

# 薄煤层矿井开采综合防尘技术研究

孙兆朋, 王元元, 李心秋

(山东新阳能源有限公司, 山东 济南 251401)

**摘要:**针对薄煤层机械化工作面产尘量大、粉尘治理难的问题,提出了薄煤层开采“六位一体”综合除尘技术。结合薄煤层工作面粉尘性质及治理现状,重点对薄煤层工作面高压煤层注水技术、综掘工作面短距离综合除尘技术、转载点封闭控尘技术等“六位”技术的除尘机理进行了阐述,实践表明,综合降尘效率达到 86.9%,为工作面创造了良好、安全的工作环境。

**关键词:**薄煤层;机械化工作面;六位一体;防尘;技术

中图分类号:TD714.4

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)02-0067-08

## Comprehensive Dust Control Technology in Mining Thin Coal Seam

Sun Zhaopeng, Wang Yuanyuan, Li Xinqiu

(Shandong Xinyang Energy Co. Ltd, Jinan, Shandong 251401, China)

**Abstract:** The mechanized working face of thin coal seam is characteristic of large quantity of dust. To solve the dust control problem of thin seam mining, the “six in one” integrated dust removal technology was discussed in this paper. This technology, based on the knowledge of flour dust properties and current level of thin coal seam treatment, encompasses the comprehensive dust removal mechanism of the thin seam high-pressure coal injection, fully mechanized working face of short distance, and transshipment point enclosure dust control. The field practice of the comprehensive technology proves that dust control efficiency reach 86.9%, creating a good and safe working environment for the miners.

**Key words:** thin coal layer; mechanized working face; six in one; dust prevention and cure; technology

随着采掘机械化程度的不断提高,矿井的开采方法和采煤工艺向着高效、集约化生产方向发展,产尘量成线性增加,粉尘浓度高达  $200 \text{ mg/m}^3$  以上,现场作业环境恶劣,职工身体健康受到严重危害,且存在煤尘爆燃的危险<sup>[1]</sup>,影响矿井安全生产。在薄煤层开采过程中,受煤层条件影响,传统的内外喷雾、支架喷雾、风流净化水幕及转载点水幕等传统的措施虽然对粉尘浓度有一定控制,但除尘效率低,矿井风流中仍存在大量悬浮矿尘,远不能满足国家对粉尘控制的标准。本研究从机械化工作面等主要尘源治理入手,提出了薄煤层开采“六位一体”综合除尘技术,极大地降低了作业地点粉尘浓度,对建设“无尘化矿井”及提高矿井职业健康管理水平具有深远意义。

## 1 薄煤层概况

井田位于黄河北煤田济北预测区浅部,区域内断裂构造发育,水文地质中等偏复杂。煤层结构简单,厚度在  $0.8 \sim 1.15 \text{ m}$ ,属极薄煤层。煤层顶底板岩性以细砂岩或粉砂岩为主,局部为中砂岩。矿井现开采 1, 5, 7 煤层,煤尘爆炸性指数  $35.61\% \sim 41.20\%$ ,属强爆煤层。受粉尘的疏水性和表面张力影响,传统的内外喷

收稿日期:2013-11-21

基金项目:新矿集团无尘化矿井创建项目(新矿安[2012]177号)

作者简介:孙兆朋(1975—),男,山东新泰人,工程师,主要从事煤矿开采及“一通三防”技术研究。E-mail: xynywy@126.com

雾不能有效降低一次尘源粉尘浓度,不利于矿井安全开采。煤层原始含水率在 1.85%~2.34%,孔隙率在 9.09%左右。工作面产生的粉尘游离二氧化硅含量和分散度较高,高浓度的粉尘严重威胁职工的身心健康。

## 2 综采工作面粉尘治理

以 2104 面为例,综采工艺,采用 MG150/345-WDK 型双滚筒采煤机,应用 ZY3200/7.5/16 型掩护式液压支架进行支护,放顶步距为 0.6 m,工作面采用全部垮落法管理顶板,最大控顶距为 4.3 m,最小控顶距为 3.7 m,采高 1.4 m,纯煤厚度 0.99 m,割煤过程中要截割顶底板岩石,产生大量的粉尘,粉尘浓度最高达 223 mg/m<sup>3</sup>,工作面作业环境差。尘源主要集中在机组强力割煤、岩及移架放顶工序,为有效降低工作面粉尘浓度,实施了高压长壁注水、降尘剂湿式降尘及外喷雾引射降尘技术,通过高压压裂煤体、添加降尘剂辅助外喷雾,提高了采煤工作面煤层含水率及粉尘的润湿能力,粉尘更容易沉降下来,从尘源上有效地减少了综采工作面粉尘的产生。

