

# 提高碎屑岩地震储层预测精度的一种解释方案

关 达

(中石化石油物探技术研究院,南京 211103)

**摘 要:**目前碎屑岩储层地震解释面临的关键问题之一是由于地震资料分辨率不足带来的多解性。根据碎屑岩储层特征主要受控于沉积相的基本特点,提出了“相控储层预测”的解释方案,即高分辨率目标处理与储层预测技术结合、地质沉积演化分析与储层预测技术结合。该研究思路的核心就是在充分挖掘地震资料潜力的基础上,将地质和地震方法结合起来,遵循整体规律到局部雕刻的储层预测思路,可以避免因地震资料分辨率不足带来的多解性问题,提高地震储层预测解释的精度,有效地服务于勘探开发。通过亚诺斯盆地 A 油田碎屑岩储层预测实例展示了该解释方案的应用效果,充分证实了其可行性及有效性;最后提出了碎屑岩储层预测解释方面的几点建议。

**关键词:**碎屑岩储层;地震预测;沉积相控制;技术结合;解释精度

中图分类号:P539.1

文献标识码:A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2015.07009

## 1 碎屑岩储层解释面临的基本问题

目前,地震储层预测已经成为提高勘探开发效率的关键技术,基于地震属性与地震反演的储层预测技术在寻找和定量描述油气藏方面发挥了巨大的作用,但随着勘探目标的复杂化,地震储层预测的精度受地震资料分辨率的限制,储层预测结果的多解性日益显现出来,预测的精度已成为困扰地震储层预测的主要难题<sup>[1]</sup>。

针对如何提高储层预测的精度,最大限度地降低储层预测的多解性是当前迫切需要解决的问题,不同的地球物理服务公司提出了基于地震属性与地震反演方面的若干解决方案,这些方案总

体上依赖于波动理论,运用数学演算衍生新的数据,而且利用属性综合技术将不同的属性组合后形成一种新的属性,衍生的属性多达数百种<sup>[2]</sup>,其中也包括基于神经网络的优化属性<sup>[3]</sup>。实践证明,在储层非均质性强的滨浅湖相、河流相、三角洲相沉积地区,新的属性也难以从根本上提高储层预测的精度,而且有时会得出与实际地质情况相差甚远的结果。地震属性的多样化同时带来了另一个解释问题:哪一个属性能反映储层的展布,如何判别,精度如何,当然,正演模拟分析是解决这个问题的主要方法,但是当钻井不是足够多时,简单的地质模型无法模拟复杂的地层变化,同样带来解释的多解性。

地震波阻抗反演也是储层预测的主要技术手段,反演结果具有较高的垂向分辨率,往往被用于储层的定量预测,但地震波频带的有限、地震资料的信噪比都是地震反演面临的致命问题,导致地震反演结果的强多解性<sup>[4]</sup>。正因为提高地震资料的信噪比和拓宽频带难以达到反演适应性的要

收稿日期:2015-04-16

基金项目:国家自然科学基金(41210005);国家重大科技专项(20112X05002-001)

作者简介:关 达(1964—),女,高级工程师,主要从事地震综合解释方面的研究工作。E-mail:guanda\_swty@sinopec.com

求,以钻井测井资料为约束条件的约束反演成为最常用的反演方法,实际工作中我们经常遇到的现象是,随研究工区内钻井的增加,地震反演在反复地做,多一口井的约束,地震反演的结果就会发生改变,尤其在钻井较少的勘探阶段和开发初期,这种现象更为突出。为适应地质需求,在地震波阻抗反演的基础上,又试图反演求取储层的孔隙度、渗透率,甚至是油水饱和度等参数,无论是重构曲线技术还是拟合运算技术,这种储层参数反演的精度又进一步降低,强多解性必然导致地质认识的错误。

笔者期待着地震勘探技术在采集和处理环节发生飞跃性的变革,使地震资料的分辨率达到真正能分辨单一岩层的程度,但在目前的分辨率条件下,单纯的从技术的角度出发解决多解性问题是困难的。本文从目前地震资料和地震技术客观实际出发,针对碎屑岩储层的地质特点及储层特征的主控因素,提出“高分辨率目标处理与储层预测技术结合、沉积演化分析与储层预测技术结合”的储层预测解释方案,并通过实例分析展示该解释方案的实施过程与效果,强调“处理解释一体化、地质与物探一体化”的解释理念,旨在提高储层预测的精度。

