

文章编号:0253-9985(2012)01-0077-07

三角洲平原复合分流河道内部单砂体划分 ——以扶余油田中区南部泉头组四段为例

封从军^{1,2}, 鲍志东^{1,2}, 单启铜³, 孙萌思⁴, 于世岩⁵, 段宏臻⁶

(1. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;
3. 中国石油 东方地球物理公司 国际勘探事业部, 河北 涿州 072751; 4. 中国石油 东方地球物理公司
信息技术中心数据技术部, 北京 100007; 5. 中国石油 吉林油田分公司 勘探开发研究院, 吉林 松原 138000;
6. 中国石油 测井有限公司 青海事业部, 甘肃 敦煌 736202)

摘要:以扶余油田中区南部泉头组四段为例,在沉积微相研究的基础上,综合应用岩心、测井、动态等资料,对三角洲平原复合分流河道内部的单砂体进行系统识别。研究表明,研究区泉头组四段发育大面积连片状、条带状的多成因复合分流河道砂体。在单砂体精细解剖的基础上,发现该区单砂体主要包括多层式、叠加式、多边形、单边式、对接式、孤立式六种叠置关系,识别出单砂体垂向分期、横向分界的8种测井相标志。采用研究区密井网小井距资料建立了单砂体宽厚比定量预测模式,以此为指导,在研究区泉头组四段5—10小层内共识别出44个低弯度曲流型单砂体。这些单砂体在平面上主要呈西南—东北方向条带状展布,宽度介于150~500 m,厚度介于2~8 m,宽/厚比介于40~100。最后,通过多组示踪剂分析测试资料,验证了单砂体划分的合理性。

关键词:单砂体;分流河道;废弃河道;三角洲平原;泉头组;扶余油田

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Single sand body identification in compound distributary channel of delta plain: a case study from the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield

Feng Congjun^{1,2}, Bao Zhidong^{1,2}, Shan Qitong³, Sun Mengsi⁴, Yu Shiyan⁵ and Duan Hongzhen⁶

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
3. International Exploration Department, CNPC Bureau of Geophysical Prospecting, Zhuozhou, Hebei 072751, China;
4. Data Technology Department of Information Technology Center, CNPC Bureau of Geophysical Prospecting, Beijing 100007, Hebei 072751, China; 5. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan, Jilin 138000, China; 6. Qinghai Business Division, CNPC Logging, Dunhuang, Gansu 736202, China)

Abstract: Taking the fourth member of Quantou Formation (K_1q^4) in the southern part of central Fuyu oilfield as an example, we systematically identified single sand bodies in the compound distributary channels of delta plain based on study of sedimentary microfacies with integrating various data including cores, well logging and production performance. The results show that K_1q^4 has well-developed large interconnected and banded compound distributary channel sand bodies of various origins in the study area. Detail characterization of single sand bodies reveals that there are 6 main superposition patterns, including multi-layers, overlapping, multi-boundaries, single-boundary, juxtaposition and isolation. Moreover, 8 types of logging-facies marks of single sand bodies are identified for vertical timing and lateral boundary identification. The dense well pattern and small well spacing data in the study area are used to establish a quantitative prediction model for the width-thickness ratio of single sand

收稿日期:2011-05-12; 修订日期:2011-11-16。

第一作者简介:封从军(1981—),男,博士研究生,沉积学及储层地质学。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05030-005-01)。

bodies. By using this model, totally 44 single sand bodies of low sinuous meandering type are recognized in the 5th to 10th layers of K_1q^4 . These single sand bodies show a SW-NE trending banded distribution with a width of 150–500 meters, a thickness of 2–8 meters, and a width-thickness ratio of 40–100. Tracer test results prove the accuracy of single sand body identification.

Key words: single sand body, distributary channel, abandoned channel, delta plain, Quantou Formation, Fuyu oilfield

