

中文引用格式:周玉竹,魏丁一,曹伟杰,等. 钻爆法施工深埋隧道喷雾降尘数值模拟研究[J]. 中国安全科学学报,2024,34(11):66-72.

英文引用格式:ZHOU Yuzhu,WEI Dingyi,CAO Weijie,et al. Numerical simulation study of affecting spraying and dust reduction in deeply buried tunnels constructed by drill-and-blast method[J]. China Safety Science Journal,2024,34(11):66-72.

钻爆法施工深埋隧道喷雾降尘数值模拟研究*

周玉竹^{1,2}正高级工程师,魏丁一^{**3}讲师,曹伟杰³,卢增雄³,

林明磊¹,杜小坤²工程师

(1 北京科技大学 土木与资源工程学院,北京 100083;2 四川铸创安全科技有限公司,四川 成都 610040;3 河南工程学院 资源与安全工程学院,河南 郑州 451191)

中图分类号:X964

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.11.1591

基金项目:国家卫生健康委粉尘危害工程防护重点实验室开放课题(KLECDH20230201);河南省高等学校重点科研项目(23B440005);河南工程学院博士培育基金资助(D2022021)。

【摘要】 我国隧道建设工程发展迅猛,钻爆法施工隧道粉尘危害严重,为提高钻爆法施工隧道喷雾降尘效果,运用数值模拟方法,采用 ANSYS 软件建立隧道模型,研究不同围岩温度、喷射水流速度及喷嘴直径等因素条件下深埋隧道内粉尘质量浓度分布变化特征。结果表明:随着围岩温度的升高,粉尘运动更加剧烈,对降尘效率影响越大,雾滴对粉尘的捕捉效果随围岩温度的升高而逐渐降低;随着喷射水流速度的增大,喷射管道内水压增大,雾滴对粉尘捕捉效果越好;降尘效率随喷嘴直径的增大而降低,喷嘴直径过大时雾滴对颗粒物的捕捉能力会减弱,当喷嘴直径较小时会提高降尘效率,但喷嘴直径过小时,过多的飞溅水雾反而影响降尘效率。

【关键词】 钻爆法施工; 深埋隧道; 喷雾降尘; 数值模拟; 围岩温度; 喷射水流速度; 喷嘴直径

Numerical simulation study of affecting spraying and dust reduction in deeply buried tunnels constructed by drill-and-blast method

ZHOU Yuzhu^{1,2}, WEI Dingyi³, CAO Weijie³, LU Zengxiong³,

LIN Minglei¹, DU Xiaokun²

(1 School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2 Sichuan Zhuchuang Safety Technology Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610040, China;

3 School of Resource and Safety Engineering, Henan University of Engineering, Zhengzhou Henan 451191, China)

Abstract: Tunnel construction projects in China have developed rapidly, and significant dust hazards are associated with drilling and blasting construction. To improve the effectiveness of spraying to reduce dust in tunnels, this article uses digital simulation and a tunnel model was created using ANSYS. The variations in dust mass concentration distribution under different conditions, such as surrounding rock temperature, jet velocity, and nozzle diameter, were investigated in the study. The results show that as the

* 文章编号:1003-3033(2024)11-0066-07; 收稿日期:2024-07-12; 修稿日期:2024-09-14

** 通信作者:魏丁一(1991—),男,河南禹州人,博士,讲师,主要从事职业健康安全方面的研究。E-mail:weidy103@126.com。

surrounding rock temperature increases, dust movement becomes more intense, which significantly affects dust reduction efficiency. The dust capture effect of atomized water droplets decreases with the increase in surrounding rock temperature. With the increase of water jet velocity, the water pressure in the jet pipe increases, improving the dust capture effect of the droplets. Dust reduction efficiency decreases with increasing nozzle diameter. When the nozzle diameter is too large, the ability of water mist to capture particles weakens. Conversely, a smaller nozzle diameter improves dust reduction efficiency. However, if the nozzle diameter is too small, too much splash water spray rather than affect the efficiency of the dust.

