

刘梦红,刘何清,张强,等. 矿井综采工作面风速对喷雾粒径影响规律试验[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2020, 35(1): 17-22. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.01.003

Liu M H, Liu H Q, Zhang Q, et al. Experimental study on Influence Law of Wind Velocity on Spray Particle Size in Fully Mechanized Mining Face[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2020, 35(1): 17-22. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.01.003

矿井综采工作面风速对喷雾粒径影响规律试验

刘梦红¹, 刘何清^{1,2*}, 张强¹, 吴扬¹, 欧聪颖¹

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要:为研究矿井综采工作面喷雾除尘时, 矿井风速对喷雾粒径的影响规律, 利用模拟巷道喷雾降尘实验系统, 在5个不同矿井风速影响下对4个喷雾压力、4个不同孔径喷嘴、5个不同轴线距离的喷雾粒径进行试验研究. 利用Origin对试验数据进行曲线绘制, 并将曲线进行了趋势分析与原因分析. 结果表明: 测点位置为0.68 m时, 随矿井风速的增大, 喷雾粒径呈增大趋势, 并得出最小粒径99.25 μm 与最大粒径214.7 μm 的试验条件; 不同喷雾压力和喷嘴孔径在矿井风速影响下程度不同, 并将影响曲线进行对比和排序; 测点轴线距离越远, 喷雾粒径越小, 即 $D_a > D_b > D_c > D_d > D_e$; 测点位置为0.38, 0.68, 0.95 m处的喷雾粒径随矿井风速的增大而增加, 测点位置为1.28, 1.58 m时, 喷雾粒径在矿井风速0.25~0.65 m/s呈增大趋势, 在0.65~1.05 m/s时呈减小趋势. 试验研究结果为矿井喷雾除尘时, 对于喷雾压力、喷嘴孔径、矿井通风风速的大小选择以及喷嘴布置的合理性提供参考.

关键词: 矿井风速; 喷雾粒径; 喷雾除尘

中图分类号: TD714

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2020)01-0017-06

Experimental Study on Influence Law of Wind Velocity on Spray Particle Size in Fully Mechanized Mining Face

Liu Menghong¹, Liu Heqing^{1,2}, Zhang Qiang¹, Wu Yang¹, Ou Congying¹

(1. School of Resource Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Xiangtan 411201, China)

Abstract: In order to study the influence of the mine wind speed on the spray particle size during the dust suppression of the fully mechanized coal mining face. Based on the experimental system of simulated coal-mine spray and dust suppression, the spray diameter of experimental study among different four spray pressure, four different nozzle diameter and five different axis distance under the influence of the five mine wind speed. The curves of the experimental data are plotted by using Origin, and the trend analysis and cause analysis are carried out. The results show that when the location of the measuring point is 0.68 m, the spray particle size increases with the increase of the wind speed in the mine, and obtains the experimental conditions of the minimum particle size of 99.25 μm and the maximum particle size of 214.7 μm . The influence of different spray pressure and nozzle size on the wind speed is different, and the influence curves are compared and sorted. The farther away from

收稿日期: 2017-10-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51474105; 51704110)

* 通信作者, E-mail: hqliu8222638@163.com

the axis of the measuring point, the smaller the diameter of the spray particle, that is, $D_a > D_b > D_c > D_d > D_e$. Measuring point for 0.38, 0.68, 0.95 m of the spray particle size increases with the increase of mine wind speed, measuring point position is 1.28, 1.58 m, the spray particle size in mine wind speed 0.25~0.65 m/s increases in 0.65~1.05 m/s showed a trend of decrease. The results of the test provide reference for the selection of the spray pressure, the nozzle aperture, the ventilation velocity of the mine and the rationality of the nozzle arrangement.

