

煤尘润湿性能试验

牛金明^{1*}, 李金华¹, 凌玉平²

(1. 潞安集团 司马煤业有限公司, 山西 长治 047105; 2. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 煤矿粉尘防治手段主要有煤层注水和喷雾降尘, 煤尘润湿性能对降尘效果影响显著, 而煤尘粒径和表面活性剂是影响煤尘润湿性能的重要因素。为了研究煤尘粒径和表面活性剂对煤尘润湿性能的影响, 以某煤矿 6 种粒径煤尘样品为试验对象, 选取 4 种表面活性剂 (SDS, SDBS, Tween-80 以及 OP-10) 开展煤尘微观特性和润湿性能试验。结果表明: 煤尘粒径越小, 其比表面积越大, 平均孔径越小, 煤尘的润湿性越差; 同一煤质的煤尘润湿效果随着粒径的减小而降低; 煤尘的润湿效果随表面活性剂的变化而变化, 4 种表面活性剂对煤尘的润湿效果大小为 OP-10>SDBS>SDS>Tween-80, 溶液中表面活性剂的质量分数超过 0.05% 时, 煤尘的润湿性能基本无提升。在实际应用中使用表面活性剂 OP-10 和 SDBS 会比较经济实惠。

关键词: 煤尘粒径; 润湿性能; 微观特性; 表面活性剂

中图分类号: X513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2024)03-0058-06

Experiments on Wetting Performance of Coal Dust

NIU Jinming¹, LI Jinhua¹, LING Yuping²

(1. Sima Coal Company Limited, Lu'an Group Company, Changzhi 047105, China;

2. School of Resources & Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: The main methods for controlling coal mine dust are coal seam water injection and spray dust suppression, and the wettability of coal dust significantly affect the dust suppression effect. The particle size of coal dust and surfactants are important factors that influence the improvement of coal dust wettability. To study the effects of coal dust particle size and surfactants on coal dust wettability, six coal dust samples of different particle sizes from a coal mine are selected as test subjects, and four surfactants (SDS, SDBS, Tween-80, and OP-10) are chosen to conduct experiments on the micro-characteristics and wettability of coal dust. Results show that the smaller the coal dust particle size, the larger the specific surface area; the smaller the average pore size, the poorer the wettability of the coal dust. The wettability of coal dust of the same coal quality decreases with the reduction of particle size. The wettability of coal dust varies with different surfactants, with the effectiveness of the four surfactants on coal dust wettability ranking as follows: OP-10 > SDBS > SDS > Tween-80. When the mass fraction of surfactants in the solution exceeds 0.05%, the wettability of coal dust shows no significant improvement. In practical applications, using surfactants OP-10 and SDBS is more cost-effective.

Keywords: coal dust particle size; wettability; micro-characteristics; surfactant

煤炭是我国经济发展的坚实后盾, 并且在未来很多年将会持续支撑我国的发展。2021 年, 煤炭消费占一次能源消费总能量的 56%^[1]。在煤炭掘进生产过程中会产生大量粉尘, 高浓度的粉尘对工作人员的健康有着严重的危害, 同时也会影响工作效率。2021 年, 中国国家卫健委公布了全国职业病 15 407 例, 而职业性尘肺病占职业病总数的 76.64%^[2]。因此, 在煤炭生产过程中必须采取有效的防尘手段来降低粉尘浓度。

喷雾降尘广泛应用于煤矿井下开采工作中,经济且实用,但喷雾降尘的降尘效率普遍较低,全尘降尘效率一般在50%以下,对呼吸性粉尘的降尘效率甚至更低,无法完全解决粉尘浓度高的问题^[3]。

大多数煤尘为疏水性粉尘,所以喷雾降尘实施效果并不理想。通常情况下,润湿性能越好的煤尘,喷雾降尘效率越高。因此,许多学者对影响煤尘润湿性的因素进行了大量研究^[4-5]。赵振保等^[6]研究煤质和表面官能团对煤尘润湿性能的影响,建立了一种煤尘润湿性能快速测定和表征的方法;杨静等^[7-8]利用傅里叶红外光谱(FTIR)和X射线光电子能谱(XPS)研究粒度对煤尘表面特性的影响,并通过煤尘润湿性能试验建立了煤尘表面特性与润湿性能的联系。也有研究发现煤尘的化学结构、表面结构、元素组成随着煤尘粒度的变化而变化,而煤尘亲水性随着粒径的减小而变弱^[9-12]。针对表面活性剂对煤尘润湿性能的影响的研究发现,表面活性剂会改变煤尘表面湿润性能,其影响程度主要与表面活性剂的种类和质量浓度相关^[13-16]。

