

基于单成因砂体的三角洲前缘油水运动规律

——以渤海湾盆地Z油田东营组二段下亚段为例

韩雪芳, 颜冠山, 刘宗宾, 宋洪亮, 王欣然

[中海石油(中国)有限公司天津分公司 渤海石油研究院, 天津 300459]

摘要:在油田开发后期,通过解剖单成因砂体构型,可用于指导油水运动规律分析以及后续的剩余油挖潜工作。以储层构型理论为指导,根据3种垂向分期识别标志(泥质夹层、含砾砂岩层和钙质夹层)和4种侧向划界识别标志(曲线形态差异、岩性差异、厚度差异和水淹特征差异),将渤海湾盆地Z油田东营组二段下亚段I和II油组三角洲前缘沉积复合砂体划分为多个代表单一沉积微相(水下分流河道、河口坝等)的单成因砂体,并依据井间砂体厚度变化与砂体顶面角度二者之间较好的对数相关性,定量确定了单一砂坝砂体尖灭点。由此,重构了油田范围内复杂沉积中河口坝连片分布和水下分流河道交叉叠置的特征。以此为基础,综合分析油藏其他动静态资料,认为单成因砂体质量差异是影响油水运动和剩余油分布规律的主要因素。单个朵叶体形成相对独立的流体单元,不同类型单成因砂体由于其质量差异,表现出不同的渗流能力和水淹特征,优质单成因砂体易形成优势通道并造成剩余油的富集。开展基于单成因砂体的油水运动规律研究,可为油田后期加密挖潜和有效提高油田采收率奠定必要的地质基础。

关键词:单成因砂体;三角洲前缘;水淹规律;储层质量差异;剩余油;东营组;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Oil-water movement pattern based on research of delta front monogenetic sand: A case study from the $E_3d_2^L$ of Oilfield Z in the Bohai Bay Basin

Han Xuefang, Yan Guanshan, Liu Zongbin, Song Hongliang, Wang Xinran

(Bohai Petroleum Institute, Tianjin Branch of CNOOC Limited, Tianjin 300459, China)

Abstract: At the mature development phase of an oilfield, the analysis of monogenetic sand reservoir architecture is efficient to instruct the research on the oil-water movement pattern and the operation of tapping remaining oil. Based on the reservoir configuration theory, this paper divided the composite sand reservoir into multiple monogenetic sandbodies in Oil-group I and II of the $E_3d_2^L$ in Oilfield Z of the Bohai Bay Basin using three vertical stage identification markers and four lateral delimitation identification markers. The vertical stage identification markers include shale interlayers, pebbly sandstones, calcareous interlayers and the lateral delimitation identification markers include logging curve shape difference, lithology difference, thickness difference and water flooding feature difference. Each monogenetic sandbody represents a single sedimentary microfacies (e. g. underwater distributary channel or mouth bars, etc). In addition, the definite logarithm correlation between interwell sandbody thickness variation and top boundary dip was used to quantitatively identify the pinch out point of the single sandbody. Therefrom, the subsurface complex sedimentary characteristics were reconstructed to display the contiguous distribution of mouth bars and the cross superimposition of underwater distributary channels within this oilfield. Combining with the other static and dynamic data, the comprehensive analysis revealed that the quality difference of monogenetic sandbody is the major factor influencing the oil-water movement and remaining oil distribution in the study area. The independent flow unit develops within the individual lobe, within which the different types of monogenetic sandbodies with different reservoir quality correspond to different seepage capacities and flooding features. The premium monogenetic sandbodies are prone to form dominant pathways and result in enrichment of remaining oil. The study of oil-water movement based on monogenetic sandbody analysis will provide a solid geological foundation for tapping the potential of remaining oil through infill drilling and enhancing the oil recovery in the oil-field.

Key words: monogenetic sand, delta front, water flooding pattern, reservoir quality difference, remaining oil, Dongyin Formation Bohai Bay Basin

收稿日期:2016-09-20;修订日期:2017-02-23。

第一作者简介:韩雪芳(1984—),女,工程师,沉积储层。E-mail:hanxf@cnooc.com.cn。

油田进入高含水开发阶段后,寻找剩余油、延缓自然递减、控水稳油,是实现油田持续高效开发的关键。自 Allen(1977)^[1], Miall(1985, 1996, 2006)^[2-4]等相继提出了河流相储层构型界面分级方案以来,中国学者针对储层研究的层次分析方法、储层构型界面识别、构型展布特征、以及不同构型单元之间的油水运动规律等方面开展了大量的研究工作,使储层构型研究方法得到了长足的发展^[5-13],也将其理论及方法逐步由河流相引入到三角洲前缘水下分流河道、河口坝砂体剩余油分布规律研究中^[14-20]。研究实践表明,开展“单成因砂体”构型解剖、描述剩余油分布规律,以寻找油田中的隐秘“甜点”,是油田开发后期实现稳油控水的重要手段。

