

doi: 10.11720/wtyht.2022.2581

张德明, 刘志刚, 臧殿光, 等. 基于叠前同时反演的致密砂岩储层预测及含气性识别——以苏里格 S 区块为例[J]. 物探与化探, 2022, 46(3): 645-652. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.2581>

Zhang D M, Liu Z G, Zang D G, et al. Prediction and identification of gas-bearing properties of tight sandstone reservoirs through simultaneous pre-stack inversion: A case study of block S in Sulige gas field[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(3): 645-652. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.2581>

基于叠前同时反演的致密砂岩储层预测及含气性识别 ——以苏里格 S 区块为例

张德明, 刘志刚, 臧殿光, 廖显锋, 刘志毅, 刘国宝

(东方地球物理有限责任公司 西南物探研究院, 四川 成都 610036)

摘要: 苏里格 S 区块储层与围岩阻抗差异小、气水关系复杂, 叠后纵波阻抗反演方法难以区分优质储层, 通过研究区岩石物理分析可知, 叠前参数纵横波比可以有效区分岩性和含气性。本文首先进行模型正演确定储层地震响应特征; 然后通过适用于砂泥岩的 Xu-White 模型进行岩石物理建模及横波预测, 建立岩石物理模板; 其次采取线性去噪、剩余振幅补偿等处理方法对 CRP 道集进行优化; 最后通过叠前同时反演定量预测储层厚度及含气性。结果表明: ①储层顶界的地震反射特征为强波谷反射, 底界反射不明显; ②纵横波比小于 1.68 可有效划分砂岩, 联合纵波阻抗小于 $12\ 200\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 预测储层, 再由更低的纵横波比小于 1.57 识别含气性; ③储层展布特征与含气性预测范围趋势相似, 但在局部上存在差异, 储层发育程度与其含气性不一定呈正相关。本文所提方法期望为下一步圈定有利含气储层面积及井位部署提供有力的技术支撑。

关键词: 模型正演; 横波预测; 岩石物理建模; 道集优化; 叠前同时反演

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2022)03-0645-08

0 引言

鄂尔多斯盆地苏里格地区是典型的非均质性极强的低渗、低透致密砂岩气藏, 该区发育缓坡型三角洲沉积体系^[1], 主力储层是上古生界二叠系石盒子组盒 8 段和山 1 段。2020 年 5 月, 工区北部的评价井 W1 井在盒 8 下亚段测试无阻流量 $242.2 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$, 测试稳定井口压力 22.6 MPa, 是目前苏里格上古生界获得的首口超过 $200 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ 无阻流量的高产井, 创苏里格气田上古生界直斜井测试产量新纪录, 显示了该区良好的勘探开发效果, 打破了苏里格地区低产气普遍含水的固有看法, 因此有必要对该地区储层及气水分布作进一步研究。W1 井钻井资料揭示, 盒 8 纵向上为 80~100 m 的砂、泥岩不等厚互层。储层主要为浅灰色细砂和灰白色中砂岩与棕褐色; 储集空间以次生溶蚀孔隙为主, 孔隙度 8%~20%, 渗透率 30~210 mD, 属于中低孔、中低渗

储层; 盒 8 段同时还发育了灰色泥岩、泥质粉砂岩等细粒沉积物, 属于非储层。

通过苏里格气田岩石物理分析可知, 砂岩含气后其纵波阻抗降低, 且与泥岩叠置, 使得二者无法有效区分^[2]。以往研究区储层预测以传统地震方法和叠后纵波阻抗反演为主, 导致砂岩优质储层以及气水分布预测的失误, 制约了该区岩性油气藏的进一步发现。而横波阻抗主要反映岩石骨架信息^[3-5], 且不随岩石中流体变化而变化, 纵横波速度比进一步消除了密度的影响, 因此, 通过纵横波速度比和纵波阻抗等多种弹性属性交会可以有效提高复杂岩性预测和含油气性预测的准确度。要获取研究区横波阻抗信息, 需依赖于叠前参数反演, 而叠前参数反演需要完钻井的横波资料作为趋势约束以及包含了振幅随偏移距或入射角变化信息的叠前 CRP 道集数据作为数据输入。由于研究区实测横波资料匮乏, 不能为叠前反演提供精细的低频模型约束; 另外研究区道集存在近道能量弱, 远道能量强, 局部地

收稿日期: 2020-12-24; 修回日期: 2022-01-14

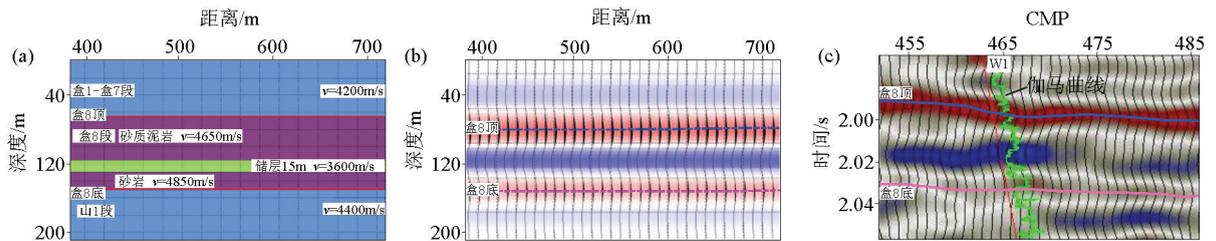
基金项目: 中国石油集团川庆钻探工程有限公司苏里格项目经理部项目“S 区块三维地震资料处理解释”(CQZT-SLG-2019-YTGC-021)

