

非常规天然气

湘西北下寒武统牛蹄塘组 页岩气井位优选及含气性特征 ——以常页1井为例

林拓¹, 张金川², 包书景¹, 杨升宇², 李博³, 何伟²

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100037;

2. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 3. 中国华电工程(集团)有限公司, 北京 100035)

摘要:根据野外地质调查, 结合区域构造特点和沉积背景研究, 优选并实施钻探了湖南第一口牛蹄塘组页岩气调查井——常页1井, 并通过取样测试分析、现场解析实验对牛蹄塘组含气性进行了定量分析。研究表明, 常德市周边及以北的慈利—石门—澧县一带, 沉积厚度大、分布稳定、地势平坦, 是优选页岩气地质调查井位的有利区域。优选的常页1井揭示了牛蹄塘组富有机质页岩厚674.5m(真厚度), 是目前已知我国单井钻遇黑色页岩层系的最大厚度, 其有机碳含量、现场解析含气量、等温吸附含气量具有明显的正相关关系, 且随着深度的增加, 三者都表现为先从顶部到中下部增大、再向底部减小的特点。位于牛蹄塘组中下部、井深为1 067~1 250m的黑色页岩、炭质页岩段, 平均有机碳含量为10.14%, 等温吸附含气量为3.7~5.8 m³/t, 现场解析总含气量为0.5~2.1 m³/t, 是该井页岩气发育的最有利层段, 具有良好的勘探潜力。

关键词:页岩气; 常页1井; 湘西北; 牛蹄塘组; 含气性

中图分类号: TE32

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2015)02-0312-08

引用格式: Lin Tuo, Zhang Jinchuan, Bao Shujing, *et al.* The optimum selecting of shale gas well location and gas content of Lower Cambrian, northwest Hunan: A case study of well Changye [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(2): 312-319. [林拓, 张金川, 包书景, 等. 湘西北下寒武统牛蹄塘组页岩气井位优选及含气性特征——以常页1井为例[J]. *天然气地球科学*, 2015, 26(2): 312-319.]

0 引言

四川盆地及其周缘地区具有良好的页岩气勘探开发潜力^[1-4], 位于其东南缘的湘西北地区页岩气勘探也受到广泛关注, 尤其是该区下寒武统牛蹄塘组富有机质页岩, 分布广泛、沉积厚度大、有机质丰度高^[5-6], 是页岩气发育的潜力层系。但湘西北地区构造复杂, 断裂发育, 牛蹄塘组富有机质页岩埋深普遍较大, 如何在构造复杂区优选页岩气井位, 以及如何在沉积厚度巨大的富有机质页岩层系中寻找最佳勘探层段是该区牛蹄塘组页岩气勘探中面临的现实问题。本文利用区域基础地质资料结合野外地质调查

的方法优选了湖南省第一口牛蹄塘组页岩气调查井——常页1井, 通过密集采样、实验分析、现场解析实验, 定量分析了牛蹄塘组富有机质页岩剖面含气特征, 预测了页岩气勘探开发方向, 为该区牛蹄塘组页岩气勘探开发提供了重要的基础地质资料。

1 区域地质背景

湘西北地区与四川盆地同属上扬子板块, 从震旦纪到早古生代该板块主要表现为克拉通海相盆地, 沉积了系列海相层系^[7-8]。牛蹄塘组岩性以黑色页岩、炭质页岩、黑色硅质页岩为主, 具有分布广泛、沉积厚度大的特点, 沉积环境由NW向SE方向从

收稿日期: 2014-03-17; 修回日期: 2014-06-23.

基金项目: 国家科技重大专项(油气专项)资助项目(编号: 1211302108020); 中央高校基本业务费专项基金(编号: 2012047)联合资助。

作者简介: 林拓(1984-), 男, 浙江乐清人, 博士, 主要从事页岩气地质和资源评价研究. E-mail: everdeer@163.com.