Keywords: drilling and blasting construction; deep buried tunnels; spraying to reduce dust; numerical simulation; surrounding rock temperature; jet velocity; nozzle diameter

0 引言

近年来,随着城市化进程的加速和交通运输需求的不断增加,隧道建设发展迅猛^[1]。但隧道施工过程中产生大量粉尘,特别是开挖、钻爆施工和出渣等工序,产生大量粉尘,给工人生命安全与职业健康造成极大危害。

为解决粉尘带来的各种不安全因素,诸多专家研究了深埋隧道钻爆法施工过程中的粉尘治理问题。如郭敬中^[2]、李刚^[3]等以云雾除尘主机和气水源处置为主体,研发了巷道全断面云雾除尘技术,现场应用后回风流中全尘、呼吸尘的降尘效率分别为 96.89% 和 96.04%。为确定最适合喷雾除尘的喷嘴参数,杨华等^[4-5]采用欧拉-拉格朗日法,建立了空气相、粉尘相和喷雾相的三相耦合模型,模拟得到除尘效率随喷雾粒径的减小而增大,随流量和速度的增大而增大;CHEN Xi^[6]、赵亦男^[7]等基于计算流体动力学,研究了喷嘴内部的两相流动状态和雾滴在涡流场的破碎过程,得到最佳参数下各点总粉尘质量浓度和可吸入粉尘质量浓度最大抑制率分别达到 95.52% 和 96.84%; XU Changwei^[8]、ZHANG Shaobo^[9]等分析了不同粒径比和液滴初速度下液滴对粉尘的接触润湿和包裹过程,得到优化参数下各点的可吸入粉尘沉降效率平均达 86.2%。

为解决煤矿粉尘污染问题, XU Changwei^[10]、BAO Qiu^[11]等分析了表面活性抑尘剂的类型及其在喷雾溶液中的浓度对煤粉润湿性和固化效果的影响,为喷雾降尘的应用提供指导;荆德吉等^[12-14]研制了一种新型超细螺旋雾化喷头,其对呼吸性粉尘的降尘效率为 88.8%~91.58%; ZHAO Bo 等^[15]利用自主研发的声化学喷雾降尘模拟平台研究了声波对煤尘降尘效果的影响及其增效机制,得到可吸入粉尘降尘效率提高 21.93%; HOU Jun 等^[16]开发了一种自供电感应喷雾除尘系统,并在红柳林煤矿

25211 运输巷道进行验证,得到该系统可使总尘质量浓度由 11.78 mg/m³ 降低至 3.88 mg/m³,可吸入尘质量浓度由 6.33 mg/m³ 降低至 2.48 mg/m³。

综上所述,当前研究多集中在喷雾降尘机制、矿山的喷雾降尘效果等方面,但是,目前埋深超过 500 m 隧道越来越多,按照目前比较常见的分类^[17],埋深 100~500 m 的隧道即为深埋隧道,研究钻爆法施工的深埋隧道作业点喷雾降尘效果的文献还比较鲜见。鉴于此,笔者拟采用数值模拟方法,研究深埋隧道钻爆法施工作业点喷雾降尘效果的主要影响因素,探究不同围岩温度、喷射水流速度及喷嘴直径等因素条件下深埋隧道内粉尘质量浓度分布变化特征,以期对钻爆法施工的深埋隧道作业点降尘效果和参数选取提供参考。

1 构建深埋隧道几何模型

1.1 深埋隧道工程概况

以国内某深埋铁路隧道为例,该隧道围岩破碎、地质构造复杂,具有软岩大变形、涌水突泥、高地应力、高地震烈度和高地温等特点。运用数值模拟方法,采用 ANSYS 软件建立深埋隧道模型,隧道模型全长 150 m、宽 5 m、高 4 m,顶半圆弧段半径为 2.5 m,入口处风速为 3 m/s,右侧上方每隔 3 m 设置降尘喷嘴,共设置 50 个喷嘴。隧道模型如图 1 所示。

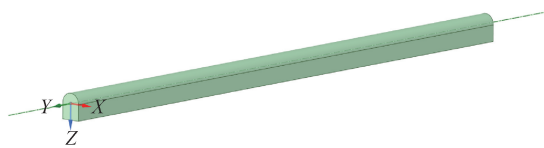


图 1 隧道模型

Fig. 1 Tunnel model

隧道内空气及粉尘受各种因素影响,为方便计算,简化模型如下:

- 1) 空气无黏性且不可压缩。

2) 假设空气在隧道中为定常流动和湍流流动。

3) 隧道内无热源或热损失,即忽略温度对空气流动的影响。

4) 粉尘颗粒可以作为球形颗粒计算,粒径满足 Rosin-Rammler 分布。

5) 模拟粉尘在空气中的运动时,采用离散相模型(Discrete Phase Model, DPM)。

1.2 隧道模型网格划分

该网格采用默认的三面体作为单元,单元尺寸为 0.15 m。划分网格时分别在入风口、出风口和喷嘴处进行加密。共生成 3 983 407 个网格,763 763 个节点。隧道网格如图 2 所示。

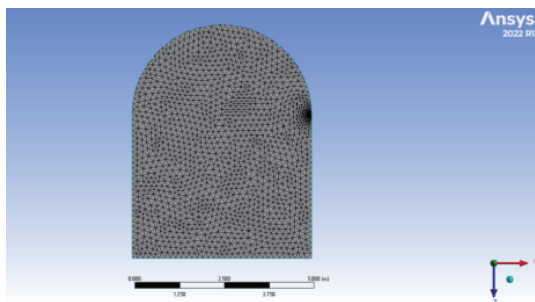


图 2 隧道网格

Fig. 2 Tunnel grid diagram

1.3 各影响因素的选取

在深埋隧道中围岩温度对粉尘运移特征有较大影响,因此,此次围岩温度选为 20、25、30 和 35 °C。设置喷射水流速度分别为 10、20、30 和 40 m/s。

通常喷嘴直径较大时,水雾颗粒也较大,但对颗粒物的捕集能力会减弱,同时水雾重量较大,降低了与颗粒物的接触机会,从而影响降尘效率。喷嘴直径越小,水雾颗粒越小,与颗粒物接触更好,提高降尘效果。但过小的喷嘴直径可能会形成覆盖颗粒物的水雾雾气,影响喷雾量和流动性能。此次选用离心式喷嘴且为面喷,喷嘴直径分别为 10、15、20 和 25 mm。

为探究钻爆法施工深埋隧道作业点喷雾降尘效果及质量浓度分布,选取围岩温度、喷射水流速度及喷嘴直径为影响因素。通过调研隧道实际情况,确定模型参数、离散相参数和边界条件参数,见表 1—表 3。

表 1 计算模型设定

Table 1 Calculation model setting

| 计算模型 | 模型设定 |
|------|--------|
| 求解器 | 基于压力 |
| 能量方程 | 打开 |
| 湍流模型 | k-ε 模型 |
| DPM | 打开 |

表 2 离散相参数设定

Table 2 Discrete phase parameter setting

| DPM | 模型设定 |
|------------------------------|--------|
| DPM 迭代间隔 | 20 |
| 最大步数 | 50 000 |
| 虚拟质量力 | 打开 |
| 压力梯度力 | 打开 |
| 喷射源类型 | 面源 |
| 粒子类型 | 惰性 |
| 材料 | 灰质 |
| 质量流率/(kg · s ⁻¹) | 5.71 |
| 阻力特征 | 球形颗粒 |

表 3 边界条件设定

Table 3 Boundary condition setting

| 边界条件 | 参数设定 |
|--------|-------|
| 水力直径/m | 2.84 |
| 湍流强度/% | 10 |
| 出口边界类型 | 流出 |
| DPM 条件 | 逃逸/反弹 |
| 壁面 | 无滑移 |

2 深埋隧道喷雾降尘数值模拟研究

2.1 深埋隧道喷雾降尘数值模拟工况划分

选取围岩温度、喷射水流速度及喷嘴直径为研究因素,相应的模拟工况见表 4。

表 4 模拟工况条件

Table 4 Simulate working conditions

| 工况 | 围岩温度 $t/$ °C | 喷射水流速度 $v/(m \cdot s^{-1})$ | 喷嘴直径 $d/$ mm |
|----|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| 1 | 20 | 10 | 10 |
| 2 | 20 | 20 | 15 |
| 3 | 20 | 30 | 20 |
| 4 | 20 | 40 | 25 |
| 5 | 25 | 10 | 15 |
| 6 | 25 | 20 | 10 |
| 7 | 25 | 30 | 25 |
| 8 | 25 | 40 | 20 |
| 9 | 30 | 10 | 20 |
| 10 | 30 | 20 | 25 |
| 11 | 30 | 30 | 10 |
| 12 | 30 | 40 | 15 |

