

文章编号:0253-9993(2012)04-0641-06

煤体瓦斯吸附渗流过程及声发射特性实验研究

马衍坤¹,王恩元¹,李忠辉¹,刘 杰¹,杜泽生²

(1. 中国矿业大学 安全工程学院,江苏 徐州 221008;2. 煤炭科学研究总院 安全装备技术研究分院,北京 100013)

摘要:对原煤试样瓦斯吸附渗流过程的声发射信号进行了监测,并基于声发射信号特征,分析了煤体损伤演化及瓦斯吸附渗流的动态特征。实验发现,在吸附过程的初期,声发射强度最大,而且随着吸附量的逐渐增加,声发射信号逐渐减弱;吸附过程中声发射信号在时域上呈现阵发性,即密集段与间歇段相连的特征。实验结果表明:瓦斯是由煤体最外层开始逐层向内部吸附渗流的;在瓦斯逐层渗流过程中,当瓦斯压力梯度大于可导致煤体局部微观结构破坏的临界压力梯度时,瓦斯表现为具有动力效应的破坏式渗流,对应着声发射的密集段;煤体受到破坏后,渗流阵面的压力急剧降低,瓦斯表现为无破坏能力的渗流,同时也进入蓄能阶段,对应着声发射间歇段;随着煤体内部瓦斯压力的增大,吸附过程趋于平衡,煤体内产生的声发射信号也逐渐减弱。

关键词:吸附渗流;声发射;阵发性;损伤演化;逐层渗流

中图分类号:TD712.51 **文献标志码:**A

Methane sorption and seepage in coal and characteristics of acoustic emission

MA Yan-kun¹, WANG En-yuan¹, LI Zhong-hui¹, LIU Jie¹, DU Ze-sheng²

(1. School of Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Safety Equipment and Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: Acoustic emission signals generated in process of methane sorption and seepage in coal were observed, and the dynamic characteristic of damage evolution and the seepage process were analyzed based on the characteristic of acoustic emission. The experiments indicated that the strength of acoustic emission decreased with the adsorbed methane increase. And the acoustic emission showed paroxysmal in time domain. The results give implication that the methane seepage in coal layer by layer. In its seepage process, methane shows destructive seepage while the gas pressure gradient was bigger than the threshold value. Then, pressure of the seepage face decreased and the methane shows undestructive seepage. Sorption process tends to equilibrium with the gas pressure increase.

Key words: sorption and seepage; acoustic emission; paroxysmal; damage evolution; seepage by layer

煤层瓦斯渗流特征规律是防治矿井瓦斯灾害研究的基础,对瓦斯和煤层气抽采研究具有重要理论意义。

自从周世宁院士提出可采用达西定律来研究煤层瓦斯流动规律后^[1],学者对瓦斯流动的线性规律和非线性规律进行了大量研究;周世宁、林柏泉对煤层瓦斯流动和赋存规律进行了研究^[2];孙培德建立

了可压缩性瓦斯在煤层内的非线性流动理论模型^[3];罗新荣提出了考虑 Klinkenberg 效应而修正的达西定律,并给出了其适用范围^[4]。在流固耦合方面,赵阳升提出了煤层瓦斯流动的固结数学模型^[5];刘建军等建立了煤储层流固耦合渗流模型^[6];Satya Harpalani 等研究了瓦斯解吸涌出对煤体结构和渗透率的影响,并提出瓦斯的解吸涌出会增大渗透率最大

收稿日期:2011-11-22 责任编辑:毕永华

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40804070);教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-10-0768);煤炭资源与安全开采国家重点实验室(中国矿业大学)自主研究项目(SKLCRSM09X01)

作者简介:马衍坤(1985—),男,山东肥城人,博士研究生。E-mail:mykunbest@126.com。通讯作者:王恩元(1968—),E-mail:weytop@263.net

到 6 倍^[7]; G. Z. Wang 等通过实验提出 CH₄ 和 CO₂ 的吸附解吸会引起煤体内孔隙孔径的变化, 进而影响到煤体的渗透率^[8]。

瓦斯运移必然导致煤岩体结构变化, 由此引起的地球物理场效应也得到了广泛的重视。王恩元等通过实验发现了非平衡态气体使煤体产生电磁辐射和声发射, 并对其机理进行了分析^[9]; 李忠辉、王恩元等对瓦斯在煤体中运移引起的电位信号进行了研究, 发现瓦斯在煤体中流动引起煤体电位变化^[10]; Z. Majewska 等利用声发射研究了 CO₂ 和 CH₄ 的混合气体和煤基质间的相互作用^[11]。

