

渤海湾盆地渤南洼陷古近系沙河街组二段 沉积相特征及演化

宋 璠^{1,2}, 邱隆伟¹, 苏妮娜¹, 徐宁宁¹, 周 鹏¹

[1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580;

2. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东 青岛 266071]

摘要:为了查明渤海湾盆地渤南洼陷沙河街组二段沉积相分布与演化规律,为油气勘探寻找接替区,在岩心、测井、录井及地震综合研究的基础上,对沙河街组二段进行了砂层组划分与对比,进而圈定了各个时期沉积相的展布范围并总结了沉积演化规律。研究结果表明:渤南洼陷沙二段可划分为4个砂层组,各砂组依次向南逐层超覆,沉积范围不断扩大。洼陷周缘凸起带附近主要发育扇三角洲前缘沉积,以水下分流河道微相为主;其次为河口砂坝与水下分流间湾。洼陷内部以滨浅湖滩坝为主,按其成因可分为正常砂质滩坝、砂岩-碳酸盐岩混积型滩坝以及风暴成因滩坝三类,不同类型砂坝分布规律各不相同。沙二段整体呈湖盆不断扩张、沉积范围不断扩大、扇三角洲分布减少而滩坝沉积规模不断扩大的沉积演化特征。

关键词:扇三角洲;滩坝;沉积相;沙二段;渤南洼陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Features and evolution of sedimentary facies in the second Member of Paleogene Shahejie Formation in Bonan Subsag, Bohai Bay Basin

Song Fan^{1,2}, Qiu Longwei¹, Su Nina¹, Xu Ningning¹, Zhou Peng¹

[1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China;

2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, Shandong 266071, China]

Abstract: In order to reveal the sedimentary facies distribution and evolution pattern of the 2nd Member of Shahejie Formation in Bonan Subsag of Bohai Bay Basin and to find new target areas for future oil and gas exploration in Zhanhua depression, we classified and correlated the sand groups of the 2nd Member of Shahejie Formation, delineated the distribution of sedimentary facies in different historical periods and summarized the sedimentary evolution pattern based on the comprehensive study of core, logging and seismic data. Four sand groups were identified in the 2nd Member of the Shahejie Formation in Bonan Subsag. They overlap each other southwards and get larger progressively in distribution area. Near the uplift zone around the Bonan Subsag, fan delta front deposits are predominant and consist mainly of underwater distributary channel microfacies, followed by channel mouth bar and subaquatic interdistributary embayments. Inside the Bonan Subsag, shore-shallow lacustrine beach bars are predominant and can be divided into three types with different distribution patterns according to their origin, namely normal sandy beach bars, sandstone and carbonate mixed beach bars and storm beach bars. The sedimentary evolution of the 2nd Member of Shahejie Formation features in continuous enlarging of lake basin, progressive expanding of sedimentary range, decreasing of fan delta distribution area, and increasing of beach bar distribution area.

Key words: fan-delta, beach bar, sedimentary facies, 2nd Member of Shahejie Formation, Bonan Subsag, Bohai Bay Basin

沾化凹陷位于渤海湾盆地济阳坳陷北部,勘探面积约3 600 km²,现已探明渤南、孤岛、陈家庄等11个油田。目前发现的油气主要集中在控凹(洼)断裂附

近,以构造油气藏为主。“十一五”期间,胜利油田在“立足老区,加快新区”的指导思路下,相继在渤南洼陷、车镇凹陷等地区沙河街组三段(沙三段)浊积砂、

收稿日期:2015-07-16;修订日期:2016-06-27。

第一作者简介:宋璠(1982—),男,博士、讲师,沉积储层与油藏描述。E-mail:songfan0026@163.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05009-002);高等学校博士学科点专项科研基金项目(20120133120013)。

沙四上亚段滩坝砂、沙四下亚段红层以及太古界泥岩裂缝型油气藏等领域取得了重大进展^[1-6]。

渤南洼陷是沾化凹陷内最大的次级凹陷,经过几十年的勘探历程,洼陷内已钻探井500余口,开发了多个油气田,整体属于高成熟探区。渤南洼陷具有优越的生油条件和良好的物源条件^[7-10],但由于沙二段长期作为兼探层系研究较少,认识程度也比较低,目前获得的储量和产量十分有限,具有较大的勘探潜力,“十二五”期间已被确立为沾化凹陷有利储量接替阵地。关于渤南洼陷沙二段的沉积相研究,文献报道数量甚少,现有观点认为全区广泛发育浅水环境下的扇三角洲沉积^[1]。然而随着勘探工作的深入,发现了多种成因类型的沉积砂体,沉积相研究工作有待深化与细化。本文在大量岩心、测井及地震研究的基础上,主要从沉积特征、沉积体系展布、沉积演化过程及控制因素等几个方面对渤南洼陷沙二段进行了深入研究,重新厘定了沉积相类型,圈定了各时期各类沉积相的发育范围和演化模式,以期对该地区岩性油气藏的勘探具有一定的指导意义。

1 地质概况

渤南洼陷位于渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷中南部,北以义东断裂、埕东断裂为界与埕东凸起相接,西以邵家断裂为界与义和庄凸起相连,南以缓坡带过渡

至陈家庄凸起,东临孤岛潜山凸起带,面积约500 km²。渤南洼陷的发育主要受埕南和孤西两条同生断层控制,断层的交汇处为洼陷的沉降中心及沉积中心,古近系最大埋深可达5 500 m左右。洼陷中有机质类型好、演化程度高,是沾化凹陷最主要的油源区和含油气区(图1)。

