含水率对煤与瓦斯突出强度影响的试验研究

韦纯福[1,2,3],李化敏[3],袁瑞甫[3]

(1. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室——省部共建国家重点实验室培育基地,河南 焦作 454003;
2. 河南理工大学 数学与信息科学学院,河南 焦作 454003;3. 河南理工大学 能源科学与工程学院,河南 焦作 454003)

摘 要: 为了获得含水率对煤与瓦斯突出强度的影响规律,利用自主研发的大型煤岩瓦斯动力灾害模拟试验系统,在恒定瓦斯压力、轴向应力及煤样成型压力等条件下,进行了不同含水率煤体的煤与瓦斯突出模拟试验;同时提出了包含突出煤量和最远突出距离二元信息的数学方程,用于表示煤与瓦斯突出的相对突出强度。试验结果表明:自主研发的大型煤岩瓦斯动力灾害模拟试验系统的试验结果和现场煤与瓦斯突出实际状况相吻合;在轴压 8 MPa、瓦斯压力 0.8 MPa 试验条件下,得出了含水率和相对突出强度呈二次曲线关系;煤体的含水率愈大,则相对突出强度愈小,发生煤与瓦斯突出的可能性也越小。

关键词: 煤体含水率;相似模拟试验;相对突出强度;煤与瓦斯突出

中图分类号: TD713 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253 - 2336(2014)06 - 0118 - 04

Experimental Study on Intensity of Coal and Gas Outburst Effected by Coal Water Content

WEI Chun-fu[1,2,3], LI Hua-min[3], YUAN Rui-fu[3]

(1. *State Key Laboratory Cultivation Base for Gas Geology and Gas Control, Jiaozuo* 454003, *China*;
2. *School of Mathematics & Information Science, Henan Polytechnic University, Jiaozuo* 454003, *China*;
3. *School of Energy Scence and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo* 454003, *China*)

Abstract: In order to obtain the influence law of coal water content on the intensity of coal and gas outburst, simulation experiments on coal and gas outburst of different coal water content were conducted by using the large self - developed coal and gas outburst simulation experiment system under the constant gas pressure and axial stress and coal forming pressure. Meanwhile, mathematical equations that contain outburst coal and the farthest projecting distance were proposed to describe the relative intensity of coal and gas outburst. The results showed that laboratory simulation result was basically consistent with the field of coal and gas outburst, therefore, the self - developed simulation experiment system was reliable. And a quadratic curve relation between coal water content and relative intensity of outburst was obtained with axial pressure 8 MPa and gas pressure 0.8 MPa. Furthermore, it could be concluded that the higher coal water content, the smaller relative intensity of outburst, hence the slimmer chances of coal and gas outburst occured.

Key words: coal water content; similar simulation test; relative intensity of outburst; coal and gas outburst

0 引 言

煤与瓦斯突出是一种极其严重的煤矿动力灾害,突出发生的瞬间,高速喷出的煤和瓦斯流具有很强的破坏力,能够破坏支架、推倒矿车、摧毁巷道,甚至造成人员伤亡,导致矿井停产,如果煤与瓦斯突出后再引起瓦斯和煤尘爆炸,后果将不堪设想。因此,国内外学者对煤与瓦斯突出的机理

收稿日期: 2014 - 03 - 11;**责任编辑:** 杨正凯 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2014.06.025

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2012CB723103);国家自然科学基金资助项目(51274086,51104058);国家教育部博士点基金资助项目(20124116130001);河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点试验室——省部共建国家重点试验室培育基地开放基金资助项目(WS2012A10);河南省基础与前沿研究基金资助项目(122300410115)

作者简介: 韦纯福(1979—),男,河南太康人,讲师,博士研究生。E - mail: weichunfu@hpu.edu.cn

引用格式: 韦纯福,李化敏,袁瑞甫. 含水率对煤与瓦斯突出强度影响的试验研究[J]. 煤炭科学技术,2014,42(6):118 - 121.

