

华庆地区长 7_1 储层特征研究

石 其, 苏东瑞, 王成驰

辽宁石油化工大学石油与天然气工程学院, 辽宁 抚顺

收稿日期: 2024年8月18日; 录用日期: 2024年10月26日; 发布日期: 2024年11月5日

摘 要

鄂尔多斯盆地华庆地区长 7_1 为非常规致密储层, 蕴含着丰富的页岩油资源, 但其储层特征目前还缺乏更深层次的研究, 制约了页岩油勘探以及开采。本文综合运用岩心直观观察、高分辨率扫描电子显微镜(SEM)分析、压汞法孔隙结构测试以及铸体薄片技术等多种实验方法对华庆地区长 7_1 储层的微观特征做了进一步探究。研究结果表明: 华庆地区长 7_1 储层主要由黑色页岩和砂岩构成, 同时含有少量暗色泥岩, 砂岩的种类包含岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩以及岩屑砂岩; 该储层的孔隙以残余粒间孔和溶蚀孔为主, 并且少量存在微裂缝和晶间孔, 平均面孔率为1.01%; 华庆地区长 7_1 储层属于特低孔-超低渗储层, 孔隙度在6%~10%范围内的频率较高, 平均值7.55%, 渗透率在 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围的频率较高, 平均值 $0.095 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据储层分类评价标准将 7_1 储层分为4类, I类和II类储层含油性好, 储量较高, 试油效果较好, 综合评价为优良储层。

关键词

华庆地区, 延长组, 长 7_1 , 储层特征, 综合评价

Research on the Characteristics of Chang 7_1 Reservoir in Huaqing Area

Qi Shi, Dongrui Su, Chengchi Wang

College of Oil and Gas Engineering, Liaoning Petrochemical University, Fushun Liaoning

Received: Aug. 18th, 2024; accepted: Oct. 26th, 2024; published: Nov. 5th, 2024

Abstract

The Chang 7_1 reservoir in the Huaqing area of the Ordos Basin is an unconventional tight reservoir that holds abundant shale oil resources. However, the lack of deeper research on its reservoir characteristics has hindered the exploration and production of shale oil. This paper comprehensively utilizes various experimental methods such as direct core observation, high-resolution scanning

electron microscopy (SEM) analysis, mercury intrusion porosimetry for pore structure testing, and cast thin section technology to conduct an in-depth study of the microscopic characteristics of the Chang 7₁ reservoir in the Huaqing area. The research results indicate that the primary rock types in the Chang 7₁ reservoir of the Huaqing area are black shale and sandstone, with a small amount of dark mudstone. The sandstone types include lithic feldspathic sandstone, feldspathic litharenite, and lithic sandstone. The pores are primarily residual interparticle pores and dissolution pores, with a few microfractures and intercrystalline pores developed, and the average face porosity is 1.01%. The Chang 7₁ reservoir in the Huaqing area belongs to the ultra-low porosity and ultra-low permeability category, with porosity frequently ranging from 6% to 10% (average of 7.55%) and permeability frequently ranging from $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ to $0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (average of $0.095 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$). Based on the reservoir classification and evaluation criteria, the Chang 7₁ reservoir is divided into four categories. Reservoirs of Category I and II exhibit good oil-bearing properties, high reserves, and satisfactory oil testing results, leading to an overall evaluation as excellent reservoirs.

Keywords

Huaqing Area, Yanchang Formation, Chang 7₁, Reservoir Characteristics, Comprehensive Evaluation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 区域地质概况

华庆地区面积约 3000 平方千米, 由甘肃省庆城县、华池县和正宁县的部分地区构成, 在鄂尔多斯盆地伊陕斜坡的西南部(图 1)。研究区长 7₁ 时期发生湖退水位下降, 沉积微相主要以砂质碎屑流和浊流的形式发育。砂体在平面上的分布呈现出片状特征, 纵向上叠加厚度大, 空间上展现为纵横交叉的沉积砂体。长 7₁ 顶面构造西低东高, 海拔分布在-450~-750 米[1]-[4]。

