

精细识别小尺度废弃河道对海上低油柱油藏水平井实施的意义

马佳国,于茜,周卿,邸莹

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津300459)

摘要:在低油柱油田开发中,废弃河道的遮挡作用能延缓含水上升率,因此,废弃河道识别的精细程度直接决定油藏开发中后期调整井部署及水平井实施效果。但由于废弃河道尺度小,常规的地震属性很难刻画清楚,给钻井实施带来困难,甚至钻井失败。通过高精度河砂一体化识别方法,精细刻画小尺度废弃河道并三维可视化展示,为直观部署调整井,开发剩余油提供了可靠依据。

关键词:小尺度河道 水平井 低油柱油藏 三维可视化

中图分类号:TE327 文献标志码:A

Significance of fine depiction of small – scale abandoned river channels for horizontal wells in low oil – column reservoir

MA Jiaguo, YU Qian, ZHOU Qing, QIE Ying

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: In the development of low oil – column reservoirs, the sheltering effect of abandoned river channels can postpone the rising speed of bottom water. So the degree of fine depiction on abandoned river channels has great influence on the deployment of adjustment wells and the implementation of horizontal wells in low oil – column oilfields. However, it is difficult to depict clearly small – scale abandoned river channels by conventional seismic attributes, resulting in difficulties in drilling operation and even failure in drilling. In this paper, a high – precision river and sand integration method was used to fine depict and display the small – scale abandoned river in 3D visualization, providing a reliable basis for the intuitive deployment of adjustment wells and the development of remaining oil.

Key words: small scale river channel; horizontal well; low oil column reservoir; three – dimensional visualization

渤海C油田属边水低油柱油藏,储层为曲流河沉积砂体,经过10多年的开发生产,边水已上升为次生底水,在部署综合调整井过程中,避水高度是重要因素。曲流河沉积形成的片状砂体内部发育一条或多条废弃河道,增加储层非均值性的同时也影响水平井着陆精度、有效水平段长度及避水高度。因此,精细刻画小尺度废弃河道有利于钻前井轨迹优化及指导水平井实施。国内学者对废弃河道的研究多基于测井曲线识别,以及对剩余油分布的影响,缺少对废弃河道平面形态的认识,难以指导井位设计。本文基于高分辨率采集处理地震资料,采用边缘检测属性技术及河砂一体化方法将废弃河道在平

面上刻画出来,并在三维空间展示,以便直观研究剩余油分布,为指导调整井部署及水平井实施提供可靠依据。

1 地震资料高分辨率采集处理

该区地震资料使用了高分辨率采集和处理技术方法,采用双源六缆采集方式,三维面元密度为 18.75×12.5 m,有效频带宽为5~110 Hz,主频约55 Hz。

收稿日期:2018-09-04;改回日期:2018-10-20。

第一作者简介:马佳国(1985—),硕士,工程师,主要从事油田开发地震研究。E-mail:majg2@cnooc.com.cn。

在处理方面尽可能减少噪声参加迭加,以精确的迭加速度达到同相迭加,提高信噪比和保持分辨率^[1]。偏移前后三次应用了反 Q 滤波,补偿随深度增加而衰减的高频成分,尽可能在有效频率范围内争取最大频宽。经过偏移速度场建立、平滑和钻井速度标定获得较高精度偏移速度后,应用 phase-shift 三维偏移,获得了理想的归位效果。通过高分辨率的数据采集和处理过程中重要环节的严格把控,获得高密度宽频带的地震数据体,为精细刻画小尺度河道提供资料基础。

海上地震资料随机噪音的存在对小尺度断层、岩性边界的刻画非常不利,因此在刻画小尺度河道之前,对地震资料进行滤波降噪非常必要。传统的

中值滤波是在水平方向上求取相邻道集振幅的相关性,是典型的网格导向滤波方法。该方法能分离出随机噪音,但对有构造变化的微小断层及岩性边界的刻画极为不利^[2]。本次采用 OpendTect 软件的倾角导向滤波方法提高信噪比,增强断层或岩性边界响应特征。该方法是通过 3D 傅立叶变换技术计算每个采样点在三维空间中的倾角和方位角获得倾角体,并在倾角体的约束下对地震数据进行滤波,将有效信号和随机噪音进行区分,进而改善同相轴的横向连续性,增强断层或岩性边界^[3](见图 1)。从图中可以看到地震轴横向连续性有了明显改善,断层两侧非常干脆,高分辨率地震资料为小尺度河道刻画夯实了基础。