WEI Chun-fu, LI Hua-min, YUAN Rui-fu. Experimental Study on Intensity of Coal and Gas Outburst Effected by Coal Water Content[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(6): 118 - 121.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

进行了长期的研究,代表性的研究成果可以归结为瓦斯主导作用假说、地应力主导作用假说、化学本质作用假说及综合作用假说等。由于突出发生具有瞬时性和难以预测性,很难做到现场跟踪研究煤与瓦斯突出的全过程,学者们主要根据理论推导以及模拟试验进行煤与瓦斯突出的研究与探索。前苏联的 B. B. 霍多特[1]提出了突出是由于瓦斯内能和煤的变形能突然释放的能量说。蒋承林等[2]提出了瓦斯压力作用下的球壳失稳假说。蔡峰[3]通过煤与瓦斯突出的室内模拟试验验证了突出的球壳失稳机理。李祥春[4]进行了多场耦合条件下的煤与瓦斯突出机理研究。康建宁[5]开展了煤与瓦斯突出预测新指标及试验装备的研究。牟俊惠等[6]对注水煤瓦斯放散特性进行了研究。王刚等[7]进行了瓦斯压力变化过程中煤体渗透率特性的研究。王维忠等[8]通过试验模拟研究了不同瓦斯压力条件下的煤与瓦斯突出。尹光志等[9]煤与瓦斯突出模拟试验研究。许江等[10]开展了非均布荷载条件下煤与瓦斯突出的模拟试验。金洪伟[11]通过煤与瓦斯突出发展过程的模拟试验研究分析了其机理。王刚等[12]研究了突出过程中煤体瓦斯的作用。景国勋等[13]研究了煤与瓦斯突出过程中瓦斯的作用及相应的防突措施。蔡成功[14]进行了煤与瓦斯突出的三维模拟试验研究。上述研究大多集中在瓦斯压力与突出强度的关系以及水分对瓦斯吸附解析影响方面的研究。对煤体注水防治煤与瓦斯突出的机理研究却很少,尤其煤体含水之后对煤与瓦斯突出强度的影响规律方面的研究就更少,现场注水工艺参数的决定只能依靠经验,存在很大盲目性,必然会影响防治效果。基于此,笔者利用自主研发了大型瓦斯煤岩动力灾害模拟试验系统,并对其可靠性进行试验验证,进而进行不同含水率煤岩发生煤与瓦斯突出时突出强度变化规律的模拟试验。

1　试　　验

1.1　试验设备

利用自主研发的大型煤岩瓦斯动力灾害模拟试验系统进行试验,该系统由高压密封缸体、快速卸压机构、轴压加载系统、密封机构、数据采集系统 5 部分组成(图 1)。

高压密封缸体是该系统的核心装置,由活塞杆、缸体、充气瓶、卸压板组成。为了便于大型含瓦斯煤岩的密封,将高压缸体加工制成圆柱型。缸体由厚度为 30 mm 的无缝钢管加工而成,内部镀铬防锈,长度 650 mm,内径 360 mm,外径 420 mm。缸体上下加有可拆卸固定盖,下盖用螺丝和橡胶 O 形圈密封,活塞用三道橡胶 O 形圈密封。上盖固定后可以通过螺丝锁定活塞位置,实现对煤体保压。缸体上设有进排气口、数据监测线出口等。

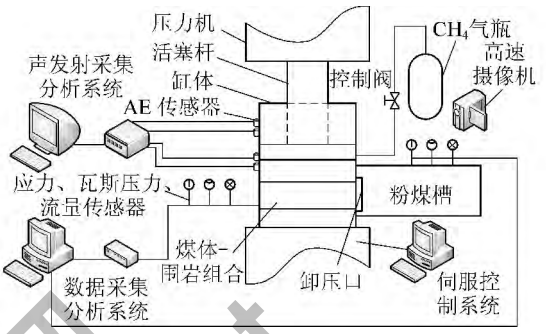


图 1　煤岩瓦斯动力灾害模拟试验系统结构

1.2　相对突出强度理论计算

煤与瓦斯突出的孔洞一般在靠近顶板处,由于煤体的弹性潜能、重力势能和瓦斯压力的作用使突出加速进行,不同粒度的煤块从突出孔洞喷射出来,突出孔洞中的破碎煤将会在瓦斯压力和重力势能的作用下,克服由不规则孔洞所造成的阻力及内摩擦力,类似自由落体在短时间内涌出孔洞,同时游离瓦斯迅速得到释放,吸附瓦斯得到大量解吸。以单个煤粒为考察对象,根据动量和能量守恒原理,计算不同粒度煤粒的抛射速度。

