

气田开发

断块油气田非均质储层流动单元评价

刘钰铭^{1,2}, 侯加根¹, 王兴明³, 王 敏³

(1. 中国石油大学(北京)资源与信息学院, 北京 102249;

2. 大庆石油勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712;

3. 中国石油大港油田分公司, 天津 300280)

摘要:以黄骅坳陷王官屯油田王27断块为例, 提出断块油气田非均质储层流动单元评价方法。通过单砂层对比揭示砂体平面展布特征, 再结合断层封闭性分析及砂体构型分析, 划分单个流动单元(连通体); 对储层产能敏感的储层参数进行聚类分析, 将单井流动单元分为E、G、M和P共4类, 并建立流动单元展布模型。研究表明, 断层、沉积相及砂体内部结构控制着流动单元的边界, 流动单元优劣受控于沉积、构造及储层流体性质。这一研究对于优化油田开发调整方案将具有重要的借鉴意义。

关键词:流动单元; 沉积相; 断层; 王官屯油田

中图分类号: TE347

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)01-0168-04

0 引言

自流动单元这一概念提出以来, 国内外许多学者^[1-13]开展了储层流动单元研究, 但多集中于整装油藏, 尚未形成针对流体性质差异大的断块油田非均质储层的流动单元的划分及评价方法。因此, 以王官屯油田王27断块为例进行储层流动单元研究, 可以进一步丰富流动单元研究方法, 对提高此类油藏的开发效率也具有十分重要的实际意义。

1 研究区概况

王27断块是黄骅坳陷内复杂断块油田——王官屯油田的内部断块之一。王官屯油田处于孔店构造带中部, 孔东断裂下降盘, 整体上为一个被断层遮挡的断鼻构造^[14], 王27断块构造相对简单, 被4条东南—西北向断层分割为4个自然断块, 断块面积小, 内部构造简单(图1), 以单斜形态为主。

王27断块目的层系为古近系孔店组孔一段枣Ⅲ油组, 由多期扇中辫状河道砂体叠加而成^[15], 非均质性强, 是一套岩性变化较大的碎屑砂岩油藏。古近系自上而下分为东营组、沙河街组和孔店组。

孔店组自上而下又分为孔一段、孔二段和孔三段, 其中孔一段包括6个油组, 自上而下为枣0油组、枣Ⅰ油组、枣Ⅱ油组、枣Ⅲ油组、枣Ⅳ油组和枣Ⅴ油组。枣Ⅲ油组是王官屯油田的主力含油层系, 厚度为90~180 m左右, 砂岩发育, 厚度大, 岩性以细—粗砂岩、砂砾岩为主, 夹紫红色、灰绿色泥岩和泥质粉砂岩, 主要储层为辫状河河道砂体。岩石物性分析表明王27断块孔一段枣Ⅲ油组物性一般, 以中孔—中低渗为主, 部分为中孔—高渗, 平均孔隙度为19.04%, 平均渗透率为 $61.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度主要集中在18%~23%之间, 渗透率分布较为分散。受断层的影响, 平面上原油粘度差异较大。

2 流动单元划分

不同的学者对流动单元有不同的理解, 提出了不同的划分方法, 如岩相细分对比法^[6]、高分辨率层序地层学基准面旋回划分法^[7-9]、沉积微相划分法^[3]和砂体构型(建筑结构)划分法^[10]等。其实, 不论何种方法, 其本质都是通过识别储层内部的渗流屏障, 将储层分成互不连通的多个单元。

对于断块油田非均质储层而言, 储层内部渗流

屏障包括断层、砂体间隔层及井间砂体不连续界面等。据此,提出了针对断块油田非均质储层流动单元划分的思路流程:

第一步,利用高分辨率层序地层学基准面旋回理论进行单砂层划分对比,并通过沉积微相分析,得到每个单砂层的砂体平面分布特征。

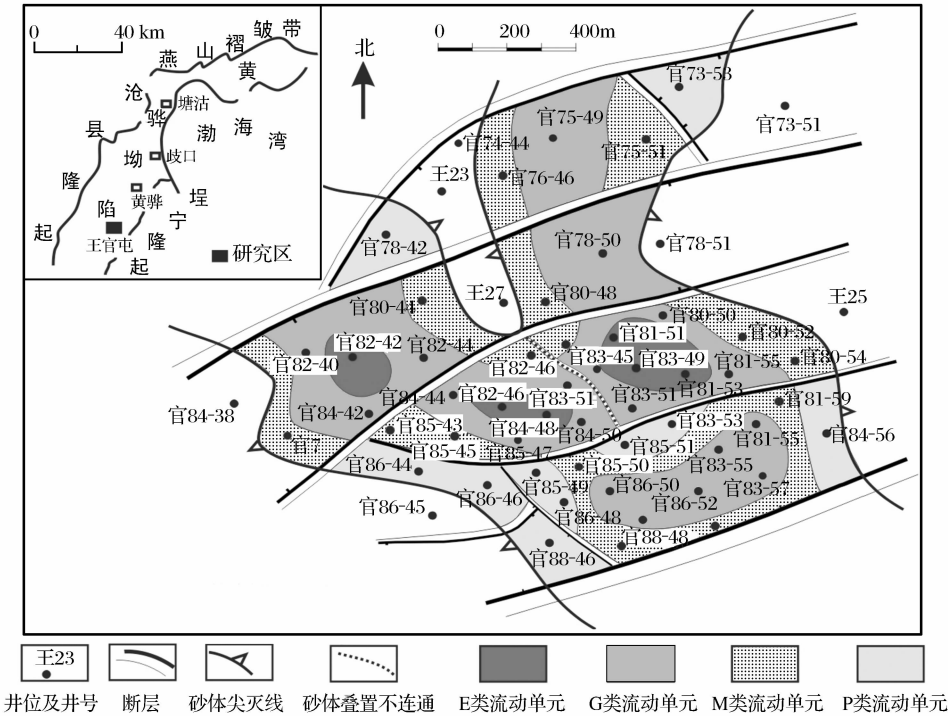


图1 王27断块枣Ⅲ₂单砂层流动单元分布

第二步,通过断层两侧岩性配置关系及生产注采动态资料进行断层封闭性分析,在第一步得到的砂体平面分布图上加上封闭性断层将其分块。

第三步,在断层封闭的断块内,通过砂体接触关系分析,确定连片分布砂体内部侧向上的接触界面(渗流屏障)^[16-17],进一步细分流动单元。

王27断块枣Ⅲ油组垂向上细分为4个小层,合计18个单砂层,各单砂层间隔层稳定,互不连通。以枣Ⅲ₂单砂层为例阐明上述流动单元划分方法。通过沉积微相平面分析确定该单砂层河道砂体平面分布,该单砂层在研究区内整体连片分布,无孤立砂体,河道物源方向大致为北北西方向,砂体呈宽条带状,东部高部位砂体变薄尖灭,切河道方向北部王23井和王27井区砂体尖灭,顺河道方向砂体连续,但被断层分割。生产动态资料证实该区断层封闭性好,因此断层两侧为不同的流动单元。在砂体连片的官83-45井断块,通过砂体构型分析,认为其为2期河道砂体垂向叠加所致,2期砂体侧向上存在河道切割导致的非渗透层(图2),将其分为2个流动单元,东部官83-45井和西部官83-51井分别处于2个互不连通的流动单元(图1)。因此,依据尖灭线、断层线及砂体叠置不连通的接触界面将该单砂层共

