

· 综合研究 ·

综合应用地震属性与地震反演进行储层描述

张国栋* 刘萱 田丽花 吴鑫 王冬娜

(冀东油田勘探开发研究院,河北唐山 063004)

张国栋,刘萱,田丽花,吴鑫,王冬娜. 综合应用地震属性与地震反演进行储层描述. 石油地球物理勘探,2010,45(增刊1):137~144

摘要 针对研究区构造复杂、储层横向变化大、物性非均质性强等特点,在井震结合、精细构造解释的基础上,首先综合利用地质、钻井、测井等信息,开展叠后地震属性储层预测研究,定性了解储层有利相带分布及砂体展布规律;其次开展叠后、叠前地震反演储层预测研究,半定量或定量刻画储层厚度、储层物性及储层内流体类型;最后结合目的层段的地质特征及油气富集规律,将定性了解和半定量、定量刻画相结合,以对目的层段的储层进行综合评价,对南堡油田2号构造古近系东一段的储层空间展布特征进行了精细、准确的描述,获得了良好的地质效果。

关键词 南堡凹陷 地质特征 储层物性 流体类型 地震属性 地震反演 储层预测

1 概况

南堡凹陷的区域构造位置为渤海湾盆地黄骅拗陷北部,是在华北地台基底上经中、新生代的块断运动而发育起来的一个新生代北断南超、东断西超的箕状断陷。其中南堡油田是南堡凹陷近几年发现的规模较大的整装油田,包括南堡1号、南堡2号、南

堡3号、南堡4号和南堡5号5个正向构造。经钻探证实,南堡油田发育Nm、Ng、Ed₁、Ed₂、Ed₃、Es₁、Es₂₊₃、O共8套含油气层系,在Nm、Ng、Ed及O已获得工业油气流,油藏类型以构造油气藏为主。南堡2号构造位于中央构造带,位于南堡凹陷南侧,是在低潜山基础上发育起来的潜山披覆构造。南堡2号构造可以细分为南构造、北构造和东构造,其中南构造(图1)是南堡油田的主力油气聚集区,是目前

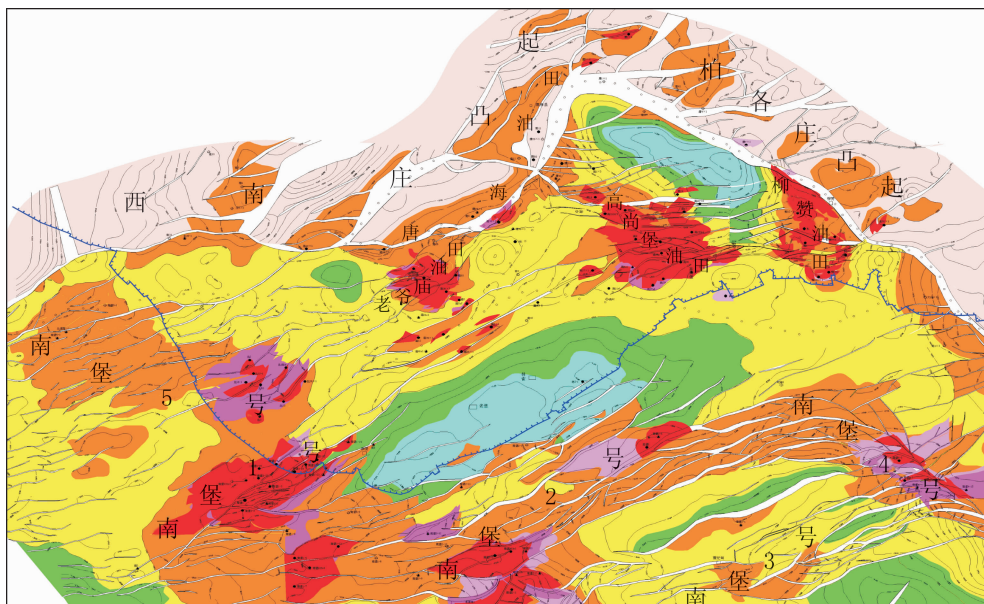


图1 南堡凹陷主要构造带位置图

* 河北省唐山市冀东油田勘探开发研究院,063004

本文于2010年5月13日收到,修改稿于2010年9月2日收到。

油田勘探、开发的重点区块之一。

南堡2号构造的南构造是一个复杂的断块油田,储层变化大、相变快、非均质性严重。该构造是被断层复杂化的背斜构造或断块构造,其中古近系东一段(Ed_1)主要为一套断陷盆地萎缩期的高位域沉积,属于扇三角洲前缘亚相,岩性主要为灰、浅灰色细砂岩和灰、灰白色粉砂岩与灰、灰绿色泥岩呈不等厚互层。根据其次级旋回和油层发育状况,将 Ed_1 分为 Ed_1 I、 Ed_1 II和 Ed_1 III三个油组。 Ed_1 I油组主要为薄层细砂岩与泥岩互层; Ed_1 II油组主要为块状细砂岩,夹薄层泥岩; Ed_1 III油组为薄层细砂岩与泥岩互层。 Ed_1 整体油层厚度大,目前是南堡2号构造的主力含油层段。与浅层相比, Ed_1 储集物性相对较差,油水关系复杂,为弹性和溶解气驱动的中产能小型断块构造层状油藏。为了预测岩性的分布、形态和特征以及储层在纵、横向上的变化规律,在精细构造解释的基础上,有针对性地联合应用地震属性储层预测与地震反演进行储层描述(综合储层预测),以提高储层预测的精度,进一步满足油田勘探、开发的需要。