### 2.1 薄煤层高压长壁注水技术

矿井各煤层含水率在 2%左右,远远低于《煤矿安全规程》要求的 4%的规定。因此通过煤层注水增加煤体水分含量是降低综采工作面各生产环节产尘量最主要的措施与途径。针对薄煤层基本产状及揭露的地质构造分布情况,积极开展薄煤层长钻孔高压注水工艺<sup>[2]</sup>研究,完善了采煤工作面煤层注水设计。

为提高注水效果,利用 SGZ-IA 型矿用坑道钻机在工作面上、下巷双向顺煤层布置煤层注水孔,钻孔深度在 65 m 左右,孔径为 75 mm,钻孔倾角 1.5°~3°,上巷施工注水孔 28 个,下巷施工注水孔 30 个,面累计钻孔 58 个,工作面钻孔布置示意图见图 1。为提高注水质量,避开煤体裂隙带,采用水泥砂浆封孔方式,封孔长度在 15 m 左右。

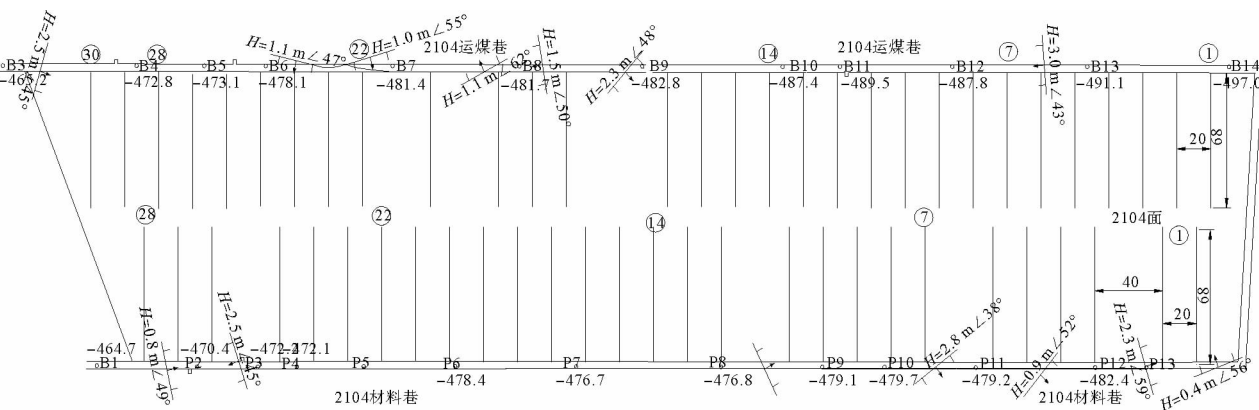


图 1 工作面钻孔布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of working face layout of drill hole

根据工作面推进度合理选取注水方式,工作面上下巷各布置 8 个钻孔注水,外侧 3 个执行动压注水,里侧 5 个执行静压补水,并且每个钻孔安装了 SGS 双功能流量计,悬挂了煤层注水管理牌板,工作面高压煤层注水示意图如图 2 所示。用 BZW63/12.5 型煤层注水泵调整压力在 8 MPa 以上进行动压注水,注水流量 80 L/min,通过高压压裂煤体,当达到钻孔设计注水量或钻孔周围煤壁有水渗出时,可结束或暂停对该钻孔或该组钻孔的注水,当钻孔进入工作面超前动压影响明显范围内,进行二次静压补水,当距工作面最近的钻孔距面不足 10 m 时,停止注水。

为检验工作面注水效果,定期用水分测试仪对注水后的煤层含水率进行测定,通过实施煤层注水,单孔注水量达 80 m<sup>3</sup>,煤层含水率提高至 4.5%,上下巷 1~5 钻孔采集煤样前后水分变化见图 3。

