

doi: 10.11720/wtyht.2018.1202

陈德元, 张保卫, 岳航羽, 等. 基于特征曲线构建的地质统计反演在薄砂体预测中的应用[J]. 物探与化探, 2018, 42(5): 999-1005. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1202>

Chen D Y, Zhang B W, Yue H Y, et al. The application of geostatistical inversion based on characteristic curve structuring technology to thin sand body reservoir prediction[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(5): 999-1005. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1202>

## 基于特征曲线构建的地质统计反演在薄砂体预测中的应用

陈德元<sup>1,2</sup>, 张保卫<sup>1,2</sup>, 岳航羽<sup>1,2</sup>, 范含周<sup>3</sup>

(1. 国家现代地质勘查工程技术研究中心, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000; 3. 中国石油集团 东方地球物理勘探有限责任公司采集技术支持部, 河北 涿州 072751)

**摘要:** 为了解决扇三角洲前缘薄砂体预测分辨率不高的问题, 文中针对舍女寺油田女 59 断块的基本地质特点, 利用约束稀疏脉冲反演和基于特征曲线构建的地质统计反演两种方法, 对该区孔二段 1 砂组的砂体进行了预测, 对计算结果的地质效果有效性进行了评价, 根据不同井网密度及不同地下地质条件选择相适应的反演结果。与常规方法相比, 采用基于特征曲线构建的地质统计反演适用于井密集开发区单砂体的预测。在井稀少的探区, 约束稀疏脉冲反演方法更适合砂层组的预测。该项技术有效地指导了女 59 井区孔二段 1 砂组油砂体的开发工作。

**关键词:** 扇三角洲前缘; 薄砂体预测; 约束稀疏脉冲反演; 特征曲线; 地质统计反演

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2018)05-0999-07

### 0 引言

波阻抗反演是储层定量预测中的常用手段, 常用反演方法包括递推反演、基于模型的反演、约束稀疏脉冲反演和地质统计反演等<sup>[1-9]</sup>。递推反演对于噪声比较敏感, 反演结果容易出现误差累积现象。基于模型的反演虽然适用于各种复杂储层的地震预测, 但其对井网密度要求较高, 井太少, 离井太远的区域, 预测结果具有不确定性。约束稀疏脉冲反演优点是对井网密度要求不高, 工区有一口井即可, 无井处砂体预测主要依赖地震数据, 缺点是分辨率不高, 不能用来有效识别薄单砂体。地质统计反演优点是分辨率高, 缺点是对井网密度要求高, 要求井数 7、8 口以上, 且分布均匀, 该方法只能应用于三维工区。

利用约束稀疏脉冲反演和基于特征曲线构建的地质统计反演两种方法, 针对研究区舍女寺油田女

59 断块的基本地质特点, 根据不同井网密度及不同地下地质条件选择不同的预测方法, 实现了该区孔二段 1 砂组的砂体预测, 对预测结果的有效性, 进行了有效性评价。

### 1 问题的提出

舍女寺油田构造位置处于黄骅凹陷南部沧东断裂下降盘, 沧东断鼻带中段, 南北被南皮、沧东两生油凹陷所夹持, 东接叶三拨、孔店构造带。女 59 断块整体是一个断块构造, 受两条断层夹持, 向东北开口, 构造整体西南高、东北低, 高点在开发井集中部位, 其内部构造被数条交割断层复杂化(图 1)。工区东北部有 3 口井, 西南部有 10 口井, 工区内井位分布不均, 采用单一反演方法不能够获得很好的反演效果, 因此对反演方法的选择, 提出了较高的要求。

研究区孔二段属于辫状河三角洲沉积相和沉积

收稿日期: 2017-05-18; 修回日期: 2018-04-13

基金项目: 松辽外围西部盆地油气基础地质调查项目(DD20160164); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(AS2016J01)

