

基于构型单元的储层质量分布模式 ——以胜坨油田二区沙二段8砂组厚层河口坝砂体为例

张友^{1,2,3}, 侯加根³, 曹彦清⁴, 郑兴平^{1,2}, 邵冠铭^{1,2}, 贾俊山⁵, 白晓佳⁶, 段冬平⁷

[1. 中国石油 杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 中国石油 碳酸盐岩储层重点实验室, 浙江 杭州 310023;

3. 中国石油大学(北京) 地球科学学院, 北京 102249; 4. 中国石油 大庆油田分公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712;

5. 中国石化 胜利油田分公司 地质研究院, 山东 东营 257000; 6. 中国石油 塔里木油田 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000;

7. 中海石油(中国)有限公司, 上海 200030]

摘要:以取心井岩心、薄片、扫描电镜、测井资料及生产动态分析为基础,采用“垂向细分”、“侧向划界”以及“平面组合”的思路,针对胜坨油田二区厚层河口坝砂体,按复合河口坝、单一河口坝及单一河口坝内部增生体3个层次进行构型单元的逐级解剖,在此基础上探讨了基于构型单元的储层质量分布模式。研究结果表明,不同构型单元内部储层参数分布规律分异性较强。Ⅰ类和Ⅱ类储层主要分布于河口坝主体,Ⅲ类储层多分布在河口坝侧翼以及河口坝内部夹层的遮挡区,Ⅳ类储层则集中分布于席状砂。此外,结合生产动态数据等探讨了注水开发过程中不同构型单元内储层参数的动态变化特征。其中,储层孔隙度随注水开发的进行总体趋势是增大的,但变化幅度不大。坝主体孔隙度增幅最大,坝侧缘次之,席状砂基本不变。储层渗透率的趋势既有增大、又有减小。随注入水的不断冲洗,坝主体等高-特高渗储层有效渗透率升高,坝侧缘、水下分利河道等中-低渗储层渗透率降低,席状砂等低渗储层基本不变。储层孔隙度增加幅度较渗透率小得多。从低含水到特高含水阶段,不同构型单元的粒度中值都有所增大,泥质含量均降低。

关键词:河口坝;储层构型;沙河街组;胜坨油田二区

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Distribution patterns of reservoir quality based on configuration unit of mouth bar sandbody: A case study from the 8th sand group of the 2nd member of the Shahejie Formation in Shenger Block of Shengtuo oilfield, East China

Zhang You^{1,2,3}, Hou Jiagen³, Cao Yanqin⁴, Zheng Xingping^{1,2}, Shao Guanmin^{1,2}, Jia Junshan⁵, Bai Xiaojia⁶, Duan Dongping⁷

[1. PetroChina Hangzhou Research Institute of Petroleum Geology, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 2. CNPC Key Laboratory of Carbonate Reservoirs, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 3. College of Geoscience, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;

4. Exploration and Development Institute of Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163712; 5. Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257000, China; 6. Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 84100, China; 7. CNOOC-China Limited, Shanghai 200030, China]

Abstract: Based on core, thin section, SEM, well logging data and performance analysis and guided by reservoir configuration theory, configuration analysis of thick mouth bar sandstone in the second block in Shengtuo oilfield was carried out at three levels including composite mouth bar, single mouth bar and internal accretion within single mouth bar. On this basis, reservoir quality distribution patterns of different configuration units were analyzed. Result indicates that reservoir parameters of different configuration units are significantly different. Class I and II reservoirs mainly occur in the major parts of mouth bars. Class III reservoir is generally distributed on flanks of mouth bar and under interlayers in the interior of mouth bars, while Class IV reservoirs mainly occur in sheet sands. In addition, dynamic characteristics of reservoir parameters in different configuration unit during waterflooding were discussed by using performance data. The reservoir porosity increased during waterflooding as a whole, but changed slightly. The largest increase appeared in the center of mouth bar, followed by bar flank, and nearly no changes occurred in sand sheet. In contrast, reservoir permeability showed different trends in different configuration units. Some units increased while others decreased. With constant flushing of injected water, effective permeability increased in high or ultra-high permeability reservoirs such as mouth bar center,

收稿日期:2014-12-29;修订日期:2015-02-13。

第一作者简介:张友(1985—),男,硕士、工程师,储层地质学与油气成藏。E-mail: zhangyou_hz@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05004-002);中国石油天然气股份有限公司重大科技专项(2014E-32)。

decreased in middle or low permeability reservoirs like bar flanks and underwater distributary channels and remained unchanged in low-permeability sheet sand. The amplitude of porosity increase was much smaller than that of permeability. Median grain size of different configuration units all increased to some extent at both low and high water-cut stages, while clay content decreased.

Key words: mouth bar, reservoir configuration, Shahejie Formation, Shengtuo oilfield

目前,地下储层构型主要应用于曲流河及辫状河方面。针对三角洲的露头和现代沉积研究虽然很多,但三角洲沉积作用过程复杂,不同地区的沉积模式差异较大。现有构型模式不全面,主要是井中地下储层构型解剖,地下井间构型预测方法有待完善。前人相继对胜坨油田二区各个砂组开展了精细油藏描述,诸如将储层细分到单层,并进行各单层沉积微相研究和微构造分析,对不同含水期分别建立了测井解释模型;微构造及沉积微相对剩余油的控制及剩余油挖潜工艺技术等方面的研究有力地推动了中高含水期剩余油的挖潜研究不断深入^[1-7]。

我国东部绝大多数油田广泛分布在陆相断陷湖盆内,经过长期注水开发,多数油田都进入了特高含水阶段,地下剩余油的分布更加零散,稳产难度大,仅仅依据宏观分析,难以弄清地下复杂的剩余油形成机理及分布规律。实践证明,不同级次的储层构型单元及储

层质量差异对剩余油分布具有很大的控制作用^[8-11]。因此,深入开展地下储层构型表征及基于构型单元的储层质量分布模式研究已经迫在眉睫^[12-15],更是当前储层研究中的热点和难点。笔者试图在砂体构型单元精细解剖的基础上,充分利用不同开发时期的岩心分析化验资料,结合测井资料综合分析,得到不同注水开发阶段不同构型单元储层参数变化规律,以期为老油田的稳油控水,进一步提高采收率提供可靠的地质依据。

1 地质概况

胜坨油田二区位于济阳坳陷东营凹陷北部,西南与利津生油洼陷相邻,构造上处于坨庄胜利村永安镇的二级构造带中段,是一个被断层复杂化的逆牵引背斜构造油气藏^[1-3](图 1)。

