

高压喷雾湿式振动纤维栅除尘技术研究

李迎超¹, 张英华²

(1. 冀中能源股份公司 东庞矿, 河北 邢台 054200; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 本文对高压喷雾和振动纤维栅的除尘机理进行了分析研究, 通过对高压喷雾用水量、喷雾压力、纤维直径及横向间距、喷雾方向、纤维层数、纤维层间距等影响因素的对比研究, 确定了高压喷雾纤维栅在综采面回风巷使用的最佳参数, 研制了高压喷雾湿式振动纤维栅全断面除尘工艺。在东庞矿 2219 综采工作面进行了现场试验研究, 纤维栅的全尘和呼尘除尘效率达到 95% 以上, 取得了明显效果。

关键词: 高压喷雾; 湿式纤维栅; 除尘技术; 全尘; 呼尘; 除尘率

中图分类号: TD714+.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4172(2011)01-000-00

Study on Dust Prevention Technology with High-pressure Spray and Vibrating Fiber Grid

LI YingChao¹, ZHANG Yinghua²

(1. Jizhong Energy Resources Co., LTD, Dongpang Coal Mine, Xingtai 054200, Hebei, China; 2. University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: The dust prevention mechanics with high-pressure spray and vibration fiber grid is analyzed in this paper. Through comparing the factors, including the water consumption of high-pressure spray, spray pressure, fiber diameter, fiber cross direction spacing, atomizing direction, fiber level number and interlayer spacing etc., the best parameter for the high-pressure spray and fiber grid, which is used in the return airway of comprehensive mechanized working face is confirmed. And the high-pressure spray wet vibration fiber grid of full face dust prevention technology is developed. From the field experiment research of 2219 comprehensive mechanized working face of Dongpang Coal Mine, the dust removal efficiency of the total dust and pneumatic dust have reached more than 95%, so the good effect is obvious.

Key words: high-pressure spray; wet fiber grid; dust prevention technology; total dust; respirable dust; dust removal efficiency

0 引言

矿井粉尘严重危害井下工人的健康, 在煤矿井下工作面, 国外普遍采用除尘器除尘, 而国内的防降尘技术则以喷雾降尘为主^[1-2]。本文对高压喷雾降尘机理和湿式纤维栅过滤除尘机理进行了分析研究, 经过改进完善, 设计了一套高压喷雾湿式振动纤维栅全断面除尘工艺。在东庞矿 2219 综采工作面对影响系统除尘效率的各因素进行了现场试验研究, 旨在获得适宜的高压喷雾湿式纤维栅全断面除尘工艺运行参数。

1 除尘机理

1.1 高压喷雾降尘机理

喷雾降尘机理是多种机理联合作用的结果, 主要包括重力沉降、惯性碰撞、截留、静电、扩散和凝集等机理作用^[3], 影响喷雾降尘效率的因素主要有粉尘与液体捕集体的相对速度、液滴粒径、粉尘的润湿性、耗水量、液体黏度及粉尘密度、喷雾作用范围与质量、喷雾器安装位置和空气参与雾化作用的量、供水压力和喷嘴形式及水质等^[4]。

高压喷雾是在高压水射流技术上发展起来的非淹没连续型水射流, 由于采用相对高压水流作为介质, 通过参数的调整, 将其携带的高能量用于水滴的破碎, 从而可以获得优良的雾化效果。高压喷雾形成的雾滴速度大, 喷雾质量好, 粒径小且均匀, 可使液滴荷电, 使其对粉尘的捕集作用大大增强^[5], 同时高压喷

雾造成涡旋气流，粉尘运动的波动速度和幅度增加，与液滴的碰撞次数也增加，大大提高了喷雾降尘效率。

1.2 湿式纤维栅除尘机理

通过纤维栅的粉尘一部分是通过与水滴粒子接触而被捕集^[6]；另一部分是被纤维捕集^[7]。水与含尘气流的接触方式有两种：通过水滴和通过水膜。当含尘气流通过喷雾段和纤维栅层时，附有水膜的纤维能使粉尘润湿或凝并或滞留。同时，纤维栅的每根纤维在风流旋涡的影响下产生 100 Hz 左右的振动，强化了水雾雾粒、附有水膜的纤维栅与含尘气流中的粉尘之间碰撞和粉尘的凝并作用，提高了对微细粉尘的捕获率。这样，一部分尘粒或尘团被纤维栅捕获，吸附在纤维上的水滴，因自重而下降，形成下降水流，能清洗被纤维栅捕集的粉尘。含尘气流通过水雾和振动纤维栅的共同作用而被净化。