2 综合储层预测工作思路

在井震结合、精细构造解释的基础上,综合利用地质、钻井、测井等信息,首先开展叠后地震属性储

层预测研究,定性了解储层有利相带分布及砂体展布规律;其次开展叠后、叠前地震反演储层预测研究,半定量或定量刻画储层厚度、储层物性及储层内流体类型;最后结合目的层段的地质特征及油气富集规律,将定性了解和半定量、定量刻画相结合,以对目的层段的储层进行综合评价,进一步满足研究区勘探、开发的需要。

3 综合储层预测技术

3.1 地震属性储层预测技术

由于地震属性储层预测技术的方法快速而且多样,在研究过程中,坚持勘探与开发结合、地震与地质结合、动态与静态结合的原则,可以形成有效的解决勘探、开发中技术难题的地震技术系列,并且在油田勘探、开发实践中取得良好的地质效果。

3.1.1 地震属性分析技术

地震数据体中包含有大量的地质特征信息,从地震数据体中提取属性,反映的是几何学、动力学、运动学、统计学等方面的特征,不同的属性值可能与某些地质参数具有很大的相关性^[1]。地震属性不仅在碳氢检测、储层参数预测和层序地层解释中广泛应用,而且在沉积环境解释中也得到良好的应用。因此开展地震属性分析研究,可以了解宏观沉积环境与沉积特征(图2)。

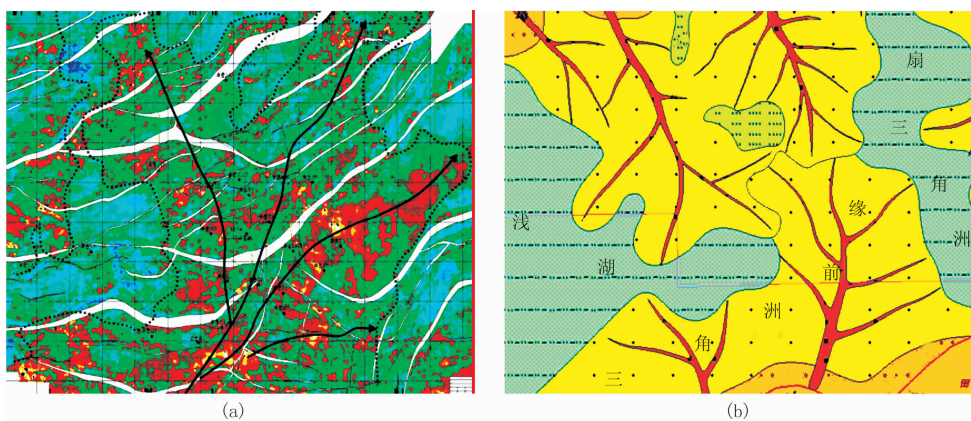


图2 南堡2号构造 Ed_1 频率属性(a)与沉积相图(b)

3.1.2 地震波形分类技术

地震波形的总体变化是地震波振幅、频率、相位的综合反映,是重要的地震属性参数。地震波形分类技术充分利用了地震资料信息丰富的特点,采用

神经网络算法把地震道形状(即波形特征)定量地刻画出来。通过对某一层地震数据逐道进行对比、分类,细致地刻画地震信号的横向变化,从而得到相应的地震相。地震相单元边界反射结构主要反映了沉积过程中所发生的地质事件,如沉积物来源、构造运

动、海平面相对变化等,主要用于地震相解释与体系域划分。在此基础上,结合地震属性分析沉积体系,进一步预测沉积亚相或微相的平面分布特征^[2]。

3.1.3 地震分频处理技术

地震分频处理技术是对单元地质体提取属性,可克服常规属性提取方法紧密依赖解释层位的弊端,并利用薄层谐振体离散频率特性,分析复杂岩层

内的层厚变化。在分频处理时,可以产生对储层最敏感的单一频率的一系列的离散频率能量体,通过频率在空间的变化指示薄层的声学特征及其厚度的横向不连续。将振幅能量的调谐干涉现象和频率的变化综合在一起,可以有效地确定储层时间厚度变化和横向地质体的不连续性,用于描述储层特征的空间变化(图 3)。

