

鄂尔多斯盆地合水地区长 8 油层组非均质性研究

陈杰¹, 周鼎武²

1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东东营 257061
2. 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东青岛 266510

摘要 从层间非均质性、层内非均质性和平面非均质性 3 方面对鄂尔多斯合水地区长 8 油层组非均质性进行了研究。研究区长 8₁ 油层组和长 8₂ 油层组砂体频率和砂体密度相近, 层间渗透率非均质性较弱, 层间隔层厚度变化较大, 整体上长 8 油层组层间非均质性较弱; 研究区长 8₁、长 8₂ 夹层发育, 存在多段高渗层, 层内渗透率的变异系数、突进系数和级差都较大, 两油层段的层内非均质性均较强; 研究区长 8₁、长 8₂ 流动单元分布受沉积微相的影响明显, 差、中流动单元分布较多, 好流动单元分布较少。

关键词 鄂尔多斯盆地; 延长组; 长 8 油层组; 储层非均质性; 流动单元

中图分类号 TE122.2

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)17-0067-05

Heterogeneity of Chang 8 Member in Heshui Area, Ordos Basin

CHEN Jie¹, ZHOU Dingwu²

1. College of Geo-Resource and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China
2. College of Geological Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong Province, China

Abstract The heterogeneity of Chang 8 Member in Heshui Area in Ordos Basin is studied from the aspects of interlayer heterogeneity, intralayer heterogeneity and plane heterogeneity. The distribution of sandbodies is similar in both Chang 8₁ and Chang 8₂. The heterogeneity of interlayer permeability is weak. The thickness of barrier beds between Chang 8₁ and Chang 8₂ is quite changeable. The interlayer heterogeneity is weak as a whole. The barrier beds in Chang 8₁ and Chang 8₂ are well developed, with several highly-permeable beds. The variation coefficient, the rush coefficient and the differentials of intralayer permeability are large, and the intralayer heterogeneity is strong. The distribution of flow units in Chang 8₁ and Chang 8₂ in the studied area is mainly controlled by microfacies. There are more bad and intermediate flow units and less good ones. The good ones are mostly located in submarine distributary channel microfacies and mouth bar microfacies. The intermediate and bad ones are mostly located in distal bar and distributary interchannel microfacies. The heterogeneity of reservoirs is one of the most important factors to control the distribution of oil and water in the studied area. The heterogeneity of reservoirs has a pivotal effect on the distribution of remaining oil, and has a crucial effect on the oilfield development. Developing plans should be made and adjusted based on the reservoir heterogeneity.

Keywords Ordos Basin; Yanchang Formation; Chang 8 Member; reservoir heterogeneity; flow unit

0 引言

合水地区位于鄂尔多斯盆地中央古隆起的南端(图 1), 上三叠统延长组长 8 油层组砂岩是本区重要的含油层系, 可划分为长 8₁ 油层段和长 8₂ 油层段。储层岩性以长石砂岩

(48.89%)、岩屑质长石砂岩(40.48%)为主, 还有少量岩屑砂岩(10.63%)。孔隙度一般为 8%~20%, 渗透率一般为(0.1~5.6) × 10⁻³ μm², 属于特低-低孔、特低渗型储层^[1-3]。储层非均质性是研究区内控制油水运动的重要因素, 是影响剩余油分布和油

收稿日期: 2010-04-21; 修回日期: 2010-07-21

作者简介: 陈杰, 博士研究生, 研究方向为油气地质, 电子信箱: cj0543@163.com; 周鼎武(通信作者), 教授, 研究方向为油气地质, 电子信箱: zhou dingwu2@sina.com.cn

田开发的重要原因。长 8 油层组非均质性较强,自油田投入开发以来,注水开发过程中水驱不均和窜流现象较为严重,极大地影响了油田的开发效果。因此,储层非均质性研究可以为油田后期注水开发制定和调整注水方案提供理论指导。本文采用裘亦楠^[4]将碎屑岩储层宏观非均质性划分为层间、层内、平面 3 类非均质性的划分方案,对研究区长 8 油层组进行研究。



