

文章编号:0253-9985(2013)01-0011-05

渝东南渝科1井下寒武统富有机质页岩发育特征与含气量

谢忱¹,张金川¹,李玉喜²,王小洪¹

(1. 中国地质大学 能源学院,北京 100083; 2. 国土资源部 油气资源战略研究中心,北京 100034)

摘要:渝东南地区广泛发育下古生界海相页岩,具有发育范围广、厚度大、埋藏深度较浅、有机质丰度高等特点。渝科1井位于四川盆地东南部外缘,揭示了渝东南地区富有机质页岩的发育特征和含气特点。该井钻揭下寒武统牛蹄塘组页岩层总厚50.2 m。研究表明:牛蹄塘组页岩具有有利的页岩气成藏条件,有机碳含量平均值为5.63%,成熟度(R_o)主体分布在3%左右。利用测井数据、等温吸附实验、线性回归等多种方法对页岩含气量进行分析和计算,得到牛蹄塘组页岩总含气量在1.0~3.5 m³/t。渝科1井揭示了渝东南地区发育的牛蹄塘组富有机质页岩具有高有机碳含量、高成熟度、高含气量的特点,该地区具有较大的页岩气资源潜力。

关键词:页岩气;海相页岩;含气量;渝科1井;渝东南

中图分类号:TE132

文献标识码:A

Characteristics and gas content of the Lower Cambrian dark shale in Well Yuke 1, Southeast Chongqing

Xie Chen¹, Zhang Jinchuan¹, Li Yuxi² and Wang Xiaohong¹

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Strategy Research Center of Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing 100034, China)

Abstract: Lower Paleozoic marine shale is widely distributed in Southeast Chongqing and features in large thickness, shallow burial depth and high organic abundance. The information from Well Yuke 1 helps us to well understand the characteristics and gas potential of the dark shale. The thickness of dark shale in the Cambrian Niutitang Formation is 50.2 m in total. Our studies reveal that the shale has favorable hydrocarbon accumulation conditions, with an average total organic carbon content (TOC) of 5.63% and an average vitrinite reflectance (R_o) of 3%. Calculation through logging analysis, isothermal adsorption test and linear regression shows that the total gas content of the shale is within the range of 1.0–3.5 m³/t. Well Yuke 1 demonstrates that the Niutitang Formation dark shale is characterized by high organic content, high maturity and large gas content, indicating great potential of shale gas resources.

Key words: shale gas, marine shale, gas content, Well Yuke 1, Southeast Chongqing

上扬子地区广泛发育富有机质海相页岩,页岩气勘探开发潜力大^[1-2]。四川盆地及周缘地区是上扬子地区页岩气勘探开发的核心地带,但

地质演化复杂,含气性变化尚不明确^[3]。位于四川盆地东南部外缘渝东南地区的页岩气取心井——渝科1井,揭示了下寒武统牛蹄塘组富有

收稿日期:2012-10-24;修订日期:2012-12-15。

第一作者简介:谢忱(1989—),男,硕士生,油气地质勘探。

基金项目:国家科技重大专项(2009GYXQ-15);国家自然科学基金项目(40672087)。

机质页岩的发育特征和含气特点,为深入研究渝东南地区及上扬子板块的含气页岩基本地质特征和分布规律,获得页岩气资源系统参数,掌握页岩气资源潜力及分布特点并估算资源量,提供了重要的参数依据。

1 地质背景

渝东南地区位于四川盆地东南部外缘(图1),是上扬子板块的重要组成部分,寒武系至第四系均有出露,褶皱、断裂构造发育。地貌呈现以中低山、高中山为主的山地特征。

研究区内构造运动多期,构造挤压强烈,背斜和断裂主要形成于中生代的燕山期,为燕山褶皱的加里东构造层,轴部走向多为北东-南西向。燕山运动使板溪群—奥陶系一起褶皱,褶皱形态各地而异,断裂普遍发育,贯穿全区,主要断裂为北东-南西走向。这次运动对先期形成的地质构造有明显的继承和改造。经过燕山运动以后,区内地质构造基本定型,全区隆起成陆。

渝东南地区主要出露地层为寒武系、奥陶系、志留系及二叠系,其他层系缺失。渝东南地区广泛发育下古生界海相页岩,主要包括下寒武统牛蹄塘组及下志留统龙马溪组,具有页岩地层发育范围广、厚度大、埋深浅、裂缝发育等特点^[4-5]。渝东南地区钻探显示该地区实际页岩厚度远远大于地面露头显示的厚度,且页岩地层中有良好的含气显示。

