

煤矿综掘工作面高效喷雾降尘系统

许满贵^{1,2},刘欣凯^{1,2},文新强³

(1. 西安科技大学 能源学院,陕西 西安 710054;2. 教育部 西部矿井开采及灾害防治重点实验室,陕西 西安 710054;
3. 陕西信达煤矿安全装备有限公司,陕西 西安 710018)

摘要:在煤矿生产过程中,粉尘是困扰着安全生产的重大灾害之一.对于煤矿综掘工作面粉尘防治工作,重点是针对截割产尘源.为了降低工作面粉尘浓度,改善工作面劳动环境,通过分析综掘工作面粉尘的主要来源和现场测试综掘巷道粉尘浓度的分布规律,在传统综掘工作面高压喷雾降尘的基础上,提出了2种改进的综掘工作面高效喷雾降尘方案.方案1使用增压水泵,设计一台体积小、重量轻的水泵泵组,安装在掘进机机身上,通过增压水泵的特定转换,获得高压水;方案2使用掘进机上的液压油,驱动一台以液压水泵为核心的增压泵,获得高压水.2种方案均克服了传统方法的缺点和不足,结合抑尘剂配比装置,在实际应用中取得了良好的降尘效果,降尘率最高达到了84%.

关键词:综掘工作面;粉尘防治;喷雾降尘

中图分类号:TD714

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2015)02-0001-07

Full - mechanized excavation face efficient sprinkler & dust fall system

Xu Mangui^{1,2}, Liu Xinkai^{1,2}, Wen Xinqiang³

(1. College of Energy Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;
2. Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention of Education, Xi'an 710054, China;
3. Shaanxi Star Coal Mine Safety Equipment Company Limited, Xi'an 710018, China)

Abstract: Dust is one of the major disasters in coal mine production process. For coal mine dust prevention and control work spray dust is very important. The main source of dust and field test the dust concentration distribution in full - mechanized excavation face were introduced, and two efficient plans for spray dust were presented. Without the traditional large volume of water tanks and complicated water control system, plan A used booster pumps to design a small size and light weight pump group, which installed on the body of machine, and got high - pressure water through the specific conversion of booster pumps. Plan B getting high - pressure water was through the hydraulic oil of the machine to drive a booster pump which based on the hydraulic pump as a core. Both schemes were overcome the shortcomings and the insufficiency of traditional methods and obtained very good dustproof effects combined with the use of additive equipment of dust suppression after application. Dust highest rate reached 84%.

Keywords: comprehensive tunneling working face; dust prevention and control; spray dust

我国煤炭开采以井下开采为主,井下开采的煤炭产量占93%.由于井下采煤空间狭小,工作地点多变,通风效果差,因此井下采煤、掘进、转载、运输过程中产生大量粉尘,严重污染井下环境^[1].矿尘是煤矿五大灾害之一,也是“一通三防”工作的防治对象.随着综掘技术的迅猛发展,尤其是高产、高效工作面的广泛应用,致使综掘工作面的粉尘浓度居高不下.当具有爆炸危险的煤尘达到一定浓度时,在引爆热源的

作用下,会产生猛烈的爆炸^[2].在我国煤矿开采史上,发生过无数次煤尘爆炸伤亡事故,造成了重大经济损失.矿尘不仅影响煤矿的生产安全,而且严重威胁煤矿工作人员的身体健康.煤矿工作人员长期在高浓度粉尘环境下作业,吸入大量粉尘后,易患尘肺病.据卫生部统计,自上世纪50年代到2010年底,中国累计报告职业病例749 970例,其中累计报告尘肺病676 541例,占90.2%^[3].煤矿肺癌患者中有85%以上发生在掘进工作面^[4].同时矿尘还会加速机械磨损,缩短精密仪器使用寿命^[5].降低工作场所能见度,增加工伤事故的发生.因此,对掘进工作面降尘技术的研究有着非常重要的意义.

