

王官屯油田官195断块扇三角洲储层构型表征

张翔宇^{1,2}, 侯加根^{1,2*}, 李春晓³, 刘钰铭^{1,2}, 刘 焯^{1,2}, 季 岭⁴

(1. 中国石油大学(北京) 地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 美国北达科他大学 石油工程学院, 美国 北达科他州 58203; 4. 中国石油大港油田分公司 第三采油厂, 河北 沧州 061023)

摘要: 扇三角洲沉积体系广泛发育于中国多个断陷盆地中, 作为一类重要的油气储层, 其内部的构型表征对高含水期的剩余油分布预测具有重要的指导意义。以王官屯油田官195断块孔店组枣V油组为例, 结合岩心、测井数据和动态资料进行扇三角洲前缘储层的构型定量表征研究。官195断块扇三角洲前缘储层构型要素包括水下分流河道、河口坝、席状砂和水下分流河道间。建立了扇三角洲前缘构型级次划分方案, 确立了水下分流河道、河口坝以及河口坝内部增生体间夹层的识别标志。以单砂层为研究单位, 利用滦平盆地西瓜园组扇三角洲野外露头实测原型进行数据拟合, 得出研究区水下分流河道和河口坝定量化表征的预测公式, 计算河口坝内部夹层倾角, 预测内部增生体的发育规模。单一成因砂体控制的剩余油分布于坝缘部位和河道顶部, 夹层控制的剩余油分布需根据坝主体的韵律进行具体分析。

关键词: 扇三角洲 储层构型 级次划分 定量表征 官195断块

中图分类号: TE112.221

文献标识码: A

Reservoir architectural analysis of fan delta in the faulted block Guan195 of Wangguantun Oilfield

ZHANG Xiangyu^{1,2}, HOU Jiagen^{1,2}, LI Chunxiao³, LIU Yuming^{1,2}, LIU Ye^{1,2}, JI Ling⁴

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing City, 102249, China; 2. State Key Laboratory for Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing City, 102249, China; 3. Department of Petroleum Engineering, University of North Dakota, ND, 58203, USA; 4. No.3 Oil Production Plant, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Cangzhou City, Hebei Province, 061023, China)

Abstract: The fan deltas developed widely in several faulted basins in China. As a kind of important oil and gas reservoir, it is very necessary to make the internal architecture clear for prediction of the residual oil distribution in the late period of oilfield development. Therefore, taking the 5th Zao oil layer of Kongdian Formation in the faulted block Guan195 of Wangguantun Oilfield as an example, the reservoir architecture of fan delta front was characterized quantitatively based on core data, well logs and production data. The main reservoir architecture elements of fan delta front consists of distributary channel, estuary sandbar, sheet sand and inter channel. And then the division scheme was established for the division of reservoir architecture of fan delta front into different levels, and the markers was defined for the identification of distributary channel estuary sandbar and inner accretion body in estuary sandbar. Taking single sandbody as a unit, data, being acquired from field outcrop defined as fan delta in the Xiguayuan Formation of Luanping Basin, were matched to derive a formula for quantitative characterization of distributary channel and estuary sandbar, calculation of the dip of interbed inner estuary sandbar and prediction of the development of inner accretion body. The residual oil controlled by a single genetic sand body distributes at the top of the margin of sandbars and channels, and the distribution of residual oil controlled by the interlayer should be analyzed according to the specific rhythm of the sandbar.

收稿日期: 2018-01-23。

作者简介: 张翔宇(1993—), 男, 辽宁盘锦人, 在读硕士研究生, 从事油气田开发地质学方面的研究。联系电话: 18810665981, E-mail: 1976288274@qq.com。

*通讯作者: 侯加根(1963—), 男, 安徽无为, 教授, 博导。联系电话: (010)89733101, E-mail: houjg63@cup.edu.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“断陷湖盆三角洲单砂体构型表征技术研究”(2016ZX05010001)。

Key words: fan delta; reservoir architecture; hierarchy division; quantitative characterization; faulted block Guan195

扇三角洲作为重要的油气储集类型,其可采储量约占中国陆相碎屑岩储层可采储量的17.4%^[1]。前人对扇三角洲储层的地质特点与沉积特征进行了研究,为扇三角洲储层的进一步研究提供了理论依据。随着中国油气勘探开发进入后期阶段,储层剩余油气富集与分布的研究迫在眉睫,而传统的沉积微相研究已经不能满足高含水、产量递减阶段储层开发的需求,开发阶段剩余油的挖潜需要构型知识的理论指导并结合油田生产数据验证。构型研究是按照不同级次构型界面的约束,分级次构建沉积储层的格架,主要包括各级次构型单元的形态、空间分布及叠置样式,进而实现对地下储层结构的定量表征。自MIALL首次提出储层构型界面级次划分(以河流相为例)概念起,前人对河流、河流三角洲及浅水三角洲3种沉积类型的构型研究较为深入^[2-9]。扇三角洲尤其是断陷湖盆扇三角洲沉积过程中呈现近源急流、快速堆积、沉积相变化快的特点,因此前人多以定性的构型研究为主^[10-13]。笔者参照层次分析的思想,以王官屯油田官195断块扇三角洲前缘亚相为例,结合野外露头实测拟合,针对水下分流河道、河口坝、河口坝内部增生体进行量化的构型表征,并利用构型分析成果总结剩余油分布预测模式。

