

文章编号:1674-9669(2020)06-0107-07 DOI: 10.13264/j.cnki.ysjskx.2020.06.015

引文格式:刘威,支学艺,袁明昌,等. 胶带运输巷道粉尘分布规律及其控制[J]. 有色金属科学与工程,2020,11(6): 107-113.

胶带运输巷道粉尘分布规律及其控制

刘威, 支学艺, 袁明昌, 陈祖云

(江西理工大学资源与环境工程学院,江西 赣州 341000)

摘要:通过对 245 胶带运输巷道内粉尘浓度的现场测定与分析,发现转载点和落矿点的粉尘浓度严重超标。为此,建立井下运输巷道的物理模型,采用 Fluent 软件对胶带运输巷道粉尘运动进行数值模拟研究,确定了巷道内粉尘运移规律。结果表明:当平均风速为 3 m/s 时,巷道内粉尘浓度最低;巷道内粉尘浓度大小与胶带运行速度成正比。根据数值模拟的结果,结合某大型金属矿山的实际情况,制定了一套适用于胶带运输巷道的降尘措施。该措施实施后,胶带运输巷道内粉尘浓度最大的落矿点处由 60.5 mg/m^3 降低到 9.5 mg/m^3 ,降尘效果显著,巷道内作业环境得到较大改善。

关键词:胶带运输巷道;粉尘运移规律;数值模拟;降尘措施

中图分类号:TD714 **文献标志码:**A

On the dust distribution law and control of belt haulage roadway

LIU Wei, ZHI Xueyi, YUAN Mingchang, CHEN Zuyun

(School of Resources and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract:Through field measurement and analysis of dust concentration in 245 belt haulage roadway, we found that the dust concentration at transfer point and drop point exceeded the standard. Therefore, the physical model of underground transportation roadway is established, and the dust movement in belt transportation roadway is numerically simulated by Fluent software, by determining the law of dust movement in roadway. The results show that, when the average wind speed is 3 m/s, the dust concentration in roadway is the lowest. The dust concentration in the roadway is proportional to the belt running speed. According to the results of numerical simulation, combined with the actual situation of a large metal mine, a set of dust reduction measures suitable for belt haulage roadway were formulated. After the measures were installed and implemented, the falling point with the highest dust concentration in the belt haulage roadway was reduced from 60.5 mg/m^3 to 9.5 mg/m^3 , with a remarkable dust reduction effect. Thus, the working environment in the roadway was greatly improved.

Keywords:belt transportation roadway; dust movement law; numerical simulation; dust reduction measures

胶带运输是金属矿山井下输送矿石的主要方式之一^[1-3]。胶带运输机在运转时会产生大量的粉尘,在风流的作用下,粉尘会扩散到其他巷道和工作面,污染作业环境和损耗井下设备,危害井下工作人员的身体健康^[4-5]。

因此,研究井下胶带运输巷道粉尘扩散机理,采取有效的降尘措施对改善井下工作环境具有十分重要的意义。

近年来许多学者对胶带运输巷道粉尘分布规律数值模拟的研究较多,而对巷道内粉尘控制和具体降

收稿日期:2020-07-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51864016)

通信作者:支学艺(1973—),男,博士,副教授,主要从事矿井通风、矿山安全等方面的研究。E-mail:981306991@qq.com

尘方案的研究相对较少。所以,本次研究对运输巷道粉尘治理有一定意义。本文依据气固两相流理论,结合现场测定的数据,建立粉尘运动的三维数学模型,并运用 Fluent 软件对巷道内粉尘分布规律进行数值模拟^[6-12]。根据模拟结果和现场实际情况,采用加强落矿点密闭、在转载点处和巷道断面设置气-水喷雾、胶带清洗防尘等措施对巷道内粉尘进行治理,并通过现场测定验证降尘效果^[13-15]。

1 现场测定与分析

1.1 245 胶带运输巷道概况

某大型金属矿山 245 胶带运输巷道是重要的矿石运输巷道,负责将 1[#] 和 2[#] 破碎硐室破碎的矿石输送到地面。巷道倾斜角为 14°, 宽为 6 m, 高 4 m, 断面面积为 28 m², 形状为三心拱。胶带运输巷道总长 2 877 m, 贯通井下-150 m 水平与地面 245 m 水平, 全程采用水泥支护。胶带运输机位于巷道的右侧, 左侧为人行道, 供矿山工作人员日常上下班使用,