划分为10个流动单元(图1)。

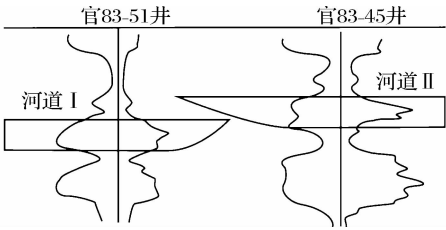


图2 官83-51井—官83-45井
枣Ⅲ₂单砂层砂体接触关系

3 流动单元评价

在单个连通单元内,由于不同区域储层物性参数不同,渗流特征也不一样,在油田开发生产中也有不同的响应。因此,选取能体现储层渗流差异的参数进行流动单元分类,将单个连通体划分为几个渗流能力不同的区域(不同类型的流动单元),进而达到评价储层的目的,这已成为油气田开发阶段储层研究的一种新手段。

3.1 流动单元分类

流动单元研究早期,人们往往基于取心井资料进行流动单元分类评价,如流动层带指数(FZI)法^[6]及孔隙几何形状分析法(即R₃₅法^[7])等。然

而,对于强非均质性储层,由有限的取心井得出的相关关系用于非取心井是不可靠的^[18],油田生产中能广泛获取的最多的就是测井解释资料,因此有学者提出了利用测井资料进行流动单元评价的渗透率分级划分法^[11]及储层多参数聚类方法^[12]等。而流动单元分类的核心是要体现不同流动单元流体流动能力差异,不论采取哪种方法,其落脚点都应该是储层的实际生产能力,即流动单元分类评价的目的类型的优劣反应储层的生产能力。不同类型的储层,产能受控因素不同,也就出现了不同的分类方法^[19-20]。

王 27 断块自 1992 年投入开发,现有油井 26 口,各井产能差异大。通过对比分析认为,储层产能除了与孔隙度、渗透率成正相关关系外,还受原油粘度影响明显,不同断块、不同构造部位原油粘度差异大,主要在 11~400 mPa·S 之间,最高达到 2 400 mPa·S。只有孔渗性均好而且原油粘度较低的井才具有较高的产能。

通过优选存储系数、渗流系数这 2 个参数进行聚类分析(图 3),将研究区流动单元分为 E(极好)、G(好)、M(中等)、P(差)共 4 类,分类结果能较好地体现单井实际生产能力(表 1)。E 类流动单元初期产能最好,大多大于 20 t/d;G 类次之,在 10~20 t/d 之间;M 类较差,在 4~15 t/d 之间;而 P 类基本没有产能。

表 1 王 27 断块枣Ⅲ油组流动单元划分标准及初产统计					
流动单元 类型	渗流系数 (10 ⁻³ μm ² ·m)		存储系数 (%·m)		单井初 期产能 (t/d)
	范围	平均	范围	平均	
E	688.2~3 203.2	1 761	115.3~198	141.9	26.4
G	229.4~2 169.5	1 166	73.6~122.1	94.1	16.2
M	126~1 445.4	719	44.2~80.1	58.8	10.1
P	45.7~1 085	346.2	12.6~48.5	31.7	0.3

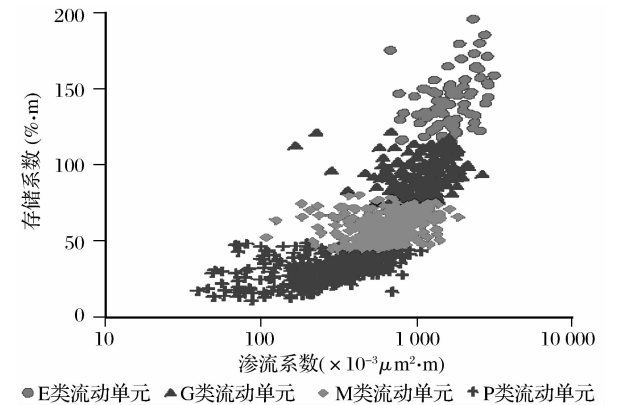


图 3 王 27 断块枣Ⅲ油组流动单元聚类分析结果

3.2 流动单元分布特征

在单个连通单元划分及分类的基础上,进行平面流动单元分析,有助于了解不同质量的储层在平面上的分布状况,以及从平面上分析不同流动单元间注水开发动态和剩余油分布规律。

以枣Ⅲ₄单砂层为例,整体上,不同断块之间流动单元行性质有差别,如官 86-52 井断块较其北部断块流动单元类型普遍低一个级次。在同一断块内,流动单元优劣受控于沉积因素,砂体边部流动单元普遍较差,多为 M 类、P 类流动单元,砂体中心部位流动单元类型好,G 类较多;此外,紧邻断层的井区,由于流体粘度往往较高,导致其流动单元类型相对较差(图 1)。

