

黔西地区打屋坝组富有机质页岩 地球化学特征及其意义

陈榕¹, 苑坤¹, 张子亚¹, 徐秋枫¹, 卢树藩², 贺敬博³

(1. 中国地质调查局 油气资源调查中心, 北京 100083; 2. 贵州省地质调查院, 贵阳 550000; 3. 自然资源部, 北京 100034)

摘要: 随着中国页岩气勘查开发的推进, 南方地区上古生界富有机质页岩受到更多的关注。贵州西部地区下石炭统打屋坝组富有机质泥页岩段厚度大、分布范围广, 是贵州页岩气勘查重点层位。在页岩气勘查过程中, 潜质页岩的有机质丰度、成熟度以及干酪根类型等是评价一个地区页岩气潜力的主要参数。通过对黔西地区打屋坝组富有机质页岩露头样品进行有机碳含量、干酪根类型以及镜质体反射率测试, 并结合前人数据, 对该页岩有机地化特征进行了描述。黔西地区打屋坝组富有机质页岩有机碳含量普遍大于1.0%, 多数分布在1.0%~3.0%范围内; 干酪根类型以Ⅱ₂型、Ⅲ型为主, 少数地区为Ⅱ₁型; 大部分样品成熟度 R_o 在1.3%~3.0%之间, 处于高成熟阶段和过成熟早期阶段。黔西六盘水水城地区和普安—晴隆地区打屋坝组页岩有机地化条件较好, 具有较好的页岩气勘查潜力。

关键词: 有机地球化学; 富有机质页岩; 打屋坝组; 下石炭统; 贵州西部

中图分类号: TE122.113

文献标识码: A

Geochemical characteristics of organic-rich shale in the Dawuba Formation, western Guizhou Province

CHEN Rong¹, YUAN Kun¹, ZHANG Ziya¹, XU Qiufeng¹, LU Shufan², HE Jingbo³

(1. Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

2. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550000, China; 3. Natural Resources Ministry, Beijing 100034, China)

Abstract: Consideration of the organic-rich shale of the Upper Paleozoic in the southern part of China has been stimulated by the advancement of shale gas exploration and development in China. The organic shale section of the Lower Carboniferous Dawuba Formation in the western part of Guizhou Province, which is widely distributed and thick, is one of the main targets of Guizhou shale gas exploration. In the process of shale gas exploration, the organic matter abundance, maturity and kerogen type of organic-rich shale are the main parameters of shale gas evaluation. In this paper, these three properties were determined on organic shale outcrop samples of the Dawuba Formation and combined with previous data, the organic geochemical characteristics of the Dawuba Formation have been described. The TOC content of organic-rich shale in the Dawuba Formation in the western Guizhou is generally > 1%, and most samples are in the range of 1%–3%. The kerogen in the Dawuba Formation is mainly of type II₂ and type III, and in some parts type II₁ is present. R_o is generally > 0.6%, mostly distributed in the range of 1.3%–3.0%, which means they are high maturity to over-mature. The regional data show that the organic geochemical properties and the shale gas exploration potential of the Dawuba Formation are better in Liupanshui Shuicheng and Pu'an–Qinglong areas.

Key words: organic geochemistry; organic-rich shale; Dawuba Formation; Lower Carboniferous; western Guizhou Province

富有机质泥页岩一直是石油天然气勘探开发领域研究的重点, 自美国大规模开发页岩气以来,

富有机质泥页岩被赋予了更深的含义, 除了作为常规油气的源岩, 同样可以作为页岩气的生产储集层

收稿日期: 2018-09-19; 修订日期: 2018-11-30。

作者简介: 陈榕(1987-), 女, 博士, 工程师, 从事页岩气勘查及沉积学领域的研究。E-mail: chenrong@mail.cgs.gov.cn。

基金项目: “十三五”国家科技重大专项“页岩气资源潜力评价方法与勘查技术攻关”(2016ZX05034)和中国地质调查局项目(DD20160196, DD20160178)联合资助。