1 区域地质概况

王官屯油田官195断块位于黄骅拗陷沧东凹陷南区孔店潜山构造带(图1),构造形态为被断层切

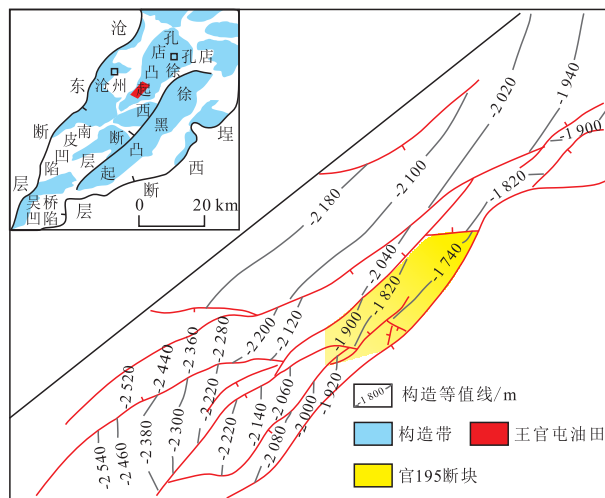


图1 王官屯油田官195断块区域构造

Fig.1 Regional structure of the faulted block Guan195 in Wangguantun Oilfield

割的潜伏的半背斜构造。依照标志层与沉积旋回控制原则,将孔一段自上而下划分为枣0、枣I、枣II、枣III、枣IV和枣V共6个油组,官195断块孔一段缺失枣0—枣III油组,重点含油层位为枣IV和枣V油组。本次重点研究层位为枣V油组的枣V6和枣V7小层。孔一段沉积时期,盆地处于拗陷阶段,区域构造隆升,古气候以干热为主,陆源碎屑物大量注入湖盆中,形成扇三角洲沉积。

2 储层构型层次划分

2.1 储层构型要素

王官屯油田所在的孔南地区在古近纪始新世演变成箕状湖盆,在新生代经历了断陷形成、断陷扩张、平稳发育、逐渐衰减和形成拗陷5个发展阶段。官195断块在枣V6和枣V7小层沉积时期处于拗陷阶段,物源主要来自沧东隆起、埕宁隆起和孔店凸起,大量陆源碎屑物注入湖中,主体发育扇三角洲前缘亚相。研究区陆源碎屑以长石砂岩和岩屑质砂岩为主,细粒—粉砂粒级,分选较好,磨圆度以次棱—次圆为主,胶结类型以孔隙、孔隙—接触和接触胶结为主,颗粒支撑,结构成熟度中等。研究区为近源沉积,冲积扇入湖后河流作用减弱,水下分流河道变窄,粒度变细,在河道间细粒沉积物沉积,发育水下分流河道间微相。受湖相水体作用影响,分流河道入湖后形成河口坝,随着河道的延伸及河流作用的减弱,在河口坝前端或一侧形成席状砂。

水下分流河道 作为扇三角洲前缘的主体,水下分流河道是冲积扇陆上分流河道延伸到湖盆中的部分,研究区水下分流河道厚度较薄,岩性以中细砂岩为主,垂向上呈正韵律;其粒度粗,分选中等;发育河道内部典型的交错层理并伴有波状层理和块状层理,河道底部可见冲刷面和泥砾,属中孔、高渗透储层。水下分流河道沉积上部为水动力减弱时的细粒沉积或者水道间泥岩沉积,纵向上叠置关系复杂,平面上由物源区向湖盆中心分带分布,测井曲线为钟形或箱形—钟形,微电位曲线与微电阻率曲线幅度差较大。

河口坝 分流河道延伸到水下后,受湖盆水体作用影响,水动力减弱,砂体不在河道的沟槽内部沉积,而是在河道前方沉积。研究区水下分流河道前发育平面规模很大且形态呈舌状的河口坝,常伴

