

渤海 JZ - X 气田湖底扇岩性油气藏 预测技术研究

文佳涛 房 娜 王欣然 朱志强 严 皓

中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459

摘 要:准确预测油气藏的储层展布规律对油气勘探、开发十分重要。依据地震沉积学理论,对 JZ - X 气田原始地震资料进行分频处理,提高目标体识别精度;通过精细小层划分与对比和地层切片技术建立等时研究单元;在此基础上对湖底扇沉积特征进行深入研究,提出了基于沉积特征差异的地震属性优选思路,创新性地利用方差体地震属性代替原始传统成果数据,较好地刻画出湖底扇岩性油气藏的平面展布规律和垂向演化特征。研究成果为 JZ - X 气田后期开发方案调整提供了可靠地质依据。

关键词:湖底扇;岩性油气藏;地震沉积学;储层预测;方差体属性;渤海油田

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.05.011

Research on Prediction Technology of the Lithological Reservoir of Sublacustrine Fan in Bohai JZ - X Gasfield

Wen Jiatao, Fang Na, Wang Xinran, Zhu Zhiqiang, Yan Hao

Tianjin Branch of CNOOC Limited, Tianjin, 300459, China

Abstract: It is very important for oil and gas exploration and development to accurately predict the reservoir distribution rules. Under the guidance of the theory of seismic sedimentology, we improve the resolution of conventional main frequency seismic profiles by means of seismic frequency division interpretation techniques. The research unit is established by fine layer partition and contrast and stratigraphic slice technology. Through the in-depth study of sublacustrine fan sedimentary characteristics, the seismic attribute optimization based on sedimentary characteristics difference is proposed, and the innovative use of variance of seismic attributes is adopted to replace the original traditional result data, which can better depict sublacustrine fan lithologic reservoir plane distribution and vertical evolution characteristics. This study provides reliable geological basis for the later development plan research of JZ - X gasfield.

Keywords: Sublacustrine fan; Lithological reservoir; Seismic sedimentology; Reservoir prediction; Variance cube attribute; Bohai oilfield

收稿日期:2019-06-26

基金项目:国家科技重大专项项目“渤海油田高效开发示范工程”(2016 ZX 05058-001)

作者简介:文佳涛(1985-),男,湖北麻城人,工程师,硕士,从事油田地质工作。

0 前言

海上油气田钻井成本高,在勘探开发前期由于钻、测井资料少和井距大等原因,造成储层预测困难。因此,在无井或少井控制条件下,如何充分利用地震资料在空间上密集采样的优势,通过储层地震理论方法预测储层分布规律已成为推动海上油气田勘探与开发的重要手段^[1-5]。渤海JZ-X气田勘探阶段通过各种振幅能量类地震属性对湖底扇储层平面展布规律进行预测,研究认为该气田发育一个大规模整装湖底扇岩性油气藏,见图1。为此,在其构造低部位和高部位钻了JZ-X-1井和JZ-X-3井两口探井,实钻结果证实该湖底扇岩性油气藏内部储层横向变化快,砂体分布范围、连通关系和流体系统十分复杂,给后期的开发带来了严峻挑战。

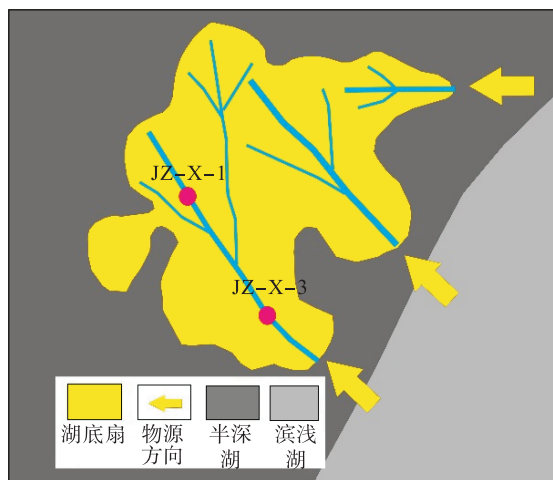


图1 JZ-X气田东二段湖底扇沉积模式图

在地震沉积学理论指导下^[6-8],针对JZ-X气田目的层东二段埋藏深、地震资料分辨率低、储层横向变化快等难题,通过地震分频解释技术提升原始地震资料分辨能力提高目标体识别精度;运用井震结合进行精细小层划分与对比和地层切片技术建立最小等时研究单元;根据湖底扇沉积特征,寻找湖底扇与周边围岩的沉积差异为突破口,提出基于沉积特征差异的地震属性优选思路,创新性地利用方差体数据代替传统成果数据,最终优选出不同时期方差体地层切片属性,较好地刻画出了湖底扇岩性油气藏平面展布规律和垂向演化特征。