位^[1-2]。因此,研究富有机质页岩的地球化学特征,可以为页岩气勘查开发提供参考^[3]。目前在页岩气勘查过程中,有机质丰度、成熟度以及干酪根类型等是评价富有机质页岩页岩气勘查潜力的主要参数^[2,4-6]。下石炭统打屋坝组是贵州地区富有机质页岩发育层位之一,前人已针对页岩气成藏特点对该区西部和南部地区打屋坝组进行过解剖^[7-8]。本文在前人研究的基础上,结合近年来取得的露头、钻井数据,进一步完善对黔西地区打屋坝组地球化学特征的描述,旨在为该区页岩气有利区的圈选奠定基础。

1 地质背景

黔西地区地处上扬子滇东—黔西隆起构造带,位于紫水断裂带以西,右江盆地以北(图1)。滇东—黔西隆起构造带在滇黔桂地区属于相对稳定的一个构造单元,但区内仍分布有多处大型断裂和各类褶皱带^[9]。黔西地区发育4套富有机质页岩,分别为下泥盆统、下石炭统、下二叠统和上二叠统。本文所研究的下石炭统在贵州西南部地区广泛分布,仅在龙吟、珠东、都格等少部分地区存在露头剥蚀的情况。打屋坝组分布于罗甸—紫云—盘县—水城一带,出露厚度不一,主要岩性为黑色页岩、黑色钙质泥岩夹深灰色泥质灰岩,水平纹层发育^[10-11]。随着相带的变化,下石炭统向北部威宁和云南宣威地区相变为旧司组^[7],为一套含泥灰岩、灰岩的暗色岩系。为了称呼上的一致,本文统

一使用打屋坝组作为黔西地区下石炭统富有机质页岩层位的名称。

2 实验方法

本文共选取黔西地区水城双水、普安白沙及盘县珠东3条剖面69件样品,通过页岩的有机质丰度、成熟度以及干酪根类型3个方面,对黔西地区下石炭统打屋坝组富有机质页岩地球化学特征进行描述,从而刻画出该地区页岩气勘查潜力。有机质丰度是评价富有机质页岩生烃潜力的一项重要指标,对于页岩气勘查来说,潜质页岩的有机质丰度是判断该地区页岩气潜力的重要因素之一。我国南方古生界经历了多期构造运动,地层时代较老,在常见的有机质丰度指标中(有机碳含量、氯仿沥青“A”、总烃含量和岩石热解生烃潜量),残余的氯仿沥青“A”含量普遍较低,不能准确反映富有机质页岩的生烃能力^[12]。因此本文主要采用有机碳含量(TOC)来研究打屋坝组有机质丰度。

成熟度是表征有机质生烃能力的重要参数^[13],测量成熟度的有效方法有镜质体反射率、岩石热解峰温、可溶有机质参数等方法。目前应用最广泛的方法为镜质体反射率法,因此本文也采用镜质体反射率法(R_o)来判断打屋坝组富有机质页岩成熟度。在评价富有机质页岩演化时,可将其成熟度划分为未成熟($R_o < 0.6\%$)、成熟($0.6\% \leq R_o < 1.3\%$)、高成熟($1.3\% \leq R_o < 2\%$)、过成熟早期($2\% \leq R_o < 3\%$)和过成熟晚期($R_o \geq 3\%$)。



图1 黔西地区构造纲要及下石炭统打屋坝组分布

3 打屋坝组地球化学特征

3.1 有机质丰度

本次有机碳含量测试样品共 69 件,从整体测试分析数据来看,研究区打屋坝组 TOC 大部分小于 2% (图 2)。其中水城双水地区 TOC 一般小于

1.0%,大部分分布在 0.5%~1.0%之间,TOC 是 3 个地区中最低的;普安白沙 TOC 一般大于 1.0%,相比水城地区 TOC 数值要高;盘县珠东地区 TOC 一般小于 1.0%,48%的样品 TOC 小于 0.5%,平均值为 0.68%。从全部测试结果来看,37.68%的样品 TOC 位于 0.5%~1%之间,23.19%的样品 TOC 位于 1%~2%之间,仅 5.8%的样品 TOC 大于 2.0%,最高可达 3.55%。

从研究区打屋坝组页岩有机碳含量对比图 (图 3)可以看出,往南东方向有机碳含量有增高趋势;普遍来说,下部有机碳含量高于上部,其原因主要归结于往南东方向水体变深,且早石炭世该区处于海侵体系域,大量的富有机质细粒沉积物沉积在深水区。研究区打屋坝组目标层系平均有机碳含量普遍大于 0.6% (图 3),多数分布在 0.6%~3.0%范围内,唯有水城双水地区 TOC 较低。研究结果表明,黔西地区打屋坝组有机碳含量总体较高,具有较好的页岩气勘查潜力。