$$Ft = mv \tag{1}$$

其中: F 为瓦斯压力对煤粒的推力; t 为作用于煤粒上的时间; m 为煤粒的质量; v 为煤粒的运动速度。其中 F 可以由下列公式计算[15]:

$$F = \frac{\pi}{4} e d^2 r_1 \frac{v_1^2}{2g} \tag{2}$$

其中: e 为与雷诺准数相关的阻力系数; d 为煤粒的直径; r_1 为瓦斯气体的容重; v_1 为瓦斯流速; g 为重力加速度。把煤粒近似看作球体,则 m 可以由下列公式计算:

$$m = \frac{\pi}{6} d^3 \frac{r}{g} \tag{3}$$

其中, r 为煤的容重。将式(2)和式(3)代入式(1)整理得煤粒的抛射速度。

$$v = 3 e r_1 v_1 t / (4 d r) \tag{4}$$

假设突出孔洞距底板的高度为 H,则时间可按照式(5)求出:

$$t = \sqrt{2H/g} \tag{5}$$

由于瓦斯压力对突出抛射出的煤粒作用时间极短，煤粒从突出孔洞抛射出来之后，水平方向不再受力，可以简化为水平抛物运动，则考察的煤粒的最大抛射距离 s 可由式(6)计算：

$$s = vt = 3\sqrt{2H/g}er_1v_1^2/(4dr) \tag{6}$$

现场通常用突出煤量的多少定义突出强度，但是由于试验密封缸体装煤量有限，在突出口径恒定时，当瓦斯压力超过某一数值后，突出煤量不再与之相应增加，因此，本试验系统将采用突出煤量与粉煤抛出的最远距离相乘，笔者引入煤与瓦斯突出的相对突出强度 Q 计算式：

$$Q = \int_0^s m\mathrm{d}L \tag{7}$$

其中：s 由式(6)计算得出；m 为所选取微元 $\mathrm{d}L$ 距离内抛射所沉积的煤粒质量。由于模拟试验的喷射距离和孔洞距离地面的高度和煤与瓦斯突出现场的数据相比一般较小，在试验数据处理与结果分析中笔者采用了突出煤粒的总质量与喷射最远距离的乘积作为式(7)的近似计算值。

1.3　试验方案

试验所用煤样取自焦作矿区的二$_1$煤层，将所采集的较大煤块，用破碎机粉碎，然后用振动筛筛分干燥成粒径 0～0.5、0.5～1.0、1.0～3.0 mm 煤样，每次试验时称取 50 kg 左右的煤样，装入高压缸体内；设置轴压 8 MPa、瓦斯压力 0.8 MPa 的试验条件。为获得煤体含水率和煤与瓦斯突出的相对突出强度的定性和定量关系，在煤样配比方案中分别设置煤体含水率为 2%、4%、6%、8%、10%、12%，每种含水率分别重复进行 2 次煤与瓦斯突出的模拟试验，用 2 次试验相对突出强度的平均数作为该含水率情况下的煤与瓦斯突出的相对突出强度。

2　试验结果及分析

1)含水率与煤与瓦斯突出强度的关系见表 1，由表 1 可知，当含水率达到 12% 时 2 次模拟试验均未发生煤与瓦斯突出，含水率是影响煤与瓦斯突出的重要指标。究其原因可能是水分的存在挤占了吸附游离瓦斯的空间，煤体含水率促使多孔煤体介质的塑性增强、弹性减弱，致使突出的可能性随含水率的增大而下降。结合表 1 分别计算煤的含水率 2%、4%、6%、8%、10% 时相对突出强度加权平均值为 112.930、69.925、37.320、20.190、12.405 kg·m；可以看出含水率愈大，相对突出强度愈小；但二者并不是简单的线性关系；根据最小二乘法原理，可以得出相对突出强度与含水率的一般函数关系为