综上所述, 国内外关于瓦斯流动方面的研究成果比较丰富, 然而以往的研究大多集中在对煤体渗透率的变化规律及瓦斯流动模型方面, 而采用声发射技术来研究瓦斯流动机理的文献鲜见报道。声发射技术可以监测煤体内部损伤的程度及其演化过程, 由于瓦斯吸附渗流是个流固耦合过程, 伴随着煤岩体内部微观结构的变化, 利用声发射技术对这一过程进行监测, 可以很好地反映出瓦斯吸附渗流过程中煤岩体内部微观结构损伤演化过程, 进而可以分析瓦斯渗流特征规律。鉴于此, 本文原煤试样为研究对象, 设计并搭建了煤体吸附瓦斯声发射监测实验系统, 测试了煤体瓦斯吸附渗流过程的声发射信号特征, 分析了瓦斯吸附渗流过程煤体损伤演化及瓦斯渗流的动态过程。研究结果对于深入研究瓦斯流动规律和煤层瓦斯的抽采利用具有重要的理论意义。

1 实验系统及方法

1.1 实验系统与材料

实验系统包括 CTA-1 声发射信号采集系统、密封缸体、高压瓦斯气源、管路系统、阀门和压力表等, 如图 1 所示。实验进行吸附解吸瓦斯的煤样采用原煤试样, 采自贵州省织金县岩脚煤矿 M16 煤层, 加工成 $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的圆柱体煤样。实验采用美国物理声学公司的 CTA-1 声发射采集系统。CTA-1 设定信号门限值 30 dB, 采样频率 500 kHz。密封缸体采用刚性结构, 缸体中部开口接出气体管路, 缸体的内壁与煤体表面保持一定的距离。实验所采用的气体为 99.9% 的高纯瓦斯气体。

1.2 实验方案

首先用抽气机对密封缸体抽真空, 保持 30 min; 启动 CTA-1 系统, 对不充瓦斯时缸体内的声发射信号进行监测, 约 10 min; 然后充入瓦斯气体, 保持一定瓦斯压力, 并对煤体吸附过程的声发射信号进行监测, 持续 30 min 左右, 然后打开阀门放气; 监测完毕

