

深部开采围岩应力对煤巷瓦斯运移的影响

王海涛^{1,2*}, 沈斌^{2,3}, 闫玉彪^{1,4}

(1.黑龙江工业学院 资源工程系,黑龙江 鸡西 158100;2.黑龙江科技大学 黑龙江省普通高校采矿重点实验室 哈尔滨 150000;
3.黑龙江科技大学 安全工程学院 哈尔滨 150000;4.中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室,北京 100083)

摘要:为了了解深部开采围岩应力作用下坚硬煤层瓦斯渗流规律,利用自制三轴渗透仪模拟煤样在稳定围压下渗流速度与轴压的关系曲线,并建立分段模拟方程.后利用FLAC^{3D}软件建立深部围岩应力对煤层掘进区域力学模拟,以及掘进工作面瓦斯渗流相关数据测定和整理,分析得出:实验室测定围岩应力与瓦斯渗流速度模拟结果与实测数据模拟结果相吻合,深部围岩应力作用下,坚硬煤层巷道区域不同部位,瓦斯渗流速度具有差异性.数据拟合后发现瓦斯渗透速度具有分段特性,即煤巷顶、底板和巷道两帮区域瓦斯渗流速度特性与巷道起拱线区域瓦斯渗流速度特性不同.同时,分别建立了数学模型.深部围岩应力作用下,坚硬煤层巷道瓦斯运移特性的发现,能够指导煤巷掘进工作面瓦斯治理工作.

关键词:围岩应力;瓦斯渗流;FLAC^{3D}

中图分类号:TD32 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2016)04-0014-05

On deep surround rock stress on coal seam roadway area gas seepage effect

WANG Haitao^{1,2}, SHEN Bin^{2,3}, YAN Yubiao^{1,4}

(1. Resource Engineering Department, Heilongjiang University of Technology, Jixi 158100, China;

2. Key Laboratory of Mining Engineering of Heilongjiang Provincial Higher Learning Institution, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150000, China;

3. College of Safety Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150000, China;

4. State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to find the hard seam gas seepage laws under the deep surrounding rock stress, the relationship curves of seepage velocity and axial pressure of coal sample under stable confining pressure are simulated by the three self-made axis penetration instruments. The use of FLAC^{3D} software and the data of gas seepage analysis results show that the numerical simulation results are consistent with the experimental results. Under the ground stress, the gas seepage velocity is different in roadway roof, roadway floor, roadway sides, and roadway arch line of the hard coal seam roadway area. At the same time, two areas mathematical model are established. These features can guide the gas treatment on the work place.

Key words: surrounding rock stress; gas seepage; FLAC^{3D}

随着煤矿开采深度的增加,煤层中掘进巷道的煤与瓦斯突出问题越发严重^[1,2].在煤层应力和瓦斯参与作用下(煤体与瓦斯固-气耦合作用),煤、岩体稳定状态遭到破坏,煤体与瓦斯大量涌出是导致煤与瓦斯突出重要原因^[3,4].加之,深部煤层受围岩应力的增大影响,煤层透气低,瓦斯渗流具有特殊性^[5-8].

国内学者对煤层深部开采围岩应力对瓦斯运移影响做了很多研究并取得了重要成果.其中张天军

收稿日期:2016-05-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51504088);黑龙江省普通高校采矿重点实验室开放课题资助项目(2014KF05);鸡西市科学技术计划资助项目(2014R184)

*通信作者,E-mail: wht820718@163.com

等^[8]研究认为工作面前方矿山压力作用是影响瓦斯涌出量主要因素,并做了定量分析.刘小虎等^[9]研究认为瓦斯涌出量增大略滞后于煤层压力的增大.蔡建德、李化敏等^[10,11]认为周期来压期间瓦斯渗流速度与围岩压力具有很好的一致性.王家臣等^[12]研究发现在工作面回采过程中,工作面煤岩的渗透率随其所受应力状态降低而升高,导致瓦斯逸出量和逸出速度急剧变化.何满朝等^[13]通过110工法研究认为煤体在外荷载作用下渗透率的改变是逸出气体压力变化的根本原因.

本文以鸡西矿业集团双河煤矿主采煤层为例,利用实验室研究结合数值模拟以及现场数据测定验证方法,分析采区煤层掘进巷道区域的瓦斯渗流特性与煤层深部围岩应力之间关系,建立煤体的瓦斯渗透率与深部围岩应力数学模型,从而发觉坚硬煤层煤与瓦斯突出与深部围岩应力作用规律.规律的研究对煤矿坚硬煤层开采中的瓦斯灾害防治具有理论和实际意义.