$$Q = ax^2 + bx + c \tag{8}$$

式中：Q 为相对突出强度；a、b、c 为拟合参数；x 为含水率。

采用式(8)拟合得到相对突出强度与含水率关系(图 2)。

表 1　含水率与煤与瓦斯突出强度的关系

试验编号	装煤总量/kg	煤样含水率/%	突出煤量/kg	突出最远距离/m	相对突出强度/(kg·m)
1－1	50.22	2	11.69	9.74	113.18
1－2	50.20	4	7.98	8.79	70.14
1－3	49.19	6	6.26	5.89	36.87
1－4	50.36	8	4.93	4.03	19.87
1－5	49.95	10	3.12	3.92	12.23
1－6	50.82	12	—	—	—
2－1	50.29	2	10.88	10.29	111.96
2－2	50.17	4	8.12	8.58	69.67
2－3	49.88	6	5.96	6.33	37.72
2－4	50.25	8	5.44	3.76	20.45
2－5	49.85	10	3.42	3.68	12.59
2－6	50.36	12	—	—	—

注：突出口径均为 150 mm×150 mm；除了试验编号为 1－6 和 2－6 试验中未发生煤与瓦斯突出，其他试验均发生煤与瓦斯突出。

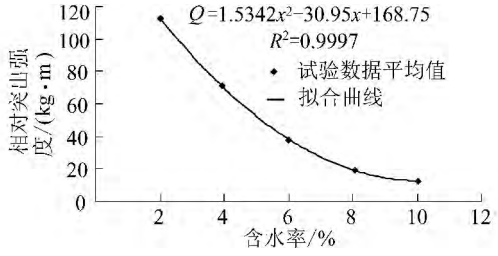
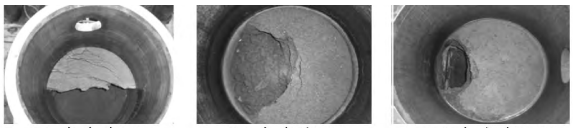


图 2　含水率与相对突出强度的函数关系

2)不同含水率条件下煤与瓦斯突出孔洞状况和裂隙影响区域如图 3 所示，由图 3 可知，随着含水率的增大，突出孔洞容积和周围受影响的煤体区域呈下降趋势。试验表明，含水率为 2% 时，受影响的煤体区域直径约为 36 cm(试验突出缸体的内径为 36 cm)；含水率为 6% 时的影响区域直径约为 18 cm；而当含水率为 10% 时的影响区域直径仅有 6 cm；卸压口内残余破碎尚未喷射到口外的煤体的粒度随着含水率的增加也有增加趋势，说明煤与瓦斯突出对煤体破坏力度随着含水率的增大而减小。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net



(a) 含水率2%　(b) 含水率6%　(c) 含水率10%

图 3　不同含水率条件下的突出孔洞和裂隙影响区域

3) 不同含水率(2%、6%、10%) 条件下煤与瓦斯突出模拟试验的突出距离和突出煤量的现场照片,如图 4 所示,由图 4 和表 1 可知,随着含水率的增加,煤与瓦斯突出距离、突出煤量及相对突出强度均呈减小趋势。当含水率为 2% 时突出煤量平均值为 11. 285 kg,最远突出距离平均值为 10. 015 m,相对突出强度平均值为 112. 93 kg·m,在粉煤槽的外端出口处有大量的粉煤(图 4a) ; 当含水率为 10% 时突出煤量平均值为 3. 27 kg,最远突出距离平均值为 3. 8 m,相对突出强度平均值为 12. 405 kg·m,此条件下粉煤槽外端口处无粉煤,仅在粉煤槽内部有一些粘结在一起的大粒度煤块(图 4c) 。究其原因可能是随着含水率的增大煤粒间的黏结性也增大,又由于煤岩是多孔介质,孔隙和裂隙被水分子所填充致使单个煤粒的密度增加,在相同的轴向应力和瓦斯压力等突出条件下,突出的煤量和煤炭粒度势必会有所差别。



(a) 含水率2%　(b) 含水率6%　(c) 含水率10%

图 4　不同含水率条件的突出距离与突出煤量

4) 煤与瓦斯突出模拟试验现场被抛射出的煤粒具有明显的分散性。以编号 1 -1 试验为例,喷射的煤粉最大距离达到 9. 74 m,合计喷出 11. 69 kg 煤粉,大量煤粉集中堆积在卸压口 0 ~ 2 、6 ~ 8 m 处的碎块煤居多,6 ~ 8 m 处堆积的煤粉较多。由理论推导式(4) 可知形成该分选性的原因为被抛射出煤粒的运动速度和其直径成反比,其他条件近似相同的条件下,颗粒大的煤粒最先落到距离突出孔洞较近的底板上,其上部和离孔洞较远处,逐渐沉积小粒度的煤粒,最远处和最上部为煤粉,形成明显的分选性,也充分说明了瓦斯搬运作用明显。