碎屑岩深水陆棚沉积向半深海—深海沉积过渡^[9-11](图1),具有良好的页岩气形成基础条件。然而,燕山期持续的压性构造环境产生的强烈冲断、褶皱及

抬升剥蚀,形成了湘西北地区现今断裂发育、褶皱不完整的复杂构造形态,并影响了牛蹄塘组页岩气的聚集和保存。

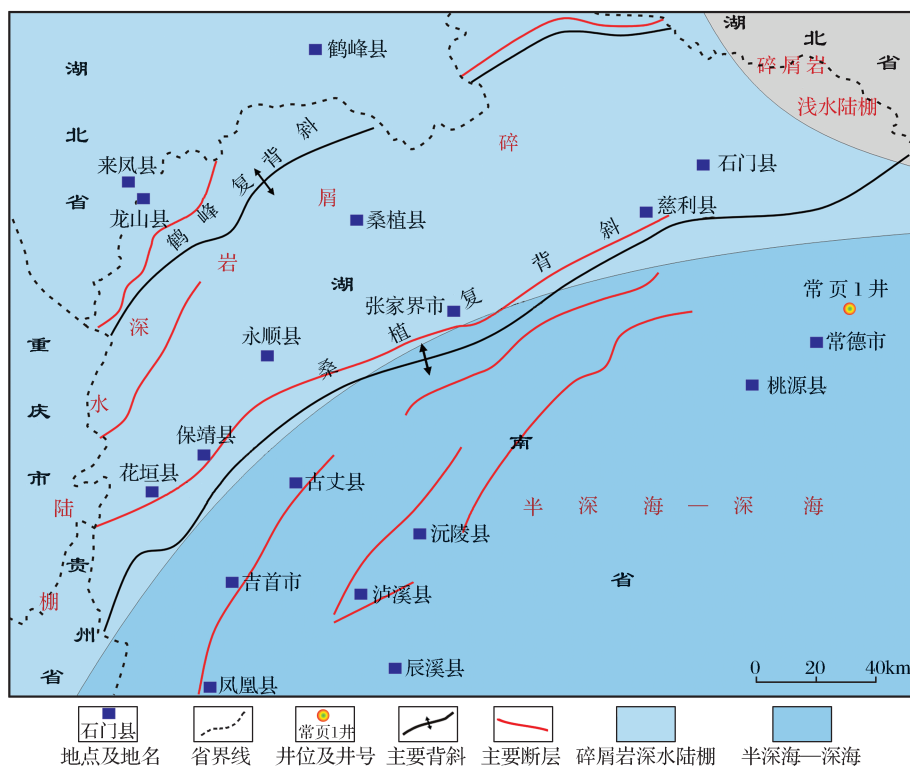


图1 湘西北区域地质背景及常页1井位置

Fig.1 Regional geological background and location of well Changye 1, northwest Hunan

2 常页1井井位优选

为了研究湘西北构造复杂区牛蹄塘组页岩气含气性,亟需借助页岩气调查井来获得测试数据,故在研究区进行了井位优选工作。对于尚未进行地震勘探工作的地区,页岩气地质调查井井位优选的重要依据是通过野外地质调查,在剖面测量和露头观察的基础上,预测黑色页岩的分布,寻找沉积厚度大、分布面积稳定的有利区域^[12-14]。考虑到钻井施工和可能的压裂试采,还应充分考虑交通和水源条件。

通过沉积相分析和野外地质调查,湘西北下寒武统黑色页岩原始沉积厚度最大的区域位于吉首—古丈—张家界一线SE方向,但埋深普遍较大(多大于3 000m)。吉首—古丈—张家界一带(图2所示A区域)地表形态多以高山深谷为主,地形高差较大,不利于页岩气钻探井的实施;常德市以南的安化县—辰溪县—新化县一带(图2所示B区域)下寒武统剥蚀严重,页岩气发育地质条件较差。

常德市周边及以北的慈利—石门—澧县一带

(图2所示C区域),地势平坦、水系发达、交通便利,是优选页岩气地质调查井的有利区域。但地表大面积被第四系覆盖,地下地层及断裂发育不明,地质条件较为复杂(图3)。

野外地质发现,常德市以北的太阳山背斜西翼有大片牛蹄塘组黑色页岩出露,视厚度在100m以上(图4)。太阳山背斜呈NNE向展布,轴向露出下板溪群,西翼由上板溪群与下古生界组成,背斜东翼完全被第四系覆盖^[10],西翼仅有零星露头可供参考。背斜两翼均有断裂通过,断裂长度和挤压带宽度较大^[14-15],判断该区为由大断距断层形成的逆冲推覆带。通过周边采样点分析,太阳山背斜西翼由核部向西分别出露震旦系硅质岩、寒武系牛蹄塘组黑色页岩、寒武系清虚洞组灰色灰岩,地层倾角分布稳定(30°~40°),露头上呈现连续的单斜特征(图5)。

根据仅有的露头岩性和产状信息,在太阳山背斜黑色页岩大片出露点以西约1 700m处优选并实施钻探常页1井(图5),预计500m左右钻遇牛蹄塘组黑色页岩,950m左右钻穿牛蹄塘组,1 000m左右

