

页岩含气量现场测试技术研究

刁传学¹, 孙冲², 方帆², 舒向伟², 汪庆², 张磊²

(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:对自行研发的智能化页岩气现场解吸系统进行改进, 在解吸罐的内部加装温度传感器, 监测罐内空间的温度, 消除温度变化引起的气体体积膨胀对实验结果的影响。利用改进后的仪器对常规解吸方法进行了优化, 提出以 90 °C 或者 110 °C 作为二阶解吸温度的高温解吸方法, 可将测试时间从 40 h 缩短至 12~25 h, 在保证测试结果可靠性的同时, 具备实用性和安全性的优点。由于人工操作的影响, 初期的解吸速率总会出现异常高点, 针对这种情况, 提出将岩心封罐之后的 5 min 解吸数据点作为损失气拟合时的初始点。

关键词: 温度; 高温解吸; 损失气; 页岩气

中图分类号: TE132.2

文献标识码: A

Field testing technology for shale gas content

XI Chuanxue¹, SUN Chong², FANG Fan², SHU Xiangwei², WANG Qing², ZHANG Lei²

(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 in-house developed intelligent shale gas desorption system was improved. A temperature sensor was installed inside the desorption canister to monitor the interior temperature and eliminate the influence of gas volume expansion caused by temperature change on experimental results. The conventional desorption method was optimized by using the improved instrument. The high temperature desorption method at 90 °C or 110 °C as the second-order desorption temperature was proposed to shorten test time from 40 h to 12–25 h, which ensured the reliability of test results with the advantages of practicality and safety. Due to the influence of manual operation, the initial desorption rate would always be abnormally high. In this case, we advised the use of the desorption data 5 min after core sealing as the initial point when fitting gas loss curves.

Key words: temperature; desorption at high temperature; loss of gas; shale gas

页岩含气量是计算原地气量的关键参数, 对含气性评价和资源储量预测均具有重要意义。目前页岩含气量测试方法有现场解吸法、等温吸附法和测井解释法^[1-9]。本文主要研究现场解吸法测页岩含气量, 参考“SY/T 6940-2013 页岩含气量测定方法”^[10], 其测试方法是将岩心装入密闭的解吸罐, 使用计量装置直接测量解吸气量, 通过对初期解吸气量的数据使用 USBM 法进行拟合计算损失气量, 解吸测试结束后粉碎岩心测量残余气量。该方法是含气量测试最直接的方法, 也是国内测试含气量的主要方法之一。本文中常规解吸方法指的是上述标准中对解吸温度的规定, 在页岩解吸时采用二阶解吸温度测试, 前 3 h 为第一阶解吸, 采用

泥浆循环温度, 3 h 后为二阶解吸, 采用储层温度进行解吸。目前现场含气量测试的主要关注点有 2 个方面: 解吸温度和损失气计算^[11-17]。本文分析了在涪陵页岩气田进行的大量现场含气量实验数据, 结合取心现场的实际情况, 对页岩含气量现场测试技术提出几点改进。

1 实验仪器

研究所用仪器是由中国石化江汉油田分公司勘探开发研究院自行研发的智能化页岩气现场解吸系统。主要原理为排水集气法, 仪器自动记录数据, 且数据不受气体多组分影响, 能可靠地进行体积计量。系统主要结构分为解吸罐和解吸气计量仪

收稿日期: 2017-10-12; 修订日期: 2017-12-04。

作者简介: 刁传学 (1961—), 男, 教授级高级工程师, 从事油气开发与管理工作。E-mail: 121577540@qq.com。

通信作者: 孙冲 (1986—), 男, 工程师, 从事油气储层开发实验与研究。E-mail: Wuyou86422@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项 (2016ZX05060) 和中国石化科技项目 (P17014-2) 资助。

两大部分。解吸罐自带温控系统,能根据现场需要调节罐内温度;测试时解吸气进入计量仪的玻璃集气管,引起液面变化产生压差,联动的电机带动平衡水罐沿丝杠上下移动,保持液面压力平衡,从集气管上即可获得解吸气体积。每个解吸罐对应一个解吸气计量仪,方便获取集气管内的气样,用于开展同位素及气体组分分析。