作者简介: 陈德元(1982-), 辽宁沈阳人, 主要从事物探解释工作。Email: chendeyuan@igge.cn

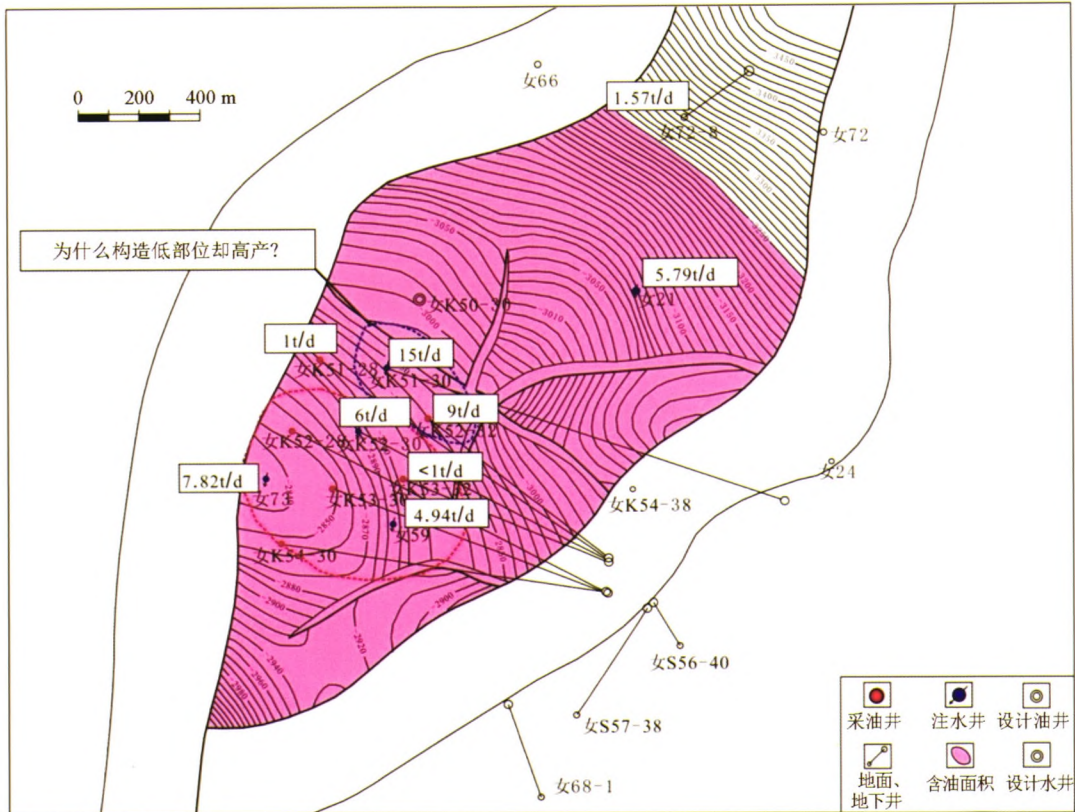


图 1 试油情况与构造部位的关系

体系的三角洲前缘亚相沉积类型。孔二段 1 砂组属于受断层遮挡的断块构造油藏类型。女 59 断块的西南部开发区主力砂层组孔二段 1 砂组段单砂体只有 2~10 m,由于砂体薄,常规的反演结果难以刻画出单砂体的范围和空间形态,满足不了开发要求;在构造相对低部位的女 K51-30 产量相对较高,需要合理的地质解释。

2 反演方法特点分析

为了解决研究区存在的难点,需要分析不同反演方法的特点。约束稀疏脉冲反演利用地震常规资料,以地质规律和钻井、测井资料为约束条件,对地下岩层和物性进行反演。首先建立含低频成分的初始地质模型,采用模型优选迭代算法,直接反演波阻抗;通过不断修改更新模型,使模型正演合成地震资料与实际地震数据达到最佳吻合,最终获得储层参数反演结果。约束稀疏脉冲反演由于对井的依赖程度低,适用于勘探初期或者井少的区域<sup>[10-11]</sup>。

在实际研究中,往往存在声波时差或者声波阻抗,使得砂岩和泥岩不能得到有效区分,为此学者们提出了特征曲线重构技术,即寻找岩性敏感曲线,如

自然伽马 (GR)、真电阻率 (RT)、自然电位 (SP) 等曲线,综合以上几种曲线对地层进行砂岩、泥岩岩性划分,得到岩性识别剖面,从而获得岩性指示系数曲线,采用权重系数加权法将岩性指示系数曲线与声波时差曲线相乘,产生既与原始声波低频趋势严格一致、又具有砂泥分异特征的拟声波特征曲线,结合地质统计反演 (MCMC 马尔可夫—蒙特卡洛算法),便能得到高分辨率岩性特征体,适合薄层或者单砂体分析 (图 2)。