2. 储层岩石学特征

2.1. 岩石结构特征

对 50 口井 146 个样品的岩心和铸体薄片进行分析, 根据砂岩分类标准[5] [6], 华庆地区长 7₁ 储层砂岩主要由岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩以及岩屑砂岩构成, 其中, 岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩的所占比例较高, 而岩屑砂岩的比例非常低(图 2)。按照砂岩颗粒直径的分类准则[7]-[9], 研究区域主要由细砂岩构成, 夹杂有部分中细砂岩以及少量的中粗砂岩。大多数砂岩的分选性处于中等水平, 具有良好分选性和较差分选性的砂岩所占比例也相对较高, 其磨圆度大多数是次棱角状, 而主要的胶结类型属于孔隙式胶结。

2.2. 成分特征

长 7₁ 储层岩性以黑色页岩和砂岩为主, 含有少量暗色泥岩。砂岩中长石和石英的平均含量分别为 31.5% 和 30.71%, 岩屑的平均含量为 5.9%。长 7₁ 储层的岩屑主要包括变质岩岩屑(6.04%)、沉积岩岩屑(4.91%) 和火成岩岩屑(2.33%)。此外, 储层填隙物有碳酸盐类、硅质和黏土类, 其平均含量是 17.84%。黏土类矿物主要为水云母, 含量为 9.27%, 绿泥石和凝灰质含量分别为 0.51% 和 0.16%; 碳酸盐类主要为铁白云石

