

邓琳平, 丁峰, 林龙波, 等. 河流相砂体边界预测方法研究[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(3): 59-64.

DENG Linping, DING Feng, LIN Longbo, et al. A review of prediction methods for fluvial sand boundary[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(3): 59-64.

# 河流相砂体边界预测方法研究

邓琳平<sup>1</sup>, 丁峰<sup>1,2</sup>, 林龙波<sup>3</sup>, 尹成<sup>1</sup>, 张栋<sup>1</sup>, 刘嘉伟<sup>1</sup>

(1 西南石油大学地球科学与技术学院, 成都 610500; 2 四川中质鼎峰勘察技术有限公司, 成都 610500;

3 湖南继善高科技有限公司, 长沙 410023)

**摘要:**海上油田开发中后期, 识别并预测河流相砂体边界是老油田剩余油挖潜中亟待解决的重点问题。由于海上井点少、井距大, 砂体尺度小、散度大; 密井网条件下的测井方法和常规砂体边界地震识别方法并不适用。基于能反映砂体横向展布的地震属性, 使用联合双边滤波、Otsu 自适应阈值处理方法及形态学算法改进 Canny 算子, 进行河流相砂体边界的预测, 形成了一套自适应、高精度的河流相砂体边界的预测方法。从河流相砂体的沉积特点和演变规律出发, 建立了一组正演模型, 验证了方法的有效性。将此方法应用于渤海 Q 油田, 在目标层取得了良好的效果。

**关键词:** 河流相砂体边界; 剩余油; 联合双边滤波; Otsu; 形态学; Canny

中图分类号: P744.4; P631.4

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.186

## 0 引言

海上油田开发中后期, 对于小层级别的河流相砂体储层, 在横向上, 储层连通性会有较大变化, 从而影响着此类储层剩余油的分布<sup>[1-2]</sup>。识别并刻画砂体边界, 能够在很大程度上帮助老油田剩余油的挖潜<sup>[3]</sup>。

由于海上井距较大、井上资料不够充分, 陆上“以井为主”的砂体边界预测方法并不适用<sup>[4-5]</sup>。在此类储层中, 单期、多期砂体边界处的总体厚度皆小于地震调谐厚度, 常规针对尺度稍大的砂体边界的地震反演方法, 并不满足精度要求<sup>[6-8]</sup>。

在井资料不足且研究对象尺度小的情况下, 通过改进计算机边缘检测 Canny 算子来进行河流相砂体边界的预测。基于能反映砂体横向分布的地震属性, 首先利用联合双边滤波方法对其保边去噪; 再对去噪后属性进行非极大值抑制后, 基于 Otsu 自适应阈值法求取高低阈值并进行双阈值处理, 解决

算子漏检、误检问题; 最后利用形态学对预测结果进行优化并将优化结果与原始属性进行加权融合, 得到砂体边界属性。形成了一套自适应、高精度的河流相砂体边界的预测方法, 并在渤海 Q 油田取得了良好的应用效果。

## 1 方法流程及原理

### 1.1 方法流程

Canny 边缘检测算子是 CANNY J F<sup>[9]</sup> 于 1986 年开发出来的一个多级边缘检测算法。算子优势在于抗噪能力强且能够检测弱边缘<sup>[10-11]</sup>。针对小尺度的砂体边界, 基于传统算子, 在滤波方法、阈值处理及结果优化上改进算子, 进行预测, 其流程包括 6 个步骤(图 1): ①地震属性资料预处理。利用联合双边滤波对地震属性数据进行保边去噪, 提高资料的信噪比。②非极大值抑制。对滤波后的地震属性数据进行卷积运算, 按照数据梯度方向, 计算砂体边界的边缘强度。③阈值选取。利用 Otsu 法进行自适应阈值选取算子所需的高低阈值, 避免人工阈值所带来的误检、漏检。④双阈值滞后处理。对砂体边界的边缘强度属性进行阈值处理, 剔除伪

