

高压喷雾雾化特性及降尘效率实验研究

汤梦, 刘荣华, 王鹏飞, 张文, 桂哲

(湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 为了研究喷嘴的雾化特性和高压喷雾降尘效果, 在模拟井下巷道降尘装置性能实验平台上开展了喷雾降尘实验. 利用 Spraytec 马尔文粒径分析仪对孔径为 1.0 mm 的压力型雾化喷嘴进行了 5 种不同压力下的雾化粒径测量实验, 得到了该喷嘴在不同压力下的雾滴粒径数据; 通过对巷道喷雾段前断面和喷雾段后断面的粉尘浓度同步测量, 得到了不同喷雾压力下喷雾降尘效率数据. 实验结果表明: 对于该型号的喷嘴, 随着喷雾压力增加, 喷嘴流量增加, 雾化粒径减小, 当压力达到一定值后, 继续增加喷雾压力, 雾粒减小的幅度减缓; 在风速和粉尘浓度一定时, 全尘和呼吸性粉尘降尘效率随着压力的增加而增加, 达到一定的压力值后增加的幅度减小; 对于孔径为 1.0 mm 的喷嘴, 降尘效果最佳的喷雾压力为 8 MPa.

关键词: 喷雾压力; 雾化粒度; 喷雾流量; 降尘效率

中图分类号: TD714.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2015)01-0076-05

Experimental study of high - pressure spray atomization characteristics and dust suppression efficiency

TANG Meng, LIU Ronghua, WANG Pengfei, ZHANG Wen, GUI Zhe

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

Abstract: In order to study the atomization characteristics of high - pressure spray nozzles and dust efficiency, this paper, based on the underground tunnel dust suppression device performance test platform, uses the Malvern Spraytec particle size analyzer measured atomized particle size based on the pore size of the pressure atomizing nozzle 1.0 mm at five kinds of different pressures to obtain the nozzle at different pressures particle size data; by around 1.0 mm nozzle spray dust sampling conducted, this paper measures the efficiency of high - pressure spray of dust, spray dust efficiency obtained under different spray pressure. According to the data analysis results, spray atomization pressure increases as the particle size decreases; efficiency of full dust and respirable dust increases with increasing pressure at a certain wind speed and the dust concentration. The pressure reaches a certain value to reduce the rate of increase, and for the aperture of 1.0 mm nozzle, the best spray dust pressure is 8 MPa.

Key words: spray pressure; atomization; particle size; spray flux; dust suppression efficiency

在煤矿生产过程中, 采煤机械化、自动化水平的日益提高, 加大了煤矿开采强度与煤尘产生量, 同时也使粒径小于 7 μm 的呼吸性粉尘含量大幅度上升. 喷雾降尘作为一种防尘措施具有经济、简便和实用等优点, 在煤矿井下得到了广泛应用, 但喷嘴雾化的效果和捕尘效率仍不能满足矿井降尘的要求, 尤其对呼吸性粉尘捕集效率普遍较低^[1-5].

近年来, 高压喷雾降尘技术在国外的许多煤矿已广泛采用; 在我国目前部分矿井的采掘工作面也在开始试验. 对于一定粒径的粉尘, 需要有相应粒径的水雾和水雾密度才能将微细的粉尘有效沉降下来. 对矿用雾化喷嘴来说, 除自身参数外, 喷雾压力是决定雾化粒度大小的关键因素. 在喷嘴选定的情况下, 喷雾压

收稿日期: 2014-11-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50974060)