## 2 碎屑岩储层的基本特征

通过宏观到微观概括性地分析碎屑岩储层的特征,进一步说明本文提出的“相控储层预测”解释方案的必要性和合理性及提高解释精度的原理。

### (1)从地质的角度分析

碎屑岩沉积体系有陆相、海相和海陆交互互相3种成因类型,陆相主要包括河流相、湖泊相、沼泽相、坡积、洪积相等;海相主要包括滨岸、浅海陆棚相等;海陆交互相主要包括三角洲相、潟湖相、潮坪相等。沉积相可以理解为一沉积环境下形成的沉积岩特征的总和<sup>[5]</sup>,沉积环境是形成沉积岩特征的决定因素,也是控制储层特征的决定因素,沉积环境是储层特征形成的基本原因(还有后期成岩及改造作用成因),此辩证关系表明了储层预测过程中重视沉积演化分析的重要性和必要性。

冲积扇的砂砾岩体、河流亚相中的边滩及心滩砂体、湖成三角洲砂体、滨岸砂体、海陆过渡相

的三角洲砂体、水下砂坝以及潮道砂体等都可能成为物性好的储层,这些沉积环境下沉积的砂体由于好的物源和强水动力条件,具有良好的孔渗性,并且与低孔渗性的围岩存在分界,利于油气的储集。从沉积的角度看,有利相带内发育的储层为有利储层,能寻找到有利的沉积相带就找到了好的储层。

### (2)从地震的角度分析储层预测的实质

地震速度与密度是地震勘探中2个基本的参数,正是因为在地震波穿越地层过程中这2个参数的变化才造就了变幻莫测的地震波场。通常储层的地震速度与密度参数与围岩存在差异,在不同的研究区都会得到类似的代表沉积特性的自然伽马(GR)与地震波阻抗(IMP)的交会结果:①呈低GR的砂层与高GR值的泥岩之间波阻抗存在明显的差异,有较小的重合段;②砂岩与泥岩之间的波阻抗有较大的重合段;③砂岩与泥岩之间在波阻抗参数上无法区分。根据褶积的原理,岩层间波阻抗差异的大小决定了地震波振幅属性的特征,地震储层预测技术正是通过储层与围岩之间物性或弹性参数上的差异而引起的地震反射特征的变化来寻找有效的储集体,相当一部分储层预测技术均是依赖于振幅属性得以实现的,那么当储层与围岩的波阻抗属性的差异较小时,即使它们的厚度足够大到地震信号可完全分辨,这类储层存在与否引起的反射特征的变化也是微弱、不确定和不清晰的。特别是横向非均值性强的薄砂层储层,在地震资料主频低、信噪比较低的情况下,基于地震振幅属性和波阻抗反演的技术也难以识别有效的储层,因为相同的地震属性可能是来自不同的地层结构综合反应,也可能是来自不同的岩性组合的综合反应。图1是2个地质模型的地震正演模拟结果,可以看出,不同的岩性组合在地震主频为30 Hz和45 Hz时,得到的地震响应特征基本一致,多解性问题突出。

那么,沉积演化分析能提高储层预测的精度吗?答案是肯定的,一个沉积体系中的地质体单元(比如河道、滨岸砂坝)的尺度无论在纵向还是横向上要大于一个单砂体的尺度,它所引起地震反射特征的异常往往是确定和清晰的,在目前分辨率条件下的地震资料能可靠地识别和确定一个沉积体系的存在,能可靠地描述其横向的展布,

