

新型降尘材料在综掘工作面防尘中的应用

刘承宇¹, 刘 键², 姬玉成³

(1. 冀中能源峰峰集团有限公司, 河北 邯郸 056011; 2. 川南煤业泸州古叙煤电有限公司, 四川 泸州 646522;
3. 西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

摘要:针对综掘工作面高质量浓度粉尘治理现状,在分析综掘工作面运移规律前提下,结合新型降尘材料功能特点,提出综掘工作面新型降尘材料的应用工艺.在多地煤矿井下应用结果表明,新型降尘材料能够显著提高喷雾降尘效果,可将清水喷雾状态粉尘质量浓度最高降低90%,有效控制和降低割煤过程中产生的粉尘,极大地改善生产作业条件.

关键词:综掘面;粉尘;喷雾;新型降尘材料

中图分类号:TD714+.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-8395(2013)06-0970-05

doi:10.3969/j.issn.1001-8395.2013.06.031

目前,随着综合机械化掘进机在煤矿掘进的普遍应用,掘进速度和效率大幅提高,单位时间内工作面产生的粉尘量也急剧增加.煤矿井下高质量浓度粉尘不仅易发生煤尘爆炸,若与瓦斯爆炸^[1],还可发生瓦斯与煤尘爆炸,造成更为严重的人员伤亡和经济损失.过高质量浓度的粉尘严重威胁了井下作业人员的健康,井下掘进、采煤工作面是煤矿职工尘肺病发病率高发区.同时,井下高质量浓度粉尘还降低了井下精密设备的使用寿命,影响了作业人员可视距离和掘进速度^[2],增加了操作事故发生概率,降低了职工劳动效率和矿井生产效益.因此,综掘工作面粉尘危害状况更加迫切需要改进除尘技术,加强降尘措施.

在现有生产条件下,大多数煤矿掘进工作面采用的防尘技术手段有以下几种:通过煤层注水^[3-4]等方式减少原始粉尘的产生;依靠通风^[5-7]、除尘器^[8]、喷雾^[9]、湿式作业等物理控尘方式降低和除去悬浮在空气中的粉尘;通过在防尘系统添加降尘材料如湿润剂、泡沫剂^[10-11]等化学降尘方式增强防尘系统整体降尘效果,尤其是喷雾降尘效率.这些防尘技术在粉尘防治中发挥了重要作用,但仍存在一定不足^[12-13].化学降尘材料是现有防尘技术体系的重要组成部分,也是解决井下粉尘问题的潜在发展方向.新型降尘材料作为新型多功能降

尘材料能够部分弥补和解决现有技术措施的不足,提高现有喷雾降尘效率,尤其对在巷道空间中悬浮能力较强的呼吸性粉尘具有显著作用.因此,新型降尘材料的应用研究对于降低煤矿井下粉尘质量浓度和改善作业条件具有重要意义.

1 影响综掘工作面粉尘运动状态的主要粉尘性质

综掘工作面粉尘主要来自于综掘机割煤、装载机转载、皮带机运煤及打钻支护作业等作业工序.掘进巷道作为独头巷道,难以形成循环风流,增大了通风降尘难度,粉尘依靠风流动力自工作面扬起扩散后弥漫在工作面后部整个作业空间,这是掘进工作面风流和粉尘扬散、移动状态过程的特点^[14].巷道中悬浮的粉尘70%左右源自综掘机截割头破煤碎煤,因此割煤过程及截割头附近的粉尘控制及降尘对于实现就地控尘和降低整体巷道空间的粉尘质量浓度具有关键作用.

目前我国煤矿井下除尘主要采用以水为主的综合防尘措施,包括煤层注水、湿式作业及各种喷雾系统,其中对于逸散在空间中的粉尘主要通过喷雾进行降尘.喷雾降尘效果的关键在于水雾颗粒与粉尘颗粒之间接触机会和结合能力.这主要受到粉尘粒径、荷电性及润湿性等多因素影响^[15].

