



鄂尔多斯盆地陕北斜坡储层岩石学特征及油气勘探指示 ——以油房庄北部长 6 油层组为例

赵春晨^{1,2}, 刘护创¹, 畅 斌^{1,2}, 王 宁^{1,2}

1. 陕西工业职业技术学院, 陕西 咸阳 712000;

2. 咸阳市数字城市与地理空间大数据技术重点实验室, 陕西 咸阳 712000

摘 要: 为明确鄂尔多斯盆地油房庄北部有利相带和优质储层发育区, 推进鄂尔多斯盆地探明储量的进一步扩大, 通过岩心薄片观察、岩石矿物成分分析测定等多种手段开展油房庄北部重点层段长 6 油层组储层的碎屑颗粒组成、填隙物组分等关键特征要素研究, 并在此基础上分析长 6 油层组储层重、轻矿物分布规律, 进而探讨物源的指示意义以及油气耦合关系, 以期补充该地区关于储层岩石学和物源分析的科研成果。经分析, 长 6 砂岩储层主要为长石砂岩, 并见少量岩屑长石砂岩; 填隙物的类型多、含量变化大, 主要包括黏土胶结物、碳酸盐类胶结物、硅质胶结物等; 粒级分布以细砂为主, 颗粒磨圆为次棱角状, 颗粒分选中等以上占主体; 胶结类型以薄膜-孔隙型和孔隙-薄膜型、孔隙型、薄膜型、加大-孔隙型胶结为主。长 6 砂岩储层标准偏差对粒度平均值图解和重矿物组合、轻矿物组分都揭示了长 6 油层组时期研究区主要受东北方向物源影响, 发育了多期叠置的三角洲前缘水下分流河道砂体, 并且由于长距离搬运效应, 残余粒间孔、长石溶孔较为发育, 长石、绿泥石和高岭石的矿物组合在一定程度上提升了研究区的储层物性, 并增加了低阻油藏的渗透性。长 61 和长 62 的水下分流河道砂体为研究区的优质储层发育区。

关键词: 长 6 储层; 长石砂岩; 矿物组分; 物源指示; 油气耦合关系; 鄂尔多斯盆地

PETROLOGICAL CHARACTERISTICS AND OIL-GAS EXPLORATION INDICATION OF THE RESERVOIRS ON NORTHERN SHAANXI SLOPE IN ORDOS BASIN: A Case Study of Chang 6 Oil Reservoir in Northern Youfangzhuang Area

ZHAO Chun-chen^{1,2}, LIU Hu-chuang¹, CHANG Bin^{1,2}, WANG Ning^{1,2}

1. Shaanxi Polytechnic Institute, Xianyang 712000, Shaanxi Province, China;

2. Xianyang Key Laboratory of Digital City and Geospatial Big Data Technology, Xianyang 712000, Shaanxi Province, China

Abstract: To identify favorable facies belt and high quality reservoir development area in northern Youfangzhuang area and expand the proved reserves in Ordos Basin, the paper studies the clastic particle composition and interstitial component of Chang 6 oil formation reservoir through various experimental means such as core thin section observation and mineral composition analysis with detailed experimental data. On this basis, the distribution rule of heavy and light

收稿日期: 2023-08-01; 修回日期: 2023-09-04. 编辑: 李兰英.

基金项目: 陕西工业职业技术学院青年科技创新团队项目“智慧城市空间信息技术研究与应用创新团队”(KCTD2022-01); 陕西工业职业技术学院高层次人才科研项目“浅水三角洲沉积动态发育特征研究”(2020-03).

作者简介: 赵春晨(1987—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事层序地层学和储层预测研究, 通信地址 陕西省咸阳市文汇西路 12 号, E-mail//zhaochunchen119@163.com

通信作者: 刘护创(1974—), 男, 正高级工程师, 主要从事含油气盆地分析、地震储层预测研究, 通信地址 陕西省咸阳市文汇西路 12 号, E-mail//258754416@qq.com

minerals in Chang 6 reservoir is analyzed, and the indication significance of provenance and oil-gas coupling relation are discussed to supplement the scientific research results of reservoir petrology and provenance analysis in the area. The results show that Chang 6 sandstone reservoir is mainly feldspar sandstone, with minor lithic arkose. The interstitial materials are various in types and contents, including clay cement, carbonate cement and siliceous cement. The grains are mainly fine sand, sub-angular and above middle-level sorted. The cementation types are mainly film-pore, pore-film, pore, film and overgrowth-pore cementation. The standard deviation vs. average grain size diagram, heavy mineral association and light mineral composition of Chang 6 sandstone reservoir all indicate that the Chang 6 oil formation is mainly affected by the provenance from northeast, therefore the multi-stage superimposed delta front underwater distributary channel sand bodies are developed. Besides, the residual intergranular pores and feldspar dissolution pores are developed due to long distance transport. The mineral assemblage of feldspar, chlorite and kaolinite improves the physical properties of reservoir in the study area and increases the permeability of low resistivity reservoir. The underwater distributary channel reservoirs in Chang 61 and 62 oil formations are high quality reservoir development areas.

