

张家垛油田阜三段Ⅲ砂组沉积微相特征与沉积模式

陈倩倩¹,丁晓琪^{1,2},万友利¹,张哨楠^{1,2}

(1. 成都理工大学 能源学院,四川 成都 610059; 2. 西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室,四川 成都 610500)

摘要:苏北盆地张家垛油田阜宁组三段发育4种岩相:黑色泥岩相,生物扰动粉砂岩相、泥质纹层+生物钻孔粉-细砂岩相及平行层理细砂岩相。剖面结构主要为向上变粗的反韵律,其次是向上变粗复变细的复合韵律,几乎不见正韵律。根据岩石相、剖面结构、测井相及粒度累计曲线,认为阜宁组三段为浅湖滩坝沉积。根据沉积特征和砂体展布规律,将储层进一步划分为坝砂和滩砂,并提出该地区的滩坝沉积模式。坝砂由于泥质含量低、储层物性好,油气充满度高;而滩砂泥质纹层发育,非均质性弱。由于主要充填在平行层理细砂岩相和泥质纹层+生物钻孔粉砂岩相中,充注程度差别大。

关键词:浅湖;滩坝;沉积微相;沉积模式;阜宁组;张家垛油田;苏北盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Microfacies characteristics and sedimentary models of the third member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield

Chen Qianqian¹, Ding Xiaoqi^{1,2}, Wan Youli¹, Zhang Shaonan^{1,2}

(1. Energy College, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract: Four types of lithofacies are identified in the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield, the Subei Basin, including dark mudstone, bioturbated siltstone, siltstone-fine sandstone lithofacies with argillaceous laminates and burrow as well as fine sandstone with parallel bedding. Upward-coarsening reverse rhythm is the main section structure, followed by first upward-coarsening and then upward-thinning composite rhythm, while positive rhythm is very rare. All the features of lithofacies, section structure, logging facies and cumulative grading curve show that the 3rd member of Funing Fm is typical shallow lake beach-bar facies. According to the sedimentary characteristics and spatial distributions, the reservoirs are further divided into sandstone of bar microfacies and sandstone of beach microfacies. A beach-bar sedimentary model is proposed. The sandstone reservoirs of bar microfacies are high in hydrocarbon fullness, due to its low shale content and high porosity. In contrast, the sandstone reservoirs of beach microfacies show great variance in hydrocarbon fullness as argillaceous laminations are well developed, heterogeneity is week, and hydrocarbons mainly fill in the fine sandstone lithofacies with parallel bedding and argillaceous laminates + burrow fine sandstone lithofacies.

Key words: shallow lacustrine, beach-bar, sedimentary microfacies, sedimentary model, Funing Formation, Zhangjiaduo oilfield, Subei Basin

张家垛油田位于苏北盆地海安凹陷西部曲塘次凹的北部陡坡带(图1),处于断裂的下降盘,是一个由边界断层控制的大型鼻状构造^[1-2],为油气富集的有利区带。油气主要富集于阜宁组三段(阜三段)^[3-5],阜三段自下而上划分为下部砂岩段(Ⅲ砂组)、中部泥岩段(Ⅱ砂组)和上部砂岩段(Ⅰ砂组)。Ⅲ砂组发育5~7个单砂体,单砂体厚度普遍在1.2~4.5 m,累计厚度可达28 m。Ⅰ砂组发育3~4个单砂体,单砂体厚度普

遍在1.3~6.2 m,累计厚度可达25 m。明显具有单层厚度小、累积厚度大,砂体平面分布稳定的特征^[4]。阜三段砂岩粒度较细,以细粒和粉砂为主,不同程度含有泥质纹层和泥质条带,植物碎屑、藻屑和虫孔发育。

虽然阜三段Ⅲ砂组单砂体厚度小且埋深大(2 800~3 800 m),但由于欠压实引起的异常高压导致作用于骨架颗粒上的有效应力变小,砂岩碎屑颗粒间的压实程度偏弱,以点接触为主,少量点-线接触。欠压实形成的