胜坨油田含油层系较多,从下至上为古近系沙四

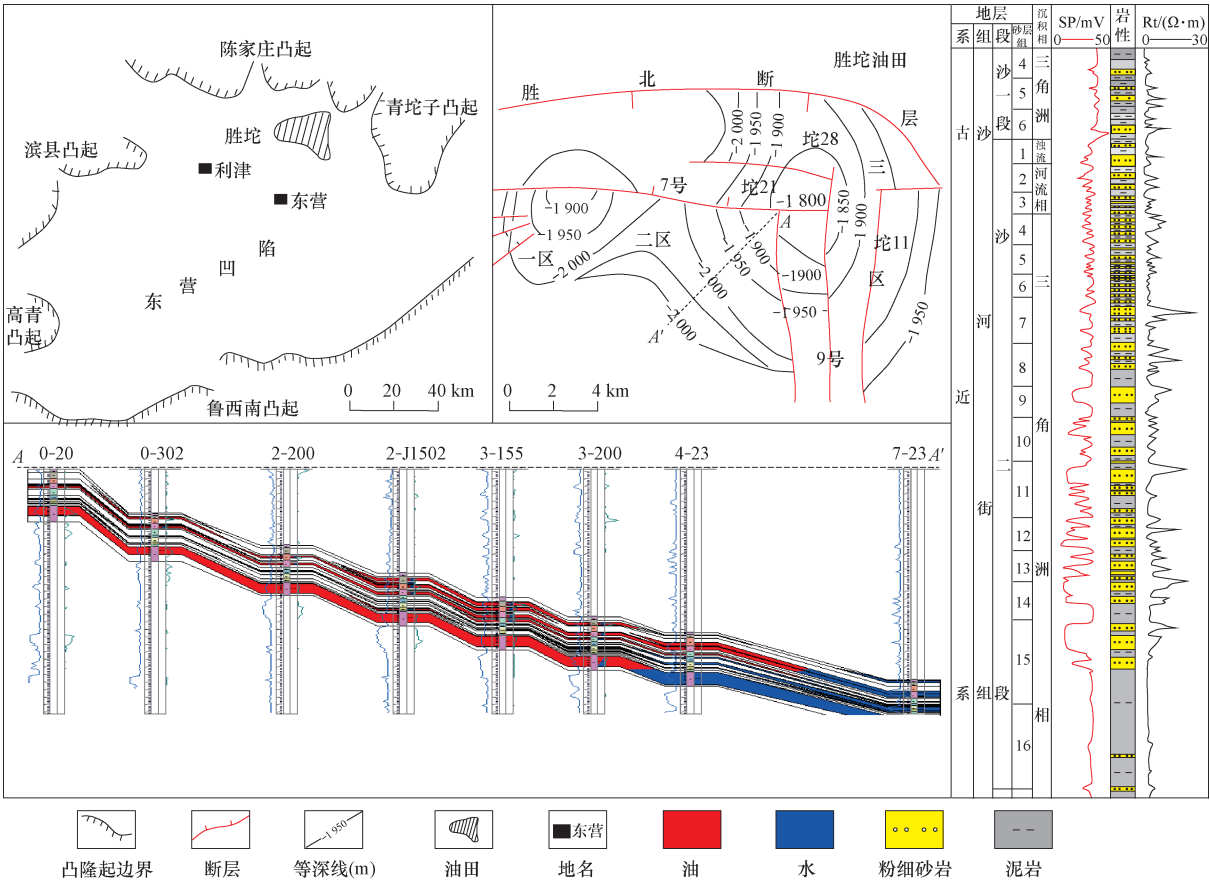


图 1 胜坨油田二区构造位置
Fig. 1 Structural location of Shenger Block of Shengtuo oilfield

段(沙河街组四段)、沙三段、沙二段、沙一段、东营组和新近系的馆陶组、明化镇组。其中,沙二段由15个砂层组组成,为一套完整的河流-三角洲沉积。其中沙二段7—8砂组是主要含油层系,占胜坨油田总探明储量的78.1%。研究层段为沙二段8砂组,发育一套中孔高渗的三角洲前缘砂岩储层,油藏埋深1 830~2 500 m。胜二区面积约23 km²,区内钻遇8砂组741口井,平均井距为125 m左右。经过50余年的开采,已进入特高含水阶段,剩余油分布零散,油田面临稳产难题,亟需加强以储层构型为代表的特高含水期三角洲储层内部结构研究。

2 储层构型

研究区可识别出的微相类型有三角洲前缘河口坝、水下分流河道、席状砂、远砂坝和支流间湾,其中河口坝占到总沉积体的90%。针对三角洲储层厚层砂体连片,单个河口坝砂体难以区分的特点,依据河口坝的沉积特征、砂体厚度及分布位置等,将其进一步划分为坝主体和坝侧缘等。研究中笔者分3个层次重点逐级解剖复合河口坝、单一河口坝及单一河口坝内部增生体构型单元。

复合河口坝构型单元顶底界面为5级界面,这一层次的构型单元主要被厚层泥岩分隔,因此分布稳定的前三角洲泥岩成为主要的渗流屏障;单一河口坝构型单元的分界面为4级界面,界面夹层以泥岩和钙质

砂岩为主,位于河口坝底部和顶部;河口坝内增生体构型单元限定的分界面为3级界面,界面间夹层厚度很小、向前积方向延伸、保存不完整(图2)。

2.1 复合河口坝砂体叠置样式

复合河口坝体由多期单一河口坝垂向叠加与侧向叠合形成,为多段反韵律组成的复合反韵律。厚层复合河口坝砂体自然电位曲线表现为块状或复合箱形,而自然伽马与微电极曲线则反映出内部含有多个泥质与钙质夹层,将砂体分成几个旋回,每个旋回基本上都是一个单独的反韵律。由精细地层对比结果可知,每个韵律层为一个单一河口坝沉积体(4级),垂向地层单元的细分确保韵律层复合微相平面分布刻画精度(图3)。因此,侧向拼叠河口坝的有效识别是划分单一坝的关键。

2.2 单一河口坝划分

检查井的岩心资料显示,垂向上叠加的若干个单一河口坝沉积时的水动力条件不同,形成的河口坝规模、韵律性及砂体的渗透率均有差别,砂体叠加的结果,使小层的非均质性增强。从典型取心井划分结果来看(图4):2J1502井取心井段8¹—8³小层发育有两期复合河口坝,两期复合河口坝之间为前三角洲泥或支流间湾沉积。顶部8¹小层复合河口坝体可由两期单一河口坝垂向叠加而形成,两期河口坝的能量逐渐增强,单一河口坝具有典型的反韵律特征,砂体的渗透

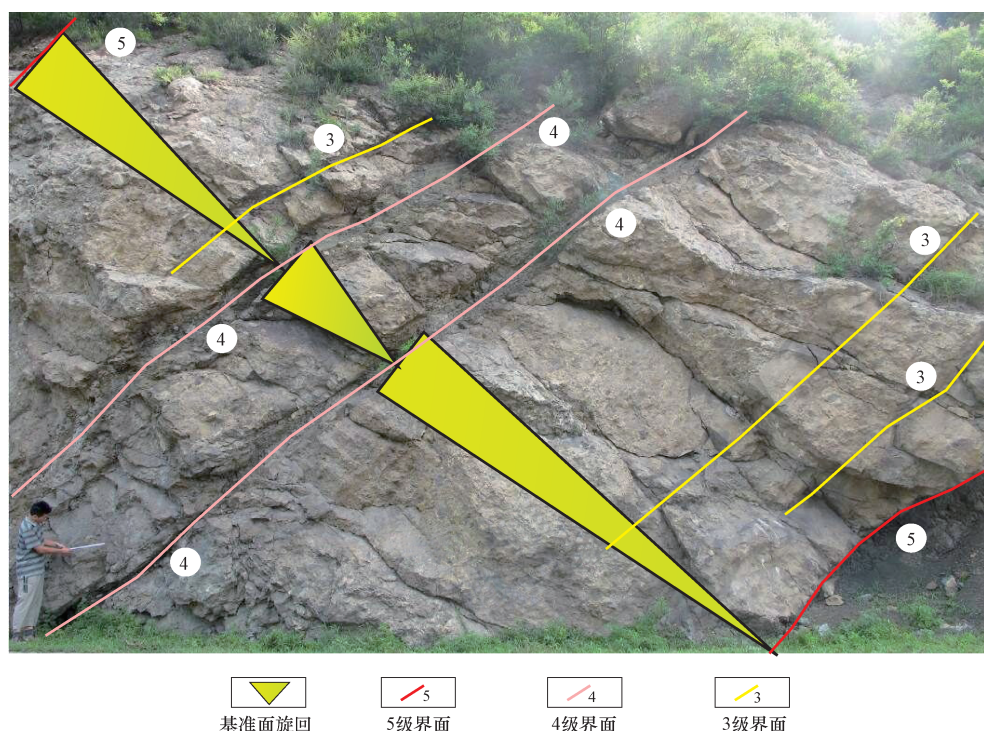


图2 滦平断陷湖盆中侏罗统西瓜园组三角洲前缘沉积断面

Fig. 2 Sedimentary section of delta front of the Middle Jurassic Xiguanyuan Formation in Luanping fault-depressed lacustrine basin

