

# 利用断层模型约束反演技术进行储层预测

徐立恒\*<sup>①</sup> 李杰<sup>①</sup> 姜岩<sup>①</sup> 许彦才<sup>②</sup>  
陈显森<sup>①</sup> 周华建<sup>①</sup> 杨丽瑛<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>大庆油田有限责任公司勘探开发研究院,黑龙江大庆 163712; <sup>②</sup>中国石油工程造价管理中心涿州分部,河北涿州 072751)

徐立恒,李杰,姜岩,许彦才,陈显森,周华建,杨丽瑛. 利用断层模型约束反演技术进行储层预测. 石油地球物理勘探, 2012, 47(3): 473~476

**摘要** 本文通过井震结合,建立了喇嘛甸油田北北二区块的构造模型,具体作法为:①利用井分层数据产生深度域顶部层面,应用地震构造解释产生时间域构造层面,通过合成记录建立油层组级别的速度场,并将深度域构造层面数据进行转换得到时间域数据;②以地震构造层面为趋势约束,最终得到时间域的各油层组构造层面;③对断层与断层、断层与层位进行交切,通过准确定义断层关系以及断层与层位之间的关系,使断层上、下盘地层的过渡符合实际地质情况。在构造模型的基础上,利用断层模型约束进行地质统计学反演,经与测井解释结果对比,砂体预测可信度明显提高。利用该预测结果落实了井网控制程度较低区域的断层附近砂体分布,对断层附近水平井设计提供了依据。

**关键词** 构造模型 断层模型约束 地质统计学反演 储层预测

中图分类号:P631 文献标识码:A

## 1 引言

地震反演是利用地震信息进行砂体预测的主要方法之一。在反演时,建立合理、准确的初始模型,可以提高储层预测精度<sup>[1~3]</sup>。在常规地震反演过程中,由于存在反演软件中断层建模过程繁琐、建模精度较低以及主流断层建模软件与反演软件不兼容等问题,因此在反演时要简化建模流程,在建立地质框架模型时一般不考虑断层的存在,并在断点处进行简单的拉平,使得在断层较发育地区的储层反演结果与实际相差较大<sup>[4,5]</sup>。

喇嘛甸油田已开发 30 多年,经过多年的探索和实践,形成了独具特色的密井网砂岩储层精细描述方法,在指导油田开发中发挥了重要作用。在 2008 年完成了三维三分量(3D3C)地震采集和处理,并应用常规地震反演方法进行了喇嘛甸油田北北二区块 SⅢ组油层砂体预测。由于 SⅢ组油层砂体的平面非均质性较强,且预测结果在断层附近不够精确,加

之断层附近井网密度相对较小、井位不均匀、砂体井控程度较低,因此在断层附近砂体预测结果的可靠性较低。

为提高断层附近砂体预测可信度,文中以喇嘛甸油田北北二区块为研究对象,开展了断层模型约束下的地质统计学反演技术研究。主要做法是利用相干体、蚂蚁体切片确定断层平面的走向特征,在剖面上采用井点处断点引导小断层解释,准确落实其空间位置,并建立精细的断层模型,在此基础上,利用断层约束反演技术,进行断层区域的砂体预测。

## 2 断层识别及构造地质模型建立

### 2.1 断层识别

喇嘛甸油田位于大庆长垣的最北端,地形呈西陡东缓,油藏主体是松辽盆地中央拗陷的一个三级构造,南与萨尔图构造呈鞍部相接,是一个受构造控制的短轴背斜气顶油藏,整个构造被两组北西方向延伸的大断层切割,分成面积不等的南、中、北三大

\* 黑龙江省大庆市大庆油田有限责任公司勘探开发研究院,163712. Email:daqing\_daruo@163.com

本文于 2011 年 6 月 16 日收到,最终修改稿于 2012 年 3 月 22 日收到。

本研究受国家重点基础研究发展计划“973”项目(2009CB219307)资助。

块。研究区为喇嘛甸油田北北二区块,断层较发育。利用地震数据进行断层解释的常规作法是:在地震剖面断层解释的基础上,利用蚂蚁体、相干体、时间切片、沿层切片等技术手段对研究区内断层进行初步解释,在剖面上采用井点断点引导,通过井点数据的精确合成记录深时转换,再将转换数据投影到地震剖面上,指导断层解释;然后对解释后的断层进行空间组合和归位,对于存在矛盾的部位检查地震和井断点解释的准确性,通过反复修改,直至达到精确的断层解释结果<sup>[6]</sup>。