图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the studied area

1 沉积特征

研究区为辫状河三角洲前缘沉积环境^[1-2],发育水下分流河道、河口坝、远砂坝、分流间湾 4 种沉积微相,特征如下。

- 1) 水下分流河道。发育最广,平面上呈条带状、树枝状,剖面上呈顶平底凸的透镜体状,沉积物主要是中、细砂岩,常发育板状、块状层理,底部具有冲刷面;测井曲线为中、高幅的箱-钟形,具有下粗上细的正旋回特点。
 - 2) 河口坝。砂质纯净,泥质含量少,多为中、细砂岩;测井曲线上多呈中、高幅漏斗形,具有上粗下细的反旋回特点。
 - 3) 远砂坝。发育最少,粒度更细,反韵律不明显,岩性以细砂岩、粉砂岩为主。
 - 4) 分流间湾。发育较广,岩性以粉砂岩、泥质粉砂岩为主。
- 研究区储层以水下分流河道为主,河口坝次之,远砂坝最少。

2 层间非均质性

层间非均质性是指纵向上砂体层系之间的差异,包括砂体的发育与分布、层间渗透率非均质程度和层间隔层等方面,可以导致注水开发过程中的层间干扰与后期水驱效果差异较大。

2.1 砂体的发育与分布

用砂层频率(砂层层数/地层层数)和砂岩密度(砂层厚度/地层厚度)来定量描述储层内砂体分布的复杂程度。据统

计结果,长 8₁ 和长 8₂ 的砂层频率分别为 48%、51%,砂岩密度分别为 68%、65%,两油层段的砂层频率和砂岩密度总体差别不大,长 8₁ 较长 8₂ 砂层频率小而砂岩密度大,说明长 8₁ 具有更好的砂体连通性。

2.2 层间渗透率非均质程度

对研究区长 8₁ 和长 8₂ 的层间渗透率非均质性参数进行统计,得到其变异系数为 0.17,突进系数为 1.17,级差为 1.41,根据评判标准(表 1),认为研究区长 8₁、长 8₂ 的层间渗透率非均质性较弱^[3]。

表 1 研究区非均质性参数判别标准
Table 1 Standard of reservoir heterogeneity in the studied area

参数	非均质性		
	弱	中	强
变异系数	<0.5	0.5~0.7	>0.7
突进系数	<2	2~3	>3
级差	<10	10~30	>30

2.3 层间隔层

长 8₁ 和长 8₂ 间多发育稳定的泥质隔层,岩性以泥岩和粉砂质泥岩为主,厚度变化较大(图 2),主要分布在 2~20m 范围,部分井区隔层厚度较大,如 Z156 井区隔层厚 45m;部分井区无隔层,如 Z41、Z43 井区。

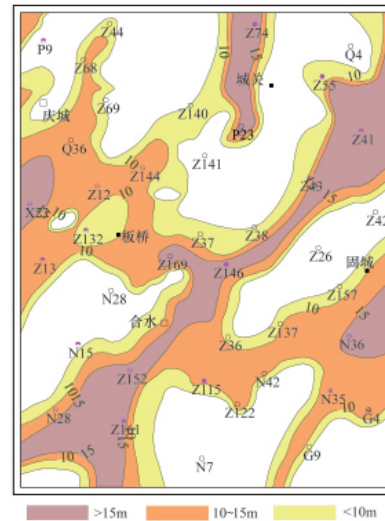


图 2 长 8₁ 和长 8₂ 间隔层厚度分布

Fig. 2 Thickness distribution of barrier beds between Chang 8₁ and Chang 8₂

3 层内非均质性

层内非均质性是指单砂层内垂向上储层性质的变化,包括层内夹层、渗透率韵律及最高渗透率所处位置、层内渗透率非均质程度、层内裂缝等方面,是控制和影响单砂层内垂向上注入剂波和体积的关键地质因素。