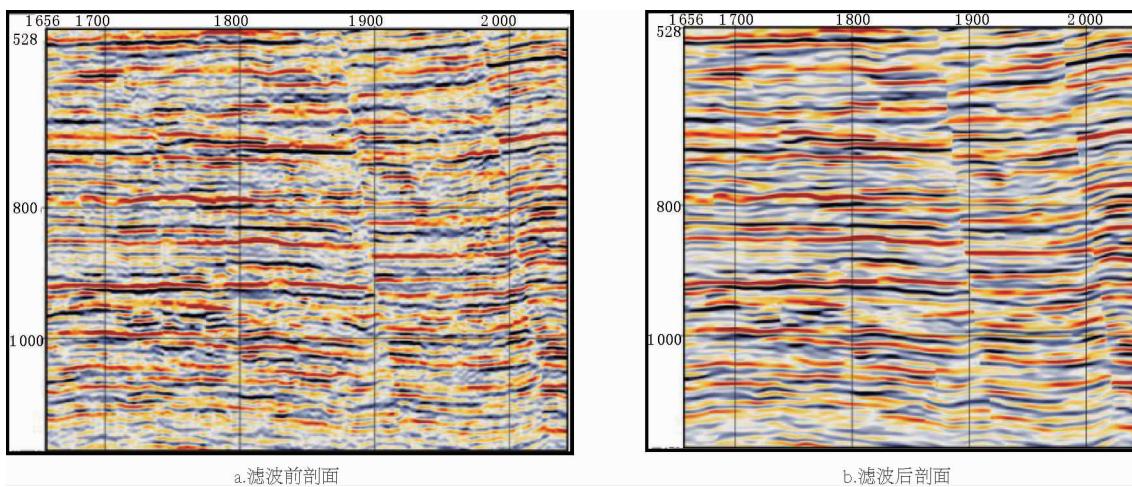


图 1 倾角滤波前后剖面对比

2 小尺度河道刻画

2.1 算法优选

边缘检测属性是检测地下断层及地层不连续变化现象的卓有成效的一种技术。三维地震数据体反映了地下一个规则网格的反射情况,当遇到地下存在断层或某个局部区域地层不连续变化时,一些地震道的反射特征就会与其附近地震道的反射特征出现差异,导致地震道局部的不连续性。这种不连续性表现为边缘检测属性值的差异,在边缘检测属性切片上出现异常区,便可检测出断层或不连续变化的信息,进而识别断层、河道、侧积夹层、特殊岩体等异常地质构造^[4-6]。常用的算法有蚂蚁追踪、边缘增强算法、相干体等,不同算法效果不尽相同,本次研究对不同算法进行对比研究,认为带倾角校正的振幅对比属性有利于刻画小尺度岩性细节,相比基于 Manhattan 距离的相干算法和方差体求取不连续

性算法,该属性从数据体的三个维度利用卷积算法放大数据内部的不连续性^[7],对于刻画交切关系复杂的小尺度河道及岩性边界具有更大的优势(见图 2)。其计算公式如下:

$$Gor = \frac{\sqrt{G_x^2 + G_y^2 + weighting * G_z^2}}{\sum |I|}$$

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A$$

式中: G_x, G_y, G_z 分别代表空间 x, y, z 方向边缘检测的图像, I 代表原始图像, A 代表输入数据体, $weighting$ 代表自适应权重系数。

小尺度河道一般分为两种:即末期河道和废弃河道,都是在水动力非常弱的条件下沉积形成。若是河道截弯取直而形成,则其填充物多为泥岩,伽马值与泥岩基线接近;若是河道发育晚期,萎缩而形成的末期水道,则河道填充物多为细砂岩和粉砂岩,伽