有泥质夹层,顶部常发育钙质夹层;由重力流和牵引流共同作用形成,以中砂岩及细砂岩为主,垂向上整体呈反韵律。与水下分流河道相比粒度变细,分选从较好到较差,岩心上多见不等粒砂岩。层理类型主要为块状层理、交错层理和平行层理。测井曲线呈漏斗形或箱形,微电位曲线与微梯度曲线幅度差较大。

席状砂 席状砂位于河口坝前方,扇三角洲前缘远端。岩性组成为细砂岩和粉砂岩,垂向上整体呈正韵律或韵律性不明显,物性较好;以水平层理、波状层理、韵律层理和块状层理为主;属中孔中渗透储层;测井曲线为齿化钟形、指状,微电位曲线与微梯度曲线幅度差较小。

水下分流河道间 水下分流河道间岩性由细

砂岩和粉砂岩组成,分选和磨圆均较好,垂向上呈正韵律或韵律性不明显;发育水平层理、块状层理、韵律层理和波状层理等;测井曲线呈齿化钟形、指状,微电位曲线与微梯度曲线幅度差较小。

2.2 储层构型界面

中国目前尚未有针对扇三角洲储层构型界面分级的标准划分方案,多数是参照 MIALL 河流相储层构型单元的划分方案进行划分,但是 MIALL 划分的储层构型界面多数具有明显的地层标志,是基于地表露头的研究方法,对研究区并不适用。笔者参照 MIALL 的研究思路,结合前人划分方案^[14-15],运用高分辨率层序地层学研究方法,建立了一套符合研究区扇三角洲前缘的储层构型界面划分方案(表 1)。

表1 官195断块扇三角洲前缘储层构型界面划分方案

Table1 Architecture hierarchy classification of fan-delta of the faulted block Guan195 in Wangguantun Oilfield

本文储层构型界面级次	扇三角洲前缘储层构型单元	河流相储层构型单元	MIALL 储层构型界面级次
5	叠置的扇三角洲复合体	河道群或古河道群	6
6	扇三角洲沉积体		
7	同期分流河道(河口坝)复合体	大型砂席(如河道充填复合体)	5
8	单一分流河道(河口坝)沉积体	巨型底形的上界面	4
9	内部增生体	巨型底形内的大规模增生面	3

官195断块目的层发育扇三角洲前缘亚相沉积,单井以大段复合韵律沉积为特征(图2)。7级储层构型界面为微相复合体的界面,为水下分流河道、分流河道和河口坝顶部的泛滥泥岩或底部的冲刷面。根据岩心观察和测井曲线特征分析,泛滥泥岩的岩性以灰色泥岩和灰色粉砂质泥岩为主,发育水平层理;岩心上河道冲刷面为上部的中粗砂岩向下突变为泥岩、粉砂质泥岩等较细粒的泛滥沉积,测井曲线表现为突变,底部为箱状;在扇三角洲前缘亚相存在水下分流河道和河口坝的微相组合,两者之间的接触面也为7级储层构型界面,在测井曲线上表现为上部正旋回和下部反旋回的组合,正旋回与反旋回转变处即为7级储层构型界面。8级储层构型界面为单一成因砂体的顶界面,在扇三角洲沉积中,为单一水下分流河道、单一河口坝的界面,是单砂层划分的重要标志。测井曲线上表现为较清楚的回返,界面附近一般发育泥岩。9级储层构型界面为单一河道或河口坝内部增生体间的夹层,研究区发育的3种类型夹层主要分布在厚度较大的河口坝砂体中,水下分流河道砂体中分布发育较少,是多期短期内部增生体沉积结束的标志。研究区河口坝内部增生体的发育特征为多期发育(1—4期),具前积式叠加沉积样式。