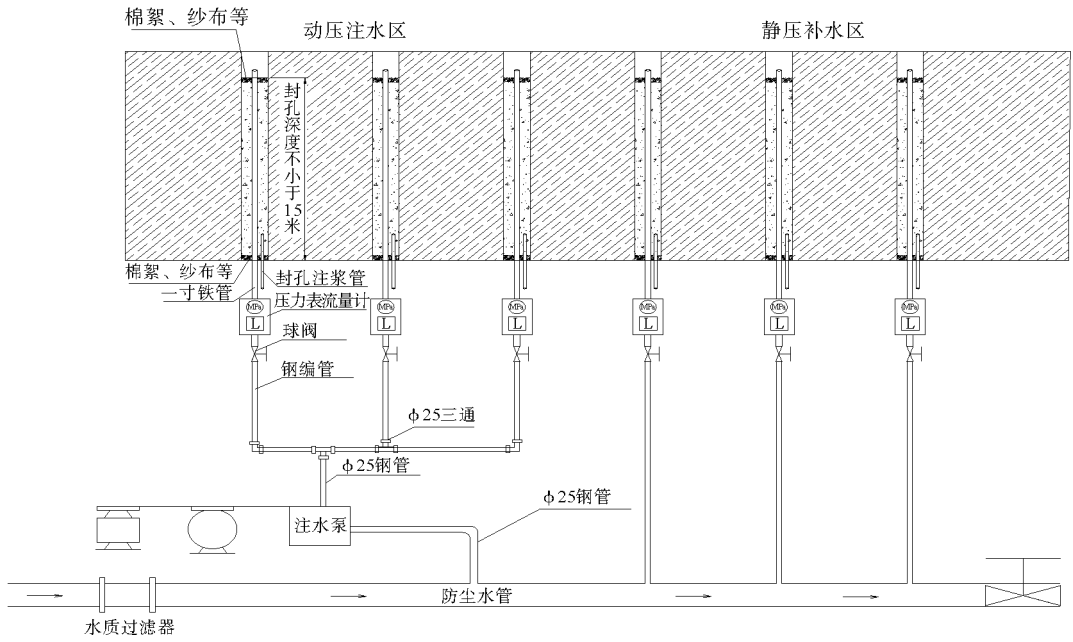


图2 工作面高压煤层注水示意图

Fig. 2 Sketch map of coal seam mining working face pressure

## 2.2 降尘剂湿式除尘技术

传统以水为主的综合防尘措施,如煤层注水、喷雾洒水、湿式作业及湿式除尘等,其喷雾降尘机理为用水雾将漂浮在空气中的粉尘微粒湿润,使其重力增加而加速沉降。由于2104工作面煤、岩尘粒子具有一定的疏水性和表面张力<sup>[3]</sup>,单纯的防尘水降尘效率只有45%左右,不能使粉尘高效沉降。为此,在采煤工作面防尘管路上安装了降尘剂自动添加装置,在柔性容器中加入一定量的降尘添加剂实现防尘管路上降尘剂的自动添加。降尘剂成分为OP乳化剂溶液,是由亲水基和亲油基两种不同性质的基团组成的化合物。当把这类物质配入水中时,其亲水基即快速插入水中,而憎水基则被排斥伸向空气中,于是降尘剂物质分子会在水液表面上形成紧密排列的定向排列层,即界面吸附层。由于界面吸附层的存在,使水的表面分子与空气的接触状态发生变化,导致水溶液表面张力大大降低,也消除了水雾颗粒和粉尘颗粒所带电荷的相斥性,同时朝向空气中的亲油基与粉尘粒子之间有吸附作用,所以当粉尘粒子与添加降尘剂的水雾颗粒接触时即形成憎水基和尘粒、亲水基亲和水溶液的围绕尘粒的包裹团而把粉尘充分湿润,形成球状或层状胶束,使其质量增加而快速沉降,有助于提高煤层注水的水分增加率及注水抑尘效果,用于喷雾灭尘,降尘效率比清水提高25%~40%<sup>[4]</sup>。图4为喷雾灭尘的原理示意图。

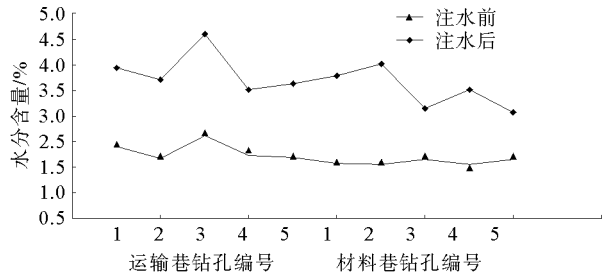


图3 钻孔采集煤样前后水分含量变化图

Fig. 3 Changes in the moisture content of coal samples collected before and after drilling plan

