

# 辫状河储层单砂体刻画及剩余油分布

李俊飞

(中海石油(中国)有限公司天津分公司,天津 300459)

**摘要:**针对辫状河储层非均质性强和剩余油预测难的问题,以渤海湾盆地L油田馆陶组为例,综合应用野外露头、现代沉积和密井网等资料,对辫状河储层单砂体进行定量刻画,并分析其对剩余油分布的影响。研究表明:研究区辫状河单砂体的平面接触样式分别为砂质接触、半泥质接触和泥质接触。心滩坝宽度250~750 m,长度600~1 750 m,辫状河道宽度100~250 m。砂质接触的砂体连通性好,剩余油不富集;半泥质接触和泥质接触的砂体连通性较差或者不连通,在心滩坝单砂体侧翼和辫状河道富集剩余油。该研究为油田中后期剩余油挖潜提供依据。

**关键词:**辫状河;单砂体;剩余油;馆陶组

**中图分类号:**TE327 **文献标志码:**A

## Characterization of single sandbody and remaining oil distribution in braided river reservoir

LI Junfei

(Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

**Abstract:** Because of the strong heterogeneity of braided river reservoirs and difficulty in remaining oil prediction, taking the Guantao Formation in the L Oilfield of the Bohai Bay Basin as an example, data from field outcrop, modern deposition, and dense well patterns etc. were used to characterize quantitatively single sandbodies in braided river reservoirs, and analyze its control effect on remaining oil distribution. The results show that the planar contact patterns of the single sandbody in the braided river of the study area are sandy contact, semi-argillaceous contact, and argillaceous contact, respectively. The width of the central beach bar is from 250 m to 750 m, the length is from 600 m to 1 750 m, and the width of the braided channel is from 100 m to 250 m. The sandbodies in sandy contact have good connectivity, and the remaining oil is not enriched. The sandbodies in semi-argillaceous contact and argillaceous contact are poorly connected or disconnected, and the remaining oil is enriched in the flank of the single sandbodies of the braided bar and fluvial river. This study provides a basis for tapping the potential exploitation of remaining oil in the middle and late stages of the oilfield.

**Key words:** braided river; single sandbody; remaining oil; Guantao Formation

辫状河沉积是陆相河流-三角洲沉积体系重要的组成部分<sup>[1]</sup>,垂向上砂体多期叠置,横向上砂体相互切割,造成储层非均质性强<sup>[2]</sup>;多年的注水开发,导致油田剩余油分布复杂,亟需开展精细的单砂体刻画。近年来,国内外学者在辫状河储层研究方面做了大量的探索性工作,尤其在辫状河沉积模式<sup>[3]</sup>、心滩坝沉积演化<sup>[4-5]</sup>及隔夹层研究及三维地质建模<sup>[6-9]</sup>等方面取得较大进展,但在单砂体刻画及其对剩余油分布的影响方面研究较少。因此,以渤海湾盆地L油田4区馆陶组为例,探讨辫状河单砂体接触样式及定量规模,并分析其对剩余油分布的影响,以期为油田中后期剩余油挖潜提供依据。

## 1 研究区概况

L油田位于渤海湾盆地中南部海域渤南低凸起中段,该油田为受两组近南北向走滑断层控制、内部次生断层复杂化的断裂背斜构造。主力含油层系是馆陶组,以辫状河储层为主,发育辫状河道、心

收稿日期:2021-02-01;改回日期:2021-03-05。

作者简介:李俊飞(1988—),女,硕士,现从事油田开发地质研究工作。E-mail: 719717536@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058-001)。

滩坝、溢岸砂。岩性以中砂岩、细砂岩为主,局部含砾石,颗粒分选较差,磨圆是次棱角状一次圆状。储层孔隙度为18.9%~32.6%,渗透率为 $(15.0\sim 5\,900.0)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,属于中高孔、中高渗储层。

4区于2008年投产,经过十几年的注水开发,目前已进入高含水阶段,综合含水81%,储层水淹状况复杂,剩余油分布难以预测。为满足油田开发需要,需对辫状河储层单砂体平面接触样式进行刻画,对其定量规模进行研究,并探讨其对剩余油分布的影响。