1 实验研究

1.1 试样与实验装置

使用自制式渗流压力装置,如图1所示,实验设备由三轴压力机改装而成.煤样标准为直径50 mm,高100 mm,型煤成型压力为200 kN.

1.2 方法与流程

本次实验采用甲烷气体.根据矿井已经测定的瓦斯平均压力(0.25 MPa),设定实验恒定围压.恒定温度为室温20℃,流程如下:

1)将煤样放入压力渗透仪内,稳定仪器围压、轴压和温度,检查装置气密性.后通入甲烷气体,充分吸附24 h;

2)逐渐改变轴压,在试样吸附甲烷0.5 h后,释放甲烷5 min,同时测定甲烷渗流速度;

3)重复进行3个煤样实验;

4)对测定的数据取算数平均值,利用数据绘制渗流速度与轴向应力曲线图.

1.3 结果分析

渗流速度与轴向应力曲线,如图2所示.

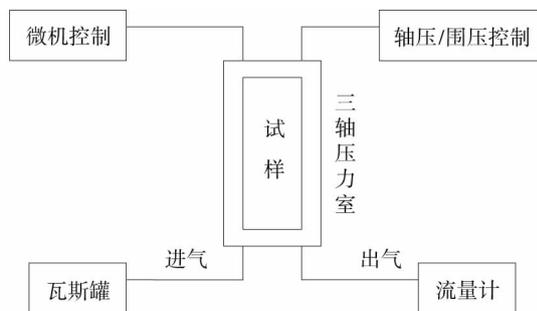


图1 自压式渗透装置原理

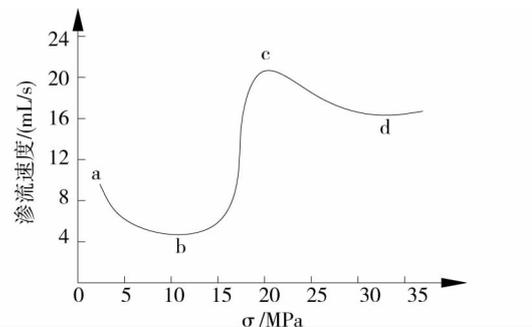


图2 渗流速度与轴向应力曲线

根据测定数据模拟数学模型,如式(1)所示:

$$\left. \begin{array}{l} v = v_b + \frac{dv}{d\sigma}\sigma, (a - c) \\ v = v_c - \frac{dv}{d\sigma}\sigma, (c - d) \\ R^2 = 0.9163 \end{array} \right\} \quad (1)$$

式中, v :渗流速度,mL/s; v_b :最低渗流速度,mL/s; v_c :最高渗流速度,mL/s; σ :地压力,MPa; R^2 :判定系数,即公式拟合准确度.

2 深部围岩应力与渗流特性的关系

2.1 FLAC^{3D}数值模拟

双河煤矿井田位于鸡西煤田南部条带中部、鸡西复向斜的南翼,北邻平阳-麻山大逆掩断层,南有北

东向、北西向的较大正断层,形成构造三角地带.井田内主要构造是断层,仅在深部和浅部存在有小向背斜,小向背斜比较宽缓.区域一级构造较少,而多数都是次级的中、小构造.井田范围内主采煤层属中等变质的烟煤,沥青光泽节理不发育,煤质坚硬,但性脆易破碎,柱状节理发育,断口以参差状为主.煤的结构和构造较复杂,一般为叶片状、粒状、条带状结构,阶梯状、贝壳状断口.

运用瓦斯地质学、岩石力学、渗流力学等理论,采用数值仿真、理论分析、数值实验和现场验证的方法,以地质条件下的力学分析为主,围绕瓦斯赋存和运移,开展煤矿瓦斯赋存和运移的力学机制及应用研究^[14-17].为深入分析煤巷掘进过程中周边围煤应力、破坏及位移等力学特征演化规律,以鸡西矿业集团双河煤矿煤巷掘进工作面地质条件为背景,结合实验室对取回的煤样进行相关参数测定.