本文以某煤矿的6种不同粒径的煤尘为研究对象,采用BET比表面积测试分析煤尘微观表面特性,通过接触角和反渗透试验分析煤尘粒径对润湿性能的影响;采用接触角和沉降试验分析4种表面活性剂(SDS, SDBS, Tween-80以及OP-10)对煤尘润湿性的影响。

1 试验样品及方案

1.1 试验样品

采用粉碎机对煤尘进行粉碎,通过6种不同规格的工业筛筛分,获得不同粒径等级的煤样。将这些煤样按粒径由大至小依次编号,并在真空干燥箱中以80℃的温度干燥480min。干燥完成后将煤样封闭保存备用。采用LS13320激光粒度仪测量煤尘粒度。表1为煤尘样品编号和特征粒径。

表1 煤尘样品编号与特征粒径

编号	1	2	3	4	5	6
$D_{10}/\mu\text{m}$	177.80	141.80	92.36	23.23	19.95	1.42
$D_{50}/\mu\text{m}$	259.40	204.60	142.30	69.33	29.83	5.39
$D_{90}/\mu\text{m}$	352.30	275.10	195.60	106.00	64.54	19.92

注: D_{10} , D_{50} , D_{90} 分别表示小于此粒径的颗粒体积占全部颗粒总体积的10%, 50%, 90%。

1.2 煤尘微观特性测定

影响煤尘湿润特性的微观因素主要有表面官能团、粗糙度、比表面积及内部平均孔径。采用Micromeritics ASAP2010比表面积和平均孔径分析仪对煤样进行测量,将筛好的煤样脱气、加热后放入比表面积和粒径分析仪中进行测量。图1为微观特性测量仪器。



图1 煤尘微观特性测量仪器

1.3 表面活性剂的表面张力测定

表面张力试验主要用于评估表面活性剂降低溶液表面张力的能力。采用K20表面张力仪中的吊片法测量溶液的表面张力,待液体处于平衡状态后,慢慢将铂片与被测液体垂直接触并静置,通过测定铂片脱离被测液体表面需要的最小拉力,来确定不同表面活性剂的临界胶束浓度(Critical Micelle Concentration,

CMC)的基本范围.图2为K20表面张力仪.

根据绿色环保的原则,选取表面活性剂十二烷基硫酸钠(Sodium Dodecyl Sulfate, SDS)、十二烷基苯磺酸钠(Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate, SDBS)、失水山梨醇单油酸酯聚氧乙烯醚(Polyoxyethylene (20) Sorbitan Monooleate,又名 Tween-80)以及烷基酚聚氧乙烯醚(Octoxinol,又名 OP-10)作为研究对象,其具体化学参数如表2所示.



图2 K20表面张力仪

表2 4种表面活性剂参数

编号	名称	化学式	类型	分子量	外观	纯度
1	SDS	$C_{12}H_{25}SO_4Na$	阴离子	288.38	白色或淡黄色粉状	分析纯
2	SDBS	$C_{18}H_{29}NaSO_3$	阴离子	348.48	固体,白色或淡黄色粉末	分析纯
3	OP-10	$C_{10}H_{21}O(CH_2CH_2-O)_{10}H$	非离子	646.00	白色及乳白色糊状物	分析纯
4	Tween-80	$C_{24}H_{44}O_6(C_2H_4O)_n$	非离子	1 310.00	浅黄色黏稠液体	分析纯

1.4 煤尘润湿性能测定

煤尘润湿性能可以通过接触角、反渗透以及沉降试验来评价.接触角试验:利用压片机将6种不同粒径等级的煤粉压片,将压片放在CA100B接触角测量仪的样品台上,测定煤片与表面活性剂溶液的接触角.反渗透试验:在不同粒径等级的煤粉中各取3g,分别放入半径为5mm的6根玻璃管中,用滤纸将玻璃管一端封闭并称重,将玻璃管封闭的一端竖放进水槽,在水槽中加入溶液至刚好淹没玻璃管口处,静置10min后取出玻璃管再次称重,计算吸湿量.沉降试验:将配制好的溶液倒入标准比色管中,确保每根比色管中倒入100mL溶液,再分别称量0.3g煤尘,把煤尘均匀铺撒在溶液中,记录全部煤尘均穿透溶液表面的时间.图3为煤尘润湿性能试验的仪器.

