

黔西织纳煤田华乐勘探区煤层气吸附性研究

李 腾^{1,2} 吴财芳^{1,2}

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室 江苏 徐州 221008)

摘要:为了查清华乐勘探区主采煤层的煤层气吸附特征及影响吸附性的主要地质因素,利用采集煤样的等温吸附试验结果,并结合华乐勘探区两口煤层气井试井资料进行了研究。研究表明:华乐勘探区主采煤层吸附量较高,干燥无灰基兰氏体积为 $17.69 \sim 21.38 \text{ m}^3/\text{t}$,平均 $19.46 \text{ m}^3/\text{t}$;煤储层的实测饱和度均普遍小于 100%,分布于 75.04% ~ 105.55%,平均 84.51%,说明该地区煤储层为欠饱和储层;临界解吸压力 $1.22 \sim 9.10 \text{ MPa}$,平均 3.25 MPa ;理论采收率为 19.96% ~ 46.15%,平均 34.51%。在影响煤储层吸附性的主要地质因素中,煤储层压力、埋深均与含气量呈明显的正相关关系,同时煤储层变质程度越高,煤层中微孔和小孔越发育,吸附甲烷的能力就越强。

关键词:煤层气;煤储层;吸附性;含气量;织纳煤田

中图分类号: TE121 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2013)04-0100-04

Study on Adsorption of Coal Bed Methane in Huale Exploration Zone of Zhina Coalfield in West Guizhou

LI Teng^{1,2}, WU Cai-fang^{1,2}

(1. School of Resource and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

2. MOE Key Lab of Coal Bed Methane Resources and Formation Process, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: In order to find out the coal bed methane adsorption features of the main mining seams in the Huale Exploration Zone and the main geological factors affected to the adsorption, the isothermal adsorption experiment results of the collected coal samples were applied to the study on the logging information of two coal bed methane wells in Huale Exploration Zone. The study results showed that the adsorption value of the main mining seam in Huale Exploration zone was high, the dry no ash base Lange's volume was ranging from $17.69 \sim 21.38 \text{ m}^3/\text{t}$ and the average was $19.46 \text{ m}^3/\text{t}$. The site measured saturation of the coal reservoir all was less than 100% generally, the distribution was 75.04% ~ 105.55% the average was 84.51% and the above showed that the coal reservoir in the area was less saturated reservoir. The critical desorption pressure was $1.22 \sim 9.10 \text{ MPa}$ and the average was 3.25 MPa . The theoretical mining recovery rate was ranging from 19.96% ~ 46.15% and the average was 34.51%. In main geological factors affected to the adsorption of the coal reservoir, the coal reservoir pressure and the reservoir depth would have obvious positive relationship to the gas content and meanwhile, the higher metamorphic degree of the coal reservoir, the more developed of the micro pore and small pore in the seam would be and the higher adsorption capacity of the methane would be.

Key words: coal bed methane; coal reservoir; adsorption; gas content; Zhina Coalfield

0 引言

煤层气以吸附态、游离态和溶解态 3 种形式赋存在煤储层中,其中吸附态是煤层气赋存的主要形式。因此,煤层气在煤表面的吸附能力对煤层含气

性具有控制作用,对煤层气采出率影响重大,直接影响到煤层气井的产能^[1]。同时,利用煤的吸附常数及其他参数可以间接预测煤层含气量^[2]。因而,研究煤的吸附能力及其影响因素显得尤为重要。煤层气的吸附性受多种因素影响,除受煤阶、煤岩组成、

收稿日期: 2012-11-09; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05034); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2009CB219605)

作者简介: 李 腾(1989—),男,河南洛阳人,硕士研究生。Tel: 15896422052, E-mail: litenghappy2008@yahoo.cn

引用格式: 李 腾, 吴财芳. 黔西织纳煤田华乐勘探区煤层气吸附性研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(4): 100-103.

