

文章编号: 1001-1749(2023)02-0202-09

# 一主双次三属性优化组合古河道识别技术研究及应用

鲍祥生<sup>1,2</sup>, 陈军<sup>3</sup>, 糜芳<sup>2</sup>, 王清振<sup>2</sup>, 丁继才<sup>2</sup>,  
陈国民<sup>1</sup>, 蔡占虎<sup>1</sup>, 唐迁强<sup>1</sup>, 李业成<sup>1</sup>

(1. 广东石油化工学院, 茂名, 525000;

2. 海洋油气勘探国家工程研究中心, 北京 100028;

3. 江苏油田分公司 勘探开发研究院, 扬州 225000)

**摘要:** 我国大多数盆地都发育古河道沉积, 现有研究表明古河道沉积已成为我国油气聚集的重要场所, 对其进行可靠地预测对寻找古河道类型油气藏具有重要意义。利用地震属性来进行古河道的预测是目前的主要方法, 但通过正演模拟研究发现, 不同单一地震属性对河道沉积的敏感性不同, 有些属性对大多数河道沉积的沉积比较敏感(如均方根振幅、平均反射强度等), 有些对部分较厚的河道沉积特别敏感, 而对其他河道沉积反映一般。基于这一认识, 提出了一种称之为“一主双次三属性组合”的新属性, 该属性结合了均方根属性、振幅的立方差和平均频率的优点而建立, S 油田的正演模拟和应用表明, 该组合属性相对单一敏感属性在预测古河道沉积方面更有优势。

**关键词:** 盆地; 古河道; 正演模拟; 地震属性; 组合属性

**中图分类号:** P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.02.09

## 0 引言

古河道往往是油气聚集的重要场所, 我国很多盆地都发育着非常发育的古河道沉积, 吴胜和等<sup>[1]</sup>指出渤海湾盆地孤岛油田新近系中新统馆陶组上段的河流相沉积砂岩储层是该油田的主力含油层段; 朱筱敏等<sup>[2-3]</sup>指出准格尔盆地侏罗系三工河组发育多种类型三角州的河道沉积, 且指出河道沉积是该层组是油气成藏的主要聚集场所; 杨柏等<sup>[4-5]</sup>对江苏油田做了大量的研究, 研究指出地处苏北盆地的江苏油田在阜宁组和戴南组大量含油的河道沉积; 许杰等<sup>[6]</sup>对鄂尔多斯盆地大牛地气田盒 3 段的研

究指出该层段属于辫状河道沉积, 河道沉积中的河道砂坝是勘探开发的主要对象; 毛立全等<sup>[7]</sup>的研究表明在松辽盆地杏西-哈尔滨地区 S0 组存在非常发育的水下分流河道, 并指出该分流河道具有成藏潜力; 王红岩<sup>[8]</sup>指出东海陆架盆地西湖凹陷平湖组发育的分流河道砂体是优质储层; 康凯等<sup>[9]</sup>指出在渤海湾盆地存在某大型河流相沉积的油田<sup>[1]</sup>。目前大量研究表明<sup>[1-9]</sup>, 河道沉积已成为我国油气聚集的主要场所之一。为更好地发现河道沉积有关的油气藏, 河道沉积的识别将是有利河道沉积油气藏勘探的主要工作。随着我国陆上和海上油气勘探的不断深入, 地震表现特征明显的河道相关油气藏都基本被发现, 剩下的基本都是地震特征表现不明显, 不

收稿日期: 2022-06-14

基金项目: 海洋石油勘探国家工程实验室开放基金(CCL2020RCPS0416RQN); 广东石油化工学院人才引进项目(519013); 江苏油田分公司科研项目(31450008-19-ZC0607-0002)

第一作者: 鲍祥生(1977-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为常规和非常规油气勘探, E-mail: 3817414@qq.com。

通信作者: 蔡占虎(1982-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为油气勘探, E-mail: 27678423@qq.com。