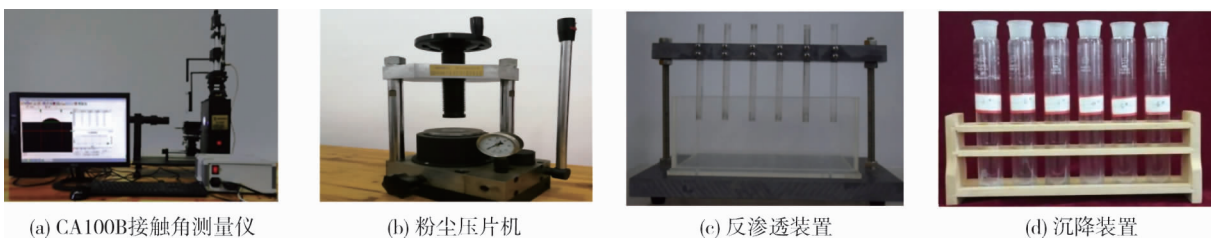


图3 煤尘润湿性能测定装置

2 试验结果及分析

2.1 煤尘微观特性

由于比表面积和平均孔径会影响煤尘的润湿性能,因此我们通过试验确定不同粒径煤尘的表面粗糙

度、比表面积和内部平均孔隙大小(平均孔径),从而得出煤尘的微观特性.本研究对不同粒径的无烟煤尘样品进行 BET 测定,结果如图 4 所示.从图 4 中比表面积和平均孔径 2 条曲线的走势可以发现,在粒径小于 50 μm 时,比表面积和平均孔径有较大变幅,这说明在小粒径区间,粒径对煤尘比表面积和平均孔径影响显著.结合煤尘微观特性测定试验可知,煤尘粒径越小,比表面积越大,平均孔径也越小.

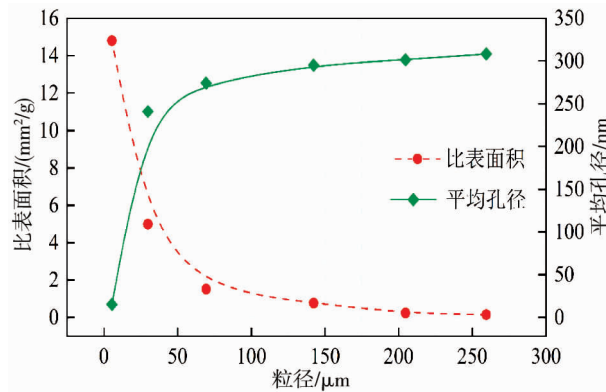


图 4 不同粒径煤样的比表面积和平均孔径

2.2 粒径对煤尘润湿性能的影响

2.2.1 接触角试验

衡量固体材料润湿强度的一个重要指标是接触角.煤破碎后,煤体表面的物理特性和化学特性发生变化.不同粒径的煤尘与水滴之间的接触角存在差异,因此润湿性能也不同.图 5 为不同粒径的煤尘与清水的接触角测量结果,从图 5 可知,煤尘粒径越小,接触角就越大.这表明煤尘润湿性能随着粒径减小而减弱.