Key words: Chang 6 reservoir; feldspar sandstone; mineral composition; provenance indication; oil-gas coupling relation; Ordos Basin

0 引言

岩石学分析作为储层研究的基础，是剖析储层物质构成、揭示成岩过程的重要前提，更是后期地质研究和储层评价的坚实根基，对于油气田的目标寻找、资源接替以及增储上产有重要的现实意义^[1-3]。与此同时，

储层所蕴含的物源信息，例如源区的母岩类型、搬运的空间距离、运输的路径和环境等，对于恢复沉积过程、成岩过程、古环境等方面具有重要的指导意义^[3-13]。本次研究选区——油房庄北部，位于鄂尔多斯盆地内部的陕北斜坡构造单元，覆盖面积约 293 km²（图 1）。21

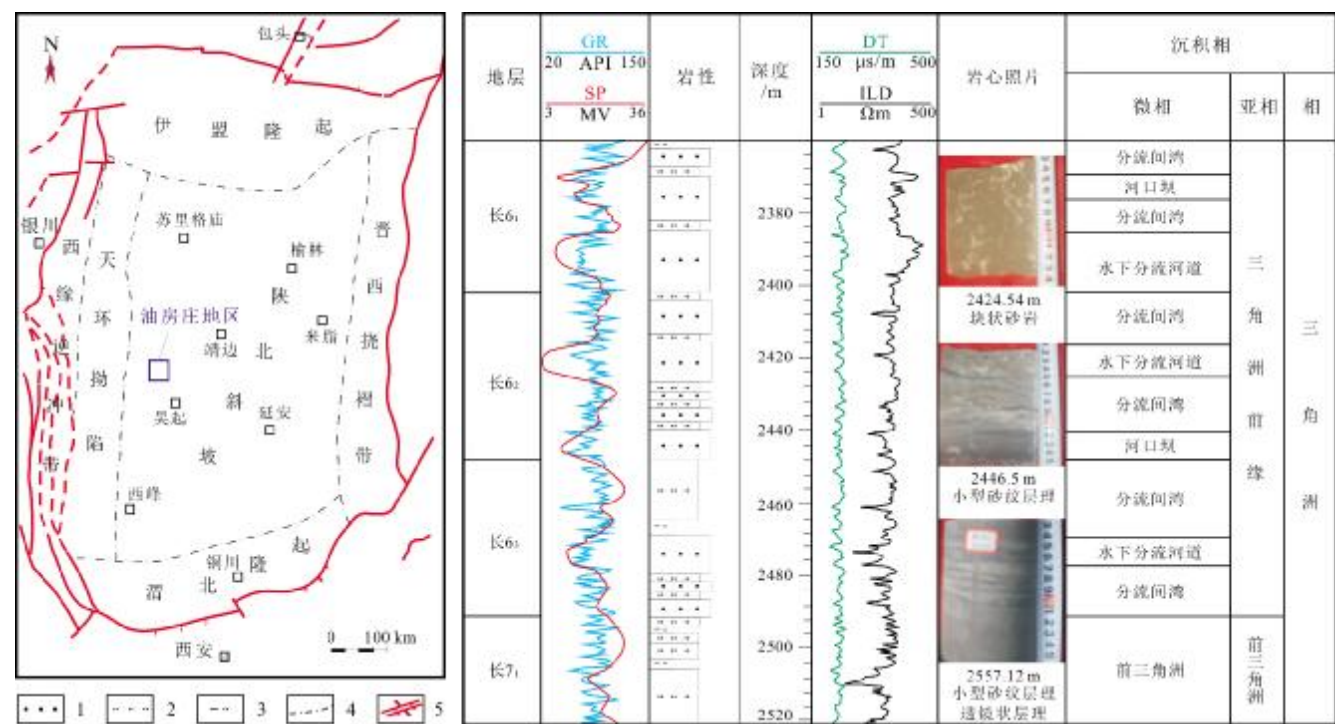


图 1 研究区位置及长 6 综合柱状图

Fig. 1 Location map of the study area and comprehensive column of Chang 6 reservoir

1—砂岩(sandstone); 2—粉砂岩(siltstone); 3—粉砂质泥岩(silty mudstone); 4—构造分区(tectonic division); 5—断层(fault)

世纪初,侏罗系延安组、三叠系延长组获得油气显示和工业油流,揭开了该区油气勘探的序幕,随后长 6 至长 9 等多个层组再获油气发现,展现出良好的油气勘探前景^[3]. 经过多年勘探实践,虽已取得了一定的勘探实效,但越来越多的问题暴露而出. 该区域勘探难度大,前期基础地质研究十分薄弱,尤其是长 6 油层组(简称长 6)储层特征、影响因素乃至发育规律等研究体系的不完整,进一步影响了优质储层发育区的优选和规模储量的发现,限制了油气田勘探开发的进一步推进^[9-11]. 因此从基础和根本出发,扎扎实实的细致剖析储层的岩石学特征显得尤为重要.

基于此,作者选取长 6 储层为研究目标,其形成于延长组沉积期盆地演化过程中沉积物充填高峰期之一,盆地周缘的三角洲沉积均为强进积建设三角洲,三角洲前缘厚层砂体广泛发育^[14],为该地区油气储集提供了良好的场所和空间. 通过岩心观察描述、薄片观察鉴定、扫描电镜、岩矿实验测试等手段(涉及油房庄北部钻井 60 余口),本研究运用岩石参数统计分析、粒度分析以及重矿物和轻矿物分析方法,更加系统地总结油房庄北部长 6 储层碎屑颗粒组分、填隙物组分以及砂岩结构等特征,并开展该地区长 6 重矿物、轻矿物的物源分析,以期为该地区未来有利勘探目标评价提供借鉴.

