

# Research on the Heterogeneity of Chang 4+5 Reservoir in Well Y Area of Qili Village Oilfield in Ordos Basin

Shixiong Wang<sup>1,2</sup> Zhaorui Mao<sup>1,2</sup>

1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2. Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

## Abstract

Reservoir heterogeneity has a significant impact on the distribution of remaining oil and the sweep coefficient of water or gas drive, conducting a detailed evaluation of reservoir heterogeneity is essential for adjusting oilfield development plans and tapping into the potential of remaining oil. There are significant differences in pore structure and physical properties between the two small layers of the Yanchang 4+5 oil layer group in the research area, and the distribution scale of sand body thickness varies greatly in both vertical and horizontal directions, therefore the heterogeneity of the reservoir is strong, which increases the difficulty of predicting the distribution of remaining oil. In order to conduct in-depth research on reservoir heterogeneity and efficiently develop remaining oil in the reservoir, the author conducted core observation, logging data, casting thin section identification, physical property testing experiments, and scanning electron microscopy analysis, a comparative study was conducted on the heterogeneity characteristics of reservoirs in the Y well area of Qili Village from both macro and micro perspectives, including Chang 4+5<sub>1</sub> and Chang 4+5<sub>2</sub>. The results indicate that the heterogeneity within the Chang 4+5<sub>1</sub> layer is weaker than that within the Chang 4+5<sub>2</sub> layer, the interlayer heterogeneity of Chang 4+5<sub>1</sub> is stronger than that of Chang 4+5<sub>2</sub>, and the planar heterogeneity of Chang 4+5<sub>1</sub> is stronger than that of Chang 4+5<sub>2</sub>, the micro heterogeneity of Chang 4+5<sub>1</sub> is not significantly different from that of Chang 4+5<sub>2</sub>.

## Keywords

reservoir heterogeneity; dense sandstone; Y well district, Qili village

# 鄂尔多斯盆地七里村油田 Y 井区长 4+5 储层非均质性研究

王世雄<sup>1,2</sup> 毛朝瑞<sup>1,2</sup>

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西·西安 710065

2. 西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室, 中国·陕西·西安 710065

## 摘要

储层非均质对剩余油分布和水驱或气驱波及系数影响较大, 开展精细的储层非均质评价, 是油田开发方案的调整和挖掘剩余油潜力必不可少的内容。研究区延长组长 4+5 油层组两个小层间的孔隙结构、物性差异明显, 砂体厚度分布规模在纵、横变化较大, 因此储层非均质性较强, 增大了剩余油分布预测的难度。为了深入研究储层非均质性, 高效开发储层剩余油, 笔者通过岩心观察、测井资料、铸体薄片鉴定、物性测试实验及扫描电镜分析, 从宏观和微观的角度对七里村地区 Y 井区长 4+5<sub>1</sub> 和长 4+5<sub>2</sub> 的储层非均质性特征进行对比研究。结果表明, 长 4+5<sub>1</sub> 层内非均质性弱于长 4+5<sub>2</sub>, 层间非均质性长 4+5<sub>1</sub> 强于长 4+5<sub>2</sub>, 其平面非均质性长 4+5<sub>1</sub> 强于长 4+5<sub>2</sub>, 长 4+5<sub>1</sub> 的微观非均质性与长 4+5<sub>2</sub> 差异不大。

## 关键词

储层非均质性; 致密砂岩; 七里村 Y 井区

## 1 引言

低渗透砂岩储层是大多数中国陆相沉积盆地的重要产油层, 通常具有孔隙喉道小、毛细管压力大以及孔隙结构复杂的特征。对于低渗透砂岩储层而言, 储层质量是其油气勘探的关键风险因素。沉积作用和成岩作用等多种地质因素的影响会导致储层物性特征差异明显, 这会使低渗透砂岩储层表现出较强的非均质性, 颗粒粒度和关键沉积界面等的变化

也会导致储层非均质性的差异。上述各类因素导致低渗透砂岩储层非均质性强, 这也是影响储层质量的重要原因。由此可见, 储层非均质性研究对于含油潜力及储层质量评价均具有重要意义。中国通常采用注水开发的方式提高低渗透砂岩储层的石油采收率, 而储层非均质性对于低渗透砂岩储层的注水开发效率影响较大, 即非均质性越强, 储层的剩余油含油饱和度越低。中国各油田根据陆相储层特征及生产实践, 以裘怿楠的分类方案为基础, 储层微观非均质性分为颗粒非均质性、填隙物非均质性和孔隙非均质性<sup>[1]</sup>。

