

注CO₂置换煤层CH₄试验研究

王晋,王延斌,范晶晶,刘成龙,薛培

中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083

摘要 利用屯留矿和寺河矿圆柱体原煤试样,进行不同注入压力条件下注CO₂置换CH₄试验,研究分析了置换过程中气体的吸附特性及注入压力对CO₂置换效果的影响,提出了低孔隙压力条件时具有更好的置换效果。研究结果表明,同等条件下,置换平衡后煤体吸附CO₂气体能力远强于CH₄;煤体中CH₄体积比随注入压力的降低而减小,而CO₂体积比则呈现相反趋势;在8 MPa围压条件下,随着注入压力的升高,CH₄产出率呈线性关系降低,CO₂置换比呈指数关系减小,显示出在试验压力范围内,低压条件下的CO₂置换效果更佳;同等条件时,相对于试验中的无烟煤,贫瘦煤置换效果更好。

关键词 CO₂;CH₄;置换试验;产出率;置换比

中图分类号 P618.11

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.17.009

Experimental study on coal-bed methane displacement by carbon dioxide injection

WANG Jin, WANG Yanbin, FAN Jingjing, LIU Chenglong, XUE Pei

College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China

Abstract This study used the cylinder raw coal samples from Tunliu coal mine and Sihe coal mine to carry out the displacement of CH₄ with CO₂ experiment under the different injection pressures. Analyzed the gas adsorption characteristics in the experiment and the influence of injection pressures on the replacement of with CO₂, and proposed that replacement effect was better at low pore pressure. The results are as follows. Adsorption capacity of CO₂ is stronger than that of CH₄ under the same condition in the process of displacement; CH₄ volume ratio decreases with injection pressure decreasing, while CO₂ volume ratio shows the opposite trend; When the confining pressure is 8 MPa, the CH₄ output ratio reduces with linear relation and the replacement ratio of CO₂ reduces with exponential relation as injection pressure increases, and indicating that the replacement is better at low injection pressure in this displacement experimental; The replacement effect of meager lean coal sample is better than anthracite under the same conditions in this experimental.

Keywords CO₂; CH₄; replacement; output ratio; replacement ratio

煤对不同气体的吸附特征是不同的,同等条件下,CO₂在煤表面的吸附能力强于CH₄^[1-4]。基于此特征,向埋藏深或不可开采煤层注入CO₂可置换出赋存在煤层中的CH₄,提高煤层气采出率,同时还可以达到存储CO₂的目的,即CO₂-ECBM法。

国外对于煤层注CO₂置换CH₄的研究起步较早,大量文献证明^[5-10],注CO₂能够提高煤层CH₄产出率。国内如秦勇^[11]、唐书恒等^[12,13]、梁卫国等^[14,15]及其他学者^[16,17]也进行了相关试

验,认为向煤层注入CO₂能有效地置换出煤层气。本文以沁水盆地屯留矿和寺河矿圆柱体试样为研究对象,在给定围压及不同注入压力条件下,进行煤样注CO₂置换CH₄的模拟试验,探究不同压力条件下CO₂对煤层CH₄的置换效果。

1 样品及试验装置

1.1 样品准备

试验采用的煤样是沁水盆地屯留煤矿山西组3#煤层的中

收稿日期:2015-03-30;修回日期:2015-06-11

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05042-003-001,2011ZX05034-005)

作者简介:王晋,博士研究生,研究方向为煤层气开发地质,电子信箱:wangjin870326@163.com

引用格式:王晋,王延斌,范晶晶,等.注CO₂置换煤层CH₄试验研究[J].科技导报,2015,33(17):84-89.

