

文章编号:0253-9985(2011)06-0823-09

渤海湾盆地孤南洼陷沙河街组三段中、下亚段沉积特征

郑宁¹,姜在兴²,张乐³,阎丽艳⁴,彭兴鹏⁵,李莹⁶,李春雷⁷

(1. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037; 2. 中国地质大学能源学院,北京 100083;

3. 康菲石油中国有限公司,北京 100027; 4. 中国石化胜利油田分公司物探研究院,山东东营 257000;

5. 中国石化上海海洋油气分公司研究院,上海 200120; 6. 中国石化胜利油田分公司孤岛采油厂,山东东营 257000;

7. 中国石油石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:从区域地质资料出发,以岩石学、沉积学及岩相古地理学理论为指导,主要针对岩石颜色、成分、粒度、沉积构造等岩心相标志,对区内10口井的岩心进行了观察,并结合45口井的测井曲线形态特征分析,对孤南洼陷沙河街组三段中、下亚段沉积微相的划分和沉积环境的演化展开了研究,并对其与油气储层的关系进行了探讨。研究表明孤南洼陷沙河街组三段中、下亚段主要发育扇三角洲、三角洲、湖泊共3种类型沉积相,9种沉积亚相,16种沉积微相;并首次发现风暴沉积,认为风暴对油气储集层有一定改良作用;沙河街组三段下亚段沉积时期,洼陷北侧发育小规模三角洲、扇三角洲,南侧发育三角洲,随着湖泊体系的扩展而逐渐萎缩,总体为生油层形成的有利环境;到沙河街组三段中亚段沉积时期,物源区供给增强,洼陷内砂体含量增高,有利于形成良好油气储集层。

关键词:风暴沉积;沉积微相;三角洲前缘;沙河街组;孤南洼陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary characteristics of the middle and lower 3rd member of Shahejie Formation in Gunan Sag, Bohai Bay Basin

Zheng Ning¹, Jiang Zaixing², Zhang Le³, Yan Liyan⁴, Peng Xingpeng⁵, Li Ying⁶, Li Chunlei⁷

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Energy Resources,

China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. ConocoPhillips China Inc., Beijing 100027, China;

4. Geophysical Research Institute, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257000, China;

5. Institute of SINOPEC Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120, China;

6. Gudao Oil Production Plant, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257000, China;

7. Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the regional geological data and the theory of petrology, sedimentology and lithofacies paleogeography, this paper analyzed sedimentary facies markers of cores from 10 wells including color, composition, granularity, sedimentary structure and etc. The facies makers were integrated with logs of 45 wells to study the division of sedimentary microfacies and sedimentary environment evolution of the middle and lower 3rd member of Shahejie Formation in Gunan Sag, and analyzed their relation to reservoirs. Three main sedimentary facies are identified in the middle and lower 3rd member of Shahejie Formation in Gunan Sag, namely fan delta, delta and lacustrine, which are further divided into nine sub-facies and sixteen microfacies. Tempestite sediments is found for the first time in this sag, which is considered as a positive factor for improving the quality of reservoir. During the depositing of the lower 3rd member of the Shahejie Formation, small-scale delta and fan delta were developed in the north of the sag, whereas delta were developed in the south. These deltas gradually withered along with the expansion of the lake, being favorable for the development of source rock. And during the deposition of the mid-

收稿日期:2011-04-25。

第一作者简介:郑宁(1983—),女,博士研究生,区域地质与区域矿产。

基金项目:国家自然科学基金项目(40672078)。

dle 3rd member of the Shahejie Formation, the deposits supply increased and the net-to-gross ratio of the sand-body in the sag enlarged, which were favorable for the quality of reservoir.

Key words: tempestite deposit, sedimentary microfacies, delta front, Shahejie Formation, Gunan Sag, Bohai Bay Basin

孤南洼陷位于渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷东部,自1975年开始,孤南洼陷勘探发现孤南2油层以来,相继发现了多个区块,作为一个生油洼陷,在其周边都已经找到了来自孤南洼陷的原油,已发现的油藏基本上分布在断裂带的附近,围绕孤南洼陷呈环带状分布,而洼陷中央部位未见或少见油气显示,是勘探工作中的空白区域,因此对孤南洼陷内进行沉积学方面的研究更显重要。本次选做重点研究的沙河街组三段中、下亚段(简称沙三中、下亚段)是济阳坳陷重要生油层和储油层之一^[1,2],目前对该套地层的沉积环境存在不同的认识:鲁广军认为孤南洼陷沙三下亚段主要发育湖泊沉积体系,沙三中亚段沉积时期主要发育湖泊-三角洲沉积体系^[3];刘雅丽认为孤南洼陷沙河街组为湖相和河流相交交互沉积^[4];赖华生研究了孤南洼陷沙三中亚段中部岩层,认为该洼陷主要发育辫状河三角洲、盆底扇和浅湖沉积^[5]。本文从沙三中、下亚段的沉积微相特征研究着手,对岩心相标志进行识别分类,并结合测井相,划分了研究区沉积微相类型,并对各级地层单元内的垂向沉积序列和平面展布特征及其在空间上的展布规律和时间上的演化特征进行分析,逐步确定洼陷内沉积环境。