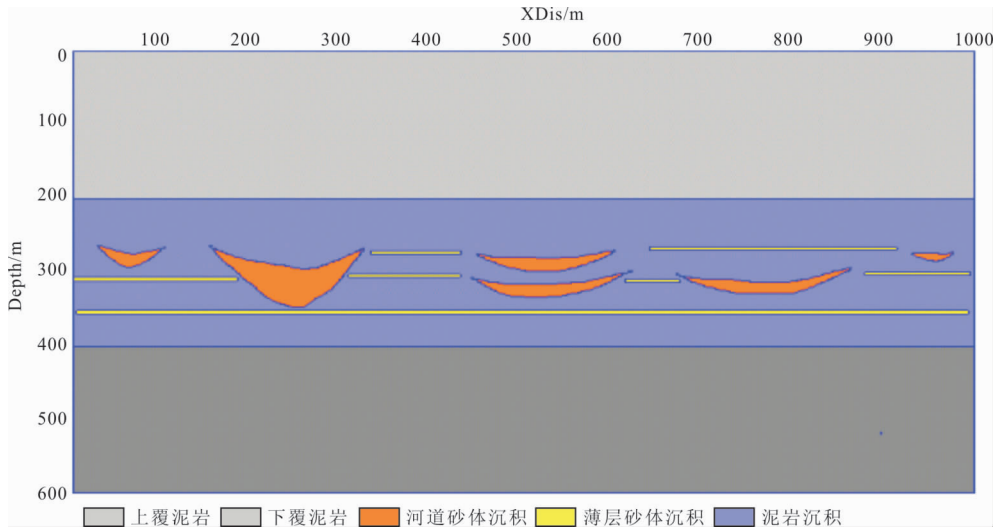


图 1 包含河道沉积的地质模型

Fig. 1 Geological model containing river sediment

易被发现的油气藏,对这些油气藏的发现难度越来越大,风险越来越高,为降低勘探风险,就需要河道地震解释技术在识别河道识别能力和识别精度方面相对以前的技术要有所发展。目前用来进行河道地震解释技术有很多,金振奎等<sup>[10]</sup>利用均方根属性来识别河道;许杰<sup>[6]</sup>、张运龙<sup>[11]</sup>、樊晓伊<sup>[12]</sup>等利用基于波形结构属性来识别河道;刘杰等<sup>[13-14]</sup>利用相干技术、曲率属性解释技术、照明属性解释技术来识别河道;Hart<sup>[15]</sup>、李楠<sup>[16]</sup>等利用甜点属性来识别河道;王世瑞等<sup>[17]</sup>利用谱分解的解释技术来识别河道,Randy<sup>[18]</sup>、Khanna<sup>[19]</sup>、李楠<sup>[16]</sup>、杨占龙<sup>[20]</sup>等利用属性融合的解释技术来识别河道;宋增强<sup>[21]</sup>利用叠后波阻抗反演解释技术来识别河道;鲍祥生<sup>[22]</sup>、姜勇<sup>[23]</sup>利用叠前反演解释技术来识别河道。可见目前利用单一地震属性来进行河道预测是目前的主要方法之一,但研究表明单一地震属性往往在实际应用中存在一种或某几种类型河道沉积不适应性问题,目前国内、外已有一些学者认识到这一问题<sup>[15-20]</sup>,并提出利用多属性组合来提高河道的识别效果,国内外使用最多的组合属性,就是在采用谱分解技术的基础上,利用不同频率的属性进行组合来提高河道识别效果,还有一些学者采用由瞬时强度与瞬时频率组合而成的甜点属性来识别河道<sup>[15]</sup>。单一地震属性识别河道沉积类型比较有限,且局限性已逐渐被大家认识,李楠等<sup>[16]</sup>认为甜点属性与均方根属性相似,再比如基于不同频率数据组合而成的属性,具体频率如何确定也是一个问题,因此进一

步在认识河道的基础上丰富多属性组合技术,对我国古河道识别技术具有重要意义。笔者在通过正演研究基础上形成一主两次三属性优化组合古河道识别技术,相对现有属性组合技术(可以归纳为一种振幅属性与频率属性组合),结合两种振幅属性和一种频率属性优势,克服单一振幅属性参与组合识别河道差的问题,正演模拟研究表明该技术具有更好地预测精度,并通过实际资料应用进一步验证了这一成果。