渤南洼陷古近系处于裂陷期充填阶段,受断裂活动的控制形成一系列断鼻、断块以及披覆构造。沙三段沉积末期,洼陷南部迅速抬升成为剥蚀区,经过剥蚀改造,地势趋于变缓^[12]。沙二段沉积时中部和南部重新接受沉积,沉积范围明显扩大,在以滨浅湖为主的古环境下,全区广泛发育砂泥岩沉积,南部缓坡带局部发育碳酸盐岩。

2 地层格架

渤南洼陷内部沙二段厚度为80~120 m,全区发育较完整。对于沙二段的层序划分已形成了统一的认识^[13],即沙二段为一个完整的三级层序,顶底均为不整合接触。地震剖面中,顶部不整合呈削截反射终止,底部不整合常呈上超反射,多见于南部缓坡带。沙二段整体为一套低阻砂泥岩互层,顶、底各发育一套约20 m厚的高阻白云岩,可作为地层对比的良好标志。前人研究认为沙二段由1~4个由细到粗的反粒序旋回组成,每个旋回可分为一层。然而,随着沙二段勘探

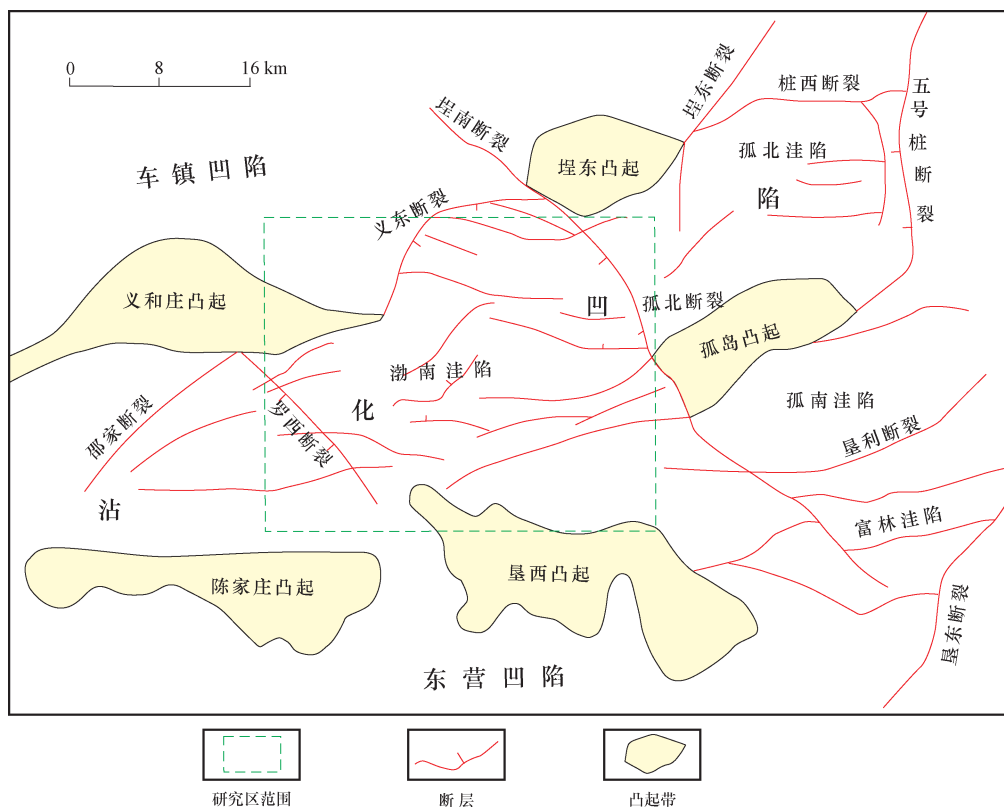


图1 沾化凹陷渤南洼陷区域构造位置

Fig. 1 Structural location of Bonan Subsag in Zhanhua

不断深入,发现由洼陷边缘向内部地层发育特征明显不同。洼陷中部以灰色、深灰色泥岩夹薄层细砂岩、粉砂岩为主,砂地比较低,整体呈反粒序特征。洼陷中部邻近凸起带的地区厚层砂砾岩、粗砂岩夹紫红色、浅灰色泥岩,砂地比较高,呈明显的正粒序特征,由洼陷中部向南超覆造成四个砂组发育不完整。

勘探实际表明,渤南洼陷沙二段并非全区单一的扇三角洲相,在洼陷内部大范围发育滨浅湖相细粒沉积,其特征与洼陷周缘差异明显。本文为了研究的需要,在沙二段沉积前古地貌研究的基础上,确立了两类基于湖盆充填方式的对比模式——即针对洼陷中部细粒沉积的“均匀充填型”对比模式和针对洼陷周缘粗碎屑沉积的“超覆叠置型”对比模式,建立了沙二段全区统一的砂层组精细格架。具体对比步骤如下:①利用钻、测井与岩心资料,依据岩性组合与沉积旋回特征,对洼陷内部及周缘地区分别进行砂层组划分,沉积环境交叉地区确保地层厚度不突变。②建立全区闭合的对比剖面,综合测井与地震资料进行对比。洼陷内部为大段泥岩夹薄层细砂为主,地层厚度变化不大,地震反射同相轴横向连续性较好,因此采用等厚对比原则进行井间对比。洼陷周缘地区沙二段厚度较薄,砂

地比较大,与下伏地层呈超覆接触关系,因此重点在于各砂组上超点的识别,进而采用各砂组超覆叠置的关系开展井间地层对比。③将骨架对比剖面与古地貌图相叠合,从古地貌背景出发验证对比模式与地层发育的合理性,并以骨架对比剖面为基准向全区推广,覆盖洼陷内所有井,通过反复验证与调整,最终建立渤南洼陷沙二段砂层组级地层格架,为沉积相研究奠定基础。

依据上述划分对比原则,将渤南洼陷沙二段划分为4个砂层组。从各砂组发育范围来看,由沙二段底部4砂组至顶部1砂组沉积时期,地层发育边界逐渐向南推进,沉积末期覆盖至南部罗家-邵家等地区,表明湖盆处于不断扩张的过程。

