

doi: 10.11720/wtyht.2015.6.16
杨国杰,宋丽媛,商建霞.地质统计反演技术在坨 11 南地区储层预测中的应用[J].物探与化探,2015,39(6):1193-1198,1204.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.6.16
Yang G J, Song L Y, Shang J X. The application of geostatistical inversion to reservoir prediction of Tuo 11 south area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(6): 1193-1198, 1204. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.6.16

地质统计反演技术在坨 11 南地区储层预测中的应用

杨国杰¹, 宋丽媛², 商建霞³

(1. 中石化胜利油田分公司 勘探开发研究院 西部分院, 山东 东营 257000; 2. 中石化胜利油田分公司 胜利采油厂地质研究所, 山东 东营 257000; 3. 中海石油(中国)有限公司 湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘 要: 针对坨 11 南地区沙二段 8 砂组含油砂体较薄, 低于地震资料分辨率, 且油砂与水砂纵波阻抗差异较小, 有效储层识别难的问题, 本次研究在分析油层与水层的地球物理响应特征的基础上, 应用地质统计反演技术, 并结合电阻率曲线来约束反演, 预测出了该区沙二段 8 砂组含油砂体的空间展布特征, 并探索性地预测出了该区油藏的油水界面。反演结果证实: 坨 11 南地区沙二段 8 砂组油藏的油水界面大约在 2 237 m, 扩大了早期研究确定的含油面积, 与新钻井结果吻合较好。地质统计反演结果首次在坨 11 南地区的探索应用中取得了较好的效果, 为该区进一步的勘探拓宽了思路。

关键词: 坨 11 南; 沙二段; 含油砂体; 地质统计反演; 地震数据

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)06-1193-06

坨 11 南断块位于东营凹陷北部胜利村穹窿构造的东南部, 在沙二段时期的主要沉积体系为三角洲沉积, 砂体发育广泛。主要储集砂体为前缘水下分流河道砂体, 砂体较薄。油藏类型为具有一定底水的构造油藏。该区南部原油水边界外多口井在沙二段 8 砂组钻遇水淹层或油水同层, 表明该区沙二段 8 砂组仍有向南滚动扩边的潜力。但是, 目前制约坨 11 南沙二段储层预测的主要问题有两方面: ①砂体较薄, 普遍小于 10 m, 地震资料难以识别; ②油层与非油层纵波阻抗特征没有明显的区别, 即相同的阻抗值既可能是油层也可能是水层, 常规波阻抗反演方法难以预测油层分布。为了提高储层预测精度, 特别是对含油砂体的预测, 获得对坨 11 南沙二段 8 砂组油藏的进一步认识, 开展了地质统计反演研究, 对含油砂体的描述取得了较好的应用效果。

1 地质统计反演的基本原理

地质统计反演是以地质统计学为基础, 建立在序贯高斯协模拟算法基础上的一种反演方法^[1]。

首先, 根据确定性反演方法得到一个初始的波

阻抗体, 然后, 根据波阻抗体与储层参数之间的关系, 通过序贯高斯协模拟与反演相结合的方法得到具有多个相同统计特性的三维储层参数体, 这些结果与实测数据(测井数据)都具有同样的吻合程度。在这个过程中, 充分利用了地质、测井和三维地震的信息, 三者有机结合, 实现了对储层的精细预测^[2-5]。

地质统计反演的基础是对储层的地球物理参数进行分析, 如速度、密度、自然电位、电阻率等, 以揭示储层与地球物理参数之间的关系, 进而选取合适的储层参数进行反演。其关键技术关键步骤在于拟合待求储层参数的直方图和变差函数, 并选用不同的理论变差函数建立数学模型, 用序贯高斯协模拟的方法对不同变量进行建模和反演。

2 地质统计反演处理过程

地质统计反演是地质、测井和三维地震资料的结合, 基础工作有地震资料的精细解释、测井资料的处理等, 反演处理的工作主要是初始模型的建立、敏感参数的优选、直方图分析和变差函数的分析

等^[6]。

2.1 测井曲线标准化

为消除仪器因素对测井曲线的影响,保证反演结果的可靠性和准确性,首先需要对测井曲线进行标准化,以更好地约束反演。本次研究主要采用直

方图法对目的层的波阻抗曲线进行标准化,标准化后的波阻抗曲线(图 2)与标准化之前(图 1)相比,不同井的波阻抗曲线分布范围统一,将测井仪器误差等各种影响因素降到最小。

