

文章编号:1009-2722(2015)07-0042-05

# 双河油田 438 块构造油藏油水界面 差异分布的主导因素

许宏龙, 刘建\*, 龚刘凭, 乔诚, 朱宝柱, 余梦南

(长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 武汉 430100; 长江大学地球科学学院, 武汉 430100)

**摘要:**双河油田位于南襄盆地泌阳凹陷西南部, 为一轴向为 SE—NW 的鼻状构造倾伏端, 其中 438 块核三段 III<sub>1</sub> 的 A 油区是砂岩储层的鼻状构造油藏。在油田开发过程中发现该油藏油水界面深度不一, 因此, 从油气成藏力学的角度, 结合研究区的储层研究资料, 对油水界面差异分布的成因机理进行了深入研究。研究表明, 油气藏油水界面的差异分布主要受控于储层物性、地层倾角及原油密度等因素, 而双河油田 438 块核三段 III<sub>1</sub> 的 A 油区各区域由于地层倾角及油水密度差相同, 油柱高度即油水界面差异性分布主要受物性因素控制。

**关键词:**双河油田; 鼻状构造; 油水界面; 成因机理; 储层物性

**中图分类号:**P618.13 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2015.07006

由于各种地质因素的影响, 砂岩储层油藏油水界面一般不是一个水平面, 而是深度有变化的曲面。针对该问题前人进行了大量研究, 主要有 3 种成因解释: ①存在一个水动力系统, 使供水方向的油水界面较高<sup>[1]</sup>; ②由于新构造运动, 导致构造高点变化, 而油水界面调整滞后于构造变化, 以致出现油水界面深度不一致<sup>[2]</sup>; ③受毛细管力影响, 储层物性差的地方, 毛细管力较高, 油水界面也较高, 造成油水界面分布具有差异性<sup>[3-5]</sup>。严科等<sup>[6]</sup>从油气成藏力学平衡的角度, 对断背斜油气藏内部油水界面差异性分布的原因进行了解释, 研究表明: 断背斜油气藏油水界面的差异分布受储层物性、地层倾角、原

油密度等因素控制, 并通过胜坨油田沙河街组油藏实例得到了有效验证。

双河油田 438 块核三段 III<sub>1</sub> 的 A 油区油水界面存在较明显的深度差异, 根据油田研究资料, 该区域不存在水动力系统<sup>[7]</sup>的影响, 受新构造运动的影响也较小, 构造高点未产生过大的变动, 油水界面差异分布与油水关系的调整滞后也无关, 故储层物性引起的毛细管力应该是影响该区域油水界面差异的关键因素。但是根据油气成藏力学平衡的角度, 储层物性是否是影响油水界面差异分布的唯一因素? 本文从油气成藏力学角度结合双河油田地质情况探讨鼻状构造油藏油水界面差异化分布的成因。

## 1 地质概况

泌阳凹陷是南襄盆地东部一个小型断陷含油气盆地, 该凹陷的形成主要受其西南方向的唐河—栗园断裂和东南方向的栗园—泌阳断裂这 2 个断裂带控制, 凹陷沉积沉降中心在其东南部, 整

收稿日期: 2015-03-24

基金项目: “双河油田 438 III IV 油组厚油层细分沉积微相研究”(31350043-13-ZC0607-0002)

作者简介: 许宏龙(1988—), 男, 在读硕士, 主要从事油气成藏研究. E-mail: 285051706@qq.com

\* 通讯作者: 刘建(1965—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事石油地质方面的教学与研究. E-mail: wh41832@hotmail.com

体为一个南深北浅的箕状断陷<sup>[8]</sup>。双河油田位于泌阳凹陷西南部,东邻泌阳凹陷的沉降中心(图 1),总体上发育以砂岩上倾尖灭为主的岩性—构造复合圈闭,油田东南部发育鼻状构造和小断层,形成以断鼻圈闭为主的构造油气藏。双河油田主要发育古近系,其中古近系核三段是其主力含油层系,核三段自上而下划分为 9 个油组(H<sub>3</sub>I—H<sub>3</sub>IV)。双河油田具备良好的成藏条件,烃源岩为核三段时期广泛分布的湖相泥岩,有机质类型和丰度指标较好,为良好的烃源岩。储集层为核三段扇三角洲砂体,物源主要来自油田南部的平氏地区,向湖盆方向逐渐减薄至尖灭。烃源岩和储集层具有良好的空间配置,在主要沉积期,三角洲前缘储集层砂体伸入凹陷的深湖相泥岩,纵向上砂岩与泥岩互层,平面上砂岩被泥岩包围<sup>[9]</sup>。