变质程度贫瘦煤和寺河煤矿山西组3[#]煤层的高变质程度无烟煤,分别记做TL、SH煤样,其煤质分析见表1。根据试验方案,沿煤样平行层理面钻取圆柱体试件(图1),置换试验中流体渗流沿试件高度方向(即煤层层理方向)自上而下进行。为保证气体在试验中沿层理流动,将试件侧面(高度方向)进行胶封处理。

表1 样品煤质分析

Table 1 Coal quality of experimental sample

煤样	水分/%	灰分/%	挥发分/%	镜质体 反射率/%	固定碳/%
TL样	5.02	14.58	10.26	1.91	53.42
SH样	7.28	8.14	6.12	2.77	67.71

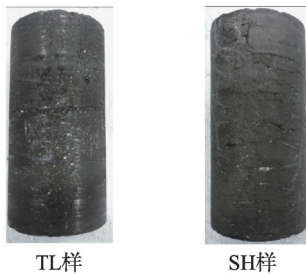


图1 煤样试件

Fig. 1 Prepared coal specimen

1.2 试验设备

使用的设备是煤层气国家工程中心的混合气体驱替煤层气试验机(图2),该装置可模拟围压为0~30 MPa及注入压力0~20 MPa条件下,注气置换煤层气时的渗透、吸附特征。试件的环压通过油压施加,轴压由活塞施加,气体驱替压力由计量泵控制气源(气瓶)实现。计量泵可控制流体的流速或压力,测量泵腔内流体的体积。压力容器、计量泵和管路都处于相同且恒定的温度环境中。



图2 混合气体驱替煤层气试验机

Fig. 2 Experimental equipment for gas mixture recovery CBM

1.3 试验原理及方案

试验用CO₂和CH₄的气体体积分数均为99.99%。首先使用三轴流变试验机对两煤样进行常温下的纯CH₄、CO₂单组份

气体的等温吸附/解吸试验,为测定纯气体的Langmuir常数。

置换试验过程中,环压及轴压均由低至高逐级加载,直至压力接近指定范围,试验温度始终为室温(23.5℃)。在此次置换试验中,设定轴压和环压相等(通称围压),注入压力即孔隙压力。

试验为测CO₂注入煤层中置换CH₄时的气体吸附解吸特征,具体试验方法与步骤为:

1) 将干燥、胶封处理后的试样用热缩管套住并装入三轴压力室内,安装好感应器;连接通气管线,检验系统的封闭性并完成管线体积的测试;对系统包括试件进行抽真空处理。

2) 先略加轴压,将试件压住,然后逐级由低至高施加轴压与环压,直到围压达到8 MPa;应力加载过程中,加载速率基本控制在0.2 MPa/s左右,避免对煤样造成伤害。

3) 将计量泵设置为恒定压力控制模式,上游计量泵的压力略高于下游计量泵,通过上游计量泵设定注入压力为2 MPa向试样注入CH₄气体,让CH₄气体在试样中充分吸附;一段时间后,上游计量泵的推进速度与下游计量泵回退速度相等,进气量与出气量相同,试样达到吸附平衡状态;记录注入量。

4) 待CH₄气体吸附平衡后,设定注入压力为2.5 MPa向试样持续注入CO₂气体,出口压力相应地较注入压力低0.5 MPa,以保证置换过程中CO₂气体的流动性,让CO₂在试样中与CH₄气体充分竞争吸附、置换,记录注入量及产出量。

5) 待CO₂气体置换吸附平衡后,对装置系统及试样进行再次抽真空处理;再以注入压力为3 MPa向试样中持续注入CH₄气体,待吸附平衡后以3.5 MPa压力注CO₂气体;以此类推,逐步提高注入压力为4、5、6 MPa,完成8 MPa围压下各孔隙压力下注CO₂置换CH₄试验。

2 CH₄、CO₂单组份吸附/解吸试验

SH样对CH₄单组份气体等温吸附试验的最高平衡压力为9 MPa,对CO₂气体的最高平衡压力为4 MPa;TL样对CH₄气体等温吸附试验的最高平衡压力为11 MPa,对CO₂气体的最高平衡压力为5 MPa。试验过程中获得的两煤样的Langmuir参数见表2。

表2 CH₄和CO₂气体吸附试验结果Table 2 Adsorption experiment results of CH₄ and CO₂

煤样	气体成分	Langmuir 体积/ (cm ³ · g ⁻¹)	Langmuir 压力/ MPa
TL样	CH ₄	5.47	2.86
	CO ₂	16.08	1.32
SH样	CH ₄	12.12	1.53
	CO ₂	16.81	0.78