我国东部大多数河流-三角洲相老油田,经过多年的注水开发,已进入高含水开发阶段^[1],剩余油分布情况十分复杂,呈高度分散状态。基于小层精度的常规储层研究已经难以满足油田生产需要,研究重心以由小层为基本单元深入至以复合河道砂体内部单砂体为基本单元。单砂体是指自身垂向上和平面上都连续,但与上、下砂体间有泥岩或不渗透夹层分隔的砂体^[2]。不同的单砂体在粒度、分选、杂基含量等方面存在较大差异,而且单砂体之间经常存在较薄的泥岩、泥质粉砂岩或泥质细砂岩隔夹层,导致单砂体之间不连通,从而使复合河道砂体含油不均匀^[3],使得储集层非均质性愈加严重,增加了老油田剩余油挖潜工作的难度。为此,针对扶余油田中区南部区块泉头组四段开发过程中存在的实际问题,本次研究以等时地层格架为前提,在沉积时间单元划分和密井网资料统计的基础上,总结了复合分流河道砂体成因模式及单砂体间的六种叠置关系,依据单砂体的垂向和平面识别标志,应用密井网统计数据拟合的单砂体宽厚比定量模式,开展复合分流河道内部单砂体识别工作,并以此指导全油田尤其是稀井网区的单砂体识别工作,为老油田寻找剩余油,增储上产奠定基础。

1 研究区概况

扶余油田位于吉林省松原市境内,构造较为平缓,地层倾角为4°左右,地面平均海拔高度约为150 m。研究区位于扶余油田中区南部,含油面积约5.5 km²,共有830口井,平均井距为100 m,地质储量约1150×10⁴ t,综合含水86.5%,可采储量采出程度55.2%。断层以南北和北东-南西走向为主,断裂系统复杂。油藏埋深浅,一般为250~500 m,平均为430 m,是以构造控制为主的中孔、中高渗多层状细、粉砂岩油藏,油层多分布在构造高点处。主要发育扶余、杨大城子两套含油层系,

前者属于浅水三角洲相沉积,分布广泛;后者属于陆相曲流河沉积,局部发育。泉头组四段扶余油层是本文研究的目的层位,共分为4个砂组,13个小层,小层平均厚度约7.3 m;岩性以细、粉砂岩为主,横向上岩性变化大,且多为正韵律地层,油层物性差异较大,平均孔隙度为24.1%,平均渗透率为180×10⁻³ μm²。油层平面、层间、层内非均质性严重,水驱效果较差,虽然含油面积、地质储量大,但由于油田地质条件复杂,油水分布规律性差,且在开发过程中受裂缝和储层低渗透的影响,因而给开发带来很大难度。

2 储层划分

无论是以“旋回对比、分级控制”为指导的传统地层对比技术^[4-5],还是以“层序地层学、高分辨率层序地层学”理论为指导的地层对比技术^[6-9],以及“沉积与层序地层相结合”的储集层精细对比技术,都体现了地层层次划分和对比的基本原理与技术思路。为了适应油田不同开发阶段的需要,储集层的研究应该分级别分阶段进行,根据储层建筑结构层次分析的原理及油田不同开发阶段的研究重点^[10-11],结合扶余油田的实际情况,将泉头组四段储层划分6个级次(表1)。

3 单砂体识别

3.1 复合分流河道砂体成因

研究区泉头组四段5—10小层属于浅水三角洲平原沉积,砂体主要为连片状、条带状的复合分流河道砂体。该类砂体是由于平面上同一分流河道频繁摆动或垂向上多条单一河道互相切叠而成^[12](图1)。由于不同期次砂体之间叠置关系及连通方式的复杂性,使得复合分流河道砂体具有很强的非均质性,因此必须开展复合分流河道内部单砂体解剖工作。复合分流河道划分遵循以下两个原则:

表 1 扶余油田泉头组四段三角洲相储层层次划分

Table 1 Subdivision of delta facies Reservoirs in the fourth member of Quantou Formation in Fuyu oilfield

级次	名称	地质特征	适用阶段
I	砂层组	异类成因砂体大型复合连通体级	油藏评价、开发方案实施初期
II	小层	同类成因单砂体复合体级	油藏开发方案实施中期
III	单砂体	成因单砂体级	油藏开发方案调整
IV	成因砂体	单砂体内结构体级	高含水期开发方案二、三次调整
VI	沉积韵律	岩性-物性单元体级	高含水期及三采
VII	层理	储层微观单元体级	微观驱油及渗流特征研究

