

鄂尔多斯盆地东南缘 Q 地区致密砂岩储层特征及敏感性

Zhengyin Li^{1,2}

¹西安石油大学地球科学与工程学院 陕西西安

²西安石油大学陕西省油气成藏重点实验室 陕西西安

【摘要】以鄂尔多斯盆地东南缘 Q 地区长 6 储层为例，利用 X 射线衍射、剖面分析与识别等手段，从储层物性、岩石学特征、孔喉结构特征 3 个方面研究了储层的基本特征，并利用水驱实验研究分析了研究区致密砂岩储层的敏感性及其主控因素。结果表明：鄂尔多斯盆地东南缘 Q 地区长 6 致密砂岩储层岩性主要为长石砂岩，粒度以细砂岩为主，储层物性较差，储层孔隙类型主要为粒间孔和长石溶孔，喉道类型主要为片状、弯曲状和缩颈状，喉道连通性较差。综合考虑储层物性、孔隙类型及毛管压力曲线特征，将 Q 地区长 6 储层划分为 3 类，其中 I 类储层是该区储集能力和渗流能力最好的储层。研究区储层具有中—弱速敏、中等水敏、弱—中—弱盐敏、中—强酸敏、弱碱敏等储层特征。

【关键词】致密砂岩储层；储层特征；敏感性研究

【收稿日期】2025 年 5 月 3 日

【出刊日期】2025 年 6 月 10 日

【DOI】10.12208/j.ghrm.20250001

Characteristics and sensitivity of tight sandstone reservoir in Q area of the southeast edge of Ordos basin

Zhengyin Li^{1,2}

¹School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi

²Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation of Shaanxi Province, Xi'an Shiyou University, Xi'an Shaanxi

【Abstract】Taking Chang 6 reservoir in Q area of the southeast edge of Ordos basin as an example, the basic characteristics of the reservoir are studied from three aspects of reservoir physical properties, petrological characteristics and pore throat structure characteristics by means of X-ray diffraction, section analysis and identification, and the sensitivity and main control factors of the tight sand reservoir in the study area are studied and analyzed by water drive experiment. The results show that the lithology of Chang 6 tight sandstone reservoir in Q area of the southeast edge of Ordos basin is mainly feldspathic sandstone, and the grain size is mainly fine sand. The physical property of the reservoir is poor. The pore types of the reservoir are mainly intergranular pores and feldspar dissolved pores. The main throat types are flaky, curved and necked, and the throat connectivity is poor. Based on the physical properties, pore type and capillary pressure curve characteristics, the Chang 6 reservoir in Q area is divided into three types, of which, Type I reservoir is the reservoir with the best reservoir capacity and seepage capacity in this area. The reservoir in the study area is characterized by medium to weak velocity sensitivity, medium water sensitivity, weak to medium to weak salt sensitivity, medium to strong acid sensitivity and weak alkali sensitivity.

【Keywords】Tight sand reservoir; Reservoir characteristics; Sensitivity study

1 介绍

油气田的开发会受到多种因素的影响，导致储层孔隙度、渗透率发生变化，对储层产能和储层本身性质产生不利影响。对于低渗透储层甚至特低渗透储层，其储层性质与常规储层差异很大，储层损害程度尤为严

重^[1]。因此，研究低渗透储层的敏感性尤为重要，对低渗透储层油田的开发利用也具有重要的经济 and 实际意义。本文以鄂尔多斯盆地 Q 地区长 6 储层为例，通过剖面观察、X 射线衍射、扫描电镜、高压压汞等方法研究储层特征，并结合敏感性实验，对研究区致密储层进

注：本文于 2023 年发表在 Journal of Electrical Power & Energy Systems 期刊 7 卷 1 期，为其授权翻译版本。