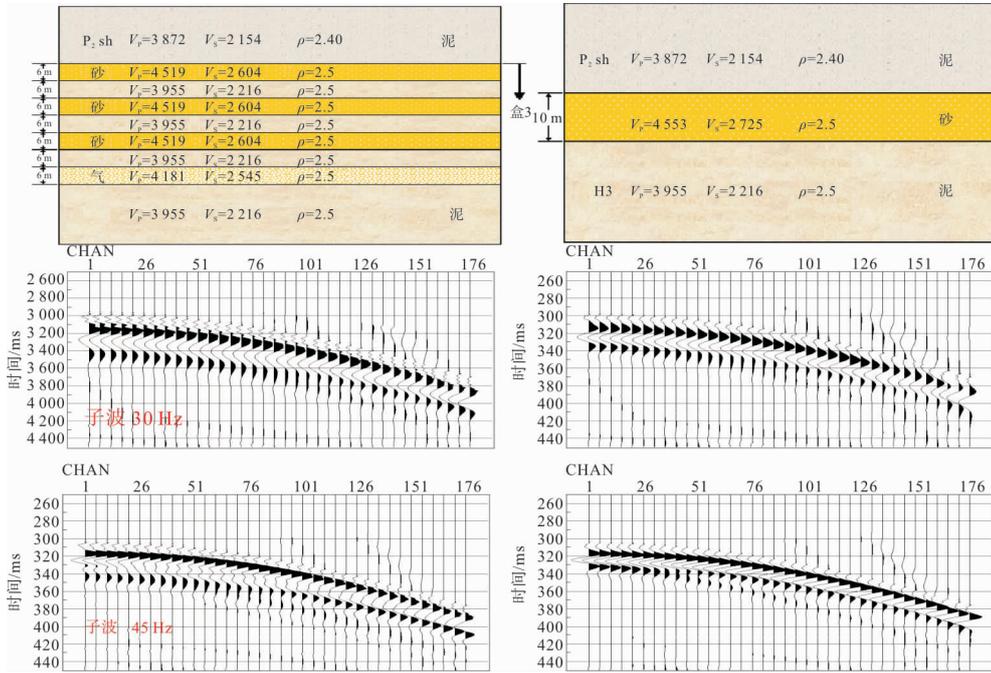


图 1 2 个地质模型不同频率的共中心点道集记录

Fig. 1 The CMP gathers for geological models with different frequencies

在其控制下,才可能把握岩性组合的变化,从而预测有效储层的分布,得到的解释结果是符合地质沉积规律的,是可靠的,这是沉积相分析的意义所在。沉积演化分析的意义在于用动态的眼光研究沉积相带的变迁过程,一个地质时期的一条河道肯定影响了下伏地层及后期沉积,它的存在很可能在其上下地震反射段特征上表现得更加明显。实际工作中常见的一种解释方法是利用钻井精确标定出砂岩或含油气储层的顶、底界面后再横向追踪其平面分布。由图 1 可以看出,在地震分辨率较低的情况下,如储层厚度不到地震波一个周期甚至不到半个周期时,只研究顶、底界面间地震波的属性,这种做法往往会导致错误的认识。

也正是地震分辨率与薄储层之间的矛盾以及沉积相解释的重要性,要求对地震资料进行高分辨率的目标处理,主要包括了目的层段主频率提升与频带拓宽处理、子波整形处理、相位处理等。提高地震资料的分辨率可以进一步突出薄储层的响应特征,子波整形处理使目标层段保持零相位记录,保持振幅的真实性;相位处理能够突出地震波组之间的反射结构的变化,突出地质体的形态;3 个方面的处理综合应用,都将提高地震资料解

决地质问题的能力,提高解释的精度。

### 3 解释方案

根据上述分析,笔者提出了“高分辨率目标处理与储层预测技术结合、沉积演化分析与储层预测技术结合”的储层预测解释方案,流程见图 2。该方案以高分辨率目标处理为前提,以沉积相及

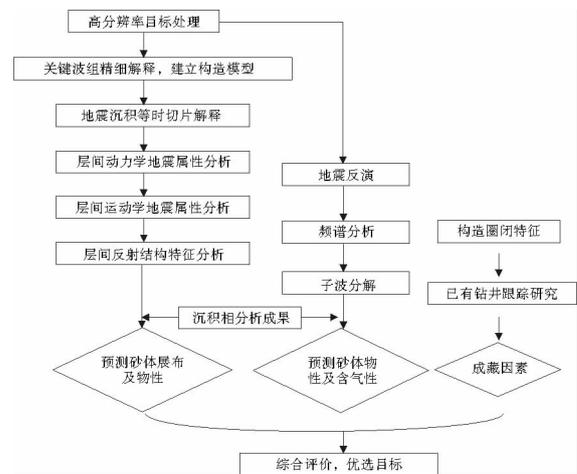


图 2 碎屑岩储层预测流程

Fig. 2 Seismic prediction of clastic reservoir

演化分析为基础开展地震储层预测技术的应用研究,核心的思想是以相控储层预测的思路为主线,即在沉积相特征研究成果指导下,解释地震属性平面变化规律或展布特征,并以符合沉积规律的预测成果作为评判标准;这样就将地质沉积思想贯穿于整个解释过程中,先寻找有利的沉积相带,在有利的相带内进一步寻找物性良好的储集体,最后参考流体检测技术<sup>[6]</sup>应用成果及成藏因素方面的研究,优选目标。

