

文章编号: 1009-3850(2008)02-0040-06

# 华池油田华 152 区长 3 油层组砂岩 的成岩作用与孔隙演化

李 群, 郭建华, 郭宇航

(中南大学 地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 华池油田华 152 区长 3 油层组储层以粉细粒长石砂岩、岩屑长石砂岩为主, 发育多种孔隙类型, 主要有粒间溶孔、粒内溶孔、剩余粒间孔、晶间微孔隙和构造缝, 其中粒间溶孔是长 3 油层组储层的主要孔隙类型。主要成岩矿物为伊利石、绿泥石、伊/蒙混层、高岭石、方解石、白云石、石英等。根据成岩作用的矿物岩石学标志, 将研究区成岩阶段界定为中成岩 A 期。压实和胶结作用破坏了砂岩的原生孔隙结构, 而溶蚀作用形成次生孔隙, 有效地改善了砂岩的孔隙结构。

**关键词:** 孔隙结构; 成岩作用; 成岩模式; 储层性质; 华池油田

**中图分类号:** TE122.2      **文献标识码:** A

## 1 引 言

华池油田华 152 区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡带的西南部(图 1), 目的层段构造相对简单, 整体上呈现为向西倾斜的单斜构造, 坡度为  $0.5^\circ/100\text{m}$ , 仅在西倾单斜的背景上局部发育一些北东向展布的小型鼻状构造。该区上三叠统延长组长 3 油层组油藏的勘探始于二十世纪 70 年代初期, 自剖 6 井试油获工业油流, 而后勘探的重点转移至下侏罗统延安组, 从 80 年代中后期开始, 逐渐加大了对该区延长组长 3 油层组的勘探力度, 先后在华 184、华 192、华 60 井区有了较大的突破, 实现了华 152 区南北油藏的连片, 并于 1996 年正式投入开发, 现已完成注采井网 400 多口井。通过研究区岩心观察与测井曲线的综合分析认为, 华 152 区长 3 油层组为曲流河三角洲-湖泊环境下形成的一套含炭质的砂泥岩沉积组合, 长 3 油藏为西倾单斜背景上受朵状、席状三角洲砂体形态控制的岩性油藏<sup>[1, 2]</sup>。由于区内砂体微相和

成岩作用对砂岩储层的影响比较复杂, 直接影响了勘探开发的效果, 急需查明储层性质的主控地质因素。笔者以华 152 区长 3 油藏为目的层, 在对研究区 43 口取心井岩心观察描述及油层物性、扫描电镜、铸体薄片、压汞、X 射线衍射等多种实验分析的基础上, 对储层的岩石学、成岩作用、孔隙发育特征和储层物性进行了研究, 旨在揭示鄂尔多斯盆地类似砂岩储层的埋藏成岩物性演化规律, 为该油气藏的勘探与开发实践提供理论依据。

## 2 储层岩石学类型与孔隙发育特征

华池油田华 152 区长 3 油层组的储层岩石类型主要是灰色、浅灰色、棕褐色粉细粒长石砂岩、岩屑长石砂岩。陆源碎屑含量变为 63.9%~86.9%, 平均为 75.2%, 其中石英含量为 32.0%~47.9%, 平均为 38.6%; 长石含量为 17.6%~35.8%, 平均为 25.3%, 以正长石为主; 岩屑含量为 5.4%~21.0%, 平均为 10.0%, 以千枚岩、石英岩等变质岩岩屑和黑

收稿日期: 2007-06-30 改回日期: 2008-02-28

作者简介: 李群(1967—), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事石油地质研究。Tel: 13975802145, Email: geq8521@ sina.com