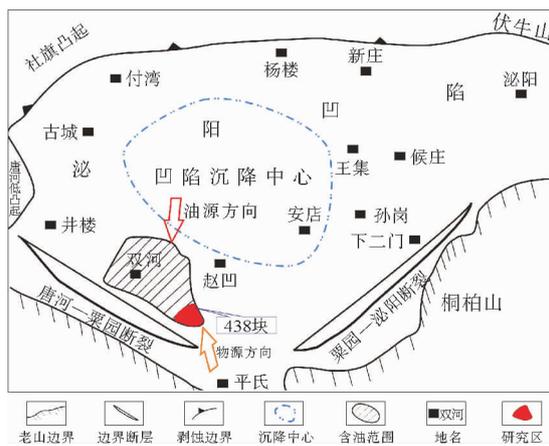


图 1 双河油田位置

Fig. 1 Location of Shuanghe Oilfield

构造演化史研究表明,发生于 H<sub>3</sub> II 至 H<sub>1</sub> 沉积时期的构造翘倾造成了双河油田西北部为单斜抬起、东南部为鼻状构造的形态,同时砂体前缘由初始沉积时的下倾尖灭逐渐转变为上倾尖灭,形成砂岩上倾尖灭圈闭。到廖庄期末,泌阳凹陷发生了强烈的差异抬升运动,导致双河油田圈闭的闭合幅度大大加强,形成了高幅度砂岩上倾尖灭圈闭及鼻状构造圈闭<sup>[9,10]</sup>。双河油田 438 块位于油田东南部,为典型的鼻状构造油藏,本文重点研究的 A 油区,其储层由于构造翘倾作用,转为向南部,即向物源方向倾斜。

## 2 储层特征及油水分布规律

双河油田 438 块的主力储油层为核三段 III 油组,为扇三角洲沉积,物源主要来自于南部的平氏地区。因为该沉积盆地面积小,靠近物源,沉积物搬运距离短,地处坡度带,且湖水进退较频繁,导致该区域砂体具有沉积韵律复杂、非均质性严重的特点<sup>[11]</sup>。主要发育长石砂岩和岩屑长石砂岩,结构组成较复杂,粉砂、细砂、中砂、粗砂、含砾砂岩和不等粒结构均有,以中—粗砂和中—细砂岩为主,含砾砂岩和砂砾岩为次,粒级变化大。岩石以孔隙型胶结为主,分选中等—差;圆度以次圆—次棱为主,部分呈棱角状—次棱状。岩心薄片分析表明,双河油田核三段储层主要为碎屑岩类,其主要成分为石英、长石、岩屑和其他杂基;石英含量一般在 34.4%~58%;长石含量为 14%~30%,最高可达 40%;岩屑含量为 19%~44%。岩屑类型主要有变质砂岩、粉砂岩、花岗岩及云母;胶结物类型则以泥质为主,一般含量为 10%,其次为灰质,一般 < 5%<sup>[8]</sup>。双河油田 438 块 H<sub>3</sub> III 储层孔隙度和渗透率主要受沉积环境控制,平均有效孔隙度为 13.09%,平均渗透率为  $60.07 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

双河油田 438 块核三段 III 的 A 油区油水边界与构造等高线不平行(图 2),以图中 -1 480 m 构造等高线为参照线,有些区域的油水边界线与参照线大致平行,有些则比参照线高,而油水分界线差异分布的本质为油柱高度存在区域上的差异,这说明断块内部构造趋势并不是制约油水界面分布的唯一因素。

## 3 油水界面分布的主控因素

严科等<sup>[6]</sup>提出油水界面的差异分布可能与油气成藏过程有关,他们认为,若油藏的物源是从构造顶部对储层进行充注,那么该油藏的成藏过程可看成是成藏动力与成藏阻力之间相互作用最终达到平衡的过程。该理论在胜坨油田沙河街组断背斜油气藏不同断块油区得到了很好验证。