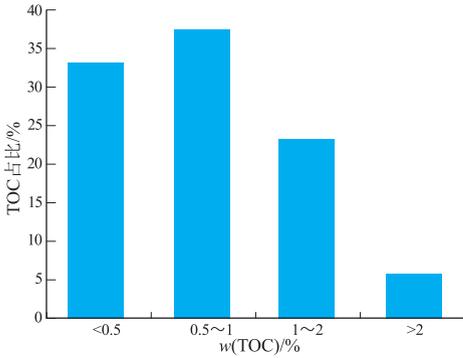


图 2 黔西地区下石炭统打屋坝组样品 TOC 分布情况
Fig.2 TOC distribution of samples from Dawuba Formation in western Guizhou Province

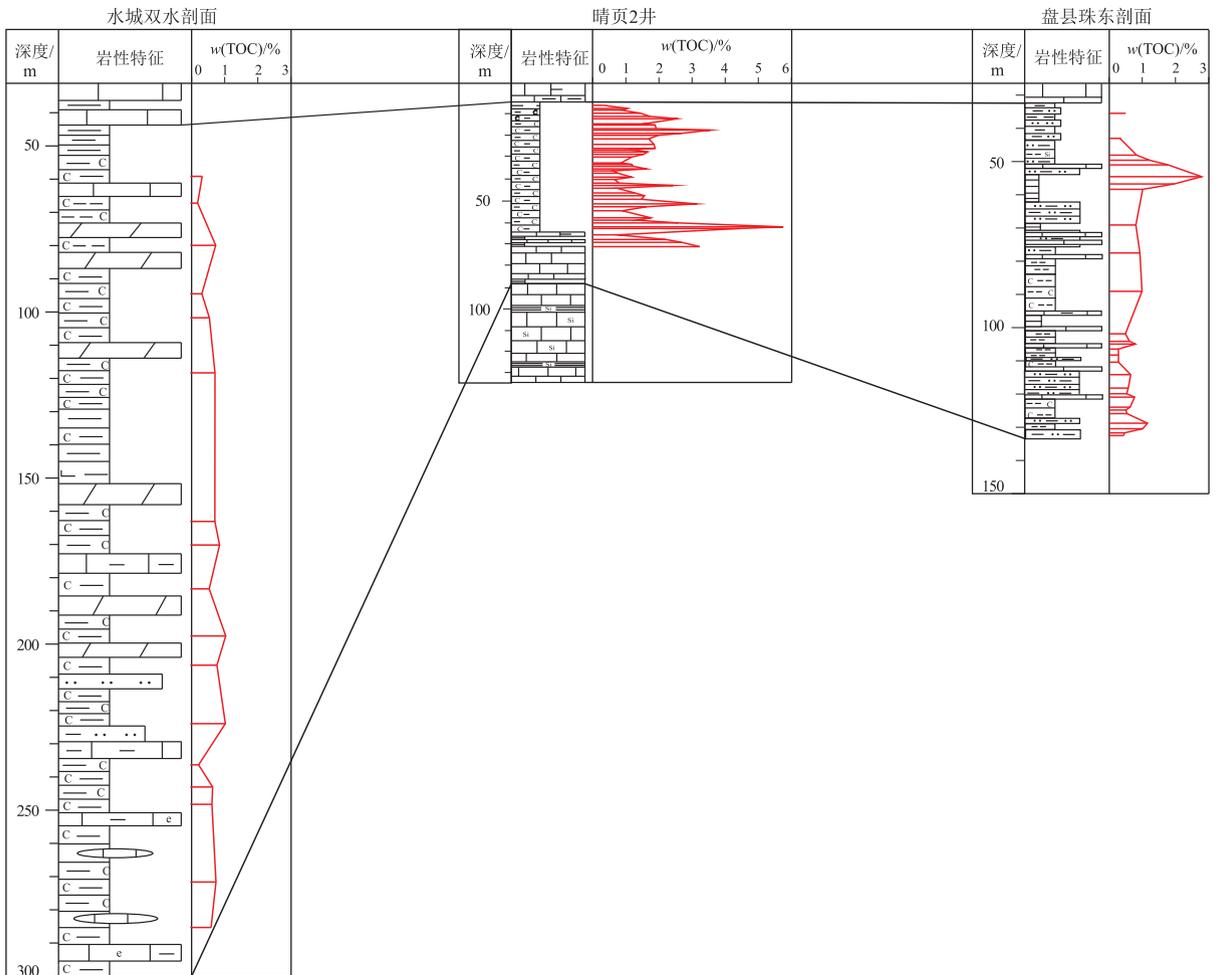


图 3 黔西地区下石炭统打屋坝组有机碳含量对比剖面、钻井位置见图 1。

Fig.3 Comparison of TOC content of Dawuba Formation in western Guizhou Province

3.2 干酪根有机组分

通过对样品进行干酪根抽提和观察,打屋坝组干酪根有机显微组分主要为壳质组腐殖无定形体与镜质组正常镜质体。水城双水地区惰质组含量明显较白沙地区高,未发现腐泥组成分。水城地区干酪根类型指数为 $-49.5\sim 3.0$,干酪根类型以Ⅲ型为主,少量Ⅱ₂型。普安白沙地区壳质组腐殖无定形体相对丰度为 $72\%\sim 80\%$,平均为 76% ;镜质组正常镜质体相对丰度为 $17\%\sim 20\%$,平均为 18.5% ;惰质组丝质体相对丰度为 $3\%\sim 8\%$,平均为 5.5% ;干酪根呈黄褐色—黑色,无荧光(图4);干酪根类型指数为 $13.0\sim 24.3$,类型属Ⅱ₂型。盘县地区干酪根指数为 $33.5\sim 82.5$,干酪根类型以Ⅱ₁型为主,少量Ⅱ₂型。

3.3 有机质成熟度

