

The Improvement of Addition of Inorganic Salt on the Wettability of Coal Dust by Chemical Dust Suppressant

Peng Li*, Wangyong Guo, Zhenfu Ju, Xin Jin, Zeqiang Xu, Yujian Du, Liusuo Wu, Jiancheng Zhang[#]

Beijing Nari Yihe Environmental Technology Co., Ltd., Beijing
Email: [#]188100612319@163.com

Received: Nov. 26th, 2019; accepted: Dec. 12th, 2019; published: Dec. 19th, 2019

Abstract

Four different types of dust suppressant products were selected to study the process of addition of inorganic salt on the wettability of coal dust by chemical dust suppressant. The results showed that the addition of inorganic salts improved the wetting properties of dust suppressants on coal dust. The lower the anion valence state of the inorganic salt, the better the wettability of the dust suppressant on the surface of the coal dust. As the content of inorganic salts increased, the wetting ability of the dust suppressant on coal dust increased and then decreased. Different types of dust suppressants had different sensitivities to NaCl. The higher the anionic surfactant component of the dust suppressant, the stronger the wetting ability on the surface of the coal dust by adding an inorganic salt to the dust suppressant. By adding NaCl, the wetting performance of the dust suppressant on the surface of the coal dust can be increased up to 3.8 times.

Keywords

Chemical Dust Suppressant, Coal Dust, Inorganic Salt, Wetting Mechanism

无机盐对化学抑尘剂在煤尘表面润湿性能的影响

李 鹏*, 郭王勇, 鞠振福, 靳 昕, 徐泽强, 杜玉剑, 吴刘锁, 张建成[#]

北京南瑞怡和环保科技有限公司, 北京
Email: [#]188100612319@163.com

*第一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 李鹏, 郭王勇, 鞠振福, 靳昕, 徐泽强, 杜玉剑, 吴刘锁, 张建成. 无机盐对化学抑尘剂在煤尘表面润湿性能的影响[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(6): 870-877. DOI: 10.12677/aep.2019.96114

收稿日期：2019年11月26日；录用日期：2019年12月12日；发布日期：2019年12月19日

摘要

选用了四种不同种类的抑尘剂产品，研究了两种无机盐NaCl和Na₂SO₄对抑尘剂在煤尘表面润湿性能的影响。结果表明，无机盐的加入提高了抑尘剂对煤尘的润湿性能；无机盐的阴离子价态越低，抑尘剂在煤尘表面的润湿性能提升越明显；随着无机盐含量的增加，抑尘剂对煤尘的润湿能力呈现出先增加后降低的趋势；NaCl对不同种类抑尘剂的润湿性提高程度不同，抑尘剂中阴离子表面活性剂含量越高，NaCl对抑尘剂的润湿能力提升越明显，其润湿性能最高提升3.8倍左右。

关键词

化学抑尘剂，煤尘，无机盐，润湿机理

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着煤矿资源的大量开采和使用，煤尘扬尘现象所带来的问题日益严重。煤尘污染使空气中的粉尘浓度大幅增加，对大气环境的影响较为突出。同时煤粉的扬尘现象影响了作业环境，容易对人体产生危害、对设备造成损坏[1] [2] [3]。针对这些问题，国内外学者针对煤粉的抑尘作用进行了大量研究工作，化学抑尘剂在煤场中的应用也在日益增加[4] [5] [6] [7]。

大量研究表明，表面活性剂的加入能够增加抑尘剂在煤尘表面的润湿能力[8] [9] [10] [11] [12]。刘伟[13]等人研究了不同表面活性剂及复配试剂对煤尘的抑制作用，研究发现复配溶液的湿润性与表面活性剂的物理化学性质有较大关系。常婷[14]等人对表面活性剂在化学抑尘剂中的作用机理、主要应用情况等进行了研究，结果表明阴离子型、非离子型表面活性剂以及高分子型表面活性剂由于其良好的润湿、渗透、乳化等功能被广泛应用于化学抑尘剂中。但是，无机盐在抑尘剂的性能提升方面研究较少。吴超等人对无机盐改善表面活性剂润湿性能进行了系统研究，相比非离子表面活性剂，阴离子表面活性剂中添加Na₂SO₄能够较大程度上改善抑尘剂的润湿能力[15]。孙鑫等人阴离子表面活性剂溶液中添加少量钙盐能够有效达到润湿增效的作用[16]。