1 地质概况

JZ-X气田位于渤海湾盆地辽东湾海域辽中凹陷中北部,为典型的中深层气田。结合区域地质背景、壁心、岩屑和重矿物等资料,研究认为JZ-X气田目的层东二段位于稳定的半深湖沉积环境,局部发育重力滑塌作用形成的湖底扇沉积体系,物源主要来自东边辽东凸起的辫状河三角洲沉积,气田范围内沉积亚相主要为湖底扇中扇沉积。

2 湖底扇岩性油气藏精细预测技术

2.1 分频解释技术

针对JZ-X气田目的层东二段埋藏深、地震资料分辨率低等难题,本文在地震沉积学理论指导下,利用地震分频解释技术来提高地震资料对目标体的识别精度^[9-11]。JZ-X气田的地震资料包括低频、中频和高频成分,其中低频成分代表背景场信息,高频成分虽然理论分辨率较高,但由于气田目的层埋藏较深,实际地震资料很难达到比较高的频率,可信度降低,不能真正地反应地下实际情况。研究区地震资料主频在23 Hz左右,通过对原始资料进行分频处理,采用小波分频重构技术,滤除了低频和高频成分,保留了主频优势频带,大大提高了目标体识别精度。本次主要将研究区地震数据体分为10、20、40 Hz。过JZ-X-1井~JZ-X-3井原始地震剖面见图2,过JZ-X-1井~JZ-X-3井分频处理后20 Hz地震剖面见图3,对比图2和图3可以看出其中主频20 Hz的地震剖面分辨率明显较高,不仅能够较好地刻画出湖底扇砂体的边界,还能较好地显示湖底扇内部细节,最终选择采用主频20 Hz的地震数据体预测研究区湖底扇平面展布规律和连通关系。

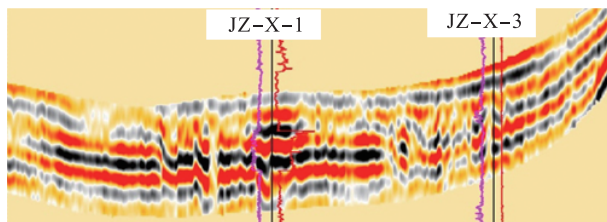


图2 过JZ-X-1井~JZ-X-3井原始地震剖面图

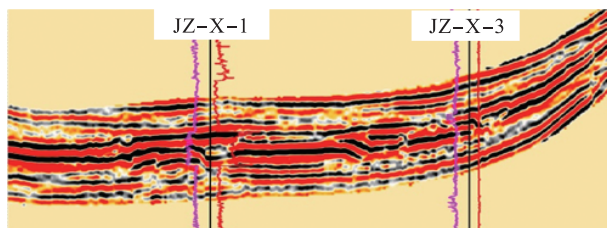


图3 过JZ-X-1井~JZ-X-3井20 Hz地震剖面图

2.2 地层切片技术

通过井震结合研究,认为JZ-X气田湖底扇内部主要发育两期不同的湖底扇沉积。根据精细小层划分与对比,将研究区湖底扇沉积划分为2个小层,分别对应早晚2个沉积期次。然后根据地质分层、地震层位和测井旋回等对应关系,采用地层切片技术建立等时研究单元。等时研究单元是井震统一的纵、横向研究单元,其中地震等时面的选取是等时研究单元的基础与关键。本次研究综合考虑JZ-X气田砂岩厚度、测井旋回等地质特征,并结合地震数据体的采样点和地震分辨率精

度,在湖底扇顶底两个等时面之间等比例内插出 8 个“等时地层切片”,然后选取不同的地层切片进行切片的地震属性提取和等时单元的储层平面研究。

2.3 方差体地震属性分析技术

2.3.1 湖底扇沉积特征差异研究

“湖底扇”这一术语来源于海底扇的研究,由 Walker R G 等人提出的海底扇模式演绎而来^[12],其含义与赵澄林、吴崇筠等人报道的浊积扇概念基本相当,均指湖盆中沉积物以重力流搬运方式堆积在深水区的粗碎屑扇形体^[13-17]。

