

鄂尔多斯盆地靖边油田马宁区长 2 油层组储层特征研究

荀兆杰,钟建华,李 勇,孙宁亮

中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东 青岛 266580

摘 要 :目前针对靖边油田马宁区长 2 油层组储层特征研究不足,导致马宁区进一步的勘探开发受到局限。本次研究根据岩心观察、薄片鉴定、孔渗分析、扫描电镜及压汞实验等资料,在研究区长 2 油层组储层特征研究的基础上,对储层质量进行了有效的分类评价。研究表明,靖边长 2 油层组储层以中细粒长石砂岩为主,杂基主要由水云母、绿泥石膜组成,胶结物主要为方解石、硅质、白云石;主要储集空间为次生粒间孔。储层砂岩孔喉连通性较好,且分选性较好。总体上马宁地区长 2 油层组储层由于受岩性、成岩等作用影响,表现中低孔、中低渗储层特征。

关键词 :储层评价;储层特征;长 2 储层;靖边油田;鄂尔多斯盆地

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.06.007

CHARACTERISTICS OF THE C-2 RESERVOIR IN MANING AREA OF ORDOS BASIN

XUN Zhao-jie, ZHONG Jian-hua, LI Yong, SUN Ning-liang

School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong Province, China

Abstract : Due to the lack of research on sedimentary microfacies and reservoir characteristics of Maning area in Jingbian oilfield, Ordos Basin, the exploration and development in the area is limited at present. Based on core observation, thin section analysis, physical testing, scanning electron microscopy and mercury intrusion curve data, the reservoir characteristics are studied and the reservoir quality is classified. The results show that the C-2 reservoir in Maning area is dominated by fine-grained feldspathic sandstone, with matrix primarily composed of hydromica and chlorite, cemented by calcite, silica and dolomite. The main reservoir spaces are intergranular dissolved pores and ethylene pores. The pore throat of the sandstone reservoir has good connectivity and sorting. The C-2 reservoir formation in Maning area is characterized by low-medium permeability and low-medium porosity.

Key words : reservoir quality assessment; reservoir characteristics; C-2 reservoir; Jingbian oilfield; Ordos Basin

0 前言

鄂尔多斯盆地属于一个多旋回克拉通叠合的盆地。该盆地由中、新元古代以后形成的盖层沉积和吕梁期形成的统一固化结晶基底构成,特点是其具有明显的二元结构^[1]。上三叠统延长组是在鄂尔多斯盆地拗陷持续发展和稳定沉降过程中沉积的以河流-湖泊相为特征的陆源碎屑岩体系^[2]。

靖边马宁区长 2 油层组砂岩发育,分布稳定,是重要的产油层位^[3]。但目前对该区长 2 油层组储层发育特征研究不足,给未来进一步的勘探开发带来了局限性。为了有利于指导下一步油气勘探开发,本文通过普通薄片和铸体薄片观察以及扫描电镜研究,并结合 X 射线衍射与压汞分析等资料,对鄂尔多斯盆地靖边马宁地区延长组长 2 段油层组的储层物性特征及影响

收稿日期:2016-04-05;修回日期:2016-06-29。编辑:张哲。

基金项目:延长油田项目“靖边油田马宁区延安组、延长组新增石油探明储量计算”(YT0914SF0068)。

作者简介:荀兆杰(1986—),男,硕士,沉积学及层序地层学专业,通信地址:山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号, E-mail://916592499@qq.com

因素进行研究, 试图为该区延长组深入油气勘探提供科学依据.

1 地质概况

靖边油田马宁区位于陕西省榆林市靖边县天赐湾乡南部. 研究区大地构造位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡中东部, 整体属于鼻状隆起结构区域. 并且这一井区主要在鄂尔多斯盆地斜坡的偏东部位, 面积约 54 km². 西北邻靖边油田大红高粱区, 西南与靖安、安塞油田相接, 东边与靖边油田青阳岔油田为邻(图 1).

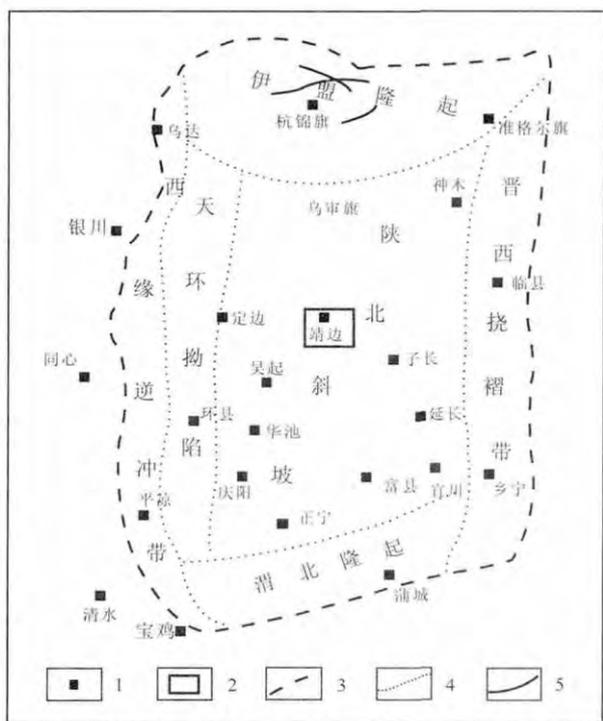


图 1 研究区位置及区域构造单元示意图

Fig. 1 Regional tectonic map of the Jingbian area in Ordos Basin
1—城镇(city/town) 2—研究区(study area) 3—盆地边界(boundary of basin) 4—构造分区线(tectonic division) 5—断层(fault)