2 纤维栅的研制

纤维栅网的制作分为丝线的制作和栅网的制作两部分。丝线的制作采用熔体纺丝法，就是将纺丝熔体经螺杆挤压机由纺丝泵定量压出喷丝孔，使其成细流状射入空气中，并在纺丝通道中冷却成丝。喷丝板的孔径一般在 0.2~0.4 mm。将纤维丝线在织机上按要求间距纺织，间隔 0.5 m 编织 0.05 m 横向纤维用于固定和保持纤维间距。纤维网宽度为 1 m。将织好的纤维网裁剪成要求长度 2.5 m，两端采用粘接方式固定。粘接用材料为双面涂塑布，采用氧化性 PVC 胶水，保证粘接强度。粘接宽度为 0.05 m 的涂塑布厚度约为 0.3 mm，粘接成型的单层纤维栅两端固定部位的厚度为 1 mm。这样，两单层纤维栅的层间距最小为 1 mm，为达到试验要求的层间厚度，裁剪了长 1 m、宽 0.05 m 厚度不同的铁片，铁片上小孔用于固定夹紧纤维栅片。

本次试验的纤维栅参数如下：1)纤维栅材料：尼龙丝；2)纤维直径：0.22 mm、0.25 mm、0.29 mm；3)纤维横向间距：1 倍纤维直径、1.5 倍纤维直径、2 倍纤维直径；4)纤维栅层数：2 层、4 层、6 层、8 层；5)纤维栅层间距：2 mm、4 mm、6 mm、8 mm、10 mm。

3 高压喷雾湿式振动纤维栅全断面除尘工艺效率研究

本次试验地点选在东庞矿 2219 回风巷道距工作面后 50~100 m 处进行。试验内容主要有：未张挂纤维栅，高压喷雾降尘的试验研究；高压喷雾湿式纤维栅除尘系统参数选择试验研究。

3.1 高压喷雾试验

在进行湿式纤维栅系统除尘试验之前，对喷雾系统的除尘效率进行了试验。选用 1.5 mm 孔径的喷嘴个数为 6 个、8 个、10 个、12 个，在静压 (0.4 MPa) 和额定压力 4 MPa 下测量了喷雾除尘的除尘效率，喷雾方向与巷道风流方向相反。同时研究了不同压力对除尘效率的影响。实验结果如图 1、图 2 所示。

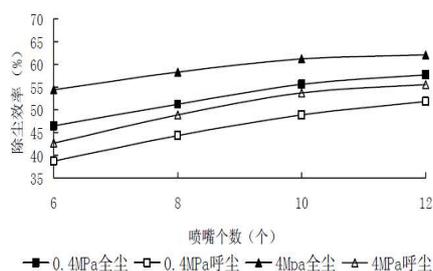


图 1 喷嘴个数对除尘效率的影响图

Fig.1 Influence of the numbers of nozzles on dust removal efficiency

由图 1、图 2 可知：

1) 在喷雾压力为 0.4 MPa 时除尘效率随喷嘴个数增加而提高幅度较喷雾压力为 4 MPa 时明显。这是因为，压力小时，雾化效果差，液滴数量是影响除尘效率的主要因素，随喷嘴个数增多，相同空间内液滴数量的增多导致除尘效率提高；而在喷雾压力高时，液滴数目已足够多，液滴数量对除尘效率的提高作用已不明显。

2) 喷雾除尘对全尘的捕集效率高于对呼吸性粉尘的捕集效率，说明喷雾对颗粒较大的粉尘具有较高的

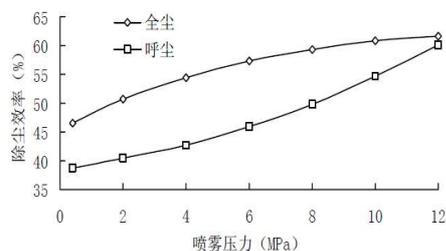


图 2 除尘效率随喷雾压力的变化

Fig.2 Change of dust removal efficiency with atomizing pressure

捕集效率。

3) 无论是呼吸性粉尘还是全尘的去除效率都随喷雾压力的增大而增大。全尘去除率曲线上凸,呼吸性粉尘去除率曲线下凸,是由于随喷雾压力增大,液滴直径变小,速率增大,对小颗粒粉尘的捕集能力提高所致,在压力 0.4 MPa 和 12 MPa 时液滴平均直径 D_0 、初速度 u_0 分别为 6 460 μm 、10 m/s 和 89 μm 、49 m/s。可见,粒径小,速度高的液滴对粉尘具有较高的捕集效率。