收稿日期:2013-07-07

基金项目:2013年安全生产重大事故防治关键技术科技项目(安监总厅科技(2013)140)资助项目

作者简介:刘承宇(1970—),男,工程师,主要从事煤矿安全开采的研究,E-mail:chengyuliul16@163.com

1.1 粒径 粉尘粒径是粉尘的重要属性,粒径大小是划分呼吸性粉尘与非呼吸性粉尘的依据.粒径越小,对人体的危害越大,越容易导致尘肺病发生.

不同粒径的粉尘微粒具有不同的运动形态^[16].在巷道大部分呈层流状态的巷道空间中,粗颗粒几乎成直线地落到平板上;细颗粒(粒径 $D_p = 5 \sim 10 \mu\text{m}$)不成直线而是成抛物线落到平板上;亚微粒(粒径 $D_p \leq 0.5 \mu\text{m}$)将继续在层流气流中漂移,同时由于同气体分子碰撞而显示出了随机的布朗运动的特性^[17].因此,粒径与运动形态不同的粉尘颗粒降尘机理不同,降尘方式也应不同.

1.2 荷电性 粉尘粒子可以带有电荷,其来源是煤岩在粉碎中因摩擦而带电,或与空气中的离子碰撞而带电.经测定和超显微观察,飘浮在空气中的尘粒有90%~95%带正电或负电,5%~10%的尘粒不带电^[18].

荷电的粉尘粒子、水雾颗粒相互之间因静电相斥作用,导致微小粉尘粒子难以快速沉降,水雾颗粒难以与粉尘微粒结合,是粉尘长时间悬浮在作业空间的重要原因.这也直接增大了作业人员吸入粉尘的可能性.

1.3 粉尘润湿性 粉尘(固体)能否与液体相互附着或附着的难易的性质称为粉尘的润湿性.通常用湿润边角进行衡量.湿润边角愈大,表面能愈大,粉尘与颗粒愈难以结合.绝大部分煤尘均属于疏水性粉尘,一般水的表面张力较大,在 7.0 N/m^2 以上,导致喷雾水颗粒难以与粉尘颗粒结合,影响了喷雾降尘的宏观效果^[19].粉尘微粒岩性与粒径影响其润湿性.同时,不同煤尘因化学组分差异与水颗粒润湿性不同.

2 新型降尘材料功能特点

清水喷雾的实际降尘效果受多个因素限制,尤其是粉尘的粒径、润湿性、荷电性等,致使清水喷雾对呼吸性粉尘的降尘效果更低,降尘效率常不足30%.为提高喷雾降尘效果,研究人员认为添加降尘剂提高水雾颗粒与粉尘微粒结合能力是有效手段之一,先后研制出湿润剂、起泡剂、粘结剂等降尘材料,取得了一定效果^[20].现有降尘材料仍然需要解决添加量大、成本高、适用于多种喷雾系统等问题.

本文所介绍新型降尘材料具有抗静电性、润湿性、发泡性等多种功能性组分,在喷雾降尘过程其

多功能性组分中能够发挥协同配合的综合作用,增强喷雾降尘效果.

2.1 表面活性功能组分 新型降尘材料所含表面活性组分能够有效降低水溶液的表面张力.对粉尘微粒而言水表面张力下降,降低流体与固体之间的润湿角和界面自由能,使微小水雾颗粒与粉尘颗粒结合能力增强,从而改善了固体粉尘微粒的表面润湿性能,提高了整体水雾降尘效果.试验表明,万分之一水量的新型降尘材料即可将水的表面张力有效降低至 $3.0 \sim 4.0 \text{ N/m}^2$ 之间.

相关研究还表明,水体雾化过程中因界面表面张力降低,水雾颗粒粒径减少,数目增加;同时粉尘颗粒更易穿过小的雾滴表面,进入水雾滴,从而使水雾滴表面和内部均可吸附融合粉尘微粒^[19].这些因素的综合作用均有利于提高水喷雾的降尘效率.