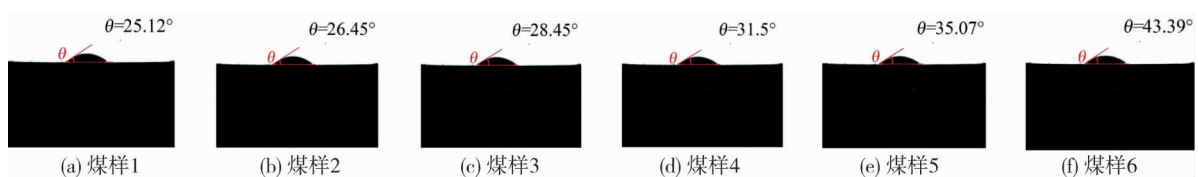


图 5 煤尘样品与清水接触角测量结果

2.2.2 反渗透试验

反渗透试验是一种常用的测量煤尘润湿性能的方法,主要通过毛细作用进行评估.采用自行设计的反渗透试验装置(图 3c),对上述 6 种不同粒径等级的煤样进行试验,得出反渗透试验中煤样吸湿量的结果如图 6 所示.由图 6 可知,煤尘的吸湿量由 1 566 mg 降低至 332 mg,下降幅度约为 78.80%,由此可知煤尘粒径越小,其吸湿量越少.反渗透试验结果与接触角试验结果基本吻合,说明采用接触角和反渗透吸湿量这 2 种方式评价煤尘润湿性能都是可行的.

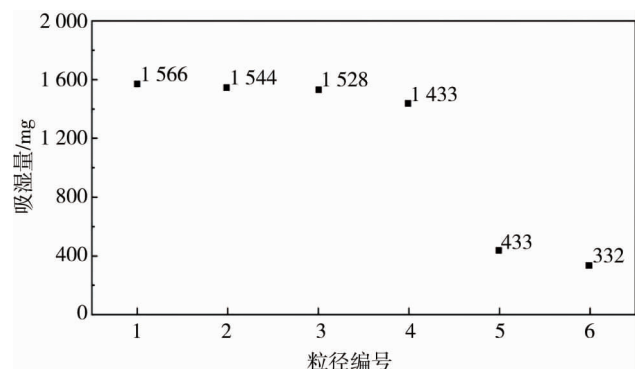


图 6 6 种不同粒径等级的煤样的吸湿量

2.3 表面活性剂溶液对煤尘润湿效果测定

以下试验煤样均选用通过工业筛筛选获得的粒径均匀的无烟煤样品,以减少粒径对试验结果的影响.

2.3.1 表面张力试验

溶液中表面活性剂的质量分数是影响溶液表面张力的重要因素,因此配制这 4 种表面活性剂的 6 种不同质量分数(0,0.000 05%,0.000 5%,0.005%,0.05%,0.5%)的溶液进行表面张力测量,表面张力的测量结果如图 7 所示.

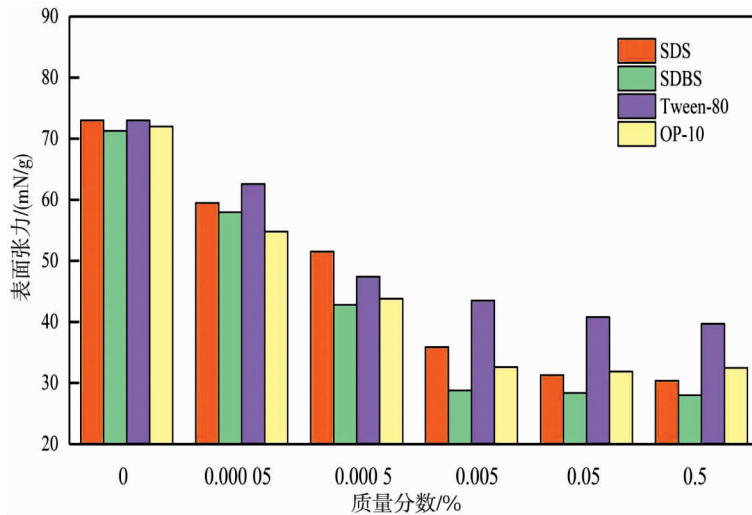


图 7 表面活性剂的质量分数对溶液表面张力的影响

从图 7 中可知,清水(质量分数为 0)的表面张力约为 72 mN/g;随着溶液中表面活性剂的质量分数的增大,溶液的表面张力逐渐减小,当质量分数增大到临界胶束浓度值后,表面张力的变幅减小.活性剂 SDBS 和 OP-10 的临界胶束浓度值约为 0.005%,当溶液中 SDBS 质量分数为 0.005%时表面张力为 28.2 mN/g,是 4 种表面活性剂中改变溶液表面张力效果最佳的一种.

