

供水压强对气水喷雾雾化粒度的影响

桂哲, 刘荣华*, 王鹏飞, 张文, 苟尚旭, 舒威

(湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 为了研究供水压强对气水喷雾雾化粒度的影响, 基于自行设计的气水混合喷雾试验系统, 在供气压强一定的情况下, 利用 Spraytec 马尔文粒径分析仪在不同供水压强下对雾场雾化粒径进行测量, 用电磁流量计和转子流量计对水流量和气流量进行测定. 结果表明: 当供气压强一定的情况下, 随着供水压强增大, 水流量逐渐增加, 气流量缓慢减小; 气液比随供水压强的增大而减小, 且减小的幅度变缓, 最后几乎保持不变; 雾滴粒径随供水压强的减小而减小, 当供水压强较小时, 气液比大, 雾化效果好, 雾滴粒径可达 20 μm 左右.

关键词: 气水喷雾; 雾化粒度; 供水压强; 实验

中图分类号: TD714+.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-5876(2016)03-0021-05

Influence of water supply pressure over atomization particle size by air – water spray

GUI Zhe, LIU Ronghua, WANG Pengfei, ZHANG Wen, GOU Shangxu, SHU wei

(School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: In order to study atomization particle size of air – water spray, this paper, based on the self – designed experiment system of air – water spraying dust suppression, uses the Malvern Spraytec particle size analyzer to measure the atomization particle size at different water supply pressures under the condition of constant air supply pressure. The experimental results show that, with the increase of water supply pressure, the water flow of air blast atomizer increases, while the gas flow decreases, gas liquid ratio decreases, and the rate of decrease slows down; atomization particle size decreases with the decrease of water supply pressure, gas liquid ratio increases at a lower water supply pressure when the air blast atomizer has a good atomization performance.

Key words: air – water spray; atomization particle size; water supply pressure; experiment

随着矿井现代化建设的加速, 煤矿开采的机械化、自动化水平日益提高, 大型高集成机械化设备在井下得到广泛使用, 煤矿开采强度越来越大, 生产效率得到了较大提高, 粒径小于 7 μm 的呼吸性粉尘的含量随之大幅度上升. 粉尘 (特别是呼吸性粉尘) 浓度的急剧升高, 给井下工作人员的身体健康和安全生产以及设备的正常工作运行造成了极大的威胁^[1-3]. 目前, 国内外在采掘工作面采取的主要防尘措施有通风控尘、煤体预注水、喷雾降尘、除尘器抽尘净化及封闭隔尘等. 其中, 喷雾降尘作为一种具有经济简便和实用等优点的防尘措施, 在煤矿井下得到了广泛应用, 其降尘原理是通过喷嘴喷出的高速雾状水滴来捕获空中漂浮的粉尘. 然而从煤矿的实际的除尘应用情况来看, 喷雾降尘的效果仍然不理想^[4-6].

在其他行业, 如内燃机、消防高压雾化、工业雾化干燥、钢铁冶金等行业对喷嘴的研究最为全面, 气水雾化喷嘴应运而生并得到广泛的应用^[7], 目前气水雾喷雾除尘在我国部分煤矿的采掘工作面进入试验阶段. 气水喷雾除尘是一种高效节能的除尘措施, 气水喷雾可以在常压供水条件下得到高压喷雾效果, 耗水

收稿日期: 2015-11-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51574123); 湖南省研究生科研创新基金资助项目 (CX2015B539)

