

· 综合研究 ·

地震—地质综合储层预测技术 在大庆油田 G533 区块的应用

牟智全^{*①②} 周立宏^② 张彦湘^③ 王振升^②肖敦清^② 王照华^② 杨建勋^④

(①中国地质大学(北京),北京 100083;②大港油田勘探开发研究院,天津 300280;③中国煤炭地质总局物探研究院,河北涿州 072750;④北京 EPT 科技有限公司,北京 100083)

牟智全,周立宏,张彦湘,王振升,肖敦清,王照华,杨建勋.地震—地质综合储层预测技术在大庆油田 G533 区块的应用.石油地球物理勘探,2009,44(3):323~330

摘要 针对大庆油田 G533 区块葡萄花油层三个砂层组中各种粒级的砂岩交互分布,声波测井曲线不能完全反映地层岩性变化,进而给岩性识别、储层分布预测带来困难,为此研究地震—地质综合解释技术和应用策略,对储层进行预测。地震—地质储层预测技术包括构造精细解释、地震反演、地震属性分析、信息融合技术等,通过结合定性分析与定量分析及地质、测井与地震一体化思路,特别是采用电阻率拟声波反演及频谱成像衰减属性频谱分解技术可以提高油气检测的精度。

关键词 储层预测 地震反演 地震属性 信息融合 综合分析

1 概述

在油气田勘探开发实践中,地震地质综合解释技术,特别是一体化综合油藏地球物理技术得到了广泛的应用。地震地质储层综合预测包括一系列技术,不同流程组合技术和技术细节的把握对不同地质条件的工区取得的效果也不同,所以针对不同情况下的油气储层,研究和应用相应的技术策略十分重要。地震波阻抗反演技术是储层预测和地震油藏描述必备的技术手段,利用地表观测地震资料,依据构造解释层位,以钻井、测井资料为约束,对地下岩层空间结构和物理性质进行成像(求解)。储层预测研究的基本思路为:根据钻井和地震资料,结合前人研究成果,掌握研究区储层特征和类型;在层序地层划分与对比、沉积相分析、储层发育规律研究的基础上,利用钻井及测井资料制作合成记录,对反演的控制层进行精细构造解释;在精细储层标定、沉积相分析的基础上进行测井标准化处理,对精细解释的控制层进行波阻抗反演,而对储层参数预测模拟,结合

地震属性分析,采用信息融合技术,研究储层分布规律。

本次研究区——G533 区块,构造上位于松辽盆地西部断陷区古龙—常家围子断陷区内(图 1),主要产油层葡萄花油层属于下白垩统姚家组姚一段,已有多口井获工业油流。葡萄花油层分为三个砂层组,单砂层厚度薄、薄互层现象明显,油水分布及成藏控制因素复杂,已开展过储层预测,效果都不够理想。基于该区地质难点和要求,确定本次研究的策略为:

(1)分析测井信息与地震资料的内在联系,建立地质—测井—地震的解释模型,进而对储层和含油气性进行预测,以增强地震预测的可靠性。基于钻井资料,以地震反演为主,结合地震属性分析,研究砂岩厚度、砂岩有利储层厚度分布特征。

(2)在储层预测时采取多种方法,进行构造精细解释、储层地震属性分析定性预测、储层地震反演定量预测、地震—地质联合预测,力求避免预测结果的多解性,提高预测的准确性。

(3)依据 G533 区块复杂的地质条件,在综合地

* 天津大港油田勘探开发研究院新院,300280

本文于 2008 年 8 月 19 日收到,修改稿于同年 11 月 11 日收到。

质研究过程中,把新技术与传统的地质研究方法结合起来,保证成果的准确性。

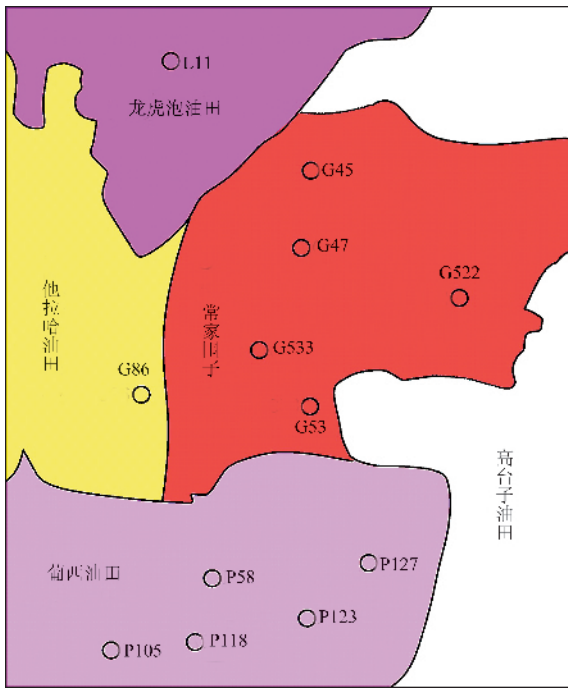


图1 研究区地理位置图

2 精细构造解释

精细地震构造解释既是正确认识该区构造断裂发育特征,进行储层准确预测的基础,又是开展其他石油地质综合研究的基础^[1]。在层序地层学理论和构造地质学模式指导下,采用3D可视化解释技术与相干体叠合进行全区的构造精细解释。