图1为喇嘛甸油田北北二区块SⅢ层段的断层解释结果,由图中可见,该区块共发育15条断层,均属正断层,断距较大(最大断距为92.0m,最小断距为1.2m),断层走向以北北西向为主,还存在两条北东向断层,断层最大延伸长度为2.7km,最小延伸长度只有0.2km,断层平均倾角约为55°。由于该区存在不同走向断层,所以很难预测砂体沉积规律。

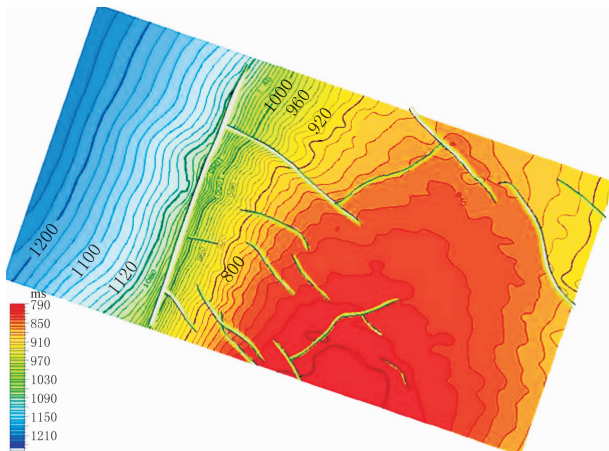


图1 喇嘛甸油田北北二区块SⅢ层段时间域地震解释构造等值线图

## 2.2 井震结合建立构造模型

根据地质分层数据生成SI、SⅡ、SⅢ、PI、PⅡ、GI、GⅡ、GⅢ等油层组顶部层面,然后将层面约束到井点,并调整各层面之间的关系,避免出现串层现象;同时将井震结合得到的断层信息加入到模型数据体中。对所建模型进行质量控制的关键点是:构造形态以原始井点数据为准;砂层组垂向厚度变化均匀,无奇异值;模型中的网格无交叉、扭曲现象。

由于地震资料揭示的地下反射界面的相对构造深度趋势是准确可信的,因此在建立构造模型时既要与原始井点数据吻合,又要保留地震数据的相对

趋势,并将地震解释层面作为建立最终层位的趋势面,得到忠实于井点的分层数据,且井间保留地震解释层面趋势的构造层面。具体流程如下:①应用井分层数据产生深度域SI、SⅡ、SⅢ、PI、PⅡ、GI、GⅡ、GⅢ顶部层面;②应用地震构造解释产生时间域构造层面;③应用合成记录建立油层组级别的速度场;④利用速度场,将深度域SI、SⅡ、SⅢ、PI、PⅡ、GI、GⅡ、GⅢ构造层面数据进行转换得到时间域顶部层面数据;⑤以地震构造层面为趋势约束,最终得到时间域的各油层组构造层面;⑥对断层与断层、断层与层位进行交切,在此过程中要准确定义断层关系以及断层与层位之间的关系,尤其在过断层面附近必须精细考虑,使断层上、下盘地层的过渡符合实际地质情况<sup>[7~9]</sup>。图2为研究区S、P、G油层组构造模型,由图中可见,层位与断层的交切较精细,可为后续的精反演及储层预测奠定良好基础。