马值界于纯砂岩与纯泥岩基线之间。小尺度河道垂直厚度一般为 1~3 m, 其下伏地层一般为早期曲流河沉积的点坝、边滩或泛滥平原, 等等, 因此在地震剖面上很难有较好的响应。本文利用上述优选算法对倾角导向滤波处理后的数据体求振幅对比属性, 将小尺度河道在平面上清晰刻画^[8], 如图 3a 中展示的小尺度末期河道 S 宽度约 30 m, 厚度约 2.5 m, 下伏为高弯度曲流河侧积砂体, 河道响应与下覆砂体

响应叠置在一起, 很难分开, 图中地震剖面为切片中的任意线剖面, 剖面上标注的圆圈为对应切片中过河道的特征。图 3b 中展示了水平井钻遇小尺度末期河道, 井旁为伽马曲线, 红色代表伽马值大, 为泥岩特征。从切片上直接测量出河道宽度约 25 m, 伽马曲线反映河道深度为 1.8 m, 与 Leed 等研究的经典曲流河宽度与厚度关系结论吻合^[9~10], 河道充填为泥质粉砂岩。

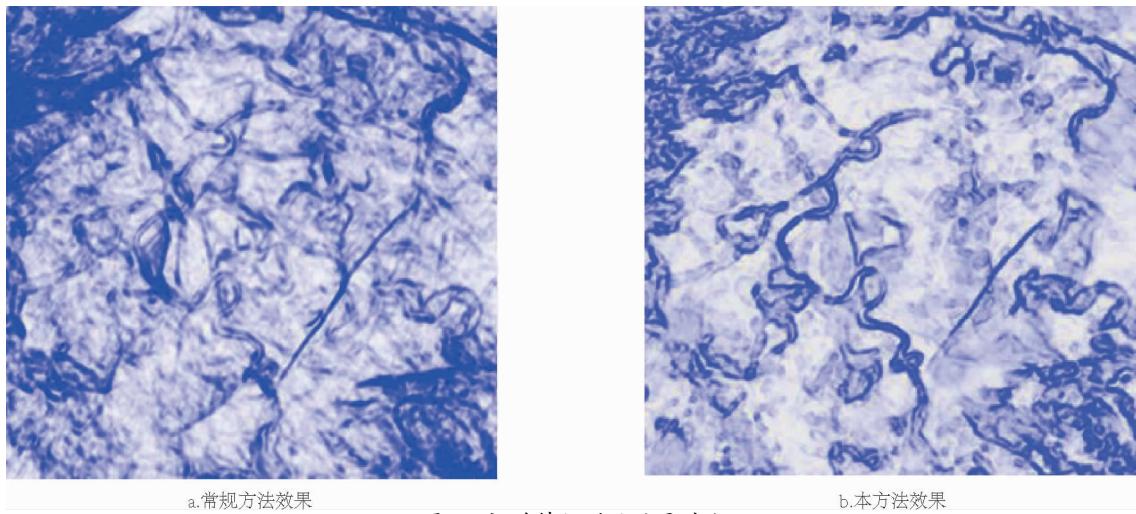


图 2 河道精细刻画效果对比

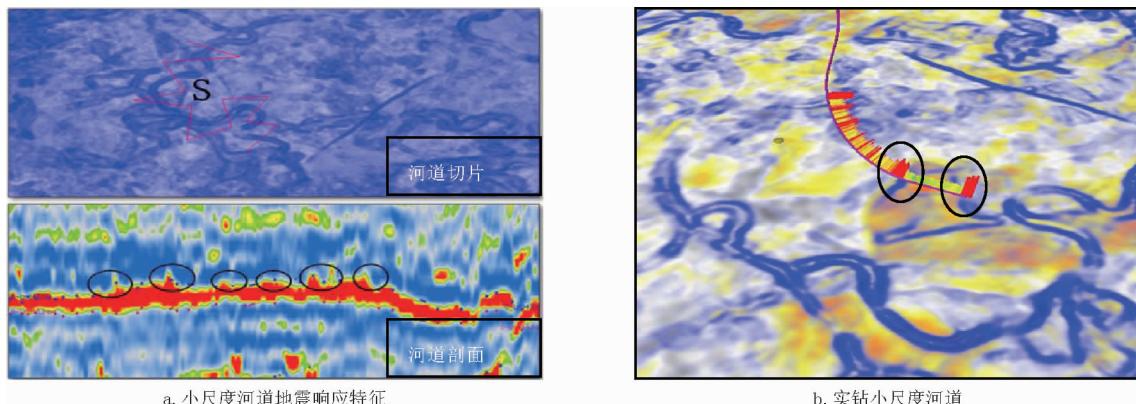


图 3 小尺度河道平面特征

3 小尺度河道对调整井设计的影响

3.1 挖潜剩余油

前面介绍的小尺度河道可分为两种, 即废弃河道和末期河道。废弃河道里发育泥岩, 是很好的遮挡层, 大部分剩余油富集在废弃河道夹持的点坝中, 另外废弃河道是天然的底水遮挡层, 能降低含水上率, 有利于提高采收率。因此, 找到废弃河道遮挡住的局部构造高部位, 就相当于找到剩余油富集区。末期河道里发育粉砂质泥岩或者泥质粉砂岩, 泥质粉砂岩段可以是非常好的渗流通道, 粉砂质泥岩具