收稿日期: 2021-09-27

资助项目: 国家科技重大专项(2016ZX05025-001-001); 中国海洋石油有限公司科技外协项目(CCL2016RCPS0110RSN)

作者简介: 邓琳平(1996-), 男, 在读硕士, 主要从事储层解释方面的研究工作. E-mail: 1053486675@qq.com

边缘。⑤形态学处理。利用形态学算法,对预测结果进行处理,剔除孤点、毛刺。⑥属性融合。将形态学处理后的边界数据与原始属性进行加权融合,突出边界分布特征。

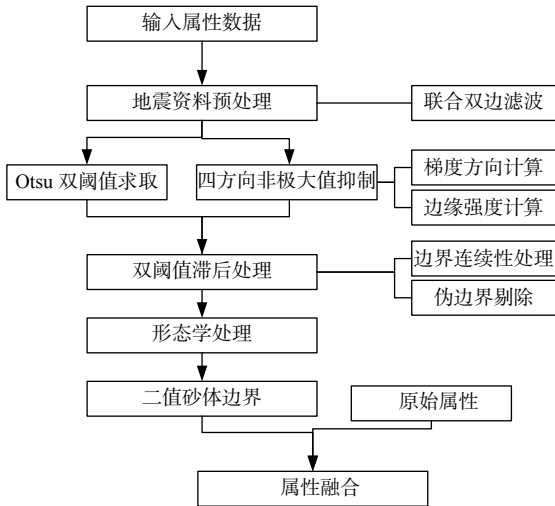


图1 河流相砂体边界预测流程图

Fig.1 The flow chart for fluvial facies sand body boundary prediction

1.2 方法原理

1.2.1 联合双边滤波

联合双边滤波 (Joint Bilateral Filter) 是一种基于双边滤波和高斯滤波的保边滤波方法,能够在保持边缘特征的前提下,同时抑制线性和非线性的随机噪声。其实现原理如下:

(1) 构建  $x \times y$  为滑动窗口的空间距离权重模板  $G_{\sigma_1}$

$$G_{\sigma_1}(h, w) = e^{-\left(\frac{(h-\frac{x-1}{2})^2 + (w-\frac{y-1}{2})^2}{2\sigma_1^2}\right)} \quad (1)$$

式中:  $(h, w)$  为该像素点当前在滑动窗口中的位置;  $(x, y)$  表示滑动窗口的大小,且  $x, y$  都为奇数;  $\sigma_1$  为空间距离权重模板的标准差。

(2) 构建相似性权重模板  $G_{\sigma_2}$

首先对源数据进行高斯滤波,得到数据体  $G_g$ ,方法如下:

二维高斯函数:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

式中:  $\sigma$  为标准差,  $(x, y)$  表示滑动窗口中的当前位置;  $(x_0, y_0)$  表示滑动窗口中的锚点(中心点)。

构建标准差为 0.8 的  $3 \times 3$  的高斯卷积核  $G_{gx}$ :

$$G_{gx} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

随后基于该卷积核对源数据进行卷积计算,得到平滑结果  $G_g$ ,并基于该结果构建相似性权重模板  $G_{\sigma_2}$ ,构建方式如下:

$$G_{\sigma_2}(h, w) = e^{-\left(\frac{(G_g(i, j) - G_g(m, n))^2}{2\sigma_2^2}\right)} \quad (4)$$

式中:  $(h, w)$  表示为该像素点当前在滑动窗口中的位置;

$G_g(i, j)$  表示滑动窗口中心点的值;

$(i, j)$  为其滑动窗口中心点坐标;

$G_g(m, n)$  表示滑动窗口中  $(m, n)$  坐标对应的值;