胶带宽 1.2 m, 胶带运输机支架高度为 0.8 m。目前 245 巷道胶带运输系统由三段胶带组成, 其中 1[#] 胶带位于-150 m 水平, 有两个落矿点, 三段胶带通过斜坡道中间的两个转运点连接。在 1[#] 胶带两个落矿点处做了简单的密闭, 并在运输巷道内设有水喷雾, 但是降尘效果并不好, 现场粉尘明显。

1.2 胶带运输巷道现场测定

现场测定主要包括风速测定和粉尘浓度测定。本次风速测定使用侧身法, 依据风流流场的相关理论, 结合胶带运输巷道的空间分布, 在巷道内沿巷道走向选取共 9 个待测断面^[9], 每个断面的间距相同, 在每个断面内各布置 4×3 个风速测点对风速进行测定。粉尘浓度的测定采用滤膜质量浓度法结合激光粉尘测定仪进行粉尘浓度采样测量。根据井下 245 胶带运输的工艺流程及空间布置情况, 将 245 胶带斜坡道划分成 3 个主要部分, 第 1 部分为井下-150 m 胶带平巷处的 1[#] 和 2[#] 落矿点, 第 2 部分胶带斜坡道上的两个胶带转载点, 第 3 部分为落矿点与胶带转载点之间的其他区域, 结合激光粉尘测定仪进行采样测量。具体测点布置如图 1 所示。

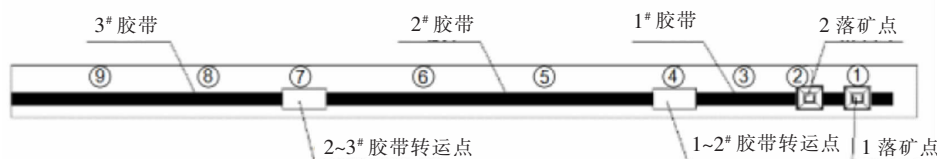


图 1 粉尘浓度测点布置

Fig. 1 Layout of dust concentration measuring points

1.3 测定结果分析

对 245 胶带斜坡道运输巷内粉尘浓度进行了定点测定, 将滤膜烘干称重后, 计算出各点粉尘浓度, 并结合激光粉尘测定仪连续监测的数据, 得出胶带运输巷道内粉尘浓度分布, 见图 2。

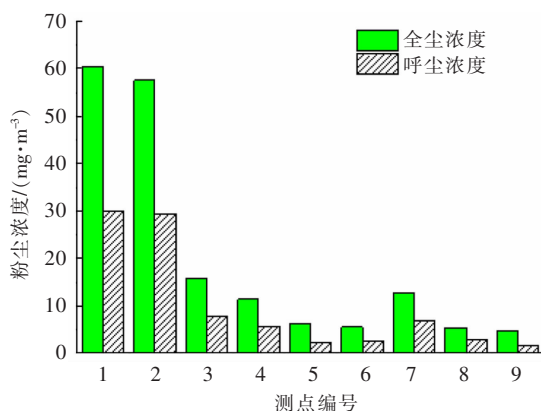


图 2 胶带运输巷道内粉尘浓度分布

Fig. 2 Dust concentration distribution in the belt transportation lane

从图 2 可以看出在落矿口处, 全尘浓度最高可达 60.5 mg/m³, 呼吸性粉尘浓度最高可达 30.4 mg/m³, 超过了国家相关标准, 井下巷道空气污染严重。其次, 在 1~2[#] 胶带转运点和 2~3[#] 胶带转运点粉尘也较大, 全尘浓度最高为 13.1 mg/m³, 呼尘浓度最高为 7 mg/m³; 而其他区域的粉尘浓度较低, 全尘浓度基本在 3~5 mg/m³, 呼尘浓度在 1.5~2.3 mg/m³, 污染程度相对较轻。