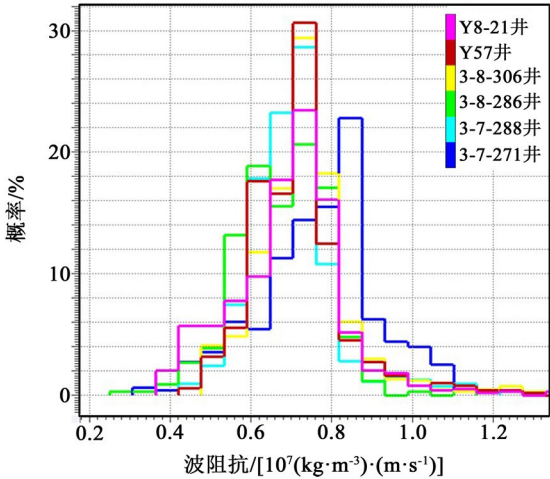


图 1 坨 11 南地区多井原始波阻抗曲线分布直方图

2.2 敏感参数分析

为了更好地利用测井曲线对储层进行研究,首先进行储层敏感参数分析,优选对储层含油砂体敏感的测井曲线,来建立测井曲线与储层岩性、含油气性的关系^[7]。

通过岩性分析及含油性的直方图统计分析看出,油层与水层及泥岩的波阻抗值域分布范围比较接近,差异较小,也就是说波阻抗无法区分油层与非油层(图 3)。而通过对 3-8-306 井的电阻率曲线和岩性曲线叠合分析可知,油层的电阻率很高,明显大

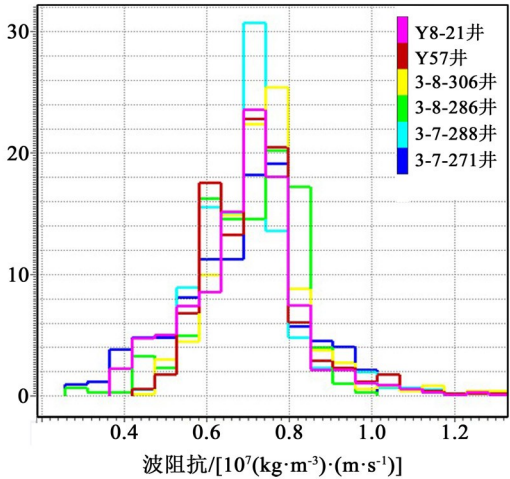


图 2 坨 11 南地区多井标准化之后波阻抗曲线分布直方图

于水层和泥岩的电阻率(图 4)。通过上述岩石物理分析认为,坨 11 南沙二段油层与水层阻抗差异较小(图 3),两者的波阻抗值域分布存在很大的重叠区域,这部分重叠区域所对应的波阻抗值域区间既可能是油层也可能是水层,也就是存在很大的多解性,导致无法对波阻抗反演结果进行解释。而电阻率参数能够很好地区分油层与非油层(图 4),两者之间电阻率差异明显,非常易于区分。所以,利用电阻率曲线进行地质统计反演可以很好地预测含油砂体的分布。