(比例为 2.96%), 并含有部分铁方解石(比例为 1.46%)和少量方解石(比例为 0.49%); 硅质胶结物占比为 1.22% (图 3)。

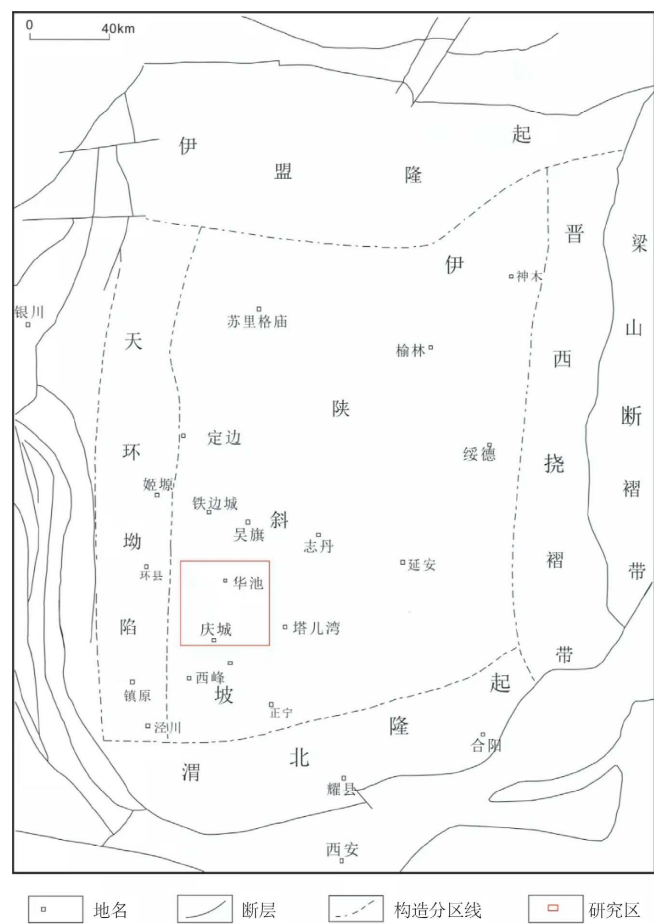


Figure 1. Structural location map of Huaqing Area
图 1. 华庆地区构造位置图

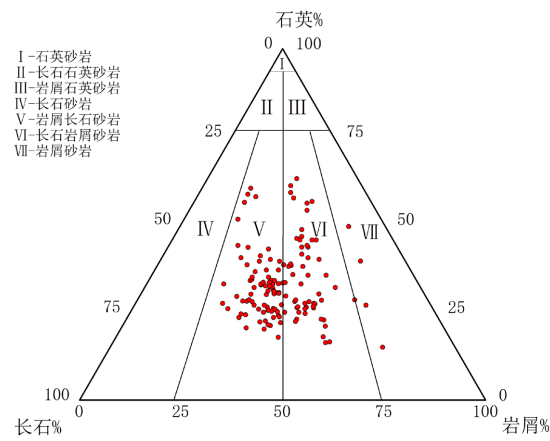


Figure 2. Classification map of sandstone in Chang 7₁ reservoir in Huaqing Area
图 2. 华庆地区长 7₁ 储层砂岩分类图

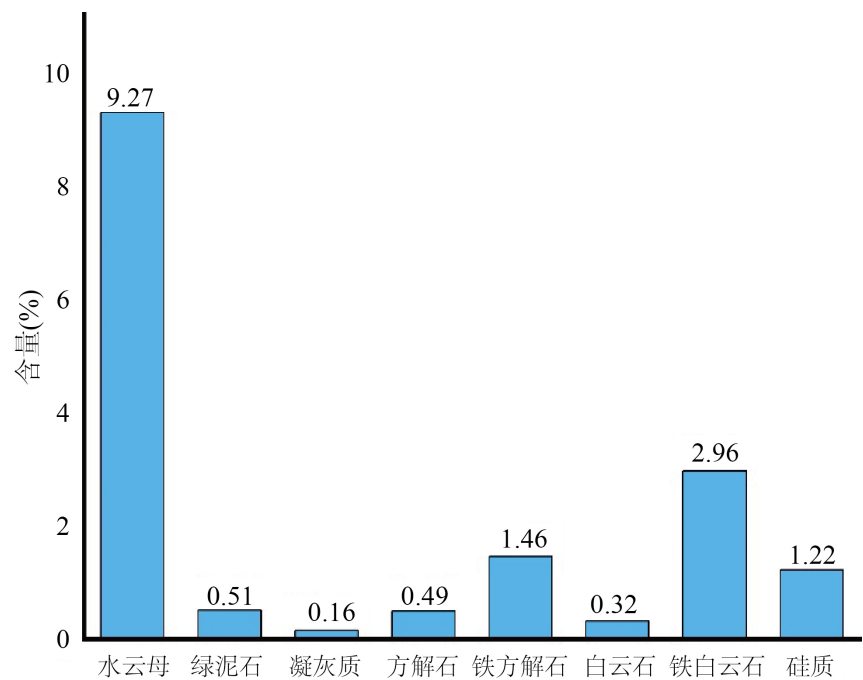


Figure 3. Histogram of interstitial content in Chang 7₁ reservoir in Huaqing Area
图 3. 华庆地区长 7₁ 储层填隙物含量柱状图