Keywords: mine wind speed; spray particle size; spray dust suppression

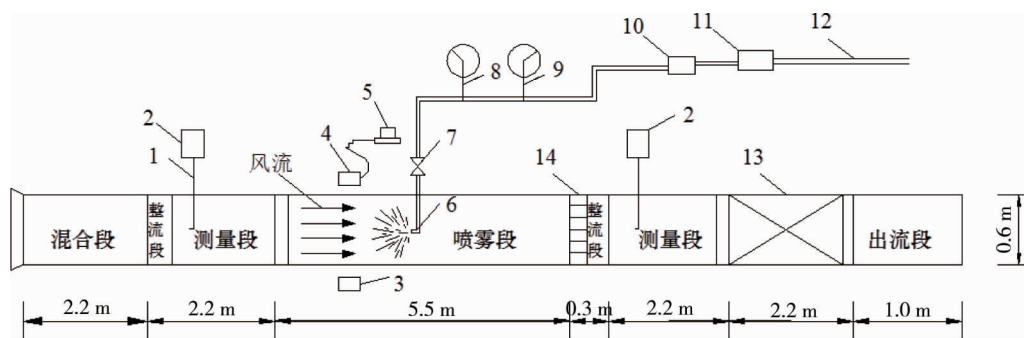
目前,矿井粉尘防治仍然是煤矿开采和职工健康的一大难题,喷雾降尘技术是矿井除尘最普遍的技术之一,喷雾粒径的大小关系到粉尘的捕捉效率,因此,许多学者对喷雾粒径进行了研究.程卫民^[1-2]等使用激光粒度分析仪在5个不同压力下的5种喷嘴进行喷雾粒径的测定,发现小孔径比大孔径的雾化效果好,喷嘴轴心的喷雾液滴小,越往喷雾外侧液滴粒径越大.Dariusz Prostanski^[3-5]运用气水喷雾雾化系统,使用1~3 mm的出口孔径对雾化粒径进行实验,研究发现,在喷嘴流量为0.1~1.0 dm³/min,空气流量为50~100 dm³/min,在压力为0.5 MPa,喷嘴雾滴中粒径为20~50 μm,90%的液滴粒径不超过90 μm,10%的液滴粒径不超过10 μm.陈斌^[6-9]等气液两相混合的实验对喷雾雾化特性及喷雾粒径进行测定,气相压力一定时,喷雾平均粒径会随液相压力的增大而增大,液相压力一定,喷雾液滴随气相压力的升高而降低.但液相压力过低时,喷雾粒径增大不显著.曹建明^[10-11]等通过实验研究,发现液滴平均粒径随喷雾压力的减小而增大,分布曲线的峰值减低,曲线较平缓,雾化质量变差,但液滴的尺寸分布更均匀.聂文^[12-13]等在2~8 MPa下,使用4种实心锥形雾场喷嘴进行雾化特性的测定,喷雾粒径随轴向距离的增大,随中心距离的增大而对称减小.

由此可知,在矿井喷雾除尘研究中,学者对喷雾压力、喷嘴孔径、不同喷雾距离与液滴粒径间的关系研究的较深入,但矿井风速对喷雾粒径的影响研究鲜见报道.因此本文采用试验手段,研究在矿井风速作用下,不同喷雾压力、不同喷嘴孔径、不同的喷雾距离与液滴粒径间的关系,为矿井喷雾降尘效果提供参考.

1 试验系统及试验方案

1.1 试验系统简介

如图1所示,本试验是在模拟巷道喷雾降尘系统实验平台中进行,该系统可仿真煤矿井下综采工作面的矿井风流、喷雾等状态,由15.6 m×0.6 m的巷道模型(喷雾段为1 cm的有机玻璃,其余部分为由不锈钢)板、马尔文粒径分析仪(测量粒度范围为0.1~2 000.0 μm,精确度≥1%)、变频调节的风机、TSI9565-P风速仪(风速可测范围为0~50 m/s,精度为±3%,分辨率为0.01 m/s)、BPZ75/12型喷雾高压泵、DX-801XB00150型数字压力表(精度为±1.0%)等构成.



