

文章编号:0253-9985(2006)01-0106-05

陆相储层非均质性及其对油藏采收率的影响 ——以冀东高尚堡和胜利永安镇油藏为例

尹志军¹, 鲁国永², 邹翔³, 杨志鹏⁴

(1. 中国石油大学 提高采收率研究中心, 北京 102249; 2. 中国石油 大港油田 钻井三公司, 天津 300280; 3. 中国石化 胜利油田 胜采地质研究所, 山东 东营 257000; 4. 中国石油 冀东油田分公司, 河北 唐山 063004)

摘要: 储层非均质性主要包括层间非均质性、层内非均质性和平面非均质性。通过冀东和胜利等油藏开发研究表明, 层间非均质性导致注水开发中主力小层的单层突进、主力层过早水淹、非主力层油气动用程度低和驱油效率低; 层内非均质性控制和影响单砂层内注入剂波及体积, 直接决定水驱效率, 是影响层内剩余油分布的关键因素; 平面非均质性直接影响到注入水波及面积和波及效率, 从而控制剩余油在平面上的分布。为此采用了细分开发层系、分层注水、开展流动单元精细研究等地质和开发措施, 可以有效地降低各类非均质性对油藏最终采收率的影响。

关键词: 非均质性; 采收率; 陆相储层; 剩余油; 驱油效率

中图分类号: TE112.22

文献标识码: A

Heterogeneity of non-marine reservoirs and its influences on recovery factor: take Gaoshangpu and Yonganzhen oil reservoirs in Jidong and shengli oilfields as examples

Yin Zhijun¹, Lu Guoyong², Zou Xiang³, Yang Zhipeng⁴

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Third Drilling Company of Dagang Oilfield, Tianjin 300280, China; 3. Institute of Geology, Shengli Oil Production Plant, Shengli Oilfield, Dongying, Shandong 257000, China; 4. Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei 063004, China)

Abstract: Reservoir heterogeneities mainly include interformational, intraformational and areal heterogeneities. The following understandings are achieved from study of the Gaoshangpu deep reservoir and other reservoirs in Jidong and Shengli oilfields. The interformational heterogeneity may result in monolayer breakthrough in the main sublayer, early watered out the main layer, low recovery percent in the non-major reservoirs and low oil displacement efficiency during waterflood development. The intraformational heterogeneity controls and affects the swept volume of the injectant in single sand layer, directly determines the waterflood efficiency, and is the key factor influencing the distribution of the remaining oil. The areal heterogeneity directly influences the swept area and sweep efficiency of the injected water, and thus controls the areal distribution of the remaining oil. Based on these understandings, several geological and developmental measures, including subdivision of layer series for development, separate zone water injection and detailed study of flow unit, are presented to effectively lower the influences of various heterogeneities on the ultimate recovery factor of oil reservoirs.

Key words: heterogeneity; recovery factor; non-marine reservoir; remaining oil; oil displacement efficiency

收稿日期: 2005-05-12

第一作者简介: 尹志军(1971—), 男, 讲师, 博士, 开发地质

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40238059)

我国油田以陆源碎屑岩储层为主,非均质性极强,开发难度大,油藏最终采收率低。据统计,已开发油田的平均采收率为33%,可采储量采出程度只有63%,即累积采油量还不到可采储量的三分之二,占石油地质储量的21.2%^[1,2]。因此,改善中高含水期老油田开发效果、提高最终采收率是我国当前稳产增产的主要措施。

表1 高尚堡深层油藏小层渗透率非均质参数对比
Table 1 Comparison of the permeability heterogeneity parameters of the sublayers in Gaoshangpu deep reservoir

小层号	平均渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	级差	变异系数	突进系数
1	245	121.3	1.4	2.60
2	58	165.7	1.6	2.95
3	150	23.0	0.9	4.15

层间非均质性是指储层砂体在剖面上交互出现的规律性,以及作为隔层的泥质岩类的发育和分布特征,即砂体间的层间差异^[9]。层间非均质性是对一套砂泥岩交互的含油层系的储层物性变化的总体表征。对油藏开发效果的影响主要是砂层间渗透率的非均质程度,即渗透率的层间非均质性。渗透率的层间非均质性是指不同砂组、不同小层之间渗透率的变化。表1所示为冀东油田高尚堡深层油藏沙河街Ⅱ油组不同小层渗透率非均质参数的对比。从表中可以看出,第1小层平均渗透率为 $245 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,第6小层为 $22 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,二者相差整整10倍。渗透率极差、变异系数和突进系数也存在很大差异。