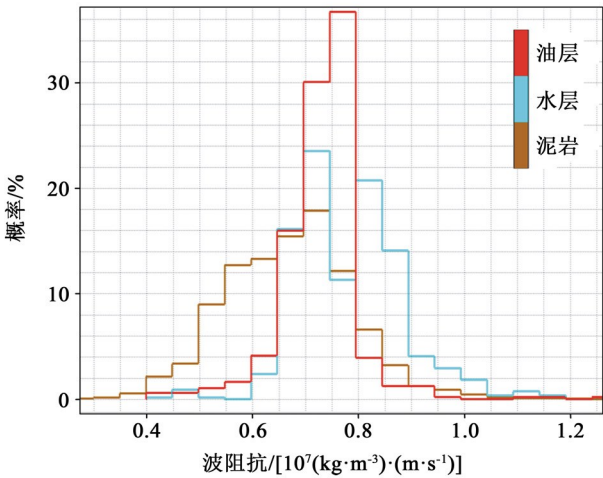


图 3 坨 11 南沙二段泥岩、水层、油层阻抗分布

2.3 初始模型建立

合理的地质模型能够提高反演结果的可靠性。在地震层位解释的基础上,利用测井资料和地质资

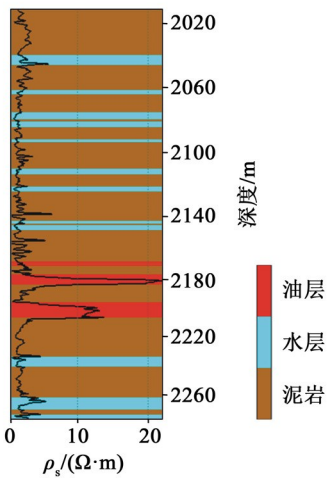


图 4 坨 11 南沙二段电阻率与岩性叠合料来建立符合研究区沉积模式的初始模型。

2.4 直方图分析

直方图分析的目的在于描述某个属性在某一地

质层段内的三维概率分布情况^[7-9]。不同的地质层位,其储层地球物理参数的概率分布特征不同,因此,直方图是以地层为单位进行分析的。

本次研究主要针对的是沙二段8砂组,因此,对区内所有井上沙二段8砂组的波阻抗曲线和电阻率

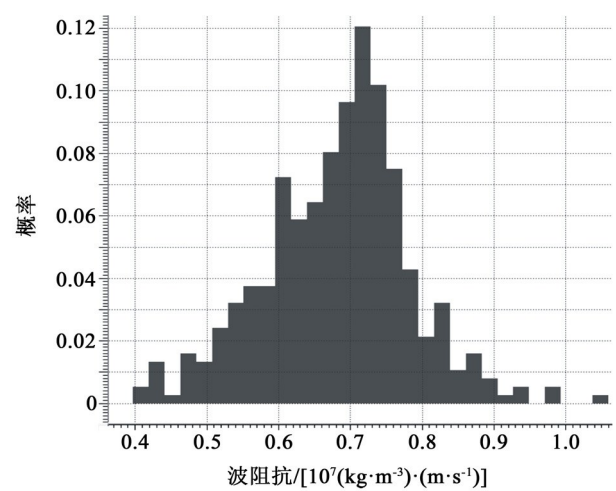


图5 沙二段8砂组波阻抗分布直方图

2.5 变差函数分析

变差函数的数学表达式为

$$R(h) = 0.5E[Z(x) - Z(x+h)]^2, \quad (1)$$
 式中: $R(h)$ 是变差函数值; $E[\cdot]$ 表示数学期望; h 为滞后距,代表两个采样点之间的距离; $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ 是空间区域内距离为 h 的2个采样点的观测值。

图7表示变差函数的一个基本参数是变程,当滞后距 h 增大时,变差函数值 $R(h)$ 随之增大,当 $R(h)$ 达到平稳值时的滞后距 h 称为变程。

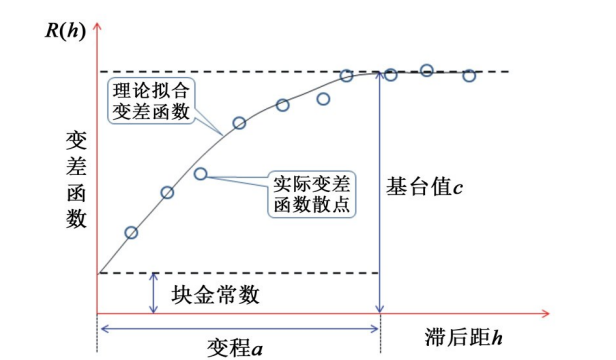


图7 变差函数的主要参数及理论拟合

变差函数分析的目的在于得到一个适合目的层的合理的理论变差函数模型及变程参数,来指导储层参数在三维空间中的模拟和反演。变差函数描述的是地质体在横向和纵向的尺度,通过对计算出的变差函数进行理论拟合,可以得到纵向 Z 、横向 X 和 Y 三个方向的变程,纵向变程一般代表地质体在纵