2.1 极性判断

正确判断地震资料的极性对反演结果的正确与否至关重要^[2],本次研究采用下述方法判断地震资料的极性。

(1)对地震资料求道积分 寻找有特征的地质界面与基底界面的位置,观察是否为高波阻抗。

(2)观察剖面特征 由于基底的岩性为变质岩呈现波阻抗高值,其上为较新的沉积层呈现波阻抗低值,因此基底的顶界面为较强的反射界面。在正极性剖面上呈单轴波峰显示,在负极性剖面上呈双轴波峰显示。

(3)合成地震记录标定法 利用已有的声波和密度资料,利用正、反两种极性的零相位子波制作合成地震记录并与井旁地震道相比较,初步判断地震

资料的极性;再从井旁道提取子波制作合成地震记录,观察相位差,若相位差大于 100° ,那么剖面的极性与子波的极性相反。通过极性判断可知该区地震数据为正极性。

2.2 地震—地质层位标定

合成地震记录是地震与地质相结合的重要桥梁^[3]。在构造解释中,在层序格架的基础上首先确定标志层的地震响应,然后在单井标定的基础上,利用过井、连井剖面进行多井闭合标定,做到井间地质、地震层位的全区统一,进而做到全区构造解释的一致合理。

利用声波、密度、电阻率、自然伽马等测井曲线进行全区地层对比,分析各层顶、底界面的声波特征,再应用雷克子波制作各井的合成地震记录。

通过对井旁道进行频谱分析,选用最佳子波主频制作合成记录,将合成记录与井旁地震道反复对比,不断调整填充速度,使二者波组能量、相位对应良好,波形特征尽可能一致。笔者共做了18口井的合成地震记录,各地震反射层位与相应的地质界面对应关系如下:T1-1反射层相当于葡萄油层一砂组顶面反射;P1反射层相当于葡萄油层二砂组顶面反射;P2反射层相当于葡萄油层三砂组顶面反射;P3反射层相当于葡萄油层三砂组底面反射。

2.3 断层解释与组合

利用三维地震水平切片技术、相干体技术对断层的分布,尤其是对小断层、小幅度构造的分布细节进行仔细分析研究,实现由点到线、由线到面的空间立体综合解释。在解释过程中,认真推敲地层产状及其变化,注重小断层细节,用瞬时相位技术识别断点,做到准确解释^[4]。

图2分别是T1-1、P1、P2、P3反射层相干图,从图中可以清晰地看出断层的平面展布,甚至人工解释不能识别的微小断裂。

2.4 构造成图

2.4.1 速度评估与深度转化

由于叠加速度只能反映速度在横向上的变化趋势,不能作为纵向深度转换的精确速度;由声波资料计算的时深关系纵向精度高,但分布稀疏。因此在本次成图过程中采用如下速度分析方法:以资料处理中获得的叠加速度为基础,采用解释的 t_0 层位作为模型计算层速度,对得到的层速度进行滤波处理,剔除层速度噪声,同时进行约束处理,然后在

