

液体抑尘剂抑制焦煤粉尘性能评价

王新喆¹, 王鹏飞^{1,2*}, 江玖鸿¹, 莫世途¹

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要:为评价液体抑尘剂的抑尘性能,以焦煤为研究对象,选取市面常用的液体抑尘剂,通过表面张力、接触角、扫描电镜、抗风保水等试验,对液体抑尘剂的抑尘性能进行系统考察.结果表明:液体抑尘剂能够降低溶液表面张力和接触角;抑尘剂与水混合后的溶液对煤尘的润湿和结合能力明显提高;抑尘剂溶液能在煤尘表面形成一层坚硬的保护膜,该保护膜具有较强的抗风能力,能有效防止粉尘飞扬;工业应用适宜选择质量分数为 0.75% 的抑尘剂溶液,在该质量分数下,液体抑尘剂的抑尘效果较好.

关键词:液体抑尘剂;性能评价;表面张力;接触角;抗风性

中图分类号:TD714 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2022)03-0013-07

The Performance Evaluation of Liquid Dust Suppressor in Inhibiting Coking Coal Dust

WANG Xinzhe¹, WANG Pengfei^{1,2}, JIANG Jiuhong¹, MO Shitu¹

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Work Safety Key Lab on Prevention and Control of Gas and Roof Disaster for Southern Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: In order to evaluate the dust suppression performance of liquid dust suppressor, coke coal is taken as the research object, and the commonly used liquid dust suppressor in the market is selected. The dust suppression performance of liquid dust suppressor is systematically investigated through surface tension, contact angle, scanning electron microscope, wind resistance and water retention experiments. Results show that the liquid dust suppressor can reduce the surface tension and contact angle of the solution. The wetting and binding ability of the solution mixed with water are obviously improved. Dust suppressor solution can form a hard protective film on the surface of coal dust, so that it has strong wind resistance ability, so as to effectively prevent dust flying. The dust suppressor solution with a mass fraction of 0.75% is suitable for industrial application. Under this mass fraction, the liquid dust suppressor can obtain better dust suppressor effect.

Keywords: liquid dust inhibitor; performance evaluation; surface tension; contact angle; wind resistance

露天煤矿开采,受风吹影响会产生煤尘,造成煤矿周围的环境和空气污染^[1-3].目前,煤炭市场出现供大于求的现象,煤炭消费低速增长甚至部分地区负增长^[4-5].煤炭产量在缓慢增长,但煤炭需求量反而逐渐下降,这将导致已开采的煤炭无法在预计时间内销售出去,而是堆积在煤矿生产企业、火电厂或存放在煤矿码头的煤堆场,长期存放会破坏周围环境,甚至严重影响周边居民的生存环境^[6-8].煤尘具有悬浮性,可在空气中飘浮,难以捕捉,人类吸入过量的煤尘,会引发严重的尘肺病,影响身体健康甚至造成死亡^[9-10].

收稿日期:2021-08-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52274197);湖南省交通运输厅科技计划资助项目(202130)

*通信作者, E-mail: pfwang@sina.cn

传统降尘方法为喷洒清水或铺设防尘网,但喷洒清水降尘持续时间短,防尘网又难以降解,易造成环境二次污染.喷洒抑尘剂被认为是抑制粉尘的有效方法.根据抑尘机理,化学抑尘剂可分为润湿型、黏结型、凝聚型和复合型^[11-13].王和堂等^[14]研发了枯草芽孢杆菌发酵合成生物抑尘剂;戴雯倩等^[15]以水溶性淀粉、海藻提取液、羟丙基甲基纤维素等为原料,制备了一种道路环保型抑尘剂;文献[16-20]对矿物抑尘剂和道路抑尘剂进行了进一步的研究.但查阅相关文献后发现,针对市面上常用的液体抑尘剂应用于露天煤矿的研究却较少,基于此,本文选用市面上常用的液体抑尘剂对焦煤进行试验.

液体抑尘剂是一种复合型抑尘剂,具有润湿、黏结、凝并、保水等功能^[21-22],不同质量分数抑尘剂的抑尘效果不同.本文通过对不同质量分数的液体抑尘剂溶液进行表面张力、接触角、扫描电镜、抗风保水等试验,将不同质量分数的液体抑尘剂溶液的抑尘效果与清水的抑尘效果进行对比,系统考察液体抑尘剂的抑尘性能,并在此基础上得出工业应用中抑尘效果较好的液体抑尘剂的质量分数.

