

煤层钻屑粒度分布规律试验研究

张宪尚^{1,2} 文光才^{1,2} 隆清明^{1,2} 雷红艳^{1,2}

(1. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400039; 2. 中国煤炭科工集团重庆研究院, 重庆 400037)

摘要: 为研究煤层钻屑粒度的统计分布特征, 选取深凹煤矿和何兴煤矿粒径为 1~3 mm 的钻屑为试验煤样, 对不同质量的煤样进行扫描成像, 基于 MATLAB 软件进行数字图像处理, 获得其相应煤粒的粒度, 并对煤粒的粒度统计分布进行分析。结果表明: 在粒径 1~3 mm 范围内的煤粒粒度统计分布为一种偏态分布, 经对数处理后服从威布尔分布; 通过对不同质量煤样期望值和方差计算对比可知, 煤样的质量在 15 g 以上时煤样统计粒径趋于稳定, 并且稳定在 1.75 mm 左右。因此, 选取 15 g 以上的煤样进行钻屑瓦斯解吸指标测量, 其结果更具有代表性。

关键词: 钻屑; 瓦斯解吸; 粒度分布; 钻屑瓦斯解吸指标; 威布尔分布

中图分类号: TD713.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2013)02-0060-04

Experiment Study on Particle Distribution Law of Seam Drilling Cuttings

ZHANG Xian-shang^{1,2}, WEN Guang-cai^{1,2}, LONG Qing-ming^{1,2}, LEI Hong-yan^{1,2}

(1. National Key Lab of Gas Disaster Monitoring and Control and Emergency Technology, Chongqing 400039, China;

2. Chongqing Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group Corporation, Chongqing 400037, China)

Abstract: In order to study the statistic distribution features of the seam drilling cutting particles, the drilling cuttings with particle diameters of 1~3 mm from Shen'ao Mine and Hexing Mine were collected as the test coal samples, a scanning and imaging was conducted on the different quality coal samples. Based on the MATLAB software, a digital image processing was conducted, the size of the related coal particles was obtained and the analysis was conducted on the size statistic distribution of the coal particles. The results showed that within the 1~3 mm particle size range, the coal particle size statistic distribution was a skewed distribution and would submit to the Weibull distribution after a logarithmic processing. The comparison between the expected value of different quality coal samples and variance calculation showed that when the quantity of the coal sample was over 15 g, the statistic particle size would be stable and would stabilize around 1.75 mm. Therefore, the coal sample over 15 g selected for the gas desorption index of drilling cutting was applied to the desorption measurement and the results would be more representative.

Key words: drilling cutting; gas desorption; particle distribution; gas desorption index of drilling cutting; Weibull distribution

0 引言

钻屑瓦斯解吸指标是预测煤与瓦斯突出的重要指标之一, 该指标一般选取 10 g 粒径为 1~3 mm 的煤层钻屑进行测定。研究表明: 钻屑粒度特征对钻屑瓦斯解吸指标测定结果有重要影响, 即使粒径为 1~3 mm 的煤样取同一质量多次测量钻屑瓦斯解吸指标, 结果也存在一定差距^[1~2]。因此, 研究粒径为 1~3 mm 不同质量煤样的粒度分布对瓦斯解吸指标

测定有重要意义。国内外有关学者对破碎粉体粒度统计分布研究已做大量工作。文献[3]认为破碎煤的粒度特征服从 Gates-Gandin-Shuzman 和 Rosin-Rammler 分布, 而 Rosin-Rammler 粒度分布模型实质是 Rosin 和 Rammler^[4]将威布尔分布应用在碎屑分布研究上得到的, 并能够对冲击产生的煤尘粒度分布进行准确地表达^[5]。颗粒群的 Rosin-Rammler 分布模型与对数正态分布函数之间存在着相互关系^[6], 并且这种相互关系可以对对数正态分

收稿日期: 2012-09-25; 责任编辑: 代艳玲

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAK04B01); 国家自然科学基金资助项目(51104087); 重庆市科委自然科学基金计划资助项目(CSTC 2010BB6118)

作者简介: 张宪尚(1987—)男, 江苏徐州人, 硕士研究生。Tel: 023-65239064; E-mail: zxshang_cumt@126.com

引用格式: 张宪尚, 文光才, 隆清明, 等. 煤层钻屑粒度分布规律试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2): 60~63.