2.2 各因素对喷雾降尘效率的影响分析

2.2.1 围岩温度影响分析

选取距工作面 1.5 和 3 m 的截面为对象,不同围岩温度条件下的隧道颗粒质量浓度分布如图 3 所示。由图 3 可知:在围岩温度为 20 °C 时,不同截面粉尘浓度也不同。Y=3 m 截面上,粉尘主要集中在喷嘴周围且浓度较大,这是因为雾化水滴对粉尘的吸附,且温度较低,粉尘运动不剧烈,故雾化水滴更

易捕捉粉尘。 $Y=1.5\text{ m}$ 截面上粉尘分布范围小于 $Y=3\text{ m}$, 粉尘分布集中在右侧, 主要由于风流及喷射水流在右侧形成漩涡, 使颗粒进入漩涡形成二次悬浮。当围岩温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $Y=3$ 和 1.5 m 这 2 截面的粉尘质量浓度分布均小于围岩温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这是由于自然风流及围岩温度对粉尘运动造成一定影响, 导致粉尘分布发生变化。当围岩温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, $Y=3$ 和 1.5 m 这 2 截面粉尘质量浓度分布均小于 20 和 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。随围岩温度的升高, 喷雾降尘效果越不明显, 且在重力及自然风的作用下, 粉尘主要集中在隧道下部。在 $Y=1.5\text{ m}$ 截面处粉尘质量浓度为 $0\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, 说明喷雾降尘效果随着远离喷嘴明显减弱, 而且此现象随围岩温度的升高变化更加明显。

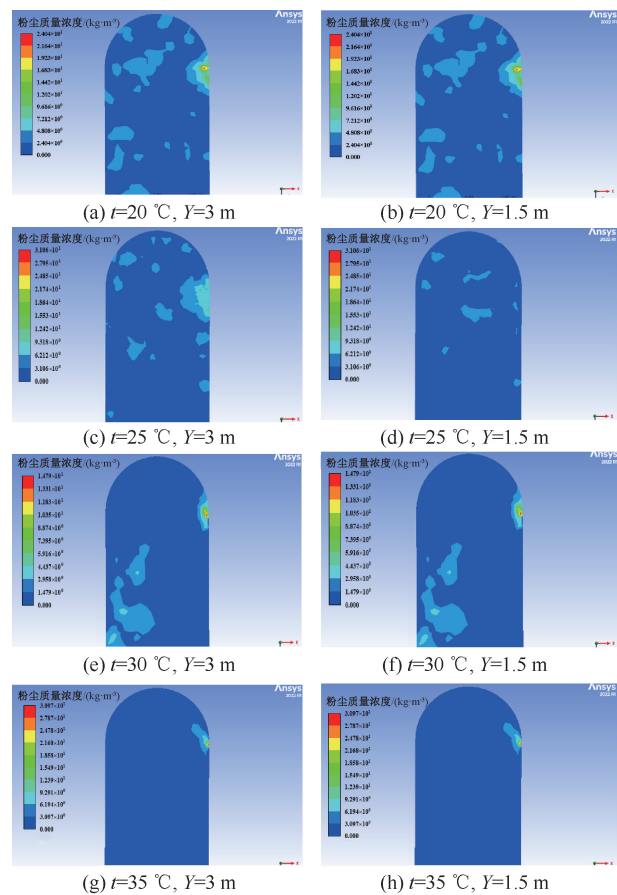


图 3 不同围岩温度条件下的隧道颗粒质量浓度分布

Fig. 3 Particle concentration distribution in tunnels under different surrounding rock temperature conditions

随围岩温度的升高, $X-Z$ 截面上粉尘质量浓度逐渐降低, 且粉尘体积、密度和运动速度等均会变化, 导致捕捉效率变化。一般来说, 较低温度下, 粉尘形态较固定, 相对容易被捕集; 而高温条件下粉尘分子间隙较大, 难以捕集, 因此, 需要提高喷雾流量和速度, 以增强捕集能力。而且围岩温度为 20 和

$25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 粉尘在截面上的分布比围岩温度为 30 和 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时密集。温度越高分子运动越剧烈, 因此, 高温条件下喷雾水滴对粉尘捕捉效果不如低温。

颗粒物主要分布在喷嘴附近, 由于高温会加速液体的挥发和蒸发, 降尘液在高温条件下可能会失去一部分液体成分, 导致部分化学物质浓度偏高或偏低, 影响喷雾效果。因此, 高温条件下需要定期调整降尘液的配比, 以确保喷雾效果。