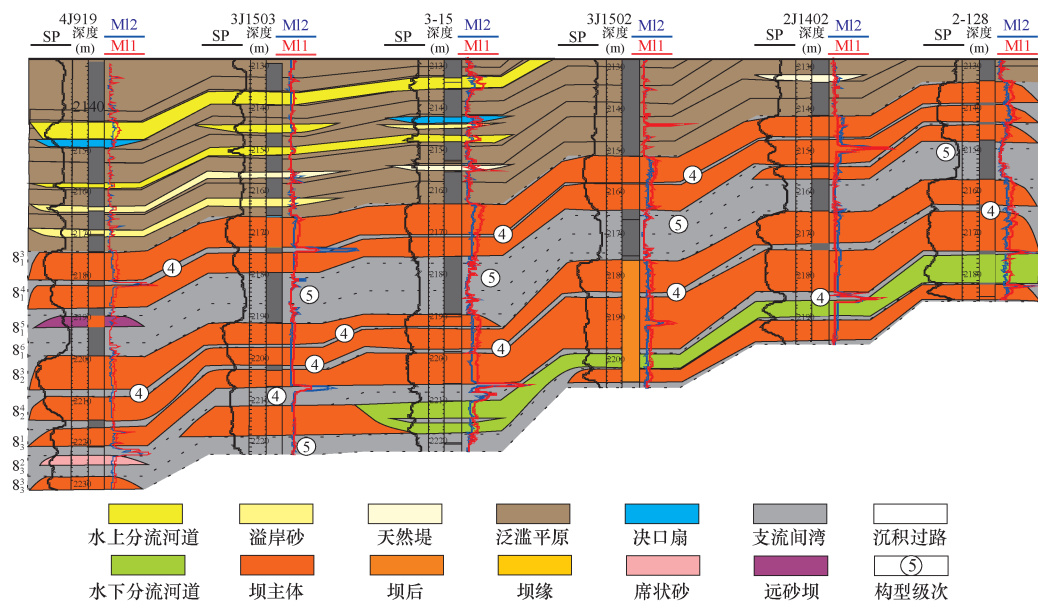


图 3 平行古水流方向的沉积微相剖面

Fig. 3 Sedimentary microfacies section along the paleocurrent

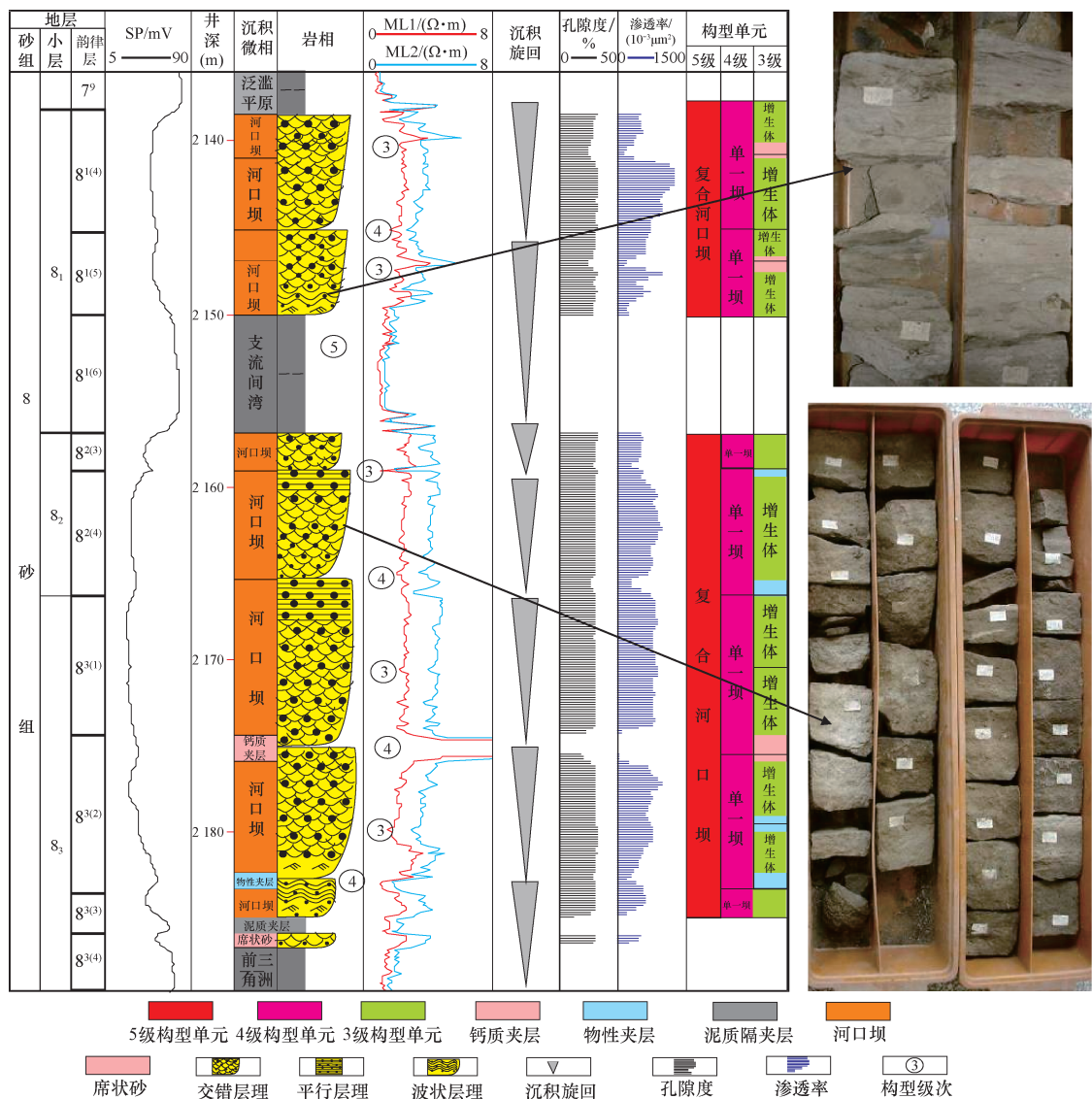


图 4 胜坨油田二区沙二段 2J1502 井 8 砂组构型单元识别与划分

Fig. 4 Configuration unit identification and division of 8th sand group of the Es² in Well 2J1502 in Shenger Block of Shengtuo oilfield

率和粒度等均表现为反韵律,上部物性好,渗透率高,向下泥质含量增加,粒度变细,渗透率逐渐降低;河口坝的叠加总体上仍显示为反韵律。底部 8^{2+3} 小层有 5 个单一坝组成,河口坝之间有短暂沉积间歇期沉积的泥质粉砂岩相隔,垂向上叠加的河口坝砂体形成于不同地质时期。

在复合河口坝划分的基础上进行单一河口坝的侧向划界,主要识别标志有:①不同期次河口坝顶部砂体相对高程及地层厚度差异;②不同河口坝曲线形态特征差异;③不同河口坝之间出现坝缘等细粒沉积;④物源方向识别出的水分支流河道也可作为划分单一河口坝的有效标志;⑤对于动态资料比较丰富的井区,可根据注采关系辅助判断划分单一河口坝。

利用研究区加密井网资料,在单井识别和侧向划界的基础上,对 25 个河口坝砂体,由 462 个井点控制,统计平均长度为 2 414 m,平均宽度为 1 132 m,平均厚度为 4.71 m,平均长宽比为 2.13,平均宽厚比为 240,平均长厚比为 510。河口坝长度/宽度定量关系为 $y = 2\,220.2\ln(x) - 13\,133$, $R^2 = 0.854\,1$ 。对单砂体进行平面组合的主要约束条件是水流方向(即微相组合关系和物源方向)、砂体厚度和砂体分布模式。结合动态资料验证单一坝平面划分结果,验证其合理性,最终实现河口坝复合体中单一坝(4 级)平面上的拟合。

2.3 单一河口坝内部解剖

2.3.1 河口坝内部砂体充填模式及控制因素

已有研究表明,河口坝的成因及分布除了受沉积盆地沉降速率和沉积速率的均衡制约之外,构造运动、

古地形、沉积物供给、气候和季节性变化、湖平面升降以及沉积基准面变化也是重要的影响因素,但主控因素为构造运动、水动力条件和古地形^[16-17]。厚层坝体由一系列单坝砂体纵向叠加、侧向迁移形成,各单元外形表现为椭球形或哑铃形,其顶底界面以薄层泥岩或钙质泥岩为隔层构成薄皮结构、三层模式,各单元侧缘呈相互不连通、半连通或连通等多种接触方式,纵向叠加形成厚层坝体(图 5)。