收稿日期:2012-12-31;修订日期:2013-10-10。

第一作者简介:陈倩倩(1988—),女,硕士研究生,储层岩石学与储层地球化学。E-mail:491096496@qq.com。

基金项目:中国博士后基金项目(2011M511941);自然科学基金项目(41302115)。

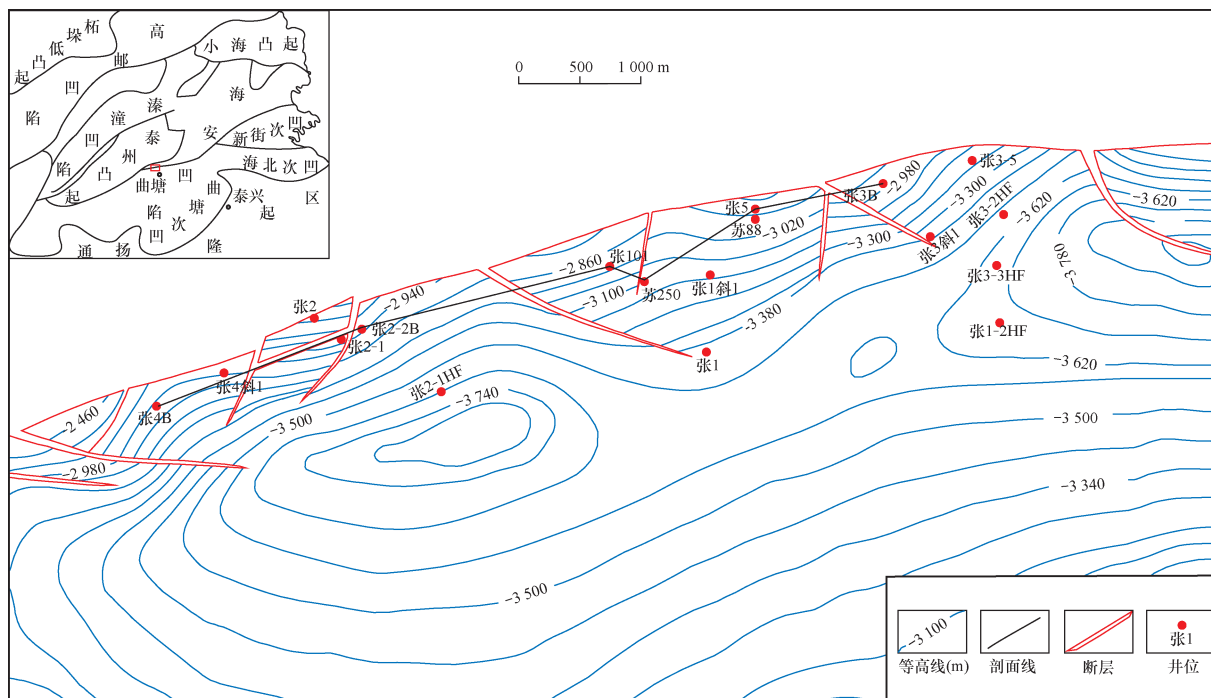


图1 张家垛油田构造位置及阜三段Ⅲ砂组顶面构造^[1]

Fig.1 Geographical area of Zhangjiaduo oilfield and top structural map of sand unit III of Funing Formation^[1]

异常高压使成岩体系过高封闭,成岩体系内外的流体交换变缓,也导致胶结作用相对较弱^[6]。总体来看,阜三段储层储集物性好,具有相对较高的渗流能力。细砂岩的孔隙度普遍超过12%,渗透率大于 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

研究区多口探井在阜三段Ⅲ砂组获高产工业油流,但产能差别大,产能与储层类型有直接关系。如张3井区,储层厚度相对较大、物性好,产能高,水平井压裂后日产油 150 m^3 。但其西边的张2井区,由于相变导致储层变差,其开发效果明显变差。

Ⅲ砂组油层厚度小,单井产量普遍偏低,目前主要通过水平井开发,但水平井要求油层充满度高且具有一定厚度,而油层充满度和厚度很大程度上受控于沉积微相。因此,张家垛地区阜三段Ⅲ砂组沉积微相的详细刻画是下一步规模建产的迫切任务。

通过地震资料、测井资料和岩性资料,综合分析Ⅲ砂组的沉积微相类型,研究不同沉积微相的剖面结构,刻画沉积微相的纵向分布规律和平面展布,并提出该地区的沉积模式,为下一步的勘探、开发提供地质依据。

1 相标志

1.1 岩相标志

根据对张101井、张4B井、张2-2B井、苏海258井等10口井的岩心观察,参照目前国际上比较流行的岩相划分标准与方案^[7-8],并根据岩性特征及古生物特征,在阜三段中识别出4种岩相类型:平行层理细砂

岩相、泥质纹层+生物钻孔粉-细砂岩相、生物扰动粉砂岩相和浅黑色泥岩相。

1.1.1 平行层理细砂岩相(Sh)

该岩相厚度一般不超过2 m,平行层理发育,但有时可过渡为脉状层理(图2a),偶尔可见2~3层不足1 cm的含炭屑泥质条带,砂体中偶见藻屑。砂岩具有较高的结构成熟度和成分成熟度。成熟度高说明沉积区远离物源,经过长途搬运和介质的反复淘洗后沉积下来。平行层理细砂岩相一般发育在沉积物补给充足,水体较浅且水动力较强的沉积环境中^[9]。

1.1.2 泥质纹层+生物钻孔粉-细砂岩相(Fr)

该岩相以灰色-深灰色粉-细砂岩、泥质粉砂岩为主,单层厚度较小且分布局限,生物钻孔较发育,炭屑易见(图2b)。常分布在平行层理细砂岩之下,有时与平行层理细砂岩呈2~3个韵律层。形成于距湖岸线相对较远,沉积物补给不充分,沉积速率较慢的相对低能环境中。

1.1.3 生物扰动粉砂岩相(Fb)

此类岩相主要发育灰色-深灰色的粉砂岩及泥质粉砂岩,是阜三段中最为常见的岩相类型之一,通过岩心观察可见明显的由颗粒定向排列而成的旋涡状构造以及淡色斑点,生物扰动使层理变得不清晰(图2c)。生物扰动粉砂岩相发育在水体较为安静,氧气及有机质含量充足且不受波浪作用强烈影响的沉积环境中,