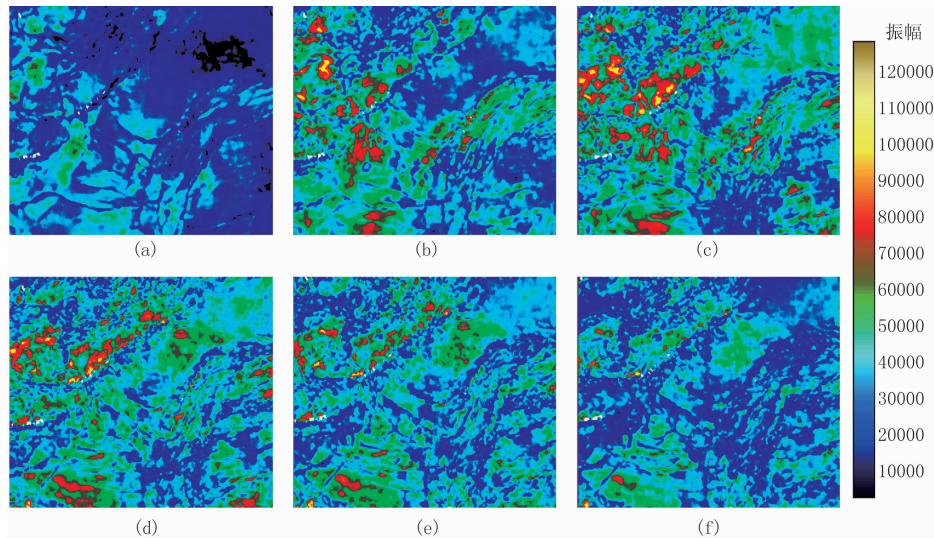


图 3 南堡 2 号构造 Ed_1 分频处理属性图

(a)15Hz; (b)20Hz; (c)25 Hz; (d)30Hz; (e)35Hz; (f)40Hz

3.2 地震反演储层预测技术

地震反演是近十几年来迅速发展和成熟起来的一项地震处理、解释综合技术,它将常规界面型地震剖面转换成岩层型合成声波测井剖面,更便于与钻井、测井等资料连接对比,进一步研究各种储层参数的平面变化规律,是储层预测研究的关键技术。

3.2.1 叠后地震反演技术

测井约束地震反演实质上是地震—测井联合反演,是以测井资料丰富的高频信息和完整的低频成分来补充地震有限带宽的不足,用已知地质信息和测井资料作为约束条件反演得到高分辨率的地层波阻抗资料。针对目标区块构造复杂、储层横向变化大等特征^[3],首先开展叠后测井约束稀疏脉冲波阻抗反演获得岩石声波速度、密度参数。在特定条件下,不同声波速度、密度的组合代表了不同的岩性。在钻井资料的标定下,预测岩性及厚度、分析岩性分布规律。经叠后波阻抗反演,可以满足在一个沉积旋回内提取储层的岩性信息和岩性解释的地质需求(图 4)。

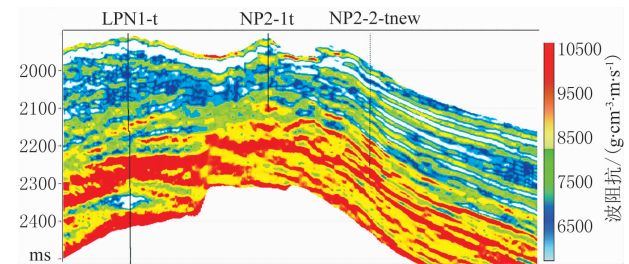


图 4 叠后稀疏脉冲反演剖面

3.2.2 叠前地震反演技术

常规叠后地震反演基于地震波法向入射的假设,反射振幅只与地层的纵波阻抗有关,反演后只能得到纵波阻抗信息,因此解决地质问题的能力受到限制。实际上地震波是以不同的入射角激发和接收,叠后的地震振幅不但与地层的纵波阻抗有关,同时也与地层的泊松比和采集的入射角有关,因此地震波法向入射的假设不但带来误差,同时也掩盖了地震波中所包含的地层泊松比信息,而泊松比信息对于区分岩性与流体非常有意义。叠前地震反演技术充分利用了道集资料中所包含的地层流体和岩性

方面的 AVO 或弹性阻抗差异信息,能够有效地降低叠后储层预测的多解性,有利于综合判别储层的物性和含气性,为复杂储层的地震描述和精细油藏描述提供了必要手段^[4]。

3.2.2.1 AVO 正演模拟

根据测井资料来模拟不同的岩性和储层含油气时的振幅随炮检距(入射角)的变化规律,是验证研究区含油储层是否在近、中、远(小、中、大入射角)炮检距上存在振幅变化(AVO 异常)的有效手段。文中的 AVO 正演模拟有两个目的:其一是检测声波时差和地震资料是否同时具有 AVO 异常,为利用地震资料进行含油气检测提供理论指导;其二是如果含油气储层的地震资料存在 AVO 异常,确定主要研究目的层段振幅随入射角变化的临界角,可以指导在临界角范围内近、中、远炮检距的部分角道集叠加。通过 AVO 正演模拟,确定出 30°临界角范围