曲线进行直方图分析(图5,图6),了解目的层内储层参数的分布特征。该直方图也是地质统计模拟及反演得到的波阻抗体与电阻率体过程的一个先验条件。

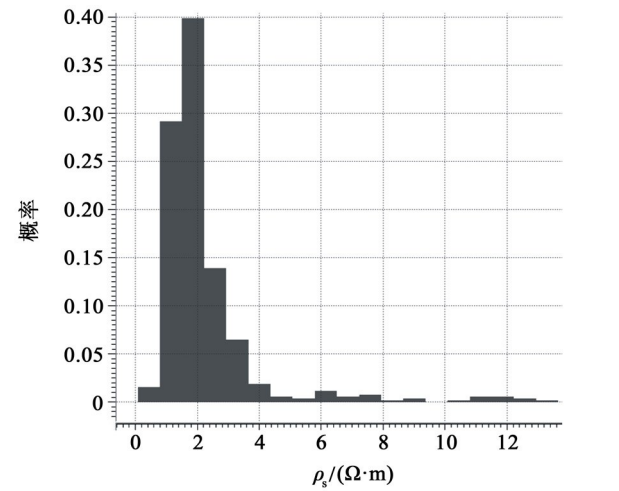


图6 沙二段8砂组电阻率分布直方图

向上的尺度,也就是地质体厚度,横向变程一般代表地质体在平面上的展布尺度。在地质统计学反演中常用的理论变差函数模型是指数型和高斯型,指数型通常用于模拟连续性相对较差的地质体,如河道砂体等;高斯型变差函数通常用来模拟连续性较好的地质体,如三角洲前缘和滩坝等沉积体^[10-15]。

地质统计反演的本质是根据测井资料建立三维地质模型的正演结果与实际地震匹配过程的不断迭代,直至两者误差达到最小。而根据测井资料建立三维地质模型的依据就是变程,即用变程来控制测井曲线在横向上内插外推的距离。

在地质统计反演过程中,常用的理论变差函数有高斯模型、球状模型和指数模型等三种。不同的变差函数类型所代表的储层参数的空间连续性不同。例如,采用高斯模型得到的结果空间连续性最好,采用球状模型和指数模型得到的结果连续性较差。通过实验数据来得到一个实验变差函数,然后用合适的理论变差函数进行拟合,拟合效果较好时即可获得一个可靠的变程。

分别对沙二段8砂组的波阻抗曲线和电阻率曲线进行变差函数计算,目的在于获得一个可靠的变程,该变程用于指导地质统计反演过程中井间属性的模拟、建模。拟合结果表明,采用指数模型更加吻合计算的变差函数(图8,图9)。拟合之后的纵向变程为8.9 m,对于横向变程,根据研究区已有的地质认识,最终选择的参数为600 m。

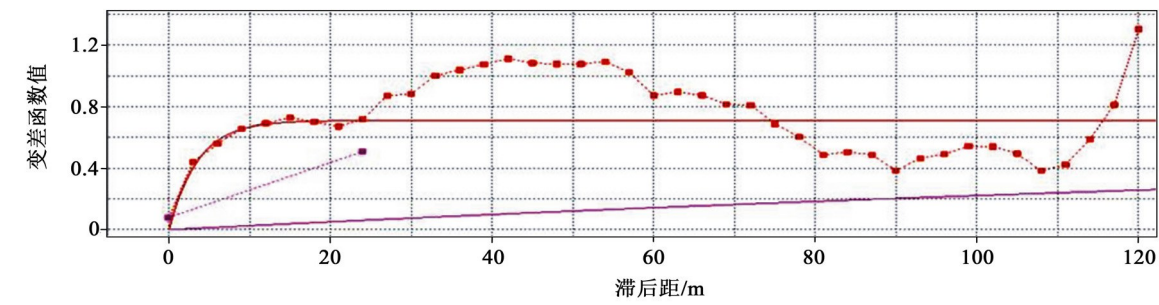


图 8 波阻抗曲线变差函数拟合

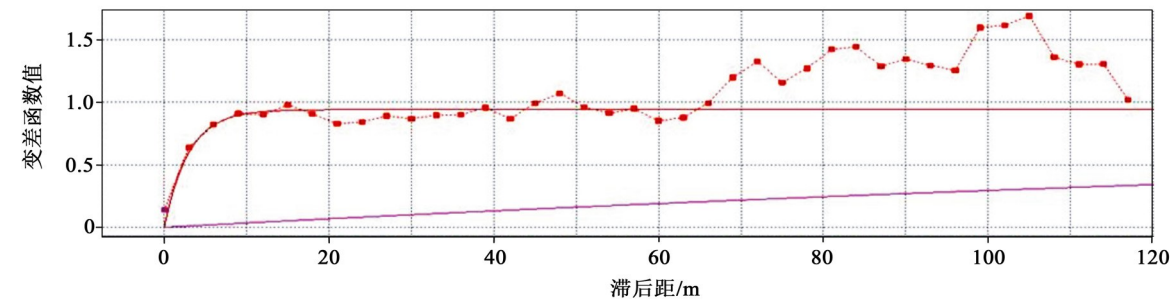


图 9 电阻率曲线变差函数拟合

2.6 相关性分析

地质统计反演不仅可以反演出波阻抗,同时还可以反演出其他储层参数,如自然伽马、电阻率等。原理在于不同曲线之间既存在差异性,也存在相关性,因为这些曲线都是从不同的方面反映地下地层的岩性特征,有相关性意味着可以根据波阻抗来获得其它储层参数。