## 1 河道模型介绍

S 油田具有类型丰富多样的河道沉积,既有宽河道,也有窄河道;既有沉积较厚的河道,也有沉积较薄的河道;另外河道两侧边滩常沉积一些薄层砂体。依据 S 油田河道沉积特征,设计如图 1 所示包含河道沉积的地质模型,该模型被分为上覆泥岩段、中间目的层段、下覆泥岩段,中间目的层段是河道砂体沉积、部分薄层砂体沉积和泥岩沉积构成。不同地质体的速度见表 1,不同层段岩性的密度是利用经典的 Gardner 公式来计算。正演模拟中所用地震子波为零相位雷克子波,对图 1 分别使用 30 Hz、40 Hz、50 Hz 的地震子波进行正演模拟,图 2 展示了使用不同地震子波生成的地震记录。

## 2 河道分布识别参数研究

在提取层间属性时,需要设定提取属性的时窗,

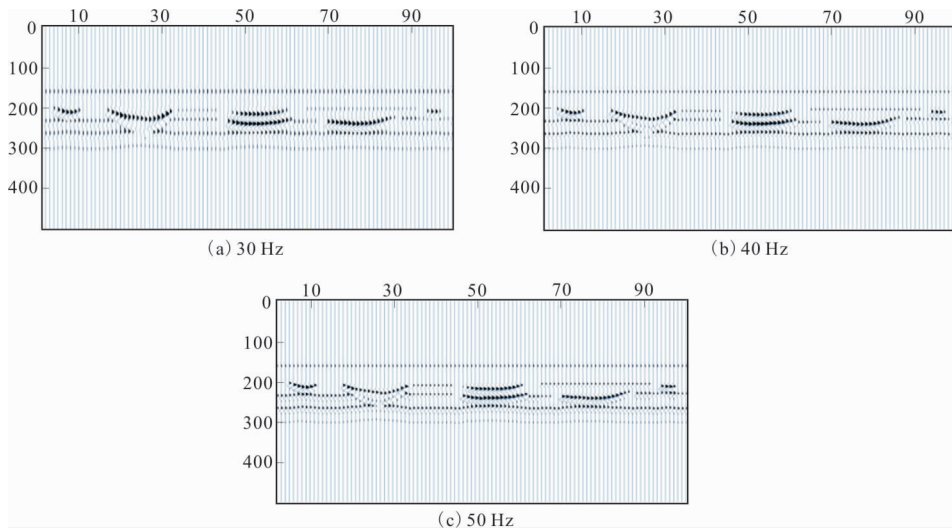


图2 不同频率地震记录

Fig. 2 Seismic records with different frequencies

表1 不同地质体的速度

Tab. 1 Velocity of different geological bodies

层段	岩性	速度/m · s <sup>-1</sup>
上覆泥岩段	泥岩	2500
中间目的层段	泥岩	2800
	薄层砂体	3500
	河道砂体	3600
下覆泥岩段	泥岩	3000

而关于研究河道的数据提取时窗, Xiangsheng Bao等<sup>[24]</sup>曾做过系统地研究, 指出用于研究储层的数据提取时窗要尽可能避开主干绕区情况下来确定, 这种时窗指导下的数据因为受到上下干扰层对储层信息的影响小, 从而使得基于该时窗确定的数据来提取的属性可更好地反映储层变化, 笔者基于这一时窗确定原则提取各种属性。本次针对图2不同频率地震记录一共提取了12种地震属性, 具体地震属性名称见表2。图3为针对不同频率地震记录提取的层间地震属性。对比图3与图1可以看出, 有些属性对不同频率下的河道反映比较敏感(如平均反射强度、均方根振幅等); 有些属性表现对低频敏感, 而对高频不敏感(如振幅的立方差); 还有一些对所有频率的河道反映敏感性差, 甚至都不敏感(如平均频率、总的振幅)。表2中也是展示了各属性与河道地质模型的相关系数, 由表2可知, 各种属性对河道反映的敏感性, 如平均反射强度等属性总体相关系数相对较大, 说明它们比较敏感, 而总的振幅对应的相对系数较小, 说明该属性不敏感。尽管平均反射强