利用 FLAC^{3D}数值模拟软件,建立三维模型进行分析.模型的前后与左右边界都施加水平方向的约束力,并且模型底部边界固定,边界的水平位移均设置为零,模型顶部加载与模型上方煤层的容重相等的应力,围岩应力加载为重力加速度 -9.8 m/s^2 ,煤层容重 $2\,500\text{ kg/m}^3$,体积模量 2.2 GPa ,剪切模量 1.5 GPa ,抗拉强度 8.7 MPa ,内摩擦角 27° ,内聚力 3 MPa ,厚度 6 m .将重点区域作为重点分析研究的对象时,在建立数值模型时对区域单元格进行相对细化处理.数值模型的几何尺寸足够大,力学参数和边界条件及模型初始条件尽可能与工程实际相符.

依据双河煤矿煤层巷道净宽为 4.2 m ,净高为 4.2 m ,建立模型尺寸为 $62.5\times 5\times 56.05$,煤巷塑性区范围以及水平和垂直应力的分布图,如图3所示.

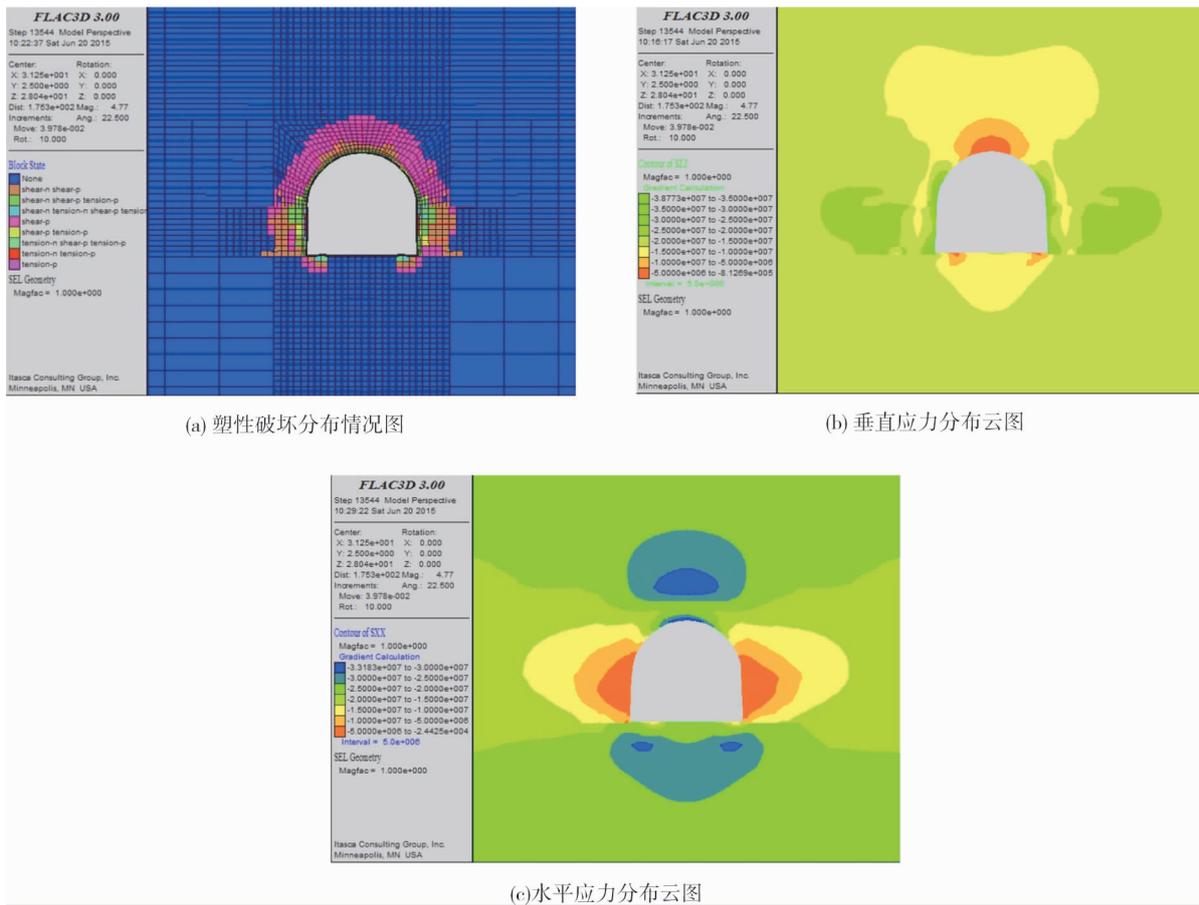


图3 煤巷塑性区范围以及水平和垂直应力的分布

由图1a可以看出巷道塑性破坏范围相对较大,两帮部下端塑性区范围最大,达到 1.4 m ,帮部其他位置塑性区破坏范围 $1.15\sim 1.3\text{ m}$,巷道顶部破坏深度最大达 1.4 m ,位于顶端,在半圆型顶板两端,塑性区破坏范围达到 1 m ,底板两侧破坏严重,深度为 1 m .由图1b可以看出,巷道两帮出现应力集中,其中在左帮下端围岩 $0.0\sim 1.0\text{ m}$ 范围内、起拱线(两帮与圆弧形顶板相接处)应力最为集中,最大应力值为 38.8 MPa .巷道顶、底板出现应力降低区,顶板最小应力值为 0.81 MPa ,上方呈拱高 1.4 m 的抛物线形状.在巷道两帮

围岩内约 1.2 m 处出现了应力降低区,应力值为 1.0~1.5 MPa.由图 1c 可以看出,巷道顶板上部 1.0~2.2 m 范围内出现应力集中,巷道底板 0.9~1.3 m 也出现大范围的应力集中,巷道底板两侧以下 0.9~1.3 m 的小范围内,应力最大集中,应力值为 33 MPa.