3　结　　论

1) 提出了一个包含突煤量和最远突出距离二元信息的相对突出强度的概念,并给出了其数学表达方程及推导过程,从相对突出强度的数学方程可以看出煤与瓦斯突出发生时,抛射出的煤粒的运行速度与其直径大小成反比,颗粒大的煤粒最先落到距离突出孔洞较近的底板上,其上部和离孔洞较远处,逐渐沉积小粒度的煤粒,最远处和最上部为煤粉,形成明显的分选性,该模型方程从理论上诠释了模拟试验现场和工程实践现场的煤与瓦斯突出后煤粒具有明显的分选性这一现象。

2) 采用煤岩瓦斯动力灾害模拟试验系统开展瓦斯突出试验现场与真实煤与瓦斯突出事故现场基本一致,说明采用该模拟试验系统进行煤与瓦斯突出模拟试验效果较好。

3) 依据试验设定的条件,煤体含水率增大则相对突出强度减小且发生突出的危险性亦减小,且相对突出强度与含水率呈现二次函数的关系; 说明煤体含水率对煤与瓦斯的突出具有负作用,为现场煤体注水防突机理及注水参数的确定提供了依据。

参考文献:

[1] 霍多特 B B. 煤和瓦斯突出 [M] . 宋世钊,王佑安,译. 北京: 中国工业出版社,1966.

[2] 蒋承林,俞启香. 煤与瓦斯突出的球壳失稳机理及防治技术 [M] . 徐州: 中国矿业大学出版社,1998.

[3] 蔡　峰. 煤巷掘进过程中煤与瓦斯突出机理的研究 [D] . 淮南: 安徽理工大学,2005.

[4] 李祥春,聂百胜,王龙康. 多场耦合作用下煤与瓦斯突出机理分析 [J] . 煤炭科学技术,2011,39(5) : 63 - 69.

[5] 康建宁,赵旭生,邹银辉. 煤与瓦斯突出预测新指标及其装备的研究 [J] . 煤炭科学技术,2006,34(10) : 82 - 87.

[6] 牟俊惠,程远平,刘辉辉. 注水煤瓦斯放散特性的研究 [J] . 采矿与安全工程学报,2012,29(5) : 746 - 749.

[7] 王　刚,程卫民,郭　恒. 瓦斯压力变化过程中煤体渗透率特性的研究 [J] . 采矿与安全工程学报,2012,29(5) : 735 - 739.

[8] 王维忠,陶云奇,许　江,等. 不同瓦斯压力条件下的煤与瓦斯突出模拟试验 [J] . 重庆大学学报,2010,33(3) : 82 - 86.

[9] 尹光志,赵洪宝,许　江,等. 煤与瓦斯突出模拟试验研究 [J] . 岩石力学与工程学报,2009,28(8) : 1674 - 1680.

[10] 许　江,刘　东,尹光志,等. 非均布荷载条件下煤与瓦斯突出模拟试验 [J] . 煤炭学报,2012,37(5) : 836 - 842.

[11] 金洪伟. 煤与瓦斯突出发展过程的试验与机理分析 [J] . 煤炭学报,2012,37(1) : 97 - 103.

[12] 王　刚,程卫民,谢　军,等. 煤与瓦斯突出过程中煤体瓦斯的作用研究 [J] . 中国安全科学学报,2010,20(9) : 116 - 120.

[13] 景国勋,张　强. 煤与瓦斯突出过程中瓦斯作用的研究 [J] . 煤炭学报,2005,30(2) : 169 - 171.

[14] 蔡成功. 煤与瓦斯突出三维模拟试验研究 [J] . 煤炭学报,2004,29(1) : 64 - 69.

[15] 朱连山. 通过能量计算探讨煤和瓦斯突出机理 [J] . 煤矿安全技术,1982(3) : 1 - 7.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net