在辽东湾地区,湖底扇的主要形成机制是三角洲沉积体系遭受冲刷,发生重力滑塌,在深水处的水道下方堆积而形成的小型沉积体^[18]。地震相一般具有透镜状外形,内部表现为蠕虫状或者杂乱反射^[19-20]。通过对辽东湾地区目前已发现的湖底扇沉积特征进行深入研究,认为受重力滑塌作用影响,湖底扇沉积体在沉积过程中常发生滑塌变形形成各种滑动变形构造,如包卷层理、泥岩撕裂屑等,砂岩的分选性、磨圆度较差,成分成熟度和结构成熟度较低。一些大的滑动变形构造也会导致地层的横向展布不稳定、不连续、成层性差等特征。研究区深湖泥岩质纯、整体分布范围广、连续性好、成连片分布,地震相主要表现为平行、连续的地震反射特征。结合壁心、岩屑描述、以及各种分析化验和测井曲线等资料,综合研究认为 JZ-X 气田湖底扇砂体的沉积特征和地震相与它周边围岩泥岩存在明显差异。因此,迫切需要寻找一种能够将湖底扇这种横向展布不稳定、不连续的沉积特征表征出来的地震属性,从而达到精细预测湖底扇岩性砂体平面分布范围的目的。

2.3.2 方差体属性基本原理与运算规则

方差体技术通过自动拾取三维地震地质信息,常用来检测地下地层不连续变化和断层等地质现象。由于三维地震数据体主要反映地下一个规则网格的反射特征,所以当遇到地下存在断层或某个不连续变化的地层时,一些地震道的地震反射特征就会与其附近地震道的地震反射特征存在差异,从而导致地震道局部存在变化和连续性特征^[21-22]。通过采用方差算法模型计算出整个三维数据体所有样点的方差值,如果在方差体地震属性的时间切片或顺层切片上出现异常区,便可检测出断层或不连续变化的地质信息,从而达到识别断层和不连续变化地层等地质异常体的目的。

方差体地震属性运算的核心就是在选定目标区对整个三维数据体的所有时间样点或深度样点求取方差值^[21-22]。首先在选择目标区求取每个时间样点或深度样点的方差值。具体计算方案见图 4,从图 4 左侧“平面图”看,求取方差值时在当前点周围八个方向取点进行方差计算;从右侧“剖面图”中可以看到,纵向取点

是以当前样点为中心上下各取半个时窗长度个样点来计算方差值。权函数的取值采用以下方案:计算时窗上下两端取值为 0,当前点处取值为 1,中间各点权值由线性内插求得,以此作为整个时窗的权重函数值。按照上述方案确定了方差计算取样范围后,具体计算任意一点方差值 σ_i^2 时可使用下式:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=i-L/2}^{j=i+L/2} W_{j-i} \sum_{i=1}^I (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{\sum_{j=i-L/2}^{j=i+L/2} W_{j-i} \sum_{i=1}^I (X_{ij})^2}$$

式中: W_{j-i} 为三角形权重因子函数; $\bar{X}_j$ 为第 i 道 j 个样点的地震数据振幅值; X_{ij} 为所有 i 道数据在 j 时刻的平均振幅值; L 为方差计算时窗的长度, m ; I 为计算方差时选用的数据道数。