1.托风管;2.TSI9565-P 风速仪;3.发射器;4.接收器;5.马尔文粒径分析仪系统;6.压力式喷嘴;7.流量调节阀;8.DX-801XB00150 型数字式压力表;9.智能电磁流量计;10.BPZ75/12 型高压水泵;11.储水箱;12.接市政自来水管;13.风机;14.整流装置

图1 模拟巷道喷雾降尘实验系统

1.2 试验步骤及方案

试验步骤:(1)将变频风机频率调至设定值,使用图2的TSI9565-P风速仪对模拟巷道风速测量点的

中心与两侧管壁进行测量,并取平均值,即为测量风速。(2)待风流稳定后,利用喷雾高压泵将水加压通过喷嘴喷出并雾化,观察 DX-801XB00150 型数字式压力表使水压稳定在设定值。(3)使用马尔文粒度分析仪测量喷嘴的喷雾粒径,记录数据并分析。

试验方案:(1)选用不同孔径为 1.0,1.2,1.5,1.8 mm 的压力式雾化喷嘴,并分别记为 r_1, r_2, r_3, r_4 ,喷雾压力为 1,2,3,4 MPa 下的进行喷雾粒径的测量,并分别记为 P_1, P_2, P_3, P_4 。据《煤矿安全规程》,采煤工作面与掘进工作面中的煤巷允许风速为 0.25~4.00 m/s,综合考虑试验条件,仅考虑模拟巷道风速为 0.25, 0.45,0.65,0.85,1.05 m/s 进行喷雾粒径试验;(2)在距喷嘴轴线 0.68 m 处,当喷嘴孔径为固定参数,测量不同喷雾压力下,矿井风速对喷雾粒径的影响。当喷雾压力为固定参数,测量不同孔径下的喷嘴,矿井风速对喷雾粒径的影响;(3)如图 3,为测量不同轴线喷雾距离下的雾化粒径,使用 1.2 mm 孔径的压力式喷嘴,当喷雾压力为 2 MPa,选择离喷嘴轴线距离为 0.38,0.68,0.98,1.28,1.58 m 处的 5 个不同测点,记为 a,b,c,d,e,在不同的矿井风速条件下,对不同距离处的喷雾粒径进行试验。



图2 TSI9565-P 风速仪

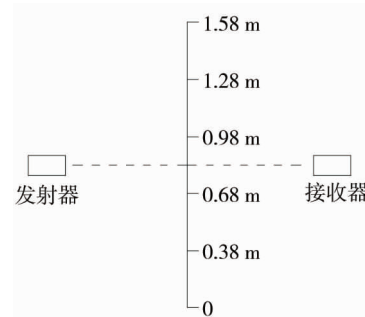


图3 不同轴线喷雾距离下的喷雾粒径

2 试验结果及规律分析

对不同喷嘴孔径、不同喷雾压力、不同巷道风速对喷雾粒径的影响进行 80 组试验,对不同轴线喷雾距离下的喷雾粒径进行 16 组试验,图 4 为其中 2 组的粒径分布图,一般以中粒径为喷雾粒径的研究对象,将试验数据通过 Origin 绘制曲线,进行分析并得出规律。