我国陆相油藏,由于层薄,开发上往往以油层组作为开发单元。在油层组内部,开发时采用同一套井网,一般采用多层合采合注的方式。由于渗透率的层间非均质性,主力层与非主力层之间的渗透率级相差数十倍甚至数百倍,各油层吸水能力、注入水推进速度存在很大差异,在注水开发中表现为单层突进,主力层先进水,先见效,先水淹,进而产生严重的层间干扰,导致非主力层基本上未动用或动用很少,形成了大量的剩余油,严重影响了油藏最终采收率的提高。

度18%,渗透率 $121 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,由于笼统注水,导致过早水淹,日产水 11.9 m^3 ,日产油 2.3 m^3 ,含水率84.14%。其余38—41小层为非主力层,基本上不产液,这些小层还有大量的原油没有采出来而成为剩余油,导致极低的采收率。

解决层间非均质性对油藏最终采收率的影响,有效的措施是细分开发层系,尽量做到分层注

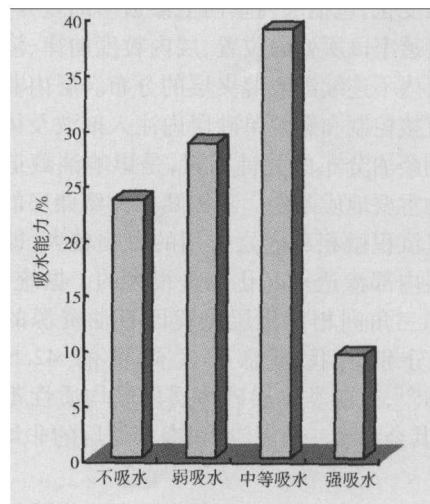


图1 高尚堡深层油藏小层吸水能力示意图

Fig. 1 Sketch map showing the water intake capacities of sublayers in Gaoshangpu deep reservoir

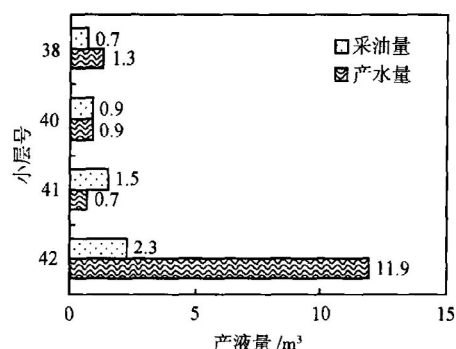


图2 高尚堡深层油藏高3102井产液剖面

Fig.2 Profile showing liquid production of G3102 well from Gaoshangpu deep reservoir

水,增加分注井,提高单层注水的比例。针对高尚堡深层油藏高3102井的生产状况和储层层间非均质性特征,对第42小层下封隔器,采取堵水的措施,增大了其余相对低渗透小层的注水波及效率,扩大了这些小层的产量,取得了较好的效果。同时,根据层间油层的分布,油田还部署调整井专门开发低渗透非主力层,减少层间干扰,增加了可采储量的比例,达到了提高油藏最终采收率的目的,油田的开发效果得到了显著的提高。

2 层内非均质性

层内非均质性是指一个单砂层内垂向上储层性质的变化,包括层内垂向上渗透率的差异程度、最高渗透率段所处的位置、层内粒度韵律、渗透率韵律层内不连续泥质薄夹层的分布。层内非均质性是直接控制和影响单砂层内注入剂波及体积和层内剩余油分布的关键因素,是影响油藏最终采收率的重要地质条件。我国陆相油藏储层的非均质性受沉积微相和成岩作用的影响较大,即使在单砂层内部渗透率变化也是很大的。据统计,河流相和三角洲相储集层是我国石油资源的主要载体,分别占我国总开发储量的42.6%和30.0%^[6],这两类储层砂体层内非均质性都是很强的,其余如扇三角洲、冲积扇等储层的非均质性更强。

从对注水开发的影响看,层内非均质性可归结为层内渗透率的韵律性和泥质夹层的分布规律。渗透率的韵律性是指单砂层内部渗透率的纵向变化程度。对于陆相储层,渗透率韵律可分为