2 测试技术研究

2.1 解吸罐改进和设置二阶解吸温度的方法优化

2.1.1 解吸罐改进

在进行解吸实验之前,实验人员一般会提前 2 h 将解吸罐加热到泥浆循环温度,即一阶解吸温度,而岩心在入罐之前经历了储层温度、提钻时泥浆循环温度、井口暴露温度等温度过程,最终接近环境温度,岩心封罐后解吸罐内的气体会出现一段温度的变化期(涪陵页岩气田现场测试显示泥浆循环温度普遍在 45 °C 左右,高于环境温度)。温度变化必然带来罐内解吸气体积的变化,因而在解吸罐的内部加装了高精度的温度传感器,记录下罐内气体的温度。

图 1 为页岩样品解吸过程中解吸罐内温度—时间的关系曲线。解吸过程中一阶解吸温度设定为泥浆循环温度 42 °C,解吸 3 h 后升温至 90 °C,直到解吸终止。从温度变化情况看,解吸罐内温度在封罐之后 1.5 h 才基本达到温度的设定值,在 1.5 h 内解吸罐内温度不等于温度设定值,而是会经过迅速下降、迅速上升和趋于设定值 3 个阶段。这个过程中,如果认为罐内温度是设定值,必然会使解吸气体积的计量产生偏差。因此我们对页岩样品的现场含气量数据分 2 种情况进行计算,一是考虑罐温影响得到解吸气体积,二是不考虑罐温影响始终认为罐内气体温度为设定值(图 2)。

结果显示,未考虑罐温影响时解吸气体积明显偏高。用 2 种方法得到的解吸气量数据,分别拟合

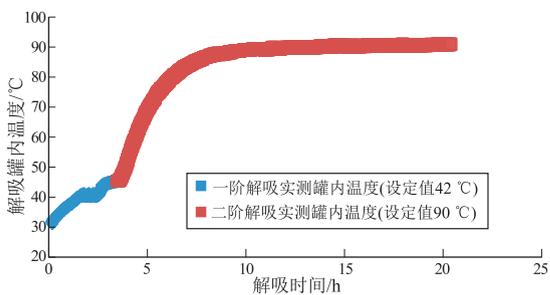


图 1 页岩样品解吸罐内温度变化

Fig.1 Temperature variation in shale sample desorption tank

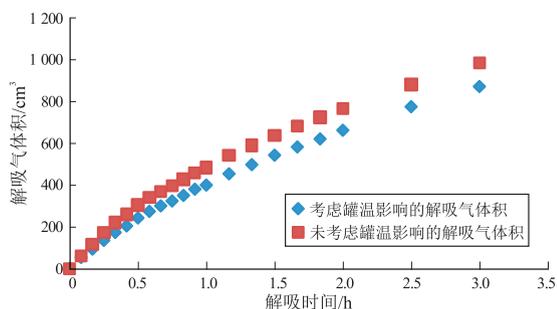


图 2 罐内温度对解吸气体积计量的影响

Fig.2 Effect of tank temperature on desorbed gas volume measurement

计算损失气量,考虑罐温影响时损失气量为 0.981 m³/t;未考虑罐温影响时损失气量为 1.20 m³/t,差异十分明显。因此,加装罐内温度传感器有利于提高含气量测试精度。

2.1.2 设置二阶解吸温度的方法优化

常规解吸方法解吸速度缓慢,测试周期长,但现场却要求密集取心测试,重点目的层 1 m 取 1 块样品更是常态,且随着涪陵页岩气田取心技术的不断完善,井场取心基本都使用双筒连续取心,连续 2 次的取心间隔时间正在不断缩短。常规解吸方法已无法满足现场高密度快节奏的取心现状,因此对页岩含气量现场测试技术也提出了更高、更快的要求。

综合考虑测试技术的适应性、安全性以及前人的研究成果^[18-24],提出了将常规解吸方法中二阶解吸温度设为 90 °C 或者 110 °C。

图 3,4 中每组 2 块页岩样品取样位置均相邻,损失气量均采用前 1 h 的解吸数据进行直线拟合。110 °C 高温解吸的样品测试时间 16 h,测试到 12 h 左右时解吸曲线基本呈水平,解吸气量 0.365 m³/t,损失气量 0.637 m³/t,含气量 1.00 m³/t;常规方法解吸的样品测试时间 44 h,测试到 40 h 左右时解吸