由上述分析可知,电阻率对含油砂体反映敏感。对于叠后地震资料来说,无论采用哪种地震反演方法,反演的直接结果都是反映地层速度和密度信息的波阻抗体;要想进一步反演得到能够反映储层信息的其他参数,需要建立波阻抗体与该储层参数的相关关系,且相关系数越大,反演结果越可靠。

本次研究分析电阻率与波阻抗之间的相关性,通过使用 3 次多项式拟合得到两者之间的相关系数为 0.76,说明两者之间具有较好的相关性,可以利用地质统计反演获得波阻抗数据体的基础上进一步反演出电阻率数据体。

3 地质统计反演应用效果分析

地质统计反演是目前将地震资料的高横向分辨率与测井资料的高纵向分辨率结合效果最好的一种反演方法。其工作步骤为:在地质模式指导下根据测井资料来建立地下地质模型;然后从模型中提取反射系数与子波进行褶积,得到合成记录与实际地震道进行对比,不满足相关性要求则重新对地下地

质模型记进行模拟;不断迭代,直到模型的合成记录与实际地震道具有较好的匹配性,即为最终地质统计反演结果。由于地质模型具有较高的分辨率,因此,最终反演结果也具有很高的分辨率,可以用于识别薄储层。

在地质统计反演过程中还可以加入电阻率曲线的约束,最终可以得到电阻率反演结果,解决了波阻抗不能识别油水层的问题。

对比图 10、11 反演结果的效果可知,本次地质统计反演结果与井资料吻合,且具有较高的分辨率,对含油砂体具有较好地识别能力,可以在工区内开展储层预测。

根据测井解释结果分析,3-8-306 井在沙二段 8 砂组存在一套 7 m 的油层和一套 10.6 m 的含油水层。过该井的反演剖面(图 11)揭示,在沙二段 8 砂组油层电阻率普遍较高,大于 5;水层及围岩的电阻率较小,一般小于 3,油层与非油层在反演结果中的差异明显。另外,图 11 中反演结果揭示的油层厚度也与 3-8-306 井上油层的厚度比较吻合。

在过 3-8-306 井—Y8-21 井—Y57 井的连井反演剖面上(图 12),可以看出,这三口井上的油层与反演结果的高电阻率层对应较好。前期研究及生产资料表明坨 11 南地区沙二段 8 砂组的油藏是存在油水界面的。反演结果表明油层底界也就是油水界面的时间深度大约在 1.88 s,根据该区的时间深度关系换算,该界面对应的深度大约在 2 237 m。早期

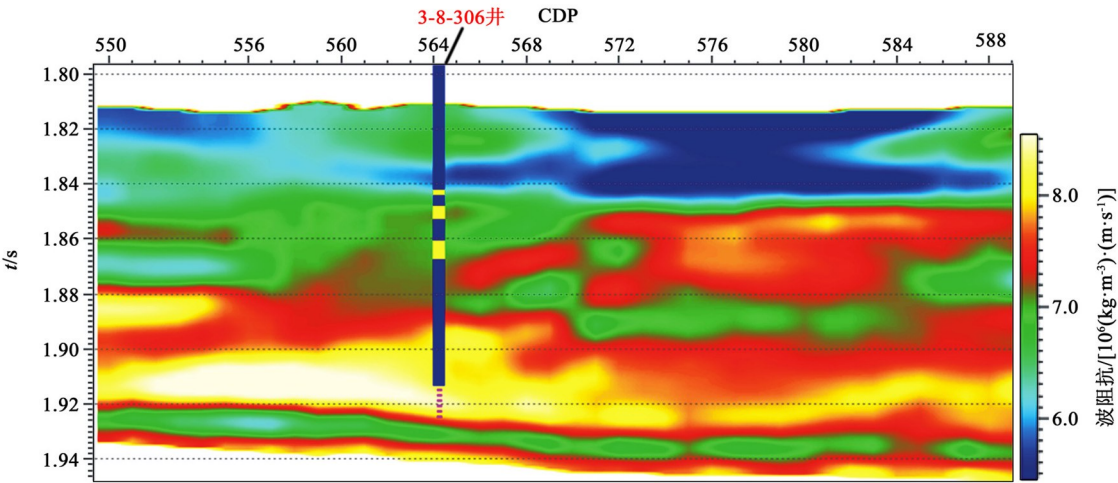


图 10 过 3-8-306 井常规波阻抗反演结果(井上黄色为油层,蓝色为非油层)