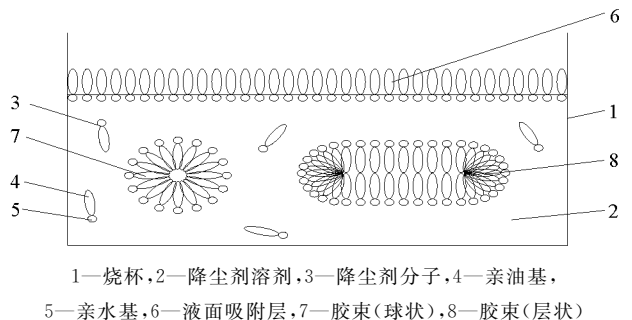


图4 降尘剂溶液中液面吸附层及胶束的微观示意图

Fig. 4 Reduction of surface adsorption layer and micellar dust agent solution of micro diagram

通过降尘剂的使用,取得了明显的降尘效果。相比原有单纯的湿式除尘技术而言,对于全尘来讲,其降尘效率提高了 30%~35%,特别对于直接危害人体的呼吸性粉尘抑制更为明显。降尘剂使用前后效果图如图 5 所示。

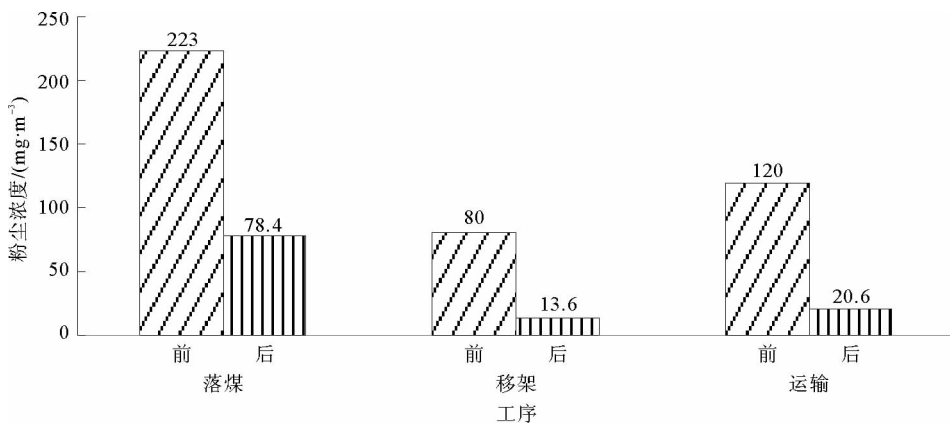


图 5 降尘剂效果图

Fig. 5 Dustfall agent effect chart

### 2.3 采煤机高压外喷雾引射降尘技术

传统内、外喷雾系统<sup>[5]</sup>大多数是对准截割区域,经常会带动含尘空气扩散到上风侧约 3~3.7 m,特别是当喷雾正对上风侧时,这些含尘空气扩散并与进风空气混合,从前滚筒处开始污染人行道,将采煤机司机包围起来。防尘管路的水压一般在 4.3 MPa 左右,雾化效果不太好,容易在工作面形成积水。针对采煤机割煤产尘特性,采用高压外喷雾引射降尘措施,在滚筒周围形成强大的水雾包围圈,就地消除滚筒处产生的大部分粉尘。由于工作面风速高,受强大风流作用,滚筒处仍有部分粉尘无法就地沉降,加上煤炭垮落冲击产生的粉尘,势必向下风及人行道快速扩散,给工作面风流造成严重污染。因此,必须控制粉尘向人行道扩散,将含尘风流控制在人行道和煤壁之间较小的区域运动,从而使采煤机操作司机处的空气得到有效净化。工作面采煤机高压外喷雾引射降尘及含尘气流控制按照图 6 所示进行布置。