$\sigma_2$  为相似性权重模板的标准差。

(3) 构建最终权重模板  $W_p$

将空间距离权重模板  $G_{\sigma_1}$  与相似性权重模板  $G_{\sigma_2}$  的每个位置的值进行点乘,得到最终的权重模板  $W_p$ 。

$$W_p(h, w) = G_{\sigma_1}(h, w) \cdot G_{\sigma_2}(h, w) \quad (5)$$

式中:  $(h, w)$  为该像素点当前在滑动窗口中的位置。

(4) 构建  $h \times w$  的滑动窗口,并使权重模板  $W_p$  与原图  $I$  相计算得滤波结果  $I'$ 。

$$I'(i, j) = \sum_{m, n=0}^{m < h, n < w} \frac{W_p(m, n) I(m, n)}{W_p(m, n)} \quad (6)$$

式中:  $I'(i, j)$  为滑动窗口中中心点的像素值;

$(i, j)$  为其位置;

$(m, n)$  为滑动窗口中的当前位置。

1.2.2 Otsu 自适应阈值法

Otsu 法是大津展之于 1979 年提出的,是一种基于概率统计学原理的自适应阈值分割算法,是针对双峰图像的自适应阈值分割法<sup>[12-13]</sup>。其阈值求取函数如下:

$$\sigma^2(k) = \frac{(mM_0(k) - M_1(k))^2}{M_0(k)(1 - M_0(k))} \quad k \in [0, 255] \quad (7)$$

式中:  $\sigma^2(k)$  为灰度值为  $k$  时,前景、背景平均灰度与整体图像平均灰度的方差;

$m$  表示计算  $k = 255$  时的一阶累积矩;

$M_0(k)$  表示灰度值为  $k$  时,源数据的零阶累积矩;

$M_1(k)$  表示灰度值为  $k$  时源数据的一阶累积矩。

当取  $\text{MAX}[\sigma^2(k)]$  时,  $k$  的值为最佳分割阈值。

针对本方法,设定  $k$  为高阈值。对于 Canny 所需的低阈值,则根据属性数据的中值与高阈值的相对大小来进行设定。

1.2.3 形态学

数学形态学包括腐蚀、膨胀、开运算和闭运算。对于图像边缘检测中,开运算能够剔除图像中孤立的像素点,消除毛边等,并能保持源图案基本不变。

其运算过程包括对图像进行一次腐蚀运算, 再对腐蚀后的图像进行一次膨胀操作。

首先是构建腐蚀、膨胀基本的结构元  $B$ , 结构元可以在图像  $A$  上平移, 并同时施加交、并等集合运算。本文构建的是  $3 \times 3$  的平坦结构元来进行开运算, 其运算过程如下:

$$O(A, B) = A \circ B = (A \ominus B) \otimes B \quad (8)$$

式中:  $O(A, B)$  表示处理结果;

$\circ$  为开运算符号;

$\ominus$  表示腐蚀运算;

$\otimes$  表示膨胀运算。

## 2 应用分析

### 2.1 模型分析

目前海上高品质地震主频范围约在  $20 \sim 40$  Hz, 理论可分辨  $10 \sim 20$  m 的地层。而渤海秦皇岛、渤中等油田的井上资料显示, 新近系明化镇组下段储层, 主要为河流相沉积, 发育多期河道。目的层的单期砂体厚度为  $3 \sim 25$  m, 平均厚度约为  $8 \sim 13$  m。前人对于河流相砂体构型的研究可以总结为横向上河流相砂体呈现单期砂体孤立、两期砂体厚厚叠置、两期砂体薄薄叠置、两期砂体薄厚叠置; 纵向上, 不同期砂体间会存在一定范围内的高程差<sup>[14-16]</sup>。而当单期砂体由厚到薄(由薄到厚)时、两期砂体零高程接触(无叠置)、两期砂体薄薄叠置(薄互层)、两期砂体一薄一厚叠置(其间充斥夹层)、两期砂体厚厚叠置, 但其间存在高程差(其间夹厚层泥岩)时, 其间存在影响流通性的砂体边界; 两期砂体厚厚叠置, 且其间没有高程差时, 此时两期砂体彼此流通<sup>[17-18]</sup>。