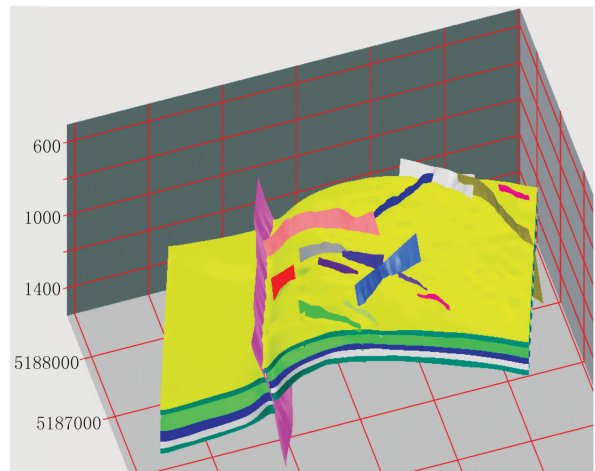


图2 研究区三维构造模型(时间域)  
网格精度为10m×10m×0.2m

## 3 断层模型约束下的地质统计学反演

变差函数是地质统计学方法中最常用的衡量储层空间关系的手段,主要利用测井曲线建立储层属性之间的相互关系,以反映某区域变量在某一方向上的变化,而且还能从总体上反映出砂体在某个方向的平均尺度,从而达到预测砂体规模的目的。地质统计学反演提供了大量超过地震数据带宽的细节内容,其趋势又和地震数据的变化一致,这就使基于现代岩溶理论的定性波形解释和量化的储层解释之间得到了一个最佳平衡<sup>[10,11]</sup>。

变差函数  $\gamma(x, h)$  是区域化变量  $Z(x)$  和  $Z(x+h)$  在两点处的增量的半方差,即

$$\gamma(x, h) = \frac{1}{2} \sum [Z(x) - Z(x+h)]^2$$

如图 3 所示,断层模型约束下的地质统计学反演实际是利用真实断面界面约束控制,对两侧地层属性(波阻抗)进行变差函数统计,并根据断层两侧的数据点之间的实际距离  $h$ ,计算断层处波阻抗数据点之间的相关性,从而使最终预测的砂体模型符合真实断层的分布特征,有效提高砂体的预测精度。

图 4 为喇嘛甸油田北北二区块反演砂体的三维分布图,由图中可见,砂体分布明显受控于建立的三维地质模型(图 2),且两者的趋势其本一致。图 5

为北北二区块过断层的砂体反演剖面图,由图中可见:无断层约束的反演结果(图 5a)在断裂带附近展示的砂体一直是连通的,明显受到断点处进行简单拉平的影响,因此与实际的砂体分布不符,特别是在开发期,会影响注采关系配置,导致砂体位置与实际情况有偏差;有断层模型约束的砂体预测结果(图 5b)与三口盲井的预测结果符合更好,说明了的断层模型约束反演方法的有效性。

