

鄂尔多斯盆地苏75区块山1段和盒8段储层差异成因研究

乔泽旭*, 李忠秋

重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年2月24日; 录用日期: 2025年3月20日; 发布日期: 2025年5月12日

摘要

为了进一步明确鄂尔多斯盆地苏75区块山1段和盒8段储层差异成因机理, 以便指导该区域的下步稳产挖潜。通过对苏75区块山1段和盒8段储层的岩性、物性、沉积环境及成岩作用等因素的综合分析, 结果发现: 盒8段和山1段储层的岩石类型相似, 均以长石石英砂岩和岩屑石英砂岩为主。但盒8段测试孔隙度主要分布在7%~10%的区域, 山1段孔隙度主要分布在4%~10%。储层的储集空间以各类溶蚀孔隙为主, 山1段各类溶蚀孔隙与盒8段存在明显的区别, 碳酸盐岩溶孔在山1段为53.06%, 在盒8段为33.13%; 山1段的岩屑溶孔仅为0.08%远少于盒8段的17.77%。储层差异成岩作用密切相关, 压实作用导致盒8段原生孔隙丧失率为9.5%~19.3%, 导致山1段孔隙度损失率50%~63%, 机械压实和粒间溶蚀作用对盒8段储层原生孔隙造成的损失率为50%~76%。胶结作用造成盒8段原生孔隙丧失率为9%~30%, 造成山1段原生孔隙损失率为17%~32%。经研究认为, 造成两段储层各方面差异的原因主要是两段沉积环境不同以及成岩作用产生的强度的不同。

关键词

鄂尔多斯盆地, 苏75区块, 盒8段, 山1段, 储层差异

Study on the Causes of Reservoir Differences in the Shan 1 Section and He 8 Section of the Su 75 Block in the Ordos Basin

Zexu Qiao*, Zhongqiu Li

College of Petroleum and Natural Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Feb. 24th, 2025; accepted: Mar. 20th, 2025; published: May 12th, 2025

*第一作者。

文章引用: 乔泽旭, 李忠秋. 鄂尔多斯盆地苏 75 区块山 1 段和盒 8 段储层差异成因研究[J]. 矿山工程, 2025, 13(3): 452-464. DOI: 10.12677/me.2025.133050

Abstract

In order to further clarify the causes of the differences in the reservoirs of the Shan 1 and He 8 sections in the Su 75 block of the Ordos Basin, and to guide the next step of stable production and potential tapping in this area, a comprehensive analysis was conducted on the lithology, physical properties, sedimentary environment and diagenesis of the reservoirs in the Shan 1 and He 8 sections of the Su 75 block. The results show that the rock types of the He 8 and Shan 1 section reservoirs are similar, mainly consisting of feldspar quartz sandstone and lithic quartz sandstone. However, the porosity of the He 8 section is mainly distributed in the range of 7%~10%, while that of the Shan 1 section is mainly distributed in the range of 4%~10%. The reservoir storage space is mainly composed of various types of dissolution pores. There are obvious differences in various types of dissolution pores between the Shan 1 and He 8 sections. The carbonate dissolution pores in the Shan 1 section account for 53.06%, while in the He 8 section they account for 33.13%. The lithic dissolution pores in the Shan 1 section are only 0.08%, far less than 17.77% in the He 8 section. The diagenesis is closely related to the reservoir differences. Compaction causes a loss rate of primary porosity of 9.5%~19.3% in the He 8 section and 50%~63% in the Shan 1 section. Mechanical compaction and intergranular dissolution cause a loss rate of 50~76% of the primary porosity in the He 8 section. Cementation causes a loss rate of primary porosity of 9%~30% in the He 8 section and 17%~32% in the Shan 1 section. It is believed that the main reasons for the differences in various aspects of the two sections' reservoirs are the different sedimentary environments and the different intensities of diagenesis.

Keywords

Ordos Basin, Su 75 Block, He 8 Section, Shan 1 Section, Reservoir Differences

Copyright © 2025 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. 引言

随着油气资源勘探开发的不断深入,越来越多的致密油气等非常规油气资源被发现[1],致密砂岩储层复杂的孔隙结构使得盒8段和山1段具有低孔、低渗和强非均质性等特点。因此,需要系统研究致密砂岩储层孔隙结构的特征[2],为后续寻找潜力区域和稳产挖潜措施实施提供地质依据。苏75区块盒8段和山1段为典型的致密砂岩储层且为该区天然气主力产层,具有低孔隙度、低渗透率的特征[3][4]。对两段储层差异的详细研究对进一步勘探与开发具有重要的意义。然而多数学者将两个段的储层特征单独进行研究[5],没有对比两个段的差异成因机理,而实际开发过程中两段的岩性特征、储集空间特征以及物性具有巨大差异。本文在前人研究基础上,通过分析两段储层的物质组成、成岩作用强度、沉积环境,对比分析了它们的差异及其产生这些差异的机理。系统认识两段的特征、对比优势段,对勘探区带优选具有重要的理论意义和实际意义,为下一步开发提供参考。

2. 区域地质背景

苏75区块位于苏里格气田西区北部,区块南北长约65 km,东西约宽19.6 km,区块面积989 km²,南接苏46、苏11区块[6][7]。区域地层资料分析表明,二叠系在鄂尔多斯盆地北部部分地层缺失,二叠

系下统太原组在鄂尔多斯盆地普遍发育。鄂尔多斯盆地北缘狼山、色尔腾山, 地区缺失二叠系上、中统及下统山西组[8]。苏里格气田二叠系地层发育较全, 自下而上发育着石炭系、二叠系太原组、山西组、石盒子组和石千峰组[9] (图 1)。