1 岩石学特征

1.1 碎屑颗粒组分特征

长 6 油层组长 6₃、长 6₂ 和长 6₁ 储层碎屑颗粒成分近似,均以长石为主,平均含量为 43.54%;其次为石英,平均含量为 24.9%;岩屑含量低,平均为 9.4%,岩屑中主要是变质岩屑,平均含量为 6.7%;填隙物平均

含量为 15.8%,主要为胶结物,其平均含量为 14.7%. 根据岩石类型三角图分析(图 2),储层样品主要为长石砂岩,并见少量岩屑长石砂岩(图 3,表 1).

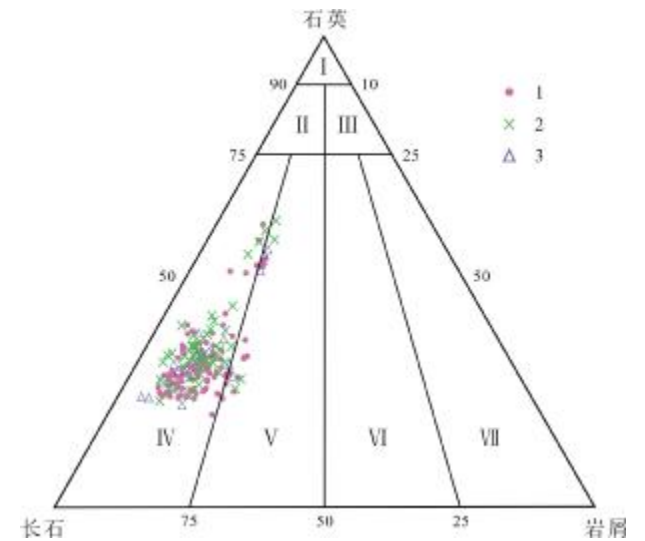


图 2 油房庄北部地区长 6 岩石类型三角图

Fig. 2 Triangular diagram of rock types of Chang 6 reservoir in northern Youfangzhuang area

1—长 6₁ (Chang 6₁); 2—长 6₂ (Chang 6₂); 3—长 6₃ (Chang 6₃); I—石英砂岩 (quartz sandstone); II—长石质石英砂岩 (feldspathic quartz sandstone); III—岩屑质石英砂岩 (lithic quartz sandstone); IV—长石砂岩 (feldspar sandstone); V—岩屑质长石砂岩 (lithic feldspar sandstone); VI—长石质岩屑砂岩 (feldspathic lithic sandstone); VII—岩屑砂岩 (lithic sandstone)

1.2 填隙物组分特征

研究区填隙物的类型多,含量变化大,主要包括黏土胶结物、碳酸盐类胶结物、硅质胶结物等. 长 6₃ 胶结物含量为 12.8%,杂基为 1.4%,胶结物成分主要以高岭石为主,占总成分的 4.02%,其次为铁方解石、硅质、

表 1 油房庄北部地区长 6 砂岩成分含量表

Table 1 Composition contents of sandstone in Chang 6 reservoir of northern Youfangzhuang area

层位	石英类	长石类	岩屑类				云母	填隙物			样品个数
			合计	火成岩屑	变质岩屑	沉积岩屑		合计	杂基	胶结物	
长 6 ₁	24.4	44.0	9.7	2.3	6.9	0.5	5.6	16.3	0.9	15.4	113
长 6 ₂	25.1	42.7	9.1	2.1	6.7	0.3	7.9	15.5	1.4	14.1	51
长 6 ₃	27.1	42.6	8.8	2.7	5.9	0.1	7.3	14.2	1.4	12.8	21

含量单位:%.

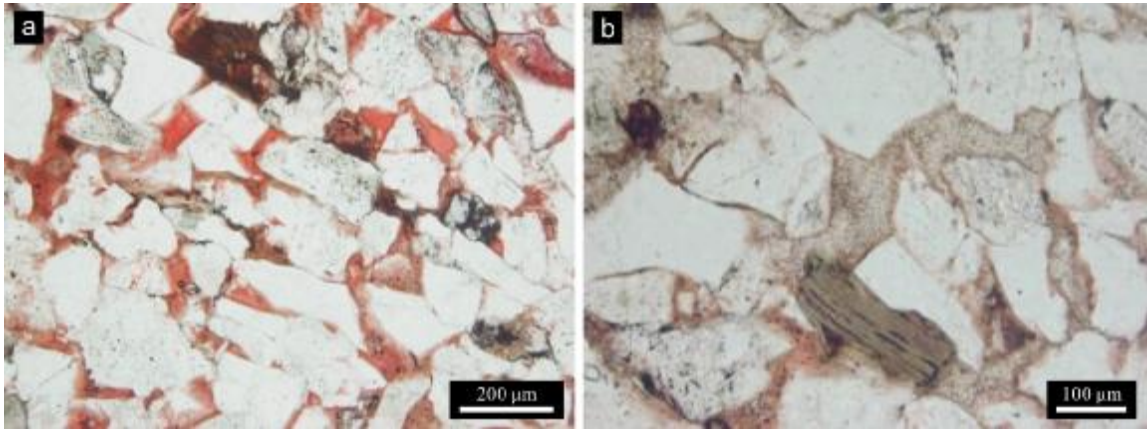


图 3 油房庄北部地区长 6₁ 储层碎屑颗粒镜下特征

Fig. 3 Microphotographs of elastic particles in Chang 6 reservoir of northern Youfangzhuang area
a— C205 井,2240.75 m; b— Y99 井,2208.61 m