内进行小(0°~11°)、中(9°~21°)、大(19°~31°)三个角度范围的部分角度道集叠加,为叠前 AVA 同时反演提供可靠的地震数据(图 5)。

3.2.2.2 AVO 属性分析

在利用测井资料正演的基础上,基于 Shuey 或 Aki 和 Richards 近似方程从实际叠前数据中提取了截距、梯度、纵波反射系数、横波反射系数、流体因子等多个数据体,或由截距和梯度的线性组合构成不同的 AVO 属性。对这些属性体进行综合分析,寻找反映岩性、物性的最佳属性,研究含油气的异常区域,从而预测出物性好、砂体厚的区域(图 6)。

3.2.2.3 叠前 AVA 地震反演

AVO 属性仅反映了岩石界面间岩性和物性的相对差异,不能用于定量分析。由于缺少测井信息,同时没有计算出岩石的实际参数,使 AVO 属性分析技术受到一定的限制。地震反演可反映岩层内的信

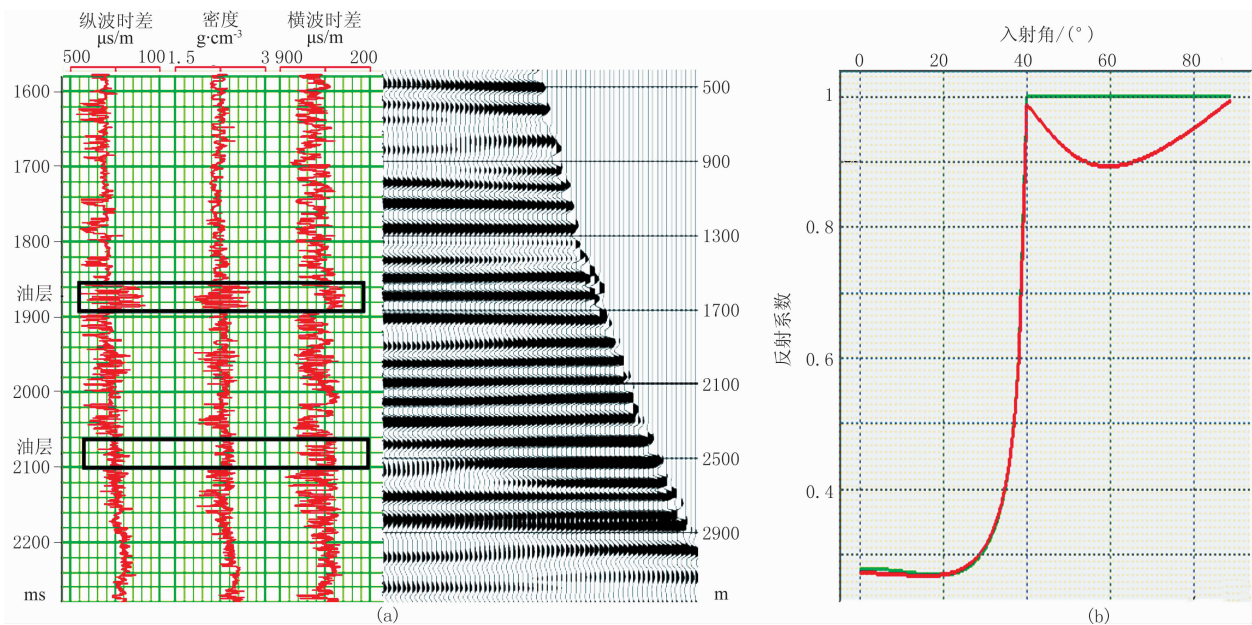


图 5 AVO 正演模拟(a)及临界角分析(b)

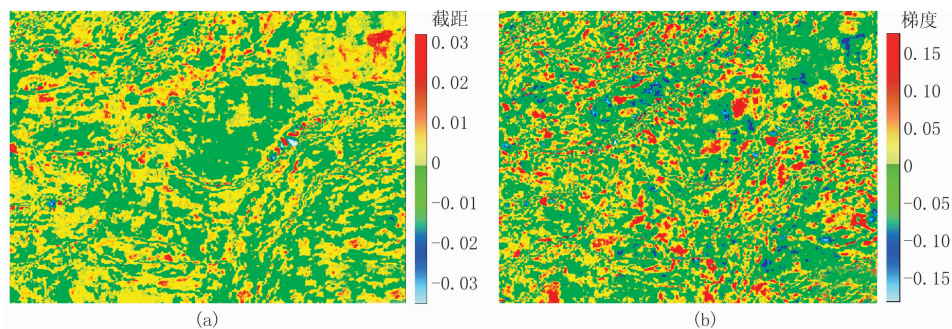


图 6 叠前截距(a)和梯度(b)属性沿层切片

息,因此在叠前地震属性分析的基础上,再进一步开展叠前 AVA 地震纵、横波阻抗同时反演很有必要。

(1) 测井岩石物理模拟

叠前地震反演技术除了要求有高质量的叠前道集外,储层的测井岩石物理特征研究也是必备的基础工作。地震波以旅行时间、反射波振幅及相位等变化带来了地下岩石和流体的信息,地震波的传播速度由岩石的骨架、孔隙、流体以及温度、压力等相关因素共同制约。通过对地震波的这些特征进行分析,可以对储层及流体进行预测。在测井岩石物理模拟的基础上,通过弹性参数的交会分析,确定岩性和流体识别的敏感参数,从而指导弹性参数反演和