对水城双水、普安白沙、盘县珠东3条剖面地表露头57个富有机质页岩样品成熟度进行了测试,结果表明,盘县珠东地区有机质成熟度最高, R_o 为 $2.1\%\sim 3.18\%$,所有样品均为过成熟阶段;水城地区有机质成熟度 R_o 为 $1.56\%\sim 1.88\%$,平均为 1.68% ,自上而下逐渐增加处于高成熟演化阶段;普安地区总体处于成熟演化阶段, R_o 为 $0.98\%\sim 1.15\%$,平均为 1.08% ,相比水城地区成熟度低一些。从整体来看,处于成熟阶段的样品占全部样品的 22.41% , 39.66% 的样品属于高成熟阶段, 31.03% 的样品处于过成熟阶段早期,处于过成熟阶段晚期的样品占 5.17% (图5)。可以看出,黔西地区打屋坝组富有机质页岩演化相对较高,主要处于高成熟和过成熟阶段早期。

4 讨论

有机碳含量、干酪根类型、有机质成熟度是评

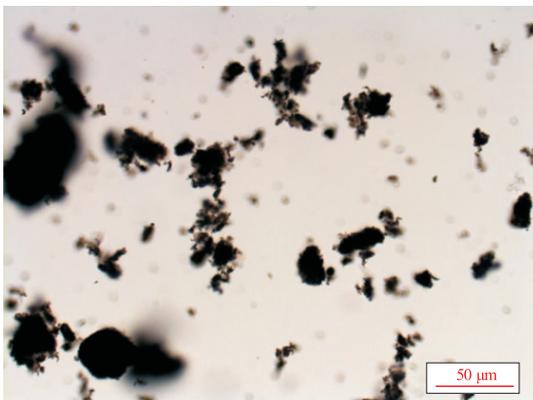


图4 黔西普安白沙地区下石炭统打屋坝组干酪根显微特征

Fig.4 Microscopic characteristics of kerogen from Dawuba Formation in western Guizhou Province

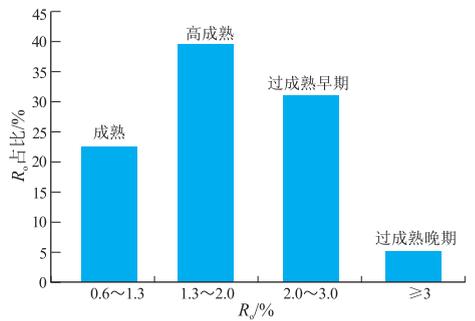


图5 黔西地区下石炭统打屋坝组主要采样点 R_o 频率分布
Fig.5 Frequency distribution of R_o at main sampling points of Dawuba Formation in western Guizhou Province

