

# 四川盆地焦石坝地区 页岩气储层孔隙参数测井评价方法

舒志国<sup>1</sup>, 关红梅<sup>2</sup>, 喻璐<sup>2</sup>, 柳筠<sup>2</sup>

(1. 中国石化 江汉油田分公司, 湖北 潜江 433124; 2. 中国石化 江汉油田分公司 勘探开发研究院, 武汉 430223)

**摘要:**四川盆地焦石坝地区页岩储层具有孔隙度低、孔隙结构复杂的特点, 五峰—龙马溪组页岩储层段发育无机孔隙、有机质孔隙和微裂缝 3 种孔隙类型, 核磁共振测井作为岩石孔隙参数评价的一项有效技术, 在该区储层孔隙度和孔隙结构的评价中发挥了重要作用。基于岩心刻度测井解释的方法, 通过对常规测井资料和岩心核磁共振实验数据的相关性研究, 建立了焦石坝地区页岩储层的总孔隙度和有效孔隙度解释模型。总孔隙度解释模型是将岩心核磁共振实验的总孔隙度分析结果与测井资料进行最佳深度匹配后, 根据最优化数学方法, 确定多元线性回归法为最佳计算方法, 即总孔隙度与密度测井、声波时差、补偿中子测井进行多元线性拟合; 有效孔隙度解释模型是根据岩心核磁共振实验的有效孔隙度与密度测井具有较好的正相关性, 建立根据密度测井求取有效孔隙度的关系式。孔隙度计算结果与岩心实测结果对比显示, 91.7% 的数据其绝对误差都小于 0.5%, 实现了对该区页岩储层孔隙参数的较好评价。

**关键词:**核磁共振测井; 孔隙参数; 页岩气; 储层; 焦石坝地区; 四川盆地

中图分类号: TE132.2

文献标识码: A

## Well logging evaluation of pore parameters for shale gas reservoirs in Jiaoshiba area, Sichuan Basin

SHU Zhiguo<sup>1</sup>, GUAN Hongmei<sup>2</sup>, YU Lu<sup>2</sup>, LIU Yun<sup>2</sup>

(1. SINOPEC Jianghan Oilfield Company, Qianjiang, Hubei 433124, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC Jianghan Oilfield Company, Wuhan, Hubei 430223, China)

**Abstract:** The shale reservoirs in the Jiaoshiba area of Sichuan Basin have the characteristics of low porosity and complex pore structure. Inorganic and organic pores, and micro cracks developed in the shale reservoirs in the Wufeng and Longmaxi formations. NMR logging played an important role in evaluating the porosity and pore structure of shale reservoirs in the study area. Based on core scale logging interpretation, we correlated conventional logging data with core NMR data, and established a total porosity and effective porosity interpretation model for shale reservoirs in the Jiaoshiba area. The total porosity interpretation model was based on the optimal matching between the total porosity analysis results of core NMR experiments and logging data. The optimization indicates that the multiple linear regression method is the best, that is, the total porosity and density logging, sonic time difference and compensated neutron logging provide multivariate linear fitting. The effective porosity interpretation model was based on the positive correlation between effective porosity and density logging of core NMR experiments, and the effective porosity could be calculated by density logging. Comparisons between the calculated results of porosity and core measurements showed that the absolute errors of 91.7% of the data were <0.5%, indicating a high quality evaluation of the pore parameters of shale reservoirs in the study area.

**Key words:** NMR logging; pore parameters; shale gas; reservoir; Jiaoshiba area; Sichuan Basin

四川盆地焦石坝地区上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组含气页岩厚度大、分布稳定, 具备整体含气的特征, 是典型的海相页岩气。根据国内外页岩气的评价研究成果<sup>[1-5]</sup>, 页岩储集特征研究的

关键参数包括矿物组成、有机质丰度、储集空间类型、孔隙结构特征、含气性等<sup>[6-14]</sup>。

焦石坝地区目前有 16 口井进行了系统的取心及岩心分析测试, 取得了大量的分析数据和研究

成果<sup>[15-18]</sup>,岩心孔隙度和孔隙结构实测结果反映焦石坝地区北部页岩储层的孔隙参数优于南部储层。

页岩气的评价研究成果表明,储层的孔隙特征对含气量有较大影响<sup>[19]</sup>。焦石坝地区北部页岩储层的含气性优于南部储层,与孔隙参数的差异基本相同,说明孔隙特征参数是该区一个很关键的评价参数。