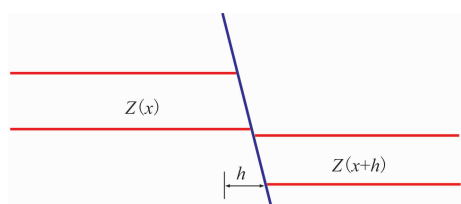


图 3 断层约束下地质统计学反演原理示意图

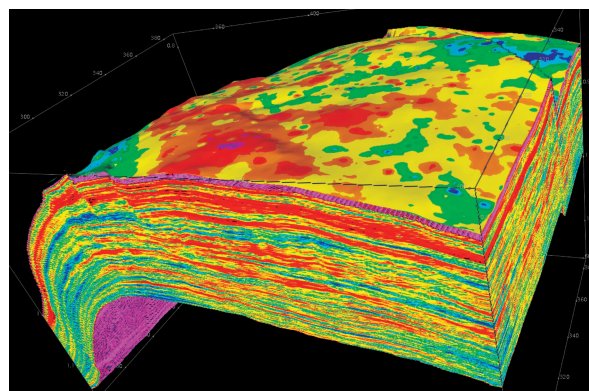


图 4 北北二区块 S、P、G 油层反演砂体的三维分布图

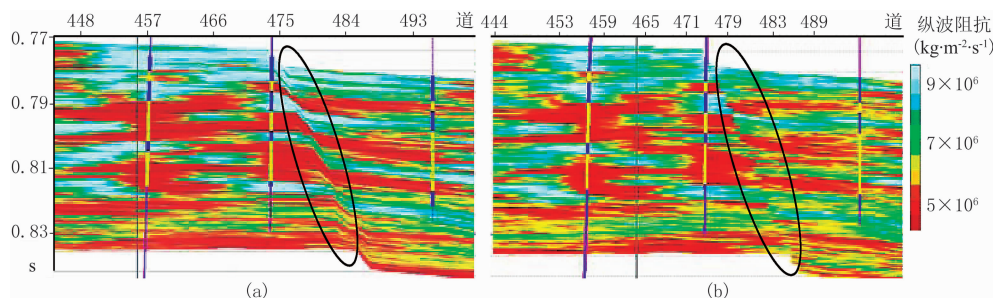


图 5 北北二区块过断层的砂体反演剖面图

(a)无断层约束; (b)有断层约束

## 4 反演成果在水平井设计中的应用

利用断层模型约束反演技术对断层边部油层进行挖潜研究。断层①与断层②是喇嘛甸油田较大的两条断层(图 6),断层边部井网密度相对较低,且注采关系不够完善,存在一定的剩余油潜力。以断层附近的  $S_{III}^{\frac{1}{3}}$  为目的层,利用水平井扩大泄油面积、提高油层动用程度,达到实现挖潜断层边部剩余油的目的。图 6 同时给出了  $S_{III}^{\frac{1}{3}}$  小层砂体顶面构造图及根据反演预测结果设计的三口水平井轨迹图,其中三口水平井的砂岩钻遇率平均达到 75% 以上。图 7 为喇 5—平 221 井实钻轨迹及反演预测的砂体

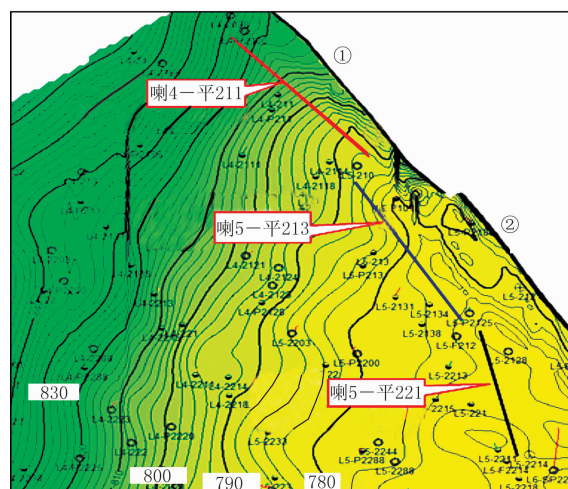


图 6 井震结合  $S_{III}^{\frac{1}{3}}$  层顶面构造图(单位:m)

分布,该井也是第一口完钻的水平井,该井实钻水平段长度为292m,钻遇砂岩厚度为277.2m,SⅢ<sub>3</sub>层的砂体钻遇率达到94.9%。从水淹层测井解释结果看,中水淹厚度为54.6m,低水淹厚度为123.4m,未被水淹厚度为99.2m。设计轨迹与实钻轨迹基本一致,与地震反演预测的砂岩分布吻合较好,说明地震反演成果的可靠性。

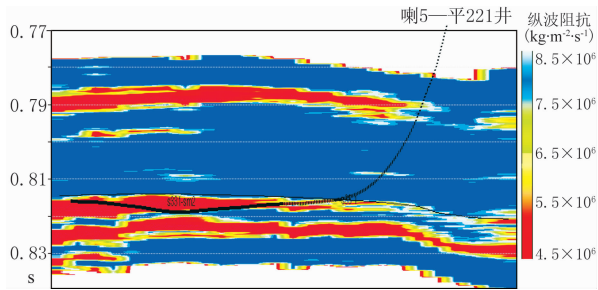


图7 喇5—平221井实钻轨迹及地震反演剖面图

## 5 结束语

文中利用断层建模约束反演技术对喇嘛甸油田北北二区块储层砂体进行了预测,其中建立精细的构造地质模型对于地质统计学反演这种利用模型驱动的反演方法是非常重要的。通过建立含有真实断层的地质框架模型,并用其约束地质统计学反演,反演结果能够精确反映储层的空间分布特征,与测井曲线具有良好的对应关系,提高了断层附近砂体的预测精度,并在SⅢ<sub>3</sub>层段断层附近水平井的设计中取得了成功。因此断层建模约束反演技术,对于井网密度相对较低、且注采关系不够完善的断层边部剩余油挖潜,具有良好的适用性。

