

# 济阳坳陷青东凹陷沙河街组储层特征

经雅丽

(中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:** 济阳坳陷青东凹陷勘探程度很低, 沉积储层等基础地质条件研究显得尤为重要。沙河街组是青东凹陷主要的含油层系。综合岩心、薄片、物性分析等资料, 对该区储层特征进行了系统研究。沙河街组储层储集空间以原生粒间孔隙、粒间溶蚀孔和粒内溶孔为主。沙四段主要处于早成岩 B 期—晚成岩 A 期, 非均质性较强; 沙三段主要处于早成岩 B 期, 整体物性表现为高孔、高渗透的特征。沉积微相和成岩作用是研究区储层物性的主要影响因素。溶蚀作用的发生与有机质排烃伴生的有机酸有关, 使储层物性得以改善; 胶结作用和压实作用使储层孔渗性变差。

**关键词:** 储集空间; 成岩作用; 物性特征; 青东凹陷; 济阳坳陷; 渤海湾盆地

**中图分类号:** TE122.2<sup>+</sup>3

**文献标识码:** A

## Reservoir characteristics of Shahejie Formation in Qingdong Sag, Jiyang Depression

Jing Yali

(Research Institute of Geosciences, SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257015, China)

**Abstract:** The exploration degree of the Qingdong Sag of the Jiyang Depression is very low, so it is necessary to carry out studies of basic geological conditions such as sedimentary reservoir. The Shahejie Formation is the main oil-bearing sequence in the Qingdong Sag. Based on core, thin section and physical property analyses, the reservoir characteristics in the study area have been systematically researched. Pores in the Shahejie Formation are mainly primary intergranular, intergranular dissolved and intragranular dissolved ones. The 4th member of the Shahejie Formation is from the early diagenesis stage B to the late diagenetic stage A, and has strong heterogeneity. The 3rd member of the Shahejie Formation is during the early diagenesis stage B, and has high porosity and high permeability. Sedimentary microfacies and diagenesis are the main influencing factors for reservoir property in the study area. Corrosion happens when organic acid generates as organic matter expulsing, which improving reservoir property. Cementation and compaction make the reservoir porosity and permeability become worse.

**Key words:** reservoir space; diagenesis; physical characteristics; Qingdong Sag; Jiyang Depression; Bohai Bay Basin

济阳坳陷青东凹陷自 20 世纪 70 年代开始勘探, 目前已成为胜利油田外围新区的主阵地。部署钻探的青东 12 和青东 30 等井相继获得成功, 显示了青东地区的勘探潜力。由于前期缺乏对青东凹陷地层发育特征、构造格局等认识, 致使该区目前的勘探研究程度较低, 对沉积储层等缺乏系统认识。本文综合岩心、薄片、物性分析等资料, 对该区沙河街组储层特征进行了研究, 以期为后续的勘探部署提供依据。

### 1 区域地质概况

青东凹陷属于济阳坳陷的次级凹陷, 位于济阳

坳陷东部、郯庐断裂西支西侧<sup>[1-4]</sup>。西北以垦东—青坨子凸起为界, 东南紧邻潍北凸起, 西南与东营凹陷的青南洼陷相通, 凹陷面积近 1 200 km<sup>2</sup> (图 1), 其中胜利油田勘探面积为 600 km<sup>2</sup>。青东凹陷是在中—古生界基底上发育的一个新生代盆地, 自下而上发育古近系孔店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组、明化镇组及第四系平原组。青东凹陷是一个四周环凸的小型断陷盆地, 具有沉积物源多而规模小的特征, 区域构造翘倾控制不同时期的物源方向。凹陷内沉积类型多, 纵横向变化快, 不同沉积时期的构造格局控制沉积体系类型与分布。在孔店组—沙四下亚段沉积时期, 区域上古地势北

