

# 注水压力对煤体渗透率及水压分布的影响研究

马海峰<sup>1</sup> 李传明<sup>2</sup> 李家卓<sup>2</sup> 牛心刚<sup>2</sup> 史文豹<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院,北京 100083;

2. 安徽理工大学煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室,安徽 淮南 232001)

**摘要:**为获得注水过程中注水压力对煤体渗透率的影响规律和煤体内水压的分布特征,对3组不同煤层煤样进行了不同注水压力下渗透率变化试验研究,并模拟了注水压力分别为3、5、8 MPa时煤体内水压分布特征。结果表明:煤样渗透率随着注水压力的增加而逐渐增加,且满足一元三次多项式的变化规律;煤体内水压分布范围呈“ $\cap$ ”形分布,注水压力一定时,随着至孔壁距离的增加水压逐渐减小,渗流速度亦逐渐减小;随着注水压力的增加,水压梯度和有效作用范围逐渐增大,随着至孔壁距离的增加,水压梯度逐渐减小,水压的最大作用范围半径约为9 m。

**关键词:**渗透率;注水压力;压力梯度;煤体孔隙

中图分类号:TD714

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2013)08-0071-03

## Study on Water Injection Pressure Affected to Permeability and Water Pressure Distribution in Coal Body

MA Hai-feng<sup>1</sup>, LI Chuan-ming<sup>2</sup>, LI Jia-zhuo<sup>2</sup>, NIU Xin-gang<sup>2</sup>, SHI Wen-bao<sup>2</sup>

(1. Faculty of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Key

Laboratory of Coal Mine Safety and Efficiently Caving of Ministry of Education, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** In order to obtain the influence laws on permeability and distribution characteristics of water pressure in coal seam during water injection, the permeability of three different coal samples was tested under different water injection pressure, the water pressure distribution characteristics was simulated under the water injection pressure of 3, 5 and 8 MPa. The results showed that the permeability of coal samples gradually increased with injection pressure increasing and meet a cubic polynomial variation. The range of water pressure in coal seam was “ $\cap$ ” distribution, water pressure gradually decreased with the distance to the hole wall increasing under the constant water injection pressure, the flow velocity also reduced. The water pressure gradient and the effective range gradually increased with injection pressure increasing, the water pressure gradient gradually decreased with the distance to the hole wall increasing, the radius of the maximum water pressure range was about 9 m.

**Key words:** permeability; water injection pressure; pressure gradient; coal porosity

## 0 引言

煤层注水是防治煤与瓦斯突出的主要技术之一,也是煤矿开采中最基本有效的防尘措施。注水压力是煤层注水工艺的重要参数之一,注水压力直接影响煤体内水压的分布,煤体内水压分布情况反映了煤层的注水效果。在煤层注水过程中,煤体内水是在水压的驱动下渗流的,在煤层埋深一定的情况下,不同的注水压力对煤体孔隙、裂隙的扩展以及

对水渗流的影响很大,主要是因为注水压力对煤体孔隙裂隙的扩展与贯通的影响,引起煤体的裂隙拓展变宽和通道网重组等复杂变化<sup>[1-5]</sup>。渗透率是反映煤层注水难易程度的重要参数,影响流体在煤体中渗流的因素众多,其中注水压力对渗透率的影响很大,尤其是注水孔附近的煤体;渗透率的变化是煤体孔隙、裂隙变化的结果,而注水压力会使煤体孔隙、裂隙发生变化,因此,研究注水压力对渗透率和煤体内水压分布的影响很有必要<sup>[6-9]</sup>。笔者采用 MYS

收稿日期:2013-04-13;责任编辑:王晓珍

基金项目:中国博士后基金资助项目(2013M531495)

作者简介:马海峰(1984—),男,安徽淮北人,博士研究生。Tel:18755432616, E-mail:haifeng990@163.com

引用格式:马海峰,李传明,李家卓,等.注水压力对煤体渗透率及水压分布的影响研究[J].煤炭科学技术,2013,41(8):71-73.