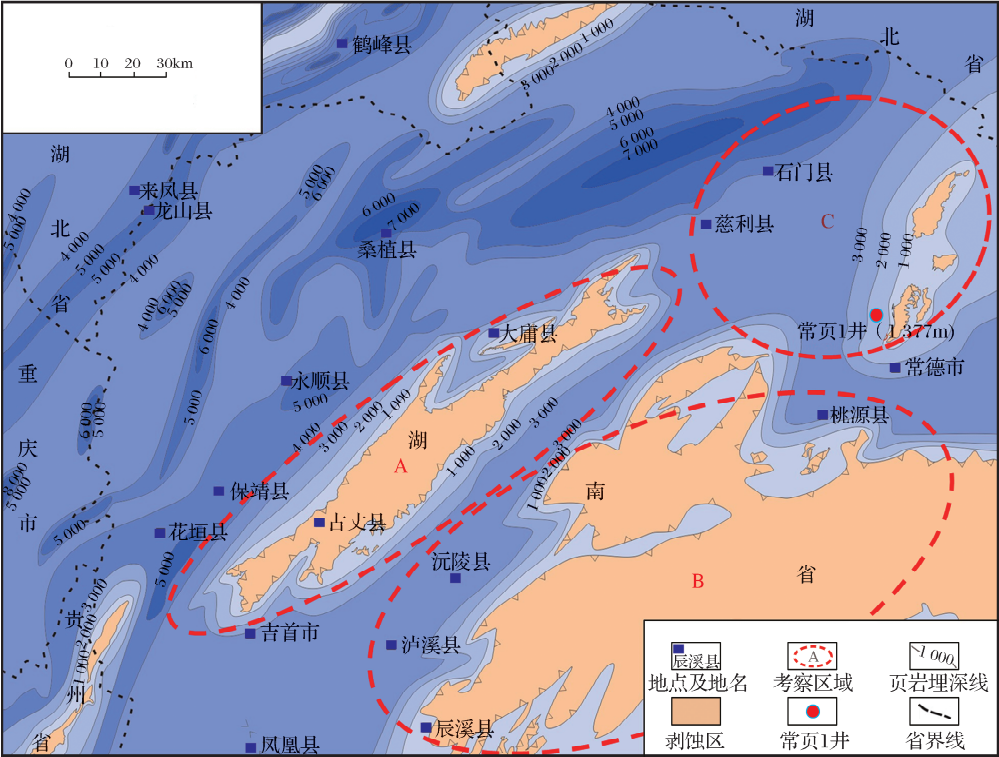


图 2 湘西北牛蹄塘组底界埋深

Fig. 2 The buried depth of Niutitang Formation in northwest Hunan

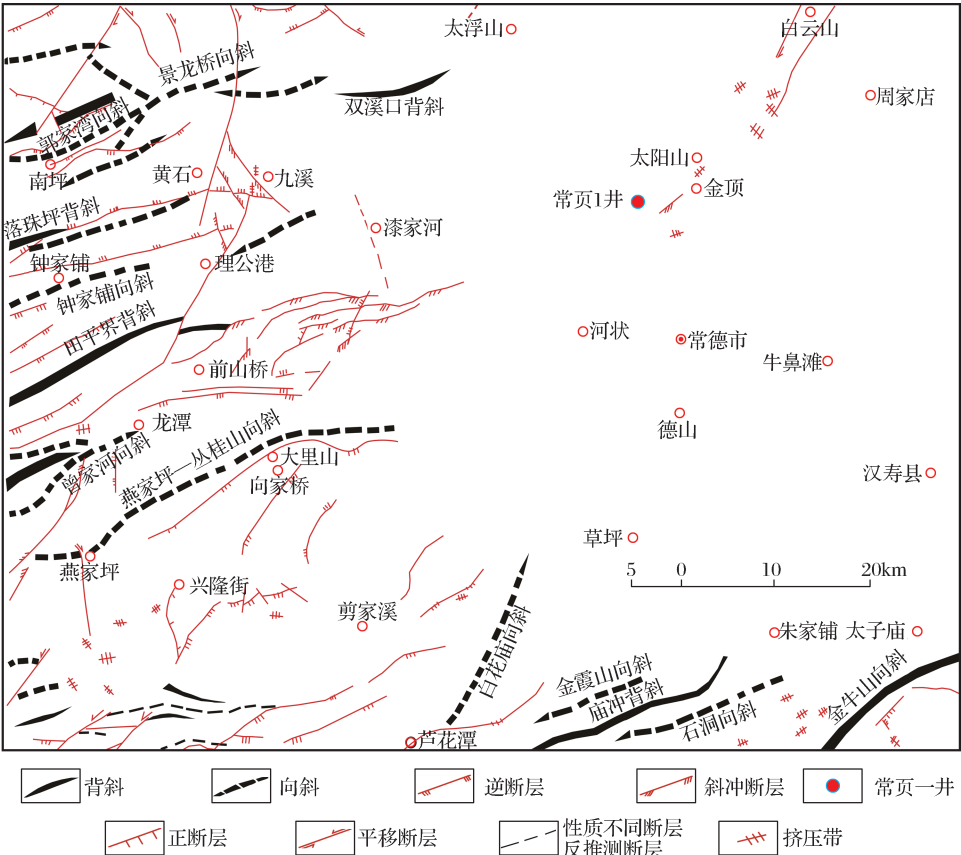


图 3 常页 1 井位平面位置及周边区域地表断裂分布特征

Fig. 3 The location of well Changye 1 and its faults distribution

完钻。实际钻探发现常页1井牛蹄塘组黑色页岩厚度比预计要大,于535.5m钻遇黑色页岩,1344.1m钻穿黑色页岩,夹57.9m的细晶灰岩。采用全井段绳索取心获取了牛蹄塘组黑色页岩段的连续岩心,累计揭示了牛蹄塘组黑色页岩层系674.5m(真厚度),为目前我国单井揭示黑色页岩层系的最大厚度。