2 地层特征与储层微相

长 2 油层组自上而下分为长 21、长 22、长 23 三个油层亚组, 研究区构造总体上为一平缓的西倾单斜, 局部发育多组小型鼻状隆起^[4]. 沉积微相是影响储层储集性能的地质基础^[5]. 长 2 油层组为靖边油田延长组主要储集层之一, 其属于辫状河、曲流河亚相沉积, 河道砂坝为其骨架砂体, 构成良好的储集层^[6]. 研究区发育河床滞留、心滩、河漫滩等沉积微相, 辫状河道迁移迅速、稳定性差导致天然堤、决口扇、泛滥平原沉积不

发育^[7].

3 储层特征

3.1 岩石学特征

靖边油田马宁井区及邻区 15 口井 144 块样品的岩心资料分析显示, 长 2 储层岩性以灰绿色中、细粒长石砂岩或岩屑长石砂岩为主, 具有近似的岩石学特征(图 2). 砂岩的主要矿物成分为长石, 平均含量 50.67%; 其次为石英, 平均含量 31.03%; 岩屑含量平均 5.59%; 云母含量变化较大, 平均为 1.97%. 岩屑主要为变质岩岩屑、火成岩岩屑及少量沉积岩岩屑(表 1). 本区长 2 储层填隙物含量平均 10.94%, 其中杂基平均含量为 5.1%, 胶结物平均含量为 5.84%. 杂基主要由水云母、绿泥石膜组成, 水云母平均含量 1.1%; 绿泥石平均含量 3.97%. 胶结物主要由方解石、硅质、白云石组成, 平均含量分别为 2.3%、1.1%、2.14%(表 1、图 3).

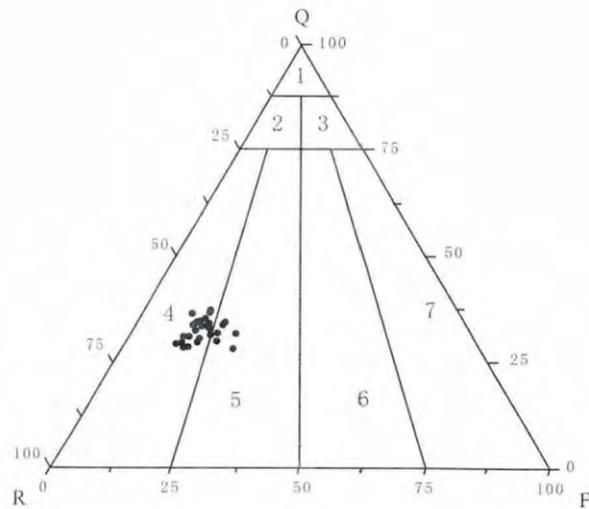


图 2 长 2 油层组砂岩分类三角图

Fig. 2 Classification diagram of sandstone from the C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

1—石英砂岩 (quartz sandstone) 2—长石石英砂岩 (feldspar quartz sandstone) 3—岩屑石英砂岩 (lithic quartz sandstone) 4—长石砂岩 (arkose) 5—岩屑长石砂岩 (lithic arkose) 6—长石岩屑砂岩 (feldspar lithic sandstone) 7—岩屑砂岩 (lithic sandstone)

3.2 物性特征

根据已有岩心资料分析统计, 长 2 储层的孔隙度最大值为 21.2%, 最小值为 4.5%, 平均值为 15.0%; 渗透率最大值为 $199 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最小值为 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,

