

文章编号:1673-5005(2014)06-0009-09

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2014.06.002

大庆升平油田葡萄花油层葡一油组浅水 三角洲储层构型研究

贾珍臻¹, 林承焰¹, 董春梅¹, 牛涛², 徐慧³, 孙廷彬⁴

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中海油研究总院, 北京 100027;
3. 常州大学石油工程学院, 江苏常州 213016; 4. 中石化中原油田博士后工作站, 河南濮阳 457001)

摘要:以 Miall 的储层构型分析理论为指导, 综合应用岩心、测井、分析化验以及生产动态资料, 对升平油田葡萄花油层葡一油组进行储层构型研究, 建立研究区浅水三角洲储层构型单元层次划分体系及空间结构模式。结果表明: 研究区发育 3 种单砂体内部构型界面, 即泥岩—泥质粉砂岩岩性界面、冲刷切割界面、钙质胶结砂岩界面, 作为垂向上划分四级构型单元的依据; 根据单一流河道的平面形态以及空间接触关系, 可以建立浅水三角洲储层简单层状叠加模式、交错迁移叠加模式、孤立单一河道模式 3 种空间结构类型; 单一流河道优势连通方向以及单一流河道空间叠置关系与注采井的空间配置影响注入剂在砂体内部的驱油效果。

关键词:升平油田; 葡萄花油层; 浅水三角洲; 储层构型; 储层叠加模式; 注采关系

中图分类号:TE 122.2 **文献标志码:**A

引用格式:贾珍臻, 林承焰, 董春梅, 等. 大庆升平油田葡萄花油层葡一油组浅水三角洲储层构型研究[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2014, 38(6): 9-17.

JIA Zhenzhen, LIN Chengyan, DONG Chunmei, et al. Shallow delta reservoir architecture analysis on Putaohua oil formation in Shengping Oilfield[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(6): 9-17.

Shallow delta reservoir architecture analysis on Putaohua oil formation in Shengping Oilfield

JIA Zhenzhen¹, LIN Chengyan¹, DONG Chunmei¹, NIU Tao², XU Hui³, SUN Tingbin⁴

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;
2. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China;
3. School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou 213016, China;
4. Postdoctoral Work Station of Zhongyuan Oilfield, SINOPEC, Puyang 457001, China)

Abstract: Using cores, logging data, analysis data and production data, the reservoir architecture of Pu-I oil group in Putaohua Formation in Shengping Oilfield was analyzed in the framework of Miall's theory. The hierarchy system of multilevel architectural element and the space structure model of shallow delta in the study area were proposed. The results show that three types of interfaces, namely, the mud-muddy siltstone lithological interface, the erosion interface, and the calcareous cementitious sandy interface are developed in single sandstone beds. These interfaces can be used to divide the level-4 architectural element in the vertical direction. According to single channels' shapes and their mutual contact relationship, three models of space structures were identified in the shallow delta reservoirs, which are the simple layered stack model, the staggered stack model and the isolated channel model. The advanced connection directions in the single distributary channel, their spatial superimposing relationship, and the relationship between injection wells and production wells affect the distribution of reservoir oil by injectants in sandbodies.

Key words: Shengping Oilfield; Putaohua oil formation; shallow delta; reservoir architecture; reservoir overlaying model; injection-production relation

收稿日期: 2014-03-08

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05009-003); 大庆油田第八采油厂项目(DQYT-0508003-2010-JS); 中国石油大学 2014 年度研究生创新工程(YCX2014002)

作者简介: 贾珍臻(1987-), 女, 博士研究生, 主要从事储层地质及油藏描述研究工作。E-mail: jzzslsh@163.com。

储层构型的概念最早由 Miall^[1] 于 1985 年在针对河流相沉积研究的基础上提出,旨在从沉积作用的成因角度解剖沉积砂体内部复杂的非均质特性,用界面分级的方式,通过阐述不同级次的成因单元的形态、规模、接触关系等,达到对沉积砂体精细描述的目的。这种储层构型分析方法在露头 and 现代沉积研究中已获得广泛应用^[2-3],且对于地下储层的研究同样具有重要意义^[4-7]。浅水三角洲是一种特殊的三角洲类型^[8-10],其平原水上分流河道和前缘水下分流河道构成该类沉积体的主要储层格架。由于分流河道窄小,分叉改道频繁,具有不同连通方向的单期水道在空间上叠置、排列可造成复杂的储层空间非均质性。大庆外围升平油田葡萄花油层葡一油组发育的浅水湖盆三角洲沉积是研究区重要产油层。油田从 1989 年开始进行注水开发,目前葡萄花油层整体已进入高含水开发初期,部分区块综合含水高,采出程度却很低。储层分布规律以及其空间构型研究的缺乏给进

一步的剩余油挖潜和采收率的提高带来很大困难。笔者通过对该区浅水三角洲储层的精细解剖,研究储层构型单元的类型、特征及空间分布规律,探讨储层构型对剩余油分布的控制作用,以期为厚油层内部的剩余油挖潜提供可靠方向。

1 区域地质概况

升平油田位于松辽盆地中央坳陷三肇凹陷东北徐家围子断陷北部的升平—兴城构造带,属于在三肇凹陷中古凸起上继承性发育的沿北东—南西走向的鼻状构造^[11]。其西接卫星油田,东邻榆树林油田,南临宋芳屯油田^[12]。目的层段为下白垩统姚一段葡萄花油层葡一油组,为一套夹于大段黑色泥岩中的灰绿—浅灰色的粉、细砂岩和泥岩的岩石组合。葡一组顶部埋藏深度为 1403~1570 m,平均厚度约为 50 m。根据岩性组合、旋回性质及电测曲线特征等将葡一组划分为 9 个小层、13 个沉积单元(图 1)。