布模型参数进行求解^[7-8]。对于截割形成的煤屑, 威布尔分布与分形分布均可以很好地对其粒度进行拟合, 但是分形维数更能表达出不同截割条件下的破碎程度以及各参数之间的关系^[9], 粉体颗粒在一定筛选条件下, 其粒度分布表现为分形特征^[10-11]。从以上分析可知, 文献多从粉体粒度分布模型方面进行讨论, 然后利用模型的相关统计参数表达粉体的破碎及筛选条件, 具体针对 1~3 mm 煤屑统计粒度稳定性研究较少。基于此, 笔者基于 MATLAB 软件, 采用数字图像处理方法对 1~3 mm 钻屑煤样的粒度分布特征进行了分析, 以期为准确预测煤与瓦斯突出提供技术参考。

1 试验

1.1 煤样及方法

取云南何兴煤矿、深凹煤矿的钻屑, 筛分出粒径 1~3 mm 的煤样 300 g, 对筛分的煤样进行扫描, 并通过 MATLAB 数字图像处理对煤样粒度进行统计分析, 具体试验步骤如下。

1) 利用 1~3 mm 标准筛对煤样进行筛分后, 从

中称取质量为 5、10、15、20、25 g 煤样各 1 份, 并标注采样地点和煤样质量。

2) 将称取的煤样逐粒平摊于 ThunisA688 扫描仪上并放置直径 4 mm 参照物作为不同像素比例下标准尺寸, 设置 600 dpi 的分辨率对煤样进行扫描, 结果如图 1a 所示。

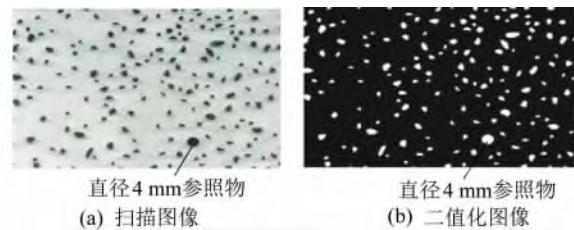


图 1 煤样颗粒的扫描图像和二值化图像

3) 利用 MATLAB 软件对图像进行数字化处理(图 1b), 得到煤样等效粒度数据, 并对其进行数据分析。

1.2 煤样颗粒数量统计

按以上试验方法将粒径 1~3 mm 煤样以 0.2 mm 为间隔等区间划分, 不同质量煤样在不同粒径区间的颗粒数量见表 1。

表 1 深凹煤矿和何兴煤矿不同粒度区间煤样的颗粒数量

粒度区间/mm	深凹煤矿不同质量煤样颗粒数量/个					何兴煤矿不同质量煤样颗粒数量/个				
	5 g	10 g	15 g	20 g	25 g	5 g	10 g	15 g	20 g	25 g
[1.1, 1.2)	35	178	198	390	614	34	94	197	257	467
[1.2, 1.4)	158	605	794	1 201	1 487	105	290	741	926	1 521
[1.4, 1.6)	214	639	1 051	1 435	1 576	171	478	1 008	1 315	1 847
[1.6, 1.8)	203	410	794	1 143	1 434	215	423	806	1 014	1 509
[1.8, 2.0)	187	340	570	813	1 138	216	389	599	772	1 161
[2.0, 2.2)	155	284	416	645	873	189	348	450	609	850
[2.2, 2.4)	165	190	334	505	682	135	271	304	440	584
[2.4, 2.6)	120	139	227	342	490	111	238	218	345	390
[2.6, 2.8)	72	81	120	187	199	55	115	103	163	193
[2.8, 3.0]	32	49	60	109	82	29	57	57	85	87