### 1 页岩气储层孔隙特征参数分析

#### 1.1 孔隙发育特征

焦石坝地区五峰—龙马溪组页岩储层段发育孔隙类型包括无机孔隙、有机质孔隙和微裂缝。无机孔隙主要包括黏土矿物晶间孔、粒间孔以及粒内孔;有机孔隙属于有机质在后期热演化过程形成的孔隙;微裂缝以页理缝为主,主要出现在纹层发育段。

根据岩心物性分析结果,该区五峰—龙马溪组页岩储层段总孔隙度纵向上可划分为 3 个段:第 III 段(储层上部)为中高孔隙度段;第 II 段(储层中部)为中低孔隙度段;第 I 段(储层下部)为中高孔隙度段,呈现出两高夹一低的纵向分布特征(表 1)。岩心分析结果显示,焦石坝地区北部 JY-A 井的物性好于南部 JY-B 井,北部储层物性优于南部储层(表 1)。

氩离子抛光扫描电镜观察结果鉴定,有机质表面的有机孔隙面孔率在 30% 左右;结合干酪根密度,可反算出有机质孔隙占总孔隙度的比例。计算结果显示,自上而下(III 段—I 段),有机质孔隙逐渐增加(表 1),第 I 段有机质孔隙最发育,说明该段为页岩气有利储集段。

#### 1.2 孔隙结构特征

焦石坝地区页岩储层的平均孔径仅有纳米尺度大小,常规研究孔隙结构的技术手段如铸体薄片分析、扫描电镜法、压汞法等由于测试方法的限制,很难准确测量页岩的孔隙结构。氮气吸附法在表征孔隙结构时能得到微观结构的信息,与压汞法联合可以探测微孔到宏孔范围的孔隙分布情况,在焦

石坝地区得到广泛应用。

氮气吸附法是在 77.3 K 液氮中进行等温物理吸附测定,能测量的孔径范围为 0.35~500 nm。在氮气吸附实验测试前,所有样品都经过 3 h、300 ℃ 高温抽真空预处理,然后以纯度大于 99.999% 的高纯氮气为吸附质,在 77.35 K 温度下测定不同相对压力下的氮气吸附量,再与常规压汞测定的大孔数据结果进行对接,最终计算出不同孔径尺度的孔隙所占总孔隙体积的比例。

焦石坝地区 JY-A 井 30 块样品压汞—氮气吸附联合测定结果表明,五峰—龙马溪组页岩储层段孔隙直径主要位于小于 24 nm 的范围内,以微孔和中孔为主,包括少量的大孔(图 1)。分段统计结果表明,JY-A 井第 I 段主力页岩气层段(2 378 m 以深的样品)孔隙以微孔和中孔为主,大孔相对上部储层发育;而第 II、III 段孔隙结构基本相同,主要以微孔和中孔为主,大孔相对不发育。

## 2 孔隙参数测井评价方法

由于取心及岩心分析测试条件的限制,采用测井资料评价页岩储层的孔隙参数是一种相对经济而实用的方法。核磁共振测井<sup>[20-21]</sup>在孔隙参数评价方面有独到的优势,基于岩心核磁共振实验数据,采用常规测井资料评价焦石坝页岩储层的孔隙度也取得了较好的效果。

### 2.1 焦石坝地区核磁共振测井评价效果分析

焦石坝地区采用的是斯伦贝谢公司的 CMR-Plus 可组合式核磁共振测井仪<sup>[22]</sup>,其采用了现代脉冲回波测量技术,信噪比提高了 50%,能得到更准确的储层孔隙参数信息。CMR-Plus 在焦石坝

表 1 四川盆地焦石坝地区 JY-A 和 JY-B 井页岩气储层孔隙度分段统计数据

Table 1 Shale gas reservoir porosity statistics of wells JY-A and JY-B in Jiaoshiba area, Sichuan Basin

井号	层段	总孔隙度/%	有机质孔/%	有机质孔/总孔/%
北部 JY-A	III	5.13	1.29	25.1
	II	3.91	1.56	39.9
	I	4.86	2.39	49.2
南部 JY-B	III	4.52	1.09	24.1
	II	3.46	1.36	39.3
	I	4.15	2.13	51.3