反演结果的有效解释(图 7)。

(2) 叠前 AVA 纵、横波阻抗同时反演

叠前 AVA 同时反演同时利用多个角度叠加道集,在反演处理过程中通过迭代算法,同时得到纵、横波及密度反演结果,可以有效降低单纯纵波弹性阻抗反演的非唯一性。该方法具有算法稳定、抗噪能力强、不要求叠前道集必须进行均衡处理的优点。通过 AVA 叠前反演可以直接得到纵、横波速度及纵、横波速度比、泊松比、密度等重要的弹性参数数据,为利用地震资料进行定量或半定量储层描述和油气预测提供了重要方法、技术和成果资料(图 8)。

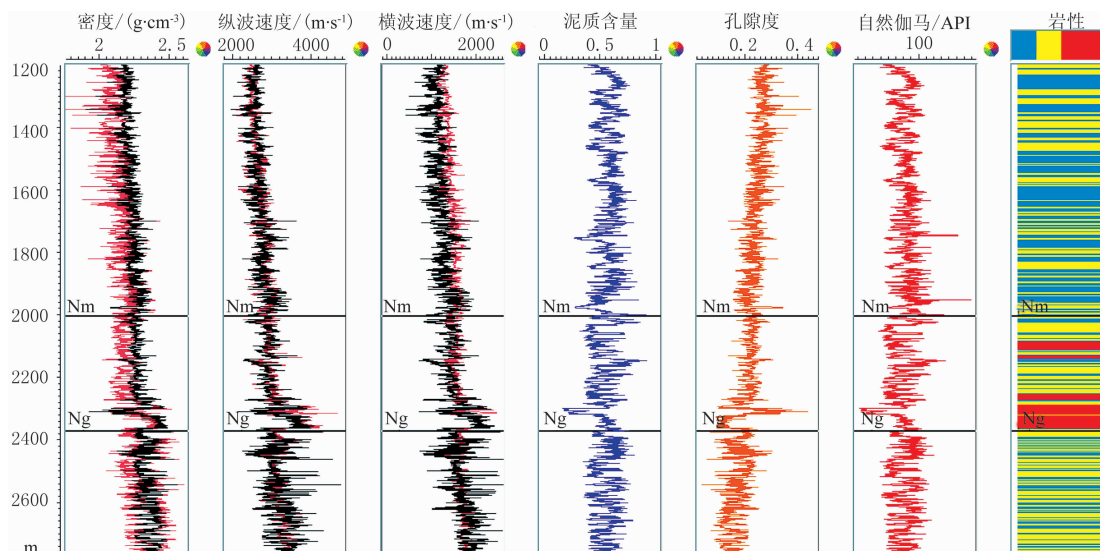


图 7 岩石物理模拟结果

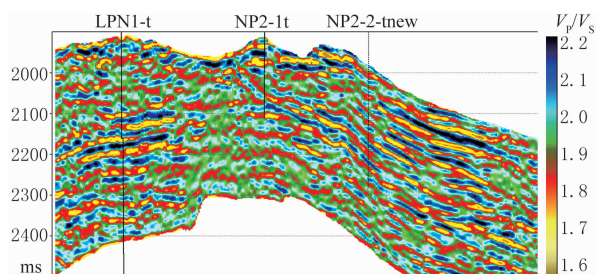


图 8 叠前纵、横波速度比反演剖面

(3) 叠前 AVA 联合反演结果分析

利用叠前 AVA 联合反演出的纵波阻抗、横波阻抗、剪切模量及纵、横波速度比和泊松比等弹性参数进行交会分析,可以确定横波阻抗、横波速度和剪切模量等弹性参数,能够有效地识别储层。利用泊松比和纵、横波速度比等参数能够有效识别含油储层的分布情况(图 9)。

4 综合储层预测效果

4.1 地震属性储层预测效果

在研究区提取多种属性的基础上,筛选出与异常体、储层岩性、地层横向连续性、含油气性有着密切关系的地震属性。经过井点对属性图标定和校验,认为在研究区南部(频率属性为高值区的红色区域)继承了古地貌的高部位,为沉积物源区(图 10)。

对研究区的 Ed₁ 进行地震波形分类分析,根据测井相确定沉积微相的种类,认为波形分类数为 6 类时,地震相分类结果与实际钻探结果吻合较好。经分析后认为,研究区南部的红、紫色波形分布区为扇体分布区,在洼陷区的绿色和红色波形分布区域为浊流水道、河口坝、席状砂微相分布区(图 11)。