-I 型煤岩样渗透率测试系统开展了淮南矿区不同煤层在不同注水压力下渗透率变化规律的试验研究,并基于 COMSOL Multiphysics 模拟了不同注水压力下煤体内水压的分布特征,以期对煤层注水技术参数的确定提供试验依据。

## 1 试验装置及煤样制备

1) 试验装置。试验采用 MYS-I 型煤岩样渗透率测试系统(图 1)测试不同注水压力下煤样渗透率的变化规律。

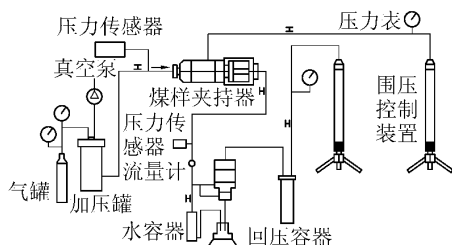


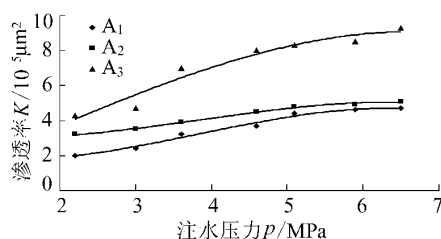
图 1 MYS-I 型煤岩样渗透率测试系统

2) 煤样制备。试验用煤样取自淮南矿区 8 煤、11 煤、13 煤,煤样编号分别为  $A_1$ 、 $A_2$  和  $A_3$ 。将采集的煤块进行粉碎,并破碎至粒径 0.25 mm 以下,添加适量的水分,将粉煤样置于圆柱形模具中,在压模机上加压至 100 MPa,并恒压保持 2 h 以上,制成  $\phi 25 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$  的 3 组煤样,然后置于烘箱中烘烤,使其水分与原煤水分接近。

## 2 不同注水压力下煤样渗透率分析

采用渗透率测试系统对不同注水压力下的煤样渗透率进行测试,结果如图 2 所示。试验煤样渗透率与注水压力之间存在一元三次多项式的关系,并且相关系数较高,均接近 1。试验结果与现场煤层注水过程中注水压力对煤层渗透率的影响规律的描述基本一致<sup>[10-12]</sup>。

随着注水压力的增大,煤样的渗透率均呈现上升趋势,但各煤样渗透率的上升幅度有所不同。当注水压力为 6.5 MPa 时,  $A_1$  煤样的渗透率是注水压



煤样  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  的拟合方程分别为  $K = -0.0007p^3 + 0.0081p^2 - 0.0221p + 0.0364$ ,  $K = -0.0004p^3 + 0.0049p^2 - 0.0127p + 0.0404$ ,  $K = -0.0004p^3 + 0.0025p^2 + 0.0125p + 0.003$ ; 其相关系数分别为 0.993 0、0.989 1、0.961 7。

图 2 渗透率与注水压力拟合曲线

力为 2.2 MPa 时的 2.35 倍,而  $A_2$ 、 $A_3$  煤样渗透率则分别为 2.3 MPa 时的 1.6 倍和 2.16 倍,不同注水压力下不同煤层煤样渗透率存在一定差异,充分说明了不同煤层煤样的渗流特性具有一定的差异性。

在渗透率增大的过程中,煤样渗透率在注水压力小于 5 MPa 时变化幅度较大,当注水压力大于 5 MPa 时,渗透率的变化幅度较小,变化曲线趋于平缓。这是由于随着注水压力的增加,煤样的裂隙在水压的驱动下不断扩展,易于水的渗流,致使煤样渗透率增大,但当水压增至 5 MPa 左右时,由于煤样的扩展孔裂隙已形成,注水压力的增加对渗透率的影响较小。