2.2.2 喷射水流速度影响分析

不同喷射水流速度条件下的颗粒浓度分布如图 4 所示。由图 4 可知: 随喷射水流速度的增大, 粉尘质量浓度随之变大, 并且管道内水压增大, 雾化粒径越小, 雾滴对粉尘捕捉效果越高。模拟效果表明: 水流速度越大降尘效果越好, 但当喷射水流速度过大时耗水量及耗电量增大, 且高速水流对管道磨损较大, 因而在保证降尘效果的前提下减少耗水量, 降低成本。粉尘主要聚集在喷嘴附近, 这是由于雾化水滴吸附粉尘引起的, 通过喷雾, 隧道内水气以粉尘为中心聚集, 使尘粒质量和直径增加, 当尘粒相互碰撞时, 由于表面有水气包围, 反弹力减少, 尘粒便逐渐沉降。为进一步了解喷射水流速度与粉尘质量浓度的关系, 选取喷射水流速度为 20 和 30 m/s 时 $Y=1.5\text{ m}$ 的粉尘分布进行分析。在 Y 轴方向上, 不同高度截面粉尘分布也不同, 在水流速度为 20 m/s 时, 粉尘呈圆柱状集中分布在喷嘴处, 其他区域没有明显分布, 粉尘聚集较少, 面积较少; 而在水流速度为 30 m/s 时, 粉尘在隧道呈较厚的不规则分布, 分布面积大于水流速度为 20 m/s , 这是由于喷射水流速度较大, 雾化程度较高, 能更好地吸附粉尘, 因而喷射水流速度较大时降尘效果更明显。

2.2.3 喷嘴直径影响分析

选取 $Y=3$ 和 1.5 m 截面进行分析, 不同喷嘴直径条件下隧道断面颗粒质量浓度分布如图 5 所示, 不同喷嘴直径条件下隧道粉尘运移矢量图如图 6 所示。由图 5 可知: 喷嘴直径由 10 mm 增加到 25 mm , 相同温度下随喷嘴直径的增大, 有效射程和雾化角随之增大, 雾化角度的增大将扩大单位有效降尘面积, 提高降尘效率, 但降尘范围变化并不明显, 不适合于远距离降尘。并且 $Y=1.5\text{ m}$ 截面上降尘效果远不如 $Y=3\text{ m}$ 截面上, 但随喷嘴直径的增大, $Y=1.5\text{ m}$ 截面粉尘质量浓度鲜有提升, 因此, 随喷嘴直径的增大降尘效果更加明显。随喷嘴直径的增大, 喷嘴周围雾化水滴对粉尘吸附作用更微小, 因此, 较小喷嘴直径的降尘效果更好。

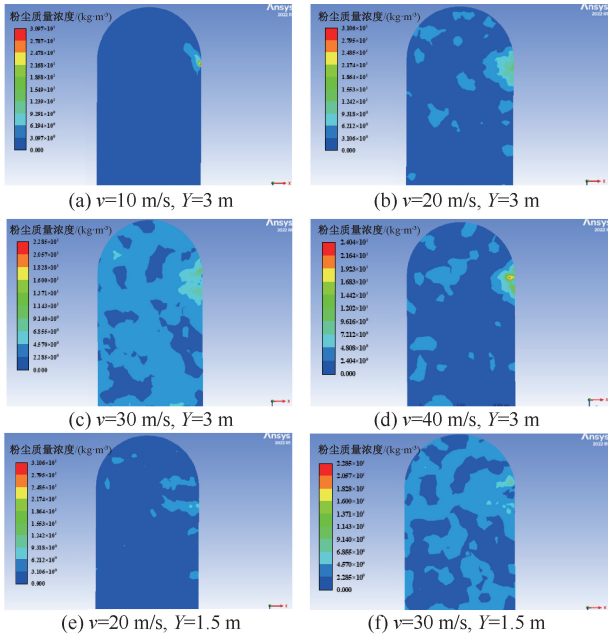


图4 不同喷射水流速度条件下的颗粒浓度分布

Fig. 4 Cloud map of particle concentration distribution under different jet water flow velocities