后, 重新对密封缸体抽真空, 并改变吸附瓦斯压力进行下一组实验。

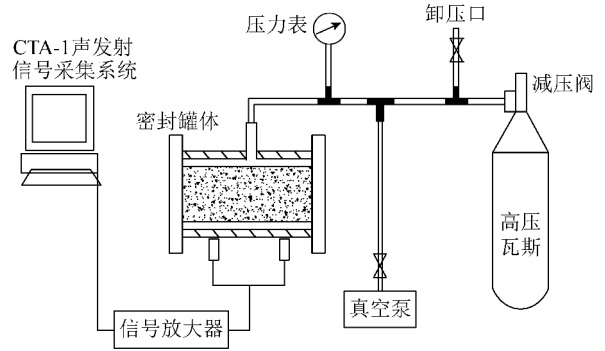


图 1 实验系统结构

Fig. 1 Schematic of experimental system

2 实验结果与讨论

2.1 实验结果

实验首先对不充瓦斯时密封缸体内的声发射信号进行了监测, 如图 2 所示, 可以看出实验系统的背景噪音较微弱, 对本文的实验不会造成影响。

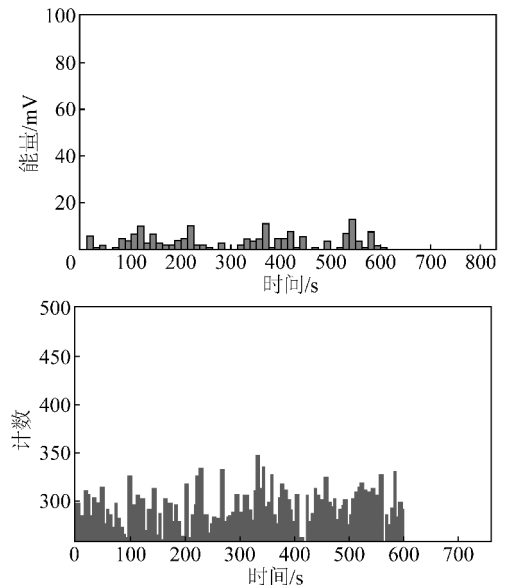


图 2 实验系统的背景声发射信号

Fig. 2 AE signals monitored without high pressure methane

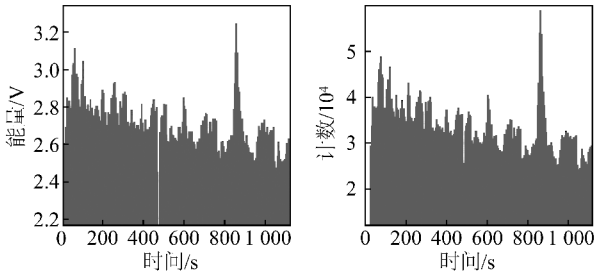
向密封缸体充入一定压力的瓦斯气体, 使其在煤体周围产生围压作用。煤体内部和外部瞬间产生瓦斯压力差, 而在压力梯度的影响下, 煤体中开始出现吸附渗流。瓦斯压力梯度对煤体微观结构产生破坏, 同时煤体吸附瓦斯会使煤基质产生膨胀微变形或破裂, 在这两种因素的影响下, 煤体会产生声发射信号。