3.1 层内夹层

夹层指分散在单砂层内的相对低渗透层和非渗透层,对油水运动规律和开发措施有效期保持时间的长短起重要影响作用。据岩心观察和测井分析,按电性将夹层分为低阻夹层和高阻夹层两种类型。低阻夹层为泥岩及粉砂质泥岩,电阻率低,微电极幅度小,自然伽马相对高值,是主要的夹层类型;高阻夹层为碳酸盐胶结物含量高、物性较差的砂岩及粉砂岩,电测曲线上表现为微电极曲线呈尖峰状、低声波时差和低自然电位^[5]。

研究区长 8₁、长 8₂ 均发育水下分流河道、河口坝、远砂坝及分流间湾 4 种主要沉积微相,且这 4 种沉积微相内夹层发育程度依次增加(图 3)。对研究区 56 口井的夹层数据进行分析可得,长 8₁ 夹层分布范围较广,比较稳定,夹层密度(夹层厚度/地层厚度)平均为 32%;夹层频率(夹层层数/地层厚度)较小,大部分地区小于 0.5 层/m(图 3(a))。长 8₂ 夹层密度平均为 35%,较长 8₁ 稍大;夹层频率也较长 8₁ 稍大,大部分区域大于 0.5 层/m,其中 Z135、Z141、Z74、Z53 井区夹层频率可达 0.8~1 层/m,反映出夹层多的特点(图 3(b))。

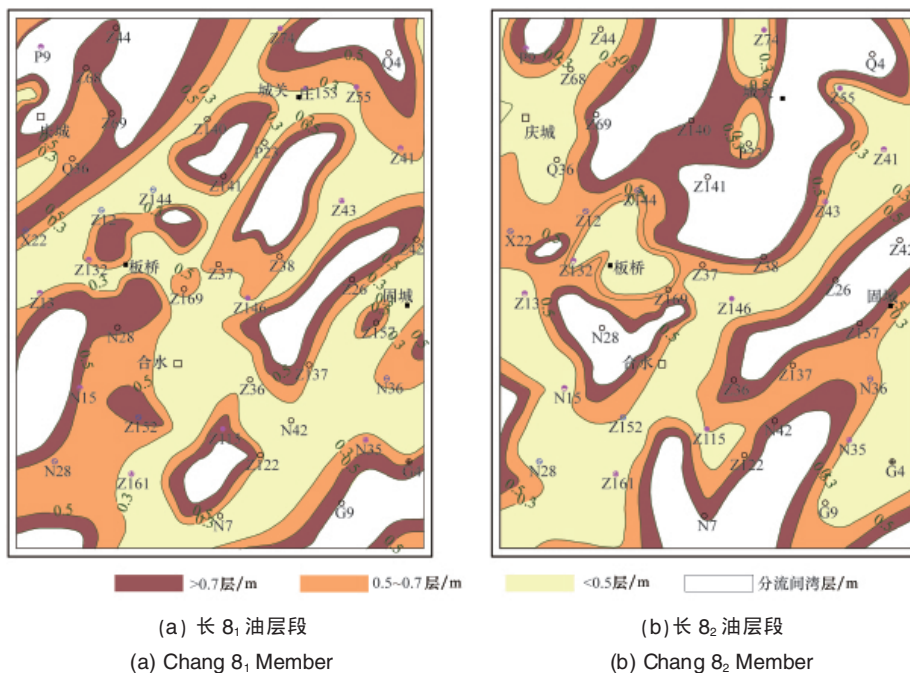


图 3 长 8 油层组夹层频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of barriers in Chang 8 Member

3.2 渗透率韵律及最高渗透率所处位置

渗透率韵律系指渗透率大小在垂向上的变化所构成的韵律性,一般情况下,渗透率韵律与粒度韵律保持一致。受沉积作用和成岩作用影响,研究区长 8₁ 和长 8₂ 渗透率韵律性可划分为以下 4 种模式。

