

延长油田宝塔采油厂沙家沟区长 6 储层沉积特征研究

孙宇翔 (陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075)

摘要: 本文针对延长油田宝塔采油厂沙家沟区低孔特低渗储层渗透率低, 非均质性强, 单井产能不足的问题, 开展了储层沉积特征及物性参数研究。研究表明, 宝塔采油厂沙家沟区长 6 储层主要发育三角洲平原及三角洲前缘沉积, 水下分流河道微相是油气储集体。储层岩性主要为灰色细粒长石砂岩, 占各类储层的 50% 以上, 成岩作用强, 溶蚀作用较弱, 是该区成为特低孔隙度、特低渗透率储层的主要因素。渗透率与孔隙度之间的相关性较好, 物性和含油气性受岩性因素综合影响比较突出, 为典型的岩性控制油气藏。通过本文的研究, 提高了储层认识程度, 为今后提升勘探开发效果提供了良好的技术借鉴。

关键词: 储层特征; 特低渗储层; 宝塔采油厂; 鄂尔多斯盆地

延长油田宝塔采油厂沙家沟区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东部, 全区构造平缓, 倾角 $< 1^\circ$, 发育小规模鼻状隆起构造。陕北斜坡为鄂尔多斯盆地的主体部分, 主要形成于早白垩世, 总体为一平缓西倾单斜构造, 地层倾角约半度左右 (千米坡降为 7~10m), 内部构造简单, 其上常发育一些由于差异压实作用形成的低幅度鼻状隆起构造。三叠系长 6 油层组为该区主力油层, 长 6 各小层的局部构造形态具有一致性和继承性。这种构造起伏主要由差异压实作用造成, 对区内油气富集具有一定的控制作用, 但含油性主要受物性、岩性控制。

长 6 油层埋深为 200~750m, 地层厚度稳定, 属于为水下三角洲前缘沉积, 是鄂尔多斯盆地东南缘延安一延长大型湖泊三角洲沉积体系的一部分。储层属典型的低孔特低渗油藏, 储层渗透率低, 非均质性强, 单井产能不足, 平均不足 1t/d。为掌握该区油层沉积特征及对储层物性和开发方式的影响, 开展了储层沉积特征研究, 从而为该区油气勘探开发指明了方向。

1 沉积环境

1.1 沉积背景

根据岩石相、沉积构造、测井相的分析, 结合野外剖面观察综合分析, 沙家沟区三叠系延长组长 6 油层主要为三角洲沉积体系, 主要发育三角洲平原及三角洲前缘沉积, 主要微相类型为水下分流河道及其侧缘, 水下天然堤、分流间湾及前缘席状砂。其中长 6₁ 主要为三角洲平原沉积, 长 6₂、长 6₃、长 6₄ 主要为三角洲前缘沉积, 砂体主要为三角洲平原的分流河道及前缘三角洲水下分流河道砂体, 河口坝基本不发育。

1.2 主力油层沉积微相

水下分流河道微相是油气储集体。广泛发育于长 6₁、长 6₂、长 6₃、长 6₄ 四个亚组中。岩性为灰色细粒长石砂岩, 颗粒分选好、次棱角-次圆状, 砂岩成分成熟度中等, 结构成熟度较好。砂体具有由细砂岩、向上变细为粉砂岩、泥质砂岩及泥岩组成的正粒序, 单层砂体厚约 4~8m, 砂体最厚可达 27m, 为河道多次叠加的结果。河道底部见有冲刷构造, 冲刷面上分布有泥砾, 砂体发育板状和槽状交错层理、平行层理、块状层理。

纵向上, 水下分流河道微相中顺物源方向剖面上和在垂利物源方向剖面上砂体连成条带状, 在垂利物源方向剖面上不均匀分布上平下凸的透镜体。粒度概率曲线呈两段式, 跳跃总体含量一般 $> 80\%$, 斜率一般 55~65 度, 悬浮总体一般 $< 20\%$, 细截点为 $3.5\phi \sim 4\phi$ 。剖面上, 砂体底部与河道间洼地或河口砂坝呈截切超覆关系, 顶部与水下天然堤呈渐变关系, 构成连续向上变细的正韵律, 或与河道间洼地呈突变关系。