第一作者: 张德明(1991-), 男, 工程师, 硕士, 现主要从事地震解释与储层预测工作。Email: deming_zhang0724@163.com

区信噪比低,道集远端未拉平,道集 AVO^[6-9] 特征不正确等现象,如不经过针对性的优化处理,将很难得出符合实际的地质认识。因此,寻找适合于研究区砂泥岩地层横波预测模型以及合理的叠前道集优化处理是迫切需要解决的问题。本文拟通过模型正演、道集优化、横波预测及岩石物理分析等关键技术,详细研究叠前同时反演技术在该区储层预测和含气性检测中的作用,期望为下一步圈定有利含气储层面积及井位部署提供有力的技术支持。

1 模型正演

模型正演对地震资料品质分析和地质解释具有



a—储层正演地质模型;b—储层正演结果;c—过 W1 井地震剖面

a—reservoir forward modeling geological model;b—reservoir forward modeling result;c—seismic profile of well W1

图 1 储层正演模型

Fig.1 Reservoir forward modeling

2 叠前同时反演关键环节

叠前同时反演保持了多种弹性参数反演的一致性,增强了反演结果的稳定性和可靠性,能够实现地下地质体的最佳预测,其基本流程见图 2。①运用 Xu-white 模型对泥岩骨架和砂岩骨架混合,运用 Biot-gassmann 方程对矿物及流体混合,再考虑到孔隙长宽比获得横波预测模型,将此模型运用到其他缺失横波资料的井进行横波预测;②通过储层参数及储层测井响应特征进行岩石物理交汇建立岩石物理模板;③针对原始道集,采用滤波去噪、线性去噪、剩余振幅补偿、奇异值去噪等手段进行道集优化,经过实钻井 AVO 道集正演验证优化处理流程,然后将优化后的道集通过叠加得到近、中、远炮检距叠加数据体,利用地质模型正演确定储层地震响应特征;④通过井震标定,分别提取近、中、远炮检距叠加数据体的综合子波,利用层位约束把测井资料沿层进行插值,建立合理的低频模型;⑤运用 Knott-Zoeppritz 方程进行叠前同时反演,获得纵波阻抗及纵横波比

指导作用^[10],为研究河道储层地震响应特征提供了一种有效的方法。针对研究区储层非均质性强、接触界面反射特征不明显及局部位置地震响应特征多解性强等问题,在详细分析三维地震资料的基础上,结合该区钻井、测井及前期地质认识等资料,本文建立了低阻砂的正演模型,以此识别储层的地震识别模式,降低储层预测的风险。图 1 为工区内典型低阻砂储层正演模型,W1 井盒 8 下亚段发育一套累厚 15 m 优质低速储层,其最大孔隙度可达 20% 以上;储层顶界面与其顶部发育的一套相对高阻厚层砂质泥岩形成强波谷地震反射响应特征,储层底界面由于受到山 1 段发育的一套低阻砂储层的影响,综合反射特征不明显。

等弹性参数,选取样点统计法依次提取储层厚度及含气性预测图。本文详细描述了横波预测、岩石物理分析、道集优化等关键环节,由于篇幅有限,对子波提取、低频模型建立及精细标定不再赘述。

2.1 横波预测

由于 S 区块仅有 W1 井具有横波测井资料,且盒 8 段主要是砂泥岩沉积背景,本文选取了 Xu-White^[11-12]模型进行横波预测。首先,针对已知井的泥质含量、孔隙度及含水饱和度曲线做测井综合分析,结合岩心实验资料,通过建立模型的方法求取岩石骨架的体积模量、剪切模量及密度,结果见表 1;然后通过地层温度及压力分别计算出流体置换之后的气和水的体积模量,运用式(1)进行流体混合求取孔隙混合流体的体积模量;最后将岩石骨架和孔隙流体进行混合,辅助以砂泥岩孔隙长宽比 α ,利用 Gassmann^[13-14]方程计算岩石含流体之后的弹性模量,并利用弹性模量与密度和速度的关系求得纵、横波速度。

表 1 中, $K_{p,sand}$ 为砂岩体积模量, $m\mu_{s,sand}$ 为砂岩剪切模量, ρ_{sand} 为砂岩密度, α_{sand} 为砂岩孔隙的长宽