在煤矿综掘工作面粉尘防治工作中,喷雾降尘是重要一环.通过调研发现,我国现有的掘进机喷雾降尘方法和降尘设备普遍存在的问题是降尘效率不高,呼吸性粉尘和全尘的沉降率低^[6].这是由于掘进机自带喷雾有诸多缺点,比如:水压小,不能克服风与尘的力量,回旋水雾影响工作,针对尘源不强,易疏漏,水温度高,流量大,易水患,易堵塞等^[7].为了提高降尘率,获得较高的喷雾压力,传统的方案一般采用高压水泵获得高压水,将增压装置连接在掘进机尾部或安装在掘进机机身上.但是这些方案都存在着装置体积大,重量重,操作不便,流量不可调节及设计参数不尽合理等缺点,影响了高压喷雾降尘效果^[8].为此,本文提出了综掘工作面高效喷雾降尘系统,并结合新型抑尘剂配比添加装置综合使用,使降尘效率大幅提升.

1 综掘工作面粉尘的来源及分布

综掘工作面产尘的主要环节有掘进机截割头强力截割煤岩、煤岩下落或顶板局部冒落、装运或运载煤岩、机器搬运和清帮支护,以及通风吹扬起来的粉尘等^[9].具体来说主要由以下几部分组成:

- 1) 掘进机掘进过程中煤岩破碎产生的粉尘,即原生粉尘,它包括煤岩受到截齿的压碎和摩擦作用产生的粉尘,占掘进工作面产尘量的80%以上;
- 2) 煤块塌落时与机器和地面碰撞产生的粉尘,挡煤板、运煤溜子转载造成的摩擦破碎形成的粉尘;
- 3) 由于地质作用,煤层发生错位、断裂,在裂缝中留存的煤粉,在掘进过程中暴露出来,形成粉尘;
- 4) 随着进风流带入掘进工作面的尘粒;
- 5) 工作面上沉积的粉尘在掘进作业过程中或通风过程中又被扬起,即次生粉尘.

工作面通风的风流、截割头旋转造成的风流以及煤体下落形成的风流都会造成煤尘的飞扬,因此应在产尘源及时灭尘,否则煤尘就会充斥整个工作面,造成很严重的煤尘污染.

为了探寻掘进工作面的粉尘分布规律,以GB/T192.1-2007《工作场中粉尘测定 第一部分:总粉尘浓度》和GBZ/T192.2-2007《工作场所中粉尘测定 第二部分:呼吸性粉尘浓度》为指导,在澄合矿务局董家河煤矿掘进工作面和回风巷布置测尘点,如图1所示,采样高度在高1.5 m左右的工人呼吸带处.采样点布置在远离风筒的一侧,离掘进头近处测点布置紧密,工作面末端布置稀疏.工作面上粉尘浓度测定情况如表1所示.

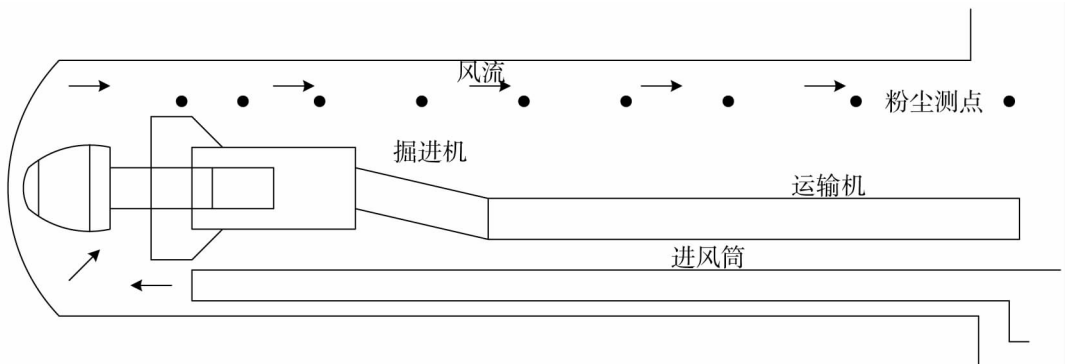


图1 掘进巷道粉尘浓度采样点布置图

表1 掘进工作面粉尘浓度测定表

| 离工作面的距离/m | 编号 | 呼吸性粉尘浓度/(mg/m ³) | 全尘浓度/(mg/m ³) |
|-----------|----|------------------------------|---------------------------|
| 司机位 | 1 | 39 | 122 |
| 离掘进头 5 | 2 | 44 | 135 |
| 离掘进头 20 | 3 | 25 | 78 |
| 离掘进头 50 | 4 | 21 | 63 |
| 离掘进头 100 | 5 | 19 | 49 |
| 离掘进头 150 | 6 | 16 | 42 |
| 离掘进头 200 | 7 | 12 | 35 |
| 离掘进头 300 | 8 | 7 | 21 |
| 离掘进头 500 | 9 | 6 | 14 |
| 转载点 | 10 | 4 | 9 |

表1 数据表明:

1)综掘工作面司机处全尘浓度大,因为综掘机头采出的粉尘最先达到司机位处,所以司机位处是粉尘的聚集点,浓度偏高,是重点防治地点.