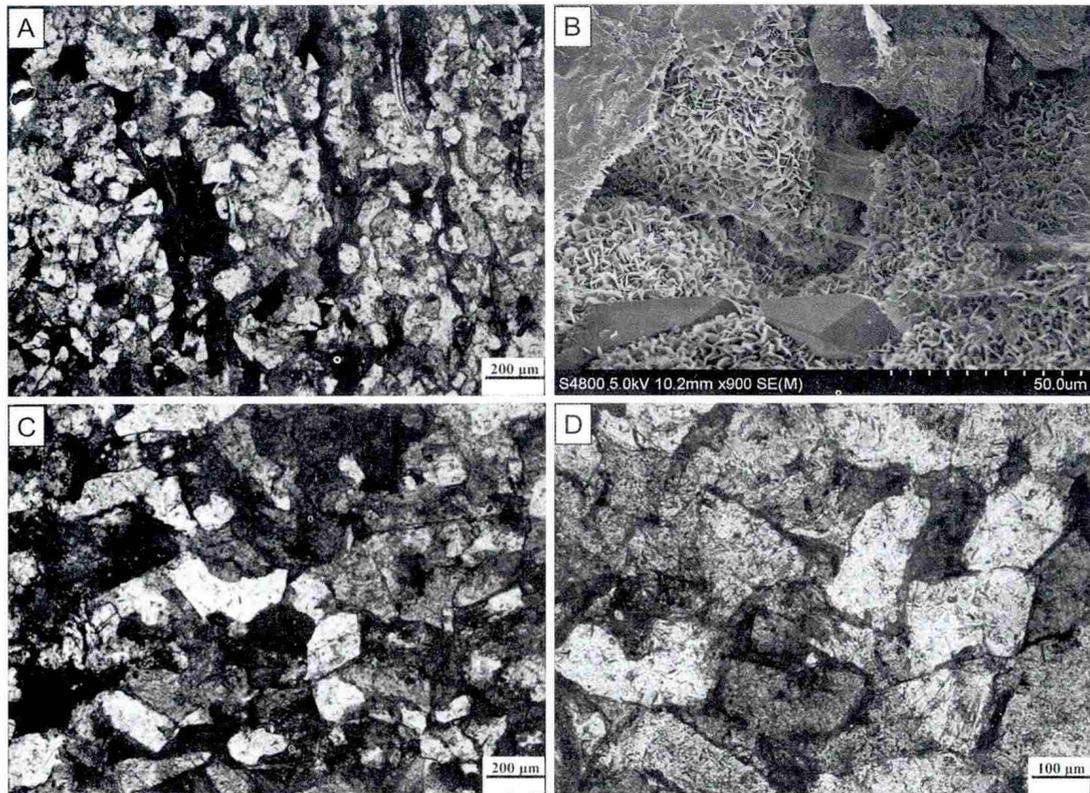


图3 延长组长2油层组砂岩铸体薄片和扫描电镜照片

Fig. 3 Cast section and SEM images of the sandstones from C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

A—靖探 188 ,1256.8 m ,长 2 $\times 200(-)$ 云母压实变形 ;B—靖探 68 ,长 2 8.5 m 绿泥石膜 , $\times 4.0 \text{ k } 5.0 \text{ kV}$;C—靖探 543 ,1243.7 m 延 9 , $\times 200(-)$ 方解石胶结 ;D—靖探 543 ,1043.5 m ,长 2 $\times 100(-)$ 杂基填充

平均值为 $23.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 2).

从孔、渗频率分布直方图(图 4、5)可以看出,长 2 储层孔隙度集中分布在 11%~19%之间,占样品总数的 86.0%,渗透率集中分布在 $0.5 \times 10^{-3} \sim 80 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间.

靖边油田马宁井区长 2 储层孔隙度和渗透率具有一定的正相关关系,表现为渗透率随孔隙度的增加而增大(图 6).

3.3 孔隙类型

对研究区 50 张薄片分析表明,研究区延长组长 2 储层主要储集空间为次生粒间孔,次为溶蚀孔隙,包括粒内溶孔(长石溶孔、岩屑溶孔)(图 7).

(1)原生粒间孔 残余原生粒间孔是砂岩储层经压实和新生矿物充填后残留的原生粒间孔隙空间.它受砂岩成分、组构和成岩作用控制.以此类孔隙为主的砂岩储层,孔隙大、喉道粗、孔隙连通性好.原生粒间

孔也是马宁井区长 2 储层的主要孔隙类型,其含量一般在 2%~13.5%之间,平均 7.7%左右.

(2)次生溶蚀孔 次生溶蚀孔是酸性地层水对储层中不稳定组分溶蚀改造形成的孔隙空间.按溶蚀的颗粒成分,本区延长组长 2 储层的溶蚀孔隙主要有长石溶孔、粒间溶孔和岩屑溶孔.按溶蚀作用发生的部位,有粒间溶孔和粒内溶孔两类.粒间溶孔主要是绿泥石胶结溶孔,粒内溶孔则主要为长石溶孔和岩屑溶孔,并以长石溶孔为主.

(3)微裂缝 对于低孔、低渗储层,裂缝能够改善物性.裂缝在一定程度上加强了岩石孔隙之间的连通状况,使孔隙组合表现为裂缝-孔隙型,增大了岩石渗透率,改善了致密储层的渗透性^[8-9].长 2 储层微裂缝仅发育在部分砂岩中,大多是压实缝和层间缝,主要包括溶孔-粒间孔型.通过铸体薄片观察(图 7D),研究区储层内部裂缝较为发育的地层具有更好的孔渗性能.