1) 正韵律。砂层内渗透率由下向上逐渐变小,最高渗透层段位于砂层下部,常见于水下分流河道砂体,研究区内最为发育,所占统计比例为 58%。

2) 反韵律。砂层内渗透率由下向上逐渐变大,最高渗透层段位于砂层上部,常见于河口砂坝微相,所占统计比例为 18%。

3) 均质韵律。砂层内渗透率变化幅度小,常见于多层叠置的分流河道和河口坝砂体中,研究区内较少见,所占统计比例仅为 7%。

4) 复合韵律。砂层内渗透率变化规律不明显,出现多个高渗透率段,该模式所占统计比例为 17%。

整体上,研究区以正韵律为主,复合韵律和反韵律模式次之,均质韵律最少。层内渗透率韵律不同导致研究区油井

水淹状况差异较大。正韵律砂体中上部往往是剩余油比较富集的部位;复合韵律砂体情况比较复杂,其剩余油在上部和下部均有富集;反韵律和均质韵律模式砂体,水驱效果通常较好,剩余油较少^[5]。

3.3 层内渗透率非均质程度

对研究区长 8₁ 和长 8₂ 的层内渗透率非均质性参数进行统计(表 2),参考评判标准(表 1),发现两油层段的层内渗透率非均质性都很强,且长 8₁ 强于长 8₂。

3.4 层内裂缝

通过对研究区 32 口取心井进行岩心描述,共识别出裂缝 39 条。长 8₁ 裂缝 18 条,多发育在中、细砂岩中,以钙质充填为

表 2 层内渗透率非均质性参数

Table 2 Intralayer permeability heterogeneity parameters

油层段	层内渗透率			
	平均值/(10 ⁻³ μm ²)	变异系数	突进系数	级差
长 8 ₁	1.04	1.42	9.70	278.99
长 8 ₂	0.74	1.16	6.53	188.84

主(46%),依次为钙质半充填(23%)、无充填(15%)、油气充填(8%)和泥质半充填(8%);长8₂裂缝21条,同样多发育在中、细砂岩中,亦以钙质充填为主(60%),依次为钙质半充填(27%)、无充填(7%)和油气充填(7%)。推断研究区内裂缝的油气储集功能不明显,仅在一定程度上起到了油气运移通道的作用。

4 平面非均质性

平面非均质性是指储层砂体的平面分布差异,包括砂体分布的非均质性、砂体渗透率的平面特征等,对井网布置、注入水平面波及效率和剩余油平面分布有很大影响。

4.1 砂体分布的非均质性

如前所述,研究区长8期属辫状河三角洲前缘沉积环境,且储层砂体以水下分流河道微相和河口坝微相为主,沿物源方向呈北东—南西向条带状展布,平行于物源方向,砂体连通性较好,垂利物源方向砂体连续性差,连通性也变差。长8₁期研究区砂体连续性较好,主体砂层厚度>15m,占研究区面积的38%,厚度在10~15m,5~10m和<5m的砂体分布范围相当,分布面积

分别为总面积的22%、21%和19%,Z211、Z116、Z43、Z29和Z134井区砂厚值最大,可达20m以上。长8₂期砂体连续性较长8₁稍差,厚度在15m以上的砂体占研究区面积的33%,展布优势不明显,其次是<5m的砂体占27%,厚度在10~15m,5~10m间的砂体分布面积为总面积的22%和19%,Z131、Z13和Z29井区砂厚值最大,可达20m以上。

4.2 砂体渗透率的平面特征

渗透率是储层物性最重要的反映,其平面分布特征可有力地反映储层平面非均质性。研究区长8油层组渗透率的分布受沉积微相和砂体分布的控制,高渗带展布具有明显的方向性,呈北东向或北北东向(图4)。长8₁油层段渗透率高值分布范围较大且连续性较好,渗透率在 $0.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上的相对高值区分布面积占总面积的39%,Z174、Z43、Z211、Z166、Z29和Z161井区渗透率较高,达 $0.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上;长8₂油层段渗透率较8₁差,> $0.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的相对高值区分布面积仅占总面积的31%,Z131、Z161和Z29井区渗透率较高,超过 $0.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