本文在前人研究的基础上，选用了四种不同配方的抑尘剂产品，通过正向渗透实验分析了添加不同种类以及浓度无机盐的抑尘剂对于煤尘润湿性能的影响，为开发高性能的抑尘剂提供实验依据。

2. 实验部分

2.1. 实验原料

煤尘 NR：榆林某煤矿，经研磨后经 2 mm 的筛子过筛后待用。氯化钠 NaCl、硫酸钠 Na₂SO₄、十二烷基硫酸钠 SDS、十六烷基三甲基溴化铵 CTAB，国药集团。编号为 A、B、C、D 的抑尘剂均由客户提供。

2.2. 测试仪器

Sension™ 5 型电导仪, 美国 HACH 公司; L-530 型多管架自动平衡离心机, 长沙湘仪离心机仪器有限公司; DF-101T 集热式恒温加热磁力搅拌器, 巩义市予华仪器有限责任公司; BSA124S-CW 型电子天平, 北京赛多利斯仪器系统有限公司。

2.3. 实验方法

采用正向渗透实验法研究含无机盐的抑尘剂溶液对煤尘浸润性的影响, 如图 1 所示。具体步骤为先取 1.9 克煤粉放入直径为 1 cm、长度为 9 cm 的无色透明玻璃管中, 并用不锈钢棒将煤尘夯实。配制浓度为 0.2 wt.% 的抑尘剂溶液, 取 2 毫升该溶液滴入装好煤尘的玻璃管中, 记录抑尘剂浸润煤尘高度 4 cm 时所需要的渗透时间, 并且使用下述公式(1)对抑尘剂的润湿性能进行评价[17]。

$$\text{润湿性能} = 1 - \frac{t_1}{t_0} \quad (1)$$

其中, t_0 、 t_1 分别代表纯水、抑尘剂渗透煤尘高度为 4 cm 的平均时间。



Figure 1. Model diagram of forward osmosis experiment

图 1. 正向渗透实验法示意图

将抑尘剂 A、B、C、D 分别配制成 0.2 wt.% 的水溶液, 在煤粉 NR 表面进行正向渗透试验, 研究不同抑尘剂渗透煤尘距离 1 cm、2 cm、3 cm、4 cm 的润湿能力。

将 NaCl、Na₂SO₄ 加入 0.2 wt.% 抑尘剂溶液中, 配制含有 0.1 wt.% 无机盐的混合溶液, 进行正向渗透试验, 渗透距离为 4 cm, 研究抑尘剂溶液中加入不同无机盐对煤尘润湿能力的影响。

将 NaCl 加入至 0.2 wt.% 的抑尘剂溶液中, 分别配制成 NaCl 浓度为 0 wt.%、0.05 wt.%、0.1 wt.%、0.2 wt.%、0.3 wt.%、0.4 wt.% 的溶液, 进行正向渗透实验, 渗透距离为 4 cm, 研究含有不同浓度无机盐的抑尘剂对煤尘浸润性的影响。

3. 结果与讨论

3.1. 抑尘剂对煤粉润湿性的影响

分别选用了四种抑尘剂 A、B、C、D, 使用正向渗透法研究了抑尘剂对于煤尘 NR 的润湿能力的影响。如图 2 所示, 在水中加入抑尘剂可以增加在煤尘 NR 表面的润湿能力, 渗透时间大幅降低。四种抑

尘剂的润湿能力数据如表 1 所示, 纯水在煤尘表面 4 cm 的渗透时间为 489 s。相比之下, 抑尘剂 C、B 和 D 均能够较大程度提高对煤尘的润湿能力, 渗透时间分别降低至 291 s、317 s 和 337 s, 润湿能力相比纯水分别提高了 40.5%、35.2% 和 31.1%。抑尘剂 A 的润湿能力相对较差, 渗透相同煤尘距离所需要的时间为 412 s, 润湿能力比纯水仅提高了 15.7%。