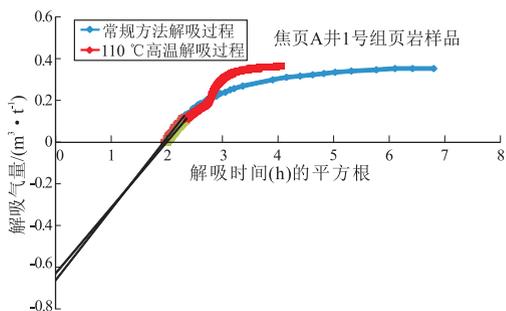


图 3 四川盆地涪陵页岩气田焦页 A 井 1 号组样品 110 °C 高温解吸与常规解吸过程

Fig.3 High temperature (110 °C) and conventional desorption processes of sample no.1 from well Jiaoye A, Fuling shale gas field, Sichuan Basin

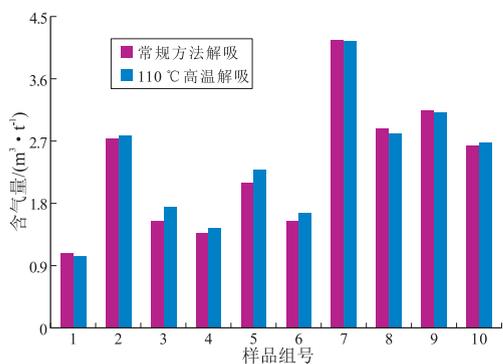


图4 四川盆地涪陵页岩气田焦页 A 井
110 °C 高温解吸与常规解吸结果比对

Fig.4 High temperature (110 °C) and conventional desorption contrast of samples from well Jiaoye A, Fuling shale gas field, Sichuan Basin

曲线基本呈水平,解吸气量 $0.355 \text{ m}^3/\text{t}$,损失气量 $0.670 \text{ m}^3/\text{t}$,含气量 $1.02 \text{ m}^3/\text{t}$ 。图4 为该井 10 组样品的结果比对。

图 5,6 中每组 2 块页岩样品取样位置均相邻,损失气量均采用前 1 h 的解吸数据进行直线拟合。

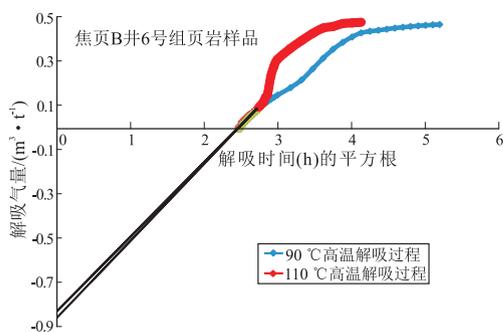


图5 四川盆地涪陵页岩气田焦页 B 井
6 号组样品 110 °C 高温解吸与 90 °C 高温解吸过程

Fig.5 High temperature (110 °C and 90 °C) desorption processes of sample no.6 from well Jiaoye B, Fuling shale gas field, Sichuan Basin

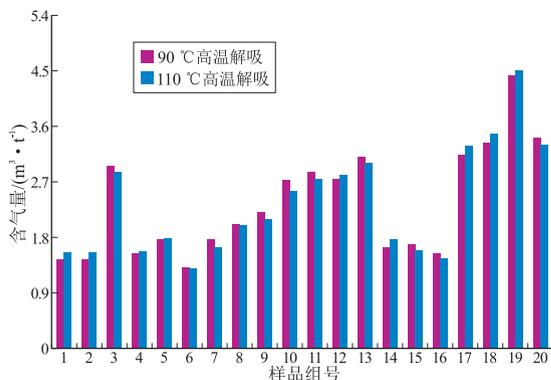


图6 四川盆地涪陵页岩气田焦页 B 井
110 °C 高温解吸与 90 °C 高温解吸结果比对

Fig.6 High temperature (110 °C and 90 °C) desorption contrast of samples from well Jiaoye B, Fuling shale gas field, Sichuan Basin

110 °C 高温解吸的样品测试时间 16 h,测试到 12 h 左右时解吸曲线基本呈水平,解吸气量 $0.486 \text{ m}^3/\text{t}$,损失气量 $0.860 \text{ m}^3/\text{t}$,含气量 $1.35 \text{ m}^3/\text{t}$;90 °C 高温解吸的样品测试时间 25 h,测试到 21 h 左右时解吸曲线基本呈水平,解吸气量 $0.474 \text{ m}^3/\text{t}$,损失气量 $0.830 \text{ m}^3/\text{t}$,含气量 $1.30 \text{ m}^3/\text{t}$ 。图 6 为焦页 B 井 20 组样品的比对结果。