所以在模型整体设计上, 根据现有地质资料, 始终围绕“小尺度”展开, 对不同叠置样式进行设定、分析。其中设定正演模型单期砂体厚度不超过  $10$  m, 横向侵蚀宽度  $0 \sim 20$  m, 纵向高程差  $0 \sim 10$  m, 纵向叠置厚度  $0 \sim 5$  m。除  $6$  个单期砂体外, 背景为泥岩, 其中泥岩速度  $2420$  m/s, 密度  $2.2$  g/cm<sup>3</sup>, 砂岩速度  $2340$  m/s, 密度  $2.1$  g/cm<sup>3</sup>。

在具体的模型中,  $1$  号砂体是为了研究单期砂体由厚到薄(由薄到厚)的边界预测情况;  $2$  号砂体是为了研究两期砂体在零高程差、刚好接触的情况下的边界预测情况;  $3$  号砂体是为了研究两期砂体在存在小高程差、薄薄叠置时的边界预测情况;  $4$

号砂体是为了研究两期砂体在存在小高程差、厚薄叠置时的边界预测情况;  $5$  号砂体是为了研究两期砂体在存在大高程差、厚厚叠置时的边界预测情况;  $6$  号砂体是为了研究两期砂体在零高程差、厚厚叠置时的边界预测情况。各河道叠置情况见表 1。

表 1 正演模型叠置情况  
Table 1 Superposition of forward modeling

河道序号	叠质模式	横向侵蚀长度/m	纵向高程差/m	侵蚀厚度/m	叠置区是否连通
1号	--	--	--	--	--
2号	与1号河道接触	0	0	0	不连通
3号	与2号薄薄叠置	5	2	2.5	不连通
4号	与3号厚薄叠置	10	3	4.5	不连通
5号	与4号厚厚叠置	0	10	0	不连通
6号	与5号厚厚叠置	20	0	5	连通

该模型生成的合成地震记录(图 2b)中, 雷克子波的参数为: 主频  $50$  Hz(峰值频率约为  $39$  Hz)由砂岩速度和雷克子波的主频可以算出  $1/4$  波长约为  $11.7$  m。而设计的砂体侵蚀厚度均介于  $1/16$  波长到  $1/8$  波长( $2.93 \sim 5.85$  m), 是小于地震可分辨率极限的。

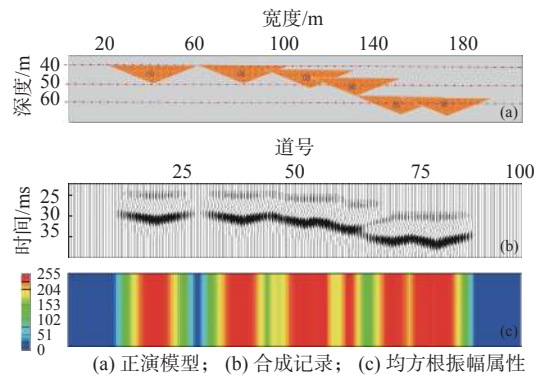


图 2 砂体叠置模型、地震剖面及属性图  
Fig.2 Sand body overlapping model, seismic profile and attribute diagram

随着模型叠置方式变得复杂, 很难从地震剖面(图 2b)上区分出砂体边界。通过一个完整波时窗下提取的均方根振幅属性, 可以大致看出砂体的横向展布。属性图(图 2c)中, 值越大表示砂体越厚, 在砂体叠置处, 根据不同种叠置方式, 其值有不同程度的跃变, 而影响砂体储层连通性的砂体边界, 则分布在其值跃变处。

对属性数据加  $30\%$  的随机噪声(图 3a), 利用联合双边滤波对其进行保边去噪。由图可见, 与中

值滤波效果(图 3b)相比,联合双边滤波(图 3d)在压制噪声的同时,能够保留值的跃变特征,对于后续砂体边界的预测较为有利。与原始属性(图 3c)相比,属性值整体上其变化趋势得以保留,且相较于原始属性,在 5 号河道与 6 号河道零高程差、厚厚叠置处,值跃变的趋势在一定程度上被抹平,这对于连通的砂体单元而言,能避免在其内部预测出砂体边界。