3 沉积相类型及特征

通过对该区近30口取心井沙二段的岩心观察,发现泥岩颜色以浅灰、灰绿色为主,砂岩常呈灰白色、浅褐色,洼陷周缘可见少量杂色沉积。岩心沉积构造类型丰富,泥岩常具有水平层理,至洼陷中部较深水的区域过渡为页理,局部可见搅动现象(图2a)。细砂、粉



图2 渤南洼陷岩心中典型沉积构造

Fig. 2 Typical sedimentary structures in the cores of Bonan Subsalt

- a. 搅动变形构造,义282井,埋深2 650.7 m; b. 冲洗线理,义351井,埋深2 923.5 m;
c. 正粒序砂砾岩,义深8井,埋深3 125.0 m; d. 浪成交错层理,义108井,埋深2 561.8 m

砂岩以具清晰的浪成交错层理、波状层理为特征,部分岩心层面可见冲洗线理(图2b)。含砾粗砂岩中主要见平行层理、板状交错层理、冲刷面等沉积构造。此外,沙二段植物、动物化石较发育,砂岩中沿层面常见针状、片状分布的植物碳屑,南部缓坡带可见保存良好的鱼鳞化石与虫孔。上述岩性组合及其沉积构造,反映出沙二段沉积时期水体较浅,不同岩相代表的水动力类型及作用机制均不相同。

沉积物的粒度能够反映碎屑颗粒的搬运营力、搬运方式及沉积环境,是判别沉积时自然地理环境以及水动力条件的良好标志^[14-15]。在粒度测试分析的基础上,分别绘制了不同沉积体系砂岩样品的粒度概率曲线主要有以下4种类型:一跳一悬式、两跳一悬式、滚动跳跃加悬浮式以及平缓上拱式(图3)。其中以前两种最为常见,其它类型仅在局部地区出现。一跳一悬式和两跳一悬式以跳跃次总体为主,含量一般为60%~80%,反应水体能量较强,在三角洲前缘水下分流河道与滨浅湖砂坝等沉积类型中较为常见。平缓上拱式粒度概率曲线的存在,表明局部地区存在风暴浪作用。

根据以上各种沉积相标志的研究,结合前人成果及沾化凹陷的勘探实际,认为渤南洼陷沙二段主要发育三大类沉积相,即扇三角洲、湖相滩坝以及浅湖-半

深湖。

3.1 扇三角洲相

扇三角洲相主要发育在洼陷周缘凸起带附近,粗碎屑沉积物由凸起带向洼陷内部进积,层位上各时期均有分布,由4砂组至1砂组沉积规模有所减小。各凸起带中,以陈家庄凸起北侧的扇三角洲规模最小,仅在东侧垦西低凸起部位少量发育,推测其原因是受陈南断裂活动的影响沉积物主要向南搬运所造成。扇三角洲的根部,受构造活动与古地貌的制约,冲积扇直接进入浅湖区形成靠山型扇三角洲砂砾岩体系,岩心中可见直立的大块砾石(图2c),测井曲线表现为箱形特征,地震剖面上具有明显的前积反射结构。

尽管扇三角洲沉积是在各凸起带碎屑物质供应充足的条件下形成的,但其沉积过程受后退型盆地边界条件的控制,当盆地可容空间增长速率大于沉积物供给速率时,砂砾岩体向物源方向退积,表现为下粗上细的退积型沉积层序^[16-18]。渤南洼陷沙二段整体处于湖盆扩张期,加之粗碎屑沉积距离物源较近,扇三角洲的发育范围受到一定限制。扇三角洲平原分布范围很窄,而前扇三角洲由于受到湖水强烈改造难以识别,本文主要针对分布较广、油气勘探意义较大的扇三角洲前缘进行研究。通过岩心、录井和测井相互标定,结合