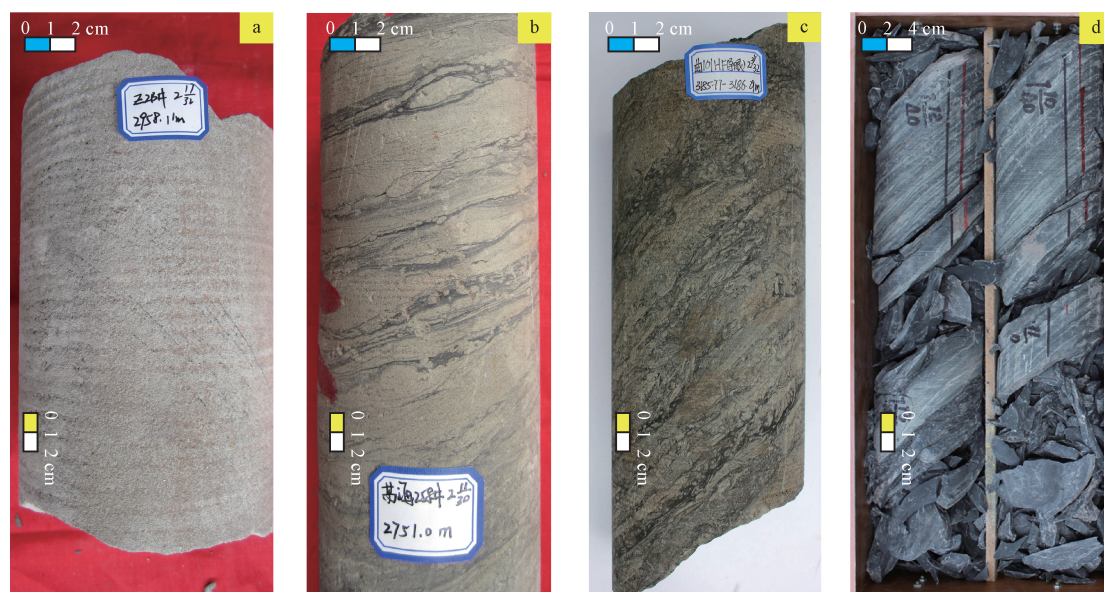


图2 张家垛油田阜三段Ⅲ砂组典型岩相照片

Fig. 2 Typical lithofacies photos of sand unit III in the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield

例如位于枯水面以下至浪基面以上的浅湖环境。相比较而言,浅湖亚相中的滩砂环境,粉砂岩或泥质粉砂岩的顶底都可能转变为有机质丰富的泥岩,因此更适宜于生物的活动和栖息。生物扰动粉砂岩相既可独立存在于黑色泥岩中,也可与平行层理细砂岩相或泥质纹层+生物钻孔粉-细砂岩相伴生存在。

1.1.4 深黑色泥岩相(Mb)

深黑色泥岩相以深黑-黑色泥岩为主,亦可见浅灰黑色泥岩,局部可见黄铁矿,偶夹少量透镜状粉砂岩,厚度变化比较大,发育水平层理(图2d)。暗色泥岩代表一种还原环境,常与水体能量弱,水体深度大的静水环境沉积有关,但阜宁组泥岩颜色偏黑还与泥岩中赋存的大量炭屑有关。

1.2 粒度特征

在阜三段4种岩相类型研究的基础上,对细砂岩、粉砂岩岩心样品进行粒度测试,并采用张4B井、张5井的测试数据绘制了粒度概率累计曲线(图3),可见张4B井跳跃组分平均高达95%以上,滚动组分普遍在2%以下。张5井中跳跃组分也在90%以上,基本不含滚动组分。由此可以看出,阜三段砂岩沉积物在搬运过程中均以跳跃搬运为主,其次为悬浮搬运,滚动搬运组分极少,说明其水动力条件相对较弱。图中趋势线分段明显,说明其结构成熟度较高,距离物源远。

1.3 测井相标志

张家垛油田阜三段主要发育4种典型测井相,指形、似箱形、漏斗形和齿化钟形(图4)。

指形测井相最为常见,根据其幅度又可细分为高幅指形(自然伽马小于60API)和低幅指形(自然伽马大于60API)。高幅指形的岩相组合为Fb-Sh-Fb,偶尔在生物扰动粉砂岩相与平行层理细砂岩相间发育厚度极小的沙纹层理+生物钻孔粉-细砂岩相(Fr)。低幅指形通过发育生物扰动粉砂岩相。似箱状测井相是指伽马测井曲线齿化,箱状测井相的上部略呈钟形而下部略呈漏斗形,岩相组合为Fb-Fr-Sh-Fb。漏斗形测井相亦非常发育,岩相组合为Fb-Fr-Sh。钟型测井相偶见,且以齿化为主,岩相组合为生物扰动粉砂岩相与沙纹纹层+生物钻孔粉-细砂岩的互层,但向上沙纹层理粉-细砂岩相变少,且钟型测井相的底部不存在冲刷现象,说明水体能量较弱。