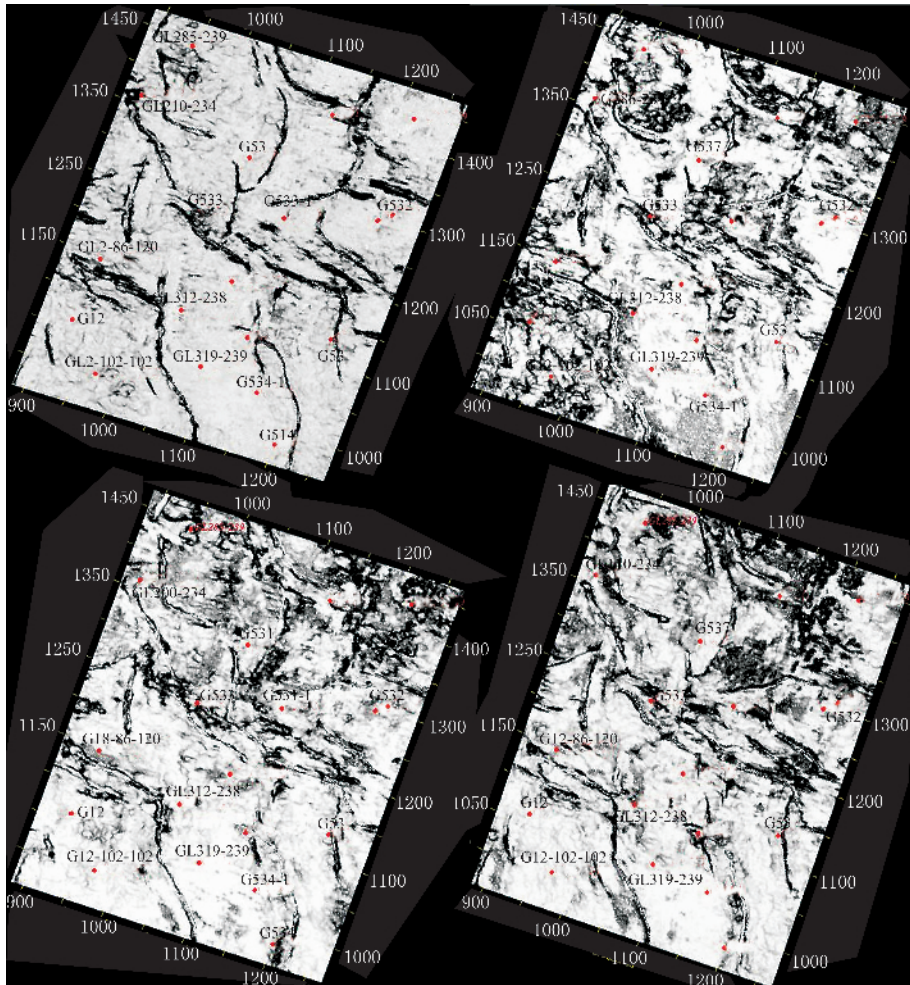


图 2 T1-1 反射层相干(上左)、P1 反射层相干(上右)、P2 反射层相干(下左)、P3 反射层相干(下右)切片

每套大层内再进行小层化处理,用滤波处理后的小层速度作为建模速度参数,经模型最终迭代得到最终三维速度场^[5],最后提取沿层的平均速度,编制了 T1-1、P1、P2 反射层的深度构造图。

2.4.2 成图精度分析

深度域成图精度取决于剖面质量、 t_0 图精度、速度精度及合理的成图方法。本次研究使用的三维资料剖面特征比较清晰,有利于构造特征的识别,保证了层位对比的合理性、可靠性和时间构造图的准确性。在成图过程中,由于选择了适合该区地质情况的速度资料和成图方法,因此求取的平均速度场精度较高,保证了构造图的精度。经与区内钻井分层对比统计可以看出,井校前,T1-1 反射层平均相对误差为 0.36%,P1 反射层平均相对误差为 0.29%,P2 反射层平均相对误差为 0.25%。所有构造图在井校后各层误差均小于 0.1%。

3 宽带约束模拟退火地震反演

地震资料提供了稳定的中频信息和可靠的横向分辨能力,而测井资料可以提供低频和高频信息,低频成分提供了地层背景的基本速度结构,高频成分反映了地层的岩性等。因此地震—测井联合反演可以充分利用宽频带信息解决实际地质问题。

宽带约束模拟退火反演方法可以获得全局最优解。约束主要体现在两个方面:首先是反演参数取值范围的确定,可以参考测井等资料形成这种约束;其次是利用测井和地震解释资料形成合理的初始地质模型^[6]。在地质模型建立过程中,可以考虑多种沉积模式(超覆、退覆、剥蚀和尖灭等)的约束。通过地震分形技术和地震波形相干技术内插方法,采用信息融合技术把地质、测井、地震等多元地学信息统

一到同一模型上,建造出复杂储层的初始地质模型,提高反演的信息使用量、信息匹配精度和反演结果的精确性,使地震反演结果符合工区的构造、沉积和地层特点。

3.1 测井曲线预处理

测井约束地震反演是以构造解释层位和井点测井曲线为约束进行内插外推。由于不同井的测井曲线测量时间跨度大,仪器性能与型号不同及井壁不规则等造成曲线出现异常,导致不同井同类测井曲线之间存在一定的差异,在横向对比过程中出现测井曲线岩性特征与地质剖面岩性不一致,影响了地层测井解释及储层地震反演结果^[7]。在应用测井曲线之前,通常应进行测井曲线异常值编辑、曲线漂移归位、曲线平滑、测井深度对齐、测井环境校正、测井