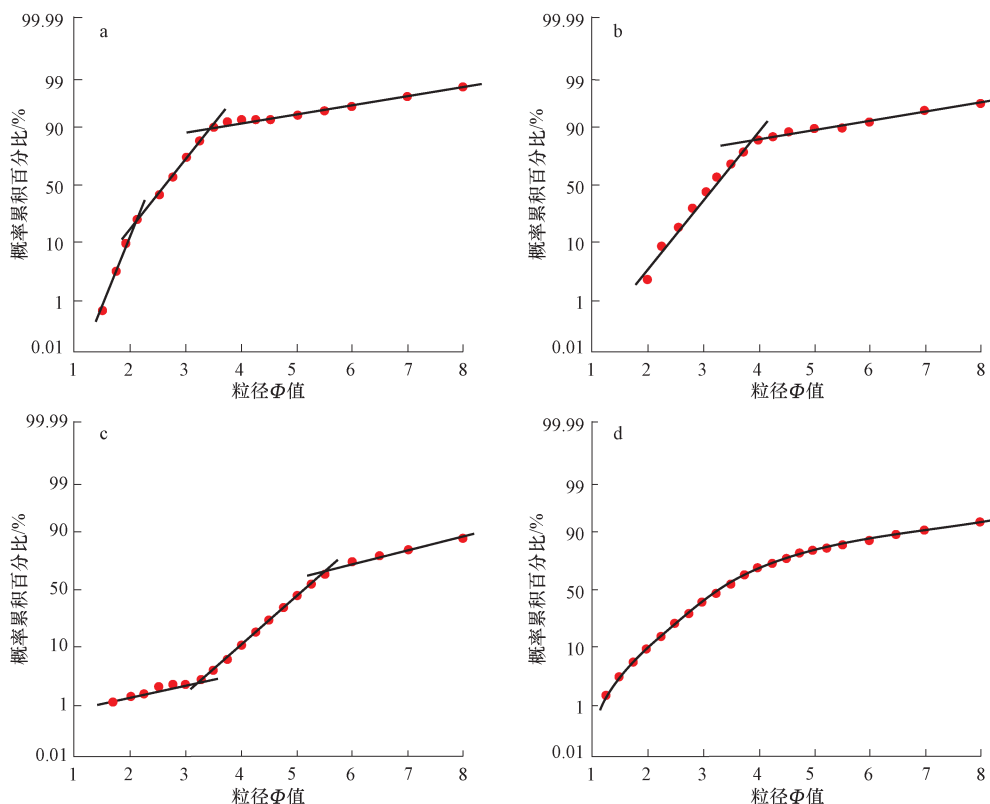


图3 渤南洼陷典型粒度概率曲线

Fig. 3 Typical grain size probability curves of Bonan Subag

a. 两跳一悬式,义351井,埋深2 598.15 m; b. 一跳一悬式,新渤深1井,埋深3 129.68 m;
c. 滚动、跳跃加悬浮式,义115井,埋深3 943.43 m; d. 平缓上拱式,义46井,埋深2 849.48 m

砂岩厚度、砂岩百分比的平面分布,在本区扇三角洲前缘沉积中识别出了水下分流河道、河口砂坝以及分流间湾三种微相类型。

扇三角洲前缘水下分流河道在本区发育规模较大,其岩性主要为浅灰色、杂色中厚层砂砾岩、砂岩,岩石成熟度较低,沉积构造多表现出单向强水流作用特征,垂向上具明显的正韵律,底部常存在冲刷面,测井曲线常呈钟形-箱形组合。河口砂坝岩性相对较细,常夹有薄层灰色粉砂岩、泥质粉砂岩,岩石结构成熟度有所提高,垂向上呈反韵律特征,测井曲线表现为光滑的漏斗形-箱形组合。河口砂坝在本区发育较广,在水下分流河道砂砾岩体的前部呈片状或带状分布,显然经受了一定程度的湖浪改造作用。水下分流间湾主要为灰绿色薄层状粉砂岩、细砂岩与泥岩组成的薄层沉积,在本区缺乏稳定的泥岩沉积,测井曲线表现为低幅的钟形或齿形,分布范围较为局限。

3.2 湖相滩坝

滩坝砂体是发育于陆相湖盆滨浅湖地区非常重要的一种沉积砂体,近岸的三角洲、扇三角洲或其他类型的浅水砂体均可作为滩坝形成的物质基础^[19-21]。滩坝沉积的水动力主要为波浪、湖流以及风暴等作用。此外,发育区的古地貌、古水深、岸线形态等对滩坝砂的形成也具有重要意义。笔者在详细研究沉积特征的基础上,结合近几年的勘探实际,认为渤南洼陷沙二段广泛发育了滨浅湖滩坝砂体沉积,依据不同的成因类型及沉积特征,可以识别出滨浅湖砂质滩坝、砂岩-碳酸盐岩混积滩坝以及风暴成因滩坝3种类型。

1) 滨浅湖砂质滩坝

砂质滩坝主要形成于水体较浅、波浪作用较强的宽缓滨浅湖地区和湖盆水下隆-带浅水区,这些地区缺乏明显的河流作用,扇三角洲两侧在沿岸流的作用下,往往形成与岸线或水下隆起带走向平行或斜交的滩坝砂体,在渤南洼陷沙二段沉积时期发育最为广泛。结合岩心、粒度及测井资料分析认为,砂质滩坝可以分为砂坝和滩砂,二者在沉积特征、几何形态与分布规律上存在明显的差别。砂坝的单层厚度相对较大,一般大于2 m,垂向上由多个次级旋回组成向上变粗的反旋回,岩性主要为灰色中-细砂岩、粉砂岩夹薄层泥岩,SP和GR曲线常表现为齿化箱形-漏斗形组合与宽厚指形。该区滨浅湖砂坝以发育多种波浪成因的沉积构造为典型特征,如浪成交错层理、波状层理等,层面构造有冲洗线理、浪成波痕等(图2d)。

滩砂是在较平坦地形上由较弱的湖水动力作用形成的薄层砂体,在本区呈席状大范围分布,在洼陷扇边缘与扇三角洲前缘河口砂坝相连。滩砂单砂层较薄,

厚度通常小于2 m,垂向上呈频繁的砂泥岩薄互层,岩性相对较细,以粉砂岩、泥质粉砂-细砂岩为主,SP和GR曲线常呈微齿化指形及低幅指状漏斗形。在岩心上,滩砂主要发育波状复合层理、冲洗交错层理以及浅水微波痕等沉积构造。

2) 砂岩-碳酸盐岩混积型滩坝

混积岩属于碳酸盐岩和陆源碎屑岩之间的过渡类型,是同一岩层内陆源碎屑与碳酸盐在沉积阶段相互混杂的产物,而非成岩作用阶段形成的假混合。前人在对沾化凹陷沙二段进行沉积研究过程中,提出了凹陷南部缓坡带及潜山周缘发育湖相碳酸盐沉积^[22]。笔者在大量岩心观察与薄片鉴定的基础上,发现在沙二段沉积末期,渤南洼陷南部缓坡带发育着大型的碎屑岩-碳酸盐岩混合型滩坝沉积体,依据岩石成分及相对含量高低,可将此类滩坝的岩石类型划分为灰质砂岩和含砂-砂质灰岩两大类。

灰质砂岩成分以陆源碎屑为主,其中石英含量约占70%~80%,其次为长石,岩屑含量较少。碳酸盐岩颗粒主要为鲕粒、生物碎屑等,含量常低于20%。颗粒分选、磨圆均较好,鲕粒常呈较薄的包壳包裹石英、长石颗粒(图4a),粘土矿物少见。此类混积岩分布范围较广,在罗家地区西侧以及邵家地区,均可见多支近东西向展布的灰质砂岩滩坝,垂向上呈向上变粗的反旋回,具明显的浪成交错层理。