2.2 深部围岩应力影响下实际测定应力与瓦斯渗流关系

对矿井已经掘进的巷道按图 4a 测定点位置,使用 MD-2 煤钻屑瓦斯解吸仪(图 4b)测定瓦斯解析值^[18],使用围岩荷载观测仪和围岩钻孔应力监测仪(图 4c),观测巷道表面围岩应力大小,煤体钻孔内应力大小,其中测定围岩应力为了验证模拟模型的准确性.



图4 测点位置及仪器

对测定的瓦斯渗流速度和围岩应力值进行分析整理,后经数据模拟出图 5 所示模型.

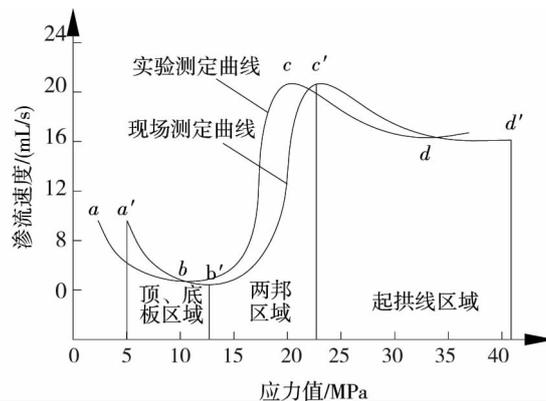


图5 渗流速度与围岩应力曲线关系

从图 5 可以看出,瓦斯渗流速度-围岩应力变化曲线具有分段性, $a \sim b$ 段瓦斯渗流速度下降比较缓慢, b 点为瓦斯渗流速度最低点即围岩应力 10 MPa 点. $b \sim c$ 段瓦斯渗流速度上升极快,一直达到最大值峰值 c 即围岩应力为 20 MPa 点. $c \sim d$ 段瓦斯渗流速度达到峰值后,渗流速度随轴压增大逐渐降低,但降低幅度较小,降低到一定程度后基本趋于稳定.

3 实验室测定、模拟结果及现场测定分析

经过现场实际围岩应力测定结果表明:

1) 实际测定瓦斯流速度与围岩应力曲线与实验室条件下测定的曲线基本一致.说明在理想环境下,实验室研究具有一定参考价值,能够对实际测定曲线起到校对作用;

2) FLAC^{3D} 数值模拟结果基本上反映了煤层巷道围岩应力的真实分布,说明数值模型选择正确可靠,对现场有借鉴和指导作用;

3) 水平应力云图表明,水平应力平稳,相对不集中,应力值不强,故水平应力对瓦斯渗流速度影响不大;

4) 通过数值模拟和现场围岩应力值测定分析可知:(1)煤层巷道顶、底板区域围岩应力值相对较小,渗透速度随围岩应力增大而减少,与图 3 和图 5 的 $a-b/a'-b'$ 段吻合.其原因为,煤体围岩应力的作用下