## 2 单砂体识别

### 2.1 单砂体平面接触样式

辫状河河床宽浅,河道反复分岔合并,在不稳定水流作用下,易废弃改道,主要发育河床亚相和河漫亚相。河漫亚相是洪水泛滥期,水流漫过堤岸沉积的大量悬浮沉积物,以粉砂岩和泥岩为主。河床亚相是在双向环流作用下,在河床上沉积的砂砾质沉积物,主要以砂岩为主;根据沉积方式、砂体厚度和测井响应特征的差异,可进一步细分为心滩坝和辫状河道微相;随着河道改道和物源供给的影响,辫状河道充填方式发生变化,通过对顺物源方向和垂直物源方向连井剖面接触关系进行统计,认

为研究区单砂体在平面上存在3种接触样式:砂质接触、半泥质接触和泥质接触。

#### 2.1.1 砂质接触

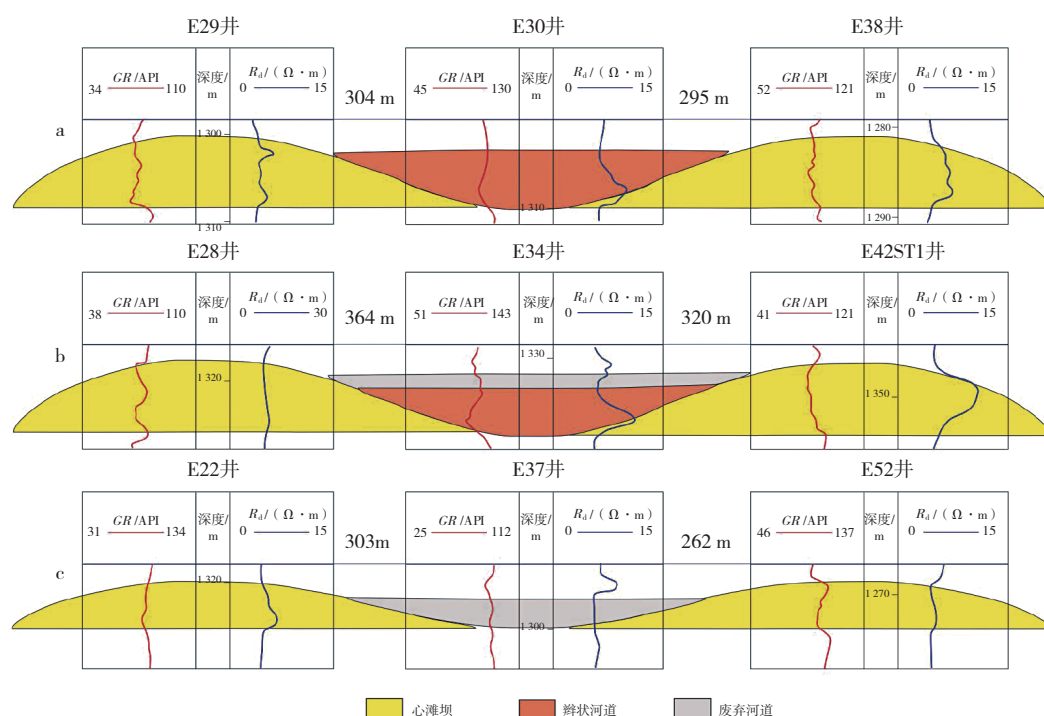
河道分流使得水流速度突然降低,其携带的沉积物超出河道的负载能力,砂质沉积物卸载,形成砂质岩相,与已沉积的心滩坝相接触,即砂质接触(见图1a)。由于河道的冲刷作用,使得心滩坝和砂质河道单砂体之间连通较好,成为油气运移的通道。河道砂体的厚度与同期心滩坝砂体的厚度相当或者略小。