度和均方根振幅属性相对其他单属性对河道沉积要敏感一些, 但应该看到图1中160 m~320 m之间的河道在反射强度和均方根振幅上表现不理想, 尤其该河道中间最厚的地方属性值表现为低值, 且几乎与非河道沉积处接近。通过观察发现, 在160 m~320 m处振幅的立方差和平均频率在该位置比较敏感, 振幅的立方差表现为相对高值, 平均频率表现为相对低值, 基于这一发现, 提出一种组合属性构成, 具体如公式(1)所示。

$$\text{ComA} = a * \frac{(A_1 + (\text{abs}(A_2))^{1/3})}{A_3} \quad (1)$$

式中: ComA为多个属性组合后形成的新属性;  $a$ 为一个常数;  $A_1$ 为基础敏感属性;  $A_2$ 为振幅的立方差;  $A_3$ 为平均频率。这里 $A_1$ 可以取振幅根振幅、平均反射强度等。这里 $a$ 在研究过程取10。图4展示了组合属性C1和C2, 组合属性C1是由均方根属性与振幅的立方差、平均频率组合而成; 组合属性C2是由最大峰值振幅与振幅的立方差、平均频率组合而成。表3中展示了组合前后相关系数对比。由图4看出, 组合后的属性在CDP介于16~32相对基础敏感属性得到了较大地改善, 另外表3也说明了这一点, 因为组合后属性的相关系数比组合前有一定的增大。

#### 4 S油田的应用

S油田在T0到T02之间河道沉积非常发育, 如图5所示, 图5中彩色可解释为砂体相对发育。由

表 2 属性名称及与河道地质模型的相关系数

Tab.2 Velocity of different geological bodies

序号	属性名称	相关系数		
		30 Hz	40 Hz	50 Hz
1	平均反射强度	0.65	0.59	0.58
2	均方根振幅	0.66	0.61	0.60
3	总的振幅	-0.13	-0.08	-0.08
4	平均绝对值振幅	0.64	0.59	0.58
5	最大峰值振幅	0.70	0.68	0.67
6	平均峰值振幅	0.65	0.59	0.58
7	振幅的平方差	0.62	0.55	0.56
8	振幅的立方差	0.50	0.25	0.29
9	平均主频	0.10	-0.13	-0.06
10	平均瞬时频率	0.12	0.07	0.07
11	平均频率	-0.12	-0.47	-0.52
12	平均瞬时相位	0.34	0.40	0.36

表 3 基础敏感属性组合前后相关系数对比

Tab.3 Correlation coefficient of before and after basic sensitive attributes combination

序号	基础敏感属性名称	主频/Hz	相关系数	
			组合前	组合后
1	均方根振幅	30	0.66	0.67
		40	0.61	0.65
		50	0.60	0.63
2	最大峰值振幅	30	0.70	0.71
		40	0.67	0.72
		50	0.66	0.70

图 5 可以看出,均方根中彩色范围不及组合属性中的彩色范围。为了进一步说明两种属性反映砂体的优劣,截取研究区中过主测线号为 1 700 的局部剖面(图 6),图 6 中 T0 到 T02 之间有四个方框,该方框具有明显的河道特征。将过图 6 的剖面投影到属性图,具体投影位置如图 5 中的红线所示,在图 5 中表示出图 6 中对应河道位置情况,由图 5、图 6 可以看出,河道 2 和河道 4 在均方根图上表现零碎甚至不明显,而在组合属性图上表现较明显的显示,河道 1 和河道 3 在均方根属性图 5(a)和组合属性图 5(b)都有反映,但均方根反映效果不及组合属性。应用表明,研究提出的组合属性在反映河道砂体方面更具有优势,更有利于河道

的识别。

## 5 结论

1)以正演模拟数据为基础,采用相关系数分析各单一地震属性对敏感性,指出有些地震属性对河道识别的比较敏感,有些敏感性差,有些甚至不敏感,但没有哪一种地震属性对所提供类型都敏感,分析指出应采用多属性组合可提高河道识别精度。

2)提出一主双次三属性优化组合古河道识别技术,该属性组合包括主属性和两个次属性,主属性是指单一属性分析中,相关系数比较大的均方根属性、平均反射强度等,这些属性对一些相对较好的河道

