

# 鄂尔多斯盆地白于山井网加密区延长组长4+5特低渗储层沉积特征和储层物性分析

刘钰洋<sup>1,2</sup> 潘懋<sup>1,2</sup> 刘诗琦<sup>1,2</sup> 师永民<sup>1,2,†</sup> 董越<sup>3</sup> 张志强<sup>1,2</sup> 王梓媛<sup>1,2</sup>

1. 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 北京大学石油与天然气研究中心, 北京 100871; 3. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; † 通信作者, E-mail: sym@pku.edu.cn

**摘要** 以岩芯、薄片资料为基础, 结合常规测井和成像测井等资料, 综合分析鄂尔多斯盆地白于山井网加密区上三叠统延长组长4+5特低渗储层的沉积特征和储层特征, 进而解剖储层砂体在纵向及平面的展布特征。结果表明, 长4+5储层主要为一套中-细粒长石砂岩, 发育平行层理和交错层理; 储集空间以中小孔径的粒间孔为主, 发育少量裂缝, 储层物性较差。储层砂体在平面上呈较均匀的条带状展布, 厚度在2~5 m之间; 沉积亚相以三角洲前缘为主, 发育水下分流主河道、水下分流浅河道、水下分流浅滩和水下分流间湾4种沉积微相。在纵向上, 水下分流主河道及浅河道交替变化, 在各小层有规律的展布。研究结果对进一步寻找白于山地区的油气富集区有一定的指示意义。

**关键词** 鄂尔多斯盆地; 白于山井网加密区; 沉积特征; 储层展布

**中图分类号** TE348

## Comprehensive Depositional System and Reservoir Characterization Study of Chang 4+5 Reservoir of Yanchang Group, Infill Well Region in Baiyushan Area, Ordos Basin

LIU Yuyang<sup>1,2</sup>, PAN Mao<sup>1,2</sup>, LIU Shiqi<sup>1,2</sup>, SHI Yongmin<sup>1,2,†</sup>, DONG Yue<sup>3</sup>,  
ZHANG Zhiqiang<sup>1,2</sup>, WANG Ziyuan<sup>1,2</sup>

1. The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution (MOE), School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871; 2. Institute of Oil & Gas, Peking University, Beijing 100871; 3. Energy School, China Geological University, Beijing 100083; † Corresponding author, E-mail: sym@pku.edu.cn

**Abstract** The authors focus on the ultra-low permeability reservoirs of Chang 4+5 reservoir period of Yanchang Group, Jing'an oil field, Ordos Basin. Cores, thin sections, wireline logs, and imaging logs were used to understand depositional systems, reservoirs and to furtherly characterize vertical and horizontal distribution patterns of sandstones. The results show that main reservoirs of Chang 4+5 of Yanchang Group are composed of medium-to-fine grained arkose. Parallel beddings and cross beddings are common. Interpartical pores and a few fractures are main reservoir spaces and reservoir quality is poor. Sand bodies are uniformly distributed in the horizontal direction with brand shape and thickness between 2 to 5 meters. Front delta is the main sedimentary subfacies. Distributary main channel, distributary shallow channel, distributary shoal, and inner distributary bay are four main sedimentary microfacies. In the vertical direction, distributary main channels and distributary shallow channels are distributed reciprocally related to the variation of hydrodynamic power. The research result is a guidance on the hydrocarbon exploration in this region.

**Key words** Ordos Basin; infill well region in Baiyushan area; sedimentary characteristic; reservoir distribution

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地,跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区,北达阴山,南抵秦岭,西至贺兰山,东至吕梁,总面积为 $37\times 10^4\text{ km}^2$ ,盆地主体面积为 $25\times 10^4\text{ km}^2$  [1-3]。盆地从晚三叠世开始进入内陆凹陷沉积阶段,上三叠统延长组为第一个沉积旋回。在该沉积时期,由于鄂尔多斯盆地周缘的抬升,使得盆地四周都成为物源区 [4-5],盆地内形成面积大、水域广、深度浅的大型内陆湖泊 [6-9]。根据岩性、沉积旋回和油层纵向分布规律,可将延长组自上而下划分为10个储层。

白于山地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡构造带中北部,面积约为 $220\text{ km}^2$ 。区域构造简单,为东高西低的西倾单斜,没有断层和大型的基底隆起。白于山井网加密区(简称白于山加密区)是西起 Y44-21 井、东至 L102 井、南起 Y44-27 井、北至 Y38-21 井的近似菱形区域,面积约为 $3.2\text{ km}^2$ ,勘探目的层为上三叠统延长组长4+5储层 [10-12]。王宝清等 [13] 和靳文奇等 [14] 对该地区长4+5储层的岩相、古地理、储层沉积微相、储集特征以及成岩作用对储集物性的影响等方面做了一些研究。一方面,延长组属于低孔低渗储层 [15],岩石的矿物特征对储层物性和孔隙结构有较大的影响,然而,目前对该地区岩石的矿物特征及其对储层物性的影响等方面的研究不够深

入;另一方面,虽然前人对该地区沉积微相等方面进行了描述,但对该地区的储层描述不够精细,对砂体的空间展布规律认识不足。

鉴于上述情况,本文选取白于山加密区作为研究对象,通过丰富的岩芯资料和成像测井资料,对储层的沉积特征及物性进行详细的分析。在较小井距(见图1)的控制下,以测井资料为基础,对储层的纵向及平面展布特征进行解剖,以期为地区乃至同类型低渗油田的油气勘探提供一定的地质依据。

## 1 储层沉积特征

### 1.1 岩石学特征

受区域构造和沉积背景控制,白于山加密区储层的岩石类型以砂岩为主。对长4+5储层砂岩的粒度分析结果(表1)表明,砂岩结构成熟度较高,细砂岩最常见,含量高达70.08%~89.25%,平均含量为79.65%;中砂岩次之,含量为7.21%~27.94%,平均15.68%;粉砂岩含量相对较低,为0.98%~10.06%,平均3.21%。该地区储层砂岩的分选度以中等到好为主,砂岩粒度较小,磨圆度较差,说明沉积区距物源较近,水动力比较强。多数样品的杂基含量比较少,在1.00%~2.67%之间,平均1.47%,多为陆源碎屑。总体来看,该地区储层具有典型水下分流