有一定的遮挡作用, 末期河道的作用视河道充填物而定。通过河砂一体化属性快速准确地刻画小尺度河道, 并在三维空间中展示(见图 4), 为快速寻找剩余油富集区并决策部署水平井提供可靠依据。图中小尺度末期河道和废弃河道清晰可见, 砂体微幅度构造直观可视。分析 20 余口该砂体生产井的含水率情况与废弃河道位置关系认为, 有废弃河道遮挡的井含水上升慢, 且处在构造高部位的井累产均高, 结论与认识吻合很好^[11~13]。根据该属性图, 寻找到 3 个有利于剩余油富集的局部小高点并部署 3 口综合调整井, 这三口井投产初期含水均低于 80%, 三

年累产均达到 $7 \times 10^4 \text{ m}^3$, 取得较好应用效果。

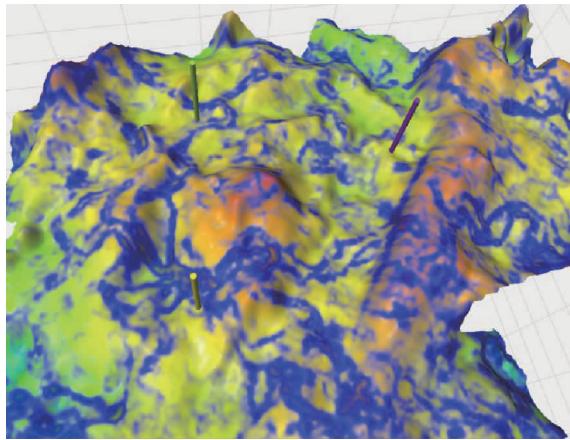


图4 河砂一体属性三维空间展布

3.2 水平井轨迹设计

对于低油柱油藏, 避水高度非常关键, 该油田圈闭幅度在 20~40 m, 充满度在 40%~60% 左右, 油田大多数井设计均略高于经济门限, 若着陆深于设计点, 则后期含水率上升快, 导致生产达不到设计产能。通过对该油田综合调整井的研究, 以累计产油量 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 为经济下限, 对不同类型油藏下限进行研究(见表1)。

表1 不同地层原油黏度下水平井部井下限统计

地层原油黏度/(mPa·s)	边水油藏油层厚度/m	底水油藏油柱高度/m
>350	10	11
>200~350	7	9
50~200	6	7
<50	4	6

河流相沉积表现为正韵律特征, 即储层顶部物性较差, 一般为粉砂质泥或泥质粉砂岩, 而水平井实施时要求着陆到物性较好的储层上, 曲线上表现为伽马较低并且稳定, 电阻率表现为油层。总结油田水平井实施的经验, 结合旋转导向增斜能力(见表2), 制定了 87° 稳斜找油原则, 即钻进到储层顶后继续以 87° 稳斜钻进, 进层半柱后从 3° 增斜率至 90°, 此时进入储层 1.5 m, 使避水高度与优质储层这对矛盾在深度上找到理想结合点^[14]。