## 3 不同注水压力下煤体内水压分布模拟

1) 模型的建立。为研究不同注水压力下煤体内水压的分布特征,采用 COMSOL Multiphysics 开展了不同注水压力下煤体渗透性变化的研究。模型尺寸为  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ,注水孔长 4 m、孔径 70 mm,模拟注水压力分别为 3、5、8 MPa 时煤体内水压的分布,模拟选用参数如下:煤层孔隙度 0.2,煤层初始渗透率  $2.6 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ ,流体黏度  $1.21 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,流体和煤体密度分别为  $1\,000$ 、 $1\,420 \text{ kg/m}^3$ ,泊松比 0.29,杨氏模量  $5.2 \times 10^9 \text{ Pa}$ 。

2) 模拟结果分析。图 3、图 4 分别为不同注水

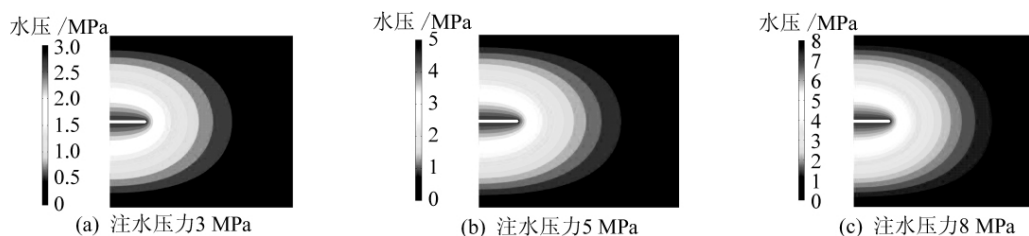


图 3 不同注水压力下煤体内水压分布云图

压力下煤体内水压分布云图和曲线。

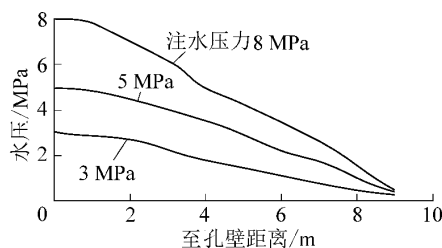


图4 不同注水压力下煤体内水压分布曲线

由图3、图4可以得出:①水压范围呈“ $\cap$ ”形分布,随着注水压力的增加,注水压力有效作用范围逐渐增大,最大作用范围半径约为9 m;随着注水压力的增加,水压梯度亦逐渐增大;注水压力一定时,随着至孔壁距离的增加水压逐渐减小,水压梯度亦逐渐减小,当距离孔壁约9 m时,水压基本减小至零。②注水压力一定时,水在煤体内的渗流速度在孔壁周围最大,随着远离孔壁而逐渐减小,当距孔壁约9 m时,渗流速度减小至零;随着注水压力的增加,渗流速度亦逐渐增加。③由于水压的作用,使孔壁周围煤体发生破坏,形成一定范围的塑性区,在此范围内煤体渗透率大幅度增加,致使水的渗流速度较大,与距离孔壁较远距离的煤体相比,孔壁周围煤体注水效果较好。

#### 4 结 语

采用 MYS-I 型煤岩样渗透率测试系统对 3 组不同煤层的煤样进行了不同注水压力下渗透率的试验研究,研究发现,煤样渗透率随着注水压力的增加而逐渐增加,并对渗透率与注水压力的关系曲线进行了拟合,发现煤样渗透率与注水压力之间存在一元三次多项式的关系。煤体内水压范围呈“ $\cap$ ”形分布,注水压力一定时,随着至孔壁距离的增加水压逐渐减小,渗流速度亦逐渐减小。随着注水压力的增加,水压梯度和有效作用范围逐渐增大,随着至孔壁距离的增大,水压梯度逐渐减小,水压的最大作用范围半径约为 9 m。

参考文献:

- [1] 李宗翔,孙广义,王继波.煤层长钻孔注水过程的数值模拟与参数的合理确定[J].煤炭学报,2001,26(4):389-393.
- [2] 王维虎.煤层注水防尘技术的应用现状及展望[J].煤炭科学技术,2011,39(1):57-60.
- [3] 李见波,陈学习,王新梅.煤层注水致工作面前方集中应力前移的机理分析[J].煤炭科学技术,2012,40(4):56-59,48.
- [4] 王志生,吕品.煤层注水渗流特征实验研究[J].煤炭技术,

2010,29(11):76-77.