绿泥石、水云母，分别占总成分的 2.43%、2.32%、1.95%、1.35%；长 6₂ 胶结物含量为 14.1%，杂基为 1.4%，胶结物成分主要为绿泥石、高岭石，分别占总成分的 4.84%、3.92%，其次为铁方解石、水云母和硅质，分别占总成分的 2.79%、1.17%、1.03%；长 6₁ 胶结物含量为 15.4%，杂基为 0.9%，胶结物成分主要为绿泥石，分别占总成分的 6.35%，其次为高岭石、铁方解石，分别占总成分的 3.59%、3.22%。长 6 储层胶结物整体上以绿泥石和高岭石为主，其次为铁方解石、硅质和水云母，其他胶结物含量较低(图 4)。

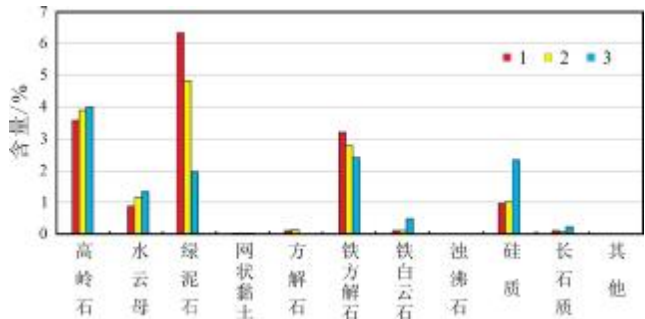


图 4 油房庄北部地区长 6 胶结物含量分布直方图

Fig. 4 Distribution histogram of cement contents in Chang 6 reservoir of northern Youfangzhuang area
1—长 6₁ (Chang 6₁); 2—长 6₂ (Chang 6₂); 3—长 6₃ (Chang 6₃)

1.3 储集砂岩结构特征

粒度分析资料结果表明，长 6 储层粒度分布以细砂为主。长 6₃ 细砂平均含量 83.4%，粉砂含量占 9.3%，中砂含量占 6.2%；粒度分布的标准偏差为 0.55，偏度

为 0.18，峰度为 1.11，分选系数为 1.62。长 6₂ 细砂平均含量 85.9%，粉砂含量占 8.8%，中砂含量占 2.2%；粒度分布的标准偏差为 0.54，偏度为 0.19，峰度为 1.02，分选系数为 1.80。长 6₁ 细砂平均含量 86.4%，粉砂含量占 10.8%，中砂含量占 1.7%；粒度分布的标准偏差为 0.53，偏度为 0.18，峰度为 1.06，分选系数为 1.62 (表 2)。

薄片鉴定结果表明，研究区长 6 储层碎屑颗粒为次棱角状，颗粒分选中等以上占主体，胶结类型以薄膜-孔隙型和孔隙-薄膜型、孔隙型、薄膜型、加大-孔隙型胶结为主，可见加大型、再生-孔隙型胶结(图 3)。

根据油房庄北部长 6 储层样品标准偏差-粒度关系图，粒度 ϕ 值主要在 2~4 之间，主体落在分选中等到好的三角洲前缘位置(图 5)，说明沉积区距离物源区较远，沉积物经过搬运的距离和时间相对较长。因此，由标准偏差对粒度平均值的图解分析结果，结合其他岩石学特征，可证明研究区长 6 油层组沉积期主要为湖泊三角洲前缘沉积环境。另一方面，长 6 油层组 C-M 图具有 QR 段特点(图 5)，代表递变悬浮沉积，其属于典型牵引流沉积特征，且由于其 C 值和 M 值相对较小，水动力条件相对较弱，颗粒相对较细，同样反映了三角洲前缘水下分流河道的沉积特征。

2 碎屑矿物组分分析

2.1 重矿物分析

砂岩碎屑物质主要来源于母岩机械破碎的产物，

表 2 油房庄北部地区长 6 储层粒度参数统计表

Table 2 Parameters of grain size of Chang 6 reservoir in northern Youfangzhuang area

层位	粒度(φ)					矩法				图解法						
	粗砂 (0~1)	中砂 (1~2)	细砂 (2~4)	粉砂 (4~5)	泥(>5)	平均值	标准偏差	偏度	峰度	平均值	标准偏差	偏度	峰度	C 值/mm	M 值/mm	分选系数
长 6 ₁	0	1.7%	86.4%	10.8%	1.2%	3.13	0.61	1.52	8.82	3.10	0.53	0.18	1.06	0.24	0.12	1.62
长 6 ₂	0	2.2%	85.9%	8.8%	3.1%	3.12	0.60	1.71	11.36	3.09	0.54	0.19	1.02	0.24	0.13	1.80
长 6 ₃	0	6.2%	83.4%	9.3%	1.1%	3.01	0.58	1.00	5.51	2.98	0.55	0.18	1.11	0.27	0.14	1.62