2.3.2 单一河口坝砂体内夹层分布模式

鄂尔多斯神木县考考乌素沟延安组湖泊三角洲前缘砂体构成及不均一性研究表明,河口坝可以进一步划分为近端(PMB)和远端(DMB)^[18-20]。根据其水动力条件、沉积位置以及砂体充填方式差异,可将研究区河口坝类型进一步划分为限制性河口坝和非限制性河口坝。

限制性单一河口坝内部夹层以泥质夹层为主,局部物性夹层近水平状展布,将河口坝分为多期增生体。在河口坝进积方向的前端,泥质夹层较为发育,夹层倾角一般小于 1.5° ;在垂直于砂体推进方向主要发育泥质夹层,且横向较为稳定;顺物源方向加积坝上沟道,厚度薄,宽度小,分布不稳定(图 6a)。

非限制性单一河口坝内部夹层以钙质和物性夹层为主,分布于各成因体中上部(3 级),将河口坝分为多期增生体。河口坝增生体间的夹层对应 3 级,主要是钙质夹层,分布在河口坝的中上部厚度很小,向前积方向延伸,保存不完整,不连续分布(图 6b)。

从陆向湖盆方向,由限制性单一河口坝向非限制

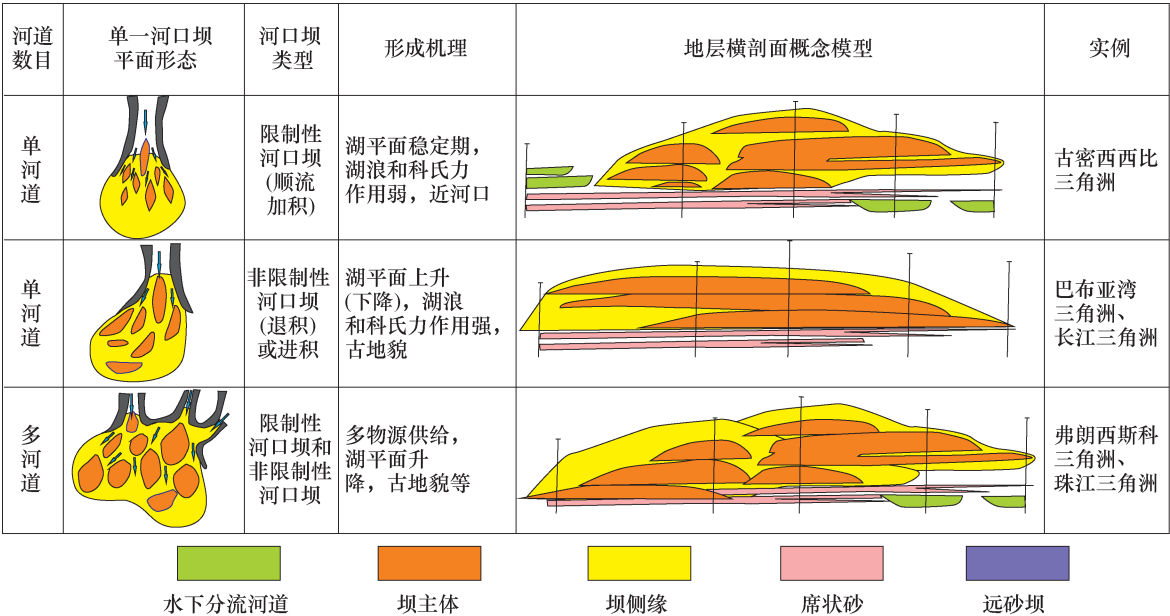


图 5 河口坝内部砂体充填模式及控制因素

Fig. 5 Filling patterns of mouth bar sands and their controlling factors

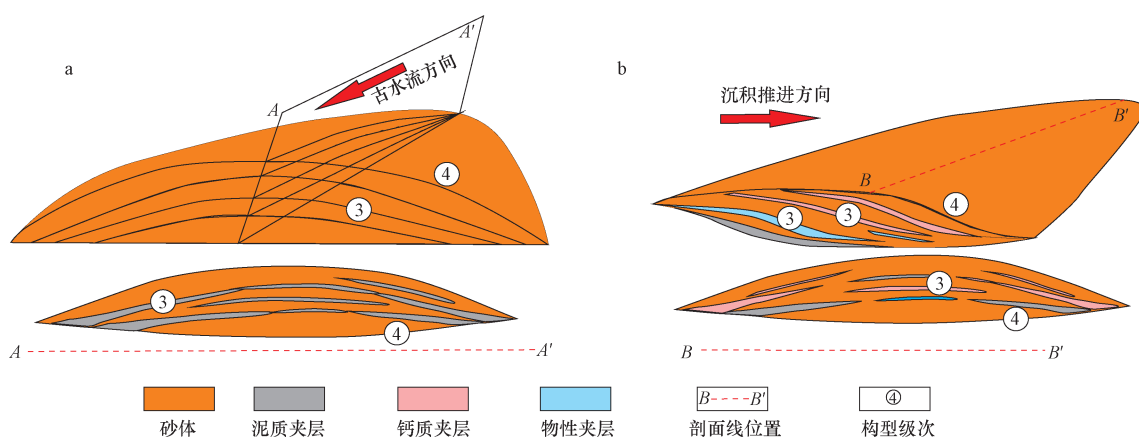


图6 胜坨油田二区三角洲前缘两种单一河口坝砂体内夹层分布模式

Fig. 6 Interbeds distribution model of two types of single mouth bar sands in delta front in Shenguo oilfield

a. 限制性单一河口坝概念模型; b. 非限制性单一河口坝概念模型

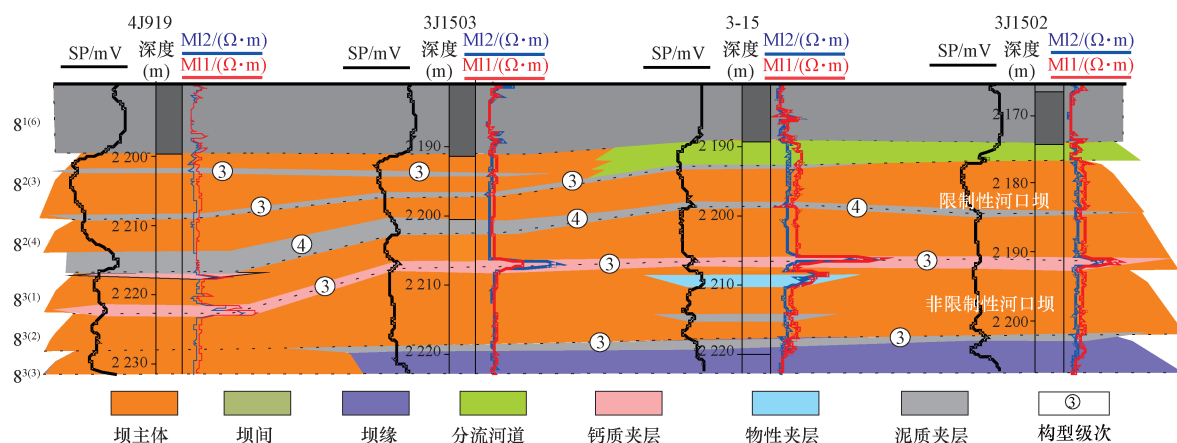


图7 平行水流方向剖面河口坝内3级界面井间预测

Fig. 7 Inter-well prediction of 3rd order boundaries in mouth bar along the paleocurrent direction

性河口坝过渡,并呈现出钙质砂岩—物性夹层—泥灰岩的隔夹层演化规律。

2.3.3 单一河口坝内3级界面井间预测

在上述(非)限制性单一河口坝砂体内夹层分布模式指导下,对研究区取心井4J919井区8²和8³小层所在的河口坝进行内部解剖,在垂直水流方向及平行水流方向对单一河口坝内部界面在井间进行对比预测。