1 试验仪器与方案

1.1 试验样品

1.1.1 抑尘剂选取

市面上常用的抑尘剂分为浓缩液体型和固体型这2种类型.其中浓缩液体型抑尘剂适用于气温在0℃以上的环境,其优点在于可溶性好,现场配料方便,省工省时.固体型抑尘剂的使用不受环境温度限制,还有运输方便的特点.这2种类型的产品各有优点,本研究选用润湿效果较好的液体抑尘剂进行试验.液体抑尘剂如图1所示.



图1 液体抑尘剂

1.1.2 煤样选取与制备

试验所选煤样为山西万峰煤矿的焦煤,煤样基本特性如表1所示.焦煤也称冶金煤,是中等及低挥发分的中等黏结性及强黏结性的一种烟煤.将煤块放入破碎机中破碎2 min,使用106 μm(150目)标准工业筛进行分筛,得到煤尘样品,图2为煤尘样品粒径分布图.将制作的煤样放入干燥箱中干燥,并设定温度为80℃,运行时间为480 min,干燥后放入密封袋中备用.

表1 试验用煤样基本特性

产地	煤质	空气干燥基水分/%	空气干燥基灰分/%	空气干燥基挥发分/%	固定碳质量分数/%
山西万峰	焦煤	2.56	12.72	14.94	69.78

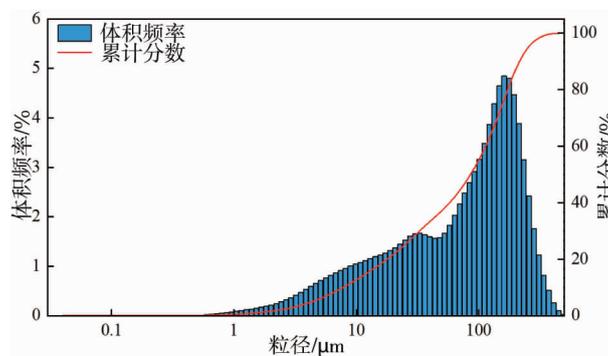


图2 煤样粒径分布

1.2 试验设备

图3为本次试验主要使用的仪器.K20表面张力测量仪(图3a)产地德国,测量精度为±0.1 mN/m,测量范围为1~999 mN/m,采用吊片测量法;将CA100B接触角测量仪(图3b)连接电脑,分析液滴与焦煤的接触角;日本日立公司JSM-6610LV型扫描电子显微镜(图3c),用于观察材料结构与形貌、无机粒子的尺

寸等,其加速电压 10 kV;真空电镀仪(图 3d)用于煤粉表面镀金。

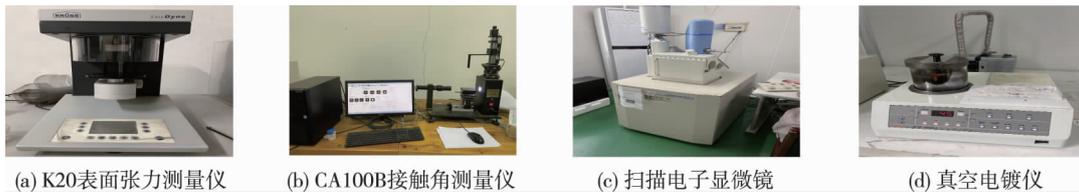


图3 试验仪器

试验中为模拟自然风,还准备了 CFJD25 电子翼轮式风速计和工业风扇。试验流程如图 4 所示。

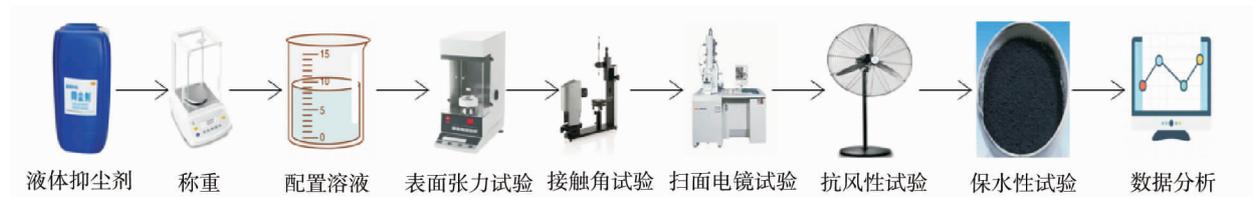


图4 试验流程

1.3 试验方案

配置质量分数为 1.00%、0.75%、0.50%、0.25%、0.10% 这 5 组抑尘剂溶液,清水作为对照组。使用表面张力测量仪测量不同质量分数的抑尘剂溶液的表面张力,使用接触角测量仪测量不同质量分数抑尘剂溶液与焦煤的接触角,使用扫描电子显微镜放大 100 倍观察不同质量分数抑尘剂溶液与焦煤黏结层的微观结构,然后检验喷洒抑尘剂溶液润湿煤粉后的抗风性与保水性。