2 胶带运输粉尘分布数值模拟

2.1 建立模型

由于井下胶带运输巷道内现场实际情况比较复杂, 需对模型做适当简化: ①将运输巷道断面看作标准三心拱, 胶带输送机机身看作长方体, 落矿点用两个正方体表示, 其下部空间较小可忽略不计^[9]; ②电缆电线、水管、人行梯等设备由于体积很小, 且对风流流场分布及粉尘扩散的影响较弱, 故忽略不计。

基于上述简化,建立一个尺寸为 50 m×6 m×4 m 的三心拱巷道,用 ICEM 建立胶带输送巷道的三维几何模型,并进行网格划分。胶带输送机建立尺寸为 35 m×1 m×0.8 m,靠近巷道左侧。将巷道底板与巷道入口交界线的中心点设置为坐标原点, x 、 y 、 z 轴正方向分别指向胶带机机头、运输机道一侧、巷道顶板。胶带输送巷道三维空间几何模型如图 3 所示。进行网格划分时采用非结构性的网格,网格尺寸取最小 0.1 m,网格的最大面尺寸取 0.5 m。网格划分如图 4 所示。

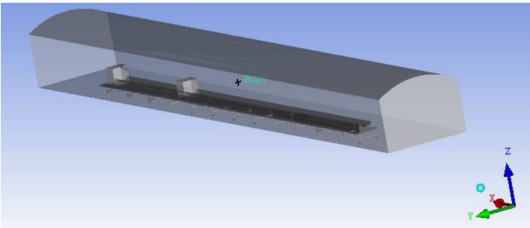


图 3 运输巷道模型
Fig. 3 Transport roadway model

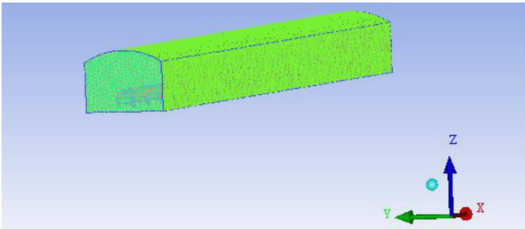


图 4 运输巷道模型网格划分
Fig. 4 Grid division of the transportation roadway model

2.2 边界条件

根据 245 胶带运输巷道现场情况以及相关实测数据,数值模拟参数设定如表 1 所列。

2.3 数值模拟结果及分析

本次模拟对粉尘浓度的分布规律进行了探究,下面介绍 2 种情况对粉尘浓度分布的影响。

1)将入口风速设置为 1.2 m/s,对不同胶带运行速度进行模拟,得出人行通道中间 1.5 m 呼吸带高度的粉尘浓度沿程分布,结果如图 5 及图 6 所示。从图 5、图 6 中可以看出,不同胶带运行速度下巷道内沿程粉尘浓度呈现出先上升再递减的趋势。这是因为巷道模型内 40 m 后没有产尘点,而粉尘因重力作用不断发生沉降,所以巷道内粉尘浓度会发生下降。同时随着胶带运行速度的增大,巷道内粉尘浓度整体

升高,峰值由 48 mg/m³ 上升到 64 mg/m³。经综合考虑,得出胶带运行速度选定 2 m/s 为宜。

表 1 计算模型参数设定
Table 1 Calculation model parameter setting

边界条件	参数设定
阻力特征	球形颗粒
喷射源类型	面喷射
材质	铜矿石
粒径分布	R-R 分布
DPM 边界	捕获
剪切边界	无滑移
压力-速度耦合方式	SIMPLEC 算法
离散格式	二阶迎风
收敛标准	10-3
求解器	Segregate 非耦合求法
湍流模型	k-epsilon 双方程模型
离散相模型	打开
能量方程	关闭

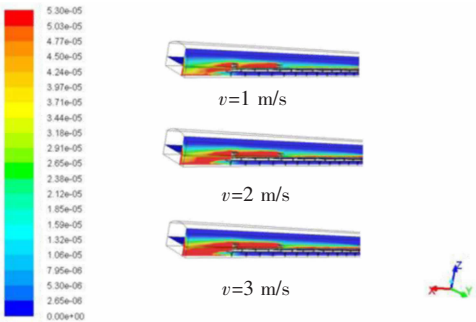


图 5 不同运行速度下粉尘浓度云图
Fig. 5 Dust concentration cloud diagram at different operating speeds