## 4 应用实例

以亚诺斯盆地 A 油田古近系为例进行储层预测。

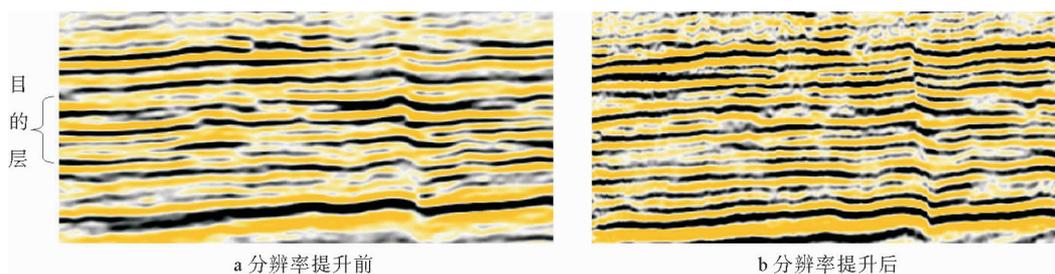


图3 分辨率提升前后地震剖面

Fig. 3 Seismic section before resolution enhancement

图4是频率提升处理的地震剖面,结合地震数值正演模拟、钻井标定的成果,将目的层段C5顶拉平,图4中蓝色虚线圈住的“强振幅、前积”地震反射特征为河道砂体的地震响应特征,河道逐步由北向南前移,这4期河道砂体正是A油田C5段主力产油层。由此可见,基于叠后面元均化和提高分辨率处理资料与常规处理资料相比较,波组之间的接触关系清楚,地质体形态特征明显,河

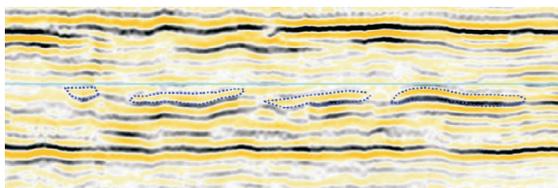


图4 河道砂体的地震反射特征

Fig. 4 Seismic reflection characters of river channel sandstone

### 4.1 目标处理的效果

亚诺斯盆地 A 田主力气层为古近系 C 组 C5 段,储层属三角洲前缘水下分流河道沉积,河道砂体沉积薄(一般为 5 m 左右,油气储层一般 < 3 m)、横向变化大,多期砂体纵横向叠置,砂体具有高孔、高渗特征,由于埋藏浅,砂岩与围岩的波阻抗差异小,三维地震资料面元大,为 25 m×75 m,目的层段视主频约为 35 Hz,河道砂体的识别特别是有效储层的预测十分困难。

图 3a 是常规处理的地震资料,目的层段分辨率较低、断裂成像不清。图 3b 是该段叠后面元均化和提高分辨率处理,纵向分辨率得以提高,主频在 43 Hz 左右,断裂成像更为清晰,经钻井标定,新处理的资料提高了 C5 段的解释精度。

道对下伏地层的切蚀特征清晰,而且河道砂体在高分辨率资料上表现为较强振幅的“亮点”地震响应特征更为明显,储层地震特征突出必将带来储层预测的精度提高。

### 4.2 沉积相约束的有利储层预测

通过正演分析表明,C5 段砂体厚度与 C5 反射段内振幅强弱具有很好的相关性,砂体厚度越大,振幅越强,利用振幅属性预测了主力含油层砂体的分布(图 5),近 NNE、NE 向展布的 5 个黄红色条带为砂体发育带。随后的钻井发现,在图中间井 SN 向的条带内钻井都是成功的,而在绿色和蓝色区域的钻井都是失利的,主要表现为砂体薄或物性差,以泥质为主,没有取得好的油气效果,这正是地震分辨率不足带来的地震属性多解性的问题。

