

# 鄂尔多斯盆地南缘红河油田

## 长 8 致密油藏非均质性表征方法

夏东领, 伍岳, 夏冬冬, 郭秀娟, 邹敏

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206)

**摘要:**鄂尔多斯盆地南缘红河油田长 8 致密油藏条件异常复杂, 地质“甜点”小而分散, 油藏非均质性极强。以红河 36 井区为例, 从影响油藏富集高产的主控因素出发, 重点开展“储层质量、裂缝、含油性”三大强非均质性表征, 再结合产能评价建立油藏非均质性综合表征模型, 更客观地呈现油藏地质特征。从微观和宏观角度建立基质储层分类标准, 探索沉积成岩共控储层发育机理, 形成“沉积要素控制成岩相, 成岩相控制储层质量”的储层非均质性表征方法, 从而明确分类储层平面分布; 基于不同级别断缝带对油气富集的控制作用, 建立多尺度裂缝带分级方案, 井震结合开展分级预测, 定量表征米级到千米级裂缝带分布; 以井点含油性分析为基础, 结合油水分布模式, 建立含油饱和度场, 定量表征含油非均质性; 在此基础上, 叠加三大强非均质性表征结果, 建立致密油藏非均质性综合评价模型, 明确分类储量及开发目标分布。

**关键词:**储层质量; 多尺度裂缝; 含油性; 非均质性; 致密油藏; 红河油田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

## Characterization method of heterogeneity for Chang 8 tight reservoir in Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

XIA Dongling, WU Yue, XIA Dongdong, GUO Xiujuan, ZOU Min

(SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Due to the complexity of accumulation conditions of Chang 8 tight reservoir in Honghe oil field, the southern margin of the Ordos Basin, the geological “sweet spots” are small and scattered, and the reservoir is remarkably heterogeneous. The Honghe 36 well block of the Honghe oil field was taken as an example in this paper, based on the main constrains for reservoir enrichment and production, three major heterogeneity characterizations, including reservoir quality, fractures and oil-enrichment, were carried out, and then combined with evaluation on productivity. A comprehensive characterization model for reservoir heterogeneity has been established, which can represent the geological characteristics of the reservoir. A classification standard for matrix reservoirs was established from the micro and macro scales to discuss the formation mechanism of reservoirs constrained by sedimentary and diagenetic factors. A characterization method for reservoir heterogeneity that “sedimentary elements constrained diagenetic facies, and diagenetic facies constrained reservoir quality” was proposed, which clarified the plane distribution of reservoirs. Based on the constrains of different grades of fracture zones on oil and gas enrichment, a multi-scale fracture zone classification scheme was established. Well logging and seismic data were combined to carry out hierarchical predictions to quantitatively characterize the multi-scale fracture zones from meter scale to kilometer scale. The oil-bearing capacity of wells was discussed, and combined with oil and water distribution pattern, an oil saturation field was established to quantitatively characterize oil-bearing heterogeneity. On this basis, three strong heterogeneity characterization results were superimposed to establish a comprehensive evaluation model for tight reservoir heterogeneity, which was used to clarify development target distribution.

**Key words:** reservoir quality; multi-scale fracture; oil-bearing capacity; heterogeneity; tight reservoir; Honghe oil field; Ordos Basin

开发实践表明, 鄂尔多斯盆地南缘(以下简称鄂南)红河油田长 8 致密油藏油井产能差异极大,

“甜点”小而分散, 地质条件异常复杂。鄂南构造带断裂发育, 活动性强, 与常规意义上的源储相邻、

高压充注的典型致密油成藏模式不同,多尺度断缝在鄂南致密油成藏富集过程中起了关键作用<sup>[1-3]</sup>。此外,与盆地腹部相比,鄂南烃源岩品质较差,有机质丰度和成熟度低,含油饱和度整体较低,但存在局部高含油区,含油分布受储层质量、裂缝发育程度等因素控制。总体来说,鄂南致密油藏具有“储层质量、裂缝、含油性”三大强非均质性特征,三大强非均质性的叠加使得油水分布复杂,开发目标区预测难度大。目前鄂南红河油田多数开发井快速递减进入低产期,下一步增产调整方向不明确,同时产建新区不落实,亟需攻关三大强非均质性表征与评价技术,提高油藏描述精度,深化富集高产规律认识。

### 1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地是一个大型的克拉通盆地,内部划分为6个一级构造单元,其中伊陕斜坡作为盆地主体是一个倾角约1°的宽缓单斜,构造较为简单。红河油田毗邻西峰亿吨级大油田,位于鄂尔多斯盆地天环向斜南部,东邻伊陕斜坡,南邻渭北隆起,西部为西缘逆冲带。红河油田主力开发层为上三叠统延长组长8油层组,上覆长7既是主力烃源岩,

也是主要的盖层,形成典型的“上生下储”组合。长8油层组自上而下包括长8<sub>1</sub>和长8<sub>2</sub>两个亚油层组。长8<sub>2</sub>亚油层组储层相对欠发育,长8<sub>1</sub>亚油层组发育3个次级沉积旋回,自上而下为长8<sub>11</sub>、长8<sub>12</sub>和长8<sub>13</sub>三个小层,长8<sub>11</sub>普遍发育一套5~8 m的泥岩,长8<sub>12</sub>是长8油层组的主力油层。前人研究表明,长8<sub>12</sub>砂体主要为辫状河三角洲分流河道沉积,主要由细砂岩、粉砂岩组成<sup>[4-5]</sup>;砂岩物性较差,孔隙度平均仅为8.2%,渗透率平均为0.21×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,属于典型的致密油储层。

本文选取了开发井数多、储量丰度高、产量占比大的红河36井区为研究实例,该井区资料丰富程度高,油藏非均质性强,具有典型性和代表性。红河36井区位于红河油田南部,总体构造格局东高西低,内部被NW向大断裂和NEE向小断裂分割,形成东西分区、南北成块的特征,发育多个低幅度鼻状构造(图1)。该井区2012年采用水平井多段压裂建产,井区投产63口井,峰值日产油347 t,目前日产油36 t;但油井间产能差异极大,由动态产能反映出的地质条件异常复杂,非均质性极强,总体呈现油井利用率低、单井产能低、采出程度低、综合含水高的“三低一高”特点。