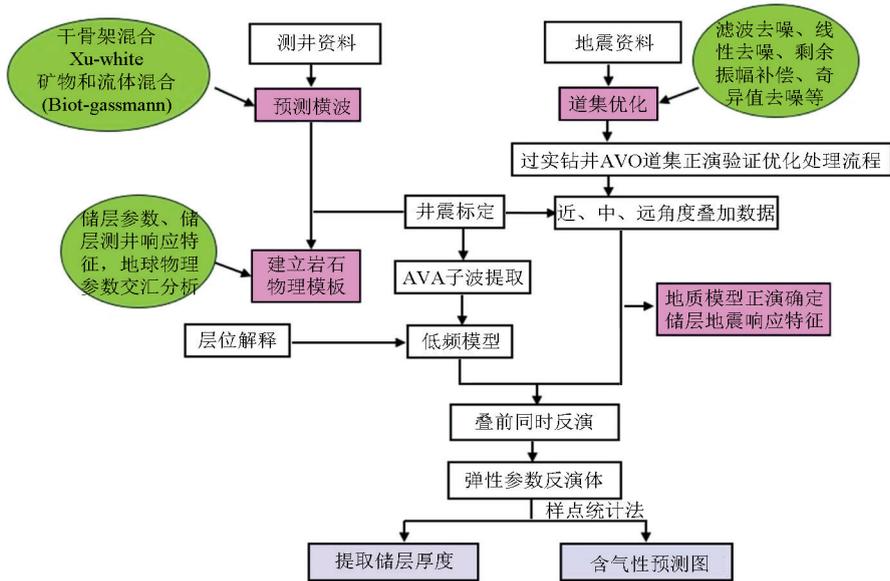


图2 叠前同时反演技术流程

Fig.2 Technical process of simultaneous pre-stack inversion

比; $K_{p,sh}$ 为泥岩体积模量, $m\mu_{s,sh}$ 为泥岩剪切模量, ρ_{sh} 为泥岩密度, α_{sh} 为泥岩孔隙的长宽比。

$$K_{fluid} = (K_{water} - K_{gas})S_{water}^e + K_{gas} \quad (1)$$

式(1)中, K_{fluid} 代表气水混合之后的体积模量, K_{water} 代表水的体积模量, K_{gas} 代表气的体积模量; S_{water}^e 是含水饱和度曲线,其中 e 为Brie^[15]指数,本工区 e 取2为最佳值。

表1 岩石物理建模输入参数

Table 1 Input parameter table of petrophysical modeling

| 参数类别 | 参数数值 |
|--------|--|
| 温度 | 115°C |
| 压力 | 4060 psi |
| 地层水矿化度 | 1.106 g/L |
| 砂岩 | $K_{p,sand} = 3.78e^{10} N \cdot m^{-2}; m\mu_{s,sand} = 4.43e^{10} N \cdot m^{-2};$ $\rho_{sand} = 2.65 g \cdot cm^{-3}; \alpha_{sand} = 0.09$ |
| 泥岩 | $K_{p,sh} = 3.2e^{10} N \cdot m^{-2}; m\mu_{s,sh} = 1.05e^{10} N \cdot m^{-2};$ $\rho_{sh} = 2.6 g \cdot cm^{-3}; \alpha_{sh} = 0.056$ |

图3为W1井实测曲线与通过Xu-White模型预测的曲线对比。由图可见,由通过Xu-White模型建立的纵、横波速度曲线与实测纵、横波曲线吻合度很高,尤其是在低伽马砂岩段两者近乎重合,这也为后文的叠前反演奠定了可靠的资料基础,且进一步说明了Xu-White模型在本区砂泥岩背景下的普适性。

2.2 岩石物理模板的建立

由测井资料可知,石盒子组和山西组储层具有低纵横波比、相对低阻抗、高孔隙度、低伽马的测井响应特征,见图4。本文通过先划分砂岩,再区分储

层,后识别含气性的思路建立了本工区的岩石物理模板。第一步划分岩性,由图5a可见,纵波阻抗难以区分砂岩与泥岩,而纵横波比小于1.68可以有效区分砂泥岩;第二步区分储层,在划分岩性的基础上,由图5b和5c可见,纵波阻抗小于 $12\ 200 g \cdot cm^{-3} \cdot m \cdot s^{-1}$ 可区分储层(孔隙度 $>5\%$)和致密砂岩,且对于储层而言,纵波阻抗与孔隙度存在良好的线性关系,相关系数达到0.94;第三步识别含气性,剔除非储层之后,由图5d、5e和5f可见,气层与水层、气水同层的杨氏模量值存在严重的重叠区间,泊松比的区分程度逊于纵横波比,纵横波比小于1.57可以较好地圈定气层。弹性参数阈值值的确定对后文的叠前同时反演至关重要。

2.3 道集优化

叠前同时反演是基于叠前角道集及分角度叠加数据体完成的,因此叠前角道集的预处理及其质量改善是影响反演结果的重要环节^[16-17]。针对道集资料现状,本次研究对于道集的优化处理,采取了滤波去噪、线性去噪、剩余振幅补偿、奇异值去噪等优化处理方法,主要目的是提高广角信息的稳定性和保真度,同时提高资料的信噪比,为后续储层预测和气水识别提供稳定的横波信息。道集优化处理的关键在于质控,即保证处理结果的准确性和合理性,因此以实测W1井进行AVO道集正演作为质量控制标准。图6为优化前后角道集剖面及正演道集剖面,可以看到经过叠前预处理,近道能量弱的现象改善明显,角道集的信噪比明显提高,道集远端不平现

