2009年 第33卷 第1期

文章编号:1673-5005(2009)01-0007-05

辫状河储层构型分析

刘钰铭1,侯加根1,王连敏2,薛建军2,刘显贺2,付晓亮2

(1. 中国石油大学 资源与信息学院,北京 102249; 2. 中石油 大港油田分公司第六采油厂,天津 300280)

摘要:以羊三木油田羊三断块馆二上段为例,提出了辫状河砂体储层构型的研究方法,即基于辫状河露头及现代沉 积原形模型,应用动、静态资料在井间识别单个心滩坝砂体,进行井间构型预测,建立构型三维展布模型。研究结果 表明,辫状河心滩坝厚砂层内部存在次级界面、与界面伴生的夹层在心滩坝中心分布不稳定,剩余油往往富集于砂 体顶部,而夹层在心滩坝两翼较为稳定,致使剩余油富集于被夹层分隔的某些相对均质段。 关键词:储层构型;辫状河;心滩坝;剩余油;羊三木油田

中图分类号:TE 122.2 文献标识码:A

Architecture analysis of braided river reservoir

LIU Yu-ming¹, HOU Jia-gen¹, WANG Lian-min², XUE Jian-jun², LIU Xian-he², FU Xiao-liang²

School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
 6th Oil Production Plant of Dagang Oilfield Branch Comapany, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: Taking the upper Ng_2 formation of Y3 block in YSM Oilfield as a case, the architecture analysis method of braided river reservoir was proposed. Based on the former results about outcrop and modern deposition study, using dynamic and static data, the singe mid-channel bar was identified and anatomized. The 3D architecture model was built. The results show that the interlayer in the think sandbody of braided river reservoir, which was associated with the bounding surface, was always unstable in the center part of the mid-channel bar, where the remaining oil was always on the top. The interlayer was relatively stable in the lateral part of the mid-channel bar , where the remaining oil was accumulated in the relatively homogeneous segments separated by the interlayer.

Key words: reservoir architecture; braided river; mid-channel bar; remaining oil; YSM Oilfield

储层构型亦称为储层建筑结构,是指不同级次 储层构成单元的形态、规模、方向及其叠置关系^[1]。 侧重于露头和现代沉积的河流相储层构型研究由来 已久^[218],但地下储层构型分析仍处于探索阶段。 油区储层构型分析对于深化储层地质研究和砂体内 部剩余油挖潜有着重要的理论及现实意义^[19]。近 几年,国内学者对地下储层构型做了探索性的工作, 主要集中于地下曲流河储层^[11-17],而针对辫状河的 地下储层构型研究工作甚少。笔者以大港羊三木油 田馆二上段辫状河厚砂层为例,依据井资料在平面 上识别单个心滩坝单元,进而对心滩坝内部构型进 行解剖,建立心滩坝构型三维展布模型,并在此基础 上建立构型界面成因的层内夹层三维渗透率属性模型,探讨构型控制的剩余油分布模式。

1 研究区概况

羊三木油田位于黄骅坳陷羊三木潜山二级构造 带的局部构造(图1),为一个披覆背斜整装稠油油 藏,研究层段为新近系中新统馆陶组馆二上亚段,油 藏埋深1.310~1.570 km,为高孔高渗砂质辫状河 储层^[20]。根据开发管理及构造发育特征,将羊三木 油田划分为羊一、羊二、羊三及羊八共4个断块,其 中,羊三断块面积大,构造简单,区内171 口井,井距 较小,为50~150 m。

基金项目:国家科技重大专项课题(2008ZX05014)

作者简介:刘钰铭(1983-),男(汉族),安徽太湖人,博士研究生,从事油气田开发地质及油藏描述工作。

收稿日期:2008-08-20

羊三木油田自1971年投产,采用注水开发方 式,羊三断块局部井组已开展碱-聚二元复合驱采 油,目前综合含水率已超过95%,剩余油呈整体分 散、局部集中的分布特征,对开发后期辫状河厚砂层 内部构型控制的剩余油认识不清,迫切需要开展辫 状河厚砂层内部构型精细解剖研究。

前人曾对该区做过沉积方面的研究^[7],但主要 局限于取心井岩相、构型单元的划分及描述,缺乏厚 砂层储层构型井间预测及构型导致的渗流屏障和渗 流差异研究,因此难以预测油层内部剩余油的分布。 由于地震资料分辨率受限,笔者主要依据井资料进 行构型分析。