含砂-砂质灰岩中陆源碎屑含量较少,约占15%~35%,以细粒石英、长石为主。碳酸盐岩颗粒以鲕粒为主,直径为0.1~0.5 mm,其次为腹足类等生物碎屑。鲕粒的核心部分主要为石英和长石,其次为砂屑与生物碎屑,包壳由2~4个泥晶圈层组成,呈同心层状排列。含砂灰岩中含有正常鲕与表皮鲕,而砂质灰岩则主要含表皮鲕,且灰泥基质含量高,并混杂粉砂级石英(图4b)。此类混积岩主要分布于渤南洼陷东南部罗家鼻状构造带附近,水体与罗西、邵家地区相比总体较浅,垂向上厚层的含砂-砂质灰岩与粉砂岩、粉砂质泥岩互层沉积,波痕、生物潜穴、扰动构造等较常见(图4c)。

3) 风暴成因滩坝

风暴滩坝是指滨浅湖环境下原地沉积的正常砂质滩坝,经受了风暴流搅动、搬运后在浅湖-半深湖再沉积形成的风暴沉积,具有典型的风暴成因构造。济阳坳陷在长期勘探过程中,已在惠民凹陷、东营凹陷、车镇凹陷内陆续发现了多种成因类型的风暴沉积岩,并建立了相应的沉积模式^[23]。笔者通过对沾化凹陷渤南洼陷沙二段滩坝沉积的系统研究,发现洼陷中部浅湖-半深湖区发育一定规模与风暴成因相关的滩坝砂体。



图4 渤南洼陷滩坝沉积典型岩石学特征

Fig. 4 Typical petrologic characteristics of the beach-bar deposits of Bonan subsag

- a. 鲕粒包裹碎屑颗粒, 罗354井, 埋深2 478.8 m; b. 砂质灰岩, 罗354井, 埋深2 482.4 m;
c. 生物钻孔, 罗54井, 埋深2 559.6 m; d. 变形构造, 义46井, 埋深2 834.58 m;
e. 侵蚀变形构造, 义46井, 埋深2 849.48 m

风暴流源自湖盆, 具有波浪和流动的双重性质^[24], 因此形成了一系列特有的沉积特征。渤南洼陷沙二段沉积时期, 在义和庄凸起东部、埕东凸起东南部等相对较深水环境内形成了典型的风暴滩坝, 岩性主要为浅灰色含砾砂岩、粉-细砂岩夹深灰色泥岩, 偶见少量棕红色泥岩条带。砂岩底部风暴侵蚀构造发育明显, 是风暴涡流对早期沉积物进行掏蚀、改造形成的侵蚀构造, 属于识别风暴岩的一类重要标志(图4d,e)。此外, 岩心中还可见清晰的丘状交错层理、搅动变形构造、“V”字型泥砾以及生物逃逸迹等, 反映了强风暴作用的特征。

4 沉积相展布与演化

渤南洼陷沙二段沉积时期断陷活动强烈, 边界断层控制着凸起与洼陷的高差及剥蚀充填, 洼陷周缘凸

起带均为继承性凸起, 出露面积大, 暴露时间长, 为主要的沉积物供应区。随着构造活动、湖盆扩张以及沉积物供给的变化, 在不同砂组沉积时期, 盆地不同部位发育不同的沉积类型。

沙二段4砂组沉积时期水体急剧减小, 洼陷南部大面积暴露遭受剥蚀, 物源主要来自西部的义和庄凸起和东部的孤岛凸起, 两者均以碎屑物源供应为主。邻近凸起带, 发育小规模扇三角洲沉积, 以水下分流河道为主, 孤岛凸起存在较大规模的河口砂坝。湖盆内滩砂分布连续性较差, 砂坝规模较小, 常呈孤立状分布, 多与断裂活动引起的小型风暴作用有关(图5)。

沙二段3砂组沉积时期物源主要来自西部的义和庄凸起和东部的孤岛凸起, 物源供给充足, 扇三角洲规模较大, 埕东凸起也开始发育小规模扇三角洲。洼陷内滩砂全区连片分布, 砂坝的数量和规模有所增大。