该井区发育二期河口坝,顶部一期为限制性河口坝,可进一步细分为3期增生体。在平行古水流方向加积特征明显,限制性河口坝进积方向的前端,泥质夹层较为发育,连续性较好,夹层倾角一般小于1.5°。底部一期为非限制性河口坝,可进一步细分为3期增生体,该期非限制性河口坝夹层类型以钙质夹层、物性夹层为主,可以起局部封隔作用。垂向上两期河口坝分界面处为泥质夹层(4级),厚度大、连续性稳定,钙质夹层或物性夹层多发育在成因体分界面上或分布于各成因体中上部(3级),稳定性时好时坏。坝缘或坝间的夹

层以泥质夹层为主,厚度较大且相对较稳定(图7)。

3 基于构型单元的储层质量分布模式

基于储层构型单元的储层质量研究是深化表征储层内部非均质性,是储层构型解剖的深入,并受控于储层构型界面。在单一河口坝构型单元划分的基础上,首先分析了不同构型单元内储层质量参数差异分布规律,并以不同开发时期取心井资料及小井距非取心井测井资料为基础,阐明注水开发过程中不同构型单元内储层参数变化特征。

3.1 不同构型单元的储层质量分布规律

单一砂体级次储层参数研究是表征不同单一砂体平面上的渗流差异,储层参数分布受控于单一砂体构型单元的界面。

研究以单期河口坝为基本单元,首先是在单井上划分渗流屏障和储层质量,其次在河口坝内部构型界面约束下,进行井间的预测,从而得到连井剖面储层参

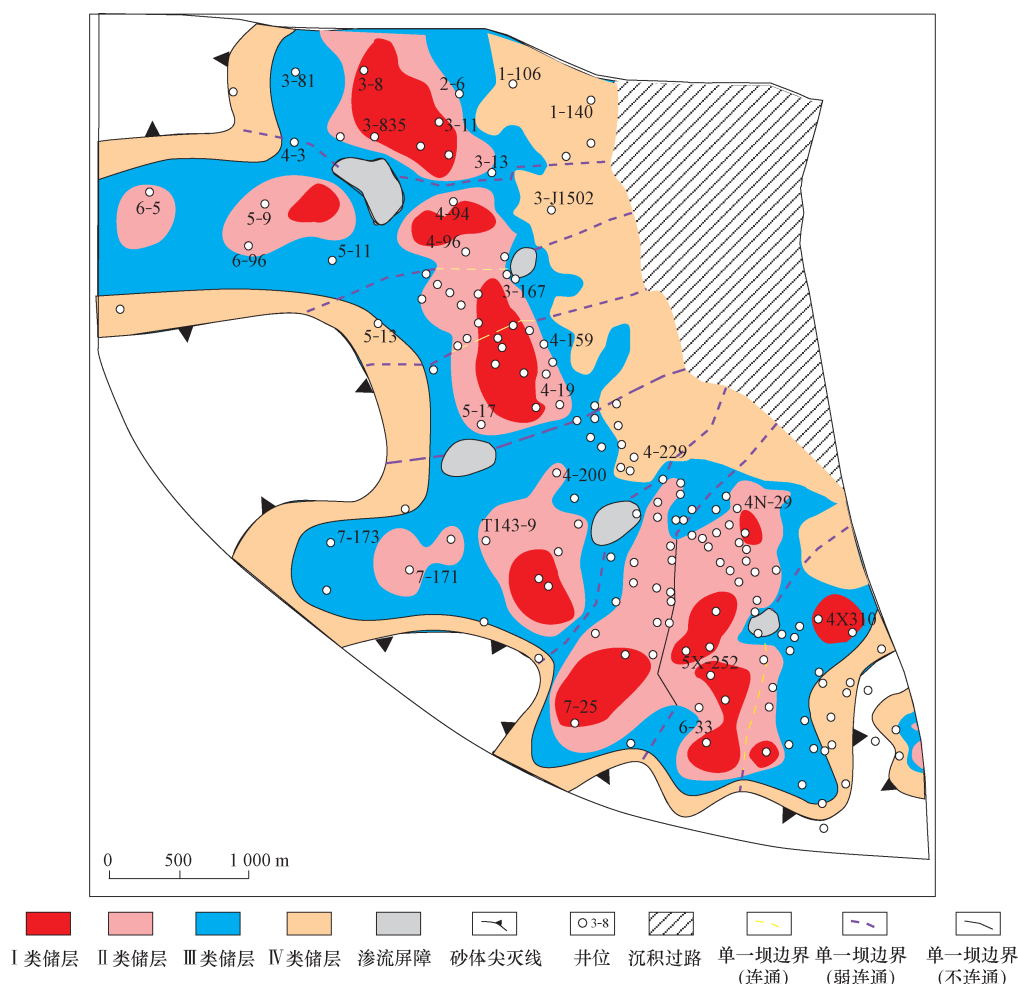


图8 胜坨油田二区 $8^{2(3)}$ 韵律层单一成因砂体级次储层质量

Fig. 8 Reservoir quality map of single genesis sandbody of the $8^{2(3)}$ in Shenger Block of Shengtuo oilfield

数分布。在构型控制和储层参数分布模式指导下,分析单一砂体级次储层参数平面展布规律。

研究表明:①单一砂体内部层内非均质性很强。具体表现为在单井上,每个单一砂体内部每个单一韵律层的渗透率都不同;对于不同的井来说,发育的时间单元相同,但砂体类型不同,储层质量差别很大。②各单一河口坝平面非均性很强。具体表现在渗透率差异大,且分布不连续,渗流能力最好的 I 类储层连续性最差。③单一砂体分布控制着储层参数的平面展布。在单一河口坝加积内部,一般呈现底部为 III 类和 II 类储层,向上过渡为 I 类储层的反韵律,也有单一加积体为 I 类储层的现象。坝主体以发育 I 类和 II 类储层为主,III 类储层一般发育在河口坝内部夹层的遮挡区以及坝侧缘,IV 类储层发育在席状砂(图 8)。

3.2 注水开发过程不同构型单元内储层参数变化特征

3.2.1 取心井变化特征

胜坨油田二区从低含水阶段、中含水阶段、高含水阶段到特高含水阶段,都有丰富的取心井资料。将三角

洲前缘中的不同构型单元注水前后的储层物性参数进行对比发现,河口坝主体、坝侧缘、水下分流河道以及席状砂等不同构型单元储层孔隙度总体趋势是增大的,渗透率的趋势既有增大又有减小。一般而言,随注入水的不断冲洗,坝主体高渗透储层的渗透率通常增大,坝侧缘等中低渗透降低,席状砂基本不变。储层孔隙度增加幅度较渗透率小得多。从低含水到特高含水阶段不同构型单元的粒度中值都有所增大,泥质含量均降低。

储层孔隙度随注水开发的进行,一方面,总体变化趋势是增大的,增加的幅度较小。另一方面,三角洲前缘中不同构型单元的储层参数变化幅度不同。河口坝主体砂体孔隙度增大了 1.8%,坝侧缘增大了 1.5%,水下分流河道增大了 1.2%,席状砂增大了 0.8%,即孔隙度增大幅度坝主体 > 坝侧缘 > 水下分流河道 > 席状砂(图 9)。

通过不同含水阶段取心井岩石薄片分析认为:研究区河口坝储层埋藏浅、原始孔隙喉道较大、粘土矿物不稳定组分较多;随着含水的上升,颗粒骨架的接触关系发生改变,微粒和填隙物发生溶解和迁移,导致粒度变粗,孔隙喉道变大,物性变好^[6](图 10)。