【作者简介】王世雄(1998-), 男, 在读硕士, 从事地质资源与地质工程研究。

## 2 区域地质概况

如图1所示,七里村油田位于陕西省延长县境内,位于陕北斜坡东部,地表为黄土塬地貌,现开发面积549km<sup>2</sup>,截至2019年7月底,已探明含油面积481.96km<sup>2</sup>,石油地质储量2.25×108t,动用含油面积431.03km<sup>2</sup>,石油地质储量2.003×108t。剩余可采面积50.93km<sup>2</sup>,剩余地质储量0.247×108t。累计生产原油983.53万吨,标定采收率11%。七里村油田开发时间长,开发层位主要为延长组长6油层,但其横向变化较大,分布规律不清。另在局部地区也发现长4+5油层和长7显示层,但其分布范围和规模不明。

## 3 储层宏观非均质性

储层宏观非均质性包括层内、层间和平面非均质性,主要研究内容包括储层的空间分布及展布形态,物性在层内、层间和平面上的变化,及其影响因素。

### 3.1 层内非均质性

层内非均质性在垂向上反映了储层内部单个砂体的非

均质变化,能较好地描述单砂体的垂向物性变化<sup>[2]</sup>,包括层内粒度韵律性、层理构造、层内夹层分布特征及渗透率在垂向上的差异程度等<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.1 粒度韵律特征

碎屑的粒度和形态受物源、沉积相和搬运方式等因素影响,在垂向沉积上具有一定程度的韵律性。如图2所示,研究区长4+5储层为三角洲前缘沉积,其主要的储集层为分流间湾砂体,通过岩心观察资料及测井曲线特征的分析,发现研究区长4+5层粒度韵律较为发育,常见下粗上细的正韵律、下细上粗的反韵律和复合韵律,其中复合韵律最为发育。

#### 3.1.2 层内渗透率的非均质性

如表1所示,变异系数(V<sub>k</sub>)、突进系数(T<sub>k</sub>)、级差(J<sub>k</sub>)是定量评价渗透率非均质程度的常用参数<sup>[4]</sup>。统计结果表明,长4+5<sub>1</sub>渗透率变异系数为1.53,突进系数为7.70,级差为113,非均质程度较高;长4+5<sub>2</sub>渗透率变异系数为1.24,突进系数为3.99,级差为201.5,非均质程度相对较强,由此得出长4+5<sub>2</sub>非均质程度比长4+5<sub>1</sub>好。