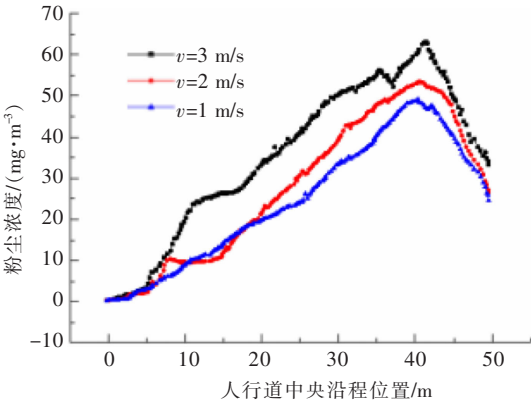


图 6 不同胶带运行速度下粉尘浓度分布
Fig. 6 Dust concentration distribution under different belt speeds

2)在保持其他参数设定不变,设定胶带运行速度为 2 m/s 的情况下,对不同进口风速情况下人行通道中间 1.5 m 呼吸带高度的沿程粉尘浓度分布进行模拟,结果如图 7 及图 8 所示。从图 7、图 8 中可以看出,不同风速条件下粉尘浓度均保持沿程先逐步上升至最大值,后缓慢下降的变化规律^[17]。而粉尘浓度出现下降是由于巷道模型内 40 m 后没有产尘点,而粉尘不断发生沉降的缘故。由此可知,当风速在 3 m/s 时,粉尘浓度达到一个较小值,整体保持在 15 mg/m³ 以内,建议胶带输送巷道风速控制在 3 m/s 以下为宜。

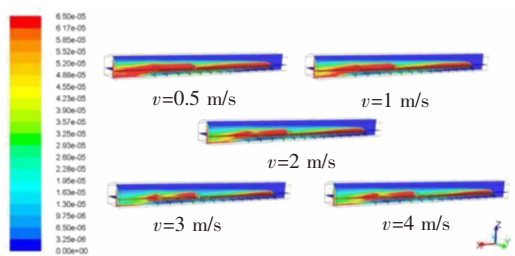


图 7 不同风速条件下粉尘浓度分布云图

Fig. 7 Cloud diagram of dust concentration distribution under different wind speed conditions

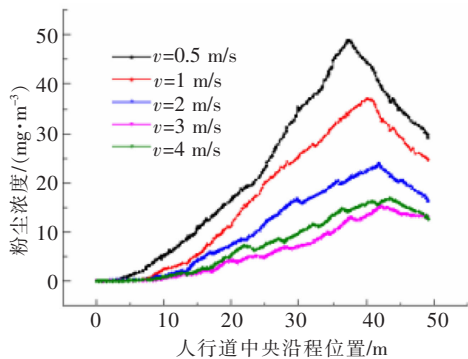


图 8 不同风速条件下粉尘浓度分布

Fig. 8 Dust concentration distribution under different wind speed conditions

2.4 模拟得出的结论

1)以上 2 种情况下巷道内沿程粉尘浓度变化情况大致相似,都是呈现出先上升再递减的趋势。这是由于巷道模型内 40 m 后没有产尘点,而粉尘不断发生沉降,所以巷道内粉尘浓度会有下降趋势。

2)巷道内粉尘浓度大小分布与胶带运行速度成正比例关系,胶带运行速度越大,粉尘浓度越大。由于井下生产运输任务较重,综合考虑建议将胶带运行速度定为 2 m/s 合适。