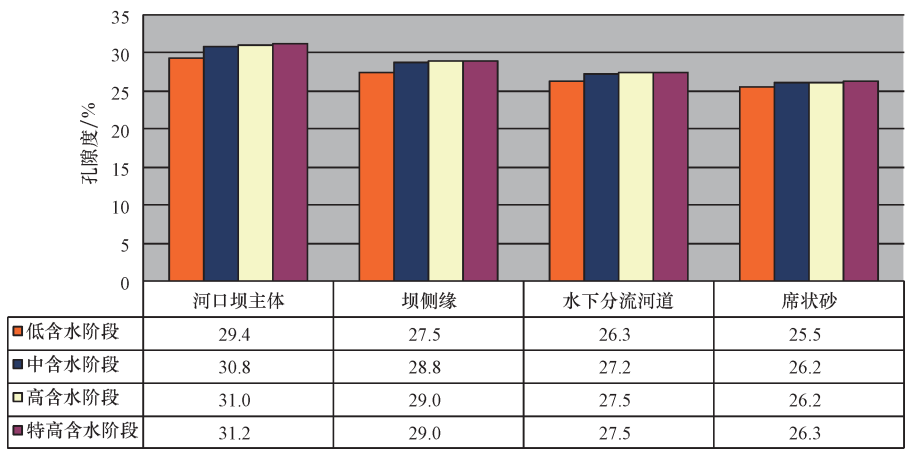


图 9 胜坨油田二区沙二段 8³ 小层三角洲前缘不同构型单元注水前、后孔隙度变化

Fig. 9 Porosity changes of different configuration units in delta front of 8³ of Es² before and after water injection in Shenger Block of Shengtuo oilfield

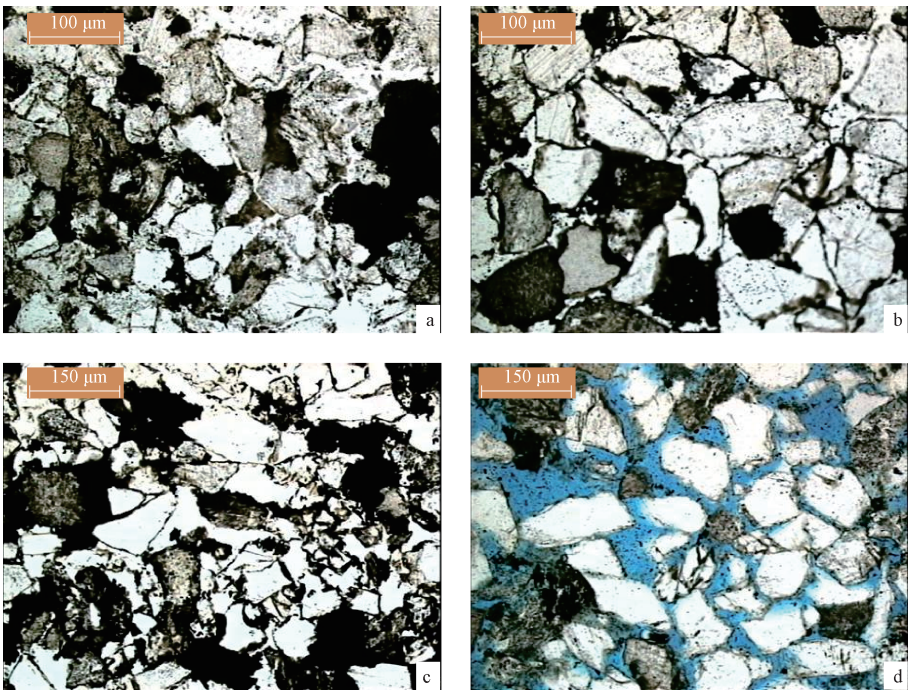


图 10 胜坨油田二区沙二段不同含水阶段 8³ 小层取心井薄片对比

Fig. 10 Comparison of thin sections of the 8³ at different water cut stages in Shenger Block of Shengtuo oilfield

a. 初含水阶段,点线接触,2-G18井,埋深2 182.1 m;b. 中含水阶段,点线接触为主,部分分离,2-178井,埋深2 152.5 m;c. 高含水阶段,点线接触,大部分分离,1-J1662井,埋深2 147.8 m;d. 特高含水阶段,颗粒游离,呈漂浮状,1-J1803井,埋深2 170.5 m,铸体薄片

河口坝主体渗透率增大了 $310 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 坝侧缘以及水下分流河道等中渗储层降低了 $(60 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 席状砂基本不变(图 11)。说明渗透率的变化受多种因素控制,变化规律比较复杂。

通过井下薄片以及扫描电镜分析认为,地层微粒在储层中的变化及孔壁周边形态的变化是导致不同构型单元渗透率差异变化的主要因素。随着含水的上升,水洗强度增加,注水冲刷使地层微粒被冲散、迁移,部分随水驱采油被带出,使孔喉增大;另一部分迁移至细窄喉道处堵塞喉道,使孔喉减小^[6,21-24](图 12a,b)。

此外,随着开发阶段的推进,氧离子与储层中的基质和胶结物发生作用,导致基质和胶结物被溶蚀,使粘土的总含量减少。氧离子还可进一步溶蚀储层中的骨架矿物,使得长石、颗粒等溶蚀次生溶孔、次生微孔的形成使孔壁变形,孔喉增大(图 12c,d)。

随着含水率的上升,各个构型单元的粒度中值随着含水率的上升逐渐增大,泥质含量均降低。这是由于随着含水的上升,水洗强度增加,小颗粒被迁移,颗粒表面清洁度变好,因此,随着含水率的上升粒度中值逐渐增大,粘土矿物总量降低。

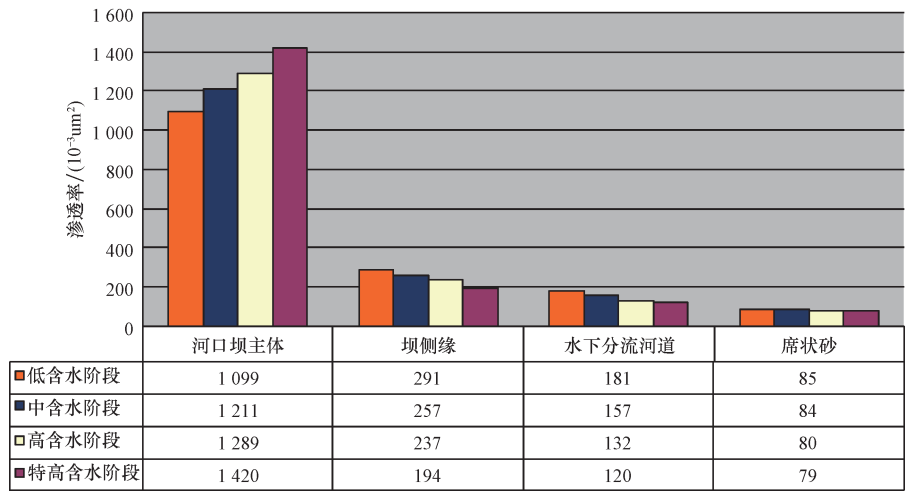


图 11 胜坨油田二区沙二段 8³ 小层三角洲前缘不同构型单元注水前、后渗透率变化
Fig. 11 Permeability changes of different configuration units in delta front of 8³ of Es² before and after water injection in Shenger Block of Shengtuo oilfield