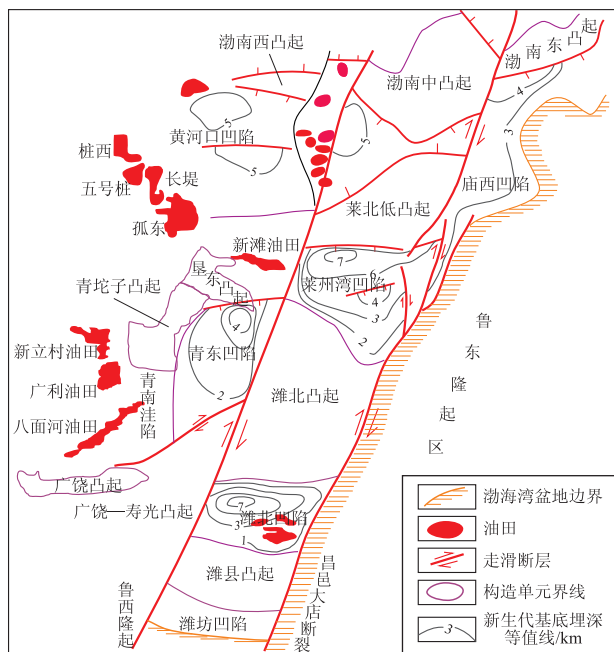


图1 济阳拗陷青东凹陷构造位置

Fig.1 Structural location of Qingdong Sag, Jiyang Depression

高南低,凹陷内为北北西走向的构造格局,主要发育围绕西北部垦东—青坨子物源区呈裙带状分布的冲积扇储集体系;在沙四上亚段沉积时期,区域上古地势南北较均衡,凹陷内为近东西向构造格局,主要发育沿凹陷周缘呈环带状分布的(扇)三角洲储集体系;在沙三段—沙二段沉积时期,地势南高北低,储集体系以南部物源的三角洲为主。储层沉积类型多,成岩作用差异大,储层物性受沉积相带和成岩作用共同控制。

青东凹陷发育沙三下亚段和沙四上亚段2套有效烃源岩,其中沙四上亚段具有咸化烃源岩的特征,为有力烃源岩,具有异常高地温生烃环境,生烃门限浅;沙四段上亚段烃源岩大量生排烃期为明化镇组沉积时期,而此时沙三下亚段烃源岩刚进入成熟生烃门限;凹陷生烃量为 $37.9 \times 10^8$  t,具有 $4 \times 10^8$  t左右油气资源量,具有咸化低熟油、咸化成熟油、正常成熟油3种不同的原油类型。青东凹陷发育构造、岩性、地层和复合圈闭4大类圈闭类型,形成了4种油气藏类型,以构造油气藏为主。青东凹陷发育6套储盖组合,以及北部断阶带、西北部斜坡带、中北部深洼带、东北部断坡带、中央地垒带、西南部过渡带和南部浅洼带7个油气聚集单元。

## 2 储层特征

### 2.1 储集空间特征

青东凹陷沙河街组储层储集空间类型有原生

粒间孔、粘土矿物晶间微孔、粒间溶蚀孔、粒内溶孔、贴粒孔缝和裂缝等。其中原生粒间孔、粒间溶蚀孔和粒内溶孔为主要的储集空间。

#### 2.1.1 原生孔隙

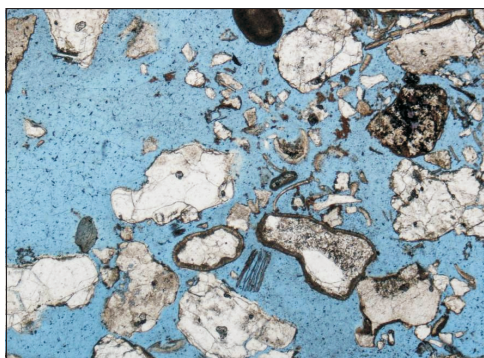
(1)原生粒间孔:原生粒间孔为沙河街组储层最主要的储集空间。从扫描电镜、铸体薄片观察分析,沙三段较沙四段压实作用及胶结作用弱,原生粒间孔保存较多(图2)。

(2)粘土矿物晶间微孔:粘土矿物晶间微孔为高岭石、蒙皂石等粘土矿物晶间孔隙,重结晶的高岭石晶间孔隙尤为明显(图3),一般孔径小,对储集油气(特别是对重质原油)是无效的储集空间。