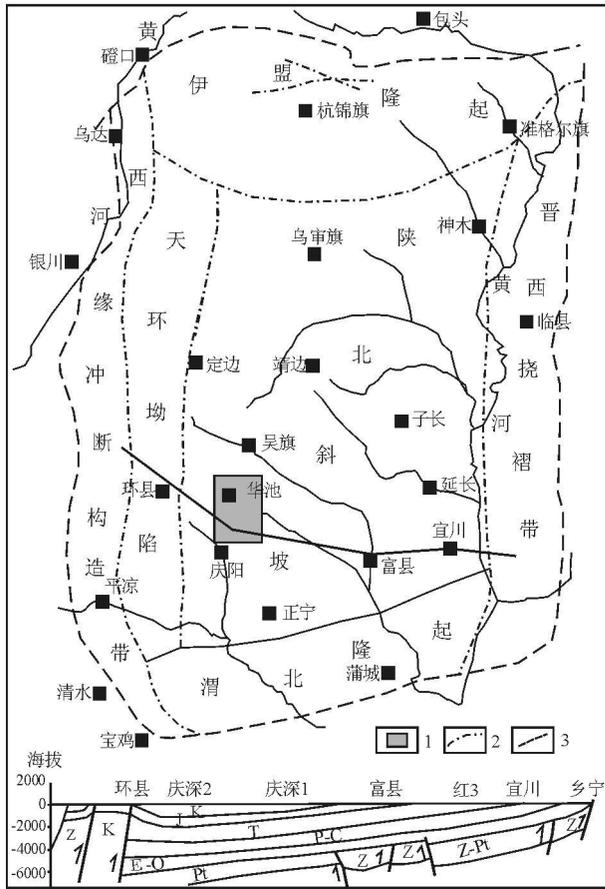


图1 华池油田在盆地中的位置

1. 研究区; 2 构造分区线; 3 断层

Fig 1 Location of the Huachi Oilfield

1= study area; 2= tectonic boundary; 3= fault

云母为主。填隙物含量为13.4%~36.0%，平均为25.1%，主要为绿泥石、伊利石、伊蒙混层等粘土矿物，以及方解石、白云石等碳酸盐矿物，含少量硅质胶结物，胶结类型以孔隙式和接触孔隙式为主。岩石颗粒呈次棱、次棱棱状，分选中等好，常呈点线接触，部分呈凹凸状接触(表1)。总体而言，该段储层成分成熟度较低，结构成熟度中等<sup>[3,4]</sup>。

据铸体薄片资料分析，研究区主要孔隙类型有

粒间溶孔、粒内溶孔、剩余粒间孔、晶间微孔隙和构造缝。其中粒间溶孔体积百分比平均为90.9%，是储层的主要孔隙类型。粒间溶孔的形成主要是由于岩石骨架颗粒胶结物溶解，溶蚀后在颗粒间形成的次生孔隙，镜下显示孔隙边缘呈锯齿状或港湾状，大小分布不均匀。长石或岩屑是该区粒内次生溶蚀的主要成分，电镜扫描观察常见颗粒沿解理缝强烈溶蚀淋滤呈残余状或蜂窝状，粒内溶孔体积百分比平均为5.3%。剩余粒间孔存在于原生砂岩颗粒、填隙物之间，由于沉积压实及胶结作用，孔隙不同程度地缩小，但能反映沉积时粒间孔隙的形状。由于粒间及粒表多被自生绿泥石、伊利石充填或包裹，加上石英的次生加大，工区内剩余粒间孔不发育，最大的一块样品体积百分比仅为16.07%。微孔隙比较发育，但由于这类孔隙一般很微细，在铸体薄片很难分辨，主要分布于绿泥石、伊利石和高岭石等粘土矿物重结晶形成的晶片。研究区还可见到因构造应力作用产生的构造缝，以及沉积物沉积时形成的层理缝，构造缝发育相对较差，多呈闭合状态，或被方解石所充填，对储层难以起到贡献作用，但在压裂时能够开启并沟通储集空间，改善岩石的渗透性能。

据华152区长3油层组2723块岩心样品统计，砂岩储层孔隙度一般为8%~15%，平均为12.7%，渗透率一般为 $(0.1 \sim 4.5) \times 10^{-3} \mu m^2$ ，平均为 $1.7 \times 10^{-3} \mu m^2$ (图2)，为中低孔、低渗特低渗储层。储层多属中孔细喉结构，孔隙半径一般为 $(10 \sim 80) \mu m$ ，平均为 $18.7 \mu m$ 。毛管压力曲线多为略偏细歪度分选中差类型，排驱压力为 $(0.1 \sim 2.0) MPa$ ，最大连通孔喉半径在 $(1.0 \sim 7.0) \mu m$ 的范围内，孔喉分选为4.8~16.1，对渗透率起到主要贡献的是孔喉半径大于 $0.4 \mu m$ 的相对大孔喉。

### 3 成岩作用类型及特征

华池油田华152区长3油层组的中低孔、低-

表1 华152区长3油层组岩石学特征参数统计表

Table 1 Statistics of Petrological Parameters for the Chang3 sandstone reservoirs from the Hua-152 block in the Huachi Oilfield

样品数	陆源碎屑 % (区间值/平均值)				填隙物 % (区间值/平均值)	分选性	磨圆度	胶结类型
	石英	长石	燧石	岩屑				
179	32.0~47.9 /38.6	17.6~35.8 /25.3	0.3~4.8 /1.8	5.4~21.0 /10.0	13.4~36.0 /25.1	中好	次棱 次棱棱	孔隙 接触孔隙