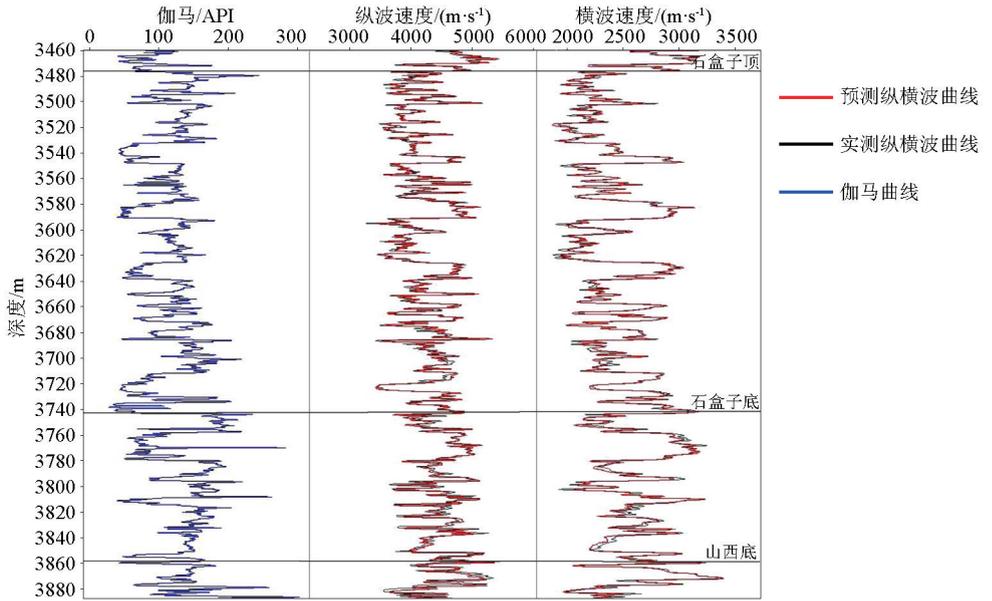


图 3 W1 井预测曲线与实测曲线对比

Fig.3 Comparison of predicted curve and measured curve of Well W1

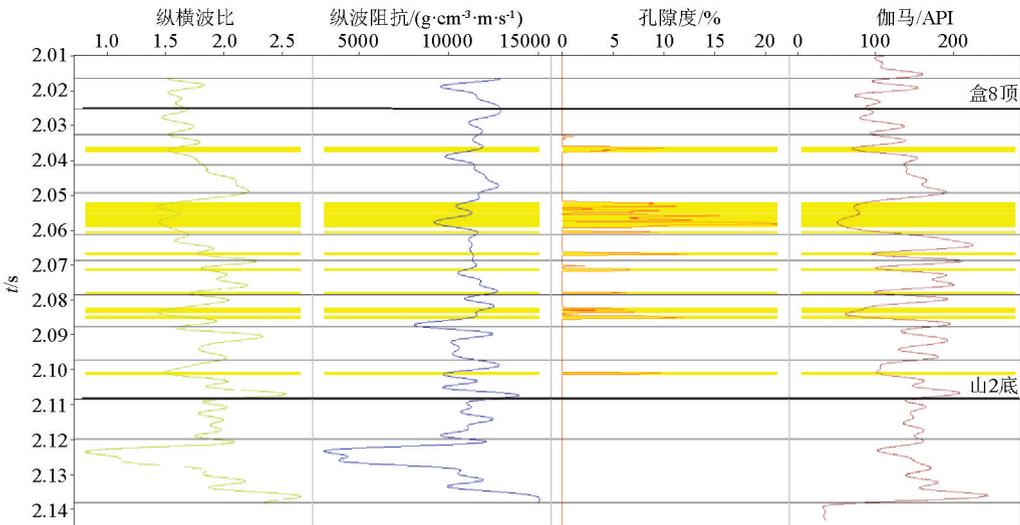


图 4 W2 井岩石物理测井响应特征

Fig.4 Petrophysical logging response characteristics of Well W2

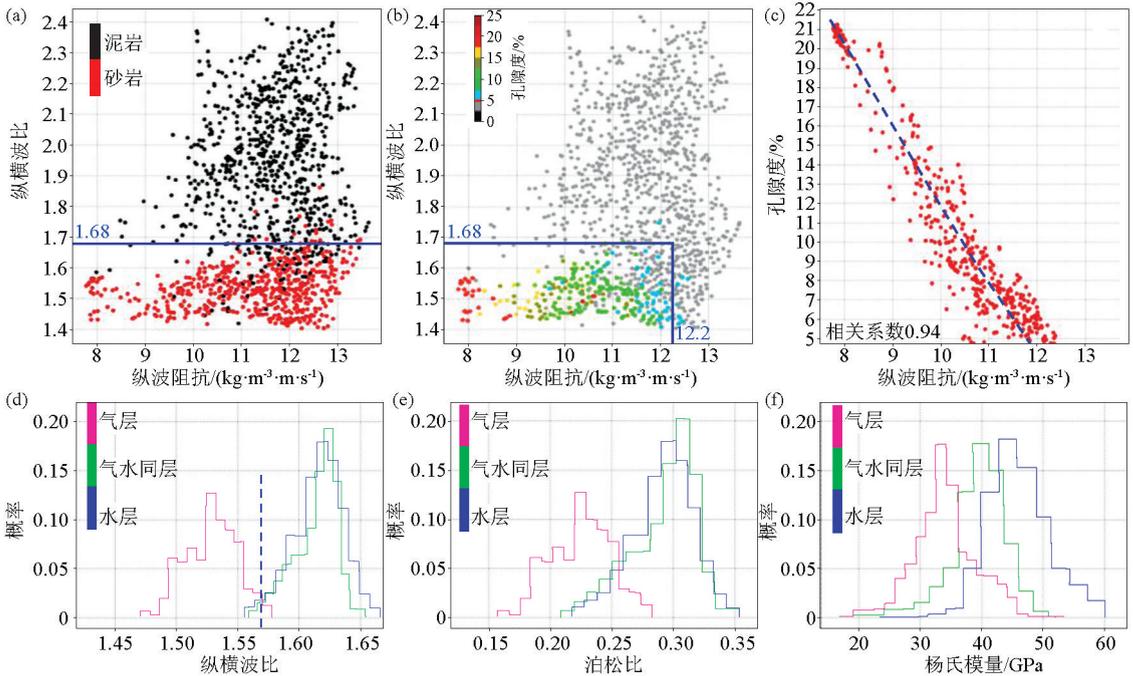
象得到有效改善,道集 AVO 特征明显。在盒 8 段 3718~3726 m 处经试气,发育 8 m 气层,红线顶部代表中阻抗泥岩与 8 m 厚气层的分界面,通过提取含气砂岩顶部提取振幅能量属性,其界面振幅能量绝对值随入射角增大而增大,且变化梯度较大,该岩性组合表现为三类 AVO 特征。优化之后的道集比优化之前更接近井旁正演道集,由此佐证了处理结果的可靠性。