孔隙度、孔径结构等内在因素控制外,也受温度、压力等外部环境制约。笔者从储层压力、埋深、煤变质程度及孔裂隙特征4个方面研究了比德-三塘盆地华乐勘探区主采煤层的吸附性及其影响因素。

1 研究区地质背景

比德-三塘盆地位于贵州省六盘水市水城县与六枝特区分界地带,是织纳煤田的主体部分,总面积1 692 km²,含煤面积约1 000 km²。比德-三塘盆地是一个复式向斜残留盆地,由比德向斜、加夏背斜、水公河向斜、白泥箐向斜、三塘向斜、阿弓向斜、珠藏向斜等构成,华乐勘探区位于比德向斜西南翼(图1)^[3]。

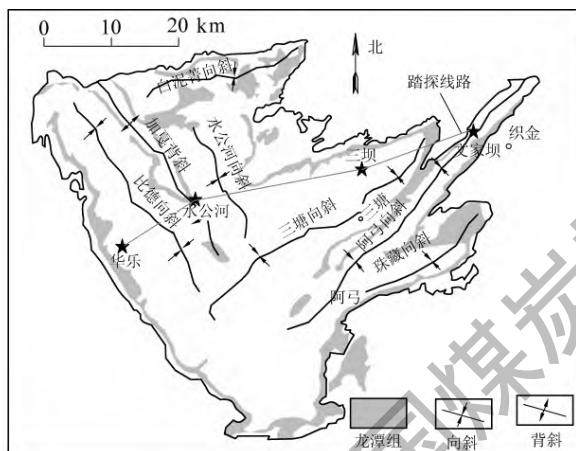


图1 比德-三塘盆地构造

研究区为多煤层含煤区域^[4-5],含煤层数高达几十层,其中可采煤层超过18层,浅部主要可采煤层为2、3、5、6号煤层。各煤层宏观煤岩类型较简单,以半亮型为主,次为半亮-半暗型,光亮-半亮型较少^[6-7]。有机质总量在81.3%~98.8%,平均90.05%;镜质组含量22.3%~83.9%,平均68.3%;惰质组含量3.2%~32.6%,平均17.9%;挥发分5.61%~28.84%,平均10.53%;固定碳含量较高,一般情况下达到70%以上,最高可达85.74%。

研究区煤储层甲烷体积分数多数超过80%,比德向斜含气量一般在8~24 m³/t,1 000 m以浅可采煤层的煤层甲烷(干燥无灰基)平均含量8.54~16.52 m³/t^[8-9]。

2 研究区煤储层等温吸附特征

2.1 等温吸附试验设计

依据相关试验方法和手段,结合前期收集的资

料,选择华乐勘探区的2口煤层气参数井,对采集到的1号孔中的3、5、6号煤层煤样和2号孔中的2、5、6-1、6-2号煤层煤样进行等温吸附试验,测试仪器选用IS-100型高压等温吸附仪。试验过程中,温度为30℃,压力为0~8 MPa,各个样品的压力点数为6个,分别为:0.6、1.7、3.0、4.3、5.6和6.8 MPa;试验样品为0.185~0.247 mm的平衡水煤样。不同样品的吸附量和等温线校正为空气干燥基,为煤样吸附特征分析的基础数据。

2.2 试验结果及相关参数

等温吸附试验结果见表1,各个煤样吸附特征曲线如图2所示。

表1 华乐勘探区煤样等温吸附试验结果

| 钻孔号 | 煤层号 | 储层压力P/MPa | 实测甲烷含量V _s /(m ³ ·t ⁻¹) | 朗格缪尔体积V _L /(m ³ ·t ⁻¹) | 朗格缪尔压力P _L /MPa |
|-----|-----|-----------|--|--|---------------------------|
| 3 | — | — | 11.78 | 17.69 | 1.08 |
| 1 | 5 | 4.407 | 11.64 | 19.36 | 1.09 |
| 6 | — | 4.675 | 12.33 | 18.61 | 0.62 |
| 2 | 5 | 5.120 | 19.23 | 20.71 | 0.70 |
| 2 | 6-1 | — | 15.14 | 21.38 | 1.20 |
| 6-1 | 6-2 | 5.690 | 14.40 | 18.81 | 0.56 |
| 6-2 | 6-2 | 5.690 | 14.07 | 20.36 | 1.10 |

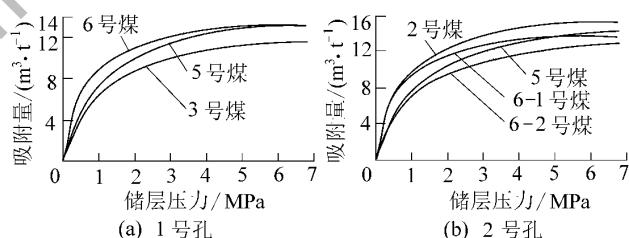


图2 华乐勘探区煤样等温吸附曲线

试验结果表明:煤样干燥基灰分为11.10%~20.68%,平均15.71%,属低挥发分煤;干燥无灰基挥发分最高为20.68%,最低为11.10%,平均15.71%;干燥无灰基兰氏体积为17.69~21.38 m³/t,平均19.46 m³/t;兰氏压力为0.62~1.20 MPa,平均0.91 MPa。