1 区域地质背景

孤南洼陷位于渤海湾盆地东南缘的济阳坳陷内,基底经历了地台形成、地台演化和中生代裂陷3个阶段。面积约150 km²,呈北北东向长条状展布,北以孤南断层(本区二级正断层,倾角45°~65°,倾向南)与孤岛凸起相接,南以河滩断层(本区三级断层,倾向南)与垦利凸起相隔,西邻孤西低突起,东以孤东断裂带(本区三级断层,倾向西)及垦东断裂带(本区三级断层,倾向北西西)与孤东-垦东凸起接界。研究区包括孤南洼陷、垦利凸起和孤西低突起3个构造单元(图1)。

孤南洼陷是在晚白垩世末期由于上地幔上隆所导致的断陷盆地^[6-8]。新生代早期是孤南洼陷所在的济阳坳陷的主要发展时期,济阳坳陷内若干北陡南缓的箕状断陷盆地呈现出低水位分割、高水位连通的多湖盆格局^[9]。自燕山运动后,研究区一直处于隆升剥蚀状态。至始新世,孤南洼陷东侧首先沉降,发育孔店组湖相细粒沉积,随后抬升再次遭受剥蚀。沙河街组四段早-中期,该区再次沉降,接受沉积,发育紫红色碎屑岩及碳酸盐岩,至此,洼陷周边断裂对沉积已有一定的控制。

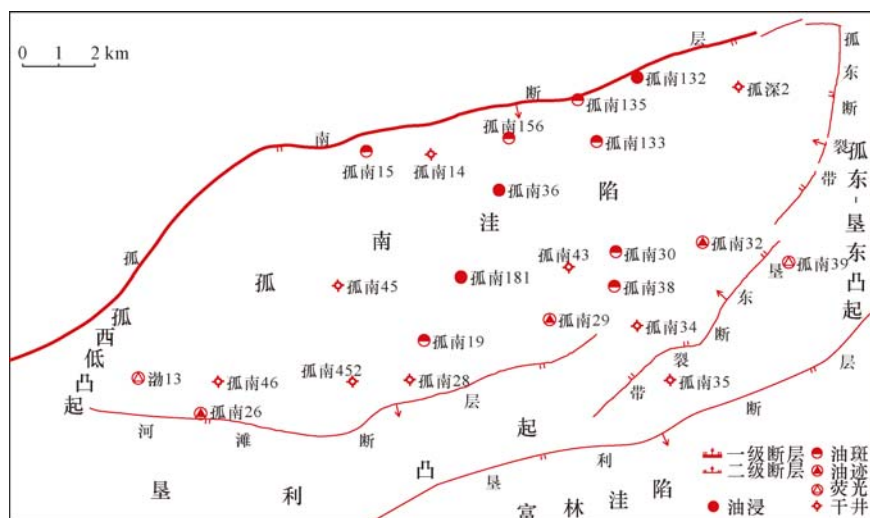


图1 渤海湾盆地孤南洼陷构造位置及井位

Fig. 1 Structure and well locations in Gunan Sag, Bohai Bay Basin

沙河街组四段沉积末期再次发生构造抬升,产生沉积间断或剥蚀。沙河街组三段沉积期开始,处于张扭作用背景下,受东侧垦东断裂活动的影响,孤南断层东段活动明显比西段强,沉降幅度大,这一构造活动的差异性一直持续到沙河街组二段沉积期末。沙河街组一段沉积期开始,孤南断裂及垦利断裂的活动趋于缓和。至沙河街组一段沉积晚期,上述断裂活动性又增强。新近纪早期构造应力发生

转换,洼陷充填受区域坳陷构造背景所控制^[10]。

2 岩石地层格架

本次研究的沙河街组三段中、下亚段与下部地层(中生界、孔店组、沙河街组四段)呈不整合接触(图2a),与上覆沙二段、沙一段成整合接触。其岩性组合特征如下:



图2 渤海湾盆地孤南洼陷沙河街组三段中、下亚段沉积微相特征

Fig. 2 Microfacies characteristics of the middle and lower 3rd member of Shahejie Formation in Gunan Sag, Bohai Bay Basin

沙河街组三段为深灰色、灰绿色泥岩或灰质泥岩、油页岩、油泥岩夹细砂岩、灰质砂岩、白云质砂岩及含砂砾岩,偶见紫红色泥岩和炭质页岩。视电阻率曲线呈梳状夹高阻尖峰,自然电位曲线为指状或箱状。局部含油。与下伏地层呈整合接触。其中沙三下亚段以深灰色厚层油泥岩、油页岩、钙质泥岩为标志,偶见紫红色泥岩和炭质页岩,有机质丰度较高,沉积厚度为0~240 m,与下伏地层呈不整合接触(图2a);沙河街组三中亚段以钙质泥岩含量降低为标志,为深灰色泥岩与灰色灰质砂岩、白云质砂岩互层,沉积厚度80~299 m(图2a)。

作者通过45口勘探井的录井和测井资料、10口取心井的岩心资料以及地震等资料的综合研究,在对取心井的旋回分析基础上,根据“旋回对比,分级控制”的原则^[11-13],通过对研究区所有井的旋回性分析,提出砂层组及砂层划分对比方案,将沙三下亚段细分为6个砂层组,沙三中亚段细分为7个砂层组(图2b)。

3 典型沉积微相分析

研究区沙三中、下亚段发育3种沉积相类型:①扇三角洲相:可进一步划分为扇三角洲平原亚相(分流河道微相),扇三角洲前缘亚相(可分为水下分流河道微相、河口坝微相)和前扇三角洲亚相(前扇三角洲泥微相);②三角洲相:可进一步划分为三角洲平原亚相(可再分为分流河道微相、沼泽微相),三角洲前缘亚相(可再分为分流河道微相、河口坝微相、水下分流间湾微相、席状砂微相、风暴岩微相),三角洲侧缘滩坝亚相(内缘微相、坝顶微相、冲槽微相、外缘微相)和前三角洲亚相(前三角洲泥微相);③湖相:可再分为浅湖亚相(风暴岩微相)和半深湖亚相。下面对典型的沉积微相特点进行分析。

3.1 扇三角洲前缘亚相内1种微相

研究区扇三角洲前缘亚相中仅识别出水下分流河道微相,见于孤南156井沙三下亚段第2砂层组3 382.0~3 385.0 m岩心(图2c砂层组2),底部为两套砂砾岩的正旋回,岩性以灰色砂砾岩为主,部分灰色中粒砂岩、少量细砂岩。沉积层理有板状交错层理(图3a)、平行层理、粒序层理(图3b)、块状层理,冲刷面,垂向上为多层叠置的

正粒序。分选中等偏差,泥质含量较低,储集空间以粒间孔、缝为主,砂体厚度较大,为相对良好的储集空间。

3.2 三角洲前缘亚相内4种微相

三角洲前缘亚相在研究区发育以下4种微相:①三角洲前缘水下分流河道微相,水下分流河道在本区纵向上与分流河口坝及分流间湾叠置共生。孤南181井沙三中亚段第8砂层组3 108.2~3 111.0 m岩心(图2c砂层组8),为两套正韵律沉积,底部均见冲刷面(图3c砂层组2)。孤南30井沙三中亚段第11砂层组3 565.7~3 566.2 m岩心,岩性主要为灰白色中砂岩、细砂岩和粉砂岩,少量灰黑色泥质粉砂岩、灰色粉砂质泥岩,中下部主要见水平层理、交错层理(图3c砂层组8),上部见波状层理、平行层理,生物扰动发育,泥质粉砂岩中可见植物叶片化石。②三角洲前缘河口坝微相:孤南181井沙三中亚段第8砂层组3 111.0~3 113.4 m岩心(图2c砂层组8),为一套泥质粉砂岩、粉砂岩构成的反旋回。孤南30井沙三中亚段第11砂层组3 562.5~3 563.6 m岩心也为河口坝微相(图2c砂层组11),发育一套灰色粉砂岩、细砂岩,发育低角度交错层理、水平层理(图3d),未见化石。③三角洲前缘席状砂微相,孤南181井沙河街组三中亚段第8砂层组3 113.4~3 113.9 m岩心(图2c砂层组8),岩性主要为粉砂岩,其上常发育河口坝沉积,其下发育前三角洲泥质沉积,可见水平层理,未见化石。④三角洲前缘水下分流间湾微相,见于孤南30井沙三中亚段3 558.0~3 559.8 m和3 564.5~3 565.2 m岩心(图2c砂层组11),岩性主要为泥质沉积,部分见少量粉砂岩,植物茎叶化石丰富(图3e),多与风暴岩沉积相邻。