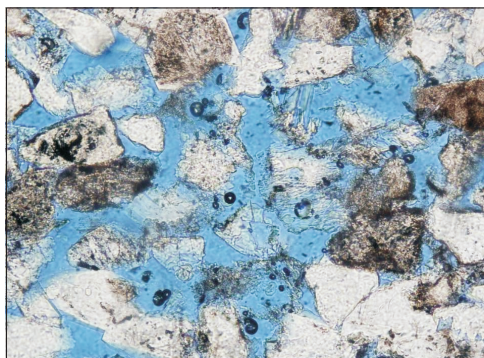
#### 2.1.2 次生孔隙

(1)粒间溶蚀孔:粒间溶蚀孔的重要性仅次于原生粒间孔,是改善储集性能的重要储集空间类型,在沙三段、沙四段含油砂岩中较为普遍(图2)。该类孔隙是在原生粒间孔基础上经过溶蚀作用形成的,为颗粒、粒间杂基或胶结物被非选择性溶蚀所形成的,有的颗粒(长石最为普遍)被完全溶蚀形成铸模孔。

(2)粒内溶孔:粒内溶孔为长石、岩屑被不完全溶蚀情况下形成的粒内孔隙(图3),对储集空间



a.含砾砂岩中原生粒间孔隙发育,见生物碎屑,颗粒边缘环绕同生期微晶方解石胶结物(青东11井,1426 m,沙三段上亚段)



b.粉砂岩的粒间孔发育,为在原生粒间孔基础上溶蚀扩大形成,个别颗粒溶蚀形成铸模孔(青东401井,1232.6 m,沙四段上亚段)

图2 济阳拗陷青东地区储层铸体薄片孔隙特征

Fig.2 Pore characteristics of casting thin sections of reservoirs in Qingdong Sag, Jiyang Depression



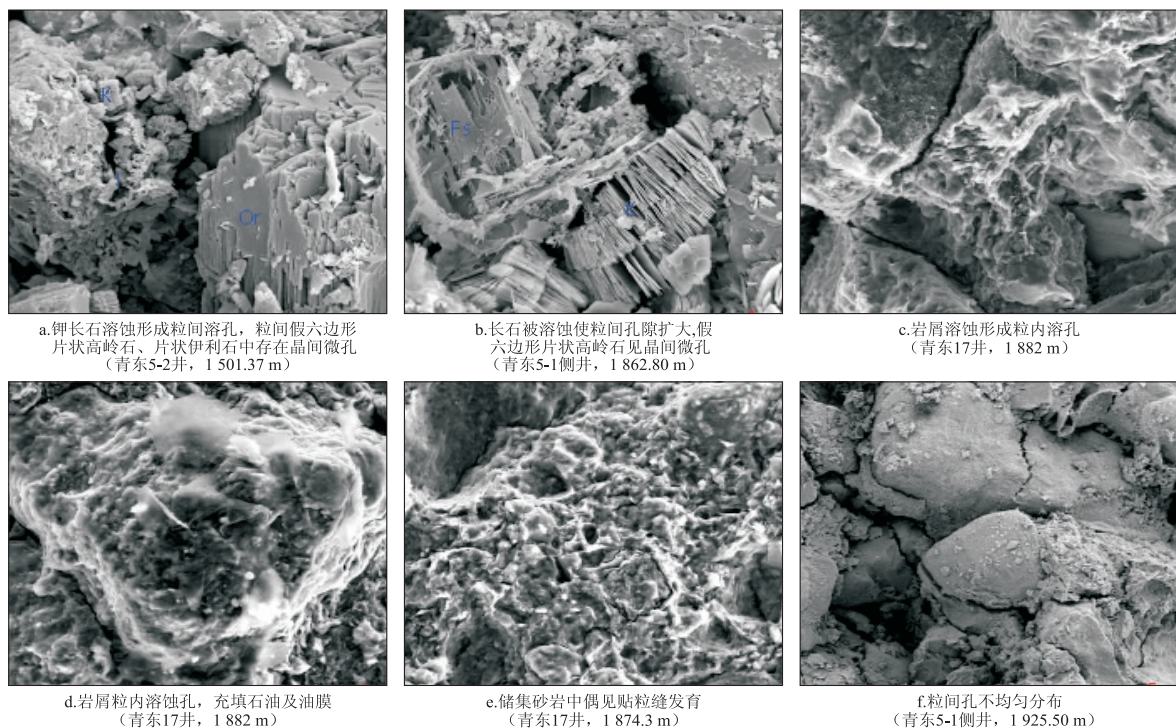


图3 济阳坳陷青东地区扫描电镜中砂岩储集空间特征

Fig. 3 Reservoir space of sandstones by SEM, Qingdong Sag, Jiyang Depression

有改善作用。

(3)贴粒孔缝:贴粒孔缝为成岩收缩机制形成的,可经过溶蚀作用进一步改造。在沙四段储层中常见,可在一定程度上改善储层的孔隙性和渗透性。

(4)裂缝:研究区多期构造活动强烈,裂缝发育,包括宏观上肉眼可见的裂缝及微观上可见的微裂缝,是油气运移的主要通道之一,对改善储层的渗透性有重要的作用,在岩心的裂缝里可见油迹。