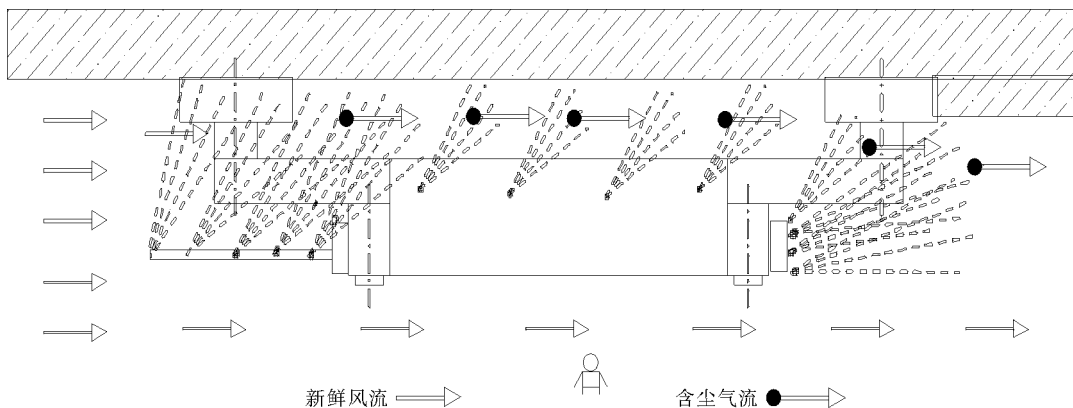


图 6 煤机高压外喷雾引射降尘系统示意图

Fig. 6 Coal machine high pressure spraying ejector schematic diagram of dust suppression system

在采煤机上风侧滚筒处布置长杆式的采煤机二次负压降尘装置,该降尘器与采煤机摇臂相平行,一般由 5 个高压喷嘴组成,最前端的两个喷嘴朝向采煤机上机头处下部的稍下方,后面的三个喷嘴与工作面煤壁成

30°角(逆时针)布置。采煤机下风侧滚筒处的喷雾朝向滚筒方向,约为45°角布置。高压喷雾引射器工作时,矿井静压水经BPW315/10高压喷雾泵(两泵一箱)加压形成高压水(压力大于8 MPa),高压水经单独敷设的高压管路进入引射器高压喷嘴,利用高压喷嘴喷出的高速水雾流高效引射降尘。高压喷雾具有雾化效果好、速度高、射程远、水量较小(只是普通喷雾的三分之一)、覆盖面积大、降尘效率高、引射风量大等优点。此外,高压喷雾及其引射器所形成高速水雾流对风流的引射、扰动作用可驱散截割头附近的瓦斯,防止瓦斯积聚。另外,在煤机上用风筒布或旧皮带遮盖一个挡尘帘:一是有效克服逆风割煤时降尘器喷出的高压水雾流无法有效覆盖滚筒的问题;二是分割进风流,避免粉尘大量扩散到人行道危害作业人员。

### 3 综掘工作面粉尘治理

三采一层集中运输巷为三采区准备巷道,掘进层位系煤1顶底板,岩性为深灰色细砂岩与浅灰色中砂岩,顺煤层掘进,煤1煤层厚度在0.7 m左右,厚度稳定,结构简单,工作面绝大部分在截割岩层。煤尘爆炸性指数为35.61%,属强爆煤层。工作面采用MR340X型掘进机掘进,外形尺寸为10.3 m×3.5 m×2.4 m。因综掘机无内喷雾,作业时采用外喷雾降尘(水压4.3 MPa)和长压短抽混合通风方式,其中风机为FBD No6.0(2×15 kW)压入式局部通风机,工作风量为286 m<sup>3</sup>/min,风筒直径600 mm,出风口距掘进工作面壁10 m左右;综掘机机身上安装1台KCS225-ZZ型大功率湿式振弦除尘风机,处理风量在225 m<sup>3</sup>/min。因工作面煤层薄,全岩掘进,特别是在截割顶板岩石时,工作面粉尘浓度高达165 mg/m<sup>3</sup>,可见度低,巷道成型质量差,由于控尘效果差,粉尘飞扬和扩散,工作环境恶劣,严重影响职工的身心健康,对矿井的安全生产造成很大威胁,现有的防尘设施并未真正解决工作面的粉尘问题。

#### 3.1 短距离综合除尘技术

该技术是一系列除尘技术与措施的有机结合,是空气幕除尘技术<sup>[6]</sup>的一项革新,由“前抽后压”通风技术、可伸缩多级附壁风筒控风技术、高效除尘风机抽尘技术以及捕尘网捕尘技术4项关键技术构成。综掘工作面综合除尘技术模型如图7所示。