2.2 抗静电功能组分 新型降尘材料中的抗静电成分,通过改善水体破碎过程,减少水雾微粒荷电,同时有效改变粉尘颗粒表面电位,从而极大降低水雾颗粒和粉尘颗粒所带电荷的相斥作用,减弱其相互碰撞凝聚难度,使水雾颗粒与粉尘更易吸附结合,快速沉降,能有效解决清水喷雾因静电相斥问题难以结合粉尘颗粒而降尘效果不明显的问题.

2.3 发泡功能组分 新型降尘材料的发泡性成分,能够使喷出的微小水雾颗粒泡沫化,大大增加与粉尘颗粒之间的接触面积,增加捕捉粉尘颗粒的机率.泡沫除尘在国外起步早,应用技术更成熟,国内研究人员对此进行了深入研究^[21].泡沫化水雾与粉尘之间可通过截留、惯性碰撞、扩散、黏附等作用提高降尘效率.

2.4 其他功能组分 新型降尘材料中还包括一些其他功能成分,如微量的阻垢成分,可与管路中的结垢物质发生缓慢反应,可改善和缓解矿井防尘管路及喷雾设备结垢状况等问题.

2.5 无毒无害性 此新材料配方中物质均采自FDA美国食品药品监督管理局认证原料,材料经国家疾病预防控制中心鉴定,对人体无毒无害.

3 应用工艺及结果分析

3.1 设备安装与材料使用 新型降尘材料添加量低,与防尘水的添加比例在0.08%以下,配套设备安装简便,如图1所示.首先,将降尘材料灌入新型材料添加控制模块的加液箱,新型降尘材料喷雾设

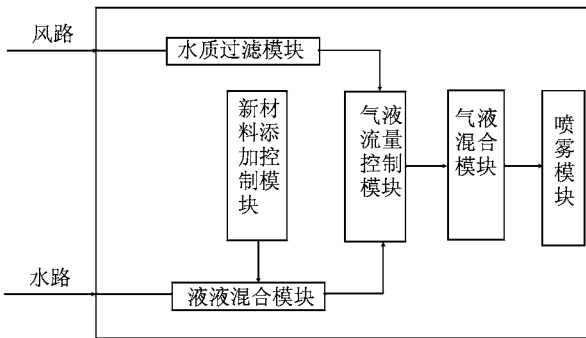


图1 新型降尘材料喷雾设备结构示意图
Fig.1 The structural diagram of spraying device of the new dust suppression material

备即可自动恒定比例添加. 设备安装简单, 将矿井自身防尘供水系统(或以综掘机喷雾系统为水源)与压风系统, 通过矿用高压软管与喷雾降尘设备预留安装位置连接, 风、水管路在作业人员附近预留开关, 如此即可完成安装. 作业人员可根据作业情况通过身边开关方便控制设备开、停. 在水路中添加新型降尘材料, 新型降尘材料与防尘水在液液混合模块内预混合后, 混合液与风路通过流量控制模块进入气液混合模块. 混合模块内降尘剂、防尘水与风流三者充分混合、破碎、泡沫化和初次雾化后, 进入喷雾模块. 经过喷雾模块二次破碎和雾化, 形成细微气泡化水雾, 以一定射程和角度喷出覆盖截割头产尘部位和工作面粉尘逸散部位, 从而控制和降低粉尘质量浓度.

3.2 应用结果分析 新型降尘材料在河北、山东、四川等地煤矿井下综掘工作面应用, 取得了良好降尘效果. 应用过程中, 采用直读式粉尘测试仪测量清水喷雾降尘在添加新型降尘材料前后2种状态粉尘质量浓度变化, 结果如下: 河北某矿综掘工作面布置在煤层中, 煤层结构复杂, 倾角 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$, 硬度系数为3~5, 含2~3层夹矸, 最厚一层夹矸厚度为5~0.2 m, 工作进度快, 结果如图2所示. 应用新型降尘材料前后, 综掘机司机位置处全尘质量浓度由 389 mg/m^3 降至 105 mg/m^3 , 比清水喷雾又降低了73%.