三角洲前缘砂体,位置上紧邻半深湖相生油岩,其充满油气后可运移到平原亚相,因此其含油丰度普遍较平原亚相高;其中厚度较大的河口坝砂及较薄的席状砂,物性好,为非常有利油气储集的沉积微相,水下分流河道砂次之。

3.3 前三角洲亚相内1种微相

前三角洲泥微相见于孤南181井沙三中亚段第8砂层组3 114.0~3 115.4 m岩心(图2c砂层组8),主要由灰黑色泥岩、油页岩组成,未见层理构造,为有利的生油层。



图3 渤海湾盆地孤南洼陷沙河街组三段中、下亚段岩心照片

Fig. 3 Core photos of the middle and lower 3rd member of Shahejie Formation in Gunan Sag, Bohai Bay Basin

- a. 孤南156井, 3382.30 m, 细砂岩, 板状交错层理, 扇三角洲前缘水下分流通河道微相; b. 孤南156井, 3382.15 m, 上部灰色粗砂岩, 下部砾岩, 粒序层理, 扇三角洲前缘水下分流通河道微相; c. 孤南181井, 3110.80 m, 灰白色细砂岩, 波状交错层理, 平行层理, 冲刷面, 扇三角洲前缘水下分流通河道微相; d. 孤南181井, 3112.35 m, 灰白色粉砂岩, 水平层理, 三角洲前缘河口坝微相; e. 孤南30井, 3558.10 m, 灰黑色泥岩, 植物茎叶化石, 三角洲前缘分流间湾微相; f. 孤南36井, 3509.07 m, 灰色细-中砂岩, 浅湖滩坝顶微相; g. 孤南36井, 3505.90 m, 灰色粉砂岩与灰黑色泥岩互层, 生物扰动, 微波状层理, 浅湖滩坝冲槽微相; h. 孤南30井, 3563.90 m, 灰色粉砂岩, 丘状交错层理, 风暴微相

3.4 滩坝亚相内 4 种微相

本次研究在孤南 36 井沙三中亚段取心井段 3 505.00 m ~ 3 510.80 m 处(图 2c 砂层组 12),发现一套滩坝亚相沉积,发育有以下 4 种沉积微相类型:①外滩微相,从岩心上观察,3 510.8 ~ 3 514.6 m 下部为灰色泥质粉砂岩渐变为砂泥质岩薄互层,可见生物扰动痕迹、变形层理、微波状层理、平行层理。②坝顶微相,出现在岩心中部 3 506.2 ~ 3 507.2 m 和 3 507.6 ~ 3 510.8 m 处,岩性主要为灰色粉砂岩、细砂岩、中砂岩,发育有平行层理(图 3f)。③冲槽微相,在坝顶微相的三套砂岩中沉积了两套灰色泥岩,发育位置属于坝顶所夹处,发育微波状层理,有生物扰动痕迹(图 3g)。④内滩微相,出现于 3 504.2 ~ 3 505.0 m 岩心段,为灰色薄层粉砂岩,上覆浅湖泥质沉积。

本滩坝亚相中,外滩及内滩微相发育的砂岩,泥质含量高,孔隙度及渗透率均很低,物性较差,普遍为单层厚度小于 2 mm 的薄层,具强烈的横向非均质性,为较差油气储集微相。坝顶微相砂体孔渗性较好,横向展布稳定,砂体连续性好,有利于形成良好的油气储集空间。

3.5 三角洲前缘亚相及浅湖亚相内风暴岩微相

沙三中亚段共识别出 14 期风暴,其中孤南 15 井风暴岩发育于浅湖亚相中,孤南 30 井风暴岩发育于三角洲前缘亚相中(图 2c 砂层组 11)。本区完整的风暴岩沉积序列自下而上包括以下 5 段^[14](图 4):①风暴高潮期发育 SA 段递变层理段,在本区厚约 8 cm,底部为底面侵蚀构造(渠模构造、截切构造和冲刷面),见生物扰动构造;②高潮期过后,发育 SB 段平行层理段,在本区厚约 4 cm,岩性为细砂岩、粉砂岩;③在风暴能量减弱期间,发育 SC 段风暴浪振荡作用段,在本区约厚 6 cm,以丘状交错层理和洼状交错层理为特征(图 3h),主要出现在灰白色、灰色粉砂岩和细砂岩中;④SC 段上覆 SD 段生物逃逸迹段,在本区约厚 7 cm,发育浪成砂纹交错层理、波状层理,表明流体性质已经转变为牵引流^[15-19],主要为泥质粉砂岩,可见垂直生物逃逸迹;⑤顶部 SE 段为正常天气沉积段,主要为风暴结束过程中悬浮物质在低流态形成的泥质粉砂岩-泥岩段,内部见生物扰动痕迹、块状层理,表明 1 期风暴的结束。在本研究区,孤南 15