3. 储层孔隙特征

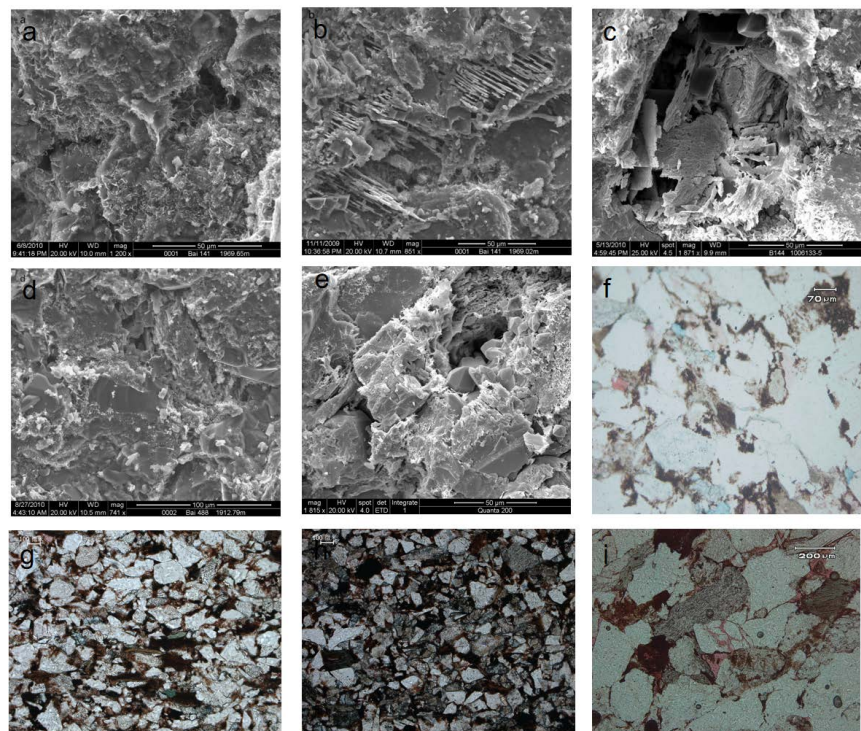
3.1. 孔隙类型

通过对华庆地区长 7₁ 储层的扫描电镜和铸体薄片等资料的分析[10]-[13], 发现该研究区域内存在多种孔隙类型, 改为包括残余粒间孔(图 4(a), 图 4(i))和粒间溶孔(图 4(d))和沿节理方向发生溶蚀形成的长石溶孔(图 4(b)), 还有岩屑被溶蚀形成的岩屑溶孔(图 4(f), 图 4(c))以及石英次生加大胶结物形成的晶间孔(图 4(e))和微孔(图 4(h)), 研究区还存在云母蚀变变形, 粘土杂基充填孔隙的现象(图 4(g))。

对砂岩样品进行测验数据的统计分析结果显示, 孔隙主要由溶蚀孔和残余粒间孔构成, 在所有类型的溶蚀孔中, 长石溶孔的比例最高, 达到 0.38%; 紧随其后的是岩屑溶孔, 其含量是 0.07%, 还有极少量的粒间溶孔(含量 0.037%)和碳酸盐溶孔(含量 0.002%)。并发育少量晶间孔(含量 0.009%)和微裂缝(含量 0.002%) (图 5)。平均面孔率为 1.01%, 孔隙分级主要为小孔隙。

3.2. 孔隙结构类型

通过对微观孔喉结构特征参数和毛管压力测试曲线等资料进行分析, 华庆地区长 7₁ 储层孔隙结构有 4 种类型[14] [15]。I 类孔隙结构发育大孔, 孔喉半径大, 分选性较好, 压汞曲线为两段式结构, 孔隙结构连通性较强, 物性较好; II 类孔隙结构主要包含中孔和大孔, 分选性相对较差, 压汞曲线显示出典型的三段式特征, 表明其渗透能力处于中等水平。相比之下, III类孔隙结构的压汞曲线同样表现出三段式特征, 然而, 其孔喉半径相对较小, 从而使孔隙结构的连通性降低, 分选性较差。虽然IV类孔隙结构中也存在微孔的发育, 但其压汞曲线并未呈现出平台型结构, 进一步说明了其孔隙结构的连通性不佳(图 6)。华庆地区长 7₁ 储层主要发育II类孔隙结构, 比例为 52.38%, 孔喉半径主要为 0.09~0.28 μm; III类孔隙结构的比例为 30.76%, 孔喉半径主要在 0.03~0.18 μm 范围内。



(a) 残余粒间孔, 白 141 井, 1969.65 m; (b) 长石沿解理方向发生溶蚀, 白 141 井, 1969.02 m; (c) 碎屑溶蚀形成次生孔, 白 144 井, 2143.88 m; (d) 粒间溶孔形态, 白 488 井, 1912.79 m; (e) 晶间孔, 里 337 井, 2294.71 m; (f) 岩屑溶孔, 白 498 井, 2095.76 m; (g) 孔隙被充填, 白 141 井, 1969.02 m; (h) 微孔发育, 白 141 井, 1970.81 m; (i) 发育成岩缝及粒间孔, 白 241 井, 2217.81 m。

Figure 4. Microscopic pore characteristic map of Chang 7₁ reservoir in Huaqing Area
图 4. 华庆地区长 7₁ 储层微观孔隙特征图