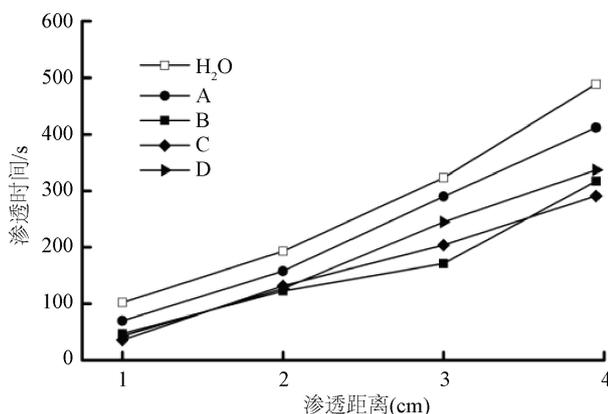


Figure 2. Permeability of four dust suppressant solutions on the surface of coal dust

图 2. 四种抑尘剂溶液在煤尘表面的渗透性能

Table 1. Wetting ability data of four dust suppressants

表 1. 四种抑尘剂的润湿能力数据

	H ₂ O	A	B	C	D
渗透时间/s	489	412	317	291	337
润湿性/%	0	15.7	35.2	40.5	31.1

3.2. 无机盐种类对抑尘剂润湿性的影响

含 0.1 wt.% NaCl 和 0.1 wt.% Na₂SO₄ 的抑尘剂对煤尘润湿性能的影响如图 3 所示。图 3 分别为不同抑尘剂渗透煤尘距离为 4 cm 所需要的渗透时间。使用不加无机盐的抑尘剂在煤尘中进行润湿性能对比, 如图 3 所示, 加入无机盐能够明显降低抑尘剂在煤尘表面的渗透时间, 增加了对煤尘的润湿能力。

抑尘剂主要由阴离子表面活性剂、非离子表面活性剂以及其他助剂组成。其中, 表面活性剂是一种具有两亲性的物质, 加入少量能使其溶液体系的界面状态发生明显变化, 是抑尘剂的重要组成部分。如图 4 所示, 煤尘表面暴露着大量的极性有机基团, 水在煤尘表面很难发生润湿行为; 抑尘剂中的表面活性剂亲油端与煤尘表面的有机基团具有较好的相容性, 能够在煤尘表面定向排列并且将亲水基团引入煤尘表面, 增加了水与煤尘之间的润湿能力。无机盐的引入对于阴离子表面活性剂具有增效作用。根据双电层理论, 双电层可以分为紧密层和扩散层, 当溶液中加入无机盐后, 无机盐中的离子会压缩扩散层, 使得扩散层厚度减小, 从而降低了界面能; 同时其无机盐离子还能减小双电层中的静电力作用, 促进了抑尘剂在煤尘表面的吸附, 提高了润湿性能。

如图 3 所示, 0.1 wt.% 无机盐 NaCl、Na₂SO₄ 对于抑尘剂 A、D 的润湿性能具有较强的提升效果。加入 Na₂SO₄、NaCl 可以使抑尘剂 A 在煤粉表面的渗透时间由 412 s 分别降低到 336 s、231 s, 润湿性能从 15.7% 分别提高至 31.3%、52.8%。而两种无机盐对于抑尘剂 B、C 的润湿性并没有体现出明显效果。通过表 2 可以看出, 抑尘剂 B、C 的 ζ 电势相对较低, 配方中以非离子表面活性剂为主要成分, 无机盐对

于非离子表面活性剂的影响程度较低，对抑尘剂 B、C 的润湿能力提高不明显。抑尘剂 A、D 中 ζ 电势相对较大，阴离子表面活性剂的相对含量较高，少量的无机盐能够降低阴离子表面活性剂之间的静电排斥，压缩双电层厚度，从而较大程度上增强抑尘剂 A、D 在煤尘表面的润湿能力。

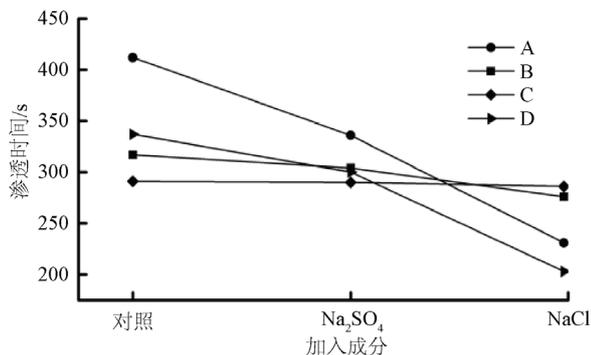


Figure 3. Effect of dust suppressant with different inorganic salts on coal dust wetting performance