山东某矿综掘工作面属于半煤岩巷道, 倾角 25° , 煤层厚约1.5 m, 含夹矸1~2层, 其中部夹一稳定的粘土岩夹矸, 厚约0.1 m. 应用中, 对综掘机操作司机后10 m左右处粉尘全尘质量浓度与呼吸性粉尘质量浓度2个指标进行了测定, 结果如图3所示. 添加新型降尘材料后, 全尘质量浓度与呼吸

性粉尘质量浓度分别降至 88.7 和 26.5 mg/m^3 , 比清水喷雾又分别降低了74%和90%.

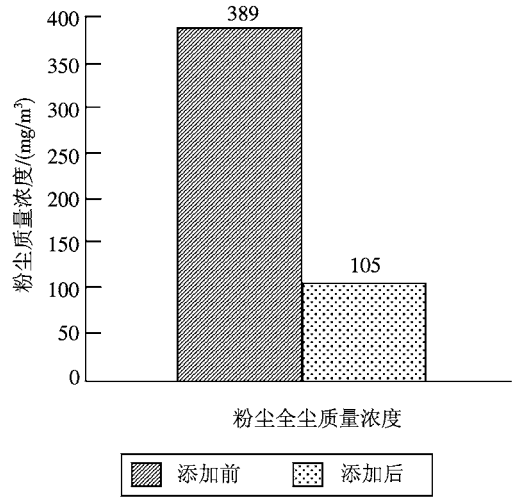


图2 河北煤矿综掘面粉尘全尘质量浓度变化
Fig.2 Changes of whole dust concentration in fully mechanized heading faces of Hebei mine

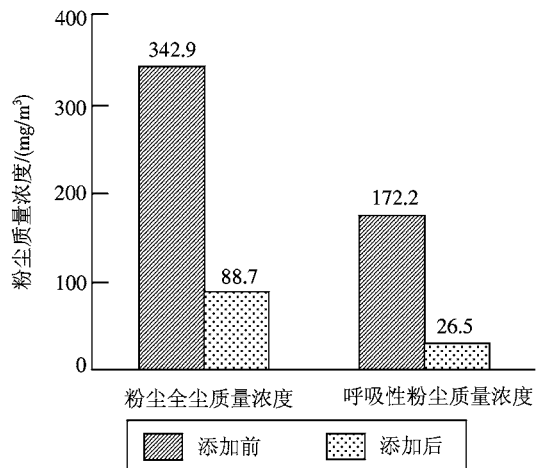


图3 山东煤矿综掘面粉尘全尘、呼尘质量浓度变化
Fig.3 Changes of whole and respirable dust concentration in fully mechanized heading faces of Shandong mine

四川某矿22405综掘工作面属于半煤岩巷道, 岩石硬度系数2~8, 倾角 $9^{\circ} \sim 26^{\circ}$, 掘进作业中, 粉尘产尘量高, 严重影响作业进度. 应用过程中对综掘机操作司机位置处粉尘全尘质量浓度进行了测定, 结果如图4所示. 添加新型降尘材料后, 粉尘全尘质量浓度又比清水喷雾时降低了58%, 降尘效果明显.

4 影响应用工艺效果的因素分析

喷雾降尘本质上是通过固-液-气(粉尘微

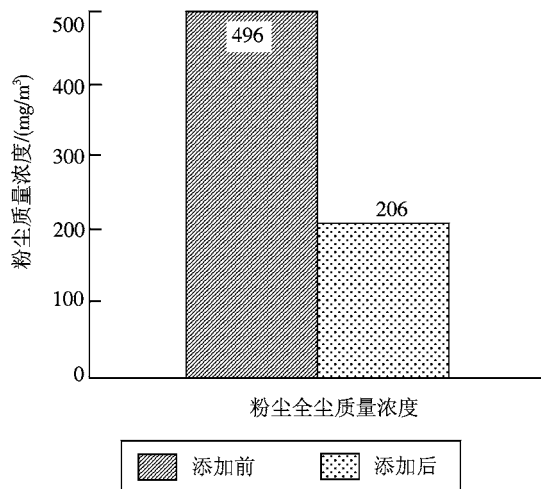


图4 四川煤矿综掘面粉尘全尘质量浓度变化

Fig. 4 Changes of whole dust concentration in fully mechanized heading faces of Sichuan mine