## 2.2 储层成岩作用分析

### 2.2.1 建设性成岩作用

建设性成岩作用主要为溶蚀作用(图2,3),其次为在构造运动中发生的破裂作用。研究区沙四段、沙三段多数储油砂体经历了溶蚀作用的改造。

### 2.2.2 破坏性成岩作用

破坏性成岩作用主要为胶结作用,其次为压实作用、自生矿物充填作用、石英及长石的次生加大(较弱)等。研究区压实作用对储层尤其是沙三段储层的影响较明显;储层中主要的胶结物是方解石,其在研究区北部青东23和青东30等井中普遍发育,在靠近鲕粒生屑灰岩的储集岩中可以形成连生胶结的方解石胶结物,是使孔隙度降低的重要影响因素,也是这2口井沙三段储层较为致密的主要影响因素之一。沙四段储层还有少量的自生蒙皂石和绿泥石等粘土自生矿物和黄铁矿、石膏等自生矿物,黄铁矿呈莓状微晶集合体产出,沙四段储层

砂岩中见次生加大的(或自生的)石英及长石等自生矿物,含量一般较低,在一定程度上填补了孔隙空间,是孔隙性变差的影响因素之一。

### 2.2.3 交代作用和粘土矿物重结晶作用

主要为方解石对碎屑颗粒及前期填隙物的交代及粘土矿物、方解石胶结物的重结晶,从理论上来说,二者对孔隙发育影响小,但是方解石交代作用和重结晶作用伴随着强烈的胶结作用。

### 2.2.4 成岩作用阶段划分与成岩演化序列

根据研究区沙河街组储层成岩演化序列(图4),青东凹陷沙三段储层成岩阶段主要位于早成岩B期,压实作用较弱,原生孔隙发育,在原生孔隙基础上溶蚀作用较为强烈。沙四段储层成岩阶段主要位于早成岩B期—中成岩A期,压实作用增强,原生孔隙保留,溶孔较为发育。

青东凹陷沙四下亚段的顶部发育不整合面,可能存在成岩早期的淡水溶解作用。而在相对较深埋藏成岩过程中,有机酸的溶解作用明显,这些有机酸可能主要来源于沙四上亚段以I和II型干酪根为主的烃源层,在早成岩中、晚期的成岩事件会造成一部分长石及其他骨架颗粒的溶解。遭受溶解的主要地层应是烃源层附近的储层,如青东12井沙三段、沙四上亚段含油层的次生孔隙发育带在一定程度上与沙四上亚段油页岩、页岩排出的有机酸的溶解作用有关,岩心和薄片观察也提供了类似

成岩阶段		古地温/ °C	有机质					泥岩		砂岩固 结程度	砂岩中自生矿物						溶解作用		颗粒 接触 类型	孔隙 类型			
阶段	期		R <sub>0</sub> /%	T <sub>max</sub> /°C	孢粉 颜色	TAI	成岩 阶段	烃类 演化	I/S中S 含量/%		I/S混 层分带	高岭 石	伊利 石	绿泥 石	石英 加大	方解 石	钠长 石	黄铁 矿			长石 加大	长石 溶解	岩屑 溶解
同生成 岩阶段		古常温	1.同生结核形成; 2.平行层理面分布的菱铁矿微晶及斑块状泥晶																				
早成岩 阶段	A	古常温~ 65	0.35		淡黄	<2.0	未成熟	生物气 低熟 原油	>70	蒙皂 石带	弱固结— 半固结												原生孔 隙为主
	B	65~ 85	0.35~ 0.5	430~ 435	深黄	2.0~ 2.5	半成熟		50~70	无序 混层带	半固结— 固结											点状	原生孔 隙和少 量次生 孔隙
中成岩 阶段	A	85~ 140	0.5~ 1.3	435~ 460	棕— 桔黄	2.5~ 3.7	低成熟— 成熟	原油 为主	15~50	有序 混层带												点 线状	可保留 原生孔 隙次生 孔发育
	B	140~ 175	1.3~ 2.0	460~ 490	棕黑	3.7~ 4.0	高成熟	湿气— 凝析油	<15	超 点阵有 序混层 带	固结											线— 缝状	孔隙 减少
晚成岩 阶段		175~ 200	>2.0~ 4.0	>490	黑	>4.0	过成熟	干气	消失	伊利 石带													裂缝 发育
表生 阶段		古常温 或常温	1.含低价铁; 2.表生高岭石; 3.溶解孔、洞																				