渤海湾盆地 Z 油田为层状构造边水油藏,采用一套排状井网、统注统采的开发方式。历经 16 年注水开发,油田综合含水率已超过 80%,进入高含水开发阶段。但油田综合调整新实施的多口采油井,在投产初期含水较低,甚至未含水;老井生产动态反映注水区存在水窜,各砂体吸水强度不均,层间矛盾突出。因此,理清油层动用不均衡的影响因素,明确油田剩余油分布规律,是油田面临的主要生产问题。本次研究选取储层最为发育、物性最好、剩余油分布最为复杂的油田东部 I 和 II 油组作为主要研究对象,在储层构型理论指导下,明确单成因砂体类型、展布规律及其对剩余油分布的影响,为油田剩余油挖潜和精细开发部署提供指导依据。

1 研究区概况

Z 油田位于渤海湾盆地辽东湾海域辽西凹陷的北洼(图 1)。主力含油层位为东营组二段下亚段(东二下亚段),是典型的湖相三角洲前缘亚相沉积,发育水

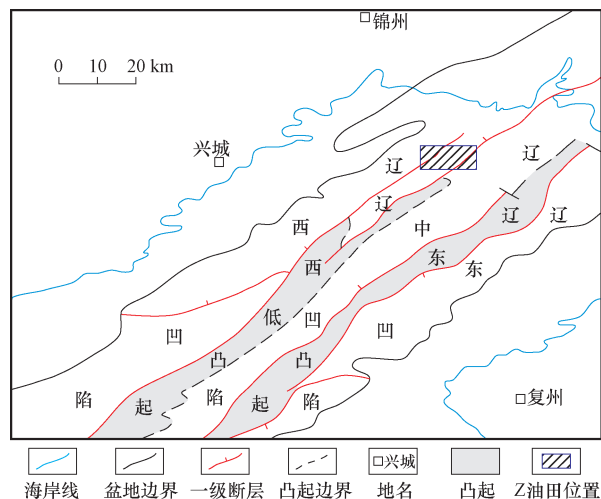


图 1 Z 油田区域构造位置

Fig. 1 Regional structure map of Oilfield Z

下分流河道、河口坝、席状砂、远砂坝和水下分流河道间等 5 种沉积微相类型;水下分流河道与河口坝交互叠置,储层横向连片、稳定分布^[21-22]。

研究区单井沉积微相及平面展布规律研究表明,油田以复合砂体沉积为特征,包括复合水下分流河道砂体和复合河口坝砂体。复合水下分流河道砂体一般为复合正韵律,由多段正韵律组成;复合河口坝砂体一般为复合反韵律,由多段反韵律组成。连片分布的复合砂体由多期单一水下分流河道砂体或河口坝砂体在垂向、侧向叠置而成。

2 单成因砂体识别

根据自然伽马和电阻率曲线的幅度变化,及复合砂体内的夹层发育特征,可将复合砂体划分为多个单成因砂体,每个单成因砂体则代表单一沉积期次形成的水下分流河道砂体或河口坝砂体。

2.1 单成因砂体识别标志

利用研究区 40 口井岩心和电测曲线资料,对 10 个小层进行单井垂向单成因砂体划分、井间侧向单成因砂体边界识别,从而建立了 Z 油田东二下亚段单成因砂体的垂向、侧向识别标志^[21](表 1)。

1) 垂向界面特征

根据岩心标定和电测曲线特征,结合水下分流河道、河口坝组合关系,确定了泥质夹层、含砾砂岩层和钙质夹层 3 种单成因砂体的垂向分期识别标志。泥质夹层是研究区普遍发育的一种垂向识别标志,其自然伽马、电阻率曲线具有明显回返特征,作为研究区单一河口坝、单一水下分流河道砂体划分识别标志。含砾砂岩层主要由冲刷-充填作用形成,其岩性、物性、含油气性与上下部岩性段存在一定差异,测井曲线常见一定回返或突变现象,作为单一水下分流河道砂体识别标志。钙质夹层发育于水下分流河道砂体底部,表现为低自然伽马、高密度、高电阻率的“刺刀状尖峰”,作为单一水下分流河道砂体划分识别标志。