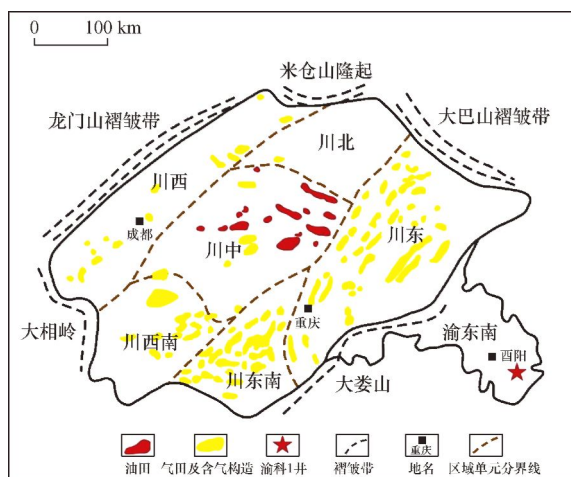


图1 渝科1井地理位置

Fig.1 Location of Well Yuke 1

2 含气页岩发育特征

2.1 钻探背景

渝科1井位于重庆市酉阳县江丰乡井冈村,井口经纬度坐标为北纬 $28^{\circ}38.587'$,东经 $108^{\circ}52.893'$,地面海拔465 m。钻井地区位于重庆秀山鸡公岭背斜北侧。主要钻遇地层有南华系南沱组二段、南沱组三段、震旦系陡山沱组、灯影组、寒武系明心寺-金顶山组。早寒武世的沉积岩相及生物群具有“江南带”的特色。下统以页岩为主,为东南区与扬子区混生的生物群(主要是早寒武世中晚期),形成一个特殊的沉积岩相带。区内地层产状平缓,井点附近地层产状为 $102^{\circ}\angle 16^{\circ}$,附近发育有小型断层,井点距断层40 m左右。

2.2 发育特征

牛蹄塘组黑色页岩在渝东南全区内均有分布,厚度为20~140 m。研究区东南部是牛蹄塘组的沉积中心,是黑色页岩发育区,渝科1井钻遇地层共发育六套页岩层段,测井解释三套为含气层,其余为非含气层段(表1)。

3套含气页岩层深度分别为8.65~22.70, 22.70~38.10及38.10~58.85 m。广泛发育黄铁矿充填(图2a)、节理裂隙、方解石脉及方解石细理线充填(图2b)。

3 含气量

3.1 测井分析

对钻遇含气页岩层测井响应值进行分析(图3),

表1 渝科1井页岩层段分层数据

Table 1 Layer thickness of the shale in Well Yuke 1

岩性	底深度/m	视厚度/m	解释结论
炭质页岩	22.70	14.05	含气层
炭质页岩	38.10	15.40	含气层
炭质页岩	58.85	18.75	含气层
页岩	79.10	15.00	非含气层
页岩	182.20	2.75	非含气层
页岩	373.60	1.00	非含气层