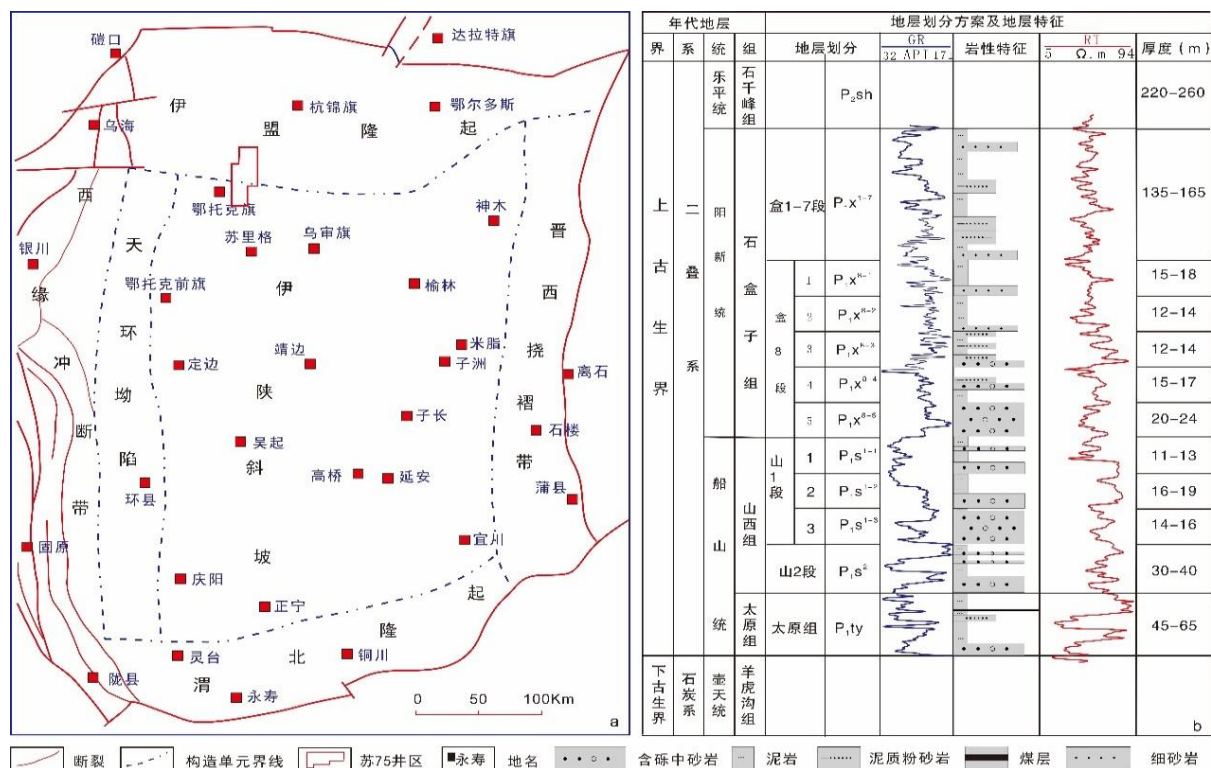


Figure 1. Tectonic outline of the study area and a map of Permian stratigraphic characteristics

图 1. 研究区构造纲要与二叠系地层特征图

3. 储层基本差异

3.1. 岩性差异

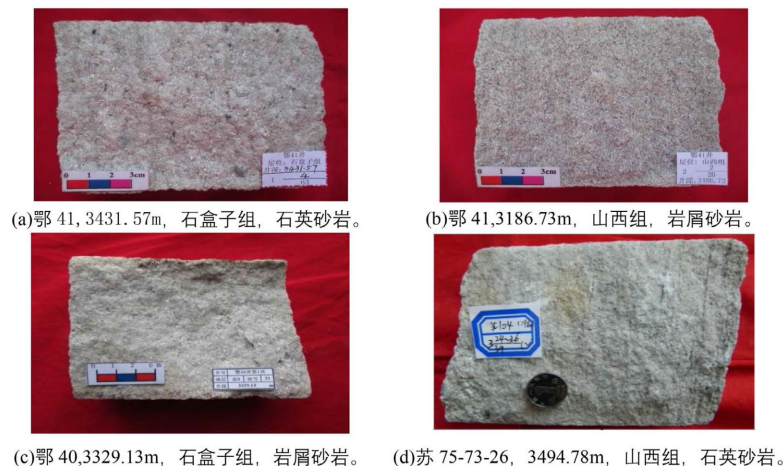


Figure 2. Core characteristics of Shan 1 and He 8 sections of Su75 block in Ordos Basin

图 2. 鄂尔多斯盆地苏 75 区块山 1 段和盒 8 段岩芯特征

砂岩的物质成分及其在成岩演化过程中经历的物理、化学变化, 将影响成岩产物的类型及其分布特征, 是导致成岩作用差异的主要因素。对研究区盒 8 段和山 1 段两段的砂岩铸体薄片的观察统计表明(图 2), 研究区块二叠系盒 8 段和山 1 段储层的岩石类型均以长石石英砂岩、岩屑石英砂岩为主, 其次为长石岩屑砂岩。

从苏 75 区块部分岩样镜下观测结果统计可知, 两段石英含量相似, 盒 8 段的石英含量 75%~87%, 均值为 82.27%, 山 1 段的石英含量稍低为 75%~82%, 均值为 79.67%; 盒 8 段长石的含量较低, 岩屑的含量 3.0%~12.0%, 均值为 6.2%; 山 1 段长石含量也较低, 而且岩屑的含量少于盒 8 段。盒 8 段方解石的含量比山 1 段少约为 3%~12%, 平均值为 6.2%; 山 1 段方解石含量 6%~12%, 平均值为 8.17%。从砂岩碎屑成分三角图可以看出山 1 段和盒 8 段砂岩在成分上主要以长石质石英砂岩为主(图 3)。岩石颗粒间的填隙物主要为岩屑和方解石。方镜下可见云母及云母绢云母化现象, 多数薄片可见高岭石的绿泥石化。

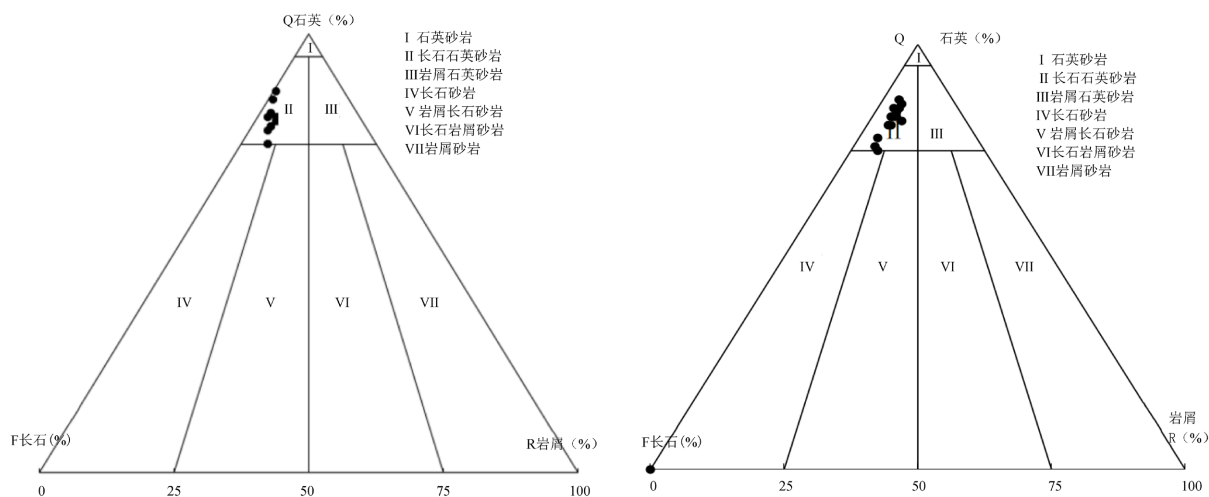


Figure 3. Triangulation of sandstone clastic composition in Shan 1 and He 8 sections

图 3. 山 1 段和盒 8 段砂岩碎屑成分三角图

3.2. 物性差异

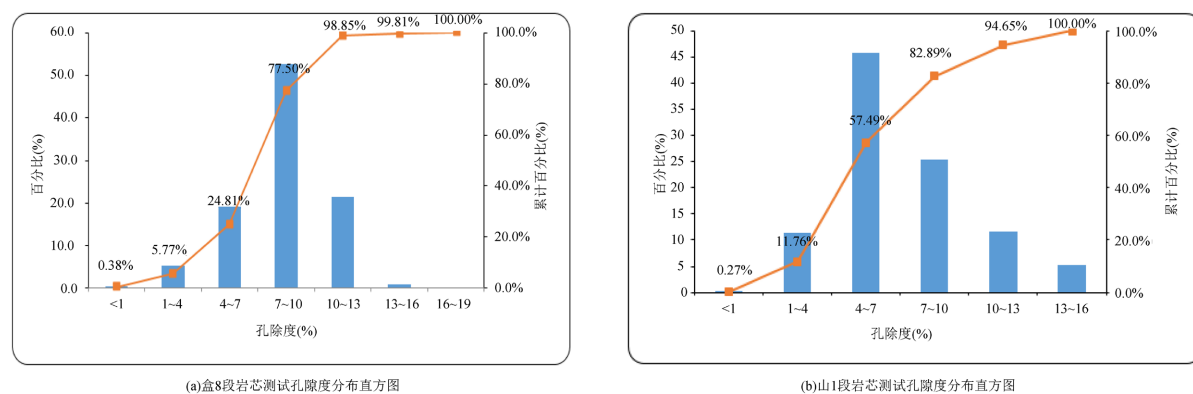


Figure 4. Histogram of pore distribution of Shan 1 and He 8 sections of Su 75 block in Ordos Basin

图 4. 鄂尔多斯盆地苏 75 区块山 1 段和盒 8 段孔隙分布直方图

从孔隙度分布的直方图中可以看出, 盒 8 段测试孔隙度主要分布在 7%~10% 的区域, 其累计百分比超过了 70%。山 1 段孔隙度主要分布在 4%~7%, 其累计百分比为 57.49%。可见盒 8 段孔隙较山 1 段发

育好(图 4)。山 1 段样品测试的渗透率主要分布在小于 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的区域内, 其占比为 87.17%。其中小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占比为 44.12%, 介于 $0.1 \sim 1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占比为 43.05%, 盒 8 段样品测试的渗透率为 $0.00638 \sim 8.2627 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 均值为 $0.4110 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。渗透率主要分布在 $0.1 \sim 1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的范围内, 部分样品的渗透率值大于 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 5)。山 1 段除个别样品点外, 测试段样品的孔隙度与其岩石密度值之间的相关系数 R 为 0.9243, 盒 8 段测试点的孔隙度与密度测井之间的相关系数 R 为 0.9707 (见图 6)。山 1 段盒 8 段物性汇总见(表 1、表 2)。

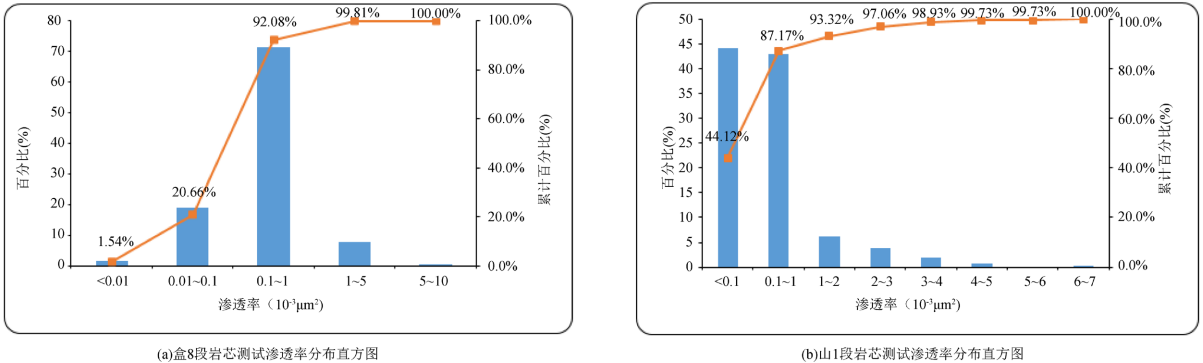


Figure 5. Histogram of permeability distribution of Shan 1 and He 8 sections of Su 75 block in Ordos Basin
图 5. 鄂尔多斯盆地苏 75 区块山 1 段和盒 8 段渗透率分布直方图

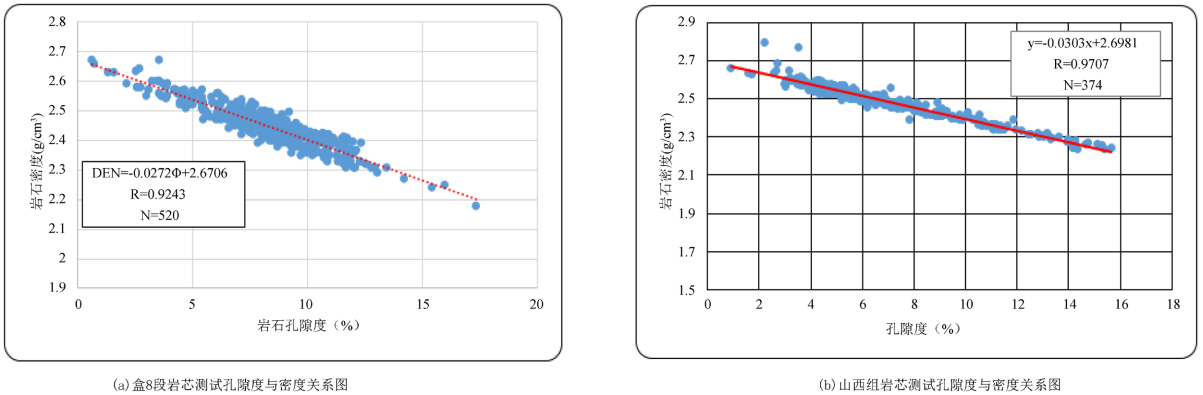


Figure 6. Relation between porosity and density of Shan 1 and He 8 sections of Su 75 block, Ordos Basin
图 6. 鄂尔多斯盆地苏 75 区块山 1 段和盒 8 段孔隙度与密度关系图

Table 1. Statistical table of physical property test results of He 8 sections
表 1. 盒 8 段物性测试结果统计表

类别	最小值	最大值	平均值
孔隙度/%	1.59	17.35	8.35
渗透率/($10^{-3}/\mu\text{m}^2$)	0.007991	53.7443	0.9818

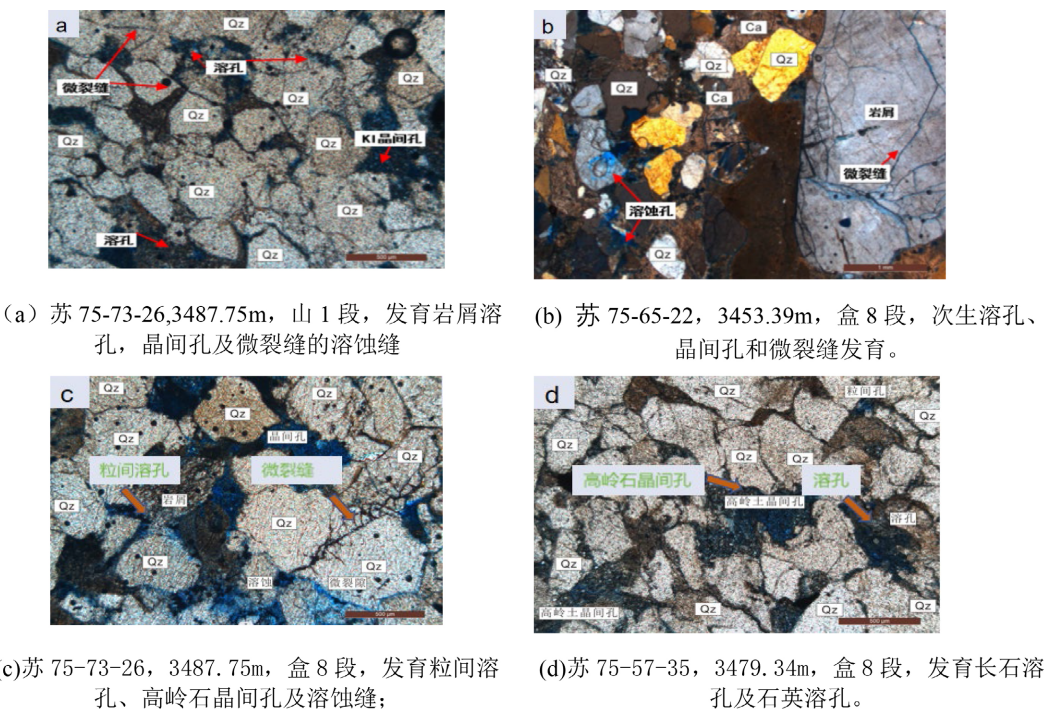
Table 2. Statistical table of physical property test results in Shan 1 section
表 2. 山 1 段物性测试结果统计表

类别	最小值	最大值	平均值
孔隙度/%	0.91	15.63	7.03
渗透率/($10^{-3}/\mu\text{m}^2$)	0.004	29.7908	0.8182

3.3. 储集空间特征差异

根据盒 8 段和山 1 段砂岩储层的储集空间特征及其成因, 两段的储集空间有原生粒间孔、石英粒间溶孔、各种岩屑与杂基及胶结物的溶孔、微裂缝等储集空间(图 7)。

山 1 段和盒 8 段原生孔隙的面积占比相差较小都在 9%左右; 山 1 段和盒 8 段次生孔隙所占比例相似均在 90%左右, 说明两段受成岩作用影响较大。其中山 1 段溶蚀孔隙与盒 8 段存在明显的区别, 碳酸盐岩溶孔在山 1 段为 53.06%, 在盒 8 段为 33.13%; 石英溶孔在山 1 段所占比例为 13.85%, 在盒 8 段所占比例为 17.77%; 晶间溶孔在山 1 段为 23.56%, 在盒 8 段为 21.82%。研究区块盒 8 段和山 1 段的裂缝是以微裂缝为主, 而且从表 1 中可以看出, 山 1 段的岩屑溶孔仅为 0.08%远少于盒 8 段, 盒 8 段为 17.77%; 山 1 段的微裂隙所占比例为 0.03%, 盒 8 段的微裂隙所占比例为 0.26% (表 3)。



(a) 苏 75-73-26,3487.75m, 山 1 段, 发育岩屑溶孔, 晶间孔及微裂缝的溶蚀缝
(b) 苏 75-65-22, 3453.39m, 盒 8 段, 次生溶孔、晶间孔和微裂缝发育。
(c) 苏 75-73-26, 3487.75m, 盒 8 段, 发育粒间溶孔、高岭石晶间孔及溶蚀缝;
(d) 苏 75-57-35, 3479.34m, 盒 8 段, 发育长石溶孔及石英溶孔。

Figure 7. Reservoir space characteristics of Shan 1 and He 8 sections
图 7. 盒 8 段和山 1 段储层储集空间特征

Table 3. Statistical table of pore development of Permian reservoirs in the study area
表 3. 研究区二叠系储层孔隙发育情况统计表

层位	孔隙类型	原生		次生					总面孔率 (%)
		粒间孔	石英粒间溶孔	岩屑溶孔	碳酸盐溶孔	晶间孔	微裂隙	总次生孔隙	
盒 8	面积(%)	0.434	0.833	0.833	1.553	1.023	0.012	4.254	4.688
	相对比例	9.26%	17.77%	17.77%	33.13%	21.82%	0.26%	90.74%	100.00%
山 1	面积(%)	0.355	0.522	0.003	2.000	0.888	0.001	3.414	3.769
	相对比例	9.42%	13.85%	0.08%	53.06%	23.56%	0.03%	90.58%	100.00%

于水下分流河道和辫状河道微相, 而盒 8 段储层发育于心滩和河床滞留沉积微相中(图 8)。多层式最多; 而盒 8 段是辫状河沉积环境, 砂体叠置以条状, 片状为主(图 9)。山 1 段河道岩性以砂砾岩和中粗砂岩为主, 分流河道底部滞留砂砾岩孔隙度较高(为 8.0%) [10], 盒 8 段心滩岩性以细一中砂岩为主, 孔隙度较小[11]。

辫状河三角洲平原亚相中, 储层发育主要受控于辫状河道微相, 其岩相稳定、砂体连续性强且分选磨圆良好, 而越岸沉积因洪水期细粒物质(泥岩、泥质粉砂岩)堆积导致物性差且孔隙欠发育。相比之下, 辫状河三角洲前缘亚相储层物性更优, 其水下分流河道与河口坝微相发育于强水动力环境, 砂岩粒度粗、分选磨圆显著改善, 孔隙度与渗透率普遍高于平原亚相, 但该亚相区域发育规模有限(表 4)。

Table 4. Sedimentary facies and physical characteristics of Shan 1 and He 8 sections in Su 75 block

表 4. 苏 75 区块山 1 段和盒 8 段沉积相与物性关系特征

沉积相	沉积亚相	沉积微相	岩性	孔隙度 (%)	渗透率 $/(10^{-3} \mu\text{m}^2)$
辫状河三角洲	辫状河三角洲平原	辫状河道	细砂岩为主, 可见中、粗砂岩, 有少量泥岩存在	4~10	0.01~0.5
		越岸沉积	泥岩为主, 可见少量碳质泥岩与泥质粉砂岩		
		废弃河道充填沉积	泥岩为主, 可见少量细、中砂岩	2~7	<0.1
	辫状河三角洲前缘	水下分流河道间	细砂岩为主, 可见少量泥岩	<1	0.1~0.2
		河口坝	粗砂岩为主, 可见少量泥岩	4~8	<0.1
		远砂坝	主要为粗砂岩, 可见中砂岩, 细砂岩, 少量泥岩	8~10	<0.1

4.2. 成岩作用对储层差异的影响

苏 75 区块二叠系山 1 段和盒 8 段储层主要经历了压实、胶结和溶蚀等成岩作用, 但这两个段的成岩作用对储层发育的控制程度有一定的差异。溶蚀作用对储层发育起着建设性的作用, 压实作用对储层发育起破坏性的作用, 早期的胶结作用对储层的发育起着破坏性的作用, 中埋藏阶段的胶结作用可以阻止储层进一步被压实, 在一定程度上对储层发育起着建设性的作用[12]。

不同成岩作用对储层孔隙演化的影响机制可归纳如下:

(1) 压实作用

随埋深增加, 上覆压力导致颗粒重排、塑性变形(如泥岩屑压扁), 原生孔隙度显著降低(可损失 40%~60%), 尤其对细粒、塑性颗粒(如火山岩屑)发育的储层影响更甚。

(2) 胶结作用

石英次生增生堵塞孔隙, 但局部可形成抗压实骨架, 保护残余原生孔隙(如深埋砂岩中孔隙度 > 10% 的优质储层); 高岭石、伊利石等桥接式胶结降低孔隙连通性, 而绿泥石包膜可抑制石英增生, 保护孔隙。

(3) 溶蚀作用

机质成熟($R_o > 0.5\%$)释放羧酸, 溶解长石、碳酸盐胶结物, 形成次生溶孔(孔隙度提升 5%~15%), 高峰期在晚成岩 A 期(80~120℃); 表生期大气水沿不整合面渗入, 溶蚀不稳定矿物(如长石), 形成高孔渗带(孔隙度可达 20%以上)。

4.2.1. 压实、压溶对储层发育的影响

不同沉积相的岩石成分、分选、粒度不同, 进而使不同结构储层抗压实能力产生区别, 最终导致原生孔隙的保留表现出差异[13]-[15]。

苏 75 区块二叠系盒 8 段和山 1 段储层的岩石颗粒以线接触为主, 局部可见点 - 线接触、凹凸接触和少量的点接触, 黑云母受压发生弯曲变形(图 10(b)、图 10(c)), 石英等刚性颗粒在压实作用下发生破裂或沿岩石颗粒边缘发生剥离形成裂缝(图 10(d)), 所形成的裂缝并非沿某个方向或绕过岩石颗粒或切破岩石颗粒而稳定延伸。由此可以推断出两段均处于中等压实 - 强压实阶段。

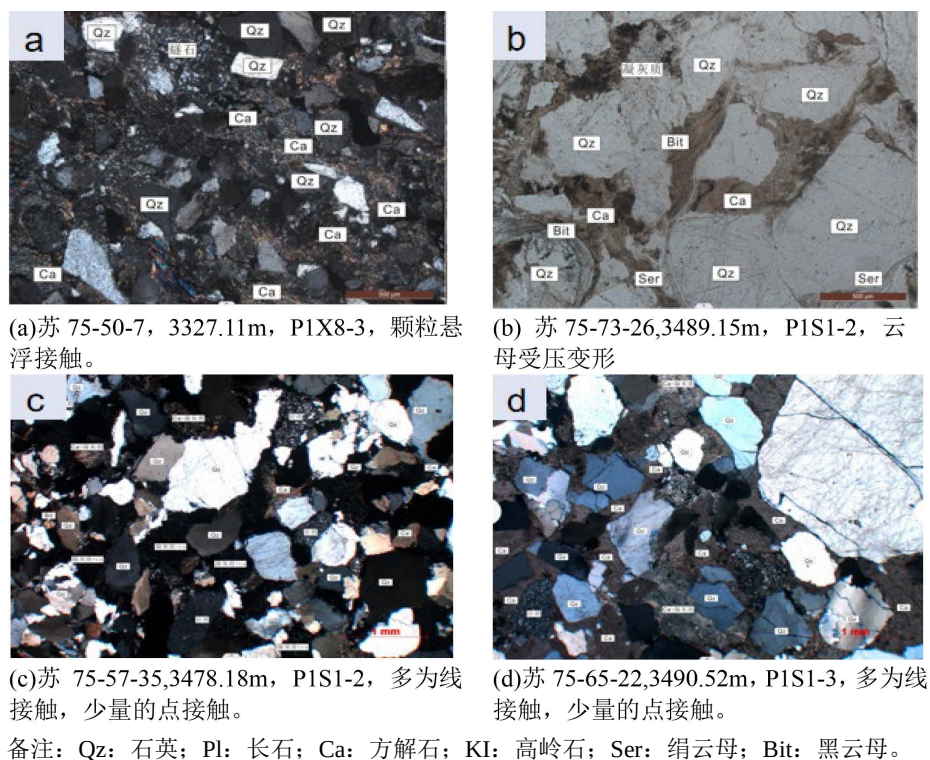


Figure 10. Characteristics of sandstone compaction in Shan 1 and He 8 sections of the Su 75 block in the Ordos Basin
图 10. 鄂尔多斯盆地苏 75 区块山 1 段和盒 8 段砂岩压实作用特征

压实作用对杂基含量不同的砂岩影响程度不同, 杂基含量越多, 孔隙衰减越大, 由于盒 8 段杂基含量高于山 1 段, 所以盒 8 段受压实作用影响大于山 1 段。

利用 Beard 和 Wely (1973) 提出的砂岩原始孔隙(φ_0 , %)与分选系数(S_0 , 无量纲)之间的经验公式[$\varphi_0 = 20.91 + 22.90/S_0$ ($S_0 = P_{25}/P_{75}$, P_{25} 、 P_{75} 分别代表累积曲线上颗粒含量 25% 和 75% 处所对应的颗粒直径, mm)], 再根据前人对苏 75 邻区山西组所做的微观结构分析(表 5), 得出山 1 段储层的分选系数介于 1.35~3.02, 由此可推断研究区山 1 段储层的原始孔隙为 37.27%~28.49%。

根据盒 8 段测试得到的岩石分选系数为 2.033~2.6008, 平均为 2.289, 由此可推断出研究区二叠系盒 8 段砂岩储层原始孔隙度为 29.71%~32.17%, 平均值为 30.91%。

在计算压实作用对储层孔隙的影响时, 可以用压实后的原始孔隙度 φ_1 来表示, φ_1 包括胶结物含量与保存至今的孔隙度之和:

$$\varphi_1 = \omega + (P_1 + P_2) \cdot P_M / P_T$$

式中: φ_1 为受压实作用后的孔隙度, %; ω 为胶结物含量, %; P_1 为残余粒间孔面孔率, %; P_2 为晶间孔面孔率, %; P_T 为总面孔率, %; P_M 为实测孔隙度, %。

计算得盒 8 段压实作用导致原生孔隙丧失率为 9.5%~19.3%, 平均为 12.6%。山 1 段压实作用造成的

山 1 段储层孔隙度损失率 50%~63%。

通过研究区 95 个样品的镜下观察, 统计并计算表明, 山 1 段储层受压实作用的影响大于盒 8 段(图 10)。

Table 5. Statistical table of microstructure parameters of part of the Jingshanxi formation in the adjacent area of Su 75

表 5. 苏 75 邻区部分井山西组微观结构参数统计表

井号	层位	井深(m)	孔隙度(%)	渗透率(mD)	门槛压力(Mp)	中值压力(Mp)	分选	变异系数	均值	中值半径(μm)
桃 5	山 1	3333.0~333.16	8	0.15	1.33	12.58	1.57	0.12	12.69	0.06
	山 1	3643.2	11.9	0.94	0.87	4.54	1.58	0.13	11.71	0.16
苏 43	山 1	3661.9	9.6	0.61	0.91	5.56	1.57	0.13	11.97	0.13
	山 1	3664.5	6.9	0.34	1.6	48.4	1.35	0.1	13.78	0.02
苏 44	山 1	3619.7	3.9	0	1.17	21.4	3.02	0.29	10.47	0.03
苏 46	山 1	3615.7	8.5	0	0.45	1.78	1.47	0.15	9.93	0.41
召 53	山 1	2704.1	10.87	0.53	0.5	5.57	3	0.36	8.45	0.13

4.2.2. 胶结作用对储层发育的影响

通过苏 75 区块二叠系的薄片观察与统计, 二叠系砂岩储层的胶结作用明显。两段的胶结物有些差异, 山 1 段的胶结作用主要有二氧化硅胶结与碳酸盐胶结, 盒 8 段的胶结作用主要为碳酸盐胶结、二氧化硅胶结以及黏土矿物胶结。两段二氧化硅胶结、碳酸盐胶结类型相似, 二氧化硅胶结主要表现为石英次生加大, 碳酸盐胶结主要为方解石胶结, 少见铁方解石和白云石胶结物。盒 8 段还有黏土矿物胶结, 主要为高岭石、绿泥石、伊利石、伊/蒙混层胶结(图 9)。

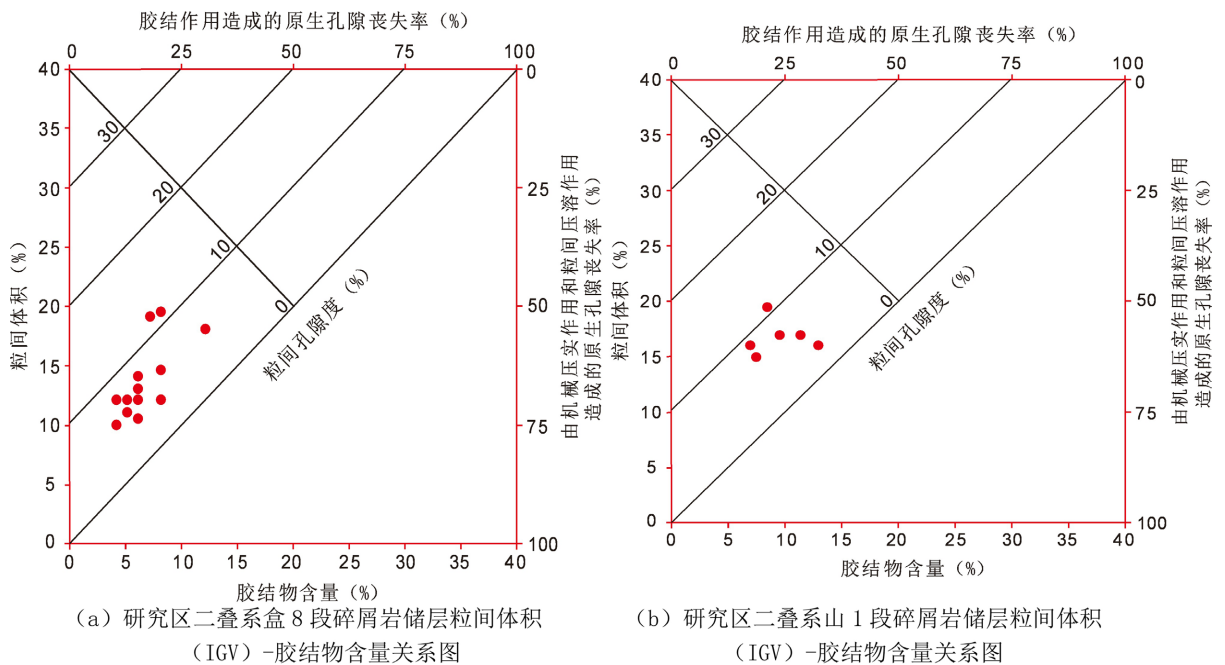


Figure 11. The relationship between intergranular volume (IGV)-cementite content of clastic reservoirs in Permian Shan 1 and He 8 sections in the study area

图 11. 研究区二叠系盒 8 段和山 1 段碎屑岩储层粒间体积(IGV)-胶结物含量关系图

计算胶结后的孔隙度, 分析胶结对储层孔隙度发展的影响, 即胶结后的储层孔隙度(φ_2)应满足:

$$\varphi_2 = (P_1 + P_2) \cdot P_M / P_T$$

计算发现, 山 1 段储层胶结作用造成储层损失率为 17%~32%, 盒 8 段胶结作用使得孔隙度减少了 9.12%, 降至 0%~9.45%, 平均为 1.22%, 显示出山 1 段储层受胶结作用的影响较大。

根据苏 75 区块岩石颗粒、胶结物含量的镜下分布特征发现, 盒 8 段胶结物含量主要分布在 5%~10% 而山 1 段胶结物含量主要分布在 10%~15%, 可见山 1 段胶结程度大于盒 8 段(图 11)。

4.2.3. 溶蚀作用对储层发育的影响

在强烈压实和胶结作用后, 砂岩中几乎没有原始粒间孔隙。溶蚀作用导致的次生孔隙是研究区主要孔隙类型[16]-[18]。对致密砂岩储层而言, 溶蚀作用对储层次生孔隙的发育, 特别是对优质储层的形成与分布起着相当重要的作用。不仅可以增大储集空间, 还可以连通那些孤立的孔隙、裂缝及已经连通的储集空间, 从而增大储集空间, 改善渗透性能[19]-[21]。盒 8 段和山 1 段的次生孔隙主要有石英的粒间溶孔、岩屑溶孔、碳酸盐岩溶孔、晶间溶孔及微裂缝等(图 12(a)~(d))。