2) 侧向界面特征

在垂向单成因砂体识别的基础上,采用平剖结合的方式,开展了单成因砂体配置组合关系研究,并总结出研究区 4 种单成因砂体侧向边界识别标志:①测井曲线形态差异。河口坝规模不同,其测井曲线形态存在差异,如光滑漏斗形与齿状漏斗形,在一定程度上也反映了砂体沉积时水动力条件的差异;可作为判断不同单一河口坝砂体沉积的标志。②岩性差异。不连续

表 1 Z 油田东二下亚段单成因砂体识别标志

Table 1 Identification of monogenetic sand in E₃d₂¹ of Oilfield Z

主要单成因砂体类型	垂向界面识别标志			侧向界面识别标志			
	泥质夹层	含砾砂岩层	钙质夹层	测井曲线形态差异	岩性差异	厚度差异	水淹特征差异
水下分流河道	√	√	√		√		
河口坝	√			√		√	√

分布的水下分流河道间砂体或者河道间泥为不同水下分流河道的侧向分界标志。③厚度差异。砂体厚度上呈现“厚薄厚”的形态,可作为判断不同河口坝复合沉积体的侧向拼接标志。④水淹特征差异。不同河口坝砂体之间存在一定渗流屏障,影响注采井间的注采连通关系,引起见水规律的差异,可作为研究区不同河口坝的侧向分界标志。

2.2 单成因砂体平面展布特征

1) 单成因砂体边界确定方法

根据野外露头及现代沉积观察,砂坝砂体外形表现为“底平顶凸”的特征,且砂体顶面角度随着距砂坝中心距离的不同而变化。结合油田的砂体解剖结果,通过对部分密井网区域具有典型厚度变化趋势的单砂体厚度数据统计分析后发现,不同井之间砂体厚度变化与井间砂体顶面角度二者之间呈较好的对数相关性(图 2a)。根据上述认识,若已知某井砂体厚度 H ,则

砂体尖灭点处与该井厚度变化为 ΔH ,进一步可以得到砂体尖灭点处与该井砂体顶面的角度 θ ;再根据三角形原理(图 2b)就可以计算出砂体尖灭点距离该井的平面距离 ΔD ,从而能够得到单一砂坝砂体尖灭点的定量化认识。利用该方法对全油田构型单元单一砂体边界进行了预测,且实钻井吻合率达到了 78.5%。

2) 单成因砂体平面展布特征

通过单成因砂体单井上的垂向识别、剖面上的侧向识别、平面上的组合匹配及边界的确定,能够较真实的描述 Z 油田单成因砂体的沉积类型和平面展布规律。研究认为,小层级别沉积微相中所表现的连片分布的水下分流河道砂体,实际是由多条分支河道交叉叠置而成;而同一主干河道形成的多个单一河口坝相互叠置,在平面上呈现出朵状、宽带状连片分布的特征。研究区总体上以河口坝沉积为主,单一水下分流河道一般规模较小,宽度多在 50 ~ 200 m,河口坝可以向前延伸 500 ~ 1 000 m,或者更大范围(图 3)。

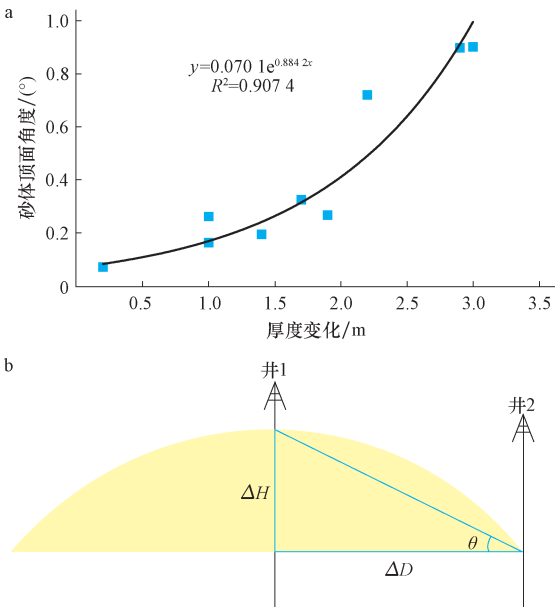


图 2 Z 油田单成因砂体边界定量化确定方法

Fig. 2 Quantitative determination method of monogenetic sand boundary in Oilfield Z

a. 井间砂体厚度变化与顶面角度关系;b. 厚度变化(ΔH)、井距(ΔD)与顶面角度 θ 关系

3 油水运动规律

Z 油田属中高孔渗中粘油油藏,层间、层内及平面上的非均质特性和统注统采的开发方式,使其单井及平面油水运动规律复杂、水淹样式多样。通过开发井水淹特征分析,研究单成因砂体储层质量差异对地下油水运动的控制作用,为下一步剩余油挖潜和精细开发部署提供必要的技术支撑。