王 27 断块单井流动单元类型统计揭示 P 类、M 类流动单元占 63%,G 类流动单元仅占 1/3,E 类很少。这是由于断层较多,砂体尖灭也较多所致,这也是导致研究区开发效果较差的地质原因。

4 结论

针对断块油藏非均质储层,采取了以下流动单元研究思路:即首先划分单个连通体(单个流动单元),再分析出对储层产能敏感的储层参数对流动单元进行分类评价。断块油藏非均质储层流动单元受沉积和构造双重控制,受断裂破碎、砂体尖灭影响,储层流动单元整体较差,开发效果不佳。

参考文献:

[1] Hearn C L, Ebanks Jr W J, Ranganath V. Geological factors influencing reservoir performance of the Hartzog Draw field, Wyoming[J]. Journal of Petroleum Technology, 1984; 1335-1344.

[2] Ebanks Jr W J. Flow unit concept-integrated approach to reservoir description for engineering projects[J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(5): 551-552.

[3] Hamlin H S, Dutton S P, Seggie R J, et al. Depositional controls on reservoir properties in a Braid-Delta sandstone, Tirr-awarra oil field, south Australia[J]. AAPG Bulletin, 1996, 80 (2): 139-156.

[4] Amaefule J O, Altunbay M. Enhanced Reservoir Description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Unit and Predict Permeability in Uncored Intervals/Well[C]. SPE 26436. Presented at the 68th Annual SPE Conference and Exhibition, Houston, Texas, Oct 2-5, 1993; 205-220.

[5] Hartmann D J, Coalson Edward B. Evaluation of the Morrow sandstone in Sorrento field, Cheyenne County, Colorado[M]. Denver, CO, United States; Rocky Mt. Assoc. Geol., 1990; 91-100.

[6] Su Weiqiang, Zhang Tingshan, Hu Xinpin, et al. Contrast of lithofacies unit in the mid and late period of oilfield develop-