3 置换试验中气体的吸附

3.1 混合气体吸附总量

图3为同一围压及不同注入压力条件下,置换试验测得

TL、SH煤样吸附气体总量的变化曲线。可以看出,相同围压下,TL、SH煤样吸附气体量随着注入压力的增大而增加,呈现先急剧增加后平缓的变化趋势,TL、SH样在气压后期都已趋于吸附饱和。在8 MPa围压条件下,注入压力从2.25 MPa升至6.25 MPa,TL样吸附混合气体量从1.10 L增至1.75 L,增加59.38%;SH样吸附气体量从2.17 L增加至2.75 L,增加26.43%。同时,每个气压点下SH样的吸附量均大于TL样,且是TL样的1.51~2.00倍。

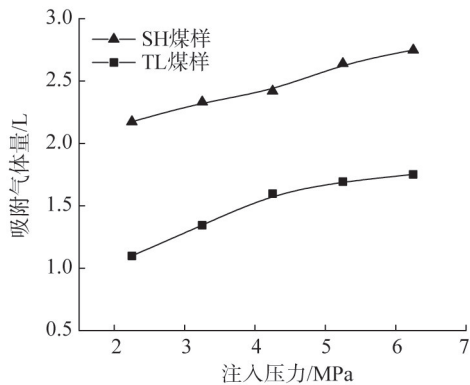


图3 置换试验中煤样吸附混合气体量变化

Fig. 3 Gas adsorption capacity of coal specimens in the displacement experiment

3.2 置换试验中CO₂、CH₄气体体积变化

置换试验中测得的气体是CH₄和CO₂的混合气体,为分析CH₄、CO₂两气体组分的吸附量,须根据试验中测得的CO₂、CH₄气体游离相体积分数和分离因子确定二元气体各组分吸附相体积分数。

表3为TL样、SH样在置换试验中各气体组分游离相体积分数的变化情况。可以看出,试验中两样品中CH₄气体游离相体积分数随注入压力的增加而增加,CO₂气体则逐渐降低,且同一压力条件下,CH₄游离相体积分数高于CO₂气体。

表3 置换试验中各气体组分游离相体积分数

Table 3 Free gas concentration in the displacement experiment

注入压力/MPa	TL样/%		SH样/%	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
2.25	68.84	31.16	57.53	42.47
3.25	72.57	27.43	60.91	39.09
4.25	74.71	25.29	61.73	38.27
5.25	75.81	24.19	63.51	36.49
6.25	76.52	23.48	64.35	35.65

根据二元气体系统中游离相气体组分体积分数,利用Langmuir扩展方程,可用分离因子^[18]计算吸附相中气体组分,即

$$\alpha = \frac{(x/y)_i}{(x/y)_j} \quad (1)$$

式中, α 为气体分离因子; x_i 和 x_j 为吸附相中组分*i*和*j*的摩尔分数; y_i 和 y_j 为游离相中组分*i*和*j*的摩尔分数,并且满足

$$\begin{cases} x_i + x_j = 100\% \\ y_i + y_j = 100\% \end{cases} \quad (2)$$

经推导,分离因子 α 还可以表示为

$$\alpha = \frac{(V_L/P_L)_i}{(V_L/P_L)_j} \quad (3)$$

式中, V_{Li} 、 V_{Lj} 为气体组分*i*和*j*的Langmuir体积; P_{Li} 和 P_{Lj} 为气体组分*i*和*j*的Langmuir压力。

结合表2中CH₄、CO₂气体的Langmuir常数及式(3)可以计算出TL样、SH样CO₂相对于CH₄的分离因子分别为0.157和0.368。因此,通过式(1)、式(2)及表3中的平衡状态下各气体组分游离相体积分数,即可计算出置换试验中各气体组分的吸附相体积分数,即吸附气体体积比(图4)。