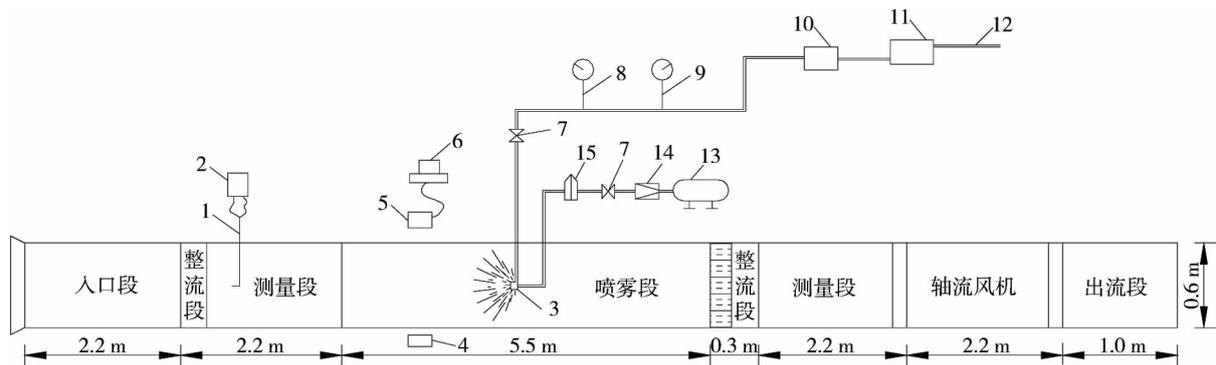
* 通信作者, E-mail: rhliu2008@sina.com

量小,雾化粒径较小.雾滴对粉尘的捕集效率与雾滴的最小粒径有重要关系,只有当雾滴粒径与粉尘粒径相当的时候,粉尘才更容易被捕集沉降,特别对于呼吸性粉尘,欲提高呼吸性粉尘的除尘效率,必须使雾滴粒径达到较小的尺寸^[8-11].气水喷雾是在一定供气压强下,以气体介质中携带的能量,在混合室中通过挤压、加速或剪切等方式撕裂液体介质,使液体破碎为粒径较小的液滴.就目前国内喷雾领域的研究而言,通常认为液滴雾化最有效的途径是通过提高液滴与周围空气之间的相对速度,而空气助力对射流的碎裂和雾化有显著的促进作用.曹建明等通过对空气助力与射流破碎的内在联系进行理论分析,结合供气压强对雾滴粒径的实验影响,得出空气的相对速率对射流液滴雾化粒径的关系^[12-14].本文选择使用气液两相流内混式雾化喷嘴,采用实验手段,在供气压强一定的情况下,对空气雾化喷嘴的供水压强与气液比和喷雾雾化粒度分布的关系进行了实验研究.

1 实验系统及方案

1.1 实验系统

可仿真煤矿井下采掘工作面风流、喷雾等状态的气水喷雾系统如图1所示.巷道模型由入口段、整流段、测量段、喷雾段、轴流风机段及出流段组成.在实验时为便于观测和气水喷雾雾化粒径的测量,巷道模型喷雾段由1 cm厚的透明有机玻璃制作而成,其他部分均由不锈钢板加工制作而成.



1 - 毕托管; 2 - 风速仪; 3 - 空气雾化喷嘴; 4 - 激光发射器; 5 - 激光接收器; 6 - 计算机; 7 - 流量调节阀; 8 - 数字式压强表; 9 - 智能电磁流量计; 10 - 高压水泵; 11 - 储水箱; 12 - 接市政自来水管; 13 - 空气压缩机; 14 - 减压阀; 15 - 转子流量计

图1 气水喷雾实验系统示意图

实验系统由 Spraytec 马尔文雾滴粒径分析仪、智能电磁流量计、数字式压强表、转子流量计、气水雾化喷嘴、YL90L-2 空气压缩机、变频调节的风机和 BPZ 75/12 型喷雾高压泵等构成.气水雾化喷嘴主要由五部分组成,即进水端口、进气端口、气水混合室、喷雾出口以及调节阀;供气管和供水管分别与气水雾化喷嘴的进气端口和进水端口相连接,空气和液体经各自的端口流入,在气水混合室混合,经喷雾出口喷出.调节阀可以调节进水量.现场布置和气水雾化喷嘴分别如图2和图3所示.