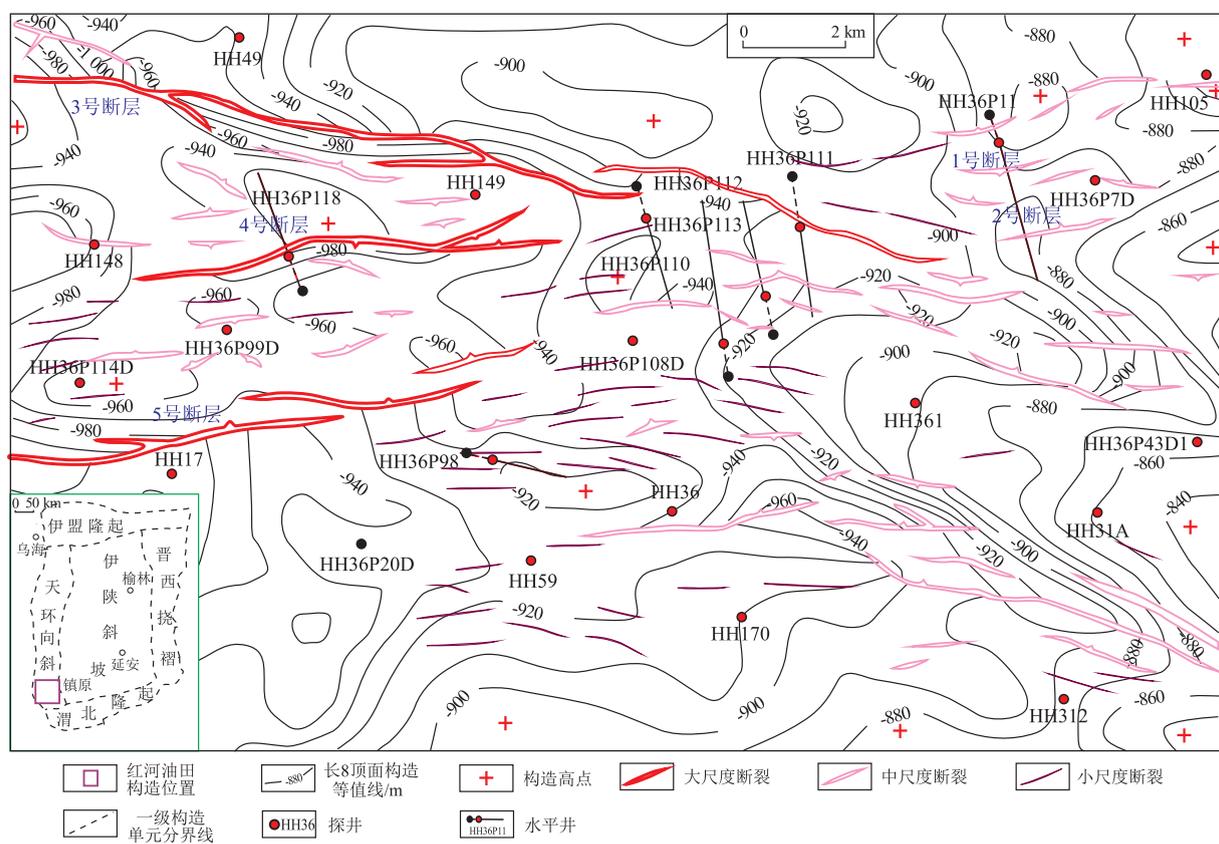


图1 鄂尔多斯盆地南缘红河油田红河36井区构造特征

Fig.1 Structural characteristics of Honghe 36 well block in Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

## 2 储层质量非均质性表征

### 2.1 储层质量分级标准

在近几年致密砂岩研究过程中,普遍认为微观孔隙结构是导致致密砂岩基质储层质量差异的根本原因<sup>[6-8]</sup>。通过 15 口井 651 块普通薄片及铸体薄片数据分析,红河 36 区块长 8 油层基质储层孔隙类型以粒间孔、粒内溶孔、微孔隙群为主,喉道以片状喉道为主(图 2)。研究井区共发育 7 种孔隙

组合类型,不同孔隙结构具有不同的孔渗关系,相近孔隙度的样品渗透率却相差较大,导致储层质量差异性较大且难以评价优劣。本次综合考虑储集能力与渗流能力 2 个方面,将具有相似孔渗关系的孔隙结构进行组合,优选能够表征基质储层质量储集能力和渗流能力的参数,将不同孔隙结构对应的参数截断值作为分级界限,建立了致密砂岩基质储层质量分级标准,将红河油田长 8 基质储层分为 4 类(图 3,表 1)。

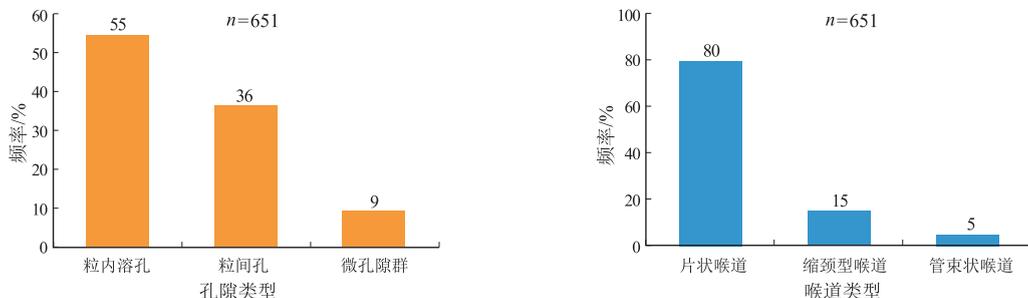


图 2 鄂尔多斯盆地南缘红河油田红河 36 井区孔隙类型和喉道相对占比

Fig.2 Pore types and relative proportion of throats in Honghe 36 well block, Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