粒、水雾颗粒与风流)三者的运动和相互作用实现的.应用过程中,以下主要因素对新型降尘剂应用效果影响较大.

4.1 喷雾效果 新型降尘材料通过喷雾系统,发挥其提高喷雾降尘效果的作用.因此,喷雾效果直接影响新型降尘材料提高喷雾降尘效率的程度.

应用中采用气动喷雾形式,风水流量调配对于最终喷雾效果十分关键.水量增大时,雾化程度减弱.喷雾效果与水雾颗粒粒径有关,粒径过大或过小,都不利于最终降尘效果.同时,增加单位体积内水雾颗粒总数,可提高水雾降尘效果.

水雾泡沫化程度可以直接提高水雾与粉尘接触表面积,增大水雾与粉尘相互碰撞、润湿、吸附的机会.因此,控制新型降尘材料的添加,优化气液混合过程,提高水雾泡沫化程度,可显著提高喷雾降尘效果.

喷雾主要依靠喷嘴形成,需要具有一定射程和角度,确保可以喷射距离达到截割头和工作面,实现最初粉尘产生和逸散区域的全覆盖,防止粉尘从产生位置逸散对就地控尘十分重要.因此,喷嘴和喷雾模块的结构设计既要满足现场安装条件,又要

满足喷雾降尘要求.

4.2 风筒位置及风量 若风筒位置距离工作面较近,距离2~3m时,风流可以将喷向工作面喷雾向折返运动方向,从而切断了喷雾与粉尘的接触;风筒出口位置距工作面距离不变时,较大的风速及风量,使割煤时产生的相对集中的粉尘,在空间上向尾部巷道迅速扩散,空间中单位体积内粉尘颗粒的数目迅速降低,粉尘颗粒与喷雾水颗粒接触机会减少,降低了喷雾降尘效果.

因此,根据实际生产条件,在满足《煤矿安全规程》对风量和风筒位置要求的情况下,将风筒出口布置在距工作面较远位置,降低风筒出口风量,控制粉尘扩散速度及空间集中度,可增强粉尘与喷雾水颗粒的相互作用效率,大大提高喷雾降尘效果.

综合新型降尘材料在各矿的应用情况,表明良好的防尘喷雾系统是新型降尘材料发挥其捕尘降尘作用的基础,更有利于新型降尘材料和防尘措施协同配合,综合防尘,达到更高的除尘效果.

5 结语

随着掘进机在煤矿普及应用,综掘工作面粉尘危害状况更为严重.新型降尘材料在各地矿井综掘面的应用取得了较好降尘效果,相比清水喷雾降尘,粉尘全尘质量浓度又降低了50%~75%,呼吸性粉尘降低了80%左右.

新型降尘材料以气动喷雾为基础,通过使水表面改性,泡沫化水雾,降低水雾与粉尘静电排斥等作用,提高喷雾效果和降尘效率.

井下作业条件复杂,影响新型降尘材料应用效果的因素较多.防尘水喷雾效果是新型降尘材料发挥作用的关键因素.影响喷雾效果的主要因素是风量和水量调配、雾滴粒径、泡沫化程度.风筒出口位置及出口较集中风量对粉尘和喷雾相互之间扩散和结合影响显著,控制风筒出口位置及风量对喷雾降尘效果实现十分重要.

