

文章编号:0253-9985(2011)04-0615-10

精细层序地层格架与地震沉积学研究

——以泌阳凹陷核桃园组为例

朱筱敏^{1,2},董艳蕾^{1,2},胡廷惠^{1,2},罗琪^{1,2},王敏³,杨道庆³,罗家群³,刘桂兰³

(1. 中国石油大学 地球科学学院,北京 102249; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249; 3. 中国石化 河南油田分公司,河南 南阳 473132)

摘要:地震沉积学是当今国际沉积学研究热点,是利用地震资料研究沉积岩及其形成过程的一门新兴边缘学科,是进行高频层序和沉积体系研究的有效工具,在薄层砂体勘探和开发方面具有明显效果。根据泌阳凹陷深凹区地震资料质量高、断层少、发育滑塌浊积扇的地质特点,依据地震沉积学和层序地层学基本原理,建立了层序地层格架,将核桃园组划分为5个三级层序和8个四级层序。进而,在高频层序地层格架中,通过90°相位转换、分频处理、地层切片、岩心刻度等工作,开展了地震岩性学和地震地貌学研究,确定了核桃园组多物源供给形成辫状河三角洲-滑塌浊积扇沉积体系,滑塌浊积扇的发育明显受控于三角洲的发育演化,明确了滑塌浊积扇砂体的形态、分布及其与油气关系,指出核桃园组SQ2—SQ4是深凹区岩性油气圈闭的有利勘探层段,三角洲前缘和浊积扇砂体为有利勘探目标。

关键词:地震沉积学;层序地层学;滑塌浊积扇;核桃园组;泌阳凹陷

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

**Seismic sedimentology study of fine sequence stratigraphic framework:
a case study of the Hetaoyuan Formation in the Biyang Sag**

Zhu Xiaomin^{1,2}, Dong Yanlei^{1,2}, Hu Tinghui^{1,2}, Luo Qi^{1,2}, Wang Min³, Yang Daoqing³,
Luo Jiaquan³ and Liu Guilan³

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. SINOPEC Nanyang Oilfield Company, Nanyang, Henan 473132, China)

Abstract: Seismic sedimentology is an emerging interdisciplinary subject that studies sedimentary rocks with seismic data. It is the current hot spot of international sedimentology study, and is an effective tool for mapping high-frequency sequence and depositional systems. It plays an important role in the exploration and production of thin sandstone reservoirs. There are abundant quality seismic data in Biyang Sag which features in underdeveloped faults but highly developed slump turbidite fans. The Hetaoyuan Formation in Biyang Sag is divided into five third-order and eight fourth-order sequences on the basis of the fundamental principles of seismic sedimentology and sequence stratigraphy. Seismic lithology study and seismic geomorphology study within high-frequency sequence stratigraphic framework are performed through 90-degree phasing convention, frequency division processing, stratal slicing, and core calibration. It is confirmed that multiple provenances contributed to the development of the braided river delta-slump turbidite fan depositional system in the Hetaoyuan Formation, and the development of slump turbidite fans was controlled by the braided river delta. The geometry and distribution of slump turbidite fan sandbodies and their relation with oil and gas are defined. It is pointed out that SQ2, SQ3 and SQ4 are favorable plays of lithologic traps, and the sandbodies of delta front and turbidite fan are favorable exploration targets.

收稿日期:2011-03-01。

第一作者简介:朱筱敏(1960—),男,教授、博士生导师,沉积地质学。

Key words: seismic sedimentology, sequence stratigraphy, slump turbidite fan, Hetaoyuan Formation, Biyang Sag

层序地层学是研究以不整合面或与之相对应的整合面为边界的年代地层格架中具有成因联系的、旋回岩性序列间相互关联的地层学分支学科^[1]。层序地层学起源于地震地层学,自20世纪80年代以来,多种层序地层学理论观点(Vail的经典层序地层学,Galloway的成因层序地层学,Cross的高分辨层序地层学等)在全世界范围内得到了广泛的应用^[1-3]。近年来,中国的层序地层学研究不仅注重不同类型盆地的层序地层成因分析,而且注重层序地层界面、坡折带、下切谷以及不同体系域和高频层序与地层岩性圈闭勘探开发之间的关系研究^[4]。在建立层序地层格架和开展地层岩性圈闭勘探开发过程中,常常遇到如何确定薄层沉积砂体形态、边界、成因类型及其分布演化等科学和生产问题。如何解决这些相关的问题,当今发展的地震沉积学(主要包含地震岩性学和地震地貌学研究)适应了地层岩性圈闭精细勘探开发的需求,并在油气精细勘探开发中发挥了积极作用。地震沉积学是在地震地层学和层序地层学的基础上发展起来的一门新兴学科,最早由美国德

州大学曾洪流提出,他认为地震沉积学是利用地震资料来研究沉积岩及其形成过程的一门学科^[5-6]。后来,朱筱敏将地震沉积学理解为以现代沉积学和地球物理学理论为基础,利用三维地震资料及地质资料,经过层序地层、地层切片、地震属性与岩心刻度的相关岩性研究、以及地貌形态特征研究,确定岩性、沉积成因、储层形态及油气分布的地质学科^[7]。该学科基于高精度三维地震资料、现代沉积环境、露头 and 钻井岩心资料建立的层序地层格架和沉积环境模式的联合反馈,是用以识别沉积单元三维几何形态、内部结构和沉积演化历史的一项新方法体系。

1 区域地质概况

泌阳凹陷位于河南省南部,是南襄盆地的一个次级凹陷(图1),面积为1 000 km²。其南部和东部为桐柏山,西北部是社旗凸起,东北部是伏牛山,西部以唐河低凸起与南阳凹陷相隔,是一个小型中新生的“小而肥”断陷盆地^[8]。