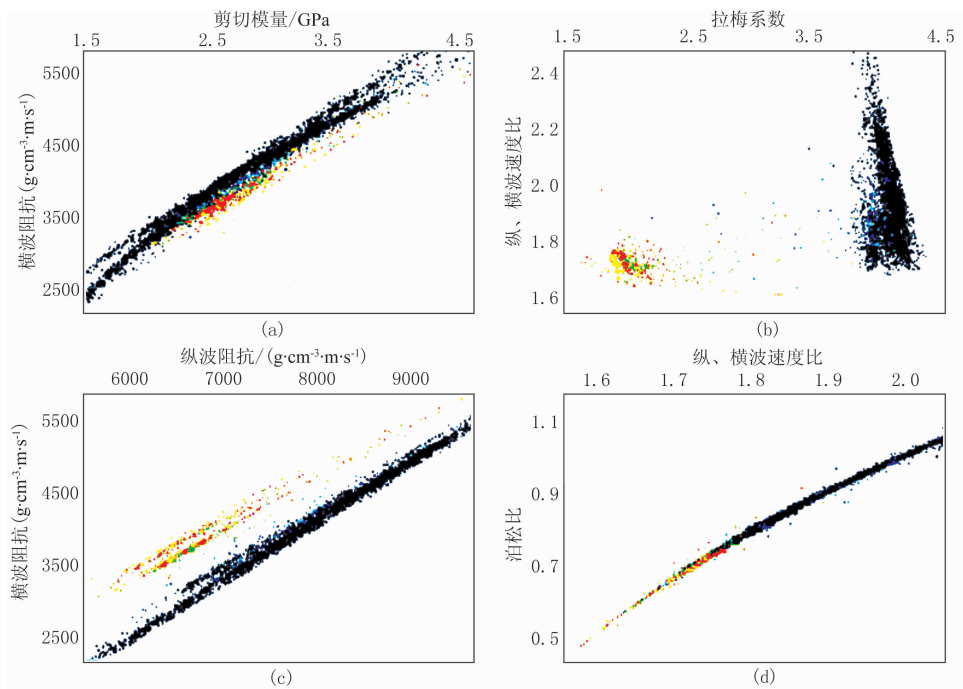
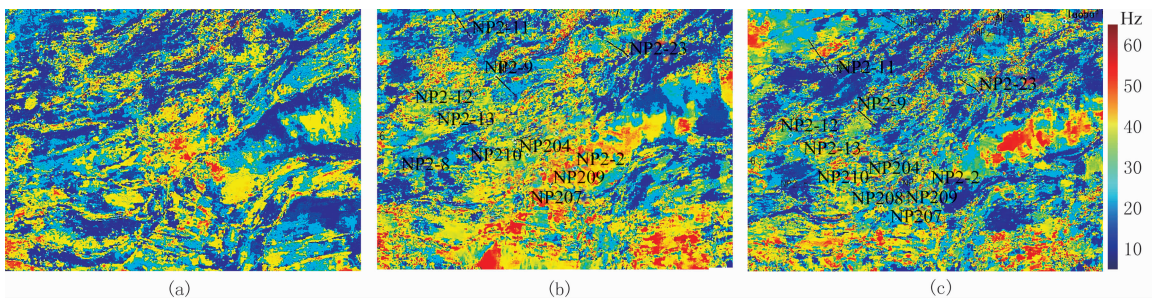


图9 弹性参数分析图

(a)横波阻抗—剪切模量交会图;(b)纵、横波速度比—拉梅系数交会图;
 (c)横波阻抗—纵波阻抗交会图;(d)泊松比—纵、横波速度比交会图

图10 南堡2号构造 Ed₁ I (a)、Ed₁ II (b)和 Ed₁ III (c)油组瞬时频率平面图

对地震振幅数据体进行了10~50 Hz分频处理,得到了不同频段的分频数据体(图12),在此基础上,对Ed₁ I、Ed₁ II和Ed₁ III油组沿层开窗。经分析认为,三个油组在20~30 Hz范围内的频谱成像能清楚地刻画储层横向变化规律,并且与瞬时频率(图10)、地震波形分类结果(图11)相吻合。

4.2 地震反演储层预测效果

4.2.1 叠后地震反演预测效果

叠后波阻抗反演结果表明:Ed₁ I油组砂岩厚度和砂岩百分比的高值区(黄色)整体上呈北东向展布,东侧的砂岩发育程度优于西侧,总体上具有自东向西、自南向北砂岩厚度逐渐减薄的趋势;Ed₁ II油组的储层发育程度普遍较好,南侧是砂体的有利分布区;Ed₁ III油组在工区西北侧储层较发育,而南端

砂岩发育程度一般,该段的含砂量基本上在40%以上,储层总体上较发育(图13)。

分析各油组的有效孔隙度预测结果可知:Ed₁ I油组的储层孔隙度整体上具有自北向南、自西向东逐渐增高的特点;Ed₁ II油组孔隙度的分布特点表明储层物性较好,同时该段砂体的发育特征和孔隙度的配置关系也较有利;Ed₁ III油组孔隙度高值区主要分布在南堡2号构造的南部。总体上,Ed₁储层有效孔隙度为15%~30%,由深至浅储层物性具有逐渐变好的趋势(图14)。