序列	岩性剖面素描	厚度/ cm	沉积物	沉积构造
SE			泥岩	块状层理 生物扰动
SD		7	泥质粉砂岩	波状层理 浪成砂纹交错层理 生物逃逸迹
SC		6	粉砂岩 细砂岩	丘状交错层理 洼状交错层理
SB		4	粉砂岩 细砂岩	平行层理
SA		8	中砂岩 粗砂岩 下伏泥砾	递变层理 生物扰动 截切、渠模 冲刷面
在浅湖范围内的沉积物				

图 4 渤海湾盆地孤南洼陷沙河街组三段中亚段风暴岩垂向序列

Fig. 4 Vertical sequence of tempestites in the middle 3rd member of Shahejie Formation in Gunan Sag, Bohai Bay Basin

井 SE 段上部发育滨浅湖相泥岩,孤南 30 井 SE 段上部发育前三三角洲相泥岩。

发育于三角洲前缘中的风暴进一步改善了该处砂体物性,表现为分选和磨圆度变好,杂基含量变低,提高了孔隙度和渗透率,因此更有利于形成良好的油气储集空间和运移通道。

4 沉积相平面展布特征

沙河街组三段下亚段沉积时期,洼陷内湖相沉积发育,东北部孤南 32 井处地层厚度最大,达 337 m。为该时期的沉积中心,最薄处在洼陷西部厚度仅 31 m。洼陷东北部为沉降中心^[10]。半深湖范围较大,呈近圆形,覆盖洼陷东部及中部大部分地区,向西南湖水逐渐变浅。受沙河街组三段下亚段断层活动剧烈的影响,靠近孤南洼陷北部断层区,发育粒度相对较粗的退积式扇三角洲沉积(图 5),向东发育一个退积式的三角洲沉积,洼陷北部砂体推进距离较短。在洼陷东南部,垦东凸起向洼陷内供给砂质碎屑物,发育三角洲沉积。洼陷西南部形成 3 个连片的三角洲沉积。洼陷南部地形平缓,物源供给的砂质碎屑物沉积延伸相对较远(图 5)。

到沙河街组三段中亚段沉积时期,洼陷内湖相沉积仍较发育,孤南 30 井处地层最厚,达 334 m,为沉积中心,该时期半深湖萎缩,东北部仍为沉降中心(图 6),西部浅湖中发育风暴沉积。洼陷周边