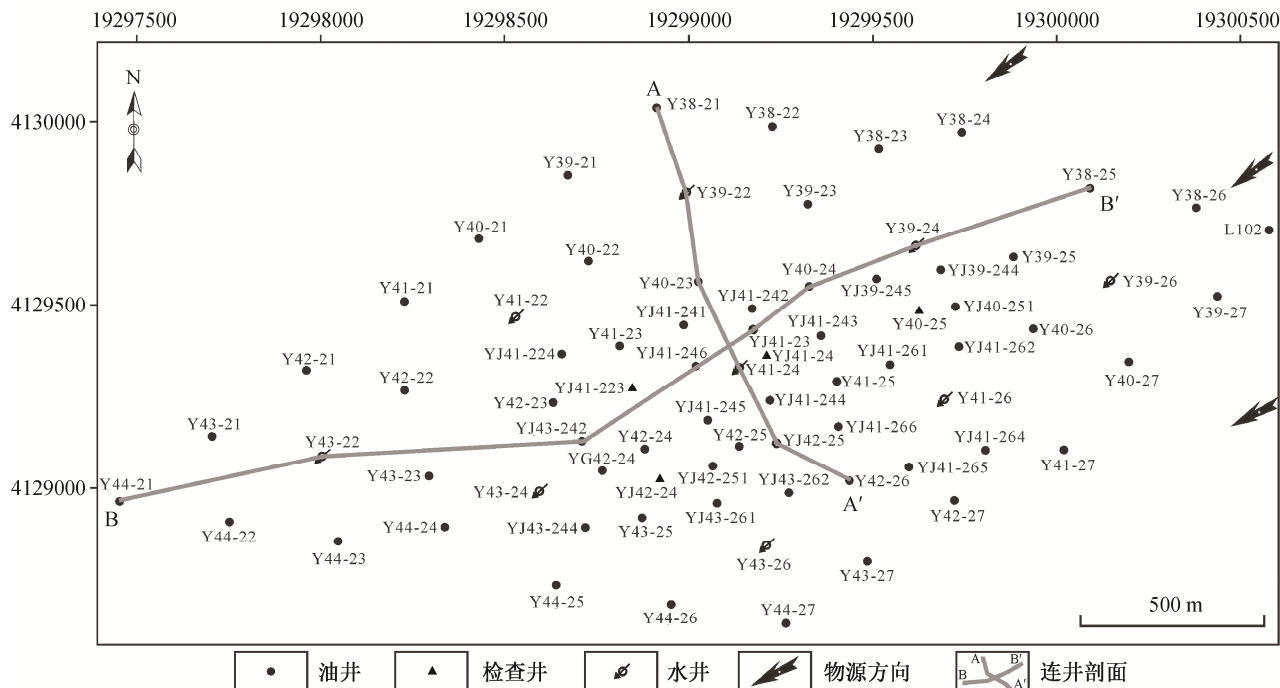


图1 白于山加密区井位分布

Fig. 1 Well location map of infill well region in Baiyushan area

表 1 白于山加密区长 4+5 储层粒度统计  
Table 1 Grain size of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

井号	样品数	粒度分布/%					
		粗砂( $0<\Phi\leq 1$ )	中砂( $1<\Phi\leq 2$ )	细砂( $2<\Phi\leq 4$ )	粉砂( $4<\Phi\leq 8$ )	泥( $\Phi>8$ )	$\Phi$ 均值
Y40-23	4	0	7.21	81.23	10.06	1.50	3.07
Y41-26	3	0	8.57	89.25	1.18	1.00	2.62
Y42-27	4	0	19.06	78.27	1.68	1.00	2.53
Y42-21	8	0	27.94	70.08	0.98	1.00	2.37
Y42-23	3	0	11.07	83.99	2.60	2.33	2.70
Y43-26	5	0	8.76	84.60	5.04	1.60	2.89
Y44-27	3	0	12.98	82.72	1.65	2.67	2.58
平均值		0	15.68	79.65	3.21	1.47	2.65

河道相的沉积特征。

对研究区 9 口井的 35 块岩芯样品进行薄片鉴定、扫描电子显微镜观察及 X 射线衍射分析。薄片鉴定结果(表 2)显示, 研究区储层以高长石含量、低石英含量和中等岩屑含量为特征, 成分成熟度低, 具有典型的陆相沉积特征。储层长石的体积含量为 38.7%~56.9%, 平均 49.4%; 石英次之, 体积含量为 18.4%~31.3%, 平均 23.2%; 岩屑的体积含量为 7.0%~14.1%, 平均 10.1%; 填隙物以硅质为主, 体积含量为 0.1%~4.0%, 平均 1.1%, 也有一定的长石质, 平均体积含量为 0.5%。

从图 2 可以看出, 储层岩性以成分成熟度较低的长石砂岩为主。黏土矿物以绿泥石为主, 通过扫描电子显微镜观察到微孔隙当中填充大量自生绿泥

石(图 3(a))。蒙脱石和伊利石的含量比较低, 伊利石的含量一般随深度的增加而变大, 伊蒙混层多以棉絮状包膜和孔隙填充物的形式出现(图 3(b)), 显示水下分流浅滩相和水下分流间湾相的特征。胶结类型以薄膜-孔隙式为主, 微观岩石结构和孔喉展布具有一定的方向性(图 4)。

## 1.2 沉积构造及裂缝

受能量较高的水动力条件及较简单的构造条件控制, 白于山地区长 4+5 储层的沉积构造以平行层理和交错层理为主, 可见少量的水平层理。裂缝主要为高角度的构造裂缝。

以 YJ41-262 井成像测井解释结果(图 5)为例, 平行层理在研究区最常见, 厚度一般在 0.1~0.4 m 之间, 最大可达 0.52 m。纹层主要由细砂和中砂频

表 2 白于山加密区长 4+5 储层砂岩矿物成分统计  
Table 2 Mineral composition analysis of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

井号	样品数	碎屑含量/%				填隙物含量/%							
		石英类	长石类	岩屑	其他	水云母	绿泥石	方解石	铁方解石	重晶石	沸石	硅质	长石质
Y44-23	2	21.5	54.0	8.0	9.5	0	2.5	0	1.0	0	0	4.0	1.0
Y38-23	3	31.3	38.7	7.0	7.7	0	7.0	0	1.0	0	0	0.7	0.7
Y40-23	4	18.4	56.9	9.0	8.5	1.3	2.2	1.4	0	0	0	1.4	0.3
Y41-26	3	29.0	54.5	8.0	2.5	0	4.3	0	1.0	0	0	0.5	0.2
Y42-27	4	20.5	51.5	14.0	7.3	0.2	5.2	0.4	0.2	0	0	0.4	0.4
Y42-21	4	23.7	48.6	12.3	6.7	0.6	7.0	0.4	0.1	0	0.7	0.1	0.2
Y42-23	3	20.3	47.6	12.9	8.3	0	6.5	0	0.5	0.07	1.3	0.3	0.3
Y43-26	9	23.4	48.1	7.7	11.1	1.1	4.8	0.4	0.0	0	0.6	1.4	0.8
Y44-27	3	22.1	46.6	14.1	7.4	0.5	4.6	0.0	0.1	0	0.0	2.2	0.7
平均值		23.2	49.4	10.1	8.2	0.5	4.9	0.3	0.3	0.01	0.3	1.1	0.5