根据等温吸附曲线,可以获得研究区煤储层的含气饱和度、临界解吸压力及理论采收率等参数(表2)。研究区煤储层的实测饱和度普遍小于100%,分布于75.04%~105.55%,平均84.51%,说明该地区煤储层为欠饱和储层。临界解吸压力为1.22~9.10 MPa,平均3.25 MPa。理论采收率为19.96%~46.15%,平均34.51%。

表2 华乐勘探区煤层气实测饱和度和临界解吸压力

| 钻孔号 | 煤层号 | 含气量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$ | 压力/MPa | 实测饱和度/% | 临界解吸压力/MPa | 理论采收率/% | | |
|-----|-----|---|--------|---------|------------|---------|------|-------|
| 1 | 5 | 11.64 | 19.26 | 4.407 | 1.09 | 75.38 | 1.67 | 35.29 |
| 2 | 6 | 12.33 | 18.61 | 4.675 | 0.62 | 75.04 | 1.22 | 19.96 |
| 2 | 2 | 19.23 | 20.71 | 5.120 | 0.70 | 105.54 | 9.10 | 46.15 |
| 2 | 6-1 | 14.40 | 18.81 | 5.690 | 0.56 | 84.08 | 1.80 | 27.43 |
| 2 | 6-2 | 14.07 | 20.36 | 5.690 | 1.10 | 82.46 | 2.46 | 43.73 |

3 煤储层吸附性影响因素分析

对比研究区煤层气地质条件和煤储层特征发现^[10-11] 控制该区煤层气吸附性的主要因素是煤储层压力、埋深和储层物性特征。

3.1 压力

当温度相同时,煤储层甲烷吸附量随压力增加而增大,但不同的压力区间其增加的幅度是不同的。低压时,吸附量随压力几乎呈线性增长。华乐勘探区煤储层含气性与储层压力呈一定的线性关系,即随着煤储层压力的增大,其含气量逐渐增大(图3a)。

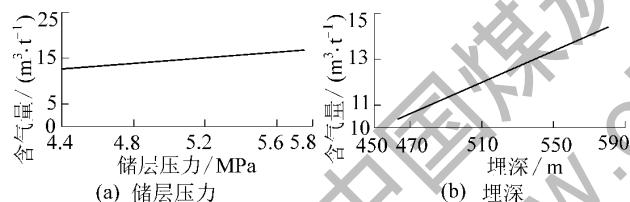


图3 华乐勘探区储层压力和埋深与实测含气量关系

3.2 煤层埋深

煤层埋藏深度的增加不仅会增加地应力,而且使煤层和围岩的透气性降低,煤层气含气量流动性减少,有利于煤层气的封存。在有限深度范围内,当其他地质条件相同或相近时,煤层含气量随埋深而增加。华乐勘探区开采煤层位于风化带下200~600 m,是煤层含气量的快速增加阶段,因此,在400~600 m深度范围内,研究区煤储层含气量随着埋深的增加而增加,呈明显的正相关关系(图3b)。

3.3 储层物性特征

1) 煤变质程度。煤层对煤层气的吸附情况和吸附量的大小与煤变质作用均有着密切关系。一般而言,煤变质程度越高,生成的气体量也越多^[12-13]。此外,煤变质程度在一定程度上决定着煤层储气空间的大小和性质,并影响煤层气的吸附特征,控制了

煤层气吸附量的大小,华乐勘探区煤层最大反射率 $R_{o_{\max}}$ 测试见表3。

表3 煤层最大反射率 $R_{o_{\max}}$ 与煤层气组分含量 %

| 煤层号 | $R_{o_{\max}}$ | | $\varphi(\text{CH}_4)$ | | $\varphi(\text{N}_2)$ | | $\varphi(\text{CO}_2)$ | | $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$ | |
|-----|----------------|------|------------------------|-------|-----------------------|------|------------------------|------|---------------------------------|------|
| | 1孔 | 2孔 | 1孔 | 2孔 | 1孔 | 2孔 | 1孔 | 2孔 | 1孔 | 2孔 |
| 2 | 1.80 | 1.53 | 94.84 | 90.01 | 3.87 | 5.09 | 0.11 | 0.24 | 0.15 | 0.49 |
| 3 | 1.82 | 1.54 | 94.82 | 87.17 | 2.17 | 9.60 | 0.25 | 0.17 | 0.51 | 0.33 |
| 5 | 1.86 | 1.56 | 95.85 | 89.20 | 2.74 | 7.99 | 0.24 | 0.23 | 0.48 | 0.29 |
| 6 | 1.88 | 1.58 | 93.82 | 93.62 | 4.49 | 4.45 | 0.23 | 0.28 | 0.37 | 0.33 |