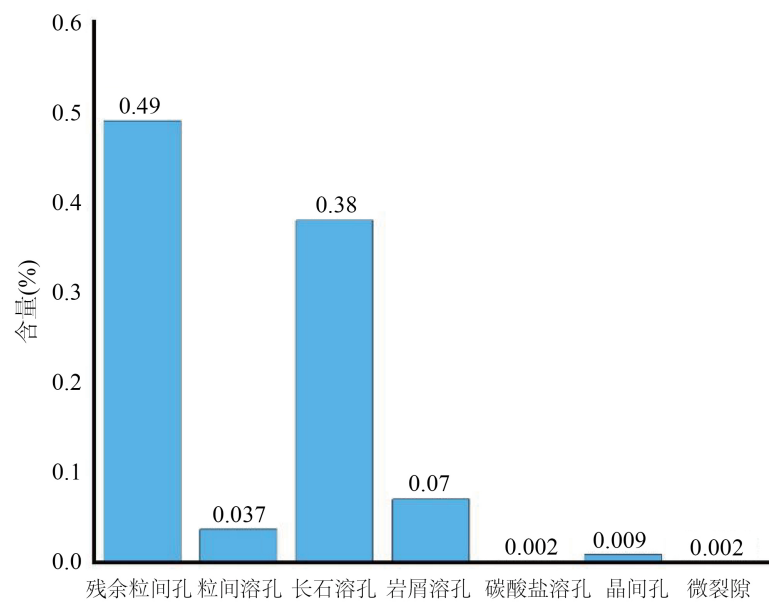
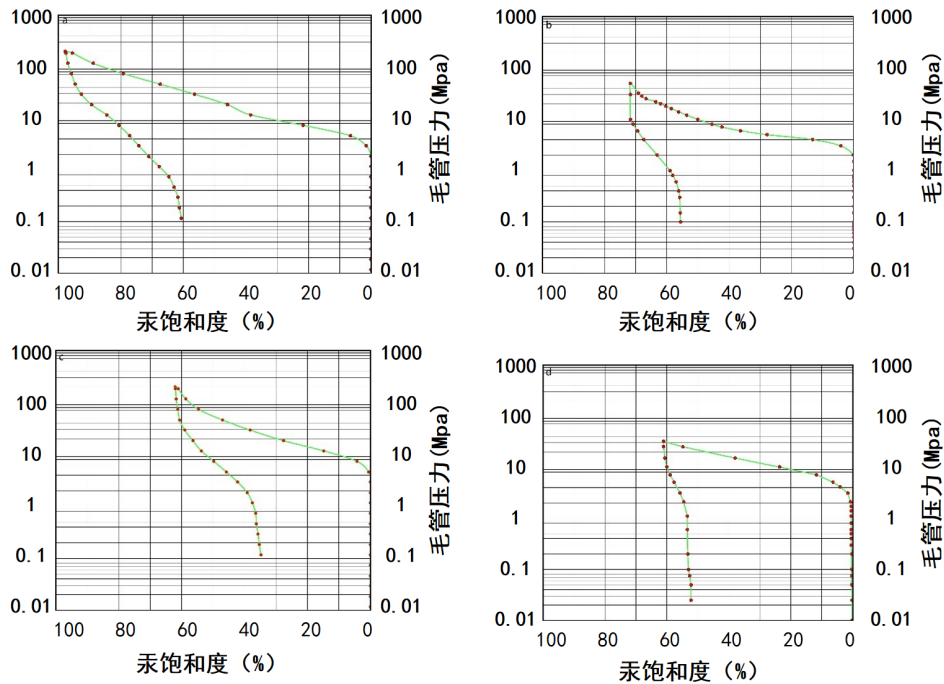


Figure 5. Histogram of pore types in Chang 7₁ reservoir in Huaqing Area
图 5. 华庆地区长 7₁ 储层孔隙类型柱状图



a—I类孔隙结构；b—II类孔隙结构；c—III类孔隙结构；d—IV类孔隙结构。

Figure 6. Mercury injection curve characteristic map of Chang 7₁ reservoir in Huaqing Area
图 6. 华庆地区长 7₁ 储层压汞曲线特征图