2)全尘和呼吸性粉尘浓度在离掘进头 5 m 处粉尘浓度出现峰值,这是由于风流对尘粒的推动作用使得尘粒在滑移一段距离后才开始下沉,粉尘在尘源附近不能很快扩散.

3)距离掘进工作面越远,全尘的浓度越小.在风流作用下,全尘沿巷道全断面不断地排出、沉降或被捕集,因此它的浓度会不断减小.未排出、沉降或被捕集的颗粒在随风流运动的同时随机扩散,弥散到整个巷道.

4)距离掘进工作面达到一定的距离后,全尘浓度趋于稳定,主要是由于粉尘运动随着沿程距离的不断增加,大颗粒粉尘在重力和阻力作用下不断沉降,而细微粉尘弥散到整个巷道,使得巷道内粉尘浓度趋于稳定.

5)呼吸性粉尘和全尘一样,在司机位浓度很高,距离掘进头 5 m 处浓度突然上升,后端面呼吸性粉尘在风流作用下沿巷道全断面不断地排出和被捕集,沿程浓度不断减小.

6)呼吸性粉尘在距离掘进头 5 m 内浓度很高,说明采掘过程中产生的呼吸性粉尘占有很高的比例,所以需要重点防治,防止尘肺病的发生.

综合以上分析可以得出,由于截割头截割产尘占整个工作面产尘量的 80% ~ 95%,综掘工作面 5 m 以内全尘和呼吸性粉尘的浓度较高,因此综掘工作面粉尘防治的重点应该是针对截割产尘源.

由于煤矿开采特殊环境和条件,国内外煤矿井下普遍以湿式防、降尘方法为主.在我国煤矿井下采用最广泛的降尘方法就是喷雾降尘^[10].低压喷雾时,最初的雾流是紧密的,后来由于空气的阻力就分散成雾粒,当雾粒离开喷嘴一定距离而处于衰减区时,运动速度减慢并开始慢慢降落.而较高压力的喷雾则不同,从喷嘴中喷出高速水流,在很短的距离上就分散成雾粒,在雾粒之后形成一股气流,射流中雾粒的继续运动,不仅是由于水压的作用,而且也是由于气流的作用^[11-12].所以当喷雾压力升高时,水流雾化区域以及喷雾到达的区域会增大.同时水滴与尘粒间的相对速度越高,其冲击能量越大,越有利于克服水的表面张力而湿润捕获尘粒.因此目前我国主要采取高压喷雾降尘技术,采用该技术可以使掘进面的粉尘浓度降低 75% ~ 95%^[13].

2 综掘工作面高效喷雾降尘系统

传统的煤矿综掘工作面喷雾降尘系统获得高压水主要有 2 个方案:一是将高压水泵、水箱、防爆电机、开关等装置放置在一个平板车上,在掘进机和转载机后面,与掘进机并行,通过高压水泵获得高压水.这种方法的特点是装置放置在滑靴上,跟着掘进机、转载机拖曳行进.缺点是距离远,操作不便,体积大,流量不

可调节;二是将高压水泵、水箱、防爆电机、开关等放在掘进机机身上.通过高压水泵获得高压水^[14-15].这种方案的缺点是喷雾装置体积大,重量重,操作不便,流量不可调节.

为此,通过结合煤矿井下的实际情况,理论分析和试验研究,并广泛征求煤矿工队及煤矿技术人员建设性意见,选取合理的喷雾布置方式及科学的喷雾参数,采用国外最先进的高效增压泵和液压装置,经过创新设计,提出了2种掘进机高效喷雾降尘方案.