曲线标准化等处理,消除非地质因素对测井曲线的影响,使不同井曲线在横向上具有一定的可比性,同一层位同一岩性具有相近的测井响应特征值,从而保证地震—测井联合储层参数研究具有可比性。

3.2 储层电性敏感性分析

储层敏感性分析是地震反演的重要环节。通过对测井曲线与钻井岩心的分析对比,寻找出能真正反映地层岩性、物性信息、有利储层的测井曲线是利用测井资料约束地震资料进行储层预测研究的关键。从图3测井交会图可以看出(自然伽马、声波、深侧向电阻率三种曲线交会),声波不能很好区分砂、泥岩,自然伽马曲线分辨效果很好,深侧向电阻率能较好地区分油水以及干层。

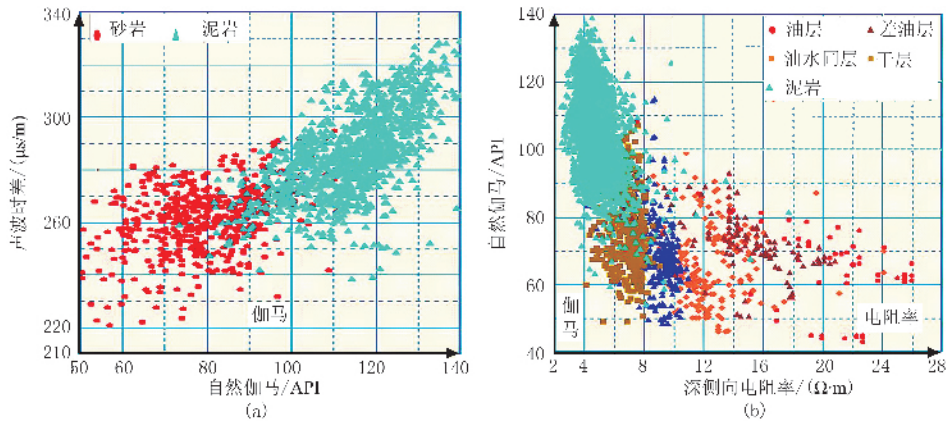


图3 自然伽马与声波(a)、自然伽马与深侧向电阻率(b)测井岩电交会图

3.3 拟声波曲线构建

利用 EPS 软件特有的 Statistics-Base Generation 功能,可以把声波中反映地层背景速度的低频信息与反映地层岩性变化比较敏感的自然伽马和电阻率测井曲线高频信息调制成拟声波曲线。实现步骤为:

(1)利用声波曲线和反映地层岩性变化比较敏感的自然伽马和电阻率等曲线进行统计回归,建立统计回归关系式;

(2)利用数据缩放技术,将非声波的源曲线创建成具有声波量纲的新曲线;

(3)从原始声波曲线中提取能够反映地层背景速度的低频成分;

(4)将已产生的具有声波量纲的新曲线和从原始声波曲线中提取的低频成分进行“调制”,最后合成拟声波曲线。

3.4 子波提取和层位标定

只有在子波提取和层位标定较准确的情况下,才能获得高精度的反演结果。在子波提取和层位标定前,已经完成了地震资料精细构造解释,在利用地震资料解释结果正确求出时深关系的基础上,仔细对比各种测井曲线与目的层段内的对应关系,并以地震层位为准,对齐主要目的层,确保目的层时深关系精确。

3.5 实际反演结果

利用全区 18 口钻井的拟声波曲线,基于地质模型进行了井约束地震波阻抗反演,得到绝对拟声波阻抗数据体,并利用地震资料与声波曲线联合反演,得到速度数据体,为频谱成像和有利储层等其他厚度求取和时深转换提供速度数据。在电阻率拟声波反演的数据体上,采用岩性解释技术识别有效砂岩,并与拟声波阻抗数据体交会,确定出可靠的砂泥岩门槛

值,再以该阈值作为约束,确定出砂岩平面分布。

4 地震属性及其分析利用

地震属性分析和地震反演技术已经成为地震储层预测、油藏描述的关键技术,也是地震处理解释的核心研究内容之一^[8]。地震属性分析最重要的是识别出能反映地质意义的具有稳定统计特征的属性。本次属性优选采取专家优化方法,优选了以下几种地质意义较为明确的、在储层定性预测中见到较好效果的地震属性。

4.1 地震属性提取

4.1.1 地震波衰减梯度

理论研究表明,当储层含油或含气时,会引起地震波的散射和地震能量的衰减^[9]。实验室研究结果

表明:当流体饱和度大于 30% 时,含气和含油造成衰减的差异很小,而二者与含水差异很大。当储层孔隙比较发育而且富含油时,地震波中高频能量衰减要比低频能量衰减大。通过提取度量高频能量衰减程度的衰减梯度属性,可以间接检测储层的含油性。图 4 是无井约束频谱成像衰减属性预测的结果,与已知钻井有很高的吻合度,而且具有较高的横向分辨率,能清晰反映有利储层的横向变化。