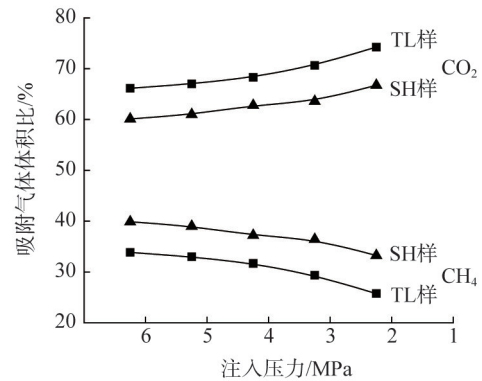


图4 两煤样吸附CO₂、CH₄气体体积比

Fig. 4 Adsorption volume ratio of CO₂, CH₄ of two coal specimens

图4为8 MPa围压条件下,TL、SH试样中吸附CO₂、CH₄气体体积比随着注入压力降低的变化曲线。可以看出,随着注入压力的降低,两试样中CH₄体积比皆逐渐减小,CO₂体积比则增加,且CH₄体积比远小于CO₂。气压从6.25 MPa降至2.25 MPa时,TL样中CO₂气体体积比从66.15%增至74.25%,增幅达12.25%,CH₄体积比从33.85%降至25.75%,减幅达23.93%;SH样中CO₂体积比从60.12%增至66.76%,增幅达11.04%,CH₄体积比从39.88%降至33.24%,减幅达16.65%。TL样吸附CO₂、CH₄气体体积比的增降幅度均大于SH样。同时相同注入压力条件下,TL样吸附CO₂气体体积比大于SH样,相应地,吸附CH₄气体体积比小于SH样。

压降初期,TL、SH样吸附CO₂、CH₄气体体积比变化不大,随着气压的降低,两试样中CH₄体积分数逐渐降低,CO₂体积分数逐渐增加,这是由于CO₂的吸附量高于CH₄,从而将CH₄从煤的微表面置换出来^[19],导致煤体中CH₄体积分数下降,这也是煤层注CO₂置换CH₄理论的表现。

图5反映了CO₂置换CH₄试验时,各组分气体在解吸过程中吸附量的变化情况。可以看出,在围压8 MPa条件下,TL、SH样吸附CO₂、CH₄气体量均随注入压力的升高而增加。气

压在2.25~6.25 MPa条件下,TL样CO₂吸附量为0.82~1.16 L,CH₄吸附量为0.28~0.59 L;SH样吸附CO₂气体量为1.45~1.65 L,CH₄为0.72~1.09 L。

由于SH样是高变质程度的无烟煤,TL样为中变质程度的贫瘦煤,根据已有研究成果^[20],在镜质组最大反射率R_{o,max}<4.0%时,Langmuir体积随煤阶增加而增大,即煤阶越高,煤对气体的吸附能力越强,故体现在本试验中,即是各气压点SH样对CO₂、CH₄气体的吸附量均大于TL样。

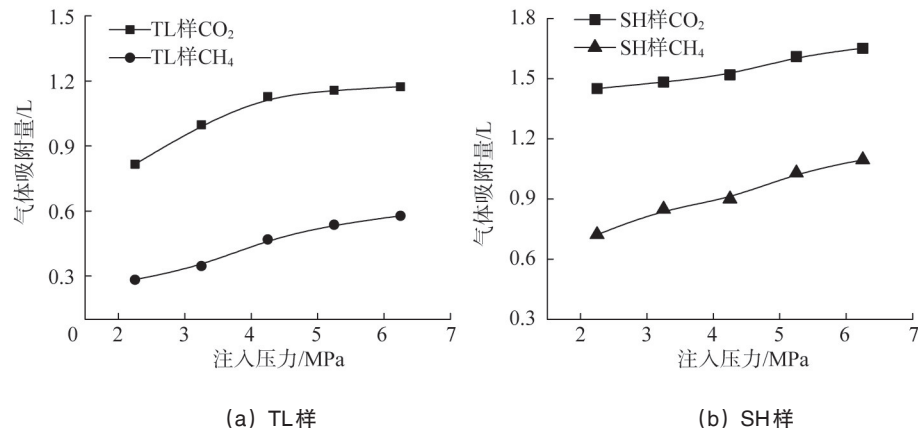


图5 置换试验中TL、SH样吸附CO₂、CH₄气体量变化

Fig. 5 Adsorption capacity of CO₂, CH₄ of TL and SH coal specimen in displacement experiment

4 置换效果分析

表4为TL、SH煤样试件注CO₂置换CH₄试验结果。为更直观地表征CH₄产出情况及置换效果,引入CH₄产出率和置

换比的概念。CH₄产出率为置换过程中CH₄的解吸量与解吸前煤体CH₄总量的比例。用置换平衡后煤体吸附CO₂、CH₄气体量的差值与吸附总量的比值来反映试验的置换效果。