表 1 靖边油田马宁区长 2 储层矿物成分统计表

Table 1 Mineral composition of the C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

矿物成分		含量/%
碎屑成分	石英类	31.03
	长石类	50.67
	火成岩岩屑	2.4
	变质岩岩屑	3.1
	沉积岩岩屑	0.09
其他	云母	1.97
	重矿物	
填隙物成分	水云母	1.1
	绿泥石	3.97
	菱铁矿	0
	方解石	2.3
	白云石	2.14
	长石质	0.3
	高岭石	0.03
	硅质	1.1
	重晶石	0

表 2 靖边油田马宁区长 2 油层物性统计表

Table 2 Physical property of the C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

物性	样品数	井数	最大值	最小值	平均值
孔隙度/%	144	4	21.2	4.5	15
渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	144	4	199	0.01	23.9

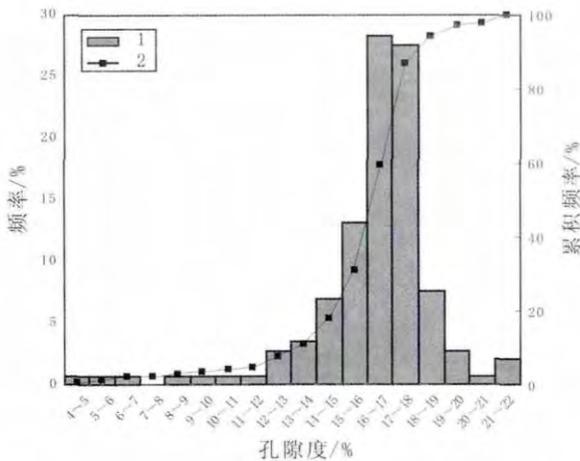


图 4 长 2 油层孔隙度频率分布直方图

Fig. 4 Histogram of porosity frequency of the C-2 oil reservoirs in Yanchang Formation

1—频率(frequency) 2—累积频率(cumulative frequency)

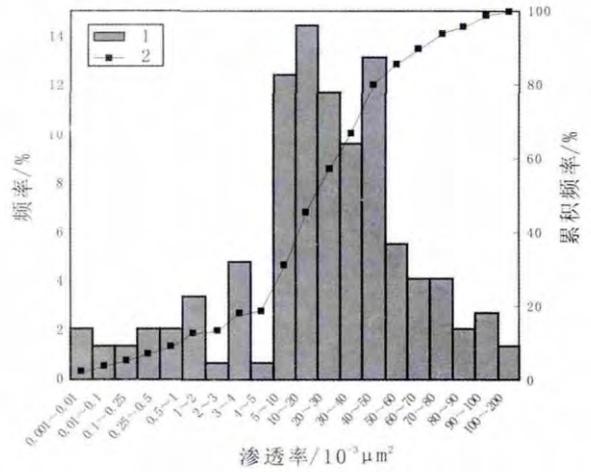


图 5 长 2 油层渗透率频率分布直方图

Fig. 5 Histogram of permeability frequency of the C-2 oil reservoirs in Yanchang Formation

1—频率(frequency) 2—累积频率(cumulative frequency)

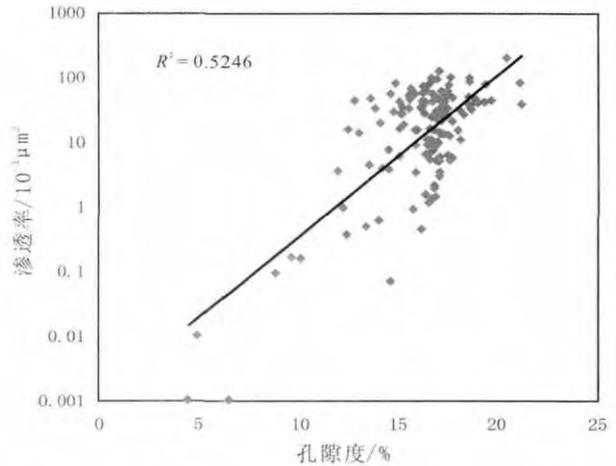


图 6 长 2 油层孔隙度-渗透率关系图

Fig. 6 Interrelationship between porosity and permeability of the C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

3.4 孔喉大小及分布

根据 Pittman 和 Archie 按基质结构及孔隙大小的经典分类^[10]和前人对鄂尔多斯盆地侏罗系延安组、三叠系延长组储层研究成果^[11-12],采用适合本区储层孔隙和喉道的分级标准和命名原则(表 3)^[13].通过薄片分析,长 2 储层平均孔径一般分布在 55~105 μm ,平均 81 μm 左右,属大孔型.平均喉道直径主要分布在 0.05~22.5 μm ,平均 7.8 μm 左右,反映以粗喉道和中细喉道为主.因此,本区长 2 储层属大孔-粗喉型(图 7A)、大孔-中细喉型和 中孔-中细喉型(图 7B).