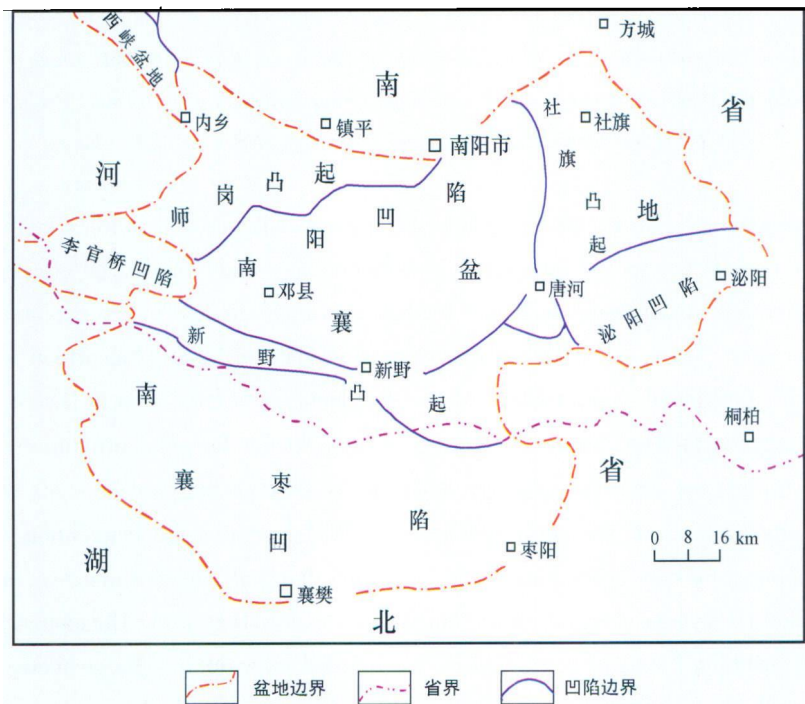


图1 泌阳凹陷构造位置^①

Fig.1 Structural location of Biyang Sag^①

① 林社卿,罗家群,邱荣华,等. 泌阳凹陷核三下成藏条件研究及勘探目标优选. 中国石化河南油田勘探开发研究院,2010.

现在已完成全盆地二维和三维地震勘探,二维地震测网密度达 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$,三维地震覆盖面积达 $1\,700\text{ km}^2$;完成各类探井近千口,平均探井密度为 $1.1\text{ km}^2/\text{口}$,处于较高成熟勘探程度期。新一轮油气资源评价表明,泌阳凹陷油气资源极为丰富,虽资源探明率达70%,但仍有大量的油气资源待开发。前人研究认为^[8-10],泌阳凹陷核桃园组可被划分为4个三级层序,沉积时期边界断裂活动强度大,沉积物分布较广,沿湖盆四周发育三角洲、扇三角洲、近岸水下扇等沉积砂体。近期加强了泌阳凹陷深凹区岩性圈闭的勘探,实施了钻探,泌354井在古近系核桃园组核三段(深度大约2 800 m)获得高产油气流,并认为该井钻遇三角洲前缘的滑塌浊积砂体。那么,深凹区核三段三角洲及滑塌浊积砂体等有利砂体在空间上如何展布?怎么确定这些薄层砂体形态和边界?如何深化深凹区的勘探?以上科学和生产问题是目前泌阳凹陷深凹区勘探亟待解决的问题,本文就是在这种油气精细勘探的背景下开展地震沉积学研究的。本文依据层序地层学理论、三角洲和重力流现代沉积学理论,充分利用泌阳凹陷地震和地质资料,建立古近系核桃园组核三段高精度层序地层格架、采用关键井岩心相分析技术和多井定量沉积学研究技术、地震沉积学砂体分析技术,开展地震沉积学研究,明确高精度层序地层格架中的沉积类型和沉积砂体分布演化规律(特别是滑塌浊积扇的分布演化),预测有利砂体和岩性圈闭分布地区。

2 核桃园组层序精细地层格架

泌阳凹陷内所钻遇的地层自上而下依次为第四系平原组、新近系上寺组及古近系廖庄组、核桃园组、大仓房组和玉皇顶组(图2)。根据岩石组合、沉积旋回及岩性特征,自上而下将厚2 000~3 000 m的核桃园组分为3段,即核一段、核二段、核三段。核一段厚400~500 m,以灰-灰绿色泥岩为主夹油页岩和砂岩。核二段厚700~800 m,为灰、深灰色泥岩、泥质白云岩夹灰褐色白云岩、油页岩、砂岩和天然碱。核三段厚1 100~1 700 m,为灰黑色-深灰色泥岩夹泥质白云岩和

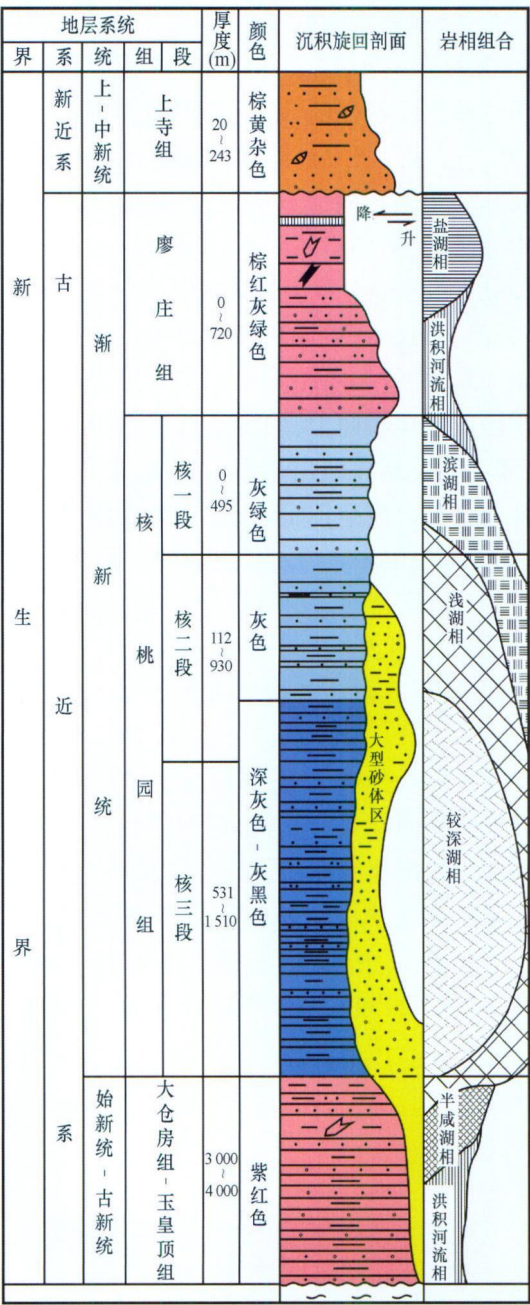


图2 泌阳凹陷新生代地层综合分析图^①
Fig. 2 Stratigraphic column of the Cenozoic in Biyang Sag

砂岩,顶部夹薄层天然碱和油页岩及钙质页岩。核桃园组核三段是泌阳凹陷主要含油气层段,也是本次研究的目的层段。

建立等时的地层格架是开展地震沉积学和薄层有利储层预测的基础。层序地层格架的建立是根据地震、露头、钻/测井和古生物等资料相关特征识别层序地层界面^[4]。在泌阳凹陷深凹区核桃园组核三段层序地层学研究中,主要采用了岩心

① 林社卿,罗家群,邱荣华,等. 泌阳凹陷核三下成藏条件研究及勘探目标优选. 中国石化河南油田勘探开发研究院,2010.