表4 CO₂置换CH₄试验结果
Table 4 Results of replacement of CH₄ by CO₂

试样	注入压力/ MPa	单组份CH ₄ 吸附体积/L	置换平衡后吸附混 合气体体积/L	置换平衡后气体吸附体积/L		CH ₄ 解吸 体积/L	CH ₄ 产出率/%	置换比/%
				CO ₂	CH ₄			
TL样	2.25	0.68	1.10	0.82	0.28	0.40	58.30	48.50
	3.25	0.84	1.34	0.95	0.39	0.45	53.20	41.30
	4.25	0.88	1.59	1.09	0.50	0.38	42.63	36.64
	5.25	0.96	1.69	1.14	0.56	0.40	41.84	34.04
	6.25	0.98	1.75	1.16	0.59	0.39	39.43	32.30
SH样	2.25	1.89	2.17	1.45	0.72	1.17	61.78	35.12
	3.25	2.21	2.33	1.48	0.85	1.36	61.57	26.36
	4.25	2.32	2.42	1.52	0.90	1.42	61.24	25.56
	5.25	2.53	2.64	1.61	1.03	1.50	59.33	21.98
	6.25	2.63	2.75	1.65	1.10	1.53	58.27	20.24

从表4可以看出,在围压、温度等其他条件不变的情况下,试验的注入压力由2.25 MPa提高至6.25 MPa,TL、SH样吸附单组份CH₄气体体积分别提高了44.23%、38.92%;混合气体吸附量分别提高了59.38%、26.43%;CO₂吸附量分别提高了41.99%、13.86%,表明注入压力对置换试验中气体的吸附和CO₂在煤体中的储存有显著影响。同时由于煤体变质程度的不同,各气压下SH煤样(无烟煤)试件吸附单组份CH₄气体体积均大于TL样(贫瘦煤)。

为更好地体现置换试验中CH₄气体的产出情况,图6反映了围压8 MPa下CH₄气体产出率随气压变化情况。可以看出,随着注入压力的增加,TL、SH样的CH₄产出率都随之降低,但TL样的产出率降低幅度明显大于SH样。气压从2.25 MPa增至6.25 MPa,TL样的CH₄产出率由58.30%降至39.43%,降幅达32.37%;SH样CH₄产出率由61.78%降至58.27%,降幅达5.68%。在其他条件不变的情况下,试验注入压力对CH₄产出率有显著影响,其中对TL样的CH₄产出情况的影响更为明显;低注入压力状态下的CH₄产出率更好。

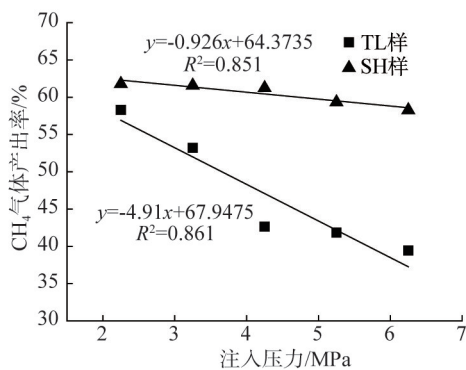


图6 置换试验中CH₄气体产出率变化

Fig. 6 Change curve of CH₄ output ratio in displacement experiment

同时,围压8 MPa条件下,置换试验中TL、SH样的CH₄产出率与注入压力成负线性相关关系,经线性拟合得TL样 $y = -4.91x + 67.9475$,拟合相似度 $R^2 = 0.861$;SH样 $y = -0.926x + 64.3735$,拟合相似度 $R^2 = 0.851$ 。

图7为试验中TL、SH样的置换比随注入压力变化关系曲线。可以看出,在一定的围压条件下,随着置换试验的进行,置换比随注入压力的升高呈现负指数关系降低,两者拟合关系曲线分别为 $y = 56.59e^{-0.49x} + 29.6$ (TL样, $R^2 = 0.9997$)与 $y = 61.1e^{-0.62x} + 19.52$ (SH样, $R^2 = 0.9255$)。在围压为8 MPa时,注入压力由2.25 MPa提高至6.25 MPa,TL样的置换比由48.5%降至32.3%,降低了33.4%;SH样置换比由35.12%降至20.24%,降低了39.62%。表明在一定范围内,注入压力对CO₂置换CH₄试验的置换效果有显著影响,低压状态(低孔隙压力)下的置换效果更好。同时可看出,相同注入压力条件下,TL样的置换比明显大于SH样,说明本次置换试验中贫瘦煤的置换效果更强。