2 构型分析

针对辫状河储层厚层砂体连片,单个心滩砂体 难以区分的特点,笔者在单砂层对比及砂体成因类 型分析基础上,首先在井间识别单个心滩坝砂体,然 后解剖单个心滩坝内部构型特征。

2.1 砂体成因类型

辫状河河道快速摆动使多个成因砂体在垂向及 侧向相互连通,形成广泛分布的厚砂岩,其储层主要 的砂体类型为心滩坝和河道充填^[18],即在宽广的河 谷内镶嵌着多个互有联系的心滩坝砂体。

通过沉积时间单元划分和对比,将羊三木油田 馆二上(Ng[⊥])油组分为4个单层,自上而下记为Ⅰ, Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ。其中 Ng[⊥] 第Ⅲ,Ⅳ层为厚砂层,单层砂 体平均厚12 m,最厚达20 m,砂体连片分布,通过测 井相识别及单井相划分,羊三断块 Ng[⊥] 第Ⅲ,Ⅳ层 以心滩坝沉积为主,其自然电位、自然伽马等测井曲 线大多表现为厚层箱状,具有典型的心滩坝特征。

2.2 单一心滩坝的识别

单个心滩坝砂体的识别是辫状河储层构型分析 的重点及难点,也是后续单个心滩坝解剖的前提。 根据研究区内羊新 14-15、羊 10-13 等取心井资料, 心滩坝主要为发育交错层理的砂岩或块状砂岩,存 在多期泥质、粉砂质夹层。

当相邻两口井单井识别均为心滩坝砂体时,如 何判断其是否属于同一心滩坝砂体是单个心滩识别 的核心。针对研究区实际,总结了如下几条判断相 邻两口井不属于同一心滩坝砂体的依据:

(1)对应的单层注采动态资料(如示踪剂、聚合物等)揭示不连通,可以判断处于两个不同的心滩 单元,该方法适用于存在此类动态资料的井区。

(2)河道砂体顶面层位差异(砂体顶面距层位 顶面的距离)往往指示单河道砂体的边界^[15],可判 断不属于同一心滩坝砂体。

(3)心滩坝内部夹层(构型界面)不匹配。若心 滩坝内发育以"落瘀层"为成因的夹层^[9]在较小的 范围内,即在相邻两口井心滩坝内部不匹配,则极有 可能属于不同的心滩坝。

(4)不同的心滩坝砂体在沉积韵律、发育厚度 等方面的差异导致测井曲线上的差异,也可以作为 判别的辅助依据。

综合运用以上判据,同时考虑平面上组合形态, 在广泛连片的心滩坝砂体中识别了单个心滩坝的边 界。

2.3 心滩内部构型解剖

成因上心滩坝砂体是由多期砂体垂向加积沉积 而成。心滩坝内部构型解剖本质就是这多期垂积体 之间的界面在三维空间的展布分析,目的是建立其 三维展布模型。首先从单井识别内部界面,然后选 择合适的模式在剖面上对内部界面进行组合,最终 得到三维构型模型。笔者选择羊三断块各种动、静 态资料最为丰富的羊监1井组第Ⅳ单层所在的心滩 坝进行解剖。

2.3.1 单井界面识别

砂层内部界面的表现就是层内夹层。虽然依据 取心井岩心资料可以直观地识别出几厘米至十几厘 米的夹层,但油田地区更常用的是测井资料,一般测 井资料的分辨率在20 cm 左右,因此仅识别出20 cm 以上厚度的夹层更具有实际意义,可操作性更强。

通过羊监1等取心井岩心资料进行夹层识别, 夹层多为粉砂质泥岩和泥质粉砂岩,含泥砾,纯泥岩 夹层少见。对夹层测井响应特征进行总结,夹层的 自然伽马曲线明显回返至高值,地层电阻率相应降低,微电位和微梯度值较低且幅度差为零或很小,一般小于3Ω・m,但声波时差却为明显高值,一般在 325 μs/m以上,并径曲线明显扩径。依此对非取心 井进行夹层识别,研究区内 Ng¹ 第Ⅲ,Ⅳ单层多发 育 2~3 个薄夹层,厚 0.20~0.55 m。羊监1 井位于 该心滩坝的中心,识别出 3 期界面并将该心滩坝砂 体分为 4 期垂积体,从下至上记为 A, B, C, D(图 2)。





Fig. 2 Identification of internal bounding surface and the C/O remaining oil logging on well YJ 1