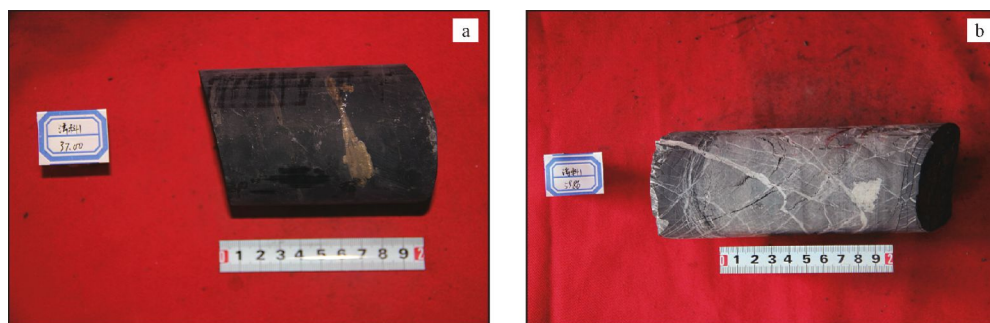


图2 渝科1井黑色页岩岩心特征

Fig. 2 Characteristics of the dark shale cores from Well Yuke 1

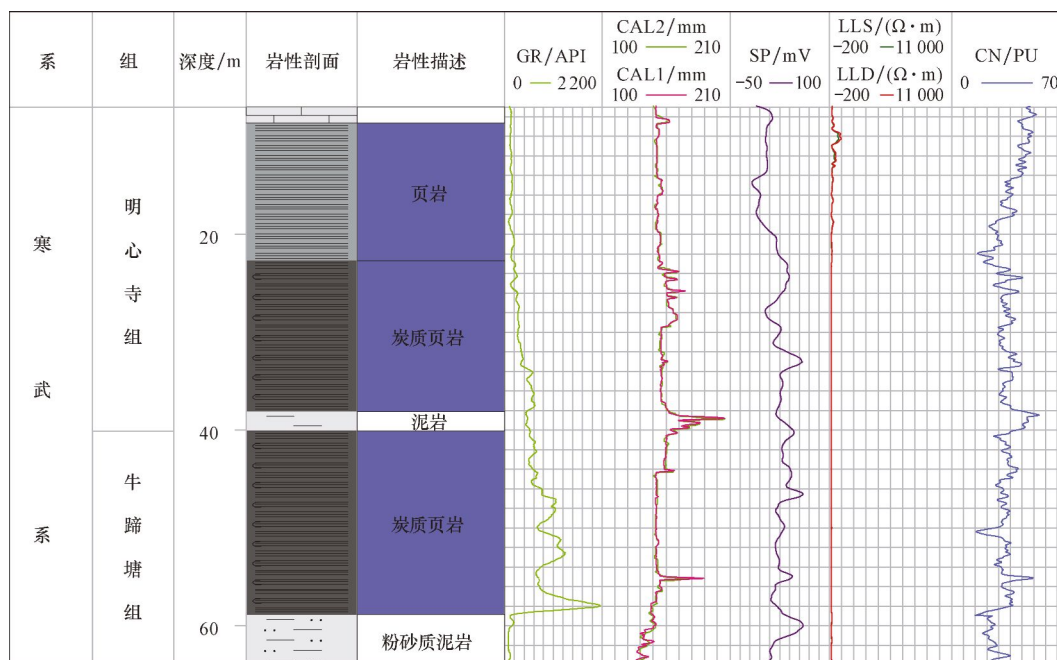


图3 渝科1井含气页岩层测井特征

Fig. 3 Logs of gas-bearing shale in Well Yuke 1

表2 渝科1井含气页岩层测井响应平均值

Table 2 Average logging response values of the gas-bearing shale layers in Well Yuke 1

岩性	深度/m	补偿密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	自然伽马/API	补偿中子/PU	声波时差/ ($\mu\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)	深侧向电阻率/ ($\Omega \cdot \text{m}$)	浅侧向电阻率/ ($\Omega \cdot \text{m}$)
炭质页岩	22.70	2.54	149	37	378	272	264
炭质页岩	38.10	2.34	369	31	469	19	18
炭质页岩	58.85	2.26	1170	30	457	11	10

计算3套含气页岩的测井响应平均值(表2),再对页岩层段的工业参数进行计算。研究表明发育在58.85 m处的炭质页岩的固定碳、挥发分参数在3个含气页岩层段中最高,理论计算该段页岩含气量为 $2.59 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

