

渤南油田四区沙三段储层特征及其控制因素

范瑞峰^{1,2},董春梅¹,吴鹏²,祝鹏¹,曲丽丽³,邢新亚¹

(1.中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东青岛266580; 2.中国石化胜利油田分公司滨南采油厂,山东滨州256600; 3.中国石油冀东油田分公司南堡作业区,河北唐山063200)

摘要:利用岩心观察、铸体薄片、扫描电镜和分析化验等资料,对渤南油田四区沙河街组沙三段储层特征及其控制因素进行研究,结果表明:研究区沙三段储层砂岩成分成熟度和结构成熟度较低,物性较差,储集空间以次生溶蚀孔隙为主,具有沉积作用宏观主控,成岩作用微观改造的特点。压实作用是导致其物性变差的主要原因,胶结作用次之;溶蚀作用较为发育,改善了其储集性能。在成岩作用研究及成岩相分析的基础上,将该区沙三段储层划分为压实残余剩余粒间孔—不稳定组分溶蚀、次生高岭石晶间孔—石英自生加大、充填/半充填微裂缝—碳酸盐胶结交代和强压实—杂基充填4种成岩相组合类型。据钻井资料揭示研究区优质储层主要分布于压实残余剩余粒间孔—不稳定组分溶蚀成岩相。

关键词:储层特征 控制因素 成岩相 优质储层 沙三段 渤南油田

中图分类号:TE122.2

文献标志码:A

文章编号:1009-9603(2015)04-0064-05

Reservoir characteristics and its control factors of Es₃ member in Area 4, Bonan oilfield

Fan Ruifeng^{1,2}, Dong Chunmei¹, Wu Peng², Zhu Peng¹, Qu Lili³, Xing Xinya¹

(1.School of Geosciences, China University of Petroleum(East China), Qingdao City, Shandong Province, 266580, China;
2.Binnan Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Binzhou City, Shandong Province, 256600, China;
3.Nanpu Operation Area, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan City, Hebei Province, 063200, China)

Abstract: The characteristics of reservoir and its control factors of Es₃ member in Area 4, Bonan oilfield were studied using data of core observation and description, casting thin sections, scanning electron microscope and core laboratory analysis. The analysis results show that the reservoir of Es₃ member is characterized by low compositional maturity and textural maturity of sandstone, poor physical property and development of secondary dissolution pore, which is controlled by deposition macroscopically and by diagenetic reform microcosmically. The main reason leading to the poor reservoir physical property is compaction, followed by cementation. Dissolution develops well to improve reservoir performance. On the basis of diagenesis study and diagenetic facies analysis, the reservoir diagenetic facies in the study area were divided into 4 types: residual intergranular pore after compaction-unstable component dissolution facies, secondary kaolinite intergranular pore-quartz overgrowth facies, filling and half-filling microfracture-carbonate cementation facies, severe compaction-matrix filling facies. The drilling data in the area reveal that high-quality reservoirs mainly distribute in residual intergranular pore-unstable component dissolution diagenetic facies.

Key words: reservoir characteristics; control factors; diagenetic facies; high-quality reservoirs; Es₃ member; Bonan oilfield

储层特征受沉积条件、成岩作用、构造运动、油气充注、异常高压等多种因素控制,其中沉积条件和成岩作用是最主要的控制因素^[1-2],沉积条件控制储层发育,成岩作用改造储层物性,成岩相对储层

收稿日期:2015-05-05。

作者简介:范瑞峰(1991—),男,山东滨州人,在读硕士研究生,从事油气田开发地质方面的研究。联系电话:18654386287, E-mail: fanruifeng@gmail.com。

基金项目:国家科技重大专项“复杂油藏剩余油分布预测”(2011ZX05009-003)。

物性具有明显控制作用,确定成岩相组合类型、分布特征及其对储层物性的影响,为明确储层在纵向上以及平面上的发育分布规律提供理论依据^[3-7]。笔者在对渤南油田四区沙三段储层特征研究的基础上,从沉积、成岩两个方面对储层控制因素进行综合分析,进而探讨成岩相组合类型与优质储层的匹配关系,以期为研究区后期的高效合理开发、提高最终采收率提供科学依据。