2.3.2 井间界面预测

合适的心滩坝内部构型模式是井间构型界面预 测的前提。对现代典型砂质辫状河 Brahamaputra 河^[34]及 Jamuna 河^[56]心滩坝沉积的研究发现,心滩 坝的中心部位夹层总是近似水平的,在长轴方向上, 迎水面夹层稍陡而背水面较平缓,短轴方向夹层在 心滩两翼略有倾斜(图3)。



图 3 心滩坝内部构型模式

Fig. 3 Architecture type of mid-channel bar

基于该模式,对研究区内所有井分别沿心滩长 轴方向和短轴方向建立连井剖面进行夹层组合对 比,得到井间界面的匹配关系(图4)。在此基础上, 通过心滩底部构造拉平的方法可以计算不同部位界 面的倾角,即界面相对心滩底面的高度差(图4中 Δh)与井距的比值就是该角度的正切值。通过计 算,大部分区域特别是心滩坝中心部位,界面基本平 行,倾角不超过2°,只有在长轴方向迎水面倾角稍 大,为2°~5°。 2.3.3 三维构型建模

心滩坝三维构型建模本质是井间界面展布在三 维中的组合再现,即将各井点界面按照井间预测的 结果在三维中进行内插,就得到界面的三维展布,进 而得到不同期次垂积体的空间展布。这同时也是对 上述井间界面预测结果的检查,因此三维构型建模 与上一步井间界面预测实际上是一个二维、三维互 动的过程。建立羊监1井组第Ⅳ单层心滩坝三维构 型模型,该心滩坝发育 A,B,C,D 4 期垂积体,最底 部 A 垂积体分布面积最小,B,C,D 垂积体依次覆盖 其上,朝下游方向覆盖面积加大,整体上有向下游移 动的趋势(图 5)。

由于厚度、岩性的差异,致使构型界面导致的层 内夹层并不是完全的非渗透层,往往具有一定的渗 透性。为了配合剩余油分析,基于心滩坝三维构型 建模成果,依据测井解释资料,建立了层内夹层的孔 隙度、渗透率等属性的三维空间展布模型。图6展 示的是心滩坝内垂积体 A 和 B 之间的界面对应夹 层的渗透率分布,可以看出,心滩中心部位及长轴方 向的迎水面渗透率较高,最高可达 100 × 10⁻³ μm², 而两翼渗透率则较低,小于 20 × 10⁻³ μm²。这也证 明了心滩顶部及长轴迎水面水动力强,夹层岩性较 粗的特点。



图 4 羊 12-12 井---羊 16-14 井间界面预测及界面倾角计算结果

Fig. 4 Internal bounding surface and its dip of well Y 12-12 to well Y 16-14 section



图 5 羊监 1 井组第 IV 单层心滩坝三维构型模型栅状图 Fig. 5 Fence diagram of 3D architecture model of mid-channel bar in 4th single sand zone of well YJ 1 area





3 构型对层内剩余油分布的影响

影响剩余油分布的因素很多,这里仅讨论心滩 坝内部构型特征对层内剩余油分布的影响。构型对 剩余油分布的影响本质上是由构型界面成因导致的 层内夹层对油水运动的影响。在相对均质的厚油层 中,夹层起到限制或减缓注入水重力影响的作用。

玻璃钢套管检测井羊监1井处于心滩坝的长轴 方向的核心部位(图4、图5),夹层具有一定的渗透 性(图6)。多次 C/O 测井显示,整体上油层下部水 洗程度高,剩余油富集于上部,但在夹层影响下,A, B,C,D 这4期心滩坝垂积体相对独立,每期垂积体 顶部剩余油相对富集(图3)。

采油井羊 16-13 井处于心滩坝翼部,发育 B,C, D 共 3 期心滩坝垂积体,2003 年含水率已达 95%。 2004 年研究区实施注聚三次采油,羊 16-13 临近的 对应注入井羊 15-14 注聚合物,效果不佳。通过构 型分析,认为 B,C 两期心滩坝垂积体之间对应的夹 层渗透性差,对流体分割性好。通过相应措施封堵 底部对应注入井羊 16-14 井 B 期心滩坝垂积体,使 含水率下降到76%,产油量增加。