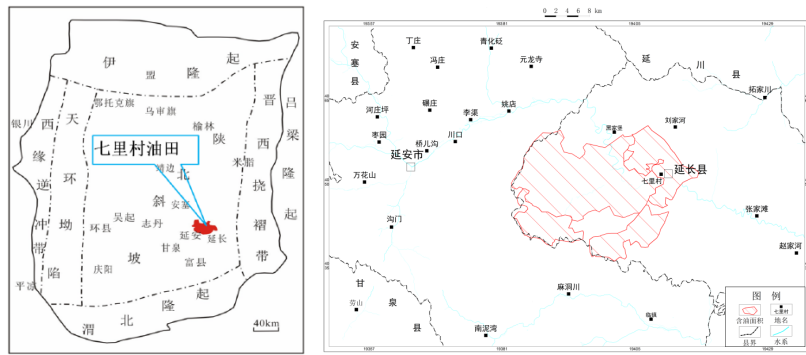


图1 七里村油田地理位置图

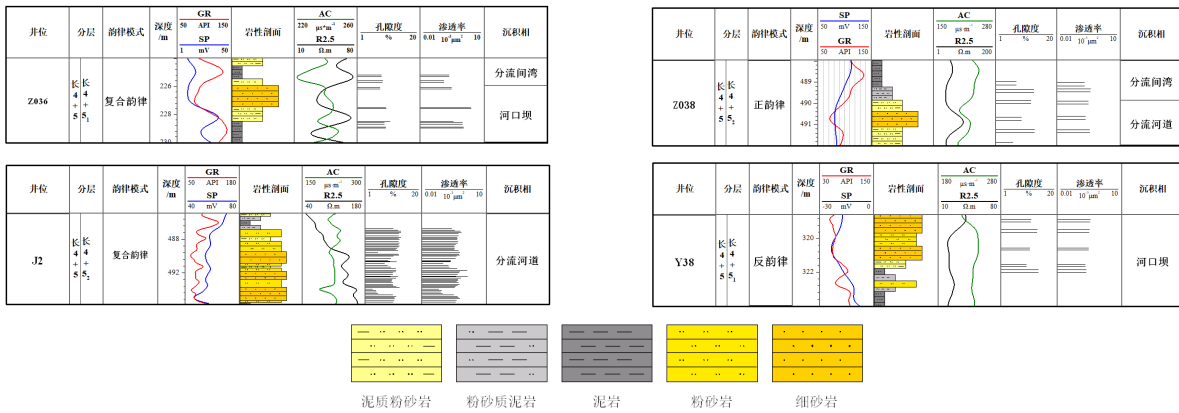


图2 Y井区长4+5储层粒度韵律特征

表1 Y井区长4+5储层渗透率非均质参数值

层位	渗透率 / 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>			变异系数 V <sub>k</sub>	突进系数 T <sub>k</sub>	级差 J <sub>k</sub>	非均质性
	最大值	最小值	平均值				
长4+5 <sub>1</sub>	10.17	0.09	1.32	1.53	7.70	113	强
长4+5 <sub>2</sub>	4.03	0.02	1.01	1.24	3.99	201.5	强

### 3.1.3 夹层厚度及频率

研究区的长4+5<sub>1</sub>、长4+5<sub>2</sub>夹层主要以泥质夹层为主。长4+5<sub>1</sub>、长4+5<sub>2</sub>的平均夹层个数分别为5.13和4.26。其中,如表2所示,长4+5<sub>1</sub>的夹层厚度与夹层密度均大于长4+5<sub>2</sub>,长4+5<sub>1</sub>地层平均厚度薄于长4+5<sub>2</sub>,但夹层频率较高,非均质性稍强。

表2 Y井区长4+5储层夹层特征参数

层位	层厚/m	夹层个数/条	夹层厚度/m	夹层密度/%	夹层频率
长4+5 <sub>1</sub>	35.64	5.13	2.64	40.69	0.38
长4+5 <sub>2</sub>	40.12	4.26	2.42	32.15	0.26

### 3.2 层间非均质性

#### 2.2.1 砂地比和分层系数

砂地比是地层在纵向上用砂层总厚度与地层总厚度的比值;分层系数是指在一段砂岩内一套层系的层数<sup>[3]</sup>。如表3所示,本次统计了89口井的砂地比和分层系数,结果表明,研究区长4+5<sub>1</sub>的单砂层厚度大于长4+5<sub>2</sub>,长4+5<sub>1</sub>砂地比为75%,高于长4+5<sub>2</sub>的64%,长4+5<sub>1</sub>分层系数为2.79,小于长4+5<sub>2</sub>的分层系数3.09。总体看来,长4+5<sub>2</sub>的层间非均质性强于长4+5<sub>1</sub>。

表3 Y井区砂地比参数统计表

层位	单砂层厚度/m	砂地比/%	砂层个数	总井数	分层系数
长4+5 <sub>1</sub>	10.2	75	248	89	2.79
长4+5 <sub>2</sub>	5.8	64	275	89	3.09

#### 3.2.2 隔层

研究区长4+5油藏发育的“物性”隔夹层与油水层在横向上水平相邻,阻断了油气的侧向运移;由于泥质隔层其较高的毛细管压力,阻碍油气的垂直运移。

研究区内长4+5的隔层数量为2~3个,单个隔室的厚度为2~12m。单个井的隔层总厚度为18~20m。且长4+5<sub>1</sub>的隔层厚度相较于长4+5<sub>2</sub>小,并且隔层个数多。长4+5<sub>2</sub>隔层的非均质性略弱于长4+5<sub>1</sub>。

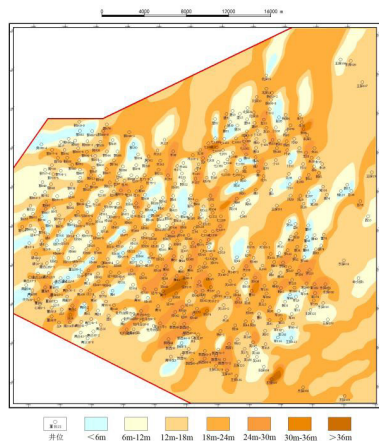


图3 Y井区长4+5<sub>1</sub>小层砂体厚度平面展布

### 3.3 平面非均质性

研究区长4+5主要为三角洲平原亚相沉积,主要储集体分流河道砂体呈现出“北东—南西向相通、西北—东南向分带”的特点,总体上长4+5<sub>1</sub>砂体连片性较好,分流河道中砂体发育,砂地比大于30%,河道中心大于60%,砂体厚度主要集中在6~24m,在河道中心砂体厚度大于12m。长4+5<sub>2</sub>砂地比大于30%,河道中心大于60%,砂体厚度主要集中在6~24m,在河道中心砂体厚度大于10m,具体图3、图4所示。