2 沉积相类型和特征

阜三段砂岩总体上颗粒粒度细,杂基含量较高,剖面结构为向上变粗的反韵律,或是向上变粗变细的复合韵律,向上变细的正韵律不发育,表明与流水成因关系不大。岩心上见大量的生物扰动构造、水平层理、透镜状层理、沙纹层理、脉状层理及平行层理,未见冲刷面及大型交错层理,说明沉积时整体处于较弱的水动力条件。阜三段砂岩中藻屑易见,表明河流的注入不强。在岩心观察基础上,结合测井相和区域地质资料综合分析表明研究区阜三段为典型的浅湖沉积,并可进一步划分为坝砂、滩砂和浅湖泥3个沉积微相。

坝砂泛指水下砂坝、砂嘴以及它们出露水面后形成的堤岛^[10-11],张家垛阜三段坝砂沉积总体上呈现反

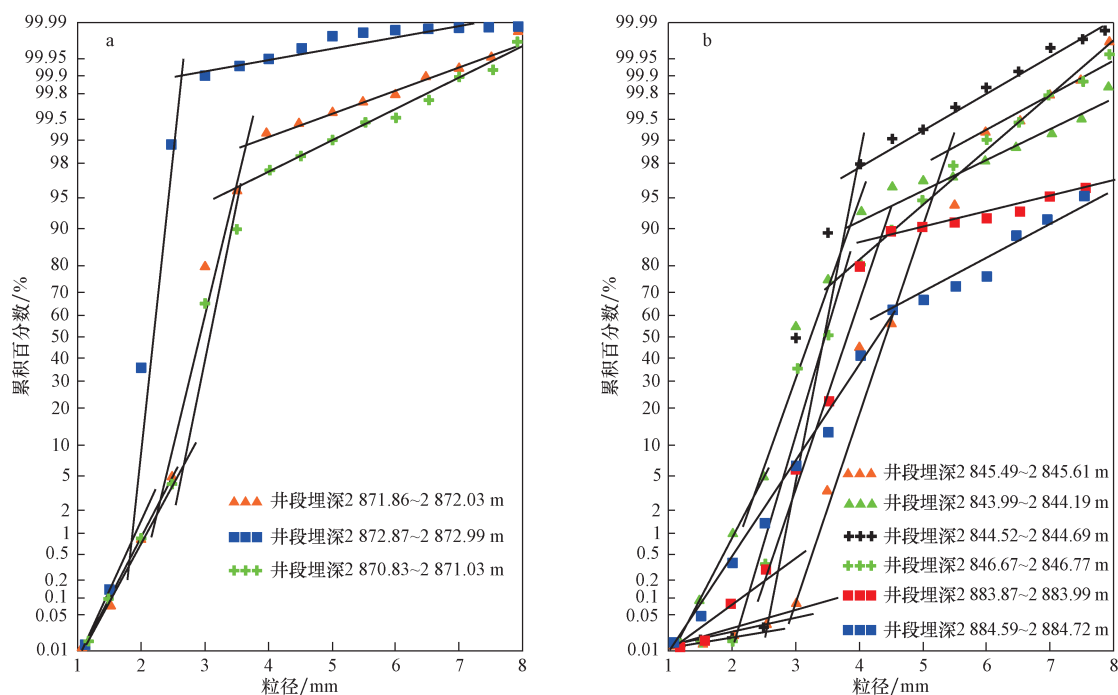


图3 张家垛油田阜三段砂岩粒度概率

Fig. 3 Grain-size probability curves of sandstone in the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield

a. 张4B井; b. 张5井

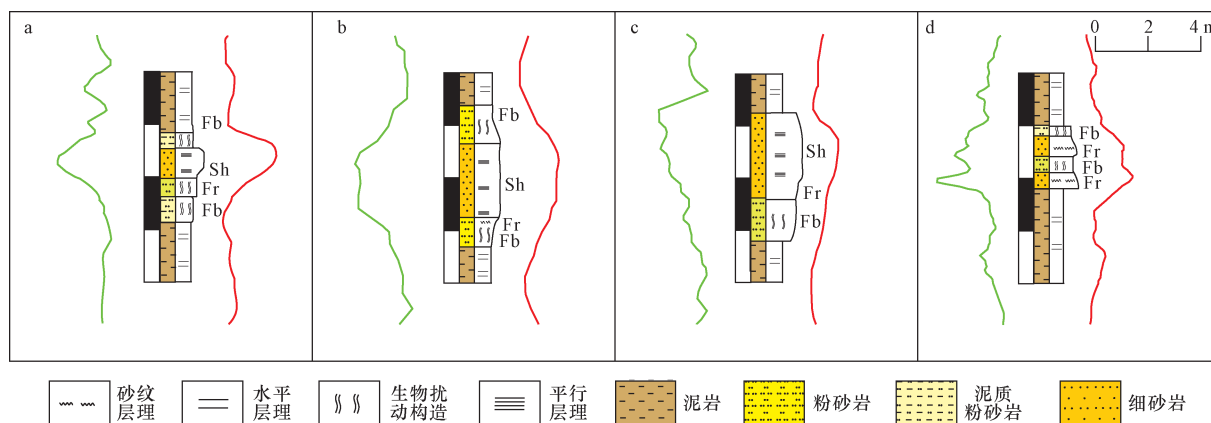


图4 张家垛油田阜三段典型测井曲线岩相解释

Fig. 4 Lithofacies interpretation of typical log curves of the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield

a. 指型; b. 似箱型; c. 漏斗型; d. 齿化钟型

韵律,少量为复合韵律,其砂体厚度较小但平面上延伸较广,砂岩以灰色-灰白色细砂岩、粉砂岩为主。坝砂沉积微相中砂质比率较高,储集性能相对较好,以发育齿化箱形和漏斗形测井相为主,偶尔可发育高幅指形测井相。

滩砂为呈席状展布的砂质浅滩,有时也称其为席状砂^[12-13],以不明显的粒序或复合韵律为主要特征,滩砂微相虽平面上延伸距离较远,但以频繁的砂泥互层为主要特征,水动力条件较弱且不断变化,砂质比率有所降低,砂体粒度偏细,以泥质纹层粉砂岩、水平层理粉砂岩、生物扰动粉砂岩为主,储集性能有所下降。主要发育指形测井相,偶尔发育钟型测井相。

3 沉积微相分布规律

在相标志确定沉积相类型的基础上,通过编制单井相剖面,建立了研究区东西向沉积微相剖面(图5),可以看出阜三段Ⅲ砂组具有厚度小,分布稳定的特点,坝砂向两侧可过渡为滩砂,但坝砂的分布在纵向上规律并不强,相对来说,Ⅲ砂组顶、底坝砂相对较发育。

由于坝砂和滩砂的厚度偏小,利用地震资料进行砂岩或沉积相的研究几乎是不可能的。但Ⅲ砂组被Ⅱ砂组泥岩和Ⅳ砂组泥岩所包裹,可以通过地震资料来

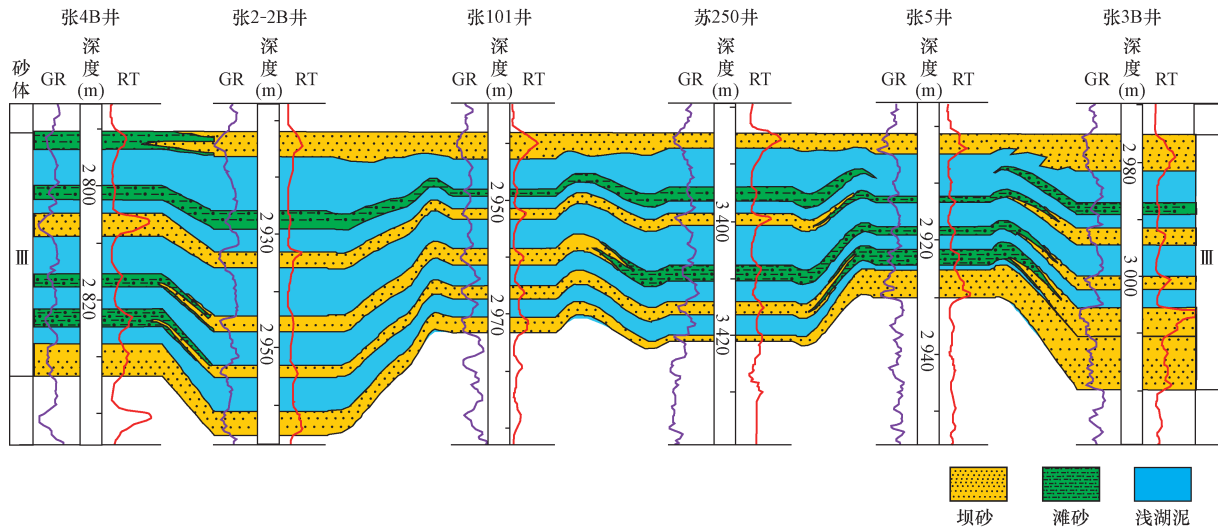


图5 张家垛油田阜三段Ⅲ砂组东西向沉积微相剖面(剖面位置见图1)

Fig. 5 Microfacies section of Ⅲ sand unit in the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield(see profile location in Fig. 1)

检测Ⅲ砂组砂岩的发育情况,进而推测沉积微相的分布规律。利用单井相及剖面沉积相的识别结果,参考从地震反演中提取出的波阻抗值,分别绘制了研究区阜三段Ⅲ砂组下砂层组(4,5和6号砂体)与上砂层组(1,2和3号砂体)的沉积微相平面展布图,明确了滩坝的主体分布范围。

Ⅲ砂组下砂组滩砂与坝砂在研究区广泛发育(图6),浅湖泥虽然在剖面上较发育,但并不作为优势相,仅在研究区零星发育。滩砂沉积较其他两种沉积分布广,但以中部和东部居多。坝砂沉积展布范围相对较窄,但是最重要的储层,其在西部发育规模大,东部主要发育在张3B井以南东方向。