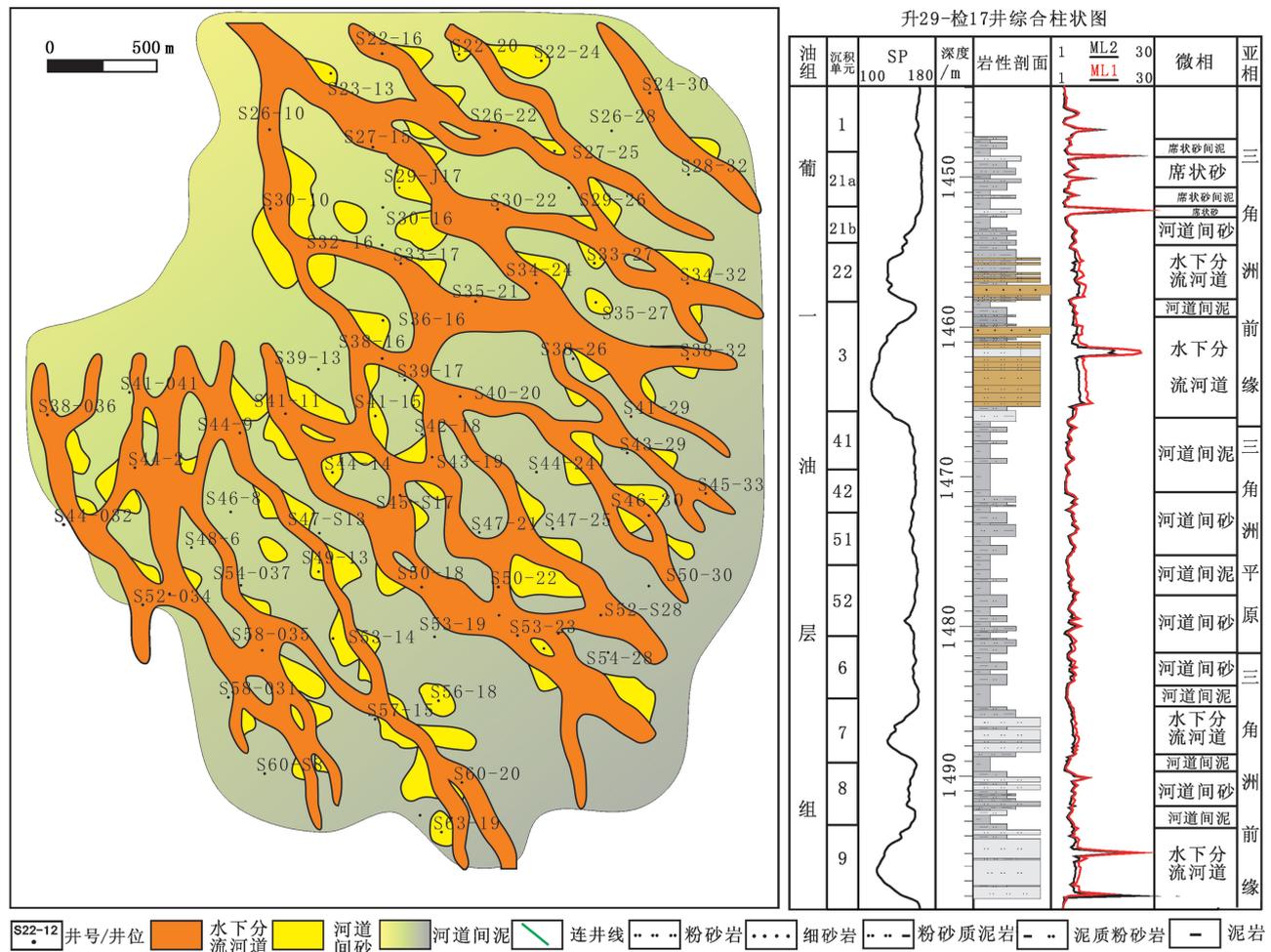


Fig.1 Sedimentary and formation characteristics of study area

研究区葡萄花油层沉积时期,盆地处于整体拗陷阶段的显著充填时期,湖盆淤塞变浅,地形坡度平缓,湖面开阔,显示出大型浅水湖盆的沉积特征^[9]。由盆地长轴缓坡方向进入的北部物源体系提供了大量的碎屑物质供给,对三角洲的建设始终起着控制作用^[13]。受气候等因素的影响,湖泊水域波动很大,三角洲内前缘(河道区)带范围较宽,可因长时间的季节性或周期性干涸而出露水面致使分流河道暴露于地表,分流河道更容易分叉、改道;洪水期,原先出露地表的分流河道多被淹没,洪流携带的高悬移质碎屑充填于河道,并沿着这些河道把更细粒的泥砂带到相对深水区沉积,使整个浅水三角洲的进积以大面积分布的分流河道砂体为形式向前扩展,河道间砂作为河道溢岸成因的砂体呈土豆状零星分布于分流河道之间(图1)。在这种沉积背景下,由于三角洲前积的速度很快,早期沉积的河口坝砂体很容易被后期发育的分流河道冲刷侵蚀,导致河口坝砂体变薄、消失。