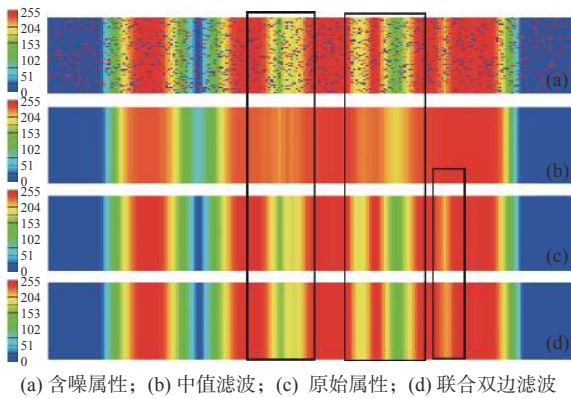
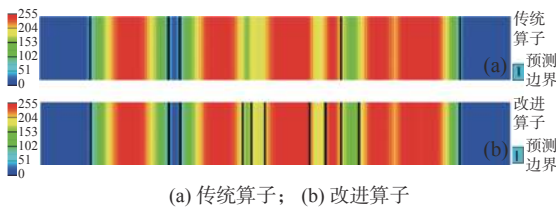


图 3 滤波效果对比

Fig.3 Comparison of filtering effect

对属性值进行滤波后,进行砂体边界的预测。与传统算子预测结果(图 4a)相比,经改进后的方法预测结果(图 4b)更好,且所预测边界能正确对应属性值跃变趋势,流通单元的划分也具有实际意义。



(a) 传统算子; (b) 改进算子

图 4 砂体边界预测效果

Fig.4 Sand body boundary prediction effect

## 2.2 实际应用

渤海 Q 油田位于渤海海域南部,主力含油层位为明下段,沉积类型为曲流河相,河道在迁移摆动过程中形成了横向、纵向上的叠置的复合砂体。根据研究区探井资料,工区明下段总体表现为“泥包砂”特征,平均砂地比为 20%<sup>[19-20]</sup>。且复合砂体叠置关系复杂,横向变化快,连通性较差,识别并刻画砂体边界,能够帮助划分砂体连通性单元,利于油田剩余油的挖潜。

研究层位为该油田的 1492 层位,首先对地震资料提取均方根振幅属性(图 5a)。属性图中(图 5a)

中部高值区域存在许多局部高值,在高低值过渡区域,存在许多不平滑的毛刺,这些值严重影响后续砂体边界的预测。经联合双边滤波方法保边去噪后(图 5b),可以明显看出属性值差异性较小区域,值差异减小(属性图上颜色分布更平均),局部噪点被压制;高低值过渡区域,其边缘处高低值过渡趋势得以保留,且许多不连续的毛刺及局部奇异值被消除。总体来讲,经过滤波处理以后,资料信噪比得到提高,有利于后续砂体边界的预测。

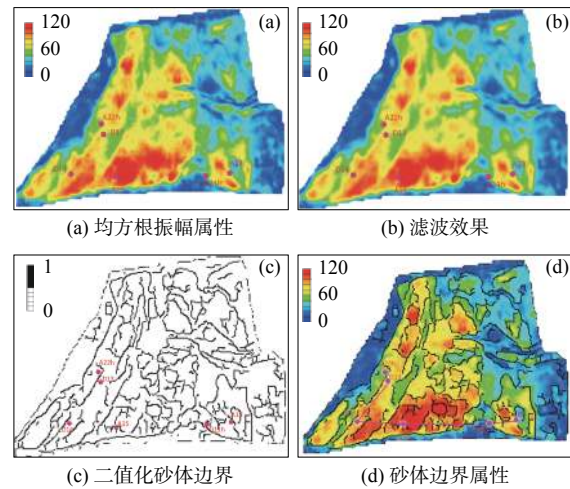


图 5 工区应用预测效果

Fig.5 Prediction of application status in work area

根据属性图中值的分布情况,可以看出砂体较厚的区域分布在工区中部及西南部,其余部分属性值偏低,推测砂体不太发育。在砂体较厚区域,大致被分为南北 2 套砂体区域(属性图中中部两块红色高值区域)。通过属性的变化趋势可以区分出砂体大致的展布特征,但从这两套砂体内部识别出砂体边界是比较困难的,而这些存在的砂体边界,极大影响着剩余油的分布。