2 试验结果与分析

2.1 煤粒粒度统计分布

1933 年, Rosin 和 Rammler 在研究碎末的分布时, 首次应用威布尔分布对粒度进行统计。1951 年, 瑞典数学家 Waloddi Weibull 详细解释了这一分布。从概率论和统计学角度看, 威布尔分布是连续性的概率分布, 其概率分布密度函数为^[4]

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} \exp[-(x/\lambda)^k] & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases}$$

式中: x 为随机变量; λ 为比例参数, $\lambda > 0$; k 为形状参数, $k > 0$ 。

将表 1 的粒度区间取中值作为粒径, 将不同质量不同粒度区间颗粒出现的频数以最大值为基准无量纲化, 利用 MATLAB 作图函数 plot 得到粒度统计

分布结果如图2所示。

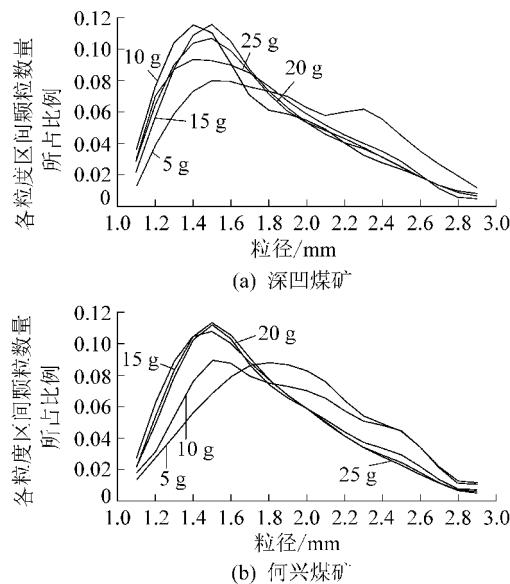


图2 煤样粒度分布

从图2可以看出,煤样质量在15 g以上的粒度分布规律性明显,大致呈现为一种偏态分布。

2.2 粒度统计分布分析

对不同质量煤样粒度统计数据运用MATLAB软件的统计绘图函数wblplot进行威布尔分布检验。检验方法为:如果数据是来自一个威布尔分布,则该线为直线形态;如果它是来自其他分布,则为曲线形态。煤样粒度统计分布的总体趋势如图3所示。

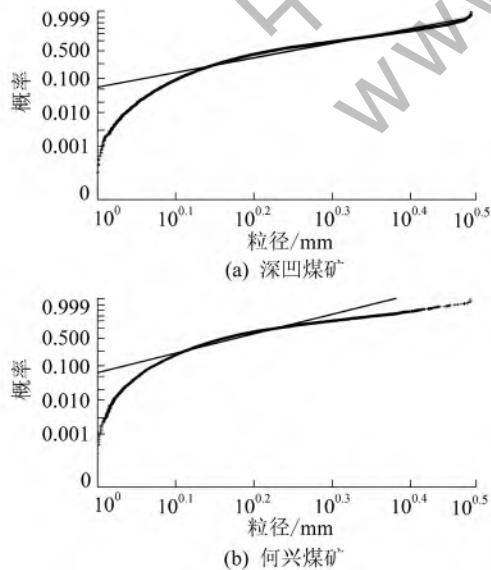


图3 煤样粒度威布尔分布检验

从图3可以看出,在威布尔分布检验中煤样粒度统计数据分布所形成的是—条近似于对数的曲

线,与图中的直线相比差异较大。因此在处理数据时,首先对粒径的统计数据进行对数处理,再将数据进行威布尔分布检验和求解,定义对数威布尔分布的概率分布函数为

$$f(x; \eta, m) = \frac{m}{x\eta} \left(\frac{\ln x}{\eta} \right)^{m-1} \exp \left[- \left(\frac{\ln x}{\eta} \right)^m \right]$$

式中: η 为变量对数的比例参数; m 为变量对数的形状参数。

将统计粒度数据进行对数处理后,再运用统计绘图函数wblplot进行威布尔分布检验,如图4所示。通过对比图3和图4发现,图4中的威布尔分布检验中,煤样粒度统计数据取对数后所形成的曲线与直线的拟合程度较高,表明粒径1~3 mm的煤样粒度经对数处理后服从威布尔分布。