4 结 论

(1)针对辫状河厚砂层,提出了首先识别单个 心滩坝砂体,然后对心滩坝进行内部解剖的构型分 析方法。

(2) 心滩坝内部夹层不是完全的泥岩非渗透 层,中心部位及迎水面夹层具有一定的渗透性,致使 砂层内下部水洗程度高,上部剩余油富集,而心滩坝 两翼夹层渗透性差。砂层可以分为几个相对独立的 均质韵律段,通过调剖等措施可以达到较高的驱油 效率。

参考文献:

- MIALL A D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth Science Reviews, 1985, 22(2):261-308.
- [2] ALLEN J R L. Studies in fluviatile sedimentation; bars, bar complexes and sandstone sheets(lower-sinuosity braided streams) in the Brownstones(L. Devonian), Welsh Borders[J]. Sediment Geology, 1983, 33(4):237-293.
- [3] THORNE C R, RUSSELL A P G and ALAM M K. Planform pattern and channel evolution of the Brahmaputra River, Bangladesh [C]//BEST J L, BRISTOW C S. Braided Rivers, London: Geological Society of London, 1993:257-276.
- [4] BRISTOW C S. Sedimentary structure exposed in bar tops in the Brahmaputra River, Bangladesh [C]//BEST, J L, BRISTOW C S. Braided Rivers, London: Geological Society of London, 1993;277-289.
- [5] ASHWORTH P J, BEST J L, RODEN J E, et al. Morphological evolution and dynamics of a large, san braid-bar, Jamuna River, Bangladesh [J]. Sedimentology, 2000, 47 (3):533-555.
- [6] BEST J L, ASHWORTH P J, BRISTOW C S, et al. Threedimensional sedimentary architecture of a large, mid-channel sand braid bar, Jamuna River, Bangladesh [J]. Journal of Sedimentary Research, 2003, 73(4):516-530.
- [7] 周宗良,杨国安,肖建玲、河成单元储层构形非均质性研究[J].石油勘探与开发,1995,22(2):71-75. ZHOU Zong-liang,YANG Guo-an,XIAO Jian-ling. Reservoir heterogeneity in fluvial facies architecture[J]. Petro-leum Exploration and Development,1995,22(2):71-75.
- [8] 葛云龙,逯径铁,廖保方,等. 辫状河相储集层地质模型——"泛连通体"[J]. 石油勘探与开发,1998,25 (5):77-79.

GE Yun-long, LU Jing-tie, LIAO Bao-fang, et al. A braided river reservoir geological model—"pan communicated sandbody" [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998,25(5):77-79.

[9] 廖保方,张为民,李列,等. 辫状河现代沉积研究与相 模式——中国永定河剖析[J]. 沉积学报, 1998, 16 (1):34-39.

LIAO Bao-fang, ZHANG Wei-min, LI Lie, et al. Study on modern deposit of a braided stream and factes model taking the Yongding River as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinca, 1998, 16(1): 34-39.

- [10] 伍涛,王建国,王德发. 辫状河砂体储层沉积学研究——以张家口地区露头砂体为例[J]. 沉积学报, 1998,16(1):27-28.
 WU Tao, WANG Jian-guo, WANG De-fa. Reservoir sedimentology of braided river sandbodies—a case study of the outcrop in Zhangjiakou region[J]. Acta Sedimentologica Sinca, 1998, 16(1):27-28.
- [11] 马世忠,杨清彦.曲流点坝沉积模式、三维构形及其 非均质模型[J].沉积学报,2000,18(2):241-246.
 MA Shi-zhong, YANG Qing-yan. The depositional model, 3-D architecture and heterogeneous model of point bar in meandering channels [J]. Acta Sedimentologica Sinca,2000,18(2):241-246.
- [12] 赵翰卿,付志国,吕晓光,等.大型河流一三角洲沉积 储层精细描述方法[J].石油学报,2000,21(4):109-113.

ZHAO Han-qing, FU Zhi-guo, LÜ Xiao-guang, et al. Methods for detailed description of large fluvial-delta depositional reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21 (4):109-113.

- [13] 李双应,李忠,王忠诚,等. 胜利油区孤岛油田馆上段 沉积模式研究[J]. 沉积学报,2001,19(3):386-393.
 LI Shuang-ying, LI Zhong, WANG Zhong-cheng, et al. The study of depositional model in the upper member of Guantao formation in Gudao Oilfield of the Shengli petroleum province[J]. Acta Sedimentologica Sinca,2001,19 (3):386-393.
- [14] 李阳,李双应,岳书仓,等.胜利油田孤岛油区馆陶组 上段沉积结构单元[J].地质科学,2002,37(2):219-230.