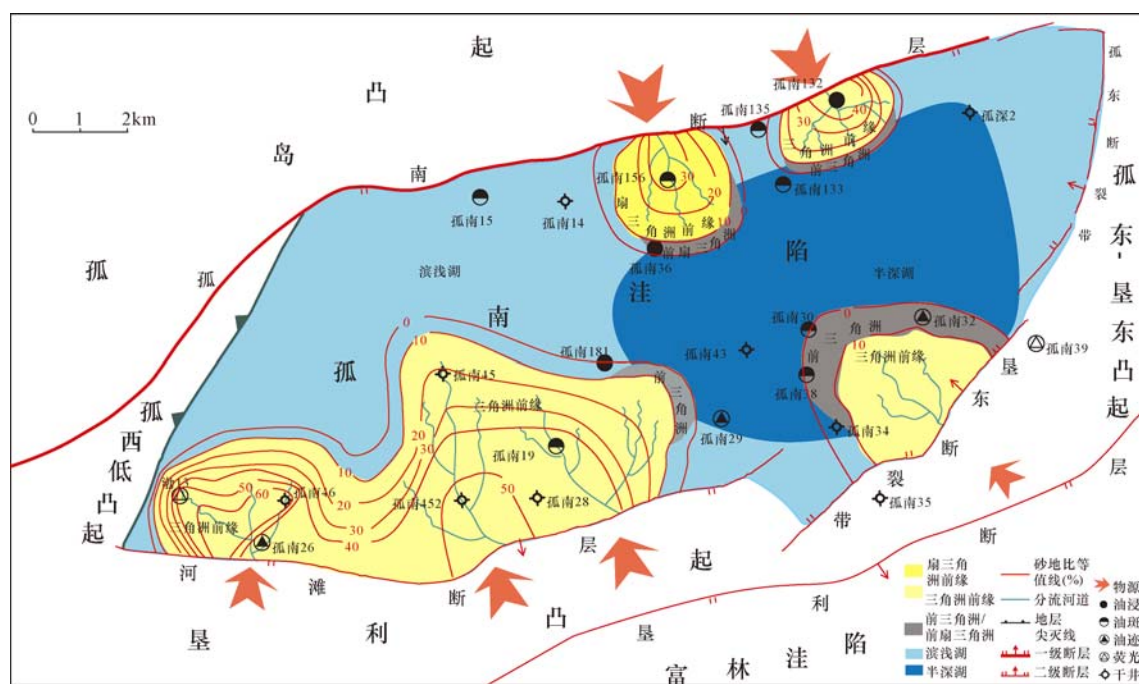


图5 渤海湾盆地孤南洼陷沙河街组三段下亚段沉积相平面图

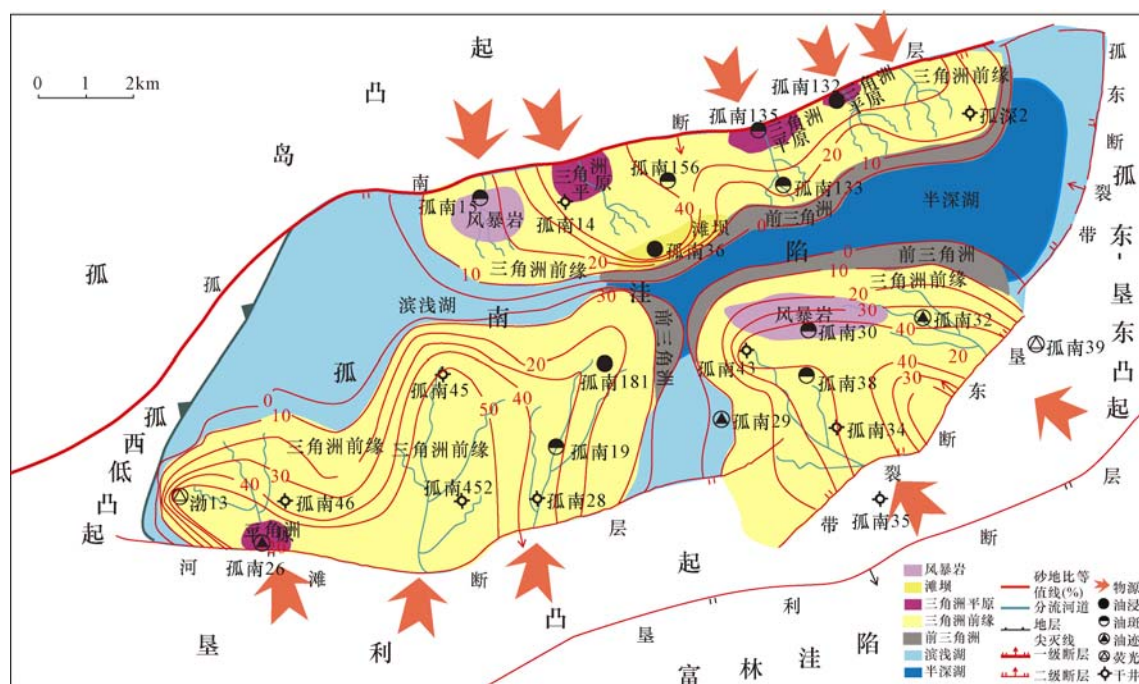
Fig. 5 Plane distribution of sedimentary facies in the lower 3rd member of Shahejie Formation in Gunan Sag, Bohai Bay Basin

图6 渤海湾盆地孤南洼陷沙河街组三段中亚段沉积相平面图

Fig. 6 Plane distribution of sedimentary facies in the middle 3rd member of Shahejie Formation in Gunan Sag, Bohai Bay Basin