1.3.1 表面张力试验

改变抑尘剂的质量分数,探究不同质量分数的抑尘剂溶液的表面张力,可以得出不同质量分数抑尘剂溶液润湿焦煤的能力^[23]。将配置好的抑尘剂溶液编号,依次为 A₁~A₅,清水作为对照组,编号为 A₆。为保证试验准确性,测量抑尘剂溶液的表面张力之前,先使用表面张力测量仪测量清水的表面张力,确保试验仪器每次测量读数准确,减小试验误差。每组溶液的表面张力均测量 3 次并取平均值,减小其他因素影响。

1.3.2 接触角试验

将所制备的煤样在压片机下以 10 MPa 的压力压制煤片,使用接触角测量仪分别测量配置好的 5 组抑尘剂溶液与煤片的接触角,编号为 B₁~B₅,清水作为对照组,编号为 B₆。为提高测试准确度,每组溶液与煤片接触角试验均测试 3 次,取其平均值进行分析。

1.3.3 扫描电镜试验

取质量分数为 1.00%、0.50%、0.10% 的抑尘剂溶液和清水分别喷洒至煤粉表面,待风干后观察煤粉表面黏结层的微观结构。将该样品较平整的表面置于导电胶表面,对黏结层表面蒸镀导电层,2 min 后拿出。待冷却后放入扫描电子显微镜内,观测不同质量分数抑尘剂溶液和清水处理煤粉后的微观结构。

1.3.4 抗风性试验

煤在自然堆放过程中,喷洒液体抑尘剂后,要能经受住风吹。称相同质量的焦煤,分别喷洒配置的不同质量分数的抑尘剂溶液,编号为 C₁~C₅,室温下干燥,设置 1 组喷洒清水的对照组及 1 组空白对照组,编号分别为 C₆ 和 C₇。喷洒抑尘剂溶液的煤粉干燥后分别称取质量并记录,将煤样置于风速为 5 m/s 的干燥场所,风吹 4 h,每隔 1 h 记录 1 次煤样质量,4 h 后计算煤粉损失率。损失率计算公式为

$$\beta = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中: β 为煤粉的损失率,%; m_1 为煤粉的初始质量,g; m_2 为风吹一段时间后的煤粉质量,g。

1.3.5 保水性试验

煤炭具有一定的含水量,抑尘剂的吸水性和保水性可使煤尘表层处于润湿状态。称取相同质量的焦煤,喷洒配置的不同质量分数的抑尘剂溶液,编号为 D₁~D₅,设置 1 组喷洒清水的对照组,编号为 D₆。待干

燥后,再向煤粉表面喷洒 20 ml 清水并记录其质量,记为煤粉的湿质量,置于室外通风处自然风干.每隔 12 h 记录 1 次样品质量,记为煤粉的干质量,并计算水分蒸发率.水分蒸发率计算公式为

$$\theta = (m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}) / (m_{\text{湿}} - m_{\text{初}}) \times 100\% \quad (2)$$

式中: θ 为水分的蒸发率,%; $m_{\text{干}}$ 为煤粉的干质量,g; $m_{\text{湿}}$ 为煤粉的湿质量,g; $m_{\text{初}}$ 为煤粉的初始质量,g.

2 试验结果与分析

2.1 表面张力试验结果

不同质量分数抑尘剂溶液的表面张力如表 2 所示.从表 2 可以看出:清水的表面张力为 73.60 mN/m,与清水相比,抑尘剂溶液的表面张力明显下降,其值位于 30 mN/m 左右,这表明抑尘剂溶液能够快速润湿焦煤煤粉.当抑尘剂质量分数为 0.10%~1.00%时,随着抑尘剂溶液质量分数增大,表面张力逐渐上升.