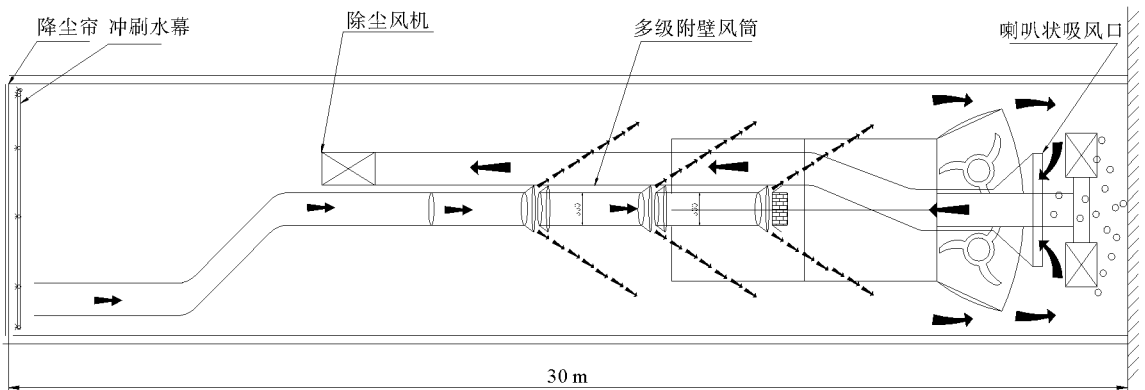


图7 综掘工作面短距离综合除尘技术模型

Fig. 7 The fully mechanized working face of short distance integrated dust removal model

将除尘风机安装在一体式承载小车上,小车通过连杆与二运架尾端连接,可以同二运一起沿皮带机载轨道运动,可伸缩式多级附壁风筒位于掘进工作面20 m范围内<sup>[3]</sup>,除尘风机吸风口距工作面不大于3 m,使用KCS225-ZZ型大功率湿式振弦除尘风机<sup>[8]</sup>,根据综掘机技术尺寸,改进了除尘风机吸风口,形成高负压,处理风量在225 m<sup>3</sup>/min,达到“高抽尘”。可伸缩式多级附壁风筒的使用效果如图8所示。

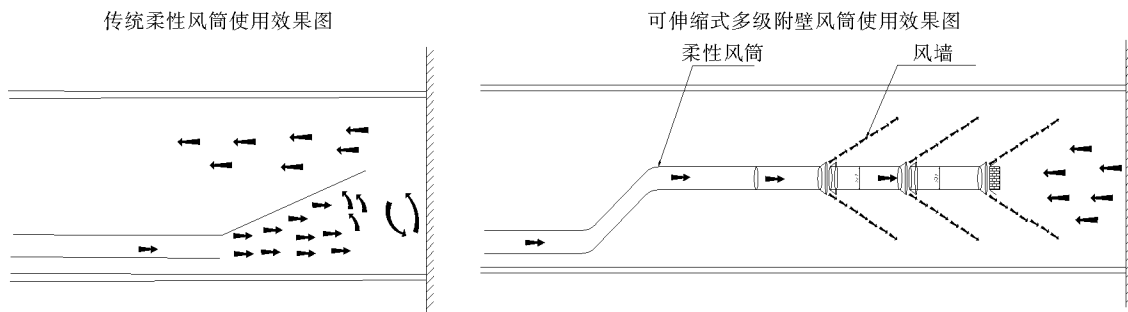


图 8 可伸缩式多级附壁风筒使用效果图

Fig. 8 Telescopic multi-stage air duct with effect diagram

通过可伸缩式多级附壁风筒使用,在迎头有效形成 3 道空气幕,加之除尘风机负压存在,不断补给风流,能够最大限度地将含尘气流控制在迎头范围内,不会向巷道后逸散,实现“高控尘”。

在二运皮带机尾处安设 1~2 道覆盖全断面的捕尘网,并在上风流各安设一道自动冲刷水幕。皮带运煤期间,形成 1~2 道封闭水幕,达到捕尘目的。

### 3.2 效果分析

在使用该技术前,仅使用外喷雾和除尘风机,掘进工作面最大粉尘浓度达  $161 \text{ mg/m}^3$ ,工作面能见度极低。使用后综掘机司机处粉尘平均浓度降至  $21.1 \text{ mg/m}^3$ ,降尘效率达 86.9%,粉尘被封闭在迎头 30 m 范围内,极大地改善了作业环境,提高了综掘工作面粉尘治理能力。短距离综合除尘技术使用前后粉尘治理效果见表 1。

表 1 综采工作面多种除尘技术与传统内外喷技术效果对照表

Tab. 1 Fully mechanized working face kinds of dust removal technology with traditional internal and external injection effect comparison table

项目	传统的内外喷技术					短距离综合除尘技术					除尘率
	10月20日	10月21日	10月26日	10月27日	平均	10月20日	10月21日	10月26日	10月27日	平均	
全尘浓度/ ( $\text{mg/m}^3$ )	165.0	162.5	150.8	165.6	161.0	20.96	21.07	21.73	20.59	21.1	86.9%