正韵律、反韵律、复合韵律和均质韵律4种。不同渗透率韵律的储层,其水驱特征和剩余油形成的规律各不相同。注水开发时,注入水总是沿渗透率高的部位推进。因此,由于层内渗透性差异的影响,层内水淹程度有很大区别,剩余油多分布于渗透率较低的部位。对于正韵律储层,由于底部渗透率高,水洗程度高,首先水淹,而中上部低渗区则保留有较多的剩余油。反韵律模式通常水驱效果较好,剩余油不富集。从理论上讲,均质韵律模式驱替效率高。复合韵律模式情况比较复杂,其剩余油在上部和下部均有可能富集。以高尚堡深层油藏沙河街组Ⅱ油组6小层为例,渗透率平均 $17.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大 $247.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小 $2.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,渗透率韵律以正韵律为主,渗透率变异系数0.3~2.0,突进系数1~6,极差2~10,说明非均质性很强,导致油田注水开发效果极差。据计算,该小层驱油效率只有10%,目前只采出了可采储量的10%,采收率不到5%。

对于层内非均质性,影响剩余油分布的因素还包括夹层的分布、储层微构造特征等,但渗透率的非均质性是最主要的因素。针对层内非均质性的对油藏开发效果及采收率的影响,在单砂层内部根据储层岩性、物性以及渗流特征进一步细分,在非均质储层中划分成若干个相对均一的地质单元,即储层流动单元。流动单元是垂向及侧向上连续的、影响流体流动的岩石地质、物理性质相似的储集岩体。它是储层岩性、物性、微观孔喉特征的综合反映,是地下流体渗流的基本单元^[10]。图3为胜利永安油田永35块沙河街组二段下段5—6小层流动单元剖面。该小层砂体为河口坝沉积微相,单层砂体厚。纵向上依据岩性、物性和渗流特征将其划分为A、B、C和D4类流动单元。A类流动单元由于物性好,渗透率高,水驱见效快,剩余油含量少。B类和C类流动单元渗透率相对较低,在与A类流动单元合采时,驱油效果差,油气动用量小。而D类流动单元物性较差,含油性不好。油田依据流动单元研究的结果,在B类和C类流动单元补孔,获得了高产油气流。

在储层流动单元研究的基础上,根据剩余油分布与流动单元的关系调整开发方案,在较差的流动单元补孔,不但是老油田挖潜的目标,也是提高油田采收率的重要手段。此外,深度调剖技术也是提高层内非均质油藏采收率的重要措施。深

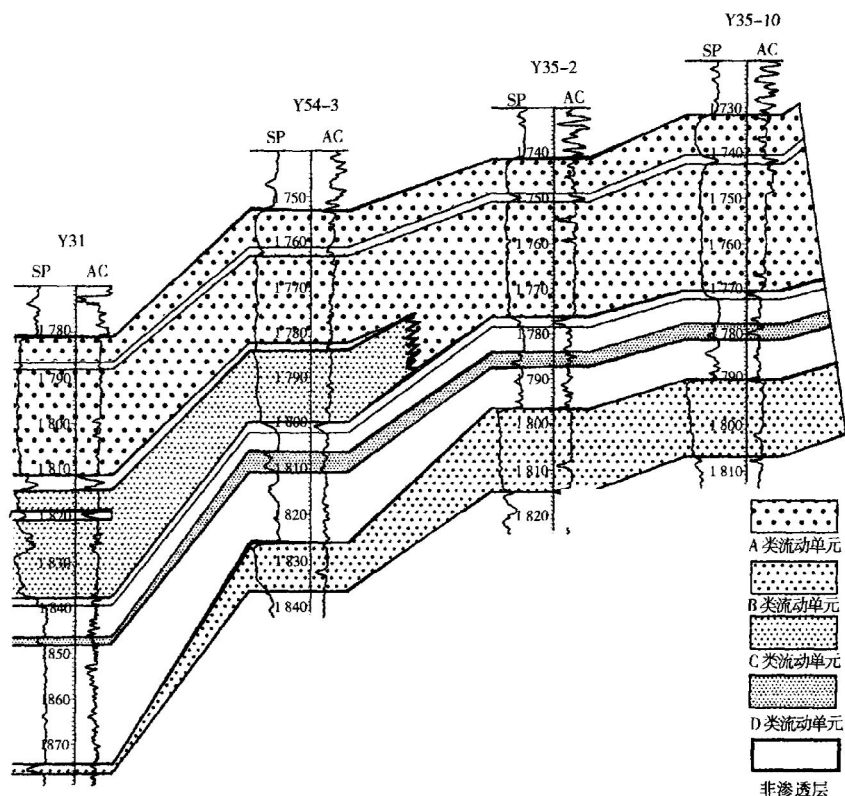


图3 永35块沙河街组第二段5—6小层流动单元剖面

Fig. 3 Section showing the flow units of the sublayers 5-6 in the 2nd member of Shahejie Fm in Yong 35 block