油水界面的差异分布,本质是油柱高度的差异性,可以根据油柱高度与充注压力的平衡,对同

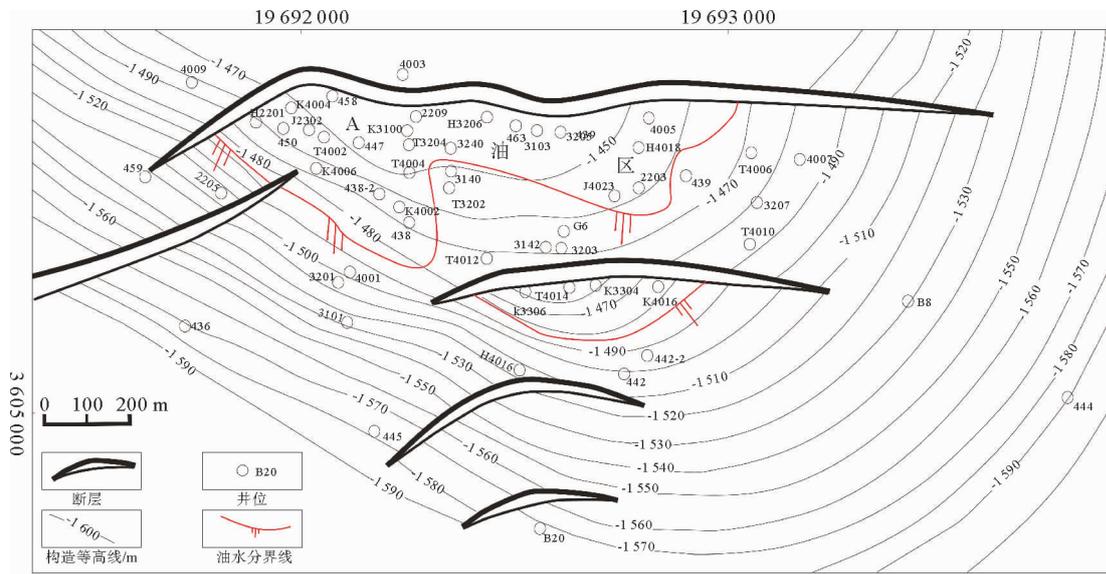


图2 双河油田438块H<sub>3</sub>Ⅲ<sub>1</sub>的A油区油水界面分布

Fig.2 Distribution of WOC of Oildom A of Block 438 of Shuanghe Oilfield in monolayer of H<sub>3</sub>Ⅲ<sub>1</sub>

一鼻状构造油藏中的原油质点进行力学分析,研究油水界面差异分布的成因。

如图3所示,对于同一油源同期沉积的储集层来说,原油质点在含水的孔隙介质中主要受重力、浮力和毛细管力3种力的作用,现将浮力与重力的代数和称为净浮力( $F_r$ ),则单位面积为1,垂直高度为 $h$ 的连续油柱的净浮力可用式(1)表示:

$$F_r = (\rho_w - \rho_o)V_o g = (\rho_w - \rho_o)hg \quad (1)$$

式中: $F_r$ 为净浮力,N;

$\rho_w$ 为孔隙水的密度, $g/m^3$ ;

$\rho_o$ 为原油的密度, $g/m^3$ ;

$g$ 为重力加速度, $g=9.8\text{ m/s}^2$ ;

$V_o$ 为原油油柱的体积, $m^3$ ;

$H$ 为油柱高度,m。

一般情况下,原油密度比地层水密度小,则原油受净浮力影响向上运动,在运动过程中,受到向下作用的毛细管力。毛细管力受储层物性影响,物性越好,毛细管力相对越小;反之,储层物性越差,毛细管力相对越大,其大小可用式(2)表示:

$$P_c = 2\sigma(1/r_t - 1/r_p) \quad (2)$$

式中: $P_c$ 为毛管压力,N;

$\sigma$ 为表面张力系数, $10^{-3}\text{ N/m}$ ;

$r_t$ 为喉道半径, $\mu\text{m}$ ;