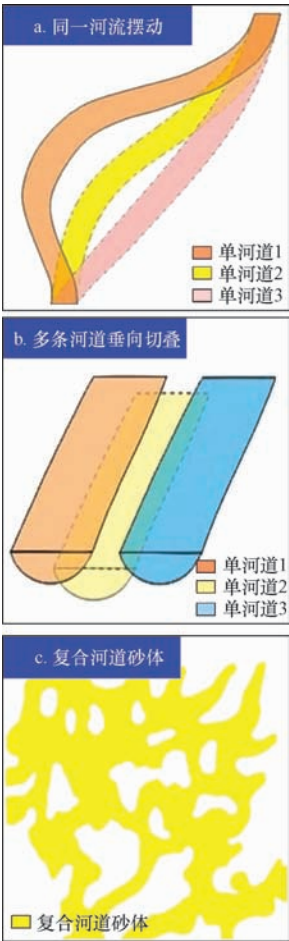


图 1 扶余油田中区南部泉头组四段复合分流河道砂体成因示意图

Fig. 1 Sketch map showing the genesis of compound distributary channel sand bodies in the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield

1) 密井网条件下,相邻两口井微相类型相同,则井间按该相类型处理,如果相类型不同,则存在相变,相变点位置设置在两口井之间,且确定该位置时,应考虑砂体的厚度;

2) 复合分流河道的划分主要考虑该区的主要储层微相类型及骨架砂体,即三角洲平原的分流河道微相,其它微相则只作为辅助条件,同时要考虑物源方向及水流方向,沿物源方向不同井点

河道分流河道微相,可连成同一个分流河道砂体。

3.2 单砂体叠置关系

通过对研究区扶余油层近 800 口井单砂体解剖发现,该区 5—10 小层三角洲平原分流河道单砂体叠置关系主要为多层式、叠加式、多边式、单边式、对接式、孤立式 6 种模式(图 2);并且分析发现,随着湖平面的不断升高及可容纳空间/沉积物补给通量比值(A/S)不断增大,单砂体间叠置关系由多层式向孤立式过渡发展,且砂体间的连通性逐渐变差。

3.3 单砂体识别标志

分流河道砂体是研究区三角洲平原储层的骨架砂体,具有比较复杂的空间结构。平面上大面积分布的厚油层,往往是有众多的单砂体复合而成。不同单砂体之间由于其连通方式的复杂性及其自身质量的差异性造成储层复杂的非均质性。单砂体的识别是表征分流河道砂体宏观非均质性的基础。复合分流河道砂体划分的关键是确定不同单砂体的垂向及边界标志。通过对该区单砂体深入解剖,共总结了单砂体识别的 2 个垂向分期标志和 6 个平面分界标志。

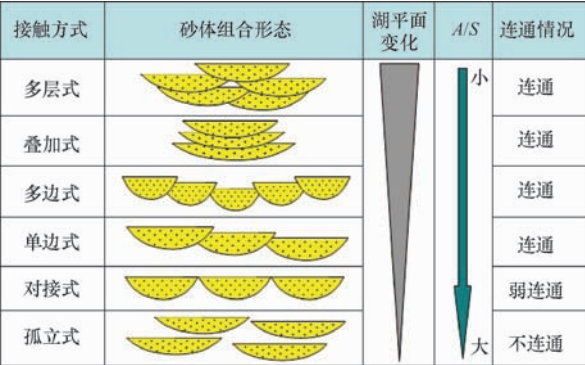


图 2 扶余油田中区南部泉头组四段单砂体叠置模式

Fig. 2 Superimposition modes of single sand bodies in the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield

3.3.1 垂向分期标志

1) 泥质沉积间断面

多期分流河道沉积砂岩中泥质夹层代表了一期分流河道沉积结束到下期分流河道沉积开始之间短暂的细粒物质沉积^[13]。这种泥质夹层是识别两期分流河流沉积的重要标志,测井曲线上表现为自然电位、自然伽马曲线明显回返,电阻率曲线低值,并且微电位与微梯度曲线基本重合(图 3a)。

2) 钙质沉积间断面

钙质夹层形成于浅水、蒸发环境中,尤其是复合砂岩中部含钙,代表原分流河道水体不流畅,长期处于浅水蒸发环境,形成钙质层,当后期洪水到来时,原废弃分流河道再次复活,形成新的浅河道,带来砂质沉积覆盖在钙质层上。因此,砂岩中部钙质夹层是鉴别两期分流河道沉积的重要标志,电阻率曲线常呈现尖峰状(图 3b)。