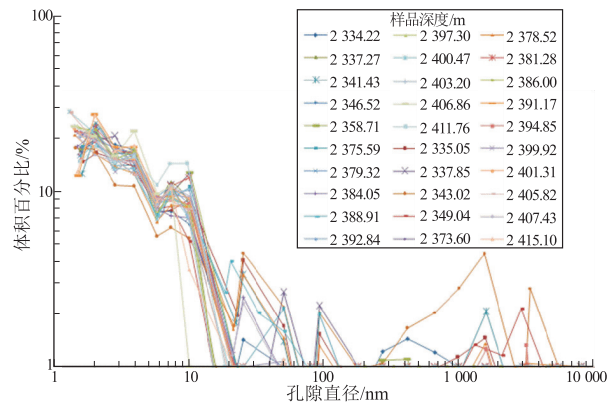


图 1 四川盆地焦石坝地区 JY-A 井页岩储层压汞—吸附联合测定孔径分布特征

Fig.1 Seepage-adsorption combined determination of pore size distribution in the shale gas reservoir of well JY-A, Jiaoshiba area, Sichuan Basin

地区采用针对页岩气藏特别设计的测量及计算模型,增加了对小孔的识别能力。

图 2 为焦石坝地区 CMR-Plus 处理成果与核磁孔隙结构直方图的实例,图中前四道为常规测井曲线与深度道,第 5 道为岩性剖面,第 6 道为 CMR-Plus 处理的孔隙结构(Bin porosity);直方图为含气页岩段上、中、下三段储层中部分井段的孔隙结构图(按从小到大排列)。

由图 2 可以看出,上段页岩储层常规测井的声波时差、中子响应值比中段、下段的略高,显示上段的孔隙度略大,中段、下段基本相同。但是从核磁测井处理的孔隙结构(Bin porosity)解释结果可以直观地看出,上段地层孔隙以微孔隙为主,主要是黏土束缚水孔隙,岩性剖面上也显示了此段具有较高的黏土含量;而中段、下段的中—大孔明显增加,表明黏土束缚水孔隙有所降低,岩性剖面上也显示中段、下段的黏土含量较上段地层下降。

通过核磁孔隙分布直方图(图 2b)也可以看出,中段储层孔隙中的中—大孔比例要高于上段,下段储层孔隙中的中—大孔比例是全井段最高的层段。通过对比孔隙结构直方图可知,储层内自上而下,中、大孔的比例逐渐增大,说明五峰—龙马溪

组页岩储层段内自上而下孔隙结构逐渐改善、有效孔隙度逐渐增加,这与岩心分析结果相吻合。

### 2.2 页岩气储层孔隙参数测井评价方法

焦石坝地区页岩气采用的是水平井开发模式,但水平井中不能进行核磁共振测井,因此研究常规测井资料与核磁共振测井信息间的相关性、建立基于常规测井资料求取页岩气孔隙参数的解释模型,是该区孔隙参数测井评价研究的关键。

核磁共振技术在页岩岩心物性<sup>[23-25]</sup>与孔隙结构评价中也具有比较好的效果。由于常规测井资料不能表征页岩储层的孔隙结构,但能反映储层的总孔隙度和有效孔隙度,因此开展常规测井资料与岩心核磁实验总孔隙度、有效孔隙度参数之间的相关性研究,建立基于常规测井资料求取页岩储层总孔隙度、有效孔隙度的解释模型,是孔隙参数评价的关键环节。

#### 2.2.1 总孔隙度测井解释模型

将岩心核磁实验的总孔隙度分析结果与测井资料进行最佳深度匹配后,根据最优化数学方法,确定多元线性回归法为最佳计算方法,即总孔隙度(POR<sub>总孔</sub>)与密度测井(DEN)、声波时差(AC)、补偿中子测井(CNL)进行多元线性拟合,相关系数相