3.3. 裂缝发育特征

通过岩心测验资料统计分析得知华庆地区长 7₁ 储层天然裂缝类型包括垂直缝、高角度缝、斜交高角度缝和低角度裂缝，主要发育垂直缝。不同类型的裂缝比例为：垂直缝比例为 75%，高角度缝占 13.89%，斜交高角度缝为 8.33%，低角度缝为 2.78% (见图 7)。同时通过岩心观察可以看出，部分裂缝面为方解石充填。

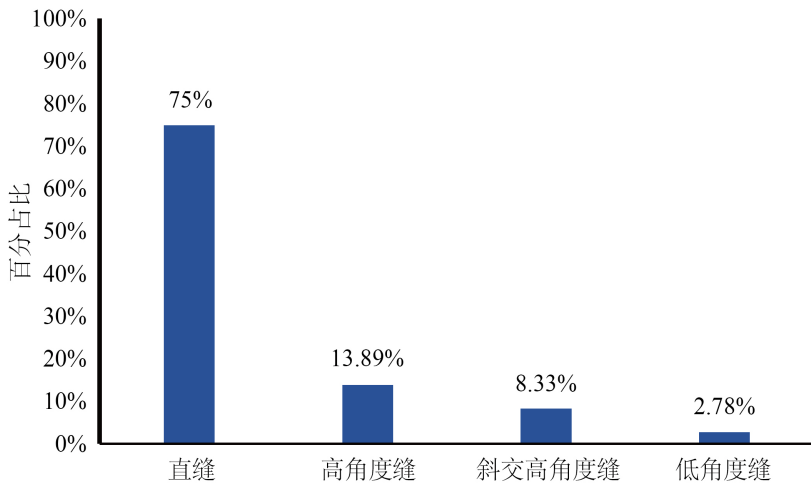


Figure 7. Map of fracture types in Chang 7₁ in Huaqing Area
图 7. 华庆地区长 7₁ 裂缝类型图

4. 储层物性特征

4.1. 孔隙度和渗透率特征

对华庆地区长 7₁ 储层砂岩样品分析, 结果表明: 华庆地区长 7₁ 储层的孔隙度分布范围为 2%~11%, 平均值为 7.55%, 大于 5% 的样品比例为 88.46%, 属于特低孔储层; 储层渗透率的分布范围为 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均渗透率为 $0.095 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 其中, 渗透率大于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品所占比例达到 48.42%, 因此可将其归类为特低孔 - 超低渗储层。因此华庆地区长 7₁ 储层综合评价为物性较差, 表现特征为特低孔隙度和超低渗透率。

4.2. 孔隙度和渗透率关系

对华庆地区长 7₁ 储层物性进一步分析, 从储层孔隙度与渗透率关系图可以看出孔隙度和渗透率为线性关系, 渗透率值随孔隙度值的增大而增大, 斜率截距分别为 0.02423 和 -0.12127 (图 8), 孔隙度在 6%~10% 范围内的频数较高, 渗透率在 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围的频率较高, 表现出较强的非均质性。分析得出华庆地区长 7₁ 储层的孔隙较小, 吼道较细。图中的少量异常高值点可能是局部发育的微裂缝和微孔隙导致。