3.1 水淹特征

研究区开发井水淹情况统计表明,主要发育未水淹、低水淹、中水淹和强水淹 4 种类型,其中 76.3% 的储层段表现为未水淹,强水淹储层段仅占 14.6% (图 4a)。结合单成因砂体解剖的结果表明,56.0% 的单砂体为未水淹,其中又以河口坝砂体为主,约占 55.6% (图 4b,c)。

3.2 单成因砂体储层质量差异对油水运动规律的控制作用

为了进一步明确水淹规律复杂化的影响因素,对

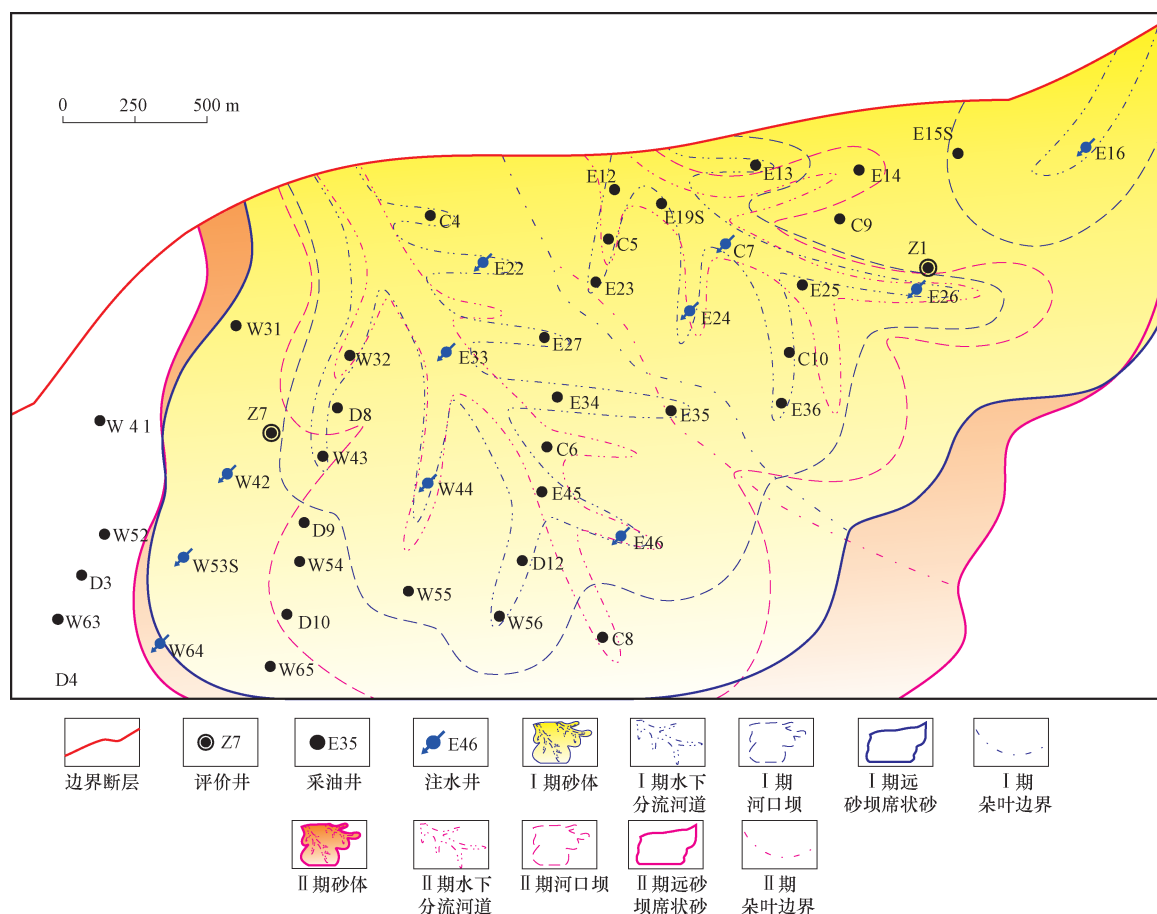


图3 Z油田东二下亚段8小层单成因砂体解剖结果

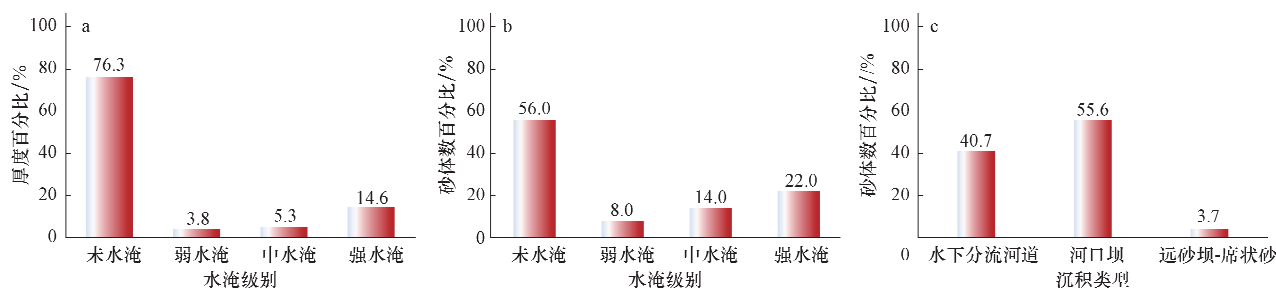
Fig. 3 Detail of the monogenetic sand of the 8th sublayer in $E_3d_2^L$ of Oilfield Z

图4 Z油田东二下亚段水淹特征统计

Fig. 4 Watered-out features of $E_3d_2^L$ in Oilfield Z

a. 水淹砂体厚度与水淹级别关系; b. 水淹砂体个数与水淹级别关系; c. 水淹砂体个数与沉积类型关系

研究区内单成因砂体之间的注采对应关系开展研究。研究认为具有一定注采对应关系的单成因砂体之间,发育4种类型砂体组合关系(图5),包括河口坝砂体注水-河口坝砂体采油、水下分流河道砂体注水-河口坝砂体采油、河口坝砂体注水-水下分流河道砂体采油、水下分流河道砂体注水-水下分流河道砂体采油。通过分析4种类型的油水运动规律,认为在单层内部,不同类型单砂体的平面组合样式导致储层质量的横向差异,继而影响着水驱的优势方向。