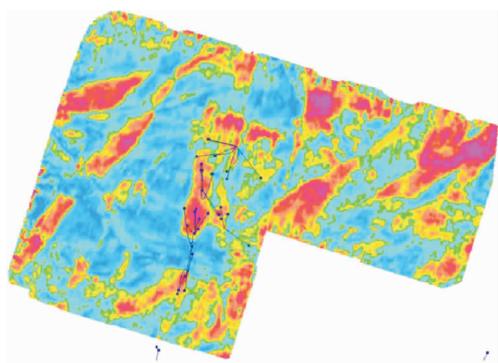


图 5 振幅属性预测的砂体平面展布

Fig. 5 The sandstone distribution pattern predicted with amplitude attributes

根据沉积相控制储层的思路,对 C5 段储层的地质特征进行了详细分析,认为控制 C5 段油气分布的是高能河道砂体形成的岩性圈闭,C5 段储层预测的关键不是找砂岩储集体,而是要找高能河道砂体,所以首先应对该区河道总体的分布进行研究,从而整体把握河道砂体的分布规律。根据目标处理资料,河道在地震相位、振幅属性平面上显示对下伏地层切蚀等突出特征,用动态的思维把握主题,不局限于对 C5 反射段的研究,采用分频振幅分析技术圈定河道发育的范围(图 6),在该时期研究区西侧发育多条 NNE、NE 向的主河道(图中亮色条带),河道间沉积以泥质为主,储层物性差(图中深色区域);主河道内的钻探揭示 C5 段砂体纯净、孔渗性好,油气显示较好,而主河道外围和河道间砂体一般欠发育,即使存在砂体,其物性较差,储集性能不好。

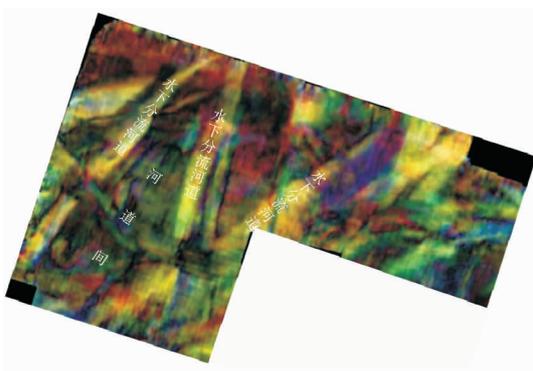


图 6 河道展布平面图(亮色区域)

Fig. 6 Distribution map of river channels(bright area)

在上述预测砂体的基础上,基于沉积相研究成果约束,进行了有利砂体平面展布预测,最后结合地震属性综合分析技术<sup>[7,8]</sup>,实现了含油气砂体预测的目标,提高了预测精度。图 7 为基于多属性识别形成了砂体分布图,油气井与干井的沉积环境相差较大,经过沉积相研究成果约束下的地震属性综合分析,排除了非河道砂体引起的强振幅异常,确认并突出了有利砂体的分布,指导了勘探开发的部署。

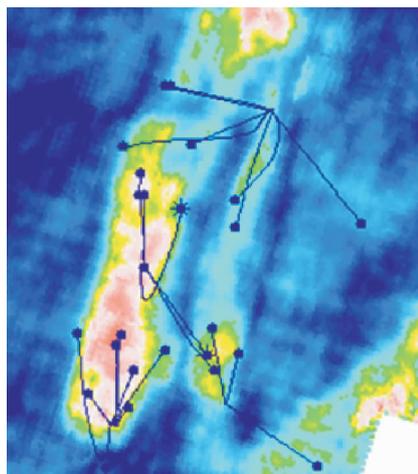


图 7 河道控制下的有利储集砂体展布(亮色区域)

Fig. 7 Distribution of favorable sandstone reservoirs controlled by river channels(bright area)

基于上述研究成果,进一步应用地震反演对有效砂体进行了定量的描述,并应用叠前反演及 AVO 技术进一步对含油性进行预测(图 8)。随后部署开发准备井和评价井 4 口,全部获得了良好的油气显示,说明了“相控储层预测”解释方案的适用性。

## 5 结论

从以上的研究可以看出,地震储层预测技术的指导思想的确立是取得提高预测成功率的关键。在实际工作中不仅要追求地震储层预测技术能刻画什么,而要追求刻画的目标是可靠的。本文的研究成果充分表明,沉积相与沉积环境控制了砂体的分布,更重要的是控制了有利储层的分布及其厚度变化;在现有的地震分辨率条件下,沉

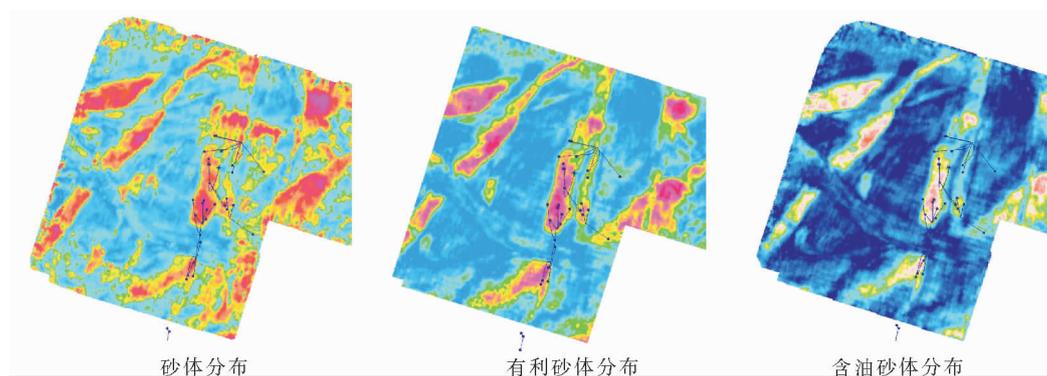


图8 沉积及演化分析约束下储层预测

Fig. 8 Reservoirs prediction maps constrained by analysis of sedimentation and evolution

积相带研究、演化过程分析、有利的沉积相带刻画,对预测有利砂体甚至是油气藏均具有更重要的意义。

针对复杂碎屑岩油气储层预测,本文提出的“相控储层预测”的储层预测解释方案,在提高预测精度方面收到较好的效果。该方法不同于单纯的储层预测技术,而是将储层预测看作一个系统工程,强调整体控制,即强调储层发育的背景,了解储层发育的规律,从总体上把握储层发育特征,划分出储层发育的有利区;然后针对有利区的储层地质特征和地震资料的特点,利用钻井资料和地震资料寻找储层预测的敏感性参数,优选针对性的技术方法进行精细刻画有利区内储层的展布特征。核心就是将地质和地震方法结合起来,遵循整体规律到局部雕刻的储层预测思路,从而最大限度地避免了因地震资料分辨率不足带来的多解性问题。

## 6 几点建议

(1)降低储层预测的多解性是地球物理工作者追求的目标,在储层预测工作开展的初期,采用合适的技术提高地震资料的信噪比和分辨率,挖掘资料潜力,突出储层特征,会给薄储层地震响应特征的有效识别带来帮助,但是地震分辨率的提升不能盲目进行,要根据地层结构特征确定最佳的响应波场,同时根据地震原始资料品质制定正确的处理流程和提升目标。

(2)地球物理方法都存在一定的多解性,了解勘探区和目标层的地质特征与物性特征,研究它

的地震相应特征,会使我们在众多的算法和结果中把握方向,找到真解,达到目的。

(3)振幅、频率、相位3个基本的地震属性与由它们衍生出来的新属性相比是真实有效的,不应因为它们的“简朴”而舍弃。

该解释方案做为一种储层预测思路在不同的地区有其不同的实现方式,所包含的内容也有所不同,最终成果的质量仍取决于解释人员对地质和地震资料的理解。

**致谢:**感谢赵群、杨江峰等专家在正演模拟和储层预测等方面给予的帮助!

### 参考文献:

- [1] 董雪梅,徐怀民,胡婷婷,等.层序约束地震储层预测技术在岩性圈闭识别中的应用[J].石油地球物理勘探,2012,47(增刊1):84-90.
- [2] 李达,隋波,马光克,等.地震多属性分析技术在含气储层预测中的应用[J].海洋地质前沿,2012,28(6):51-55.
- [3] 王永刚,曹丹平,朱兆林.神经网络方法烃类预测中的问题探讨[J].石油物探,2004,43(1):94-98.
- [4] 杜立筠,吴志强,龙利平.鄂尔多斯盆地中生界低幅度构造岩性圈闭油气储层预测技术[J].海洋地质前沿,2013,29(10):59-64.
- [5] 赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学(第3版)[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [6] 刘振峰.致密砂岩油气藏地震地质研究关键技术[J].地球物理学进展,2014,29(1):182-190.
- [7] 李正文,李琼.油气储集层地震综合预测及应用研究.石油地球物理勘探,2002,37(增刊):93-96.
- [8] 江洁.叠前地震属性在河流相储层预测中的应用——以新北油田为例[J].海洋地质前沿,2011,27(3):58-62.