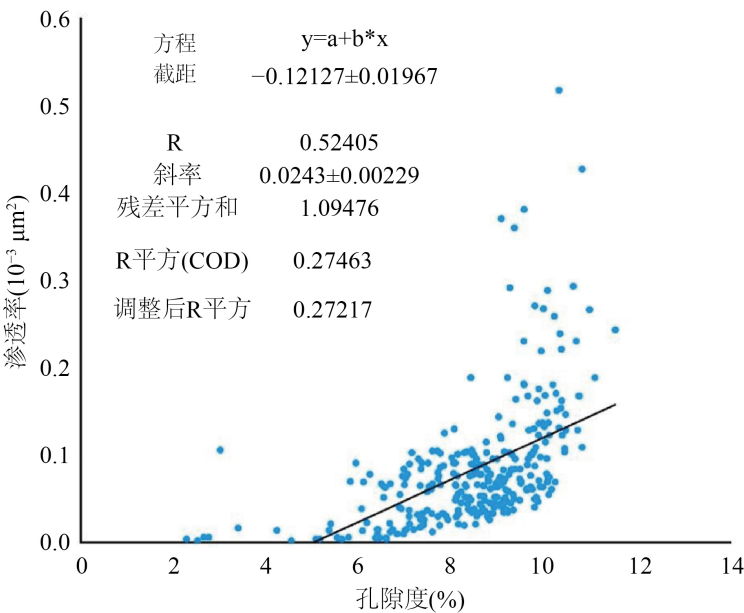


Figure 8. Relationship map of porosity and permeability in Chang 7₁ reservoir in Huaqing Area

图 8. 华庆地区长 7₁ 储层孔渗关系图

5. 储层分类与评价

5.1. 储层评价标准

通过调查查阅文献[16]-[18]并结合钻井、试井、测井和录井等资料, 以沉积微相、孔隙结构类型、物性特征、孔隙组合类型和含油饱和度为分类参数, 将华庆地区长 7₁ 储层划分为 4 类储层, 其中 I 类储层和 II 类储层含油性较好, 为优良储层, III 类和 IV 类为一般储层和较差储层(表 1)。

Table 1. Comprehensive classification and evaluation table of Chang 7₁ reservoir in Huaqing Area
表 1. 华庆地区长 7₁ 储层综合分类评价表

分类评价参数		储层分类评价			
沉积微相		砂质碎屑流		浊流	
孔隙结构类型		I、II	II	III	IV
物性特征	孔隙度(%)	>9	8~9	6~8	<6
	渗透率(μm^2)	>0.13	0.13~0.10	0.10~0.07	<0.07
	孔隙组合类型	中孔 - 大孔	小孔 - 中孔	微孔 - 小孔	微孔
	含油饱和度(%)	>50	50~45	45~40	<40
	储层分类	I	II	III	IV
储层评价		优质储层	良好储层	一般储层	较差储层

5.2. 储层综合评价

从上述研究分析可知华庆地区长 7₁ 储层整体较差, I类和II类储层的含油性好, 储量较高, 试油能获得具有一定经济效益的工业油流, 但是发育面积较小; III类储层含油性相对较差, 试油产量基本小于 5 t; IV类储层含油性差, 储量低, 试油时不具备工业油流。华庆地区砂质碎屑流砂体较厚, 通常在 5~15 m, 浊流沉积砂体厚度小, 分布不稳定。砂质碎屑流砂带较窄, 砂层变化快, 砂体油层具有高度的叠合特性, 纵向上存在大量隔层和夹层, 导致 I 类和 II 类储层的形成面积有所减少。

6. 结论

- 1) 华庆地区长 7₁ 储层的主要岩石类型包括黑色页岩和砂岩, 含有少量暗色泥岩, 砂岩中长石的平均含量是 31.5%, 石英的平均含量是 30.71%, 岩屑平均含量是 5.9%; 储层填隙物有碳酸盐类、硅质和黏土类, 胶结类型以孔隙式胶结为主; 分选性主要为中等, 磨圆度为次棱角 - 次圆状。
- 2) 华庆地区长 7₁ 储层孔隙主要发育残余粒间孔(0.49%)和溶蚀孔(0.489%), 极少数发育晶间孔(0.009%)和微裂缝(0.002%)。
- 3) 在华庆地区, 长 7₁ 储层的孔隙度与渗透率之间存在明显的线性关系, 且喉道相对较细。孔隙度范围介于 2%至 11%之间, 其平均值为 7.55%; 而渗透率范围则在 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 至 $0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的范围内, 平均渗透率为 $0.095 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为特低孔 - 超低渗储层。
- 4) 华庆地区长 7₁ 储层可分为 4 大类, I类和II类储层含油性好, 储量较高, 试油效果较好, 综合评价为优良储层; III类储层发育面积较大, 但是含油性相对较差, 非均质性较强, 试油效果较差; IV类储层试油效果为不具备工业油流, 为较差储层。