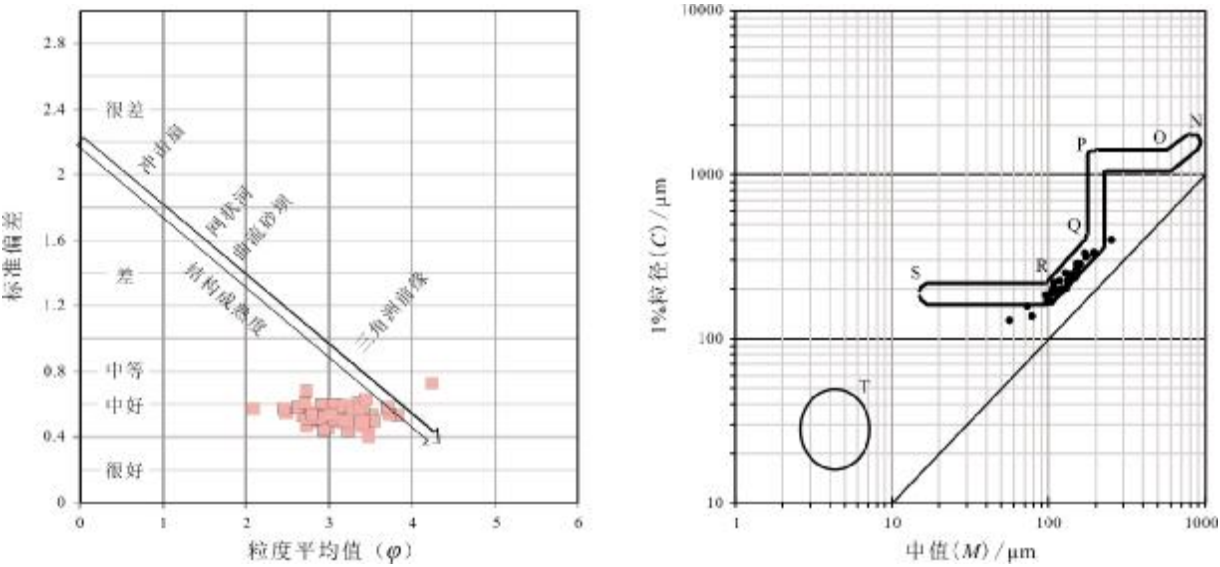


图 5 油房庄北部长 6 油层组标准偏差对粒度平均值图解以及 C-M 图

Fig. 5 Standard deviation vs. average grain size diagram and C-M diagram of Chang 6 reservoir in northern Youfangzhuang area

其中重矿物是物源区的重要标志, 根据重矿物的物性特征(如颜色、形态、粒度、硬度、稳定性等)及其组合关系可以判别物源^[15-17]. 稳定重矿物抗风化能力强, 分布广泛, 在远离母岩区的沉积岩中其含量相对增高; 不稳定重矿物抗风化能力弱, 分布不广, 离母岩愈远其相对含量愈少.

油房庄北部地区长 6 储集层重矿物中锆石含量为 35%~86%, 平均为 39.8%; 石榴子石含量为 22%~88%, 平均为 39.6%; 白钛矿含量平均为 14.9%. 根据重矿物组合特征, 研究区整体具有锆石-石榴子石-白钛矿组合的特点(图 6), 因此, 研究区长 6 油层组沉积期沉积明显地受到东北物源体系的影响.

2.2 轻矿物组分分析

不同物源区的岩石矿物碎屑含量能真实反映出物源区气候情况、物理风化作用强度、搬运距离以及堆积

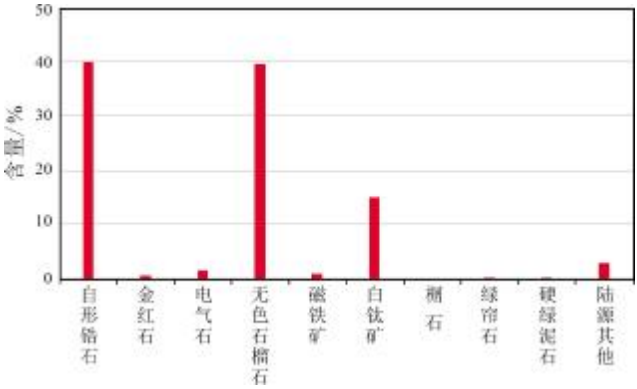


图 6 油房庄北部地区长 6 储层重矿物分布直方图

Fig. 6 Distribution histogram of heavy mineral contents in Chang 6 reservoir of northern Youfangzhuang area