3 预测效果

3.1 叠前同时反演效果

前文横波预测合理,且研究区的叠前地震数据

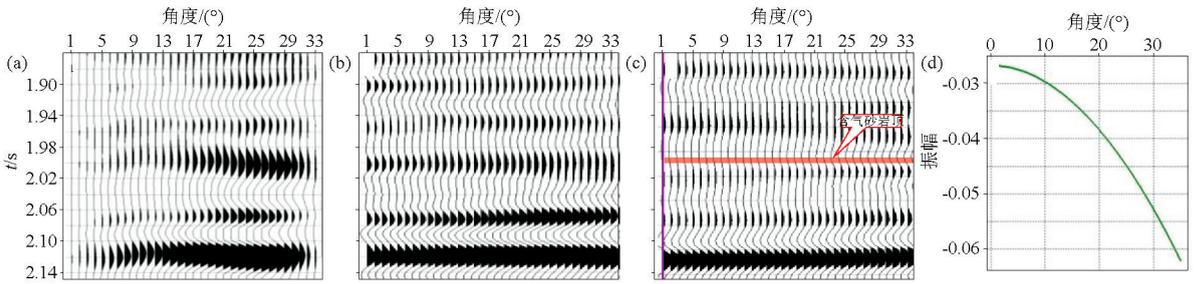
经过优化处理之后,信噪比提高、目的层 AVO 特征保持较好,测井资料和地震资料品质均符合叠前同时反演的要求,最后便是围绕 Knott-Zoeppritz 方程求解为核心的内部流程工作,获得纵波阻抗体及纵横波比等弹性参数。图 7a 是过 W1 井叠前时间偏移地震剖面,钻遇砂体表现为顶部强波谷,底界弱波峰的地震响应特征;图 7b 是过 W1 井纵横波比剖面,钻遇低伽马砂体对应低纵横比;图 7c 是过 W1 井纵波阻抗剖面,钻遇高渗储层对应低纵波阻抗;图 7d 是过 W1 井叠前含气性剖面,钻遇含气储层对应更低的纵横波比,试气获得无阻流量 $242.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 高产气流。通过剖面对比,纵横波比剖面联合纵波阻抗剖面准确地预测了该套含气储层,表明叠前



a—纵波阻抗与纵横波比交汇区分岩性;b—纵波阻抗与纵横波比交汇区分储层;c—纵波阻抗与孔隙度交汇图;d—纵横波比分布概率直方图;e—泊松比分布概率直方图;f—杨氏模量分布概率直方图
 a—intersection graphs of P-impedance and v_p/v_s to distinguish lithology;b—intersection graphs of P-impedance and v_p/v_s to distinguish reservoir;c—intersection graphs of P-impedance and Porosity;d—histogram of v_p/v_s distribution probability;e—histogram of Poisson's ratio distribution probability;f—histogram of Young's Modulus distribution probability

图 5 盒 8 段各弹性参数交会图及直方图(样本点来自 W1、W2、W3 井)

Fig.5 Intersection graphs and histograms of various elastic parameters in H8 section



a—原始道集;b—优化后道集;c—正演道集;d—含气砂岩顶 AVO 特征
 a—original gather;b—optimized gather;c—forward gather;d—AVO characteristics of gas-bearing sandstone top