3)当巷道内风速小于 3 m/s 时,随着风速的增大,粉尘浓度显著降低,说明风速的增加具有较好的降尘效果;当风速大于 3 m/s 时,随着风速的增加,巷

道粉尘浓度开始上升,这是因为过高的风速易造成二次扬尘。所以应将风速控制在 3 m/s 以下。

3 降尘方案

3.1 除尘方式的选择

目前井下主要的除尘措施有通风排尘、风幕控尘、喷雾除尘、除尘器除尘等,结合某大型金属矿山的实际情况,若要在全矿大规模使用除尘器进行粉尘治理,需要大量的资金投入,且除尘器安装需要较大的空间位置。通风排尘需要与其他除尘方式配合,只能作为辅助除尘方式。考虑到这些因素,选择气-水喷雾作为主要降尘方式。气-水喷雾又叫风-水联动喷雾,是一种以高压空气为动力,在空气的碰撞下将水直接雾化的喷雾模式,具有雾化粒径小、雾化粒径均匀、水压要求低和用水量小等优点。采用该除尘方式会产生一定的废水,但由于废水会作为选矿用水被再次利用,这使得整个污水实现了零排放。本文采用雾化扩散角为 47.5°的可调广角圆形气-水喷嘴^[18],其规格参数如表 2 所列。

表 2 喷雾喷嘴规格参数

Table 2 Specifications of spray nozzles

口径 /mm	气压 /MPa	水压 /MPa	最佳射 程/cm	最远射程 /cm	水流量 /(L·h ⁻¹)	气流量 /(L·min ⁻¹)
1.5	0.38	1.8	270	550	35	1.8

3.2 胶带运输巷道除尘方案的设计

3.2.1 胶带运输机除尘方案

根据胶带运输巷道粉尘运移规律的数值模拟结果,当胶带运行速度固定为 2 m/s 时,巷道风速为 3 m/s 时巷道内粉尘浓度较低,而经过现场实测目前井下巷道风速为 3.6 m/s,研究决定在巷道内设置一道调节风窗,将巷道内风速调控到 3 m/s 以下,此外,根据数值模拟结果还设计了以下降尘措施。

1)胶带表面降尘方案。在胶带正上方焊接支架并安装气-水喷嘴^[18],正对胶带上矿石进行喷雾,增加矿石表面湿润性,抑制粉尘扩散至运输巷内。在胶带架上焊接钢支架,支架为半圆弧形,在支架正中间位置安装一个气-水喷嘴,正对胶带进行喷雾,增强矿石的湿润性。如图 9 所示为喷嘴安装位置示意图。喷嘴采用可调广角圆形气-水喷嘴。每隔 100~200 m 在胶带上设置一道钢支架气-水喷雾。

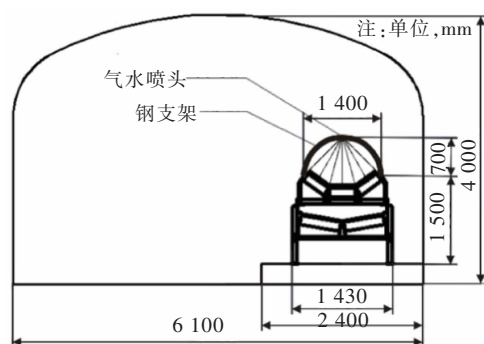


图 9 胶带表面安装气-水喷雾示意

Fig. 9 Schematic diagram of air-water spray installation on the tape surface

2)转载点处降尘方案。目前转载点处的主要问题是矿石表面较为干燥,密闭措施不够完善。对于转载点处的粉尘治理,在安装密闭罩完善密闭措施的同时,要增加矿石的湿润度,减少矿石与空气摩擦产生的粉尘。为了增加矿石的湿润度,可以在装载点处安装 4 个气-水喷嘴。为了保证喷雾雾滴均匀分布,应将喷嘴安装在中间位置。板式给矿机运行时,由于机身抖动较大,容易使矿石表面的粉尘扬起,可以在给矿机上方安装一个方向朝下的喷嘴,用于抑制因机身抖动产生的粉尘。通过在落矿处正前方断面上安装一个喷嘴,以此减少矿石下落过程中产生的粉尘。同时在转载点处下料漏斗内安装 2 个喷嘴,其中一个朝着上方下落的矿石,用于增加其湿润度,控制扬起的粉尘;另一个喷嘴安装方向朝下,用于润湿将要运出的矿石。具体布置如图 10 所示。