## 4 皮带机道粉尘治理

皮带机道是矿井主要原煤运输设备,转载点数量多,在运输过程中,伴随着大量粉尘产生,特别是皮带启动停止瞬间及转载期间,粉尘浓度非常大,单一的转载点喷雾,降尘效果差。

### 4.1 触控皮带冲刷技术

为有效湿润煤体,安装了触控皮带冲刷装置,当原煤碰触触链时,触控传感器感应,控制电磁阀开启,皮带下方及中间冲刷水幕开启,充分冲刷皮带,润湿煤体,降低了粉尘产生。触控皮带冲刷装置示意图见图 9。

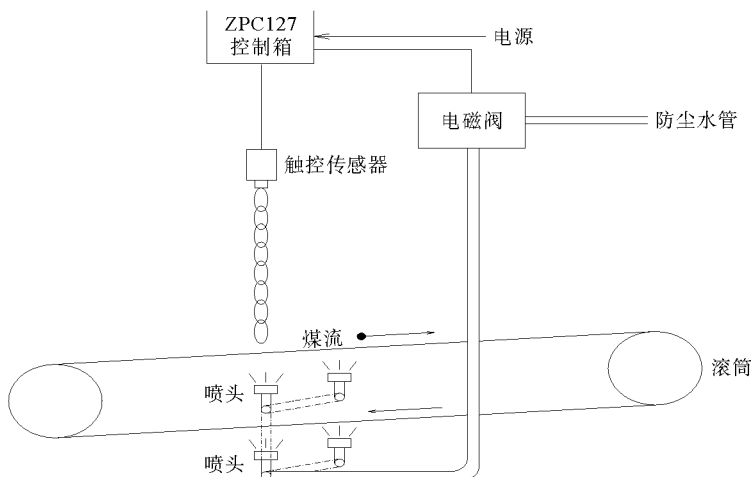


图 9 触控皮带冲刷装置示意图

Fig. 9 Schematic diagram of touch belt flushing device

### 4.2 转载点封闭控尘技术

为有效控制粉尘飞扬,在皮带机头构建一个封闭的空间<sup>[1]</sup>。根据皮带机头尺寸,用钢筋焊接出外框架,用透明有机玻璃封装起来,固定在机头架子上,在装置内部设有自动喷雾装置和堆煤保护探头,根据皮带落差及煤流 1.8 m/s 的速度,装置伸出机头部分不小于 600 mm,在装置与皮带机的入口与出口,订上旧皮带皮子或透明皮子,既满足原煤运输需要,又控制煤尘外溢。封闭控尘装置示意图如图 10 所示。

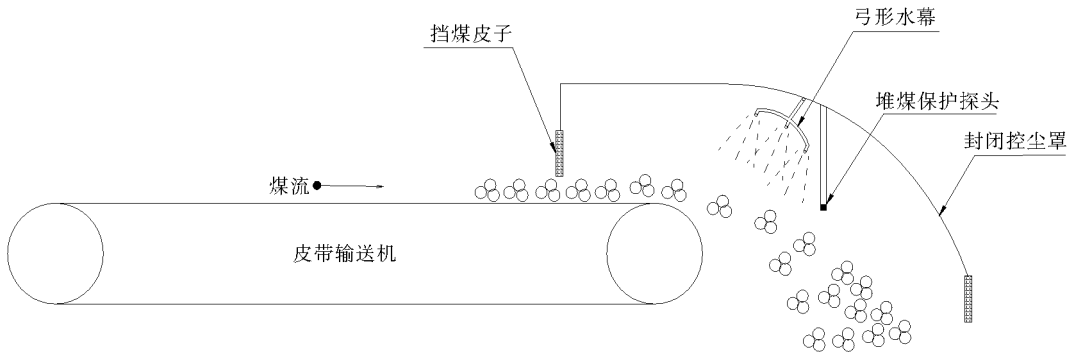


图 10 转载点封闭控尘装置示意图

Fig. 10 Schematic diagram of transshipment point closed dust control device

### 4.3 效果检验

通过对皮带输送机安装触控皮带冲刷装置及转载点封闭控尘装置,结合原有的转载点喷雾装置,真正从一次尘源上减少了粉尘的产生,除尘效率达到 79%,使用前后效果见表 2。