由表3可知,华乐勘探区各煤层 $R_{o_{\max}}$ 值变化不同,就整体而言,1孔的 $R_{o_{\max}}$ 值大于2号孔。在单一参数并来看,各孔的煤层 $R_{o_{\max}}$ 值在层位变化上由上至下逐渐增高,变化规律性明显。1孔的2、3、5、6号煤层 $R_{o_{\max}}$ 平均值为1.84%,2孔的 $R_{o_{\max}}$ 平均值为1.55%,普遍低于1孔。1号孔中 CH_4 体积分数平均值达到了94.83%,最低是6号煤层93.82%,最高的5号煤层为95.85%。而2号孔中 CH_4 体积分数平均值为90%,明显低于1号孔。可见,煤变质程度高的煤层产生的气体中 CH_4 的含量普遍高于煤变质程度低的煤层,表明煤变质程度越高的煤层具有更强的吸附甲烷的能力。

2) 孔隙发育特征。煤层是裂隙-孔隙型储集层,主要由裂隙和基质孔隙组成,由于煤基质孔隙对气和水是相对不渗透的,煤的裂隙系统是形成流体渗流的主要通道。构造裂隙是煤层的主要天然裂隙系统,显微裂隙是沟通裂隙与宏观裂隙的桥梁,其发育程度影响储层的渗透性能。

华乐勘探区各主采煤层中构造裂隙均较发育,时常将煤层切割成块状,这与煤层性脆、易破裂有关。但多数裂隙内有黄铁矿、方解石脉体或薄膜充填,降低了孔隙裂隙的连通性,对煤层渗透率产生了消极影响。内生裂隙也比较发育,密度一般为3~12条/cm,而且个别裂隙切穿孔隙,增强了孔裂和裂隙之间的连通性,能够为煤层气的扩散、渗流提供通道。

煤层甲烷主要以吸附态存在于煤体孔隙中,因此孔隙发育程度在很大程度上决定了煤体的吸附能力。本次研究利用压汞法来研究华乐勘探区煤储层孔径大于10 nm的小孔以上孔隙特征。煤孔径结构分布采用B. B. 霍多特的十进制孔径结构分类系统,即孔径小于10 nm为微孔;10~100 nm为小孔;

100~1 000 nm 为中孔, 大于 1 000 nm 为大孔。

煤样中微孔和小孔占据了大量的比例, 中孔和大孔不发育(图4)。微孔和小孔是煤层气吸附的主要场所, 尤其是微孔。孔隙特征与煤储层含气量关系如图5所示。不同的煤样其孔隙发育状况不同, 这影响了煤样的比孔容、孔隙度和比表面积之间的差异性, 势必影响对煤层气的吸附^[14~16]。

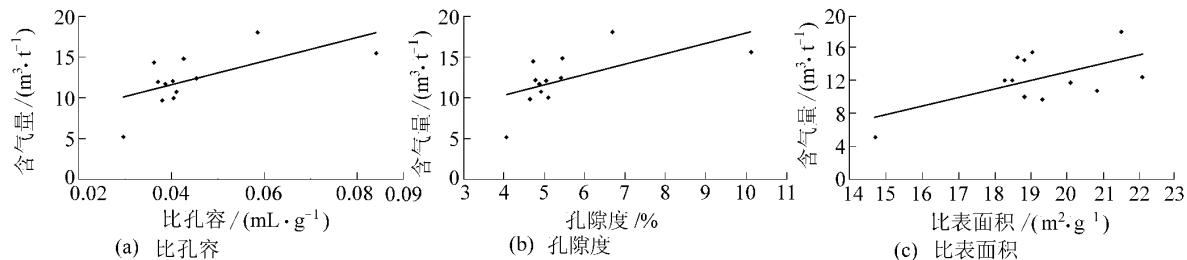


图5 比孔容、孔隙度和比表面积与含气量关系

由图5可知, 研究区煤样比孔容、孔隙度和比表面积与煤层含气量均呈正相关关系, 即随着煤层比孔容、孔隙度和比表面积的增大, 煤储层的含气量增大, 表明孔隙特征是影响煤层吸附主要因素之一。