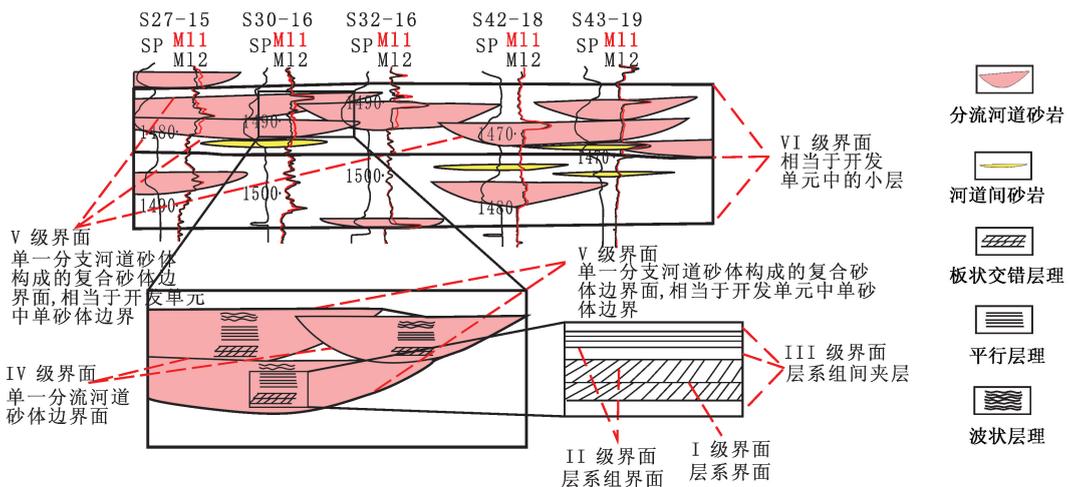


图2 研究区储层构型界面等级

Fig. 2 Reservoir architectural levels in study area

2.2 单一流河道四级构型界面特征

单一流河道四级构型界面是指复合砂体内部的、在纵向沉积层序中两期连续稳定沉积间憩期的产物,根据发育位置以及成因类型差异而在岩性以及测井响应特征上表现出不同的特点。四级构型界面是限定单一流河道的重要分界面,是进行单砂体构型解剖的重要依据。

2.2.1 泥岩—泥质粉砂岩岩性界面

单一流河道沉积末期,随着水动力强度的减弱,细粒沉积物沉积于河道发育期的砂质沉积物之上,可作为单一流河道垂向边界的划分标志。内前缘水下分流河道之间界面岩性一般为块状粉砂

2 储层构型分析

2.1 构型分级

在 Miall 构型要素分析法的基础上,结合国内对地下储层的划分方案^[14-15],充分考虑研究区浅水三角洲储层沉积特点及模式,建立研究区储层内部构型的6级划分方案(图2)。I级、II级界面分别为层系及层系组界面,仅在岩心上易于识别。III级界面为层系组之间夹层,属于自旋回细粒沉积,相当于 Miall 划分体系中的大型底形内增生体的界面。IV级界面为单期分流河道砂体中单一流河道或者其它单成因类型砂体(单一流河道间溢岸砂体等)边界,表现为一定规模的侵蚀作用,其限定的砂体在横向上连续,具有独立的空分布。V级界面为由复合单一流河道构成的单期河道砂体边界,相当于开发单元中的单砂体边界。VI级界面为小层界面,所限定的构型单元相当于油田分层方案中的小层。

岩、波状层理泥质粉砂岩—粉砂质泥岩,外前缘单一水下分流河道间则表现为较纯的泥质沉积。由于沉积湖盆地形较为平坦,细粒沉积薄层呈近于水平状产出,岩心测量值为 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$,代表了单一流河道整体上垂向加积的沉积发育模式。当界面岩性为泥质粉砂岩时,自然电位曲线和微电极曲线幅度有一定回返,幅度为 $1/4 \sim 1/2$,微电极曲线幅度差减小;当界面岩性为泥岩时,自然电位曲线和微电极曲线回返至基线,微电极曲线重合(图3(a))。

2.2.2 冲刷切割界面

单一流河道对下伏分流河道沉积物冲刷时所形成的界面称为冲刷切割界面。受河流作用与湖泊

作用差异性的影响,陆上分流河道与水下分流河道显示不同的特征。岩心上,陆上分流河道底部可见明显高低起伏状的冲刷界面,而水下分流河道的冲刷作用明显减弱,表现为平直的岩性突变面;当上覆河道对下伏砂体冲刷比较彻底时,两成因砂体间不再存在岩性上易于识别的界面,但内部的渗透率差

异仍然存在,含油砂体则可表现为界面处含油性的差异或突变。冲刷面的测井响应特征不明显,自然电位曲线几乎无响应,微电极曲线可见小幅度回返,回返幅度小于1/4,但在非取心井可根据邻井中易于识别的单一河道划分界面以及顶面高程差等对比的方法确定该井冲刷切割界面的位置(图3(b))。