2 储层岩石学特征

2.1 碎屑成分

长 6 储层岩性主要为灰色细粒长石砂岩, 占各类储层的 54.5%~66.5%, 其次为粉砂岩和中粒砂岩, 分别占 11.4%~34.7% 和 6.1%~18.0%, 粗砂岩极少。砂岩碎屑组分主要由长石、石英和黑云母构成, 以长石含量为最高。长石含量变化在 45.9%~49.9%, 平均 48.0%。其中钾长石含量分布在 15.0%~40.0%, 平均 28.7%, 斜长石含量 9.0%~30.0%, 平均 19.5%。其次为石英, 含量 17.0%~29.0%, 平均 23.3%。再次为黑云母, 含量为 5.0%~17.0%, 平均 9.8%。岩屑含量较少, 一般为 3%~4%, 平均 3.3%, 主要由沉积岩和变质岩岩屑组成。因此, 本区长 6 储层砂岩属典型的长石砂岩。重矿物含量较少, 主要为稳定性差的黄铁矿、绿帘石和较稳定的榍石等。

2.2 成岩作用

根据岩石薄片、铸体薄片等资料综合分析结果, 本区长 6 储层的成岩作用比较强烈, 已达晚成岩 A 期。其在埋藏成岩过程中, 主要经历的成岩作用有: 早成岩阶段早期的机械压实和粘土膜析出; 早成岩阶段晚期的石英、长石压溶及次生加大; 晚成岩阶段早期的成岩自生矿物析出及其所引起的胶结充填和随后发生的长石、岩屑、云母及方解石等的溶蚀, 形成次生孔隙。由于成岩作用强烈, 溶蚀作用较弱, 使得本区长 6 储层成为特低孔隙度、特低渗透率的致密砂岩储层。

3 孔隙结构及物性特征

3.1 孔隙特征

根据岩心扫描电镜等资料分析结果, 本区长 6 储层

的主要储集空间有粒间孔、粒间溶孔和粒内溶孔（长石溶孔、岩屑溶孔）、微裂缝等。面孔率一般在 5%~8% 之间，平均为 6.9%。其中主要为残余粒间孔在总孔隙中占 30.0%~50.0%，平均达 41.5%；其次为溶蚀孔隙，包括粒间溶孔和粒内溶孔，含量占 20.0%~35.0%，平均为 28.4%；微孔隙平均在 25% 左右，最高可达 30% 以上，主要是粘土矿物的晶间孔，常被束缚水所占据。

根据压汞曲线分析，研究区储层孔喉分布不均。其中：排驱压力多分布在 0.28~1.80MPa 之间，对应的最大连通孔喉半径为 2.679~0.107 μm 。饱和度中值压力分布在 1.761~8.399MPa 之间，中值半径为 0.426~0.089 μm 。平均孔喉半径分布在 0.152~1.007 μm 之间，孔喉均值分布在 0.154~0.853 μm 之间。分选系数分布在 0.11~4.37 之间，相对分选系数分布在 0.69~5.17 之间。孔喉歪度 > 0，分布范围为 0.66~11.46。退汞效率较低，一般为 12%~34%。

3.2 物性特征

储层的物性特征是决定储层储集性能的关键，物性特征的直观表征即是孔隙度和渗透率的大小。物性分析表明孔隙度最小为 8.54%，最大为 13.24%，平均为 10.74%，渗透率最大值为 $2.879 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最小值为 $0.109 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均为 $0.934 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此，该区块长 6 储层属于低孔、特低渗储层。从渗透率与孔隙度的相关性分析来看，该地区渗透率与孔隙度之间的相关性较好，长 6 储层的孔隙度、渗透率存在正相关关系，砂岩渗透率随孔隙度的增加而增加，反映渗透率主要受孔隙结构的影响，说明储层物性受岩性因素综合影响比较突出，为低渗透储层的普遍特点。

4 电性响应特征

在沉积、成岩与储集层物性总体特征研究的基础上，提取自然伽马、自然电位、声波时差、深感应电阻率等电性参数，结合岩心分析化验资料，搞清“四性”之间的变化规律，立足测井资料反映储层物性特征，可以实现对研究区油水层的准确判断。

