

文章编号: 1009-3850(2006)02-0059-04

# 鄂尔多斯盆地油坊庄油田长2油层组储层 宏观非均质性研究

肖玲<sup>1</sup>, 田景春<sup>1</sup>, 魏钦廉<sup>1</sup>, 张春生<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434102)

**摘要:** 油坊庄油田长2油层组发育水上分流河道、天然堤、决口扇、沼泽等沉积微相类型, 储集砂体以水上分流河道砂体为主, 天然堤等次之。顺着物源方向, 砂体连通性较好, 物性较好, 非均质性弱; 垂直于物源方向砂体连通性、物性较差, 非均质性强。储层层内非均质性较强, 储集砂体垂向韵律以正韵律为主, 不利于水驱油。长2油层组单砂层数越多, 层间非均质性越强。综合研究表明, 储层非均质性受沉积环境控制。

**关键词:** 油坊庄油田; 上三叠统; 延长组; 长2油层组; 储集层; 非均质性; 鄂尔多斯

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

储层非均质性是储层研究的核心内容, 是影响原油采收率的主要原因之一<sup>[1]</sup>。鄂尔多斯盆地沉积多套沉积体系, 其内蕴藏丰富油气资源, 其中上三叠统延长组是一套在三角洲沉积体系上发育的油气储集层。油坊庄油田位于鄂尔多斯盆地西北缘陕北斜坡带上, 延长组长2油层组储层非均质性严重, 油田进入中高含水期, 地下油水分布日趋复杂(张春生, 油坊庄—王洼子地区长2油藏预测及评价研究, 2004)。本文在分析沉积相基础上, 详细研究油坊庄长2油层组储层非均质性特征, 为油田有效开发提供重要地质依据。

## 1 沉积相类型及特征

长2沉积期为鄂尔多斯盆地湖盆回返期沉积, 湖盆收缩、水体变浅, 湖盆边缘的三角洲多数连为一体, 形成向湖盆中心推进的三角洲沉积体系, 其中近岸分流河道砂体多为厚层一块状中细粒长石砂岩, 形成了星罗棋布的油藏。油坊庄地区长2沉积微相

划分为水上分流河道、天然堤、决口扇、沼泽等微相(图1, 表1)。

## 2 储层非均质性特征

储层非均质性是指储层的基本性质(岩性、物性、电性及含油性)在三维空间上分布的不均一性<sup>[1]</sup>, 对油气田的勘探和开发效果影响大。本文从

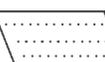
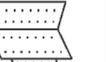
沉积微相	砂体几何形态	叠合型式		
		孤立型	简单型	复杂型
天然堤等	透镜状			
河道主体	板状			

图1 油坊庄油田长2储层砂体连通方式

Fig.1 Patterns of the connectivity of the sandstone bodies in the Chang-2 pay sets of the Youfangzhuang Oil Field

收稿日期: 2006-03-20

第一作者简介: 肖玲, 女, 1981年生, 博士研究生, 研究方向为储层沉积学。

表1 油坊庄油田长2油层组各沉积微相特征表

Table 1 Characteristics of the sedimentary microfacies of the Chang 2 pay sets in the Youfangzhuang Oil Field

微相类型	砂岩厚度 /m	岩性	孔隙度 /%	渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	自然电位形态	微电极/ $\Omega\cdot\text{m}$	声波时差 / $\mu\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$
水上分流河道	> 8	细一中砂岩	> 16	> 18	微齿化箱钟形、箱形、钟形	大幅度差, 有夹层	< 250
天然堤	2~8	细砂岩粉砂岩	4~16	5~18	齿化钟形、指状、正齿状叠加	较大幅度差, 夹层多	230~270
决口扇	2~5	粉砂岩泥质粉砂岩	4~10	5~12	漏斗形	较大幅度差	250~280
沼泽	< 2	粉砂质泥岩 泥质粉砂岩	< 4	< 5	低幅微齿形	小幅度差	> 260

平面非均质性、层内非均质性和层间非均质性三个方面来研究目的层的储层非均质性。

### 2.1 储层平面非均质性

平面非均质性是指由于砂体几何形态、规模、连续性、孔隙度和渗透率平面变化所引起的非均质性<sup>[4]</sup>。

油坊庄油田长2油层组砂体以三角洲平原上的水上分流河道砂体为主,其形态受控于沉积相。沿物源方向呈条带状展布,相同相带砂体连通性较好,垂利物源方向砂体连续性差,连通性变差。不同沉积微相砂岩连通情况、连通方式均有所不同(表2,图1)。