三角洲平原沉积比较发育,表现为出现紫色、棕红色、绿色泥岩,并见煤层及炭质泥岩。孤岛凸起可能成为新的物源供给区,北部孤南断层向南发育

连片三角洲沉积。洼陷东南部及洼陷西南部沉积物仍具有三角洲前缘沉积特征。洼陷西南部三角洲侧缘发育滩坝沉积,并在前缘亚相中发现风暴

沉积。研究认为砂三中亚段沉积时期三角洲不断向湖盆中心扩展,分布范围逐渐扩大,盆内水体较沙三下亚段沉积时期变浅。

5 物源方向

孤南洼陷沙河街组三段中、下亚段沉积时期,受洼陷周边断裂剧烈活动的影响,大量的陆源碎屑物迅速进入盆地中,导致湖平原相对下降,河流不断向洼陷内部延伸,导致三角洲及扇三角洲平原亚相区向盆内推进。根据两个亚段的砂地比等值线变化趋势,可推测可能的物源方向^[20]。沙河街组三段下亚段沉积时期^[21-24](图5),在孤南断层东侧,砂岩含量由北向南减少,东南部呈东凸起及西南部呈利凸起地区均呈现自南向北砂岩含量递减的趋势,推测洼陷内3处物源区分别为孤南断层的东段以北地区、东南部呈东凸起及南部呈利凸起。到沙三中亚段沉积时,在孤南断层的中、东段,由断层至洼陷中心方向,砂地比由30%减少至10%,而断层西段从40%减少至20%,说明孤岛凸起为新的物源区;洼陷东南部及西南部出现3处高含砂率区,推测呈东凸起、呈利凸起为洼陷砂质碎屑物的供给区。由此可推测,在沙河街组三段下亚段3个物源供给区的基础上,在沙河街组三段中亚段沉积时期,新增加一个物源供给区,即孤岛凸起。

6 结论

1) 研究区沙河街组三段中、下亚段共识别出扇3种沉积相,9种沉积亚相、16种沉积微相,并首次在本区浅湖及三角洲前缘亚相中发现风暴沉积。有利的油气藏储集砂体发育于以下微相中:三角洲前缘河口坝微相、席状砂微相及水下分流河道微相,滩坝亚相坝顶微相,以及扇三角洲前缘水下分流河道微相,风暴对油气储集层有一定改良作用。

2) 沙河街组三段下亚段沉积时期,物源区主要为孤南断层东段以北地区、东南部的呈东凸起及南部呈利凸起,扇三角洲及三角洲随着湖泊体系的扩展而逐渐萎缩,总体为生油层形成的有利环境,具备形成自生自储型组合的良好条件。到沙三中亚段沉积时期,物源区新增了孤岛凸起,三

角洲总体向湖盆中心扩展,盆内水体变浅,孤南洼陷内砂体含量增高,结合沙三下亚段有利的生油条件,该时期更有利于形成自生自储、下生上储型油气储集层。

致谢:中国地质科学院的李廷栋、刘训、游国庆三位老师对本文的完成给予了辛勤指导和关心,在此表示衷心感谢!

参考文献

- [1] 刘训. 对中国东部中、新生代盆地沉积-构造发展的几点认识[J]. 地质学报, 1988, 2: 111-122.
Liu Xun. Some recognitions on the sedimentary-tectonic development of the Meso-Cenozoic basins in Eastern China[J]. Acta Geologica Sinica, 1988, 2: 111-122.
- [2] 陆先亮. 孤岛油田精细地质研究[M]. 石油工业出版社, 2005: 60-102.
Lu Xianliang. The fine geologic research in Gudao oilfield[M]. Petroleum Industry Press, 2005: 60-102.
- [3] 鲁广军. 胜利油区孤南洼陷古、新近系充填层序与沉积环境[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(1): 97-104.
Lu Guangjun. Paleogene-Neogene filling sequences and sedimentary environments in the Gunan sag, Shengli Oil Field, Shandong[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(1): 97-104.
- [4] 刘雅利, 顾琳, 方旭庆, 等. 孤南洼陷东部地区上第三系油气成藏规律研究[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(2): 33-35.
Liu Yali, Gu Lin, Fang Xuqing, et al. Research on oil and gas pool-forming rule for Neogene system in the east of Gunan subsag[J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2005, 12(2): 33-35.
- [5] 赖生华, 李晓宏. 断陷盆地沉积体系研究新思路: 从古地貌、岩性变化、水体深度到沉积体系[J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 663-670.
Lai Huasheng, Li Hongxiao. A new approach in studying depositional system within rift-subsidence basin: from paleogeomorphology, lithologic change and water depth to depositional system[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(5): 663-670.
- [6] 张善文. 济阳坳陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731-740.
Zhang Shanwen. Exploration theory and practice of the Tertiary subtle reservoirs in Jiyang depression[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 731-740.
- [7] 张鹏, 王良书, 丁增勇, 等. 济阳坳陷中-新生代断裂发育特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 467-474.
Zhang Peng, Wang Liangshu, Ding Zengyong, et al. Characteristics and formation mechanism of the faults in Mesozoic-Ceno-