以及测井、地震资料开展层序地层分析。利用岩心和测井资料,实现“点”至“线”层序地层划分和沉积体系组成特征的认识;利用地震资料可实现由“线”至“面”研究层序界面特征和层序演化规律及其沉积体系构成。首先,在地震层序划分工作中,选择了从沉积凹陷到斜坡及隆起带的质量好、断层少、层序全和接触关系明显的主干地震剖面,找出上超、下超、顶超和削截等各种地震反射接触关系,然后再向凹陷中心对比追踪至相应的连续地震层序界面上,确定出所要划分的层序界面,建立地震层序地层格架。其次,制作了 30 多口井的人工合成地震记录,建立地震层序划分与钻/测井资料层序地层划分之间的关系,保证地震层序划分方案与钻井层序划分方案的一致性。最后,利用关键井资料(特别是岩心井)开展层序地层界面、沉积亚微相类型和沉积序列的综合研究(图 3)。

通过综合分析地震资料、钻井及岩心资料、测井曲线的旋回性等,结合泌阳凹陷核桃园组沉积序列和构造演化特征以及气候周期性变化特征,将泌阳凹陷核桃园组核三段划分为 5 个三级层序、8 个四级层序。5 个三级层序命名为 SQ I—SQ V。SQ I 大致对应于核桃园组核三段 H_3^1 和

H_3^2 砂组,SQ II 大致对应于 H_3^3 砂组,SQ III 大致对应于 H_3^4 砂组,SQ IV 大致对应于 H_3^5 和 H_3^6 砂组,SQ V 大致对应于 H_3^7 和 H_3^8 砂组。8 个四级层序分别命名为 SQ1—SQ8(图 3)。

泌阳凹陷古近系核桃园组三段沉积时期,由于边界大断裂的强烈活动形成了断陷箕状结构,使得盆地的古地形具有南部陡坡、中央深凹和北部斜坡的分异特点。在不同的地形差异地区,层序地层的形成背景和主控因素是有差别的。南部陡坡带临近物源,加之盆地边界断裂的强烈活动,地形高差大,重力流沉积作用明显,在这个地区形成的层序及叠置样式主要受控于盆地深大断裂的活动幅度和阶段性,沉积类型以近岸水下扇为主。中央深凹区是盆地的沉积中心,相对远离物源供给区,构造活动弱,地势深凹平坦,层序的叠置样式主要受湖平面升降变化造成的古水深的控制,以发育厚层暗色泥岩和浊积扇为特征。北部斜坡带地形相对平缓单一,湖平面的升降变化以及沉积物源供给的多少控制了缓坡区层序地层的叠置样式。显然,泌阳凹陷深凹区核三段层序地层分布明显受盆地南部边界断裂活动强弱的控制,形成了南厚北薄的地层分布特点(图 4)。

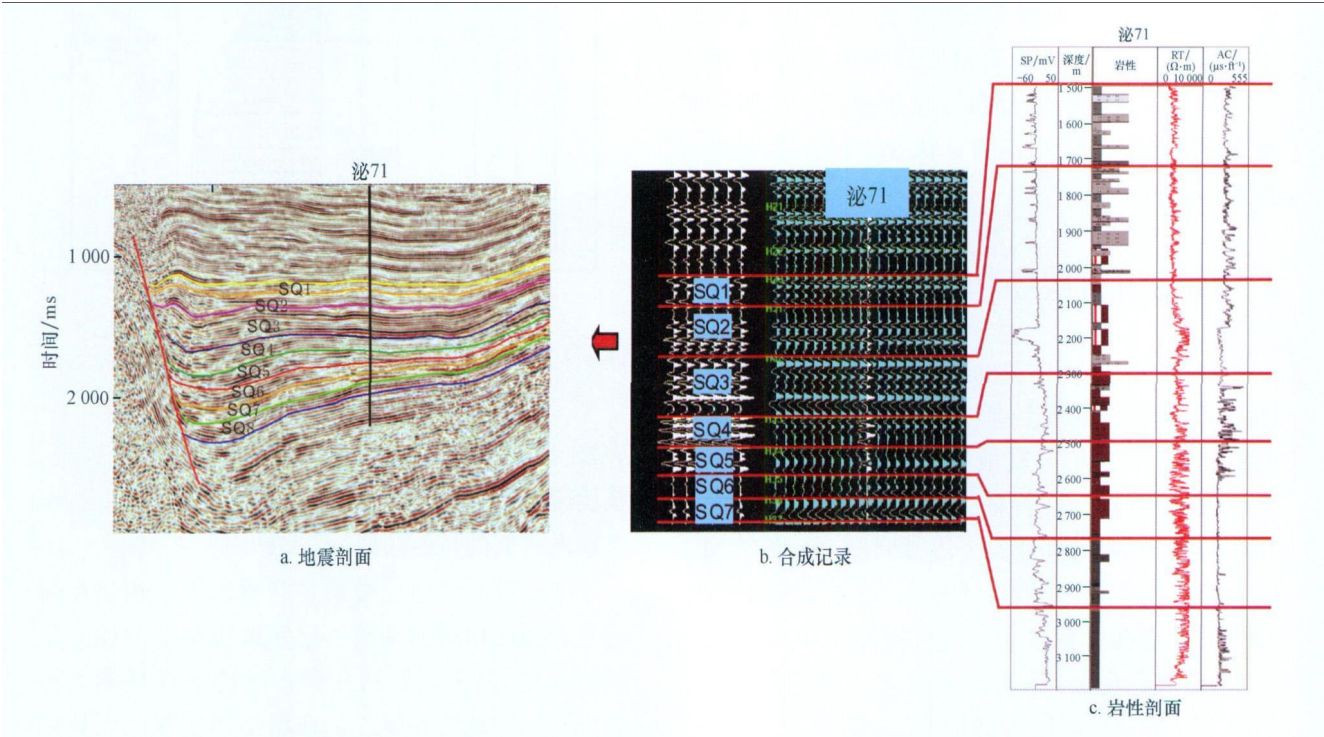


图 3 井-震联合建立泌阳凹陷深凹区核桃园组核三段层序格架(测线 L367)