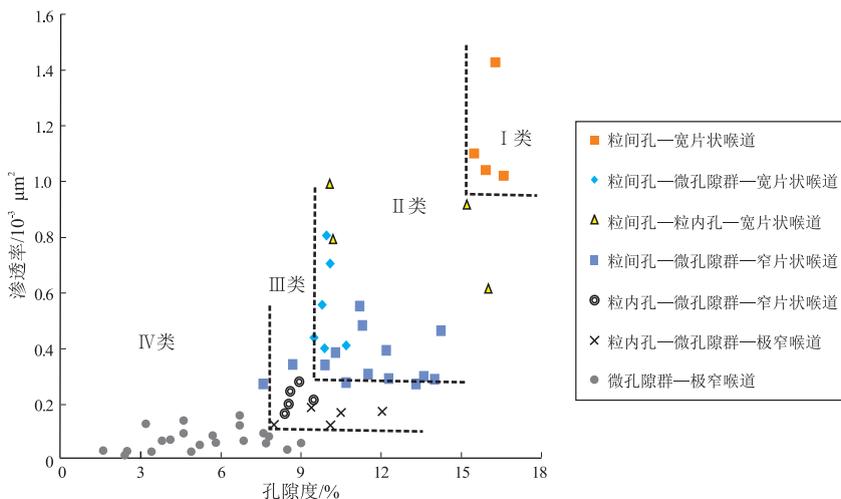


图 3 鄂尔多斯盆地南缘红河油田上三叠统延长组长 8 致密砂岩不同孔隙结构孔隙度—渗透率关系

Fig.3 Correlation between porosity and permeability of different pore structures of Chang 8 tight sandstone reservoir in Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

表 1 鄂尔多斯盆地南缘红河油田长 8 致密砂岩基质储层质量分级标准

Table 1 Quality classification standard of Chang 8 tight sandstone reservoir in Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

项目	I 类	II 类		III 类	IV 类	
		II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>			
孔隙结构类型	粒间孔—宽片状喉道	粒间孔—粒内孔—宽片状喉道; 粒间孔—微孔隙群—宽片状喉道	粒间孔—窄片状喉道	粒内孔—微孔隙群—窄—极窄喉道	微孔隙群—极窄喉道	
储集参数	可动流体孔隙度/%	>7	3.5~7	3.5~7	3~5	<3.5
参数	孔隙度/%	>15	10~15	10~15	7~10	<7
渗流参数	主流喉道半径/μm	>1	0.5~1	0.5~1	<0.5	<0.5
参数	渗透率/10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	>1	0.5~1	0.3~0.5	0.1~0.3	<0.1

### 2.2 沉积—成岩联合约束的储层质量表征

常规砂岩储层质量预测往往采用井震结合预测方法或单因素地质规律预测方法<sup>[9-10]</sup>,但鄂尔多斯盆地受黄土塬影响,地震品质差、分辨率低,地震资料难以识别砂岩及内部非均质性,常规方法在本区难以适用。

通过岩心化验数据分析,致密砂岩储层质量受控于沉积和成岩双重作用,红河 36 井区发育中—细砂岩、细砂岩、粉砂岩 3 种岩石类型,不同的岩石类型经过不同的成岩演化序列,形成了绿泥石胶结中溶解相、高岭石强胶结相、方解石中胶结相、方解石强胶结相、强压实相 5 种成岩相类型(图 4a),不同成岩相类型具有对应的微观孔隙结构类型,最终导致了储层质量的差异。本次在储层质量分级基础上,提出“沉积约束成岩、成岩相约束储层质量”的新思路,以成岩相为桥梁,建立了微观孔隙结构与宏观储层质量的对应关系,实现了“微观”与“宏观”的有效融合,预测单期河道内部储层非均质性特征<sup>[11-15]</sup>。

总体看来,红河 36 区块长 8 油层整体以 II 类和 III 类储层为主, I 类储层分布范围有限,主要呈

透镜状分布在东北部红河 105 井区附近; II 类储层主要呈长条状发育在河道主体内部; III 类储层发育范围最广; IV 类储层主要发育在主河道侧翼和规模较小的分支河道中(图 4b)。

## 3 多尺度裂缝非均质性表征

### 3.1 多尺度裂缝分级方案

多尺度裂缝发育是鄂南致密油区别于长庆油田致密油的最大特征之一。统计研究井区 36 口水水平井单井裂缝强度与累产液量、可采储量关系,显示两者具有较好的正相关性(图 5),表明裂缝对鄂南油井产能起到非常关键的控制作用。通过对裂缝特征及受控因素的分析,认为裂缝主要受控于断层<sup>[16-18]</sup>。在对断层大小进行分类基础上,根据断层控制裂缝带发育规模、钻测录井及地震响应差异,将裂缝带划分了 3 级(表 2)。

### 3.2 分级裂缝定量表征及预测

#### 3.2.1 分级裂缝带地质统计

根据上述断层—裂缝带分级标准及不同级别断层附近井上裂缝信息的分布情况,选择研究井区具有水平井穿过的断层并对其井上裂缝密度与断

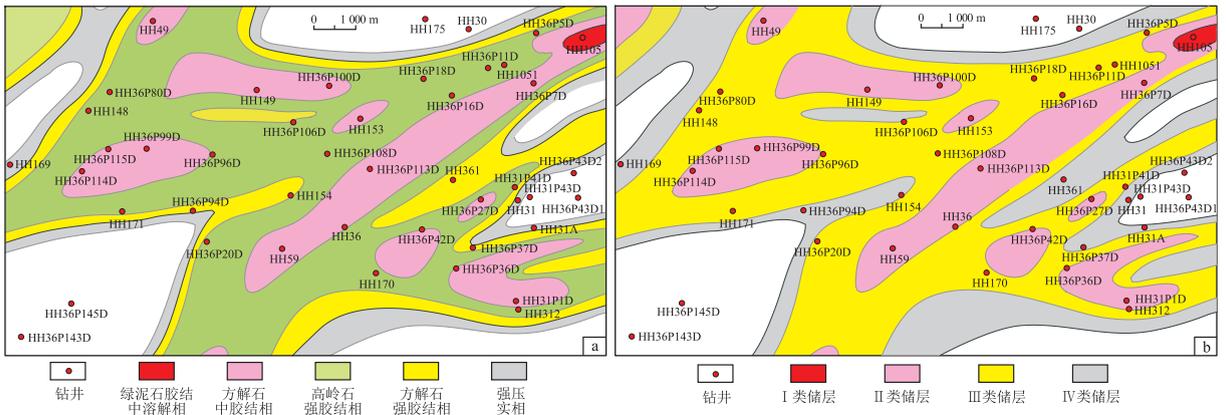


图 4 鄂尔多斯盆地南缘红河油田红河 36 井区长 8 致密油藏成岩相及储层质量分类表征结果

Fig.4 Classification and characterization of diagenetic facies and reservoir quality of Chang 8 tight reservoir in Honghe 36 well block, Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