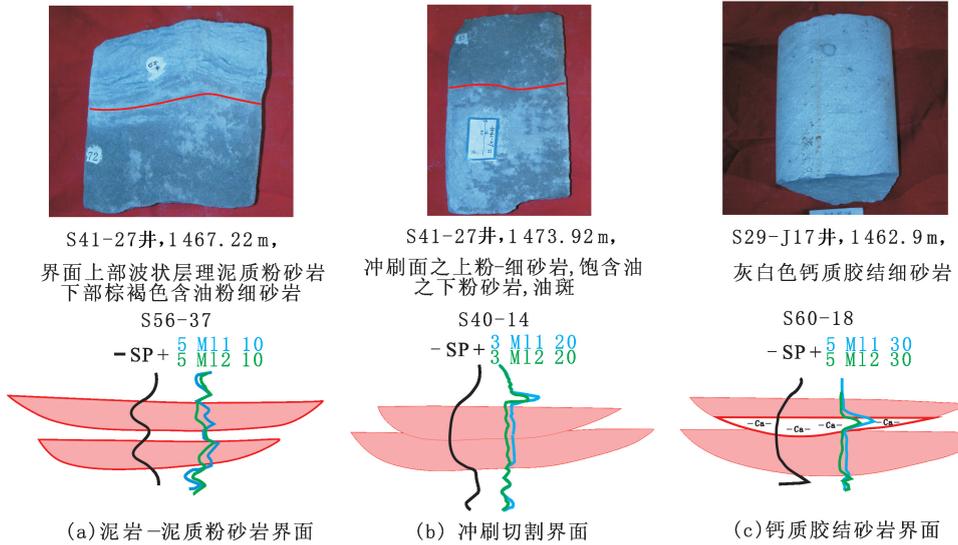


图3 四级构型界面岩电特征

Fig. 3 Lithology and electric property characteristic for band-four interface

2.2.3 钙质胶结砂岩界面

钙质层在河道类储层中往往以顶钙或底钙的形式出现。底钙的出现一般由于河道中下部储层物性较好,成为地下水渗流的有利通道,利于差异成岩胶结的形成;而顶钙则可能与顶部泥质沉积物在有机酸排出过程中,泥岩中溶解的碳酸盐离子随地层水排出时在界面处形成碳酸钙沉淀有关^[16]。一些与邻井对比关系较好的钙质胶结砂岩界面也可作为划分单一分流河道砂体的沉积界面类型。钙质胶结砂岩界面测井响应明显,最易识别,表现为微电极曲线的高阻尖峰(图3(c))。

2.3 空间结构模式

从物源区到湖水区,由于受河流能态、河床形态、湖泊作用、地形坡度,基准面旋回以及湖平面变化等因素影响^[17],分流河道及水下分流河道等成因单元的平面形态、叠置样式可表现出不同的空间结构特点。三角洲平原亚相砂体成窄网状、枝状,泛滥平原微相对发育,垂直物源方向连续性差;三角洲内前缘亚相为水陆交互带区域,由于分枝状河道砂体频繁的迁移改道,造成多期多支河道的叠加交汇,形成厚度大,平面连通性较好的连片型砂体;内前缘的前端随着搬运能量的减弱,砂体逐渐成窄条带状,砂

体变薄,横向连续性变差;三角洲外前缘亚相砂体则呈孤立状、土豆状零星发育(图4)。

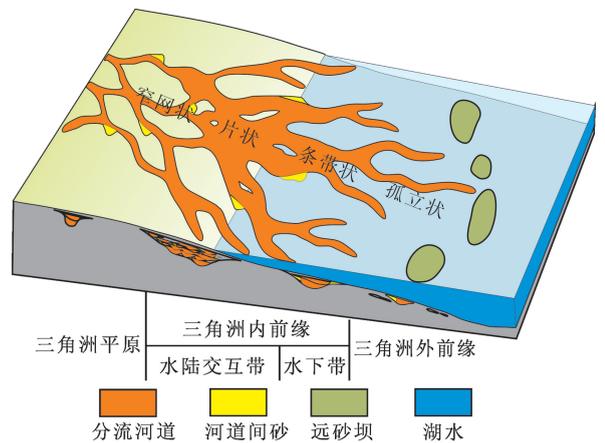


图4 升平油田葡一油组单砂体平面形态模式

Fig. 4 Single sands distribution plain of Pu-I Formation in Shengping Oilfield

综合单井解剖、剖面识别以及平面组合,最终将研究区浅水三角洲储层划分为以下3种空间构型类型:

(1)简单层状叠加模式(图5(a))。此类砂体结构表现为单一河道砂体呈片状展布,长宽比近于1:1,见于三角洲内前缘相带,发育于基准面旋回

换面附近。由于 A/S 值低,三角洲快速进积情况下,内前缘分流河道频繁分叉、改道,在垂向叠加以及侧向迁移的双重作用下,单支河道的侧向边界反复交切,最终呈现出横向连片的平面砂体形态。片状发育的单一河道砂体在垂向上层状叠加构成了在空间上单砂体内部简单层状叠加的砂体结构模式,垂向划分时单一分流河道砂体间以冲刷切割界面作为边界。该类结构的砂体可由于单一河道的韵律性表现出较弱的储层平面非均质,较强的垂向非均质。

(2) 迁移交错叠加模式(图5(b))。此类结构砂体表现为单一河道呈树枝状分叉,长宽比大于 $10:1$,最大可达 $20:1$,见于三角洲平原和外前缘相带,发育于基准面下降半旋回早期或者基准面上

升半旋回晚期。 $A/S > 1$,单一分流河道或单一水下分流河道表现为窄小的条带状,平面上表现为多分叉,迁移。分流河道间以泥岩—泥质粉砂岩岩性界面为垂向划分边界,多个单一分流河道垂向叠置或者侧向接触,但平面上可能来自不同方向的上游分支,由此可构成复杂的储层平面及垂向非均质性。