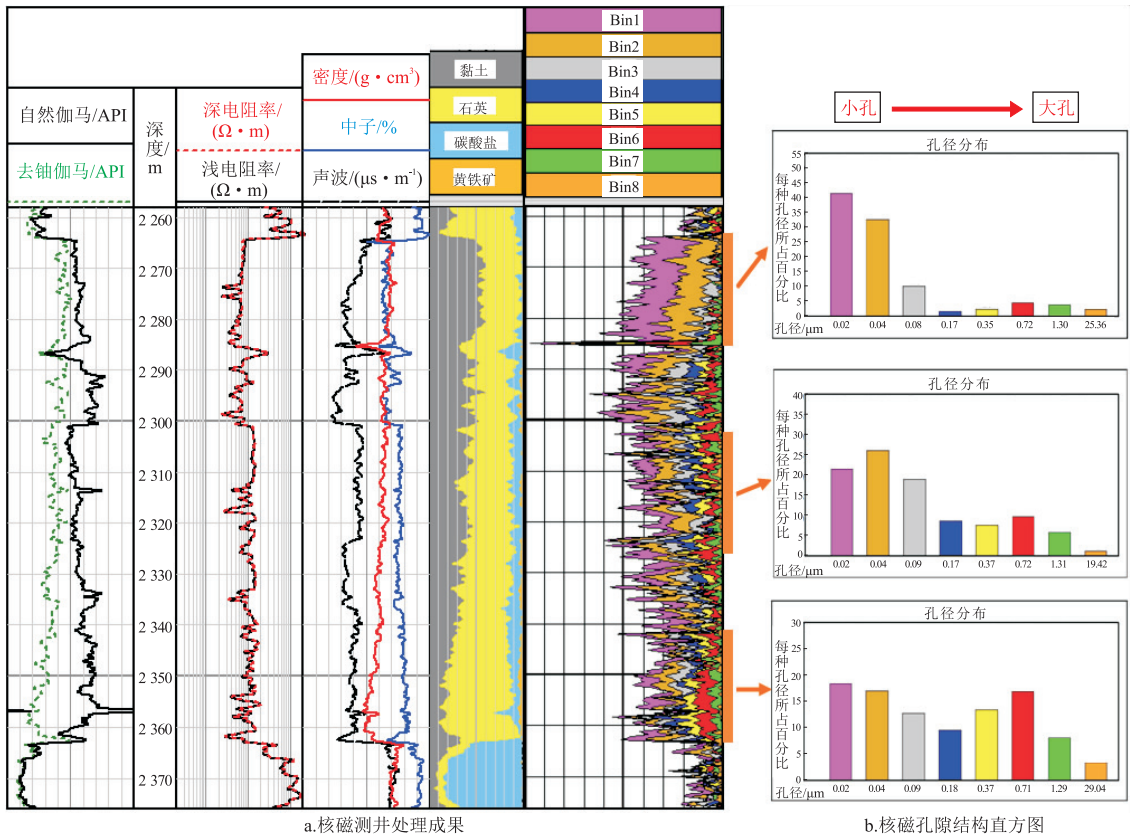


图 2 四川盆地焦石坝地区页岩气储层核磁测井处理成果与核磁孔隙结构直方图实例

Fig.2 NMR results and pore structure histogram in shale gas reservoirs in Jiaoshiba area, Sichuan Basin

对较高。关系式为:

$$POR_{总孔} = a \cdot AC + b \cdot CNL + c \cdot DEN + d$$

式中:系数  $a, b, c, d$  可根据最小二乘法求取。

### 2.2.2 有效孔隙度测井解释模型

根据岩心核磁实验的有效孔隙度与测井资料的相关性分析研究,结果显示有效孔隙度( $POR_{有效孔}$ )与密度测井(DEN)具有较好的正相关关系,可建立根据密度测井求取有效孔隙度的关系式:

$$POR_{有效孔} = a \cdot DEN + b$$

根据建立的解释模型,对焦石坝地区页岩储层的总孔隙度、有效孔隙度进行了计算,并与岩心实

测数据进行了对比分析(图 3)。

由图 3 可以看出,采用建立的测井解释模型计算的两类孔隙度与岩心核磁实验的结果吻合性都较好。根据对两者的对比分析(表 2),结果显示:测井解释与岩心核磁实验实测的数据中,91.7%的数据的绝对误差都小于 0.5%,低于行业规定的标准,说明根据解释模型计算的孔隙度参数准确度较高。