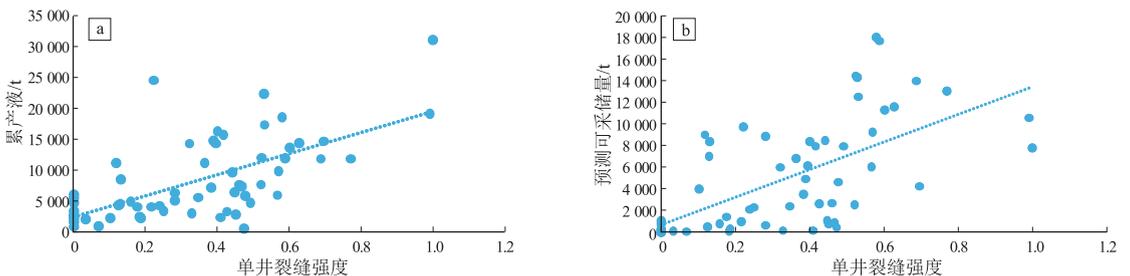


图 5 鄂尔多斯盆地南缘红河油田红河 36 井区单井裂缝强度与累产液(a)和预测可采储量(b)关系

Fig.5 Correlation between fracture strength and cumulative liquid production (a) and predicted recoverable reserves (b) in Honghe 36 well block, Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

表 2 鄂尔多斯盆地南缘红河油田长 8 致密储层多尺度裂缝分级方案

Table 2 Multi-scale fracture classification scheme of Chang 8 tight reservoir in Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

裂缝带级别	与断层关系	基本特征	地震响应	钻录井响应
大尺度裂缝带	3 级以上断层(断距大于 20 m)及伴(派)生裂缝带	平面延伸长度为千米级, 延展宽度为数十米至百米级, 纵向切割断层	杂乱空白反射带、弱振幅带	井漏、溢流、垮塌、气测异常
中尺度裂缝带	亚断层(断距 10~20 m)及伴(派)生裂缝带	平面延伸长度为数十米至百米级, 延展宽度为米级至十米级, 纵向受隔层控制	杂乱空白反射带、弱振幅带	井漏、溢流、垮塌、气测异常
小尺度裂缝带	裂缝密集带(断距小于 10 m)	平面上延伸长度为米级至十米级, 延展宽度为米级	无明显响应	气测异常, 无明显井漏

层距离进行统计, 结果表明, 裂缝密度与其到断层的距离相关明显, 可以按照断层规模划分为 3 类, 得到断层附近裂缝概率分布的数学模型(图 6)。根据所建的裂缝分布模型, 定量评价研究区断层附近裂缝分布。通过区内 3 类断层对其附近裂缝控制距离的统计表明, 大尺度裂缝带范围(单侧)为 200 m 左右, 中尺度裂缝带范围为 150 m 左右, 小尺度裂缝带分布范围小于 100 m。

### 3.2.2 分级裂缝带井震预测

通过测井裂缝解释标定地震响应, 裂缝带主要为弱振幅、杂乱或空白反射, 主要表现为地震能量的异常带<sup>[19-22]</sup>。基于裂缝带地震响应特征, 优选相干、倾角及曲率等地层不连续性检测属性预测大一中尺度裂缝带分布。在裂缝带地质函数模型约束下, 确定裂缝带边界地震属性阈值, 定量刻画大一中尺度裂缝带分布。小尺度裂缝带与大一中尺度裂缝带具有力学成因上的联系, 通常是伴生次级亚断层形成的裂缝带。一方面, 在大一中尺度裂缝带约束下, 采用蚂蚁体追踪技术预测小尺度裂缝带; 另一方面, 对于地震上无明显响应的小尺度网状缝密集区, 通过追踪与对比邻井间测井裂缝段, 定性—半定量刻画裂缝带。裂缝带呈雁列式排

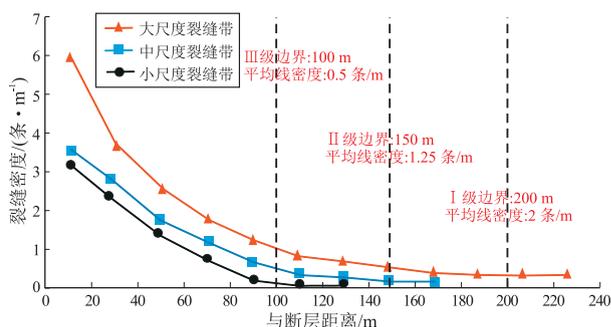


图 6 鄂尔多斯盆地南缘红河油田长 8 致密储层裂缝密度与距离断层距离函数模型

Fig.6 Function model of fracture density and distance to fault of Chang 8 tight reservoir in Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

列, 长度小于 500 m, 宽度小于 100 m(图 7)。

### 3.2.3 多尺度裂缝融合表征及分布规律

在裂缝带分级表征基础上, 考虑不同尺度裂缝带耦合配置关系, 建立多尺度裂缝融合分布模式, 表征裂缝强非均质性, 实现从米级到千米级裂缝带的定量刻画。红河 36 井区共发育 4 组近 EW 向裂缝带, 3 组 NW 向裂缝带, 小尺度裂缝带受控于大一中尺度裂缝带, 主要发育于大一中尺度裂缝带的转折区、交会区及延展区(图 7)。