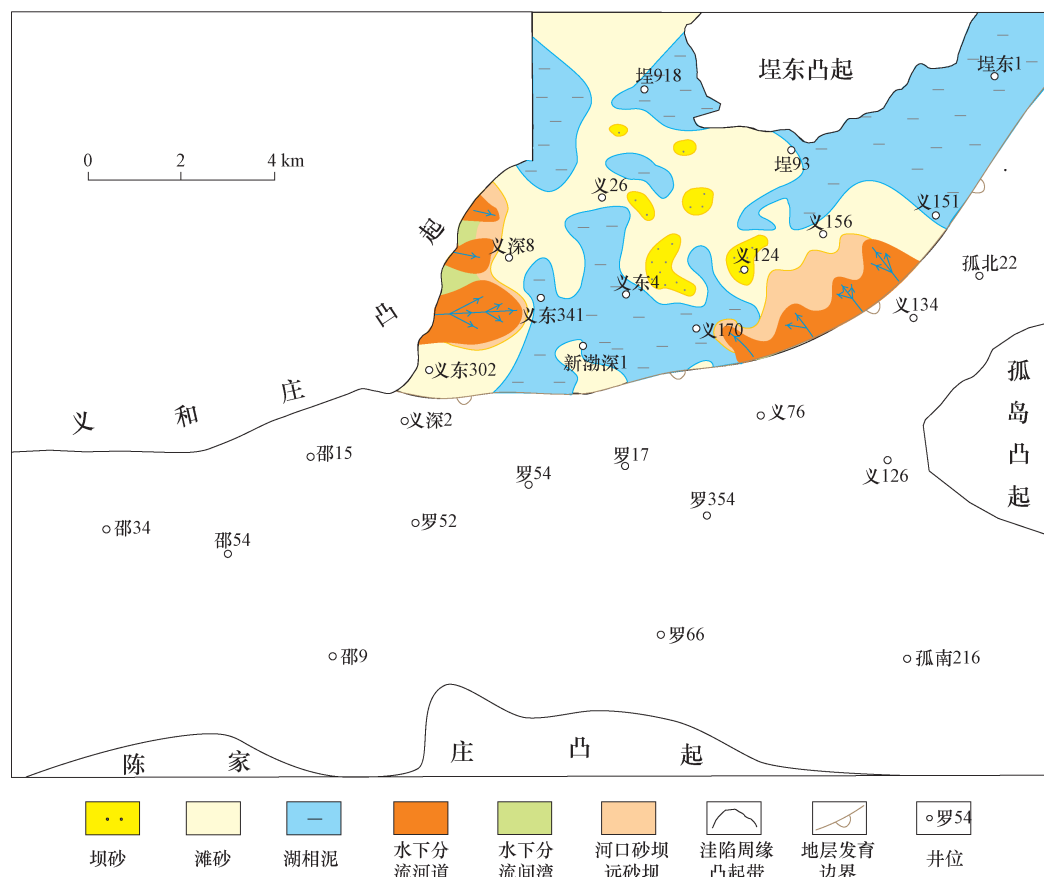


图5 渤南洼陷沙二段4砂组沉积相

Fig. 5 Sedimentary facies map of Es²-4 sand group of Bonan Subsalt

洼陷中部砂坝大多平行于孤岛凸起一侧的扇三角洲朵叶体,表明该时期孤岛凸起供物源能力较强。此外,洼陷中西部也存在小规模砂坝,岩心中可见典型搅动构造,属于风暴成因(图6)。

沙二段2砂组沉积时期,渤南洼陷内沉积范围进一步向南扩大,沉积物源数量明显增多,西部义和庄凸起附近形成了3支扇三角洲水下分流河道沉积体,但分布范围不大。东部的孤岛凸起及东南部垦西高地,以混合物源方式向洼陷内部提供物源,陆源碎屑稍细,分布范围较广。此外,埕东凸起三角洲分布范围也有所增大。洼陷内滩坝仍以砂质滩坝为主,其中滩砂全区连片分布,坝砂数量进一步增加,西南部发育多支月牙形砂坝(图7)。

沙二段1砂组为沙二段沉积末期,湖盆扩张达到最大,沉积范围扩大至南部罗家-邵家地区。该时期湖浪作用明显增强,各凸起带处扇三角洲沉积规模显著减小,以单支水道沉积为主。受潮浪强烈改造,滩坝分布规模达到最大,砂坝多平行岸线,整体呈环带状分布(图8)。南部罗54-罗52、邵54等井区属于砂岩-碳酸盐岩混积型滩坝。此后湖盆长期间歇,沙二段顶部形成了稳定的高阻白云岩。

由此可见,渤南洼陷沙二段整体呈湖盆逐渐扩张,沉积范围不断扩大的古地理特征,扇三角洲规模总体

减小,滩坝沉积规模不断增大,由早期的砂质滩坝、风暴滩坝组合逐渐过渡为砂质滩坝、砂岩-碳酸盐岩混积型滩坝。

5 结论

1) 根据岩心、测井、录井及地震反射特征,确立了两类基于湖盆充填方式的对比模式,即针对洼陷中部细粒沉积的“均匀充填型”对比模式和针对洼陷周缘粗碎屑沉积的“超覆叠置型”对比模式,将沙二段划分为4个砂层组,最终建立了全区统一的砂层组精细格架。

2) 依据大量岩心观察、沉积学实验及地球物理资料研究,渤南洼陷沙二段主要发育扇三角洲前缘沉积与滨浅湖滩坝沉积,其中扇三角洲前缘以水下分流河道、河口砂坝微相、分流间湾为主,滨浅湖滩坝按其成因可分为正常砂质滩坝、砂岩-碳酸盐岩混积型滩坝以及风暴成因滩坝3类。

3) 在单井分析和连井对比的基础上,根据平面单因素沉积特征的分析综合划分出了整个洼陷各砂组的沉积体系展布。沙二段沉积早期,洼陷沉积范围较小,以各凸起带附近的扇三角洲沉积为主,洼陷中部发育小规模风暴成因滩坝。沙二段沉积晚期,湖盆不断扩