表 2 不同质量分数抑尘剂溶液的表面张力

溶液类别	试剂编号	质量分数/%	表面张力/(mN/m)			表面张力平均值/ (mN/m)
			第 1 次	第 2 次	第 3 次	
抑尘剂	A ₁	1.00	31.7	31.7	31.6	31.67
	A ₂	0.75	30.5	30.6	30.7	30.60
	A ₃	0.50	30.0	29.8	29.7	29.83
	A ₄	0.25	29.1	29.3	29.3	29.23
	A ₅	0.10	28.8	28.9	28.8	28.83
清水	A ₆	0	73.6	73.6	73.6	73.60

2.2 接触角试验结果

液体在固体材料表面上的接触角,是衡量该液体对材料表面润湿性能的重要参数.不同质量分数的抑尘剂溶液接触角不同,对煤尘的湿润效果也不同^[24].将煤样压制成型后,使用接触角测量仪测量抑尘剂液滴与焦煤煤片的接触角,其测量结果如表 3 所示.抑尘剂中含有表面活性剂,煤尘亲水点位与表面活性剂中的亲水基团产生吸引力并结合,能提高抑尘剂对煤尘的润湿性能.从表 3 中可以明显看出:清水与焦煤的接触角为 73.93°,5 组抑尘剂溶液与焦煤的接触角位于 34°~50°;当抑尘剂溶液的质量分数小于 0.50%时,溶液与焦煤的接触角明显增大;当抑尘剂溶液的质量分数为 0.75%时,抑尘剂溶液与焦煤的接触角为 34.10°,达到最低值.

表 3 不同质量分数抑尘剂溶液与焦煤的接触角

溶液类别	试剂编号	质量分数/%	接触角/(°)			接触角平 均值/(°)
			第 1 次	第 2 次	第 3 次	
抑尘剂	B ₁	1.00	34.9	37.3	36.2	36.13
	B ₂	0.75	34.5	35.2	32.6	34.10
	B ₃	0.50	36.9	37.7	35.8	36.80
	B ₄	0.25	49.1	48.4	47.8	48.43
	B ₅	0.10	50.2	52.1	50.7	51.00
清水	B ₆	0	73.8	73.9	74.1	73.93

图 5 为清水与抑尘剂溶液对焦煤的接触角实测效果图,从图 5 中可直观地看出,与清水相比,加入抑尘剂的溶液能够有效提高清水润湿焦煤的能力.



图 5 接触角实测效果

2.3 扫描电镜试验结果

抑尘剂具有吸附煤尘的特性,在煤尘表面喷洒抑尘剂溶液,干燥后形成一层黏结层覆盖于煤尘表面.图6为抑尘剂与煤粉黏结干燥后形成的黏结层,黏结层可以在一定时间内抵抗风吹雨淋.使用放大100倍的扫描电子显微镜观察喷洒不同质量分数抑尘剂溶液的煤粉表面的微观结构,如图7所示.



图6 抑尘剂溶液与煤粉干燥后的黏结层

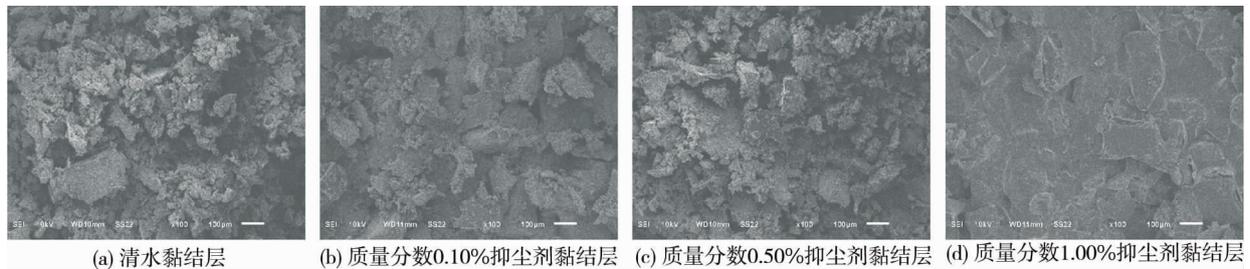


图7 扫描电子显微镜下的煤粉黏结层微观结构

从图7中可以看出:喷洒清水的煤粉表面具有很多细小颗粒,当喷洒抑尘剂溶液后,原本细小的颗粒黏结在一起;喷洒质量分数为0.10%与0.50%的抑尘剂溶液的煤样,微观结构中颗粒堆积松散,而喷洒质量分数为1.00%抑尘剂溶液的煤样表面光滑平整.由此可见,质量分数较高的抑尘剂溶液可以更有效地将煤尘黏结在一起,质量分数较低的抑尘剂溶液虽然也能将煤尘黏结,但稳定性不强.