总孔隙度、有效孔隙度测井计算结果能较好地评价焦石坝地区页岩储层的优劣。对比分析结果显示:纵向上页岩储层段的有效孔隙度自上而下呈增加趋势,说明下段储层为页岩气最有利储集段;平面上焦石坝地区北部页岩段的总孔隙度、有效孔隙度优于南部,说明北部储层物性优于南部储层,

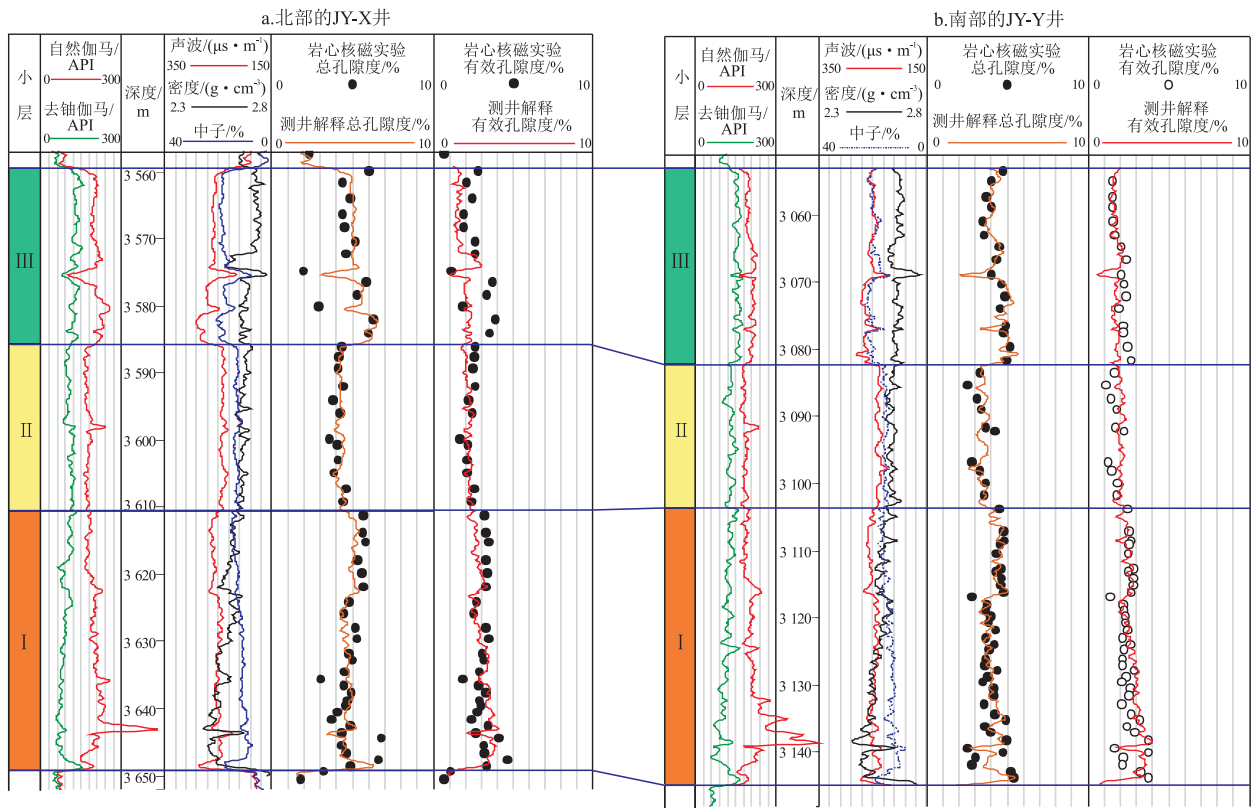


图 3 四川盆地焦石坝地区北部与南部页岩储层孔隙度参数对比实例

Fig.3 Comparison of porosity parameters in northern and southern Jiaoshiba area, Sichuan Basin

表 2 四川盆地焦石坝地区页岩储层孔隙度参数  
岩心核磁实验与测井解释对比分析

Table 2 Comparative analysis of core NMR test and logging interpretation of porosity parameters of shale reservoirs in Jiaoshiba area, Sichuan Basin