## 4 含油非均质性表征

### 4.1 含油性主控地质因素

综合 63 口水平井的钻测录、动态资料, 分别从裂缝、基质储层、构造、保存条件 4 个方面, 基于大量统计数据, 采用水平井段精细对比分析、线性回归等方法, 开展储集体含油性主控因素分析; 明确了裂缝和储层质量是影响含油性的 2 个最关键因素。本区处于盆地边缘, 烃源岩厚度薄且质量差, 在油气充注期充注压差有限, 整体充注不足, 存在断缝输导成藏和源储接触成藏 2 种油气成藏类型, 建立了长 8 致密油藏含油性差异成因模式<sup>[23-25]</sup>(图 8)。断裂作为油气运移优势通道, 形成的裂缝带附近基质优先充注, 形成主要油气富集区, 后期受构造活动影响, 规模较大的边界断层局部保存条件不利, 导致油气不同程度的散失, 而保存条件较好的中尺度断裂形成的裂缝带成为最重要的富集区, 含油饱和度一般大于 50%。对于裂缝带以外的基质区, 储层含油性主要受储层物性的影响, 在致密油充注聚集过程中, 质量较好的储层段更易充注, 优质储层区含油饱和度介于 40%~50%之间, 形成比富油裂缝带略差的次油气富集区<sup>[26-28]</sup>。

### 4.2 含油饱和度平面分布

基于岩心测试、测井解释和含油性差异成因模式, 结合红河 36 井区 50 口探井和导眼井、63 口水平井测井解释含油饱和度成果, 采用“井点数据控

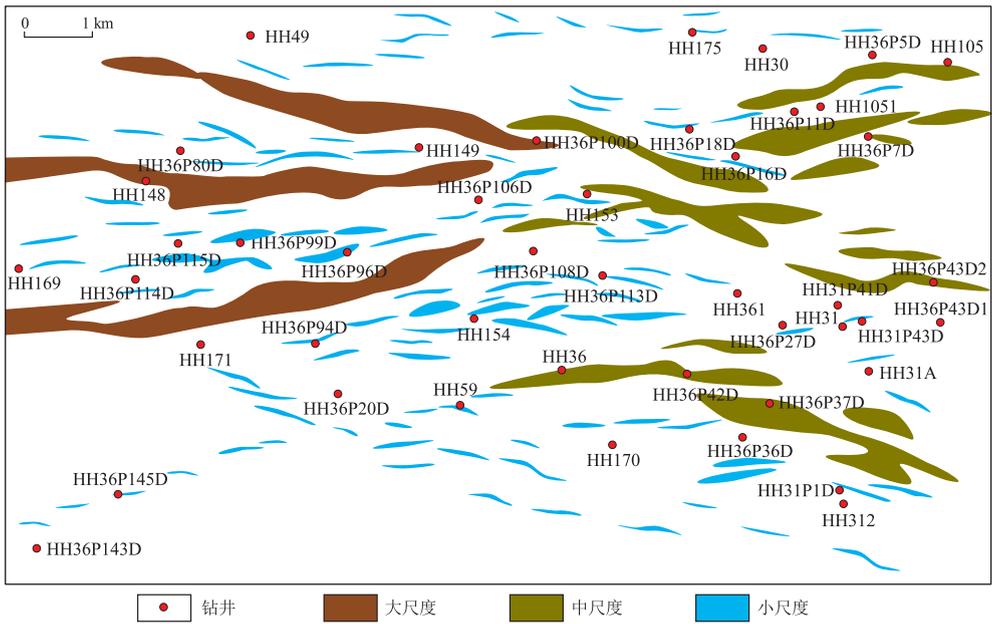


图 7 鄂尔多斯盆地南缘红河油田红河 36 井区长 8 致密油藏多尺度裂缝带表征结果  
 Fig.7 Characterization results of multi-scale fracture zone in Chang 8 tight reservoir in Honghe 36 well block, Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

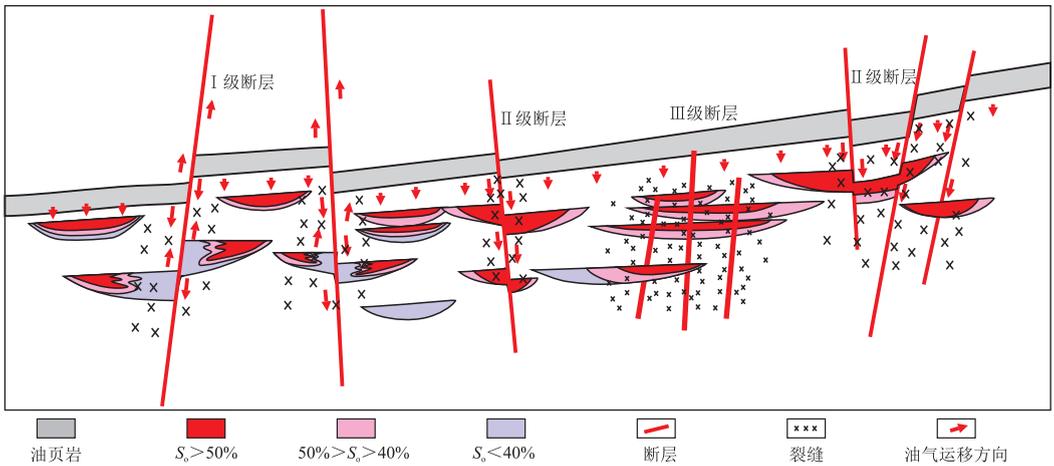


图 8 鄂尔多斯盆地南缘红河油田长 8 致密油藏含油性差异成因模式

Fig.8 Genetic model of oil-bearing difference of Chang 8 tight reservoir in Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

制、富集模式约束”的方法,精细刻画了该区含油饱和度分布(图 9)。鄂南致密油含油饱和度区并非像常规砂岩油藏一样连片状分布,有明确的油水界面,而是呈现“普遍含油,高饱和度区在裂缝带内呈条带状分布、裂缝带外沿优质储层呈片状分布”的特征。

### 5 致密油藏非均质性综合评价

在“储层质量、裂缝、含油性”三大非均质性评价基础上,结合高产富集规律、产能主控因素等,开展致密油藏非均质性综合评价,将研究井区油藏分为 3 类:一类区最为有利,中尺度裂缝带与 I 类或 II 类储层质量叠合区,含油饱和度大于 50%,评价