图4 济阳拗陷青东地区沙河街组储层成岩演化序列

Fig. 4 Diagenesis evolution sequence of Shahejie Formation in Qingdong Sag, Jiyang Depression

的证据,有机酸可能是通过裂缝系统(包括微裂缝系统)进入上覆砂岩地层中。当溶解作用在相对封闭的成岩条件下完成时,溶出离子难于迁移,因而缺乏高岭石沉淀。

2.3 储层物性特征

青东凹陷沙四段储层非均质性较强,孔隙度为4.4%~37.7%,平均为22.27%(171个数据点),多集中于20%~25%;渗透率为(0.05~7 800)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,平均为232.36×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>(134个数据点),多集中于(1~10)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,其次为(10~100)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,孔渗相关性较好。沙三段储层孔隙度为5.9%~44.9%,平均为30.911%(133个数据点),孔隙度多为40%~45%;渗透率为(0.13~24 300)×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,平均为4 202×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>(74个数据点);孔隙度和渗透率都呈现出高值的特征。低埋深、压实作用和胶结作用弱是沙三段储层高孔高渗透居多的主要原因。

2.4 储层物性影响因素分析

2.4.1 沉积微相对储层发育的控制

冲积扇及近岸滑塌扇扇根的辫状河道砂体主要由岩块砾岩、砾质岩屑杂砂岩组成,分选及磨圆差,杂基含量多,原始孔隙度相对较低(压实作用和胶结作用弱则有一定的孔隙度),加之一般没有良好的盖层条件,储层品质差,一般不储油。

正常三角洲及扇三角洲水下分支或辫状河道、河口砂坝、席状砂主要由粉—细粒岩屑长石砂岩、长石砂岩组成<sup>[5-7]</sup>,粒度相对较细,接受湖泊水动力改造强,粘土杂基组分含量要低一些,且储盖层

配置良好,较利于油层发育。根据研究区不同沉积微相岩心实测孔隙度的统计(在忽略埋藏深度的情况下统计其平均值)(图5)可以发现,扇三角洲和三角洲前缘砂体的孔隙度平均值均大于30%,为良好的储集体。

湖泊砂坝和砂滩砂体与河口砂坝、席状砂微相类似,湖泊动荡水体对它们的改造强,粉、细砂岩杂基含量较低,砂体与浅湖相泥岩(或滩间、坝间泥岩)呈互层或夹于泥岩之中,储盖层配置好,可以储集油气,但一般砂体厚度薄,含水层多。若砂体厚度大、侧向延伸性好,则遮挡条件好就可以形成一定规模的油藏。

综合各微相类型的砂体孔、渗性特征,认为扇三角洲、三角洲前缘、河口砂坝、席状砂和湖泊砂坝、砂滩砂体为有利储层发育的相带,湖泊碳酸盐滩、重力流水道和湖底扇砂体为较有利的储集相

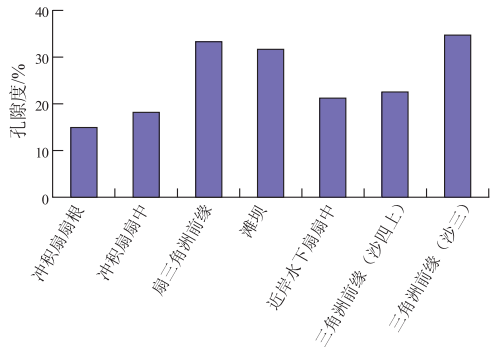


图5 济阳拗陷青东地区不同沉积相孔隙度  
Fig. 5 Porosities of different sedimentary facies in Qingdong Sag, Jiyang Depression