$r_p$ 为孔隙半径, $\mu\text{m}$ 。

原油质点在上述力的作用下,实际受到向上的力 $F$ ,其大小可用式(3)表示:

$$F = F_r - P_c = (\rho_w - \rho_o)hg - P_c \quad (3)$$

在鼻状构造油藏中,因为地层倾斜,原油质点的实际作用力 $F$ 可分解为平行和垂直地层的2个分量。垂直地层的分量 $F_v$ 与油藏盖层形成的阻力达到平衡,平行地层的分量 $F_p$ 与油藏的充注压力 $P$ 达到动态平衡,具体可用式(4)表示:

$$F_p = F \sin\theta = [(\rho_w - \rho_o)hg - P_c] \sin\theta \quad (4)$$

式(4)中,油水密度差、油柱高度、毛细管力以及地层倾角为鼻状构造油藏力学平衡的主导因

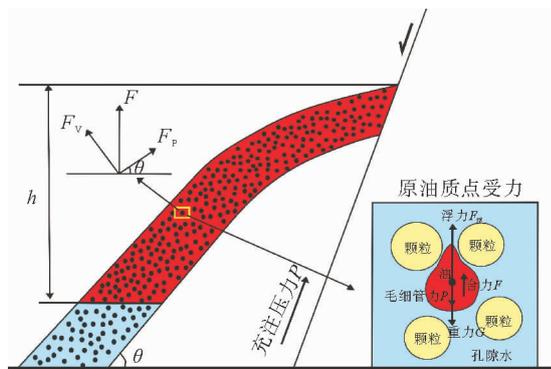


图3 鼻状构造油藏油水界面差异分布的成因机理(据文献[6]修改)

Fig.3 The differential distribution mechanism of WOC in the nosing structure reservoir (from reference [6])

素,因为同一油源的同一断块内部充注压力相同,利用式(4)即可探讨该断块油藏油柱高度差异的成因机理<sup>[6]</sup>。

若同一断块的 a、b 2 个区域地层倾角相同( $\theta_1 = \theta_2$ ),原油性质相同( $\rho_{o1} = \rho_{o2}$ ),a 区储层物性好于 b 区储层( $P_{c1} < P_{c2}$ ),由式(4)得  $h_1 < h_2$ ,即油水密度差、地层倾角相同时,物性较差的储层的油柱高度一般较高。

若同一断块的 a、b 2 个区域地层倾角相同( $\theta_1 = \theta_2$ ),储层物性相同( $P_{c1} = P_{c2}$ ),a 区原油密度小于 b 区( $\rho_{o1} < \rho_{o2}$ ),由式(4),得  $h_1 < h_2$ ,即地层倾角、储层物性相同时,原油密度较大的储层的油柱高度一般较高。

若同一断块的 a、b 2 个区域原油性质相同( $\rho_{o1} = \rho_{o2}$ ),储层物性相同( $P_{c1} = P_{c2}$ ),a 区地层倾角小于 b 区( $\theta_1 < \theta_2$ ),由式(4),得  $h_1 > h_2$ ,即原油密度、储层物性相同时,地层倾角较小的储层的油柱高度一般较高。

双河油田核三段Ⅲ油组油气运移通道主要为插入烃源岩中的砂体,油气以侧向运移为主,从较高成熟度的油源区以油组为充注单元顺层侧向运移至储层<sup>[8]</sup>,H<sub>3</sub>Ⅱ以后发生的构造翘倾和差异抬升及断层作用,使双河油田储层由下倾尖灭变为上倾尖灭,438 块核三段Ⅲ<sub>1</sub>的 A 油区油源先侧向运移至断层,然后利用断层运移至储层,形成鼻状构造油藏。

双河油田 438 块核三段Ⅲ<sub>1</sub>的 A 油区地层水主要为重碳酸钠型<sup>[7]</sup>,因此,A 油区为一个较封闭的环境,不受水动力系统因素影响,又因为油藏形成后未受较大构造运动的影响<sup>[9]</sup>,故油水界面的差异性分布可用油气成藏力学平衡的理论进行解释,A 油区各个区域的油气充注压力相同,且地层倾角与原油密度大致相同,故油水界面高度差异主要受物性影响,形成了原油在非均质储层中的力学平衡。油田的研究资料表明,双河油田 438 块核三段Ⅲ<sub>1</sub>A 油区非均质性严重,各个地区的物性差异较大(表 1)。

现以 A 油区平面图上-1 480 m 的构造等高线为参照线(图 2),结合表 1 孔隙度和渗透率的数据可以看出,双 438 井、双 K4006 井、双 438-2 井等所在的区域,物性较好,对应的油水界面基本平行于参照线,而双 3140 井、双 G6 井、双 439

表 1 438 块 H<sub>3</sub>Ⅲ<sub>1</sub>A 油区物性统计Table 1 Physical properties of Oildom A of block 438 in H<sub>3</sub>Ⅲ<sub>1</sub> monolayer