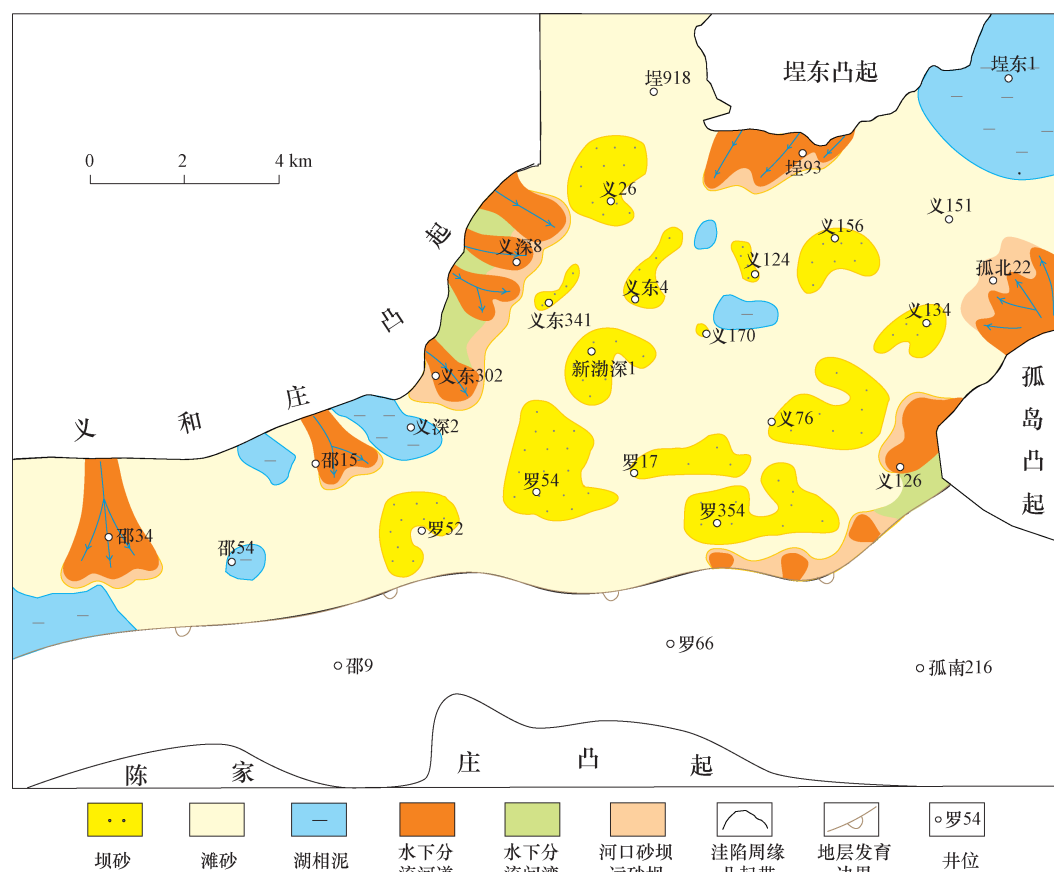


图8 渤南洼陷沙二段1砂组沉积相

Fig. 8 Sedimentary facies map of Es²-1 sand group of Bonan Subsalt

张,扇三角洲规模逐渐缩小,滩坝沉积规模不断增大,南部缓坡带出现砂岩-碳酸盐岩混积型滩坝。

参考文献

- [1] 宫秀梅,金之钧,曾溅辉,等. 渤南洼陷深层油气成藏特征及主控因素[J]. 石油与天然气地质,2005,26(4):473-479.
Gong Xiumei, Jin Zhijun, Zeng Jianhui, et al. Reservoir characteristics and main controlling factors for deep hydrocarbon accumulations in Bonan Sag in Jiyang Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(4):473-479.
- [2] 罗红梅,朱毅秀,穆星,等. 渤海湾渤南洼陷深层湖相滩坝储集层沉积微相预测[J]. 石油勘探与开发,2011,38(2):182-190.
Luo Hongmei, Zhu Yixiu, Mu Xing, et al. Seismic facies prediction of lacustrine beach and bar reservoirs in the deep zone of the Bonan Subsalt, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(2):182-190.
- [3] 刘瑞娟,王永诗,张博,等. 渤南洼陷浊积砂体岩石学特征及其对储层物性的影响—以沙三段0-9砂组为例[J]. 油气地质与采收率,2011,18(6):32-41.
Liu Ruijuan, Wang Yongshi, Zhang Bo, et al. Turbidite sand bodies' characters of petrology and mineralogy and its influence on reservoir physical property in Bonan Subsalt-case of 0-9 sand groups of Es₃[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(6):32-41.
- [4] 王庆华. 渤南洼陷沙三段浊积岩储层预测技术[J]. 油气地质与采收率,2014,21(3):48-51.
Wang Qinghua. Turbidite reservoir prediction techniques in Sha III formation of Bonan depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3):48-51.
- [5] 高宝国,徐福刚,徐涛. 渤南油田义65区块开发后期沉积相再认识[J]. 石油与天然气地质,2014,35(3):386-390.
Gao Buoguo, Xu Fugang, Xu Tao. New understanding of sedimentary facies of Es₃(9) in Yi 65 Block of Bonan oilfield at later stage of production[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3):386-390.
- [6] 刘雅利. 断陷盆地连续型油气藏分布范围的确定方法——以渤南地区沙四段为例[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(2):1-8.
Liu Yali. A method of determining distribution of continuous hydrocarbon reservoir in faulted basin—a case of the fourth member of Shahejie Formation in Bonan area[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(2):1-8.
- [7] 田克勤,于志海,冯明. 渤海湾盆地地下第三系深层油气地质与勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2000,250-251.
Tian Keqin, Yu Zhihai, Feng Ming. Geology and exploration of hydrocarbon in Paleogene deep zone of Bohai Bay Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000, 250-251.
- [8] 徐兴友,徐国盛,秦润森. 沾化凹陷渤南洼陷沙四段油气成藏研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2008, 35(2):113-120.
Xu Xingyou, Xu Guosheng, Qin Runsen. Study on hydrocarbon migration and accumulation of Member 4 of Shahejie Formation in Bonan Sag, Zhanhua Depression[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 2008, 35(2):113-120.