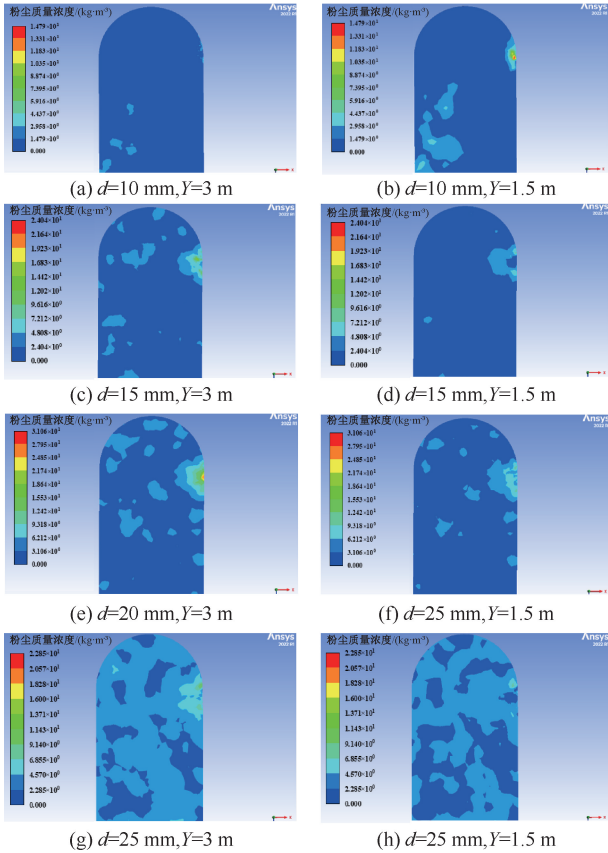


图5 不同喷嘴直径条件下隧道断面颗粒质量浓度分布

Fig. 5 Particle concentration distribution in tunnel cross-section under different nozzle diameters

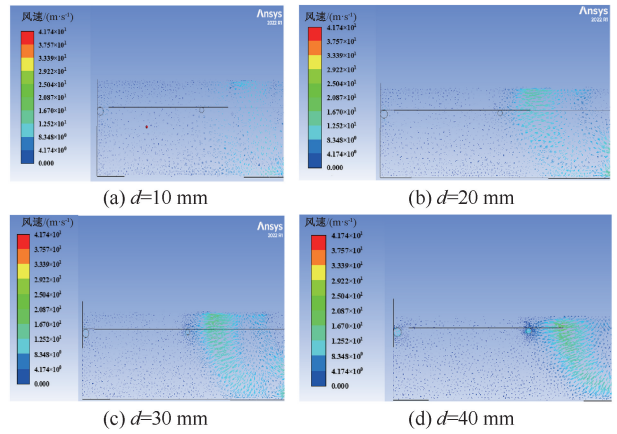


图6 不同喷嘴直径条件下隧道粉尘运移矢量
Fig. 6 Vector diagram of tunnel dust transport under different nozzle diameters

选取 $Y-Z$ 截面,判断不同喷嘴直径对降尘及粉尘运移变化的影响。由于隧道内粉尘运移在隧道入口变化明显,因此,选取隧道入口处截面进行观察。

由图6可知:随喷嘴直径的增大,喷射水流对粉尘的吸附作用更明显,且由于隧道内自然风流及粉尘自身重力,粉尘逐渐从空中向地面沉降。在图6d中可以看到明显的风流旋涡,通过分析得到不同喷嘴直径对降尘的影响,且存在速度梯度,风流速度从左到右逐渐增大,到达隧道出口处最大而排出粉尘。隧道内粉尘在 $X=0$ m 时速度最慢,靠近喷嘴侧粉尘运动较快,粉尘受自然风的影响,速度较小颗粒大量集聚在隧道两侧,而隧道两侧喷射的高速水流会带领粉尘颗粒向出口移动。

3 结论

1) 通过数值模拟研究深埋隧道喷雾降尘影响因素,在喷射水流速度及喷嘴直径一定的情况下,隧道内围岩温度升高时,粉尘运动更加剧烈,围岩温度越高,对降尘效果影响越大。雾滴对粉尘的捕捉效果随围岩温度的升高而逐渐降低。

2) 随喷射水流速度的增大,管道内水压相应增大,雾化粒径越小,雾滴对粉尘捕捉效果越高。即喷射水流速度越高,雾滴对粉尘捕捉效果越好。

3) 降尘效率随喷嘴直径的增大而降低,喷嘴直径过大时液化水雾对颗粒物的捕捉能力会减弱,喷嘴直径较小时提高降尘效率,但当喷嘴直径过小时形成过多飞溅水雾进而影响降尘效率。因此,实际应用需根据具体情况选择合适的喷嘴直径。