小尺度河道在地震剖面上与下伏砂岩很难区分, 给设计着陆点带来困难, 为提高水平井设计精度, 实际生产中可结合野外露头(见图5)分析小尺度河道对水平井着陆及避水高度的影响, 进而指导钻井设计。图示为河道下切点坝砂体, 最终以泥质充填, 即为废弃河道。在地震反射轴上认为点坝高

度为 h_0 , 若设计着陆点刚好位于废弃河道处, 图中入层位置 1, 由于废弃河道的粉砂质泥沉积, 随钻伽马和电阻率曲线表现为物性差, 含油性差, 继续 87° 稳斜找油, 直到钻遇点坝砂体, 伽马及电阻率表现为物性好, 含油性好, 进层半柱后再以 3° 增斜率增至 90° 着陆, 此时深度为 h_2 ; 若设计着陆点时能避开小废弃河道, 刚好位于点坝处, 图中入层位置 2, 伽马及电阻率表现为物性好, 含油性好, 进层半柱后再以 3° 增斜率增至 90° 着陆, 此时深度为 h_1 ; 着陆点的深度比在废弃河道处高 $h_2 - h_1$ 。

表2 旋转导向工具增斜能力

稳斜角度/(°)	稳斜打一柱垂深增加/m	见到油层	稳斜进层	稳斜进层
		全力增斜至 90° 时进入储层深度/m	半柱全力增斜至 90° 时进入储层深度/m	一柱全力增斜至 90° 时进入储层深度/m
85	2.48	1.25	2.49	2.73
86	1.99	1.00	2.00	2.99
87	1.49	0.75	1.50	2.24
88	0.99	0.50	1.00	1.49
89	0.50	0.25	0.50	0.75

注:一柱以 28.5 m 计算



图5 废弃河道剖面及水平井着陆示意

根据实钻统计, 该油田小尺度河道宽度为 30~100 m, 以 87° 稳斜穿过废弃河道需要钻进 2~4 柱, 垂深比设计深 3~6 m。避水高度减少 3~6 m, 对低油柱油藏是非常严重的问题。因此, 在高精度地震资料条件下, 开展精细小尺度河道研究, 准确识别河道的平面展布, 在设计水平井时, 着陆点避开小尺度河道, 提高随钻精度, 保证避水高度非常必要。根据以上研究成果指导后续水平调整井优化, 着陆点均成功避开小尺度河道, 避水高度满足布井下限, 油层钻遇率达 100%, 剩余油挖潜效果非常好(见表3)。

表 3 水平井设计与实钻对比

井名	设计情况			实钻情况			备注
	水平段长度/ m	布井下限/ m	避水高度/ m	实钻长度/ m	油层钻遇 率/%	初期含水 率/%	
A 井	179	11	13	179	100	78	5.5
W 井	235	9	11	231	98.5	75	6.2 砂体叠切处, 物性差
N 井	350	7	8	350	100	77	6.9
H 井	270	10	12	256	95	79	6.5 砂体叠切处, 物性差

4 结论

(1) 利用高分辨率地震资料及倾角导向滤波技术, 有效提高地震资料信噪比。利用优选的边缘检测算法, 实现对小尺度河道平面展布特征精细刻画, 结合实钻曲线, 证实小尺度河道的宽度、厚度及岩性特征均可靠。通过河砂一体化属性在三维空间中展示河砂与构造的关系, 为直观寻找剩余油提供有力依据。

(2) 利用野外露头分析水平井着陆过程, 并分析避开小尺度河道着陆对低油柱油藏的重要性。本文研究方法精确刻画小尺度河道展布, 能有效指导调整井设计过程中避开小尺度河道, 为低油柱油田争取最大的油柱高度, 在油田实际生产中, 取得很好的应用效果。