#### 2.1.2 半泥质接触

物源供给不足,随着河道水流速度的突然降低,其携带的沉积物按照粒径大小先后沉积,河道下部发育砂岩,上部发育砂质泥岩和泥岩,与已沉积的心滩坝相接触,即半泥质接触(见图1b)。因水动力不足,半泥质河道下部砂体物性较差,与心滩坝单砂体连通性较差。

#### 2.1.3 泥质接触

河道改道使得其在一段时间内保持隔离的静水环境,最终,河道内细粒悬浮物质自然沉积下来形成泥岩沉积<sup>[10]</sup>,与已沉积的心滩坝相接触,即泥质接触(见图1c),其两侧的心滩坝单砂体之间不连通,相互之间没有油气运移。



a.砂质充填模式; b.半泥质充填模式; c.泥质充填模式

图1 L油田馆陶组单砂体平面接触样式

2.2 单砂体规模

单砂体的定量刻画在井间存在很强的预测性,因而,单砂体的几何形态成为其定量表征的关键。辫状河是由多期辫流带砂体叠加而成,其间发育不稳定分布的泛滥平原泥岩,单期辫流带砂体是由多个心滩坝及辫状河道组成,呈现“宽坝窄河道”的模式<sup>[11]</sup>,在此模式指导下,开展辫状河单砂体的定量刻画。

Leclair等<sup>[12]</sup>通过对辫状河现代沉积单一辫流带的测量,认为单一辫流带宽度与平均单河道满岸深度呈对数线性关系:

$$W_{min}=59.9h_a^{1.8} \tag{1}$$

$$W_{max}=192h_a^{1.37} \tag{2}$$

式中, $W_{min}$ 为单一辫流带最小宽度,m; $W_{max}$ 为单一辫流带最大宽度,m; $h_a$ 为平均单河道满岸深度,m。

研究区平均单河道满岸深度为5~8 m,由式(1)、(2)计算,得到单一辫流带宽度为1 000~3 300 m。研究区辫流带最大宽度为2 000 m,仅在辫流带边部发育一定规模的泛滥平原,因此认为研究区发育一个辫流带。研究表明,在现代沉积中,辫流带宽度与心滩坝宽度、心滩坝宽度和长度之间具有一定的相关性。通过对具有相似沉积背景的典型辫状河的辫流带宽度、心滩坝宽度、心滩坝长度等构型要素进行测量,得到它们之间的经验公式<sup>[13]</sup>,再结合单砂体平面接触样式,计算得到研究区心滩坝宽度250~750 m,心滩坝长度600~1 750 m。根据Kelly<sup>[14]</sup>的经验公式,研究区辫状河道宽度为100~250 m。

研究区L70C单层自北东东方向发育一条辫流带,辫流带内发育14个心滩坝以及多条废弃河道,统计结果表明,心滩坝宽度280~590 m,心滩坝长度685~1 058 m(见图2)。

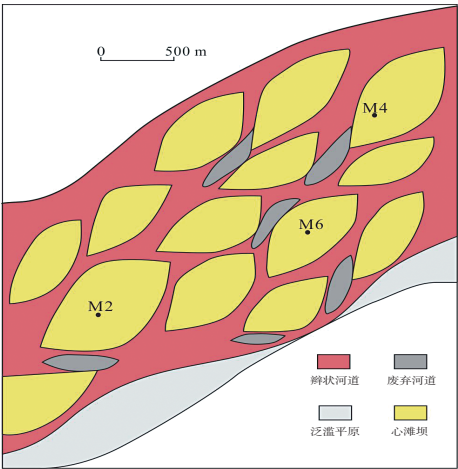


图2 L油田馆陶组L70C单层单砂体平面分布

3 辫状河单砂体平面接触样式对剩余油分布的控制

研究区馆陶组单砂体的平面接触样式主要包括砂质接触、半泥质接触和泥质接触3种类型;心滩坝单砂体呈均质韵律,在重力的作用下,水向下运动,使得单砂体呈底部水淹;因此,在平面接触样式和注采井网的耦合下,研究区剩余油分布复杂。