图 3. 加入不同无机盐的抑尘剂对煤尘润湿性能的影响

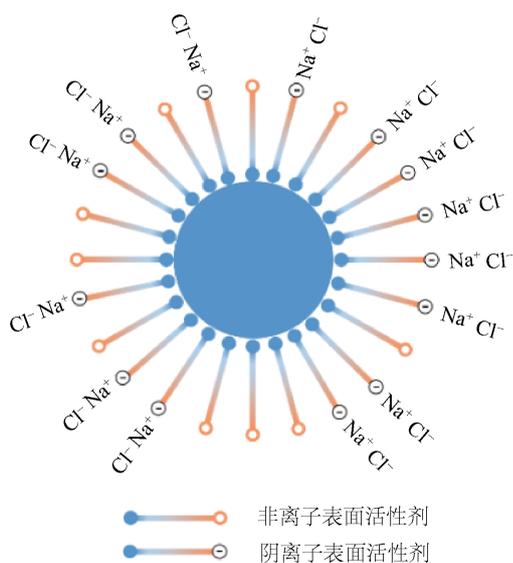


Figure 4. Adsorption mechanism of dust suppressant solution with inorganic salt components on the surface of coal dust

图 4. 加入无机盐组分的抑尘剂溶液在煤尘表面的吸附机理示意图

Table 2. Zeta potentials of four dust suppressants

表 2. 四种抑尘剂的 ζ 电势

抑尘剂种类	A	B	C	D
ζ 电势	-12.8	-11.9	-7.2	-23.8

对于 4 种抑尘剂，含有 0.1 wt.% NaCl 的抑尘剂溶液渗透时间均明显小于含有 0.1 wt.% Na₂SO₄ 的抑尘剂溶液渗透相同距离所需时间。因此，可以得知 NaCl 对于提高抑尘剂润湿性能的作用比 Na₂SO₄ 更为

显著。与 Na_2SO_4 相比，在水溶液中加入 NaCl ，负离子的价态相对较低，对于金属正离子的吸引能力较弱，因此电离出的 Na^+ ，能够有效的吸附在阴离子表面活性剂的亲水端表面，降低了表面电势，从而有效改善了溶液 - 煤尘界面性能。外加无机盐的阴离子价态越高，吸引无机反离子的能力越强，双电层结构比较松散，从而导致润湿能力下降。

3.3. 无机盐浓度对抑尘剂润湿性的影响

从图 4 可知， NaCl 对于提高抑尘剂润湿性能的作用更为显著。因此，在抑尘剂中加入不同浓度的 NaCl ，研究无机盐浓度对煤尘 NR 的润湿性能的影响。如图 5 所示，少量的 NaCl 的引入，能够降低抑尘剂在煤尘表面的渗透时间。 NaCl 的引入能够降低抑尘剂溶液的表面张力，使抑尘剂在煤尘表面的接触角不断降低[18]。另外，无机盐能够增强表面活性物质在煤尘表面的吸附能力，降低煤尘与抑尘剂之间的界面能，提高了抑尘剂对煤尘的润湿性能；煤尘中含有大量的酚羟基、羧基等有机基团，因此煤尘表面呈现电负性[19]。当 NaCl 含量持续增加时，抑尘剂 A、B、C 在煤尘表面的渗透时间趋于平稳，而抑尘剂 D 出现渗透时间增加后平缓的趋势。相比之下，抑尘剂 B、C 对于 NaCl 的敏感程度较低，随着 NaCl 含量增加其润湿能力变化不大； NaCl 对抑尘剂 A、D 在煤尘表面的润湿能力影响程度较大。