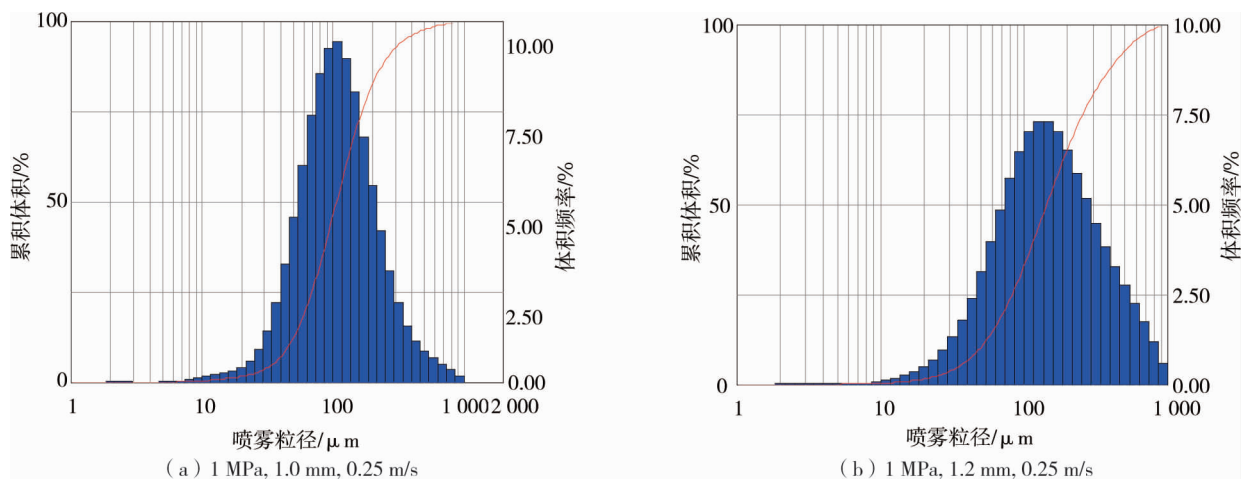


图4 喷雾粒径分布

2.1 不同喷雾压力下矿井风速对喷雾粒径的影响

如图 5 所示,在测点位置为 0.68 m 处,分别为孔径 1.0,1.2,1.5,1.8 mm 在不同喷雾压力下矿井风速对喷雾粒径影响的曲线图,由图可看出:

- 1) 不论喷嘴孔径的大小及喷雾压力的大小,随矿井风速的增大,喷雾粒径均呈增大趋势。
- 2) 当喷雾压力为 1 MPa 时,随矿井风速的增大,孔径为 1.0,1.2,1.5 mm 的喷嘴的喷雾粒径呈近稳定

的小幅度增加,孔径为1.8 mm的喷嘴喷雾粒径呈由120.0增加至142.3 μm ;喷雾压力为2 MPa时,孔径为1.0,1.8 mm的喷嘴呈近线性增加趋势,孔径为1.5 mm的喷嘴,当矿井风速由0.45增大至0.65 m/s,喷雾粒径由120.4减小至119.9 μm ,其余均为增大趋势;喷雾压力为3 MPa时,孔径为1.5,1.8 mm的孔径随矿井风速的增大而呈近线性增大,分别从148增加至214 μm ,126.5增加至199.3 μm .矿井风速由0.25增大至0.65 m/s时,1.0 mm孔径的喷嘴由146.1增加至151.2 μm ,然后快速增加至171.9 μm ,1.2 mm孔径的喷嘴由120.8急剧增加至161.7 μm ,然后快速增加至176.9 μm ,但当风速由0.65增大至1.05 m/s时,孔径为1.0,1.2mm的喷嘴喷雾粒径的变化趋势均较平稳;喷雾压力为4 MPa时,孔径为1.2,1.5,1.8mm喷嘴随矿井风速的增大而增加,当喷嘴孔径为1.0 mm时,矿井风速由0.25增大至0.65 m/s,喷雾粒径由131.6减小至127.7 μm ,矿井风速由0.65增大至1.05 m/s,喷雾粒径由127.7增加至139.5 μm .

3) 喷嘴孔径为1.0 mm时,矿井风速为0.45~1.05 m/s, $D_{P_1} < D_{P_2} < D_{P_4} < D_{P_3}$,矿井风速为0.25 m/s, $D_{P_2} < D_{P_1} < D_{P_4} < D_{P_3}$;喷嘴孔径为1.5 mm时, $D_{P_2} < D_{P_1} < D_{P_4} < D_{P_3}$ 成立;喷嘴孔径为1.8 mm时, $D_{P_1} < D_{P_2} < D_{P_3} < D_{P_4}$;喷嘴孔径为1.2 mm时,无明显的趋势关系存在.

4) 喷雾压力为1 MPa,矿井风速由0.25~0.45 m/s, $D_{r_1} < D_{r_4} < D_{r_3} < D_{r_2}$,矿井风速由0.45~1.05 m/s, $D_{r_1} < D_{r_3} < D_{r_4} < D_{r_2}$;喷雾压力为2 MPa, $D_{r_1} < D_{r_3} < D_{r_4} < D_{r_2}$ 成立;喷雾压力为4 MPa,矿井风速由0.25~0.45 m/s, $D_{r_1} < D_{r_3} < D_{r_2} < D_{r_4}$,矿井风速由0.45~1.05 m/s, $D_{r_1} < D_{r_2} < D_{r_3} < D_{r_4}$ 成立.