储层物性在平面上的变化是用来描述和表征储层平面非均质性的重要参数。Y井区长4+5<sub>1</sub>孔隙度为2.3%~15.0%,平均为10.1%;渗透率为0.04×10<sup>-3</sup>~10.17×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>,平均为0.9×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>;长4+5<sub>2</sub>孔隙度为1.6%~15.0%,平均为9.6%;渗透率为0.02×10<sup>-3</sup>~5.55×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>,平均为0.6×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>;表明长4+5<sub>1</sub>储层平面非均质性强于长4+5<sub>2</sub>。

### 4 储层微观非均质性

储层的微观非均质性主要描述储层内部微观结构中的非均质性变化,主要包括三个方面的内容,分别是颗粒非均质性、填隙物非均质性和孔隙非均质性。颗粒非均质性是指岩石碎屑颗粒的粒度、分选和磨圆等,填隙物非均质性是指填隙物的类型、含量以及矿物组成,孔隙非均质性为储层孔隙大小和均匀程度、孔隙与喉道之间的连通性和孔喉的配置关系。

#### 4.1 颗粒非均质性

长4+5储层以细砂为主,中砂次之,其整体分选性好,占96.7%,还有个别分选性为中;磨圆度主要有次棱、次圆、次棱一次圆三种,占比均为30%;研究区胶结方式主要有孔隙、薄膜、压嵌、孔接以及孔薄这五种,孔隙式胶结占56.3%,其次为孔隙—接触式,占21.9%;砂岩颗粒间的接触方式分为点接触、线接触以及点线接触三种,线接触含量达55%,整体上储层结构成熟度较高。

#### 4.2 填隙物非均质性

研究区长4+5填隙物以硅质、黏土矿物和碳酸盐三大

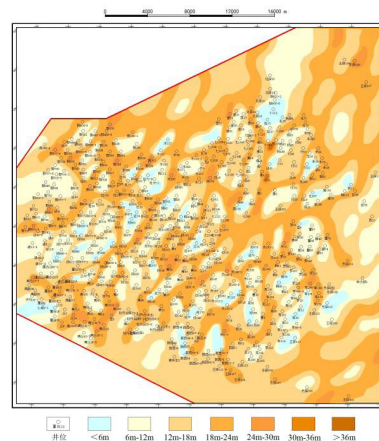


图4 Y井区长4+5<sub>2</sub>小层砂体厚度平面

类胶结物为主。长4+5小层胶结物以石英加大为主，研究区目的层的碳酸盐胶结物均值为4.4%，以方解石(3.2%)和白云石(1.2%)为主，可见部分菱铁矿(0.1%)。黏土总量在5.6%~26%之间，平均值为13.52%；其次为浊沸石，含量在0%~5.3%之间，均值为2.03%。黏土矿物胶结以主要体现为绿泥石胶结(70.2%)，也包含部分伊利石胶结(15.2%)、高岭石胶结(12.4%)以及少量的伊蒙混层(2.1%)。

### 4.3 孔隙非均质性

如图5和图6所示，经过对长4+5油层组岩石薄片的镜下观察，对比孔隙的成因、形态和结构将目的层的孔隙分为4类，分别为粒间孔、溶孔、晶间孔和微裂隙。微裂隙是岩石受到外力作用产生破裂形成的缝隙，能够极大的提升储层的渗透率，在研究区目的层极少见。