### 参考文献

- [1] Dubrule O, Thibaut M, Lamy P et al. Geostatistical reservoir aracterization constrained by 3d seismic data. *Petroleum Science*, 1998, 4(2): 30~34
- [2] Haa S A, Dubrule O G. Geostatistical inversion-A sequential method for stochastic reservoir modeling constrained by seismic data. *First Break*, 1994, 13(12):25~30
- [3] 张永刚. 地震波阻抗反演技术的现状和发展. *石油物探*, 2004, 41(4): 385~390  
Zhang Yonggang. The present and future of wave impedance inversion technique. *GPP*, 2004, 41(4): 385~390
- [4] 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. *石油物探*, 2007, 46(1): 58~63  
Lü Tieliang, Wang Yonggang, Xie Wanxue et al. Application of sparse pulse inversion in crosswell seismic data. *GPP*, 2007, 46(1): 58~63
- [5] 宋维琪,赵万金,冯磊等. 地震高分辨率反演和地质模拟联合预测薄储层. *石油学报*, 2005, 26(1): 50~54  
Song Weiqi, Zhao Wanjin, Feng Lei et al. Prognoses of thin reservoir by combining seismic high-resolution inversion technology and geological simulation. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(1): 50~54
- [6] 王志君,黄军斌. 利用相干技术和三维可视化技术识别微小断层和砂体. *石油地球物理勘探*, 2001, 36(3): 378~381  
Wang Zhijun and Huang Junbin. Identification of micro-fault and sand body by using coherence technique and 3-D visualization. *OGP*, 2001, 36(3): 378~381
- [7] 张志伟,王春生,林雅平等. 地震相控非线性随机反演在阿姆河盆地A区块碳酸盐岩储层预测中的应用. *石油地球物理勘探*, 2011, 46(2): 304~310  
Zhang Zhiwei, Wang Chunsheng, Lin Yaping et al. Applications of facies-controlled nonlinear random inversion for carbonate reservoir prediction in Block A of Amu-darya Basin. *OGP*, 2011, 46(2): 304~310
- [8] 贺维胜,夏吉庄,杨宏伟等. 三维高分辨率模型的建立及应用. *石油学报*, 2007, 28(1): 58~60  
He Weisheng, Xia Jizhuang, Yang Hongwei et al. Development of three-dimension high-resolution model. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(1): 58~60
- [9] 杨懋新,刘金平,王允清等. 井震联合地质建模技术在扶杨油层油藏描述中的应用. *石油地球物理勘探*, 2010, 45(增刊1):130~133  
Yang Maoxin, Liu Jinping, Wang Yunqing et al. Application of well-seismic joint geology modeling technique in reservoir characterization in Fuyang reservoir. *OGP*, 2010, 45(S1): 130~133
- [10] 边树涛,狄帮让,董艳蕾等. 地质统计反演在东濮凹陷白庙气田沙三段储层预测中的应用. *石油地球物理勘探*, 2010, 45(3):398~405  
Bian Shutao, Di Bangrang, Dong Yanlei et al. Application of geostatistical inversion in reservoir prediction in the third member of Shahejie Formation, Baimiao Gas-field, Dongpu Depression. *OGP*, 2010, 45(3): 398~405
- [11] 孙思敏,彭仕必. 地质统计学反演及其在吉林扶余油田储层预测中的应用. *物探与化探*, 2007, 31(1):51~53  
Sun Simin, Peng Shimi. Geostatistical inversion method and its application to reservoir prediction of Fuyou oilfield in Jilin province. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2007, 31(1): 51~53

(本文编辑:刘勇)