表 2 效果对照表

Tab. 2 Results table

项目	传统的转载点喷雾技术					皮带冲刷、封闭控尘等多种技术					除尘率
	11月2日	11月3日	11月4日	11月5日	平均	11月2日	11月3日	11月4日	11月5日	平均	
全尘浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	50.5	52.1	49.6	50.6	50.7	10.1	10.3	10.9	11.2	10.6	79%

## 5 个体防护

所有下井人员必须佩带美国 3M 高效防尘口罩,同时综采、综掘工作面及喷浆作业地点重点接尘人员必须佩带日本重松 DR28U2W 型可水洗高效防尘口罩,此防尘口罩具有密封性好、呼吸阻力小、滤膜可以水洗、重复利用的优点,有效降低个体粉尘负荷量,做好粉尘防治的最后关卡。

## 6 结束语

结合薄煤层开采实际,分别从综采工作面、综掘工作面及皮带机道三处矿井产尘源头及各自产尘工艺进行研究,提出了“六位一体”薄煤层开采综合防尘技术,通过现场实施,有效地降低了作业地点粉尘浓度,改善了井下作业环境。基于薄煤层开采的“六位一体”综合除尘技术,能够为新矿集团乃至全国薄煤层粉尘治理提供参考,具有巨大的社会效益。

### 参考文献:

[1]张国枢,谭允祯,陈开岩,等. 通风安全学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007:268-269.

[2]程卫民,刘向生,郭允相,等. 综放工作面煤层混合式注水防尘技术[J]. 煤炭科学技术,2008,36(9):38-42.

- Cheng Weimin, Liu Xiangsheng, Guo Yunxiang, et al. Dust proof technology with combined seam water injection for fully mechanized top coal caving mining face[J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(9): 38-42.
- [3] 浑宝炬, 郭立稳. 矿井粉尘检测与防治技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 2-5.
- [4] 程卫民, 张立军, 周刚, 等. 综放工作面表面活性剂的喷雾降尘实验及其应用[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2009, 28(4): 77-81.
- Cheng Weimin, Zhang Lijun, Zhou Gang, et al. Experiment of dust settling with spraying surfactants and its application in fully mechanized caving face[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Nature Science, 2009, 28(4): 77-81.
- [5] 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.
- Shi Xunxian, Jiang Zhongan, Chu Yanyan. Current development and trend control technology research of fully mechanized coal faces[J]. China Occupational Safety and Health Management System Certification, 2005, 1(1): 41-43.
- [6] 聂文, 程卫民, 郭允相. 综掘面空气幕封闭式除尘系统的应用[J]. 煤矿安全, 2009, 40(3): 19-22.
- Nie Wen, Cheng Weimin, Guo Yunxiang. Research and application of closed end dust system of air curtain in fully mechanized workface [J]. Safety in Coal Mines, 2009, 40(3): 19-22.
- [7] 程卫民, 刘向升, 阮国强, 等. 煤巷锚掘快速施工的封闭控尘理论与技术工艺[J]. 煤炭学报, 2009, 34(2): 203-207.
- Cheng Weimin, Liu Xiangsheng, Ruan Guoqiang, et al. The theory and technology of enclosure dust laying model in speeded advance of coal road[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(2): 203-207.
- [8] 宋马俊. 国外煤矿粉尘控制新技术[J]. 湖南安全与防灾, 2007(1): 58-59.
- Song Majun. Foreign coal mine dust control technology[J]. Hunan Security and Disaster Prevention, 2007(1): 58-59.

(责任编辑: 吕海亮)

## “矿山灾害预防与控制”研究专栏征稿

### 征稿范围:

- ◇ 矿山岩层控制
- ◇ 采动岩体力学
- ◇ 资源规划与绿色开采
- ◇ 矿井瓦斯与火灾治理
- ◇ 矿山震动与冲击地压
- ◇ 煤炭科学开采理论、方法与技术
- ◇ 安全监测监控与信息化
- ◇ 井下充填开采
- ◇ 现代化矿井生产技术
- ◇ 瓦斯的抽采与利用

欢迎相关领域专家学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“矿山灾害预防与控制”专栏。稿件通过专家评审后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: [http://xuebao.sdust.edu.cn/index\\_z.asp](http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp)

电子邮箱: [zkchem@sdust.edu.cn](mailto:zkchem@sdust.edu.cn); [sdustzkb@163.com](mailto:sdustzkb@163.com)

联系电话: 0532-86057859

山东科技大学学报(自然科学版)编辑部