从比对的解吸过程来看,常规方法解吸测试周期一般在 40 h 以上,90 °C 高温解吸测试周期为 25 h 左右,110 °C 高温解吸测试周期为 16 h 左右。而涪陵页岩气田取心现场连续 2 次取心的间隔时间最短 18 h,平均 28 h,提高温度后可以使上一次取心的解吸实验在下一取心前完成。从比对的结果来看,没有出现某个方法得到的数值明显偏高或偏低的现象,各组比对样品间的含气量数据的差异最高为 $0.15 \text{ m}^3/\text{t}$,分析认为尽管页岩均一性较好,但均一性是相对的。因此上述比对表明,90 °C 或者 110 °C 高温解吸法均可提高测试效率缩短测试周期,且能够保证测试数据的可靠性。

2.2 损失气量拟合计算时的数据段选取优化

页岩含气量中,损失气量是通过解吸初期的数据进行拟合得到的,涪陵页岩气田页岩损失气量在含气量中约占 20%~65%,对页岩含气性的评价影响较大。前人对损失气量计算的研究焦点基本都集中在拟合方法的优化上,通过采用不同的线性、非线性模型进行拟合计算。拟合方法的选取固然重要,但是拟合时需要依赖解吸数据,因此解吸数据特别是解吸初期的数据应该受到更多的关注。

本文以解吸初期 1.5 h 的数据为例,通过对涪陵页岩气田大量现场含气量解吸测试发现,解吸速率具有一定的规律性。图 7 是页岩 1 和页岩 2 封罐之后 1.5 h 的解吸速率变化图,2 个样品一阶解吸温度 45 °C,解吸数据每 30 s 记录一个,可以看到初期解吸速率普遍较高,分别在 4.8 min 和 4.4 min 出现拐点,拐点之后解吸速率迅速降低且趋于平缓。

分析认为,页岩的一阶解吸温度一般都高于环境温度,而岩心在经历了提心和空气暴露的过程后温度已降至环境温度。取心封罐之后,金属制的解吸罐内气体开始急剧升温,罐内气体体积膨胀、岩心开始迅速解吸。但是由于装罐、封罐、连接气路、启动仪器这段时间内,岩心在解吸罐内是一直在迅速解吸的,这些解吸气量直接导致了页岩样品初期解吸速率异常偏高。异常高的解吸速率也会使得相应时间的解吸气量数据异常高,因而损失气量拟合时选取到这些数据后,必然导致损失气量的数值

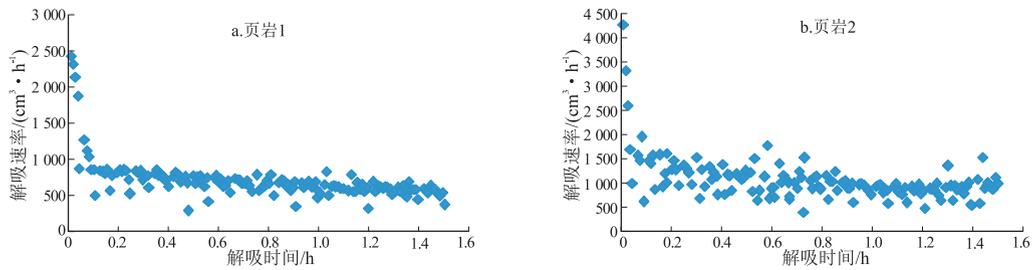


图 7 涪陵页岩气田现场 1.5 h 内页岩解吸速率的变化

Fig.7 Changes of shale desorption rate in 1.5 h in field tests, Fuling shale gas field