速度等^[17-20]. 在碎屑物长距离搬运过程中, 沿着物源延伸方向, 砂岩中不稳定组分会遭受磨蚀破裂和化学

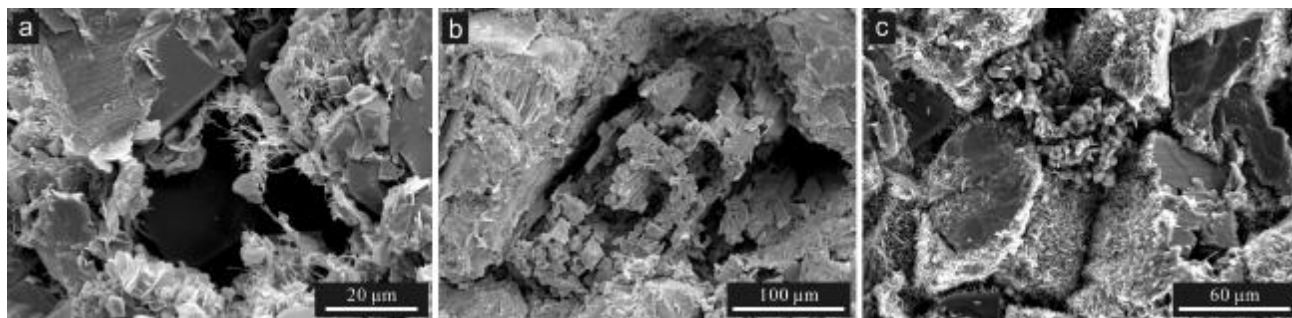


图8 油房庄北部长6储层孔隙特征

Fig. 8 Pore characteristics of Chang 6 reservoir in northern Youfangzhuang area

a— G252井, 2374.45 m, 长₆₁, 残余粒间孔间分布片状、丝缕状伊利石和自生石英(residual intergranular pores with sheet-like and filamentous illite and authigenic quartz); b— G252井, 2592.37 m, 长₆₃, 长石粒内溶蚀孔隙(dissolution pores in feldspar grains); c— Y99井, 长₆₁, 2189.91 m, 孔隙中的绿泥石薄膜(chlorite film in pores)

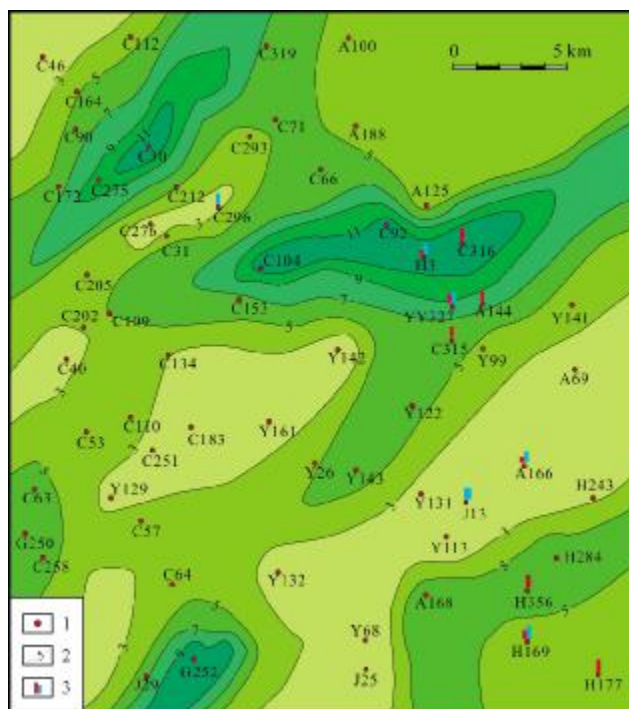
残余孔-溶孔相、绿泥石+高岭石胶结残余孔-粒间孔相为主。由于长₆₁、长₆₂油层亚组储层相对都比较发育, 油气运移会优先选择高孔高渗带作为优势运移通道。与高岭石胶结、长石溶蚀相关的成岩相带以及含烃流体注入后形成酸性成岩环境能极大改善储层物性, 是油气运移的优势通道。生产实践也表明这类成岩相带在长6储层中往往油藏更加富集, 试油试采效果更好(图9), 因此长₆₁和长₆₂的水下分流河道储层为该研究区的优质储层发育区。

4 结论

(1)油房庄北部长6油层组储层主要为长石砂岩, 并见少量岩屑长石砂岩; 填隙物的类型多、含量变化大, 主要包括黏土胶结物、碳酸盐岩类胶结物、硅质胶结物等; 粒度分布以细砂为主, 颗粒磨圆为次棱角状, 颗粒分选中等以上占主体; 胶结类型以薄膜-孔隙型和孔隙-薄膜型、孔隙型、薄膜型、加大-孔隙型胶结为主。

(2)根据研究区样品标准偏差-粒度关系, 长6油层组储集层以细砂为主, 分选中等一好, 沉积区距离物源区较远, 研究区长6油层组沉积期主要为湖泊三角洲前缘沉积环境。重矿物组合整体具有锆石-石榴子石-白钛矿组合的特点, 轻矿物组分以高长石岩屑、低石英含量为主要特征。粒度特征、重矿物和轻矿物组合分布特征均揭示研究区主要受东北物源影响, 处于巨型三角洲西南边缘, 发育了多期河道交互叠置的三角洲前缘水下分流河道砂体。

(3)由于东北物源长期搬运与供给, 形成稳定的岩

图9 油房庄北部长₆₁储层绿泥石含量与油气产量匹配图Fig. 9 Correlation map of chlorite content and oil-gas production in Chang 6₁ reservoir of northern Youfangzhuang area