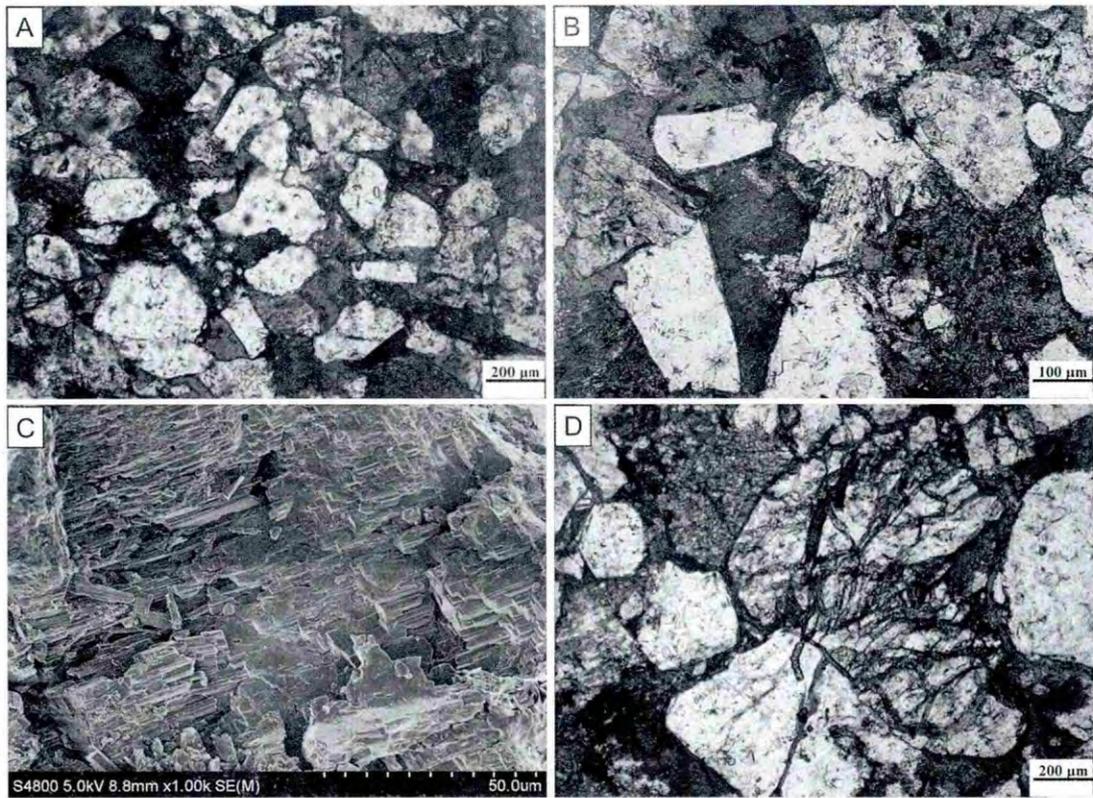


图 7 延长组长 2 油层组砂岩铸体薄片和扫描电镜照片

Fig. 7 Cast section and SEM images of the sandstones from C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

A—靖探 543 ,1297.7 m ,长 2 ×200(-)原生粒间孔 B—靖探 543 ,1297.5 m ,长 2 ×100(-)岩屑溶孔 C—靖探 68 ,1404.2 m ,长 2 ,长石溶蚀孔隙 ×1.0 k ,5.0 kV D—靖探 68 ,1398.5 m ,长 2 ×200(-)微裂缝

表 3 砂岩孔隙、喉道分级标准

Table 3 Grading standard for pore and throat of sandstone

孔隙级别	平均孔径/ μm	喉道级别	平均喉道直径/ μm
大孔隙	>80	粗喉道	>3.0
中孔隙	80~50	中细喉道	3.0~1.0
小孔隙	50~10	细喉道	1.0~0.5
细孔隙	10~0.5	微细喉道	0.5~0.2
微孔隙	<0.5	微喉道	<0.2

3.5 孔隙结构特征

孔隙结构是评定一个储层质量的重要指标，孔隙结构的研究对储层油气的勘探开发有着指导意义^[14]。本区长 2 砂岩孔喉分布不均，排驱压力多分布在 0.01~11.75 MPa，中值压力分布在 0.05~14.51 MPa，孔喉半径均值为 0.02~11.21 μm ，中值孔喉半径为 0.05~17.74 μm ，分选系数分布在 0.01~8.11，退汞效率为 23.86%~63.48%(表 4)。

表 4 靖边油田马宁区孔隙结构参数表

Table 4 Parameters of pore structures of the C-2 oil reservoirs in Yanchang Formation

层位	孔隙度/%	渗透率/ $\times 10^{-3} \text{ m}^2$	排驱压力/MPa	中值压力/MPa	最大孔喉半径/ μm	中值半径/ μm	分选系数	退汞效率/%
长 2	15	23.9	0.01~11.75	0.05~14.51	0.02~11.21	0.05~14.51	0.01~8.11	23.86~63.48

根据区内样品的压汞分析资料与储层物性资料综合分析表明，本区长 2 储层的排驱压力(P_d)、中值压力(P_{50})、最大连通孔喉半径(R_d)、饱和度中值半径(R_{50})、孔喉半径均值(R_m)、孔喉分选系数(S_p)等反映孔喉大小及分布的参数与储层物性之间具有较好的相关性(图 8、9)：渗透率与排驱压力和中值压力均呈负相关，渗透率与喉道的分选系数呈正相关关系，渗透率和孔隙度均与孔喉半径均值呈正相关关系。