通信作者: 刘荣华(1964-), 男, 湖南邵阳人, 教授, 研究方向: 南方煤矿灾害预防与控制. E-mail: rhliu2008@sina.com

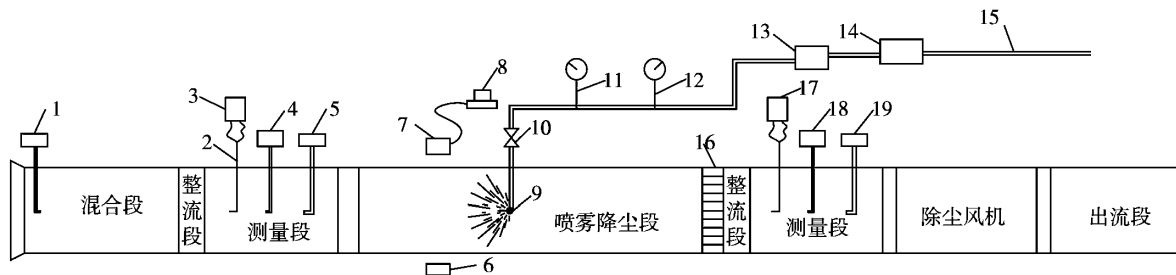
力与雾化粒径成反比,喷雾压力越高,雾化粒径越小,对呼吸性粉尘的捕集效果越好^[6-11]。马素平等通过对水雾粒度与供水压力的内在联系进行理论分析,结合粉尘沉降效率与水雾粒度的关系,得出粉尘沉降效率与供水压力之间的关系^[12]。本文选择使用方便、操作简单的压力型雾化喷嘴,采用实验手段,对喷嘴在不同压力下的喷雾雾化粒度分布、喷雾压力与降尘效率间的关系进行了实验研究,为研究高压喷雾降尘效果提供参考。

1 实验系统及方案

1.1 实验系统

该实验是基于模拟井下巷道降尘装置性能实验平台进行的,如图1所示。管道模型由混合段、整流段、测量段、喷雾段、除尘风机及出口段组成。为便于实验观测和喷雾粒径测量,巷道模型喷雾段采用板厚为1 cm的有机玻璃制作,其他部分均由钢板加工制作而成。

实验系统由 Spraytec 马尔文雾滴粒径分析仪、SAG 410 干粉气溶胶扩散器、CCZ-1000 直读式粉尘浓度测定仪、CCZ-20 型粉尘采样器、智能电磁流量计、数字式压力表、变频调节的风机和 BPZ75/12 型喷雾高压泵等构成。在喷雾测量段,安设喷嘴的喷雾管可以旋转,以测量不同喷雾方向下雾场的雾滴粒度,现场布置如图2所示。



1: AG410 干粉气溶胶扩散器; 2: 毕托管; 3, 17: TSI9565-P 风速仪; 4, 18: CCZ-1000 直读式粉尘浓度测定仪; 5, 19: CCZ-20 型粉尘采样器; 6: 发射器; 7: 接收器; 8: Spraytec 马尔文粒径分析仪系统; 9: 雾化喷嘴; 10: 流量调节阀; 11: DX-801XB00150 型数字式压力表; 12: 智能电磁流量计; 13: BPZ75/12 型高压水泵; 14: 储水箱; 15: 接市政自来水管; 16: 整流装置。

图1 实验系统



(a) 雾化特性测量系统



(b) 降尘效率测量

图2 测量现场布置

1.2 实验方案

喷嘴雾化后采用 Spraytec 马尔文粒径分析仪测量雾滴粒径及粒径分布。马尔文 Spraytec 激光光散射技术测量雾滴粒径的原理是利用激光束穿过喷雾区时,通过测量散射光的强度来分析计算形成该散射光谱图的雾滴粒度,该仪器测量宽粒度范围为 $(0.1 \sim 2\,000.0\ \mu\text{m})$,精确度高于1%,重复性和重现性高于1%,反应速度快,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,选用目前煤矿掘进而常用雾化效果较好的含X形旋流芯混合压力式喷嘴作为实验喷嘴,喷嘴的孔径为1.0 mm,喷嘴设置为逆喷。依据掘进工作面最优排尘风速为 $0.4 \sim 0.7\ \text{m/s}$ ^[13],通过调节风机和喷雾泵,用TSI9565-P风速仪测定实验巷道喷雾段段内的风速为 $0.5\ \text{m/s}$,在喷雾压力为2, 4, 6, 8, 10 MPa,距离喷嘴出口300 mm处测定喷雾雾场雾滴粒径分布,智能电磁流量计记录不同喷嘴在各种喷雾压力下的流量数据。

在喷嘴雾化粒度测量实验的基础上,实验使用德国进口SAG-410粉尘气溶胶发生器向系统持续稳

定地输送煤粉形成气溶胶颗粒,该仪器的粉尘质量流量范围:9.0~490.0 g/h,气溶胶体积流量范围:1~4 m³/h,换料和清洁均十分方便,精度高、基本不受储槽中粉尘多少的影响,设备运行中的再填料不会影响到气溶胶质量浓度,即使是低流量时仍可达到高浓度,扩散头可更换,一台设备的输出范围内连续可调,使用手动和微机远程控制的单元均可.用 CCZ-1000 直读式粉尘浓度测定仪分别测量孔径 1.0 mm 喷嘴在 5 种喷雾压力下巷道喷雾段前后断面的粉尘浓度,并用 CCZ-20 粉尘采样器采样.