Ⅲ砂组上砂组沉积微相与下砂组分布基本一致,研究区大面积发育滩砂和坝砂,尤以滩砂占主导地位,仅在西部和东部零星出现小面积的浅湖泥(图7)。坝砂最发育的区域为张2—张1井以南区域及张3B井以南区域。

4 沉积模式

阜三段Ⅲ砂组沉积期,湖平面较低,水体能量弱,主要为浅湖沉积环境。张家垛断层附近的钻井并没有在阜三段钻遇较粗的边缘相沉积,也没有见任何扇体沉积,推测当时张家垛边界断层并不存在。然而,阜三段Ⅲ砂组砂岩中植物碎屑发育,局部还可见较为完整的叶片,表明附近存在类似现代沉积的红树林,推测张家垛断层以北存在水下隆起。在沉积相研究的基础上,建立了阜三段Ⅲ砂组浅湖沉积模式(图8)。

4.1 坝砂

坝砂沉积微相是在湖浪、湖流的筛选与风暴浪作用等高能环境下形成的沉积体,因此多呈长条状,平行于湖岸分布^[13-16]。坝主体是砂质滩坝沉积的主体部

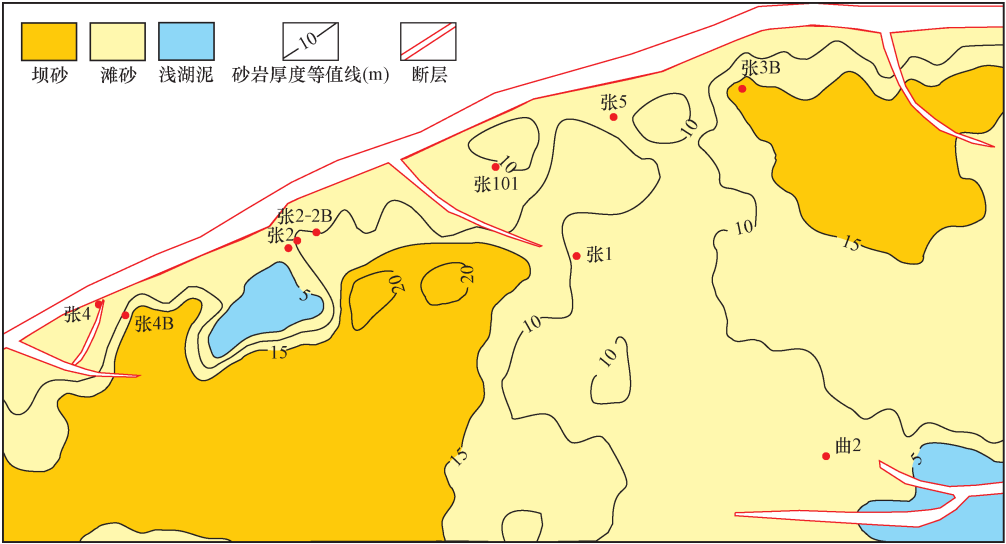


图6 张家垛油田阜三段下砂层组沉积微相平面展布

Fig. 6 Microfacies plane distribution of the lower sand unit in the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield

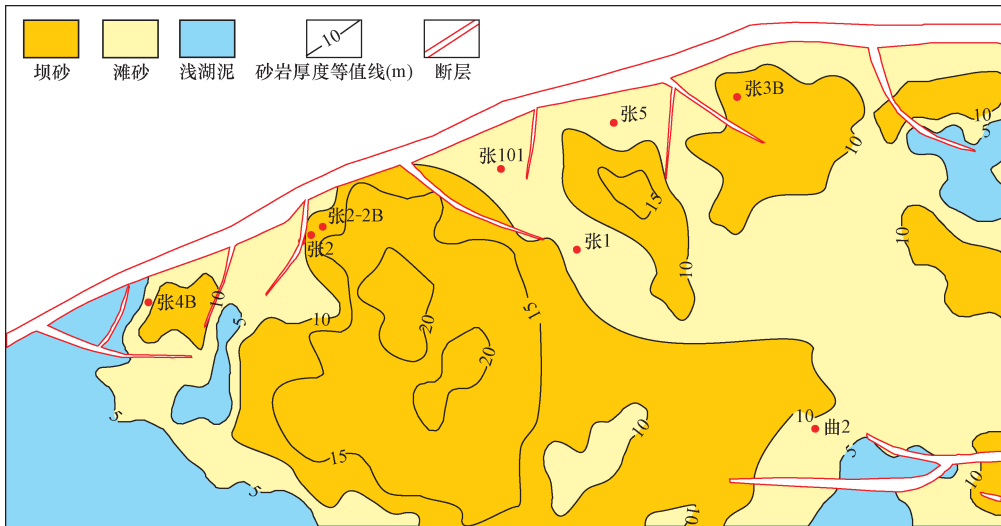


图 7 张家垛油田阜三段上砂层组沉积微相平面展布

Fig. 7 Microfacies plane distribution of the upper sand unit in the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield

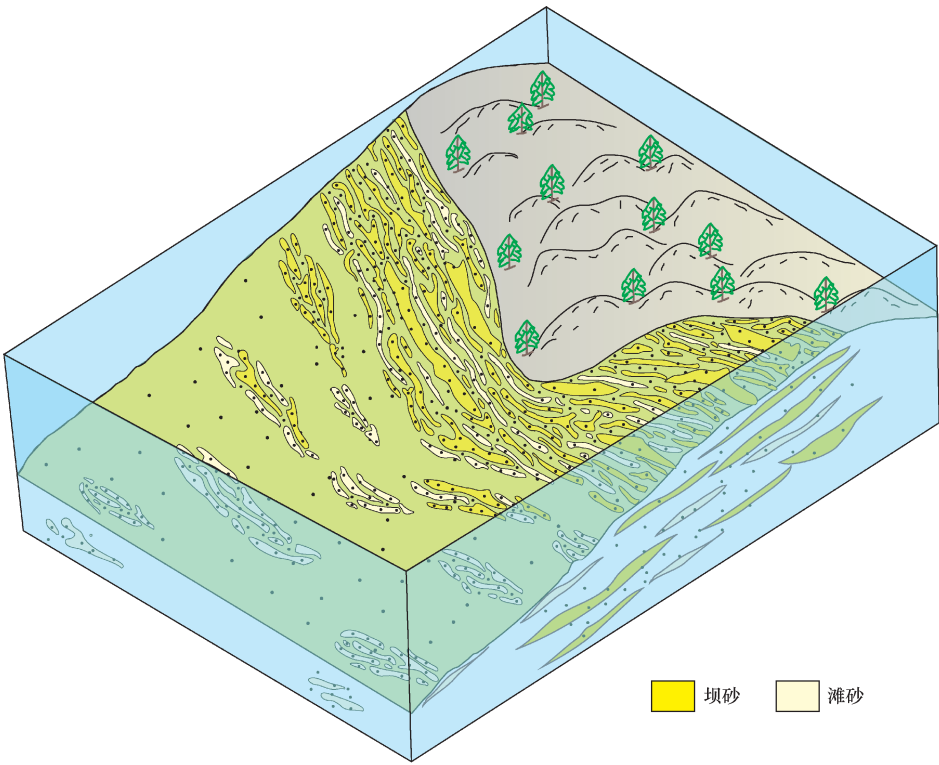


图 8 张家垛油田阜三段Ⅲ砂组浅湖滩坝沉积模式

Fig. 8 Sedimentary models of shallow lacustrine beach-bar of the sand unit III in the third member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield

分,砂质层较少但沉积厚度大,一般在 2~5 m 左右,沉积物的结构成熟度和成分成熟度最高。通常是由灰色、灰白色平行层理型细砂岩和沙纹层理+生物钻孔粉-细砂岩组成,泥质含量较低,发育有平行层理和沙纹层理,坝底生物扰动明显,呈反韵律或复合韵律特征。坝砂向水体变深方向逐渐变得不发育,取而代之的是滩砂。

4.2 滩砂

滩砂以砂泥岩的频繁互层和强烈的生物扰动为特

征,系湖浪、湖流作用于较平坦的地形上所形成的一种平行于湖岸的席状沉积体^[13],相比于坝砂沉积微相,砂质层多而厚度薄,分布范围较广。沉积物粒度较细,砂体一般是由灰色、浅灰色粉砂岩、泥质条带粉砂岩以及粉砂质泥岩等组成。结构成熟度和成分成熟度较高,发育水平层理、浪成砂纹层理,可见泥质纹层和生物扰动现象,含植物炭屑,呈反韵律或不明显的韵律特征。滩砂可以发育在坝砂边缘、坝砂与坝砂砂之间,以及坝砂向深水的延伸方向。

5 结论

1) 张家垛油田阜三段Ⅲ砂组主要发育4种岩相和4种测井相,结合其他相标志及区域地质特征,认为Ⅲ砂组主要发育浅湖沉积亚相,储层主要发育在坝砂中,其次是滩砂。坝砂具有粒度偏粗、泥质含量低、砂岩厚度相对较大的特征,是水平井开发的首选层系。