砂质接触的砂体横向连通性较好,水驱效果较好,剩余油不富集(见图3a)。半泥质接触的砂体由于上部泥质河道遮挡,单砂体间仅下部连通,且连通性较差,易在心滩坝侧翼中上部和辫状河道形成剩余油富集(见图3b)。泥质接触的砂体因泥质河道的存在,使得2个心滩坝单砂体横向不连通,易在心滩坝单砂体的侧翼富集剩余油(见图3c)。

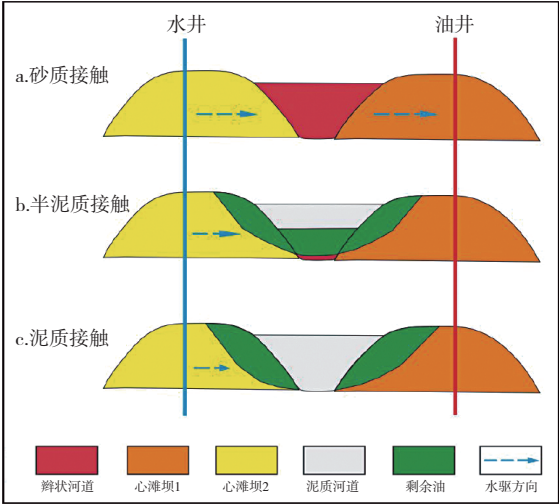


图3 单砂体对剩余油分布的控制机理

当注水井在半泥质河道、采油井在心滩坝上时,由于河道下部砂体物性差,两者间连通性较差,后期在心滩坝上的调整井呈未水淹(见图4a),或者当注水井在心滩坝、采油井在半泥质河道上时,由于两者间连通性差,后期在半泥质河道上的调整井呈未水淹(见图4b),说明半泥质接触的砂体水驱效果差,剩余油富集在心滩坝侧翼或者半泥质河道。当注水井在心滩坝、采油井在泥质河道微相时,两者间不连通,后期在心滩坝上的调整井呈未水淹(见图4c),说明泥质接触的砂体在心滩坝侧翼富集大量剩余油。在剩余油富集的心滩坝侧翼设计1口定向井,钻井证实主力砂体厚度累计60 m左右,主力层测井解释为未水淹,投产后日产油44 m<sup>3</sup>/d,含水率61%,地层压力平稳,有力证实了辫状河单砂体平面接触样式对剩余油分布控制的合理性。