行敏感性评价。

2 储层基本特征

2.1 岩石学特征

根据 Q 地区长 6 储层铸体薄片统计观察, 研究区岩性主要为长石砂岩, 粒度以细砂为主, 其次为中砂。碎屑成分以长石为主, 其次为石英, 岩屑最少。其中岩屑主要由岩浆岩屑和变质岩屑组成, 沉积岩屑较少。填隙物以黏土矿物和碳酸盐胶结物为主, 平均体积分数为 7.8%。

2.2 物理特性

通过对研究区长 6 储层实测物性数据分析, 研究区长 6 储层孔隙度为 1.78%~12.9%, 平均值为 8.3%; 渗透率值分布在 0.01~2.66 之间 $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 0.40 $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 认为研究区长 6 储层物性差异较大。

2.3 孔喉结构特征

2.3.1 孔隙类型

根据研究区长 6 储层铸体薄片观察, Q 地区长 6 段致密砂岩储层孔隙类型主要为粒间孔、长石溶孔, 孔隙组合类型主要为原生孔-溶孔、残余粒间孔。

(1) 粒间孔是指岩石内部颗粒的原生孔隙, 是研究区主要的孔隙类型, 体积分数为 1.0%~7.15%, 平均体积分数为 4.5%, 约占总孔隙的 60%。粒间孔对改善本区储层渗透性的作用尤为突出。

(2) 长石溶孔是由碎屑颗粒间的矿物或可溶部分溶解而形成的次生孔隙。长石溶孔是研究区重要的孔隙类型, 对提高渗流能力也起着积极作用。长石溶孔体积分数为 0.9%~3.1%, 平均体积分数为 1.6%, 约占总孔隙度的 21%。

(3) 研究区部分区域微裂缝发育, 微裂缝是致密砂岩储层重要的储集空间和流体运移通道, 研究区微裂缝体积分数平均为 0.5%, 约占总孔隙度的 7%。

2.3.2 喉部类型

研究区喉道类型主要有席状或弯席状喉道和缩颈状喉道两种。席状或弯席状喉道主要由成岩过程中受压实、压溶作用而紧密排列的砂岩颗粒组成, 孔隙空间大大缩小, 颗粒间以线接触、凹凸接触为主, 形成席状或弯席状喉道。当颗粒排列紧密或胶结物呈环状胶结时, 喉道相对较窄, 形成的喉道为缩颈状喉道。研究区 2 种喉道配位数较低, 多为 1~2, 喉道连通性较差。

2.3.3 储层分类与评价

不同的岩石学特征、物性及渗流机制可以反映储层不同的沉积环境, 因此以物性、孔隙类型、毛管压力

曲线等参数作为参考因素, 对 Q 区长 6 储层进行划分。分为 I、II、III 型。

类储层最为常见, 孔隙度介于 5.7%~9.6%, 平均孔隙度为 7.9%; 渗透率介于 $0.025 \sim 0.381 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $0.176 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 毛细管压力曲线中平段较长, 向左下方倾斜, 排驱压力最低 (平均 0.39MPa), 大孔喉发育 (平均偏度系数 0.727), 分选性好 (平均分选系数 1.235), 最终汞饱和度 (平均 87.47%), I 类储层是本区储集能力和渗流能力最好的储层。

研究区内普遍发育 II 类储层, II 类储层孔隙度 储层平均孔隙度为 2.2%~10.4%, 平均孔隙度为 5.5%; 渗透率为 $0.005 \times 10^{-3} \sim 0.097 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $0.040 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 毛细管压力曲线中部平坦段较短且向右上方倾斜, 排驱压力中等 (平均 3.48 MPa), 大孔喉发育 (平均 1.040), 分选性中等 (平均 1.031), 最终汞饱和度较高 (平均 65.19%)。II 类储层为大孔隙与小孔隙共存的储层, 是本区储集能力和渗流能力次优的储层。

