

DOI:10.3969/j.issn.1006-6535.2023.05.006

不同岩性页岩油储集空间及物性特征

周志军¹, 张国青¹, 崔春雪², 王静怡³, 王娟⁴

- (1. 东北石油大学提高油气采收率教育部重点实验室, 黑龙江 大庆 163318;
2. 中国科学院力学研究所, 北京 100190;
3. 中国石油大庆油田有限责任公司, 黑龙江 大庆 163318;
4. 中海油服油田生产事业部, 天津 300459)

摘要: 针对济阳拗陷沙河街组储层特征认识不深入, 影响页岩油勘探与开发的问题, 以济阳拗陷古近系沙河街组沙三下亚段和沙四上亚段重点取心井为研究对象, 利用 X-Ray Diffraction 测定页岩储层矿物组分, 通过扫描电镜对不同岩性页岩的储集空间和孔径进行定量刻画, 分析页岩储层的优势岩性。研究结果表明: 济阳拗陷页岩可划分为泥岩类、灰岩类、白云岩类, 沙三下亚段泥岩类较为发育, 沙四上亚段白云岩类较为发育; 白云岩类发育中大孔, 油迹主要赋存于白云石粒间微孔及溶蚀孔中; 泥岩类发育中小孔, 油迹主要充填于粒间微孔及粒间微缝中; 灰岩类发育小孔, 油迹主要赋存于晶间微孔中, 局部赋存于溶蚀孔中; 页岩储层的优势岩性依次为白云岩、泥岩、灰岩; 不同岩性的含油率及试油数据表明, 济阳拗陷沙河街组沙四上亚段属于高产油段, 可作为济阳拗陷沙河街组“甜点”层系。研究成果对济阳拗陷页岩油勘探开发的深入具有指导意义。

关键词: 济阳拗陷; 页岩油; 不同岩性; 储集空间; 物性特征

中图分类号: TE122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6535(2023)05-0042-08

Reservoir Space and Physical Characteristics of Shale Oil with Different Lithologies

Zhou Zhijun¹, Zhang Guoqing¹, Cui Chunxue², Wang Jingyi³, Wang Juan⁴

- (1. Key Laboratory for Improving Oil and Gas Recovery (Northeast Petroleum University), Ministry of Education, Daqing, Heilongjiang 163318, China;
2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
3. PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163318, China;
4. COSL Oilfield Production Division, Tianjin 300459, China)

Abstract: In view of the lack of deep understanding of the reservoir characteristics of the Shahejie Formation in the Jiyang Depression, it affects the exploration and development of shale oil. Taking key coring wells of the lower sub-section of the Member 3 and the upper sub-section of the Member 4 of the Paleogene Shahejie Formation of in the Jiyang Depression as the study object, X-Ray Diffraction was used to determine the mineral composition of shale reservoirs, and the shale was classified into mudstone Shale, limestone and dolomite, the mudstone in the lower sub-section of the Member 3 of the Shahejie Formation is relatively developed, and dolomite in the upper sub-section of the Member 4 of the Shahejie Formation is relatively developed; the reservoir space and pore size of shale with different lithologies were quantitatively described with the scanning electron microscopy, and the predominant lithology of shale reservoirs was analyzed. The results of the study show that the medium to large pores were developed in dolomite, and the oil are mainly occurred in the dolomite intergranular micropores and dissolved pores; the medium to small pores were developed in mudstone, and the oil were mainly filled in the intergranular micropores and interg-

收稿日期:20230326; 改回日期:20230626

基金项目: 国家科技重大专项“济阳拗陷页岩油数字岩心模拟测试”(2017ZX05049-004); 东北石油大学国家基金培育基金“济阳拗陷页岩油微观孔隙结构特征及流动机制研究”(2018GPYB-02)

作者简介: 周志军(1966—)男, 教授, 博士生导师, 1990年毕业于大庆石油学院油藏工程专业, 2003年毕业于该校油气田开发工程专业, 获博士学位, 现主要从事油气田数值模拟及页岩油微观流动机理等方向的研究。

通讯作者: 张国青(1998—), 女, 2020年毕业于山西农业大学软件工程专业, 现为东北石油大学石油与天然气工程专业在读博士研究生, 主要研究方向为页岩油微观流动机理。

ranular micro-fractures; the small pores were developed in limestone, and the oil were mainly occurred in the inter-granular micropores and locally in the dissolved pores; the dominant lithologies of shale reservoirs were, in order of preference: dolomite, mudstone and limestone; the oil content and oil test data of different lithologies showed that the upper sub-section of the Member 4 of Shahejie Formation in the Jiyang Depression is a high-production oil section, and it can be determined as the "sweet spot" reservoir of the Shahejie Formation in the Jiyang Depression. The study results have guidance significance to the exploration and development of shale oil in Jiyang Depression.

Key words: Jiyang Depression; shale oil; different lithologies; reservoir space; physical characteristics

0 引言

随着世界对油气资源需求的不断上升,非常规油气资源极具潜力^[1-4]。济阳拗陷页岩油分布广泛,储量丰富,古近系沙河街组是最重要的生储组合^[5-6],地层具有低孔低渗、非均质性较强的特点^[7-9]。目前,针对低孔低渗页岩储层物性的研究主要通过高压压汞、氮气吸附等实验对孔隙结构进行表征^[10],但高压压汞适合表征大孔隙^[11],氮气吸附适合表征小孔隙^[12],尚缺少多尺度页岩孔径的表征方法。研究区储层纵向上存在明显的岩性变化^[13-14],不同岩性对页岩油储集空间、物性的影响研究较少^[15-25],需进一步研究页岩油的岩性与物性关系。为了解决上述问题,以济阳凹陷古近系沙河街组为目标,利用三端元法对岩性进行划分,通过扫描电镜实验多尺度精细地定量表征不同岩性页岩油的储集空间特征及孔隙结构,分析不同岩性的含油率等物性,并结合试油试采数据进行验证,预测研究区有利储层,对页岩油的勘探和开发具有重要意义。

1 材料与仪器

岩心样品:选取济阳拗陷沙三下亚段和沙四上

亚段3口取心井——樊页1、罗69、利页1井,取心深度分别为3 030~3 444 m、2 990~3 244 m、3 240~3 720 m。选取岩心样品中具有代表性部分截取2.0 cm×2.0 cm×0.5 cm自然断面,用氩离子抛光仪进行截面抛光。

X射线衍射实验仪器:理学DMAX-3C衍射仪。测试条件:Cu靶、Ka辐射、Ni滤光,小于2μm的黏土矿物采用小角度衍射,起始角为2°。扫描电镜SEM图像法:仪器为FEI Quanta250FEG环境扫描电子显微镜及OXFORDINCA X-max20能谱仪分析系统。

2 不同岩性储集空间特征

2.1 岩性分析

通过薄片鉴定及X衍射分析样品成分(表1)。由表1可以看出,研究区储层岩石矿物主要以泥质和碳酸盐岩矿物为主,其中,泥质包括黏土矿物、石英、钾长石、斜长石等陆源碎屑矿物,碳酸盐岩矿物包括方解石及白云石,以及少量菱铁矿等,其他矿物主要为黄铁矿。根据矿物组成特征,将研究区页岩分为泥岩类、灰岩类和白云岩类。其中,泥质含量较多的为泥岩类,含方解石成分较多的为灰岩类,

表1 矿物组成

Table 1 The mineral composition

井号	层位	泥质平均含量/%				碳酸盐岩矿物平均含量/%			其他矿物平均含量/%
		黏土	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	黄铁矿
罗69井	沙三下	18.7	18.3	0.3	1.3	52.3	5.1	0.2	3.8
	沙四上	10.7	16.5	0.0	0.0	52.1	15.7	0.0	2.6
樊页1井	沙三下	24.0	22.8	0.0	3.1	37.6	7.2	0.7	2.7
	沙四上	17.2	23.7	0.0	4.7	38.0	13.2	0.4	2.6
利页1井	沙三下	34.0	24.0	0.0	4.3	27.0	6.7	0.5	3.1
	沙四上	23.0	26.4	0.0	4.2	34.0	9.4	0.2	1.7

含白云石成分较多的为白云岩类。在三端元岩石学分类基础上,建立以泥质(M)、方解石(C)、白云石(D)作为三端元的分类方案(图1)。由图1可

知:沙三下亚段岩性主要为泥岩类,白云岩类发育较少,含量较低;沙四上亚段岩性主要为泥岩类,白云岩类页岩增多。

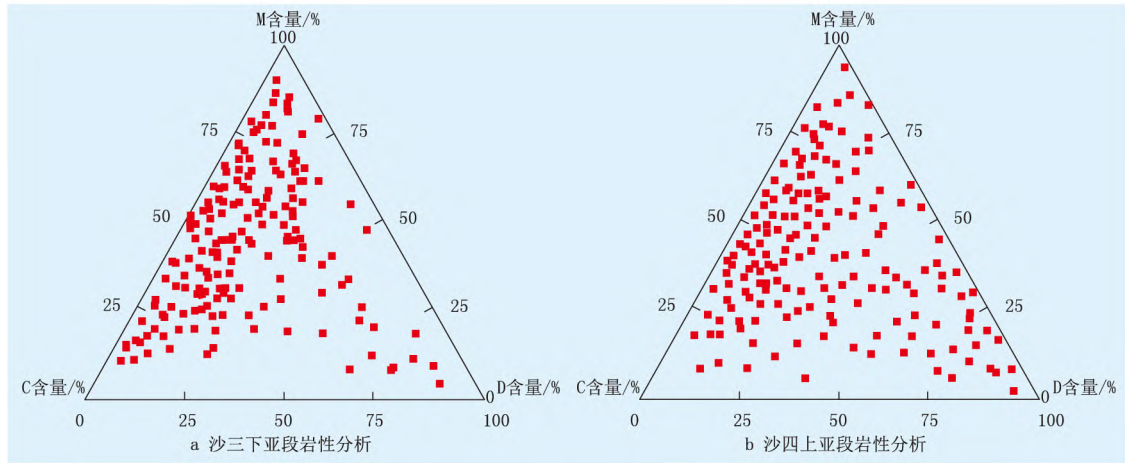


图1 沙河街组岩性分析

Fig. 1 The lithological analysis of Shahejie Formation

2.2 不同岩性孔隙结构分析

2.2.1 泥岩类储层微观定量分析特征

泥岩类储集空间类型识别如图2a所示。由图2a可以看出,泥岩类样品主要储集空间类型为粒间孔、粒间缝和溶蚀孔,同时还发育晶内孔、晶间孔。泥岩类储集空间类型平均面孔率如图2b所示。

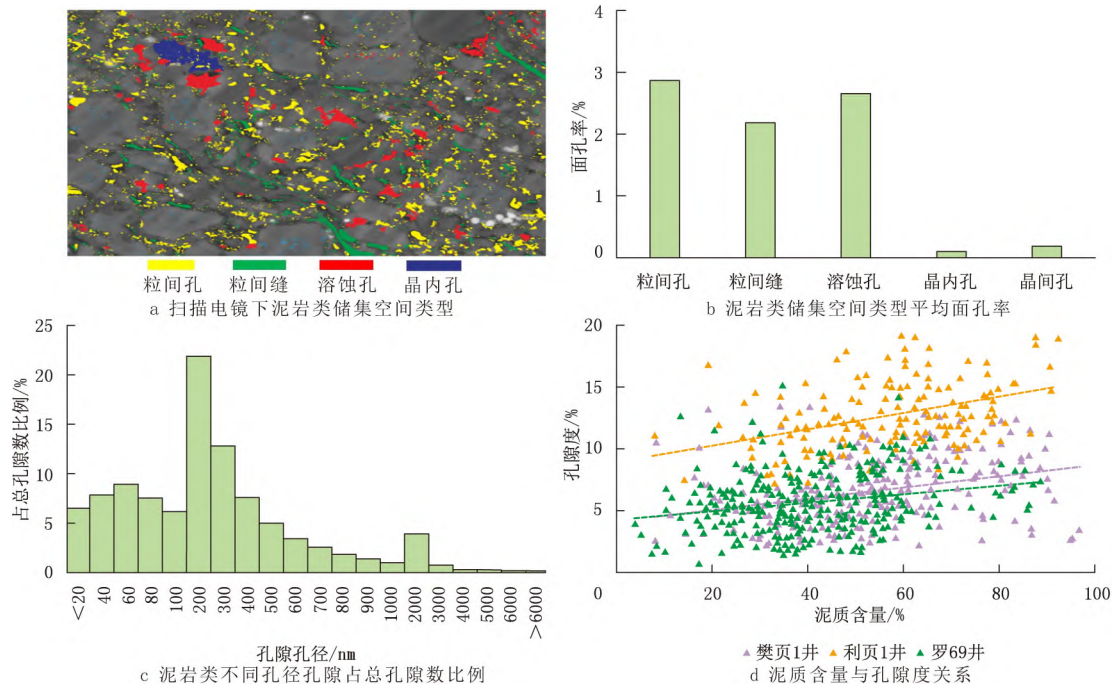


图2 泥岩类储层微观定量分析

Fig. 2 The micro-quantitative analysis of mudstone reservoir

由图2c可以看出,泥岩类样品孔径主要分布于10~200 nm,占总孔隙数比例为58.95%;分布于200~1 000 nm的孔隙占总孔隙数的35.72%;孔径大于1 μm的孔隙占总孔隙数的5.33%;在大于200 nm

的孔隙中,随着孔径逐渐增大,孔隙数量递减。泥岩含量与孔隙度的关系如图2d所示。由图2d可以看出,泥质含量与孔隙度具有较好的正相关性,随着泥质含量的增加,孔隙度具有升高的趋势;罗

的孔隙中,随着孔径逐渐增大,孔隙数量递减。泥岩含量与孔隙度的关系如图2d所示。由图2d可以看出,泥质含量与孔隙度具有较好的正相关性,随着泥质含量的增加,孔隙度具有升高的趋势;罗

69、樊页1、利页1井的平均孔隙度分别为6.60%、7.36%、13.45%。

2.2.2 灰岩类储层微观定量分析特征

灰岩类储集空间类型识别如图3a所示。由图3a可以看出,灰岩类样品主要储集空间类型为粒间孔、粒间缝和溶蚀孔,其次为晶间孔。灰岩类储集空间类型平均面孔率如图3b所示。由图3b可以看出,样品面孔率为0.53%~5.05%,平均面孔率为3.61%;方解石溶蚀孔面孔率贡献大,平均面孔率为1.32%;方解石晶间孔孔隙数量较多,但方解石重结晶和胶结作用严重,晶间孔孔径偏小,平均面孔率仅为0.31%;方解石晶内孔孔径小,平均面孔率为0.04%,面孔率贡献微小。灰岩类样品不同孔径孔隙占总孔隙数比例如图3c所示。由图3c可以看出,灰岩类样品整体孔径较小,孔径主要

分布在10~200 nm;孔径小于100 nm的孔隙占总孔隙数的55.9%,主要为方解石晶间孔和晶内孔;孔径在100~1 000 nm的孔隙占总孔隙数的42.61%,主要为方解石晶间孔、粒间孔、粒间缝和少量溶蚀孔;孔径大于1 μm的孔隙较少,主要为方解石溶蚀孔,仅占总孔隙数的1.49%。随着孔隙孔径逐渐增大,孔隙发育数量递减。

灰岩类方解石的含量与孔隙度的关系如图3d所示。由图3d可知,方解石含量与孔隙度具有较好的负相关性,随着方解石含量的增加,孔隙度具有降低的趋势;罗69井和樊页1井灰岩的物性最差,平均孔隙度分别为2.56%和2.70%,方解石胶结作用和重结晶作用,使得方解石晶间孔不发育,方解石晶内孔等孔径较小,对面孔率和孔隙度的贡献小,方解石晶内孔不连通,为无效孔隙。

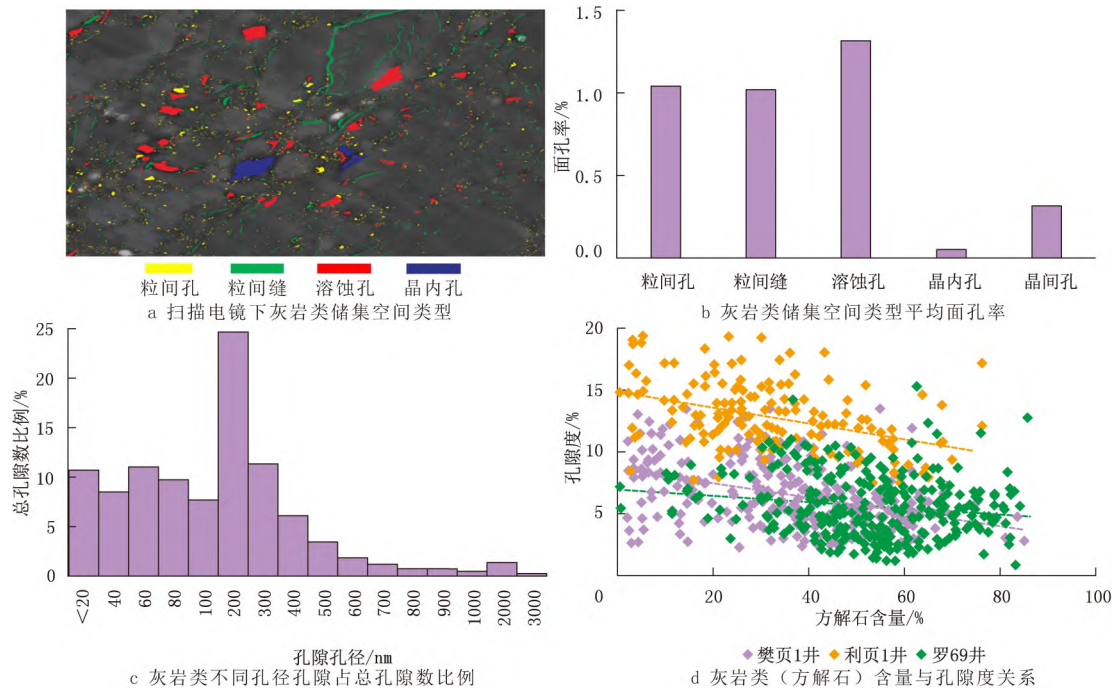


图3 灰岩类储层微观定量分析

Fig. 3 The micro-quantitative analysis of limestone reservoir

2.2.3 白云岩类

白云岩类储集空间类型识别如图4a所示。由图4a可以看出,白云岩类储集空间类型以晶间孔和溶蚀孔为主。白云岩类储集空间类型平均面孔率如图4b所示。由图4b可以看出,样品面孔率为9.32%~18.91%,平均为11.50%;晶间孔平均面孔率为5.83%;溶蚀孔平均面孔率为4.40%;粒间孔平均面孔率为1.88%;粒间缝的贡献主要体现在与泥质混杂的油迹条带中,平均面孔率为3.49%;

晶内孔在白云岩类样品中较发育,孔隙孔径小,平均面孔率仅为0.05%。白云岩类样品不同孔径孔隙占总孔隙数比例如图4c所示。由图4c可以看出,白云岩类样品整体孔径较大,孔径主要分布于20~200 nm,占总孔隙数比例为51.23%;孔径小于100 nm的孔隙占总孔隙数的32.81%,主要为白云石晶内孔、晶间孔;孔径为100~1 000 nm的孔隙占总孔隙数比例为54.47%,孔隙主要为晶间孔、粒间孔和少量溶蚀孔;孔径大于1 μm的孔隙占总孔

隙数的 12.72%, 主要为溶蚀孔, 说明白云岩类样品溶蚀孔较发育。白云岩含量与孔隙度的关系如图 4d 所示。由图 4d 可以看出, 白云石含量与孔隙度关系不明显, 但孔隙度较高, 白云岩类岩石类型整体物性最好, 樊页 1、利页 1 井白云岩样品的平

均孔隙度分别为 10.70% 和 11.30%。白云石自形程度较高, 陆源石英碎屑等脆性矿物形成的粒间微孔、微缝发育, 孔径较大, 对面孔率和孔隙度的贡献大; 同时, 粒间微孔、微缝发育, 孔径较大, 利于酸性流体的运移, 从而使得溶蚀孔发育。

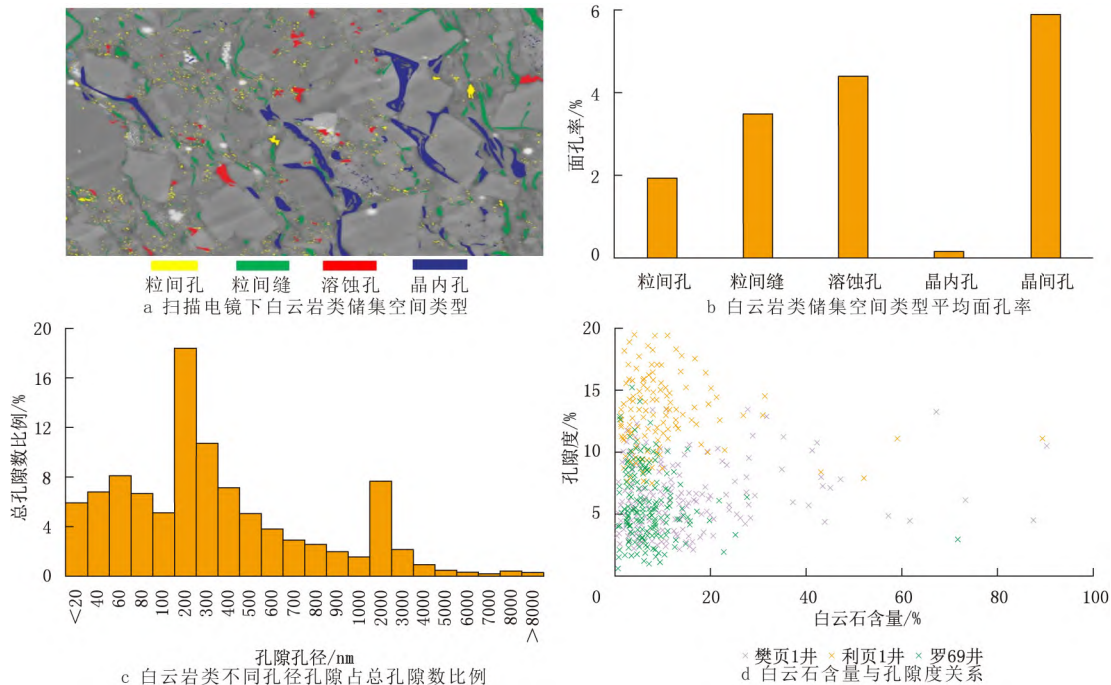


图 4 白云岩类储层微观定量分析

Fig. 4 The micro-quantitative analysis of dolomite reservoir

不同岩性平均面孔率直方图如图 5 所示。由图 5 可以看出, 不同岩性面孔率差异较大。其中, 白

隙孔径大小及占总孔隙数的比例, 白云岩中大孔发育较好, 大于 100 nm 时, 白云岩孔隙孔径占比为 67.20%, 泥岩为 62.89%, 灰岩为 52.21%。因此, 综合分析页岩储层储集空间和孔隙特征可知, 页岩储层的优势岩性依次为白云岩、泥岩、灰岩。

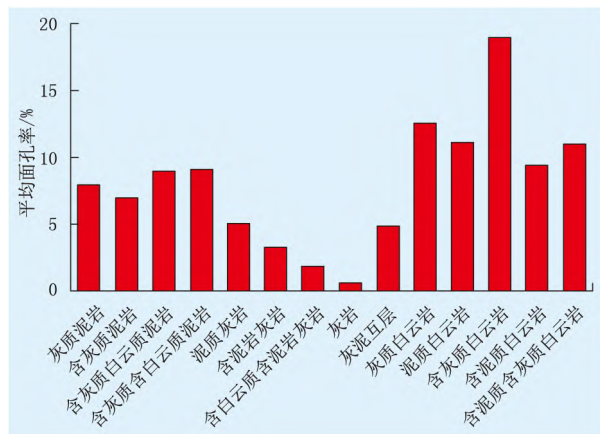


图 5 不同岩性平均面孔率直方图

Fig. 5 The histogram of average porosity of different lithologies

云岩类样品面孔率整体较好, 总平均面孔率为 11.50%, 说明白云岩整体孔隙发育好; 泥岩类样品面孔率中等, 各泥岩类样品总平均面孔率为 7.88%, 孔隙发育中等; 灰岩类样品面孔率总体偏小, 总平均面孔率为 3.61%, 孔隙发育差。纵观不同岩性的孔

3 不同岩性储层物性特征

3.1 不同岩性对含油率的影响

不同储集空间流体赋存特征如图 6 所示。由图 6 可以看出, 白云岩类的油迹主要赋存于粒间孔、溶蚀孔中。泥岩类的油膜主要赋存于粒间孔和粒间缝中, 方解石溶蚀孔内常见油迹充填。在灰岩类样品中, 油迹仅见于方解石溶蚀孔中, 方解石晶间孔油迹极少。不同岩相含油率分布图 7 所示。由图 7 可以看出, 研究区含油性最好的岩石类型为白云岩, 白云岩类油迹含量高 (7.00% ~ 15.00%), 其次为泥岩类 (5.00% ~ 10.00%), 灰岩类最差 (0.25% ~ 3.00%)。

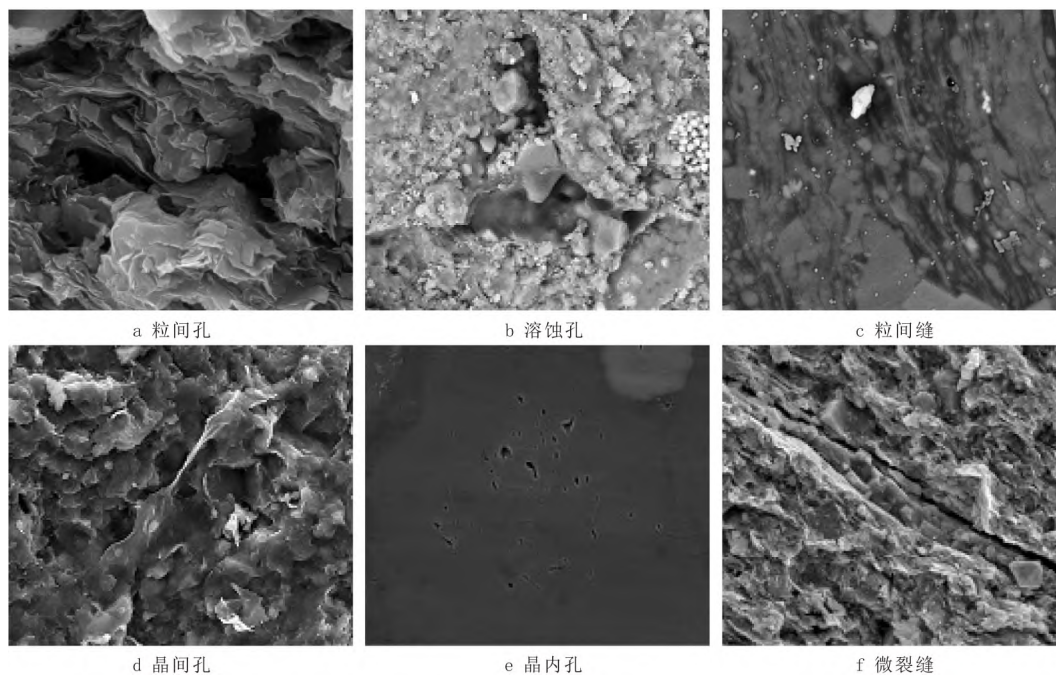


图 6 不同储集空间流体赋存特征

Fig. 6 The fluid occurrence characteristics of different reservoir spaces

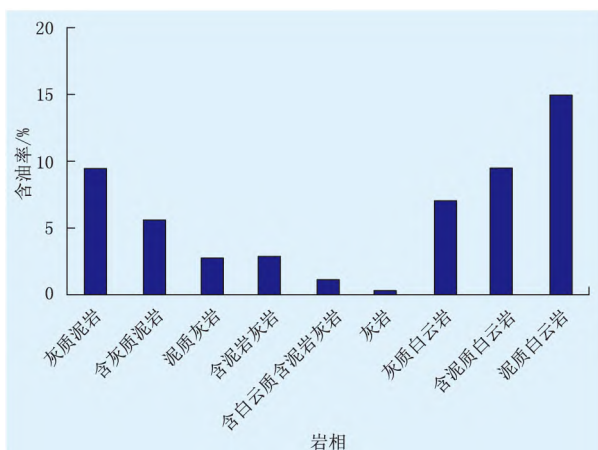


图 7 不同岩相含油率分布

Fig. 7 The distribution of oil-bearing rate in different lithologies

3.2 不同岩性的试油结果

胜利油田济阳坳陷已有数百口探井在古近系沙河街组陆相页岩中见油气显示,常规试油 65 口井 121 层获油气流。对目前试油高产的 4 口典型井进行分析,沙三下亚段和沙四上亚段试油数据见表 2。樊页 1 井试油段为 3 198~3 210 m,位于沙三下亚段,日产油为 2.41 t/d;罗 69 井试油段为 3 040~3 066 m,位于沙三下亚段,日产油为 0.85 t/d。沙三下亚段泥质含量较高,主要为灰质泥岩、含灰泥岩,陆源碎屑含量整体较低,方解石含量高,白云石含量低,孔隙度一般,平均孔隙度为 6.27%,物性

总体较差,属于低产层系。利页 1 井试油段为 3 666~3 668 m,位于沙四上亚段,日产油为 41.50 t/d;义 187 井试油段为 3 450~3 500 m,位于沙四上亚段,日产油为 156.20 t/d,沙四上亚段白云石含量较高,灰质含量低,孔隙度发育较好,平均孔隙度为 9.20%,储层物性好,属于高产层系。上述试油结果表明济阳坳陷古近系沙河街组沙四上亚段层系可作为“甜点”层系进行开发。

表 2 沙三下亚段和沙四上亚段试油数据
Table 2 The oil test data of the lower sub-section of the Member 3 and the upper sub-section of the Member 4 of Shahejie Formation

井名	深度/m	层位	日产油/(t·d ⁻¹)	类别
樊页 1 井	3198~3210	沙三下亚段	2.41	低产井
义 187 井	3450~3500	沙四上亚段	156.20	高产井
罗 69 井	3040~3066	沙三下亚段	0.85	低产井
利页 1 井	3666~3668	沙四上亚段	41.50	高产井

4 结论

(1) 济阳坳陷沙河街组沙三下亚段及沙四上亚段页岩储层主要分为泥岩类、灰岩类和白云岩类 3 类。沙三下亚段泥岩类较为发育,沙四上亚段白云岩较为发育,白云岩油迹主要赋存于粒间微孔及溶蚀孔中,泥岩油迹主要充填于粒间微孔及粒间微缝中,灰岩油迹赋存于晶间微孔和溶蚀孔中。

(2) 通过对不同岩性孔隙孔径的分析可知,白

云岩发育中大孔,泥岩发育中小孔,灰岩发育小孔。在孔径大于 100 nm 时,白云岩、泥岩、灰岩孔隙占比分别为 67.20%、62.89%、52.21%,泥质含量与孔隙度具有较好的正相关性,方解石含量与孔隙度具有较好的负相关性。

(3) 通过分析不同岩性含油率可知,白云岩类含油率为 7.00%~15.00%,泥岩类含油率为 6.00%~10.00%,灰岩类含油率仅为 0.25%~3.00%,页岩储层优势岩性依次为白云岩、泥岩、灰岩。试油数据表明沙四上亚段产油率高,属于高产油段,可确定为济阳坳陷沙河街组“甜点”层系。

参考文献:

- [1] 刘鹏,王永诗,宋明水,等. 碳酸盐岩断裂带断层岩特征及演化——以渤海湾盆地济阳坳陷车镇凹陷下古生界为例[J]. 石油学报,2021,42(5):588-597.
LIU Peng, WANG Yongshi, SONG Mingshui, et al. Characteristics and evolution of fault rocks in carbonate fault zone: a case study of the Lower Paleozoic in Chezheng Sag of Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(5): 588-597.
- [2] 邹才能,朱如凯,董大忠,等. 页岩油气科技进步、发展战略及政策建议[J]. 石油学报,2022,43(12):1675-1686.
ZOU Caineng, ZHU Rukai, DONG Dazhong, et al. Scientific and technological progress, development strategy and policy suggestion regarding shale oil and gas[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(12): 1675-1686.
- [3] 白斌,戴朝成,侯秀林,等. 陆相湖盆页岩自生硅质特征及其油气意义[J]. 石油勘探与开发,2022,49(5):896-907.
BAI Bin, DAI Chaocheng, HOU Xiulin, et al. Authigenic silica in continental lacustrine shale and its hydrocarbon significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(5): 896-907.
- [4] 窦立荣,温志新,王建君,等. 2021年世界油气勘探形势分析与思考[J]. 石油勘探与开发,2022,49(5):1033-1044.
DOU Lirong, WEN Zhixin, WANG Jianjun, et al. Analysis of the world oil and gas exploration situation in 2021[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(5): 1033-1044.
- [5] 刘惠民,李军亮,刘鹏,等. 济阳坳陷古近系页岩油富集条件与勘探战略方向[J]. 石油学报,2022,43(12):1717-1729.
LIU Huimin, LI Junliang, LIU Peng, et al. Enrichment conditions and strategic exploration direction of Paleogene shale oil in Jiyang Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(12): 1717-1729.
- [6] 赵贤正,周立宏,蒲秀刚,等. 陆相湖盆页岩层系基本地质特征与页岩油勘探突破——以渤海湾盆地沧东凹陷古近系孔店组二段—亚段为例[J]. 石油勘探与开发,2018,45(3):361-372.
ZHAO Xianzheng, ZHOU Lihong, PU Xiugang, et al. Basic geological characteristics of continental lacustrine shale strata series and breakthroughs in shale oil exploration: a case study of the first sub-member of the second member of the Paleogene Kongdian Formation in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(3): 361-372.
- [7] 张宸嘉,曹剑,王俞策,等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷芦草沟组页岩油富集规律[J]. 石油学报,2022,43(9):1253-1268.
ZHANG Chenjia, CAO Jian, WANG Yuce, et al. Enrichment law of shale oil of Lucaogou Formation in Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(9): 1253-1268.
- [8] 周立宏,何海清,郭绪杰,等. 渤海湾盆地歧口凹陷古近系沙一下亚段中等成熟页岩油富集主控因素与勘探突破[J]. 石油与天然气地质,2022,43(5):1073-1086.
ZHOU Lihong, HE Haiqing, GUO Xujie, et al. Main factors controlling the medium-mature shale oil enrichment and exploration breakthrough in the Paleogene lower E₃s₁L in Qikou Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(5): 1073-1086.
- [9] 刘舵,谢春勤,陈治军,等. 正构烷烃分布在确定烃源岩生源构成中的有效性[J]. 断块油气田,2019,26(1):42-47.
LIU Duo, XIE Chunqin, CHEN Zhijun, et al. Effectiveness of n-alkanes distribution on determining parent material composition of hydrocarbon source rock[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2019, 26(1): 42-47.
- [10] 印森林,陈恭洋,许长福,等. 陆相混积细粒储集岩岩相构型及其对甜点的控制作用——以准噶尔盆地吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组页岩油为例[J]. 石油与天然气地质,2022,43(5):1180-1193.
YIN Senlin, CHEN Gongyang, XU Changfu, et al. Lithofacies architecture of lacustrine fine-grained mixed reservoirs and its control over sweet spot: a case study of Permian Lucaogou Formation shale oil reservoir in the Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(5): 1180-1193.
- [11] 姚东华,周立宏,王文革,等. 页岩油综合“甜点”测井评价——以沧东凹陷孔店组二段为例[J]. 石油学报,2022,43(7):912-924.
YAO Donghua, ZHOU Lihong, WANG Wenge, et al. Logging evaluation of composite “sweet spots” for shale oil: a case study of Member 2 of Kongdian Formation in Cangdong Sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(7): 912-924.
- [12] 刘惠民,张顺,包友书,等. 东营凹陷页岩油储集地质特征与有效性[J]. 石油与天然气地质,2019,40(3):512-523.
LIU Huimin, ZHANG Shun, BAO Youshu, et al. Geological characteristics and effectiveness of the shale oil reservoir in Dongying Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(3): 512-523.
- [13] 赵贤正,陈长伟,宋舜尧,等. 渤海湾盆地沧东凹陷孔店组二段页岩层系不同岩性储层结构特征[J]. 地球科学,2023,48(1):63-76.
ZHAO Xianzheng, CHEN Changwei, SONG Shunyao, et al. Shale oil reservoir structure characteristics of the second member of Kongdian Formation in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin[J]. Jour-