参考文献:

- [1] 马佳国, 侯东梅, 王建立, 等. 高精度河砂同期展示的关键技术与应用效果[J]. 断块油气田, 2017, 24(5): 623–627.
- [2] 刘爱群, 赫建伟, 陈殿远, 等. 近海复杂断块区地震成像及储层精细描述关键技术研究—以南海西部北部湾盆地涠 12-1 油田为例[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(1): 100–104.
- [3] 陈可洋, 吴沛熹, 杨微. 扩散滤波方法在地震资料处理中的应用研究[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(1): 117–122.
- [4] 张明学, 雷江平, 刘伟伟, 等. 90 度相位转换与波形分类技术
-
- (上接第 43 页)
- [22] HOWARD A D, DOLAN R. Geomorphology of the Colorado River in the Grand Canyon [J]. Journal of Geology, 1981, (89): 269–298.
- [23] HOWARD A D, KNUTSON T R. Sufficient conditions for river meandering: a simulation approach [J]. Water Resources Research, 1984, (20): 1659–1667.
- [24] 许栋, 白玉川. 蜿蜒河流横向摆动及河谷地形沉积过程数值模拟[J]. 泥沙研究, 2010, (4): 68–72.
- [25] 许栋, 白玉川, 谭艳. 蜿蜒河流演变动力过程及其研究进展 [J]. 泥沙研究, 2011, (4): 73–78.
- [26] MEAKIN P, SUN T. A simulation model for meandering rivers and

在贝西北地区储层预测中的应用[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(18): 4376–4380.

- [5] 王大伟, 刘震, 陈小宏, 等. 地震相干技术的进展及其在油气勘探中的应用[J]. 地质科技情报, 2005, 24(2): 71–76.
- [6] 王鹏, 高伟, 张红斌, 等. 地震切片演化技术在乍得 A 区块的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(1): 115–118.
- [7] 陆宗骐, 梁诚. 用 Sobel 算子细化边缘[J]. 中国图形学报, 2000, 5(6): 516–520.
- [8] 马佳国, 侯东梅, 史浩等. 基于地震属性的小尺度末期河道识别[J]. 复杂油气藏, 2016, 9(4): 22–24.
- [9] LEEDER M R. Fluvial fining – up wards cycles and the magnitude of paleochannels [J]. Geology Magazine, 1973, 110 (3): 265–276.
- [10] 李宇鹏, 吴胜和, 岳大力. 现代曲流河道宽度与点坝长度的定量关系[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(6): 19–22.
- [11] 隋新光, 赵敏娇, 渠永宏. 水平井挖潜技术在大庆油田高含水后期厚油层剩余油开发中的应用[J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30(1): 112–119.
- [12] 刘文岭, 韩大匡, 胡水清, 等. 高含水油田发展油藏地球物理技术的思考与实践[J]. 石油学报, 2009, 30(4): 550–559.
- [13] 韩大匡. 关于高含水油田二次开发理念、对策和技术路线的探讨[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(5): 563–583.
- [14] 孟鹏, 苏彦春, 冯鑫等. 曲流河废弃河道识别及其对低油柱油藏水平井着陆的影响[J]. 新疆石油地质, 2015, 36 (4): 475–479.

(编辑 谢葵)

their associated sedimentary environments [J]. Physica A, 1996, 233(2): 606–618.

- [27] PYRCZ M J, BOISVERT J B, Deutsch C V. Alluvsim: a program for event – based stochastic modelling of fluvial depositional systems [J]. computers & geosciences, 2009, (35): 1671–1685.
- [28] 舒晓, 赵永军, 王兵杰. 一种新的曲流河点坝砂体内部构型模拟方法[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48 (增 1): 151–155.
- [29] 李少华, 刘显太, 王军, 等. 基于沉积过程建模算法 Alluvsim 的改进[J]. 石油学报, 2013, 34(1): 140–143.

(编辑 谢葵)