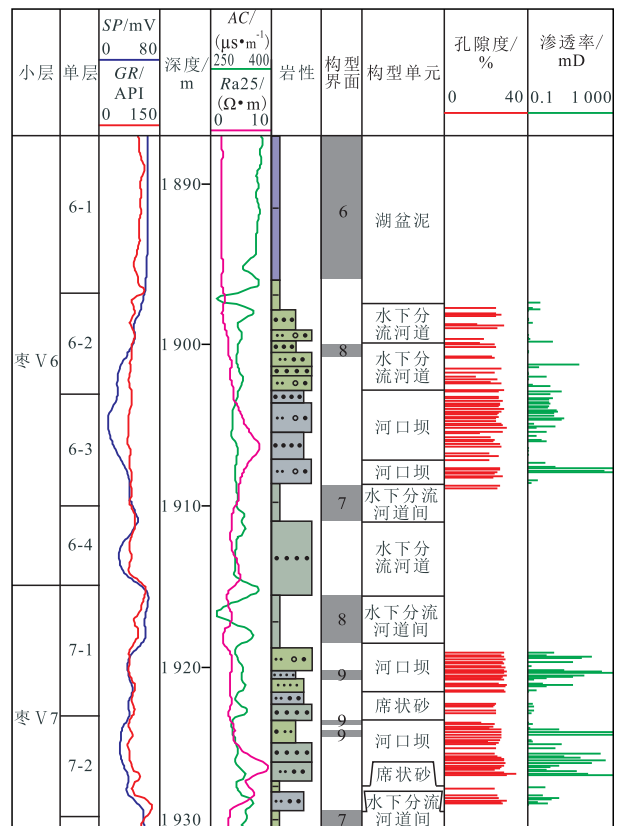


图2 官195断块官50-4-4井储层构型界面识别

Fig.2 Identification of the architecture interfaces based on the Well Guan50-4-4 in the faulted block Guan195 in Wangguantun Oilfield

3 储层构型单元解剖

3.1 识别标志

官195断块目的层共有247口井,其中取心井18口,平均井距为165 m,属于密井网区块,利用测井数据和岩心资料进行构型研究是可靠的。针对研究区120口井的测井曲线进行分析,并结合取心资料总结出单一水下分流河道、单一河口坝以及河口坝内部增生体间夹层的识别标志。

3.1.1 单一水下分流河道

顶面高程差异 河道在沉积过程中,受古地形、沉积水动力和河道迁移的影响,在河道的顶、底层面的高度上会有高程差异。因此顶面高程差异可以作为同一沉积单元内不同时期水道沉积的识别标志。

测井曲线特征差异 沉积水动力条件的不同导致沉积特征不同,进而导致测井曲线形态的差别。其中以自然电位曲线的回返特征最为明显。

砂体“厚-薄-厚”特征 同一沉积单元内2期河道侧向相切,其中砂体厚度较薄的井对应的是河道的边缘或是发育一期较小的河道,与两侧河道存在规模差异,因此表现出厚度的差异。

河道间细粒沉积 2期单一河道沉积间存在的泥岩或粉砂质泥岩类的细粒沉积是2期河道间水动力较弱的原始沉积或水下分流河道溢出的细粒沉积,是2期河道边界的划分标志。

3.1.2 单一河口坝

河口坝坝缘 坝主体和坝缘构成单一河口坝,坝主体在测井曲线上为漏斗形的反韵律,厚度较大,而坝缘则为厚度较薄的反韵律,且沉积水动力较坝主体弱,因此测井曲线回返幅度小。2个河口坝间的坝缘形成连通性较差的河口坝复合体。

河口坝坝间细粒沉积 河口坝坝间细粒沉积与水下分流河道间成因相似。2个河口坝发育位置相隔较远,坝缘没有相互连接,在2个河口坝中间会有坝间泥岩出现,河口坝与坝间细粒沉积连接处即为单一河口坝的边界。

3.1.3 河口坝内部增生体间夹层

不同地区扇三角洲前缘单一成因砂体内部的夹层发育模式不同。其中水下分流河道的厚度较薄,内部夹层较少(几乎不发育),夹层主要发育在河口坝内部。结合岩心资料和测井曲线,研究区发育泥质夹层、物性夹层和钙质夹层3类夹层。

泥质夹层是扇三角洲砂体内部最常见的一种

夹层类型,官195断块泥质夹层呈薄层浅灰绿色。自然伽马曲线呈高值,自然电位曲线回返不明显,近于平直,声波曲线为高值,微电极曲线较高,曲线回返至低值。

物性夹层的孔隙度和渗透率没有达到可以使流体渗流的有效砂层的物性下限值,在岩心上通常表现为含油不均匀。测井曲线特征与泥质夹层类似,电阻率较低,但是比泥质夹层的高,自然伽马较高,但是低于泥质夹层的,自然电位曲线稍有回返。

研究区钙质夹层有2种成因:①沉积早期,湖平面下降,水体减少,湖水中的盐度升高,蒸发泵机制使得湖水中的盐分及其他矿物质不断浓缩,使得砂质沉积物在早期胶结成岩。②在砂岩和泥岩的接触面,由于泥岩中钙离子丰富,经历后期压实-胶结-成岩作用形成钙质胶结。电阻率曲线呈尖刀状,声波时差增大。

3.2 构型单元的定量化表征

3.2.1 单一水下分流河道及河口坝级次

依据野外露头和岩心资料横向追踪划分的储层构型单元边界比仅根据电性曲线旋回划分的更为直观和准确^[16-17],因此在储层构型单元定量化表征时需要建立实际露头的地质知识库。利用密井区的测井识别标志,以实际露头的测量成果为约束对地下储层构型单元的表征成果进行修正,最终将二者进行拟合,达到最准确的表征效果。选取滦平盆地西瓜园组扇三角洲沉积作为野外原型建立地质知识库,2个盆地均为受边界同生断层控制发育的浅水近源粗粒扇三角洲沉积,控边断层的上升盘供应物源,沉积体系划分相似,发育的沉积微相类型相同。结合研究区储层构型单元识别标志,对官195断块枣V6和V7小层的6个单层的构型单元进行解剖(表2,表3),得出较为可靠的扇三角洲前缘储层构型单元预测公式(图3)。