依据低渗储层的分类标准(表 5)^[15]，结合本区储层物性、宏观特征、微观孔隙结构、毛管压力曲线等方

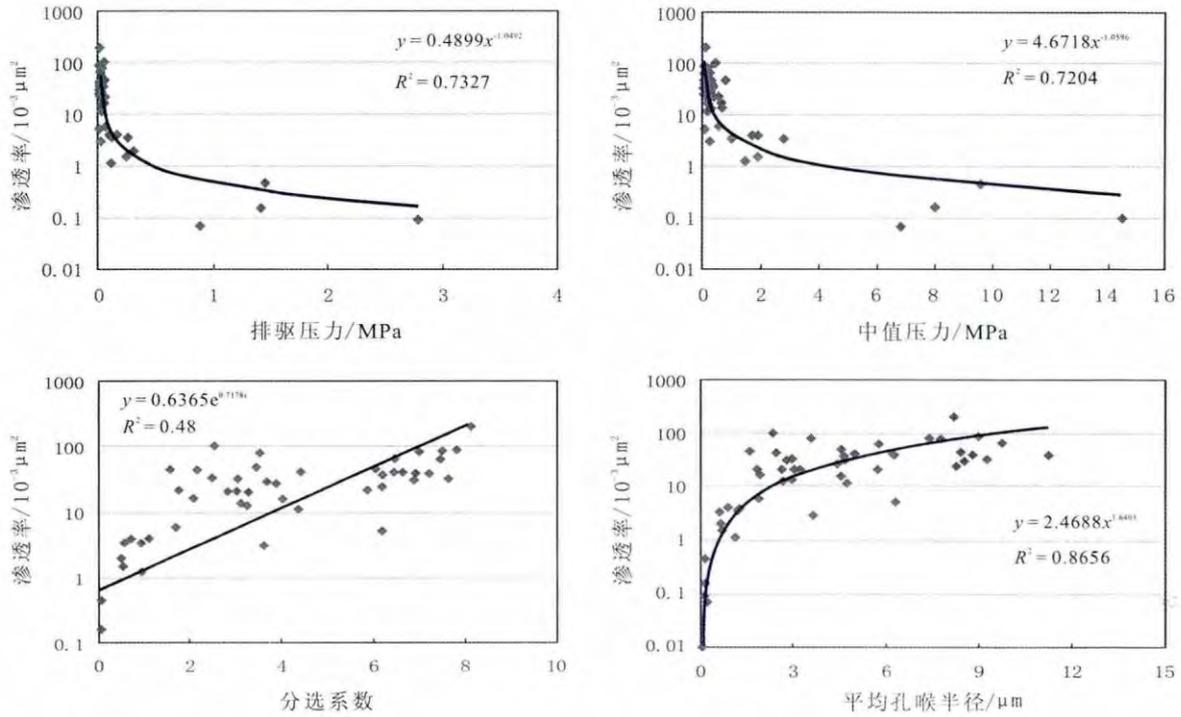


图 8 靖边油田马宁区长 2 孔隙结构参数与渗透率相关关系图

Fig. 8 Interrelationship between permeability and parameters of pore structures of the C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