- [9] 宋国奇,刘华,蒋有录,等. 沾化凹陷渤南洼陷沙河街组原油成因类型及分布特征[J]. 石油实验地质,2014,36(1):33-38.
Song Guoqi,Liu Hua,Jiang Youlu,et al. Genetic types and distribution characteristics of crude oils from Shahejie Formation in Bonan Subsag,Zhanhua Sag,Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology & Experiment,2014,36(1):33-38.
- [10] 范瑞峰,董春梅,吴鹏,等. 渤南油田四区沙三段储层特征及其控制因素[J]. 油气地质与采收率,2015,22(4):64-68.
Fan Ruifeng,Dong Chunmei,Wu Peng,et al. Reservoir characteristics and its control factors of Es3 member in Area 4, Bonan oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2015,22(4):64-68.
- [11] 李利波,武法东. 渤南洼陷沙二段扇三角洲沉积体系分析[J]. 地层学杂志,2011,35(3):337-346.
Li Libo,Wu Fadong. Sedimentary system analysis of fan delta for the second member of Shahejie formation at the Bonan Sag[J]. Journal of stratigraphy,2011,35(3):337-346.
- [12] 董春梅. 渤南洼陷下第三系沙三段高分辨率层序地层学研究[J]. 石油大学学报(自然科学版),2002,26(2):11-14.
Dong Chunmei. High resolution sequence stratigraphy in third member of Shahejie formation of the lower tertiary in Bonan Depression[J]. Journal of the University of Petroleum,2002,26(2):11-14.
- [13] 李利波,武法东,姜大伟,等. 渤南洼陷沙二段沉积体系分析[J]. 地质力学学报,2010,16(3):281-293.
Li Libo,Wu Fadong,Jiang Dawei,et al. Sedimentary system for the second member of Shahejie formation,Bonan Sag[J]. Journal of geomechanics,2010,16(3):281-293.
- [14] 袁静,杜玉民,李云南. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):103-106.
Yuan Jing,Du Yu-min,Li Yun-nan. Probability cumulative grain size curves in terrigenous depositional environments of the Paleogene in Huimin Sag[J]. Petroleum Exploration and Development,2003,30(3):103-106.
- [15] 操应长,王健,刘惠民. 利用环境敏感粒度组分分析滩坝砂体水动力学机制的初步探讨[J]. 沉积学报,2010,28(2):274-284.
Cao Yingchang,Wang Jian,Liu Huimin. Preliminary study on the hydrodynamic mechanism of beach-bar sandbodies with environmentally sensitive grain size components[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2010,28(2):274-284.
- [16] 赵伟,邱隆伟,姜在兴,等. 济阳坳陷民丰洼陷古近系沙河街组三段中亚段沉积相展布与演化[J]. 沉积学报,2011,29(2):255-267.
Zhao Wei,Qiu Longwei,Jiang Zaixing,et al. Distribution and evolution of sedimentary facies of the Middle of the third member of Shahejie Formation,Paleogene System in Minfeng Subsag,Jiyang Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2011,29(2):255-267.
- [17] 王居峰. 陆相断陷盆地陡坡带沉积相类型与沉积演化特征—以东营凹陷民丰地区沙三段、沙四段为例[J]. 天然气地球科学,2008,19(5):611-617.
Wang Jufeng. Sedimentary facies types and evolution features on steep slope belt in terrestrial fault-depressed basin; A case in Sha3 and 4 Member of Minfeng area in Dongying Depression[J]. Natural Gas Geoscience,2008,19(5):611-617.
- [18] 高丽坤,林春明,姚玉来. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及沉积演化[J]. 沉积学报,2010,28(4):706-716.
Gao Likun,Lin Chunming,Yao Yulai. Sedimentary facies and evolution of Paleogene dainan formation in Gaoyou Sag,Subei Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2010,28(4):706-716.
- [19] 魏巍,朱筱敏,谈明轩,等. 查干凹陷下白垩统扇三角洲相储层特征及物性影响因素[J]. 石油与天然气地质,2015,36(3):447-455.
Wei Wei,Zhu Xiaomin,Tan Mingxuan,et al. Reservoir characteristics and influences on poroperm characteristics of the Lower Cretaceous fan-delta facies in Chagan Depression[J]. Oil & Gas Geology,2015,36(3):447-455.
- [20] 宋璠,苏妮娜,侯加根,等. 黄骅坳陷板桥油田板桥油层沉积特征及演化[J]. 石油与天然气地质,2012,33(6):914-922.
Song Fan,Su Nina,Hou Jiagen,et al. Sedimentary characteristics and evolution of the Banqiao reservoir in Banqiao oilfield,Huanghua Depression[J]. Oil & Gas geology,2012,33(6):914-922.
- [21] 操应长,王健,刘惠民,等. 东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体的沉积特征及模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2009,33(6):5-10.
Cao Yingchang,Wang Jian,Liu Huimin,et al. Sedimentary characteristics and models of beach-bar sandbodies in the upper part of the fourth member of Paleogene in the south slope of Dongying Depression[J]. Journal of China University of Petroleum,2009,33(6):5-10.
- [22] 王金友,张立强,张世奇. 济阳坳陷沾化凹陷沙二段湖相混积岩沉积特征及成因分析—以罗家一邵家地区为例[J]. 地质论评,2013,59(6):1085-1096.
Wang Jinyou,Zhang Liqiang,Zhang Shiqi,et al. Sedimentary characteristics and origin of lacustrine mixed rocks of the second member of the Eogene Shahejie Formation in Zhanhua Sag,Jiyang Depression: taking Luoja-Shaojia area for an example[J]. Geological Review,2013,59(6):1085-1096.
- [23] 王升兰,姜在兴,刘晖. 博兴洼陷风暴—滩坝沉积特征及模式[J]. 断块油气田,2009,16(4):37-39.
Wang Shenglan,Jiang Zaixing,Liu Hui. Sedimentary characteristics and model of tempestites beach bar of upper section of the fourth member of Shahejie Formation in Boxing Sag[J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2009,16(4):37-39.
- [24] 张鑫,张金亮. 惠民凹陷中央隆起带沙四上亚段滩坝与风暴岩组合沉积[J]. 沉积学报,2009,27(2):246-253.
Zhang Xin,Zhang Jinliang. Composite deposits of beach bar and tempestite in the Upper Fourth Member of Shahejie Formation in the central uplift belt of Huimin Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2009,27(2):246-253.

(编辑 张玉银)