1 区域地质概况

渤南油田位于济阳拗陷沾化凹陷中部的渤南洼陷,四区为渤南油田东北部的一个小断块,位于渤南洼陷南部缓坡带的中部凹陷,南以控注断层渤深4断层东段为界,东与义118区块相邻,西与三区相邻,北到义34块南界断层。研究区沙三段埋深为3 300~3 500 m,属于扇三角洲沉积,发育水下分流河道、河口坝、水下溢岸、前缘席状砂等沉积微相。

2 储层发育特征

2.1 岩石组成

岩心及岩石铸体薄片资料分析结果表明,渤南油田四区沙三段储层的成分成熟度和结构成熟度较低,主要颗粒组分包括石英、长石和岩屑;岩性以岩屑质长石细—中砂岩为主,岩屑质长石粗—粉砂岩次之。石英含量相对较高,为35%~45%;长石含量为30%~40%,以斜长石为主;岩屑含量为15%~40%,以沉积岩为主,其次为变质岩及少量火山岩。胶结物类型较多,以晚期铁方解石和铁白云石钙质胶结为主,局部可见白云石和菱铁矿等。杂基类型主要为泥质杂基,含量变化较大,为1.8%~8.5%,平均值为5.8%。岩石颗粒磨圆度中等,以次棱角状为主、次圆状为辅;分选中等—差,以中砂、细砂为主,其次为粗砂、粉砂,平均粒度中值大多约为0.2 mm。

2.2 储集空间类型

镜下观察发现,研究区沙三段储层储集空间类型多样,以次生溶蚀孔隙为主,包括粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔和微裂缝4种类型。

粒间溶孔 粒间溶孔主要由粘土杂基和钙质胶结物溶蚀形成,矿物边缘粘土杂基溶蚀严重,粒间溶孔发育,钙质胶结物溶解,扩大了粒间孔隙体积,残余的钙质胶结物多零星分布于粒间孔隙内(图1a)。

颗粒及粒内溶孔 颗粒及粒内溶孔主要由颗

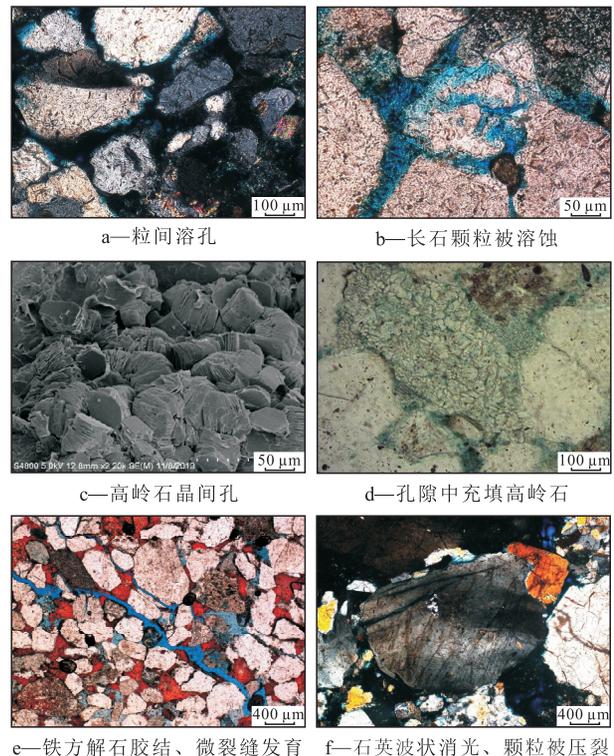


图1 渤南油田四区沙三段储层显微图像特征

Fig.1 Optical microscope and SEM photographs of the E_{s3} reservoir in Area 4, Bonan oilfield

粒边缘或内部不稳定组分溶蚀形成。溶蚀作用强烈,甚至形成铸模孔及超大孔(图1b),长石、岩屑颗粒、碳酸盐胶结物及粘土杂基为该区溶蚀的主要对象,其中以长石颗粒溶蚀为主,其次为岩屑颗粒溶蚀,石英颗粒溶蚀少见。

晶间孔 长石蚀变后多形成一些自形程度较高的粘土矿物,其晶体之间发育的微孔隙对储层物性的改善作用较小,具有微弱的渗透能力。由于粘土矿物常充填于孔喉内生长,容易堵塞喉道,导致储层渗透率整体变差^[7]。该区沙三段储层多见自生高岭石晶间孔(图1c,图1d)。