价烃源岩生烃能力的关键部分,在页岩气勘查方面,他们也是评价富有机质页岩是否具有页岩气勘查潜力的重要参数。目前业界对于富有机质页岩TOC需要达到多少才具有经济价值尚无统一标准。SCHMOKER^[14]和BOWKER^[15]分别认为具有页岩气潜质的页岩,其TOC至少应该大于 2% 或者 $2.5\%\sim 3\%$ 。由于美国主要页岩气开发区TOC普遍偏高,如Barnett页岩TOC为 $3\%\sim 13\%$ ^[16],因此美国认定的对页岩油气潜质页岩的TOC下限值也较高。聂海宽等^[17]对比了Barnett页岩和我国南方地质条件特征,认为具有工业价值的潜力页岩TOC平均含量应大于 1% 。张卫东等^[18]的观点则认为,具有工业开采潜力的页岩TOC下限值为 2% 。周德华和焦方正^[19]对四川盆地建南地区侏罗系页岩气甜点评价时认为,TOC平均含量的下限值为 1% 。

根据以往研究资料,打屋坝组TOC含量在 $0.45\%\sim 2.74\%$ 之间,平均 1.41% ,整体较高。在平面上,黔西地区打屋坝组TOC分布呈北西—南东向线型,威宁—六盘水一带TOC较高,同时往北东和南西方向有机碳含量逐渐降低;局部地区出现高值区,威宁地区TOC含量最高可达到 2% 以上,普安龙吟、六枝一带有机碳含量则普遍大于 1.0% ;整体TOC分布特征与垭紫罗断裂带走向一致(图6)。对于垭紫罗断裂带与富有机质页岩有机碳含量之间的关系有待进一步探讨。

富有机质页岩成熟度是常规烃源岩评价的重要指标,也是页岩气潜力评价中的重要指标。美国重点页岩层系富有机质页岩的成熟度差异较大(如Antrim页岩 R_o 在 $0.4\%\sim 0.6\%$ ^[20],Lewis页岩 R_o 在 $1.6\sim 1.88$ ^[13],Barnett页岩 R_o 在 $1.6\%\sim 2.27\%$ ^[21]),使得美国在非规油气勘探开发领域整体呈现页岩气和页岩油并重的局面。我国海相页岩成熟度相对偏高, R_o 普遍在 $2\%\sim 5\%$ ^[1],较高的成熟度使