带,而扇三角洲平原及近岸滑塌扇扇根的辫状河道砂体是不利的储集相带。

#### 2.4.2 成岩作用对储层发育的控制

研究区储层砂岩总体上压实作用较弱,岩石疏松,碎屑颗粒以点接触为主,原生孔隙保存较好。相比来说沙三段储层较沙四段更为疏松,孔渗性更好。

沙河街组储层中对孔渗发育有利的建设性的成岩作用主要为溶蚀作用,多数储油砂体尤其是沙四段储集砂体经历了溶蚀作用的改造。岩石中易溶组分主要是长石和岩屑。成岩期溶蚀作用的发生和有机质排烃伴生的有机酸有关,构造裂缝的存在加剧了这一过程。

在观察的油迹砂岩或粉砂岩中,次生溶孔一般较为发育,显示溶蚀作用的发生和有机质排烃伴生的有机酸有关。

对储层发育不利的破坏性成岩作用主要为方解石的胶结作用和压实作用,二者的发育是相辅相成的,压实作用强则胶结作用也强,二者受埋深的影响明显。方解石胶结物、自生环边状粘土矿物、黄铁矿、次生加大的石英及长石等充填、胶结作用的发生使储层孔、渗性变差。

交代作用、粘土矿物重结晶作用等对孔隙发育影响小。但是方解石强烈交代其他矿物的岩石一般胶结作用强,岩石致密;而粘土矿物交代长石(或岩屑)的岩石一般溶蚀作用较强,次生孔隙较为发育。

成岩作用常与沉积作用、构造作用相辅相成<sup>[8-12]</sup>。与(扇)三角洲前缘间湾泥岩或前(扇)三角洲泥岩呈互层产出的河口砂坝、席状砂沉积,易受到有机质排烃伴生的有机酸等溶蚀性流体的影响,次生孔隙更为发育;而构造裂缝的存在会加剧这一进程。在研究区不同期次的构造活动中,断层的开启将为酸性流体、大气淡水的流动提供有效的通道,增加储层砂岩被溶解的几率。

### 3 结束语

青东凹陷沙三段和沙四段是其主要含油层系。储层的物性受其沉积相带和成岩作用等因素控制。青东凹陷周围的多物源性质决定了其沉积相带的多异性,不同的沉积类型、母岩性质、成岩演化阶段对储层平面和纵向影响较大。

#### 参考文献:

- [1] 杨贵丽. 济阳拗陷青东凹陷构造格局及构造演化[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(1): 7-10.
- [2] 俞家声, 王普伟, 林玉祥. 青东凹陷油气资源潜力[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 5-8.
- [3] 郭新安, 吴智平, 李伟, 等. 青东地区新生代断层发育特征及其对沉积的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(4): 13-16.
- [4] 时丕同, 方旭庆, 陈涛, 等. 青东凹陷石油地质特征和勘探方向分析[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(5): 43-48.
- [5] 纪友亮, 李清山, 王勇, 等. 高邮凹陷古近系戴南组扇三角洲沉积体系及其沉积相模式[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(1): 9-19.
- [6] 史原鹏, 姚威, 降栓奇, 等. 洪浩尔舒特凹陷下白垩统扇三角洲前缘次生扇的油气地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(4): 35-37.
- [7] 白振瑞, 邢凤存, 李会宪. 柯坪露头区柯坪塔格组河流作用为主的三角洲沉积特征及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 217-224.
- [8] 张威, 李勇, 张自力, 等. 南华北地区上古生界砂岩成岩作用及影响[J]. 断块油气田, 2011, 18(5): 578-581.
- [9] 罗文军, 彭军, 杜敬安, 等. 川西拗陷须家河组二段致密砂岩储层成岩作用与孔隙演化: 以大邑地区为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 287-295.
- [10] 罗文军, 彭军, 曾小英, 等. 川西丰谷地区须四段钙屑砂岩优质储层形成机理[J]. 石油实验地质, 2012, 34(4): 412-416, 421.
- [11] 王雅楠, 李达, 齐银, 等. 苏里格气田苏14井区盒8段储层成岩作用与孔隙演化[J]. 断块油气田, 2011, 18(3): 297-300.
- [12] 王勇, 施泽进, 刘亚伟, 等. 鄂西渝东地区石柱复向斜志留系小河坝组致密砂岩成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 75-82.

(编辑 黄娟)