井号	层段	总孔隙度/%			有效孔隙度/%		
		核磁实验	测井解释	绝对误差	核磁实验	测井解释	绝对误差
JY-X	Ⅲ	4.78	5.21	0.43	2.61	1.88	-0.73
	Ⅱ	4.15	4.27	0.12	2.33	2.21	-0.12
	Ⅰ	4.95	4.81	-0.14	3.14	3.06	-0.08
JY-Y	Ⅲ	4.37	4.39	0.02	1.89	1.70	-0.19
	Ⅱ	3.35	3.46	0.11	1.62	1.99	0.37
	Ⅰ	4.10	4.13	0.03	2.55	2.69	0.14

这与地质评价结果是一致的。研究结果说明基于岩心核磁实验建立的孔隙度参数测井解释模型具有较好的应用价值。

### 3 结论

(1) 孔隙特征参数是焦石坝地区页岩气储层评价的一个关键参数。岩心物性和孔隙结构特征分析结果表明, 该区五峰—龙马溪组含气页岩段下部储层为页岩气最有利储集段, 区块北部储层的物性和孔隙结构优于南部储层。

(2) 核磁共振测井解释结果显示, 焦石坝地区页岩储层段自上而下物性和孔隙结构逐渐变好, 平面上自南向北页岩储层的物性和孔隙结构有明显改善的趋势, 解释结果与地质评价一致, 说明核磁共振测井是该区页岩储层孔隙特征参数评价的一项有效的技术。

(3) 根据岩心核磁实验数据与常规测井资料的相关性分析结果, 建立了焦石坝地区页岩储层的总孔隙度、有效孔隙度测井解释模型。孔隙度计算结果与岩心实测结果对比显示, 91.7% 的数据其绝对误差都小于 0.5%, 采用孔隙度计算结果能较好地评价焦石坝地区页岩储层的物性变化情况, 可满足该区页岩储层孔隙参数评价的需求。

#### 参考文献:

[1] 聂海宽, 张金川. 页岩气储层类型和特征研究: 以四川盆地及其周缘下古生界为例 [J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 219-225.  
NIE Haikuan, ZHANG Jinchuan. Types and characteristics of shale gas reservoir: A case study of Lower Paleozoic in and around Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 219-225.

[2] JARVIE D M, HILL R J, RUBLE T E, et al. Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 475-499.

[3] ROSS D J K, BUSTIN R M. Shale gas potential of the Lower Jurassic Gordondale Member, northeastern British Columbia, Canada [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2007, 55(1): 51-75.

[4] CHALMERS G R, BUSTIN R M, POWER I M. Characterization of gas shale pore systems by porosimetry, pycnometry, surface area, and field emission scanning electron microscopy/transmission electron microscopy image analyses: Examples from the Barnett, Woodford, Haynesville, Marcellus, and Doig units [J]. AAPG Bulletin, 2012, 96(6): 1099-1119.

[5] LOUCKS R G, REED R M, RUPPEL S C, et al. Morphology, genesis, and distribution of nanometer-scale pores in siliceous mudstones of the Mississippian Barnett Shale [J]. Journal of Sedimentary Research, 2009, 79(12): 848-861.

[6] 曾靖珂, 潘仁芳, 金晓凡, 等. 页岩储层非均质性分析: 以四川长宁地区下志留统龙马溪组为例 [J]. 断块油气田, 2016, 23(2): 146-150.  
ZENG Jingke, PAN Renfang, JIN Xiaofan, et al. Research of shale reservoir heterogeneity: a case of Lower Silurian Longmaxi Formation in Changning Area, Sichuan Basin [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2016, 23(2): 146-150.

[7] 曹涛涛, 宋之光. 页岩有机质特征对有机孔发育及储层的影响 [J]. 特种油气藏, 2016, 23(4): 7-13.  
CAO Taotao, SONG Zhiguang. Effects of organic matter properties on organic pore development and reservoir [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(4): 7-13.

[8] 刘江涛, 刘双莲, 李永杰, 等. 焦石坝地区奥陶系五峰组—志留系龙马溪组页岩地球化学特征及地质意义 [J]. 油气地质与采收率, 2016, 23(3): 53-57.  
LIU Jiangtao, LIU Shuanglian, LI Yongjie, et al. Geochemistry characteristics and its geological significance of shale in the Ordovician Wufeng Formation and Silurian Longmaxi Formation, Jiaoshiba area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(3): 53-57.