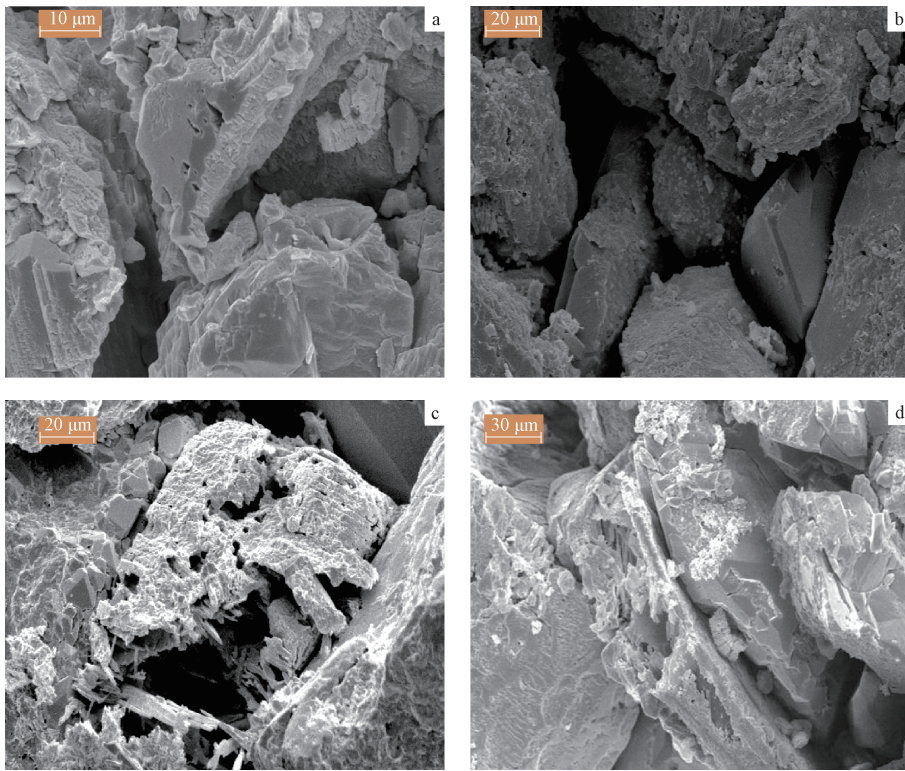


图 12 胜坨油田二区沙二段储层水驱导致地层微粒在储层中的变化(a,b)及次生成岩导致孔壁周边形态的变化(c,d)
Fig. 12 Particle changes in reservoirs caused by waterflooding(a,b) and morphological changes of pore walls caused by secondary diagenesis(c,d) in Shenger Block of Shengtuo oilfield

a. 喉道中充填长石微粒, 2-J1502 井, 埋深 2 180.0 m, 扫描电镜; b. 高岭石卡堵式沉积, 1-J1803 井, 埋深 2 162.3 m, 扫描电镜;
c. 颗粒溶蚀次生溶孔, 2-J3-14 井, 埋深 2 210.0 m, 扫描电镜; d. 长石溶蚀次生微孔, 2-J1502 井, 埋深 2 176.6 m, 扫描电镜

综上所述,从初期到特高含水阶段,不同构型单元的储层参数变化幅度不同。其中储层孔隙度逐渐增大,但变化幅度不大,孔隙度增大幅度坝主体 > 坝侧缘 > 水下分流河道 > 席状砂。注水全过程中,坝主体等高-特高渗储层,有效渗透率升高,坝侧缘和水下分流河道等中低渗储层,渗透率降低,席状砂等低渗储层基本不变。储层孔隙度随注水开发的进行,总体变化趋

势是增大的,但增加的幅度较渗透率小得多,泥质含量降低,粒度中值增大。

3.2.2 小井距非取心井变化特征

小井距非取心井变化特征分析表明,注水开发阶段不同构型单元储层参数变化特征明显。1-24 井是 1972 年完钻的采油井,8²⁺³ 小层砂体处于弱水淹到中水

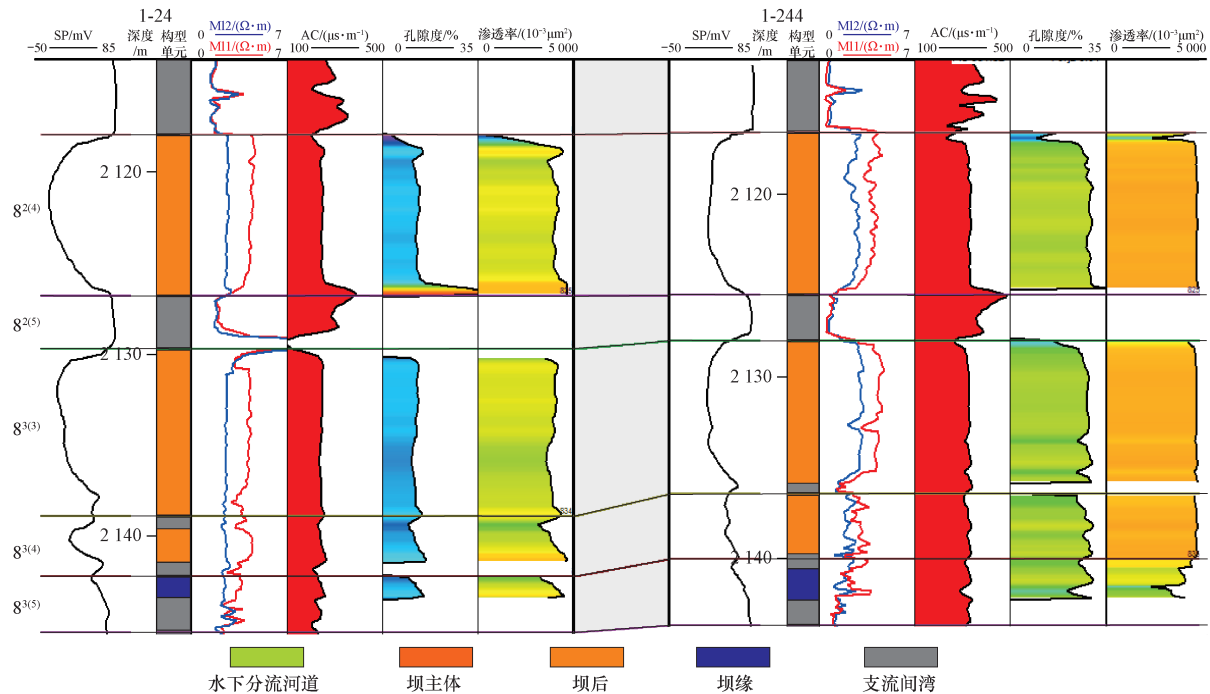


图 13 胜坨油田二区沙二段 8^{2+3} 小层小井距采油井与注水井对比 (非取心井)

Fig. 13 Correlation of production wells and water injection well with small spacing in 8^{2+3} of Es^2 in Shenger Block of Shengtuo oilfield (non-coring well)

淹阶段, 1-244 井是同年完钻的注水井, 8^{2+3} 小层砂体处于中强水淹阶段, 两口井相距 17.75 m。 $8^{2(4)}$ 、 $8^{3(3)}$ 和 $8^{3(4)}$ 韵律层均发育河口坝主体, $8^{3(5)}$ 为坝侧缘沉积。对比发现强水淹前后自然电位曲线基线明显向右偏移, 负异常幅度平均值明显减小; 声波时差曲线显著增大, 说明水洗程度越大, 孔隙度越高; 微电极幅度差减小。说明大孔道中的粘土矿物经水驱后, 易被冲散、迁移、随水流带出, 从而使孔道变得干净、畅通, 孔隙度增大^[25-26], 坝主体渗透率增大, 且渗透率非均质性减弱, 坝侧缘由于孔隙喉道较小, 随流体一起流动的泥质或其它较大的颗粒会阻塞在其中, 引起渗透率的减小 (图 13)。

4 结论

1) 在进行单一成因砂体构型识别的基础上, 建立了两种单一河口坝砂体内夹层分布模式。限制性单一河口坝内部夹层以泥质夹层为主, 局部物性夹层, 近水平状展布, 将河口坝分为多期增生体; 非限制性单一河口坝内部夹层以钙质和物性夹层为主, 分布于各成因体中上部, 将河口坝分为多期增生体。

2) I 类和 II 类储层主要分布于河口坝主体, III 类储层多分布在河口坝侧翼以及河口坝内部夹层的遮挡区, IV 类储层则集中分布于席状砂。

3) 从初期到特高含水阶段, 不同构型单元的储层参数变化幅度不同。其中储层孔隙度随注水开发的进行, 总体趋势是增大的, 坝主体孔隙度增幅最大, 坝侧

缘次之, 席状砂基本不变; 随注入水的不断冲洗, 储层渗透率的趋势既有增大、又有减小, 坝主体等高-特高渗储层, 有效渗透率升高; 坝侧缘、水下分流河道等中-低渗储层, 渗透率降低; 席状砂等低渗储层基本不变; 储层孔隙度增加幅度较渗透率小得多; 从低含水到特高含水阶段不同构型单元的粒度中值都有所增大, 泥质含量均降低。