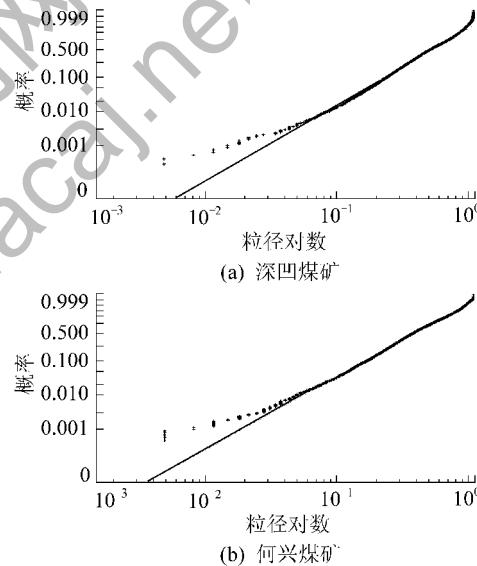


图4 煤样粒度对数威布尔分布检验

2.3 模型参数求解

通过对粒度分布分析发现,1~3 mm的粒径经对数处理后服从威布尔分布。因此,选用威布尔分布模型对1~3 mm钻屑粒径对数分布情况进行统计求解。通过对威布尔分参数估计方法的比较^[12],针对本文大样本量的实际情况,选用矩估计法和经验方法对威布尔分布的相关参数进行求解^[13],得到不同质量煤样粒度样本 X 统计数据对数变量的比例参数 η 和形状参数 m ,以及相应粒度样本概率分布数学期望值 $E(X)$ 和方差 $\text{Var}(X)$,见表2。通过对不同质量煤样粒度样本的数学期望值 $E(X)$ 和方差 $\text{Var}(X)$ 的对比分析发现,煤样质量在15 g以上时,统计粒径趋于稳定,并稳定在1.75 mm左右。

表2 深凹煤矿和何兴煤矿煤样粒度分布参数

煤样质 量/g	深凹煤矿煤样粒度特征值				何兴煤矿煤样粒度特征值			
	<i>m</i>	η	$E(X)$	Var(<i>X</i>)	<i>m</i>	η	$E(X)$	Var(<i>X</i>)
5	2.807 1	0.693 2	1.908 2	0.222 8	3.056 6	0.703 3	1.923 3	0.196 5
10	2.283 6	0.581 0	1.723 3	0.193 8	2.771 8	0.677 3	1.879 5	0.211 3
15	2.504 5	0.598 0	1.745 4	0.173 1	2.552 1	0.599 5	1.746 8	0.167 5
20	2.383 9	0.596 6	1.746 4	0.191 7	2.545 4	0.612 8	1.769 7	0.181 1
25	2.368 0	0.596 9	1.747 5	0.195 0	2.461 0	0.589 2	1.731 5	0.171 3

3 结 论

1) 通过 MATLAB 图像扫描处理对粒径 1~3 mm 的煤粒粒度分布进行统计发现: 粒径 1~3 mm 的煤粒粒度统计分布呈对数威布尔分布。

2) 通过对不同质量煤粒粒度期望值和方差的分析, 发现粒径为 1~3 mm 的钻屑质量在 15 g 以上时, 统计粒径趋于稳定, 并且稳定在 1.75 mm 左右, 从该角度看, 深凹煤矿和何兴煤矿选取 15 g 以上的煤样进行钻屑瓦斯解吸指标测量, 其结果更具有代表性。

参考文献:

- [1] 王玉. 钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 测定影响因素研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2011: 47~50.
- [2] 李国红. 钻屑瓦斯解吸指标 (Δh_2) 测定技术基础研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2011: 25~28.
- [3] 白向飞, 王兆文, 刘开明, 等. 煤的粒度特征及不同粒级煤的煤岩特征对炼焦煤性质的影响 [J]. 洁净煤技术, 1999, 5(4): 47~51.
- [4] 维基百科. 韦伯分布 [EB/OL]. (2010-10-18) [2012-05-