研究区 III 类储层较为少见, III 类储层孔隙度介于 3.9%~0.7% 之间, 平均孔隙度为 6.7%; 渗透率介于 $0.009 \times 10^{-3} \sim 0.66 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间, 平均值为 $0.183 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 毛细管压力曲线中部平坦段较短, 向右上方倾斜, 排驱压力最大 (平均 10.41MPa), 大孔喉较少 (平均 0.897), 分选性差 (平均 0.998), 最终汞饱和度低 (平均 24.77%)。III 类储层孔喉较小, 储集能力和渗流能力较差。

3 储层敏感性评价

当与自身储层流体不匹配或不匹配的外来流体进入储层时, 由于其化学、物理性质与原始储层中原有流体不一致, 会改变储层中的矿物和孔隙结构, 从而对储层造成伤害。因此, 需要对储层的敏感性进行研究。对研究区长 6 储层 80 个样品进行分类储层敏感性测试, 研究了致密储层的敏感性^[2-5]。

3.1 速度灵敏度特性

储层速度敏感性是指当储层中流体速度发生变化时, 储层中的颗粒会发生迁移移动, 在小孔喉处形成桥塞, 从而降低储层的渗透率^[6-8]。本研究采用盐水模拟地层水, 对长江对研究区长 6 储层进行速度敏感性评价, 旨在确定储层临界速度, 计算储层伤害率, 为该区块未来注水开发过程中驱替速度的确定提供科学合理的理论依据。长 6 储层速度敏感指数分布范围为 0.20~

0.49, 平均值为 0.34, 储层具有中等—弱速度敏感性^[9]。

3.2 水敏特征

储层水敏性是指当储层进入与自身储层流体不匹配或不匹配的流体时, 其化学、物理性质与原储层中原有流体不一致, 会造成储层中黏土矿物的水化膨胀, 并在孔喉处形成桥塞, 从而降低储层的渗透率。我们以低于临界流速的速度向岩心中注入地层水和非离子水(蒸馏水), 测定储层水敏指数^[10-12]。昌都地区离子水的损害率研究区 6 号储层水敏性为 0.24~0.59, 平均 0.44, 总体为中—弱水敏性。

3.3 盐敏特征

储层盐敏性是指当与储层流体不匹配或不相符的盐水进入储层时, 由于其矿化度与原储层中原有矿化度不一致, 储层中的黏土矿物会发生水化膨胀, 随着流体的运移, 在小孔喉处形成桥接, 从而降低储层的渗透性。储层盐敏性的主要原因是储层中的黏土矿物易与外来盐水中的离子发生反应, 从而改变黏土矿物自身的层状结构, 降低渗透性^[10]。

储层盐敏测试的目的是确定导致储层渗透率明显下降的矿化度值。一般而言, 当外部盐水矿化度高于储层原始流体矿化度时, 会导致黏土矿物的分离剥蚀; 而当外部盐水矿化度低于储层原始流体矿化度时, 会导致黏土矿物的膨胀。研究区长 6 储层临界矿化度介于 12500~25000mg/L 之间, 储层具有弱—中—弱盐敏性。

3.4 酸碱敏感性特性

储层酸敏性是指当与储层流体不匹配或不匹配的酸性流体进入储层时, 会与储层中的酸敏矿物发生反应, 生成沉淀或新的颗粒, 从而降低储层的渗透性^[13]。

储层碱敏性是指当储层进入与自身不匹配的碱性流体时, 会与储层中的碱敏矿物或自身流体发生反应生成沉淀, 从而降低储层的渗透性。

研究区长 6 储层酸敏指数介于-0.75~0.90%, 平均值为 0.48%, 储层具有中—弱—强酸敏性, 注酸后部分岩心渗透率也有所提高。研究区长 6 储层碱敏指数介于-0.13~0.27 之间, 平均值为 0.13%, 储层具有弱碱敏感性, 部分岩心亦不具有碱敏感性, 认为长 6 储层总体为弱碱敏感性。

4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地东南缘 Q 地区长 6 致密砂岩储层岩性主要为长石砂岩, 粒度以细砂岩为主, 其次为中砂岩。储层物性较差, 孔隙度为 1.78%~12.9%, 平均值为 8.3%; 渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 2.66 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均