Fig. 3 Sequence framework of the third member of Hetaoyuan Formation in Biyang Sag established through well and seismic data integration(Line 367)

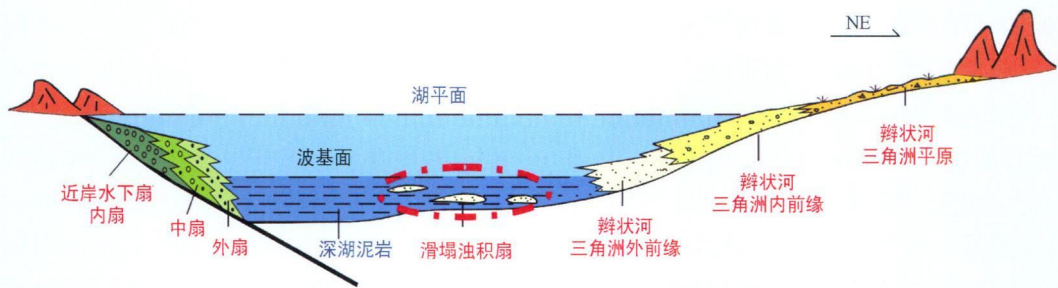


图 4 泌阳凹陷核桃园组三段沉积模式

Fig. 4 Sedimentary model of the third member of Hetaoyuan Formation in Biyang Sag

3 核桃园组地震沉积学研究步骤和结果

地震沉积学研究主要包含地震岩性学 (Seismic Lithology) 和地震地貌学 (Seismic Geomorphology)。应用地震岩性学可开展地层岩性综合研究；应用地震地貌学,结合沉积体系地貌形态特征,可将经特殊处理的平面或立体地震数据体进一步转换成沉积砂体分布和沉积相图。现今,地震沉积学已基本形成了较为通用的研究程序,这也是下文将要讨论的研究步骤。

首先,在复杂波场的油气储层研究中,地震记录中不可避免地会包含随机噪音,尤其是在利用地震属性开展沉积特征的识别和研究过程中,噪音的影响往往会给地震属性带来严重的多解性。研究表明,当噪音达到 30% 时,目标体的形态就会出现模糊。同时,我们知道,基于信号保真的高分辨处理是利用地震资料进行薄储层沉积微相预测

的又一个重要方面,对信噪比较高的地震剖面进行合适的反褶积处理是提高地震资料分辨率行之有效的。泌阳凹陷深凹区地震资料去噪处理和提高分辨率处理后的地震资料质量明显改善 (图 5),地震资料主频达到 30 ~ 35 Hz。进而,依据泌阳凹陷核桃园组精细层序地层格架,优选出具有地质时间界面意义的地震参照同相轴。

第二步,为了建立地震反射同相轴与波阻抗剖面之间的良好对应关系,常需要开展 90° 相位调整处理^[11-12]。通过调整,发现地震极性与岩性具有更好的对应关系,所有钻遇的砂岩层几乎都对应于地震波谷 (红色),这些改进使地震剖面看上去更像地质剖面,即地震解释追踪的反射同相轴相当于追踪了沉积砂体,从而赋予了地震反射同相轴更强的地质意义 (图 5)。

第三步,根据泌阳凹陷核桃园组地层产状和厚度变化特征^[13-15],优选地震数据的地层切片方法,来研究非水平、非等厚地层的平面地震属性特征 (利用美国 Recon 软件很容易完成地层切片工

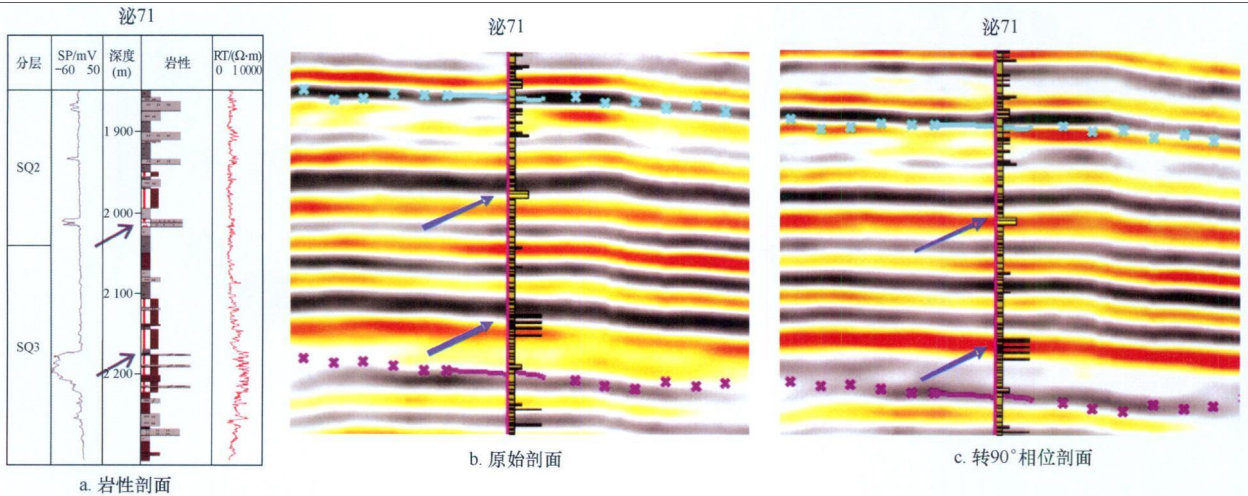


图 5 泌阳凹陷泌 71 井地震剖面 90° 相位调整前、后效果对比 (Line366)

Fig. 5 Comparison of seismic profiles of Well Bi 71 in Biyang Sag before b) and after c) 90° phase control (Line 366)