图4 太阳山煤矿出露的大片牛蹄塘组黑色页岩

Fig. 4 The outcrops of black shale of Niutitang Formation on Taiyangshan mine

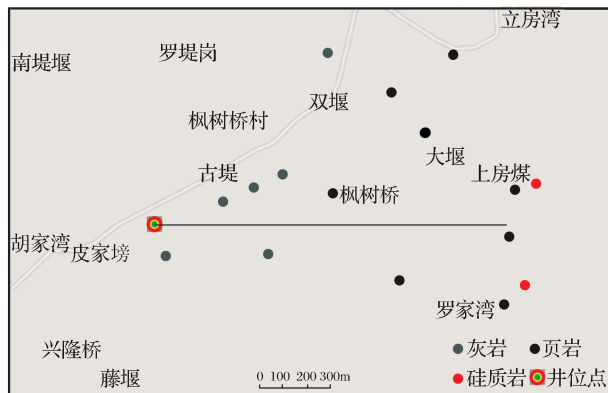


图5 井位点周边采样点分布特征

Fig. 5 The position of sampling points near well sites

3 含气性分析

3.1 样品采集

实验采用的样品为常页1井牛蹄塘组535.5~1344.1m黑色页岩、炭质页岩。由于黑色页岩层系厚度巨大,现场钻进较快,现场解吸实验需迅速实地测试,故平均10m一个样测试了63个黑色页岩样品,并采用其中的14个样品进行了等温吸附实验,研究页岩对甲烷气体的吸附能力的剖面变化。由于有机碳含量和页岩气含气量具有良好的正相关关系^[16-20],故平均1m一个样品采集了584个样品进

行测试,分析有机碳含量的剖面变化,探讨其与现场解析含气量、等温吸附含气量的关系,进而反映含气量更细微的剖面变化。

3.2 现场解析含气量

常页1井现场解析采用高精度现场解析仪进行含气量测定。把地下取出的岩心迅速装入盛有饱和盐水的解析罐中,放入恒温水浴,通过排水法测量解吸罐中页岩解吸出来的气量,每15min记录一次测量数据,并换算为标准状态(温度20℃、压力101.33KPa)下的体积,累加值即为样品在标准状态下的解析气量。页岩解析完毕后,将岩心样品粉碎,并使用真空脱气实验装备进行残余气测量。根据解析气、残余气含量的测定结果,通过非线性回归法计算出损失气量^[21],从而得到总含气量(表1)。

按照页岩气勘探开发标准,页岩气的含气量下限为0.5m³/t时,才具有工业开发价值^[22]。埋深较浅时(小于950m),常页1井普遍含气量较低,部分样品在实验过程未解吸出气体,不具有开发价值;随着深度的增加含气量逐渐增高,956~989m的黑色页岩段是含气量相对较高的层段,厚度为33m,含气量达到0.50~0.63m³/t,初步预测该段已达到工业开发下限;1067~1250m的黑色页岩、炭质页岩段是整口井含气量最高的层段,厚度达到了183m左右,含气量达到0.5~2.1m³/t,其最高值达到了2.1m³/t,具有良好的勘探开发价值(图6)。

3.3 等温吸附含气量

本文等温吸附实验共测定8个平衡压力点,分别为0MPa、0.35MPa、1.07MPa、2.25MPa、4.31MPa、6.24MPa、8.72MPa和11.13MPa,每一个压力点达到平衡的时间约12h,然后再增压到下一个压力点,实验用的甲烷气浓度均大于99.999%(表2)。吸附气量随压力变化可分为3个阶段。压力较小时(0.00~2.25MPa),吸附气量与压力为近似线性关系,吸附气量迅速增加;压力适中时(2.25~11.13MPa),吸附气量随压力的增大而缓慢增加;当压力足够大时(大于11.13MPa),吸附达到单分子层饱和,吸附量不再随压力变化而变化(图7),这与Langmuir方程理论所论证的吸附过程相符。

常页1井饱和吸附量在0.69~7.61m³/t之间,平均为2.79m³/t;Langmuir压力常数在1.04~3.29MPa之间,平均为2.19MPa。14个样品中饱和吸附量都在0.5m³/t以上,其中达到3m³/t以上的有6个,其中1056~1320m样品等温吸附气量为3.7~6.4m³/t,对甲烷的吸附能力最大。

表 1 常页 1 井现场解析含气量测试结果

Table 1 Gas content from well site desorption test of well Changye 1

深度 /m	含气量 /(m ³ /t)	深度 /m	含气量 /(m ³ /t)	深度 /m	含气量 /(m ³ /t)	深度 /m	含气量 /(m ³ /t)	深度 /m	含气量 /(m ³ /t)	深度 /m	含气量 /(m ³ /t)	深度 /m	含气量 /(m ³ /t)
563	—	766	0.12	840	0.04	915	0.2	1 025	0.39	1 126	0.38	1 268	0.05
565	—	772	0.06	848	0.19	926	0.07	1 035	0.08	1 151	2.1	1 278	0.06
568	—	782	0.24	852	0.13	936	0.13	1 044	0.38	1 156	1.62	1 288	0.15
575	0.18	788	0.09	867	0.11	956	0.63	1 056	0.26	1 165	0.06	1 299	0.12
579	0.09	794	0.16	876	0.17	962	0.57	1 068	0.19	1 166	2.09	1 310	0.06
587	—	803	0.17	881	0.28	977	0.51	1 077	0.09	1 204	0.98	1 320	0.11
589	—	811	0.13	888	0.09	989	0.51	1 086	0.25	1 231	0.97	1 337	0.23
680	0.07	822	0.06	896	0.36	1002	0.38	1 094	0.49	1 237	0.68	1 340	0.09
752	0.2	828	0.05	903	0.21	1018	0.17	1 104	0.27	1 259	0.28	1 344	0.03