3.2 纤维直径及横向间距对除尘效率的影响

选用不同直径和横向间距的纤维栅,层数为 6 层,在各层间距为 6 mm 时进行对比试验,喷雾压力为 4MPa,喷雾方向逆向风流。试验研究了纤维直径相同、间距不同时除尘效率的变化规律,还研究了纤维间距相同、直径不同条件下除尘效率的变化规律,见图 3 和图 4。

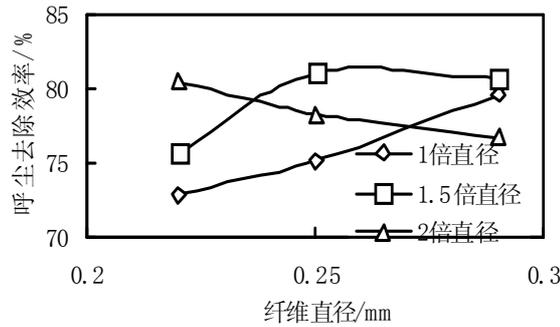


图 3 相同间距/直径比下呼尘去除效率与纤维直径的关系

Fig. 3 Relationship between fiber diameter and respirable dust removal efficiency with the same ratio of spacing/diameter

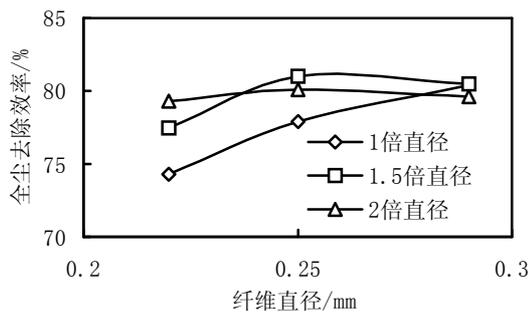


图 4 相同间距/直径比下全尘去除效率与纤维直径关系

Fig. 4 Relationship between fiber diameter and total dust removal efficiency with the same ratio of spacing/diameter

从图中可以看出,全尘和呼尘大致具有相似的变化规律,即在纤维直径从 0.22 mm 增大到 0.29 mm 过程中,除尘效率先增大后减小。由于 0.22 mm 直径的纤维栅网粘连现象严重,在后面的试验中,不再对其进行试验研究。

3.3 喷雾方向对除尘效率的影响

考虑风流对雾滴运动速度的影响,将喷雾方向改为顺风向、垂直于风流方向,喷雾压力为 4 MPa,选取纤维直径为 0.25 mm,横向间距为 1.5 倍纤维直径、层间距 6 mm 的 6 层栅体进行了降尘效果的测定。除尘效率与喷雾方向与气流方向夹角的关系曲线如图 5。由图 5 可以看出,喷雾方向对高压喷雾湿式纤维栅降尘效率的影响大致呈抛物线形,在喷雾方向近乎垂直风向时除尘效率较高。这是因为,在垂直风向位置时更有利于喷雾形成的液滴最大效率的纤维栅网上停留,这样各层纤维栅网上形成水膜,增大了粉尘被捕集的概率。喷雾方向与风流方向角度过大或过小都不利于水雾穿透多层的纤维栅网。由于栅体结构顶端固定装置的存在,在实际操作中,喷雾方向与风流方向夹角是略大于 90°的,即在纤维栅下风侧上方。

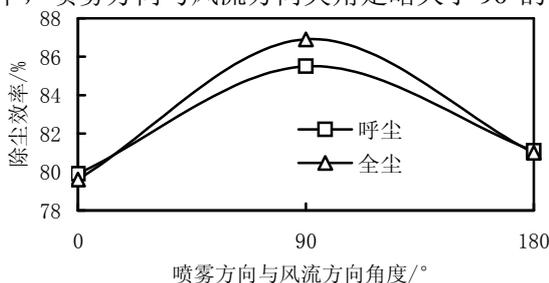


图 5 除尘效率与喷雾方向与气流方向夹角的关系曲线

Fig.5 Relationship curve of dust removal efficiency and the angle between spray direction and airstream direction

