-precision azimuthal anisotropy inversion forfracture detection in Shunbei No. 8 belt[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2024, 63(6): 1238−1246.

[2] 戴隽成, 闫媛媛, 陈康, 等. 基于方位各向异性属性的裂缝多参数表征 [J]. 天然气勘探与开发, 2025, 48(5): 25−36.
Dai J C, Yan Y Y, Chen K, et al. Multi-parameter characterization of fractures based on azimuthal anisotropy attributes[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2025, 48(5): 25−36.

[3] 梁志强, 李弘. 不同方位各向异性反演技术对比和总结 [J]. 物探与化探, 2024, 48(2): 443−450.
Liang Z Q, Li H. Comparison and summary of different azimuthal anisotropy-based inversion techniques[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2024, 48(2): 443−450.

[4] 王康宁, 孙赞东, 侯昕晔. 基于傅里叶级数展开的纵波方位各向异性裂缝预测 [J]. 石油物探, 2015, 54(6): 755−761.
Wang K N, Sun Z D, Hou X Y. Fracture prediction by P-wave azimuthal anisotropy based on Fourier series decomposition[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2015, 54(6): 755−761.

[5] 吴怡, 周长所, 徐国贤, 等. 基于方位各向异性反演的裂缝型储层预测及流体识别方法 [J]. 物探与化探, 2025, 49(5): 1173−1189.
Wu Y, Zhou C S, Xu G X, et al. A method for fracture density prediction and fluid identification of fractured reservoirs based on azimuthal anisotropic inversion[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2025, 49(5): 1173−1189.

[6] 刘海宁. 基于方位各向异性地震响应差异性的有利储层预测 [J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2021, 35(2): 6−11.
Liu H N. Favorable reservoir prediction based on azimuthal anisotropy seismic response difference[J]. Journal of Shengli College China University of Petroleum, 2021, 35(2): 6−11.

[7] 王允清, 侯亚彬, 刘金平, 等. 纵波方位各向异性在河道砂体识别中的应用 [J]. 石油物探, 2007, 46(3): 267−271.
Wang Y Q, Hou Y B, Liu J P, et al. Application of P-wave azimuthal anisotropy in channel-sand recognition[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007, 46(3): 267−271.

[8] 覃素华, 刘雷颂, 李想, 等. 分方位马尔科夫链叠前地质统计反演在 Q 区块碎屑岩薄储层预测中的应用 [J]. 地质与勘探, 2021, 57(1): 156−165.
Qin S H, Liu L S, Li X, et al. Application of pre-stack geostatistical inversion of sub-azimuth Markov chain to thin sandstone prediction in block Q of an oilfield[J]. Geology and Exploration, 2021, 57(1): 156−165.

[9] 李勤, 王玮, 王瀚林. HTI 介质地震波各向异性 AVO 反演 [J]. 煤炭学报, 2021, 46(6): 1925−1935.
Li Q, Wang W, Wang H L. Anisotropic AVO inversion of seismic wave in HTI media[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(6): 1925−1935.

[10] 张广智, 陈怀震, 印兴耀, 等. 基于各向异性 AVO 的裂缝弹性参数叠前反演方法 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(3): 845−851, 871.
Zhang G Z, Chen H Z, Yin X Y, et al. Method of fracture elastic parameter inversion based on anisotropic AVO[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(3): 845−851, 871.

[11] 刘财, 符伟, 郭智奇, 等. 基于贝叶斯框架的各向异性页岩储层岩石物理反演技术 [J]. 地球物理学报, 2018, 61(6): 2589−2600.
Liu C, Fu W, Guo Z Q, et al. Rock physics inversion for anisotropic shale reservoirs based on Bayesian scheme[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(6): 2589−2600.

[12] 李维彦, 李永胜, 汪中浩, 等. 利用偶极横波成像测井资料评价地层的各向异性 [J]. 江汉石油学院学报, 1999(4): 36−38.
Li W Y, Li Y S, Wang Z H, et al. Evaluating the reservoir anisotropy by utilizing DSI log data[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1999(4): 36−38.

[13] 苏远大, 乔文孝, 孙建孟, 等. 正交偶极声波测井资料在评价地层各向异性中的应用 [J]. 石油物探, 2005, 44(4): 409−412.
Su Y D, Qiao W X, Sun J M, et al. Evaluating formation shear-wave anisotropy by using cross-dipole acoustic logging data[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(4): 409−412.

[14] 殷八斤. AVO 技术的理论与实践 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
Yin B J. Thoery and practice of AVO technology[M]. Beijing:

Petroleum Industry Press, 1995.

[15] Aki K, Richards P G. Quantitative seismology: Theory and methods[M]. San Francisco: W. H Freeman and Company, 1980.

