

文章编号: 1001-1986(2012)03-0023-03

龙山矿突出区域预测的瓦斯含量临界值

孙丽娟¹, 郝富昌^{1,2}, 温英明³, 王 凯²

(1. 中国矿业大学资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 河南理工大学安全科学与工程学院, 河南 焦作 454003; 3. 安阳鑫龙煤业集团, 河南 安阳 455000)

摘要: 准确确定瓦斯突出区域预测的瓦斯含量临界值, 对提高防突措施的针对性和降低防突成本均具有重要的指导作用。以河南安鹤煤田龙山矿二₁煤层为例, 在大量测试瓦斯基基础参数的基础上, 分析了该矿的瓦斯突出特征, 研究了二₁煤层的吸附特征, 对该矿瓦斯含量和工作面预测指标进行了跟踪测试, 并研究了其相互关系。结果表明, 龙山矿二₁煤层变质程度高, 在同等瓦斯压力条件下, 具有较强的吸附能力, 最终确定二₁煤层的突出区域预测瓦斯含量临界值为 10.0 m³/t。

关键词: 煤与瓦斯突出; 瓦斯含量; 临界值; 吸附常数; 吸附特征

中图分类号: TD712.5 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.03.005

Limit value of gas content for prediction of area prone to outburst in Longshan mine

SUN Lijuan¹, HAO Fuchang^{1,2}, WEN Yingming³, WANG Kai²

(1. School of Resource and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;
2. School of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;
3. Anyang Xinlong Coal Group Co. Ltd., Anyang 455000, China)

Abstract: Accurately determining the limit value of gas content for prediction of area prone to gas outburst has the instructive function to improve targeted outburst prevention and reduce cost. The paper, taking seam II₁ of Longshan mine as an example, on the basis of measuring lots of gas parameters, analyzed the outburst characteristics in Longshan mine and studied adsorption characteristic of seam II₁. A lot of gas content and prediction indexes were measured and their relation was studied. The results show that the metamorphism degree of seam II₁ is high with strong adsorption ability, and it can adsorb more methane under the same gas pressure, eventually it was determined that the limit value of gas content is 10.0 m³/t.

Key words: coal and gas outburst; gas content; limit value; adsorption constant; adsorption characteristic

准确科学地预测煤与瓦斯突出危险区, 对于提高采掘生产中防突措施的针对性, 减少防突工作量, 降低生产成本都具有重要的现实意义^[1]。《防治煤与瓦斯突出规定》将煤层瓦斯压力和瓦斯含量作为突出区域预测指标和区域防突措施效果检验指标^[2]。但是, 现场瓦斯压力测试难度较大, 且受到煤层顶底板含水层、断层裂隙、采掘裂隙等各种因素的影响, 测试结果误差较大, 特别在预抽区域, 由于抽放钻孔的影响, 很难测试到真实的残存瓦斯压力数据。而瓦斯含量测试方便, 精度较高, 且不容易受到外界因素的影响。因此, 本文选取瓦斯含量作为突出区域预测指标和防突措施效果检验指标。

《防治煤与瓦斯突出规定》将瓦斯含量的临界值定为 8.0 m³/t, 具有一定的合理性。但是, 不同突出煤层的类型、变质程度、瓦斯地质条件等较大的差异, 煤对瓦斯的吸附能力差别很大, 在同样平衡压力下, 吸附瓦斯量能够相差 1 倍以上^[3-7]。因此, 不同变质程度煤层的瓦斯含量临界值各不相同, 特别是对于高变质无烟煤层, 其具有更强的吸附能力, 如果瓦斯含量临界值统一定为 8.0 m³/t, 将会增加防突成本。本文以河南安鹤煤田龙山矿二₁煤层(属高变质无烟煤)为例, 探讨二₁煤层的突出区域预测瓦斯含量临界值, 以期对降低生产成本、缓解采掘接替紧张局面和保障矿井安全生产有所帮助。