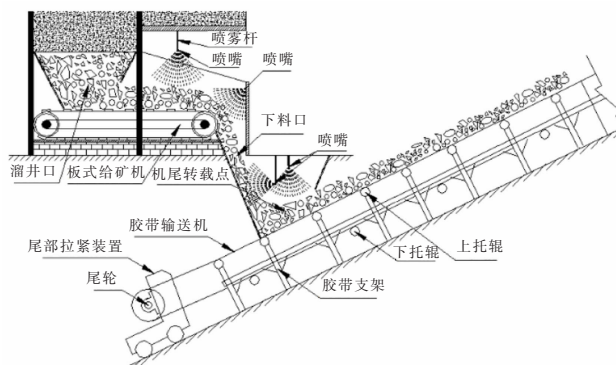


图 10 转载点降尘方案示意

Fig. 10 Schematic diagram of dust reduction scheme at reprinting point

3)落矿点处密闭降尘。针对胶带落矿点矿石比较干燥的问题,并结合现场实际情况,决定采用双层挡帘密闭罩和气-水喷雾相结合的办法。在落矿点采用密闭罩对胶带上矿石周边空间进行密闭,同时在密闭

罩内部落矿点前后分别设置两道挡帘和两道喷雾,最后在密闭罩内两道挡帘之间分别安装一道喷嘴进行喷雾,喷嘴采用可调广角圆形气-水喷嘴。具体布置如图 11 所示。

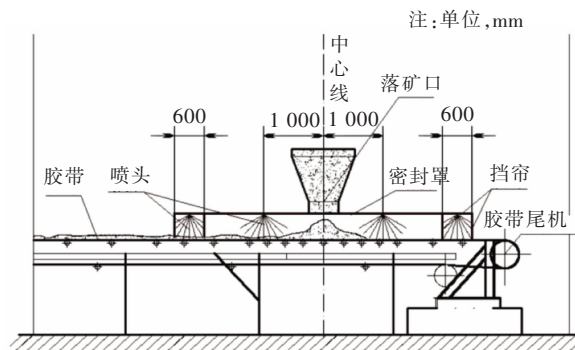


图 11 落矿口降尘示意

Fig. 11 Schematic diagram of dust drop at the mine exit

4)胶带清洗防尘。每条胶带机头滚轮处,当胶带空载回转后,需要对胶带表面附着的泥沙进行清洗。设计在胶带空载回转处,设置几组高压水喷嘴,正对胶带表面进行冲洗。胶带清洗模块共设置 6 个高压水喷嘴,并且喷嘴之间通过钢管连接,将进水口连接高压水管。根据现场实际情况,若胶带空载时,表面泥沙较多,可以安装多个清洗模块,具体布置如图 12 所示。

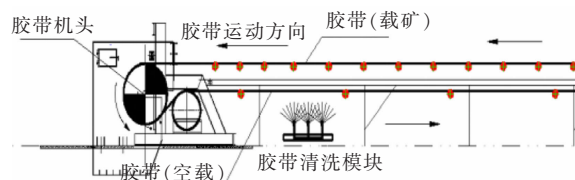


图 12 胶带清洗模块安装位置示意

Fig. 12 Schematic diagram of the installation position of the tape cleaning module

3.2.2 胶带运输巷道断面降尘方案

为了进一步净化胶带运输巷空间气流,在巷道断面上安装一道气-水喷雾,用于捕捉巷内细小颗粒粉尘。每个断面共设置 5 个气-水喷雾,喷嘴采用可调广角圆形气-水喷嘴。可根据实际情况在胶带运输巷内每隔 100~200 m 在巷道断面上设置一道气-水喷雾,两道气-水喷雾之间距离可以根据现场矿石干燥程度进行调整。具体布置如图 13 所示。

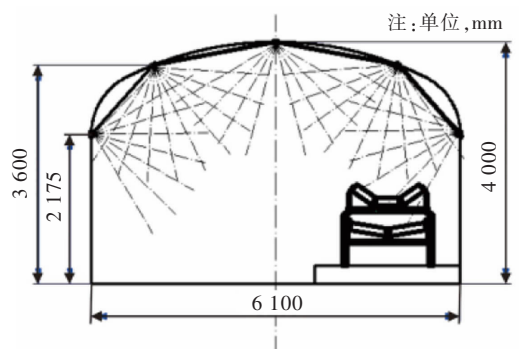


图 13 胶带运输巷断面喷雾设置
Fig. 13 The spray setting diagram of the section of the belt transportation lane