参 考 文 献

- [1] DU Bo, LI Yanhe, CHEN Xingming, et al. Optimization of paste backfilling material ratios for long-distance transportation[J]. *Engineering Letters*, 2024, 32(3): 595-600.
- [2] 郭敬中, 金龙哲, 李刚, 等. 金属矿山爆破微细粉尘云雾除尘机理及试验研究[J]. *金属矿山*, 2020 (7): 193-198.
GUO Jingzhong, JIN Longzhe, LI Gang, et al. Study on dust removal mechanism and test of cloud fog in metal mine blasting[J]. *Metal Mine*, 2020 (7): 193-198.
- [3] 李刚, 李胜, 张伟军, 等. 我国金属矿山采-装-运过程中粉尘职业危害防控技术进展与展望[J]. *金属矿山*, 2024(5): 41-54.
LI Gang, LI Sheng, ZHANG Weijun, et al. Advancements and future prospects of dust control technology for occupational hazards in metal mining, loading and transportation in China[J]. *Metal Mine*, 2024(5): 41-54.
- [4] 杨华, 齐世康, 田亮, 等. 基于欧拉-拉格朗日方法的喷雾除尘效率影响因素数值模拟[J]. *矿业安全与环保*, 2023, 50(1): 42-46.
YANG Hua, QI Shikang, TIAN Liang, et al. Numerical simulation of influencing factors of spray dust removal efficiency based on Euler-Lagrangian method[J]. *Mining Safety & Environmental Protection*, 2023, 50(1): 42-46.
- [5] 杨华, 祁娜, 张晓宇, 等. 一种细水雾喷雾除尘装置除尘性能影响因素数值模拟[J]. *安全与环境学报*, 2023, 23(9): 3 195-3 203.
YANG Hua, QI Na, ZHANG Xiaoyu, et al. Numerical simulation of influence factors of dust removal performance of a fine water spray dust removal device[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2023, 23(9): 3 195-3 203.
- [6] CHEN Xi, CHEN Yihan, GE Shaocheng, et al. Investigation on optimal selection of multi-nozzle spray dust suppression parameters for air-operated spraying system [J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2023, 198: 431-443.
- [7] 赵亦男, 刘邱祖, 刘燕萍. 基于 CFD 的煤矿降尘用微振荡腔高效雾化喷嘴参数分析[J]. *煤矿机械*, 2020, 41(6): 75-78.
ZHAO Yinan, LIU Qiuzu, LIU Yanping. Parameter analysis of high efficiency atomizing nozzle with micro-oscillation cavity for coal mine dustfall based on CFD[J]. *Coal Mine Machinery*, 2020, 41(6): 75-78.
- [8] XU Changwei, NIE Wen, PENG Huitian, et al. Numerical simulation of the dynamic wetting of coal dust by spray droplets[J]. *Energy*, 2023, 270: DOI: 10. 1016/J. ENERGY. 2023. 126667.
- [9] ZHANG Shaobo, NIE Wen, GUO Cheng, et al. Optimization of spray dust suppression device in return air tunnel of a coal mine based on CFD technology [J]. *Building and Environment*, 2021, 203 (8): DOI: 10. 1016/J. BUILDENV. 2021. 108059.
- [10] XU Changwei, NIE Wen, PENG Huitian, et al. Numerical simulation study on atomization rule and dust removal effect of surface-active dust suppressants [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2023, 30 (25): 66730-66744.
- [11] BAO Qiu, NIE Wen, NIU Wenjin, et al. Molecular simulation and wetting study on the mechanism and capability of hydrophilic surfactants used as spray dust suppressants for dust reduction in coal mines [J]. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2023, 36(6): DOI: 10. 1016/J. SCP. 2023. 101253.
- [12] 荆德吉, 王志恒, 葛少成, 等. 超细螺旋雾化喷头降尘技术及其应用[J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32 (11): 82-89.
JING Deji, WANG Zhiheng, GE Shaocheng, et al. Ultrafine spiral atomized nozzle dust technology and its application [J]. *China Safety Science Journal*, 2022, 32 (11): 82-89.
- [13] JING Deji, MA Mingxing, GE Shaocheng, et al. Study on the dust migration law and a spray dust suppression scheme in transportation roadway [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2023, 30 (21): 59 316-59 326.
- [14] 荆德吉, 魏德宁, 马明星, 等. 胶带运输巷粉尘运移及气动喷雾降尘技术 [J]. *中国安全科学学报*, 2021, 31 (11): 93-99.
JING Deji, WEI Dening, MA Mingxing, et al. Study on dust movement in belt transportation roadway and pneumatic spray dust control technology [J]. *China Safety Science Journal*, 2021, 31 (11): 93-99.
- [15] ZHAO Bo, XIAO Peng, LI Shugang, et al. Study on the influence pattern and efficiency enhanced mechanism of acoustic-chemical spray dust reduction [J]. *The Science of the Total Environment*, 2023, 900: DOI: 10. 1016/J. SCITOTENV. 2023. 165913.
- [16] HOU Jun, LI Shihang, HU Shuda, et al. Research and application of self-powered induction spray dust removal system