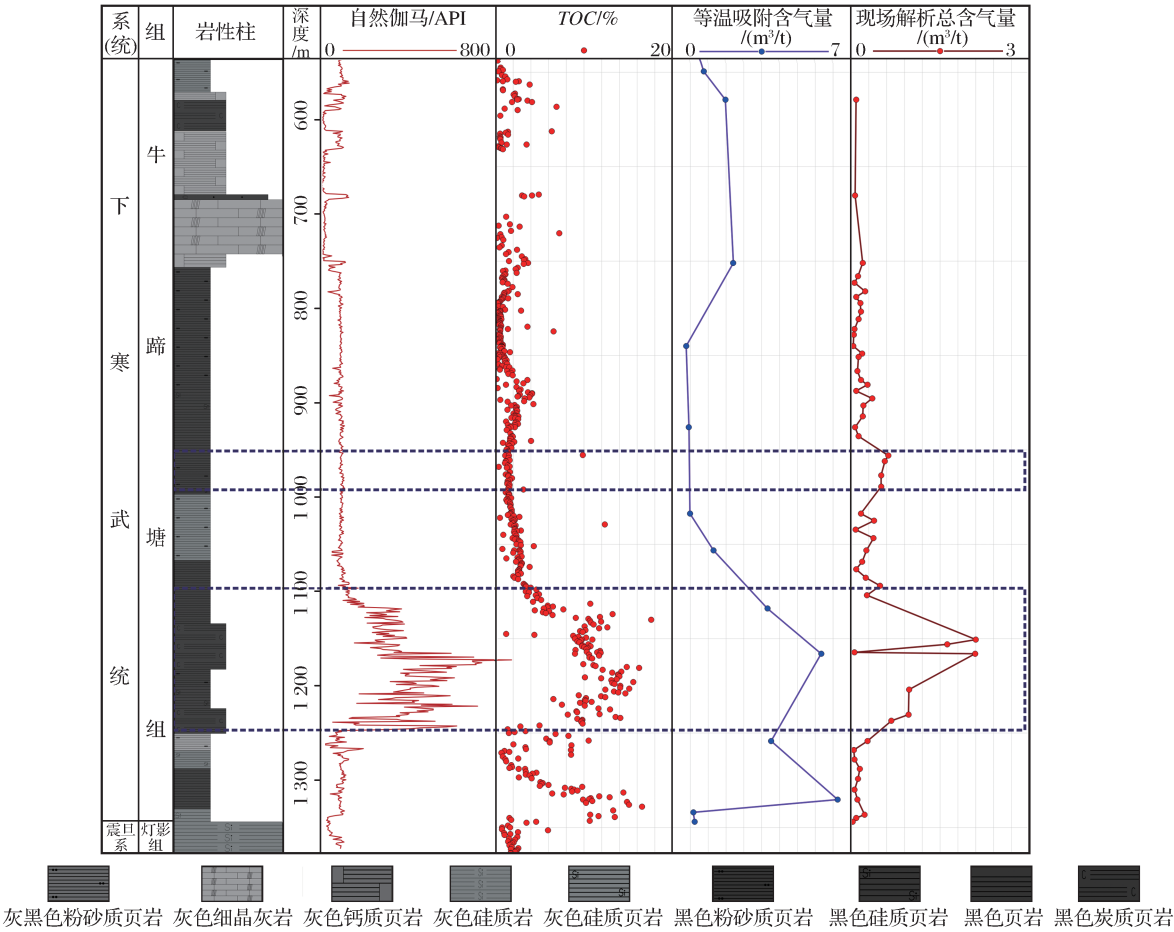


图 6 常页 1 井牛蹄塘组黑色页岩层系含气特征分析

Fig. 6 Analysis of gas content characteristics of the Lower Cambrian black shale in well Changye 1

3.4 有机碳含量变化

采用 Leco 碳硫测定仪测试有机碳含量(TOC)样品 584 个。实验表明,牛蹄塘组黑色页岩层系 TOC 值为 0.03%~17.60%,平均为 3.9%。总体上有机碳含量随深度的增加而增加,并从 1 100m 开始显著增加。其中在 1 103~1 224m 层段有机碳平均含量

为 10.14%,在 1 288~1 344m 层段有机碳平均含量为 8.22%,是常页 1 井有机碳含量最大的 2 个层段。

常页 1 井页岩样品 TOC 与等温吸附气量呈良好的正相关关系(相关系数高达 0.93),也与现场解析总含气量呈正相关关系(相关系数为 0.48)(图 8),故常页 1 井 TOC 的剖面变化可以一定程度上反映含气量