参考文献

- [1] 刘丹,李润之,司荣军,等.瓦斯爆炸诱导沉积煤尘参与爆炸作用模式[J].煤炭学报,2011,36(11):1879-1884.
- [2] 李华炜.煤矿呼吸性粉尘及其综合控制[J].中国安全科学学报,2005,23(1):48-51.
- [3] 王维虎.煤层注水防尘技术的应用现状及展望[J].煤炭科学技术,2011(1):57-60.
- [4] Campmoli A A, McCall F E, Finfinger G L. Longwall dust control potentially enhanced by surface borehole water infusion[J].

Mining Engineering, 1996, 48(7): 56-60.

- [5] 王德明. 矿井通风与安全[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2007.
- [6] 王维建,刘荣华,王鹏飞,等. 不同吹吸风口位置掘进面粉尘扩散规律数值模拟研究[J]. 矿业工程研究, 2011, 26(4): 24-28.
- [7] 王晓珍. 煤巷掘进过程中粉尘浓度影响因素分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(4): 75-79.
- [8] 刘建,姚海飞,魏传光,等. 掘进工作面湿式离心除尘器的结构优化及数值模拟[J]. 煤炭学报, 2010, 35(3): 424-428.
- [9] 张晶晶. 东荣二矿综掘面粉尘运移规律及高压喷雾降尘技术研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学, 2012.
- [10] 王和堂,王德明,任万兴,等. 煤矿泡沫除尘技术研究现状及趋势[J]. 金属矿山, 2009(12): 131-135.
- [11] 陈贵,王德明,王和堂,等. 大断面全岩巷综掘工作面泡沫降尘技术[J]. 煤炭学报, 2012, 37(11): 1859-1864.
- [12] 时训先,蒋仲安,褚燕燕,等. 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(2): 41-43.
- [13] 赵栋. 矿井综合防尘措施[J]. 矿业安全与环保, 2003(6): 111-112.
- [14] 刘亚力. 综掘工作面高压喷雾降尘技术研究[D]. 西安:西安科技大学, 2010.
- [15] 马素平,寇子明. 喷雾降尘技术机理的研究[J]. 煤炭学报, 2005, 30(3): 297-300.
- [16] 王自亮,李鸿彬,李智. 采煤工作面回风巷沉积煤尘分布规律的研究[J]. 矿业安全与环保, 2009, 36: 16-19.
- [17] 王和堂. 矿尘在井巷风流中的运动特性[J]. 矿业工程研究, 2011, 26(4): 66-69.
- [18] 李艳强,杨炯照,韩婕,等. 粉尘吸附行为及微观机理的研究[J]. 工业安全与环保, 2011, 37(6): 25-27.
- [19] 张大明,马云东. 矿井粉尘污染防治新技术浅析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2009, 28: 22-25.
- [20] 吴超. 化学抑尘[M]. 长沙:中南大学出版社, 2003: 5-13.
- [21] 黄本斌,王德明,时国庆,等. 泡沫除尘机理的理论研究[J]. 工业安全与环保, 2008, 34(5): 13-15.

Application of a New Dust Suppression Material in Dust Control of Mechanized Excavation Face

LIU Chengyu¹, LIU Jian², JI Yucheng³

(1. Jizhong Energy Fengfeng Group Limited Company, Handan 05601, Hebei;

2. South Sichuan Coal Luzhou Guxu Coal & Electric Limited Company, Luzhou 646522, Sichuan;

3. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan)

Abstract: According to dust control situation of high concentrations in mechanized excavation face, this paper proposes a application process of a new dust suppression material in the mechanized excavation face, combined with the function features of the new dust-depressor after analyzing dust migration rules. Application results in several coal mines indicate that the new dust-depressor can significantly enhance the effect of spraying to reduce dust concentrations with at most 90% dust concentration reduced, compared with that in water spray condition, which effectively controls the dust generated in the production process and greatly improves the production and operating conditions.

Key words: mechanized excavation face; dust; spray; the new dust suppression material

(编辑 李德华)