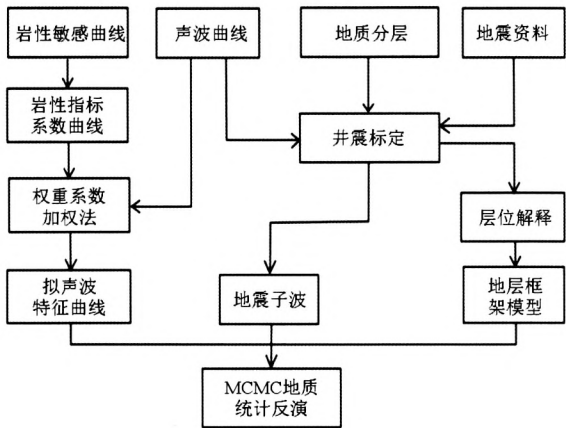


图 2 基于特征曲线构建的地质统计反演流程

实际上,对于本区的研究,原始声波时差不能有效区分砂岩和泥岩,自然伽马泥岩基线不明显,而真电阻率曲线容易受矿物组份、流体类型、流体饱和度等多种因素影响,仅仅依靠自然伽马或真电阻率其中一条曲线难以区分砂、泥岩,需要对自然伽马、真电阻率综合对比分析才能准确划分出岩性得到岩性识别剖面。根据岩性识别的成果,将泥岩段设定为 1,砂岩设定为 0.5,利用此岩性指示系数曲线(即非

0.5 即 1 岩性代码曲线)比例化地减小砂岩段的声波时差,即增大砂岩段的声波速度(即纵波阻抗),不改变泥岩段的声波时差,进一步得到拟阻抗曲线,采用地质统计反演方法获得高分辨率阻抗体。图 3 从左至右依次为输入的自然伽马、真电阻率、声波时差、输出的岩性指示系数曲线、岩性识别剖面 and 拟声波特征曲线。