作)。在原始三维数据体中,沿各层序关键层位提取振幅便形成了振幅地层切片数据体。这一过程中的所有参照地震轴在地层切片数据体中都是被拉平的,所有的地震同相轴和地层切片都被拉平后显示。这一新的三维地震数据体的 X,Y 坐标都与原始三维数据体的相同,而 Z 轴却是相对地质时间。地层切片体也可以被视为相对地质时代等时体。因此,这个数据体中的任何一张时间切片都代表这一地层时间模型中相应地质时间界面的地震响应(图 6)。

第四步,优选地震反射属性,分频地层切片处理。根据薄层反射的调谐原理以及地震调谐厚度与地震频率、薄层砂岩厚度之间的关系,开展分频地震参数处理和统计,优选能够反映薄层砂体的最佳频率。针对泌阳凹陷深凹区核桃园组核三段地震资料频谱分析可知,地震资料的主频在 30 ~ 35 Hz。针对某个层序单元,沿不同的频率段范围分别求其均方根振幅切片,然后与本层段内的砂体发育情况进行对比分析,通过地质分析来发现最好的频率段响应。

本次研究计算了频率为 8 ~ 64 Hz 的频谱能量数据。首先将泌阳凹陷深凹区三维地震数据体分为 8 ~ 12, 12 ~ 16, 16 ~ 24, 24 ~ 32, 32 ~ 48, 48 ~ 64 Hz 6 个频率段进行扫描,每一个频率段得到一张能量平面分布图,从而得到一系列频率均方根振幅切片(图 7)。可以看到,在 24 ~ 32 Hz 主频段,调谐振幅异常体能量最强、轮廓异

常清晰、分布相对稳定;而在其他频率段异常体能量变弱,轮廓不清晰。说明对应该类薄层砂岩体厚度的最佳地震频率在 24 ~ 32 Hz 附近。结合已有钻井信息和前人区域沉积体系的研究成果可知,该异常体反映片状、薄层的辫状河三角洲前缘水下分支河道、河道间以及浊积扇沉积。

在不同的研究地区、针对不同的地质目标体应该选取不同的地震属性。通常振幅属性最能反映沉积岩性和砂体横向展布及空间变化,特别是能够反映砂岩透镜体的边界。泌阳凹陷深凹区滑塌浊积扇砂体十分发育,是沉积研究中需要刻画的主要对象,因此主要选用振幅属性对深凹区发育的砂体进行分析。本次研究主要利用美国 Recon 软件,提取了振幅、瞬时相位、瞬时频率等多种地震属性进行分析。研究发现,振幅类属性图中能量整体较强,主体呈条带状 NE - SW 方向延伸,反映了砂体的主要进积方向为由北东至南西方向,与区域沉积背景吻合(图 8)。

第五步,岩心刻度地震属性切片。通过制作合成地震记录开展井震对比,建立地震属性平面特征与关键井岩心之间的沉积对应关系(地震岩性学研究)^[16-17];综合利用地震属性的平面地貌学特征,开展典型沉积体系的地貌特征及其与沉积体系关系研究,确定沉积体系类型和砂体形态(地震地貌学研究)。

在地震资料预处理过程中,已经对地震数据体进行了 90° 相位调整,解释的地震剖面基本近似

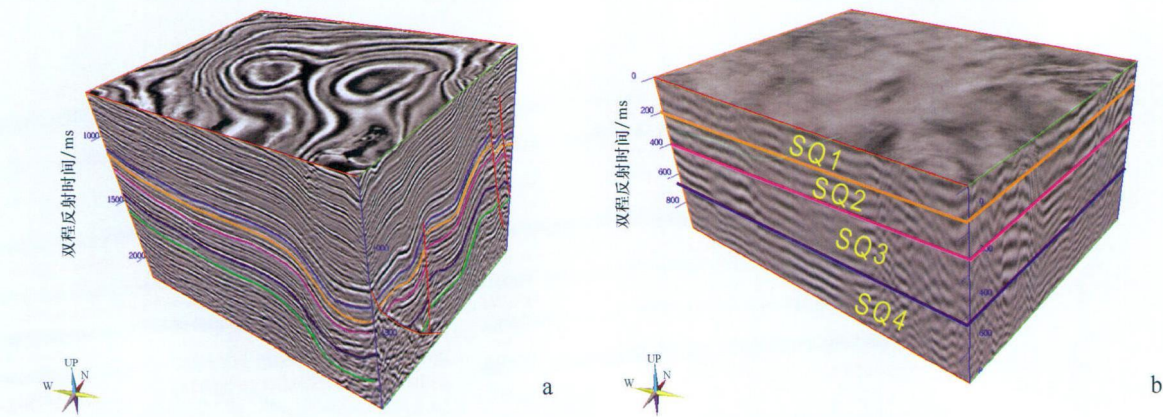


图 6 泌阳凹陷深凹区用于地层切片的三维地震体

Fig. 6 3D seismic volume for stratal slicing in Biyang Sag

a. 旅行时间域地层切片体,对地震数据进行 90° 相位化处理,从而使振幅数据与岩性曲线对比得更好,四级层序界面是地质等时面,可作为地震解释的基准同相轴,在每对相邻的基准同相轴之间进行线性内插得到振幅地层切片;b. 相对地质时间域地层切片体,所有的基准同相轴和地层切片都被拉平,以便能更好的展示沉积史和相对地质时间剖面