4.1.2 波形聚类属性

地震波形是地震勘探最直接、最可靠的地下信息,也是地下地层岩性、岩相等发生变化的最直接反映^[10]。波形聚类分析是利用神经网络对地震道波形进行分类,通过颜色划分地震相。将全区葡萄花油层地震相划分成 5 类相(图 5),图 5 中左图为 T1-1—P1 间地震相,右图为 P1—P2 间地震相。

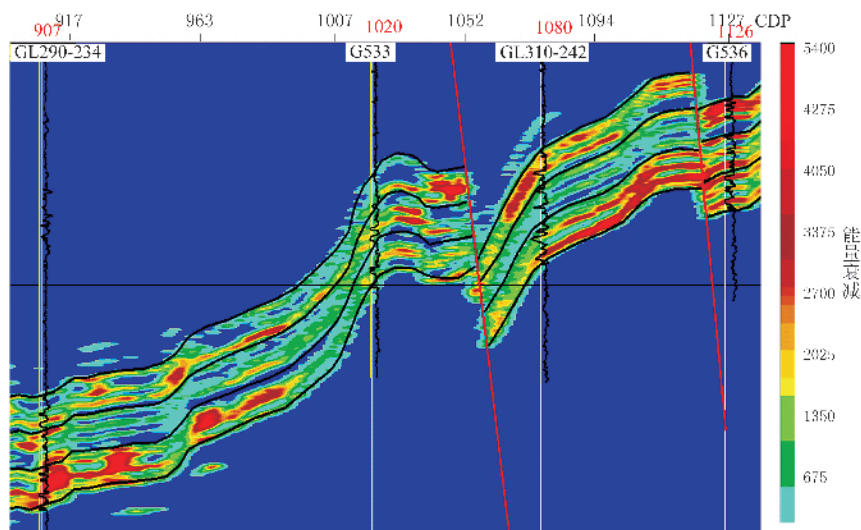


图 4 无井约束频谱成像衰减属性预测

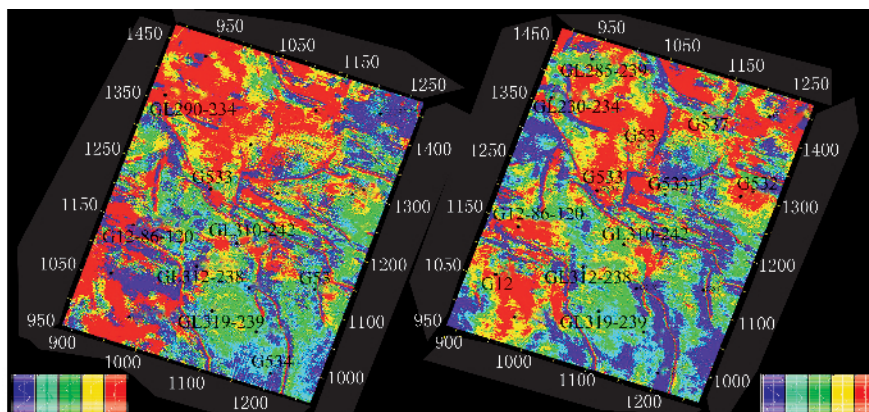


图 5 波形聚类分析划分地震相

左为 T1-1—P1 间地震相;右为 P1—P2 间地震相

4.1.3 均方根振幅

在分析时窗内选择极大振幅,在其两侧追踪过零点的时窗顶底时间 t_1 和 t_2 ,计算 t_1 和 t_2 间隔内地震记录样点的均方根振幅,利用均方根振幅属性,可以追踪砂体的展布范围。

4.1.4 吸收系数

利用低截频到参考频率的能量与参考频率到高截频率的能量之比描述储层含油后对地震波的吸收情况,比值越大,吸收衰减越强。油层一般表现为中等值,有的地区为高值。

通过提取葡萄花油层各砂层组的吸收属性,能较好地反映出有利储层的富集区,并与后续有利储层的预测结果具有很好的一致性。

4.2 利用地震属性定性描述储层发育特征

应用频谱成像、波形聚类分析和均方根振幅属性对砂层组分布进行预测。利用纯波地震资料,按葡一砂组、葡二砂组、葡三砂组和葡萄花油层四个单元,分5种波形进行了聚类分析。从图5分析结果可以看出,波形与砂岩厚度具有较好的对应关系,波形类数的大小基本上反映了砂岩发育程度。第5类(红色)和第4类(黄色)波形对应厚度较大的砂岩,主要分布在工区的北部和西南部。葡一砂组、葡二