度调剂是指堵剂自然选择进入高渗带,并随注水过程向地层深部运移,直到能使堵剂在低渗部位停留,堵塞高渗透层,提高水驱波及体积,增加低渗部位的驱油效率,提高采收率。

3 平面非均质性

平面非均质性是指储层砂体的几何形态、规模、连续性以及砂体内物性平面变化所引起的非

水开发的效果。油层连通率低是高尚堡深层油藏剩余油形成的一个重要地质因素。

渗透率的平面非均质性直接控制了注入水的推进方向和驱油效率。在注水开发期间,注入水沿高渗带形成指进,而造成高渗带水洗程度相当严重,而低渗带波及程度较小。这种水驱不均一的现象导致剩余油在平面上分布不均,而在高渗透带和低渗透带之间的过渡带中剩余油饱和度相对较高。对于河道型储层砂体,渗透率均具有

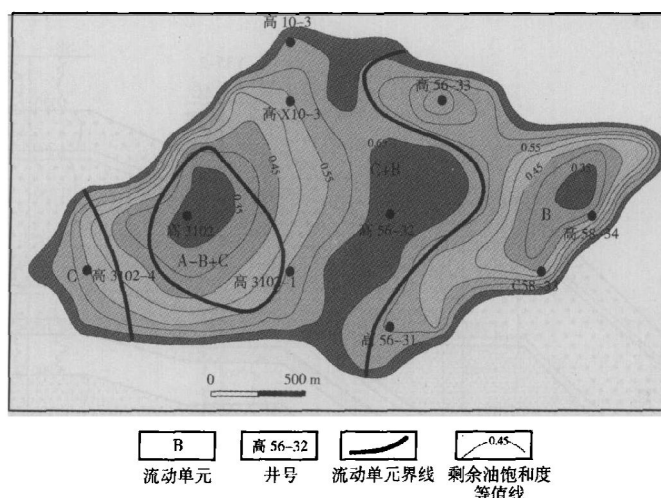


图4 高尚堡深层油藏高3102断块4小层剩余油分布与流动单元的关系
Fig. 4 Relationship between the distribution of remaining oil and flow units in the sublayer 4 of Gaoshangpu reservoir in Gao 3102 fault block

高3102断块4小层剩余油分布与流动单元的关系(图4)。发现剩余油主要分布在断块中部高10-3、高56-32、高56-31井连线带附近,大致呈南北走向,这一区域物性较差,流动单元以C类为主。在断块东部高59-34、高59-33、高56-31连线区域中,剩余油饱和度较低。从流动单元上看,这一区域以B类流动单元为主,物性相对较好,因而注水受效程度较高。在断块西部的高3102井区,剩余油饱和度较低,这是由于该井是注水井,并且从物性上看,B类和C类流动单元各占一半,较附近的高3102-4等井要好一些,从而导致其较低的剩余油饱和度。油田在流动单元和剩余油分布规律研究的基础上,在C类和B类流动单元共存区采用分层注水、深度调剖技术取得了良好的开发效果,在剩余油富集的C类流动单元通过完善注采井网、有针对性地加大井网密度,油田产量显著提高,取得了较好的经济效益。

在储层流动单元研究的基础上,预测出剩余油分布规律以后,进一步克服储层平面非均质性影响、提高最终采收率的重要措施是实施三次采油作业,通过聚合物驱、化学复合驱以及微生物驱等方法进一步扩大驱替剂的波及面积,降低或消除界面张力,提高驱油效率,达到提高采收率的目的。

参考文献

- 1 沈平平,袁士义,韩冬,等. 中国陆上油田提高采收率潜力评价及发展战略研究[J]. 石油学报,2001,22(1):45-48
Shen Pingping, Yuan Shiye, Han Dong, et al. Strategy study and

potentiality evaluation of EOR onshore oil fields in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(1): 45-48