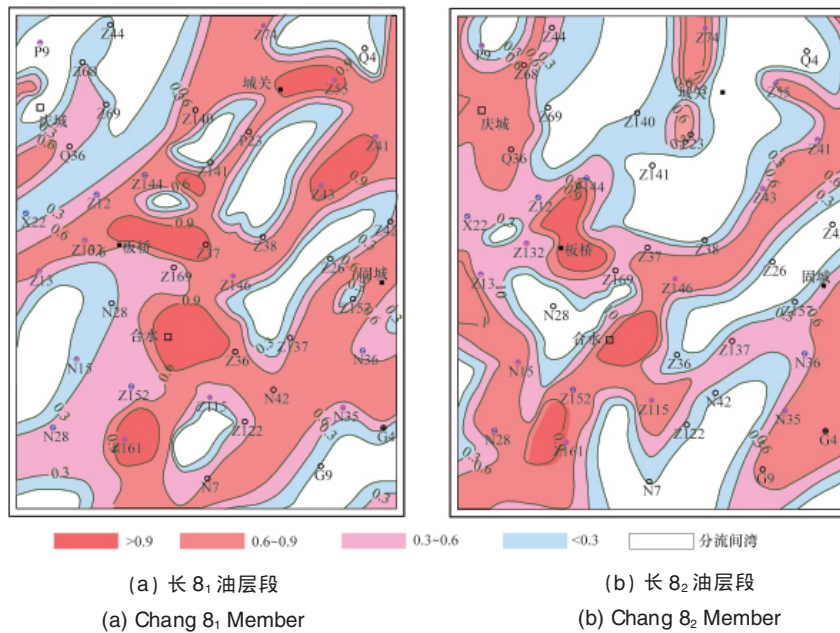


图4 长8油层组渗透率平面分布(单位: $10^{-3} \mu\text{m}^2$)
Fig. 4 Distribution of permeability in Chang 8 Member (unit: $10^{-3} \mu\text{m}^2$)

4.3 流动单元法评价砂体的平面展布

以对研究区的综合认识为指导,选取综合反映岩石的成分、孔隙结构和沉积构造等地质特征的流动层带指标FZI^[6-7]、渗透率K、孔隙度Φ、泥质含量SH 4个参数,采用聚类分析法对研究区进行流动单元划分。结合长8油层组的特点,将流动单元划分为好、中、差3类(图5),统计结果如表3所示。

据划分结果,长8₁和长8₂流动单元分布受沉积微相影响明显,差、中流动单元分布较多,好流动单元则分布较少,且长8₁油层段要好于长8₂油层段。长8₁好流动单元主要分布在Z43、Z166、Z211、Z134、Z116、Z29和N42井区,长8₂好流

动单元主要分布在Z74、Z131、Z29、Z162和Z115井区。

表3 各类流动单元参数特征
Table 3 Parameter statistics of three flow units

	好	中	差
FZI	0.82~2.92	0.68~1.88	0.43~1.52
K/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	1.22~2.08	0.55~1.94	0.18~0.96
Φ/%	10~14	5~12	2~7
SH	0.26~0.56	0.31~0.46	0.26~0.60