3.2.2 河口坝内部增生体级次

内部增生体级次的定量表征中增生体顶、底面

表2 官195断块单一水下分流河道解剖结果
Table2 Interpretation results of the single distributary channel in the faulted block Guan195

单层	个数	宽度/m	平均宽度/m	厚度/m	平均厚度/m	宽厚比
枣V6-1	5	50~150	125.6	1~3.5	1.80	69.4
枣V6-2	5	100~410	200.3	1.2~5.6	2.80	71.4
枣V6-3	7	80~450	225.5	1.5~6	3.2	70.3
枣V6-4	6	70~420	185	1.2~7	3.0	61.6
枣V7-1	10	50~330	150	1.3~6	2.8	53.6
枣V7-2	6	50~230	136.5	1~5	2.20	62.0

表3 官195断块单一河口坝解剖结果
Table3 Interpretation results of the single estuary sandbar in the faulted block Guan195

单层	个数	宽度/m	平均宽度/m	厚度/m	平均厚度/m	宽厚比
枣V6-1	3	105~210	185.3	1.1~3.5	2.98	62.1
枣V6-2	6	195~390	265.7	1.3~5.3	3.36	78.8
枣V6-3	3	100~340	256.3	1.1~3.6	2.98	85.9
枣V6-4	5	180~360	245.5	1.2~6.3	3.36	72.9
枣V6-1	4	160~330	230.6	1.3~7.5	3.65	63.2
枣V6-2	5	200~350	280.7	1~6.5	4.02	70.3

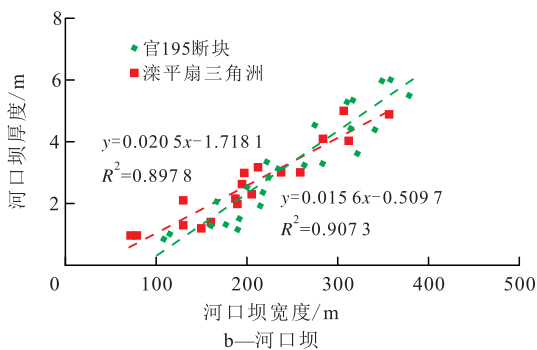
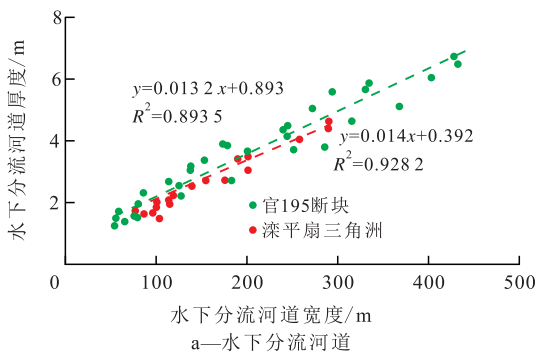


图3 官195断块单一水下分流河道、河口坝构型定量预测
Fig.3 Quantitative prediction of distributary channel and estuary sandbar in the faulted block Guan195

夹层的识别与倾角的计算是基础,发育规模的预测是核心。河口坝内部增生体的发育规模较小,在测井曲线上识别难度大,侧向延续难以追踪,因此在发育规模预测的研究中更要与实际露头的测量结果相结合。官195断块扇三角洲前缘单一河口坝内部发育4期增生体,垂直物源方向为近水平发育,顺物源方向为前积式叠置发育(图4)。利用单一河口坝沿物源方向的对子井计算向湖盆方向倾斜的夹层倾角^[18-19],以官51-4和官50-4-1井为例来计算夹层倾角(图5),两井相距53m,夹层发育位置距离底面的高程差为2.5m,计算夹层倾角为2.7°。统计全区单井识别结果,单一增生体的厚度为0.5~4m,计算出宽度为8.3~165.9m,单一增生体的发育规模受河口坝底形发育控制,依据分形几何的原理,其与河口坝发育规模具有相近的规律,因此计算得出其长度为15.2~315.4m。

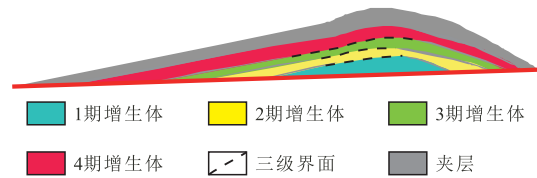


图4 官195断块扇三角洲河口坝夹层发育模式
Fig.4 Pattern of interlayers developed in estuary sandbar in the faulted block Guan195