微裂缝 研究区沙三段储层局部发育具有一定延伸方向的微裂缝,且随其延伸距离的增大呈尖灭状展布。部分早期形成的微裂缝在成岩作用影响下扭曲变形,部分被沥青质半充填或全充填(图1e),未被充填的微裂缝具有很好的渗透性,改善了储层物性。溶蚀流体容易沿着微裂缝发生非选择性溶蚀^[2],因此微裂缝周围常伴随着溶蚀孔隙发育。

3 储层发育控制因素

3.1 沉积条件

沉积条件宏观上控制储层的空间分布、砂体规模及厚度,决定了岩石的组成成分、结构构造、填隙

物含量等特征,进而影响储层的原始物性特征^[8]。沉积作用对储层发育的控制作用主要反映在沉积微相上,不同沉积微相其水动力条件不同,因此其成岩作用各具特色,时空展布也不尽相同,不同沉积微相的砂体具有不同的物性特征和不同的储层变化规律。研究区沙三段扇三角洲沉积中以水下分流河道和河口坝微相的储层物性相对较好,水下溢岸微相次之,前缘席状砂微相最差。

3.2 成岩作用

机械压实作用 研究区沙三段储层以岩屑质长石砂岩为主,岩屑、杂基等塑性颗粒含量较高,导致储层抗压能力较差,容易被压实致使孔隙变小;其次,该区沙三段储层埋深大,上覆地层压力大,机械压实作用强烈,导致储层孔隙度减小,渗透率变差。碎屑颗粒呈线性—凹凸接触,泥岩、页岩岩屑、泥质杂基、云母等塑性颗粒挤压变形、扭曲、假杂基化,受强烈压实作用影响在显微镜下可见石英、长石等刚性颗粒波状消光甚至被压碎、压裂(图1f)。

胶结作用 研究区沙三段储层胶结物以钙质胶结为主,其次为泥质胶结和硅质胶结。早期方解石胶结较少,多为晚期铁方解石和铁白云石胶结(图1e)。碳酸盐含量为0.2%~15.6%,平均含量为3.89%,高含量的碳酸盐致使该区沙三段储层渗透性变差。早期方解石胶结作用虽然减少了孔隙体积,但也减缓了压实作用,并为后期有机酸涌入地层形成次生孔隙提供了物质基础;晚期成岩环境由酸性条件向碱性条件演化,含铁碳酸盐胶结物的出现使孔隙空间减少,并堵塞储层渗流通道^[9],导致该区沙三段储层渗透性变差。

溶蚀作用 研究区沙三段储层溶蚀作用主要来自于有机质演化过程中形成的有机酸及酸性水。沙一段沉积时期—明化镇组沉积时期有机质成熟导致大量有机酸释放,在热对流作用下,流动于储层孔隙中的有机酸及酸性水对储层进行强烈改造,早期形成的碳酸盐、长石及酸性岩屑颗粒被大量溶解,形成次生溶蚀孔隙带(图2)。该区沙三段储层的溶蚀作用普遍发育,既有粒内溶孔,又有粒间胶结物溶蚀,形成的溶蚀孔隙及溶蚀裂缝改善了储层储集性能,在研究区沙三段储层低渗透背景下,形成了局部甜点储层分布区。

3.3 成岩相

3.3.1 成岩相组合类型划分

综合分析前人研究成果^[10-14],利用岩心观察以及镜下薄片资料,结合研究区沙三段储层的压实程度、溶蚀作用类型及强弱、胶结作用类型及程度、储

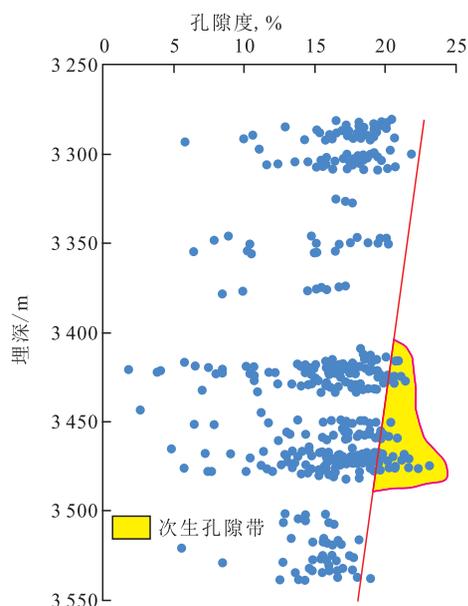


图2 渤南油田四区沙三段储层孔隙演化示意
Fig.2 Porosity evolution sketch of the E_{s3} reservoir in Area 4, Bonan oilfield