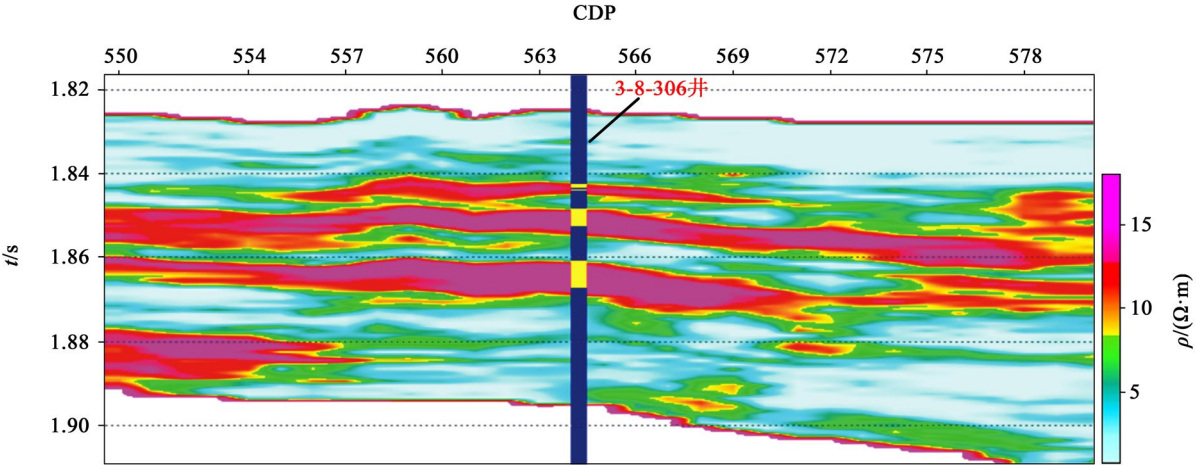


图 11 过 3-8-306 井地质统计学反演剖面图(井上黄色为油层,蓝色为非油层)

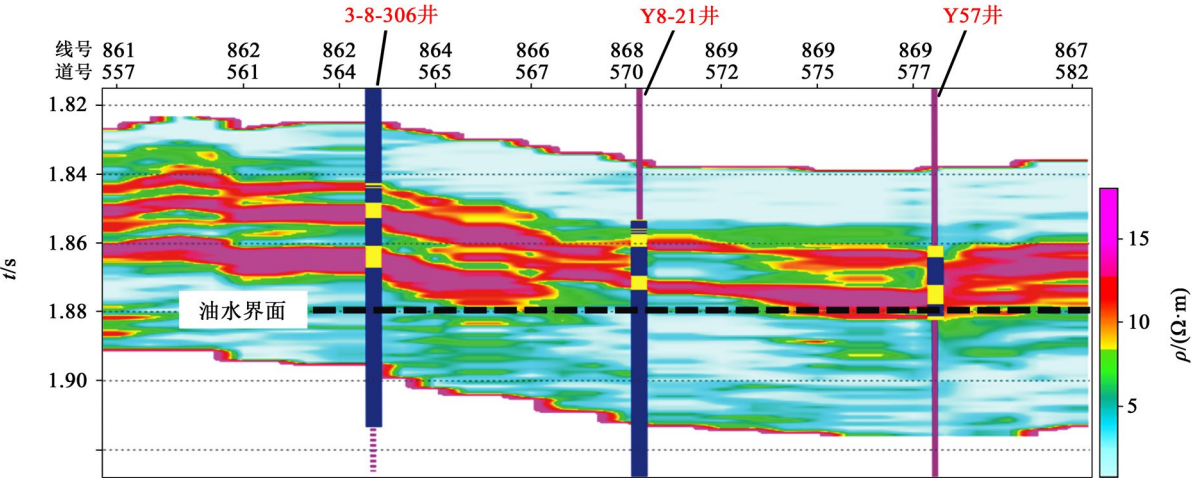


图 12 连井反演剖面(井上黄色为油层,蓝色为非油层)

未作反演之前,通过已钻井的测井解释资料及开发井的生产资料并结合 8 砂组的顶面构造图确定的油水界面为 2 215 m。反演结果揭示的油水界面与早期认为的油水界面深度相差 20 m 左右,那么反演结果是否准确呢? 通过对新钻的 3-10X35 井的测井资