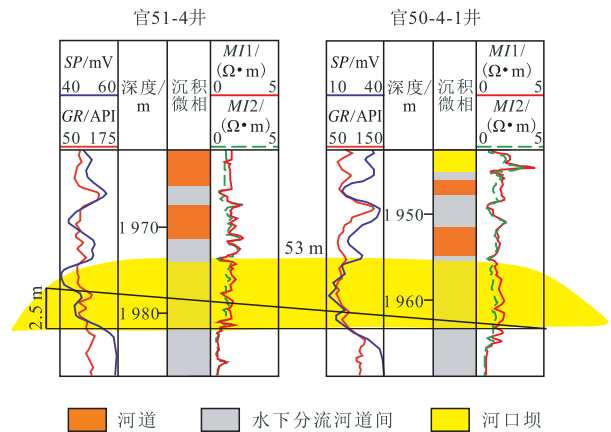


图5 官195断块官51-4和官50-4-1井夹层倾角计算
Fig.5 Calculation of interlayer dip crossing Well Guan51-4 and Well Guan50-4-1 in the faulted block Guan195

4 剩余油分布预测

前人认为剩余油形成受砂体的沉积模式、夹层、内部构型及构型要素的控制^[20-21]。利用新钻加密井资料,分析新钻加密井的枣V6和枣V7小层的水淹情况,为每口新井建立注采剖面,分析剩余油的控制因素,结合构型分析与水淹情况,总结扇三角洲前缘的剩余油分布模式,并通过生产资料验证分析结果的可靠性(图6)。

单一成因砂体控制的剩余油分布模式 单一成因砂体因受到沉积韵律的影响,坝缘部位砂体厚度较薄且物性差,注入水难以涉及,容易形成剩余油;水下分流河道呈正韵律发育,因此河道顶部的含油层位由于重力作用和韵律影响,水驱流动方向一致,均为向下沿河道底部的高渗透部位突进,致使油气残余不能被驱替而成为剩余油。

夹层控制的剩余油分布模式 研究区剩余油的分布还受夹层发育的影响,同一期砂体内部被夹层分隔的增生体水淹程度不同。河口坝韵律复杂,坝主体的韵律通常为反韵律、反-均质复合韵律、复合正反韵律、均质韵律等,剩余油的分布要根据具体的韵律进行分析:①坝主体为单一反韵律,内部无夹层时,在韵律和重力的综合作用下,注入水波