图 3 为煤样在不同瓦斯压力下吸附过程的声发射信号, 从图中可以看出, 声发射信号在煤体吸附过程初期是最强的, 而随着吸附量的增加, 声发射信号

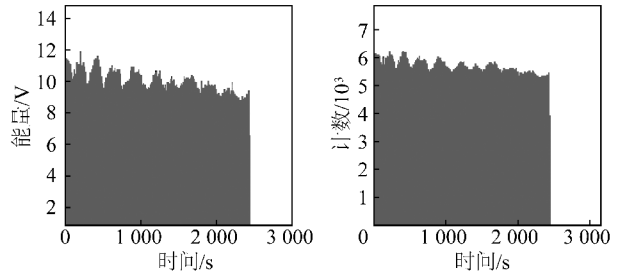
逐渐减弱。

在吸附渗流的最初几秒内,声发射信号较微弱,

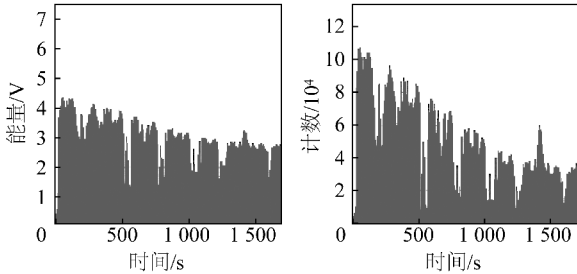
这可能是因为充气刚结束时,煤体表面发生的吸附作用对煤体产生的微观破坏较小。



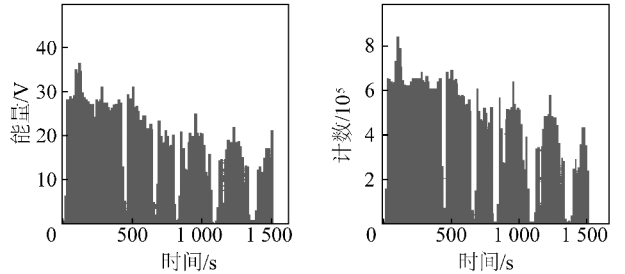
(a) 1号煤样在0.5 MPa时吸附瓦斯过程



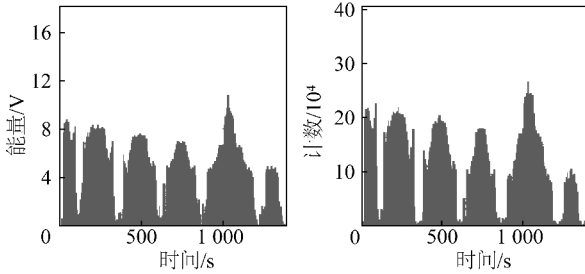
(b) 2号煤样在0.6 MPa时吸附瓦斯过程



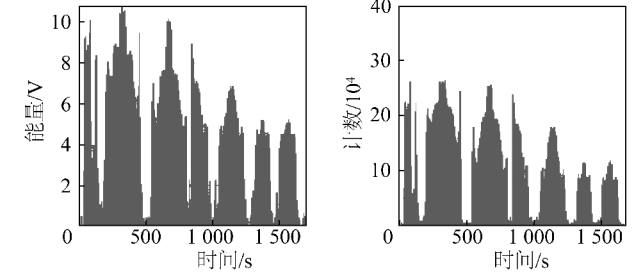
(c) 3号煤样在0.7 MPa时吸附瓦斯过程



(d) 4号煤样第1次在0.6 MPa时吸附瓦斯过程



(e) 4号煤样第2次在0.6 MPa时吸附瓦斯过程



(f) 4号煤样第3次在0.6 MPa时吸附瓦斯过程

图3 煤体吸附过程声发射信号

Fig. 3 AE signals of sorption-desorption cycles under constant pressure

随着吸附渗流过程的发展,声发射信号出现阵发性,如图3所示,煤体中声发射信号出现一个密集段后便进入一个非常短暂的间歇段。间歇段的持续时间相比密集段非常短暂,且声发射信号相比密集段非常微弱。随后,声发射信号又进入下一个密集段。随着吸附渗流过程进行,声发射信号密集段的信号强度逐渐减弱。

2.2 讨论

虽然大量文献认为瓦斯吸附导致的煤体变形是可逆的,煤体膨胀变形都会随着瓦斯的解吸渗出而恢复^[12-14]。但近年一些研究发现,煤体吸附瓦斯后的变形是不可逆的,存在一定的残余变形,而且瓦斯吸附会改变煤体内部微观结构^[15-16]。

很多学者的相关实验一般将煤样置于封闭空间内进行瓦斯或其它气体吸附,同时测量煤样的体积应变。由于封闭空间内煤样的质量是恒定的,瓦斯吸附与解吸过程不会造成煤体质量变化,因而当瓦斯解吸释放后,罐体内环境恢复到原始状态,煤体的宏观变

形会恢复到原始状态,这种现象是正常的。

但是,煤体宏观变形的恢复不表明煤体内部微观结构都恢复到原始状态。在瓦斯气体的吸附渗流过程中煤体内部结构可能会发生重构、微观孔隙结构的破裂等现象^[15]。而煤体内部瓦斯压力梯度的存在也会对煤体产生一定的损伤^[17-18]。

2.2.1 瓦斯吸附渗流过程声发射产生机理

声发射是煤岩体内部原有缺陷或损伤发生破裂或扩展,煤岩体内部结构发生变化并以弹性波的形式快速释放能量传播。煤岩体的声发射反映了煤岩体内部的损伤程度,并与其内部缺陷或损伤的演化直接相关^[19-20]。通过煤岩体的声发射信号特征,可以分析煤岩体损伤演化过程。

通过对实验结果的分析认为,煤体瓦斯吸附渗流过程产生的声发射信号主要来自两个方面:一是瓦斯在煤体内吸附,使煤基质膨胀变形,煤体微观结构发生微变形或微破裂而产生声发射信号^[15-16];另一个方面是由于煤体内部瓦斯压力梯度的存在,使煤体微

观结构产生拉伸或剪切破裂^[17-18,21],从而产生声发射信号。

微观上,煤体吸附瓦斯导致煤体膨胀,产生微变形或微破裂。煤体的表面具有吸附势阱,瓦斯气体分子被煤体吸附,降低了煤体表面自由能,煤体发生膨胀,而且瓦斯吸附量越大,煤体表面能降低也越大,造成的煤体的膨胀变形也随之增大,如式(1)所示。同时瓦斯渗入煤基质中,会产生附加膨胀应力,造成煤体微观结构的破坏。

$$\delta = \lambda \Delta\gamma \quad (1)$$

式中, δ 为固体相对变形量; λ 为比例系数; $\Delta\gamma$ 为煤体表面能变化量。

细观上,瓦斯压力梯度对煤体微观结构的破坏作用。瓦斯压力梯度是导致煤体拉应变增高从而破坏的直接原因,瓦斯压力梯度的增大可引起有效拉应力的增加^[18,21]。丁晓良,俞善炳等在实验中发现,当瓦斯压力梯度足够大时,会对煤体产生破坏,而且层裂的特征长度与瓦斯渗流和煤体的抗拉强度密切相关^[17]。这表明煤体存在可对煤体微观结构产生破坏的临界瓦斯压力梯度,且这个临界值与煤体的抗拉强度密切相关,如式(2)所示。

$$\text{grad } P \geq K_i \quad (2)$$

其中, $\text{grad } P$ 为瓦斯压力梯度; K_i 为对煤体可产生破坏的临界压力梯度。

实验中采用的瓦斯压力是一定的,而煤体中的瓦斯压力梯度还要取决于长度。虽然实验中瓦斯压力较小,但仍然可以在局部微小段形成较高的瓦斯压力梯度,从而使煤体中的微孔隙结构受到破坏。