集空间类型及组合关系等因素,将渤南油田四区沙三段储层划分为压实残余剩余粒间孔—不稳定组分溶蚀成岩相、次生高岭石晶间孔—石英自生加大成岩相、充填/半充填微裂缝—碳酸盐胶结交代成岩相和强压实—杂基充填成岩相4种不同的成岩相组合类型,不同的成岩相组合类型对应不同的储层发育特征。

压实残余剩余粒间孔—不稳定组分溶蚀成岩相 一般见于水下分流河道微相中—细砂岩中,颗粒分选中等—差,中等压实,颗粒多呈线接触,胶结物含量小于10%,次生溶蚀孔隙发育,粒间溶孔、颗粒及粒内溶孔发育,甚至可见长石完全被溶蚀形成的铸模孔及超大孔隙。该类成岩相组合是该区沙三段次生孔隙发育的主要成岩相。

次生高岭石晶间孔—石英自生加大成岩相 一般见于河口坝、水下分流河道微相侧缘,岩性从细砂岩到粉砂岩均有分布,分选程度中等—差,强压实,颗粒间呈线接触—凹凸接触,储层胶结物含量为10%~20%。该类成岩相组合是该区沙三段较有利储层发育的成岩相。

充填/半充填微裂缝—碳酸盐胶结交代成岩相 一般见于前缘席状砂和水下溢岸微相,岩性主要为粉砂岩,颗粒分选中等—差,孔隙基本不发育,发育有构造成因的被沥青质充填或半充填的微裂缝。该类成岩相组合储层孔渗性很差,多属于致密储层。

强压实—杂基充填成岩相 一般常见于水下分流河道边缘及水下溢岸微相,岩性主要以细砂

岩、粉砂岩为主,碎屑颗粒粒度较小,粘土杂基含量较高,分选中等,强压实,颗粒间呈线接触—凹凸接触,胶结物含量小于10%,该类成岩相组合孔喉发育较差,孔渗性较差。

3.3.2 成岩相组合类型与优质储层的匹配关系

优质储层是指在普遍低孔、低渗透储层中发育的物性相对较好的甜点储层,其孔隙度和渗透率没有固定范围,主要据其油气产出情况确定^[15]。将研究区沙三段成岩相组合类型与生产井投产初期的产能(用投产初期无注水开发时期的平均累积采油强度表征^[16])进行对比发现(图3),在生产工艺措施基本相同的情况下,压实残余剩余粒间孔—不稳定组分溶蚀成岩相产能最高,基本大于1 t/(d·m);次生高岭石—石英自生加大成岩相为0.5~1.2 t/(d·m);强压实—杂基充填成岩相较差;充填/半充填微裂缝—碳酸盐胶结交代成岩相最差,基本低于0.3 t/(d·m)。

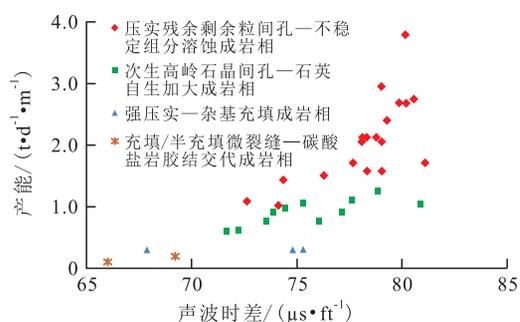


图3 不同成岩相产能与声波时差的关系

Fig.3 Scatter diagram of productivity and AC for different diagenetic facies

4 结论

渤海油田四区沙三段岩石类型主要为岩屑质长石砂岩,砂岩成分成熟度和结构成熟度较低,物性总体较差,储集空间以次生溶蚀孔隙为主,其储层发育特征受沉积、成岩双重作用影响,强烈的压实作用和胶结作用是造成研究区沙三段储层物性普遍较差的主要原因,而溶蚀作用在一定程度上改善了储层物性,在低渗透背景下形成局部“甜点”储层。在此基础上通过成岩相特征分析将沙三段储层划分为4种成岩相组合类型,生产实践结果表明优质储层大部分为压实残余剩余粒间孔—不稳定组分溶蚀成岩相组合。

参考文献:

[1] 蒋凌志,顾家裕,郭彬程.中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的

特征及形成机理[J].沉积学报,2004,22(1):13-18.