3.3 降尘方案现场应用效果分析

经过一个月时间,降尘改造措施实施完毕。胶带运输巷道内各尘源得到了有效的控制,井下作业环境有了较为明显的改善,空气中粉尘浓度明显降低。为了研究 245 胶带运输巷道降尘技术的具体应用效果,参照未整改前的粉尘浓度测定进行布点位置,具体测点布置如图 1 所示,对降尘方案实施后的胶带运输巷道内粉尘浓度再次进行测定,测定方法与改造前测定方法保持一致。测定结果如图 14、图 15 所示,从中可以得出:

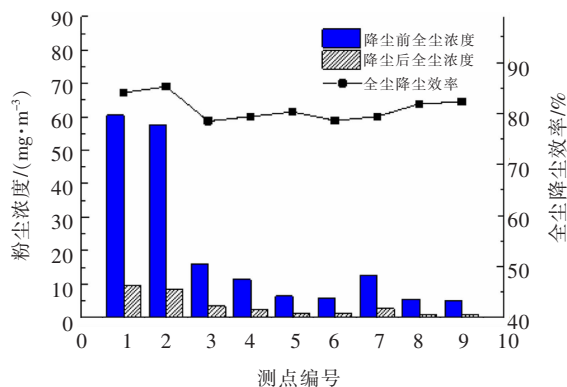


图 14 降尘前后全尘浓度对比
Fig. 14 Comparison of total dust concentration before and after dust fall

1)在降尘措施实施前,胶带运输巷道内落矿点处全尘浓度最高可达 60.5 mg/m^3 ,在安装气-水喷雾等降尘措施后,巷道内粉尘浓度大幅降低,在粉尘浓度最大的落矿点处全尘浓度为 9.5 mg/m^3 ,降尘效率达到 84.2%;转载点处全尘浓度由 11.4 mg/m^3 降为 2.35 mg/m^3 ,降尘效率为 79.4%;在落矿点和转载点之间的其他区域全尘浓度基本在 5 mg/m^3 以下,全尘降尘效率基本在 80%以上。

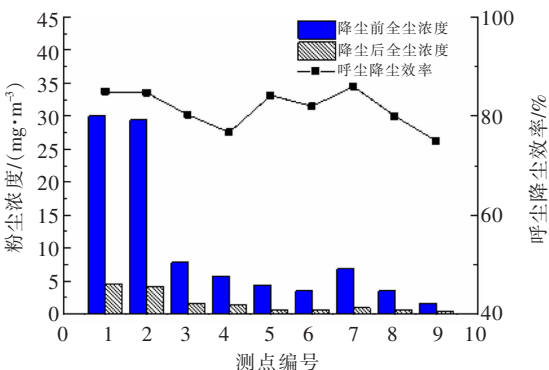


图 15 降尘前后呼尘浓度对比
Fig. 15 Comparison of dust concentration before and after dust fall

2)降尘措施对呼吸性粉尘也有较好的治理效果,落矿口和转载点处的呼吸性粉尘浓度由 30.4 mg/m^3 和 7 mg/m^3 各降为 4.5 mg/m^3 和 1 mg/m^3 ,降尘效率分别为 85.1%和 85.7%;落矿点和转载点之间的其他区域呼吸性粉尘浓度基本在 2 mg/m^3 以下。

3)降尘方案实施后,胶带运输巷道内粉尘浓度大幅度降低^[19],巷道内作业环境得到较大改善,这充分说明降尘方案切实可行。

4 结 论

1)分析现场测定数据可知,胶带运输巷道转载点和落矿点是最主要的产尘源,落矿口全尘浓度高达 60.5 mg/m^3 ,呼尘浓度高达 30.4 mg/m^3 ;转载点全尘浓度高达 13.1 mg/m^3 ,呼尘浓度高达 7 mg/m^3 ;粉尘浓度超过国家相关标准,井下空气污染严重。