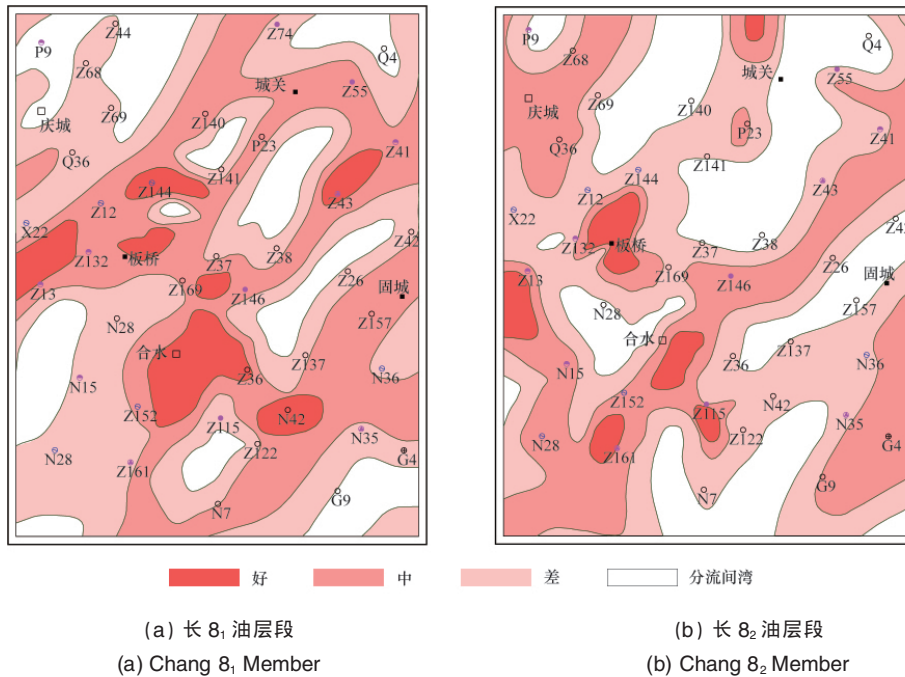


图 5 长 8 油层组流动单元平面分布
Fig. 5 Distribution of flow units in Chang 8 Member

5 结论

1) 研究区长 8₁ 油层段和长 8₂ 油层段的砂体频率和砂体密度相近, 层间渗透率非均质性较弱, 层间隔层厚度变化较大, 整体上, 长 8 油层组层间非均质性较弱。

2) 研究区长 8₁、长 8₂ 夹层发育, 存在多段高渗层, 层内渗透率的变异系数、突进系数和级差值都较大, 两油层段的层内非均质性均较强。

3) 研究区长 8₁、长 8₂ 流动单元分布受沉积微相的影响明显, 差、中流动单元分布较多, 好流动单元分布较少, 且长 8₁ 油层段优于长 8₂ 油层段。

参考文献 (References)

[1] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
Yang Junjie. Tectonic evolution and hydrocarbon distribution rules in Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.

[2] 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 307-315.
Wu Fuli, Li Wenhou, Li Yuhong, et al. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(3): 307-315.

[3] 吴胜和, 熊琦华. 油气储层地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 155-190.
Wu Shenghe, Xiong Qihua. Hydrocarbon reservoir geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 155-190.

[4] 袁亦楠. 中国陆相碎屑岩储层沉积学的进展[J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 16-23.
Qiu Yinan. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 16-23.

[5] 于红枫, 周文, 赵风云. 鄂尔多斯 N21 油藏南区储层非均质性研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2003, 18(6): 21-25.
Yu Hongfeng, Zhou Wen, Zhao Fengyun. Journal of Xi'an Petroleum Institute: Science & Technology Edition, 2003, 18(6): 21-25.

[6] 宋子齐, 陈荣环, 康立明, 等. 储层流动单元划分及描述的分析方法[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2005, 20(3): 56-59.
Song Ziqi, Chen Ronghuan, Kang Liming, et al. Journal of Xi'an Petroleum Institute: Science & Technology Edition, 2005, 20(3): 21-25.

[7] 阎长辉, 戴达山, 陈青. 流动单元法评价储层的展布特征[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(1): 37-40.
Yan Changhui, Dai Dashan, Chen Qing. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(1): 37-40.

(责任编辑 刘志远)

《科技导报》“图书推介”栏目征稿

“图书推介”栏目专门介绍新近出版的学术专著以及涉及科学精神、科学方法、科技哲学、工程理论、科学人文、科学家传记、经典科学著作、科学通俗读物、科学道德等方面的图书, 为读者提供优秀图书信息、搭建交流读书心得平台。欢迎将自己认为的好书推荐给读者, 每条推荐语约 300 字, 要求简明扼要、精辟独到, 富有吸引力。推介信息包含: 书影、书名、作者、出版社、定价、出版日期、推荐语, 以及推荐者单位、姓名。欢迎各出版社提供相关图书样本, 我刊将免费推介。栏目责任编辑: 陈广仁; 投稿邮箱: chenguangren@cast.org.cn。