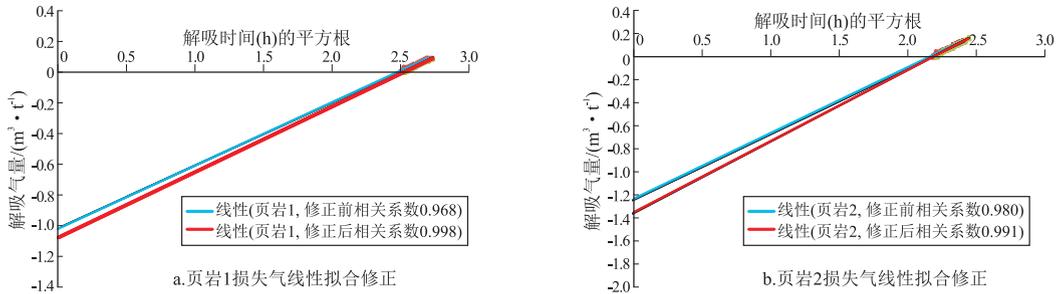


图 8 损失气量拟合修正前后对比

Fig.8 Comparison of defined gas quantity before and after modification

出现偏差,进而影响含气量的准确性。因此,本文认为应在损失气量拟合计算时将封罐之后 5 min 的数据点视为拟合的初始点,作为一种修正方法来消除装罐等操作给测试结果带来的影响。

对页岩 1 和页岩 2 分别使用这种修正方法进行损失气量拟合计算(图 8),拟合方法使用 USBM 直线法。2 块样品损失气量计算修正后,公式的相关系数均有明显提高,说明选取的数据段更符合理论模型,数值更接近真实值,能提高拟合计算精度。

3 结论

(1) 实测解吸罐内气体的温度,能消除升温过程中气体膨胀对解吸气体体积计量的影响,有助于提高测试结果准确性。

(2) 提高二阶解吸温度的方法在保证数据可靠性的同时,能使页岩解吸实验的测试周期大幅度缩短。

(3) 损失气量拟合时,可将封罐之后 5 min 的数据点作为拟合的起始点,能提高损失气量计算的精度。

参考文献:

- [1] BOWKER K A. Barnett shale gas production, Fort Worth Basin: Issues and discussion[J]. APPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [2] ROSS D J K, BUSTIN R M. Characterizing the shale gas resource potential of Devonian-Mississippian strata in the western Canada

sedimentary basin: Application of an integrated formation evaluation[J]. APPG Bulletin, 2008, 92(1): 87-125.

- [3] 李艳丽. 页岩气储量计算方法探讨[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 466-470.
LI Yanli. Calculation methods of shale gas reserves[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(3): 466-470.
- [4] 王飞宇, 贺志勇, 孟晓辉, 等. 页岩气赋存形式和初始原地气量(OGIP)预测技术[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(3): 501-510.
WANG Feiyu, HE Zhiyong, MENG Xiaohui, et al. Occurrence of shale gas and prediction of original gas in-place (OGIP) [J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(3): 501-510.
- [5] 陈康, 张金川, 唐玄. 湘鄂西下志留统龙马溪组页岩含气性测井评价[J]. 特种油气藏, 2016, 23(1): 16-20.
CHEN Kang, ZHANG Jinchuan, TANG Xuan. Gas content logging evaluation of Lower Silurian Longmaxi shale in western Hunan-Hubei[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(1): 16-20.
- [6] 张茂林, 袁恩, 梅海燕, 等. 新型页岩气藏物质平衡方程[J]. 断块油气田, 2017, 24(3): 396-400.
ZHANG Maolin, YUAN En, MEI Haiyan, et al. New material balance equation for shale gas reservoir[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2017, 24(3): 396-400.
- [7] 陈元千, 周翠. 中国《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》计算方法存在的问题与建议[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(1): 1-4.
CHEN Yuanqian, ZHOU Cui. Problems and recommendations for the Regulation of shale gas resources/reserves estimation in China[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 1-4.
- [8] 邢雅文, 张金川, 冯赫青, 等. 页岩含气量测试方法改进效果分析[J]. 断块油气田, 2015, 22(5): 579-583.
XING Yawen, ZHANG Jinchuan, FENG Heqing, et al. Effectiveness analysis of determination method for shale gas content[J].