- 力评价标准与方法[J].地质学报,2012,86(7):1132-1142.
- CHEN Jianping, LIANG Digang, ZHANG Shuichang, et al. Evaluation criterion and methods of the hydrocarbon generation potential for China's Paleozoic marine source rocks [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(7): 1132-1142.
- [4] 刘全有, 刘文汇, 王晓锋, 等. 不同烃源岩实验评价方法的对比[J].石油实验地质, 2007, 29(1): 88-94.
- LIU Quanyou, LIU Wenhui, WANG Xiaofeng, et al. Comparisons of geochemical methods for assessment of hydrocarbon-generating potential [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(1): 88-94.
- [5] 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): 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): 308-317.
- [6] 董大忠, 程克明, 王玉满, 等. 中国上扬子区下古生界页岩气形成条件及特征[J].石油与天然气地质, 2010, 31(3): 288-299.
- DONG Dazhong, CHENG Keming, WANG Yuman, et al. Forming conditions and characteristics of shale gas in the Lower Paleozoic of the Upper Yangtze region, China [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 288-299.
- [7] 苏慧敏, 杨瑞东, 程伟, 等. 贵州西南部下石炭统打屋坝组页岩气成藏特征与有利区分析[J].贵州大学学报(自然科学版), 2017, 34(3): 41-46.
- SU Huimin, YANG Ruidong, CHENG Wei, et al. Shale gas accumulation characteristics and advantageous area analysis of Lower Carboniferous Dawuba Formation in southwestern Guizhou [J]. Journal of Guizhou University (Natural Science), 2017, 34(3): 41-46.
- [8] 苑坤, 王克营, 巩书华, 等. 黔南地区石炭系打屋坝组页岩气富集特征及其影响因素[J].中国煤炭地质, 2018, 30(3): 28-34.
- YUAN Kun, WANG Keying, GONG Shuhua, et al. Shale gas enrichment features and impacting factors in Carboniferous Dawuba Formation, southern Guizhou area [J]. Coal Geology of China, 2018, 30(3): 28-34.
- [9] 窦新钊, 姜波, 秦勇, 等. 黔西地区构造演化及其对晚二叠世煤层的控制[J].煤炭科学技术, 2012, 40(3): 109-114.
- DOU Xinzhaio, JIANG Bo, QIN Yong, et al. Structure evolution in west of Guizhou area and control to seam in Late Permian [J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(3): 109-114.
- [10] 卢树藩, 何彝, 杜胜江. 黔南代页1井下石炭统打屋坝组页岩气地质条件及勘探前景[J].中国地质调查, 2016, 3(4): 6-11.
- LU Shufan, HE Ben, DU Shengjiang. Geological conditions and exploration prospect of shale gas in Dawuba Formation of Lower Carboniferous of Daiye-1 well in southern Guizhou Province [J]. Geological Survey of China, 2016, 3(4): 6-11.
- [11] 安亚运, 符宏斌, 陈厚国, 等. 黔南下石炭统打屋坝组页岩气储层物性特征及控制因素: 以长页1井储层为例[J].贵州地质, 2015, 32(3): 181-189.
- AN Yayun, FU Hongbin, CHEN Houguo, et al. Reservoir property and control factors of shale gas of Dawuba Formation, Lower Carboniferous in South Guizhou: with Changye no.1 reservoir as an example [J]. Guizhou Geology, 2015, 32(3): 181-189.
- [12] 曹婷婷, 徐思煌, 周炼, 等. 高演化海相烃源岩元素地球化学评价: 以四川南江杨坝地区下寒武统为例[J].地球科学(中国地质大学学报), 2014, 39(2): 199-209.
- CAO Tingting, XU Sihuang, ZHOU Lian, et al. Element geochemistry evaluation of marine source rock with high maturity: a case study of Lower Cambrian in Yangba section of Nanjiang County, Sichuan [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2014, 39(2): 199-209.
- [13] 范昌育, 王震亮. 页岩气富集与高产的地质因素和过程[J].石油实验地质, 2010, 32(5): 465-469.
- FAN Changyu, WANG Zhenliang. Geological factors and process in enrichment and high production of shale gas [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(5): 465-469.
- [14] SCHMOKER J W. Determination of organic-matter content of Appalachian Devonian shales from gamma-ray logs [J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(7): 1285-1298.
- [15] BOWKER K A. Barnett shale gas production, Fort Worth Basin: issues and discussion [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523-533.
- [16] 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.
- [17] 聂海宽, 唐玄, 边瑞康. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J].石油学报, 2009, 30(4): 484-491.
- NIE Haikuan, TANG Xuan, BIAN Ruikang. Controlling factors for shale gas accumulation and prediction of potential development area in shale gas reservoir of South China [J]. Acta Petroli Sinica, 2009, 30(4): 484-491.
- [18] 张卫东, 郭敏, 姜在兴. 页岩气评价指标与方法[J].天然气地球科学, 2011, 22(6): 1093-1099.
- ZHANG Weidong, GUO Min, JIANG Zaixing. Parameters and method for shale gas reservoir evaluation [J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(6): 1093-1099.
- [19] 周德华, 焦方正. 页岩气“甜点”评价与预测: 以四川盆地建南地区侏罗系为例[J].石油实验地质, 2012, 34(2): 109-114.
- ZHOU Dehua, JIAO Fangzheng. Evaluation and prediction of shale gas sweet spots: a case study in Jurassic of Jiannan area Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 109-114.
- [20] 李新景, 吕宗刚, 董大忠, 等. 北美页岩气资源形成的地质条件[J].天然气工业, 2009, 29(5): 27-32.
- LI Xinjing, LV Zonggang, DONG Dazhong, et al. Geologic controls on accumulation of shale gas in North America [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(5): 27-32.
- [21] 杨振恒, 韩志艳, 李志明, 等. 北美典型克拉通盆地页岩气成藏特征、模式及启示[J].石油与天然气地质, 2013, 34(4): 463-470.
- YANG Zhenheng, HAN Zhiyan, LI Zhiming, et al. Characteristics and patterns of shale gas accumulation in typical North American cratonic basins and their enlightenments [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 463-470.