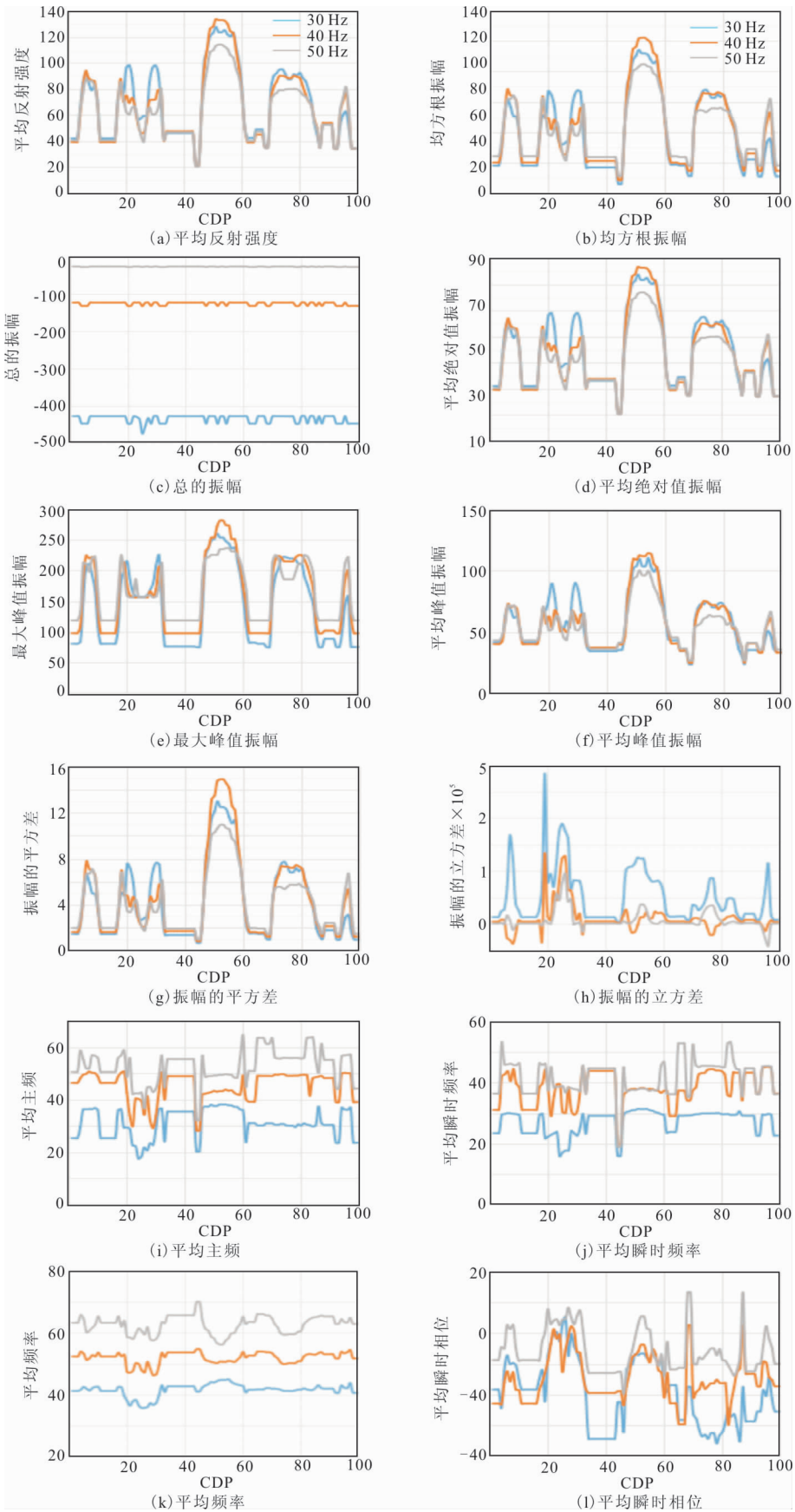


图 3 不同层间地震属性随 CDP 变化关系图

Fig. 3 Relationship between seismic attributes of different layers and CDP

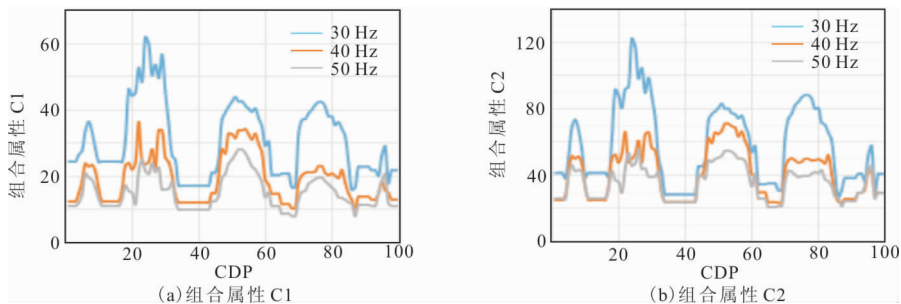


图 4 组合属性随 CDP 变化关系图

Fig. 4 The variation relation graph between composite attributes and CDP

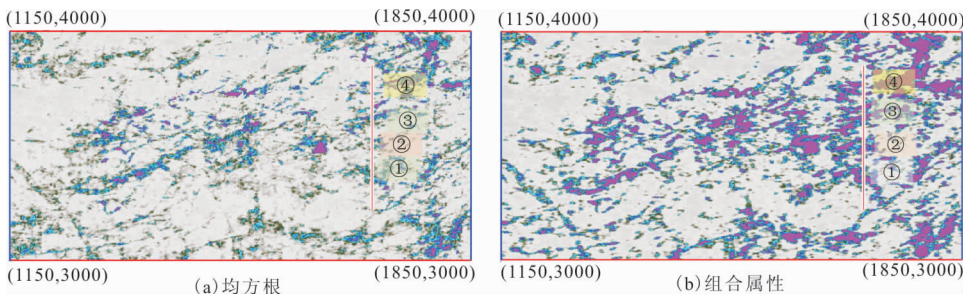


图 5 不同属性识别 S 油田某储层砂体发育对比

Fig. 5 Comparison of sand body development of a reservoir in S oilfield identified by different attributes