参 考 文 献

- [1] 孙焕泉. 胜利油田三次采油技术的实践与认识[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 262-266.
Sun Huanquan. Practice and understanding on tertiary recovery in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 262-266.
- [2] 杨少春, 周建林. 胜坨油田二区高含水期三角洲储层非均质特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(1): 37-41.
Yang Shaochun, Zhou Jianlin. Heterogeneity characteristics of delta sandstone reservoir with high water-cut in the second district of Shengtuo oilfield[J]. Journal of the University of Petroleum, 2001, 25(1): 37-41.
- [3] 孙孟茹, 高树新. 胜坨油田二区沉积微相特征与剩余油分布[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27(3): 26-29.
Sun Mengru, Gao Shuxin. Sedimentary microfacies and remaining oil distribution in the second district of Shahejie Formation in the Shengtuo oilfield[J]. Journal of the University of Petroleum, 2003, 27(3): 26-29.
- [4] 杨少春, 信荃麟. 断块油藏的测井储层评价[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 85-89.
Yang Shaochun, Xin Quanlin. Log reservoir evaluation in fault block

- pools[J]. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20(1): 85–89.
- [5] 邓玉珍, 徐守余. 三角洲储层渗流参数动态模型研究—以胜坨油田二区下第三系沙二段 83 小层为例[J]. *石油学报*, 2003, 24(2): 61–64.
- Deng Yuzhen, Xu Shouyu. Dynamic model of filterate parameters in delta reservoir[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(2): 61–64.
- [6] 宋万超, 孙焕泉, 孙国, 等. 油藏开发流体动力地质作用——以胜坨油田二区为例[J]. *石油学报*, 2002, 23(3): 52–55.
- Song Wanchao, Sun Huanquan, Sun Guo, et al. Dynamical geologic process of development liquid—taking Shengtuo oilfield as an example[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(3): 52–55.
- [7] 孙焕泉, 曲岩涛, 房会春, 等. 胜利油区砂岩储集层敏感性特征研究[J]. *石油勘探与开发*, 2000, 27(5): 72–78.
- Sun Huanquan, Qu Yantao, Fang Huichun, et al. Formation sensitivity characteristics study of sandstone reservoirs in Shengli oilfield[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(5): 72–78.
- [8] Anthor J E, Okkerman J. Influence of early diagenesis on reservoir quality of Rotliegende sandstones, Northern Netherland[J]. *AAPG Bulletin*, 1998, 82(12): 2246–2265.
- [9] Ebanks, W. J. Flow unit concept-integrated approach to reservoir description for engineering projects[J]. *AAPG Bulletin*, 1987(10), 71: 251–273.
- [10] Miall, A. D. Reconstructing the architecture and sequence stratigraphy of the preserved fluvial record as a tool for reservoir development: A reality check[J]. *AAPG Bulletin*, 2006, 90(7): 989–1002.
- [11] 吴胜和. 储层表征与建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 228–234.
- Wu Shenghe. Reservoir characterization & modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 228–234.
- [12] 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 河口坝砂体构型精细解剖[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(5): 42–46.
- He Wenxiang, Wu Shenghe, Tang Yijiang, et al. Detailed architecture analyses of debouch bar in Shengtuo Oilfield, Jiyang Depression[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(5): 42–46.
- [13] 刘太勋, 徐怀民, 尚建林, 等. 准噶尔盆地冲积扇储层流动单元研究[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2006, 21(6): 24–27.
- Liu Taixun, Xu Huamin, Shang Jianlin, et al. Study on the flow units of alluvial fan reservoir in Zhungeer Basin[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition)*, 2006, 21(6): 24–27.
- [14] 曾祥平. 储集层构型研究在油田精细开发中的应用[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(4): 483–489.
- Zeng Xiangping. Application of reservoir structure research in the fine exploitation of oilfields[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(4): 483–489.
- [15] 封从军, 鲍志东, 代春明, 等. 三角洲前缘水下分流河道单砂体叠置机理及对剩余油的控制——以扶余油田 J19 区块泉头组四段为例[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(1): 128–135.
- Feng Congjun, Bao Zhidong, Dai Chunming, et al. Superimposition patterns of underwater distributary channel sands in deltaic front and its control on remaining oil distribution: A case study from K1q4 in J19 block, Fuyu oilfield[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1): 128–135.
- [16] 辛治国. 河控三角洲河口坝构型分析[J]. *地质评论*, 2008, 54(4): 528–531.
- Xin Zhiguo. Architecture analyses of debouch bar of fluvial dominated delta[J]. *Geological Review*, 2008, 54(4): 528–531.
- [17] 卫平生, 王建功, 潘树新. 河口坝、沿岸坝的形成及成藏机制[J]. *新疆石油地质*, 2004, 25(6): 592–595.
- Wei Shengping, Wang Jiangong, Pan Shuxin, et al. Formation of the mouth bar and lakeshore bar and their petroleum accumulation[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2015, 36(1): 128–135.
- [18] 李思田, 林畅松, 解习农, 等. 大型陆相盆地层序地层学研究——以鄂尔多斯中生代盆地为例[J]. *地学前缘*, 1995, 2(3–4): 133–136, 148.
- Li Sitian, Lin Changsong, Xie Xinong, et al. Approaches of nonmarine sequence stratigraphy—a case study on the Mesozoic Ordos Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3–4): 133–136, 148.
- [19] 付清平, 李思田. 湖泊三角洲平原砂体的露头构型分析[J]. *岩相古地理*, 1994, 14(5): 22–32.
- Fu Qingping, Li Sitian. Outcrop analysis of architecture of lacustrine deltaic plain sandbodies[J]. *Journal of Palaeogeography*, 1994, 14(5): 21–33.
- [20] 焦养泉, 李思田, 杨士恭. 三角洲—湖泊沉积体系及聚煤研究——以鄂尔多斯盆地神木地区延安组 II 单元为例[J]. *地球科学*, 1992, 17(2): 113–120.
- Jiao Yangquan, Li Sitian, Yang Shigong. Delta—lacustrine depositional system and coal accumulation research[J]. *Earth Science*, 1992, 17(2): 113–120.
- [21] 徐守余. 渤海湾盆地胜坨油田二区储层微观渗流场演化研究[J]. *石油实验地质*, 2003, 25(4): 381–384.
- Xu Shouyu. Study on the evolution of the microvadose field in the reservoirs of the second district of Shengtuo oilfield[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(4): 381–384.
- [22] 陈亮, 吴胜和, 刘宇红. 胡乐集油田胡十二块注水开发过程中储层动态变化研究[J]. *石油实验地质*, 1999, 21(2): 141–145.
- Chen Ling, Wu Shenghe, Liu Yuhong. Dynamic variation of reservoir in waterflooding development in NO. 12 fault block Huzhuangji oilfield[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 1999, 21(2): 141–145.
- [23] 杨少春, 王瑞. 不同开发时期砂岩油藏储层非均质三维模型特征[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(5): 652–659.
- Yang Shaochun, Wang Rui. Characteristics of heterogeneous 3–D model of sandstone reservoirs in different development stage[J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(5): 652–659.
- [24] 李存贵, 徐守余. 长期注水开发油藏的孔隙结构变化规律. *石油勘探与开发*, 2003, 30(2): 94–96.
- Li Cungi, Xu Shouyu. Law of pore structure variety in reservoir during a long episode waterflooded development[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(2): 94–96.
- [25] 赵红兵. 油藏不同开发阶段储集层测井曲线变化特征——以胜坨油田胜二区沙二 12 小层为例[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(1): 77–82.
- Zhao Hongbing. Logging curve changing characteristics of different reservoir development phases—a case study of Shaer12 layer in Shenger block, Shengtuo oilfield[J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(1): 77–82.
- [26] 吴欣松, 苏小军, 吴宗来. 注水开发过程中储层参数变化规律的测井地质评价[J]. *测井技术*, 2002, 26(4): 311–314.
- Wu Xinsong, Su Xiaojun, Wu Zonglai. Logging geology evaluation of reservoir parameter changes in water flooding production[J]. *WLT*, 2002, 26(4): 311–314.