收稿日期: 2011-05-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(50904024); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2005CB221501)

作者简介: 孙丽娟(1983—), 女, 河南焦作人, 博士研究生, 从事瓦斯灾害预测与防治的研究。

1 矿井概况

龙山矿位于河南省安鹤煤田中部,总体构造形态为一向斜构造,受区域构造的影响,发育有近 NW 向和 NE 向 2 组断层共 14 条,总体构造复杂程度为中等。龙山矿主采煤层为二₁煤层,平均厚度 4.5 m,挥发分平均为 6.5%,最大反射率(R_{\max})为 2.89%,属于高变质无烟煤。

龙山矿自建井至今,共发生煤与瓦斯突出事故 111 次(11 采区 25 次,13 采区 65 次,15 采区 14 次,23 采区 7 次)。其中,平巷突出 76 次,占 68.4%;上山突出 25 次,占 22.5%;下山突出 7 次,占 6.3%;石门突出 3 次,占 2.7%,平均突出煤量为 118 t。最大的一次突出发生在 1999 年 4 月 6 日 13081 切眼掘进时,突出煤量 1 070 t,突出瓦斯量 167 435 m³。龙山矿始突标高+15 m,始突深度 130 m。由于始突时间在 20 世纪 70 年代,始突点附近没有实测瓦斯含量数据。根据瓦斯含量和埋藏深度的关系推测,始突点附近瓦斯含量在 12.0 m³/t 以上。

2 煤对瓦斯的吸附特征

煤对瓦斯吸附常数反映了煤对瓦斯的吸附能力,也是利用 Langmuir 方程实现瓦斯压力和瓦斯含量互算的重要参数。吸附常数 a 值就是 Langmuir 体积,表示在给定的温度下,单位质量固体的极限吸附量;吸附参数 b 值是 Langmuir 压力的倒数,其不仅与 a 值一起,用于表征煤层吸附瓦斯的能力,而且也可以用来表征瓦斯解吸速度。一般来说, b 值越大,单位压降下的解吸瓦斯量越多,解吸速率越高。

2.1 煤层瓦斯吸附实验

在龙山矿二₁煤层 7 个实验地点共采取 7 个煤样,采用 WY-98B 型全自动瓦斯吸附常数测定仪,在 30℃ 条件下,按照《煤的高压等温吸附试验方法》(GB/T 19560-2008)的标准,进行了高压吸附实验^[8]。每个实验地点采集煤样 1 kg,粉碎筛分出 0.17~0.25 mm 颗粒 100 g,测试压力为 0~6.0 MPa。实验测试了煤样吸附常数 a 、 b 值和煤样的灰分、水分、视密度、真密度及孔隙率等参数,测试结果见表 1。

表 1 瓦斯吸附常数测试结果
Table 1 The measurement results of gas adsorption constants

煤样编号	a 值/(m ³ ·t ⁻¹)	b 值/MPa ⁻¹	水分/%	灰分/%	真密度/(t·m ⁻³)	视密度/(t·m ⁻³)	孔隙率/%
1	49.620	1.305	1.305	15.78	1.63	1.55	4.91
2	44.148	1.434	0.93	16.09	1.58	1.51	4.43
3	45.051	1.429	0.85	13.77	1.55	1.48	4.52
4	42.857	1.039	0.94	14.82	1.57	1.49	5.10
5	38.972	2.166	4.1	12.65	1.76	1.67	6.11
6	41.080	1.137	2.4	13.89	1.58	1.50	5.06
7	40.900	0.957	2.04	12.26	1.54	1.47	4.55

2.2 煤层瓦斯吸附特征

从表 1 可以看出,瓦斯吸附常数 a 的值域为 38.972~49.620 m³/t,平均为 43.233 m³/t,标准差为 3.24 m³/t;吸附常数 b 的值域为 0.957~2.166 MPa⁻¹,平均为 1.352 MPa⁻¹,标准差为 0.374 MPa⁻¹。从测试结果来看,吸附常数 a 和 b 尽管有一定的分散度,但还是比较集中。