4.1 岩性与电性

长 6 油组岩性主要为砂岩和泥岩，纵向上岩性粗细和矿物组成的差异，使其地球物理性质各不相同。在泥岩与粉砂质泥岩中：均以高自然伽马、自然电位基线、微电极无差异或差异幅度小、电阻率相对偏低和高声波时差值为特征。粉砂岩、泥质砂岩中，以中、高自然伽马、自然电位中-低幅度负异常及微电极差异幅度小或无差异为特征。

细砂岩中，以自然电位高负异常，对应低自然伽马值及微电极差异幅度大为特征，是长 6 地层的主要含油储集层。自然伽马 < 90 API，声波时差在 220~240 $\mu\text{s/m}$ 左右，深感应电阻率 38~80 Ωm 。含油细砂岩一般电阻率较高，油层电阻率一般 > 38 Ωm 。

4.2 物性与电性

长 6 地层电测曲线对储集性能的反映，主要表现在

自然电位、自然伽马及声波时差上。孔、渗相对较好的储层，自然电位曲线为较明显的负异常或自然伽马平缓低值以及相对较高的声波时差值。研究区较好的储油层声波时差值一般为 220~235 $\mu\text{s/m}$ ，多数油层声波时差值为 225~230 $\mu\text{s/m}$ ；地层电阻率变化较大，为 21.4~133 Ωm ，大多数含油地层电阻率 > 38 Ωm 。

4.3 含油气性与电性

本区采用深感应、中感应、八侧向组合探测原始地层、过渡带及冲洗带的电阻率。由于全区基本都采用淡水水泥浆钻井，因此典型的油层特征是减阻侵入，即深探测电阻率大于浅探测电阻率；典型的水层是增阻侵入，浅探测电阻率大于深探测电阻率。油层电阻率幅度大，含油段的储层电阻率是水层电阻率的 1.5~4 倍，含油层的深感应电阻率大致为 38~150 Ωm ，4.0m 电阻率平均值一般在 40~200 Ωm ，水层深感应电阻率值低，声波时差 > 220 $\mu\text{s/m}$ 。当储层物性变好时，含油性变好，储层电阻率明显增加；随着泥质含量的增加，储层分析孔隙度与渗透率都有下降，储层电阻率也略有下降。

5 结论

①岩心观察和岩石薄片鉴定表明，研究区长 6 储层岩性主要为灰色细粒长石砂岩，占各类储层的 50% 以上，其次为粉砂岩和中粒砂岩。由于成岩作用强烈，溶蚀作用较弱，使得本区长 6 储层成为特低孔隙度、特低渗透率的致密砂岩储层；

②本区长 6 储层的主要储集空间有粒间孔、粒间溶孔和粒内溶孔、微裂缝等。其中主要为残余粒间孔，在总孔隙中占 40% 左右，其次为溶蚀孔隙，包括粒间溶孔和粒内溶孔，溶蚀作用一般，微孔隙发育较少，且主要被束缚水所占据，对储层物性影响较小；

③研究区渗透率与孔隙度之间的相关性较好，孔隙度、渗透率存在正相关关系，反映渗透率主要受孔隙结构的影响，说明储层物性受岩性因素综合影响比较突出，为典型的岩性控制油气藏。电测曲线可以较为准确的反应储层的岩性、物性和含油气性。油层呈现较为普遍的减阻侵入，水层呈现增阻侵入，为油水层识别提供了较为准确的依据。

参考文献：

- [1] 师晓伟, 李杰. 鄂尔多斯盆地东部高含水井综合治理——以甘谷驿油田唐 80 井区为例 [J]. 非常规油气, 2015,2(06):38-48.
- [2] 曹尚, 党海龙, 庞振宇, 时丕同, 白璞, 丁磊, 石彬. 特低渗油藏成岩作用及其对孔隙演化的影响——以甘谷驿油田长 6 储层为例 [J]. 非常规油气, 2018,5(02):41-45.

作者简介：

孙宇翔 (1994)，男，陕西延安人，2019 年 6 月毕业于中国矿业大学（北京），硕士，助理工程师，主要从事油田开发工作。