图 6 道集优化处理

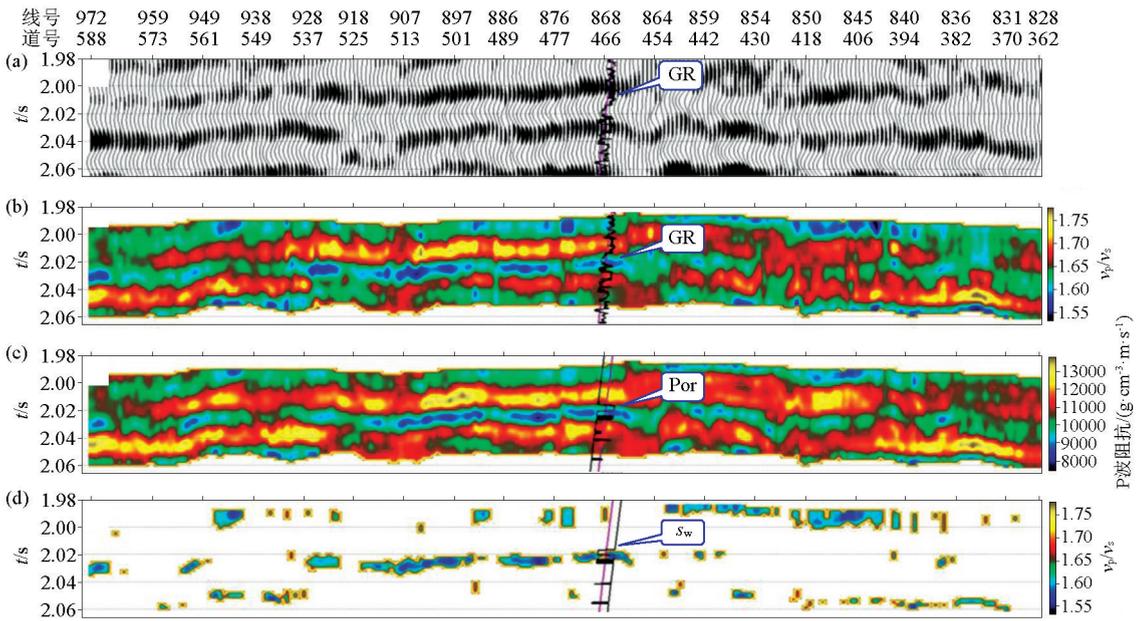
Fig.6 Gather optimization processing

同时反演适用于苏里格 S 地区的储层预测及含气性识别。

3.2 储层分布及含气性预测

在单井优质储层预测的基础上,在全区开展叠前同时反演,定量预测储层展布及含气范围。图 8a 为纵横波比联合纵波阻抗以砂体顶底为时窗提取的盒 8 下亚段储层厚度图,储层呈 NE—SW 向条带状展布,储层厚度达 12 m,集中分布在 5~10 m 之间,储层展布规律与砂体走向相似,只有微小差异,分布趋势与砂体分布规律保持一致。通过与钻井结果对

比;W1 井和 W3 井在盒 8 下亚段均钻遇了厚度大于 10 m 的优质储层,然而 W4 井和 W5 井钻遇的主要岩性为泥质砂岩和薄砂岩夹厚泥岩,并未钻遇优质储层,预测结果显示这两口井也位于薄层区,预测储层厚度与实钻厚度吻合程度高,说明叠前同时反演结果真实、可靠。在储层预测的基础上,再利用相对更低的纵横波比预测含气性分布范围,结果见图 8b,与储层展布相比,含气性预测范围与储层展布特征大致相同,但在局部上与之存在差异。W3 井经测试,试气结论为微气,叠前含气性预测也显示 W3



a—叠前时间偏移地震剖面; b— v_p/v_s 剖面; c—纵波阻抗剖面; d—含气性剖面
 a—PSTM seismic profile; b— v_p/v_s profile; c—P-impedance profile; d—gas-bearing profile

图 7 过 W1 井地震偏移剖面及反演剖面

Fig.7 Seismic migration profile and inversion profile of Well W1

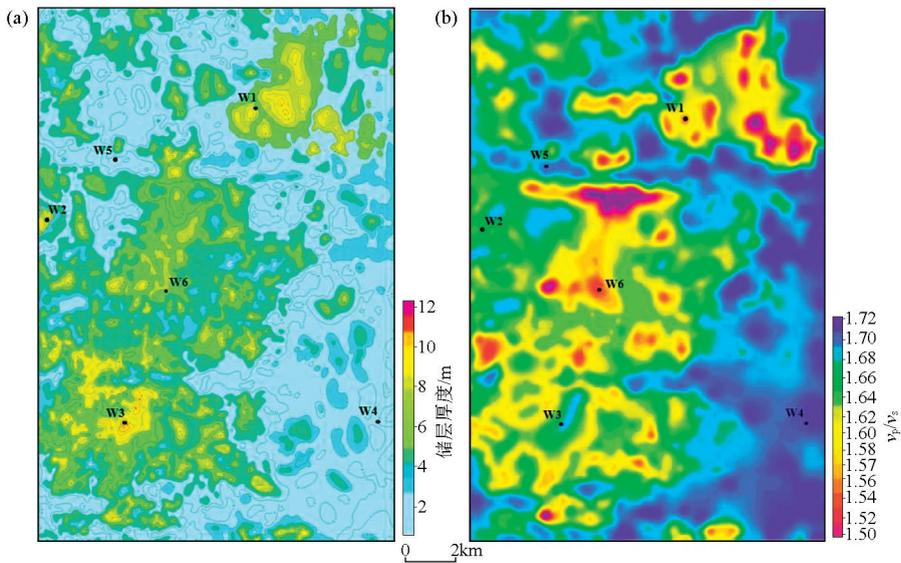


图 8 盒 8 下亚段储层厚度 (a) 及含气性预测 (b)

Fig.8 Reservoir thickness map (a) and gas-bearing prediction map (b) of the lower sub-segment of H8