[9] 张汉荣, 王强, 倪楷, 等. 川东南五峰—龙马溪组页岩储层六性特征及主控因素分析 [J]. 石油实验地质, 2016, 38(3): 320-325.  
ZHANG Hanrong, WANG Qiang, NI Kai, et al. Six characteristics and main controlling factors of shale reservoirs in the Wufeng-Longmaxi formations, southeastern Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(3): 320-325.

[10] 刘伟新, 鲍芳, 俞凌杰, 等. 川东南志留系龙马溪组页岩储层微孔隙结构及连通性研究 [J]. 石油实验地质, 2016, 38(4): 453-459.  
LIU Weixin, BAO Fang, YU Lingjie, et al. Micro-pore structure and connectivity of the Silurian Longmaxi shales, southeastern Sichuan area [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(4): 453-459.

[11] 高凤琳, 宋岩, 姜振学, 等. 黏土矿物对页岩储集空间及吸附能力的影响 [J]. 特种油气藏, 2017, 24(3): 1-8.  
GAO Fenglin, SONG Yan, JIANG Zhenxue, et al. Influence of clay minerals on shale storage space and adsorptive capacity [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2017, 24(3): 1-8.

[12] 王超, 石万忠, 张晓明, 等. 页岩储层裂缝系统综合评价及其对页岩气渗流和聚集的影响 [J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(1): 50-56.  
WANG Chao, SHI Wanzhong, ZHANG Xiaoming, et al. Comprehensive evaluation of fracture system in shale reservoir and its influence on shale gas seepage and accumulation [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(1): 50-56.

[13] 冉天, 谭先锋, 陈浩, 等. 渝东南地区下志留统龙马溪组页岩气成藏地质特征 [J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(5): 17-26.  
RAN Tian, TAN Xianfeng, CHEN Hao, et al. Geological features of shale gas accumulation in the Lower Silurian Longmaxi Formation, Southeast Chongqing [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(5): 17-26.