- zoic in Jiyang Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27 (4): 467–474.
- [8] 陈祥,王敏,严永新,等.泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件[J].*石油与天然气地质*, 2011, 32(4): 568–576.
- Chen Xiang, Wang Min, Yan Yongxin, et al. Accumulation conditions for continental shale oil and gas in the Biyang Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(4): 568–576.
- [9] 余一欣,周心怀,徐长贵,等.渤海海域新生代断裂发育特征及形成机制[J].*石油与天然气地质*, 2011, 32(2): 273–279.
- Yu Yixin, Zhou Xinhui, Xu Changgui, et al. Characteristics and formation mechanism of the Cenozoic faults in the Bohai Sea waters [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(2): 273–279.
- [10] 张乐,姜在兴,郑宁,等.孤南洼陷新生代构造演化特征及其对沉积的控制作用[J].*油气地质与采收率*, 2007, 14(3): 29–34.
- Zhang Le, Jiang Zaixing, Zheng Ning, et al. Tectonic evolution and its control on the Mesozoic sedimentation system in Mesozoic of Gunan Sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007, 14(3): 29–34.
- [11] 陈欢庆,朱筱敏,张功成,等.井震结合深水区物源分析—以琼东南盆地深水区古近系陵水组为例[J].*石油地球物理勘探*, 2010(4): 552–558.
- Chen Huanqing, Zhu Xiaomin, Zhang Gongcheng, et al. Material source analysis in deep water area based on well-to-seismic integrated studies, a case study on Lingshui Formation of Paleogene in deep water area in southeast Hainan Basin of South China Sea [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010(4): 552–558.
- [12] 朱筱敏,董艳蕾,胡廷惠,等.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[J].*石油与天然气地质*, 2011, 32(4): 615–624.
- Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, Hu Tinghui, et al. Seismic sedimentology study of fine sequence stratigraphic framework: a case study of the Hetaoyuan Formation in the Biyang Sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(4): 615–624.
- [13] 吴因业,邹才能,胡素云,等.全球前陆盆地层序沉积学新进展[J].*石油与天然气地质*, 2011, 32(4): 606–614.
- Wu Yinye, Zou Caineng, Hu Suyun, et al. New advances in sedimentology and sequence stratigraphy of foreland basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(4): 606–614.
- [14] 郑宁,姜在兴,李廷栋,等.渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段风暴沉积基本特征及其地质意义[J].*中国地质*, 2010, 37(4): 1191–1198.
- Zheng Ning, Jiang Zaixing, Li Tingdong, et al. Basic characteristics of tempestite sedimentary of the Middle Sha 3 Member in Gunan Sag of Bohai Bay Basin and its geological significance [J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 1191–1198.
- [15] 姜在兴,赵澄林,刘孟慧.东濮凹陷西部湖相风暴沉积的初步研究[J].*沉积学报*, 1990, 8(2): 107–113.
- Jiang Zaixing, Zhao Chenglin, Liu Menghui. Preliminary research into lacustrine storm-current deposits [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1990, 8(2): 107–113.
- [16] Kelling G, Mullin P R. Graded limestone and limestone quartzite couplets: possible storm-sediments Pleistocene of Massachusetts Petrology [J]. 1975, 38: 971–984.
- [17] Galloway W E, Hobday D K. Terrigenous clastic depositional systems: applications to fossil fuel and groundwater resources [M]. Springer, 1996: 232–255.
- [18] 陈景山.沉积构造与环境解释[M].北京:科学出版社, 1991.
- Chen Jingshan. Sedimentary structures and environmental interpretation [M]. Beijing: Science Press, 1991.
- [19] 顾家裕.中国东部古代扇—三角洲沉积[J].*石油与天然气地质*, 1984, 5(3): 236–245.
- Gu Jiayu. Sedimentation of ancient fan-deltas in eastern China [J]. *Oil & Gas Geology*, 1984, 5(3): 236–245.
- [20] 樊德华.黄河三角洲入海口地区近地表地层特征与沉积模式[J].*石油与天然气地质*, 2009, 30(3): 282.
- Fan Dehua. Stratigraphic characteristics and sedimentary models of near-surface formations in the estuary area of the Yellow River Delta [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(3): 282.
- [21] 冯增昭.中国沉积学[M].北京:石油工业出版社, 1994: 30–220.
- Feng Zengzhao. Sedimentology in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 30–220.
- [22] 赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社, 2001: 40–90.
- Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 40–90.
- [23] 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社, 2003: 347–351.
- Jiang Zaixing. Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 347–351.
- [24] Allen P A, Allen J R. Basin analysis, principles and application [M]. Blackwell Scientific Publication, 1990, 10–160.

(编辑 张亚雄)