表2 油坊庄油田不同沉积微相砂体连通性统计特征  
Table 2 Characteristics of the connectivity of the sandstone bodies in individual sedimentary microfacies of the Chang 2 pay sets in the Youfangzhuang Oil Field

项目	河道主体	天然堤	决口扇等
砂体配位数	1~2	2~3	1
连通程度	> 60%	< 30%	< 20%
连通体大小	3~4	2~3	1~2
连通方式	简单式	复杂式	孤立式

从非均质性的参数看,由于变异系数( $V_k$ )、级差( $N_k$ )、渗透率( $K$ )、突进系数( $S_k$ )等在油坊庄地区的各个沉积微相内参数值大小不同,变化也不同(表3)。由表可以看出油坊庄油田水上分流河道主体非均质性一般较弱,河道侧缘非均质性较强,河道间砂体非均质性最强。

在一套储集层内,由于砂体沉积环境和成岩作用变化差异,可能导致砂体孔隙度、渗透率有较大差异<sup>[5]</sup>。研究区孔隙度、渗透率平面变化具有一定方向性,且与沉积相相带展布一致。顺着物源方向,物性变化较平缓,而垂利物源方向,渗透率迅速变化。在分流河道砂体发育部位,注水开发可获得高产,但由于储层物性好,注入水易形成注水通道,因此一定要采用合适注采比,防止过早发生水窜,影响采出程度;而天然堤等微相发育部位,砂体连通性差,储层

物性差,储量动用程度低,剩余油相对富集。

### 2.2 储层层内非均质性

层内非均质性是指单砂层规模内储层性质垂向上变化,是控制和影响砂层组内一个单砂层中注入剂向上波及体积的关键因素,包括层内渗透率垂向上差异程度、最高渗透率段所处的位置、层内粒度韵律、渗透率韵律和渗透率的非均质程度以及层内不连续的泥质薄夹层分布等<sup>[6]</sup>。

油坊庄油田长2油层组主要发育水上分流河道和天然堤砂体,不同沉积环境,由于沉积方式不同,单砂层垂向韵律也不相同。研究区内长2油层组以正韵律沉积为主(图2),从图2A可以看出,三角洲平原上主分流河道河流能量大,存在不同程度下切作用,图2B可以看出,河流能量较小,下切能力弱,在叠加砂体之间存在下伏砂体顶部的粉砂、泥质沉积。分流河道河流能量不同引起单砂层层内非均质不同。

油坊庄油田长2油层组渗透率垂向韵律主要以正韵律为主,具有亲水润湿性<sup>[7]</sup>。正韵律的亲水油层,毛细管力向上,可使注入水由底部分流河道主体的高渗透率部位向顶部的低渗透率部位吸吮,从而削弱了重力作用,减缓了注入水的水驱速度,不利于水驱油,因此,经过水驱之后,剩余油主要分布在河道主体(因为分流河道主体含油总量的基数很大,是主力含油区,经过水驱之后仍有大片剩余油存在),其次分布在河道侧缘。

从油坊庄地区长2油层组层内夹隔层分布来看,该地区是以河流作用为主的三角洲平原沉积环境决定其泥岩隔层具有一定的稳定性,而分流河道的下切、侧积、叠加等作用又决定其隔层分布的不稳定性。薄夹层、隔层对流体流动可起到不渗透隔层作用和极低渗透的高阻作用,因而对开发过程中驱油效率影响很大,也直接影响到一个单砂层从顶到底宏观水平渗透率与垂直渗透率比值<sup>[8]</sup>。根据岩心观察和测井解释,长2储层普遍存在泥质夹层及其极低渗透层,据统计,不同沉积相带夹层条数和夹层

表3 油坊庄油田长2油层组各沉积微相砂体的非均质特征

Table 3 Inhomogeneity of the sandstone bodies in individual sedimentary microfacies in the Chang-2 pay sets of the Youfangzhuang Oil Field

砂体类型	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$			变异系数 $V_k$		突进系数 $S_k$	
	最小	最大	平均	分布范围	平均	分布范围	平均
决口扇等	0.2	11.5	3.4	1.3~2.0	1.7	3.0~4.1	3.6
天然堤	3.6	23.7	4.2	0.7~1.5	0.9	2.1~3.3	2.8
分流河道主体	4.1	111.4	18.5	0.2~0.8	0.3	0.8~2.4	1.5