溶蚀作用形成的孔隙增加量(φ_3)可以看成是所有溶蚀孔面孔率与总面孔率之比对应实测孔隙度中的含量。由于微裂缝及溶蚀缝在成岩过程中的占比很小, 仅为 0.03%, 对储层孔隙度的影响甚微, 可以不予考虑。其溶蚀孔隙度的计算如下:

$$\varphi_3 = (P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7) \times P_M / P_T$$

式中: P_3 为岩屑溶孔面孔率, %; P_4 为长石溶孔面孔率, %; P_5 为碳酸盐矿物溶孔面孔率, %; P_6 为杂基溶孔面孔率, %; P_7 为石英溶孔面孔率, %; P_T 为总面孔率, %; P_M 为实测孔隙度, %。

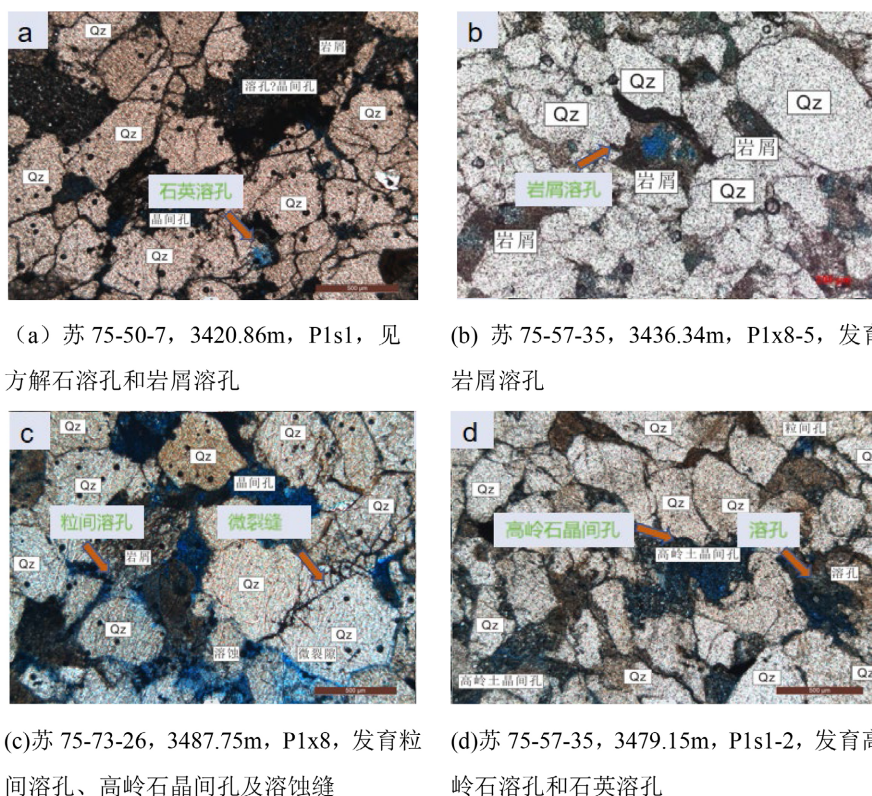


Figure 12. Microscopic characteristics of dissolution in the Shan 1 and He 8 sections, Su 75 block, Ordos Basin

图 12. 鄂尔多斯盆地苏 75 区块山 1 段和盒 8 段溶蚀作用镜下微观特征

计算发现, 溶蚀作用使山 1 段储层的孔隙度增加 0.0%~11.6%, 平均增加 5.8%, 溶蚀作用使盒 8 段储层的孔隙度增加 0.0%~22.4%, 平均增加 15.8%。

储层内孔隙水溶液可以溶解储层内不稳定的碎屑颗粒和胶结物, 从而影响次生孔隙的发育, 对于改善低孔低渗储层的物性具有重要的作用[22]。盒 8 段源岩层生烃产生的有机酸, 在满足自身碳酸岩等矿物消耗后, 会进入到山 1 段, 在储层连通性好且邻近源岩的位置发生溶蚀作用。酸性流体通过孔隙、裂缝进入砂岩, 对长石和岩屑等不稳定组进行溶解, 又形成了各种次生孔隙, 包括粒内溶孔和粒间孔[23]。因为山 1 段和盒 8 段石英、长石、方解石的含量不同, 进而溶蚀作用溶解各类矿物程度不同, 使得各类溶蚀孔隙在盒 8 段和山 1 段中的展布存在差异(图 13)。

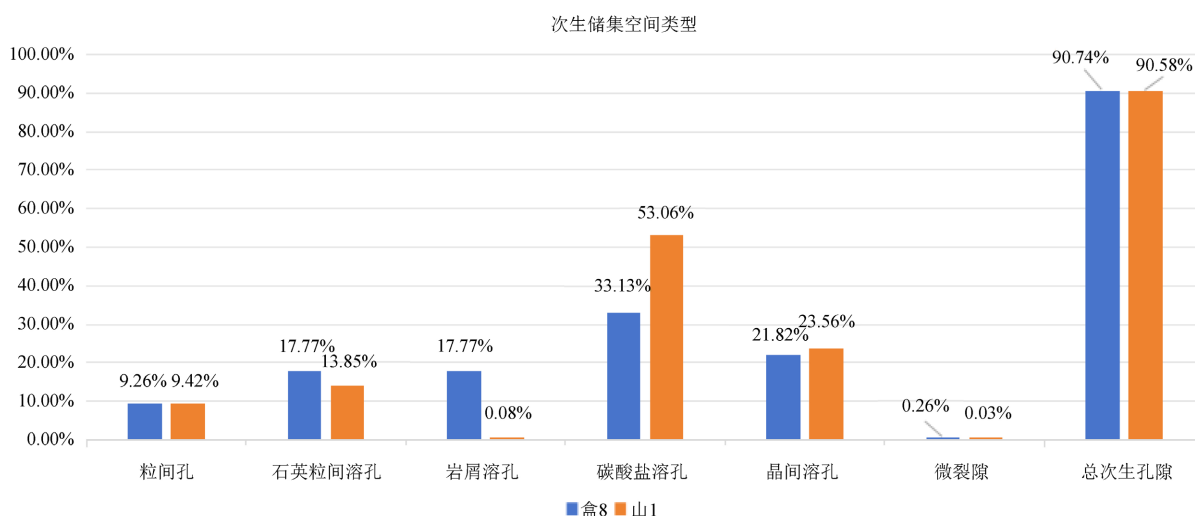


Figure 13. Histogram of spatial type and proportion distribution of secondary reservoirs in the Shan 1 and He 8 sections in the study area