3.3.2 平面分界标志

1) 废弃河道

废弃河道代表一次性河流沉积作用的改道,是单一河道砂体边界的重要标志,电测曲线特征为底部指状、上部平直(图 4a)。

2) 河间沉积

侧向叠加的河道之间总要出现分叉,留下河间沉积物的踪迹,沿河道纵向上不连续分布的河间砂体是不同河道分界的标志(图 4b)。

3) 高程差异

受河流改道或废弃时间差异的影响,不同期次的分流河道其满岸沉积的砂体顶面位置的高度

有所差异,可以作为分界标志(图 4c)。

4) 厚度差异

不同河道分流能力受到多种因素的影响,造成沉积砂体在厚度上的差异,这种较大的差异就是不同河道单元的指示(图 4d)。

5) 侧向叠加

晚期沉积的河道砂体会对早期沉积砂体进行切割,从而导致两期河道的侧向叠加。可以作为两期单河道边界的标志(图 4e)。

6) 厚-薄-厚

两期河道侧向叠加会出现河道砂体由厚变薄再变厚的情况,一般指示另一期河道的开始,而不是前一期河道的延续(图 4f)。

3.4 单砂体参数定量研究

对古代三角洲砂体露头的观察和现代三角洲研究结果表明,河流的宽度和深度存在一定的定量关系^[14-15],因此对研究区三角洲平原密井网小井距区单砂体的厚度及其对应的宽度进行了统计,得到了 118 个统计数据点,发现密井网小井距区单砂体宽度一般分布在 150~500m 之间。并对该组数据进行单砂体宽/厚比公式拟合(图 5),得出适合研究区的单砂体宽/厚比拟和关系式:

$$W = 2.2426 \ln h - 7.9387 \quad (1)$$

式中: W 为单砂体宽度, m; h 为单砂体厚度, m; 相关系数 $R = 0.6697$ 。

根据该拟合公式,在知道单砂体厚度 h (可在单井上读出该值)的情况下,可以计算出单砂体宽度 W ,初步预测单砂体的规模,同时对于稀疏井区单砂体的刻画工作以及识别单砂体边界位置具有指导意义。

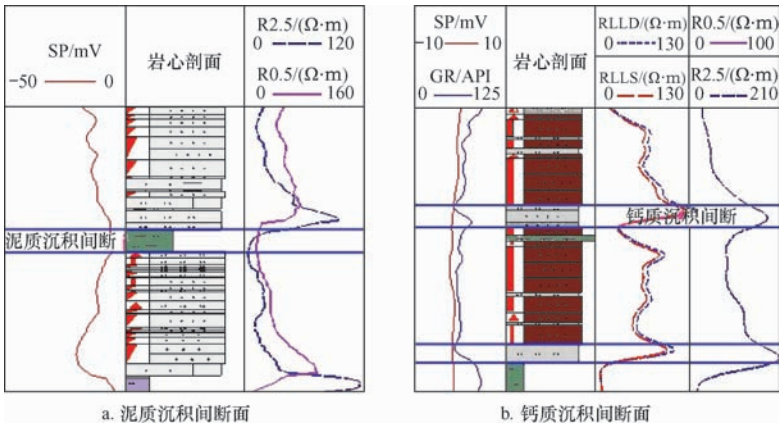


图 3 扶余油田中区南部泉头组四段单砂体垂向分期标志

Fig. 3 Vertical timing marks of single sand bodies in the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield

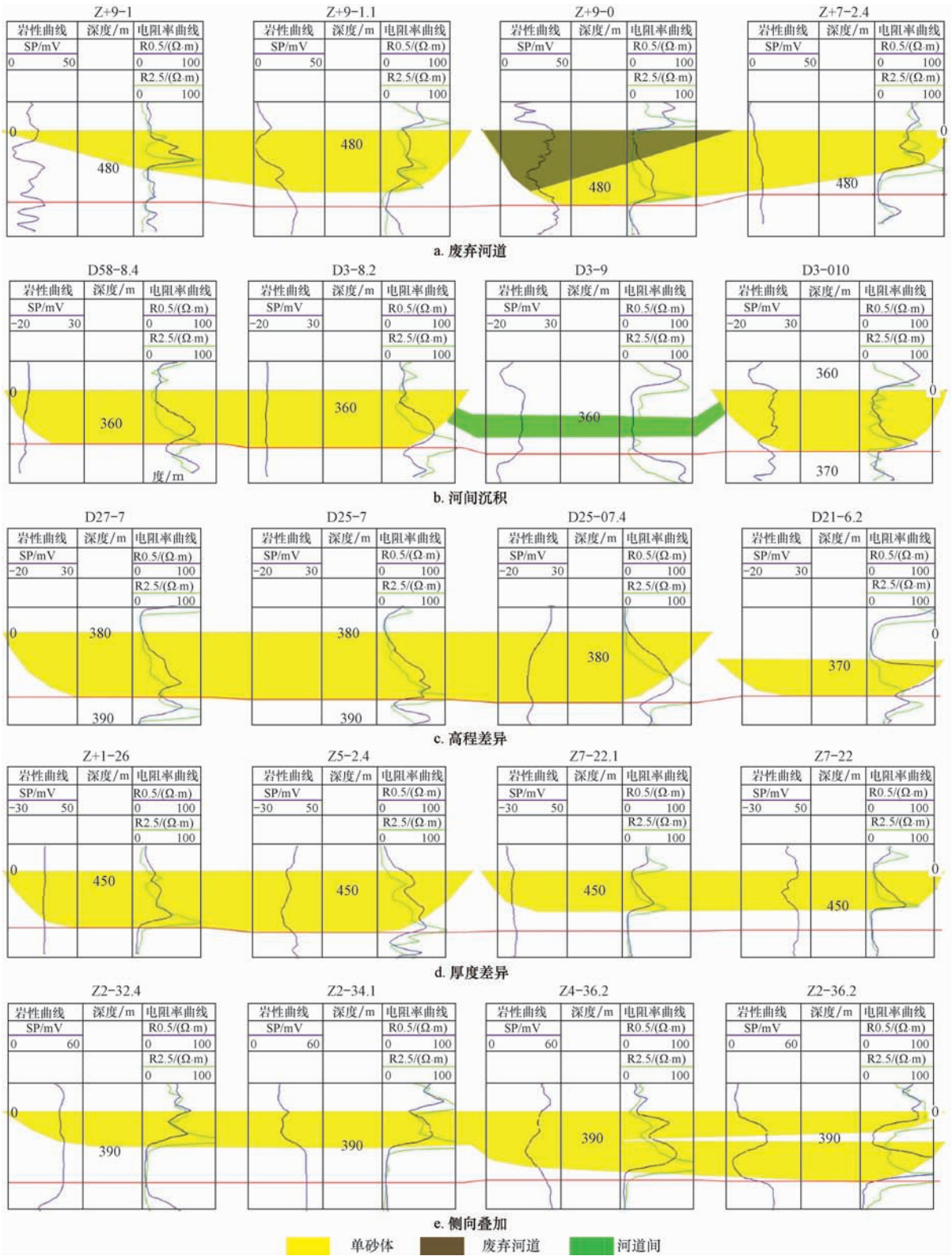
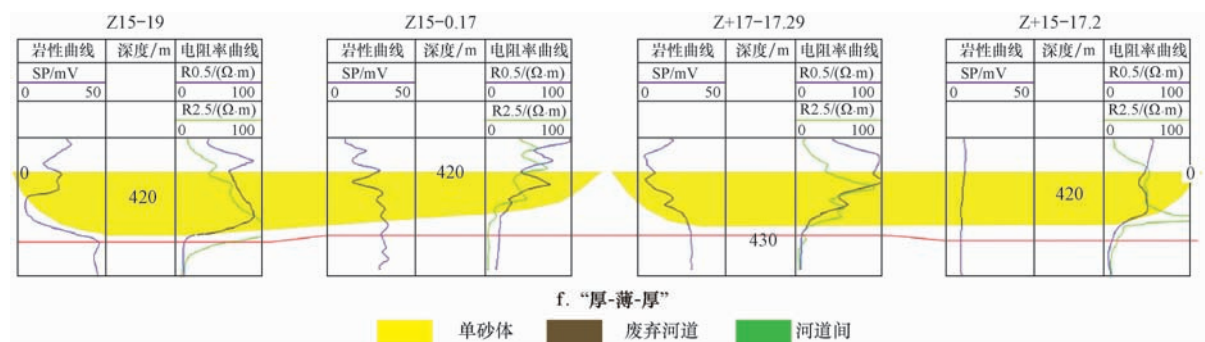


图4 扶余油田中区南部泉头组四段单砂体平面识别标志

Fig.4 Plane identification marks of single sand bodies in the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield



续图 4 扶余油田中区南部泉头组四段单砂体平面识别标志

Fig. 4(continued) Plane identification marks of single sand bodies in the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield

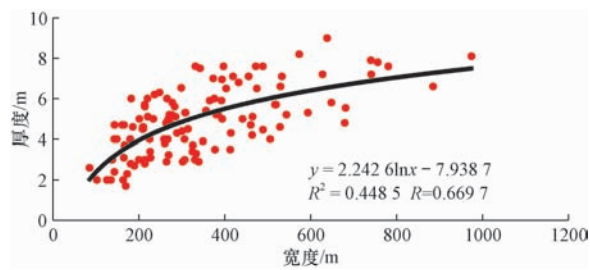


图 5 扶余油田中区南部泉头组四段三角洲平原单砂体宽/厚比定量预测模式

Fig. 5 Quantitative prediction model of the width-thickness ratio of single sand bodies of delta plain in the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield

3.5 研究区单砂体划分

扶余油田中区南部三角洲平原亚相分流河道微相十分发育,河道砂体全区广布,并相互切割、叠加形成大面积的连片状、条带状复合分流河道砂体。针对研究区单砂体多期叠置的特点,以单砂体叠置的 6 种模式为指导,应用单砂体垂向分期的两种识别标志,在垂向上划分不同期次的单砂体;其次,在单砂体定量模式指导下,垂直河道方向拉对比剖面,应用单砂体平面边界识别的 6 种标志,在连井剖面上识别单砂体边界,并对单砂体边界点进行合理组合;最后,将单砂体边界线投影在平面上,在沉积模式指导下,分别编制各单砂体的平面分布图。

应用该研究思路,在研究区 5—10 小层内共识别出 44 个低弯度曲流型单砂体,单砂体平面上主要呈西南—东北方向条带状展布(图 6)。统计结果表明,研究区三角洲平原单砂体宽度主要介于 150~500 m 之间,厚度主要介于 2~8 m 之间;宽厚比主要介于 40~100。

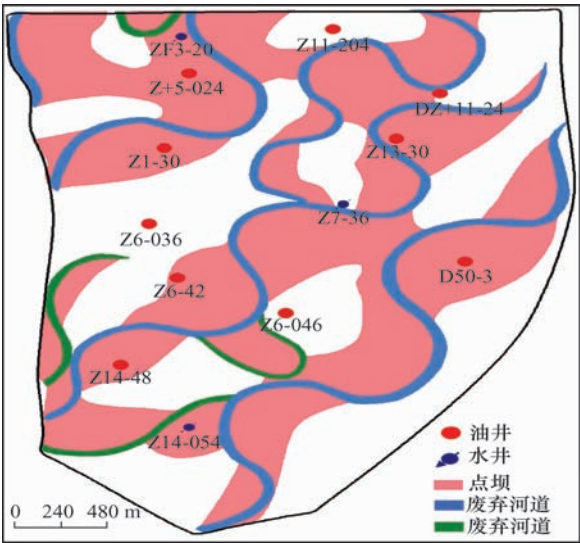


图 6 扶余油田中区南部泉头组四段第 7 小层内单砂体平面分布

Fig. 6 Plane distribution map of single sand bodies in the 7th layer of the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield

3.6 单砂体划分成果检验

为了验证复合分流河道内部单砂体划分的合理性,提高对复合分流河道砂体间连通关系的认识程度,总结了工区内 8 组试踪剂分析测试资料,用来检验划分的单砂体的连通性及分隔性。例如,研究区内的 D12-05.4 井是注水井,D+10-05 井、D+12-04 井是采油井,对 D12-05.4 井注示踪剂后,在 D+10-05 井和 D+12-04 井中都能检测到示踪剂,说明这三口井所在的砂体是互相连通的,与实际的单砂体划分结果一致,验证了单砂体划分方法的合理性。

4 结论

1) 针对研究区复合分流河道砂体大面积连片状、条带状分布的特点,以总结的 6 种单砂体叠置模式为基础,利用密井网小井距资料拟合的单砂体宽/厚比定量预测模式为指导,应用单砂体垂向分期、平面分界的 8 种识别标志,在研究区泉头组四段 5—10 小层内刻划不同期次的单砂体,并在沉积模式指导下,分别编制各单砂体的平面分布图。

2) 研究区 5—10 小层内共识别出 44 个低弯度曲流型单砂体,单砂体在平面上主要呈西南—东北方向条带状展布,宽度主要介于 150 ~ 500 m 之间,厚度主要介于 2 ~ 8 m 之间,宽厚比主要介于 40 ~ 100;最后,通过多组示踪剂分析测试资料,验证了单砂体划分的合理性。

参 考 文 献

[1] 李阳,王端平,刘建民. 陆相水驱油藏剩余油富集区研究[J]. 石油勘探与开发,2005,32(3):91-95.
Li Yang, Wang Duanping, Liu Jianmin. Remaining oil enrichment areas in continental water flooding reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 91-95.