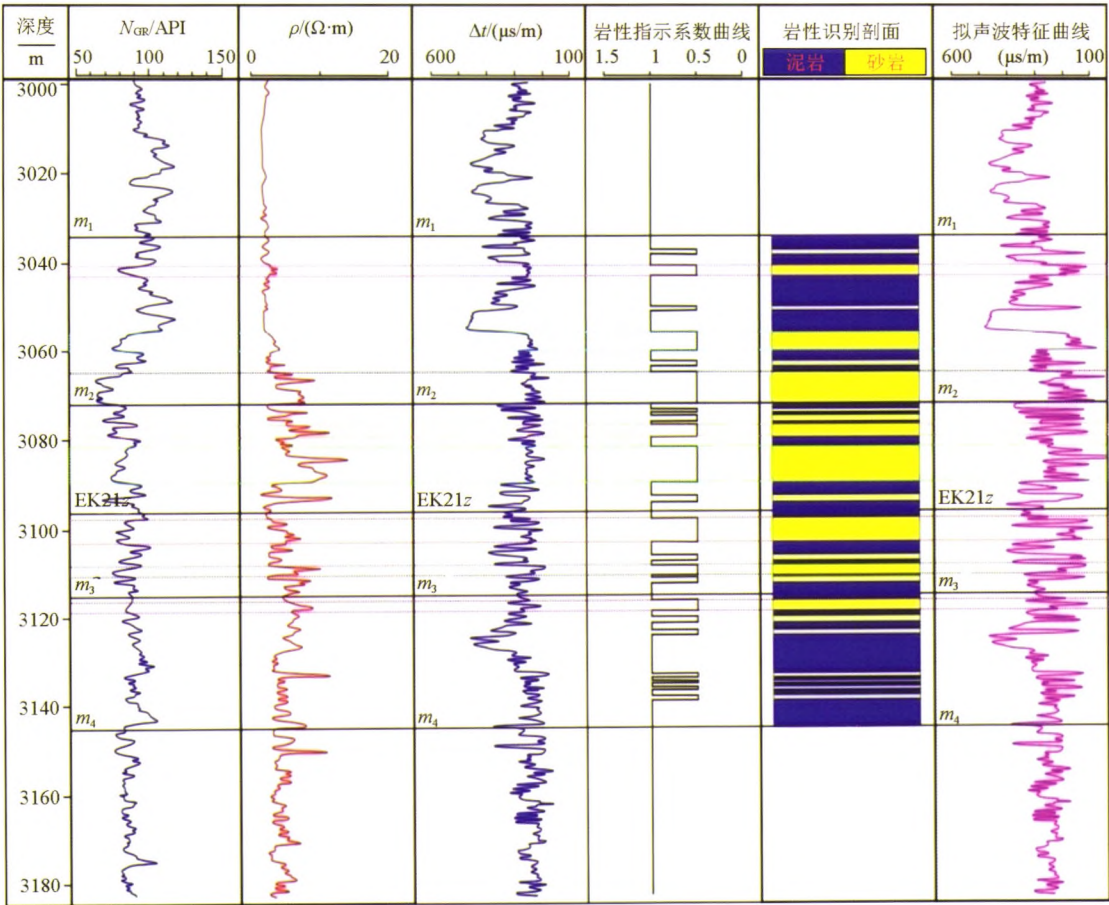


图 3 构建拟声波特征曲线

3 应用实例效果分析

根据研究区东北部井少、井位分布稀疏,西南部井多、分布稠密的特点,在东北部采用约束稀疏脉冲反演方法、在西南部采用基于特征曲线构建的地质统计反演方法的策略。

结合区域孔二段沉积相带分布图(图 4)来分析。孔二段物源从东北方向来,东北部比西南部更接近于扇根位置,东北部的砂体更容易连片分布,因此判断女 21 井处的砂体与北部的女 72 井和女 72-8 井处砂体是广泛分布的。对比分析两种反演的结果(图 5 和图 6),综合判断约束稀疏脉冲反演方法更

适合东北部,约束稀疏脉冲反演的结果更能反映砂体的地质特征。

对于井密集的西南部开发区,约束稀疏脉冲反演预测结果不能有效识别孔二段 1 砂组主力砂层,而基于特征曲线构建的地质统计反演预测结果却能清晰刻画主力砂层轮廓,局部地方甚至可以识别单砂体。应用约束稀疏脉冲反演方法得到的反演剖面如图 7a 所示,红色箭头指示的是目的层的砂组,只能反映砂组复合信息,砂组边界不清晰,难以分出单砂体;应用基于特征曲线构建的地质统计反演方法反演的阻抗剖面图如图 7b 所示,目的层的单砂体边界非常清楚;图 7c 是对图 7b 拟阻抗到砂泥岩体的转换,该剖面清晰地刻画了单砂体的叠置形态。