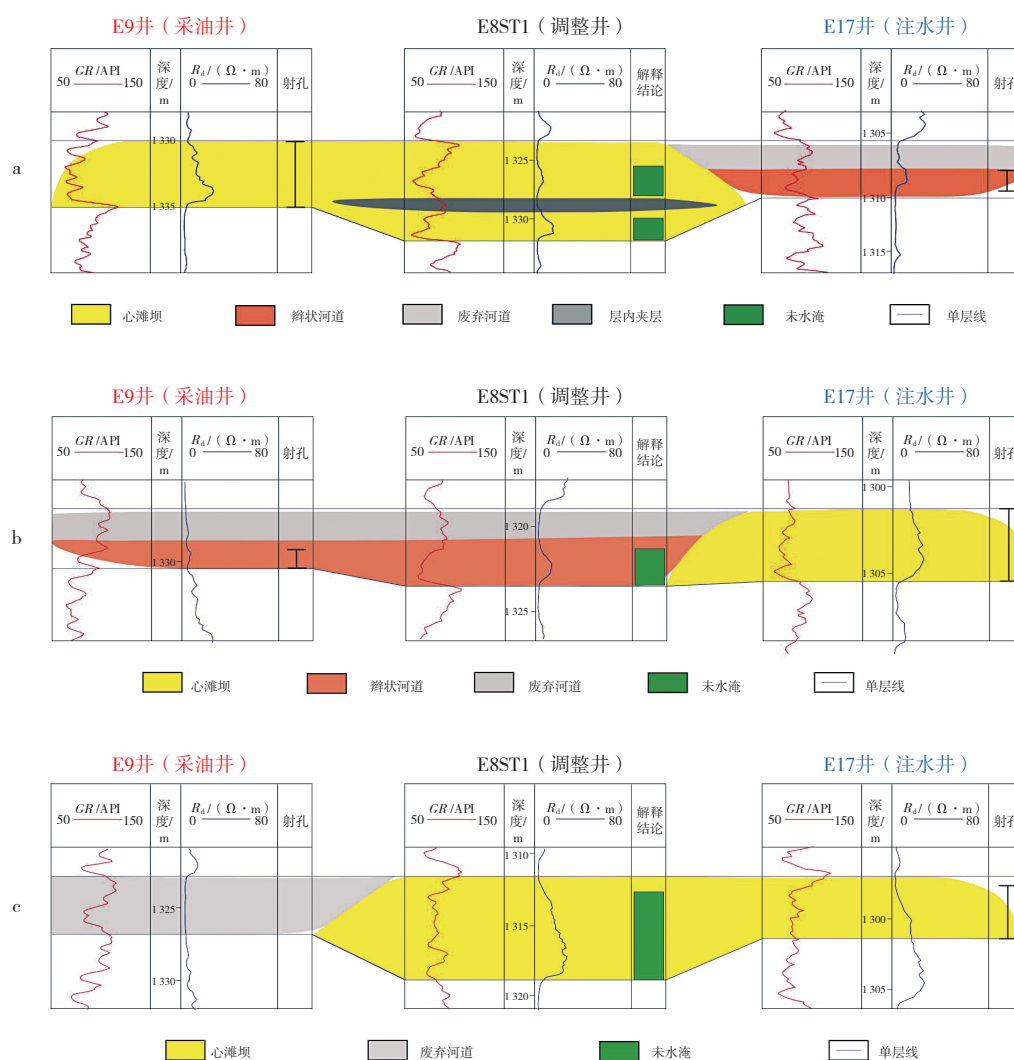


图4 单砂体平面接触样式影响的剩余油分布

## 4 结论

(1)通过研究区密井网的解剖,总结了辫状河单砂体3种平面接触样式:砂质接触、半泥质接触和泥质接触。

(2)在“宽坝窄河道”辫状河模式的指导下,以现代沉积得到的定量规模为约束,研究区心滩坝宽度 250~750 m,长度 600~1 750 m,辫状河道宽度 100~250 m。

(3)砂质接触的砂体连通性好,剩余油不富集;半泥质接触和泥质接触的砂体连通性较差或者不连通,在心滩坝单砂体侧翼和辫状河道富集剩余油。

### 参考文献:

- [1] 李阳.我国油气藏开发地质研究进展[J].石油学报,2007,28(3):75-79.
- [2] 徐东齐,孙致学,任宇飞.基于地质知识库的辫状河致

密储层地质建模[J].断块油气田,2018,25(1):57-61.

- [3] 陈仕臻,林承焰,任丽华,等.砂质辫状河沉积模式的建立——以委内瑞拉奥里诺科重油带H区块为例[J].沉积学报,2015,33(5):965-971.
- [4] 张宪国,张育衡,张涛,等.基于沉积数值模拟的辫状河心滩演化[J].中国石油大学学报(自然科学版),2020,44(2):1-9.
- [5] 张可,吴胜和,冯文杰,等.砂质辫状河心滩坝的发育演化过程探讨——沉积数值模拟与现代沉积分析启示[J].沉积学报,2018,36(1):81-91.
- [6] 乔雨朋,邱隆伟,宋子怡,等.远源砂质辫状河储集层内部隔夹层研究与地质建模——以沾化凹陷孤东油田六区馆上段为例[J].吉林大学学报(地球科学版),2020,50(1):41-51.
- [7] 孙天建,穆龙新,赵国良.砂质辫状河储集层隔夹层类型及其表征方法——以苏丹穆格莱特盆地 Hegli 油田为例[J].石油勘探与开发,2014,41(1):112-120.