(3) 孤立单一河道模式(图5(c))。此类结构砂体表现为条带状单一分流河道发育于周围泥相中,垂向上与上下砂体以泥岩相隔,侧向上亦与周围砂体缺少连通。发育于三角洲外前缘沉积欠补偿区,三角洲发育初期水系较简单时期或三角洲发育末期萎缩阶段。

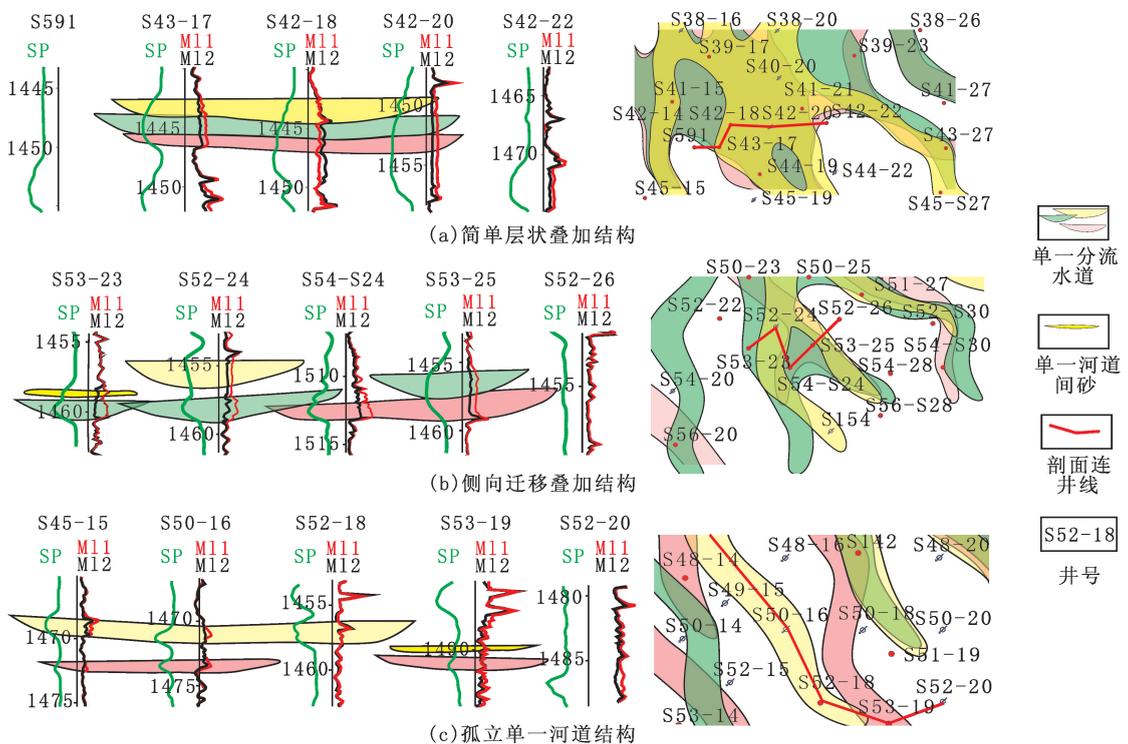


图5 四级结构单元空间结构模式

Fig.5 Band four architecture elements model in space

3 基于储层构型的注采关系

现代储层地质学认为储层构型所代表的沉积成因单元的空间展布与流动单元的空间分布具有较好的对应关系^[18-21]。研究区的储层构型研究表明,层状叠加砂体以及交错迁移叠加砂体内部四级界面以冲刷切割面和物性夹层类界面为主,夹层厚度较薄,横向稳定性差,不足以构成阻碍流体运动的屏障,然而砂体之间的空间排列与油水井的配置关系却会对注入水在油层内部的运动产生重要影响;孤立单一河道类型砂体多以泥质隔夹层为界,泥质

层稳定,因此单一孤立河道内部的油水井注采对应情况直接决定了该类油层的剩余油富集情况。基于这样的思路,笔者从单一分流河道优势连通方向造成的采油井受效差异以及单一分流河道空间叠置关系造成的驱油效率差异两方面对四级构型单元——单一分流河道的空间结构对油田实际生产开发的影响进行探讨。

3.1 单一分流河道优势连通方向造成的采油井受效差异

以 S26-18 井组为例,为一不规则反九点注采井网。围绕注水井 S26-18 的几口采油井井距相当,但

当2007年6月S26-18放大注水后(图6(a)),S27-19与S26-20的受效情况显著不同(图6)。砂体解剖前(图7(a)),3号小层砂体普遍发育,在平面上一般作为横向连通,连片发育的砂体,但是通过对3号层砂体的构型解剖发现,3号小层发育了两个四级构型单元,即 3^1 、 3^2 (图7(b))。S25-19井3号小层下部构型单元 3^2 为单一分流河道间溢岸砂构型单元,因此说明此处已经发育了分流河道的分叉,注入水能量优先进入S26-18其所在连通分支河道,向S27-19渗透,表现为其所在分支受效反应迅速,且液量提升明显(图6(b));少量水体能量沿着下部薄层砂向S26-20所在分支渗透,表现为另一分支反应明显滞后,并且液量提升量不如前者显著(图6(c)),因此即使是片状连通的砂体,内部构型单元的渗流差异所造成的储层平面非均质性也会造成采油井的