Jiang Lingzhi, Gu Jiayu, Guo Bincheng.Characteristics and mechanism of low permeability clastic reservoir in Chinese petroliferous basin[J].Acta Sedimentologica Sinica,2004,22(1):13-18

[2] 郑德顺,周璐,程涌,等.东营凹陷盐家地区沙四上段砂砾岩体储层特征[J].特种油气藏,2013,20(5):24-27.

Zheng Deshun, Zhou Lu, Cheng Yong, et al.Characteristics of the glutenite reservoir in upper Es₄ of Yanjia area in the north steep slope of Dongying depression [J].Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(5):24-27.

[3] 邹才能,陶士振,周慧,等.成岩相的形成、分类与定量评价方法[J].石油勘探与开发,2008,35(5):526-540.

Zou Caineng, Tao Shizhen, Zhou Hui, et al.Genesis, classification and evaluation method of diagenetic facies [J].Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(5):526-540.

[4] 李莹,马明永.南华北盆地周口塍陷二叠系砂岩储层岩石学特征及成岩作用研究[J].石油实验地质,2013,35(6):640-645.

Li Ying, Ma Mingyong.Petrography and diagenesis of Permian sandstone reservoirs in Zhoukou Depression, Southern North China Basin [J].Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6):640-645.

[5] 葛善良,鲁新便,盛海波,等.塔中顺9井区柯下段致密砂岩储层特征及成岩演化[J].油气地质与采收率,2014,21(4):42-45.

Ge Shanliang, Lu Xinbian, Sheng Haibo, et al.Reservoir characteristics and diagenesis evolution of tight sandstone reservoir of Shun9 well block in Tazhong area [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4):42-45.

[6] 邱隆伟,周涌沂,高青松,等.大牛地气田石炭系—二叠系致密砂岩储层孔隙结构特征及其影响因素[J].油气地质与采收率,2013,20(6):15-18,22.

Qiu Longwei, Zhou Yongyi, Gao Qingsong, et al.Study of porosity structure and its influences on Carboniferous and Permian tight sand reservoir rock in Danniudi gasfield, Ordos basin [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(6):15-18, 22.

[7] 赖锦,王贵文,王书南,等.碎屑岩储层成岩相研究现状及进展[J].地球科学进展,2013,28(1):39-50.

Lai Jin, Wang Guiwen, Wang Shu'nan, et al.Research status and advances in the diagenetic facies of clastic reservoirs [J].Advances in Earth Science, 2013, 28(1):39-50.

[8] 操应长,远光辉,王艳忠,等.准噶尔盆地北三台地区清水河组低渗透储层成因机制[J].石油学报,2012,33(5):758-771.

Cao Yingchang, Yuan Guanghui, Wang Yanzhong, et al.Genetic mechanisms of low permeability reservoirs of Qingshuihe Formation in Beisantai area, Junggar Basin [J].Acta Petrologica Sinica, 2012, 33(5):758-771.

[9] 刘杰,孙美静,岳绍飞,等.福山凹陷花场—白莲地区流沙港组成岩作用及储层物性影响因素[J].油气地质与采收率,2013,20(2):21-24,29.