(下转第 89 页)



水饱和度偏高,投产后产能较低,且易产水,影响气井的正常生产。

(3)明确低渗气藏的流体空间分布特征,并在后续开发过程中采取平面“高密低稀、先肥后瘦”的布井方式,纵向上优化射孔层段,对于确保气井投产后实现较高的产能,缓解气井投产初期气水同出的现象,并最终实现低渗气田的高效开发具有重要的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 蔡华,鹿克峰,何贤科,等.低渗气藏初始产水定量评价新方法——以东海盆地西湖凹陷为例[J].中国海上油气,2019,31(3):84-91.
- [2] 代金友,李建霆,王宝刚,等.苏里格气田西区气水分布规律及其形成机理[J].石油勘探与开发,2012,39(5):524-529.
- [3] 杨东升,李绪宣,刘春成,等.基于岩石物理与地震正演的天然气饱和度分析[J].石油天然气学报,2013,35(6):53-58.
- [4] 安鹏,曹丹平,赵宝银,等.基于LSTM循环神经网络的储层物性参数预测方法研究[J].地球物理学进展,2019,34(5):1849-1858.
- [5] 代百祥,方小宇,郇金来,等.利用J函数拟合法建立海上油田饱和度模型[J].河北地质大学学报,2017,40(3):1-5.
- [6] 邵才瑞,张鹏飞,张福明,等.用J函数提高致密砂岩气层饱和度测井评价精度[J].中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(4):57-65.
- [7] 王庆勇.利用毛细管压力计算低渗储层可动水饱和度[J].断块油气田,2013,20(1):85-88.
- [8] 胡勇,于兴河,陈恭洋,等.平均毛管压力函数分类及其在流体饱和度计算中的应用[J].石油勘探与开发,2012,39(6):733-738.
- [9] 田彬,盛志超,陈现,等.海上低渗气藏等饱和度面空间展布特征研究[J].海洋石油,2018,38(1):50-54.
- [10] 李爱芬.油层物理[M].东营:中国石油大学出版社,2011:142.
- [11] 杨正明,姜汉桥,周荣学,等.用核磁共振技术测量低渗含水气藏中的束缚水饱和度[J].石油钻采工艺,2008,30(3):56-59.
- [12] 成志刚,王黎.利用NMR资料建立束缚水解释模型[J].江汉石油学院学报(自然科学版),2003,25(2):66-67.
- [13] 崔迎春,张琰.低渗气层岩样束缚水饱和度的室内实现方法[J].石油钻采工艺,2000,22(4):11-13,83.
- [14] 王晓畅,范宜仁,邓少贵,等.基于离心试验数据确定束缚水饱和度[J].中国石油大学学报(自然科学版),2009,33(3):76-79,94.
- [15] 毕建霞,戚志林,郭平,等.降压开采过程中凝析油气相渗实验研究[J].天然气工业,2006,26(10):108-110,183.

(编辑 谢 葵)

(上接第68页)

- [8] 刘建华,汪利兵,赵靖康,等.PL油田浅水辫状河三角洲隔夹层精细表征方法[J].西南石油大学学报(自然科学版),2019,41(5):10-20.
- [9] 袁新涛,吴向红,张新征,等.苏丹 Fula 油田辫状河储层内夹层沉积成因及井间预测[J].中国石油大学学报(自然科学版),2013,37(1):8-12,34.
- [10] 陈玉琨,吴胜和,毛平,等.砂质辫状河储集层构型表征——以大港油田羊三木油田馆陶组为例[J].新疆石油地质,2012,33(5):523-526.
- [11] 刘钰铭,李园园,张友,等.喇嘛甸油田密井网砂质辫状河厚砂层单砂体识别[J].断块油气田,2011,18(5):556-559.
- [12] LECLAIR S F, BRIDGE J S. Quantitative interpretation of sedimentary structures formed by river dunes [J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71 (7): 713-716.
- [13] 李俊飞,霍春亮,叶小明,等.渤海海域L油田砂质辫状河储层构型特征[J].油气地质与采收率,2017,24(6):48-53.
- [14] KELLY S. Scaling and hierarchy in braided rivers and their deposits: examples and implications for reservoir modeling [M]//SAMBROOK SMITH G H, BRISTOW C S. Braided rivers: process, deposits, ecology and management. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2006: 75-106.

(编辑 谢 葵)