表 2 常页 1 井牛蹄塘组黑色页岩等温吸附实验结果

Table 2 Results of gas content from isothermal adsorption simulate test of the Lower Cambrian black shale in well Changye 1

井深/m	不同压力下的吸附量(m³/t)							吸附常数		
	0.35MPa	1.07MPa	2.25MPa	4.31MPa	6.24MPa	8.72MPa	11.13MPa	$V_L/(m³/t)$	P_L/MPa	V
513.1	0.24	0.48	0.66	0.82	0.88	0.91	0.88	0.99	1.04	0.82
548.9	0.29	0.53	0.96	1.22	1.3	1.38	1.35	1.6	1.66	1.23
579.0	0.35	0.8	1.38	1.88	2.12	2.39	2.47	3.16	2.99	2.08
752.0	0.32	0.77	1.41	2	2.36	2.52	2.58	3.42	3.29	2.38
840.0	0.11	0.21	0.32	0.4	0.5	0.53	0.58	0.69	2.42	0.54
926.0	0.11	0.27	0.37	0.5	0.64	0.58	0.69	0.81	2.41	0.64
1 017.6	0.16	0.32	0.53	0.64	0.69	0.66	0.69	0.77	1.19	0.69
1 056.3	0.31	0.58	0.93	1.33	1.46	1.5	1.64	1.96	2.3	1.61
1 118.0	0.62	1.24	2.08	2.88	3.19	3.58	3.72	4.61	2.65	3.73
1 166.0	1	2.3	3.63	4.69	5.22	5.58	5.75	6.87	2.06	5.84
1 258.7	0.58	1.37	2.21	2.96	3.32	3.67	3.72	4.63	2.49	3.87
1 320.4	1.15	2.21	3.72	5.13	5.58	6	6.28	7.61	2.3	6.48
1 334.1	0.13	0.37	0.5	0.66	0.72	0.77	0.8	0.94	1.89	0.82
1 344.0	0.15	0.38	0.54	0.69	0.73	0.81	0.85	0.99	1.92	0.87

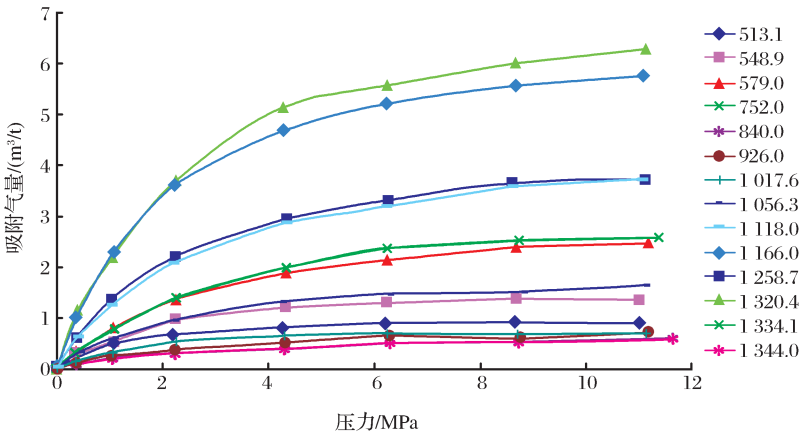


图 7 常页 1 井牛蹄塘组黑色页岩甲烷等温吸附曲线

Fig. 7 Curves of methane isothermal adsorption of the Lower Cambrian black shale in well Changye 1

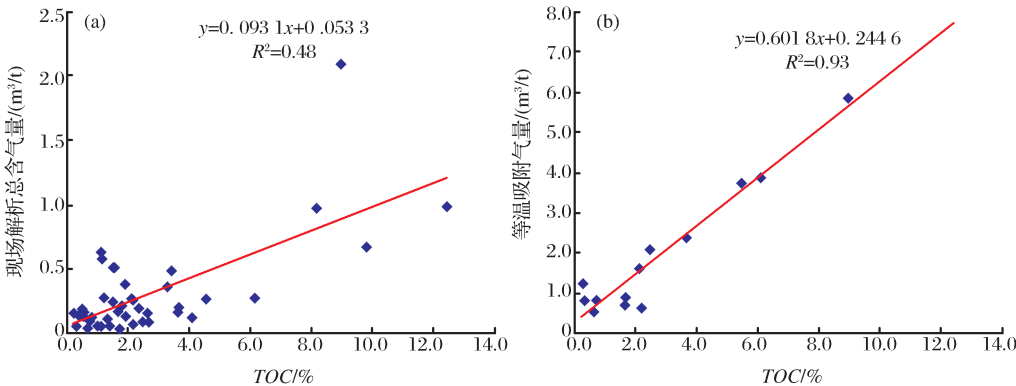


图 8 有机碳含量与现场解析总含气量(a)、等温吸附含气量(b)之间的关系

Fig. 8 The relationship between TOC and gas content from well site desorption or isothermal adsorption simulate test

的变化。值得关注探讨的是,1 288~1 344m 深度的黑色页岩 TOC 含量很高,且 1 320m 深度的样品等温吸附气量高达 7.61m³/t,但现场解析含气量很