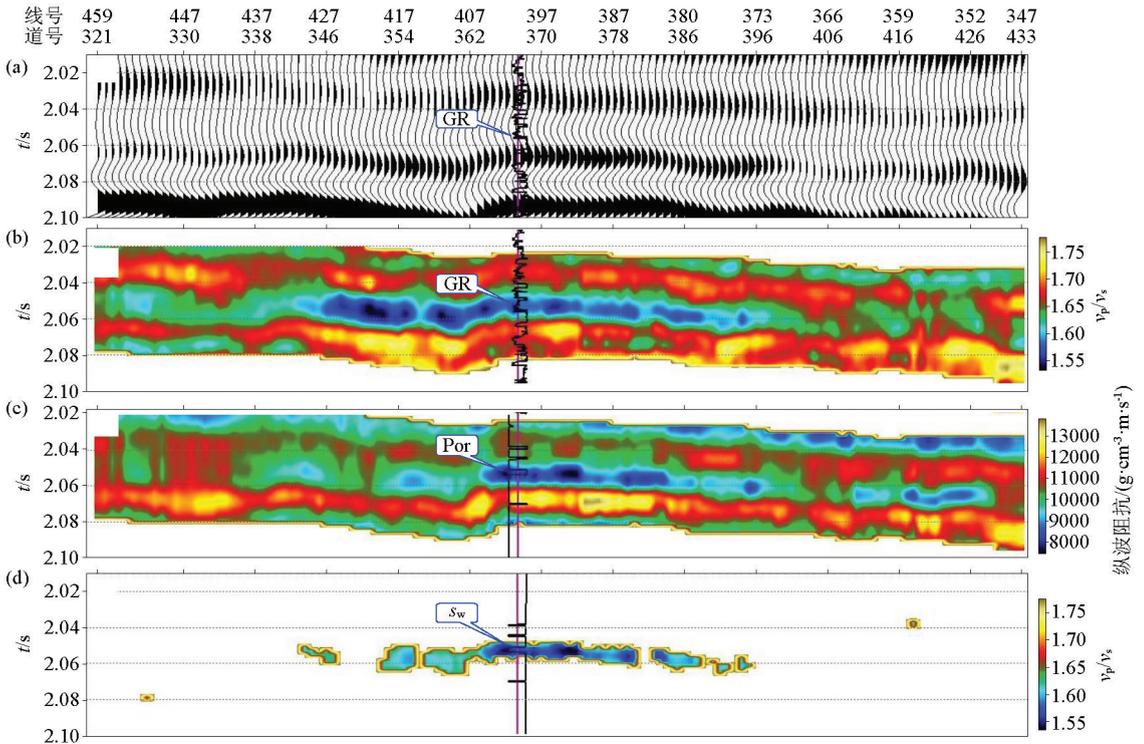
井点处及附近含气性一般,但是此处储层发育较厚,由此可以看出,储层发育程度与其含气性不一定呈正相关。根据前文叠前同时反演结果部署 W6 井,在盒 8 段测井解释储层厚度为 7 m,在 3 686~3 690 m 经试气,无阻流量为 $4.08 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,储层预测厚度及叠前含气性预测与实钻井结果吻合,过 W6 井地震剖面及反演结果见图 9,不难发现,纵横波比剖面联合纵波阻抗剖面准确地预测了该套含气储层。

利用文中方法预测的盒 8 下亚段储层厚度及含

气性分布范围与实钻数据吻合较好,且分布规律符合地质认识,为有利目标区的优选、井位部署以及储量评估提供了依据,降低了油气勘探、开发风险。

4 结论

1) 通过模型正演,表明低阻砂高渗储层的地震反射特征为砂体顶部强反射,砂体底界面弱反射的地震综合响应特征。



a—叠前时间偏移地震剖面;b— v_p/v_s 剖面;c—纵波阻抗剖面;d—含气性剖面
a—PSTM seismic profile; b— v_p/v_s profile; c—P-impedance profile; d—gas-bearing profile

图 9 过 W6 井地震偏移剖面及反演剖面

Fig.9 Seismic migration profile and inversion profile of Well W6

2) 本文首次对研究区利用叠前资料进行了叠前同时反演,首先采用 Xu-White 模型进行横波预测,其次依据先划分砂岩,再区分储层,后识别含气性的思路建立本工区的岩石物理模板,最后针对叠前 CRP 道集资料存在的道集不平、近道能量弱等问题进行优化处理,最终的预测效果优于邻区 S59 区块,原因在于 S59 区块选用多元线性回归的方法进行了横波预测,且对叠前道集没有经过针对性的处理及道集正演质控,虽然邻区也取得了一些地质认识,但还没有达到有效识别含气富集区的效果。

3) 依据预测结果:S 地区盒 8 下亚段储层呈 NE—SW 向条带状分布,储层最厚处达 12 m,集中分布在 5~10 m 之间,含气性预测范围与储层展布特征相似,但在局部上存在差异,说明储层发育程度与其含气性不一定存在正相关关系。经过与实钻井及后验井数据对比,对井符合率较高,证明了叠前同时反演在本区储层预测及含气性识别中的有效性,可为下一步有利目标区优选及井位部署提供依据。

参考文献 (References):

[1] 何自新,付金华,席胜利,等.苏里格大气田成藏地质特征[J].石油学报,2003,24(2):6-12.
He Z X, Fu J H, Xi S L, et al. Geological features of reservoir forma-

tion of Sulige gas field[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(2): 6-12.

- [2] 李凌高,甘利灯,杜文辉,等.叠前地震反演在苏里格气田储层识别和含气性检测中的应用[J].天然气地球科学,2008,19(2):261-265.
Li L G, Gan L D, Du W H, et al. Pre-stack seismic inversion applied to reservoir prediction and natural gas detection in SLG gas field[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(2): 261-265.
- [3] 高棒棒,苏海,段淑远,等.苏里格南部地区地震储层预测技术研究——以盒 8 段为例[J].地球物理学进展,2020,35(4):1364-1369.
Gao B B, Su H, Duan S Y, et al. Study of seismic reservoir prediction technology in the southern area of Sulige: A case of 8th member of Shihezi formation[J]. Progress in Geophysics, 2020, 35(4): 1364-1369.
- [4] 郝亚炬,高君.基追踪弹性阻抗反演识别含气砂岩[J].物探与化探,2020,44(6):1329-1335.
Hao Y J, Gao J. Gas sand prediction using basis pursuit elastic impedance inversion[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(6): 1329-1335.
- [5] 杨森,吴国忱,张明振,等.基于稀疏表示的增维叠前地震反演方法[J].石油地球物理勘探,2020,55(2):398-410.
Yang S, Wu G C, Zhang M Z, et al. Multi-dimensional pre-stack seismic inversion based on sparse representation[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2020, 55(2): 398-410.
- [6] 李建华,刘百红,张延庆,等.叠前 AVO 反演在储层含气性预测中的应用[J].石油地球物理勘探,2016,51(6):1180-1186.

