

文章编号:0253-9993(2012)09-1477-06

固定碳对煤的孔结构和甲烷吸附量的影响

郝世雄^{1,2},王承洋¹,江成发¹

(1. 四川大学 化学工程学院,四川 成都 610065;2. 四川理工学院 材料与化学工程学院,四川 自贡 643000)

摘要:以 4 种不同固定碳质量分数的煤样作为研究对象,采用 SEM 表征其形貌,采用 77 K 时的 N₂ 吸脱附实验测定其比表面积、孔容和孔径分布,容量法测定其吸附甲烷的性能,并讨论煤的固定碳质量分数对其比表面积、孔容和吸附甲烷能力的影响。结果表明:当固定碳质量分数从 70.17% 增大到 88.34% 时,固定碳质量分数对煤的表面形貌、比表面积、孔容以及孔径分布的影响不显著;当固定碳质量分数从 88.34% 增大到 94.45% 时,煤的比表面积、微孔孔容分别增大 1.84 倍和 5.06 倍,孔径分布向微孔方向移动;Langmuir 体积 V_L 与固定碳质量分数(70.17%~94.45%)呈 U 型的二次多项式关系。

关键词:固定碳;表面形貌;孔结构;甲烷;Langmuir 体积

中图分类号:TD712.6;TD712.1 **文献标志码:**A

Influence of fixed carbon on coal textural character and methane adsorption capacity

HAO Shi-xiong^{1,2}, WANG Cheng-yang¹, JIANG Cheng-fa¹

(1. School of Chemical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. College of Material & Chemical Engineering, Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Four kinds of coal with different fixed carbon content were selected as experimental samples. The surface morphology and textural character of the samples were characterized by scanning electron microscope (SEM), N₂ adsorption-desorption at 77 K, respectively, and their specific surface, pore volume and pore-size distribution were calculated based on N₂ adsorption-desorption isotherms. And the volumetric method was used to determine its performance of methane adsorption. The influences of fixed carbon content on coal surface morphology, specific surface area, pore volume, pore size distribution and methane sorption capacity were discussed. The results show that fixed carbon content has little influence on specific surface area, pore volume, and pore size distribution when fixed carbon content is in the range of 70.17%–88.34%. When fixed carbon content changes from 88.34% to 94.45%, coal specific surface area and micropore volume increases 1.84 and 5.06 times respectively, and the pore size distribution moves to micropore. Methane adsorption capacity follows a U shape second-order polynomial trend with fixed carbon content.

Key words: fixed carbon; surface morphology; textural character; methane; Langmuir volume

煤层气是由煤层生成并主要以吸附状态储集于煤层中的一种非常规天然气,其主要成分是甲烷(88%~98%)^[1-2]。中国煤田地质总局 1998 年的统计结果表明,全国煤层甲烷含量大于 4 m³/t、埋藏深度 2 000 m 以浅的煤层气资源总量为 143 369.44 ×

10⁸ m³^[3]。将煤层气作为天然气的补充能源,对我国经济可持续发展、国家能源安全以及保护环境具有重要意义。

煤对甲烷吸附-解吸规律是煤矿安全和煤层气开采领域的重要研究课题^[4]。根据煤层气的吸附-

解吸等温线,可以确定煤储层的临界解吸压力,估算煤储层的含气量并可确定煤层气的饱和状态,预测煤层气的采收率、瓦斯突出等^[5]。煤对瓦斯的吸附能力与煤级^[6-8]、煤的岩石学组成^[6-7,9-11]、灰分^[1]、水分^[12-14]、颗粒粒度^[15-16]、温度^[14,17]以及压力等有关。但不同的实验方法、不同的煤样得到的结果往往是矛盾的。因此,有必要对煤吸附甲烷的影响因素及机理进行进一步的研究。

本文选择固定碳质量分数分别为 70.17%, 78.53%, 88.34% 和 94.45% 四种煤样,用 SEM 表征其形貌,用 77 K N₂ 吸脱附实验测定其比表面积、孔容和孔径分布,用容量法测定其吸附甲烷的性能,讨论煤的固定碳质量分数对其比表面积、孔容和吸附甲烷能力的影响。

1 实 验

1.1 样品制备

所用煤样分别为青海兴青烟煤、青海庆华 3 采区烟煤、湖南郴州许家洞烟煤和湖南耒阳新田无烟煤,其工业分析见表 1。煤样经手工剔除煤矸石后,破碎、筛分为 60~80 目颗粒后备用。

表 1 煤的工业分析

Table 1 Proximate of coal samples %

煤样	A_{ad}	V_{daf}	FC_{daf}	M_{ad}
兴青烟煤	8.40	29.83	71.17	0.80
庆华烟煤	1.66	21.47	78.53	0.68
许家洞烟煤	11.71	11.66	88.34	0.67
耒阳无烟煤	18.45	5.55	94.45	0.15

1.2 表 征

采用 77 K 氮气吸附-脱附实验表征煤样的孔隙结构。实验在 NOVA 1000e 型表面积和孔分析仪 (Quantachrome, USA) 上进行。分析前,煤样先在 383 K 真空脱气 ($p < 0.25$ Pa) 24 h,然后在 77 K、相对压力 (p/p_0) 0.001~0.990 条件下进行氮气的吸脱附实验。用 BET 法计算煤样的比表面积^[18-19],用 D-R 法计算煤样的微孔孔容^[19-20],用非定域密度泛函理论 (NLDFT) 法计算煤样的孔径分布^[19,21]。

煤样表面微观形貌采用 JSM-5900 型电子扫描显微镜 (JEOL, 日本),经镀金预处理后放大 160 000 倍进行观测。

1.3 甲烷吸附

采用容量法测试煤样吸附甲烷的性能,实验装置如图 1 所示。吸附实验前,煤样先在 383 K 的烘箱中干燥 12 h,然后置于样品槽中,在 298 K 恒温条件下

真空脱气 1 h。用 He (>99.999%) 膨胀测定样品槽自由空间的体积。He 或甲烷在一定温度 T (298 K) 和压力 p 下真实气体的摩尔体积由 R-K 状态方程计算获得。

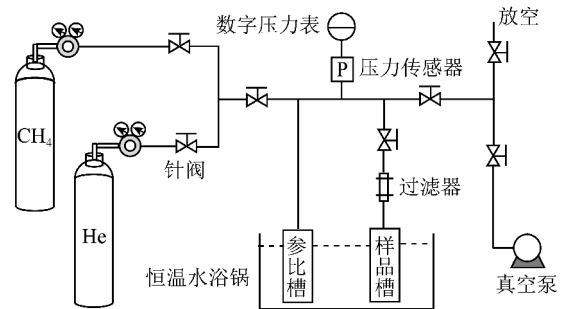


图 1 实验装置示意

Fig. 1 Schematic of experimental setup

2 结果与讨论

2.1 孔隙结构

4 种煤样在 77 K 的 N₂ 等温吸附线如图 2 所示。可看出,4 种煤样的低温氮吸附等温线的形态均属于 IUPAC II 型^[22],说明煤具有从微孔到大孔的连续孔系统。兴青烟煤、庆华 3 区烟煤和许家洞烟煤的低温 N₂ 吸脱附曲线非常类似。而耒阳无烟煤与其他 3 种烟煤相比,则有明显的不同:N₂ 吸附量大于其他 3 种烟煤,且有明显的回环。兴青烟煤、庆华 3 区烟煤和许家洞烟煤的回环小,其孔结构可能为一端封闭的不透气性孔^[23]。耒阳无烟煤回环在相对压力 0.5 处,且具有明显的拐点,说明其存在细颈瓶(墨水瓶)状孔,墨水瓶颈处的直径约为 3 nm^[23]。4 种煤样的 BET 比表面积 S_{BET} 、微孔孔容 V_{mic} 和总孔容 V_t 见表 2。

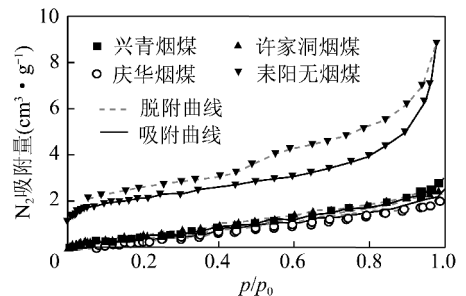


图 2 77 K 下 4 种煤样的 N₂ 等温吸附脱附曲线

Fig. 2 N₂ gas isotherm adsorption of four kinds coal sample at 77 K

图 3 为 4 种煤样 NLDFT 孔径分布。从图 3 可以看出,耒阳无烟煤的孔径呈双峰分布,主峰位置在 1.5 nm,次峰在 3.8 nm 左右。兴青烟煤、许家洞烟煤以及庆华 3 区烟煤的微孔分布形状较类似,在 3.0 nm

表2 煤样的孔隙结构

Table 2 Textural characteristics of coal samples

煤样	$S_{BET}/(m^2 \cdot g^{-1})$	$V_{mic}/(mm^3 \cdot g^{-1})$	$V_t/(mm^3 \cdot g^{-1})$
兴青烟煤	2.455	0.446 4	3.541
庆华烟煤	2.581	0.372 3	2.706
许家洞烟煤	2.635	0.514 3	3.317
末阳无烟煤	7.486	3.119 0	10.210

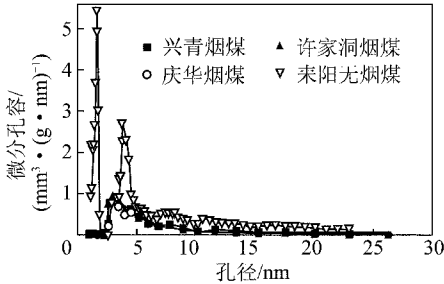


图3 煤样的NLDFT孔径分布

Fig. 3 Pore size distributions obtained by applying NLDFT analysis

处出现1个主峰,在4.3 nm处出现1个肩峰。许家洞烟煤在3.0 nm处主峰的强度略大于庆华3区烟煤或兴青烟煤的峰强度,这与表2的结果一致。当固定碳质量分数从兴青烟煤的70.17%增大到许家洞烟煤的88.34%时,固定碳质量分数对煤的孔径分布影响不大;当固定碳质量分数从许家洞烟煤的88.34%增大到末阳无烟煤的94.45%时,煤的孔容增大,孔径分布朝微孔方向移动。

图4为煤样的 S_{BET} 和 V_{mic} 与煤样的固定碳质量分数间的关系。

从图4可以看出,总体上,煤样的 S_{BET} 和 V_{mic} 与煤样的固定碳质量分数间无连续变化关系,这与文献[6]的结论一致。文献[24]认为,固定碳质量分数在75%~87%时(相当于从长焰煤到肥煤),煤的分子结构变化不大,但由于机械压实作用导致煤的脱水以及亲水-富氧基团的脱落将会使煤的孔隙减小。但

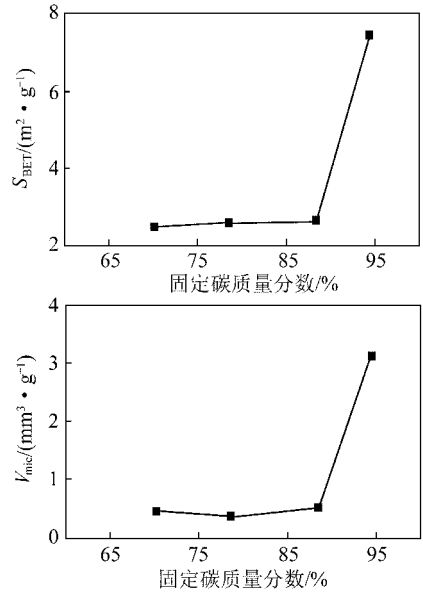


图4 固定碳质量分数与 S_{BET} 和 V_{mic} 的关系

Fig. 4 Relationship of fixed carbon content and S_{BET}, V_{mic}

本文表征结果发现,当固定碳质量分数从70.17%增至88.34%时,煤样的 S_{BET} 和 V_{mic} 变化不大,这与文献[24]不同。当煤的固定碳质量分数在87.0~93.4%时,文献[24]认为,由于煤大分子的芳环叠片聚集成5~10 nm的芳环束,叠片的面距减小,其间的偏斜方位降为15°,煤大分子的排列规整,从而导致煤中孔隙增大。本文表征结果也发现,当固定碳质量分数从88.34%增至94.45%时,煤样的 S_{BET} 和 V_{mic} 分别增加1.84倍和5.06倍,与文献[24]的结论一致。

2.2 煤样的表面形貌

4种煤样的表面形貌如图5所示。从图5可以看出,兴青烟煤和庆华3区的烟煤的表面形貌较类似。许家洞烟煤的表面颗粒较其他3种煤样的颗粒大,呈45°排列。末阳无烟煤的表面颗粒最小,大小最均匀,排列致密有序,因此其微孔含量最大,比表面积也最大,与低温 N_2 吸脱附表征的结果一致。

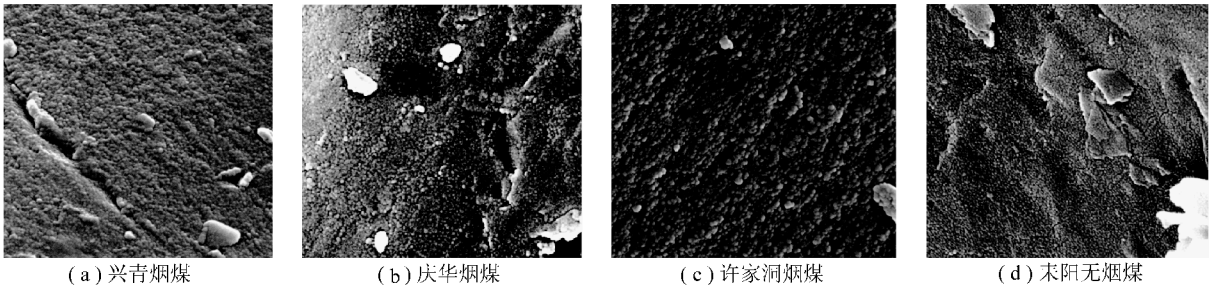


图5 煤样扫描电镜照片

Fig. 5 SEM images of coal samples

2.3 煤样对甲烷的等温吸附

甲烷的临界温度为190.56 K,煤层的温度远高于

于此温度。因此,在煤对甲烷吸附研究中,实验温度多为293 K以上。高于临界温度,气体不可能发生液

化,不存在饱和蒸汽压的概念。在超临界吸附平衡研究中,通常用吸附量对压力 p 或气相密度 ρ_g 作图,得到吸附等温线。气体在临界温度以上的吸附等温线通常呈 IUPAC I 型^[25]。因此,Langmuir, Langmuir-Freundlich, Toth, D-A, D-R 方程常被用来拟合吸附等温线^[25-28]。尽管煤对甲烷的吸附不能满足 Langmuir 模型的前提条件,但由于 Langmuir 模型只有 2 个参数,使用方便,且拟合精度可满足大多数工程需要,因此在煤层气领域得到广泛的应用^[5]。图 6 为 4 种煤样甲烷的等温吸附线,图中的实线为 Langmuir 方程拟合曲线。表 3 为 4 种煤样的 Langmuir 方程拟合参数以及相关系数 R^2 。由图 6 和表 3 可以看出,Langmuir 方程拟合吸附平衡数据较好。

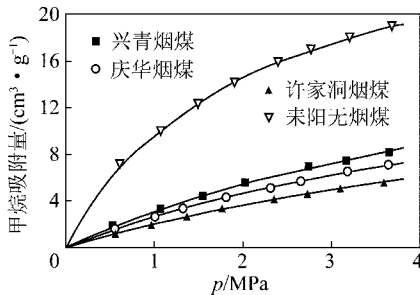


图 6 298 K 时煤样的甲烷等温吸附线

Fig. 6 Adsorption isotherms of methane at 298 K

表 3 298 K 时煤样的甲烷等温吸附线的 Langmuir 拟合参数

Table 3 Adsorption parameters of Langmuir model for adsorption isotherms of methane on coal samples at 298 K

煤样	$V_L / (\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	p_L / MPa	R^2
兴青烟煤	23.235 6	6.515 5	0.998 3
庆华烟煤	18.833 8	6.052 2	0.997 9
许家洞烟煤	18.270 5	7.988 4	0.996 2
末阳无烟煤	29.510 2	2.049 5	0.997 9

注: p_L 为 Langmuir 压力。

图 7 为 4 种煤样的 Langmuir 体积 V_L 与 S_{BET} , V_{mic} 的关系。从图 7 可以看出,总体上,煤吸附甲烷的 V_L 与 S_{BET} 或 V_{mic} 成正相关,与文献[29]的结论一致。 V_L 与 V_{mic} 的相关系数为 0.720 1,大于 V_L 与 S_{BET} 的相关系数。说明 V_{mic} 对 V_L 的影响比 S_{BET} 大,与文献[30]的结论一致。与文献[29-30]类似,煤样的 S_{BET} 或 V_{mic} 大,并不意味着其 V_L 一定就大。许家洞烟煤的 V_{mic} 为 $0.514 3 \text{ mm}^3/\text{g}$,比兴青烟煤的 V_{mic} 大,但是许家洞烟煤的 V_L 反而比兴青烟煤的 V_L 小。这是因为煤的 V_L 不仅与 V_{mic} 有关,还可能与微孔分布^[30]、煤表面化学性质等因素有关^[6]。

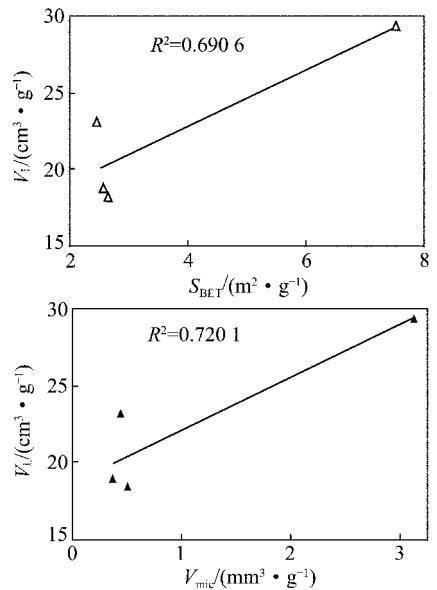


图 7 煤样的 Langmuir 体积 V_L 与 S_{BET} 和 V_{mic} 的关系

Fig. 7 Relationship of Langmuir volume and S_{BET} , V_{mic}

图 8 为煤样的 V_L 与固定碳质量分数的关系,图中的实线是二次多项式拟合曲线,拟合的相关系数 R^2 为 0.662 1。说明煤的固定碳质量分数与 V_L 大致呈二次幂函数关系,这与文献[7]的结论一致。文献[24]认为,当固定碳质量分数为 75% ~ 87%,随着质量分数的增加,煤的孔隙将会减小,从而使煤吸附甲烷的能力降低。本文低温 N_2 吸脱附实验结果表明,这一阶段煤的孔隙结构变化并不明显。因此,这一阶段煤吸附能力的降低不仅与煤的孔隙结构有关,还与其他因素,如成煤植物前驱体、成煤历史和煤的表面化学性质有关^[6]。文献[24]认为,固定碳质量分数为 87.0% ~ 93.4% 时煤的吸附能力增加是由于煤大分子的排列规整,从而导致煤中孔隙增大。本文 SEM 表征以及低温 N_2 吸脱附表征结果证实,固定碳质量分数为 94.45% 时末阳无烟煤的颗粒大小均匀、排列有序,比表面积、孔容比其他 3 种煤样大,且孔容中微孔占的比例最大、分布最窄,这些因素都有利于其对吸附甲烷。

3 结 论

(1) 当固定碳质量分数从 70.17% 增大到 88.34% 时,其对煤的表面形貌、比表面积、孔容以及孔径分布的影响不显著。

(2) 当固定碳质量分数从 88.34% 增大到 94.45% 时,煤的表面形貌表现为颗粒变小,大小均匀,排列更有序,煤的比表面积、孔容增大,孔径分布向微孔方向移动。

(3) 固定碳质量分数在 70.17% ~ 94.45% 时,煤

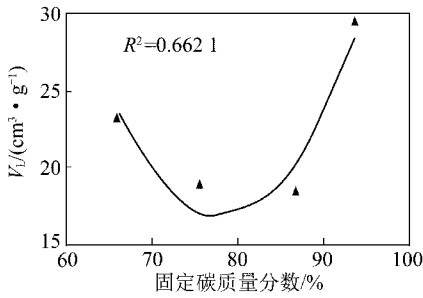


图8 煤样的Langmuir体积和固定碳质量分数的关系

Fig. 8 Relationship between Langmuir volume and fixed carbon content

的Langmuir体积 V_L 与固定碳质量分数呈开口向上的二次多项式关系。

感谢四川大学化学工程学院储伟教授的辛勤指导。

参考文献:

- [1] White C M, Smith D H, Jones K L, et al. Sequestration of carbon dioxide in coal with enhanced coalbed methane recovery—a review[J]. *Energy Fuels*, 2005, 19(3): 659–724.
- [2] Yu Hongguan, Zhou Lili, Guo Weijia, et al. Predictions of the adsorption equilibrium of methane/carbon dioxide binary gas on coals using Langmuir and ideal adsorbed solution theory under feed gas conditions[J]. *Int. J. Coal Geol.*, 2008, 73(2): 115–129.
- [3] 中国煤炭地质总局. 中国煤层气资源概述[EB/OL]. <http://www.ccgce.cn/fuwulingyu/001/2008/0405/309.html>, 2008-04-05.
China national administration of coal geology. A summary of China coalbed methane resources[EB/OL]. <http://www.ccgce.cn/fuwulingyu/001/2008/0405/309.html>, 2008-04-05.
- [4] 冯艳艳, 黄利宏, 储伟. 表面改性对煤基活性炭及其甲烷吸附性能的影响[J]. *煤炭学报*, 2011, 36(12): 2080–2085.
Feng Yanyan, Huang Lihong, Chu Wei. Surface modification of coal-based activated carbon and its effects on methane adsorption[J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36(12): 2080–2085.
- [5] Busch A, Gensterblum Y. CBM and CO₂-ECBM related sorption processes in coal: a review[J]. *Int. J. Coal Geol.*, 2011, 87(2): 49–71.
- [6] Bustin R, Clarkson C. Geological controls on coalbed methane reservoir capacity and gas content[J]. *Int. J. Coal Geol.*, 1998, 38(1–2): 3–26.
- [7] Laxminarayana C, Crosdale P J. Controls on methane sorption capacity of Indian coals[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(2): 201–212.
- [8] 田永东, 李宁. 煤对甲烷吸附能力的影响因素[J]. *西安科技大学学报*, 2007, 27(2): 247–250.
Tian Yongdong, Li Ning. Affecting factors of the coal adsorbing methane capability[J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2007, 27(2): 247–250.
- [9] Mastalerz M, Gluskoter H, Rupp J. Carbon dioxide and methane sorption in high volatile bituminous coals from Indiana, USA[J].

- Int. J. Coal Geol.*, 2004, 60(1): 43–55.
- [10] Hildenbrand A, Krooss B M, Busch A, et al. Evolution of methane sorption capacity of coal seams as a function of burial history—a case study from the Campine Basin, NE Belgium[J]. *Int. J. Coal Geol.*, 2006, 66(3): 179–203.
- [11] Faiz M, Saghaifi A, Sherwood N, et al. The influence of petrological properties and burial history on coal seam methane reservoir characterisation, Sydney Basin, Australia[J]. *Int. J. Coal Geol.*, 2007, 70(1–3): 193–208.
- [12] Krooss B M, Van Bergen F, Gensterblum Y, et al. High-pressure methane and carbon dioxide adsorption on dry and moisture-equilibrated Pennsylvanian coals[J]. *Int. J. Coal Geol.*, 2002, 51(2): 69–92.
- [13] 张时音, 桑树勋, 杨志刚. 液态水对煤吸附甲烷影响的机理分析[J]. *中国矿业大学学报*, 2009, 38(5): 707–712.
Zhang Shiyin, Sang Shuxun, Yang Zhigang. Mechanism analysis on the effect of liquid water on coal adsorbing methane[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2009, 38(5): 707–712.
- [14] Crosdale P J, Moore T A, Mares T E. Influence of moisture content and temperature on methane adsorption isotherm analysis for coals from a low-rank, biogenically-sourced gas reservoir[J]. *Int. J. Coal Geol.*, 2008, 76(1–2): 166–174.
- [15] 张晓东, 桑树勋, 秦勇, 等. 不同粒度的煤样等温吸附研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2005, 34(4): 427–432.
Zhang Xiaodong, Sang Shuxun, Qin Yong, et al. Isotherm adsorption of coal samples with different grain size[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2005, 34(4): 427–432.
- [16] 张天军, 许鸿杰, 李树刚, 等. 粒径大小对煤吸附甲烷的影响[J]. *湖南科技大学学报(自然科学版)*, 2009, 24(1): 9–12.
Zhang Tianjun, Xu Hongjie, Li Shugang, et al. The effect of particle size on adsorption of methane on coal[J]. *Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition)*, 2009, 24(1): 9–12.
- [17] Sakurovs R, Day S, Weir S, et al. Temperature dependence of sorption of gases by coals and charcoals[J]. *Int. J. Coal Geol.*, 2008, 73(3–4): 250–258.
- [18] Xu Junqiang, Chu Wei, Luo Shizhong. Synthesis and characterization of mesoporous V-MCM-41 molecular sieves with good hydrothermal and thermal stability[J]. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2006, 256(1–2): 48–56.
- [19] Rahman K A, Loh W S, Yanagi H, et al. Experimental adsorption isotherm of methane onto activated carbon at sub- and supercritical temperatures[J]. *J. Chem. Eng. Data*, 2010, 55(11): 4961–4967.
- [20] Garcia T, Murillo R, Cazorla-Amoros D, et al. Role of the activated carbon surface chemistry in the adsorption of phenanthrene[J]. *Carbon*, 2004, 42(8–9): 1683–1689.
- [21] Luo Jingjie, Liu Yuefeng, Jiang Chengfa, et al. Experimental and modeling study of methane adsorption on activated carbon derived from anthracite[J]. *J. Chem. Eng. Data*, 2011, 56(12): 4919–4926.
- [22] Rouquerol F, Rouquerol J, Sing K S W. Adsorption by powders & porous solids: principles, methodology and applications[M]. London: Academic Press, 1999.

- [23] 陈 萍,唐修义. 低温氮吸附法与煤中微孔隙特征的研究[J]. 煤炭学报,2001,26(5):552-556.
Chen Ping,Tang Xiuyi. The research on the adsorption of nitrogen in low temperature and micro-poreproperties in coal[J]. Journal of China Coal Society,2001,26(5):552-556.
- [24] 钟玲文,张新民. 煤的吸附能力与其煤化程度和煤岩组成间的关系[J]. 煤田地质与勘探,1990,18(4):29-36.
Zhong Lingwen,Zhang Xinmin. The relationship between coal adsorption capacith, degree of coalification and maceral composition [J]. Coal Geology & Exploration,1990,18(4):29-36.
- [25] Zhou Li,Zhou Yaping,Li Ming, et al. Experimental and modeling study of the adsorption of supercritical methane on a high surface activated carbon[J]. Langmuir,2000,16(14):5955-5959.
- [26] Ozdemir E,Morsi B I,Schroeder K. Importance of volume effects to adsorption isotherms of carbon dioxide on coals [J]. Langmuir, 2003,19(23):9764-9773.
- [27] Do D D. Adsorption analysis:equilibria and kinetics[M]. London: Imperial College Press London,1998.
- [28] Wen Jie,Han Xue,Lin Hongfei, et al. A critical study on the adsorption of heterocyclic sulfur and nitrogen compounds by activated carbon:equilibrium, kinetics and thermodynamics [J]. Chemical Engineering Journal,2010,164(1):29-36.
- [29] 钟玲文,张 慧,员争荣,等. 煤的比表面积孔体积及其对煤吸附能力的影响[J]. 煤田地质与勘探,2002,30(3):26-29.
Zhong Lingwen,Zhang Hui,Yun Zhengrong, et al. Influenceof specific pore area and pore volume of coal on adsorption capacity[J]. Coal Geology & Exploration,2002,30(3):26-29.
- [30] Lozano-Castello D,Cazorla-Amoros D,Linares-Solano A, et al. Influence of pore size distribution on methane storage at relatively low pressure: preparation of activated carbon with optimum pore size [J]. Carbon,2002,40(7):989-1002.

《煤炭学报》和《Journal of Coal Science & Engineering (China)》 被 Elsevier 公司的二次文献数据库 Scopus 收录

由《煤炭学报》编辑部出版的《煤炭学报》和《Journal of Coal Science & Engineering (China)》(《煤炭科学与工程学报》)被 Elsevier 公司的二次文献数据库 Scopus 收录。

Scopus 是全世界最大的摘要和引文数据库,地处荷兰,截止目前,Scopus 总计收录全世界期刊、会议论文集等 30 794 种,其中期刊占 28 169 种。中国期刊总计 927 种,其中活动(Active)期刊 667 种。2011 年中国科技信息所做的“中国科技期刊引证报告”,已经将 Elsevier 公司的二次文献数据库 Scopus 数据库列入了统计源,被该数据库收录对提高期刊的影响力和提高所刊登文章的扩散度会有很大的帮助,将有助于提高我刊的知名度,使我刊能更快地走向世界。