2.4 抗风性试验结果

表4为喷洒抑尘剂溶液的焦煤的抗风性试验数据.从表4中可以看出:喷洒抑尘剂溶液的样品经过4 h风吹后,煤粉损失率最高为0.25%,抑尘效率可达99.75%;喷洒清水的样品经过4 h风吹后损失率为14.5%,不经任何处理的空白组经过4 h风吹后损失率为19.0%.这是因为喷洒清水后,煤粉质量增加,不易被风吹起,但由于焦煤的疏水性,煤粉不易被润湿,而抑尘剂溶液具备润湿性和黏结性,喷洒抑尘剂溶液可以在煤粉表面形成黏结层,抵抗风吹.

表4 喷洒不同质量分数抑尘剂煤粉的质量损失率

溶液类别	编号	质量分数/%	初始质量/g	风吹1 h后质量/g	风吹2 h后质量/g	风吹3 h后质量/g	风吹4 h后质量/g	风吹4 h后煤粉损失率/%
抑尘剂	C ₁	1.00	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	0
	C ₂	0.75	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	0
	C ₃	0.50	40.0	40.0	40.0	39.9	39.9	0.25
	C ₄	0.25	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	0
	C ₅	0.10	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	0
清水	C ₆	0	40.0	38.3	36.5	35.8	34.2	14.50
空白	C ₇		40.0	36.7	35.7	33.7	32.4	19.00

2.5 保水性试验结果

表5为抑尘剂溶液的保水性试验数据,根据该数据得到水分蒸发率随时间变化的规律如图8所示.水分蒸发率越小则保水性较好,反之则保水性较差.从图8可以看出,随着时间增加,6组样品水分蒸发率均逐渐升高,但是喷洒抑尘剂溶液的5组煤样的水分蒸发率均小于喷洒清水的煤样的水分蒸发率.这表明喷洒抑尘剂溶液可以有效提高煤尘的保湿性.不同质量分数的抑尘剂溶液的保水性虽略有差别,但均优于清水的保水性.

表5 喷洒不同质量分数抑尘剂的煤粉保水性试验数据

溶液类别	编号	质量分数/%	初始质量/g	煤粉湿质量/g	12 h后质量/g	24 h后质量/g	36 h后质量/g	48 h后质量/g	60 h后质量/g	72 h后质量/g
抑尘剂	D ₁	1.00	58.0	73.7	72.0	70.7	69.1	67.6	63.8	59.8
	D ₂	0.75	56.3	73.0	71.0	69.9	68.7	66.7	63.1	58.1
	D ₃	0.50	55.0	72.3	70.5	69.4	67.8	66.4	62.6	57.9
	D ₄	0.25	59.7	76.9	75.0	74.1	72.5	70.1	66.3	61.4
	D ₅	0.10	58.2	75.0	73.2	71.9	70.1	67.4	64.1	58.6
清水	D ₆	0	55.7	72.8	70.7	68.4	66.4	64.0	60.1	56.0

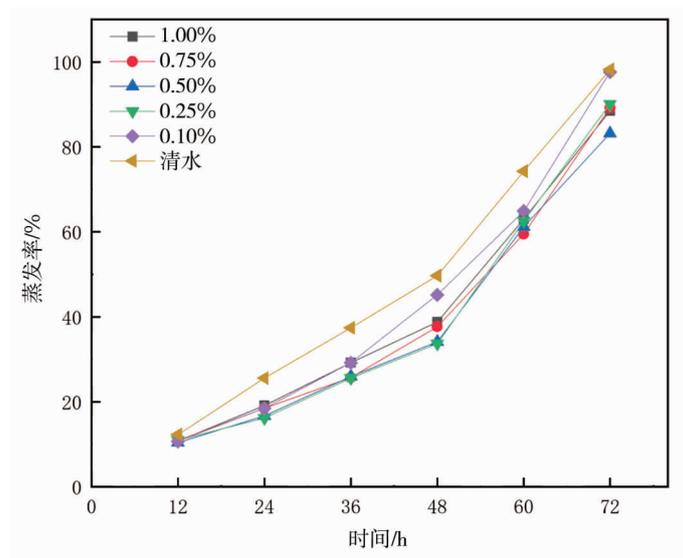


图8 水分蒸发率随时间变化规律

3 结论

1) 液体抑尘剂对焦煤的润湿效果显著,优于清水对焦煤的润湿效果.质量分数为0.75%的液体抑尘剂溶液对焦煤的润湿效果相对更优.