3.2 地球化学实验

有机碳含量(TOC)和镜质体反射率(R_o)是评价有机质丰度以及有机质成熟度的常用指标之一,它是国内外应用最早、研究最多的一项指标,

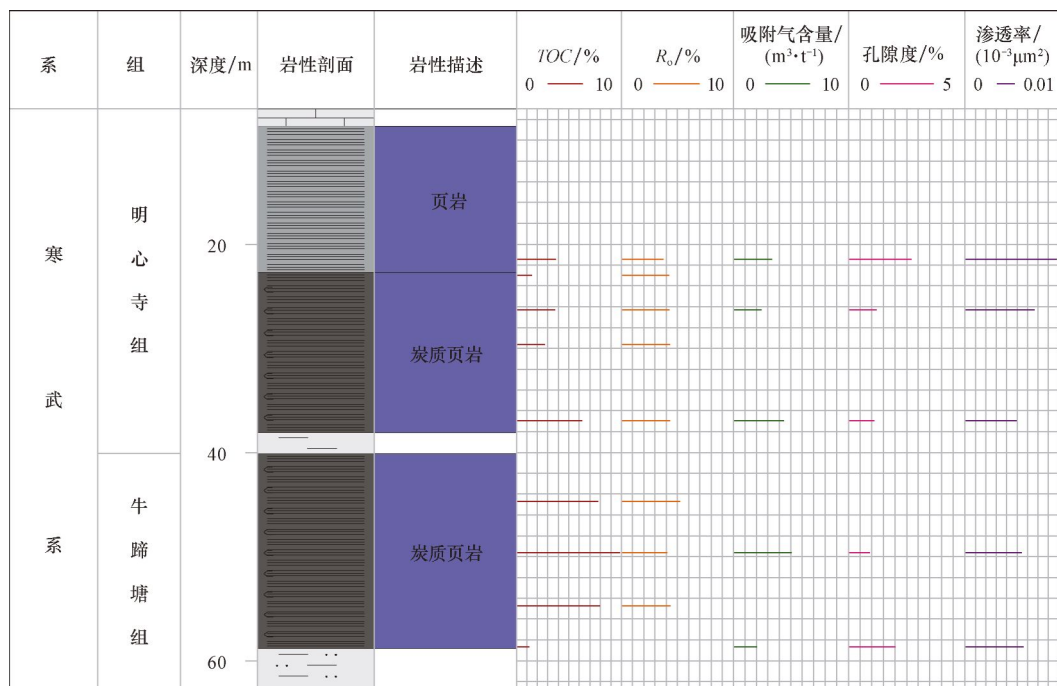


图4 渝科1井页岩层段地化实验数据柱状图

Fig. 4 Histogram showing geochemical data of the shale layers in Well Yuke 1

有机碳含量的大小对页岩含气量起着决定性作用^[6-8]。

渝科1井页岩层段岩心样品的地球化学实验表明,渝科1井的 TOC 值分布范围为 1.36% ~ 9.81% (图4),主体为 4.0% ~ 6.0%,最高值在深度 49.58m 处,达到 9.81%。 R_o 值分布范围为 2.68% ~ 5.19%,主体在 3% 左右,成熟度普遍偏高。

在进行地球化学实验的页岩样品中,约 45% 的样品 TOC 值大于 5.0%,78% 的样品 TOC 值大于 2.0% (图5),该页岩层段内有机质非常富集,

对页岩吸附气含量起着很大的控制作用,根据等温吸附实验,测得主要页岩层段的最大吸附气量为 1.83 ~ 5.04 m^3/t ,平均为 3.2 m^3/t 左右,表明该段页岩具有很大的生气潜力。

3.3 含气量预测

页岩的有机地化参数是影响页岩含气量的内在因素,其中 TOC 是影响最大的指标,研究表明 TOC 与吸附气含量呈正相关关系。它控制着页岩的颜色、密度、硫含量,并且由于有机质多发育微孔隙的特征,随着有机碳含量的增加,页岩的孔隙度增大,孔隙类型增多^[9],吸附气含量增加。可以说明有机碳含量对页岩含气量起着决定性作用^[10-11]。

渝科1井页岩层段 TOC 值分布范围为 1.36% ~ 9.81%,平均值为 5.63%,根据四川盆地及其周缘下古生界黑色页岩有机碳含量和吸附气含量关系(吸附气量 = $0.1864 \times \text{有机碳含量} - 0.0383$)^[12],利用线性回归法计算得渝科1井页岩吸附气量分布范围为 0.21 ~ 1.79 m^3/t ,平均值为 1.01 m^3/t 。

页岩气总含气量为吸附气量与游离气量之和,目前尚未较准确的计算出游离气量,结合页岩

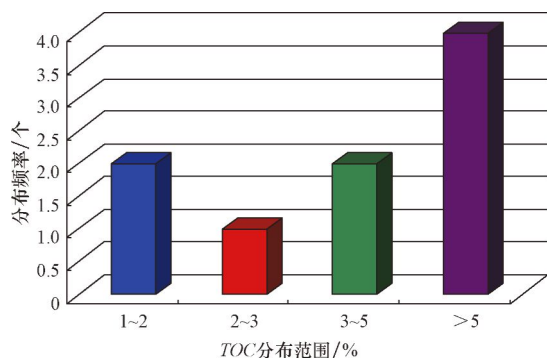


图5 渝科1井含气页岩层段 TOC 分布范围

Fig. 5 Total organic carbon content of gas-bearing shale layers in Well Yuke 1

气总含气量分析原理,初步计算渝科1井页岩预测含气量在 $1.0 \sim 3.5 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