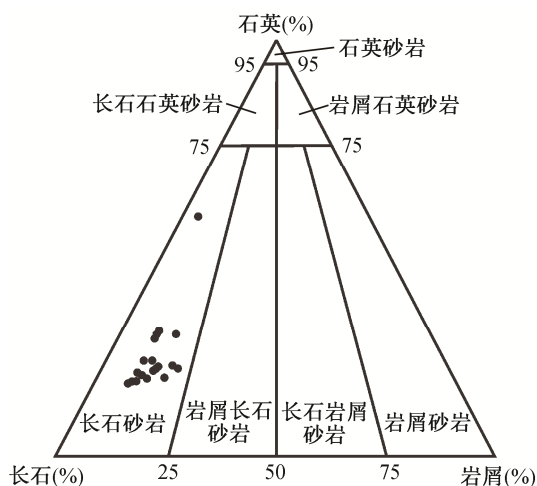
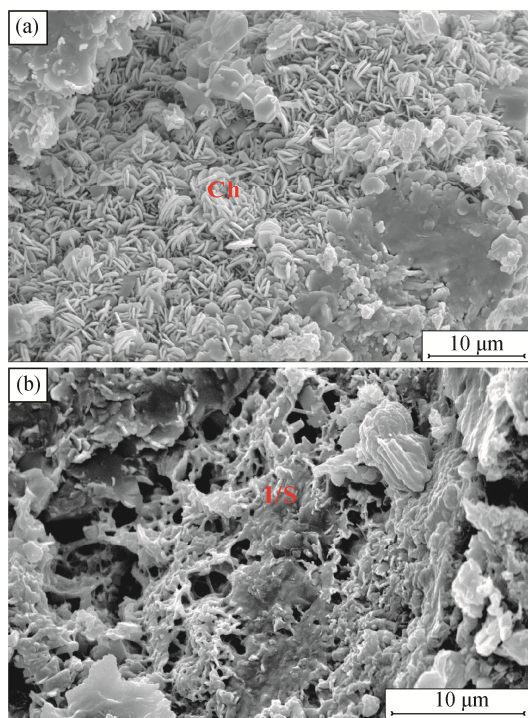


图2 白于山加密区长4+5储层砂岩的岩石类型判别 (底图引自文献[16])

Fig. 2 Rock-typing of Chang 4+5 Formation sandstone of infill well region in Baiyushan area (background image from Ref. [16])

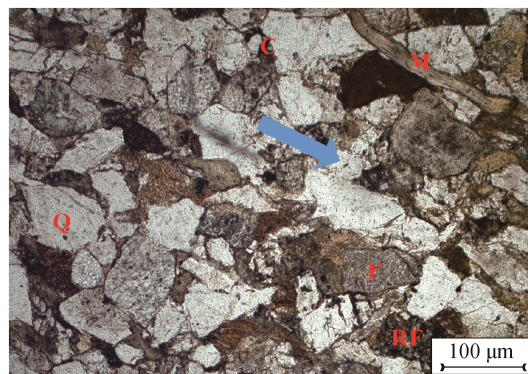


(a) YJ43-244井, 1697.89 m, 填充于微孔隙的绿泥石; (b) Y40-26井, 1722.48 m, 分布于颗粒间的伊蒙混层。Ch: 绿泥石; I/S: 伊蒙混层

图3 白于山加密区长4+5储层砂岩扫描电子显微镜照片

Fig. 3 SEM photomicrographs of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

繁交互构成, 纵向上呈现正粒序。低角度交错层理也较常见, 层理厚度约为0.3 m, 纹层厚约1 mm, 层面曲率较小。水平层理较少, 厚0.1~0.2 m。研究区



YJ43-244井, 1708.18 m。Q: 石英; F: 长石; C: 黏土; M: 云母; RF: 岩屑。箭头指示微观孔喉

图4 白于山加密区长4+5储层砂岩显微镜照片

Fig. 4 Photomicrographs showing pore distribution of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

裂缝主要为受燕山期及喜山期构造运动影响而形成的高角度天然裂缝, 工区倾角约为77°~87°, 走向为59°~271°, 其间未见矿物或脉体充填。

## 2 储层发育特征

### 2.1 孔隙类型

白于山地区长4+5储层的储集空间以孔隙为主, 天然裂缝较少, 对储集性能的贡献较小。该区储层以原生孔隙为主, 既有未被胶结而保留下来的粒间孔(面孔率较大, 约为4.4%), 也有石英加大边未完全将孔隙充填而剩余的晶间孔(面孔率约为0.2%)。显微镜下观察到的原生孔隙一般形态单一, 分选性较好。从表3可以看出, 样品中孔隙类型主要为粒间孔, 储集空间占比为1.7%~11.7%, 平均4.4%; 同时发育不同类型的溶蚀孔隙(图6), 长石溶孔的储集空间占比为0.3%~1.6%, 平均0.7%; 岩石溶孔和沸石溶孔较少, 平均储集空间占比分别为0.2%和0.3%; 也有部分样品中发育少量晶间孔和微裂隙, 平均储集空间占比分别为0.2%和0.1%。面孔率为2.2%~12.3%, 平均6.1%。平均孔径为20~46 μm, 平均值为33 μm。次生孔隙的形态不规则, 大小差异悬殊。孔径小于10 μm的孔隙约为37%, 孔径为10~20 μm的孔隙约为34%, 孔径为20~30 μm的孔隙约为18%, 孔径为30~40 μm的孔隙约为6%, 孔径大于40 μm的孔隙约为5%。孔径分布频率表明, 研究区储层的储集空间以中-小孔隙为主。