图2 雾化特性测量现场



图3 气水雾化喷嘴结构图

1.2 实验方案

气水在混合室混合后经喷嘴射出雾化,用 Spraytec 马尔文粒径分析仪可以测量其雾场的雾滴粒径及

粒径分布. Spraytec 马尔文粒径分析仪采用专利型多散射分析技术来测量雾滴粒径,利用激光束穿过喷雾区时,通过高达每秒 10 000 次的测量,对随时间快速改变的滴液粒度进行确定. 该仪器测量宽粒度范围为 0.1 ~ 2 000 μm ,精确度高于 1%,重复性和重现性大于 1%,反应速度快,通过独特的粒度演变分析软件能及时跟踪喷雾粒度的动态变化的特点,能够满足本文实验系统的要求.

实验以清水为工质,选用气水两相雾化喷嘴作为实验喷嘴,喷嘴出口的孔径为 3.0 mm,喷嘴设置为逆着风流方向. 通过调节变频风机和泵的的频率,用 TSI9565 - P 热线风速仪测定模拟实验巷道内测量段内的平均风速为 0.5 m/s,在供气压强固定为 0.5 MPa 时,供水压强分别调为 0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8 MPa 时,在距离喷嘴出口 500 mm 处测定喷雾雾场的雾滴粒径分布,智能电磁流量和转子流量计记录该喷嘴在不同工况下的流量数据. 然后按照同样的步骤测量供气压强分别为 0.4,0.6 MPa 时距离喷嘴出口 500 mm 处时的雾场雾滴粒径分布和流量数据.

2 实验结果分析

实验先固定供气压强为 0.5 MPa,供水压强设置为 0.3 ~ 0.8 MPa,在距离喷嘴出口 500 mm 的位置对气水雾化喷嘴的雾化粒径进行测定得到不同供水压强下的粒径分布图(图 4),同时得到该气水雾化喷嘴在不同供水压强下的水流量和气流量数据(表 1).

表 1 雾化粒径参数

供水压强 /(MPa)	气流量 /(m^3/h)	水流量 /(m^3/h)	$D_v(90)$ / μm	$D_v(50)$ / μm	$D_v(10)$ / μm	$D_{[4,3]}$ / μm	$D_{[3,2]}$ / μm
0.3	10.6	0.046	51.36	28.60	14.63	30.96	20.66
0.4	9.5	0.081	118.20	54.35	24.71	70.59	39.68
0.5	9.2	0.111	413.90	101.20	33.46	168.90	63.48
0.6	8.8	0.127	535.30	139.20	37.50	220.20	75.93
0.7	8.6	0.156	594.10	175.50	41.21	253.80	86.25
0.8	8.3	0.172	621.10	202.30	43.87	273.20	93.54

注: $D_{[3,2]}$ 和 $D_{[4,3]}$ 分别表示索太尔平均径(SMD)和体积加权平均径; $D_v(10)$, $D_v(50)$ 和 $D_v(90)$ 为特征粒径,分别代表小于此粒径的颗粒体积占全部颗粒总体积的 10%、50%和 90%.

从表 1 可以看出,用于描述喷雾雾化粒径的指标有 $D_v(90)$, $D_v(50)$, $D_v(10)$, $D_{[4,3]}$ 和 $D_{[3,2]}$. 在衡量雾滴粒径时,由于喷嘴喷雾形成的雾场是由大小不等的雾滴颗粒组成,为了评定和描述雾滴的雾化质量,通常用 $D_{[3,2]}$ 和 $D_v(50)$ 来表示. 在本实验中采用 $D_{[3,2]}$ 作为描述喷雾雾化粒径指标参数. 当供气压强一定时,供水压强从 0.3 MPa 升高到 0.8 MPa 时,水流量从 0.046 m^3/h 逐渐增大到 0.172 m^3/h ,气流量从 10.6 m^3/h 减少到 8.3 m^3/h ,且变化幅度越来越小. 供水压强增加,水流速度增加,故水流量增加,在混合时因水流速度及压强相对过高,阻碍了空气的流出,导致气流量减小. 气水喷雾形成的雾场雾化粒径随着供水压强的减小而减小. 例如当供水压强由 0.8 MPa 减小至 0.7 MPa 时, $D_{[3,2]}$ 由 93.54 μm 减小至 86.25 μm , $D_{[3,2]}$ 减小了 7.29 μm ,当供水压强从 0.7 MPa 减小到 0.6 MPa 时, $D_{[3,2]}$ 减小了 10.32 μm ,而后供水压强从 0.6 MPa 到 0.5 MPa,再到 0.4 MPa,最后到 0.3 MPa 时, $D_{[3,2]}$ 分别减小了 12.45, 23.80, 19.02 μm . 当供水压强从 0.8 MPa 减小到 0.4 MPa 而后再减小到 0.3 MPa 时,先前雾滴粒径 $D_{[3,2]}$ 减小的幅度越来越大,而后 $D_{[3,2]}$ 减小的幅度变缓. 由于供水压强减小,水流速减小,气液比变大,空气的相对速率变大,空气对水的破碎和雾化作用越明显,故 $D_{[3,2]}$ 减小的幅度变大,当供水压强从 0.4 MPa 继续减小时,空气的相对速率对水的破碎和雾化效果减弱, $D_{[3,2]}$ 减小的幅度会变缓.