方案1:设计一台体积小,重量轻的水泵泵组,安装在掘进机机身或者皮带支架上,装置的启停使用真空电磁启动器,远控端由司机控制,井下静压水通过小体积缓冲水箱进入加压泵组,水箱带有精过滤系统和保护装置,确保泵组可靠工作.通过增压水泵的特定转换,获得高压水.从而不必使用传统大容积水箱和复杂的加水控制系统,如图2所示.方案1的主要技术指标如表2所示.

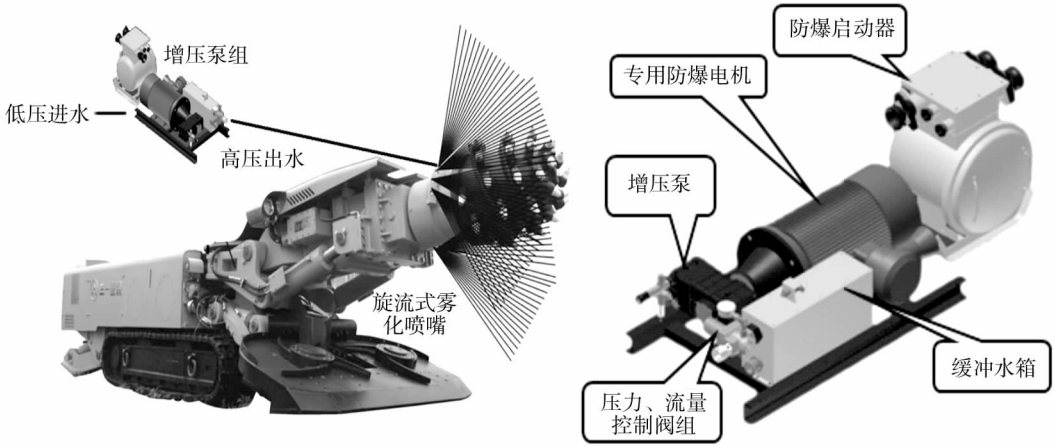


图2 高效增压泵组示意图

方案2:使用掘进机上的液压油,驱动液压水泵,获得高压水.液压泵因液压油在泵内循环工作,在缺水情况下不影响泵的正常工作的,而且由于液压水泵有冷却功能,故此装置在运行过程中油温不会上升.如图3所示.方案2的主要技术指标如表3所示.

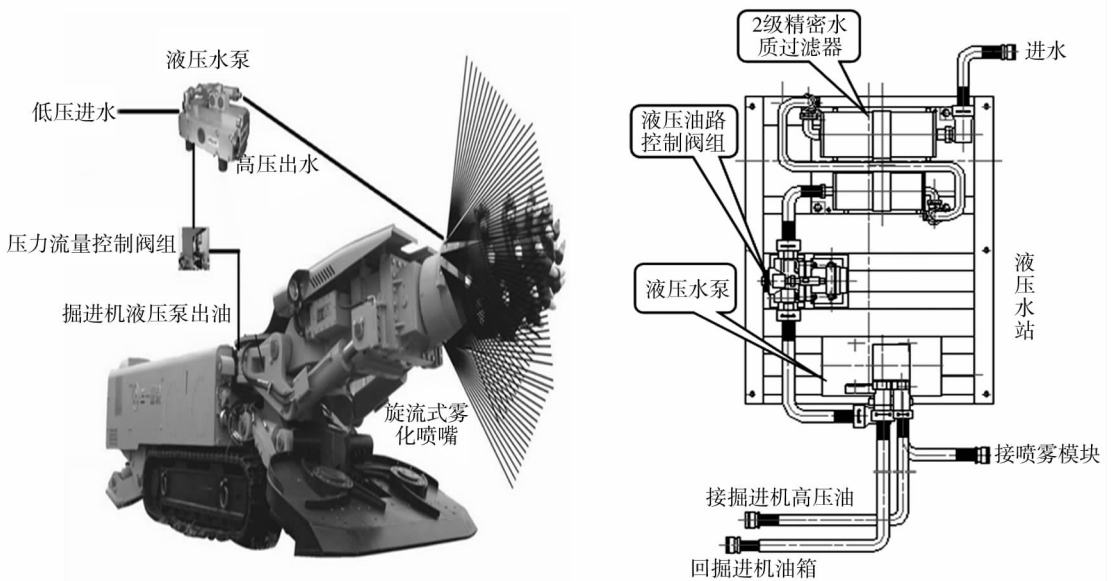


图3 掘进机高压油转换示意图

与传统方案相比,方案1使用高效增压泵组直接对井下静压水进行加压,效率高.它的优点是:

1) 系统结构坚固,适用掘进工作面环境,保护功能齐全,可靠性高.