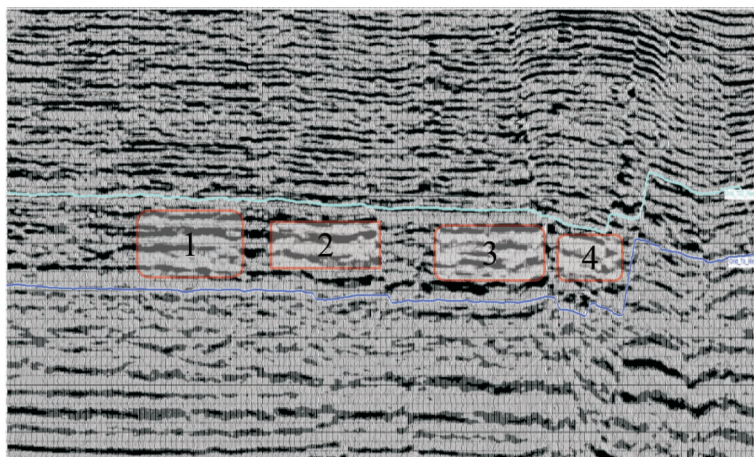


图 6 过 S 油田主测线号为 1700 的局部剖面

Fig. 6 The local profile passing through S oilfield with the main survey line number of 1700

沉积反映较差,次属性是指单一属性分析中,相关系数相对小一些的立方差和平均频率属性,这两个属性对厚的河道沉积反映较好。主属性和两个次属性的组合较好地克服了各自的缺点,兼顾了各自优点,可较好地对河道沉积进行预测,实际 S 油田的应用证明,研究提出的组合属性在预测河道沉积方面具有较好的优越性。

致谢

对给予本文研究资金资助的单位,中海石油(中国)有限公司北京研究中心、广东石油化工学院、江苏油田分公司,表示衷心的感谢!感谢对本文提出宝贵意见和建议的各位审稿专家和主编。

参考文献:

[1] 吴胜和,岳大力,刘建民,等. 地下古河道储层构型的

- 层次建模研究[J]. 中国科学, 2008, 38(增刊 D): 111-121.
- WU S H, YUE D, LIU J M, et al. Hierarchical modeling of underground paleochannel reservoir architecture[J]. Chinese Science, 2008, 38(Supplement D): 111-121. (In Chinese)
- [2] 朱筱敏, 张义娜, 杨俊生, 等. 准噶尔盆地侏罗系辫状河三角洲沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 244-251.
- ZHU X M, ZHANG Y N, YANG J S, et al. The sedimentary characteristics of Jurassic braided river delta in Junggar basin[J]. Petroleum and Natural Gas Geology, 2008, 29(2): 244-251. (In Chinese)
- [3] 刘德志, 许涛, 张敏, 等. 准噶尔盆地中部 1 区块侏罗系三工河组油气输导特征分析[J]. 东北石油大学学报, 2013, 37(2): 9-16.
- LIU D Z, XU T, ZHANG M, et al. The analysis of oil and gas transmission characteristics of Jurassic Sangonghe formation in block 1 of central Junggar basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2013, 37(2): 9-16. (In Chinese)
- [4] 杨柏. 江苏油田庄 2 断块阜一、阜二段储层精细地质模型[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2009.
- YANG B. Jiangsu oilfield Zhuang2block Fu1, Fu2reservoir fine geological model [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2009. (In Chinese)
- [5] 刘梦颖. 江苏油田真武西一邵伯地区戴南组地震沉积学应用研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2014.
- LIU M Y. Applied research on seismic sedimentology of Dainan formation in Zhenwuxi-Shaobo area, Jiangsu oilfield [D]. Qingdao: University of Petroleum (East China), 2014. (In Chinese)
- [6] 许杰, 董宁, 宁俊瑞, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田盒 3 段辫状河道沉积相预测[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(2): 90-94+132.
- XU J, DONG N, NING J R, et al. The sedimentary facies prediction of braided channel in He 3 member of Daniudi gas field in Ordos basin[J]. Lithological Reservoir, 2011, 23(2): 90-94 + 132. (In Chinese)
- [7] 毛立全, 梁秀丽. 水下分流河道地震预测——以松辽盆地杏西—哈尔温地区 S0 油层组为例[J]. 大庆石油地质与开发, 2019, 38(6): 132-138.
- MAO L Q, LIANG X L. Seismic prediction of underwater distributary channel — A case study of S0 reservoir group in Xingxi—Harwen area, Songliao Basin [J]. Daqing Petroleum Geology and Development, 2019, 38(6): 132-138. (In Chinese)
- [8] 王红岩. 西湖凹陷三角洲平原河道识别及特征分析[J]. 东北石油大学学报, 2020, 44(1): 44-52+120.
- WANG H Y. River identification and characteristics analysis of delta plain in Xihu sag[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2020, 44(1): 44-52 + 120. (In Chinese)
- [9] 康凯, 申春生, 徐中波, 等. 渤海海域某大型河流相油田沉积演化特征[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(3): 31-34.
- KANG K, SHEN C S, XU Z B, et al. Sedimentary evolution characteristics of a large fluvial oilfield in Bohai sea[J]. Comprehensive Utilization of Resources in China, 2020, 38(3): 31-34.
- [10] 金振奎, 时晓章, 何苗. 单河道砂体的识别方法[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(6): 572-575.
- JIN Z K, SHI X Z, HE M. Identification method of single channel sand body [J]. Petroleum Geology in Xinjiang, 2010, 31(6): 572-575. (In Chinese)
- [11] 张运龙, 丁峰, 尹成, 等. 基于地震波形结构属性识别河流相砂体叠置区[J]. 石油学报, 2018(7): 792-801.
- ZHANG Y L, DING F, YIN C, et al. Identification of superimposed fluvial sand bodies based on seismic waveform structural properties[J]. Journal of Petroleum, 2018(7): 792-801. (In Chinese)
- [12] 樊晓伊, 薛国勤, 刘斌, 等. 曲流河单一河道砂体井震联合识别[J]. 新疆石油地质, 2019, 40(2): 228-234.
- FAN X Y, XIE G Q, LIU B, et al. Well-seismic joint identification of single channel sand body in meandering river [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(2): 228-234. (In Chinese)
- [13] 刘杰, 杨振团, 帅庆伟. 河道预测中的地震相干体技术[J]. 长江大学学报(自科版), 2010, 7(2): 195-197.
- LIU J, YANG Z T, SHUAI Q W. Seismic coherence technology in river channel prediction [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science), 2010, 7(2): 195-197. (In Chinese)
- [14] 周晨, 赵程, 向伟, 等. 基于地震属性的地层河道识别与雕刻[J]. 区域治理, 2019(42): 177-179.
- ZHOU C, ZHAO C, XIANG W, et al. Identification and carving of stratigraphic rivers based on seismic attributes [J]. Regional Governance, 2019(42): 177-179. (In Chinese)
- [15] HART B. S. Channel detection in 3-D seismic data using sweetness [J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(6): 733-742.
- [16] 李楠, 刘志峰, 杨东升, 等. 地震属性综合分析技术在