低。从该井破碎的岩心样品及野外地质调查分析认为,牛蹄塘组底部的硅质页岩和硅质岩在强烈的逆冲推覆作用下更易产生较大裂缝^[23-24],从而造成了

页岩气的逸失。

4 结论

(1)通过沉积相与构造特征分析,结合野外地质调查,认为常德市周边及以北的慈利—石门—澧县一带,下寒武统牛蹄塘组黑色页岩层系沉积厚度大,分布稳定、地势平坦、水系发达、交通便利,是优选页岩气地质调查井位的有利区域。

(2)在无地震资料、断裂发育、第四系大面积覆盖等不利条件下,利用基础地质资料结合野外地质调查的井位优选方法优选了湖南省第一口牛蹄塘组页岩气调查井——常页1井,揭示了湘西北牛蹄塘组黑色页岩层系厚674.5m,是目前已知全国单井钻遇黑色页岩层系的最大厚度,并具有黑色页岩厚度大、有机碳含量高、含气性好的特点。

(3)常页1井牛蹄塘组有机碳含量与现场解析含气量、等温吸附含气量具有明显的正相关关系,且随着深度增加,三者都表现为先从顶部到中下部增大、再向底部减小的特点。其中位于牛蹄塘组中下部、井深为1 067~1 250m的黑色页岩、炭质页岩段,平均有机碳含量为10.14%,等温吸附含气量为3.7~5.8m³/t,现场解析总含气量为0.5~2.1m³/t,是该井页岩气发育的最有利层段,具有良好的勘探潜力。

(4)湘西北地区牛蹄塘组沉积厚度巨大,鉴于钻井区域经历过较强逆冲推覆作用而造成底部页岩气逸失,应优先对牛蹄塘组中下部黑色页岩进行勘探,而湘西北埋深较大、构造稳定的其他地区则应兼顾牛蹄塘组底部页岩气的勘探。

致谢:感谢裴松伟、杜晓瑞、朱亮亮、李婉君、陈永昌、陈前、黄正林、满向杰、徐龙飞等在野外地质调查、井位优选及含气性测试中所做的大量工作!

参考文献(References):

- [1] 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. [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.]
- [2] Nie Haikuan, Zhang Jinchuan, Li Yuxi. Accumulation conditions of the Lower Cambrian shale gas in the Sichuan Basin and its periphery[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(6): 959-967. [聂海宽, 张金川, 李玉喜. 四川盆地及其周缘下寒武统页岩气聚集条件[J]. *石油学报*, 2011, 32(6): 959-967.]
- [3] Guo Tonglou, Liu Ruobin. Implications from marine shale gas exploration break-through in complicated structural area at high thermal stage: Taking Longmaxi Formation in well JY1 as an example[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 14(4): 643-651. [郭彤楼, 刘若冰. 复杂构造区高演化程度海相页岩气勘探突破的启示——以四川盆地东部盆缘 JY1 井为例[J]. *天然气地球科学*, 2013, 14(4): 643-651.]
- [4] Li Yuxi, Nie Haikuan, Long Pengyu. Development characteristics of organic-rich shale and strategic selection of shale gas exploration area in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(12): 115-118. [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.]
- [5] Zhou Qinghua, Song Ning, Wang Chengzhang, *et al.* Geological evaluation and exploration prospect of Huayuan shale gas block in Hunan province[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(1): 130-140. [周庆华, 宋宁, 王成章, 等. 湖南花垣页岩气区块地质评价与勘探展望[J]. *天然气地球科学*, 2014, 25(1): 130-140.]
- [6] Sun Yihong. Studies of petrology, petrochemistry and geochemistry of the Lower Cambrian black shale of Northwestern Hunan, China[J]. *Hunan Geology*, 1986, 5(1): 1-15. [孙一虹. 湘西北下寒武统碳质页岩岩石学、岩石化学和地球化学研究[J]. *湖南地质*, 1986, 5(1): 1-15.]
- [7] Ma Li, Chen Huanjiang, Gan Kewen, *et al.* *Geotectonics and Petroleum Geology of Marine Sedimentary Rocks in Southern China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004. [马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004.]
- [8] Liang Xinquan, Guo Dingliang. Deep tectonic activation and its shallow response in Hunan Province[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2002, 37(3): 332-342. [梁新权, 郭定良. 湖南深部构造活化及其浅部响应[J]. *地球科学*, 2002, 37(3): 332-342.]
- [9] Jin Zhijun, Zheng Herong, Cai Liguang, *et al.* Tectonic-sedimentary conditions for development of Pre-Mesozoic marine source rocks in China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5): 875-883. [金之钧, 郑和荣, 蔡立国, 等. 中国前中生代海相烃源岩发育的构造—沉积条件[J]. *沉积学报*, 2010, 28(5): 875-883.]
- [10] Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. *Regional Geology of Hunan Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988. [湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988.]
- [11] Wang Hongzhen. *Atlas of the Palaeogeography of China*[M]. Beijing: Cartographic Pressing House, 1985. [王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京: 地质出版社, 1985.]
- [12] Zhang Jinchuan, Li Yuxi, Nie Haikuan, *et al.* Geologic setting and drilling effect of the shale cored well Yuye-1, Panshui County of Chongqing[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(12): 114-118. [张金川, 李玉喜, 聂海宽, 等. 渝页1井地质背景及钻探效果[J]. *天然气工业*, 2010, 30(12): 114-118.]
- [13] Li Yuxi, Zhang Jinchuan, Jiang Shengling, *et al.* Geologic evaluation and targets optimization of shale gas[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(5): 332-338. [李玉喜, 张金川, 姜生玲, 等. 页岩气地质综合评价和目标优选[J]. *地学前缘*, 2012, 19(5): 332-338.]