基于这套以改进 Canny 算子的方法体系,进行砂体边界预测,效果如图 5c、d 所示。其中图 5c 是形态学处理后的二值化边界数据,图 5d 是属性融合后的砂体边界属性。从图中可以看到在南北两套砂体中内部划分出了较多界线,由前文的正演可知,这些界线可能代表着砂体边界。为验证预测边界的有效性,选取了工区内具有不同情况砂体发育特征的 6 口井(图 6),砂体在横向上变化比较明显,在 1492 小层中存在纯泥岩,多期薄砂岩叠置,单期薄砂岩,单期厚砂岩,多期薄砂岩叠置多种叠置方式。由于单期砂体厚度较小,大部分小于地震垂向分辨率,很难从地震剖面中直接分别出各个单期砂体(图 6a、b)。

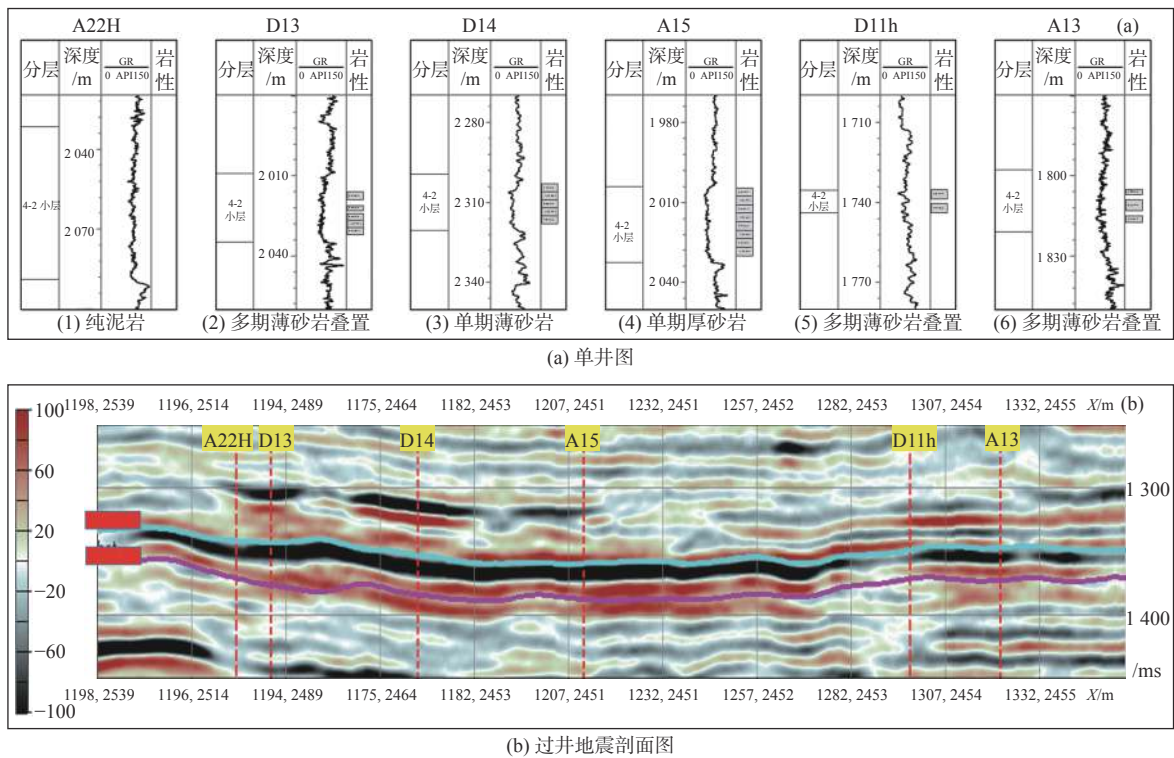


图 6 工区实际资料井情况

Fig.6 Data wells in the working area

从边界预测图中可以看出, A22h 和 D13 刚好位于南北 2 套大砂体之间, 井上显示, A22h 井发育一厚层泥岩, D13 井发育多期砂体, 是 2 种岩性不同的地质体, 且刚好 2 口井之间识别出一个砂体边界, 说明边界预测效果较好。D14、A15 处于一块属性值较为连续的南部大套砂体内部, 而边界预测效果显示这 2 口井处于不同的连通单元, 其间存在明显的砂体边界。从井上也可以看出, D14 井发育单期薄砂体, A15 井发育单期厚砂岩, 是 2 种不同的砂体叠置模式, 在井间预测有砂体发育的边界, 比较合理。D11h、A13 井处于东南部一套砂体内部, 从测井资料上很难区分出 2 口井砂体发育的差异, 而预测结果显示, 其间存在砂体边界, 推测是由于砂体叠置总厚差异及泥岩夹层的原因所导致的。