从图 4 不同供水压强下雾化粒径分布结合表 1 可以看出,当供水压强为 0.3 MPa 时, $D_v(90)$ 为 51.36 μm , $D_v(10)$ 为 14.63 μm ,雾滴粒径的范围主要集中在 15 ~ 50 μm 之间;当供水压强到 0.8 MPa 时, $D_v(90)$ 为 621 μm , $D_v(10)$ 为 43.87 μm ,雾滴粒径的范围主要集中在 45 ~ 700 μm 之间,较小粒径所占的比例明显比供水压强为 0.3 MPa 时的小. 从表 1 可以看出,当供气压强一定时,随着供水压强的增大,供水量逐渐增加,水流的速度增加,空气的相对速率减小,空气对液体的雾化作用效果减弱,雾滴粒径分散范围变大,雾滴粒径的集中区域向粒径偏大的方向移动,不利于呼吸性粉尘的捕集. 综合考虑,供水压强太高,雾化粒径偏高,不利于呼吸性粉尘的捕集;供水压强过低,水流量减小,不利于全尘的捕集. 改变其供气压

强(0.4 MPa 和 0.6 MPa),按照同样的方法进行实验,得到的实验结果的特性基本一致,其有关曲线如图 5 ~ 图 8 所示.

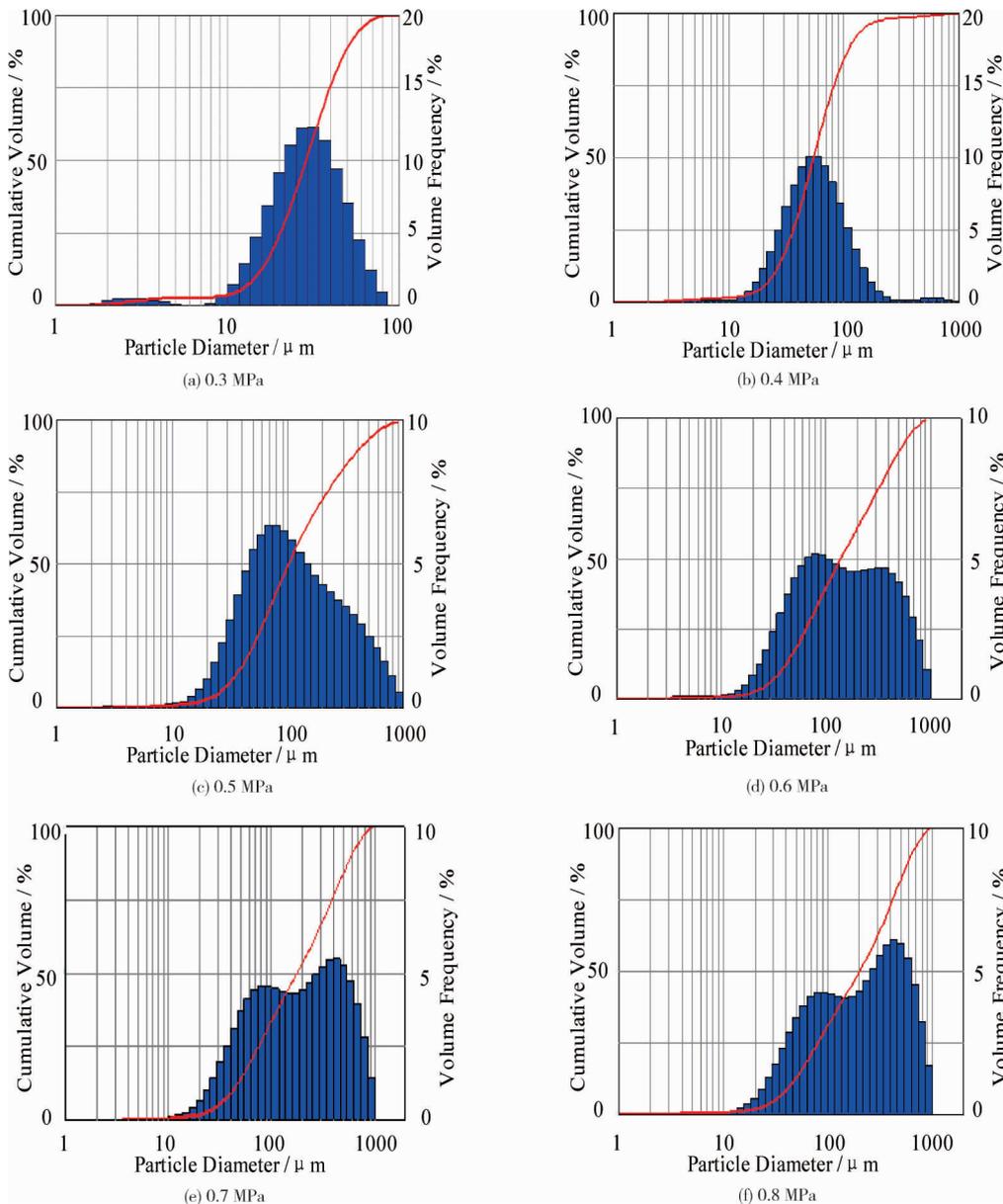


图 4 不同供水压强下的粒径分布

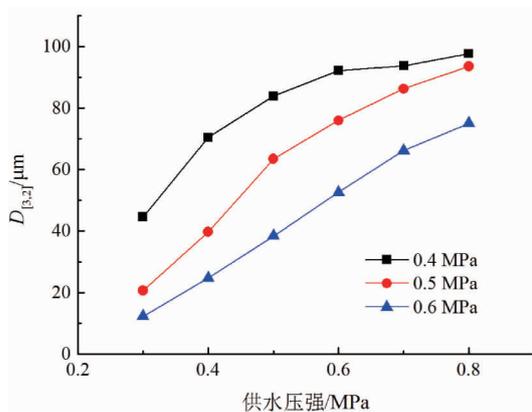


图 5 雾滴粒径与供水压强的关系图

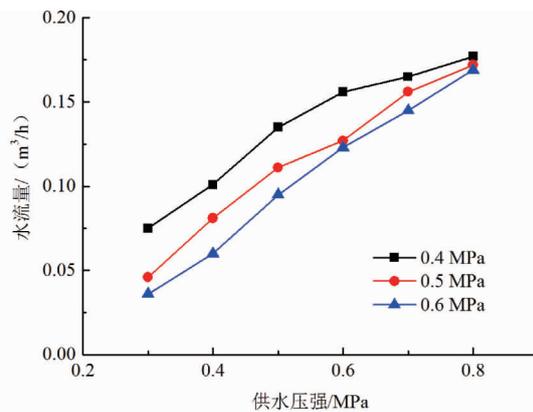


图 6 水流量与供水压强的关系图