### 2.2 孔喉特征

选取白于山加密区6口井长4+5储层的22块岩芯



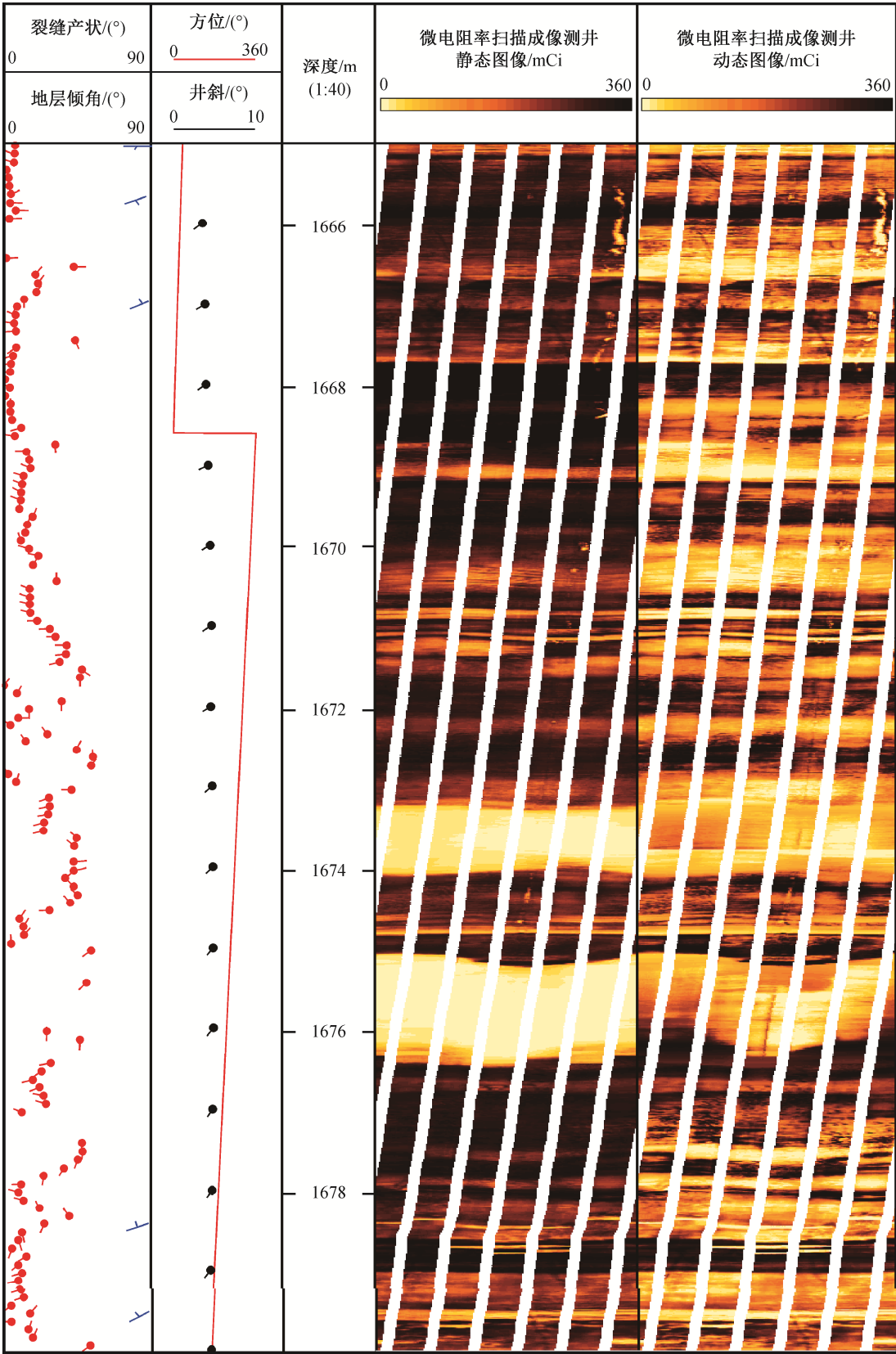
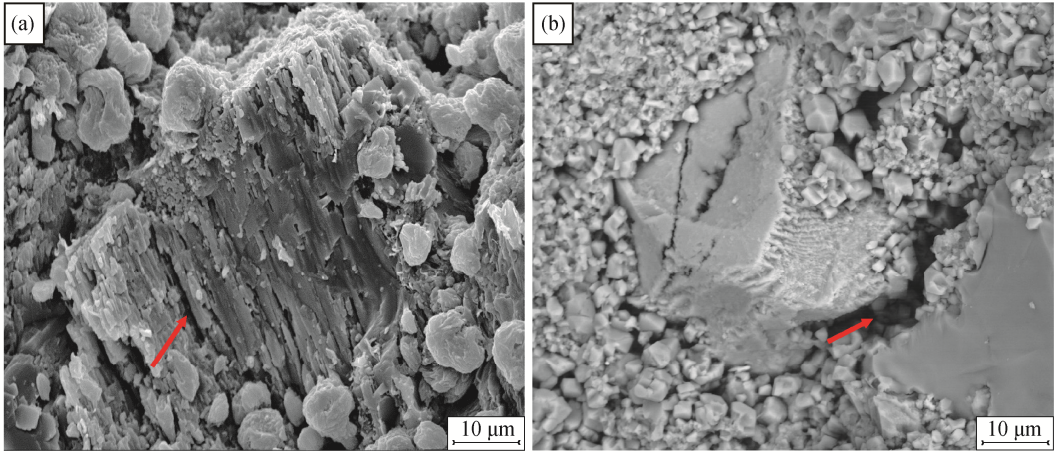


图 5 YJ41-262 井成像测井解释图  
 Fig. 5 Electric imaging logging features of Well YJ41-262

表 3 白于山加密区长 4+5 储层孔隙类型统计  
Table 3 Reservoir pore type analysis of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

井号	样品数	储集空间占比/%								孔隙组合类型
		粒间孔	长石溶孔	岩屑溶孔	沸石溶孔	晶间孔	微裂隙	面孔率/%	平均孔径/ μm	
Y44-23	2	2.0	1.5	0.3	0	0	0	3.8	35	溶孔-粒间孔
Y38-23	3	1.7	0.5	0.1	0	0	0	2.2	37	溶孔-粒间孔、粒间孔
Y40-23	4	2.2	0.9	0.2	0	0	0	3.3	46	溶孔-粒间孔
Y41-26	3	11.7	0.7	0.0	0	0	0	12.3	35	粒间孔
Y42-27	4	5.5	0.5	0.3	0	0.1	0	6.3	38	粒间孔
Y42-21	4	5.9	0.3	0.4	1.2	0.2	0.4	8.3	43	溶孔-粒间孔
Y42-23	3	2.1	0.4	0.1	1.1	0	0.1	3.8	20	溶孔-粒间孔
Y43-26	9	4.4	0.8	0.3	0.2	0.2	0.2	6.3	24	微孔-粒间孔、粒间孔
Y44-27	3	3.5	1.6	0.1	0	1.7	0.1	7.1	33	溶孔-粒间孔、复合型
平均值		4.4	0.7	0.2	0.3	0.2	0.1	6.1	33	



(a) Y44-25, 1698.08 m, 长石溶孔; (b) Y40-21, 1692.38 m, 沸石溶孔。箭头指示次生孔隙发育位置

图 6 白于山加密区长 4+5 储层扫描电子显微镜照片  
Fig. 6 SEM photomicrographs of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

样品,采用恒速压汞法测定毛细管压力,结果如图7所示。可以看出,储层内部各处孔喉结构差异明显。6组曲线的排驱压力基本上相同,最大汞饱和度分为两组,Y44-27,Y42-27和Y42-23的最大汞饱和度明显高于Y40-23,Y43-26和Y42-21,前者约为90%,后者仅为80%左右;所有样品的毛细管压力曲线斜率较大,平台段不明显,说明研究区孔喉分选性较差。