4 结论

1) 渝科1井揭示了上扬子渝东南地区下寒武统牛蹄塘组页岩的基本地质特征。该井揭穿炭质页岩地层厚度为50.2 m,揭示了该地区下寒武统海相页岩具有厚度大、有机质富集、成熟度偏高的特点,具有良好的页岩气成藏条件。

2) 含气性研究表明:牛蹄塘组炭质页岩具有很大的含气潜力。测井数据计算得出页岩含气量为 $2.59 \text{ m}^3/\text{t}$;等温吸附实验显示最大吸附气量为 $1.83 \sim 5.04 \text{ m}^3/\text{t}$;线性回归法计算得出吸附气含量为 $0.21 \sim 1.79 \text{ m}^3/\text{t}$;初步预测总含气量在 $1.0 \sim 3.5 \text{ m}^3/\text{t}$ 。渝东南地区的页岩气前景值得期待。

参 考 文 献

- [1] 张金川,徐波,聂海宽,等.中国页岩气资源勘探潜力[J].天然气工业,2008,28(6):136-140.
Zhang Jinchuan, Xu Bo, Nie Haikuan, et al. Exploration potential of shale gas resources in China[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(6): 136-140.
- [2] 张大伟.加速我国页岩气资源调查和勘探开发战略构想[J].石油与天然气地质,2010,31(2):135-139,150.
Zhang Dawei. Strategic concepts of accelerating the survey, exploration and exploitation of shale gas resources in China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 135-139, 150.
- [3] 张金川,唐玄,姜生玲,等.碎屑岩盆地天然气成藏及分布序列[J].天然气工业,2008,28(12):11-17.
Zhang Jinchuan, Tang Xuan, Jiang Shenglin, et al. Sequences of natural gas accumulation and distribution in clastic basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(12): 11-17.
- [4] 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):288-299,308.
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, 308.
- [5] 张金川,姜生玲,唐玄,等.我国页岩气富集类型及资源特点[J].天然气工业,2009,29(12):1-6.
Zhang Jinchuan, Jiang Shenglin, Tang Xuan, et al. The accumulation type and characteristic of resource about shale gas in China[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(12): 1-6.
- [6] 聂海宽,张金川,包书景,等.四川盆地及其周缘上奥陶统一志留统页岩气聚集条件[J].石油与天然气地质,2012,33(3):335-345.
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan, Bao Shujing, et al. Shale gas accumulation conditions of the Upper Ordovician-Lower Silurian in Sichuan Basin and its periphery[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 335-345.
- [7] 李玉喜,聂海宽,龙鹏宇.我国富含有机质泥页岩发育特点与页岩气战略选区[J].天然气工业,2009,29(12):115-118.
Li Yuxi, Nie Haikuan, Long Pengyu. The characteristic of organic-rich shale and the strategic selection of shale gas in China[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(12): 115-118.
- [8] 刘若冰,田景春,魏志宏,等.川东南地区震旦系-志留系下组合有效烃源岩综合研究[J].天然气地球科学,2006,17(6):824-828.
Liu Ruobing, Tian Jingchun, Wei Zhihong, et al. Comprehensive research of effective hydrocarbon source rock of lower strata from Sinian to Silurian system in southeast area of Sichuan province[J]. Natural Gas Geosciences, 2006, 17(6): 824-828.
- [9] 张金川,李玉喜,聂海宽.渝页1井地质背景及钻探效果[J].天然气工业,2010,12(30):1-5.
Zhang Jinchuan, Li Yuxi, Nie Haikuan. The geological setting and drilling results in well Yuye 1[J]. Natural Gas Industry, 2010, 12(30): 1-5.
- [10] 张金川,薛会,张德明,等.页岩气及其成藏机理[J].现代地质,2003,17(4):466.
Zhang Jinchuan, Xue Hui, Zhang Deming, et al. The mechanism of shale gas accumulation[J]. Modern Geology, 2003, 17(4): 466.
- [11] 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Yuan Mingsheng. The mechanism of shale gas accumulation and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18.
- [12] 聂海宽,张金川.页岩气聚集条件及含气量计算—以四川盆地及其周缘下古生界为例[J].地质学报,2012,86(2):349-361.
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan. Shale gas accumulation conditions and gas content calculation: A case study of Sichuan Basin and its periphery in the Lower Paleozoic[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(2): 349-361.

(编辑 张亚雄)