2.2.2 瓦斯逐层吸附渗流过程

从图3可以发现煤体吸附瓦斯过程中,声发射信号呈现阵发性,即声发射信号在时域上呈现密集段与间歇段相连的特征。从这一点可以推断,瓦斯向煤体内部流动的过程可能是一个瓦斯向煤体逐层渗透的过程。

吸附过程初期,向密封缸体中充气刚完成,此时的声发射信号很微弱,这表明瓦斯在煤体表面的吸附对煤体产生的微变形或微破裂很微小。

随后声发射信号进入第1个密集段,这是由于在吸附渗流刚开始时,煤体最外层形成的局部瓦斯压力梯度较高,在瓦斯压力梯度的作用下煤体内部拉应力提高,使煤体微观结构受到拉伸或剪切破坏;同时瓦斯在煤体内的吸附使煤体产生膨胀变形,煤体内部发生微变形或微破裂。两种作用下,煤体受到损伤破坏,并释放能量。

声发射信号密集段后就是一个短暂的间歇段,这

个短暂的时间段内声发射信号较微弱。这是由于当瓦斯在煤体的最外层造成破坏损伤后,瓦斯渗流的阵面压力急剧降低,在阵面的瓦斯压力无法形成可以造成损伤的压力梯度。此时瓦斯气体将会在煤体内开始积聚能量阶段,即蓄能阶段。在煤体内外瓦斯压力梯度的作用下,瓦斯气体不断地吸附、扩散和渗流,使得渗流阵面的瓦斯压力增加,同时声发射信号也进入下一个密集段。从图3中可以看出,声发射信号的间歇段仅持续几秒钟时间,相比于声发射信号的密集段是非常短暂的。

综上所述,通过瓦斯吸附渗流的声发射信号可以推断出瓦斯吸附渗流其实是逐层进行的。首先,在煤体最外层形成了较高的局部瓦斯压力梯度,瓦斯突破煤体最外层,同时瓦斯渗流阵面的压力急剧下降。随后,随着瓦斯继续吸附渗流,直到渗流阵面的瓦斯压力及形成的局部压力梯度足够大时,开始突破下一层煤体。

2.2.3 瓦斯逐层渗流的压力特征及渗流模式

吸附过程初期,由于煤体外部瓦斯压力保持恒定,而煤体内部经过抽真空后瓦斯压力为零,煤体最外层形成较高的局部瓦斯压力梯度,瓦斯发生破坏煤体-渗流,即这一过程为具有动力破坏效应的破坏式渗流。

如图4所示, ab 段表示瓦斯压力梯度对煤体的首次破坏范围。当瓦斯渗透到 a 和 b 两点中某一位置 a' 时,意味着渗流阵面也就是破坏阵面到达该点,此时 a' 位置渗流阵面与 b 点位置所形成的瓦斯压力梯度要大于临界破坏压力梯度,因而破坏阵面还将继续前进,如式(3)所示。

$$K_i = \frac{P_a - P_b}{L_1} < \frac{P_{a'} - P_b}{L_{a'b}} \quad (3)$$

式中, $(P_a - P_b)/L_1$ 为 a 点与 b 点的瓦斯压力梯度; $(P_{a'} - P_b)/L_{a'b}$ 为 a' 点与 b 点的瓦斯压力梯度。