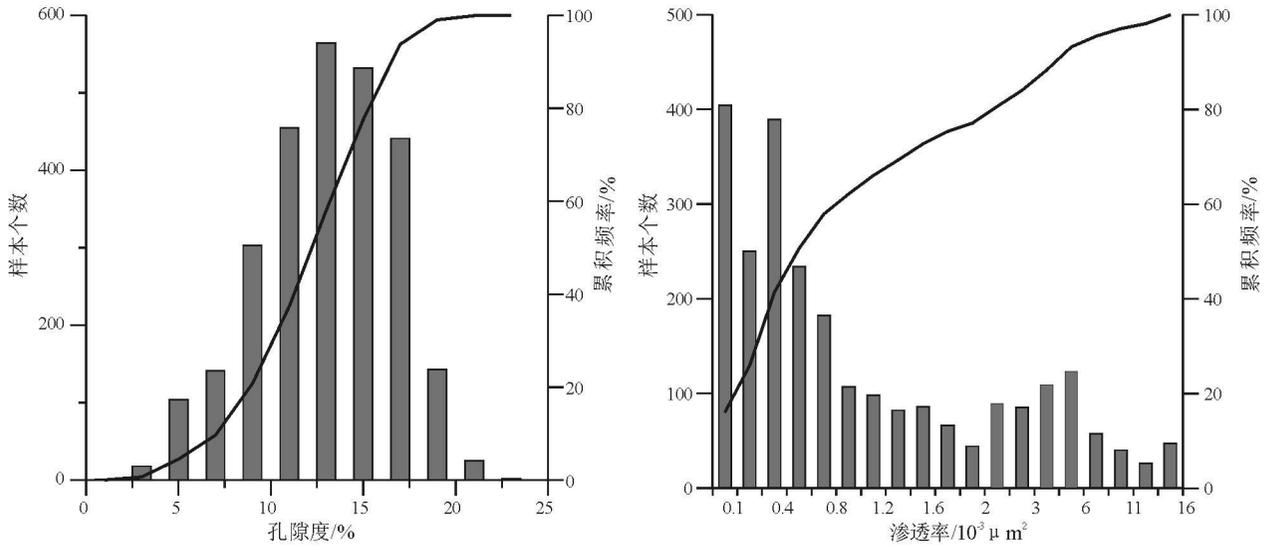


图 2 华 152 区长 3 油层组岩心孔隙度与渗透率分布图

Fig 2 Distribution of the porosity (left) and Permeability (right) in the core samples from the Chang 3 sandstone reservoirs of the Hua-152 block in the Huachi Oil Field

特低渗储层经历了复杂的成岩作用, 主要有机械压实作用、胶结作用、交代作用和溶蚀作用等多种类型。

### 3.1 机械压实作用

机械压实作用主要发生在成岩早期, 华 152 区长 3 油层组机械压实作用的主要表征为: ①颗粒接触关系发生变化。随着埋藏深度的增大, 颗粒接触关系渐趋紧密, 碎屑颗粒由彼此分离到相互靠近, 呈现点线接触, 局部出现凹凸缝合线接触; ②云母、泥质岩屑等塑性组分受压弯曲变形 (图 3); ③由于埋

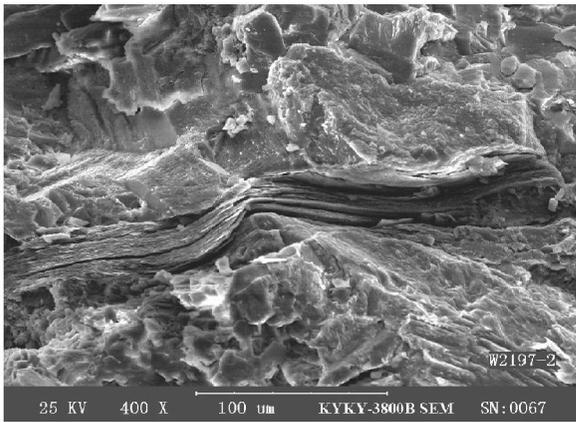


图 3 粒间充填的云母片弯曲变形 (华 177 井, 1766 78m,  $\times 400$ )

Fig 3 Flexural deformation of the sheets of mica filled among grains (Hua-177 well 1766 78 m,  $\times 400$ )