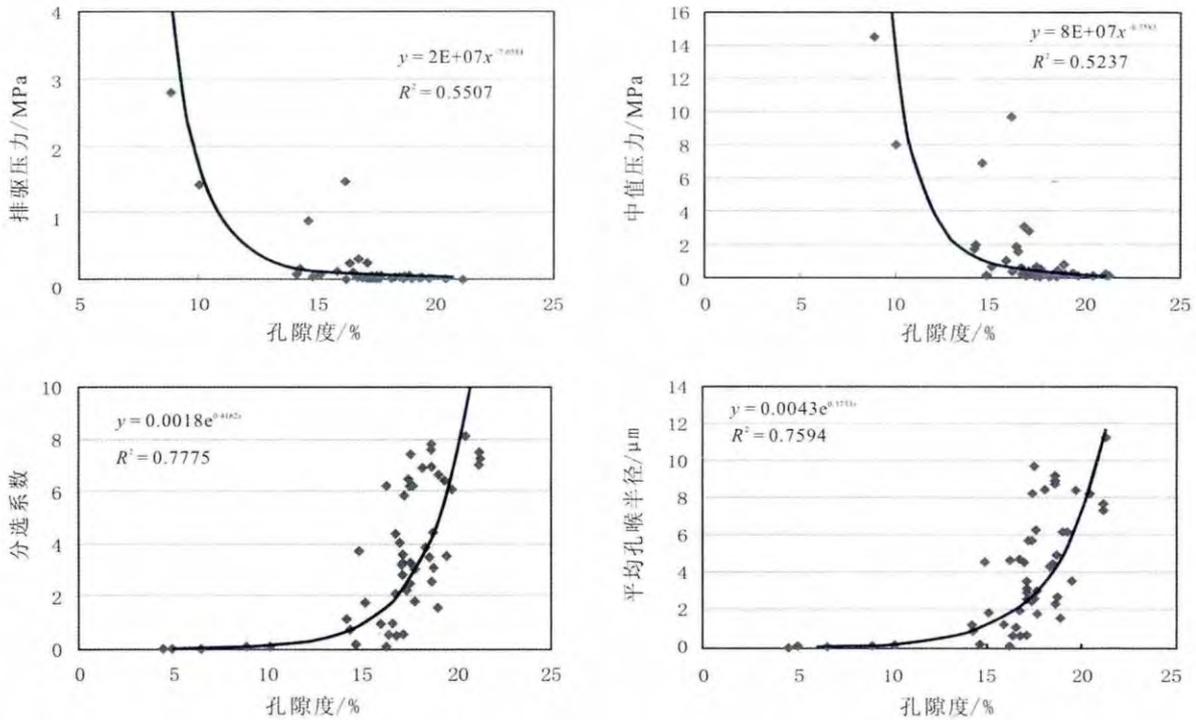


图 9 靖边油田马宁区长 2 孔隙结构参数与孔隙度相关关系图

Fig. 9 Interrelationship between porosity and parameter of pore structures of C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

面特征,可将本区储层分为、a、b和类.各类储层的毛管压力曲线特征如图 10 所示. I 类启动压力

最小,为 0.05 MPa,平台较长. III 类启动压力最大,约为 4 MPa,基本无平台. I 类、IIa 类毛管压力曲线相对

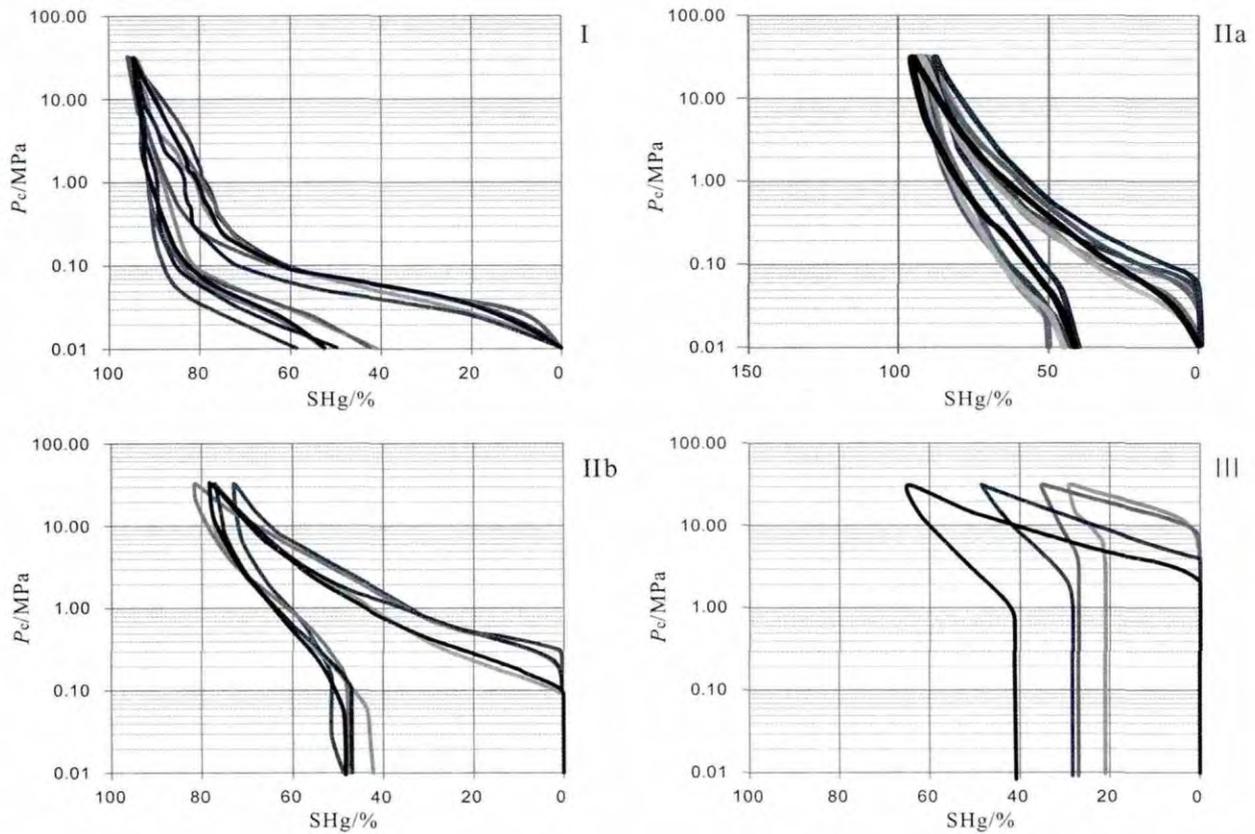


图 10 长 2 油层组毛管压力曲线图

Fig. 10 Curves of capillary pressure of C-2 oil reservoir in Yanchang Formation

表 5 鄂尔多斯盆地中生界砂岩储集层分类评价标准

Table 5 Classification and evaluation criterion of sandstone reservoirs in Ordos Basin