2.3 储层物性

根据1876块岩芯样品孔隙度和渗透率的统计结果,白于山长4+5储层的平均孔隙度为13.5%,平均空气渗透率为 $1.447\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。根据渗透率对数正

态分布检验结果(图8),发现该区长4+5储层的渗透率近似地服从对数正态分布,中值渗透率为 $0.41\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,透率变异系数为0.844。

3 储层砂体展布特征

白于山位于陕北地区长4+5储层的三角洲前缘亚相带,古地貌平缓,水流稳定,砂体展布的方向性明显。本文利用大量录井资料,结合测井曲线,首先进行岩相单元的划分,确定砂体的判定标准。在此基础上,对研究区目的层进行连井砂体连通剖面分析,揭示其纵向展布特征;进行平面沉积微相分析,揭示砂体的平面展布特征。

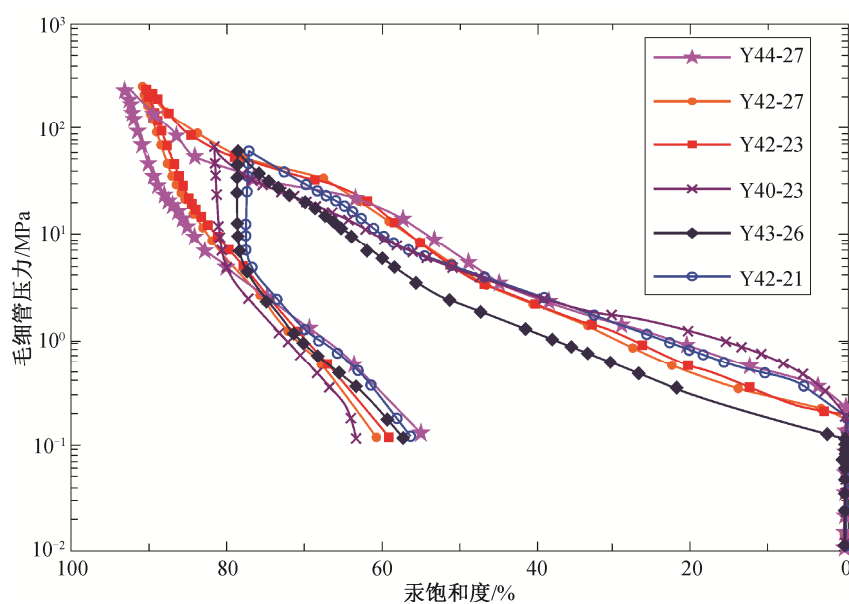


图 7 白于山加密区长 4+5 储层岩芯样品的毛细管压力曲线

Fig. 7 Capillary pressure curve of different core samples of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

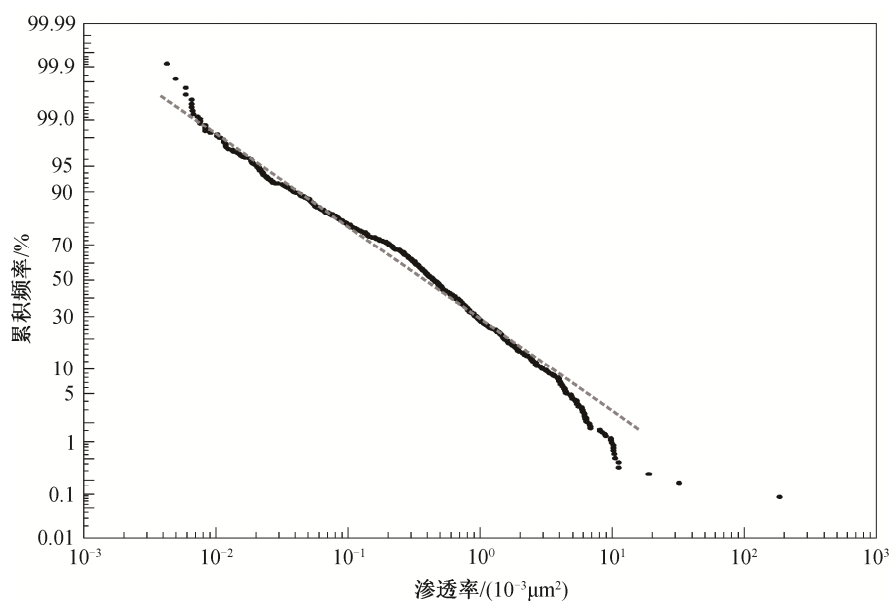


图 8 白于山加密区长 4+5 渗透率累积频率分布

Fig. 8 Permeability cumulative frequency diagram of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

### 3.1 岩相单元细分

利用测井曲线和录井资料确定砂体的识别标准, 是进行储层研究的基础。白于山地区长 4+5 储层由两个三级正旋回组成, 对应长 4+5<sub>1</sub> 和长 4+5<sub>2</sub> 两个砂岩组。每个砂岩组由若干多期形成的单砂体相互切叠, 形成侧向复合砂体, 层内及平面非均质性较强, 砂体结构复杂, 需要精细地刻画砂体和隔夹

层的分布状况, 进行岩相单元细分。如图 9 所示, 通过分析伽马(GR)曲线, 确定 GR<103 API 为砂体识别标准。由于本区隔夹层较发育, 通过对电阻率(RT)曲线进行分析, 确定 RT<16 Ω·m 为隔夹层的识别标准。通过 GR 和 RT 两项标准, 建立研究区所有钻井的岩性剖面, 为研究储层的纵向展布及平面展布提供依据。