5) 试验结果显示,在喷雾压力2 MPa,喷嘴孔径1 mm,巷道风速0.25 m/s试验条件下,为最小喷雾粒径99.28 μm ,在喷雾压力3 MPa,喷嘴孔径1.5 mm,巷道风速1.05 m/s,为最大喷雾粒径214.7 μm .

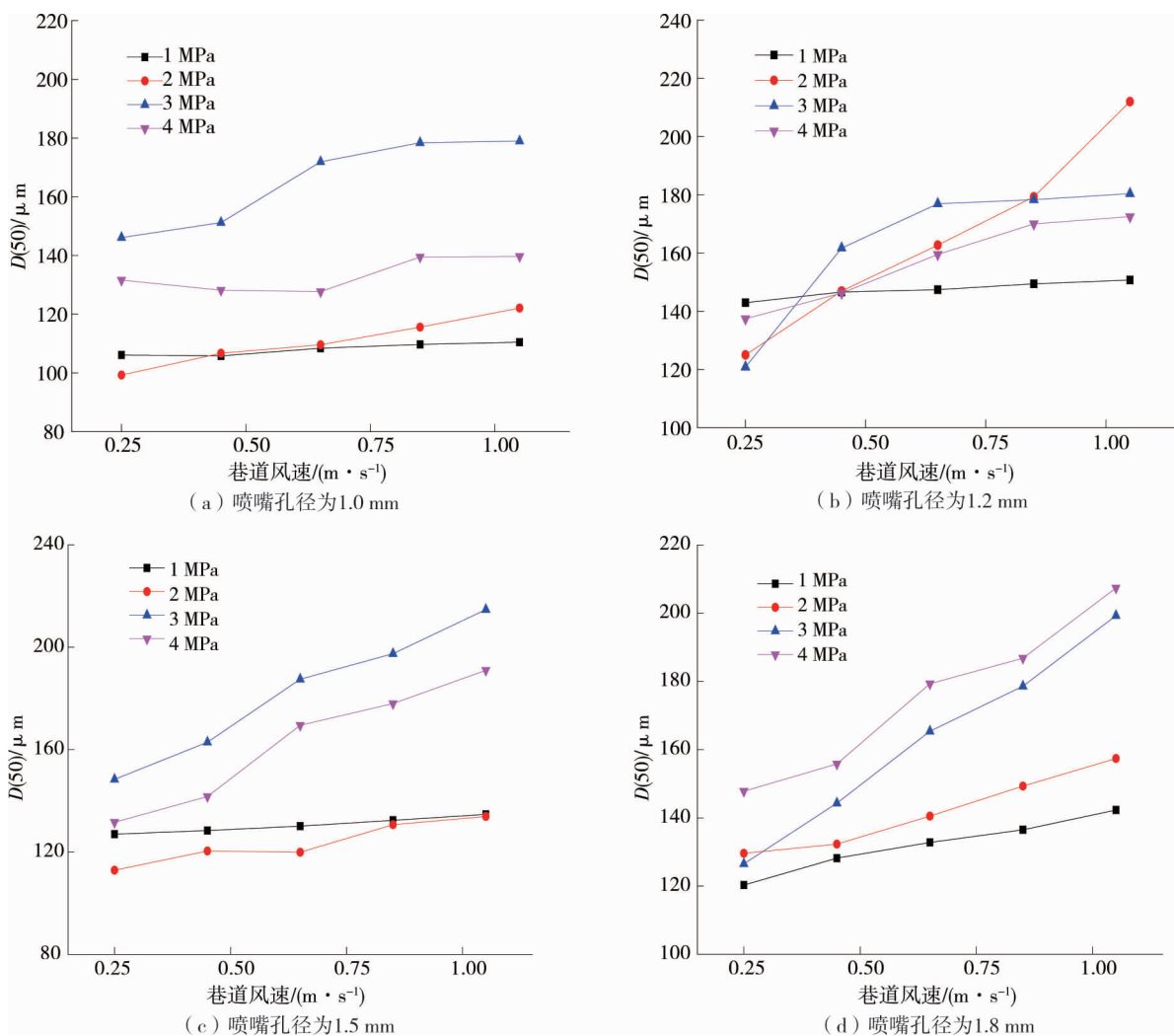


图5 不同喷雾压力、不同喷嘴孔径下矿井风速对喷雾粒径的影响

2.2 不同喷雾距离下矿井风速对喷雾粒径的影响

为以 1.2 mm 孔径的喷嘴为代表,当喷雾压力为 2 MPa,矿井风速分别为 0.25,0.45,0.65,0.85m/s,在距离喷嘴为 a,b,c,d,e 处,对不同的喷雾距离下矿井风速对喷雾粒径的影响进行试验,其试验结果如表 1.

表 1 1.2 mm 孔径喷嘴在不同喷雾距离下矿井风速对喷雾粒径的试验结果

试验号	测点距离/m	巷道风速/(m/s)	喷雾粒径/ μm	试验号	测点距离/m	巷道风速/(m/s)	喷雾粒径/ μm
1	0.38	0.25	143.5	14	0.98	0.85	159.1
2	0.38	0.45	151.1	15	0.98	1.05	170.3
3	0.38	0.65	163.3	16	1.28	0.25	101.2
4	0.38	0.85	205.9	17	1.28	0.45	115.8
5	0.38	1.05	229.5	18	1.28	0.65	138.7
6	0.68	0.25	125.0	19	1.28	0.85	140.3
7	0.68	0.45	146.9	20	1.28	1.05	121.2
8	0.68	0.65	162.7	21	1.58	0.25	87.7