- Li J H, Liu B H, Zhang Y Q, et al. Oil-bearing reservoir prediction with prestack AVO inversion [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2016, 51(6): 1180 – 1186.
- [7] 高云, 朱应科, 赵华, 等. 叠前同时反演技术在砂砾岩体有效储层预测中的应用[J]. *石油物探*, 2013, 52(2): 223 – 228.
- Gao Y, Zhu Y K, Zhao H, et al. Application of simultaneous prestack inversion technology in effective reservoir prediction of glauconitic bodies [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2013, 52(2): 223 – 228.
- [8] 刘浩杰, 陈雨茂, 王延光, 等. 粘弹介质叠前四参数同步反演及应用[J]. *物探与化探*, 2021, 45(1): 140 – 148.
- Liu H J, Chen Y M, Wang Y G, et al. Prestack four-parameter synchronous inversion method based on viscoelastic medium theory and its applications [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2021, 45(1): 140 – 148.
- [9] 沙志彬, 万晓明, 赵忠泉, 等. 叠前同时反演技术在珠江口盆地西部海域天然气水合物储层预测中的应用[J]. *物探与化探*, 2019, 43(3): 476 – 485.
- Sha Z B, Wan X M, Zhao Z Q, et al. The application of pre-stack simultaneous inversion to gas hydrates reservoir prediction in the western Pearl River Mouth basin [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2019, 43(3): 476 – 485.
- [10] 黄芸, 梅玲, 关键, 等. 模型正演技术在准噶尔盆地东部地震解释中的应用[J]. *新疆石油地质*, 2012, 33(5): 554 – 556, 604.
- Huang Y, Mei L, Guan J, et al. Application forward modeling technique to seismic interpretation in Eastern Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2012, 33(5): 554 – 556, 604.
- [11] Keys R G, Xu S Y. An approximation for the Xu-White velocity model [J]. *Geophysics*, 2002, 67(5): 1406 – 1414.
- [12] Xu S Y, White R E. A physical model for shearwave velocity prediction [J]. *Geophysical Prospecting*, 1996, 44(4): 687 – 717.
- [13] Gassmann F. Über die Elastizität poröser Medien [J]. *Veierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 1951, 96(1): 1 – 23.
- [14] Biot M A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid, I - Low frequency range and II - Higher-frequency range [J]. *Journal of the Acoustical of America*, 2005, 28(2): 179 – 191.
- [15] Brie A, Pampuri F, Meazza A F, et al. Shear sonic interpretation in gas-bearing sands [C] // Dallas: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1995: 701 – 710.
- [16] 井元帅. 致密砂岩含气储层预测方法优化及应用——以苏53区块为例[J]. *天然气勘探与开发*, 2019, 42(3): 78 – 85.
- Jing Y S. Methods to predict tight sandstone their application to gas-bearing reservoirs and Su 53 block [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2019, 42(3): 78 – 85.
- [17] 包培楠, 王维红, 李文龙, 等. CRP 道集优化处理及其在大庆油田 S 区的应用[J]. *物探与化探*, 2019, 43(5): 1030 – 1037.
- Bao P N, Wang W H, Li W L, et al. CRP gather optimization processing and its application in S area of Daqing Oilfield [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2019, 43(5): 1030 – 1037.

Prediction and identification of gas-bearing properties of tight sandstone reservoirs through simultaneous pre-stack inversion: A case study of block S in Sulige gas field

ZHANG De-Ming, LIU Zhi-Gang, ZANG Dian-Guang, LIAO Xian-Feng, LIU Zhi-Yi, LIU Guo-Bao

(Southwest Institute of Geophysical Exploration, BGP Inc., China National Petroleum Corporation, Chengdu 610036, China)

Abstract: Owing to the small impedance difference with surrounding rock and complex gas-water relationships, it is difficult to identify high-quality reservoirs in block S in the Sulige gas field through the post-stack P-wave impedance inversion. According to the petrophysical analysis of the study area, the pre-stack parameter v_p/v_s ratio can be used to effectively identify lithology and gas-bearing properties. This study firstly determined the seismic response characteristics of the reservoirs through forward modeling. Secondly, it conducted petrophysical modeling and the prediction of shear-wave velocities using the Xu-White model suitable for sandstone and mudstone and accordingly established a petrophysical model. Thirdly, the CRP gathers were optimized using the processing methods such as linear de-noising and residual amplitude compensation. Finally, the thickness and gas-bearing properties of the reservoirs in block S in the Sulige gas field were quantitatively predicted through simultaneous pre-stack inversion. The results are as follows. (1) The top boundary of the reservoirs in the study area shows the seismic reflection characterized by strong trough reflection, while the bottom boundary of the reservoirs shows unapparent seismic reflection; (2) The v_p/v_s ratio of less than 1.68 can be used to effectively determine sandstone. This combined with the P-wave impedance of less than $12200 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ can be used to predict the reservoirs in the study area. Moreover, a v_p/v_s of less than 1.57 can be used to identify the gas-bearing properties; (3) Reservoir distribution and the predicted gas-bearing range have similar trends but differ locally. The development degree of reservoirs is not necessarily positively correlated with the gas content. The method proposed in this paper is expected to provide strong technical support for delineating the favorable gas-bearing reservoir area and deploying well locations in the future.

Key words: model forward modeling; prediction of shear-wave velocities; petrophysical modeling; gather optimization; simultaneous pre-stack inversion