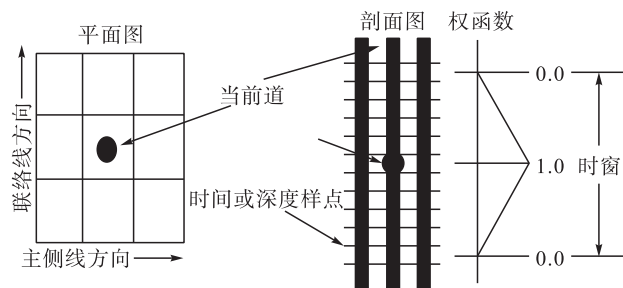


图 4 方差值计算数据点选取范围示意图

2.3.3 方差体地震属性优选与应用

通过文献调研,可知地震属性主要分为振幅、频率、相位及层序等多种类型,最常用的是通过各种振幅能量类的地震属性来识别砂泥岩的分布范围和预测有利储层发育带^[23-24],但用在刻画研究区湖底扇岩性砂体的平面分布范围时效果并不理想,存在着多解性。鉴于湖底扇这种特殊的沉积特征和储层分布范围难以预测的难题,本文通过对目标沉积体湖底扇的沉积特征及与周边泥岩的沉积差异进行深入研究,以寻找它的沉积主控因素和主要沉积特征差异为突破口,对地震属性的基本原理、使用条件及其地质意义进行深入调研分析,创新性地优选了一种用来表征复杂断裂带和地层不连续的方差体属性来刻画湖底扇砂体的分布范围和内部连通关系。实践结果证明,在地震沉积学理论指导下,通过对原始地震资料进行分频处理和建立等时地层切片,然后提取不同地层切片所对应的方差体属性,可以较好地刻画出湖底扇砂体平面展布规律和垂向演化特征。过 JZ-X-1 井~JZ-X-3 井原始地震剖面图见图 5,过 JZ-X-1 井~JZ-X-3 井原始地震剖面图见图 6,从图 5~6 可以看出,JZ-X 气田湖底扇砂体的分布范围和边界十分清晰,JZ-X-1 井和 JZ-X-3 井分别钻遇不同的湖底扇砂体。从早期到晚期物源供给逐渐增强,湖底扇沉积砂体分布范围逐渐增大。

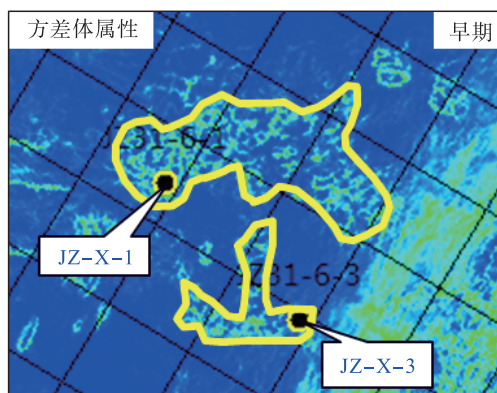


图5 沉积早期湖底扇砂体分布范围图

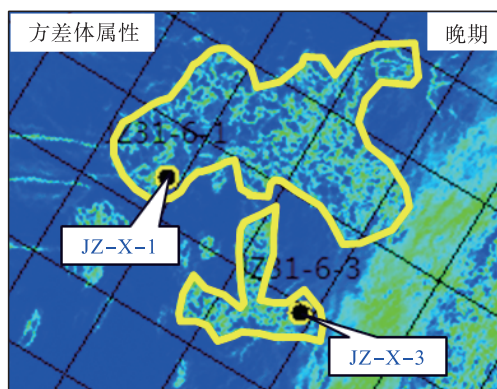


图6 沉积晚期湖底扇砂体分布范围图

3 结论

1) 通过对JZ-X气田湖底扇岩性油气藏的储层展布规律进行精细预测,进一步落实了湖底扇岩性油气藏的分布范围和内部连通关系。研究表明,JZ-X气田在勘探阶段认识的一个大规模湖底扇岩性油气藏其实是由两个相互不连通的岩性砂体组成。从早期到晚期物源供给逐渐增强,湖底扇砂体分布范围逐渐增大。本次研究进一步落实了JZ-X气田的风险和潜力,为气田后期的储量计算、开发方案研究和井位部署提供了可靠地质依据。

2) 实践结果证明,以地震沉积学方法为指导,在无井或少井控制条件下,充分利用海上油气田地震资料在空间上密集采样的优势,初步探索出一套基于目标体沉积差异的方差体地震属性预测技术,能够较好地预测湖底扇岩性油气藏分布范围。对渤海未来湖底扇岩性油气藏的勘探与开发具有很好的借鉴意义和较好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 徐长贵,赖维成.渤海古近系中深层储层预测技术及其应用[J].中国海上油气,2005,17(4):231-236.
Xu Changgui, Lai Weicheng. Predication Technologies of Paleogene Mid-Deep Reservoir and Their Application in Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17 (4): 231-236.

- [2] 刘腾,王军,张京思,等.地震Wheeler域变换结合时频分析技术用于渤海油田岩性油气藏描述[J].岩性油气藏,2018,30(3):124-132.

Liu Teng, Wang Jun, Zhang Jingsi, et al. Application of Wheeler Transform Combined with Time-Frequency Analysis Technology to Lithologic Reservoir Characterization of Bohai Oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2018, 30 (3): 124-132.