受效差异。

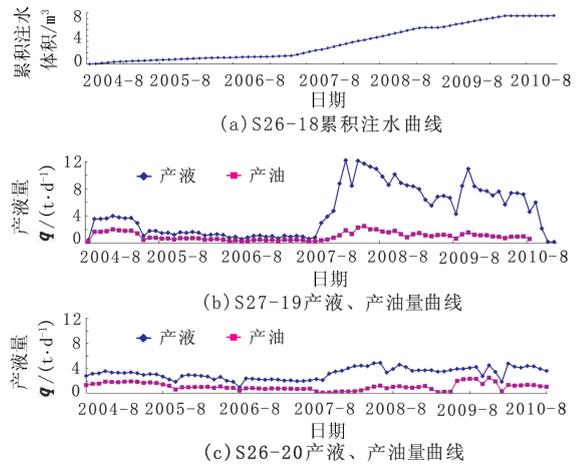


图6 注采动态曲线对比图

Fig.6 Injection and production performance curves

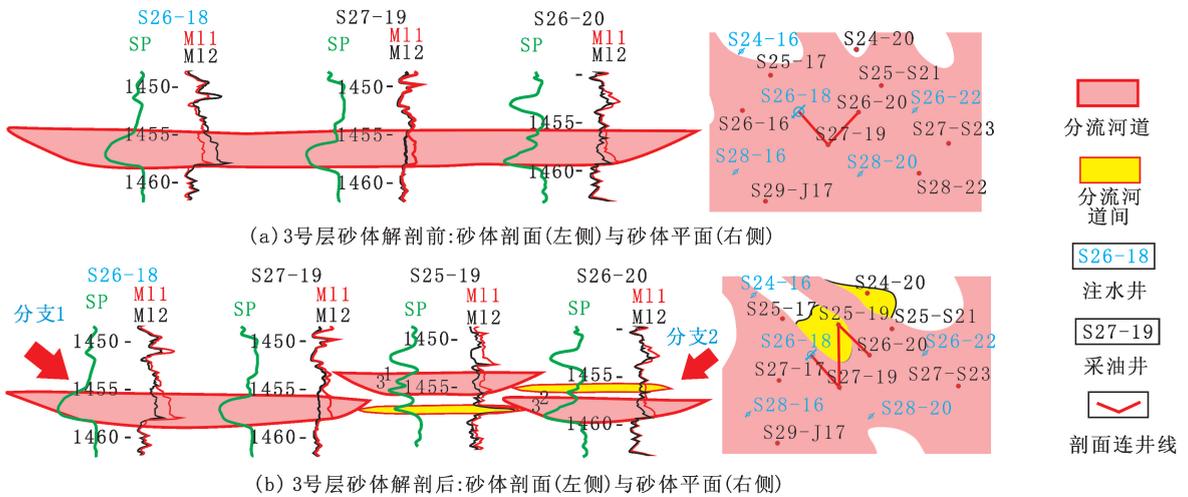


图7 S26-18井组砂体构型分析

Fig.7 Sands architecture analysis graph in injector-producer group

3.2 单一分流河道空间叠置关系造成的驱油效率差异

简单层状叠加模式、迁移交错叠加模式和孤立单一河道模式这三种空间结构类型与油水井分布的空间配置关系一定程度上控制了砂体内部的油水运动规律,其中简单层状叠加模式与孤立单砂体河道模式的控制因素较为简单,而迁移交错叠加模式储层内部的油水规律较为复杂。

(1)简单层状叠加模式:由于单砂体内部单成因构型单元大面积交切,砂体内部夹层不发育,表现为良好的垂向及平面连通性,注采控制程度较高,注入水由于重力作用沿着砂体底部渗流,易形成上部单元的剩余油富集区。如S29-J17为2004年加密井,投产初期含水率84%,岩心分析显示油层底部

0.74 m的有效厚度为中强水淹,仅占总有效厚度的18.5%,而上部绝大部分仅为弱水淹—未水淹(图8(a))。从砂体空间构型上来讲,与S29-J17沟通的注水井S28-16之间的砂体连通方式为多期单一河道简单层状叠加,河道垂向上冲刷彻底,砂体连通性好,从而造成注入水底部突进,剩余油上部富集的特点。

(2)迁移交错叠加模式:由于单一分流河道构型单元在平面上存在各自的优势连通方向,垂向又在一定范围内相互交切,因此可表现出较强的储层垂向及平面非均质性;油水井仅在上部构型单元连通的驱油效率好于油水井仅在下部构型单元连通的驱油效率;垂向上构型单元不同的注采对应情况可造成单砂体内部不均匀水洗。S40-xj27为2011年的加密井,岩心分析显示S40-xj27的6、7油层水洗

厚度比例为 86.2%,水洗程度均匀,以中—强水洗为主(图 8(b))。分析其主要原因是 S40-xj27 与来水方向的注水井 S40-26 仅于上部构型单元连通,造成注入水在未到达 S40-xj27 之前限制在上部单一河道砂体中,在到达 S40-xj27 后注入水才由于重力的作用不断下渗,从而使加密井处油层的注入水波及厚度增大,造成 S40-xj27 处油层整体均匀水淹。对于 S44-S30 井(图 8(c)),目前含水率 98.74%,仅下部水淹,上部基本未水淹,原因是 S44-S30 与连通的注水井 S44-32 仅于下部单元的单一分流河道砂体间连通,造成注入水一直保持在油层底部,而上部单元的油层几乎难以波及。