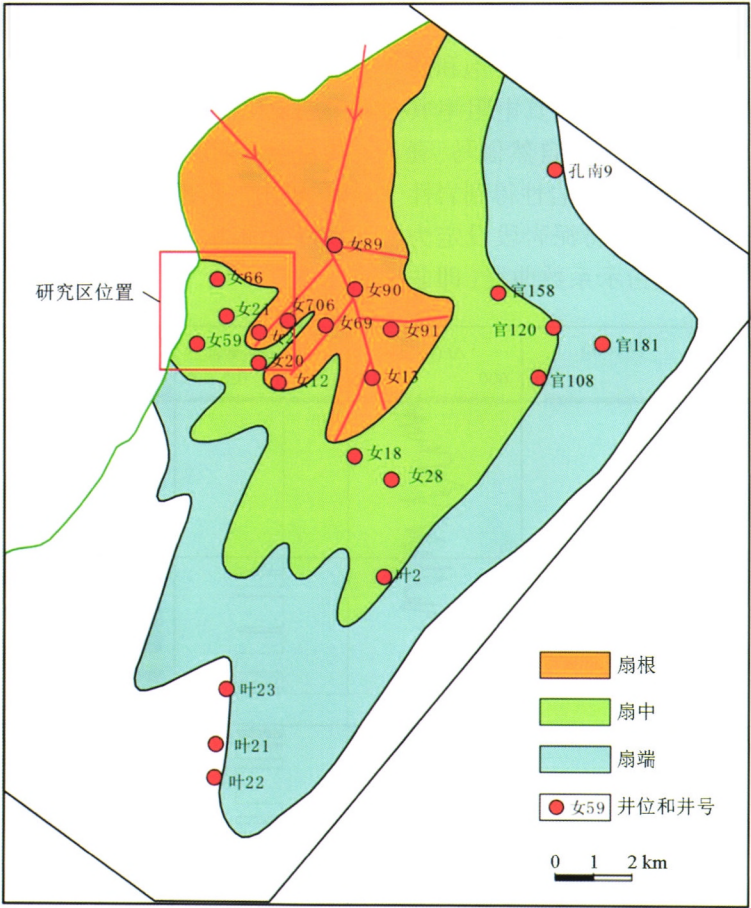


图 4 舍女寺地区孔二段沉积相带

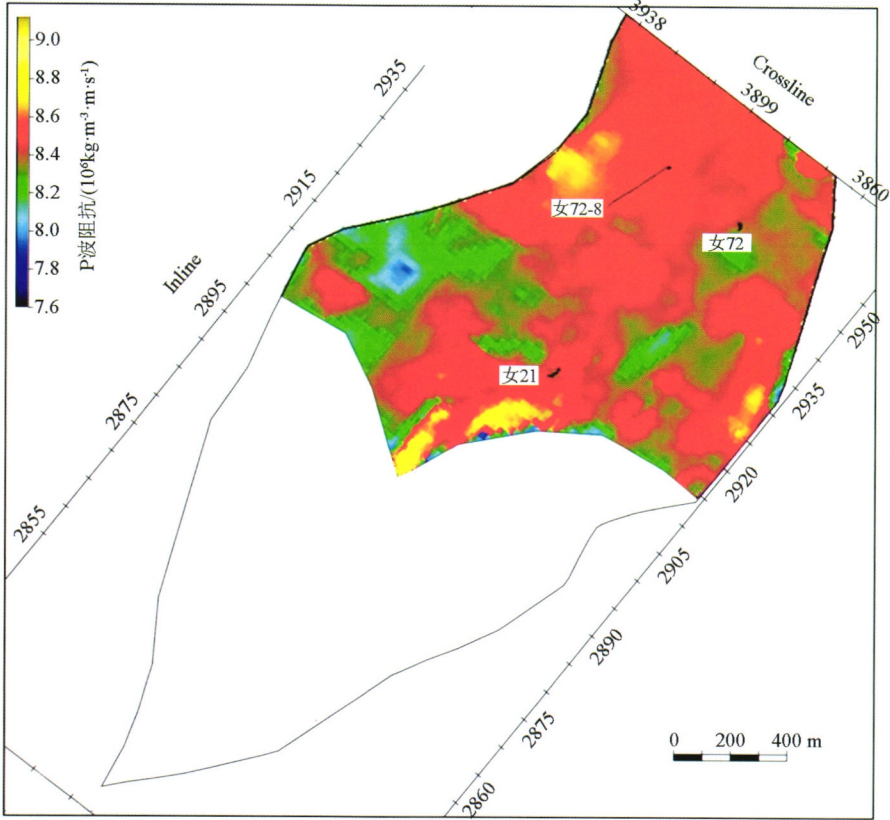


图 5 东北部目的层约束稀疏脉冲反演波阻抗平面

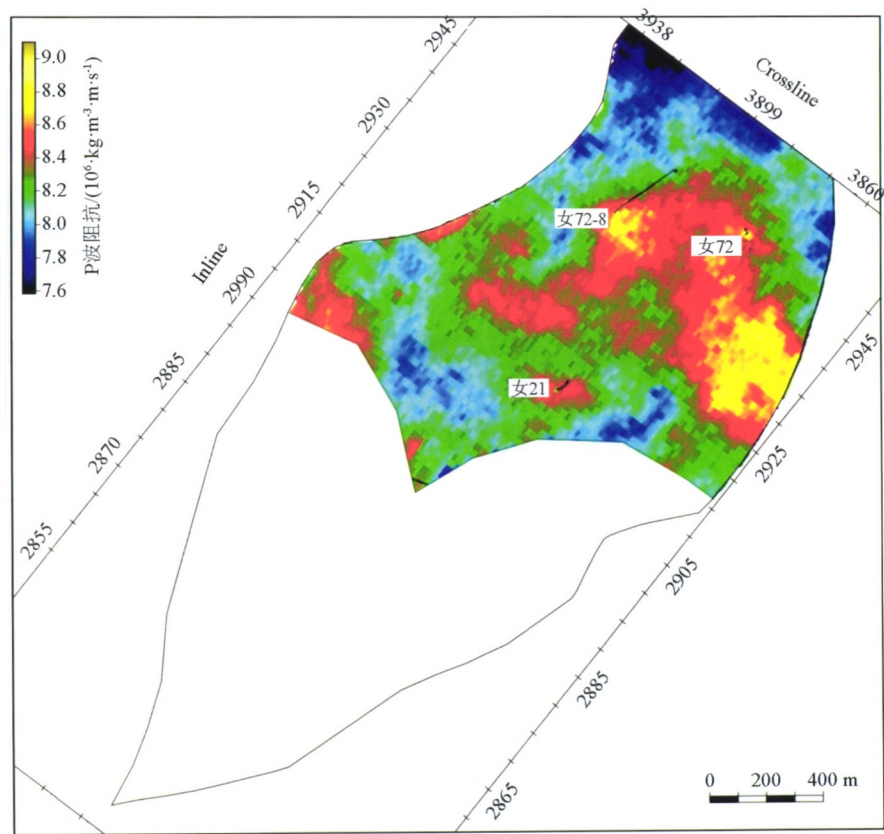
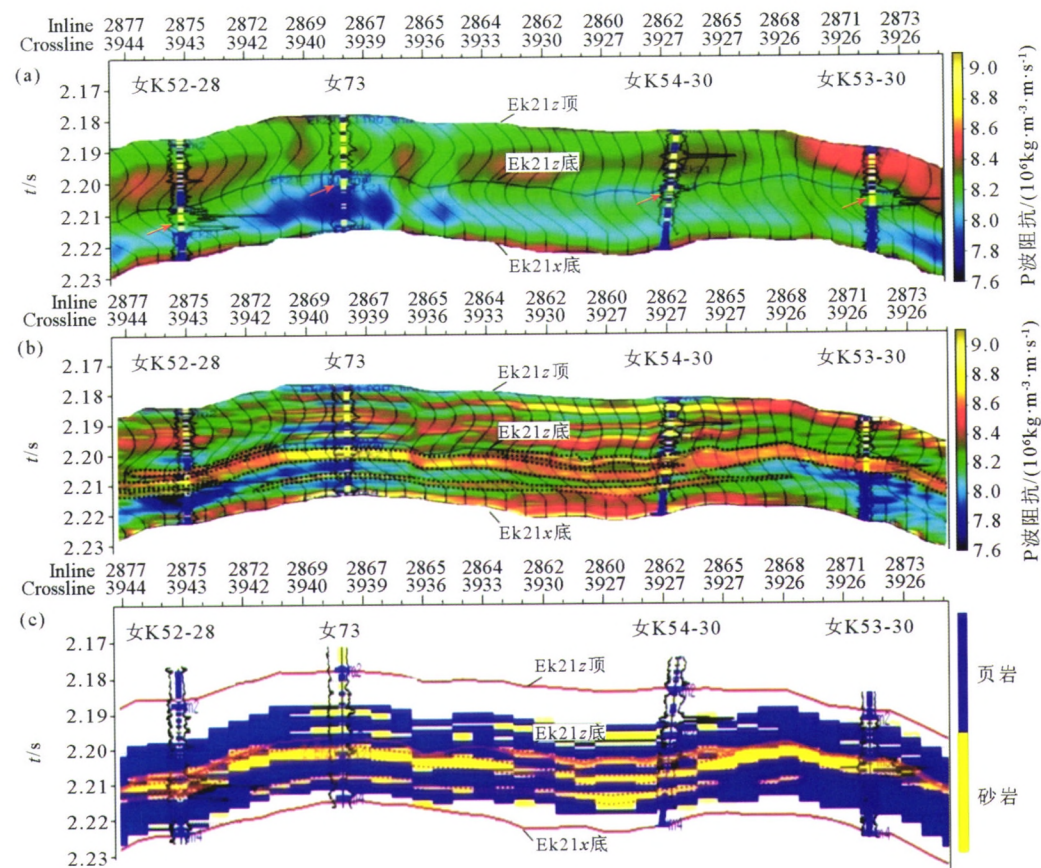


图 6 东北部目的层基于特征曲线构建地质统计反演波阻抗平面



a—约束稀疏脉冲反演剖面;b—基于特征曲线构建地质统计反演剖面;c—岩性刻画剖面  
图 7 西南部过女 K52-28、女 73、女 K54-30 和女 K53-30 井连井线不同剖面对比

进一步对女 59 断块西南开发区进行分析。由于采用了基于特征曲线构建的地质统计高分辨率反演,得到了高分辨率的阻抗体,借助该阻抗体精确地刻画了女 K51-30 附近主力单砂体分布范围和空间形态。通过对砂体进行仔细雕刻和分析后,发现在女 K51-28、女 K51-30 和女 K52-32 井附近存在一个独立的砂体,该砂体被解释为岩性圈闭(图 8)。由