9	0.68	0.85	179.3	22	1.58	0.45	114.5
10	0.68	1.05	212.0	23	1.58	0.65	118.6
11	0.98	0.25	116.1	24	1.58	0.85	90.3
12	0.98	0.45	119.8	25	1.58	1.05	80.8
13	0.98	0.65	152.6				

将 25 组试验结果通过 Origin 软件绘制出曲线,由图 6 可看出:

1) 离喷嘴喷雾轴线距离越远的测量点,喷雾粒径越小,即 $D_a > D_b > D_c > D_d > D_e$;

2) 不论轴线距离远近,矿井风速由 0.25 增大至 0.65 m/s,喷雾粒径均有所增加,矿井风速由 0.65 增大至 1.05 m/s,测点位置为 a,b,c 处的喷雾粒径均有所增加,测点位置为 1.28 和 1.58 m 处的喷雾粒径均减小;

3) 当测点位置为 a: 矿井风速由 0.25 增大至 0.65 m/s 时,喷雾粒径由 143.5 平缓增加至 163.3 μm ; 矿井风速由 0.65 增大至 1.05 m/s,喷雾粒径急剧增加至 205.9 μm ,然后增加至 229.5 μm . 当测点位置为 0.58 m,喷雾粒径随矿井风速的增大而近线性增加. 当测点位置为 b, 矿井风速由 0.45 增大至 0.65 m/s 时,喷雾粒径由 119.8 快速增加至 152.6 μm . 当测点位置为 c 和 d, 喷雾粒径在矿井风速从 0.25 增大至 0.65 m/s 时,分别由 101.2,87.7 μm 增加至 138.7,118.6 μm ,但当风速继续由 0.65 增大至 1.05 m/s,喷雾粒径分别减小 121.2 和 80.8 μm .