2) 不需使用传统增压水泵大容积水箱. 体积比较小,重量轻,不影响掘进机工作.

方案2 利用掘进机提供高压液压油,通过压力流量控制阀控制液压水泵,将高压油的能量转化成高压水. 它的优点是:

1) 体积很小,重量轻,油压-水压转换效率高,不影响掘进机工作.

2) 系统结构坚固,适用掘进工作面环境,可靠性高. 使用液压油为动力,没有失爆危险.

同时2个方案司机都可以任意调节水压力和水流量,达到既要降尘效率高又要视线好的目的.

表2 方案1主要技术指标

| 名称 | 参数值 |
|---------------------|--------------|
| 工作电压/V | 660~1140 |
| 额定功率/kW | 15 |
| 输入水压/MPa | <1(经水减压阀减压) |
| 输出喷雾水压 | 10~15 |
| 输出喷雾水流量/(L/min) | 30~50 |
| 每个喷雾器喷雾角/(°) | 60 |
| 有效射程/m | 2~4 |
| 雾化粒度/ μm | 30~150 |
| 雾粒速度/(m/s) | 25~35 |
| 喷雾架数量/套 | 2 |
| 每套喷雾架上喷雾器数量/个 | 5 |
| 外形尺寸/mm | 1100*650*450 |
| 重量/Kg | 160 |

表3 方案2主要技术指标

| 名称 | 参数值 |
|---------------------|--------------|
| 输入油压/MPa | 8~12 |
| 输入油量/(L/min) | 50~70(掘进机提供) |
| 输入水压/MPa | <1(经水减压阀减压) |
| 输出喷雾水压/MPa | 10~15 |
| 输出喷雾水流量/(L/min) | 30~50 |
| 每个喷雾器喷雾角/(°) | 60 |
| 有效射程/m | 2~4 |
| 雾化粒度/ μm | 30~150 |
| 雾粒速度/(m/s) | 25~35 |
| 喷雾架数量/套 | 2 |
| 每套喷雾架上喷雾器数量/个 | 5 |
| 外形尺寸/mm | 750*580*350 |
| 重量/kg | 40 |

选定方案很重要,同时其中几项典型部件的安装,对喷雾效果有直接的作用和影响.

1) 喷嘴的设计:喷雾降尘技术的关键是喷嘴要能形成良好的降尘效果和雾流,显然喷嘴是高效喷雾降尘功率中的一个重要因素. 喷嘴的种类也有多种:一般喷嘴,一次雾化喷嘴,二次雾化喷嘴. 本系统喷雾模块采用“引射式二次雾化喷雾器”,降尘效率可以达到85%以上.

2) 喷雾架的设计:掘进机当截割头工作时,主要产尘点是在截割头的周围. 而截割头是三维立体,所以水雾的喷射也不应该是平面的,也应成立体喷射,笼罩截割头. 所以喷雾架采用三维立体式喷雾架,水雾呈立体喷射,笼罩掘进机截割头.

3) 司机可根据水雾和降尘状况调节水压力和水流量,从而调节水雾密度,达到既要降尘效率高又要视线好的目的,并且适应煤巷、半煤巷、或岩巷的水雾要求. 煤巷水雾可以大些而半煤巷水雾适量小些.

4) 降尘装置应与掘进机截割头同步开停,实现自动喷雾降尘.

5) 喷雾降尘系统采用多级精过滤,使喷雾器不易堵塞,保证正常工作.

3 新型抑尘剂配比添加装置

针对岩巷粉尘,焦煤煤质粉尘的特性,综掘工作面高效喷雾降尘系统可以和抑尘剂配比添加装置配合使用,除尘效果显著. 抑尘剂配比添加装置示意图如图4所示.