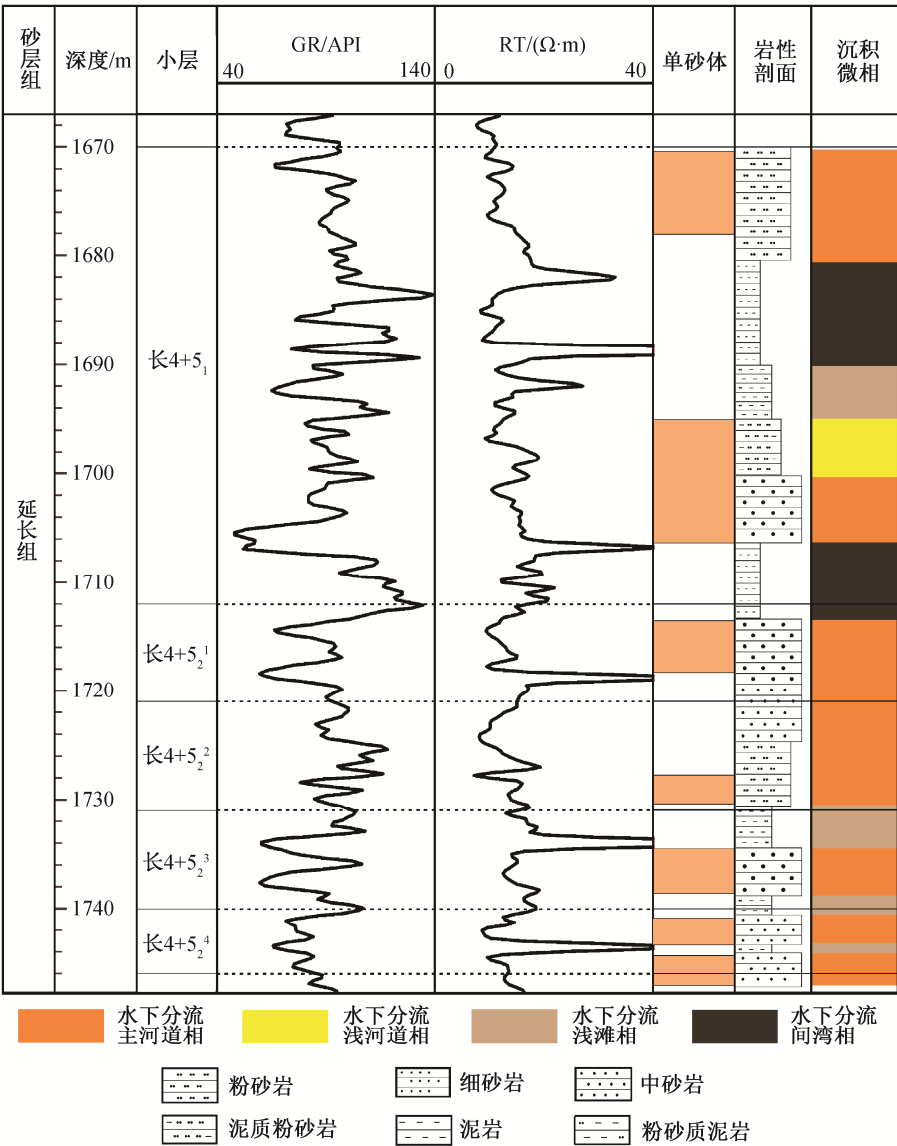


图 9 白于山地区长 4+5 储层岩相单元细分方案(Y41-22 井)

Fig. 9 Lithofacies and facies identifications of main oil play of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area (Well Y41-22)

### 3.2 砂体纵向展布特征

储层砂体的纵向展布特征包括储层的发育特征及连通特征两方面。以测井砂岩相的识别结果为依据,可以确定单井砂体发育的层段以及厚度。通过砂体的厚度特征及隔夹层的稳定性,可以判断砂体侧向的连通情况。

选取资料完整的典型井(南北向: Y38-21, Y39-22, Y40-23, Y41-24, Y42-25和 Y42-26; 东西向: Y44-21, Y43-22, YJ43-242, YJ41-23, Y39-24和 Y38-25),对砂体纵向分布特征进行解剖。长4+5储层发育多层砂体,层间被泥质隔夹层分割。单层砂体的厚度

较均匀,为2~5 m。从图10可见,砂体南北向(垂直于物源方向)规模较小,水平方向延伸约500 m,也有部分砂体规模很小,水平方向延展仅100~200 m。从图11可见,砂体东西向(沿物源方向)规模较大,水平方向延展100~1500 m。砂体的空间展布形态受沉积相和构造的控制,各层砂体的厚度较均匀。

### 3.3 砂体平面展布特征

通过研究砂体的平面展布特征,对储层砂体的平面展布及沉积相演化过程进行分析。根据图9中单井沉积微相划分结果,绘制长4+5储层各小层的沉积微相平面展布图(图12)。白于山加密区发育三



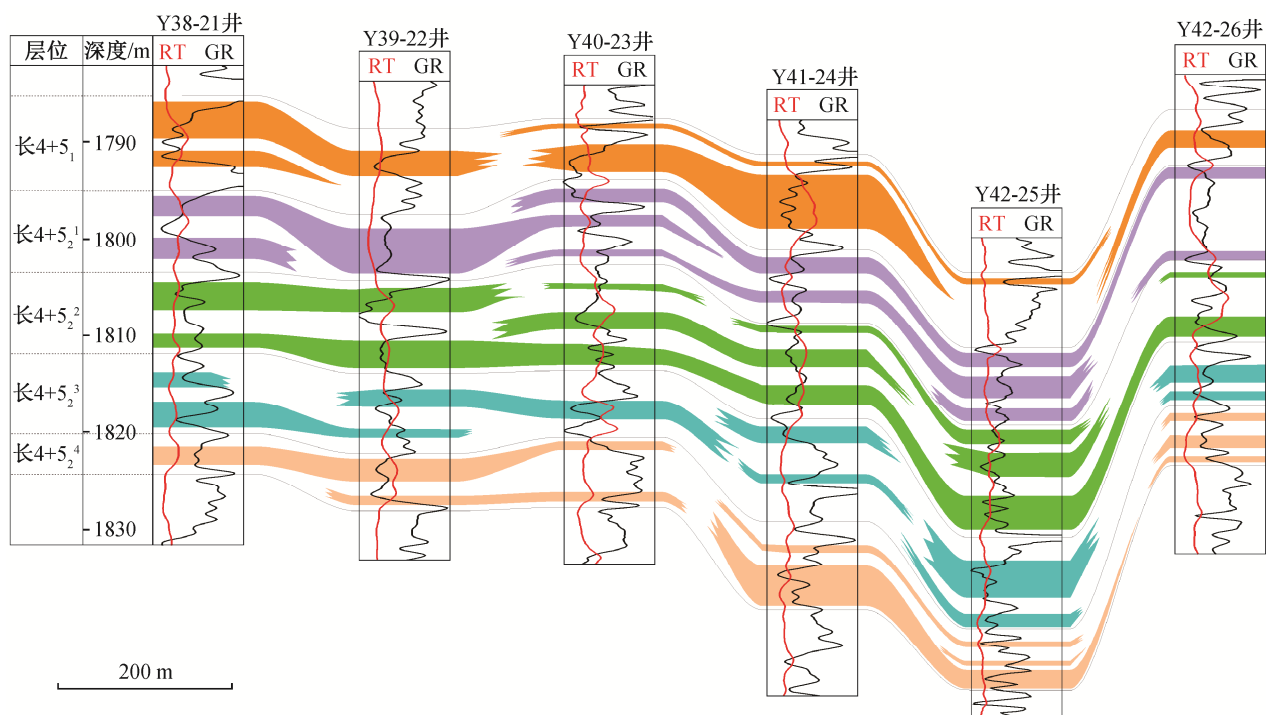


图 10 白于山加密区长4+5储层南北向砂体连通剖面(A-A')

Fig. 10 Sandstone bodies distribution in south-north direction based on well section of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area (A-A')