1) 河口坝砂体水淹部位多样化

当采油井为河口坝砂体、注水井位于同一个河口坝或者相邻的水下分流河道砂体时,二者连通关系较好;若注水井位于相邻河口坝砂体时,二者连通关系较差(图5)。

注采连通的河口坝砂体由于垂向上呈反韵律或者均质韵律,油水运动主要受顶部高渗向上运动和重力向下运动双重影响,水淹样式以全部水淹和底部水淹为主,偶见顶部水淹。

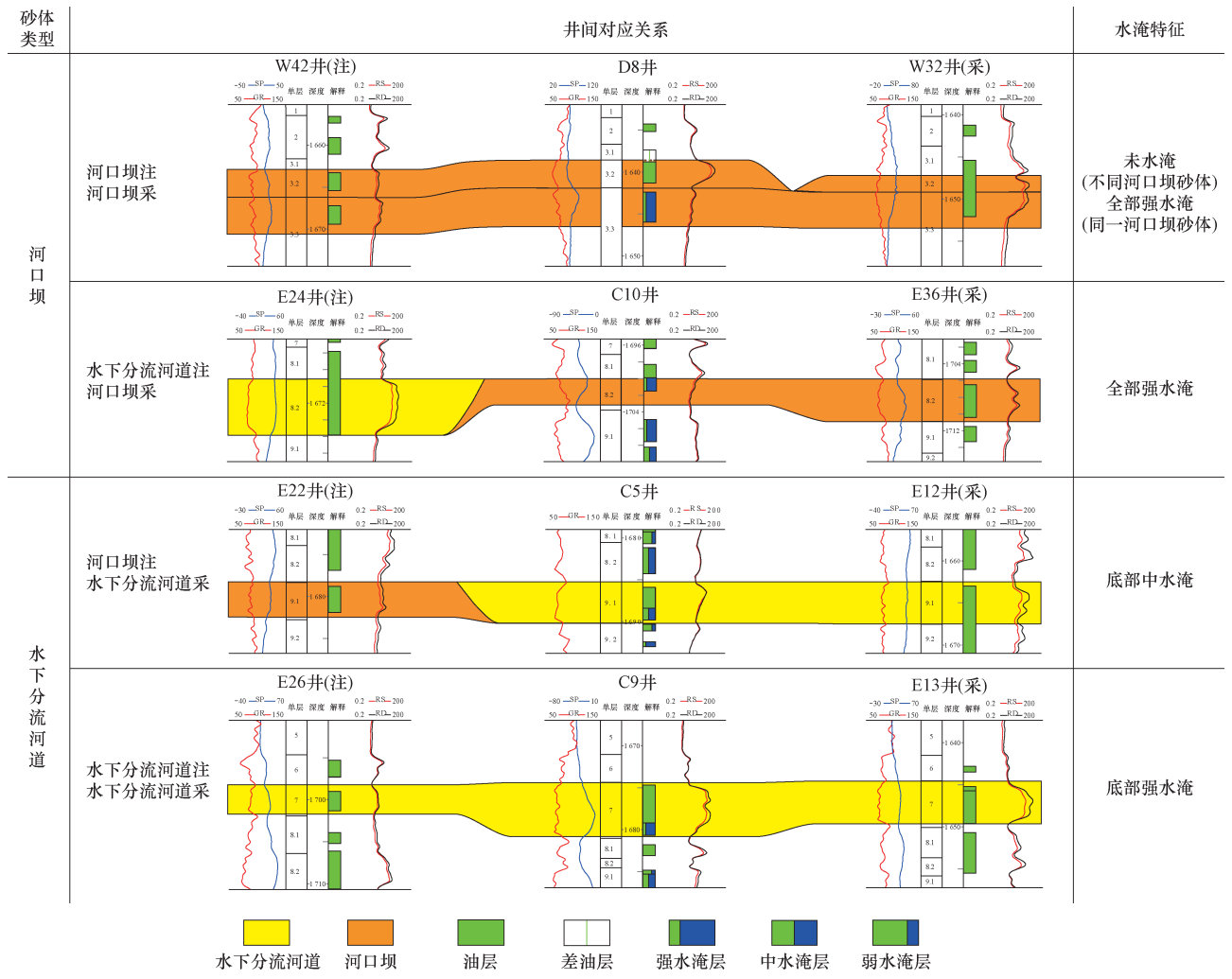


图 5 Z 油田东二下段单成因砂体水淹规律

Fig. 5 Watered-out pattern of monogenetic sand in E₃d₂^L of Oilfield Z

顶部水淹型一般为反韵律河口坝砂体,顶部渗透率大于 $3\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,级差大于 10,注入水主要进入顶部高渗带。

底部水淹型一般为相对均质或者级差较小的河口坝砂体,一般级差小于 10,渗透率大于 $1\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,重力在水驱油过程中起到了决定性作用,导致砂体下部水淹严重。