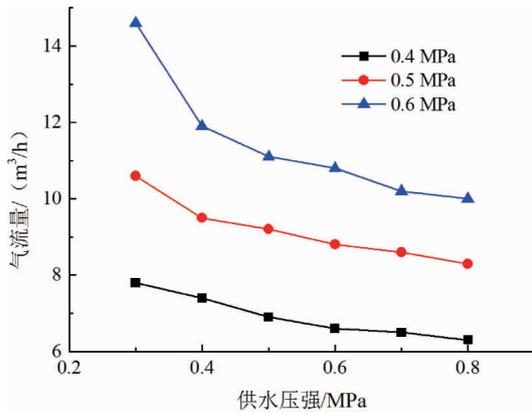


图7 气流量与供水压强的关系图

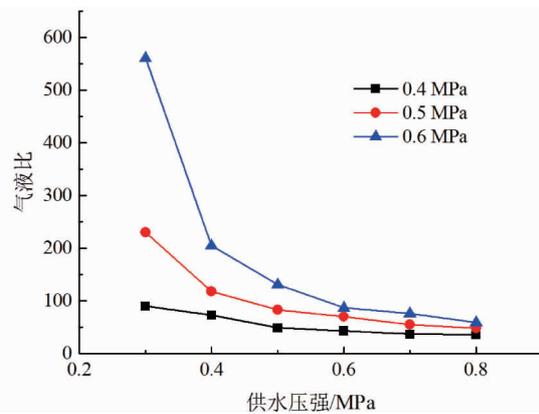


图8 气液比和供水压强的关系图

3 结论

1) 当供气压强一定时,供水压强增大,水流速度加快,流量增加;由于在混合室内液体压强过高,阻碍了空气的流出,气流量减小.且当供水压强增加到一定程度,气流量的变化幅度变小.

2) 当供气压强一定时,供水压强减小,水流量小,气流量增加,气液比较大,气体的相对速率增加,对液体的破碎和雾化效果越来越显著, $D_{[3,2]}$ 变小,且减小的幅度变大,当供水压强从0.4 MPa继续减小时,空气的相对速率对水的破碎和雾化效果减弱, $D_{[3,2]}$ 的变化会趋于平缓.在井下采用气水喷雾除尘,供水压强不宜过高,否则雾化粒径偏大,不利于呼吸性粉尘的捕集;供水压强不应太低,否则水流量减小,不利于全尘的捕集.

参考文献:

- [1] 时训先,蒋仲安,周姝嫣,等.综采工作面粉尘分布规律的实验研究[J].煤炭学报,2008,33(10):1117-1121.
- [2] 时训先,蒋仲安,褚燕燕.煤矿综采工作面防尘技术研究现状及趋势[J].中国安全生产科学技术,2005,1(1):41-43.
- [3] 李德文,马俊,刘何清.煤矿粉尘及职业病防治技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007.