砂组波形分布相似,葡三砂组与其差异较大,横向变化大。以上各层的分布特征说明该区葡萄花油层物源方向主要来自北部和西部。

应用地震波衰减梯度和吸收属性对含油情况进行了预测。用纯波地震资料计算层间吸收属性,与综合解释有效厚度对比表明:吸收属性与储层含油性具有较好的可对比性,有效砂岩厚度发育的区域,吸收值大。葡一砂组和葡三砂组的吸收属性平面上分布规律性较强,与含油储层具有较好的一致性,特别是葡一砂组。在定性预测的基础上,确定了储层有利区,并运用测井约束地震反演进行定量储层预测。

5 储层地震地质综合解释

为提高储层预测的可靠性,参考地震剖面和频谱成像的结果,在拟声波阻抗剖面上对所有过井线、主要连井线进行了解释,并对非过井线也按地震测网密度 4×4 进行解释,根据解释结果,最终编制了葡萄花油层组各砂层组储层厚度预测平面图(图6)。从该图中可以看出各砂层组储层厚度的变化趋势。

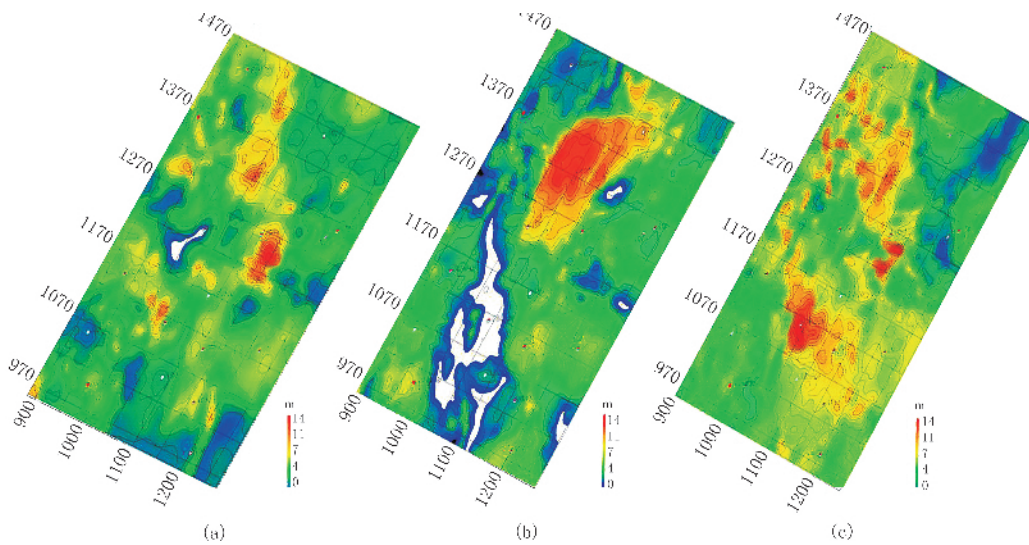


图6 葡一(a)、葡二(b)和葡三(c)砂组预测砂岩厚度平面分布图

5.1 信息融合技术预测有利储层分布

结合反演纵向上的高分辨率和衰减梯度横向上的高分辨率,利用多信息融合技术,将测井曲线中包含储层物性和含流体情况等信息融入地震衰减梯度属性中。为了减少泥岩或其他特殊岩性体的影响,

分析衰减梯度要在储层内进行,即在砂岩内部分析衰减。结合反演波阻抗数据体,将砂岩过滤出来,然后在砂岩内部进行分析,根据岩电敏感性分析确定有利储层。在预测出的储层范围内,检测出衰减梯度的变化,使用最优属性值累积时间厚度,利用波阻