料及试采资料分析,重新确定了沙二段 8 砂组的油水界面,深度为 2 238 m(图 13),与反演结果揭示的 8 砂组油层的底面深度基本一致,两者吻合非常好,同时验证了反演结果的可靠性,该反演结果可以为下步的勘探提供一定的参考依据。

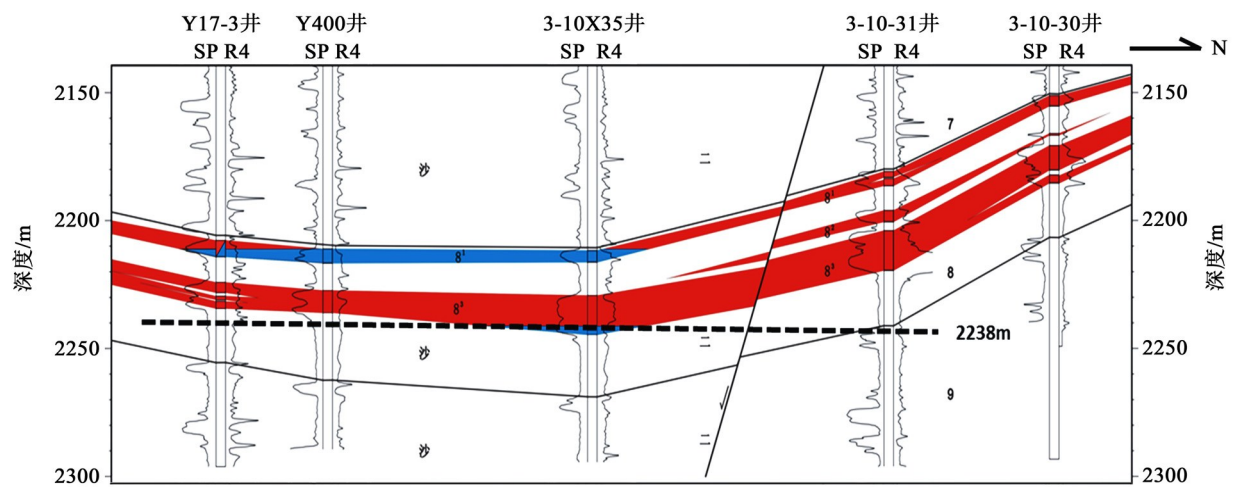


图 13 过 3-10X35 井南北向油藏剖面

4 结论及认识

地质统计反演技术可以充分利用电阻率等测井曲线来获得地层的岩性、含油气性信息,能够达到与井的最佳吻合,并且突破了地震频带的限制,实现对薄层含油砂体的预测。地质统计反演在坨 11 南沙二段 8 砂组的储层预测中具有较好的应用效果,有效识别出了含油砂体的展布特征及油水边界,对坨 11 南区块的滚动扩边开发具有重要的实际意义。地质统计反演虽然能够在一定程度上解决薄层识别难的问题,但也存在一定的适用性。首先,需要足够的井数量,这样建立的地质模型才可能更加逼近地下实际情况,地质统计反演才能快速收敛,而且在大量的测井资料的约束下能够取得较为可靠的结果;其次,适用于沉积类型较为单一,构造相对简单的油藏,这种条件下地震解释的精度较高,建立的地质模型相对可靠,反演的结果也更加准确。

参考文献:

[1] 何火华,李少华,杜家元,等.利用地质统计学反演进行薄砂体储层预测[J].物探与化探,2011,35(6):804-807.
[2] 慎国强,孟宪军,王玉梅,等.随机地震反演方法及其在埕北 35 井区的应用[J].石油地球物理勘探,2004,39(1):75-81.
[3] 罗士利,罗中华,黄景秋.随机反演技术在薄互层储层预测中的应用[J].吉林大学学报:自然科学版,2006,36:58-61.