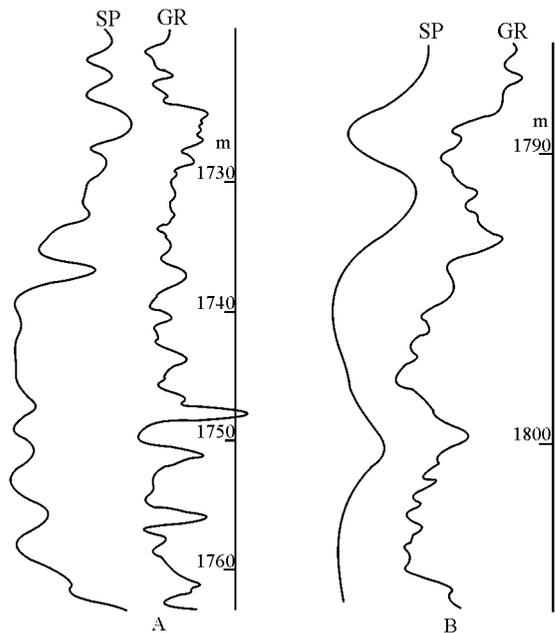


图2 油坊庄地区长2油层组不同类型分流河道正韵律沉积

A. 定301井分流河道多段正韵律; B. 定214井分流河道不对称韵律

Fig. 2 Normal rhythmic deposits in individual distributary channels in the Chang-2 pay sets of the Youfangzhuang Oil Field  
A. Normal rhythmic deposits from the distributary channel microfacies in the Ding-301 well; B. Asymmetric normal rhythmic deposits from the distributary channel microfacies in the Ding-214 well

厚度存在较大差别(表4),不连续夹层从多到少的顺序是沼泽→天然堤→分流河道。

### 2.3 储层层间非均质性

层间非均质性是油田中宏观的、层次最低的非均质性,它是指各砂层组内小层或单砂层之间垂向差异性,包括层组的旋回性、各小层或单砂层渗透率的非均质程度、隔夹层的分布等,是对一套砂泥岩互层含油层系总体研究<sup>[9]</sup>,属于层系规模的储层描述。它是层间干扰和单层突进(统称为层间矛盾)形成的内因。

油坊庄长2油层组是大型三角洲平原分流河道复合砂体沉积,沉积过程中水动力条件变化及河道

表4 油坊庄油田长2夹层、隔层分布特征统计表

Table 4 Statistics of numbers and thickness of the interbeds in the Chang-2 pay sets of the Youfangzhuang Oil Field

微相及层位	夹层隔层条数/个	夹层隔层厚度/m
分流河道	2~4	0.5~2.0
天然堤	4~6	1.0~2.5
沼泽	5~7	2.0~8.0

快速迁移使得长2油层组层间砂泥岩交互沉积。通过对油坊庄油田定302井岩心物性分析我们可以看出随着小层砂体增多,储层非均质性发生很大变化(表5)。油坊庄油田长2油藏层系内单砂层变异系数最小,仅为0.3~0.8,突进系数为0.9~3.2,说明单砂体层内渗透率相当均匀。但随着组合层数增加,非均质性相应增加。砂层组变异系数为0.4~0.7,突进系数为1.4~4.1。当组合为油层组时,变异系数已增大为0.5~0.8,突进系数已增至2.3~6.2,当整个长2油层组合为一个层系后,非均质更为严重。层间渗透率差别大,这是层间非均质的主要特征,单层层数越多,层间非均质性越严重。

从层间隔层来说,油坊庄油田长2油层组长 $2_1^1$ 与长 $2_1^2$ 小层之间隔层厚度0.5~3.4m;长 $2_1^2$ 与长 $2_2^2$ 小层之间隔层厚度1.6~5.3m;长 $2_2^2$ 与长 $2_2^3$ 小层之间隔层厚度2.7~8.9m,储层间隔层的变化反映该地区长2油层组层间非均质性的严重性。

## 3 结论

(1) 储层平面非均质性变化受沉积相控制,分流河道主体非均质性较弱,河道侧缘、天然堤、河道间非均质性较强且顺着物源方向,物性变化平缓,储层非均质性较弱,垂直于物源方向储层非均质性较强。

(2) 长2油层组储集砂体单砂层垂向韵律以正韵律为主,由于分流河道能量大小不同,引起单砂层非均质性不同。

(3) 对于油坊庄油田长2油层组,水动力条件变化以及河道快速迁移使得层间砂泥岩交互沉积,致使单砂体数越多层间非均质性越严重,这是造成

表5 油坊庄地区长2油层组定302井非均质分布特征

Table 5 Distribution of the inhomogeneity of the Ding-302 well reservoirs in the Chang-2 pay sets of the Youfangzhuang Oil Field