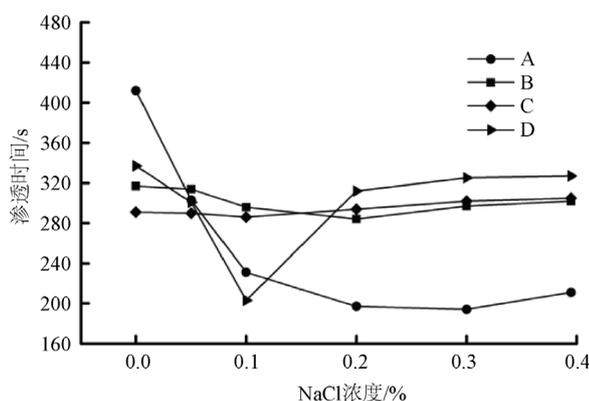


Figure 5. Effect of different concentrations of NaCl on the permeability of 0.2 wt.% different dust suppressants

图 5. 不同浓度 NaCl 对 0.2 wt.% 不同类型抑尘剂的渗透性影响

同样根据渗透实验结果进行润湿性能计算，具体见表 3。由表 3 可以看到，抑尘剂 A 对 NaCl 最为敏感，随着无机盐含量的增加，抑尘剂在煤尘表面的润湿能力持续提高。当加入 0.3% NaCl 时，抑尘剂润湿相同煤尘高度所需要的时间降低至 194 s，其润湿性能由 15.7% 提升至 60.3%，在煤尘表面的润湿程度最高提升 3.8 倍左右；抑尘剂 C 对 NaCl 最不敏感，随着 NaCl 浓度的增加，C 溶液的润湿性能变化均比较小，润湿性提高程度不超过 1%。对于四种抑尘剂 A，B，C 和 D，它们对应最佳提高润湿性能的 NaCl 浓度分别为 0.3%、0.2%、0.1% 和 0.1%。

结合四种抑尘剂的配方、 ζ 电势等性能，对 NaCl 改善不同抑尘剂在煤尘表面的润湿性进行进一步分析。如表 2 所示，四种抑尘剂的 ζ 电势相差较大，C 具有最低的 ζ 电势，其主要组成为非离子型表面活性剂，阴离子表面活性剂含量较低，无机盐对于非离子型表面活性剂的促进作用非常微弱。因此加入无机盐对于抑尘剂 C 的润湿性能影响较低，随着 NaCl 含量增加，渗透时间几乎没有发生任何变化。相比于抑尘剂 C，抑尘剂 B 中的阴离子表面活性剂的含量稍高，加入无机盐能够增强阴离子表面活性剂亲水端的作用力，提高抑尘剂在煤尘表面的润湿能力。

Table 3. Wetting properties of dust suppressants containing different concentrations of NaCl on the surface of NR
表 3. 含有不同浓度 NaCl 的抑尘剂与煤尘 NR 的润湿性能

润湿性能 (%)	NaCl 浓度(wt.%)					
	0	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40
A	15.7	38.0	52.8	59.7	60.3	56.9
B	35.2	35.8	39.5	41.9	39.3	38.2
C	40.5	40.7	41.5	39.9	38.2	37.6
D	31.1	38.4	58.5	36.2	33.5	33.1

A 的 ζ 电势较大, 成分中主要含量为阴离子表面活性剂, 在煤尘 NR 表面排布时亲水端阴离子排斥力较大, 导致电层排列松散, 界面性能相对较差。无机盐的加入能够降低阴离子表面活性剂间的排斥力, 促进阴离子表面活性剂在煤尘表面形成紧密的双电层结构, 改善了煤尘表面的亲水能力。随着无机盐含量的持续增加, 其润湿能力得到不断增强, 而后趋于平缓。

抑尘剂 D 具有最高的 ζ 电势, 其中阴离子表面活性剂的含量最高, 且含有少量的 Na_2SO_4 杂质。少量 NaCl 的加入较大程度上增加抑尘剂在煤尘表面的润湿能力, 当加入量持续增加时, 过多的无机盐离子增加了双电层的静电作用力距离, 破坏了稳定的双电层结构, 导致润湿性能下降。同时, 当无机盐含量持续增加时, Na^+ 含量不断增加, 导致金属正离子被吸附于煤尘表面, 改变了煤尘表面的电荷性质, 吸引了部分阴离子表面活性剂的阴离子亲水端与煤尘表面的 Na^+ 结合, 使表面活性剂疏水端裸露在外侧, 从而降低了润湿能力。