抑尘剂配比添加装置具有以下特点:

1) 可显著增加对于煤矿采煤面、掘进面岩尘、焦煤尘及各种粉尘的降尘效果.

2) 装置为小体积单独整体结构,与现有的高压水

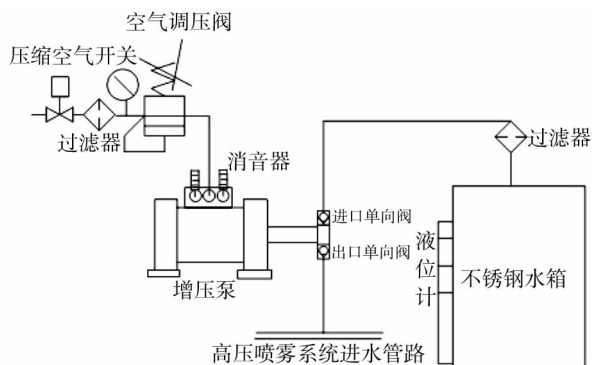


图4 抑尘剂配比添加装置示意图

喷雾降尘装置可无缝对接.能灵活配置在各个有降尘需求的工作面,连接简单,可靠性高.

3)对于飘散性粉尘区域,抑尘剂可长久保持粉尘湿度并起到固化作用,对于总回风巷,胶带运输巷等容易二次扬尘区域的粉尘控制非常有效.

4)抑尘剂用量低,仅为2‰~5‰,在保证降尘效率的同时有效控制了成本.

5)动力来源为井下压风管路提供的压缩空气,无需用电,安全性高.

抑尘剂配比添加装置可连接于高效喷雾降尘装置的进水通路中.这样就解决了使用纯水降尘时,对于微细尘和焦煤尘亲水能力差,不易被水浸湿,降尘效果低,煤尘在风流影响下快速干燥后易二次扬尘的难题.

4 现场应用实例

综掘工作面高效喷雾降尘系统目前已在陕西澄合矿务局董家河煤矿、陕西榆林神树畔煤矿、陕西阳泉开原矿、河南平煤神马集团11矿等多家煤矿企业得到应用,并取得了很好的降尘效果.以下是部分案例降尘测量数据.

综掘工作面高效喷雾降尘系统和抑尘剂配比添加装置配合使用,在平煤集团11矿西风井岩巷掘进面的防尘工作中取得了良好的降尘效果,降尘效率最高达到了73%.粉尘浓度测定情况见表4.

表4 平煤集团11矿西风井岩巷掘进面降尘效果测定表

| 生产工艺 | 测尘布置点 | 粉尘含量/(mg/m ³) | | 降尘率/% |
|----------|------------|---------------------------|--------|-------|
| | | 使用前 | 使用后 | |
| 司机操作面 | 回风侧4~5 m处 | 41.25 | 11.34 | 72 |
| 扫顶 | 回风侧4~10 m处 | 248.04 | 131.02 | 47 |
| 掘进机凿门 | 回风侧4~5 m处 | 283.07 | 89.68 | 68 |
| 刷帮(间歇喷雾) | 回风侧5~10 m处 | 194.14 | 151.05 | 22 |
| 挖底 | 回风侧4~10 m处 | 188.23 | 50.62 | 73 |
| 扒煤(未喷雾) | 回风侧5~10 m处 | 161.17 | 140.08 | 13 |

西山矿务局西曲矿掘进机高效喷雾降尘,生产班次连续测量,降尘率保持在75%以上.粉尘浓度测定情况见表5.

表5 西曲矿掘一工作面高效喷雾降尘装置降尘率测量表

| 测尘点 | 测尘分类 | 工序 | 喷雾装置状态 | 粉尘含量/(mg/m ³) | | | 降尘率/% |
|---------|------|----|--------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | | | | 最大 | 最小 | 平均 | |
| 掘进机司机位置 | 全尘 | 割煤 | 关闭 | 535.2 | 311.5 | 423.2 | - |
| 掘进机司机位置 | 全尘 | 割煤 | 开启 | 81.1 | 56.2 | 68.6 | 83 |
| 刮板转载点处 | 全尘 | 割煤 | 关闭 | 486.3 | 267.3 | 376.5 | - |
| 刮板转载点处 | 全尘 | 割煤 | 开启 | 102.2 | 42.2 | 72.1 | 81 |
| 一运转载点 | 全尘 | 割煤 | 关闭 | 336.6 | 303.2 | 319.8 | - |
| 一运转载点 | 全尘 | 割煤 | 开启 | 75.1 | 29.1 | 52.3 | 84 |

5 结论

1)综掘工作面的粉尘80%~95%以上来源于综掘机截割煤岩体环节,综掘机截割所产生的矿尘浓度高、分散度高、游离SiO₂含量高,严重威胁工人的身体健康,污染作业环境,加速机械磨损.因此,抑制和沉降截割环节的产尘是综掘工作面粉尘治理的重点.