于该岩性圈闭的存在,使得后两口井高产,而在高位的女 K52-30 却相对低产,从而解释了女 K51-30 井处于构造低部位却高产的原因。

综上所述,由于井控程度的不同以及反演算法适用条件的差异,在东北部约束稀疏脉冲反演方法结果更适应,在西南部地质统计反演结果更加精细可靠。

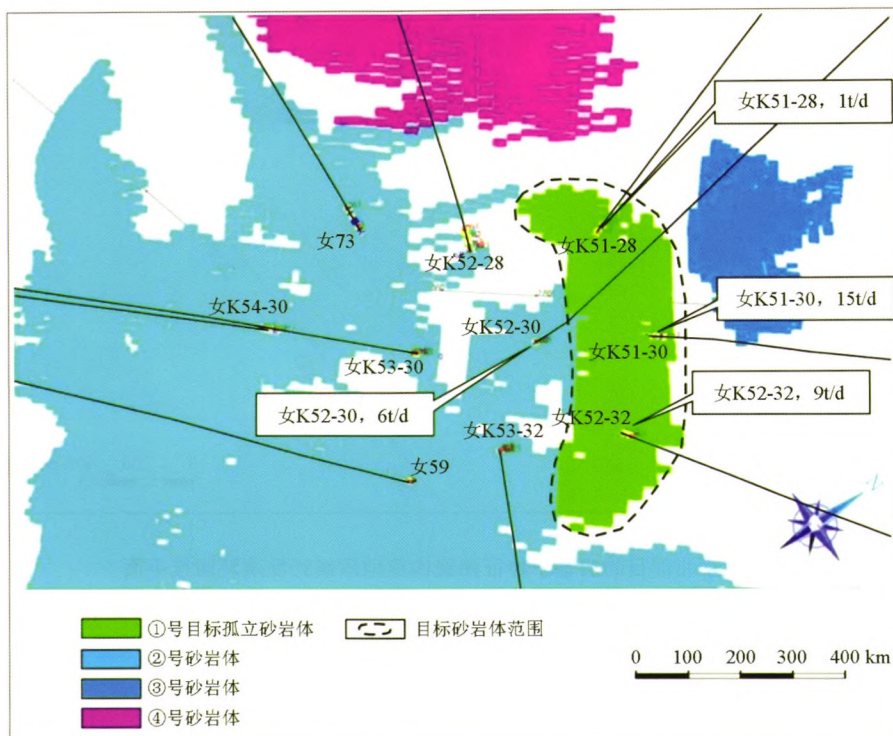


图 8 女 K51-28、女 K51-30、女 K52-32 井区目的层砂体三维镂空雕刻

## 4 结论

文中分析了研究区女 59 断块的基本地质特点,针对不同区域钻井数量和地质条件应用不同的反演方法,实现了孔二段 1 砂组的砂体预测,获得了很好的应用效果。

1)采用基于特征曲线构建的地质统计反演适用于井密集开发区单砂体的预测,在井稀少的探区,约束稀疏脉冲反演方法更适合砂层组的预测。

2)基于特征曲线构建的地质统计反演方法充分利用了特征曲线识别岩性的有效性和地质统计反演的高分辨率特点,是一种行之有效的薄砂体的预测技术。

**致谢:**衷心感谢大港油田勘探开发研究院刘海富主任和油田信息中心专家陈斌、单立群博士的指导和帮助,感谢审稿专家提出的建设性的意见。

## 参考文献:

- [1] 王家映.地球物理反演理论(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [2] 许升辉,马劲风.波阻抗反演中多井条件下的子波提取方法[J].地球物理学进展,2003,18(4):623-627.
- [3] Cooked A S,Chneider W A.Generalized linear inversion of reflections seismic data[J].Geophysics,1983,48(6):665-675.
- [4] 周竹生,周熙襄.宽带约束反演方法[J].石油地球物理勘探,1993,28(5):523-536.
- [5] 李宏兵.具有剔除噪音功能的多道广义线性反演[J].石油物探,1996,35(4):11-17.
- [6] 林小竹,杨慧珠,汤磊.无井多道反演[J].石油地球物理勘探,1998,33(4):448-452.
- [7] 林小竹,杨慧珠.有井多道反演[J].石油物探,1999,38(4):44-50.
- [8] Mallick S,Huang X,Lauve J,et al.Hybrid seismic inversion reconnaissance tool for deepwater exploration[J].Leading Edge,2000,19(11):1230-1237.
- [9] 栾颖.约束稀疏脉冲波阻抗反演方法在煤层识别中的应用[D].长春:吉林大学,2010.
- [10] 安鸿伟,李正文,李仁甫.稀疏脉冲波阻抗反演在 YX 油田开发