- [4] 刘毅.综采工作面粉尘运动规律及高压喷雾除尘技术的研究[D].北京:北京科技大学,2006.
- [5] 王鹏飞,刘荣华,汤梦,等.煤矿井下高压喷雾雾化特性研究[J].环境工程学报,2015,9(9):4433-4439.
- [6] 王鹏飞,刘荣华,汤梦,等.煤矿井下高压喷雾雾化特性及其降尘效果实验研究[J].煤炭学报,2015,40(9):2124-2130.
- [7] 侯凌云,侯晓春.喷嘴技术手册[M].北京:中国石化出版社,2011.
- [8] 马素平,寇子明.喷雾降尘效率与喷雾参数匹配研究[J].中国安全科学学报,2006,16(5):84-89.
- [9] 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.
- [10] 程卫民,周刚,左前明,等.喷嘴喷雾压强与雾化粒度关系的实验研究[J].煤炭学报,2010,35(8):1308-1313.
- [11] 曾卓雄,姜培正,谢蔚明.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.
- [12] 曹建明.空气雾化喷嘴特征参数的研究[R].长安大学,2011.
- [13] 曹建明,朱辉,郭广祥,等.空气助力改善液滴雾化质量的研究[J].实验流体力学,2013,27(1):56-60.
- [14] 曹建明,卢林春,李跟宝,等.粘性和空气助力作用对液体碎裂过程的影响[J].中国西部科技,2011,10(31):1-3.