综上所述, 在该工区的目标层应用中, 应用这套砂体边界预测方法, 预测结果与实际资料基本吻合, 证明这套方法有效、可靠。

### 3 结论

(1) 在完整波时窗下提取的地震属性的基础上, 利用边缘检测技术可进行砂体边界的预测。针对量级小且地震可识别程度较低的砂体边界, 基于一个完整波时窗下提取的均方根振幅属性数据, 使用

在滤波、阈值处理、结果优化方面都进行改进的 Canny 算子来预测砂体边界, 预测结果符合预期, 具有实际意义。

(2) 兼备压制线性、非线性噪声的联合双边滤波方法, 对于地震属性的保边滤波具有好的效果。砂体边界预测的过程中, 所使用的滤波方法, 应该要具有充分的保边特性。常规的单线性的均值、中值、高斯等滤波方法, 并不能充分考虑到非线性的噪声的压制; 单非线性的双边滤波方法, 在值平坦处, 噪声压制不如线性的滤波方法。联合双边滤波方法不仅能在值跃变处消除“毛刺”, 也能在值相对平均处压制局部噪点。

(3) Otsu 法对以高低值区分岩性的地震属性而言, 阈值分割依然有效。在渤海油田明下段目标层中, 岩性主要分为砂、泥 2 种; 所以在地震属性中, 值的分布大致呈现双峰态势, Otsu 算法能在双峰间取一个最佳阈值分割属性。

#### 参考文献:

[1] 范廷恩, 王海峰, 胡光义, 等. 河流相储层不连续界限及其对油田开发的影响[J]. 中国海上油气, 2021, 33(2): 96-105.  
 [2] 谭先红, 范廷恩, 张利军, 等. 河流相储层不连续界限对剩余油分布及布井策略的影响作用[J]. 中国海上油气, 2021, 33(2): 123-130.