如图7所示，(a)为DT033, 326.38m，方解石充填孔隙，正交偏光；(b)为DT033, 317.79 m，颗粒表面包裹绿泥

石形成绿泥石膜，扫描电镜；(c)为DT033, 317.79m，叶片状绿泥石填充孔隙，扫描电镜。

将薄片观察的结果进行统计分析可知，Y井区长4+5油层组碎屑组分最主要的是长石，石英含量较长石少，岩屑最少。碎屑总量可达70%~95%，主要分布在85%~95%之间，通过对碎屑颗粒各成分的含量进行统计，得出：长4+5<sub>1</sub>石英类碎屑多为石英单晶体，石英含量分布于15%~30%，平均值约为22.8%；长石类岩屑主要包括钾长石和斜长石，其含量可达40%~66%，平均值为56.7%；岩屑含量分布于3%~12%，平均含量约为6.8%；长4+5<sub>2</sub>石英类碎屑多为石英单晶体，燧石含量极少，石英含量分布于18%~34%，平均值约为23.2%；长石类岩屑主要包括钾长石和斜长石，其含量可达47%~65%，平均值为57.3%；岩屑含量分布于4%~12%，平均含量约为7.2%；两个小层之间各成分含量差异不大，故长4+5<sub>1</sub>的微观非均质性与长4+5<sub>2</sub>相差不大。

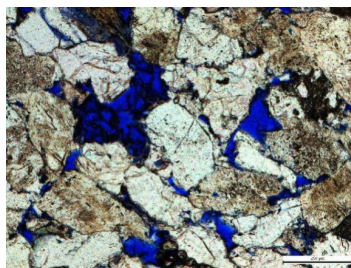


图5 Z036, 311.57m, 粒间孔

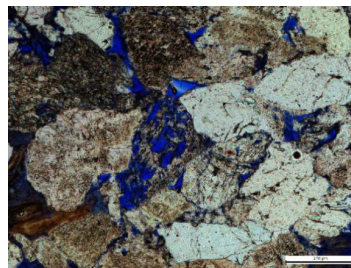
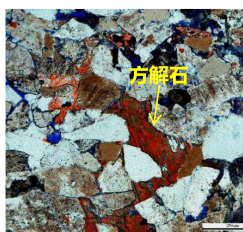
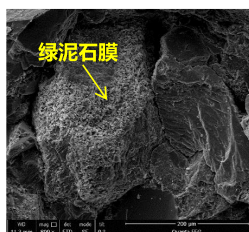


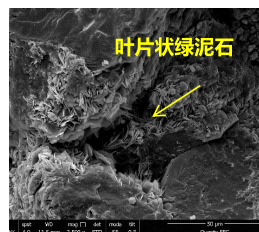
图6 Z038, 327.81m, 溶蚀孔隙



(a)



(b)



(c)

图7 Y井区长4+5储层常见孔隙类型

## 5 结论

① Y井区长4+5为三角洲平原沉积，主要储集体是分流河道砂体，其垂向发育正韵律、反韵律和复合韵律，其中复合韵律最为发育。计算得出长4+5<sub>1</sub>的变异系数为1.07，突进系数为9.25，级差为254.25；长4+5<sub>2</sub>的变异系数为1.30，突进系数为11.30，级差为277.50；可见长4+5<sub>1</sub>小层的层内非均质性弱于长4+5<sub>2</sub>。

②统计Y井区长4+5层内夹层可得，长4+5<sub>1</sub>小层夹层密度约为40.69%，夹层频率为0.38；长4+5<sub>2</sub>小层内夹层密度约为32.15%，夹层频率为0.26，长4+5<sub>1</sub>的夹层比长4+5<sub>2</sub>更发育，其层间非均质性强于长4+5<sub>2</sub>。

③Y井区长4+5储层的储集物性在平面上变化较大，具有较强的平面非均质性。沉积相控制了砂体的几何形态、规模及其连续性，Y井区长4+5储层为三角洲前缘相沉积，

前缘亚相沉积储层砂体厚度不均一，多数为6~24m。沉积储层砂体的分布形态主要为分带状(河道和天然堤)，部分为土豆状(决口扇和沼泽)。顺物源方向的砂体连通性较好，物性变化较平缓；垂直于物源方向的砂体连续性与连通性较差，物性变化大。

### 参考文献

- [1] 于翠玲,林承焰.储层非均质性研究进展[J].油气地质与采收率, 2007(4):15-18+22+111-112.
- [2] 张娟,张晓辉,盖珊珊,等.鄂尔多斯盆地吴起地区延长组长4+5段储层非均质性特征[J].地质与勘探,2019,55(6):1540-1548.
- [3] 李平,樊平天,相金元,等.鄂尔多斯盆地南212井区长4+5~2储层的非均质性[J].西安石油大学学报(自然科学版),2023,38(1):1-9.
- [4] 马瑶.鄂尔多斯盆地志丹地区三叠系延长组长9油层组储层特征研究[D].西安:西北大学,2015.