[14] 潘涛, 姜歌, 孙王辉. 四川盆地威远地区龙马溪组泥页岩储

- 层非均质性[J].断块油气田,2016,23(4):423-428.
- PAN Tao,JIANG Ge,SUN Wanhui.Shale reservoir heterogeneity of Longmaxi Formation,Weiyan Area,Sichuan Basin[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2016,23(4):423-428.
- [15] 王志刚.涪陵页岩气勘探开发重大突破与启示[J].石油与天然气地质,2015,36(1):1-6.
- WANG Zhigang.Breakthrough of Fuling shale gas exploration and development and its inspiration[J].Oil & Gas Geology,2015,36(1):1-6.
- [16] 耿一凯,金振奎,赵建华,等.页岩储层孔隙类型控制因素研究:以川东焦石坝地区龙马溪组为例[J].石油实验地质,2017,39(1):71-78.
- GENG Yikai,JIN Zhenkui,ZHAO Jianhua,et al.Controlling factors of pore types in shale reservoirs:A case study from the Longmaxi Formation in Jiaoshiaba area,eastern Sichuan Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2017,39(1):71-78.
- [17] 李军,路菁,李争,等.页岩气储层“四孔隙”模型建立及测井定量表征方法[J].石油与天然气地质,2014,35(2):266-271.
- LI Jun,LU Jing,LI Zheng,et al.‘Four-pore’ modeling and its quantitative logging description of shale gas reservoir[J].Oil & Gas Geology,2014,35(2):266-271.
- [18] 王燕,冯明刚,魏祥峰,等.涪陵气田焦石坝区块页岩气储层储集空间特征及其定量评价[J].海相油气地质,2016,21(1):29-34.
- WANG Yan,FENG Minggang,WEI Xiangfeng,et al.Reservoir space characteristics and quantitative evaluation of shale gas reservoir at Jiaoshiaba area in Fuling gas field[J].Marine Origin Petroleum Geology,2016,21(1):29-34.
- [19] 吴艳艳,曹海虹,丁安徐,等.页岩气储层孔隙特征差异及其对含气量影响[J].石油实验地质,2015,37(2):231-236.
- WU Yanyan,CAO Haihong,DING Anxu,et al.Pore characteristics of a shale gas reservoir and its effect on gas content[J].Petroleum Geology & Experiment,2015,37(2):231-236.
- [20] 肖立志,谢然红,廖广志.中国复杂油气藏核磁共振测井理论与方法[M].北京:科学出版社,2012.
- XIAO Lizhi,XIE Ranhong,LIAO Guangzhi.The theory and method of nuclear magnetic resonance logging in China’s complex oil and gas reservoirs[M].Beijing:Science Press,2012.
- [21] 肖立志.核磁共振成像测井与岩石核磁共振及其应用[M].北京:科学出版社,1998.
- XIAO Lizhi.Nuclear Magnetic Resonance imaging (NMR) well logging and rock physical nuclear magnetic resonance and its applications[M].Beijing:Science press,1998.
- [22] 肖亮,刘晓鹏,毛志强,等.新型组合式核磁共振测井仪 CMR-Plus 简介[J].国外测井技术,2007,22(4):48-50.
- XIAO Liang,LIU Xiaopeng,MAO Zhiqiang,et al.Brief introduction of a new combined nuclear magnetic resonance (NMR) logging tool—CMR-Plus[J].World Well Logging Technology,2007,22(4):48-50.
- [23] 高明哲,邹长春,彭诚,等.页岩储层岩心核磁共振实验参数选取方法研究[J].工程地球物理学报,2016,13(3):263-270.
- GAO Mingzhe,ZOU Changchun,PENG Cheng,et al.Study on selection method of core nuclear magnetic resonance experiment parameters for shale reservoir[J].Chinese Journal of Engineering Geophysics,2016,13(3):263-270.
- [24] 公言杰,柳少波,赵孟军,等.核磁共振与高压压汞实验联合表征致密油储层微观孔隙分布特征[J].石油实验地质,2016,38(3):389-394.
- GONG Yanjie,LIU Shaobo,ZHAO Mengjun,et al.Characterization of micro pore throat radius distribution in tight oil reservoirs by NMR and high pressure mercury injection[J].Petroleum Geology & Experiment,2016,38(3):389-394.
- [25] 李军,金武军,王亮,等.利用核磁共振技术确定有机孔与无机孔孔径分布:以四川盆地涪陵地区志留系龙马溪组页岩气储层为例[J].石油与天然气地质,2016,37(1):129-134.
- LI Jun,JIN Wujun,WANG Liang,et al.Quantitative evaluation of organic and inorganic pore size distribution by NMR:A case from the Silurian Longmaxi Formation gas shale in Fuling area,Sichuan Basin[J].Oil & Gas Geology,2016,37(1):129-134.

(编辑 徐文明)

(上接第 37 页)

- [20] 姜衍文,吴智勇,王泽中.深海等深流沉积研究进展[M].西安:西北大学出版社,1993:5-167.
- JIANG Yanwen,WU Zhiyong,WANG Zezhong.Research progress of contour current in deep water[M].Xi’an:Northwestern University Press,1993:5-167.
- [21] 高振中.深水牵引流沉积—内潮汐、内波和等深流沉积研究[M].北京:科学出版社,1996:108-112.
- GAO Zhenzhong.Deep-water tractive current deposits[M].Beijing:Science Press,1996:108-112.
- [22] 段太忠,郭建华,高振中,等.华南古大陆边缘湘北九溪下奥陶统碳酸盐等深岩丘[J].地质学报,1990,64(2):131-143.
- DUAN Taizhong,GUO Jianhua,GAO Zhenzhong,et al.A Lower Ordovician carbonate contourite drift on the margin of the South China Palaeocontinent in Jiuxi,Northern Hunan[J].Acta Geologica Sinica,1990,64(2):131-143.
- [23] JONES B G,FERGUSON C L,ZAMBELLI P F.Ordoevian contourite of lakelan folder in East Australia[C]//Advance of Study on Deep-Sea Contourite Sedimentology.Xibe University Press,1993:5-167.
- [24] 王琦,朱而勤.海洋地质学[M].北京:科学出版社,1989:108-112.
- WANG Qi,ZHU Erqin.Marine geology[M].Beijing:Science Press,1989:108-112.
- [25] 沈锡昌,郭步英.海洋地质学[M].武汉:中国地质大学出版社,1993:138-184.
- SHEN Xichang,GUO Buyang.Marine geology[M].Wuhan:China Geology University Press,1993:138-184.

(编辑 黄娟)