2 实验结果分析

2.1 喷嘴雾化特性

实验的喷雾压力设置为 2~10 MPa,在距离喷嘴出口 300 mm 位置测定喷嘴的雾化粒径得到该型号喷嘴在不同喷雾压力下雾化粒径数据和粒径分布图,如图 3 所示.同时得到该型喷嘴在不同喷雾压力下的流量数据,如表 1 所示.

表 1 雾化粒径参数 s

喷雾压力 /MPa	喷雾流量 /(m ³ /h)	粒径参数				
		$D_v(10)/\mu\text{m}$	$D_v(50)/\mu\text{m}$	$D_v(90)/\mu\text{m}$	$D[4,3]/\mu\text{m}$	$D[3,2]/\mu\text{m}$
2	0.36	69.58	115.20	196.40	125.40	107.50
4	0.54	68.93	101.40	156.50	108.20	97.87
6	0.60	34.06	75.67	299.00	119.70	62.14
8	0.78	27.27	66.08	293.90	109.70	50.55
10	0.84	21.35	53.64	306.80	85.68	40.27

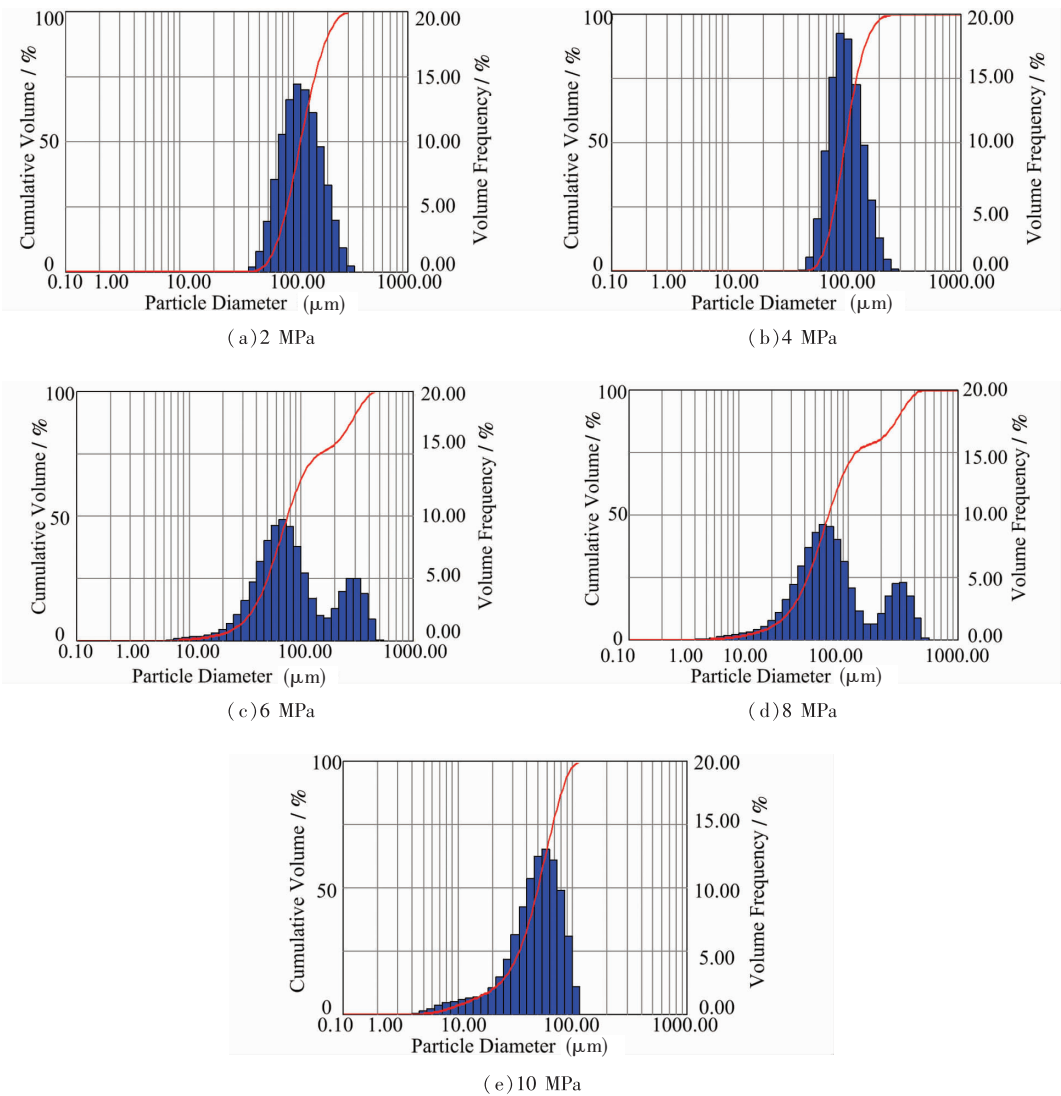


图 3 不同喷雾压力下粒径分布

从表 1 可以看出:用来描述喷雾雾化粒径的指标 $D_v(10)$, $D_v(50)$, $D_v(90)$, $D[4,3]$, $D[3,2]$ 中 $D_v(50)$ 和 $D[3,2]$ 基本接近,在本实验中采用 $D[3,2]$ 作为描述喷雾雾化粒径指标参数. 