for long-distance belt conveying in underground coal mines[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2023, 176: 131-139.

[17] 徐则民,黄润秋,王士天.隧道的埋深划分[J].中国地质灾害与防治学报,2000,11(4):5-10.

XU Zemin, HUANG Runqiu, WANG Shitian. Tunnel classifying in light of depth[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2000, 11(4): 5-10.



作者简介: 周玉竹 (1983—),女,四川绵竹人,博士研究生,正高级工程师,主要研究方向为职业健康安全。E-mail:93317462@qq.com。

2025年《中国安全科学学报》征订启事

中国科技期刊卓越行动计划入选期刊
安全科学领域高质量科技期刊分级目录 T1 级
世界期刊影响力指数(WJCI) Q2 区
美国化学文摘社(CAS)数据库收录期刊

Scopus 收录期刊
CSCD 核心期刊
中国科技核心期刊
全国中文核心期刊

学术性 权威性 应用性 信息性 国内外公开发行人
增强全民族安全科技文化意识 促进安全减灾环保科学综合发展

本刊竭诚为从事安全生产、应急管理、职业安全与卫生、防灾防损、个体防护等方面的专业人员,为注册安全工程师、科研人员、管理干部、安技人员,为高等院校有关师生,为与安全科学技术有关的专家、学者以及职业安全健康中介机构的评价师等服务。刊登主要内容有:

- 1) 安全科学基础理论和学科建设探讨,国内外安全科学进展及评述,新学科的建设及理论。
- 2) 防尘、防毒、噪声与振动控制、辐射防护、个体防护、锅炉与压力容器、防火防爆、矿业工程、机电等安全工程与职业卫生工程方面的新见解、新理论、新成果。
- 3) 矿业、冶金、建筑、交通、石化工业、能源、航空航天工业、江河海运、公路铁路运输、军工及火炸药产业、机械、水利电力、电子信息产业、有害物质储运、保险等领域的安全与卫生工程实践的新见解、新方法、新成果。
- 4) 安全系统工程、安全人机工程、安全管理科学、安全信息科学、安全人体工程学。
- 5) 安全经济学、安全教育学、安全心理学、安全生理学、安全思维学、安全行为学、安全风险学。
- 6) 应急救援、应急管理、防灾减灾、消防安全的理论与实践研究。
- 7) 安全监察理论及实践,安全伦理学,安全法学,现有安全生产、职业卫生方面的法律、法规、条例及标准研究。
- 8) 新技术应用在能量转换、交通运输、人为排放物质等领域风险辨识、风险评估、风险控制、风险后的平复等理论和实践,风险中人的作用研究,重大危险源的评估理论及实践。
- 9) 企业安全生产管理及企业(行业)安全与健康评价理论的探讨及实践,企业安全文化、职业安全健康管理体系等。
- 10) 安全文化、安全哲学、安全史学、安全社会学的研究与实践。

《中国安全科学学报》(CN 11-2865/X;ISSN 1003-3033;CODEN ZAKXAM),全年12期,每月底出刊,大16开本,国内每册售价40.00元,全年480.00元。

【订阅方法】下载征订回执单(见附件),按要求填写清楚后发送至编辑部邮箱。

联系人:秦繁华 电话:86-10-64464783
电子信箱:cssltj@263.net 网址:www.cssjj.com.cn

【银行汇款】户名:中国职业安全健康协会
账号:0200006309026400165
开户行:中国工商银行股份有限公司北京惠新支行