- 河道精细刻画中的应用[J]. 中国海上油气, 2020, 32(1):66—73.
- LI N, LIU Z F, YANG D S, et al. Application of seismic attribute comprehensive analysis technology in fine river description [J]. Offshore Oil and Gas in China, 2020, 32(1):66—73. (In Chinese)
- [17] 王世瑞, 王树平, 狄帮让, 等. 基于地震属性特征的河道砂体预测方法[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(3):304—313.
- WANG S R, WANG S P, DI B R, et al. The channel sand body prediction method based on seismic attribute characteristics [J]. Petroleum Geophysical Exploration, 2009, 44(3):304—313. (In Chinese)
- [18] LAUGHLIN K., GAROSSINO P., PARTYKA G. Spectral decomp applied to 3—D[J]. AAPG Explorer, 2002, 23(5):28—31.
- [19] KHANNA A. K, KHANNA, VERMA A. K., DAS-GUPTA R., et al. Application of spectral decomposition for identification of channel sand body in oil's operational area in upper assam shelf basin, India — a case study [C]. Hyderabad 8th Biennial International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, 2010.
- [20] 杨占龙, 刘化清, 沙雪梅, 等. 融合地震结构信息与属性信息表征陆相湖盆沉积体系[J]. 石油地球物理勘探, 2017, 52(1):138—145.
- YANG Z L, LIU H Q, SHA X M, et al. fused seismic structure information and attribute information to characterize continental lacustrine sedimentary system[J]. Petroleum Geophysical Exploration, 2017, 52(1):138—145. (In Chinese)
- [21] 宋增强. 叠后地震反演技术预测河道砂体[J]. 大庆石油地质与开发, 2018, 37(4):151—156.
- SONG Z Q. Post—stack seismic inversion technology predicts channel sand body[J]. Daqing Petroleum Geology and Development, 2018, 37(4):151—156. (In Chinese)
- [22] 鲍祥生. 基于叠前地震资料的储层评价[R]. 江苏油田报告, 2010.
- BAO X S. Reservoir evaluation based on pre—stack seismic data [R]. Jiangsu Oilfield Report, 2010. (In Chinese)
- [23] 姜勇, 张雷, 邹玮, 等. 西湖凹陷 B 构造水下分流河道预测技术及应用[J]. 海洋石油, 2015, 35(2):36—39.
- JIANG Y, ZHANG L, ZOU W, et al. Underwater distributary channel prediction technology and application of B structure in Xihu sag [J]. Offshore Oil, 2015, 35(2):36—39. (In Chinese)
- [24] BAO X S, CAI Z H, WANG Q Z, et al. The influence of interference layer on the prediction of seismic information of channel sedimentary reservoir[J]. Shock and Vibration, 2022.

## Research and application of paleo—channel identification technology based on optimization combination of one major attribute and two minor attributes

BAO Xiangsheng<sup>1,2</sup>, CHEN Jun<sup>3</sup>, MI Fang<sup>2</sup>, WANG Qingzhen<sup>2</sup>, DING Jicai<sup>2</sup>,  
CHEN Guoming<sup>1</sup>, CAI Zhanhu<sup>1</sup>, TANG Qianqiang<sup>1</sup>, LI Yecheng<sup>1</sup>

(1. Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China;

2. National Engineering Research Center for Offshore Oil and Gas Exploration, Beijing 100028, China;

3. Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Branch, Yangzhou 225000, China)

**Abstract:** Most basins in China have developed paleo—channel deposits. Existing research has shown that paleo—channel deposits have become important for oil and gas accumulation in China. Therefore, reliable prediction of paleo—channel deposits is of great significance for finding paleo—channel reservoirs. Using seismic attributes to predict ancient rivers is the primary method. However, the forward simulation study found that different single seismic attributes have different sensitivity to river deposition. Some attributes are more sensitive to most river deposition, such as root mean square amplitude, average reflection intensity, etc. Some are particularly sensitive to some thicker river deposition, while others are generally sensitive to other river deposition. Based on this understanding, a new attribute is proposed, which combines the advantages of a single base—sensitive seismic attribute, a cubic difference of amplitude and average frequency. The application of Forward modeling and the application of S oilfield shows that the combined attribute has more advantages in predicting paleo—channel deposition than a single sensitive attribute.

**Keywords:** basin; paleo—channel; forward modeling; seismic attribute; composite attribute