Liu Jie, Sun Meijing, Yue Shaofei, et al.Analysis of diagenesis and major controlling factors on reservoir quality of the Liushagang formation in Huachang-Bailian area, Fushan depression, Beibuwan basin [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,

- 2013, 20(2): 21-24, 29.
- [10] 张响响, 邹才能, 陶士振, 等. 四川盆地广安地区上三叠统须家河组四段低孔渗砂岩成岩相类型划分及半定量评价[J]. 沉积学报, 2010, 28(1): 50-57.
- Zhang Xiangxiang, Zou Caineng, Tao Shizhen, et al. Diagenetic facies types and semiquantitative evaluation of low porosity and permeability sandstones of the fourth member Xujiahe Formation Guangan area, Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(1): 50-57.
- [11] 石玉江, 肖亮, 毛志强, 等. 低渗透砂岩储层成岩相测井识别方法及其地质意义——以鄂尔多斯盆地姬塬地区长8段储层为例[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 820-828.
- Shi Yujiang, Xiao Liang, Mao Zhiqiang, et al. An identification method for diagenetic facies with well logs and its geological significance in low-permeability sandstones: A case study on Chang8 reservoirs in the Jiyuan region, Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 820-828.
- [12] 张海涛, 时卓, 石玉江, 等. 低渗透致密砂岩储层成岩相类型及测井识别方法——以鄂尔多斯盆地苏里格气田下石盒子组8段为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 256-264.
- Zhang Haitao, Shi Zhuo, Shi Yujiang, et al. Diagenetic facies types and logging identification methods for low-permeability tight sandstone reservoirs: a case study on the 8th member of Xiashihezi Formation in Sulige gasfield, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 256-264.
- [13] 滕建彬. 基于低渗透成因分析的储层分类方法——以临南洼陷带沙三段下亚段碎屑岩储层为例[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(5): 6-9.
- Teng Jianbin. Classification and guiding significance based on primary micro-factors of low-permeability reservoir—case study on lower Sha3 reservoir in Lin'nan depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(5): 6-9.
- [14] 宋国奇, 刘鑫金, 刘惠民. 东营凹陷北部陡坡带砂砾岩体成岩圈闭成因及主控因素[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(6): 37-41.
- Song Guoqi, Liu Xinjin, Liu Huimin. Study on genetic mechanism and controlling factors of conglomerate diagenesis trap in northern Dongying sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 37-41.
- [15] 邹才能, 张国生, 杨智, 等. 非常规油气概念、特征、潜力及技术——兼论非常规油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(4): 385-399.
- Zou Caineng, Zhang Guosheng, Yang Zhi, et al. Geological concepts, characteristics, resource potential and key techniques of unconventional hydrocarbon: On unconventional petroleum geology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(4): 385-399.
- [16] 丁圣, 钟思瑛, 高国强, 等. 测井地质结合定量评价低渗透储层成岩相[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2012, 34(4): 83-87.
- Ding Sheng, Zhong Siying, Gao Guoqiang, et al. Quantitative evaluation of low permeability reservoir diagenetic facies by combining logging and geology [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology Edition, 2012, 34(4): 83-87.

编辑 单体珍

(上接第63页)

- [17] Blal H. Oxygen isotopes and the origin of quartz [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1987, (57): 373-377.
- [18] Wilkin R T, Arthur M A, Dean W E. History of water-column anoxia in the black sea indicated by pyrite framboids size distributions [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997, (148): 517-525.
- [19] Hickey J J, Henk B. Lithofacies summary of the Mississippian Barnett shale, Mitchell2 T P Sims well, Wise County, Texas [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 437-443.
- [20] Loucks R G, Ruppel S C. Mississippian Barnett shale: Lithofacies and depositional setting of a deep-water shale-gas succession in the Fort Worth Basin, Texas [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 579-601.
- [21] 蒲泊伶, 董大忠, 牛嘉玉, 等. 页岩气储层研究新进展[J]. 地质科技情报, 2014, 33(2): 98-104.
- Pu Boling, Dong Dazhong, Niu Jiayu, et al. Principle progresses in shale gas reservoir research [J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(2): 98-104.
- [22] 孙海成, 汤达祯, 蒋廷学, 等. 页岩气储层压裂改造技术[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(4): 90-93, 97.
- Sun Haicheng, Tang Dazhen, Jiang Tingxue, et al. Fracturing and stimulation techniques of shale gas reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(4): 90-93, 97.
- [23] Curtis J B. Fractured shale-gas system [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [24] Jarvie D M, Hill R J, Ruble T E, et al. Unconventional shale gas system: The Mississippian Barnett shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale gas assessment [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 475-499.
- [25] Rickman R, Mullen M, Petre E, et al. A practical use of shale petrophysics for simulation design optimization: All shale plays are not clones of the Barnett shale [R]. SPE 115258, 2008.

编辑 单体珍