- 中的应用[J].石油物探,2002,41(1):56-57.
- [11] Pebecca B L, Rick D. An interpreter's guide to understanding and working with seismic-derived acoustic impedance data[J]. Leading Edge, 2000, 19(3): 242-256.
- [12] 曹丹平, 印兴耀, 张繁昌, 等. 井间地震资料精细解释方法研究与应用[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(4): 1209-1215.
- [13] 张进铨. 地震解释技术现状及发展趋势[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 578-587.
- [14] 孟宪军, 王延光, 孙振涛, 等. 井间地震资料时间域波阻抗反演研究[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 47-54.
- [15] 张延玲, 杨长春, 贾曙光. 地震属性技术的研究和应用[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(4): 1129-1133.
- [16] 姚姚. 地球物理非线性反演模拟退火法的改进[J]. 地球物理学报, 1995, 38(5): 643-650.
- [17] 王赟, 王妙月, 彭苏萍. 地球物理随机联合反演[J]. 地球物理学报, 1999, 42(s1): 142-151.
- [18] 张宏兵, 杨长春, 尚作萍. 基于构造约束的波阻抗边界刻画[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 817-825.
- [19] 杨文采. 地震道的非线性混沌反演——理论与数值试验[J]. 地球物理学报, 1993, 36(3): 376-386.
- [20] 尹成, 谢桂生, 吕忠育, 等. 地震反演与非线性随机优化方法. 物探化探计算技术, 2001, 23(1): 6-10.
- [21] 张宏兵, 杨长春, 尚作萍, 等. 基于软约束模式的波阻抗反演[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 837-844.
- [22] 吕铁良, 王永刚, 谢万学, 等. 稀疏脉冲反演技术在井间地震反演中的应用[J]. 石油物探, 2007, 46(1): 58-63.
- [23] 郭朝斌, 杨小波, 陈红岳, 等. 约束稀疏脉冲反演在储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2006, 45(4): 397-401.
- [24] 穆星. 稀疏脉冲波阻抗反演参数对反演效果的影响研究[J]. 工程地球物理学报, 2005, 2(2): 104-108.
- [25] 王权锋, 郭科. 约束稀疏脉冲反演在储层预测中的应用[J]. 测井技术, 2008, 32(1): 33-36.
- [27] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 1-35.
- [28] 张永刚. 地震波阻抗反演技术的现状与发展[J]. 石油物探, 2002, 41(4): 385-390.
- [29] 付跃东. 信噪比对波阻抗反演效果影响研究[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(5): 2659-2666.

## The application of geostatistical inversion based on characteristic curve structuring technology to thin sand body reservoir prediction

CHEN De-Yuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Bao-Wei<sup>1,2</sup>, YUE Hang-Yu<sup>1,2</sup>, FAN Han-Zhou<sup>3</sup>

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China; 2. National Center for Geological Exploration Technology, Langfang 065000, China; 3. Collecting Technical Support Department, Oriental Geophysical Prospecting Co., Ltd., PetroChina, Zhuozhou 072751, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of low prediction resolution for fan delta front thin sand body, the authors, considering basic geological characteristics of Nv59 fault-block in the Shenusi oilfield, utilized the advantages and disadvantages of the constrained sparse spike inversion and geostatistics inversion method, predicted sand body of Ek21 of this block, and evaluated the effectiveness of the geological effect of the calculated result. According to different well densities and different underground geological conditions, the authors chose adaptive inversion result. Compared with conventional methods, geostatistics inversion based on characteristic curve structuring is more suitable for single body prediction in development areas with dense wells. In areas where the wells are scarce, constrained sparse spike inversion is more suitable for prediction of thick sand group. This technique has guided the development of Ek21 oil sands at Nv59 fault block effectively.

**Key words:** fan delta front; thin sand body prediction; constrained sparse spike inversion; characteristic curve; geostatistics inversion

(本文编辑:叶佩)