2)模拟规律表明:当巷道内风速小于 3 m/s 时,巷道内风速越大,粉尘浓度越小;当风速为 3 m/s 时,粉尘浓度最高为 14.5 mg/m^3 ;当巷道内风速大于 3 m/s 时,巷道内风流造成的二次扬尘大于排尘效果,风速越大,粉尘浓度越大。巷道内粉尘浓度大小分布与胶带运行速度成正比例关系,胶带运行速度越大,巷道内粉尘浓度越大。当胶带运行速度为 1 m/s 时,巷道内粉尘浓度峰值为 48 mg/m^3 ;当胶带运行速度为 3 m/s 时,粉尘浓度峰值上升到 64 mg/m^3 。

3)根据模拟结果,结合现场调研测定的情况制订了一套适用于胶带运输巷道的降尘方案:通过加强落矿点和转载点处的密闭,以防止粉尘逸散到巷道内;并在胶带运输机上与巷道断面处安装气-水喷雾以加强矿石的湿润度,减少粉尘的产生并且净化巷道内的空气。降尘方案实施后,落矿点处全尘浓度由 60.5 mg/m^3 降为 9.5 mg/m^3 ,呼吸性粉尘浓度由

30.4 mg/m³ 降为 4.5 mg/m³; 胶带运输巷道内全尘和呼尘浓度均有较大降低,降尘效果显著,巷道内作业环境得到较大改善。

参考文献:

- [1] 王洪胜,吴兵,丁晓文.胶带运输系统粉尘运动规律及控制技术模拟研究[J].矿业安全与环保,2017,44(3):10-15.
- [2] 朱鹏,张超,李东明,等.胶带输送巷粉尘分布规律数值模拟研究[J].华北科技学院学报,2017,14(6):40-46.
- [3] 王发家.皮带运输机转载点煤尘防治研究与应用[J].能源与节能,2017(12):181-182.
- [4] 蒋仲安,陈举师,牛伟,等.皮带运输巷道粉尘质量浓度分布规律的数值模拟[J].北京科技大学学报,2012,34(9):977-981.
- [5] 陈举师,蒋仲安,王明.胶带输送巷道粉尘浓度分布的数值模拟及实验研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2015,42(6):127-134.
- [6] 王宝晴,张超,刘建.不同风速下巷道断面微细粉尘分布模拟试验研究[J].中国安全科学学报,2018,28(3):44-49.
- [7] 宋淑郑,屈亚龙,荆斌.基于 FLUENT 综采工作面风流-粉尘逸散规律探究[J].矿业研究与开发,2019,39(11):79-83.
- [8] 李锋.基于 FLUENT 的硐室采场粉尘浓度分布规律模拟研究[D].青岛:青岛理工大学,2010.
- [9] 王晓珍,蒋仲安,王善文,等.煤巷掘进过程中粉尘浓度分布规律的数值模拟[J].煤炭学报,2007(4):386-390.
- [10] 王晓珍.采掘工作面粉尘运动和分布规律的数值模拟研究[D].北京:北京科技大学,2004.
- [11] 郭长福,汤民波,古鹏,等.独头巷道局部通风数值模拟研究[J].有色金属科学与工程,2012,3(3):71-73.
- [12] 秦跃平,张苗苗,崔丽洁,等.综掘工作面粉尘运移的数值模拟及压风分流降尘方式研究[J].北京科技大学学报,2011,33(7):790-794.
- [13] 吴应豪.巷道粉尘沉降规律与转载点喷雾降尘系统研究[D].太原:太原理工大学,2007.
- [14] 蒋仲安,王亚朋,许峰.金属矿山气-水喷头雾化特性及降尘能力实验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2020,51(1):184-192.
- [15] 李建志.煤矿巷道掘进机喷雾降尘装置应用分析[J].机械管理开发,2019,34(1):64-65.
- [16] 陈举师,蒋仲安,王明.破碎硐室粉尘质量浓度分布的数值模拟及实验[J].哈尔滨工业大学学报,2015,47(4):115-121.
- [17] 陈举师,蒋仲安,姜兰.胶带输送巷道粉尘分布及其影响因素的实验研究[J].煤炭学报,2014,39(1):135-140.
- [18] 张波,蒋仲安,段志博,等.气水喷雾除尘效果实验研究[J].金属矿山,2019(8):173-178.
- [19] 郭玉印.煤矿运输巷道粉尘治理技术应用[J].江西煤炭科技,2016(4):92-95.