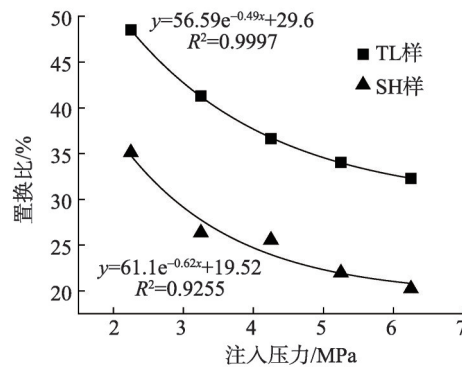


图7 置换试验中置换比变化

Fig. 7 Change curve of replacement ratio in displacement experiment

5 结论

1) 在CO₂置换CH₄试验过程中,围压一定时,煤体中吸附CO₂、CH₄混合气体及各组分气体体积皆随孔隙压力的升高而逐渐增大,但增幅逐渐减小。

2) 置换试验中,煤样中CH₄体积比随注入压力的降低而减小;CO₂体积比则呈现相反的变化趋势。TL样吸附CO₂、CH₄气体体积比的增幅幅度均大于SH样。同一注入压力时,TL样中吸附相CO₂气体体积比大于SH样,吸附相CH₄气体体积比则小于SH样。

3) 在围压、温度不变的情况下,注入压力对CH₄产出率及CO₂置换效果有显著影响,CH₄产出率随孔隙压力的增加呈线性关系降低,CO₂置换比随孔隙压力增大呈指数关系减小,低孔隙压力时CH₄产出率高、置换效果更好。相同注入压力条件下,TL样置换效果更强,说明在本次置换试验中贫瘦煤的置换效果高于无烟煤。

参考文献(References)

- [1] Hall F E, Zhou C H, Gasem K A M, et al. Adsorption of pure methane, nitrogen, and carbon dioxide and their binary mixtures on wet fruitland Coal[C]. 1994, SPE 29194: 329-344.
- [2] Busch A, Krooss B M, Gensterblum, Y, et al. High-pressure adsorption of methane, carbon dioxide and their mixtures on coals with a special focus on the preferential sorption behaviour[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78-79(8): 671-674.
- [3] Stantion R, Flores R, warwick D, et al. Coal bed sequestration of carbon dioxide[C]//Proceeding from the First National Conference on Carbon Sequestration. Washington, DC, US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2001: 14-17.
- [4] 李向东, 冯启言, 刘波, 等. 注入CO₂驱替煤层甲烷的试验研究[J]. 洁净煤技术, 2009, 16(2): 101-102.
Li Xiangdong, Feng Qiyang, Liu Bo, et al. Study of displacement coalbed methane by carbon dioxide injection[J]. Clean Coal Technology, 2009, 16(2): 101-102.
- [5] Fulton P F, Parente C A, Rogers B A, et al. A laboratory investigation

- of enhanced recovery of methane from coal by carbon dioxide injection [C]. SPE on Unconventional Gas Recovery Symposium, 18–21 May, Pittsburgh, 1980.
- [6] Wong S, Law F, Deng X, et al. Enhanced coalbed methane and CO₂ storage in anthracite coals—micro-pilot test at South Qinshui, Shaanxi, China[J]. International Journal of Greenhouse Gas Control, 2007, 1(2): 215–222.
- [7] Mazumder S, Wolf K H A A, van Hamert P, et al. Laboratory experiments on environmental friendly means to improve coalbed methane production by carbon dioxide/flue gas injection[J]. Transport in Porous Media, 2008, 75(1): 63–92.
- [8] Jessen K, Tang G Q, Kovscek A R. Laboratory and simulation investigation of enhanced coalbed methane recovery by gas injection[J]. Transport in Porous Media, 2008, 73(2): 141–159.
- [9] Dutka B, Kudasik M, Topolnicki J. Pore pressure changes accompanying exchange sorption of CO₂/CH₄ in a coal briquette[J]. Fuel Processing Technology, 2012, 100(4): 30–34.
- [10] Dutka B, Kudasik M, Pokryszka Z, et al. Balance of CO₂/CH₄ exchange sorption in a coal briquette[J]. Fuel Processing Technology, 2013, 106(2): 95–101.
- [11] Qin Y. Mechanism of CO₂ enhanced CBM recovery in China: A review [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 18(3): 406–412.
- [12] 唐书恒, 汤达祯, 杨起. 二元气体等温吸附实验及其对煤层甲烷开发的意义[J]. 地球科学, 2004, 29(2): 219–223.
Tang Shuheng, Tang Dazhen, Yang Qi. Binary component gas adsorption isotherm experiments and their significance to exploitation of coalbed methane[J]. Earth Science, 2004, 29(2): 219–223.
- [13] 唐书恒, 马彩霞, 叶建平, 等. 注 CO₂ 提高煤层甲烷采收率的试验模拟[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(5): 607–611.
Tang Shuheng, Ma Caixia, Ye Jianping, et al. A modeling experiment of enhancing coalbed methane recovery by carbon dioxide injection[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2006, 35(5): 607–611.
- [14] 梁卫国, 吴迪, 赵阳升. CO₂ 驱替煤层 CH₄ 试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(4): 665–673.
- Liang Weiguo, Wu Di, Zhao Yangsheng. Experimental study of coalbeds methane replacement by carbon dioxide[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(4): 665–673.
- [15] Liang W, Zhao Y, Wu D. Experiments on methane displacement by carbon dioxide in large coal specimens[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2011, 44(5): 579–589.
- [16] 于洪观, 范维唐, 孙茂远, 等. 煤对 CH₄/CO₂ 二元气体等温吸附特性及其预测[J]. 煤炭学报, 2005, 30(5): 619–622.
Yu Hongguan, Fan Weitang, Sun Maoyuan, et al. Characteristics and predictions for adsorption isotherms of methane/carbon dioxide binary gas on coals[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(5): 618–622.
- [17] 冯启言, 周来, 陈中伟, 等. 煤层处置 CO₂ 的二元气-固耦合数值模拟[J]. 高校地质学报, 2009, 15(1): 63–68.
Feng Qiyang, Zhou Lai, Chen Zhongwei, et al. Numerical simulation of coupled binary gas-solid interaction during carbon dioxide sequestration in a coal bed[J]. Geological Journal of China University, 2009, 15(1): 63–68.
- [18] Arri L E, Yee D, Morgan W D, et al. 煤层甲烷产量的二元气体吸附模拟[M]. 宋党育, 译. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996: 130–141.
Arri L E, Yee D, Morgan W D, et al. Modeling coal bed methane production with binary gas sorption[M]. Song Danguy, trans. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1996: 130–141.
- [19] 吴建光, 叶建平, 唐书恒. 注入 CO₂ 提高煤层气产能的可行性研究[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 463–467.
Wu Jianguang, Ye Jianping, Tang Shuheng. A feasibility study on CO₂ injection for enhancing the coalbed methane recovery[J]. Geological Journal of China University, 2004, 10(3): 463–467.
- [20] 傅雪海, 秦勇, 韦重韬. 煤层气地质学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007: 71–79.
Fu Xuehai, Qin Yong, Wei Chongtao. Coalbed gas geology[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2007: 71–79.

(责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·



中国科学技术协会

第39次中国科技论坛在保定召开

2015年7月28—29日,由中国科协主办,中国农业工程学会、保定市科协、中国园艺学会承办的“第39次中国科技论坛”在保定召开,中国工程院副院长、中国工程院院士刘旭,中国农业工程学会理事长、农业部规划设计研究院院长朱明,中国农业科学院蔬菜花卉研究所所长、研究员杜永臣,中国农业大学中日食品研究中心主任、教授薛文通担任学术召集人,100余位学者参加会议,围绕“小品种大产业—环首都现代农业带建设与京津冀协同创新发展”主题,交流核桃等农产品种植及加工技术,分析京津冀地区核桃产业现状及趋势,为推动现代农业建设、产业升级等建言献策。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35533/n38575/16562157.html>。