- [14] Yang Zhenheng, Tenger, Li Zhiming. An example of shale gas selected marine area model of Lower Cambrian on the Middle and Upper Yangtze[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(1): 8-14. [杨振恒, 腾格尔, 李志明. 页岩气勘探选区模型——以中上扬子下寒武统海相地层页岩气勘探评价为例[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(1): 8-14.]
- [15] Feng Hanghe, Luo Shengfu, Kang Lan. Understanding about the Taiyangshan fault in Changde City and its relation to earthquake[J]. *Hunan Geology*, 1989, 8(3): 24-28. [奉行和, 罗胜富, 康岚. 对常德太阳山断裂及其与地震关系的认识[J]. *湖南地质*, 1989, 8(3): 24-28.]
- [16] Bowker K A. Barnett shale gas production, Fort Worth Basin: Issues and discussion[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(4): 523-533.
- [17] Jarvie D M, Hill R J, Pollastro R M, *et al.* Evaluation of Unconventional Natural Gas Prospects, the Barnett Shale Fractured Shale Gas Model[C]. *European Association of International Organic Geochemists Meeting*, Poland, September 8-12, 2003. Poland: Krakow, 2003.
- [18] Schmoker J W. Determination of organic matter content of Appalachian Devonian shale from gamma-ray logs[J]. *AAPG Bulletin*, 1981, 65(7): 1285-1298.
- [19] Gareth R L, Marcubstin R. Lower Cretaceous gas shales in northeastern British Columbia, Part I: Geological controls on methane sorption capacity[J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 2008, 56(1): 121.
- [20] Wang Xiang, Liu Yuhua, Zhang Min, *et al.* Conditions of formation and accumulation for shale gas[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(2): 350-356. [王祥, 刘玉华, 张敏, 等. 页岩气形成条件及成藏影响因素研究[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(2): 350-356.]
- [21] 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. [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.]
- [22] Zhang Jinchuan, Lin Lamei, Li Yuxi, *et al.* The method of shale gas assessment: Probability volume method[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(2): 184-191. [张金川, 林腊梅, 李玉喜, 等. 页岩气资源评价方法与技术: 概率体积法[J]. *地学前缘*, 2012, 19(2): 184-191.]
- [23] Long Pengyu, Zhang Jinchuan, Tang Xuan, *et al.* Feature of muddy shale fissure and its effect for shale gas exploration and development[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(3): 525-532. [龙鹏宇, 张金川, 唐玄, 等. 泥页岩裂缝发育特征及其对页岩气勘探和开发的影响[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(3): 525-532.]
- [24] Jiu Kai, Ding Wenlong, Li Yuxi, *et al.* Structural features in northern Guizhou area and reservoir fracture of Lower Cambrian shale gas[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(4): 797-803. [久凯, 丁文龙, 李玉喜, 等. 黔北地区构造特征与下寒武统页岩气储层裂缝研究[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(4): 797-803.]

The Optimum Selecting of Shale Gas Well Location and Gas Content of Lower Cambrian, Northwest Hunan: A Case Study of Well Changye

LIN Tuo¹, ZHANG Jin-chuan², BAO Shu-jing¹, YANG Sheng-yu², LI Bo³, HE Wei²

(1. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100037, China;

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

3. China Huadian Engineering Co. Ltd., Beijing 100035, China)

Abstract: Based on field geological investigation, combined with structural and sedimentary setting, well Changye 1 which is the first investigation well aimed to the Niutitang Formation shale gas in Hunan was selected and drilled with priority. By sampling, experimental analysis, well site desorption test, the gas content characteristic of the Niutitang Formation marine shale was quantitatively analyzed. The results show that Changde City peripheral and Cili-Shimen-Lixian areas are favorable region for optimum selection of investigation well of shale gas. Well Changye 1 reveals 674.5m of the Niutitang Formation organic-rich shale, which is the biggest thickness of black shale in China up to now. Its TOC, gas content from well site desorption, gas content from isothermal adsorption simulation test have a clear positive correlation, with the features of increasing from top to the middle-lower, then decreasing to the bottom. The black shale in 1 067-1 250m which is also the middle-lower part of the Niutitang Formation is the most valuable depth of well Changye 1, which have a good exploration prospect, with 10.14% of average TOC, 3.7-5.8m³/t of gas content from isothermal adsorption simulation test, 0.5-2.1m³/t of gas content from well site desorption.

Key words: Shale gas; Well Changye 1; Northwest Hunan; Niutitang Formation; Gas properties