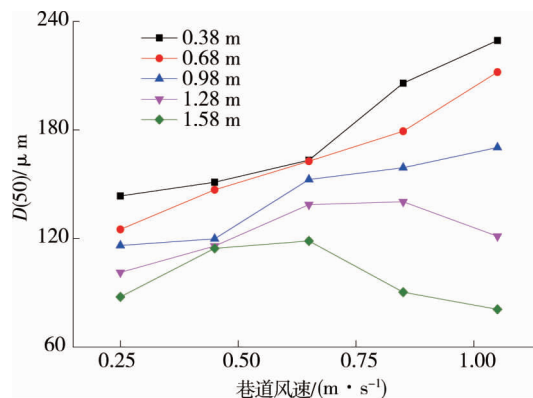


图 6 不同轴线距离测点对喷雾粒径的影响

以上现象原因如下:

1) 大液滴在喷嘴出口由于重力作用沉降速度快,小液滴由于与空气作用时间长而漂浮时间长,导致运动距离较远;

2) 由于液滴与风速对流作用,液滴间产生喷撞和凝聚等作用,使液滴的粒径增加,但由于大小液滴作用所需的风速不同,小液滴由于风速过大而被迫沉降速度增加,导致 c 与 d 处在矿井风速增大至 0.65 m/s

时,喷雾粒径呈减小趋势;

3) 矿井风速的增大,导致部分小粒径液滴顺风流吹走,马尔文粒度分析仪无法检测到。

3 结论

1) 在距喷嘴 0.68 m 测点处时,随矿井风速的增大,喷雾粒径呈增加趋势。

2) 喷嘴孔径与喷雾压力的不同,矿井风速对喷雾粒径的影响程度不同,可用 Origin 绘制曲线,并将曲线的喷雾粒径大小进行排序。

3) 对 5 个不同轴线距离的喷雾测点,测点距离增加,则喷雾液滴减小。测点位置为 1.28 与 1.58 m 处时,喷雾粒径在矿井风速 0.25~0.65 m/s 呈增大趋势,在 0.65~1.05 m/s 时呈减小趋势。

参考文献:

- [1] 程卫民,周刚,左前明,等. 喷嘴喷雾压力与雾化粒度关系的实验研究[J]. 煤炭学报,2012,35(8):1308-1313.
- [2] 程卫民,聂文,周刚,等. 煤矿高压喷雾雾化粒度的降尘性能研究[J]. 中国矿业大学学报,2011,40(2):185-206.
- [3] Prostański D. Use of air-and-water spraying system for improving dust control mines[J]. Journal of Sustainable Mining, 2013, 12(2):29-34.
- [4] Mlkvik M, Stähle P, Schuchmann H P, et al. Twin-fluid atomization of viscous liquids: the effect of atomizer construction on breakup process, spray stability and droplet size[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2015,77: 19-31.
- [5] Soltani M R, Ghorbanian K, Ashjaee M, et al. Spray characteristics of a liquid-liquid coaxial swirl atomizer at different mass flow rates[J]. Aerospace Science and Technology, 2005, 9(7): 592-604.
- [6] 陈斌,郭烈锦,张西民,等. 喷嘴雾化特性实验研究[J]. 工程热物理学报,2001,22(2):237-240.
- [7] 王鹏飞,刘荣华,桂哲,等. 煤矿井下气水喷雾雾化特性及降尘效率理论研究[J]. 煤炭学报,2016,41(9):2252-2262.
- [8] 曹卓熊,姜培正,谢蔚明,等. 喷嘴雾化粒径的实验研究[J]. 西安交通大学学报,2000,34(4):75-77.
- [9] 杨延龙,魏秀业,赵雷雨,等. 不同喷雾压力下雾化场气液两相流数值仿真[J]. 煤矿安全,2017,48(3):25-27.
- [10] 曹建明,李雪莉,刘朋,等. 喷射压力对喷雾的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版),2009,29(4):91-96.
- [11] 马素平,寇子明. 喷雾降尘机理的研究[J]. 煤炭学报,2005,30(3):297-300.
- [12] 聂文,彭慧天,晋虎,等. 喷雾压力影响采煤机外喷雾喷嘴雾化特性变化规律[J]. 中国矿业大学学报,2017,46(1):41-43.
- [13] 金仁喜,袁江涛,杨立,等. 压力喷嘴常温下雾化特性实验研究[J]. 海军工程大学学报,2012,24(3):52-56.