1—井位(well location); 2—绿泥石含量等值线(contour line of chlorite content); 3—油水量(oil-water content)

矿组合。有利成岩相决定了次生孔隙相对发育的区域、控制了高孔高渗砂体的分布范围。长6油层组的优势成岩相以绿泥石胶结残余孔隙相、高岭石胶结残余孔-溶孔相、绿泥石+高岭石胶结残余孔-粒间孔相为主, 并造成长₆₁油层亚组物性最好, 其次为长₆₂油层亚组, 长₆₃油层亚组物性相对最差。

参考文献(References):

- [1]刘玲,张创,孙明.志丹油田纸坊北油区三叠系延长组长6-长9储层致密史与油藏成藏史研究[J].地质与资源,2023,32(3):327-334.
Liu L, Zhang C, Sun M. Compacting and accumulation history of Chang 6-Chang 9 reservoirs from the Triassic Yanchang Formation in Zhidan Oilfield[J]. Geology and Resources, 2023, 32(3): 327-334.
- [2]张琼,徐文礼,徐炯,等.渤海湾盆地富林洼陷古近系沙三段储层特征及油气主控因素[J].中国地质,2023,50(2):543-556.
Zhang Q, Xu W L, Xu X, et al. Reservoir characteristics and main controlling factors of the third member of Paleogene Shahejie Formation in Fulin sag, Bohai Bay Basin [J]. Geology in China, 2023, 50(2): 543-556.
- [3]王雪茹.油房庄南区4+5储层综合评价[D].西安:西安石油大学,2015.
Wang X R. The comprehensive evaluation of Youfangzhuang south Chang 4+5 reservoir[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2015.
- [4]王勇.油房庄、新安边区块7储层分析[J].化工管理,2014(29):31.
Wang Y. Analysis of Chang 7 reservoir in Youfangzhuang and Xin'anbian area[J]. Chemical Enterprise Management, 2014(29): 31. (in Chinese)
- [5]贾春明,潘拓,余海涛,等.准噶尔盆地沙湾凹陷风城组储层特征及物性控制因素分析[J].西北地质,2023,56(4):49-61.
Jia C M, Pan T, Yu H T, et al. Controlling factors on physical property and reservoir characters of Fengcheng Formation in Shawan depression, Junggar Basin[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(4): 49-61.
- [6]于涛,于江涛,孟宁宁,等.鄂尔多斯盆地油房庄延长组长7油层组沉积环境的粒度特征研究[J].中国科技论文,2017,12(3):255-262.
Yu T, Yu J T, Meng N N, et al. Grain size distributions of sedimentary environment of Chang 7 reservoir of Yanchang Formation, Youfangzhuang area, Ordos Basin[J]. China Sciencepaper, 2017, 12(3): 255-262.
- [7]喻建,张严,赵会涛,等.鄂尔多斯盆地志靖-安塞地区延长组长10储层特征及评价[J].地质与资源,2019,28(4):364-371.
Yu J, Zhang Y, Zhao H T, et al. Characteristics and evaluation of C-10 reservoir in Zhijing-Ansai area, Ordos Basin [J]. Geology and Resources, 2019, 28(4): 364-371.
- [8]张岚,王少鹏,吴穹,等.古潜山Z油田下古生界碳酸盐岩主控因素及储层发育模式[J].地质与资源,2023,32(1):49-56.
Zhang L, Wang S P, Wu Q Y, et al. Main controlling factors and reservoir development model of Lower Paleozoic carbonate rocks in buried hill Z Oilfield[J]. Geology and Resources, 2023, 32(1): 49-56.
- [9]卢广利,刘冠华,姚元建,等.鄂尔多斯盆地油房庄地区长8储层孔隙结构研究[J].辽宁化工,2012,41(5):515-517.
Lu G L, Liu G H, Yao Y J, et al. Research on pore structure of Chang 8 reservoir in Youfangzhuang area, Ordos Basin [J]. Liaoning Chemical Industry, 2012, 41(5): 515-517.
- [10]李岩.鄂尔多斯盆地油房庄地区延长组长4+5油藏沉积微相研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
Li Y. Sedimentary microfacies research of Chang4 +5 reservoir of Yanchang Formation in Youfangzhuang area, Ordos Basin[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [11]刘佳庆,康锐,杨传奇,等.鄂尔多斯盆地油房庄南部长4+5低阻油层成因分析与识别方法[J].非常规油气,2017,4(2):32-39.
Liu J Q, Kang R, Yang C Q, et al. Origin analysis and recognition methods of Chang 4 +5 low-resistivity reservoir in the south of Youfangzhuang, Ordos Basin[J]. Unconventional Oil & Gas, 2017, 4(2): 32-39.
- [12]付振柯,王晓龙,饶松,等.川西坳陷须三段致密砂岩优质储层特征及控制因素[J].中国地质,2022,49(1):298-310.
Fu Z K, Wang X L, Rao S, et al. The characteristics and main controlling factors of high quality tight sandstone reservoir in the 3th member of Xujiahe Formation in West Sichuan Depression[J]. Geology in China, 2022, 49(1): 298-310.
- [13]朱国华.碎屑岩储集层孔隙的形成、演化和预测[J].沉积学报,1992,10(3):114-123.
Zhu G H. Origin and evolution and prediction of porosity in clastic reservoir rocks[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 114-123.
- [14]蔺宏斌,侯明才,陈洪德,等.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组沉积体系特征及演化[J].成都理工大学学报(自然科学版),2008,35(6):674-680.
Lin H B, Hou M C, Chen H D, et al. Characteristics and evolution of the sedimentary system of Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2008, 35(6): 674-680.
- [15]和钟铎,刘招君,张峰.重矿物在盆地分析中的应用研究进展[J].地质科技情报,2001,20(4):29-32.
He Z H, Liu Z J, Zhang F. Latest progress of heavy mineral research in the basin analysis[J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20(4): 29-32.
- [16]李凤杰,王多云,王峰,等.坳陷湖盆三角洲前缘储层砂体成因研究[J].石油实验地质,2007,29(1):63-68,94.
Li F J, Wang D Y, Wang F, et al. Genetic research of reservoirs at delta front in depressed lacustrine basins[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2007, 29(1): 63-68, 94.