分类参数	低渗透层	特低渗透层		超低渗透层		致密层
		a	b	a	b	
渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	50~10	10~5	5~1	1~0.3	0.3~0.1	<0.1
孔隙度/%	17~15	15~13	13~10	10~8	8~6	<6
排驱压力/MPa	0.04~0.11	0.11~0.16	0.16~0.37	0.37~0.72	0.72~1.31	>1.31
中值压力/MPa	0.27~0.68	0.68~1	1~2.49	2.49~4.90	4.9~9.1	>9.10
最大喉道半径/ μm	16.96~7.05	7.05~4.63	4.63~2.01	2.01~1.03	1.03~0.57	<0.57
中值半径/ μm	2.73~1.10	1.1~0.74	0.74~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08	<0.08
喉道均值/ μm	4.18~1.77	1.77~1.22	1.22~0.52	0.52~0.27	0.27~0.15	<0.15
孔喉组合	中孔粗喉	中孔中细喉	小孔中细喉	小孔细喉	细孔微细喉	微孔微喉

较集中, IIb 类、III 类毛管压力曲线相对较分散, 说明 I 类毛管压力曲线是最有利的一类。

4 储层分类及评价

长 2 储层砂体主要为 I 类和 II 类储层, 其中长 2¹ 砂体 I 类储层占 20.1%, a 类储层占 39.7%, b 类

储层占 17.5%, a 类储层占 13.1%; 长 2² 砂体砂岩类储层占 18.5%, a 类储层占 36.7%, b 类储层占 26.1%, a 类储层占 14.5%(表 6)。

5 结论

1) 研究区发育河床滞留、心滩、河漫滩等沉积微

表6 靖边油田马宁区长2储层评价结果表
Table 6 Evaluation result of C-2 oilreservoir
in Yanchang Formation

储层	低渗透储层			
	类/%	a类/%	b类/%	a类/%
长2 ¹	20.1	39.7	17.5	13.1
长2 ²	18.5	36.7	26.1	14.5

相,天然堤、决口扇、泛滥平原沉积不发育。

2)长2储层岩性以灰绿色中、细粒长石砂岩或岩屑长石砂岩为主,填隙物含量较低,其中杂基主要由水云母、绿泥石膜组成,胶结物主要为方解石、硅质、白云石。物性特征主要为中孔中高渗储层。孔隙类型主要包括原生粒间孔、次生溶孔和微裂缝。孔喉特征主要为大孔-粗喉型、大孔-中细喉型和中孔-中细喉型。根据压汞曲线可将储层孔隙结构分为4类。

3)结合研究区储层物性、储集空间的宏观特征、微观孔隙结构特征、毛管压力曲线等方面特征以及储层厚度、岩性等,将储层分为6类,其中长2储层砂体主要为a类和b类储层。

参考文献:

[1]何自新.鄂尔多斯盆地演化与油气[M].北京:石油工业出版社,2003.
[2]杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工

业出版社,2002.

- [3]郑浚茂,庞明.碎屑储集岩的成岩作用研究[M].武汉:中国地质大学出版社,1988:25-98.
- [4]思玉琥,郝世彦,张林森,等.延安地区上三叠统长6期储层成岩作用及孔隙演化[J].特种油气藏,2011,18(6):36-39.
- [5]董丽红,安思谨,王变阳.鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7、长9油页岩分布特征与油气富集关系[J].非常规油气,2014,1(1):17-21.
- [6]向连格,赵虹,等.靖边油田延长组长2油层组储层特征及影响因素[J].地质学刊,2010,2(34):140-143.
- [7]燕洲泉.鄂尔多斯盆地靖边东南部长2、长6油层组沉积相与储层特征研究[D].西安:长安大学,2009.
- [8]袁海科,郝世彦,张文忠.延长油田志丹西区延长组天然裂缝发育规律研究[J].西安石油大学学报:自然科学版,2009,24(5):46-49.
- [9]强昆生,王建民,冯永春,等.鄂尔多斯盆地志丹油田永宁探区长6储层特低渗成因及主控因素[J].沉积与特提斯地质,2011,31(2):82-90.
- [10]吴立峰,王导丽,王彦龙,等.鄂尔多斯盆地王家湾区长2油层组储层特征及评价[J].辽宁化工,2011,40(4):371-374.
- [11]赵筱艳.志丹探区义正-吴堡区侏罗系延安组储层特征研究[D].西安:西北大学,2005.
- [12]崔宏伟,陈义才,任国庆,等.鄂尔多斯盆地定边地区延安组延10低渗储层微观特征[J].天然气勘探与开发,2011,34(2):15-33.
- [13]薛军民.陕北地区蟠龙油田三叠系延长组油藏成藏条件研究[D].西安:西北大学,2009.
- [14]宋珈萱,弓虎军,薛鹏辉,等.鄂尔多斯盆地白狼城、热寺湾油区延长组长2储层控油因素分析[J].西北大学学报:自然科学版,2016,46(2):261-270.
- [15]赵靖舟,吴少波,武富礼.论低渗透储层的分类与评价标准——以鄂尔多斯盆地为例[J].岩性油气藏,2007,19(3):28-31.