[2] 张庆国,鲍志东,宋新民,等. 扶余油田扶余油层储集层单砂体划分及成因分析[J]. 石油勘探与开发,2008,35(2):157-163.
Zhang Qingguo, Bao Zhidong, Song Xinmin, et. al. Hierarchical division and origin of single sand bodies in Fuyu oil layer, Fuyu Oilfield[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 157-163.

[3] 金振奎,时晓章,何苗. 单河道砂体的识别方法[J]. 新疆石油地质,2010,3(6):572-575.
Jin Zhenkui, Shi Xiaozhang, He Miao. Identification methods for mingle-channel sand body[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 3(6): 572-575.

[4] 李军,宋新民,薛培华,等. 扶余油田杨大城子组曲流河相油藏单砂体层次细分及成因[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):119-125.
Li Jun, Song Xinmin, Xue Peihua, et al. Hierarchical subdivision and origin of single sandbody in the reservoirs of meandering river facies in the Yangdachengzi Formation of Fuyu oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 119-125.

[5] 张顺,崔坤宁,张晨晨,等. 松辽盆地泉头组三、四段河流相储层岩性油藏控制因素及分布规律[J]. 石油与天然气地质,2011,319(3):411-419,429.
Zhang Shun, Cui Kunning, Zhang Chenchen, et al. Controlling factors and distribution patterns of lithologic pools in the fluvial facies of the 3rd and 4th members of the Quantou Formation in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3):

411-419,429.

[6] Cross T A. Stratigraphic architecture, correlation concepts, volumetric partitioning, facies differentiation, and reservoir compartmentalization from the perspective of high-resolution sequence stratigraphy // Research Report of the Genetic Stratigraphy Research Group [A]. DGGECMS, 1994. 28-41

[7] 崔永谦,秦凤启,卢永和,等. 河流相沉积储层地震精细预测方法研究与应用-以渤海湾盆地冀中坳陷古近系河道砂为例[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):668-672.
Cui Yongqian, Qin Fengqi, Lu Yonghe, et al. Research and application of detailed seismic prediction in fluvial reservoirs-an example from the palaeogene channel sand in the Jizhong Depression, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 668-672.

[8] 邓宏文. 高分辨率层序地层学—原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002.

[9] 贾承造,赵文智,邹才能,等. 岩性地层油气藏地质理论与勘探技术[J]. 石油勘探与开发,2007,34(3):257-272.
Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Geological theory and exploration technology for lithostratigraphic hydrocarbon reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 257-272.

[10] 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.

[11] 王振奇,张昌民,张尚锋. 油气储层的层次划分和对比技术[J]. 石油与天然气地质,2002,23(1):70-75.
Wang Zhenqi, Zhang Changmin, Zhang Shangfeng. Correlation technique and hierarchu division of oil-gas reservoir[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 70-75.

[12] 渠芳,陈清华,连承波. 河流相储层细分对比方法探讨[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2008,23(1):17-21.
Qu Fang, Chen Qinghua, Lian Chengbo, Discussion on the method for the subdivision and comparison of fluvial reservoir[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2008, 23(1): 17-21.

[13] 林博,戴俊生,陆先亮,等. 孤岛油田中一区馆 5 段隔夹层划分与展布[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(4):11-14.
Lin Bo, Dai Junsheng, Lu Xianliang, et. al. Division and distribution of the barrier beds and interbeds in Guantao-5member of Zhongyi area, Gudao Oilfield[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2006, 21(4): 11-14.

[14] Leeder M R. Fluvatile fining upwards cycles and the magnitude of paleochannels[J]. Geological Magazine, 1973, 110(3): 265-276.

[15] Lorenz J C, Heinze D M, Clark J A, et al. Determination of width of meander-belt sandstone reservoirs f rom vertical down-hole data, Mesaverde Group, Piceance Greek Basin, Colorado [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(2): 710-721.