初期产能在 10 t/d 以上,属于目前经济技术可采储量区;二类区为较有利区,小尺度裂缝带与 I 类或 II 类储层质量叠合区,含油饱和度介于 40%~50%,预期初期产能为 3~10 t/d,通过技术攻关有望实现有效动用;三类区为难动用储量区,裂缝不发育,储量质量差,含油饱和度小于 40%,产能小于 3 t/d,不具备经济价值(表 3)。评价认为,研究井区 I 类储量约  $413 \times 10^4$  t,占比 31.6%, II 类储量约  $636 \times 10^4$  t,占比 48.7%,是储量主要构成类型(图 10)。目前 I 类储量通过水平井分段体积压裂方式已成功开发建产, II 类储量正处于开发技术攻关中。致密油藏非均质性综合评价深化了油藏地质认识,明确了油藏开发潜力,建立了油藏开发动

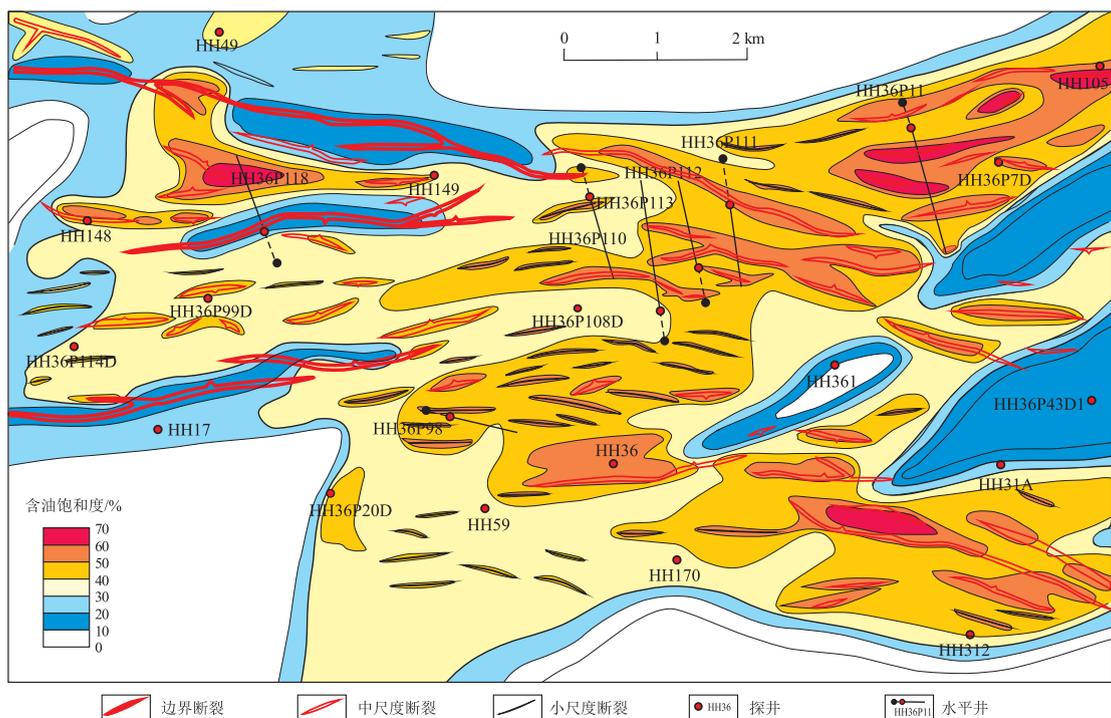


图 9 鄂尔多斯盆地南缘红河油田红河 36 井区长 8 致密油藏含油饱和度平面预测

Fig.9 Prediction of oil saturation of Chang 8 tight reservoir in Honghe 36 well block, Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

表 3 鄂尔多斯盆地南缘红河油田长 8 致密油藏分类评价方案

Table 3 Classification scheme of Chang 8 tight reservoir in Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

类别	油藏综合评价									产能评价			
	基质储层参数					裂缝参数			含油性参数	初期产油/ (t·d <sup>-1</sup> )	稳定含水/ %	单井可采 储量/10 <sup>4</sup> t	
	储层 质量	砂厚/ m	分选 系数	孔隙度/ %	渗透率/ 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	主流喉道 半径/μm	级别	裂缝带 长度/km	断层 断距/m				含油 饱和度/%
一类	I 或 II 类	>10	2~3	>9	>0.3	>0.5	中	<2.5	10~20	>50	>10	<40	>0.6
二类	I 或 II 类	>10	2~3	>9	>0.3	>0.5	小	<2.5	<10	40~50	3~10	40~75	0.2~0.6
三类	III 类	7~10	1.5~4	7~9	0.1~0.3	<0.5	裂缝不发育			<40	<3	>75	<0.2

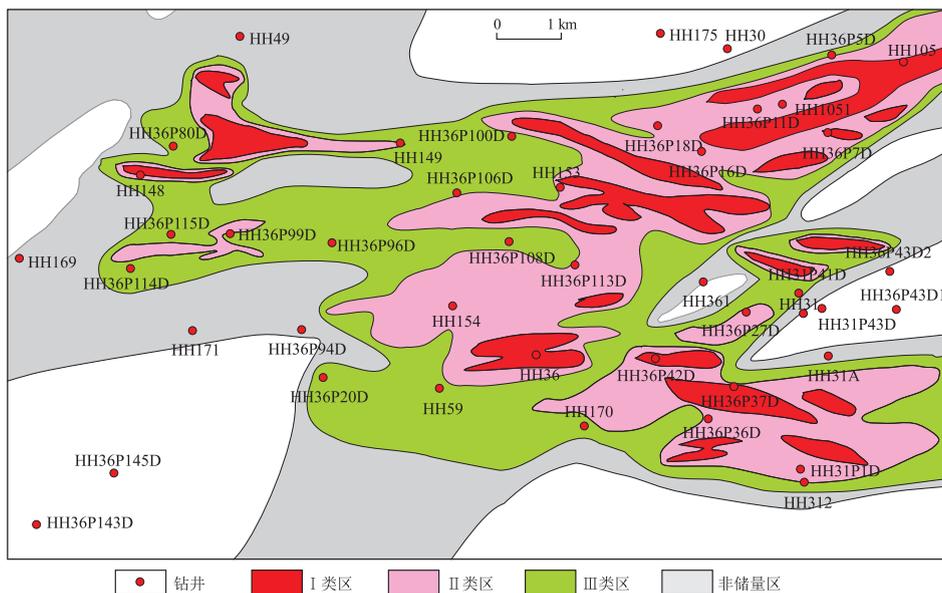


图 10 鄂尔多斯盆地南缘红河油田红河 36 井区长 8 油藏分类评价

Fig.10 Classification of Chang 8 reservoir in Honghe 36 well block, Honghe oil field, southern margin of Ordos Basin