3.4 纤维层数对除尘效率的影响

选择纤维直径为 0.25 mm、横向间距为 1.5 倍直径和纤维直径为 0.29 mm、横向间距 1 倍直径的两种纤维栅网在层间距为 6 mm 时，分别制成 2 层、4 层、6 层、8 层的栅体，在压力 4 MPa 垂直风向喷雾条件下，测量了各栅体的除尘效率及。两种纤维栅除尘效率随层数增加的变化规律见图 6。由图中可知，两种直径的纤维制成的纤维栅除尘效率随着层数的增加而增加，但层数达到一定程度后增加幅度变得缓慢。

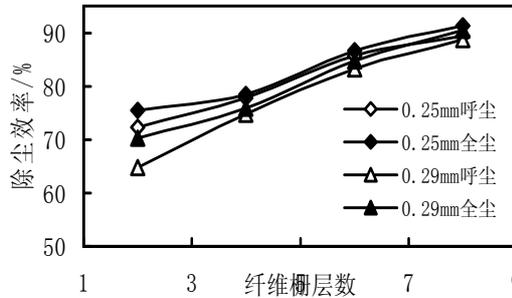


图 6 两种不同直径纤维栅除尘效率随层数的变化规律

Fig. 6 Changing rule of dust removal efficiency between two different diameter fiber grids with different layer numbers

3.5 纤维层间距对除尘效率的影响

改变纤维栅网层间距离，得到两种纤维栅除尘效率与层间距的关系分别见图 7。由图 7 可看出：直径 0.25 mm 的纤维栅除尘效率较直径 0.29 mm 的纤维栅高。在变化趋势上，两种纤维栅对全尘和呼吸性粉尘的去除效率基本上一致。随着纤维栅层间距的增大，整个纤维栅体的厚度增大：一方面间距的增大，减小了层与层间水膜的形成概率；另一方面也增大了水雾穿透栅体的难度，尤其是直径 0.25 mm 的纤维栅体。由图 7 中可看出，随层间距离的增大，0.25 mm 直径纤维栅除尘效率的下降速度较 0.29 mm 直径纤维栅快，在 10 层时，两种纤维栅的除尘效率已相差不多。

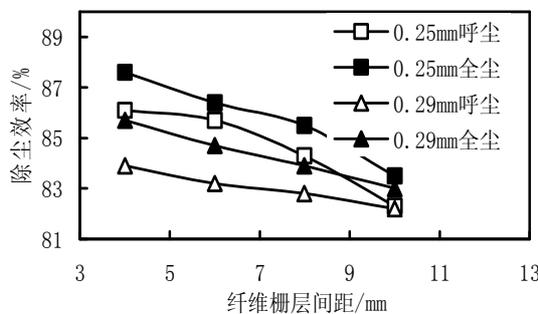


图 7 纤维栅层间距对除尘效率的影响

Fig.7 Effects of fiber grid spacing on dust removal efficiency

4 结语

1) 高压喷雾湿式纤维栅除尘系统综合了高压喷雾除尘和湿式振动纤维栅除尘的除尘机理。高压喷雾形成的细小液滴对粉尘进行充分的润湿预捕集，在通过纤维栅过滤时，在纤维栅各层水膜和层间水膜的影响下，风流变得复杂混乱，延长了粉尘通过纤维栅体的时间，在不变的空间体积内，实现了对粉尘的高效捕集。

2) 通过现场试验对影响高压喷雾纤维栅除尘系统的影响因素进行筛选确定，确定了在综采面回风巷使用时系统的最佳参数为：高压喷雾压力 4 MPa，喷嘴个数 6 个，喷雾位置为纤维栅下风侧上方；纤维栅体参数为：纤维直径 0.25 mm，间距 1.5 倍直径，纤维栅层数 6 层，层间距 6 mm。连续运行除尘效率在 95% 以上。

参考文献

-
- [1] 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.
- [2] 张顶立,张延松. 我国综采放顶煤粉尘控制技术的研究与发展[J]. 中国安全科学学报, 1997, 7(2): 31-36.
- [3] 蒋仲安. 湿式除尘技术及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999: 56.
- [4] 马中飞. 工业通风与防尘[M]. 化学工业出版社, 2007: 124.
- [5] 张安明. 高压喷雾技术在及其在煤矿粉尘防治中的应用[J]. 重庆环境科学, 1994, 16(6): 32-36.
- [6] 卢鉴章. 我国煤矿粉尘防治技术的新进展[J]. 煤炭科学技术, 1996, 24(7): 1-5.
- [7] 张永红,赵红兵,李继春. 高压喷雾降尘机理分析[J]. 煤, 2003,12(3): 38-39.