2) 液体抑尘剂溶液能在焦煤表面形成稳定的黏结层,在5 m/s风速下4 h内抑尘效率达99.75%,喷洒液体抑尘剂溶液可有效提高煤尘抗风性与保水性.

参考文献:

- [1] 陈云涛,王汝婷.分析我国煤炭能源消费现状及节能优化路径[J].产业创新研究,2020,45(10):38-39.
- [2] 李刚,吴将有,金龙哲,等.我国金属矿山粉尘防治技术研究现状及展望[J].金属矿山,2021(1):154-167.
- [3] 张亚.煤矿粉尘危害及防治方法探讨[J].内蒙古煤炭经济,2017(8):79-80.
- [4] 鄢丽娜.全球供煤或将出现总量与结构大调整[N].中国煤炭报,2021-07-22(3).

- [5] 黄辉,王凯欣,徐亮,等.市场经济下的煤炭商品属性研究[J].中国煤炭,2021,47(1):52-56.
- [6] 黄哲,王春霞,贾毅竹,等.火电厂煤尘污染防治主要措施研究[J].内蒙古环境科学,2011(5):90-92.
- [7] 汤万钧.露天煤矿粉尘分布和运移机理研究[D].徐州:中国矿业大学,2018.
- [8] 卢洁,雷少刚.露天煤矿粉尘环境影响及其扩散规律研究综述[J].煤矿安全,2017,48(8):231-234.
- [9] 李红,曾凡刚,邵龙义,等.可吸入颗粒物对人体健康危害的研究进展[J].环境与健康杂志,2002,19(1):85-89.
- [10] 黄毅.矿山尘肺病防治工作探讨[J].中国煤炭,2021,47(3):21-24.
- [11] 肖红霞,郑义.复合型抑尘剂的制备研究[J].环境工程,2011,29(1):76-79.
- [12] 陈景序,荆德吉,葛少成,等.散煤运输用新型高分子抑尘剂性能的实验研究[J].中国安全科学学报,2019,29(2):140-146.
- [13] 耿卫国,宋丽华,宋强,等.煤矿粉尘化学抑尘剂的实验研究[J].煤矿安全,2018,49(11):33-38.
- [14] 王和堂,贺胜,章琦,等.微生物发酵法合成生物抑尘剂的试验研究[J].煤炭学报,2021,46(2):477-488.
- [15] 戴雯婧,甘延玲,叶绿萌,等.道路施工环保型抑尘剂的制备及其性能评价[J].能源环境保护,2021,35(2):51-57.
- [16] HUANG Z A, HUANG Y, YANG Z J, et al. Study on the physicochemical characteristics and dust suppression performance of new type chemical dust suppressant for copper mine pavement[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28: 59640-59651
- [17] ZHU S C, ZHAO Y Y, HU X M, et al. Study on preparation and properties of mineral surfactant-microbial dust suppressant [J]. Powder Technology, 2021, 383(1):233-243
- [18] JIANG J H, WANG P F, PEI Y, et al. Preparation and performance analysis of a coking coal dust suppressant spray[J]. International Journal of Coal Science and Technology, 2021, 8(5): 1003-1014.
- [19] SHI G Q, QI J M, WANG Y M, et al. Experimental study on the prevention of coal mine dust with biological dust suppressant [J]. Powder Technology, 2021, 391(10): 162-172.
- [20] LIU Z Q, ZHOU G, DUAN J J, et al. Preparation of composite high-efficiency dust suppressant and relevant molecular dynamics simulation for wetting coal surface[J]. Fuel, 2021, 296(15): 120579
- [21] 王艺,张建,王培齐,等.抑尘剂的研究应用现状及发展趋势分析[J].砖瓦,2020(10):93-94.
- [22] 张明军.复合型煤尘抑尘剂的制备及其性能研究[D].西安:西安科技大学,2018.
- [23] 谭烜昊.煤尘湿润特性及喷雾降尘效率实验研究[D].湘潭:湖南科技大学,2019.
- [24] 裴叶,刘荣华,王鹏飞,等.表面活性剂复配对煤尘润湿性能影响[J].矿业工程研究,2018,33(2):46-50.