0.40×10^{-3} 微米²。储层孔隙类型以粒间孔、长石溶孔为主, 微裂缝发育较少; 喉道类型以席状、弯席状、缩颈状为主, 喉道连通性较差。

(2) 结合物性、孔隙类型及毛管压力曲线特征, 将 Q 地区长 6 储层划分为 3 类, 其中 I 类储层物性较好, 以粒间孔为主, 孔喉连通性好, 是该区储集能力和渗流能力最好的储层。

(3) Q 地区长 6 致密储层具有中—弱速度敏感性(平均速度敏感指数为 0.34), 中等结果表明油藏水敏性为弱至弱水敏(平均水敏指数为 0.44); 盐敏性为弱至中至弱; 酸敏性为中至强(酸敏指数为 0.48); 碱敏性为弱(碱敏指数为 0.13)。

参考文献

- [1] Li Guannan, Sun Wei, Liu Dengke. Sensitivity of Chang 6 reservoir in Wuqi Xuecha Area of Ordos Basin and its Main Controlling Factor [J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(06):138-147.
- [2] Song Yuchun, Huang Hao, Zhou Chuangfei, Ke Xianqi, Tang Haodi, Zhu Yushuang. Evaluation on sensitivity difference between Chang 4+5 and Chang 6 Reservoirs in Mahuangshan Area of Jiyuan Oilfield [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2022, 43(05):546-553.
- [3] Liu Shugen, Ma Yongsheng, Huang Wenming, Cai Xunyu, Zhang Changyun, Wang Guozhi, Xu Guosheng, Yong Ziquan, Pan Changlin. Densification process of Upper Sinian Dengying formation, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2007(04):485-496.
- [4] Wu YS, He SL, Da SP, Li YG and Dai YD. Diagenetic patterns and pore systems of the Lower Ordovician Majiagou Formation reservoirs of the central Changqing gas fields [J]. Acta petrology sinica, 2006, 22(08):2171-2181.
- [5] Li Yonggang. Estimate of sensitivity of reservoir in Qinjiatum Oil Field [J]. Journal of Jiling University (Earth Science Edition), 2004(S1):51-54.
- [6] Li Chuanliang, Zhu Suyang, Wang Fenglan, Du Qinglong, You Chunmei, Zhu Lihong, Shan Gaojun. Some topics about reservoirs sensitivity evaluation [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2017, 38(04):488-491.

- [7] QIU Yinan, XUE Shuhao. Evaluation technology of oil and gas reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 284-342.
- [8] Zhu Huayin, Jiang Desheng, An Laizhi, Zhang Liwen. An experimental analysis of sensitivity of the Jiulongshan conglomerate reservoirs in West Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(09):40-43+129-130.
- [9] National Energy Administration. Formation damage evaluation by flow test: SY/T 5358—2010 [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [10] Liu Dawei, Kang Yili, He Jian, Shu Zhuangzhi. Laboratory investigation of water sensitivity of carbonate reservoirs and discussion of its mechanism [J]. Natural Gas Industry, 2007(02):32-34+148-149.
- [11] Wang Weiyang, Tang Zhouhuai, Lu Yinghong, Du Yan, Zhao Lei. Influencing factors of water sensitivity in reservoir rock [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2001(02):49-50+3-2.
- [12] Dang Ben, Zhao Hong, Kang Xiaoyan, et al. Sensitivity microscopic mechanism study of superlow permeability reservoirs in depth of Yanchang formation in central of Shanbei slope Ordos basin NW China [J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2013, 44(3):1100-1107.
- [13] Liu Dawei, Kang Yili, Li Qiangui, Lei Ming, Shu Zhuangzhi. Experimental research on fluid sensitivity of carbonate reservoirs with high content of acid gas [J]. Oilfield Chemistry, 2007(03):193-+196+201.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS