

贫煤孔隙特征及其对瓦斯解吸的影响

王 军

(煤科集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110016)

[摘 要] 为了研究贫煤孔隙结构特征对瓦斯解吸规律的影响, 采用低温液氮吸附法针对5个贫煤煤样的纳米级($<100\text{nm}$)孔隙结构进行了分析。同时根据瓦斯解吸实验, 将实验结果与煤的孔隙结构特征相结合, 分析纳米级孔隙结构对煤体瓦斯解吸的影响。结果表明: 贫煤的小孔($10\sim100\text{nm}$)和微孔($<10\text{nm}$)发育, 微孔主要占据了孔隙的比表面积, 决定瓦斯解吸特性, 在相同平衡压力条件下, 瓦斯解吸量随比表面积的增加而增加, 呈现出较好的线性关系; 孔比表面积是影响解吸量的主要因素, 而孔容与瓦斯解吸量的关系不明显。研究结果对煤矿瓦斯涌出量预测具有重要意义。

[关键词] 贫煤; 孔隙特征; 瓦斯解吸; 低温液氮吸附; 比表面积; 孔容

[中图分类号] TD712 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225(2016)05-0092-03

Porosity Characters of Lean Coal and It's Influence for Methane Desorption

WANG Jun

(CCTEG Shenyang Research Institute, Shenyang 110016, China)

Abstract: In order to study the influence that porosity character of lean coal to methane desorption law, then nanoscale ($<100\text{nm}$) porosity structure of five lean coal sample were analyzed by low temperature liquid nitrogen adsorption. According methane desorption experiment at the same time, the influence that nanoscale porosity structure to coal methane desorption was analyzed based experimental results and coal porosity characters. The results showed that the small pore ($10\sim100\text{nm}$) and micro pore ($<10\text{nm}$) developed in lean coal, micro pores principal occupied specific surface area of porosity, and methane desorption was decided by it. Under the same balance pressure situation, methane desorption amount increases with specific surface area increases, present a preferable linear relation. Porosity specific surface area is the main factor that influenced desorption, but the relation between pore volume and methane desorption was unobvious. The results could be referenced for coal mine methane emission quantity.

Key words: lean coal; porosity character; methane desorption; low temperature liquid nitrogen adsorption; specific surface area; pore volume

煤是一种多孔有机介质, 具有高度发达的孔隙结构^[1-2]。煤的孔隙结构特征(如孔隙率、孔径大小、比表面积等)直接影响煤体瓦斯在煤层中的流动性及渗透性, 从而影响着煤层气的吸附与运移。张小东等人的研究也表明, 煤体瓦斯吸附性能与煤的成分和孔结构紧密相关, 且采用溶剂萃取法可以很好地改变煤的孔隙结构和吸附性能^[3-5]。文献[6]通过孔隙率和瓦斯压力的测定, 计算出了煤层中的游离瓦斯含量。文献[7]以干煤样为研究对象, 在20MPa高压下进行甲烷、二氧化碳、氮气吸附实验, 结果表明, 煤体内部有大量的孔隙与煤体表面不连通, 这类闭孔阻碍瓦斯的吸附和解吸。文献[8]研究了不同变质程度煤的孔径分布及其对吸附常数的影响。煤的孔隙特性与煤的变质程度、地应力、破坏类型等因素有关。目前研究煤

的孔隙结构特征的常用方法是低温液氮吸附法^[9]、压汞法^[10]、CT扫描及SEM。本文采用低温液氮吸附法实验测定煤的孔隙结构特征, 同时根据瓦斯解吸实验, 将实验结果与煤的纳米级孔隙结构相结合, 对煤体瓦斯解吸规律进行分析和研究。研究结果对煤与瓦斯突出防治和煤层气资源的开发均具有十分重要的意义^[11-14]。

1 实验煤样

本次实验用煤样共5种, 分别取自润宏矿3号煤层、常村矿3号煤层、东曲矿9号煤层、官地矿3号煤层及沁水煤田凤凰山矿9号煤层。将这些煤样均制备成60~80目实验用煤, 其煤质分析结果见表1。

[收稿日期] 2016-03-28

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(51374216)

[作者简介] 王 军(1982-), 男, 山西和顺人, 在读硕士, 高级工程师, 研究方向为矿井瓦斯涌出量预测、矿井瓦斯防治等。

[引用格式] 王 军. 贫煤孔隙特征及其对瓦斯解吸的影响[J]. 煤矿开采, 2016, 21(5): 92-94.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2016.05.026

表 1 实验煤样煤质分析结果 %

煤样编号	矿井名称	水分含量	干基挥发分	干基灰分	固定碳
1	润宏	2.02	12.51	16.97	73.62
2	常村	0.73	14.67	6.18	78.58
3	东曲	0.46	16.45	7.90	75.31
4	官地	0.82	13.31	11.05	75.48
5	凤凰山	0.92	14.55	7.27	77.61

2 实验

2.1 低温氮气吸附实验

实验采用美国 Quantachrome 公司生产的 AU-TOSORB-6B/3B 型全自动化学/物理吸附仪, 对所选煤样进行液氮吸附实验。煤样粒径为 0.20 ~ 0.25 mm, 实验按照 SY/T6154-1995 标准进行。液氮吸附实验在 77 K 温度下进行, 相对压力为 0.050 ~ 0.995。

2.2 瓦斯解吸实验

实验系统主要由真空单元、充气单元、温度控制单元、数据采集与处理单元、吸附解吸单元以及气体收集单元共 6 个单元组成, 实验系统结构图见文献 [15]。首先将煤样 (约 100 g) 放置真空干燥箱中, 在 378 K 高温下烘干 2 h, 冷却至室温后放入煤样罐中进行解吸实验。实验温度设定为 298 K, 将实验系统连续抽真空 8 h, 再充入甲烷气体, 不同煤样的瓦斯吸附时间控制在 12 h 左右, 达到吸附平衡压力后, 开始瓦斯解吸, 解吸时间不低于 10 h, 直至瓦斯累计解吸量基本不再随时间而变化 (1 h 内的解吸量小于 0.01 mL/g), 认为该组解吸实验结束。

3 实验结果与讨论

3.1 低温氮气吸附结果

煤样的液氮吸附实验结果如表 2 所示。

表 2 煤样孔结构参数

煤样 编号	N ₂ 吸附量/ 10 ⁻⁶ (m ³ ·g ⁻¹)	比表面积/(m ² ·g ⁻¹)			孔容/10 ⁻⁷ (m ³ ·g ⁻¹)		
		微孔	小孔	纳米级孔	微孔	小孔	纳米级孔
1	1.34	1.66	0.15	1.81	0.79	19.92	20.71
2	1.08	0.52	0.06	0.58	0.62	17.05	17.67
3	3.96	1.93	0.33	2.26	5.31	56.02	61.33
4	1.15	0.68	0.11	0.79	0.61	16.28	16.89
5	1.58	0.50	0.12	0.62	0.38	24.17	24.55

从表中可以看出, 各贫煤煤样的纳米级孔容、孔隙比表面积均变化较大。其中纳米级孔容的变化范围为 $16.89 \times 10^{-7} \sim 61.33 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{g}$, 孔隙比表面积范围为 $0.58 \sim 2.26 \text{ m}^2/\text{g}$, 3 号煤样的纳米级孔容及孔隙比表面积均最大。各煤样的比表面积和孔容占比情况见表 3, 由表 3 可知, 微孔孔容占比均小于 9%, 而微孔比表面积占比基本大于 80%,

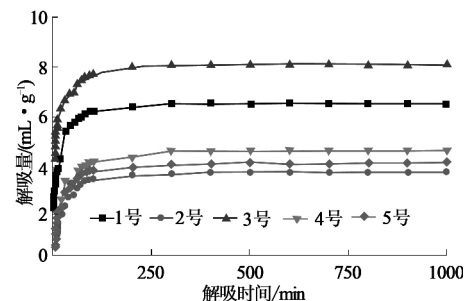
这说明在贫煤的各类孔隙中, 微孔主要占据了纳米级比表面积, 而小孔则主要占据孔容。众所周知, 瓦斯吸附解吸主要发生在孔隙表面上, 因此微孔可能对煤体瓦斯吸附解吸特性有重要影响。

表 3 比表面积和孔容占比情况

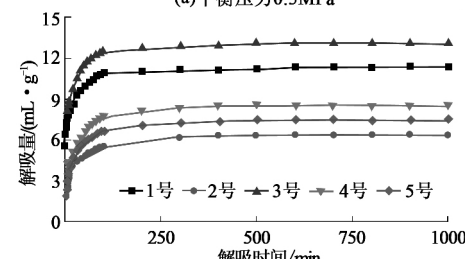
煤样 编号	比表面积比/%		孔容比/%	
	微孔	小孔	微孔	小孔
1	91.94	8.06	3.83	96.17
2	89.64	10.36	3.52	96.48
3	85.32	14.68	8.70	91.30
4	86.66	13.34	3.62	96.38
5	79.89	20.11	1.54	98.46

3.2 瓦斯解吸实验结果

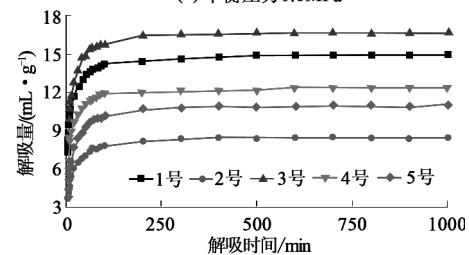
不同吸附压力下的瓦斯解吸实验结果见图 1。由图 1 可以看出, 不同煤样的瓦斯解吸特性差异显著。在各平衡压力下, 煤样瓦斯解吸量大小依次为: 3 号 > 1 号 > 4 号 > 5 号 > 2 号。这种差异可能与各煤样的孔隙结构有关。此外, 从图 1 还可以看出, 压力对煤体瓦斯解吸特性也具有显著影响。相同条件下, 平衡压力越大, 解吸量越大。



(a) 平衡压力 0.5 MPa



(b) 平衡压力 1.0 MPa



(c) 平衡压力 1.5 MPa

图 1 各煤样不同吸附压力下的解吸曲线

3.3 孔隙结构对瓦斯解吸的影响

图 2 为煤样纳米级孔结构参数与瓦斯解吸的关系。由图 2 可知, 在各平衡压力下, 煤体瓦斯解吸量随纳米级比表面积的增加而呈线性增加, 相关系

数 R^2 均在 0.90 以上, 呈现较好的线性关系; 当平衡压力分别为 0.5 MPa, 1.0 MPa 和 1.5 MPa 时, 对应的拟合直线的斜率分别为 4.0371, 3.1511 和 2.3711 (图 2 (a)), 这说明当平衡压力升高时, 解吸量随比表面积线性递增的趋势减缓。而孔容与解吸量之间的关系不明显, 如图 2 (b) 所示。这说明, 在纳米级孔隙比表面积和孔容这两个因素中, 孔隙比表面积是影响解吸量的主要因素。孔隙比表面越大, 吸附位点越多, 吸附能力也就越强, 解吸出来的瓦斯也就越多。

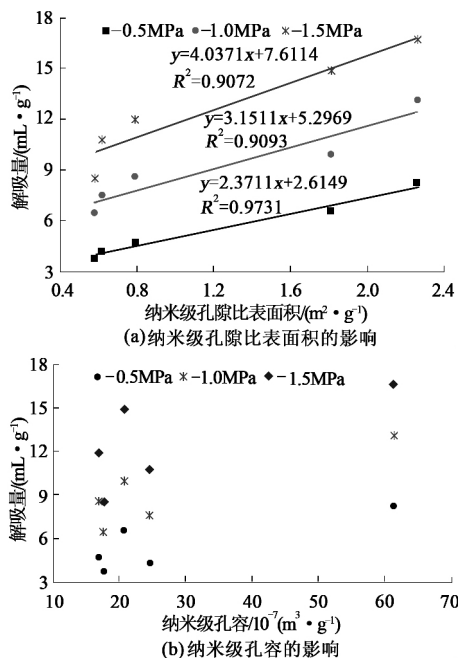


图 2 孔结构参数对瓦斯解吸的影响

4 结 论

(1) 对不同吸附压力下的 5 种贫煤煤样瓦斯解吸特性进行了测试, 实验得出不同煤样的瓦斯解吸能力差异显著, 在各平衡压力下, 煤样瓦斯解吸量大小依次为: 3 号 > 1 号 > 4 号 > 5 号 > 2 号。这种差异可能与各煤样的孔隙结构有关。

(2) 低温液氮吸附实验表明, 在贫煤的各类孔隙中, 微孔主要占据了纳米级比表面积, 而小孔则主要占据孔容。

(3) 分析了纳米级孔结构参数对瓦斯解吸特

性的影响, 得出纳米级孔隙比表面积是影响解吸量的主要因素。孔隙比表面越大, 吸附位点越多, 吸附能力也就越强, 解吸出来的瓦斯也就越多。

[参考文献]

- [1] 姜黎明, 张 浪, 汪 东, 等. 加压速率对不同变质程度煤吸附性能的影响研究 [J]. 煤矿开采, 2015, 20 (1): 17 - 19.
- [2] 傅雪海, 秦 勇, 薛秀谦, 等. 煤储层孔、裂隙系统分形研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30 (3): 225 - 228.
- [3] 张小东, 张 鹏. 不同煤级煤分级萃取后的 XRD 结构特征及其演化机理 [J]. 煤炭学报, 2014, 39 (5): 941 - 946.
- [4] Dutta P., Bhowmik S., S. Das. Methane and carbon dioxide sorption on a set of coals from India [J]. Int. J. Coal Geol., 2011 (85): 289 - 299.
- [5] 李文军, 焦子阳, 刘丽丽, 等. 甲醇萃取对大雁褐煤孔隙结构的影响 [J]. 煤炭转化, 2009, 32 (4): 5 - 7.
- [6] 韩 军, 张宏伟, 霍丙杰. 向斜构造煤与瓦斯突出机制探讨 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (8): 908 - 913.
- [7] Sakurovs R., Day S., Weir S. Relationships between the critical properties of gases and their high pressure sorption behavior on coals [J]. Energy & Fuels, 2010 (24): 1781 - 1787.
- [8] Jia H. J., Li Z. H., Peng Y. J., et al. Pore structures and methane sorption characteristics of coal after extraction with tetrahydrofuran [J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2014 (19): 287 - 294.
- [9] 宋晓夏, 唐跃刚, 李 伟, 等. 中梁山南矿构造煤吸附孔分形特征 [J]. 煤炭学报, 2013, 38 (1): 134 - 139.
- [10] 降文萍, 宋孝忠, 钟玲文. 基于低温液氮实验的不同煤体结构煤的孔隙特征及其对瓦斯突出影响 [J]. 煤炭学报, 2011, 36 (4): 609 - 614.
- [11] 张宏伟, 李 胜. 煤与瓦斯突出危险性的模式识别和概率预测 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (19): 3577 - 3581.
- [12] 刘高峰, 张子戎, 张小东, 等. 气肥煤与焦煤的孔隙分布规律及其吸附-解吸特征 [J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28 (8): 1588 - 1592.
- [13] 蒋雨辰, 何 涛, 郭海军. 煤层吸附解吸规律及局部突出预测敏感指标研究 [J]. 煤矿开采, 2015, 20 (1): 95 - 98.
- [14] 黄致鹏, 魏国营. 全煤巷道顺层瓦斯抽采钻孔合理封孔深度研究 [J]. 煤矿开采, 2016, 21 (1): 101 - 104.
- [15] 聂百胜, 柳先锋, 郭建华, 等. 水分对煤体瓦斯解吸扩散的影响 [J]. 中国矿业大学学报, 2015, 44 (5): 781 - 787.

[责任编辑: 施红霞]

(上接 100 页)

- [2] 杨吉平, 李学华. 工作面顶板离层水积水量预测及探放方案 [J]. 湖南科技大学学报, 2012, 27 (3): 1 - 4.
- [3] 贾 民, 田 涛. 济二矿覆岩离层水涌水机理与防治技术研究 [J]. 中国煤炭, 2013, 39 (1): 110 - 115.
- [4] 李忠凯, 胡 杰. 工作面顶板动态离层水治理研究 [J]. 中国煤田地质, 2007, 19 (2): 35 - 37.
- [5] 乔 伟, 李文平, 李小琴. 采场顶板离层水“静水压涌突水”

机理及防治 [J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28 (1): 96 - 104.

- [6] 李小琴. 坚硬覆岩下重复采动离层水涌突机理研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011.
- [7] 王经明, 喻道慧. 煤层顶板次生离层水害成因的模拟研究 [J]. 岩土工程学报, 2010, 32 (2): 231 - 236.

[责任编辑: 施红霞]