深加大, 地层压力增大, 碎屑颗粒长轴沿近于水平方向定向排列, 镜下可见云母和炭屑沿微细层理面的定向排列。

### 3.2 胶结作用及自生矿物的沉淀

#### 1. 粘土矿物胶结

粘土矿物的 X 射线衍射分析表明, 本区储层中广泛分布有绿泥石 (C)、伊蒙混层 (I/S)、伊利石 (I), 以及少量高岭石 (K)。

绿泥石呈针叶状充填或包裹颗粒 (图 4), 它对储层的影响具有双重性, 一方面, 它占据了一定的孔隙空间, 使孔隙体积减小, 降低了储层的孔隙度和

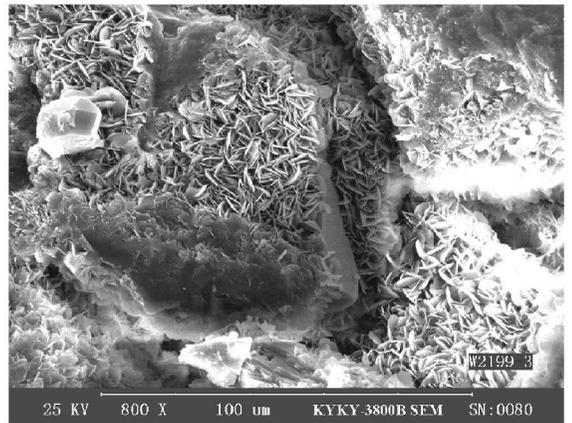


图 4 绿泥石胶结物充填、包裹颗粒 (华 177 井, 1768 63m,  $\times 800$ )

Fig 4 Chlorite cements filling and encasing grains (Hua-177 well 1768 63 m,  $\times 800$ )



## 4 成岩阶段与成岩孔隙演化模式

采用中华人民共和国石油天然气行业标准《碎屑岩成岩阶段划分规范》(SY/T5477-2003)中的酸性水介质湖盆碎屑岩成岩阶段划分标志执行,主要依据自生矿物的分布和形成顺序、粘土矿物组合及伊利石-蒙脱石(I/S)混层的转化、岩石的结构构造特点及孔隙类型、有机质成熟度、古温度等多项指标<sup>[3]</sup>,对照华池油田152区长3油层组,该地层现今埋藏深度在1600~1900m之间,镜质体反射率R<sub>0</sub>为0.76%,有机质处于成熟期;岩石颗粒接触关系多呈点接触和点线接触,部分为凹凸接触;长石、岩屑等碎屑颗粒常被溶蚀,孔隙类型除保留部分原生孔隙外,以次生溶蚀孔为主;粘土矿物中可见自生高岭石、蜂窝状伊-蒙混层、丝发状伊利石、叶片状绿泥石,蒙皂石基本上消失;石英次生加大普遍,多见II级加大;见晚期含铁碳酸岩类胶结物,如铁方解石、铁白云石等。综合分析认为,华152区长3油层组处于中成岩A期。

由Beard和Weg提出的原始孔隙度计算式 $[\Phi = (20.91 + 22.90) / T_{\text{rank}} \text{分选系数}]$ ,计算出长3油层组原始孔隙度平均值为35.7%,现今取样分析同油组孔隙度平均值为12%,可见本区研究层段砂岩经历了复杂的成岩作用,以及从早成岩到中成岩A期的成岩演化过程,从而极大地影响了岩石的孔渗性能(图7)。综合归纳为以下几个阶段:①机械压实与无铁方解石胶结孔隙缩小期。主要发生在早成岩阶段,其中早期机械压实作用是砂岩在成岩期孔隙降低的主要地质营力,分选差的砂岩原始孔隙减少量最大可达15%。②溶蚀作用孔隙扩大期。溶蚀作用可以分出两期,第一期发生在延长组沉积之后的抬升剥蚀暴露期,形成与不整合面有关的大气淡水的淋滤与溶解;随着埋藏深度的增加,进入到中成岩A期,泥质岩中的有机质热演化成熟开始生烃,产生大量的有机酸,使得碳酸岩胶结物、铝硅酸盐颗粒(长石)等发生较强的溶蚀作用,形成区内较为发育的溶蚀孔隙。据估计,长3油层组储层最终因溶蚀作用而增加的次生孔隙约为6%~12%。③胶结充填孔隙缩小期。主要发生于中成岩A期,因方解石、白云石、硅质等胶结物及自生粘土矿物的大量形成并充填残余粒间孔隙,从而使岩石孔隙度降低。据估算,因胶结作用使原始孔隙度的损失量可达10%以上,最高达25%。