在 5 中不同的喷雾压力下,喷嘴形成的雾场雾化粒径的 $D[3,2]$ 值都随着喷雾压力的增加而减小,当压力增大到一定程度后雾化粒径减小的幅度减缓,例如雾化粒径从 2 MPa 增加到 4 MPa 时减小了 $9.63\text{ }\mu\text{m}$,从喷雾压力 4 MPa 增加到 6 MPa 时雾滴粒径减小了 $35.73\text{ }\mu\text{m}$,当喷雾压力从 6 MPa 增加到 8 MPa,然后再到 10 MPa 时,雾化粒径减小分别为 $11.59, 10.28\text{ }\mu\text{m}$. 从图 3 不同喷雾压力下雾化粒径分布结合表 1 可以看出,当喷雾压力为 2 MPa 时, $D_v(10)$ 为 $69.58\text{ }\mu\text{m}$, $D_v(90)$ 为 $196.40\text{ }\mu\text{m}$,雾滴粒径范围主要集中在 $50.00\sim 200.00\text{ }\mu\text{m}$ 之间;当喷雾压力达到 8 MPa 时, $D_v(10)$ 为 $27.27\text{ }\mu\text{m}$, $D_v(90)$ 为 $293.90\text{ }\mu\text{m}$,雾滴粒径范围主要在 $8.00\sim 400.00\text{ }\mu\text{m}$ 之间,粒径分布范围明显比 2 MPa 时大. 喷嘴一定,喷雾压力越高,雾滴粒径越小,雾滴的分散性越好. 因此,喷雾压力越高,喷雾流量增加,喷嘴雾化效果越好,但当喷雾压力增加到 8 MPa 后继续提高供水压力对增强雾化效果作用不明显.

2.2 高压喷雾降尘效果

SAG-410 粉尘气溶胶发生器的发生浓度设定为 5 g/min ,实验巷道风速设定为 0.5 m/s ,测量得到喷嘴在不同压力下巷道喷雾段前后断面的粉尘浓度数据,根据粉尘浓度效率数据得出不同压力下的降尘效率,如表 2 和图 4 所示.