2) 水下分流河道砂体以底部水淹为主

当采油井为水下分流河道砂体、注水井是水下分流河道砂体或河口坝砂体时,由于水下分流河道砂体垂向上为正韵律,底部物性好,在重力作用下,注入水优先向下流动,使砂体底部强水淹(图 5)。水下分流河道砂体底部水淹占水下分流河道水淹层的 95% 以上。

另外,由于水下分流河道和河口坝在沉积过程中不断迁移叠加,使砂体相互叠置切割,造成多种叠置

样式,根据构型解剖结果表明,砂体垂向叠置样式中最常见的就是“河道在坝上走”,河道底部与河口坝顶部接触,砂体物性好,易强水淹,可形成中部强水淹样式。

综合以上研究认为,水下分流河道、河口坝砂体储层质量好,在一定注采对应关系条件下,易发生水淹。水下分流河道砂体一般为底部水淹,顶部表现为未水淹,形成大量剩余油富集,可采用水平井挖潜策略,释放油井潜能、充分挖掘井间潜力,提高开发效率。河口坝砂体受韵律性及储层质量的影响,水淹样式多样化,在无对应注采关系的砂体边部易形成剩余油的富集,可作为油田另一挖潜方向,利用定向井挖潜策略,提高边部储量动用程度;在研究区无对应注采关系的河口坝砂体边部部署了 1 口调整井,实钻结果表明该井含油层段未水淹,且投产初期未含水,证实砂体边部剩余油富集。