抗反演输出的速度体预测出有利储层厚度分布。

图 7 是电阻率拟声波反演剖面 and 频谱成像衰减属性剖面。从图中可以看出,频谱成像衰减属性剖

面在横向上尖灭自然,而参数反演剖面相对模型化,但在纵向上却能分辨出很小的薄层,综合运用两者的优点,可在横向和纵向上获得较高的分辨率。

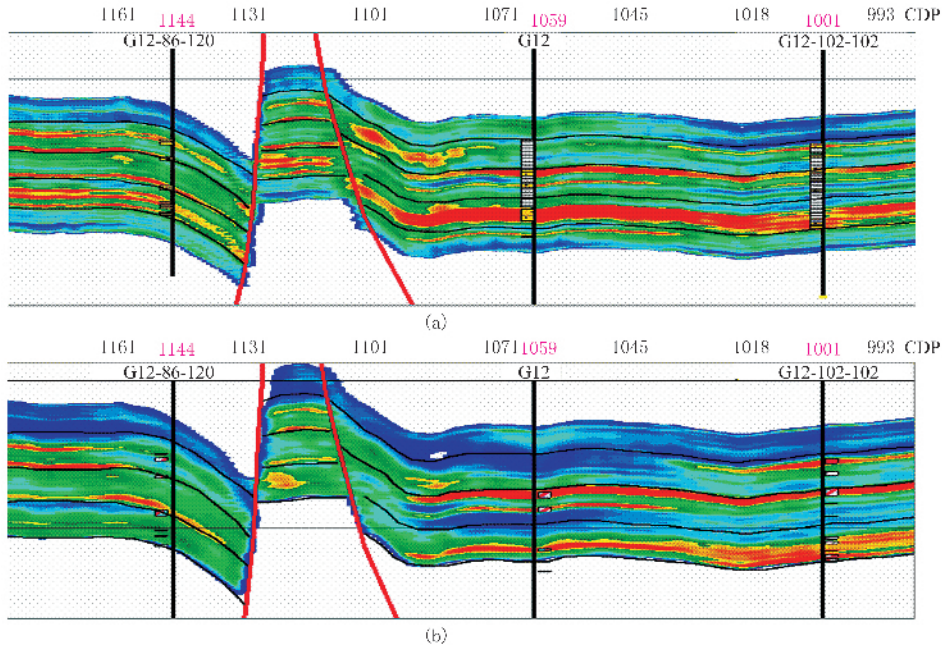


图 7 电阻率拟声波反演剖面(a)和频谱成像衰减属性剖面(b)

5.2 储层参数预测

根据该区声波时差、密度和孔隙度资料,建立储层孔隙度(por)与声波时差(ac)和密度(den)之间的拟合关系式: $por = 56.9522 + 0.2752ac - 26.3215den$,根据关系式进行参数反演可得到孔隙度数据体。

为消除泥岩对孔隙度的影响,本次研究在储层内部进行,即在参数反演的基础上,利用自然伽马拟

声波阻抗数据体对孔隙度数据体进行过滤,将泥岩对应的部分滤掉,只在储层内部进行物性分析。

图 8 是葡萄花油层一砂组二号砂层砂岩厚度和孔隙度平均属性的预测结果图。从孔隙度平均属性分布图上看,孔隙度的分布与砂岩和构造的分布均有一定的关系,即砂岩厚的地方,孔隙度相对比较发育。另外,在构造相对较高的东部,孔隙度相对比构造低部位的西部要发育。

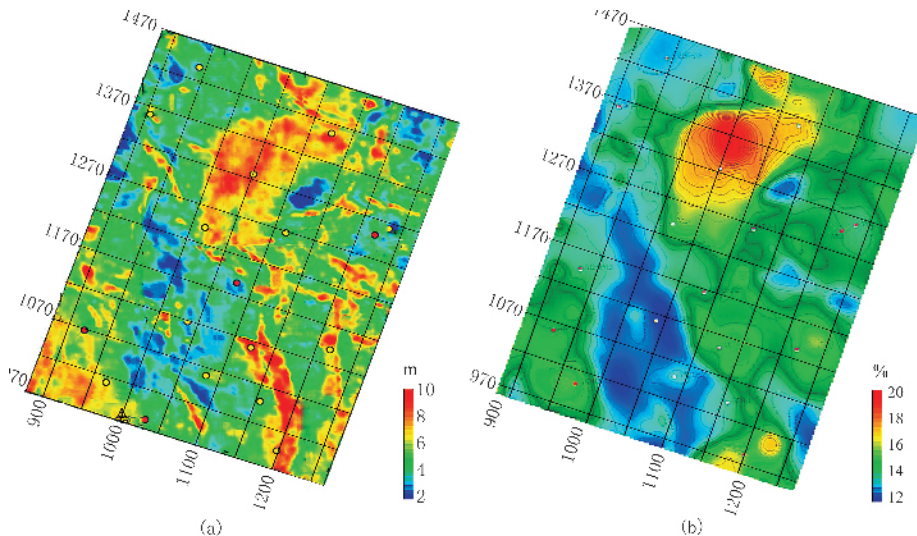


图 8 葡萄花油层一砂组二号砂层砂岩厚度图(a)和孔隙度平均属性图(b)

6 结束语

根据地震—地质综合研究分析,得出如下认识:

(1)G533 区块葡萄花油层一砂组顶面、二砂组顶面和三砂组顶面构造形态基本一致,总体特征为东高西低的单斜构造,南北两侧较低、中部较高;

(2)砂岩预测结果表明,砂岩主要发育在工区中部和西南部,东北角砂岩不发育,物源方向主要来自北部和西部;