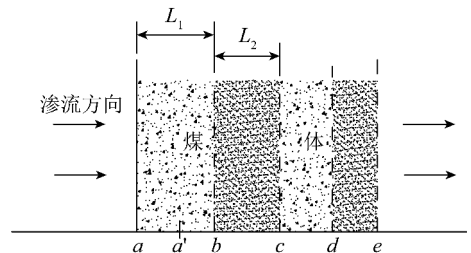


图4 一维条件下瓦斯逐层渗流模型

Fig. 4 One dimensional seepage model by layer of gas

这也意味着,瓦斯逐层渗流时的每一层厚度是以临界破坏压力梯度为准,如式(4)所示。瓦斯压力梯度对煤体破坏的厚度与煤体内瓦斯渗流和煤体的抗

拉强度相关^[17]。

$$\frac{dP}{dL} \geq K_i, \frac{P_a - P_b}{L_1} = K_i \quad (4)$$

式中, dP/dL 为瓦斯压力梯度。

图4中 L_1 为瓦斯吸附过程发生的最外层破坏的影响范围, 该位置处瓦斯渗流阵面的压力也会由于能量的释放而下降到零, 瓦斯压力梯度随之降低到不足以破坏煤体微观结构, 此时, 瓦斯将进入无动力效应的渗流模式。由于瓦斯压力梯度的存在, 瓦斯的流动模式将以吸附扩散和线性渗流的方式为主。其渗流方程如式(5)所示。

$$v_i = -\frac{k}{\mu} \left(\frac{dP}{dL} - K_i \right) \quad (5)$$

式中, v_i 为渗流速度; k 为煤体的渗透率; μ 为瓦斯运动黏度。

由此可知, 声发射信号出现间歇段, 不意味瓦斯流动的暂停或停止, 此时最外层煤体内瓦斯处于无破坏能力的渗流阶段, 吸附膨胀导致的煤体微变形或微破裂依然会产生声发射信号。这个阶段同时也是一个蓄能阶段, 瓦斯的不断吸附和渗流, 渗流阵面的瓦斯压力上升, 又进入下一个破坏-渗流阶段, 如图4所示, L_2 为第2个破坏-渗流的影响范围。声发射信号的间歇段时间非常短暂, 从图3中可以看出, 声发射密集段持续几百秒的时间, 而间歇段仅持续几秒到几十秒的时间。

瓦斯在煤体中的流动存在黏性阻力和惯性阻力, 因而在第2个破坏-渗流阶段的瓦斯压力要略小于外部瓦斯压力, 对煤体微观结构的损伤破坏能力因此而减弱。

由以上所述可知, 即使实验中瓦斯压力较小, 但其仍然具有对煤体的破坏能力, 只是对煤体破坏的影响范围较小。这也表明, 煤体中瓦斯会在局部形成较高的局部瓦斯压力梯度, 会对煤体微观结构产生破坏。

3 结 论

(1) 瓦斯吸附渗流过程中, 瓦斯分子进入煤基质, 造成煤体膨胀变形, 煤体内部微观结构发生微变形或微破裂, 同时瓦斯吸附过程中存在的压力梯度会使煤体内部微观结构产生拉伸或剪切破坏, 这两个过程会产生声发射信号。

(2) 瓦斯吸附渗流过程中, 声发射信号在时域上呈现密集段与间歇段相连的特征。密集段的声发射信号比间歇段强, 且随着吸附渗流进行, 声发射信号逐渐减弱。

(3) 瓦斯向煤体吸附渗流呈现逐层渗透模式。当煤体内瓦斯压力梯度大于煤体破坏的临界压力梯度时, 瓦斯表现为具有动力效应的破坏-渗流模式, 这个阶段对应着声发射信号密集段; 而煤体受到破坏后, 瓦斯渗流阵面的压力下降, 瓦斯流动呈现不具动力效应的渗流模式, 这个阶段对应着声发射信号间歇段, 同时也是瓦斯蓄能阶段。

(4) 瓦斯吸附渗流过程中, 煤体内局部可形成较高的瓦斯压力梯度, 会对煤体微观结构产生破坏。

参考文献:

- [1] 周世宁, 孙辑正. 煤层瓦斯流动理论及其应用[J]. 煤炭学报, 1965, 2(1): 24-37.
Zhou Shining, Sun Jizheng. Theory of gas flow and its application [J]. Journal of China Coal Society, 1965, 2(1): 24-37.
- [2] 周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯流动及赋存规律[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [3] 孙培德. 煤层瓦斯流场流动规律的研究[J]. 煤炭学报, 1987(4): 74-82.
Sun Peide. Research on the law of gas flow in coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 1987(4): 74-82.
- [4] 罗新荣. 煤层瓦斯运移物理模型及理论分析[J]. 中国矿业大学学报, 1991, 20(3): 55-61.
Luo Xinrong. Physical simulation and analysis of methane transport in coal seams[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1991, 20(3): 55-61.
- [5] 赵阳升. 煤层瓦斯流动的固结数学模型[J]. 山西矿院学报, 1990, 8(1): 16-22.
Zhao Yangsheng. The consolidation mathematical model of gas flow in coal seam[J]. Shanxi Mining Institute Learned Journal, 1990, 8(1): 16-22.
- [6] 刘建军, 刘先贵. 煤储层流固耦合渗流的数学模型[J]. 焦作工学院学报, 1999, 18(6): 397-401.
Liu Jianjun, Liu Xiangui. The coupled mathematical model of fluid-solid in coal reservoir[J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology, 1999, 18(6): 397-401.
- [7] Harpalani Satya, Chen Guoliang. Estimation of changes in fracture porosity of coal with gas emission[J]. Fuel, 1995, 74(10): 1491-1498.
- [8] Wang G X, Wei X R, Wang K, et al. Sorption-induced swelling/shrinkage and permeability of coal under stressed adsorption/desorption conditions[J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 83: 46-54.
- [9] 王恩元, 何学秋, 李忠辉, 等. 煤岩电磁辐射技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [10] 李忠辉, 王恩元, 谢绍东, 等. 煤体瓦斯运移诱发电位信号的实验研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(9): 1481-1485.
Li Zhonghui, Wang Enyuan, Xie Shaodong, et al. Experimental research on electric potential signals induced by gas flowing in coal [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(9): 1481-1485.
- [11] Majewska Z, Zietek J. Acoustic emission and sorptive deformation

- induced in coals of various rank by the sorption-desorption of gas [J]. *Acta Geophysical*, 2007, 55(3):324-343.
- [12] Elisa Battistutta, Patrick van Hemert, Marcin Lutynski, et al. Swelling and sorption experiments on methane, nitrogen and carbon dioxide on dry Selar Cornish coal[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2010, 84:39-48.
- [13] Chikatamarla L, Cui X, Bustin R. Implications of volumetric swelling/shrinkage of coal in sequestration of acid gases[A]. *International Coalbed Methane Symposium Proceedings Alabama* [C]. Tuscaloosa, Alabama, 2004:435.
- [14] 刘延保, 曹树刚, 李 勇, 等. 煤体吸附瓦斯膨胀变形的试验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2010, 29(12):2484-2490.
Liu Yanbao, Cao Shugang, Li Yong, et al. Experimental study of swelling deformation effect of coal induced by gas adsorption[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2010, 29(12):2484-2490.
- [15] Majewska Z, Majewski S, Ziętek J. Research into the origin of acoustic emission induced in hard coal by gas and water flow [A]. Gibowicz S J, Lasocki S. *Rockburst and Seismicity in Mines* [C]. Rotterdam-Brookfield: A. A. Balkema, 1997.
- [16] Pone J D N, Halleck P M, Mathews J P. 3D characterization of coal strains induced by compression, carbon dioxide sorption and desorption at in situ stress conditions [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2010, 82:262-268.
- [17] 丁晓良, 丁雁生, 俞善炳, 等. 煤在瓦斯一维渗流作用下的初次破坏[J]. *力学学报*, 1990, 22(2):154-162.
Ding Xiaoliang, Ding Yansheng, Yu Shanbing, et al. Incipient fracture of coal under one dimensional gas seepage[J]. *Acta Mechanica Sinica*, 1990, 22(2):154-162.
- [18] 丁晓良, 俞善炳, 丁雁生, 等. 煤在瓦斯渗流作用下持续破坏的机制[J]. *中国科学(A 辑)*, 1989(6):600-607.
Ding Xiaoliang, Yu Shanbing, Ding Yansheng, et al. Continuous damage mechanism of coal under gas seepage[J]. *China Science (A)*, 1989(6):600-607.
- [19] 王恩元. 含瓦斯煤破裂的电磁辐射和声发射效应及其应用研究[D]. 徐州:中国矿业大学, 1997.
- [20] 氏平增之. 煤和瓦斯突出的模型研究及其机理探讨[A]. 第 21 届国际采矿安全会议论文集[C]. 1985:80-85.
- [21] 何学秋, 刘明举. 含瓦斯煤岩破坏电磁动力学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1995.

《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

近日,从 Elsevier 二次文献数据库部获悉,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。