用序列,指明了油藏下一步开发目标及调整方向。

## 6 结论

(1)鄂尔多斯盆地南缘致密油地质条件异常复杂,具有“储层质量、裂缝、含油性”三大强非均质性,针对储层质量评价,形成了沉积—成岩联合约束的储层质量表征方法;针对裂缝评价,形成了多信息融合的分级裂缝表征方法;针对含油性预测,形成了油气富集模式约束的含油性表征方法。

(2)以红河36井区为例,通过对“储层质量、裂缝、含油性”的非均质性表征和综合评价,建立了与生产动态吻合程度高的盆缘致密油“甜点区”分布模式,为下一步老区开发调整及新区滚动评价奠定了地质基础。

### 参考文献:

- [1] 贾承造,邹才能,李建忠,等.中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J].石油学报,2012,33(3):343-350.  
JIA Chengzao,ZOU Caineng,LI Jianzhong,et al.Assessment criteria, main types,basic features and resource prospects of the tight oil in China[J].Acta Petrolei Sinica,2012,33(3):343-350.
- [2] 尹伟,郑和荣,胡宗全,等.鄂南镇泾地区延长组油气富集主控因素及勘探方向[J].石油与天然气地质,2012,33(2):159-165.  
YIN Wei,ZHENG Herong,HU Zongquan,et al.Main factors controlling hydrocarbon accumulation and favorable exploration targets for the Yanchang Formation in Zhenjing area,south Ordos Basin[J].Oil & Gas Geology,2012,33(2):159-165.
- [3] 邹敏,夏东领,庞雯,等.鄂南镇泾地区区长<sub>8</sub>油层组沉积格架与储层质量的关系研究[J].特种油气藏,2019,26(1):80-86.  
ZOU Min,XIA Dongling,PANG Wen,et al.Sedimentary framework and reservoir quality relation study of chang<sub>8</sub> pay zone in Zhenjing area,southern Ordos Basin[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2019,26(1):80-86.
- [4] 梁承春,郭景祥.鄂尔多斯盆地红河油田延长组长<sub>8</sub>小层致密砂岩成岩作用与储层特征[J].油气地质与采收率,2017,24(1):57-63.  
LIANG Chengchun,GUO Jingxiang.Diagenesis and reservoir characteristics of tight sandstones of Chang<sub>8</sub> member of Yanchang Formation in Honghe oilfield,Ordos Basin[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2017,24(1):57-63.
- [5] 吴旭光,蒲仁海,周思宾,等.鄂尔多斯盆地红河地区区长<sub>8</sub>段沉积相与砂体展布[J].石油地球物理勘探,2014,49(6):1213-1221.  
WU Xuguang,PU Renhai,ZHOU Sibin,et al.Depositional facies and sandbody distribution of member C<sub>8</sub> in Yanchang Formation, Honghe,southwestern Ordos Basin[J].Oil Geophysical Prospecting,2014,49(6):1213-1221.
- [6] 张启贤,王红亮.鄂尔多斯东南部延长组致密油储层微观特

征及主控因素[J].科学技术与工程,2016,16(34):52-63.

ZHANG Qixian,WANG Hongliang.Microscopic characteristics and main controlling factors of tight oil reservoir of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin,China[J].Science Technology and Engineering,2016,16(34):52-63.

- [7] PEDERSEN P K,CLARKSON C,JENSEN J,et al.Innovative methods for flow unit and pore structure analysis in a tight gas reservoir, Montney Formation, NE, BC [Z]. Houston: AAPG, 2011.
- [8] 公言杰,柳少波,朱如凯,等.致密油流动孔隙度下限:高压压汞技术在松辽盆地南部白垩系泉四段的应用[J].石油勘探与开发,2015,42(5):681-688.  
GONG Yanjie,LIU Shaobo,ZHU Rukai,et al.Low limit of tight oil flowing porosity: application of high-pressure mercury intrusion in the fourth member of Cretaceous Quantou Formation in southern Songliao Basin, NE China [J]. Petroleum Exploration and Development,2015,42(5):681-688.
- [9] 胡云亭,刘灵童,王文升,等.基于沉积相控的优质储层预测:以鄂尔多斯盆地X区块下石盒子组致密砂岩气为例[J].断块油气田,2020,27(6):705-718.  
HU Yunting,LIU Lingtong,WANG Wensheng,et al.High-quality reservoir prediction based on sedimentary facies control technique: taking tight sandstone gas of X block in Lower Shihezi Formation of Ordos Basin as an example [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020,27(6):705-718.
- [10] 胡天乐.鄂尔多斯盆地西南缘三维地震二次攻关处理资料评价及储层预测效果:以DF井区为例[J].海洋地质前沿,2020,36(2):53-58.  
HU Tianle.Evaluation of the special reprocessing of 3D seismic data and its application to reservoir prediction in southwest Ordos Basin;take DF well area as an example[J].Marine Geology Frontiers,2020,36(2):53-58.
- [11] 郭秀娟,夏东领,庞雯,等.基于微观孔隙结构的基质储层质量差异展布:以红河油田长<sub>8</sub>油层为例[J].断块油气田,2019,26(6):608-712.  
GUO Xiujuan,XIA Dongling,PANG Wen,et al.Distribution law of reservoir quality based on microscope pore structure characterization of tight reservoir; taking member 8 of Yanchang Formation in Honghe oilfield as an example [J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2019,26(6):608-712.
- [12] 邹敏,夏东领,魏荷花,等.鄂尔多斯盆地渭北地区区长<sub>3</sub>致密砂岩沉积微相与储层非均质性[J].地质科技情报,2015,34(4):65-69.  
ZOU Min,XIA Dongling,WEI Hehua,et al.Tight sandstone microfacies and reservoir heterogeneity of Chang 3 of Yanchang Formation in Weibei area, Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information,2015,34(4):65-69.
- [13] 郭秀娟,夏东领,庞雯,等.致密油微观孔隙结构精细表征对储层分类的重要作用:以红河油田长<sub>8</sub>油层为例[J].科学技术与工程,2019,19(34):129-136.  
GUO Xiujuan,XIA Dongling,PANG Wen,et al.Significance of microscope pore structure characterization for classification of tight reservoir; taking the 8th member of Yanchang Formation in