- [5] 吕品,王志生,黄鹏.煤层注水时有效围压对煤体渗透性的影响[J].煤炭科学技术,2012,40(3):46-48,52.
- [6] 张永忠.应用二次长孔高压注水防突措施提高煤巷掘进速度[J].煤炭技术,2008,27(1):1-2.
- [7] 王坚钢,赵广党,孙波.煤层注水提高短壁轻放面顶煤的可放性[J].中国煤炭,2008,34(1):42-44.
- [8] 李向东,刘建喜.煤层浅孔注水防突有效影响半径的测定[J].煤炭科学技术,2012,40(1):54-56,98.
- [9] 张渊,赵阳升,万志军,等.不同温度条件下孔隙压力对长石细砂岩渗透率影响试验研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(1):53-58.
- [10] 张金才,刘天泉,张玉卓.裂隙岩体渗透特征的研究[J].煤炭学报,1997,22(5):481-485.
- [11] 祝捷,姜耀东,孟磊,等.载荷作用下煤体变形与渗透性的相关性研究[J].煤炭学报,2012,37(6):984-988.
- [12] 沈春明,林柏泉,吴海进.高压水射流割缝及其对煤体透气性的影响[J].煤炭学报,2011,36(12):2058-2063.
- [13] 穆朝民,王海露.煤体在高压水射流作用下的损伤机制[J].岩土力学,2013,34(5):1515-1520.
- [14] 浑宝炬,周红星.水力诱导穿层钻孔喷孔煤层增透技术及工程应用[J].煤炭科学技术,2011,39(9):46-49,80.
- [15] 孙鑫,林柏泉,董涛,等.穿层深孔水压控制爆破及其在防突工程中的应用[J].采矿与安全工程学报,2010,27(1):82-86.
- [16] 李晓红,卢义玉,赵瑜,等.高压脉冲水射流提高松软煤层透气性的研究[J].煤炭学报,2008,33(12):1386-1390.

(上接第 57 页)

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2010[M].北京:中国统计出版社,2011.
- [2] 国网能源研究院.国际能源与电力统计手册 2011[R].北京:国网能源研究院,2011.
- [3] 中国工程院项目组.中国能源中长期(2030—2050)发展战略研究(煤炭·洁净煤·节能战略卷)[M].北京:科学出版社,2011:228-256.
- [4] 谢和平,钱鸣高,彭苏萍,等.中国煤炭向科学产能发展的战略研究[C]//杜祥琬.科技创新促进中国能源可持续发展.北京:化学工业出版社,2010:26-31.
- [5] 谢和平,钱鸣高,彭苏萍,等.煤炭科学产能及发展战略初探[J].中国工程科学,2010,12(6):46-50.
- [6] 谢和平,王金华,申宝宏,等.煤炭开采新理念:科学开采与科学产能[J].煤炭学报,2012,37(7):36-39.
- [7] 段云刚.浅谈国内煤矿事故灾害防治现状及存在问题[J].能源技术与管理,2010(4):45-46.
- [8] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2011[M].北京:中国统计出版社,2012.
- [9] 黄国良,康艳玲.煤炭开采企业勘探阶段会计问题探讨[J].煤炭工程,2010(5):127-128.
- [10] 郑爱华,许家林,钱鸣高.科学采矿视角下的完全成本体系[J].煤炭学报,2008,33(10):1196-1200.