2)距离掘进头5 m内粉尘浓度很高,并且呼吸性粉尘占有比例很高,在压入式通风方式下,含尘污风沿巷道稀释排出缓慢,导致工作面受污染时间长,所以必须在尘源处有效防治高浓度粉尘.

3) 现场应用结果表明,使用综掘工作面高效喷雾降尘系统以后,对全尘和呼吸性粉尘的效率达到84%,极大地降低了工作面粉尘浓度。

4) 使用综掘工作面高效喷雾降尘系统以后,工作面可以考虑取消除尘风机的应用,从而减少频繁对接风筒造成的人力浪费,简化了工序,方便了管理,也降低了综掘成本,更有利于加快掘进速度。

5) 高压喷雾能使雾滴带上比常规低压喷雾更高的电荷,从而为有效地降低呼吸粉尘的浓度提供了更有利的条件。

6) 煤矿井下粉尘是煤矿生产过程中不可消除的派生物,但煤矿井下粉尘是可以得到有效控制的。综掘工作面的粉尘的防治应根据粉尘分布情况,建立井下防尘系统,能有效降低粉尘浓度。综掘工作面高效喷雾降尘系统的现场应用,使工作面空气质量明显得到改善,保障了作业安全和职工的身体健康,这对于控制尘肺病发病率和煤尘爆炸事故,加强煤矿劳动保护、搞好安全文明生产、加速煤炭工业持续稳定的发展具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 陈卫红,邢景才,史廷明. 粉尘的危害与控制[M]. 北京:化学工业出版社,2005:1-46.
- [2] Zhou Q C, Steve N. Research on numerical emulator of mine methane and coal dust explosion[J]. Journal of Coal Science and Engineering (China), 2008,14(3):447-452.
- [3] 张斌,陈娅,徐敏. 我国职业卫生面临的挑战与机遇[J]. 劳动保护,2012,41(12):74-76.
- [4] 程卫民,刘伟,聂文,等. 煤矿采掘工作面粉尘防治技术及其发展趋势[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2010,29(4):77-82.
- [5] 彭佑多,谢伟华,郭迎福,等. 矿井掘进工作面粉尘对机器噪声衰减的影响[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2012,27(1):23-29.
- [6] 陈彩云,王晓峰,马熹焱. 综掘工作面粉尘研究与综合治理[J]. 煤炭技术,2008,27(8):77-79.
- [7] 张小涛,隋金君,曲宝. 采掘工作面喷雾降尘技术研究及应用[J]. 煤矿机械,2013,34(8):247-250.
- [8] 王文,桂祥友,王国君. 煤矿井下粉尘污染与防治[J]. 煤炭技术,2002,21(1):43-45.
- [9] 秦跃平,姜振军,张苗苗,等. 综掘面粉尘运移规律模拟及实测对比[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2014,33(3):289-293.
- [10] 姚国芳,李勇,王广胜. 煤矿巷道掘进的综合降尘与防尘[J]. 煤炭技术,2009,28(12):95-97.
- [11] 马胜利,刘亚力. 掘进工作面高压喷雾降尘的机理分析[J]. 煤矿机械,2009,30(8):88-90.
- [12] 周刚,聂文,程卫民,等. 煤矿综放工作面高压雾化降尘对粉尘颗粒微观参数影响规律分析[J]. 煤炭学报,2014,39(10):2053-2059.
- [13] 张小康,周刚. 全岩巷综掘工作面高效综合除尘技术[J]. 煤炭科学技术,2013,41(8):81-83.
- [14] 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.
- [15] 杨胜强. 粉尘防治理论及技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007:94-144.