[16] Shuey R T. A simplification of the Zeoppritz equations[J]. Geophysics, 1985, 50(4): 609−614.

[17] Russell B H, Hedlin K, Hilterman F J, et al. Fluid-property discrimination with AVO: A Biot-Gassmann perspetive[J]. Geophysics, 2003, 68(1): 29−39.

[18] Rűger A. P-wave reflection coefficients for transversely isotropic models with vertical and horizontal axis of symmetry[J]. Geophysics, 1997, 62(3): 713−722.

[19] Rűger A. Reflection coefficients and azimuthal AVO analysis in an isotropic media[M]. Society of Exploration Geophysicists, 2002.

[20] 杨勤林, 李洋, 曹少蕾, 等. 松辽盆地苏家屯区块致密砂岩岩石物理分析和含气性预测 [J]. 天然气地球科学, 2020, 31(4): 578−586.
Yang Q L, Li Y, Cao S L, et al. Rock physics analysis and gas-bearing prediction of tight clastic reservoir in Sujiatun block, Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(4): 578−586.

[21] 李瑞磊, 杨勤林, 田建华, 等. 松辽盆地龙凤山气田致密砂岩含气性预测研究 [J]. 石油物探, 2017, 56(6): 874−881.
Li R L, Yang Q L, Tian J H, et al. Tight sandstone gas prediction in the Longfeng Mountain gas field of Songliao Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2017, 56(6): 874−881.

[22] 韩璇颖, 杨勤林, 刘钊, 等. 鄂南含煤地层岩石物理建模下的叠前多维相控薄砂岩预测 [J]. CT 理论与应用研究, 2025, 34(6): 1057−1067.
Han X Y, Yang Q L, Liu Z, et al. Pre-stack multidimensional facies-controlled thin sandstone prediction under rock physics modeling of coal-bearing strata in the Southern Ordos Basin[J]. CT Theory and Applications, 2025, 34(6): 1057−1067.

[23] 彭涛, 张翔. 支持向量机及其在石油勘探开发中的应用综述 [J]. 勘探地球物理进展, 2007(2): 91−95.
Peng T, Zhang X. Review of support vector machine and its applications in petroleum exploration and development[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2007(2): 91−95.

[24] 汪海燕, 黎建辉, 杨风雷. 支持向量机理论及算法研究综述 [J]. 计算机应用研究, 2014, 31(5): 1281−1286.
Wang H Y, Li J H, Yang F L. Overview of support vector machine analysis and algorithm[J]. Application Research of Computers, 2014, 31(5): 1281−1286.

[25] 张向君, 张晔. 基于支持向量机的交互检验储层预测 [J]. 石油物探, 2018, 57(4): 597−600.
Zhang X J, Zhang Y. Reservoir prediction through cross-validation based on support vector machine[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2018, 57(4): 597−600.

[26] 梁皓, 孙丽, 陈姝荞, 等. 基于支持向量机算法的地震事件分类研究——以东北地区为例 [J]. 地球物理学报, 2023, 66(12): 5030−5040.
Liang H, Sun L, Chen S Q, et al. Research on seismic event classification based on SVM algorithm: An application in Northeast China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2023, 66(12): 5030−5040.

## Research and application of a prediction method for thin channel sandstone reservoirs based on anisotropic inversion

YANG Qin-Lin

(*Geophysical Research Institute Co., Ltd., SINOPEC, Nanjing* 211003, *China*)

**Abstract:** Channel sandstones exhibit distinct azimuthal anisotropy, enabling anisotropic inversion to more accurately characterize and predict channel sand bodies. However, direct inversion frequently yields unstable results due to an excessive number of parameters to be inverted. In this study, the anisotropic characteristics of channel sand bodies were first determined based on logging data. Comparison of various amplitude variation with offset (AVO) approximate equations demonstrates that the three-term Rűger equation outperformed others. To address the instability of anisotropic inversion, this study proposed a two-step inversion strategy based on wide-azimuth, high-density seismic data. Specifically, the gradient terms of various azimuth sectors were first derived through sector-specific inversion. The relative values of elastic parameters were then calculated using robust linear inversion algorithms. Finally, the absolute values of elastic parameters were determined through machine learning-based high-resolution fusion. The distribution of thin channel sandstone reservoirs predicted by combining petrophysical analysis agreed well with log data and geological understanding. The results of this study can serve as a guide for the prediction and anisotropic inversion of thin channel sandstone reservoirs in similar areas.

**Key words:** channel sandstone; azimuthal anisotropy; anisotropic inversion; wide-azimuth and high-density data; high-resolution fusion inversion

（本文编辑：叶佩）