图 13. 研究区二叠系盒 8 段和山 1 段次生储集空间类型及占比分布直方图

5. 结论

(1) 山 1 段储层发育于水下分流河道和辫状河道微相而盒 8 段储层发育于心滩和河床滞留沉积微相。河道岩性以砂砾岩和中粗砂岩为主, 心滩岩性以细 - 中砂岩为主。河道粒级相对较粗, 岩石颗粒间填隙物较少, 储集层其物性较好, 所以山 1 段物性较盒 8 段好。

(2) 由于研究区盒 8 段和山 1 段埋藏深度和碎屑成分的含量不同, 所以盒 8 段孔隙和山 1 段形成了不同强度的压实作用。山 1 段的胶结作用主要有二氧化硅胶结与碳酸盐胶结, 盒 8 段的胶结作用主要为碳酸盐胶结、二氧化硅胶结以及黏土矿物胶结。胶结物类型的不同以及压实作用强度的不同使得两段孔隙不同。

(3) 由于盒 8 段和山 1 段胶结物、碎屑颗粒不同, 所以储层内孔隙水溶液溶解两段储层内不稳定的碎屑颗粒和胶结物的程度不同, 而且盒 8 段源岩层生烃产生的有机酸, 在满足自身碳酸岩等矿物消耗后, 会进入到山 1 段又会造成山 1 段孔隙变化, 从而使盒 8 段和山 1 段次生孔隙产生了很大的差异。

基金项目

中石油创新基金(基金号 2013D-5006-0104)及华北石油管理局有限公司苏里格勘探开发分公司与重庆科技学院的校企合作项目(HBSYT-SLG-2022-JS-122)。

参考文献

- [1] 孙龙德, 邹才能, 贾爱林, 等. 中国致密油气发展特征与方向[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(6): 1015-1026.
- [2] 李昊远, 庞强, 魏克颖, 等. 致密砂岩储层孔隙结构分形特征对气水渗流规律的影响——以苏里格气田东南部桃 2 区块山 1 段为例[J]. 断块油气田, 2023, 30(2): 177-185.
- [3] 马尚伟, 魏丽, 王一军, 等. 鄂尔多斯盆地南部盒 8 段致密砂岩储层微观孔隙结构表征与评价[J]. 地质与勘探, 2022, 56(8): 1321-1330.
- [4] 王猛, 唐洪明, 卢浩, 等. 苏里格气田东区盒 8 段-山 1 段-山 2 段储集层致密化差异性及其影响因素研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2017, 36(5): 855-866.
- [5] 王昊, 贾文江, 李文等. 苏里格 S 区二叠系盒 8 段、山 1 段储层特征研究[J]. 内蒙古石油化工, 2021, 47(2): 103-106.
- [6] 付金华, 范立勇, 刘新社, 等. 苏里格气田成藏条件及勘探开发关键技术[J]. 石油学报, 2019, 40(2): 240-256.
- [7] 付金华, 范立勇, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地天然气勘探新进展、前景展望和对策措施[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(4): 418-430.
- [8] 朱彤, 李祖兵, 刘冀, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田北部苏 75 区块盒 8 段成岩作用及其对储层的影响[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(10): 1739-1751.
- [9] 赵立平, 李祖兵, 付亮亮, 等. 鄂尔多斯盆地苏 75 区块中部盒 8 段储层特征及主控因素[J]. 断块油气田, 2025, 32(1): 88-95.
- [10] 宗廷博, 陈德照, 杨岷, 张占杨, 李志宏, 王瑞飞, 甄园水. 鄂尔多斯盆地杭锦旗西部山西组致密砂岩储层特征及物性控制因素[J]. 天然气地球科学, 2024, 35(4): 608-622.
- [11] 李磊, 赵永刚, 马超亚, 金绍臣, 赵永鹏, 杨路颜. 砂质辫状河心滩及河道砂微相的识别特征与方法[J]. 特种油气藏, 2020, 27(2): 63-69.
- [12] 王宏博, 马存飞, 曹铮, 李志鹏, 韩长城, 纪文明, 杨艺. 基于岩相的致密砂岩差异成岩作用及其储层物性响应——以准噶尔盆地莫西庄地区下侏罗统三工河组为例[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(4): 976-992.
- [13] 尚婷, 王一, 康锐, 王猛, 时国, 杨庆坤. 鄂尔多斯盆地高桥地区高效储层特征及其控制因素研究[C]//中国矿物岩石地球化学学会岩相古地理专业委员会. 第十七届全国古地理学及沉淀学学术会议摘要集. 2023: 36.
- [14] 淡卫东, 辛红刚, 周树勋, 刘艳妮, 李弛, 朱立文, 马艳丽, 张振红. 差异沉积成岩作用对致密砂岩储层微观孔隙特征的影响——以鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 段为例[C]//中国矿物岩石地球化学学会岩相古地理专业委员会. 第十七届全国古地理学及沉淀学学术会议摘要集. 2023: 3.
- [15] 马晓强, 邹婧芸, 祝彦贺. 鄂尔多斯盆地临兴区块盒 8 段致密砂岩物性影响因素[J]. 地质学刊, 2023, 47(2): 122-128.
- [16] 姚东升, 陈冬霞, 李莎, 成铭, 王福伟, 马勇, 鲜本忠. 差异源储结构下储层发育机制及其对油气富集的影响——以鄂尔多斯盆地庆城地区长 7₁₋₂段为例[J]. 中国矿业大学学报, 2024, 53(2): 346-363.
- [17] 孙志昀, 屈海洲, 李荣容, 邹兵, 胡欣, 张云峰, 等. 混合沉积物成岩作用及孔隙演化差异性——以川西北部上二叠统吴家坪组为例[J/OL]. 沉积学报, 1-19. <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2023.055>, 2023-11-22.
- [18] 肖尧, 王锦西, 肖柏夷, 曹脊翔, 等. 四川盆地天府含气区侏罗系沙溪庙组一段致密砂岩储层特征及主控因素[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(11): 1916-1926.
- [19] 付炜, 胡望水, 王晓晨, 张曼婷, 黄鑫. 致密砂岩储层特征及质量影响因素——以鄂尔多斯盆地西北部二叠系下石盒子组为例[J]. 东北石油大学学报, 2023, 47(5): 36-48.
- [20] 李诚. 苏里格气田西区盒 8-山 1 段储层成岩作用研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2020.
- [21] 吴彦君. 鄂尔多斯盆地陇东地区致密砂岩储层微观特征差异及其对可动流体的影响[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2022.
- [22] 于春勇, 董峰, 屈凯旋, 等. 苏里格 25、76 区块上古生界山 1-盒 8 段储层成岩作用及成岩演化序列分析[J]. 录井工程, 2023, 34(2): 109-116.
- [23] 杨文霞, 桂丽黎, 周慧, 鲁雪松, 等. 塔里木盆地柯坪地区志留系砂岩储层成岩与成藏过程[J]. 地球科学, 2023, 48(11): 4103-4116.