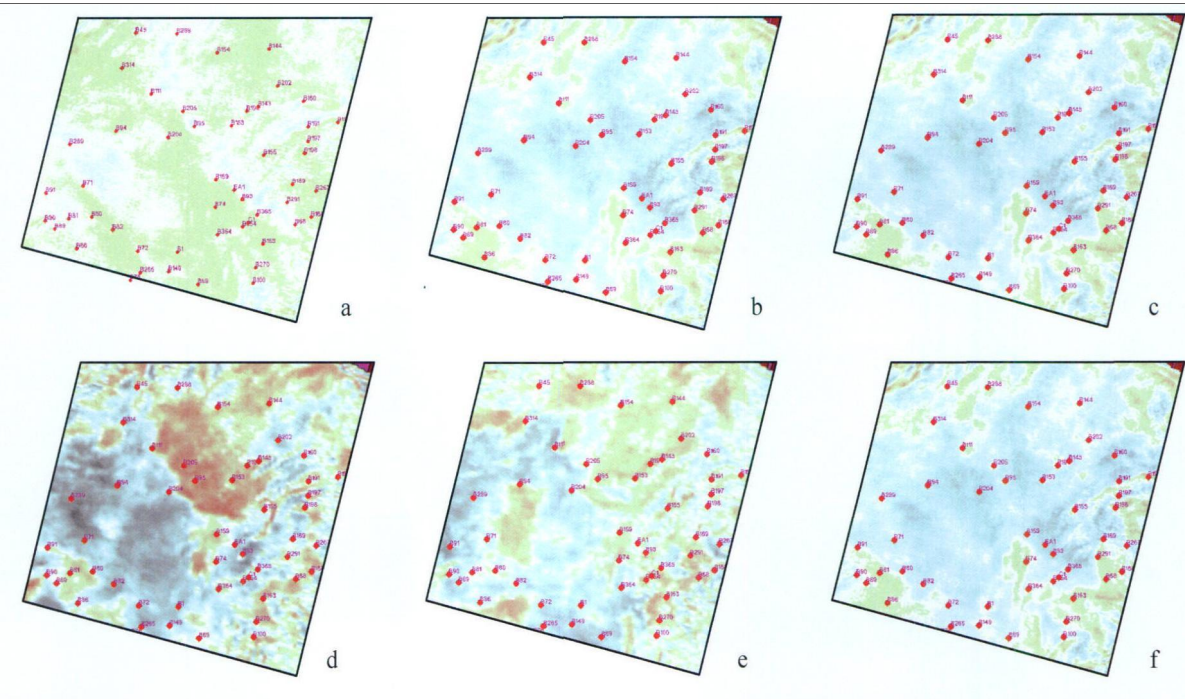


图 7 泌阳凹陷深凹区 SQ3 频谱分解振幅切片

Fig. 7 Amplitude slices of SQ3 spectral decomposition in Hetaoyuan Formation, Biyang Sag

a. 8 ~ 12 Hz 切片; b. 12 ~ 16 Hz 切片; c. 16 ~ 24 Hz 切片; d. 24 ~ 32 Hz 切片; e. 32 ~ 48 Hz 切片; f. 48 ~ 64 Hz 切片

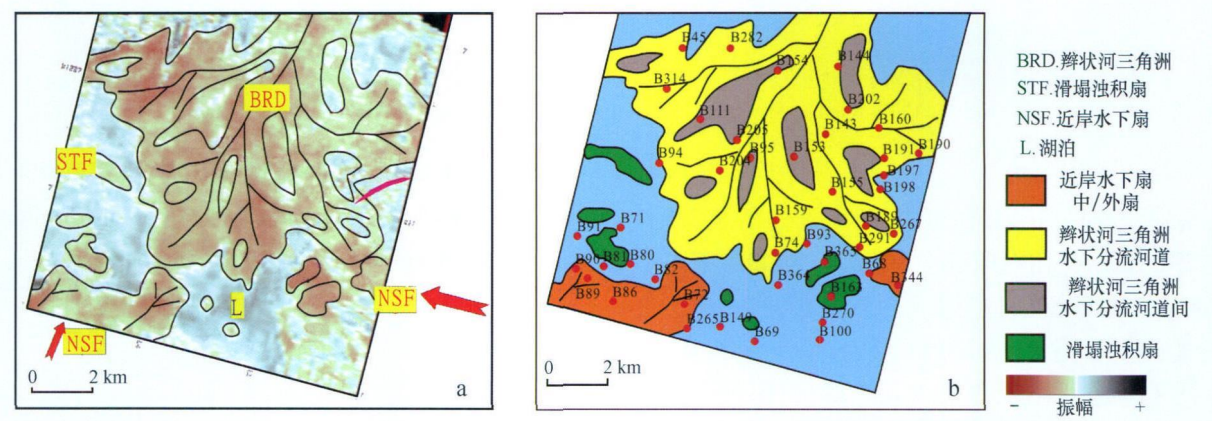


图 8 泌阳凹陷深凹区核桃园组 SQ3 地层切片解释

Fig. 8 Interpretation of stratal slices of SQ3 in Hetaoyuan Formation, Biyang Sag

a. 振幅切片; b. 地层切片解释

于波阻抗剖面。但是这些同相轴究竟代表的是什
么岩性呢？还需要进行关键井岩心序列特征和岩
性标定工作,这样才能对地层切片进行沉积微相
和砂体成因的解释。我们选取的参考井是泌 354
井(图 9),地震剖面中强的负振幅区(红轴)代表
较厚砂岩沉积层,正的振幅值(黑轴)对应的是泥
岩层,而弱的负振幅值区代表薄层砂岩或泥质
砂岩。

通过对泌阳凹陷深凹区振幅属性地层切片的

分析,发现对地层切片中各种沉积相的解释与已
钻井符合程度高,能够真实反映砂体的横向展布。
从图 8 中可以看出,SQ3 沉积时期,泌 291 – 泌 267
井区为辫状河三角洲的外前缘沉积,物源主要来
自东北方向;而泌 364 – 泌 365 井井区主要发育形
态为“土豆状”、面积为几平方公里的滑塌浊积扇,
并且泌 364 井区发育的滑塌浊积扇与泌 354、程 1
井区发育的滑塌浊积扇为两个独立的砂岩透镜
体,在横向上是不连通的。