4 结 论

1) 华乐勘探区煤储层变质程度较高, 镜质组的含量为 22.3%~83.9%, 镜质组反射率为 1.53%~1.88%。主要煤层的朗格缪尔体积为 17.69~21.38 m³/t, 朗格缪尔压力为 0.62~1.20 MPa, 储层压力为 4.4~5.7 MPa。研究区煤储层的实测饱和度均普遍小于 100%, 分布为 75.04%~105.55%, 平均 84.51%, 说明该地区煤储层为欠饱和储层; 临界解吸压力为 1.22~9.10 MPa, 平均 3.25 MPa; 理论采收率为 19.96%~46.15%, 平均 34.51%。

2) 影响华乐勘探区煤层气吸附性的地质因素主要有储层压力、煤层埋深、煤变质程度以及孔隙特征等。储层压力越高越有利于煤层气的吸附, 研究区内煤储层含气性与储层压力呈现出一定的线性关系; 浅部煤层的煤层气含量随着埋深的增加呈现出快速增加的现象, 两者的相关性极其显著; 煤储层变质程度越高, 微孔和小孔越发育, 越有利于煤层气的吸附和保存。因此, 煤阶及其控制下的孔隙特征也是影响储层吸附性的主要因素之一。

参考文献:

- [1] 陈润, 秦勇, 杨兆彪, 等. 煤层气吸附及其地质意义[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(8): 103~107.

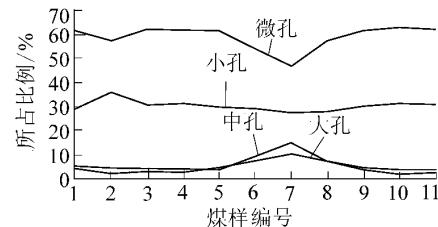


图4 不同煤样不同孔径所占比例

- [2] 钟玲文. 煤的吸附性能及影响因素[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2004, 29(3): 327~333.
- [3] 杨兆彪, 秦勇, 高弟. 黔西北德—三塘盆地煤层群含气系统类型及其形成机理[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(2): 215~220.
- [4] 田维江. 贵州晚二叠世各煤田含煤性分析[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(4): 21~24.
- [5] 熊孟辉. 五轮山矿区可采煤层地质特征及含气性[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(5): 37~40.
- [6] 杨松, 秦勇, 申建, 等. 恩洪向斜煤储层特性及其地质影响因素[J]. 中国煤层气, 2010, 7(5): 18~20.
- [7] 王宝文, 秦勇, 高弟, 等. 贵州水城矿区煤层气地质条件与可采潜力分析[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(10): 28~31.
- [8] 石庆礼, 杨胜强. 化乐一矿 6 号煤组瓦斯压力特征及分布规律[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(8): 81~85.
- [9] 熊孟辉, 秦勇. 五轮山矿区煤层气赋存规律及其资源潜力[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(9): 79~82.
- [10] 高弟, 秦勇, 易同生. 论贵州煤层气地质特点与勘探开发战略[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(3): 20~23.
- [11] 朱炎铭, 赵洪, 闫庆磊, 等. 贵州五轮山井田构造演化与煤层气成藏[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(10): 38~41.
- [12] 苏现波, 张丽萍, 林晓英. 煤阶对煤的吸附能力的影响[J]. 天然气工业, 2005, 25(1): 19~21.
- [13] 方爱民, 侯泉林, 雷家锦, 等. 煤变质作用对煤层气赋存和富集的控制: 以沁水盆地为例[J]. 高校地质学报, 2003, 9(3): 378~384.
- [14] 姚艳斌, 刘大猛. 煤储层孔隙系统发育特征与煤层气可采性研究[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(3): 64~68.
- [15] 钟玲文, 张慧, 员争荣, 等. 煤的比表面积孔体积及其对吸附能力的影响[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(3): 26~28.
- [16] 赵兴龙, 汤达祯, 许浩, 等. 煤变质作用对煤储层孔隙系统发育的影响[J]. 煤炭学报, 2010, 35(9): 1506~1511.