参考文献

[1] 杨华, 李士祥, 刘显阳. 鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J]. 石油学报, 2013, 34(1): 1-11.
[2] 赵英龙, 赵梅芳, 牛永丰, 杨培青, 杨建莉. 鄂尔多斯盆地富县西区长 8 储层特征及其控油作用[J]. 非常规油气, 2024, 11(1): 36-44.
[3] 蒋天昊, 宋方新, 朱陇新, 陈军, 彭建, 刘瑞东. 鄂尔多斯盆地华池地区长 62 储层特征研究与评价[J]. 石油化工应用, 2023, 42(12): 70-75.
[4] 张慧芳, 魏钦廉, 陈曦, 毕岭, 魏雪珂. 鄂尔多斯盆地悦乐地区长 6 段储层特征及主控因素分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2024, 51(4): 531-542+560.
[5] 魏泽昞, 李向东. 沉积地质学研究领域及其发展趋势[J]. 化工矿物与加工, 2024, 53(8): 83-90.

- [6] 孙建博, 石彬, 郭超, 高潮, 白奋飞, 刘刚, 尹锦涛, 徐杰. 鄂尔多斯盆地富县地区三叠系延长组长 73 亚段页岩油储层特征与勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(4): 79-91.
- [7] 王晨, 张惠, 姚志刚. 鄂尔多斯盆地富县地区延长组长 6、长 7 储层特征及有利区预测[J]. 矿产勘查, 2023, 14(2): 163-173.
- [8] 李士祥, 郭芪恒, 周新平, 刘元博, 刘江艳. 鄂尔多斯盆地延长组 7 段 3 亚段页岩型页岩油储层特征及勘探方向[J]. 石油学报, 2022, 43(11): 1509-1519.
- [9] 李庆, 卢浩, 吴胜和, 夏东领, 李江山, 齐奉强, 付育璞, 伍岳. 鄂尔多斯盆地南部三叠系长 73 亚段凝灰岩沉积成因及储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(5): 1141-1154.
- [10] 马治国. 鄂尔多斯盆地胡尖山地区长 72 储层特征研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2021, 23(4): 24-29.
- [11] 雷冠宇, 文志刚. 鄂尔多斯盆地华庆地区长 63 储层特征评价与研究[J]. 石油化工应用, 2021, 40(2): 96-99.
- [12] 白蕾, 吴春燕, 杜炜, 耿代, 李渭. 致密砂岩储层特征及控制因素——以鄂尔多斯盆地陕北地区长 7 和长 10 储层为例[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2021, 51(1): 95-108.
- [13] 邵晓州, 付勋勋, 王亚玲, 陈文龙. 华庆地区东部长 63 储层特征及成岩作用研究[J]. 天然气技术与经济, 2017, 11(6): 4-8+81.
- [14] 徐黎明, 牛小兵, 梁晓伟, 陈亚娟, 马继业. 华庆地区长 6 致密油储层微观孔喉结构特征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 36-46.
- [15] 吴伟涛, 邓静, 赵靖舟, 孙勃, 郭汉卿, 邓秀芹, 耳闯, 白玉彬. 鄂尔多斯盆地华庆地区长 7 油层组致密油成藏条件与成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(6): 874-881.
- [16] 陈冲, 朱悦, 巩彬鹏, 袁鹏. 华庆地区长 6 储层孔隙结构研究[J]. 石油地质与工程, 2012, 26(6): 49-51+146.
- [17] 李长政, 孙卫, 任大忠, 周树勋, 王秀娟. 华庆地区长 81 储层微观孔隙结构特征研究[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(4): 19-23.
- [18] 王艺帆, 谭成仟. 鄂尔多斯盆地盐池地区长 6₃ 储层特征研究[J]. 河北地质大学学报, 2022, 45(1): 31-37.