图 1 为 2 号煤样瓦斯吸附等温线图。从该图可以看出,龙山矿二₁煤层煤对瓦斯的吸附量随着压力的增加而增大,增加速度初始阶段较大,当吸附量达到极限吸附量的 50%以后,吸附特征曲线趋于平缓。总体来看,龙山矿二₁煤层煤对瓦斯吸附能力较强,属典型高吸附能力煤层。

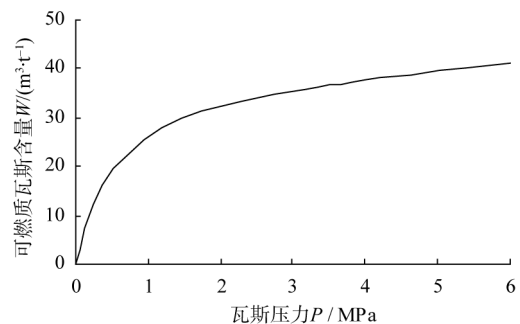


图 1 2 号煤样煤对瓦斯吸附等温线

Fig. 1 The gas adsorption isotherm of 2nd sample

3 瓦斯含量临界值的确定

3.1 瓦斯含量与工作面预测指标的关系

工作面瓦斯预测指标主要包括钻屑瓦斯解吸指

标 Δh_2 、瓦斯涌出初速度 q 和钻屑量 S 值。这些指标与煤层的瓦斯含量、瓦斯压力、煤的破坏类型等因素密切相关。在煤体结构特征变化不大的情况下,预测指标主要反映了煤层瓦斯含量和瓦斯压力情况。通过现场实测工作面瓦斯预测指标,研究其和瓦斯含量的相互关系,可以从瓦斯含量角度反映工作面的瓦斯突出危险性。

采用钻屑解吸法在龙山矿 11101 和 11011 工作面上、下顺槽打钻取样,共测试瓦斯含量 14 组,并配套测试煤的工业分析参数和工作面预测指标,测定结

果见表 2。

如表 2 所示,在现场实测的 14 组瓦斯含量数据中,配套测试了工作面预测指标 Δh_2 、 q 值和 S 值,其中 3 个数据超标,分别对应煤层瓦斯含量为 11.82 m^3/t 、18.93 m^3/t 和 22.12 m^3/t 。从这些数据可以看出,当煤层瓦斯含量大于 11.82 m^3/t 时,煤层瓦斯具有突出危险。利用现场实测 Δh_2 和瓦斯含量 W 进行了回归分析, $W=0.027\ 8\Delta h_2+5.528$ 。当 Δh_2 临界值取 200 Pa 时,对应的瓦斯含量为 11.08 m^3/t ,考虑到一定的安全系数,所以把煤层瓦斯含量临界值定为 10.0 m^3/t 。

表 2 龙山矿煤层瓦斯含量及工作面瓦斯预测指标测定结果
Table 2 The coal seam gas contents and daily forecasting parameters