- Fault-Block Oil and Gas Field, 2015, 22(5): 579-583.
- [9] 包兴,李少华,张程,等.基于试验设计的概率体积法在页岩气储量计算中的应用[J].断块油气田, 2017, 24(5): 678-681.
BAO Xing, LI Shaohua, ZHANG Cheng, et al. Application of probability volume method based on experimental design to calculation of shale gas reserves [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2017, 24(5): 678-681.
- [10] 国家能源局. SY/T 6940—2013, 页岩含气量测定方法[S]. 北京:石油工业出版社, 2014.
National Energy Administration. SY/T 6940—2013, Measurement method of shale gas content[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2014.
- [11] 刘洪林,邓泽,刘德勋,等.页岩含气量测试中有关损失气量估算方法[J].石油钻采工艺, 2010, 32(S1): 156-158.
LIU Honglin, DENG Ze, LIU Dexun, et al. Discussion on lost gas calculating methods in shale gas content testing[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010, 32(S1): 156-158.
- [12] 游声刚,郭茜,耿小焜,等.页岩含气量的影响因素分析及含气量测试方法[J].中国矿业, 2015, 24(12): 80-85.
YOU Shenggang, GUO Qian, GENG Xiaojin, et al. Factors affecting the shale gas content and gas content testing methods [J]. China Mining Magazine, 2015, 24(12): 80-85.
- [13] 郭少斌,黄磊.页岩气储层含气性影响因素及储层评价:以上扬子古生界页岩气储层为例[J].石油实验地质, 2013, 35(6): 601-606.
GUO Shaobin, HUANG Lei. Gas-bearing influential factors and evaluation of shale gas reservoir: A case study of Paleozoic shale gas reservoir in Upper Yangtze region [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6): 601-606.
- [14] 王金彬,何羽飞,刘森,等.页岩含气量测定及计算方法研究[J].测井技术, 2015, 39(6): 756-761.
WAN Jinbin, HE Yufei, LIU Miao, et al. Shale gas content measurement and calculation method [J]. Well Logging Technology, 2015, 39(6): 756-761.
- [15] 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.
- [16] 薛冰,张金川,杨超,等.页岩含气量理论图版[J].石油与天然气地质, 2015, 36(2): 339-346.
XUE Bing, ZHANG Jinchuan, YANG Chao, et al. Theoretical chart of shale gas content [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(2): 339-346.
- [17] 梁红艺,谢小国,罗兵,等.煤层含气量评价方法研究与应用[J].特种油气藏, 2016, 23(3): 44-47.
LIANG Hongyi, XIE Xiaoguo, LUO Bing, et al. Coalbed methane content evaluation and application [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(3): 44-47.
- [18] 俞凌杰,范明,蒋启贵,等.页岩气现场解吸方法优化[J].石油实验地质, 2015, 37(3): 402-406.
YU Lingjie, FAN Ming, JIANG Qigui, et al. Optimization of shale gas desorption method in field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(3): 402-406.
- [19] 唐颖,张金川,刘珠江,等.解吸法测量页岩含气量及其方法的改进[J].天然气工业, 2011, 31(10): 108-112.
TANG Ying, ZHANG Jinchuan, LIU Zhujiang, et al. Use and improvement of the desorption method in shale gas content tests [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(10): 108-112.
- [20] 武瑾,王红岩,拜文华,等.渝东南龙马溪组页岩储层特征及吸附影响因素分析[J].断块油气田, 2013, 20(6): 713-718.
WU Jin, WANG Hongyan, BAI Wenhua, et al. Analysis on characteristics of Longmaxi Formation shale reservoir in southeast district of Chongqing and adsorption influence factor [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2013, 20(6): 713-718.
- [21] 蒋官澄,范劲,李颖颖,等.新型促页岩气解吸体系研究[J].特种油气藏, 2014, 21(3): 116-119.
JIANG Guancheng, FAN Jin, LI Yingying, et al. Study on new system used for acceleration of shale gas desorption [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(3): 116-119.
- [22] 邓泽,刘洪林,康永尚.煤层气含气量测试中损失气量的估算方法[J].天然气工业, 2008, 28(3): 85-86.
DENG Ze, LIU Honglin, KANG Yongshang. Estimation methods of lost gas in coal-bed gas content testing [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(3): 85-86.
- [23] 杨振恒,魏志红,何文斌,等.川东南地区五峰组—龙马溪组页岩现场解吸气特征及其意义[J].天然气地球科学, 2017, 28(1): 156-163.
YANG Zhenheng, WEI Zhihong, HE Wenbin, et al. Characteristics and significance of onsite gas desorption from Wufeng—Longmaxi shales in southeastern Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(1): 156-163.
- [24] 李玉喜,乔德武,姜文利,等.页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J].地质通报, 2011, 30(2/3): 308-317.
LI Yuxi, QIAO Dewu, JIANG Wenli, et al. Gas content of gas-bearing shale and its geological evaluation summary [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 308-317.

(编辑 黄娟)