井号	$\Phi/\%$	$K/\mu\text{m}^2$
438	14.5	0.061
3240	12.89	0.045
450	12.83	0.037
T4004	14.53	0.137
K4006	12.41	0.041
438-2	15.2	0.073
3140	8.79	0.013
T4006	11.84	0.016
T3202	9.91	0.03
439	8.818	0.005
G6	11.46	0.013
2203	12.66	0.018

井等所在的区域,物性较差,相应的油水界面也高于参照线。这说明物性的差异性导致了油水界面分布不一致,同时说明油水密度差和地层倾角相同时,物性较差的储层的油柱高度更高。

## 4 结论

油水界面不统一的本质为油柱高度的差异,可以从油气成藏力学平衡的角度进行解释。同一油源的断块内原油质点的净浮力、毛细管力与充注压力在力学上达到平衡,油水界面的分布即油柱高度主要受油水密度差、储层物性、地层倾角的共同影响。双河油田 438 块核三段Ⅲ<sub>1</sub>的 A 油区为一个鼻状构造油藏,该油区各个区域的地层倾角及原油密度大致相同,由于储层物性的差异导致油柱高度不一致,即产生同一含油断块油水界面与构造等高线不平行的现象。

### 参考文献:

- [1] 韩涛,彭仕宓,马鸿来.地下水侵入对三间房组油藏油水界面的影响[J].西南石油大学学报,2007,29(4):70-73.
- [2] 江同文,徐汉林,练章贵,等.倾斜油水界面成因分析与非稳态成藏理论探索[J].西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(5):1-5.
- [3] 林景晔,童英,王新江.大庆长垣砂岩储层构造油藏油水界面控制因素研究[J].中国石油勘探,2007,13(3):13-16.

- [4] 李传亮. 油水界面倾斜原因分析[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(4): 498-499.
- [5] 时佃海. 油水界面倾角与储集层物性变化关系分析[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(3): 322-323.
- [6] 严科, 赵红兵. 断背斜油藏油水界面的差异分布及成因探讨[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2013, 35(1): 28-34.
- [7] 李联五. 双河油田砂砾岩油藏[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 3-9.
- [8] 邓万友. 扇三角洲前缘储层描述及地质建模研究[D]. 大庆: 东北石油学院, 2008.
- [9] 尹伟, 吴胜和, 林社卿, 等. 双河油田油气成藏机理研究[J]. 石油学报, 2003, 24(5): 40-45.
- [10] 王子煜, 漆家福, 张永华. 泌阳凹陷新生代构造特征与形成机制及其与油气成藏的关系[J]. 地质学报, 2004, 78(3): 332-344.
- [11] 李广超, 刘大锰, 车遥. 双河油田扇三角洲前缘沉积微相特征及剩余油分布[J]. 石油与天然气学报, 2006, 28(1): 7-9.

## THE MECHANISM OF DIFFERENTIAL DISTRIBUTION OF THE WATER OIL CONTACT IN BLOCK 438 OF SHUANGHE OILFIELD

XU Honglong, LIU Jian\*, GONG Liuping, QIAO Cheng, ZHU Baozhu, YU Mengnan

(Key Laboratory of Oil and Gas Resources & Exploration, Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan 430100, China;  
College of Geoscience, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

**Abstract:** The study of differential distribution of WOC is meaningful for understanding the geologic features of the reservoir, evaluating accurately the reserves of an oilfield and improving the oilfield development. The Shuanghe Oilfield is located in the Southwest of the Biyang Depression of the Nanxiang Basin, at the plunging part of a southeast-northwest axis nose structure. The oilfield A of the Block 438 is a nose structure reservoir in the monolayer of  $H_3 III_1^1$ . It is found during the oil field development that the WOC depth is different in different places. So far the phenomenon has not been well studied. We studied in this paper the mechanism of the differential distribution of WOC from the perspective of oil pool-forming dynamics with reservoir research data. According to the dynamics of oil and water differentiation, the distribution of WOC is controlled by physical properties of reservoir, dip of strata and the density of crude oil. The physical properties of reservoir, dip of strata remain same in the region. Therefore, the difference of oil column height, or the differential distribution of WOC, is mainly affected by physical properties of the reservoir.

**Key words:** Shuanghe Oilfield; nose structure; WOC; mechanism; physical properties of reservoir