4 结论

1) 通过单成因砂体识别与划分,认为Z油田发育泥质夹层、含砾砂岩层、钙质夹层等3种垂向分期识别标志,以及曲线形态差异、岩性差异、厚度差异、水淹特征差异等4种侧向划界识别标志。

2) 通过对部分密井网区域具有典型厚度变化趋势的单砂体厚度数据统计,认为不同井之间砂体厚度变化与井间砂体顶面角度二者之间呈较好的对数相关性,能够得到单一砂体尖灭点的定量化认识。

3) Z油田东二下亚段主要发育单一水下分流河道、单一河口坝砂体,其储层质量差异是影响湖相三角洲类型油田剩余油分布的主要因素。

4) 水下分流河道砂体一般为底部水淹,利用水平井挖潜顶部大量剩余油;河口坝砂体受韵律性及储层质量的影响,水淹样式多样化,利用定向井挖潜河口坝砂体边部剩余油。利用构型单元之间的油水运动规律,可以有效指导油田挖潜井的部署和实施。

参考文献

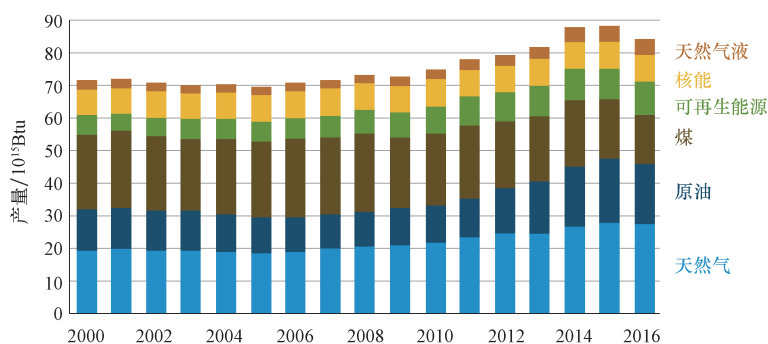
- [1] Allen J R L. The plan shape of current ripples in relation to flow conditions[J]. *Sedimentology*, 1977, 24(1): 53–62.
- [2] Miall A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. *Earth Science Review*, 1985, 22(2): 261–308.
- [3] Miall A D. The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology[M]. New York: Springer-Verlag, 1996: 74–98.
- [4] 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.
- [5] 张昌民. 储层研究中的层次分析法[J]. *石油与天然气地质*, 1992, 13(3): 344–350.
Zhang Changmin. Hierarchy analysis in reservoir researches[J]. *Oil & Gas Geology*, 1992, 13(3): 344–350.
- [6] 岳大力, 吴胜和, 刘建民. 曲流河点坝地下储层构型精细解剖方法[J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 99–103.
Yue Dali, Wu Shenghe, Liu Jianmin. An accurate method for anatomizing architecture of subsurface reservoir in point bar of meandering river[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(4): 99–103.
- [7] 温立峰, 吴胜和, 王延忠, 等. 河控三角洲河口坝地下储层构型精细解剖方法[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2011, 42(4): 1072–1078.
Wen Lifeng, Wu Shenghe, Wang Yanzhong, et al. An accurate method for anatomizing architecture of subsurface reservoir in mouth bar of fluvial dominated delta[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2011, 42(4): 1072–1078.
- [8] 尹太举, 张昌民, 樊中海, 等. 地下储层建筑结构预测模型的建立[J]. *西安石油学院学报: 自然科学版*, 2002, 17(3): 7–10.
Yin Taiju, Zhang Changmin, Fan Zhonghai, et al. Establishment of the prediction models of reservoir architectural elements[J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition)*, 2002, 17(3): 7–10.
- [9] 陈彬滔, 于兴河, 王天奇, 等. 砂质辫状河岩相与构型特征——以山西大同盆地中侏罗统云冈组露头为例[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(1): 111–117.
Chen Bintaoy, Yu Xinghe, Wang Tianqi, et al. Lithofacies and architectural characteristics of sandy braided river deposits: a case from outcrops of the Middle Jurassic Yungang Formation in the Datong Basin, Shanxi province[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1): 111–117.
- [10] 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.
- [11] 张友, 侯加根, 曹彦清, 等. 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[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(5): 862–872.
Zhang You, Hou Jiagen, Cao Yanqing, et al. 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 Shehejie Formation in Shenger Block of Shengtuo oilfield, East China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(5): 862–872.
- [12] 秦国省, 吴胜和, 郑联勇, 等. 基于沉积过程的三角洲前缘河口坝储层构型精细分析——以老君庙油田L₁¹小层为例[J]. *岩性油气藏*, 2015, 27(6): 55–63.
Qin Guosheng, Wu Shenghe, Zheng Lianying, et al. Detailed architecture analysis of mouth bar in delta front based on sedimentary process: A case study of L₁¹ layer in Laojunmiao Oilfield[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2015, 27(6): 55–63.
- [13] 李少华, 胡晓玲, 王军, 等. 单一河口坝砂体规模的定量表征[J]. *岩性油气藏*, 2015, 27(5): 1–5.
Li Shaohua, Hu Xiaoling, Wang Jun, et al. Quantitative characterization of single mouth bar[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2015, 27(5): 1–5.
- [14] 卢虎胜, 林承焰, 程奇, 等. 东营凹陷永安镇油田沙二段三角洲相储层构型及剩余油分布[J]. *东北石油大学学报*, 2013, 37(3): 40–47.
Lu Husheng, Lin Chengyan, Cheng Qi, et al. Deltaic reservoir architecture and remaining oil distribution study of Es₂ member in Yonganzhen oilfield, Dongying sag[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2013, 37(3): 40–47.
- [15] 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.
- [16] 赵小庆, 鲍志东, 刘宗飞, 等. 河控三角洲水下分流河道砂体储集层构型精细分析[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(2): 181–186.
Zhao Xiaoping, Bao Zhidong, Liu Zongfei, et al. An in-depth analysis