(3)葡一砂组和葡三砂组储层具有较好的含油性(特别是葡三砂组在平面上呈现出范围较广的含油性分布,工区各处整体差异较小),葡二砂组含油性较差,且在平面上差异大;

(4)本次研究得到的结果符合井孔处已知储层的参数,井孔之间的储层预测结果有待新钻井孔的证实。

参考文献

[1] 李勤英,阎育英,赵爱武等.地震资料全三维精细构造

解释技术研究.断块油气田,2001,(1):18~21

[2] 赖仲康.如何判别地震资料极性做好井约束反演.新疆石油地质,1999,20(4):302~306

[3] 洪余刚,陈景山,代宗仰等.合成地震记录层位精细标定应用研究.中国石油勘探,2005,(6):55~57

[4] 黄玲,金河.地震资料复数道分析的解解释基础和应用.石油物探,1984,(3):6~24

[5] 陈广军,张善文等.对地震资料应用中几个常见问题的思考.石油地球物理勘探,2001,36(1):115~121

[6] 刘喜武,年静波,吴海波.地震波阻抗反演方法之比较与应用分析.世界地质,2005,24(3):270~275

[7] 姜传金,马学辉,周恩红.拟声波曲线构建的意义及应用.大庆石油地质与开发,2004,23(1):12~14

[8] 黄云峰,杨占龙,郭精义等.地震属性分析及其在岩性油气藏勘探中的应用.天然气地球科学,2006,17(5):739~742

[9] 刘喜武,年静波,刘洪.基于广义 S 变换的地震波能量衰减分析.勘探地球物理进展,2006,29(1):20~24

[10] 李留中,李新宁,雷振.地震属性分析技术在储层预测中的应用.吐哈油气,2007,12(2):127~131

[11] 姜传金,马学辉,周恩红.拟声波曲线构建的意义及应用.大庆石油地质与开发,2004,23(1):12~14

(本文编辑:金文昱)

(上接第 322 页)

指导观测系统设计,保证获得良好的第一手野外资料,这是数值模拟技术在复杂地区地震采集方面的独特作用。

参考文献

[1] 刘光鼎,张丽莉,祝靛谊.试论复杂地质体的油气地震勘探.地球物理学进展,2006,21(3):683~686

[2] 刘洋,魏修成.复杂构造中地震波传播数值模拟.新疆石油地质,2008,29(1):12~14

[3] 钱光萍,康家光,王紫娟.基于模型的地震采集参数分析及应用研究.物探化探计算技术,2001,23(2):109~114

[4] 蒋先艺,刘贤功,宋葵.复杂构造模型正演模拟.北京:石油工业出版社,2004

[5] 韩文功,沈财余.陆相断陷盆地复杂地质模型建立与正演模拟.石油地球物理勘探,2006,41(4):396~401

[6] 冯刚,张光德,胡立新等.合肥盆地二维地震采集方法.石油地球物理勘探,2003,38(4):369~374

[7] 王勇,程金星,庞全康等.弹性波正演技术在地震采集中的应用.小型油气藏,2007,12(4):21~25

[8] 尹军杰,刘学伟,黄雪继等.基于散射成像数值模拟的地震采集参数论证.石油物探,2005,44(1):58~64

[9] 谭绍泉.基于模型分析的潜山断裂带优化观测系统参

数设计方法.石油物探,2004,43(5):415~422

[10] 尹吴海,甄文胜,魏国显等.三维地震采集观测系统设计技术——以柴达木盆地西部地区为例.勘探地球物理进展,2007,30(2):111~118

[11] 张政威,陈亚强,张付生等.焉耆盆地西部逆冲推覆带二维地震采集方法研究.河南石油,2005,19(3):14~16

[12] 吴俊峰,姚姚,撒利明.碳酸盐岩特殊孔洞型构造地震响应特征分析.石油地球物理勘探,2007,42(2):180~185

[13] 宋吉杰.松辽盆地北部兴城地区火山岩地震预测.石油地球物理勘探,2007,42(3):315~317

[14] 唐华凤,王璞珺,姜传金等.波形分类方法在松辽盆地火山岩相识别中的应用.石油地球物理勘探,2007,42(2):440~444

[15] 吕公河,尹成,周星合等.基于采集目标的地震照明度的精确模拟.石油地球物理勘探,2006,41(3):258~261

[16] 王德志,贾烈明,王帮助等.基于勘探目标的观测系统设计.石油地球物理勘探,2006,41(5):498~503

[17] 蒋先艺.基于二维与三维复杂结构模型正演的地震数据采集设计方法研究[博士学位论文].成都:成都理工大学,2003,68~77

(本文编辑:张亚中)