(上接第 30 页)

- [4] 宫伟力, 张艳松, 安里千. 基于图像分割的煤岩孔隙多尺度分形特征 [J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(6): 28~32.
- [5] GUO Li-ping, CARPENTERI A, SUN Wei, et al. Measurement and Analysis of Defects in High-performance Concrete with Three-dimensional Micro-computer Tomography [J]. Journal of Southeast University, 2009, 25(1): 83~88.
- [6] 刘学锋, 孙建孟, 王海涛, 等. 顺序指示模拟重建三维数字岩心的准确性评价 [J]. 石油学报, 2009, 30(3): 391~395.
- [7] 张杰, 沈霄云, 刘明贵. 智能化桩基超声波 CT 检测系统研究 [J]. 岩土力学, 2009, 30(4): 1197~1200.
- [8] 杨更社, 刘慧. 基于 CT 图像处理技术的岩石损伤特性研究 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(5): 463~468.
- [9] 杨保华, 吴爱祥, 王贻明, 等. 堆浸中矿岩散体介质孔隙结构三维可视化 [J]. 矿冶工程, 2008, 28(2): 6~9.

20]. <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9F%A6%E4%BC%AF%E5%88%86>.

- [5] 郑钢镖, 康天合, 柴肇云, 等. 运用 Rosin-Rammler 分布函数研究煤尘粒径分布规律 [J]. 太原理工大学学报, 2006, 37(3): 317~319.
- [6] 薛祥立. R-R 分布与对数正态分布关系的研究 [J]. 青岛建筑工程学院学报, 1998, 19(2): 1~4.
- [7] 姚志中. 荧光粉粒度分布的数学模型 [J]. 发光与显示, 1981(3): 36~46.
- [8] 常青, 刘玉臣, 夏培杰. 胶体颗粒大小的分布 II: 物理显影中胶体催化剂颗粒大小的分布函数 [J]. 感光科学与光化学, 1989(2): 42~46.
- [9] 刘送永, 杜长龙, 李建平. 煤截割粒度分布规律的分形特征 [J]. 煤炭学报, 2009, 34(7): 977~982.
- [10] 刘晓华, 赵明华, 苏永华. 沉积岩土粒度分布分形改进及应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(8): 1691~1697.
- [11] 郁可, 郑中山. 粉体粒度分布的分形研究 [J]. 材料科学与工程, 1995, 13(3): 30~34.
- [12] 严晓东, 马翔, 郑荣跃, 等. 三参数威布尔分布参数估计方法比较 [J]. 宁波大学学报: 理工版, 2005, 18(3): 301~305.
- [13] 龚伟俊, 李为相, 张广明. 基于威布尔分布的风速概率分布参数估计方法 [J]. 可再生能源, 2011, 29(6): 20~23.

- [10] 李玉彬, 李向良, 李奎祥. 利用计算机层析(CT)确定岩心的基本物理参数 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(6): 86~90.
- [11] 赵秀才, 姚军, 房克荣. 合理分割岩心微观结构图像的新方法 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(1): 64~67.
- [12] 易敏, 黄瑞瑶, 孙良田, 等. 测量储层多孔介质孔隙度及其分布的新方法 [J]. 西南石油学院学报, 2004, 26(1): 43~46.
- [13] 吴爱祥, 杨保华, 刘金枝, 等. 基于 X 光 CT 技术的矿岩散体浸出过程中孔隙演化规律分析 [J]. 过程工程学报, 2007, 7(5): 960~966.
- [14] WANG Dong, KANG Tian-he, HAN Wen-mei, et al. Electrochemical Modification of Tensile Strength and Pore Structure in Mudstone [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2011(48): 687~692.
- [15] 李建胜, 王东, 康天合. 基于显微 CT 试验的岩石孔隙结构算法研究 [J]. 岩土工程学报, 2010, 31(11): 1703~1708.