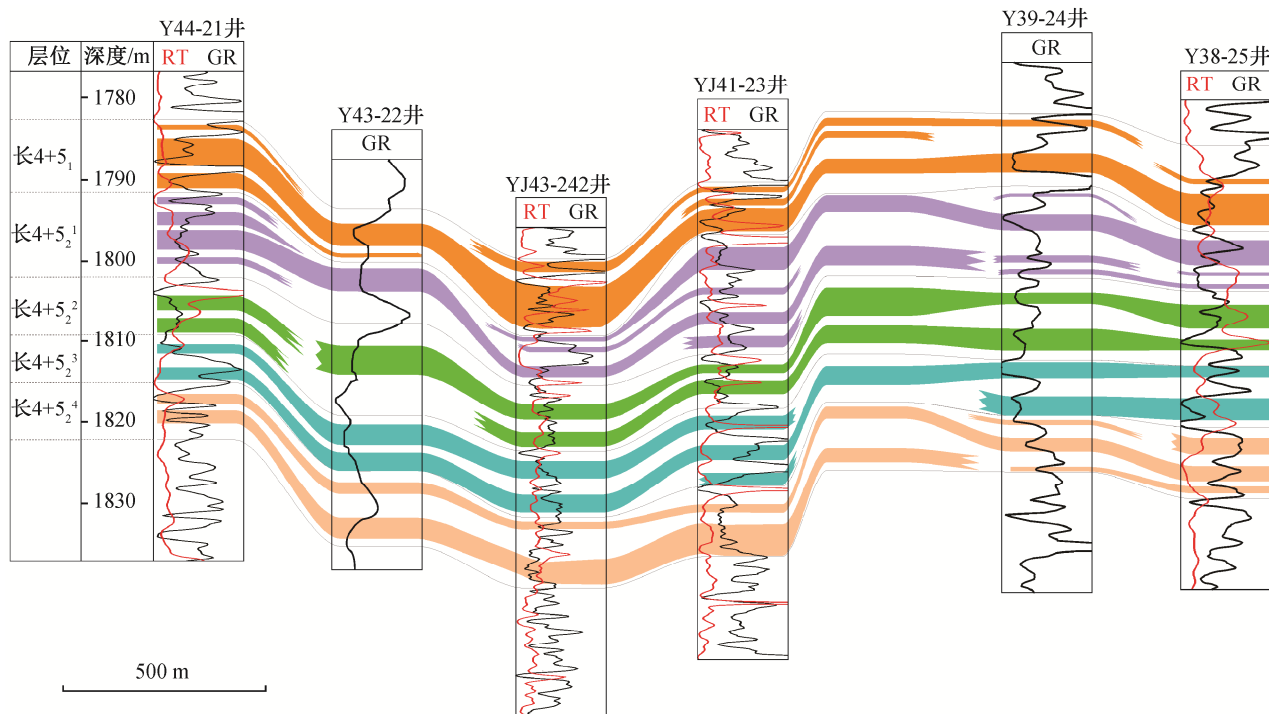


图 11 白于山加密区长 4+5 储层东西向砂体连通剖面(B-B')

Fig. 11 Sandstone bodies distribution in east-west direction based on well section of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area (B-B')

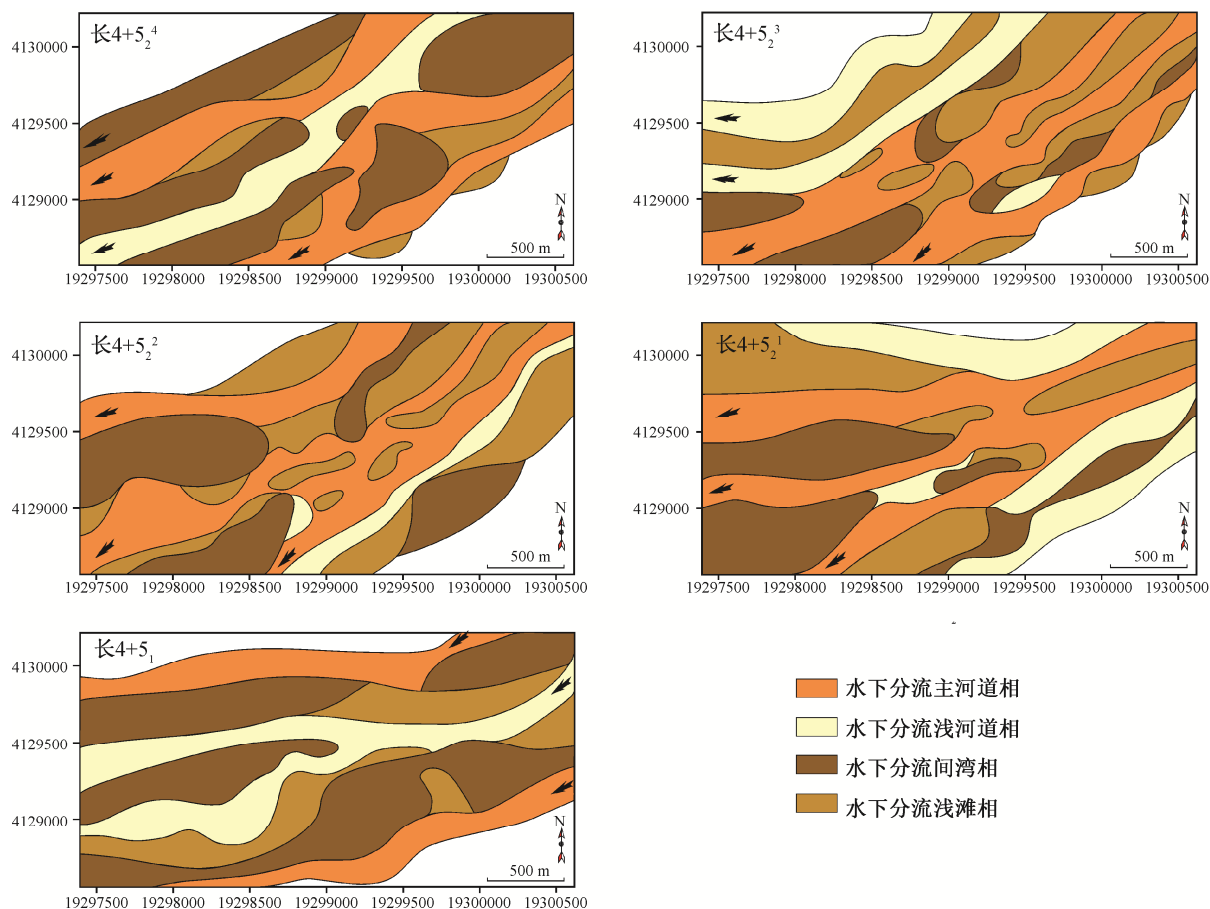


图 12 白于山加密区长 4+5 储层沉积微相的平面展布

Fig. 12 Sedimentary micro-facies of Chang 4+5 Formation of infill well region in Baiyushan area