- ment-an example of Kexia Formation of Wu 2 xi in Karamay oilfield[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(6): 752-757. [苏维强, 张廷山, 胡新平, 等. 油田开发中后期精细岩相单元对比——以克拉玛依油田五 2 西克下组为例[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(6): 752-757.]
- [7] Wang Yan, Peng Jun, You Liwei, *et al.* Current status of high resolution sequence stratigraphy in China [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(3): 352-358. [汪彦, 彭军, 游李伟, 等. 中国高分辨率层序地层学的研究现状[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(3): 352-358.]
- [8] Yin Taiju, Zhang Changmin, Wang Shouping. Flowunit classification of Pu53 reservoir[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(3): 298-301. [尹太举, 张昌民, 王寿平. 濮 53 块流动单元分类方法研究[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(3): 298-301.]
- [9] Zhang Shangfeng, Zhang Changmin, Tang Jun, *et al.* Formation style and flow units of Es₃ in Pucheng oilfield[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 2004, 12(4): 29-31. [张尚锋, 张昌民, 汤军, 等. 濮城油田 Es₃ 上地层堆积样式与储层流动单元[J]. *江汉石油学院学报*, 2004, 12(4): 29-31.]
- [10] Jiao Yangquan, Li Sitian, Li Zhen, *et al.* Heterogeneity of porosity and permeability in clastic rock reservoirs[J]. *Oil & Gas Geology*, 1998, 19(2): 89-92. [焦养泉, 李思田, 李祯, 等. 碎屑岩储层物性非均质性的层次结构[J]. *石油与天然气地质*, 1998, 19(2): 89-92.]
- [11] Zhao Hanqing. Recognition and advice on the study of reservoir flow unit [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2001, 20(3): 8-10. [赵翰卿. 对储层流动单元研究的认识与建议[J]. *大庆石油地质与开发*, 2001, 20(3): 8-10.]
- [12] Zhang Zhenhong, Qin Baiping, Lü Xiuxiang, *et al.* Classification and geological meaning of the flow unit of the Chang 1 reservoir in Ding 31 well area of Youfangzhuang oilfield [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(1): 40-43. [张振红, 秦百平, 吕修祥, 等. 油房庄油田定 31 井区长 1 油层组流动单元的划分及其地质意义[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(1): 40-43.]
- [13] Li Yang, Liu Jianmin. Theory and Method of Flow Units[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005. [李阳, 刘建民. 流动单元研究的原理和方法[M]. 北京: 地质出版社, 2005.]
- [14] Dagang Oilfield Editorial Board of Petroleum Geology. *Petroleum Geology of China* (Vol. 4) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991. [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.]
- [15] Wu Chongjie, Xue Shuhao. *Sedimentology of Petroliferous Basin in China* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992: 19-31. [吴崇掇, 薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 19-31.]
- [16] Jiao Yangquan, Li Zhen. Genesis and distribution regularity of isolate barrier beds in channel reservoir sandbody[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1995, 22(4): 78-81. [焦养泉, 李祯. 河道储层砂体中隔挡层的成因与分布规律[J]. *石油勘探与开发*, 1995, 22(4): 78-81.]
- [17] Hou Jiagen, Liu Yuming, Xu Fang, *et al.* Architecture of braided fluvial sandbody and origin for petroliferous difference of the Guantao Formation of Neogene in Kongdian oilfield of Huanghua depression[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(5): 459-464. [侯加根, 刘钰铭, 徐芳, 等. 黄骅坳陷孔店油田馆陶组辫状河砂体构型及含油气性差异的成因[J]. *岩相古地理*, 2008, 10(5): 459-464.]
- [18] Yao C Y, Holditch S A. Estimating Permeability Profiles Using Core and Log Data[C]. SPE Eastern Regional Conference and Exhibition. Pittsburgh, 1993, 11: 2-4 November.
- [19] Lian Chengbo, Zhong Jianhua, Cai Fulong, *et al.* Influencing factors analysis of oilfield output based on grey correlation analytical method[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(6): 851-853. [连承波, 钟建华, 蔡福龙, 等. 油田产量影响因素的灰色关联分析[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(6): 851-853.]
- [20] Wang Weihong, Shen Pingping, Ma Xinhua, *et al.* Study on producing ability of reservoirs and influence factors in heterogeneous [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(1): 93-97. [王卫红, 沈平平, 马新华, 等. 非均质低渗透气藏储层动用能力及影响因素研究[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(1): 93-97.]

Flow Units of Heterogeneous Reservoir in Faulted Blocks Oilfield

LIU Yu-ming^{1,2}, HOU Jia-gen¹, WANG Xing-ming³, WANG Min³

(1, *China University of Petroleum, Beijing 102249, China*; 2, *Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company, Daqing 163712, China*; 3, *Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China*)

Abstract: As a case of the Faulted Block W27 of WGT oilfield in the Huanghua depression, the flow units of heterogeneous reservoir in faulted blocks were pointed out. The sandbody distribution was made by the single sandbody correlation, and the single flow unit was identified after determination of fault sealing and sandbody architecture. The assembling analysis on the reservoir properties which were sensitive to the well performance was carried out, and the flow units were classified into four grades (grade E, G, M and P) and the model of the flow unit distribution was setup. The result indicated that the boundaries of the flow units were controlled by faults, sedimentary facies, and inner architecture of sandbody, and the quality of the flow units was controlled by sedimentology, structure, as well as property of reservoir fluids. It is important to optimize the plan of oilfield development and adjustment.

Key words: Flow unit; Sedimentary facies; Faults; WGT oilfield.