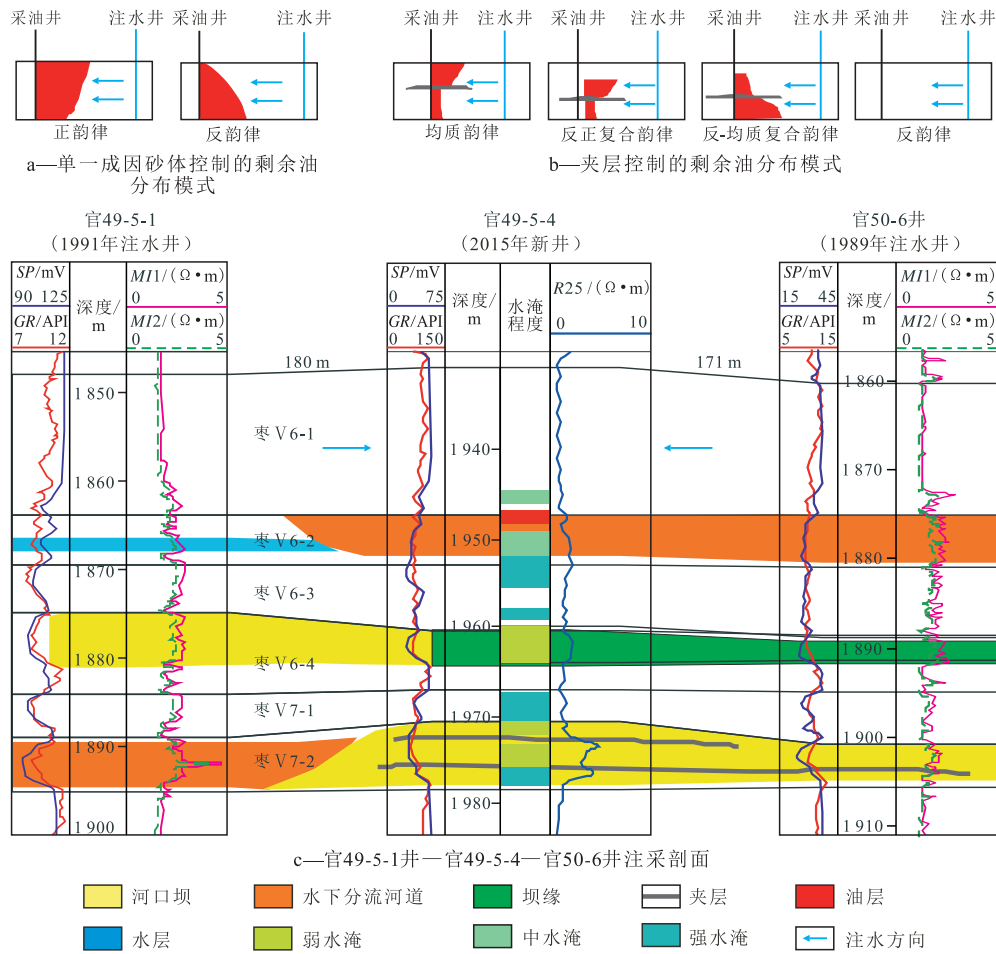


图6 官195断块扇三角洲前缘储层剩余油分布模式

Fig.6 Distribution of residual oil in the fan-delta front in the faulted block Guan195

及较均质,不易形成剩余油。②坝主体为反-均质复合韵律且坝内有夹层影响时,上部均质韵律容易被水淹,在夹层下部的反韵律形成剩余油。③复合反正韵律和均质韵律情况下,河口坝上、下的渗流能力没有明显的差异,注入水受重力影响,夹层下部、砂体底部出现水淹,剩余油留在夹层的上部。

5 结论

官195断块扇三角洲前缘储层构型要素包括水下分流河道、河口坝、席状砂和水下分流河道间。确立了水下分流河道、河口坝以及河口坝内部增生体间夹层的识别标志;以单砂层为研究单位,利用滦平盆地西瓜园组扇三角洲野外露头实测结果进行数据拟合,得出研究区水下分流河道和河口坝定量表征的预测公式,计算河口坝内部夹层倾角,预测内部增生体的发育规模。利用构型分析成果,总结构型控制扇三角洲前缘储层剩余油的2种分布模式,即单一成因砂体控制的剩余油分布于坝缘部

位和河道顶部,夹层控制的剩余油分布受坝主体的韵律组合控制。

参考文献:

[1] 徐安娜,穆龙新,裘怿楠.我国不同沉积类型储集层中的储量和可动剩余油分布规律[J].石油勘探与开发,1998,25(5):41-44.
 XU Anna, MU Longxin, QIU Yanan. Distribution pattern of OOIP and remaining mobile oil CM (83mm) in different types of sedimentary reservoir of China [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25(5): 41-44.
 [2] 解珺,胡望水,陈叔阳,等.塔河一区下油组辫状河三角洲储层构型分析[J].油气地质与采收率,2017,24(5):46-52.
 XIE Jun, HU Wangshui, CHEN Shuyang, et al. Reservoir architectural analysis of the braided fluvial delta of the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(5): 46-52.
 [3] 闫百泉,张鑫磊,于利民,等.基于岩心及密井网的点坝构型与剩余油分析[J].石油勘探与开发,2014,41(5):597-604.
 YAN Baiquan, ZHANG Xinlei, YU Limin, et al. Point bar configuration and residual oil analysis based on core and dense well pattern [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(5):