- [3] 董艳蕾,朱筱敏,李德江,等.渤海湾盆地辽东湾地区古近系地震相研究[J].沉积学报,2007,25(4):554-562.

Dong Yanlei, Zhu Xiaomin, Li Dejiang, et al. Seismic Facies of Paleogene in Liaodong Bay, Bohai Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25 (4): 554-563.

- [4] 赵斌,刘维永,黄江波,等.地震综合解释技术在渤海A油田开发中的应用[J].石油地质与工程,2010,24(5):80-82.

Zhao Bin, Liu Weiyong, Huang Jiangbo, et al. The Application of Geophysical Technology in Bohai A Oilfield Development [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2010, 24 (5): 80-82.

- [5] 乔柱,王思权,张德龙,等.渤海X油田岩性勘探中河道刻画及连通性分析[J].天然气与石油,2017,35(6):48-53.

Qiao Zhu, Wang Siquan, Zhang Delong, et al. Analysis on Channel Description and Connectivity in Lithology Exploration of Bohai Oilfield X [J]. Natural Gas and Oil, 2017, 35 (6): 48-53.

- [6] 马成龙.融频反演技术在J31块薄储层预测中的应用[J].天然气与石油,2018,36(4):68-72.

Ma Chenglong. Application of Fusion Frequency Inversion Technology in Thin Reservoir Prediction of Block J 31 in Liaohu Basin [J]. Natural Gas and Oil, 2018, 36 (4): 68-72.

- [7] 张闻亭,潘树新,刘震华,等.地震沉积学在渤陷湖盆滩坝砂体预测中的应用——以西西盆地Y区块间泉子段为例[J].岩性油气藏,2016,28(6):109-115.

Zhang Wenting, Pan Shuxin, Liu Zhenhua, et al. Application of Seismic Sedimentology to Prediction of Beach and Bar Sand Bodies in Lacustrine Basin: A Case Study of Jianquanzi Member in Y Block, Jiuxi Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28 (6): 109-116.

- [8] 朱筱敏,李洋,董艳蕾,等.地震沉积学研究方法和歧口凹陷沙河街组沙一段实例分析[J].中国地质,2013,40(1):152-162.

Zhu Xiaomin, Li Yang, Dong Yanlei, et al. The Program of Seismic Sedimentology and Its Application to Shahejie Formation in Qikou Depression of North China [J]. Geology in China, 2013, 40 (1): 152-162.

- [9] 马朋善,王继强,刘来祥,等.Morlet小波分频处理在提高地震资料分辨率中的应用[J].石油物探,2007,46(3):283-287.