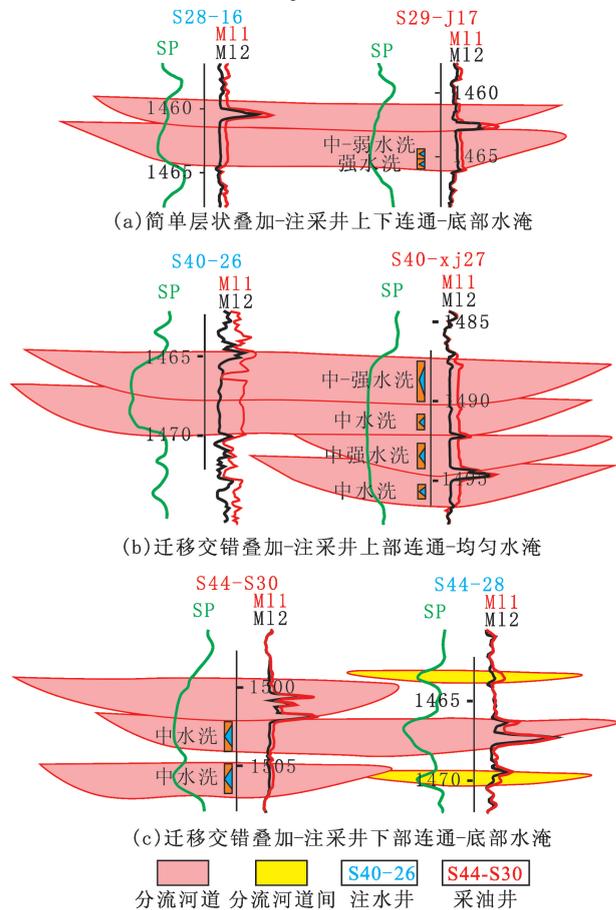


图 8 单一河道空间结构与油层水淹关系
Fig. 8 Single channel space patterns within injector-producer relation

(3) 孤立单一河道模式: 储层由于单一分流河道砂体窄小,井网控制程度以及注采完善程度较低,单一河道砂体缺少与周围砂体的连通性,因此本身的注采对应情况较为关键,单一河道内注采不完善区形成剩余油。

4 结论

(1) 升平油田葡一油组具有 6 级储层划分层

次,其中 IV 级构型单元——单一流河道是构型解剖的重点研究对象,划分单一流河道砂体的四级构型界面有泥岩—泥质粉砂岩岩性界面、冲刷切割界面、钙质胶结砂岩界面 3 种类型。

(2) 升平油田葡一油组浅水三角洲储层可划分为 3 种空间结构模式,即简单层状叠加模式,交错迁移叠加模式,孤立单一河道砂体模式。简单层状叠加模式分布在三角洲内前缘,交错迁移叠加模式分布在三角洲平原以及三角洲外前缘,孤立单一河道砂体模式仅分布于三角洲外前缘。

(3) 由于研究区发育的储层沉积类型以窄条带分支河道型为主,储层的连通面积有限,因此注采井之间的连通关系非常重要。单一流河道优势连通方向以及单一流河道空间叠置关系与注采井的空间配置影响注入剂在砂体内部的驱油效果。同一单一流河道方向的油水井连通性要明显好于不同分支分流河道间的连通性;油水井仅在上部单元结构连通的驱油效率好于油水井仅在下部单元结构连通的驱油效率。

致谢 大庆油田第八采油厂方庆、刘云燕、曹海涛、宫保、范彩匣等提供了大量的研究资料以及其他多种帮助,在此表示诚挚的感谢!

参考文献:

[1] MIALI A D. Architecture element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposit[J]. Earth-Science Review, 1985, 22(4): 261-308.

[2] 于兴河,王德发,郑浚茂,等. 辫状河三角洲砂体特征及砂体展布模型: 内蒙古岱海湖现代三角洲沉积考察[J]. 石油学报, 1994, 15(1): 26-36.

YU Xinghe, WANG Defa, ZHENG Junmao, et al. 3-D extension models of braided deltaic sandbody in terrestrial facies: an observation on deposition of modern deltas in Daihai lake, inner Mongolia[J]. Acta Petrolei Sinica, 1994, 15(1): 26-36.

[3] 王振奇,何贞铭,张昌民,等. 三角洲前缘露头储层层次分析: 以鄂尔多斯盆地东缘潭家河剖面为例[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(3): 32-35.

WANG Zhenqi, HE Zhenming, ZHANG Changmin, et al. Analysis on reservoir hierarchy of deltaic front outcrops: taking Tanjiahe outcrop in Eastern Ordos Basin for example [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2004, 26(3): 32-35.