4.2.2 叠前地震反演预测效果

叠前AVA同时反演结果表明,本区的储层和含油储层具有相对高的横波阻抗、横波速度及剪切模量,易于进行储层的有效识别和追踪解释。在储

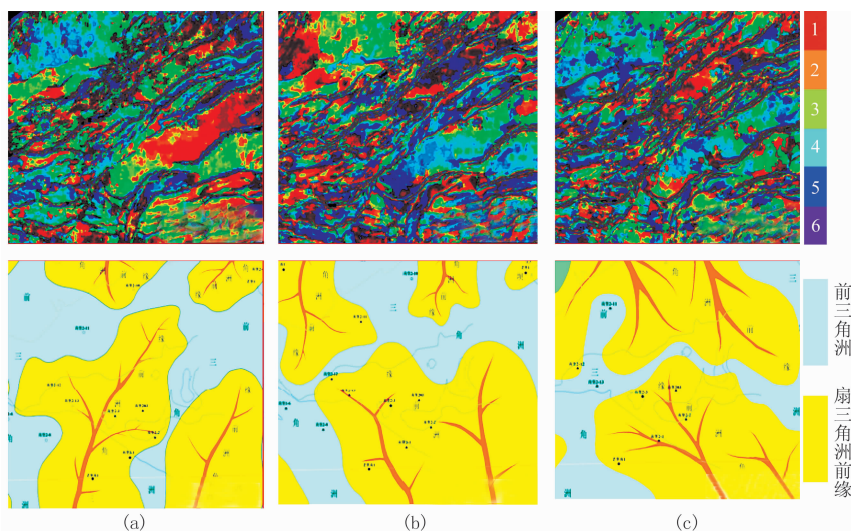


图 11 南堡 2 号构造 Ed₁ I (a)、Ed₁ II (b) 和 Ed₁ III (c) 油组波形分类图(上)与沉积相对比图(下)

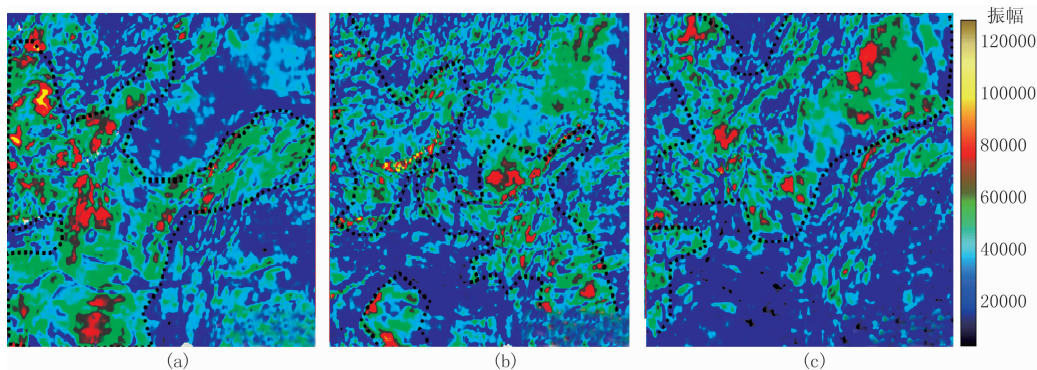


图 12 南堡 2 号构造 Ed₁ I (a)、Ed₁ II (b) 和 Ed₁ III (c) 油组分频属性图

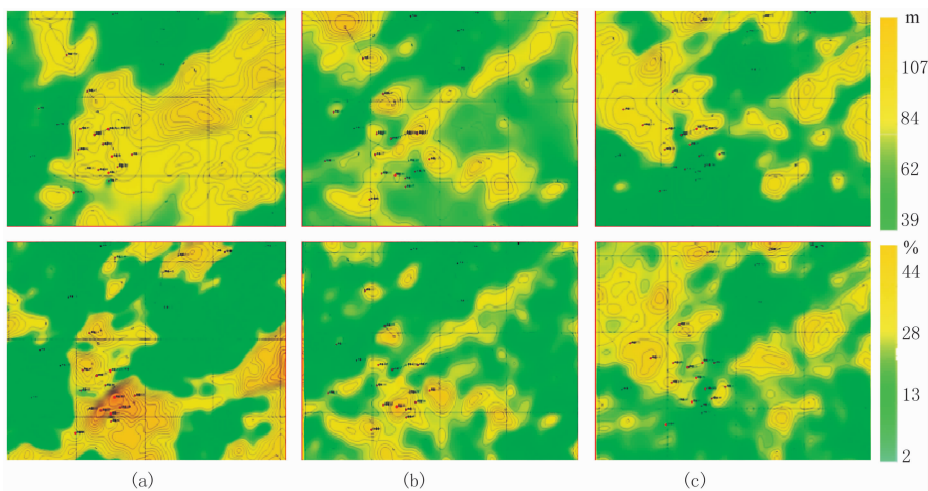


图 13 南堡 2 号构造 Ed₁ I (a)、Ed₁ II (b) 和 Ed₁ III (c) 油组砂岩厚度图(上)和砂岩百分比图(下)