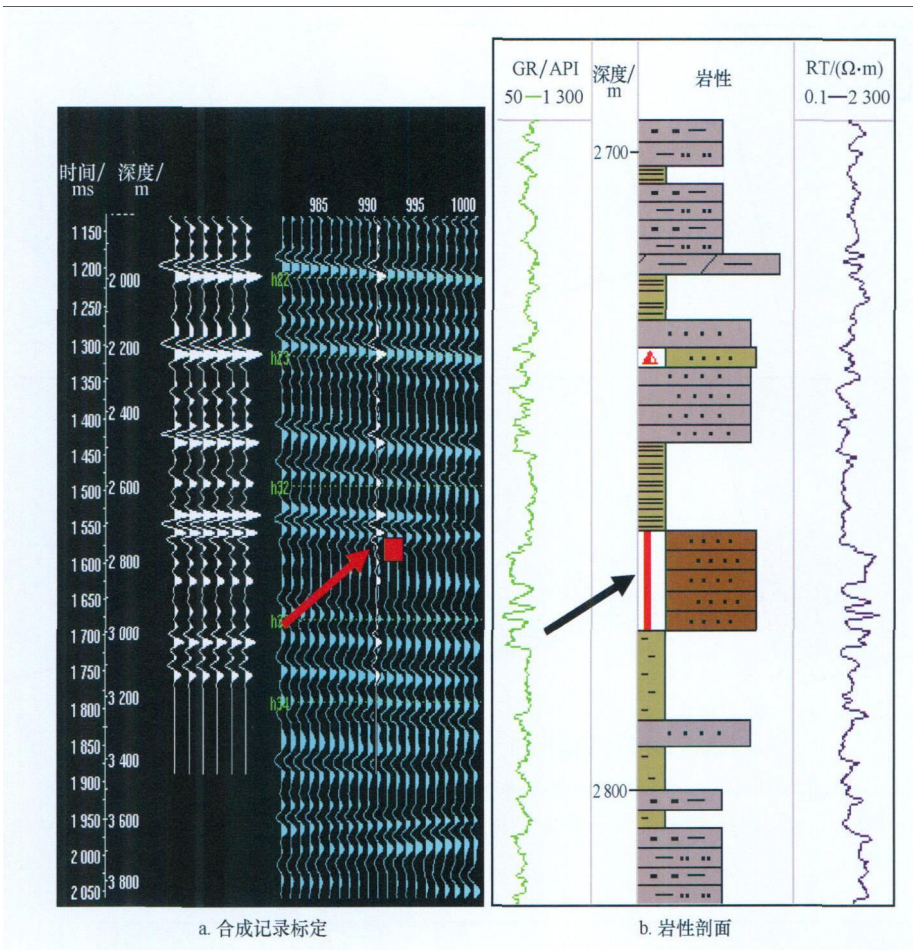


图 9 泌阳凹陷泌 354 井合成地震记录标定

Fig. 9 Calibration of synthetic seismic profile through Well Bi 354 in Biyang Sag

从 SQ3 沉积相平面分布图来看(图 8),工区东北部发育辫状河三角洲沉积,向南延伸至泌 205—泌 291 井区,三角洲前缘主要发育向西和向南多个朵叶。该层序沉积时期物源供给充足,辫状河三角洲面积较大(逾 100 km²)并不断前积,向前滑塌;在深湖区形成大量的、厚度为几米的、面积较小的滑塌浊积扇(平均面积为 0.3 ~ 0.5 km²,最大约 1.35 km²)(表 1),展布方向以 NE—SW 向为主,NW—SE 向为辅,展布形态基本为椭圆形、肾形。

第六步,建立沉积体系和沉积砂体演化模式,恢复沉积体系和沉积砂体演化历史;开展成藏要素、油气富集程度与层序地层格架、沉积体系、砂体类型之间关系研究,分析岩性圈闭勘探有利地区,为油气勘探开发提供精细的沉积砂体分布演化格架。

泌阳凹陷深凹区核桃园组核三段 SQ1 到 SQ8 主要发育具有成因联系的三角洲和滑塌浊积扇沉积体系。当三角洲向前推进时,滑塌浊积扇发育并随着三角洲朵叶的迁移而迁移(图 4,图 8)。

表 1 泌阳凹陷深凹区核三段 SQ3 滑塌浊积扇面积

Table 1 Area of slump turbidite fans of the third member of Hetaoyuan Formation in Biyang Sag

层序	实钻滑塌浊积扇面积/ km ²	预测滑塌浊积扇面积/ km ²
SQ1	$\frac{0.13 \sim 1.35}{0.36(17)}$	$\frac{0.13 \sim 0.86}{0.32(9)}$
SQ2	$\frac{0.09 \sim 0.52}{0.22(16)}$	$\frac{0.08 \sim 0.58}{0.25(14)}$
SQ3	$\frac{0.15 \sim 0.74}{0.34(18)}$	$\frac{0.06 \sim 1.24}{0.33(26)}$
SQ4	$\frac{0.16 \sim 1.00}{0.45(10)}$	$\frac{0.05 \sim 1.33}{0.54(15)}$

注:表中数据为 $\frac{\text{最小面积—最大面积}}{\text{平均值(滑塌浊积扇个数)}}$ 。

4 有利勘探区预测

泌阳凹陷油气在平面上围绕深凹陷(烃源岩

分布区)周围分布,凹陷西南部油气相对富集;在纵向上,油气相对集中分布在核桃园组核三段SQ2—SQ4。核三段SQ2—SQ4沉积时期,三角洲前缘以及滑塌浊积扇砂体、近岸水下扇砂体前积到较深水湖泊区,构成砂泥岩频繁交互的生储盖组合。砂岩单层厚度一般小于20 m,砂泥比值多为30%~40%,非常有利于烃类的排出和运聚。因此,根据泌阳凹陷深凹区核三段沉积体系分布演化的研究,认为有利岩性圈闭的主要勘探层位应为核三段SQ2—SQ4。

根据泌354井成功钻探浊积扇砂体并发现丰富油气资源的石油地质研究认识,认为有利勘探区带主要包括距辫状河三角洲前缘较近的滑塌浊积扇、辫状河三角洲前缘的水下分支河道和近岸水下扇外扇水道等沉积微相发育的区域。

具体地说,距三角洲前缘较近的滑塌浊积扇包括泌163、泌354、泌74、泌159井区等,这些井绝大多数为滑塌浊积扇沉积,发育于辫状河三角洲前缘前方。

钻遇辫状河三角洲前缘水下分支水道的探井包括泌155、泌291、泌198等。研究表明,钻遇三角洲水下分流河道的砂体一般为油斑显示,而钻遇水下分流河道间沉积的探井多为荧光显示,这说明三角洲前缘水下分流河道微相为有利勘探区带。

三角洲和滑塌浊积扇沉积砂体十分有利于油气成藏,原因在于三角洲前缘亚相水下分流河道、滑塌浊积扇砂体形成于较强的水动力条件,砂质较为纯净、分选好、储层质量较好,具有良好的储油条件,加之与前三三角洲和湖相烃源岩紧密相邻,处于“近水楼台”的油气聚集优越地位,易形成系列岩性油气藏(图4)。

依据以上原则,通过对泌阳凹陷深凹区核桃园组核三段砂岩百分比、地震相类型、沉积相、地层切片和反演结果的综合分析以及与相似地质条件下形成的已知岩性油气藏的类比,在深凹区设计了多口勘探井位。目前,正在钻探1口探井,已见到良好油气显示。