单砂层				砂层组				油层组				长2油层段			
层号	$K_{\text{平均}} / 10^{-3} \mu\text{m}$	$V_k$	$S_k$	层号	$K_{\text{平均}} / 10^{-3} \mu\text{m}$	$V_k$	$S_k$	层号	$K_{\text{平均}} / 10^{-3} \mu\text{m}$	$V_k$	$S_k$	层号	$K_{\text{平均}} / 10^{-3} \mu\text{m}$	$V_k$	$S_k$
1	14.5	0.6	3.1	长 <sub>2</sub> <sup>1</sup>	11.1	0.7	4.1	长 <sub>2</sub> <sup>2</sup>	7.3	0.8	6.2	长 <sub>2</sub> <sup>1-2</sup>	16.0	0.9	6.2
2	2.9	0.8	3.2												
3	5.8	0.7	2.2	长 <sub>2</sub> <sup>2</sup>	4.4	0.6	2.8								
4	3.4	0.3	1.8												
5	19.5	0.7	1.6	长 <sub>2</sub> <sup>3</sup>	57.2	0.4	1.7	长 <sub>2</sub> <sup>2</sup>	44.7	0.5	2.3				
6	77.1	0.3	1.3												
7	36.6	0.5	1.3												
8	0.3	0.4	1.2	长 <sub>2</sub> <sup>3</sup>	1.1	0.5	1.4								
9	1.4	0.4	0.9												

垂向上层间油气分布不均、水淹状况及剩余油分布状况不同的根本因素。

(4) 分流河道仍是长2油层组剩余油的主要分布部位,而天然堤等微相渗流和储集能力较差,物性差,注水开发后,注入水难以波及,剩余油饱和度会相对较高,因此要对该类储集层采取有效改造措施,以达到含油区整体高效稳产的注水开发效果。

(5) 随着注水开发不断进行,层间矛盾越来越突出,应从注采平衡角度出发,搞好配产配注,保持稳产,提高油气采收率。

#### 参考文献:

[1] 李小艳,卢宗盛,胡勇,等.辽河油田古近系沙河街组三段储层

宏观非均质性研究[J].西安石油大学学报,2004,19(3):5-9.

[2] 吴朝东,刘建民,王军,等.河流沉积单元分析与储层宏观非均质性[J].地质科学,2003,38(1):60-73.

[3] 刘克奇,田海芹,王正雷,等.卫城81断块沙四段沉积微相与储层非均质性[J].西南石油学院学报,2005,27(1):1-4.

[4] 张铭,樊孝峰,方勇,等.濮城油田东区沙二段下亚段沉积微相与储层非均质性及剩余油分布的关系[J].中国海上油气(地质),2003,17(3):176-180.

[5] 汪立君,陈新军.储层非均质对剩余油分布的影响[J].地质科技情报,2003,22(2):71-73.

[6] 陈志香.高集油田高7区阜宁组储层非均质性及剩余油分布[J].海洋石油,2003,23(2):51-54.

[7] 张厚福,等.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,1999.129.

[8] 常波涛,单玄龙,那小红,等.大北油田萨尔图油层特低渗储层宏观非均质性研究[J].世界地质,2005,24(2):168-173.

[9] 谢俊,张金亮.法21断块储层非均质性研究[J].山东科技大学学报,2003,22(3):10-13.

## Inhomogeneity of the Chang-2 pay sets of the Youfangzhuang Oil Field in the Ordos Basin

XIAO Ling<sup>1</sup>, TIAN Jing-chun<sup>1</sup>, WEI Qin-lian<sup>1</sup>, ZHANG Chun-sheng<sup>2</sup>

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;  
2. Changjiang University, Jingzhou 434102. Hubei, China)

**Abstract:** The Chang-2 pay sets of the Youfangzhuang Oil Field in the Ordos Basin consist of the sedimentary microfacies such as distributary channel, natural levee, crevasse fan and marsh microfacies. Major reservoir sandstone bodies include distributary channel and natural levee sandstone bodies. Good connectivity and physical property and poor inhomogeneity are identified along the parallel direction of sediment supply, and vice versa along the vertical direction of sediment supply. The normal rhythmicity of the sandstone bodies along the vertical direction may be harmful to the formation of water-driven oil. The numbers of sandstone beds are positively correlated with the inhomogeneity of the Chang-2 pay sets of the Youfangzhuang Oil Field.

**Key words:** Youfangzhuang Oil Field; Upper Triassic; Yanchang Formation; Chang-2 pay sets; reservoirs; inhomogeneity; Ordos