成岩事件	早成岩阶段		中成岩阶段	孔隙度演化量/%
	A期	B期	A期	
温度/℃	65		85 140	
R <sub>0</sub> /%	0.35		0.5 1.3	
机械压实	-----			-(10-15)
伊蒙混层	-----			
自生高岭石	-----			
伊利石	-----			-(10-11)
绿泥石	-----			
石英次生加大与自生石英			-----	-(1-2)
方解石与铁方解石			-----	
白云石与铁白云石			-----	-(6-12)
长石与岩屑的溶蚀作用			-----	
颗粒接触类型	点接触	点-线接触	线接触	+(6-12)
孔隙度演化曲线/%				平均12.0

图7 华152区长3油层组砂岩储层成岩孔隙演化示意图

Fig 7 Evolution of diagenesis and porosity of the Chang3 sandstone reservoirs from the Hua-152 block in the Huachi Oil Field

## 5 结论

(1)鄂尔多斯盆地华池油田华152区长3油层组储层岩石类型主要为粉细粒长石砂岩、岩屑长石砂岩;岩石组构表现为成分成熟度较低、结构成熟度中等的特点。

(2)本区长3油层组储层在成岩过程中形成了多种孔隙类型,主要有粒间溶孔、粒内溶孔、剩余粒间孔、晶间微孔隙和构造缝等。粒间溶孔和粒内溶孔是本区储层的主要孔隙类型。

(3)华152区长3油层组的中低孔、低特低渗储层经历了复杂的成岩作用,处于中成岩A期。压实和胶结作用破坏了砂岩的原生孔隙结构,机械压实作用使砂岩中原生孔隙大量丧失,粘土和碳酸岩胶结物充填并缩小孔隙;而长石及碳酸盐矿物的溶蚀作用形成次生孔隙的普遍发育,有效地改善了砂岩的孔隙结构。溶蚀作用的发育程度与延长期后的抬升剥蚀及泥质岩在成岩过程中的热演化相关。

### 参考文献:

- [1] 攀峰,赵惊蛰,杨秋莲,等.华池油田长3油层沉积微相与含油性关系[J].西安石油学院学报,2002,17(1):15-19.
- [2] 魏红玫,何崇康,梅启亮.华池油田华152井区长3油组沉积微相研究[J].西安石油学院学报,2004,19(5):20-24.

- [3] 应凤祥, 罗平, 何东博, 等. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004
- [4] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002
- [5] 张金亮, 梁杰, 杜桂林. 安塞油田长2油层成岩作用及其对储层物性的影响[J]. 西北地质, 2004, 37(4): 50—58
- [6] 刘林玉, 王震亮, 张龙. 鄂尔多斯盆地镇北地区长3砂岩的成岩作用及其对储层的影响[J]. 沉积学报, 2006, 24(5): 690—697
- [7] 柳益群, 李文厚, 冯乔. 鄂尔多斯盆地东部上三叠统含油砂岩的古地温及成岩阶段[J]. 地质学报, 1997, 71(1): 65—74
- [8] 罗静兰, 张晓莉, 张云翔, 等. 成岩作用对河流三角洲相砂岩储层物性演化的影响[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 541—547
- [9] BLOCH S, LANDER R H, BONNELL L. Anomalous high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: Origin and Predictability[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(2): 301—328
- [10] ALAAM, SALEM S, MORAD S, LUZ F, MATO, AL-AASM I S. Diagenesis and reservoir quality evolution of fluvial sandstones during progressive burial and uplift: Evidence from the Upper Jurassic Boipeba Member, Recôncavo Basin, Northeastern Brazil[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(7): 1015—1040

## Diagenesis of the Chang<sub>3</sub> sandstone reservoirs from the Hua<sub>152</sub> block in the Huachi Oil Field

LI Qun, GUO Jian-hua, GUO Yu-hang

(School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

**Abstract:** The Chang<sub>3</sub> sandstone reservoirs from the Hua<sub>152</sub> block in the Huachi Oil Field mostly consist of fine-grained feldspar sandstone and lithic sandstone in which various pore types are developed including intergranular solution openings, intragranular solution openings, residual intergranular pores, intercrystal micropores and structural fissures. The intergranular solution openings occur as main pore types in the study area. The major diagenetic minerals include illite, chlorite, mixed illite-smectite, kaolinite, calcite, dolomite and quartz overgrowths. According to mineral indicators for diagenesis, the Chang<sub>3</sub> sandstone reservoirs in the study area are interpreted to be in the stage A of middle diagenesis. The compaction and cementation are responsible for the destruction of the primary pore structures of the sandstones, whereas the dissolution of feldspar and lithic fragments resulted in the development of secondary pores and improvement of the pore structures of the sandstones.

**Key words:** pore structure, diagenesis, diagenetic model, reservoir quality, Huachi Oil Field