[4] 苏云,李录明,钟峙,等.随机反演在储层预测中的应用[J].煤田地质与勘探,2009,37(6):63-66.
[5] 陈殿远.随机地震反演技术在 WC13-1 油田随机地质建模中的应用[J].中国海上油气,2004,16(4):250-253.
[6] 孙思敏,彭仕宓.地质统计学反演方法及其在薄层砂体预测中的应用[J].西安石油大学学报:自然科学版,2007,22(1):41-44.
[7] 宁松华,曹森,刘雷颂,等.地质统计学反演在三道桥工区储层预测中的应用[J].石油天然气学报,2014,36(7):52-54.
[8] 原福堂,董红,朱再文,等.地质统计随机反演与约束稀疏脉冲反演在储层预测中的应用对比[J].石油天然气学报,2014,36(7):55-59.
[9] 赵继龙,王俊鹏,张先龙,等.基于地震多属性融合与地质统计学反演的薄层砂岩预测[J].地质科技情报,2014,33(5):93-98.
[10] 尚建林,李太辉,霍新勇,等.地质统计学反演预测百口泉油田百 34 井区薄砂体[J].新疆石油地质,2009,30(6):758-760.
[11] 杨敏芳,杨瑞召.随机岩性反演在茂兴地区薄储层预测中的应用[J].石油天然气学报,2009,31(3):222-225.
[12] 刘占族,张雷,霍丽娜,等.地质统计学反演在煤层气薄储层识别中的应用[J].石油地球物理勘探,2012,47(1):30-34.
[13] 王雅春,王璐.地质统计学反演在杏北西斜坡区储层预测中的应用[J].地球物理学进展,2013,28(5):2554-2560.
[14] 董奇,卢双舫,张学娟,等.地质统计学反演参数选取及反演结果可靠性分析[J].物探与化探,2013,37(2):328-332.
[15] 余振,王彦春,何静,等.基于叠前 AVA 同步反演和地质统计学反演的高分辨率流体预测方法[J].石油地球物理勘探,2014,49(3):551-559.

The application of geostatistical inversion to reservoir prediction of Tuo 11 south area

YANG Guo-Jie¹, SONG Li-Yuan², SHANG Jian-Xia³

(1. West Branch of Exploration and Production Research Institute of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, China; 2. Geological Institute of Shengli Production Factory of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, China; 3. Zhanjiang Branch of CNOOC Co., Ltd., Zhanjiang 524057, China)

量系统[J].仪表技术与传感器,2008(5):87-88.

仪中的应用[J].仪表技术与传感器,2010(1):18-19.

[15] 高厚秀,李波,吴来杰,等.Agilent34401A 在沉积物热导率测量

Research on temperature calibration technique of submarine heat flow probe

PENG Deng, LUO Xian-Hu, XU Xing, CHEN Ai-Hua
(Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: The submarine heat flow probe is a high-resolution, high-precision temperature measurement equipment, temperature calibration is carried out periodically which is an essential part to ensure the accuracy of the measurement data. The traditional temperature calibration is not applicable to Guangzhou Marine Geological Survey temperature gradient probe because of the size and other technical indicators of the submarine heat flow probes, design a calibration method based on US Seabird SBE 917plus type conductivity-temperature-depth system (CTD) which is suitable for deep-sea temperature measurement equipment. This method can be applied to check sea-floor heat flow probe by sea trials, which provides a new checking method while the conventional methods can not be verified in the deep sea temperature measurement equipment. This method achieved good results in the offshore applications survey and broaden its applications, which can also be used to temperature calibration for other deep-sea temperature measurement devices.

Key words: heat flow probe; temperature; calibration; CTD; thermostatic bath

作者简介: 彭登(1987-),男,工程师,华南理工大学研究生毕业,现从事海洋地质与地球物理调查和技术方法研究工作。

上接 1198 页

Abstract: The prediction of oil-bearing sand of the second member of Eocene Shahejie Formation of Tuo 11 south area faces many problem.First,oil-bearing sand cannot be identified by seismic data because of the small thickness;Second,there exists difference of P-impedance between oil-bearing sand and water-bearing sand.Through the analysis of the geophysical characteristics of oil-bearing sand and water-bearing sand,the authors predicted the spatial distribution characteristics of oil-bearing sand using geostatistical inversion under the constraints of resistivity curve,and also predicted the oil-water interface.Inversion results have confirmed that the oil-water interface is at about the depth of 2 237 m,which expands the oil-bearing area determined by early studies and is in good agreement with the results of the new drilling.Geostatistical inversion results have achieved good result in Tuo 11 south area for the first time,which widens the train of thought for the further exploration.

Key words: Tuo 11 south area;the second member of Eocene Shahejie Formation;oil-bearing sand;geostatistical inversion;seismic data

作者简介: 杨国杰(1986-),男,2012年毕业于中国石油大学(华东)矿产普查与勘探专业,现从事油气田勘探储层预测工作。