- nal of Earth Science, 2023, 48(1): 63-76.
- [14] 马存飞, 黄文俊, 杜争利, 等. 陆相湖盆页岩岩相分类方案及其意义——以沧东凹陷孔二段为例[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2022, 53(9): 3287-3300.
- MA Cunfei, HUANG Wenjun, DU Zhengli, et al. Shale lithofacies classification scheme of continental lake basin and its significance: a case of E₂ Member of Kongdian Formation in Cangdong Sag[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2022, 53(9): 3287-3300.
- [15] 李吉君, 史颖琳, 黄振凯, 等. 松辽盆地北部陆相泥页岩孔隙特征及其对页岩油赋存的影响[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(4): 27-34.
- LI Jijun, SHI Yinglin, HUANG Zhenkai, et al. Pore characteristics of continental shale and its impact on storage of shale oil in northern Songliao Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Sciences), 2015, 39(4): 27-34.
- [16] 董玉文, 陈旭, 欧荣生, 等. 保真保幅岩性目标处理技术在H区块的应用[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2021, 18(3): 29-36.
- DONG Yuwen, CHEN Xu, OU Rongsheng, et al. The application of amplitude preserving lithology target processing technology in H Block[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2021, 18(3): 29-36.
- [17] 高波, 何文渊, 冯子辉, 等. 松辽盆地古龙页岩岩性、物性、含油性特征及控制因素[J]. 大庆石油地质与开发, 2022, 41(3): 68-79.
- GAO Bo, HE Wenyuan, FENG Zihui, et al. Lithology, physical property, oil-bearing property and their controlling factors of Gulong Shale in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2022, 41(3): 68-79.
- [18] 吴静, 丁琳, 张晓钊, 等. 珠江口盆地恩平凹陷海相三角洲岩性圈闭勘探的关键技术[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2022, 19(1): 44-53.
- WU Jing, DING Lin, ZHANG Xiaozhao, et al. Key technologies of lithologic trap exploration in marine delta of Enping Sag in Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2022, 19(1): 44-53.
- [19] 姜冠一. 徐家围子断陷升平—兴城地区深层火山岩岩性、岩相特征及喷发期次[J]. 大庆石油地质与开发, 2021, 40(4): 9-25.
- JIANG Guanyi. Lithology, lithofacies characteristics and eruption stages of deep volcanic rocks in Shengping-Xingcheng Area of Xujiaweizi Rift[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2021, 40(4): 9-25.
- [20] 张丽华, 王敏, 单刚义, 等. 不同岩性火山岩孔隙度压力敏感性及其影响因素: 以长岭断陷火山岩为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(2): 382-389.
- ZHANG Lihua, WANG Min, SHAN Gangyi, et al. Analysis on porosity stress sensitivity of volcanic rocks with different lithology and its influencing factors: taking volcanic rocks in Changling Fault Depression as an Example [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(2): 382-389.
- [21] 宋文广, 徐浩, 王浩, 等. 基于生成对抗网络的岩心薄片岩性智能识别方法[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2022, 19(2): 39-46.
- SONG Wenguang, XU Hao, WANG Hao, et al. Intelligent lithology identification method of core slices based on generative adversarial network [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2022, 19(2): 39-46.
- [22] 刘娜娜. 南川地区龙马溪组优质页岩段微观孔隙结构特征[J]. 石油地质与工程, 2021, 35(4): 21-25.
- LIU Nana. Micro pore structure characteristics of high-quality shale section of Longmaxi Formation in Nanchuan Area [J]. Petroleum Geology & Engineering, 2021, 35(4): 21-25.
- [23] 余秋均. 基于 MRGC 聚类方法的测井相分析和岩性识别[J]. 石油地质与工程, 2022, 36(1): 26-31.
- YU Qiujun. Logging facies analysis and lithology identification based on MRGC clustering method [J]. Petroleum Geology & Engineering, 2022, 36(1): 26-31.
- [24] 刘思琦, 李晓松, 李金池. 松辽盆地南部洼槽下白垩统泥页岩孔隙发育特征及其控制因素[J]. 大庆石油地质与开发, 2022, 41(1): 23-32.
- LIU Siqi, LI Xiaosong, LI Jinchi. Pore development characteristics and controlling factors of Lower Cretaceous mud shale in the troughs of south Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2022, 41(1): 23-32.
- [25] 周凯, 陈西洋, 屈兴勃. 页岩储层微观孔隙、流体测定方法及吸附-解吸实验: 以鄂尔多斯榆林地区盒8段储层为例[J]. 大庆石油地质与开发, 2022, 41(2): 139-146.
- ZHOU Kai, CHEN Xiyang, QU Xingbo. Determining methods of micro pore and liquids and adsorption desorption experiment for shale reservoir: taking Member He-8 reservoir in Ordos Yulin area as an example [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2022, 41(2): 139-146.

编辑 张耀星