- the West Qinling Orogen[J]. *Geoscience*, 2021, 35(6): 1651–1676.
- [24]王晓亮, 陈军典, 程识, 等. 辽东半岛金家岭花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及地质意义[J]. *世界地质*, 2023, 42(1): 11–25.
- Wang X L, Chen J D, Cheng S, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology, geochemical characteristics and geological significances of Jinjialing granite in Liaodong Peninsula[J]. *World Geology*, 2023, 42(1): 11–25.
- [25]李海洋, 王玉平, 吴文彬, 等. 辽东袁家堡石英二长斑岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义[J]. *桂林理工大学学报*, 2019, 39(3): 551–557.
- Li H Y, Wang Y P, Wu W B, et al. Zircon U-Pb dating, geochemical characteristics and geological significance of beschtauite in Yuanjiapu, eastern Liaoning [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2019, 39(3): 551–557.
- [26]张旗, 潘国强, 李承东, 等. 花岗岩构造环境问题: 关于花岗岩研究的思考之三[J]. *岩石学报*, 2007, 23(11): 2683–2698.
- Zhang Q, Pan G Q, Li C D, et al. Are discrimination diagrams always indicative of correct tectonic settings of granites? Some crucial questions on granite study(3)[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(11): 2683–2698.
- [27]宋运红, 杨凤超, 郝立波, 等. 辽东凤凰山正长花岗岩 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学特征与陆内伸展作用[J]. *中国地质*, 2022, 49(5): 1687–1698.
- Song Y H, Yang F C, Hao L B, et al. SHRIMP U-Pb age, geochemical characteristics and its intracontinental extension of Fenghuangshan syenogranite in the East Liaoning[J]. *Geology in China*, 2022, 49(5): 1687–1698.
- [28]郭春丽, 吴福元, 杨进辉, 等. 中国东部早白垩世岩浆作用的伸展构造性质——以辽东半岛南部饮马湾山岩体为例[J]. *岩石学报*, 2004, 20(5): 1193–1204.
- Guo C L, Wu F Y, Yang J H, et al. The extensional setting of the Early Cretaceous magmatism in eastern China: Example from the Yinnawanshan pluton in southern Liaodong Peninsula [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(5): 1193–1204.
- [29]李三忠, 刘建忠, 赵国春, 等. 华北克拉通东部地块中生代变形的关键时限及其对构造的制约——以胶辽地区为例[J]. *岩石学报*, 2004, 20(3): 633–646.
- Li S Z, Liu J Z, Zhao G C, et al. Key geochronology of Mesozoic deformation in the eastern block of the North China Craton and its constraints on regional tectonics: A case of Jiaodong and Liaodong Peninsula[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(3): 633–646.

(上接第 338 页/Continued from Page 338)

- [17]赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展[J]. *沉积学报*, 2003, 21(3): 409–415.
- Zhao H G, Liu C Y. Approaches and prospects of provenance analysis [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(3): 409–415.
- [18]蔺宏斌, 姚泾利. 鄂尔多斯盆地南部延长组沉积特性与物源探讨[J]. *西安石油学院学报(自然科学版)*, 2000, 15(5): 7–9.
- Lin H B, Yao J L. Depositional feature and material source analysis of Yanchang Group in Eerduosi Basin[J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition)*, 2000, 15(5): 7–9.
- [19]宋凯, 吕剑文, 杜金良, 等. 鄂尔多斯盆地中部上三叠统延长组物源方向分析与三角洲沉积体系[J]. *古地学报*, 2002, 4(3): 59–66.
- Song K, Lü J W, Du J L, et al. Source direction analysis and delta depositional systems of Yanchang Formation of the Upper Triassic in the central Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2002, 4(3): 59–66.
- [20]魏斌, 魏红红, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组物源分析[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2003, 33(4): 447–450.
- Wei B, Wei H H, Chen Q H, et al. Sediment provenance analysis of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2003, 33(4): 447–450.
- [21]李文厚, 刘溪, 张倩, 等. 鄂尔多斯盆地中晚三叠世延长组沉积演化[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2019, 49(4): 605–621.
- Li W H, Liu X, Zhang Q, et al. Deposition evolution of Middle-Late Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2019, 49(4): 605–621.