- 2 韩大匡. 深度开发高含水油田提高采收率问题的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(5): 47-55
Han Dakuang. An approach to deep development of high water-cut oil fields to improve oil recovery[J]. Petroleum Exploration & Development, 1995, 22(5): 47-55
- 3 俞启泰. 注水油藏大尺度未波及剩余油的三大富集区[J]. 石油学报, 2000, 21(2): 45-50
Yu Qitai. Three major rich areas of "large scale" unswept remaining oil in water flooded bedded sandstone reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(2): 45-50
- 4 邓瑞健. 储层平面非均质性对水驱油效果影响的实验研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(4): 16-19
Deng Ruijian. Study influence opposing water driving oil impact of storing floor horizontal heterogeneity character[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2002, 21(4): 16-19
- 5 陈子料, 寿建峰, 张惠良, 等. 库车坳陷吐格爾明下侏罗统阿合组储层沉积非均质性[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 60-63
Chen Ziliao, Shou Jianfeng, Zhang Huiliang, et al. Heterogeneity of reservoirs from Arhe Formation Lower Jurassic in Tugerming, Kuqa Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 60-63
- 6 徐安娜, 穆龙新, 袁修楠. 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 Yinan. Distribution pattern of OOIP and remaining mobile oil in different types of sedimentary reservoir of China[J]. Petroleum Exploration & Development, 1998, 25(5): 41-44

(下转第117页)

- Society of London Special Publication, 1989, 41: 57 - 73
- 2 Dixon S A, Summers D M, Surdam R C. Diagenesis and preservation of porosity in Norphlet Formation (Upper Jurassic), southern Alabama[J]. AAPG Bull, 1989, 73: 707 - 728
 - 3 Worden R H, Oxtoby N H, Smalley P C. Can oil emplacement prevent quartz cementation in sandstones [J]. Petroleum Geoscience, 1998, 4: 129 - 137
 - 4 Alaa M, salem S, Morad S. Diagenesis and reservoir-quality evolution of fluvial sandstones during progressive burial and uplift: evidence from the Upper Jurassic Boipeba member, Revoncavo basin, northeastern Brazil[J]. AAPG Bull, 2000, 84(7): 1 015 - 1 040
 - 5 裴泽楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 59 - 64, 290
Qiu Yanan, Xue Shuhao. Oil & gas reservoir evaluation technique [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 59 - 64, 290
 - 6 裴泽楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 149 - 217
Qiu Yanan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang. Terrestrial oil & gas reservoir in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 149 - 217
 - 7 Cook C C, Andersen M A, Halle G, et al. An approach to simu-
structure of reservoir permeator of S_3^4 sand group of Lower Tertiary in 3th area of Bonan oilfield, Shandong[J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20(1): 52 - 55
 - 9 蔡进功, 谢忠怀, 田芳, 等. 济阳坳陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 84 - 89
Cai Jingong, Xie Zhonghuai, Tian Fang, et al. Diagenesis and pore evolution of deep sandstones in Jiyang depression[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 84 - 89
 - 10 李汶国, 张晓鹏, 钟玉梅. 长石砂岩次生溶孔的形成机理[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 220 - 229
Li Wenguo, Zhang Xiaopeng, Zhong Yumei. Formation mechanism of secondary dissolved pores in arcose[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(2): 220 - 229
 - 11 Richard P L. An introduction to computing with neural nets[J]. IEEE ASSP Magz, 1987, (4): 4 - 22
 - 12 郭燕华, 熊琦华, 吴胜和, 等. 吐哈盆地中侏罗统储集层岩石物理相研究——以葡北-胜北-连木沁地区为例[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(1): 50 - 53
Guo Yanhua, Xiong Qihua, Wu Shenghe, et al. Study on petrophysical facies of Middle Jurassic reservoir in Turpan - Hami basin—an example from Pubei - Shengbei - Lianmuqin area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(1): 50 - 53
- [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 57 - 59
- 8 张云鹏, 徐霜, 李东, 等. 文 13 西气藏储层特征及剩余气开发潜力[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 261 - 263
Zhang Yunpeng, Xu Shuang, Li Dong, et al. Reservoir property and remaining gas exploration potential of west Wen-13 gas pool[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(3): 261 - 263
 - 10 彭仕宓, 尹志军, 常学军, 等. 陆相储集层流动单元定量研究新方法[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5): 68 - 70
Peng Shimi, Yin Zhijun, Chang Xuejun, et al. A new quantitative method to study flow unit of non-marine reservoir[J]. Petroleum Exploration & Development, 2001, 28(5): 68 - 70

(编辑 高岩)