2) 沉积微相平面展布表明,滩坝砂分布范围广,向南越过曲塘地区,意味着研究区深凹区域砂体仍发育,具有满凹含砂的特征。

3) 建立了阜三段Ⅲ砂组的沉积模式,认为张家垛断层以北为水下隆起,不提供物源,但水下隆起植物发育,藻类繁盛,浅的湖平面和平缓的湖底形态利于浅湖浅滩的发育。

参 考 文 献

- [1] 焦里力. 苏北盆地张家垛油田阜三段油气富集规律[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 166-173.
Jiao Lili. Hydrocarbon enrichment patterns of the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield, Subei Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 166-173.
- [2] 魏祥峰, 张廷山, 梁兴, 等. 海安凹陷曲塘、海北次凹戴南组-三垛组一段沉积特征及演化[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 265-276.
Wei Xiangfeng, Zhang Tingshan, Liang Xing, et al. Sedimentary characteristics and evolution of the 1st member of Dainan Formation and the 1st member of Sanduo Formation in Qutang and Haibei Sub-sags, Hai'an Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 265-276.
- [3] 徐辉, 田荣斌, 李珊, 等. 张家垛阜三段储层敏感性和油水相渗特征[J]. 油气藏评价与开发, 2011, 1(6): 48-51.
Xu Hui, Tian Rongbin, Li Shan, et al. Reservoir sensitivity and oil-water relative permeability of the third member of Funing formation in Zhangjiaduo[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2011, 1(6): 48-51.
- [4] 鲁雪松, 马淑芳, 杨贵丽. 苏北盆地金湖凹陷三垛组剥蚀厚度恢复及意义[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(4): 13-17.
Lu Xuesong, Ma Shufang, Yang Guili. Erosion thickness reconstruction of Sanduo Formation and its significance in Jinhu Sag, Subei Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2009, 31(4): 13-17.
- [5] 黄方方, 丁晓琪, 万友利, 等. 张家垛油田阜三段储层成岩作用[J]. 断块油气田, 2013, 03, 20(2): 150-153.
Huang Fangfang, Ding Xiaoqi, Wan Youli, et al. Diagenesis of Fu 3 Member reservoir in Zhangjiaduo Oilfield[J]. 2013, 03, 20(2): 150-153.
- [6] 刘迪, 丁晓琪, 韩玫梅. 异常高压对张家垛油田阜三段成岩作用的控制[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2013, 35(3): 39-46.
Liu Di, Ding Xiaoqi, Han Meimei. Govern of abnormal pressure on reservoir diagenesis[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2013, 35(3): 39-46.
- [7] Miall A D. Principle of sedimentary basin analysis[M]. New York: Springer, 1998: 141-233.
- [8] Miall A D. Reservoir heterogenesis in fluvial sandstones: lesson from outcrop studies[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(6): 682-697.
- [9] 吴小红, 吕修祥, 周心怀, 等. BZ34 油区明下段浅水三角洲沉积特征及其油气勘探意义[J]. 大庆石油学院学报, 2009, 33(5): 32-40.
Wu Xiaohong, Lv Xiuxiang, Zhou Xinhui, et al. Discovery of the shallow delta sediment in Minghuazhen formation in BZ34 oil fields and its significance in oil and gas exploitation[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2009, 33(5): 32-40.
- [10] 吴崇筠. 中国中-新生代湖相沉积[C]//冯增昭, 王英华, 刘焕杰, 等. 中国沉积学. 北京: 地质出版社, 1994.
Wu Chongjun. Lacustrine sediment in Mesozoic-Cenozoic, China[C]//Feng Zengzhao, Wang Yinghua, Liu Huanjie, et al. Chinese Sedimentology. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- [11] 刘伟, 吕优良, 徐徽, 等. 东营凹陷南斜坡东段沙四上亚段沉积相与砂体展布研究[J]. 江汉石油学报, 2004, 26(2): 23-25.
Liu Wei, Lv Youliang, Xu Hui, et al. Sedimentary microfacies and sandbody distribution in the Upper Members of Es₄ in the South Slope of Dongpu Depression[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2004, 26(2): 23-25.
- [12] 李国斌, 姜在兴, 陈诗望, 等. 利津洼陷沙四上亚段滩坝沉积特征及控制因素分析[J]. 中国地质, 2008, 35(5): 911-921.
Li Guobin, Jiang Zaixing, Chen Shiwang, et al. Sedimentary characteristics and controlling factors of beach bars in the Upper Submember of the Fourth Member of the Shahejie Formation in the Lijin subasin[J]. Geology in China, 2008, 35(5): 911-921.
- [13] 田继军, 姜在兴. 惠民凹陷与东营凹陷沙四上亚段滩坝沉积特征对比与分析[J]. 吉林大学学报, 2012, 42(3): 612-623.
Tian Jijun, Jiang Zaixing. Comparison and analysis of beach bars sedimentary characteristics of Upper Es₄ in Huimin and Dongying Depression[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(3): 612-623.
- [14] 冯迅雷, 马立祥, 邓宏文, 等. 大王北洼陷浅水漫湖砂质滩坝沉积微相特征[J]. 地质科技情报, 2009, 28(1): 9-14.
Feng Xinglei, Ma Lixiang, Deng Hongwen, et al. Microfacies characters of sandy beach and bar in shallow water over-lake, with an example from the Dawangbei Sag[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(1): 9-14.
- [15] 远光辉, 操应长, 王艳忠. 东营凹陷民丰地区沙河街组四段-三段中亚段沉积相与沉积演化特征[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 277-286.
Yuan Guanghui, Cao Yingchang, Wang Yanzhong. Sedimentary facies and their evolution of the 4th-middle 3rd members of Shahejie Formation in Minfeng area, Dongying Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 277-286.
- [16] 郝雪峰. 东营凹陷沙三-沙四段砂岩储层超压成因与演化[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 167-173.
Hao Xuefeng. Overpressure genesis and evolution of sandstone reservoirs in the 3rd and 4th members of Shahejie Formation, the Dongying Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 167-173.

(编辑 高岩)