5 结论

1) 地震沉积学概念起始于20世纪90年代末期,地震沉积学在中国的传播和应用始于2000年

前后,并出现了非常好的发展势头。但是,地震沉积学目前仍处于发展阶段,尚未形成完整的学科体系,需要加强机理和多种类型盆地沉积体系实际应用的研究。

2) 地震沉积学在精细研究油气储层岩性和砂体形态方面,特别是在识别薄层砂体方面具有非常强的优势,在海相沉积盆地已经取得了明显的效果,在陆相沉积盆地薄层砂体勘探开发中也显示了巨大的潜力。

3) 建立了泌阳凹陷核桃园组层序地层格架,重点说明了地震沉积学的研究流程,指出泌阳凹陷核桃园组可划分为8个四级层序,主要发育辫状河三角洲和滑塌浊积扇等沉积砂体,确定了沉积亚微相和薄层砂体分布,预测了有利勘探地区。

4) 在陆相沉积盆地沉积体系研究中,未来应加强陆相不同类型盆地和不同沉积类型砂体的地震沉积学研究,建立地震沉积学研究规范和模型,以及不同储层岩性(含沉积岩、岩浆岩以及变质岩)地震沉积学图库的综合研究,以服务于油气精细勘探开发工作。

参 考 文 献

- [1] Wilgus C K, Hastings B S, Posamentier H. Sea-level changes: an integrated approach [M]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 39-45.
- [2] Galloway W E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: Architecture and genesis of flooding surface bounded depositional units[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(2): 125-142.
- [3] Cross T A, Lessenger M A. Sequence stratigraphy concepts and applications [M]. NPF Special Publication 8, 1998, 171-195.
- [4] 朱筱敏,层序地层学[M]. 山东 东营:石油大学出版社, 2000.
Zhu Xiaomin. Sequence stratigraphy[M]. Shandong, Dongying: China University of Petroleum Press, 2000.
- [5] Zeng Hongliu. Stratal slicing, Part I: Realistic 3-D seismic model[J]. Geophysics, 1998, 63(2): 502-513.
- [6] Zeng Hongliu. From seismic stratigraphy to seismic sedimentology: a sensible transition[J]. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, 2001, 11: 413-420.
- [7] 朱筱敏,刘长利,张义娜,等. 地震沉积学在陆相湖盆三角洲砂体预测中的应用[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 19-25.
Zhu Xiaomin, Liu Changli, Zhang Yina, et al. On seismic sedimentology of lacustrine deltaic depositional systems[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 19-25.

- [8] 陈文学,姜在兴,鲜本忠. 层序地层学与隐蔽圈闭预测——以河南泌阳凹陷为例[M]. 北京:石油工业出版社,2001, 101-113.
Chen Wenxue, Jiang Zaixing, Xian Benzong. Sequence stratigraphy and subtle traps forecast—with Biyang Sag example [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001, 101-113.
- [9] 张明安,鲜本忠. 层序地层学在泌阳凹陷隐蔽油藏预测中的应用[J]. 石油实验地质,2003,25(4):395-402.
Zhang Ming'an, Xian Benzong. Application of sequence stratigraphy to the prediction of subtle reservoirs in the Biyang Depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(4): 395-402.
- [10] 孙耀华,王华,陆永潮,等. 泌阳凹陷复杂圈闭地震地质综合研究方法[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3): 370-378,383.
Sun Yaohua, Wang Hua, Lu Yongchao, et al. An integrated seismic geological approach to the study of complex traps in the Biyang Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 370-378,383.
- [11] Zeng Hongliu, Backus M M. Interpretive advantages of 90°—phase wavelets: Part 1—Modeling[J]. Geophysics, 2005, 70(3):7-15.
- [12] Zeng Hongliu, Backus M M. Interpretive advantages of 90°—phase wavelets: Part 2—Seismic applications[J]. Geophysics, 2005, 70(3):17-24.
- [13] Zeng Hongliu, Backus M M, Barrow K T, et al. Stratal slicing, Part I: Realistic 3-D seismic model [J]. Geophysics, 1998, 63(2):502-513.
- [14] Zeng Hongliu, Stephen C H, Riola J P. Stratal slicing, Part II: Real 3D seismic data [J]. Geophysics, 1998, 63(2): 514-522.
- [15] Zeng Hongliu, Hentz T F, Wood L J. Stratal slicing of Miocene-Pliocene sediments in Vermilion Block 50-Tiger Shoal area, Offshore Louisiana [J]. The Leading Edge, 2001, 20(4): 408-418.
- [16] 叶泰然,付顺,吕其彪,等. 多波地震联合反演预测相对优质储层——以川西深层致密碎屑砂岩为例[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):357-362,369.
Ye Tairan, Fu Shun, Lü Qibiao, et al. Application of multi-wave joint inversion to the prediction of relatively high quality reservoirs—an example from the prediction of deep tight clastic sandstone reservoirs in the western Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 357-362,369.
- [17] 邓继新,王尚旭,伍向阳. 渤海湾盆地东营凹陷砂岩储层地震特征及对岩石结构的指示[J]. 石油与天然气地质, 2009,30(3):294-299,309.
Deng Jixin, Wang Shangxu, Wu Xiangyang. Seismic properties of reservoir sandstones and their implication to rock texture in the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 294-299,309.

(编辑 张亚雄)

(上接第605页)

- [24] 王效美,张立强,罗晓容,等. 沾化凹陷沙河街组异常高压分布及形成机制探讨[J]. 油气地质与采收率,2004,11(3):37-39.
Wang Xiaomei, Zhang Liqiang, Luo Xiaorong, et al. Discussion on distribution and origin of abnormally high pressure in Shahejie Formation, Zhanhua sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(3): 37-39.
- [25] 庄文山,王永诗. 试论沾化凹陷上第三系油气成藏与断层的关系[J]. 海洋石油,2002,(4):37-41.
Zhuang Wenshan, Wang Yongshi. The effect of faults on oil—as pool forming in Zhanhua Sag [J]. Offshore Oil, 2002, (4): 37-41.
- [26] 王永诗,张善文,曾澌辉,等. 沾化凹陷上第三系油气成藏机理及勘探实践[J]. 油气地质与采收率,2001,8(6): 32-35.
Wang Yongshi, Zhang Shanwen, Zeng Jianhui, et al. Hydrocarbon reservoir-forming mechanism and exploration practice in Zhanhua sag Neogene [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(6): 32-35.

(编辑 李 军)