[4] 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 re-

- search in the fine exploitation of oilfields[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(4): 483-489.
- [5] 纪友亮, 周勇, 吴胜和, 等. 河流相地层高精度地层构型界面形成机制及识别方法[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2012, 36(2): 8-14.
- JI Youliang, ZHOU Yong, WU Shenghe, et al. Formation mechanism and recognizing method of high resolution strata architecture boundary in fluvial strata[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2012, 36(2): 8-14.
- [6] 李志鹏, 林承焰, 董波, 等. 河控三角洲水下分流河道砂体内部建筑结构模式[J]. *石油学报*, 2012, 33(1): 101-105.
- LI Zhipeng, LIN Chengyan, DONG Bo, et al. An internal structure model of subaqueous distributary channel sands of the fluvial-dominated delta[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(1): 101-105.
- [7] 伊振林, 吴胜和, 杜庆龙, 等. 冲积扇储层构型精细解剖方法: 以克拉玛依油田六中区下克拉玛依组为例[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2010, 40(4): 939-945.
- YI Zhenlin, WU Shenghe, DU Qinglong, et al. An accurate anatomizing method for structure of reservoir of alluvial fan: a case study on Lower Karamay Formation, Liuzhong area, Karamay Oilfield[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2010, 40(4): 939-945.
- [8] DONALDSON A C. Pennsylvanian sedimentation of central Appalachians[J]. *Special Paper of Geology Society of America*, 1974, 148: 47-78.
- [9] 朱筱敏, 刘媛, 方庆, 等. 大型坳陷湖盆浅水三角洲形成条件和沉积模式: 以松辽盆地三肇凹陷扶余油层为例[J]. *地学前缘*, 2012, 19(1): 89-99.
- ZHU Xiaomin, LIU Yuan, FANG Qing, et al. Formation and sedimentary model of shallow delta in large-scale lake: example from Cretaceous Quantou Formation in Sanzhao Sag, Songliao Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(1): 89-99.
- [10] 吕晓光, 李长山, 蔡希源, 等. 松辽大型浅水湖盆三角洲沉积特征及前缘相储层结构模型[J]. *沉积学报*, 1999, 17(4): 572-576.
- LÜ Xiaoguang, LI Changshan, CAI Xiyuan, et al. Depositional characteristics and front facies reservoir framework model in Songliao shallow lacustrine delta[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(4): 572-576.
- [11] 迟博, 刘站立, 王春瑞. 三肇凹陷石油富集规律[J]. *大庆石油地质与开发*, 2000, 19(5): 4-6.
- CHI Bo, LIU Zhanli, WANG Chunrui. Rules of petroleum enrichment of Sanzhao depression[J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2000, 19(5): 4-6.
- [12] 袁志华, 孙宏亮, 张玉清. 油气微生物勘探技术在大庆升平油田的应用[J]. *地质论评*, 2011, 57(1): 141-142.
- YUAN Zhihua, SUN Hongliang, ZHANG Yuqing. Application on microbial prospecting technology for oil and gas in Shengping Oilfield of Daqing area[J]. *Geological Review*, 2011, 57(1): 141-142.
- [13] 朱建伟, 刘招君, 董清水, 等. 升平油田升132井区储层流动单元研究[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2004, 34(1): 67-72.
- ZHU Jianwei, LIU Zhaojun, DONG Qingshui, et al. Study on the fluid unit in Sheng-132 well group of Shengping Oilfield[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2004, 34(1): 67-72.
- [14] 温立峰, 吴胜和, 岳大力, 等. 分流河道类型划分与储层构型界面研究[J]. *大庆石油地质与开发*, 2009, 28(1): 26-29.
- WEN Lifeng, WU Shenghe, YUE Dali, et al. Study on classification of distributary channels and reservoir configuration interface[J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2009, 28(1): 26-29.
- [15] 阎海龙, 孙卫. 水下分流河道砂体中夹层的识别与定量分析: 以靖安油田盘古梁长6油组为例[J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2006, 36(1): 133-136.
- YAN Hailong, SUN Wei. Quantitative analysis of interlayer in under water distributary channel analyzing the interlayers of Chang 6 reservoir in Jing'an Oilfield[J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2006, 36(1): 133-136.
- [16] 王伟庆, 张守鹏, 谢忠怀, 等. 示烃成岩矿物与油气成藏的关系: 以东营凹陷为例[J]. *油气地质与采收率*, 2008, 15(1): 14-17.
- WANG Weiqing, ZHANG Shoupeng, XIE Zhonghuai, et al. The relationship between hydrocarbon-indicator mineral and oil and gas accumulation, example from Dongying Sag[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2008, 15(1): 14-17.
- [17] 楼章华. 地形气候与湖面波动对浅水三角洲沉积环境的控制作用: 以松辽盆地北部东区葡萄花油层为例[J]. *地质学报*, 1991, 9(4): 1-11.
- LOU Zhanghua. Controls of the topography, climate and lake level fluctuation on the depositional environment of a shallow water delta[J]. *Acta Geological Sinica*, 1991, 9(4): 1-11.
- [18] 窦之林. 储层流动单元研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.

- [19] 徐慧,林承焰,雷光伦,等. 水下分流河道单砂体剩余油分布规律与挖潜对策[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2013,37(2):14-20.
XU Hui, LIN Chengyan, LEI Guanglun, et al. Remaining oil distribution law and potential tapping measures of subaqueous distributary channel single sandbody[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2013, 37(2): 14-20.
- [20] 林承焰,余成林,董春梅,等. 老油田剩余油分布:水下分流河道岔道口剩余油富集[J]. 石油学报,2011,32(5):829-835.
LIN Chengyan, YU Chenglin, DONG Chunmei, et al. Remaining oils distribution in old oilfields: enrichment of remaining oils in underwater distributary channel crotches[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 829-835.
- [21] DEVEUGLE P E K, JACKSON M D, HAMPSON G J, et al. Characterization of stratigraphic architecture and its impact on fluid flow in a fluvial-dominated deltaic reservoir analog: Upper Cretaceous Ferron Sandstone Member, Utah[J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(5): 693-727.

(编辑 徐会永)