表 2 不同压力下高压喷雾降尘效率

喷雾压力 /MPa	全尘			呼吸性粉尘		
	喷雾段前 粉尘浓度 /(mg/m^3)	喷雾段后 粉尘浓度 /(mg/m^3)	降尘效率 /%	喷雾段前 粉尘浓度 /(mg/m^3)	喷雾段后 粉尘浓度 /(mg/m^3)	降尘效率 /%
2.00	421.25	174.00	58.69	125.19	72.31	42.24
4.00	427.17	135.17	68.36	133.77	64.63	51.69
6.00	436.08	106.83	75.50	134.66	37.58	72.09
8.00	431.00	86.17	80.01	119.78	28.62	76.11
10.00	420.83	76.59	81.80	127.77	28.28	77.87

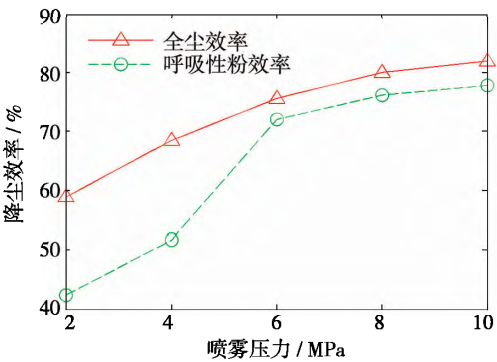


图 4 1.0 mm 喷嘴在不同喷雾压力下的降尘效率

根据表 2 和图 4 可以得出:对于该型号喷嘴和一定粒径分布的煤尘在 0.5 m/s 的风速下的喷雾降尘效率随着喷雾压力的增加而增加,从 2 MPa 增加到 8 MPa,全尘降尘效率提高 21.32% ,但当喷雾压力从 8 MPa 增加到 10 MPa 后,降尘效率仅提高 1.79% ;对于呼吸性粉尘从 2 MPa 增加到 8 MPa,降尘效率提高 33.87% ,在这个阶段随着喷雾压力的增加降尘效率明显提高,但从 8 MPa 增加到 10 MPa 后降尘效率只增加 1.76% ,当喷雾压力达到一定值后,继续提高喷雾压力,降尘效率的提高不明显. 喷雾降尘主要是通过尘粒与液滴之间的惯性碰撞进行的,粉尘的粒径越大,雾滴与粉尘的碰撞效果越明显,越有利于降尘,同

时,雾滴的粒径越小,与粉尘碰撞的几率越大,对粉尘的捕集效果越好,特别是对于呼吸性粉尘的作用更加明显.但雾滴的粒径并不是越小越好,雾滴粒径过小,雾滴容易随气流一起运动,减少了气液的相对运动速度,反而不利于降尘,而且随着喷雾压力的继续增加,喷雾系统将消耗更多的水资源,加快设备磨损,付出更高的经济代价,对于 1.0 mm 的喷嘴 8 MPa 的喷雾压力最佳.

3 结论

1)随着喷雾压力的增加,喷嘴雾化粒径减小,达到一定的喷雾压力后,粒径减小的幅度降低.

2)对于全尘,在一定的范围内提高压力可显著提高降尘效率,但继续提高喷雾压力降尘效率增加的幅度减小,喷嘴孔径一定时,喷雾压力越高,对呼吸性粉尘降尘效果越好,高压喷雾对降低呼吸性粉尘效果明显.

3)对于 1.0 mm 的喷嘴最佳的喷雾压力应为 8 MPa.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 周刚.综放工作面喷雾降尘理论及工艺技术研究[D].青岛:山东科技大学,2009:28-32.
- [3] 傅贵,张江石,潘结南,等.工作面粉尘污染状况研究[J].煤炭学报,2006,31(1):63-66.
- [4] 李德文,郭胜均.中国煤矿粉尘防治的现状与发展方向[J].金属矿山,2009,11(s):747-752.
- [5] 卢鉴章.我国煤矿粉尘防治技术新进展[J].煤炭科学技术,1996,24(7):1-5.
- [6] 宋马俊.国外煤矿粉尘控制措施的新进展[J].中国职业安全卫生管理体系认证,2003(3):21-22.
- [7] 尚建国,杨风玲,程芳琴.煤矿井下煤尘治理技术研究进展[J].科技情报开发与经济,2009,33(19):112-113.
- [8] 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,2002,22(2):237-240.
- [9] 曹建明.喷雾学研究的国际进展[J].长安大学学报(自然科学版),2005,25(1):82-87.
- [10] 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.
- [11] 时训先,蒋仲安,周妹娟,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.
- [12] 马素平,寇子明.喷雾降尘效率的研究与分析[J].太原理工大学学报,2006,37(3):327-330.
- [13] 金龙哲,李晋平,孙玉福,等.矿井粉尘防治理论[M].北京:科学出版社,2010:33.