- 597-604.
- [4] 王珏,陈欢庆,周俊杰,等.扇三角洲前缘储层构型表征——以辽河西部凹陷于楼为例[J].大庆石油地质与开发,2016,35(2):20-28.
WANG Jue, CHEN Huanqing, ZHOU Junjie, et al. Configuration characterization of the fan-delta-front reservoirs-taking Yulou oil layers in West Liaohe Sag as a case [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(2): 20-28.
- [5] 齐陆宁,杨少春,林博.河流相储层构型要素组合对剩余油分布影响[J].新疆地质,2010,28(1):69-72.
QI Luning, YANG Shaochun, LIN Bo. Architectural-element combination in fluvial facies reservoir effects on remaining oil distribution [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(1): 69-72.
- [6] 罗晓容,张立宽,雷裕红,等.储层结构非均质性及其在深层油气成藏中的意义[J].中国石油勘探,2016,21(1):28-36.
LUO Xiaorong, ZHANG Likuan, LEI Yuhong, et al. Structural heterogeneity of reservoirs and its implication on hydrocarbon accumulation in deep zones [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(1): 28-36.
- [7] 封从军,鲍志东,杨玲,等.三角洲前缘水下分流河道储集层构型及剩余油分布[J].石油勘探与开发,2014,41(3):323-329.
FENG Congjun, BAO Zhidong, YANG Ling, et al. Reservoir architecture and remaining oil distribution of deltaic front underwater distributary channel [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 323-329.
- [8] 袁静,梁绘媛,宋璠,等.韦5断块三角洲前缘储层构型及剩余油分布[J].西南石油大学学报:自然科学版,2015,37(6):1-11.
YUAN Jing, LIANG Huiyuan, SONG Fan, et al. Delta front reservoir architectural characteristics and its relations with remained oil distribution in Wei-5 fault block, Gaoyou sag, Subei basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2015, 37(6): 1-11.
- [9] 刘钰铭,侯加根,王连敏,等.辫状河储层构型分析[J].中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(1):7-11.
LIU Yuming, HOU Jiagen, WANG Lianmin, et al. Architecture analysis of braided river reservoir [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2009, 33(1): 7-11.
- [10] 陈程,孙义梅,贾爱林.扇三角洲前缘地质知识库的建立及应用[J].石油学报,2006,27(2):53-57.
CHEN Cheng, SUN Yimei, JIA Ailin. Development and application of geological knowledge database for fan-delta front in the dense spacing area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2): 53-57.
- [11] 林煜,吴胜和,岳大力,等.扇三角洲前缘储层构型精细解剖——以辽河油田曙2-6-6区块杜家台油层为例[J].天然气地球科学,2013,24(2):335-344.
LIN Yu, WU Shenghe, YUE Dali, et al. Fine anatomizing reservoir architecture of fan-delta front: A case study on Dujiatai reservoir in Shu2-6-6 block, Liaohe oilfield [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(2): 335-344.
- [12] 宋璠,杨少春,苏妮娜,等.扇三角洲前缘储层构型界面划分与识别——以辽河盆地欢喜岭油田锦99区块杜家台油层为例[J].西安石油大学学报:自然科学版,2015,30(1):7-13.
SONG Fan, YANG Shaochun, SU Nina, et al. Division and recognition of architecture interfaces of fan-delta front reservoir: taking Dujiatai reservoir of Jin-99 block in Huanxiling Oilfield, Liaohe Basin as an example [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2015, 30(1): 7-13.
- [13] 兰志勤,杨少春,王燕.辽河油田锦99块扇三角洲前缘储层层次分析[J].沉积与特提斯地质,2015,35(4):77-84.
LAN Zhiqin, YANG Shaochun, WANG Yan. Architectural boundaries of the fan delta front reservoirs in the quadrant Jin-99 of the Liaohe Oil Field, Liaoning [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2015, 35(4): 77-84.
- [14] MIALL A D. Geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology [M]. New York: Springer-Verlag, 1996: 57-98.
- [15] 吴胜和,纪友亮,岳大力,等.碎屑沉积地质体构型分级方案探讨[J].高校地质学报,2013,19(1):12-22.
WU Shenghe, JI Youliang, YUE Dali, et al. Discussion on hierarchical scheme of architectural units in clastic deposits [J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 12-22.
- [16] 郭建林,贾爱林,何东博,等.滦平上侏罗统一下白垩统扇三角洲露头层序地层学研究[J].中国地质,2007,34(4):628-635.
GUO Jianlin, JIA Ailin, HE Dongbo, et al. Sequence stratigraphy of Upper Jurassic-Lower Cretaceous fan-delta outcrops in Luanping [J]. Geology in China, 2007, 34(4): 628-635.
- [17] 贾爱林,何东博,何文祥,等.应用露头知识库进行油田井间储层预测[J].石油学报,2003,24(6):51-53.
JIA Ailin, HE Dongbo, HE Wenxiang, et al. Application of outcrop geological knowledge database to prediction of inter-well reservoir in oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(6): 51-53.
- [18] 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):1 072-1 078.
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): 1 072-1 078.
- [19] 周新茂,高兴军,田昌炳,等.曲流河点坝内部构型要素的定量描述及应用[J].天然气地球科学,2010,21(3):421-426.
ZHOU Xinmao, GAO Xingjun, TIAN Changbing, et al. Quantitative description of internal architecture in point bar of meandering river [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(3): 421-426.
- [20] WANG Xixin, HOU Jiagen, LIU Yuming, et al. Studying reservoir heterogeneity by analytic hierarchy process and fuzzy logic, case study of Es_{1x} formation of the Wangguantun oilfield, China [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2017, 156(6): 858-867.
- [21] 夏钦禹,吴胜和,冯文杰,等.河口坝储层构型控制的剩余油分布模式[J].复杂油气藏,2015,8(2):41-45.
XIA Qinyu, WU Shenghe, FENG Wenjie, et al. Remaining oil distribution patterns controlled by mouthbar reservoir architecture [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2015, 8(2): 41-45.