LI Yang, LI Shuang-ying, YUE Shu-cang, et al. Sedimentary architectural elements of upper member of Guantao formation in Gudao area of Shengli Oilfield [J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(2):219-230.

(下转第17页)

Geology, 1995, 12(2):137-151.

- [8] CLIFTON A E, SCHLISCHE R W, WITHJACK M O, et al. Influence of rift obliquity on fault-population systematics: results of experimental clay models [J]. Journal of Structural Geology, 2000, 22:1491-1509.
- [9] MART Y, DAUTEUIL O. Analogue experiments of propagation of oblique rifts [J]. Tectonophysics, 2000, 316 (1/2):121-132.
- [10] YAMADA Y, MCCLAY K R. Analog modeling of inversion thrust structures experiments of 3D inversion structures above listric fault systems [C]//MCCLAY K R. Thrust Tectonics and Petroleum Systems. Tulsa Okla: American Association of Petroleum Geologists, Memoir. 2004, 82:276-302.
- [11] 李东旭. 旋扭构造动力学——理论、方法及应用
 [M].北京:地质出版社,2003:137-159.
- [12] 胡朝元. 渤海湾盆地的形成机理与油气分布特点新 议[J]. 石油实验地质,1982,4(3):161-167.
 HU Zhao-yuan. Geodynamic environment of Bohai Gulf Basin and its oil occurrence[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1982,4(3):161-167.
- [13] 马杏垣,刘和甫,王维襄,等.中国东部中、新生代裂 陷作用和伸展构造[J].地质学报,1983,57(1):22-32.

MA Xing-yuan, LIU He-fu, WANG Wei-xiang, et al. Meso-Cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in

(上接第11页)

[15] 陈清华,曾明,章凤奇,等.河流相储层单一河道的识别及其对油田开发的意义[J].油气地质与采收率, 2004,11(3):13-15.

CHEN Qing-hua, ZENG Ming, ZHANG Feng-qi, et al. Identification of single channel in fluvial reservoir and its significance to the oilfield development [J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2004, 11(3):13-15.

[16] 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:自然科学版,2008,32(2):21-27.
YUE Da-li, WU Sheng-he, CHENG Hui-ming, et al. Numerical reservoir simulation and remaining oil distribution patterns based on 3D reservoir architecture model [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science),2008,32(2):21-27.

[17] 渠芳,陈清华,连承波.河流相储层构型及其对油水

eastern China [J]. Acta Geological Sinica, 1983, 57 (1):22-32.

- [14] ALLEN M, MACDONALD D, ZHAO X, et al. Early Cenozoic two-phase extension and late Cenozoic thermal subsidence and inversion of the Bohai Basin, northerm China [J]. Marine and Petroleum Geology, 1997, 14 (7/8):951-972.
- [15] ALLEN M, MACDONALD D, ZHAO X, et al. Transtensional deformation in the evolution of the Bohai Basin, northern China [M]//HOLDSWORTH R, STRA-CHAN R, DEWEY J. Continental transpressional and transtensional tectonics. London: Geological Society. Special Publications, 1998;215-229.
- [16] 周建勋,周建生. 渤海湾盆地新生代构造变形机制: 物理模拟和讨论[J]. 中国科学(D辑),2006,36(6): 507-519.

ZHOU Jian-xun, ZHOU Jian-sheng. Mechanisms of Cenozoic deformation in the Bohai Basin, Northeast China: Physical modeling and discussions[J]. Science in China (ser D), 2006,49(3):507-519.

- [17] 马杏垣. 中国及临近海域岩石圈动力学图[M]. 北京:地质出版社,1987:176.
- [18] 金性春.板块构造学基础[M].上海:科学技术出版 社,1984:86-87.

(编辑 徐会永)

分布的控制[J].中国石油大学学报:自然科学版, 2008,32(3):14-18.

QU Fang, CHEN Qing-hua, LIAN Cheng-bo. Fluvial facies reservoir architecture and its control over the distribution of oil and water [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2008, 32(3): 14-18.

- [18] 于兴河,马兴祥,穆龙新,等. 辫状河储层地质模式及 层次界面分析[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [19] 李阳. 我国油藏开发地质研究进展[J]. 石油学报, 2007,28(3):75-79.

LI Yang. Progress of research on reservoir development geology in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(3): 75-79.

[20] 大港油田石油地质志编辑委员会.中国石油地质志
 (卷四)[M].北京:石油工业出版社,1991.

(编辑 徐会永)