角洲前缘亚相,并分为水下分流主河道、水下分流浅河道、水下分流浅滩和水下分流间湾4个微相。水下分流主河道相和水下分流浅河道相是砂体发育的有利部位,为储层相。水下分流主河道相的砂体厚度较大(4~5 m),水下分流浅河道相的砂体厚度较小(2~3 m)。水下分流浅滩相和水下分流间湾相不利于砂体发育,为非储层相,水下分流浅滩相以粉砂岩和泥岩为主,水下分流间湾相则为纯泥岩。

白于山加密区长4+5储层砂体的平面展布及纵向上沉积相的演化特征可总结为“砂体条带状展布,水动力强弱交替”。从图10~12可见,受沉积相及物源方向控制,有利于发育成储层的砂体均呈北东-南西向条带状展布,但砂体分布的位置及沉积相演化规律各小层区别较大。

长4+5<sub>2</sub><sup>4</sup>小层水下分流河道相的比例较大,水动力较强。水下分流主河道相主要分布在研究区中部和南部,水下分流浅河道相主要分布在中部。

长4+5<sub>2</sub><sup>3</sup>小层的水动力条件比4+5<sub>2</sub><sup>4</sup>小层弱,位于研究区中部及东南部的水下分流主河道相的分叉性较强,位于西北部的水下分流浅河道相占全部河道相的比例有所增加。

长4+5<sub>2</sub><sup>2</sup>小层的水动力略有增强,水下分流主河道相的分叉性增强,水下分流浅河道相的比例减小,仅在东南部发育很窄的一个条带。

长4+5<sub>2</sub><sup>1</sup>小层的水动力条件进一步增强,水下分流河道相的比例很大,尤其是在沿物源方向的东部。水下分流主河道相主要分布在研究区中部,水下分流浅河道相主要分布在研究区边缘处。与其他小层相比,水下分流浅滩相和水下分流间湾相的分布范围较局限。

长4+5<sub>1</sub>小层的水动力明显减弱,水下分流河道相的发育受限。主河道相主要分布在研究区边缘处,水下分流浅河道相分布在研究区中部,水下分流浅滩相及水下分流间湾相则广泛发育。

## 4 结论

本文利用岩芯和测井资料,对鄂尔多斯盆地白于山加密区的沉积特征和储层特征进行分析,得出以下结论。

1) 白于山加密区长4+5储层主要为中-细粒长石砂岩,成分成熟度较低,结构成熟度较高。砂岩碎屑物以细砂为主,中砂次之,其次为粉砂。细砂平均含量为79.65%,中砂平均含量为15.68%,分选度为中等到好,呈正偏态分布。

2) 长4+5储层沉积构造类型丰富,指示相对复杂的水动力条件和沉积环境。研究区层理类型较少,以平行层理和交错层理为主。

3) 薄片和扫描电子显微镜分析结果显示,白于山加密区长4+5储层的微观孔隙既有原生孔隙,也有次生孔隙,储集空间以中小孔径的原生孔隙为主。孔隙类型主要为粒间孔、长石溶孔、岩屑溶孔、沸石溶孔和晶间孔。长4+5储层的平均孔隙度为13.5%,平均空气渗透率为 $1.447 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,储层物性较差,属于低孔低渗储层。

4) 长4+5储层的砂岩层纵向上厚度变化较大,表明该区沉积相随时间的变化比较剧烈。依据岩性及砂体厚度,可将沉积相分为水下分流主河道、水下分流浅河道、水下分流浅滩和水下分流间湾4个微相。水下分流河道相为向上变细序列,河道宽300~500 m,与其他三角洲前缘砂体多呈切割关系,储层物性较好,产油能力较强。

5) 长4+5储层纵向上分为5个小层,各小层砂体的厚度一般为2~5 m,分布较均匀。砂体在平面上呈条带状展布,具典型三角洲前缘水下分流河道相特征。长4+5砂组的5个小层从下至上,沉积水体的能量强弱交替变化,长4+5<sub>2</sub><sup>4</sup>小层、长4+5<sub>2</sub><sup>2</sup>小层以及长4+5<sub>2</sub><sup>1</sup>小层的水动力较强,代表优势储层的水下分流主河道相和水下分流浅河道相的比例较大。

## 参考文献

- [1] 王连桥,陈恭洋,褚玉龙. 白于山井区长4+5<sub>2</sub>油组储层沉积微相研究. 内蒙古石油化工, 2007, 33(10): 75-79
- [2] 白清华,柳益群,樊婷婷. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组浊沸石分布及其成因分析. 西北地质, 2009, 42(2): 100-107
- [3] 曹文艳. 绥靖油田席麻湾-白于山地区侏罗系延8油藏有利区预测[D]. 西安: 西安石油大学, 2012
- [4] 梁积伟,肖丽,高小林,等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世早期物源分析. 西北地质, 2008, 41(2): 81-86
- [5] 王琪,嵯喜准,陈国俊,等. 鄂尔多斯盆地盐池—姬源地区三叠系砂岩成岩演化特征与优质储层分布. 沉积学报, 2005, 23(3): 397-400
- [6] 王起琮,李文厚,赵虹,等. 鄂尔多斯盆地东南部三叠系延长组一段湖相浊积岩特征及意义. 地质科学, 2006, 41(1): 54-63
- [7] 何义中,郑荣才,吴朝容. 湖泊三角洲研究的回顾与展望. 岩相古地理, 1999, 19(3): 40-41
- [8] 付金华,郭正权,邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义. 古地理学报, 2005, 7(1): 34-44
- [9] 杨龙,李世辉,刘磊,等. 靖安油田白于山区长4+5<sub>2</sub>油藏精细解剖. 石油化工应用, 2010, 29(增刊1): 102-106
- [10] 许琳. 靖安油田白于山区长4+5<sub>2</sub>油层组沉积相及储层特征研究[D]. 荆州: 长江大学, 2012
- [11] 但永平,王佳武,李敏杰,等. 鄂尔多斯盆地中部白于山附近白垩系地下水径流特征. 陕西地质, 2012, 30(2): 62-67
- [12] 李榕. 席麻湾-白于山地区延9油层组有利目标区评价研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2012
- [13] 王宝清,蒋继辉,韩会平. 鄂尔多斯盆地白于山地区三叠系延长组长4+5储层特征. 西安石油大学学报(自然科学版), 2005, 20(2): 1-5
- [14] 靳文奇,杜书恒,路向伟,等. 基于应力隔夹层划分的特低渗储层剩余油挖潜——以鄂尔多斯盆地白于山地区延长组储层为例. 北京大学学报(自然科学版), 2016, 52(6): 1034-1040
- [15] 霍海波. 白于山老区注水井调剖工艺技术研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2014
- [16] Streckeisen A L. Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. Geotimes, 1973, 18(2): 26-30