4. 结论

1) 采用正向渗透实验法研究抑尘剂与纯水对煤尘浸润性的影响, 抑尘剂的加入提高了纯水的润湿性能, 与纯水相比, 抑尘剂水溶液的润湿性能最大提高了 40.5%。

2) 无机盐能够明显提高抑尘剂对煤尘的润湿性能, 使抑尘剂对煤粉的渗透时间大幅减小。无机盐的阴离子价态越低, 对抑尘剂在煤尘表面的润湿性能提升越明显。NaCl 对于提高抑尘剂润湿性能的作用比 Na_2SO_4 更为显著, 其润湿性能由 15.7% 分别提高至 52.8% 和 31.3%。

3) 抑尘剂 A、B 和 C 的润湿性能随 NaCl 含量呈现出增加后趋于平稳。NaCl 的加入促进阴离子表面活性剂形成稳定的电层结构, 改善煤尘表面性质, 提高抑尘剂的润湿性能。NaCl 对抑尘剂 A 在煤尘表面的润湿性提升最大, 其润湿性能由 15.7% 最高可提升至 60.3%。

4) 抑尘剂 D 的润湿性能随 NaCl 含量的增加表现出先增加后降低的趋势。这是由于过量的无机盐离子增加了双电层的静电作用力距离, 使双电层稳定性降低, 因而抑尘剂 D 对煤尘的润湿性能呈现出降低趋势。

参考文献

- [1] 宋子岭, 范军富, 王来贵, 等. 露天煤矿开采现状及生态环境影响分析[J]. 露天采矿技术, 2016, 31(9): 1-4.
- [2] 施式亮. 矿井安全非线性动力学评价模型及应用研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2000.
- [3] 廖云开, 邹兴梅, 林立新, 等. 梅州市 248 名煤尘肺工人人体质监护结果分析[J]. 职业与健康, 2005, 21(1): 1-3.
- [4] 王天乐, 张亚, 杨满征. 新型复合煤尘抑制剂的制备及特性研究[J]. 煤炭工程, 2019, 51(3): 113-116.
- [5] 耿卫国, 宋丽华, 宋强, 等. 煤矿粉尘化学抑尘剂的试验研究[J]. 煤矿安全, 2018, 49(11): 33-38.
- [6] 金龙哲, 杨继星, 欧盛南, 等. 润湿型化学抑尘剂的试验研究[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(6): 109-112.

-
- [7] 王磊, 刘泽常, 李敏, 等. 化学抑尘剂进展研究[J]. 有色矿冶, 2006, 22(S1): 119-120.
- [8] 苟尚旭, 刘荣华, 王鹏飞, 等. 表面活性剂对煤的润湿性影响[J]. 矿业工程研究, 2016, 31(4): 24-27.
- [9] 谢德瑜, 舒新前, 郝王娟, 等. 煤尘抑尘剂的开发与研究[J]. 选煤技术, 2004(5): 19-21.
- [10] 程爱华, 刘威, 端木合顺. 新型散煤抑尘剂的制备及性能研究[J]. 矿业安全与环保, 2010, 37(1): 7-9.
- [11] 徐召金. 煤流扬尘机理以及抑尘剂合成工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2016.
- [12] 刘博, 张明军, 文虎. 煤尘抑尘剂的研究应用现状及发展趋势[J]. 煤矿安全, 2018, 49(8): 206-209.
- [13] 刘伟, 程卫民, 于岩斌, 等. 表面活性剂抑尘性能的实验研究[J]. 煤矿安全, 2012, 43(12): 23-26.
- [14] 常婷, 程芳琴. 表面活性剂在化学抑尘中的应用[J]. 图书情报导刊, 2009, 19(11): 122-124.
- [15] 吴超. 化学抑尘[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2003.
- [16] 孙鑫, 程卫民, 周刚, 等. 煤矿用新型抑尘剂的研究与应用[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(3): 91-94.
- [17] 王振华. 煤尘润湿及吸附特性的研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东科技大学, 2008.
- [18] 吴超, 古德生. Na_2SO_4 改善阴离子表面活性剂湿润煤尘性能的研究[J]. 安全与环境学报, 2001, 1(2): 45-49.
- [19] 杨静, 谭允祯, 王振华, 等. 煤尘表面特性及润湿机理的研究[J]. 煤炭学报, 2007, 32(7): 737-740.