- of reservoir architecture of underwater distributary channel sand bodies in a river dominated delta: A case study of T51 Block, Fuyu Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(2): 181-186.
- [17] 赵翰卿. 储层非均质体系、砂体内部建筑结构和流动单元研究思路探讨[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 16-18.
Zhao Hanqing. Approach to the study thinking about reservoir heterogeneous system, sand-body internal construction structure and flow Unit[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2002, 21(6): 16-18.
- [18] 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.
- [19] 岳大力, 吴胜和, 程会明, 等. 基于三维储层构型模型的油藏数值模拟及剩余油分布模式[J]. 中国石油大学学报, 2008, 32(2): 21-27.
Yue Dali, Wu Shenghe, Cheng Huiming, et al. Numerical reservoir simulation and remaining oil distribution patterns based on 3D reservoir architecture model[J]. Journal of China University of Petroleum, 2008, 32(2): 21-27.
- [20] 印森林, 陈恭洋, 戴春明, 等. 河口坝内部储层构型及剩余油分布特征——以大港油田枣南断块长轴缓坡辫状河三角洲为例[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(4): 630-639.
Yin Senlin, Chen Gongyang, Dai Chunming, et al. Reservoir architecture and remaining oil distribution in mouth bar—A case study on the braided delta of long-axis gentle slope in Zaonan fault block of Dagang Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(4): 630-639.
- [21] 韩雪芳, 颜冠山, 刘宗宾, 等. 三角洲前缘水下分流河道及河口坝储层构型研究——以 J 油田东二下段为例[J]. 复杂油气藏, 2016, 9(4): 37-41.
Reservoir architecture analysis of underwater distributary channel and mouth bar in delta front: E₃d₂^L in J oilfield taken as an example[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2016, 9(4): 37-41.
- [22] 丁克文, 吴锡安. 锦州 9-3 油田地质评价及储量计算的几点做法[J]. 中国海上油气, 1991, 5(2): 41-46.
Ding Kewen, Wu Xi'an. JZ9-3 field geologic assessment & reserves calculation[J]. China Offshore Oil & Gas, 1991, 5(2): 41-46.

(编辑 张亚雄)

2016 年美国一次能源产量变化

据美国能源信息署(EIA)报道,2016年美国一次能源产量 84.1×10^{15} Btu(英热单位),比2015年下降4%,这是自2009年以来连续6年增长后的首次下降(见下图)。与2015年比较,2016年化石燃料产量下降7%。能源产量下降主要有由于煤炭产量下降所致,煤炭产量下降了18%,下降到1978年以来的最低水平。石油和天然气产量分别下降了5%和2%。但是可再生能源产量却增长了7%,其中风能增长几乎占可再生能源增长的一半,太阳能和水电增长分别约占可再生能源增长的1/4。



2000—2016 年美国一次能源产量变化(资料来源:EIA, 2017)

(供稿 周庆凡)