原生裂隙被压密实,新裂隙还未生成,阻碍了瓦斯渗流释放;(2)煤层巷道两帮区域,围岩应力相对集中,应力值相对较大,渗透速度随围岩应力增大而增大,与图3和图5的 $b-c/b'-c'$ 段吻合.其原因为,巷道两帮区域围岩应力作用破坏了煤体结构,增加了煤孔隙结构变形和瓦斯渗流孔道,而孔隙压力增加会使煤孔隙结构扩张,吸附瓦斯层变薄、瓦斯吸附量减少,瓦斯渗流程度和速度增大;(3)煤层巷道起拱线区域,围岩应力最为集中,应力值较大,瓦斯渗流速度达到峰值后,渗流速度随围岩应力增大逐渐降低,但降幅度缓慢,降低到一定程度后基本趋于稳定,与图3和图5的 $c-d/c'-d'$ 吻合.其原因为,煤体在集中围岩应力的影响下,孔隙逐渐压缩变小,使部分游离态瓦斯转变为吸附态,滑脱效应逐渐消失,瓦斯渗透率逐渐降低.

4 结论

1)模型准确可靠,能够反映煤层巷道围岩应力分布情况,表明气体渗流流量变化受应力状态改变明显,对现场施工有一定预测和指导意义.

2)瓦斯渗出流量变化滞后于应力状态的变化.

3)围岩应力是影响双河煤矿主采煤层瓦斯渗流特性重要因素.

参考文献:

- [1] 李化敏,王文,熊祖强.采动围岩活动与工作面瓦斯涌出关系[J].采矿与安全工程学报,2008,25(1):11-16.
- [2] 胡祖祥,谢广祥.煤层瓦斯压力受控于采动应力的“异步-同步”特征研究[J].采矿与安全工程学报,2015,32(6):1037-1042.
- [3] 刘杰,王恩元,赵恩来,等.深部工作面采动应力场分布变化规律实测研究[J].采矿与安全工程学报,2014,41(1):60-65.
- [4] 谢广祥,王磊.采场围岩应力壳力学特征的岩性效应[J].煤炭学报,2013,38(1):44-49.
- [5] 蒋长宝,尹光志,黄启翔,等.含瓦斯煤岩卸围压变形特征及瓦斯渗流试验[J].煤炭学报,2011,1(5):802-807.
- [6] 张勇,张保,张春雷,等.厚煤层采动裂隙发育演化规律及分布形态研究[J].中国矿业大学学报,2013,42(6):935-940.
- [7] 魏晨慧,朱万成,白羽,等.变温条件下深部煤层瓦斯分布规律的数值模拟[J].东北大学学报(自然科学版),2015(7):1033-1036.
- [8] 张天君,苏琳,乔宝明,等.矿压与煤层瓦斯涌出量关联性分析[J].西安科技大学学报,2011,31(6):703-707.
- [9] 刘小虎,查文化,熊礼军,等.采动围岩活动与回采工作面瓦斯涌出关系[J].煤矿安全,2013,44(2):176-182.
- [10] 蔡建德,李战军,李化敏.顶板周期来压与采场瓦斯涌出的关系研究[J].矿冶工程,2009,29(2):12-15.
- [11] 李化敏,王文,熊祖德.采动围岩活动与工作面瓦斯涌出关系[J].采矿与工程安全学报,2008,25(1):11-16.
- [12] Wang J C, Wu R L, Zhang P. Characteristics and applications of gas desorption with excavation disturbances in coal mining [J]. International Journal of Coal Science & Technology, 2015,2(1):30-37.
- [13] 何满潮,任晓龙,宫伟力,等.矿山压力对煤矿瓦斯涌出影响实验分析及其控制[J].煤炭学报,2016(1):7-13.
- [14] 陶云奇,许江,程明俊,等.含瓦斯煤渗透率理论分析与试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(s2):3363-3370.
- [15] 苏承东,翟新猷,李永明,等.煤样三轴压缩下变形和强度分析[J].岩石力学与工程学报,2006,25(s1):2963-2968.
- [16] 吴世跃,赵文.含吸附煤层气煤的有效应力分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(10):1674-1678.
- [17] 唐巨鹏,潘一山,李成全,等.有效应力对煤层气解吸渗流影响试验研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(8):1563-1568.
- [18] 王海涛,荣向东,赵龙刚,等.基于地质勘探和分析法的瓦斯赋存规律研究[J].矿业工程研究,2013,28(4):27-31.