- Honghe oilfield as an example [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(34): 129-136.
- [14] 邹敏, 夏东领, 庞雯, 等. 致密砂岩储层微观孔喉结构表征方法及其应用; 以鄂尔多斯盆地红河地区长 8 层为例 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2019, 34(2): 46-53.
- ZOU Min, XIA Dongling, PANG Wen, et al. Characterization method of micropore-throat structure of tight sandstone reservoir and its application; taking Chang 8 reservoir of Honghe area, southern Ordos Basin as an example [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2019, 34(2): 46-53.
- [15] 夏东领, 邹敏, 庞雯, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区长 8 致密砂岩储层孔喉组合分类及其意义 [J]. 地质科技情报, 2018, 37(4): 120-126.
- XIA Dongling, ZOU Min, PANG Wen, et al. Classification and significance of pore throat combination of Chang 8 tight sandstone reservoir in Zhenjing area, Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(4): 120-126.
- [16] 周文, 邓虎成, 赵国良, 等. 阿曼 Daleel 油田下白垩统 Shuaiba 组上段走滑正断裂带裂缝分布定量评价 [J]. 矿物岩石, 2009, 29(4): 53-59.
- ZHOU Wen, DENG Hucheng, ZHAO Guoliang, et al. Quantitative evaluation of fracture distribution in the down strike-slip fault zone of Upper Shuaiba Member of Lower Cretaceous, Daleel, Oman [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2009, 29(4): 53-59.
- [17] 王猛. 鄂尔多斯盆地镇原—泾川地区中生界断裂发育 [J]. 断块油气田, 2019, 26(2): 142-146.
- WANG Meng. Mesozoic fracture development characteristics of Zhenyuan-Jingchuan area, Ordos Basin [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2019, 26(2): 142-146.
- [18] 何发岐, 梁承春, 陆骋, 等. 鄂尔多斯盆地南缘过渡带致密—低渗油藏断缝体的识别与描述 [J]. 石油与天然气地质, 2020, 41(4): 710-718.
- HE Faqi, LIANG Chengchun, LU Cheng, et al. Identification and description of fault-fracture bodies in tight and low permeability reservoirs in transitional zone at the south margin of Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(4): 710-718.
- [19] 梁志强. 不同尺度裂缝的叠后地震预测技术研究 [J]. 石油物探, 2019, 58(5): 766-772.
- LIANG Zhiqiang. Poststack seismic prediction techniques for fractures of different scales [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019, 58(5): 766-772.
- [20] 龙旭, 武林芳. 蚂蚁追踪属性体提取参数对比试验及其在塔河四区裂缝建模中的应用 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2011, 33(5): 76-81.
- LONG Xu, WU Linfang. Parameter comparative experiments on ant tracking attribute extraction and its application in fracture modeling in region 4 of Tahe oilfield [J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute), 2011, 33(5): 76-81.
- [21] 孙炜, 李玉凤, 付建伟, 等. 测井及地震裂缝识别研究进展 [J]. 地球物理学进展, 2014, 29(3): 1231-1242.
- SUN Wei, LI Yufeng, FU Jianwei et al. Review of fracture identification with well logs and seismic data [J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(3): 1231-1242.
- [22] 董双波, 柯式镇, 张红静, 等. 利用常规测井资料识别裂缝方法研究 [J]. 测井技术, 2013, 37(4): 380-384.
- DONG Shuangbo, KE Shizhen, ZHANG Hongjing, et al. On fracture identification with conventional well logging data [J]. Well Logging Technology, 2013, 37(4): 380-384.
- [23] 梁承春, 刘小虎, 林清申, 等. 红河油田长 8 致密油成藏机理及甜点模式 [J]. 特种油气藏, 2016, 23(6): 26-30.
- LIANG Chengchun, LIU Xiaohu, LIN Qingshen, et al. Tight oil accumulation mechanism and "sweet-spot" mode in Chang 8 Formation of Honghe Oilfield [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2016, 23(6): 26-30.
- [24] 肖承钰, 尹伟, 张颖, 等. 鄂尔多斯镇泾地区延长组成藏体系与油气富集模式 [J]. 石油实验地质, 2015, 37(3): 347-353.
- XIAO Chengyu, YIN Wei, ZHANG Ying, et al. Petroleum accumulation systems and oil enrichment patterns of Yanchang Formation in Zhenjing area, southern Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(3): 347-353.
- [25] 刘秀婵, 陈西洋. 鄂尔多斯盆地富县地区长 8 油层组致密油成藏主控因素分析 [J]. 油气藏评价与开发, 2019, 9(1): 1-7.
- LIU Xiuchan, CHEN Xipan. Analysis on main controlling factors of tight oil reservoirs in Chang-8 reservoir of Fu County, Ordos Basin [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2019, 9(1): 1-7.
- [26] 郭继刚, 郭凯, 宫鹏骐, 等. 鄂尔多斯盆地延长组储层致密化及其影响下的致密油充注特征 [J]. 石油实验地质, 2017, 39(2): 169-179.
- GUO Jigang, GUO Kai, GONG Pengqi, et al. Reservoir densification and tight-oil charging in Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(2): 169-179.
- [27] 梁吉学, 常象春, 尹伟. 镇泾地区延长组流体过剩压力分布特征及其与油气成藏的关系 [J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(4): 55-60.
- LIANG Jixue, CHANG Xiangchun, YIN Wei. Distribution characteristics of fluid overpressure and their relationship with hydrocarbon accumulation in the Yanchang Formation of Zhenjing area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(4): 55-60.
- [28] 张全培, 吴文瑞, 刘丽萍, 等. 鄂尔多斯盆地镇北地区延长组超低渗透储层孔隙结构及其分形特征 [J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(3): 20-31.
- ZHANG Quanpei, WU Wenrui, LIU Liping, et al. Pore structure and fractal characteristics of ultra-low permeability reservoirs in Yanchang Formation in Zhenbei area, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(3): 20-31.