- [3] 王珏, 高兴军, 周新茂. 曲流河点坝储层构型表征与剩余油分布模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2019, 43(3): 13-24.
- [4] 张秀丽, 姜岩, 郝兰英, 等. 密井网条件下随机地震反演及其在河道砂体预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(5): 954-963, 822.
- [5] 徐立恒, 马耀军, 朱遂萍, 等. 油田开发后期井间砂体识别[J]. 石油地球物理勘探, 2019, 54(2): 390-397, 239.
- [6] 李熙盛, 杨平华, 严浩雁, 等. 小断层识别方法在海上油田开发中的应用研究[J]. 物探化探计算技术, 2014, 36(2): 222-227.
- [7] 韦红, 朱仕军, 谭勇, 等. 地震相干体技术在识别小断层和裂缝中的应用: 以川西地区沙溪庙组为例[J]. 勘探地球物理进展, 2009, 32(5): 362-364, 308.
- [8] 杨子川, 刘军, 陈黎, 等. 顺南地区奥陶系碳酸盐岩储层地震识别与评价[J]. 石油物探, 2017, 56(2): 280-287, 294.
- [9] CANNY J F. A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, PAMI-8(6): 679-698.
- [10] 李牧, 闫继红, 李戈, 等. 自适应Canny算子边缘检测技术[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(9): 1002-1007.
- [11] 魏伟波, 芮筱亭. 图像边缘检测方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2006(30): 88-91.
- [12] OTSU N. A threshold selection method from gray level histogram[J]. IEEE Transaction on Systems Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [13] 李牧, 闫继红, 朱延河, 等. 一种改进的大津法在机器视觉中的应用[J]. 吉林大学学报(工学版), 2008, 38(4): 913-918.
- [14] 胡光义, 肖大坤, 范廷恩, 等. 河流相储层构型研究新理论、新方法: 海上油田河流相复合砂体构型概念、内容及表征方法[J]. 古地理学报, 2019, 21(1): 143-159.
- [15] 范廷恩, 王海峰, 胡光义, 等. 海上油田复合砂体构型解剖方法及其应用[J]. 中国海上油气, 2018, 30(4): 102-112.
- [16] 陈飞, 胡光义, 范廷恩, 等. 渤海海域W油田新近系明化镇组河流相砂体结构特征[J]. 地学前缘, 2015, 22(2): 207-213.
- [17] 胡光义, 陈飞, 范廷恩, 等. 渤海海域S油田新近系明化镇组河流相复合砂体叠置样式分析[J]. 沉积学报, 2014, 32(3): 586-592.
- [18] 胡光义, 范廷恩, 陈飞, 等. 从储层构型到“地震构型相”: 一种河流相高精度概念模型的表征方法[J]. 地质学报, 2017, 91(2): 465-478.
- [19] 胡光义, 范廷恩, 梁旭, 等. 河流相储层复合砂体构型概念体系、表征方法及其在渤海油田开发中的应用探索[J]. 中国海上油气, 2018, 30(1): 89-98.
- [20] 井涌泉, 余杰, 范廷恩, 等. 秦皇岛32-6油田明化镇组河流相储层地球物理参数影响因素研究[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4): 1541-1547.

## A review of prediction methods for fluvial sand boundary

DENG Linping<sup>1</sup>, DING Feng<sup>1,2</sup>, LIN Longbo<sup>3</sup>, YIN Cheng<sup>1</sup>, ZHANG Dong<sup>1</sup>, LIU Jiawei<sup>1</sup>

(1 School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2 Sichuan Pinnacle Geological Exploration Technology Co. Ltd., Chengdu 610500, China;

3 Hunan Geo-sun High Technology Limited Company, Changsha 410023, China)

**Abstract:** In the middle and late stages of offshore oil field development, prediction and delineation of fluvial sand body boundaries become a key problem to be solved for tapping out remaining oil. Comparing to the large well spacing offshore, fluvial sand bodies are too small to be identified with conventional logging and seismic methods commonly used in the onland areas with dense well networks. Based on the seismic attributes which can reflect the lateral spreading of sand bodies, using the methods of joint bilateral filtering, Otsu adaptive threshold processing and morphological algorithm to improve the Canny operator, a set of adaptive and high-precision prediction methods for fluvial sand body boundaries are proposed in this paper. From the depositional characteristics and evolution pattern of fluvial-facies sand bodies, forward models are established to verify the effectiveness of the method mentioned above. The method applied to the target layer in the Q Oilfield of the Bohai Sea is successful.

**Key words:** fluvial sand body boundary; remaining oil; joint bilateral filtering; Otsu; morphological algorithm; Canny