Ma Pengshan, Wang Jiqiang, Liu Laixiang, et al. Application

- of Morlet Wavelet Frequency-Division Processing in Enhancing the Seismic Data Resolution [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2007, 46 (3): 283 - 287.
- [10] 范洪军, 李 军, 肖毓祥, 等. 地震分频技术在扇三角洲演化过程研究中的应用[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28 (5): 682 - 686.
- Fan Hongjun, Li Jun, Xiao Yuxiang, et al. Application of Seismic Frequency-Division Technology in the Study of Fan-Delta Evolution [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28 (5): 682 - 686.
- [11] 林年添, 孙 剑, 汤健健, 等. 分频技术在塔中地区地震储层边界刻画中的应用[J]. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 2012, 31 (4): 18 - 25.
- Lin Niantian, Sun Jian, Tang Jianjian, et al. Spectral Decomposition Technology and Its Application to Improving Resolution of Frequency Spectrum [J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 2012, 31 (4): 18 - 25.
- [12] Walker R G. Deep Water Sandstone Facies and Ancient Submarine fans: Models for Exploration for Stratigraphic Traps [J]. *AAPG Bulletin*, 1978, 62 (6): 932 - 966.
- [13] 赵澄林, 刘孟慧. 湖底扇相模式及其在油气预测中的应用[J]. *华东石油学院学报*, 1984 (4): 4 - 15.
- Zhao Chenglin, Liu Menghui. Facies Model of the Sublake-Fan and Its Application to Oil and Gas Exploration [J]. *Journal of East China Petroleum Institute*, 1984 (4): 4 - 15.
- [14] 吴崇筠. 湖盆砂体类型[J]. *沉积学报*, 1986, 4 (4): 1 - 27.
- Wu Chongyun. Sand Bodies in Lake Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1986, 4 (4): 1 - 27.
- [15] 董贵能, 邓 勇, 盖永浩, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷湖底扇的沉积特征[J]. *沉积学报*, 2014, 32 (2): 218 - 227.
- Dong Guineng, Deng Yong, Gai Yonghao, et al. Sedimentary Characteristics of Sublacustrine Fan in Weixi'nian Sag of Beibuwan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32 (2): 218 - 227.
- [16] 仲米虹, 唐 武. 前陆盆地隆后拗陷区湖底扇沉积特征及主控因素——以塔北轮南地区三叠系为例[J]. *岩性油气藏*, 2018, 30 (5): 18 - 28.
- Zhong Mihong, Tang Wu. Sedimentary Characteristics and Controlling Factors of Sublacustrine Fans in Backbulge Zone of Foreland Basin: Triassic in Lunan Area, Tarim Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2018, 30 (5): 18 - 28.
- [17] 欧阳雪琪, 王 亮, 刘 峰, 等. 中非 BG 盆地 BN 区块下白垩统湖底扇沉积特征[J]. *岩性油气藏*, 2016, 28 (3): 86 - 94.
- Ouyang Xueqi, Wang Liang, Liu Feng, et al. Sedimentary Characteristics of Lower Cretaceous Sublacustrine Fan in BN Block of BG Basin, Central Africa [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2016, 28 (3): 86 - 94.
- [18] 吴 奎, 吴俊刚, 张中巧, 等. 辽中凹陷北部湖底扇沉积模式及地震响应特征[J]. *东北石油大学学报*, 2012, 36 (5): 33 - 50.
- Wu Kui, Wu Jungang, Zhang Zhongqiao, et al. Sedimentary Model and Seismic Response Characteristics of the Sublacustrine Fan in Northern Liao Zhong Depression [J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2012, 36 (5): 33 - 50.
- [19] 田立新, 周东红, 刘力辉. 辽东湾蠕虫状地震反射的地质意义研究[J]. *石油物探*, 2010, 49 (3): 295 - 305.
- Tian Lixin, Zhou Donghong, Liu Lihui. Research on Geological Significance of Vermicular Reflection in Liaodong Bay [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2010, 49 (3): 295 - 305.
- [20] 王建功, 王天琦, 张 顺, 等. 松辽坳陷盆地水侵期湖底扇沉积特征及地球物理响应[J]. *石油学报*, 2009, 30 (3): 361 - 365.
- Wang Jiangong, Wang Tianqi, Zhang Shun, et al. Sedimentary Characteristics and Geophysical Response of Sublacustrine Fan During Transgress Period in Songliao Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30 (3): 361 - 366.
- [21] 林建东, 王 磊. 煤田三维地震资料解释中的方差体技术[J]. *中国煤炭地质*, 2000, 12 (4): 57 - 59.
- Lin Jiandong, Wang Lei. The Variance Body Techniques in 3-D Seismic Informational Interpretation of Coalfield [J]. *Coal Geology of China*, 2000, 12 (4): 57 - 59.
- [22] 赵牧华, 杨文强, 崔辉霞. 用方差体技术识别小断层及裂隙发育带[J]. *物探化探计算技术*, 2006, 28 (3): 216 - 218.
- Zhao Muhua, Yang Wenqiang, Cui Huixia. Application of Variance Cube Technology to the Interpretation of Small Faults and Fractured Zones [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2006, 28 (3): 216 - 218.
- [23] 王 伟, 吴 奎, 何 京, 等. 锦州 25-1 油田优质储层地震响应特征与定量预测[J]. *岩性油气藏*, 2018, 30 (3): 100 - 111.
- Wang Wei, Wu Kui, He Jing, et al. Seismic Response Characteristics and Quantitative Prediction of High Quality Reservoirs in Jinzhou 25-1 Oilfield [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2018, 30 (3): 100 - 111.
- [24] 王建花, 唐何兵, 张良庆, 等. 基于地震多属性分析的深层浊积扇刻画研究[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2012, 34 (2): 54 - 64.
- Wang Jianhua, Tang Hebing, Zhang Liangqing, et al. Study of Deep Layer Turbidite Fan Detection Based on the Seismic Multi-Attribute Analyses [J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2012, 34 (2): 54 - 64.