采样地点	工业分析			工作面瓦斯预测指标			瓦斯含量 W /($\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$)
	$M_{\text{ad}}/\%$	$A_{\text{ad}}/\%$	$V_{\text{daf}}/\%$	h_2/Pa	$S_{\text{max}}/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-1})$	$q/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$	
11011 下顺槽距开口 200 m 处	1.26	13.88	6.81	38	2.4	0.13	4.52
11011 下顺槽距开口 260 m	3.94	9.06	6.21	37.6	2.4	0.15	4.99
11011 辅助巷 34 m 处	1.6	14.15	6.5	174.7	2.7	0.23	8.52
11101 下顺槽距切眼 29.7 m	1.79	13.96	6.85	134.5	2.7	0.21	6.74
11101 下顺槽切眼中线 35.3 m	0.46	13.44	7.36	178.6	2.7	0.39	7.43
11101 下顺槽反掘头距 41 m 处	0.75	14.39	6.17	293.1	3.1	0.32	11.82
11101 下顺槽 123 m 处	1.12	19.14	6.44	168.6	2.6	0.54	9.75
11101 下顺槽 145 m 处	0.32	8.71	5.03	380.6	2.9	0.35	18.93
11101 下顺槽反掘头 66.4 m 处	0.4	14.6	6.61	184	2.5	0.48	11.60
21 采区轨道下山水仓处	0.51	23.63	8.67	650	—	—	22.12
11101 下顺槽反掘头 71.5 m 处	0.54	13.59	5.96	133.2	2.6	0.41	11.74
11101 下顺槽 147.5 m 处	0.43	15.3	6.25	131.9	2.6	0.21	13.38
11101 下顺槽反掘头 77 m 处	0.41	13.8	9.13	133.2	2.7	0.28	8.84
11101 下顺槽反掘头 82.2 m 处	0.6	16.71	7.8	172.9	2.6	0.35	15.04

3.2 瓦斯含量和瓦斯压力的关系

《防治煤与瓦斯突出规定》把瓦斯压力和瓦斯含量作为突出区域预测指标和区域防突措施效果检验指标,并把瓦斯压力 0.74 MPa(相对压力)定为临界值,在全国突出矿井进行了现场应用,并取得了较好的应用效果。瓦斯含量和瓦斯压力具有一定的对应关系,可以利用 Langmuir 方程实现瓦斯压力和瓦斯含量互算。瓦斯压力和瓦斯含量换算如式(1)所示:

$$W_r = \frac{abP}{1+bP} \frac{1}{1+0.31M_{\text{ad}}} e^{n(t_s-t)} + \frac{10KP}{k} \quad (1)$$

式中 W_r 为原煤(煤中可燃质)的瓦斯含量, m^3/t ; P 为煤层绝对瓦斯压力, MPa; a 为吸附常数,即煤的极限吸附量, m^3/t ; b 为吸附常数, MPa^{-1} ; t_s 为试验室吸附试验的温度, $^{\circ}\text{C}$, $t_s = 30^{\circ}\text{C}$; t 为井下煤体温度, $^{\circ}\text{C}$, 取 $t = 25^{\circ}\text{C}$; M_{ad} 为煤中水分含量, %; K 为煤的孔隙容积, m^3/t ; k 为甲烷的压缩系数; n 为系数,由式(2)确定:

$$n = \frac{0.02}{0.993+0.07P} \quad (2)$$

针对龙山井田测定的瓦斯吸附常数(表 1),利用式(1)将瓦斯压力(相对压力)0.74 MPa 换算成瓦斯含量值,其结果见表 3。在龙山井田,瓦斯压力 0.74 MPa 所对应的瓦斯含量为 10.33~18.46 m^3/t (表 3),取最小值 10.33 m^3/t ,为增加一定的安全系数,初步确定龙山矿的瓦斯含量临界值为 10.0 m^3/t 。

表 3 相对瓦斯压力 0.74 MPa 所对应的瓦斯含量
Table 3 Gas content corresponding to relative gas pressure of 0.74 MPa

煤样 编号	a 值 /($\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$)	b 值 / MPa^{-1}	水分 /%	灰分 /%	孔隙率 /%	瓦斯含量 /($\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$)
1	49.620	1.305	1.305	15.78	4.91	17.05
2	44.148	1.434	0.93	16.09	4.43	17.27
3	45.051	1.429	0.85	13.77	4.52	18.46
4	42.857	1.039	0.94	14.82	5.10	14.55
5	38.972	2.166	4.1	12.65	6.11	10.33
6	41.080	1.137	2.4	13.89	5.06	10.81
7	40.900	0.957	2.04	12.26	4.55	10.73

(下转第 28 页)