层识别的基础上,结合测井岩石物理模拟结果可知,本区纵、横波速度比(小于 2.0)和泊松比降低(小于 0.25)时为含油储层流体的响应。

由于任何某个单一属性都较难确定储层和含油

储层,因此可利用两种或两种以上属性的交会分析,并结合本区的测井解释结果和试油、试采情况,对 Ed₁ I、Ed₁ II 和 Ed₁ III 三个油组的含油储层进行预测和描述。图 15 为南堡 2 号构造 Ed₁ I、Ed₁ II 和

Ed₁ III油组厚度分布预测图,由图中可见,三个油组的含油储层主要沿着构造主体呈南北向发育,其中Ed₁ I油组在南堡2-3井区、南堡2-1井区、南堡208

井区、老堡南1井区较发育(图15a);Ed₁ II油组在南堡2-3井区、南堡208井区、老堡南1井区较发育(图15b);Ed₁ III油组在南堡2-3井区最发育(图15c)。

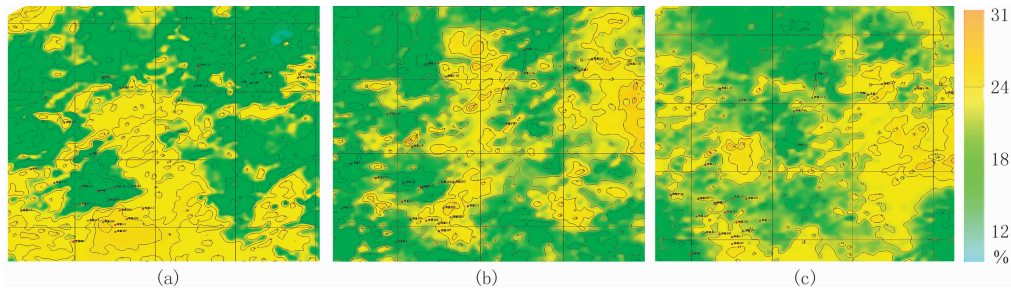


图14 南堡2号构造 Ed₁ I (a)、Ed₁ II (b)和 Ed₁ III (c)油组孔隙度图

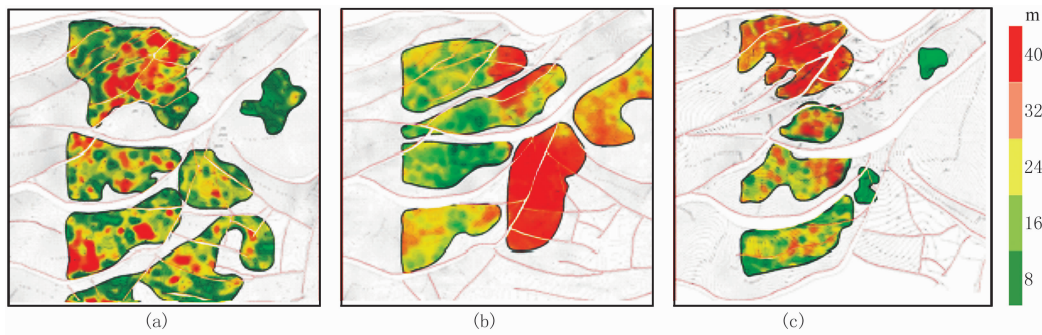


图15 南堡2号构造 Ed₁ I (a)、Ed₁ II (b)和 Ed₁ III (c)油组厚度分布预测图

5 结束语

随着油田勘探开发程度的不断深入及难度的加大,要求地震储层预测技术要不断向高分辨率和高精度的方向发展。针对不同勘探、开发阶段的技术需求及储层预测的特点,有针对性地开展叠后、叠前等地震储层预测技术的应用研究,可极大地促进地震技术的进步。综合地震储层预测技术是完善储层模型、有效进行储层预测的重要技术手段^[5]。地震属性储层预测技术和叠后地震反演技术在一定条件约束下,可以形成有效解决勘探、开发中技术难题的地震技术系列,并取得良好地质效果。应用叠前地震反演技术可以得到反映地下储层和流体的多种地层属性参数,是利用地震资料进行储层和流体预测

的重要研究方向,可为储层及油气预测提供更加丰富和更加准确的依据,因此在油气藏勘探、开发中发挥了重要作用。

参考文献

- [1] 陆基孟. 地震勘探原理(下册). 山东东营:石油大学出版社,1993
- [2] 陈志强等. 南堡2号-南堡4号构造东营组构造解释、储层预测与勘探目标评价. 北京海宏嘉创科技有限公司
- [3] 周海民. 南堡油田勘探技术文集. 北京:石油工业出版社,2007
- [4] 冉建斌等. 冀东滩海南堡2号构造复杂油气储层叠前地震描述技术攻关. 东方地球物理公司,2010
- [5] 赵政璋,赵贤正,王英民等. 储层地震预测理论与实践. 北京:科学出版社,2005

(本文编辑:刘勇)