2.3.2 接触角试验

使用不同质量分数的表面活性剂溶液对煤样进行接触角试验,研究表面活性剂对煤尘润湿性能的影响,并确定溶液中表面活性剂的最佳质量分数,试验结果如图 8 所示.由图 8 可以看出:4 种表面活性剂都可以有效改变煤尘的润湿性;随着溶液中表面活性剂质量分数的增加,接触角逐渐减小,润湿能力逐渐增强;4 种表面活性剂中,不同质量分数的 OP-10 溶液与煤尘的接触角均最小,其润湿性最强,其次是 SDBS,SDS,Tween-80 溶液.

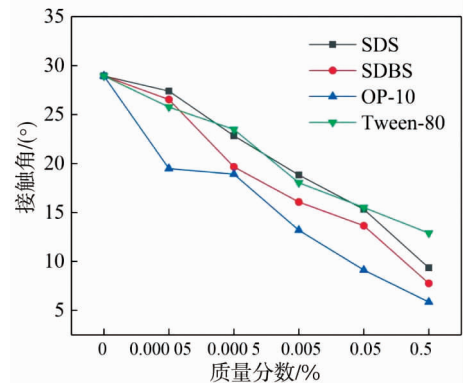


图 8 4 种表面活性剂与煤尘的接触角

2.3.3 沉降试验

当不同类型的煤尘应用于同一溶液时,沉降时间越短,煤尘的润湿性越好;当同一煤尘应用于不同溶液表面时,沉降时间越短,溶液改善煤尘润湿性效果越好.本试验中煤尘在 4 种表面活性剂中的沉降时间如图 9 所示.

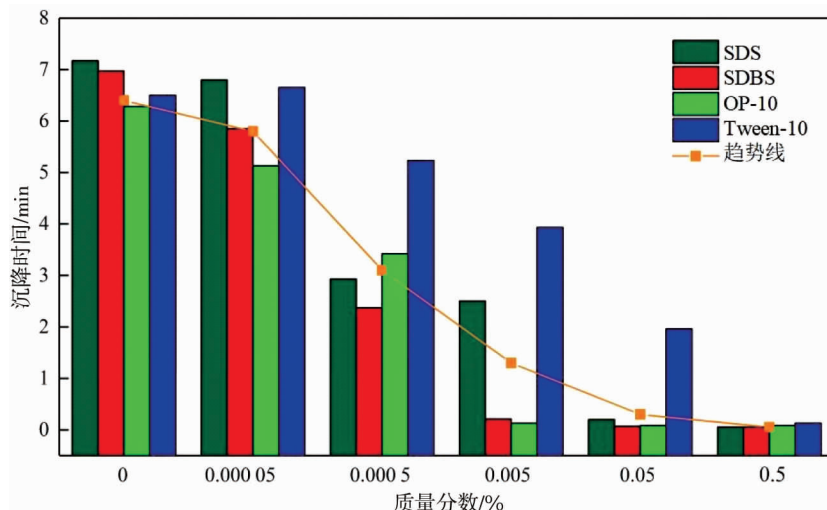


图 9 煤尘在 4 种表面活性剂溶液中沉降时间

由图9可知:随着溶液中表面活性剂质量分数的增加,煤尘的沉降时间总体呈现下降趋势,这表明较高质量分数的表面活性剂溶液能够显著改善无烟煤的沉降性能.使用清水进行沉降试验,煤尘需经过7.17 min后完全沉降;当溶液中加入活性剂的质量分数为0.000 05%时,SDS,SBDS和Tween-10沉降时间较长;随着质量分数增加到0.000 5%和0.005%,煤尘在上述3类表面活性剂溶液中的沉降时间显著减少,但是Tween-10和SDS效果不如SBDS.在本次试验中,使用OP-10的沉降时间均相对较短,表现出优异的沉降性能.

综合上述分析,OP-10的沉降性能较优异,而SDS和SBDS在高质量分数时也能显著提高沉降效果,Tween-10的效果相对较弱.在现场实际应用中选择质量分数为0.005%的SBDS溶液或OP-10溶液可以达到有效的润湿效果,并能大大降低使用表面活性剂的成本.

3 结论

1)通过BET比表面积测试,发现煤尘粒径越小,比表面积越大,平均孔径也越大.这表明较小粒径的煤尘具有更大的表面积和更复杂的孔隙结构.接触角试验结果显示,煤尘粒径越小,接触角越大,润湿性能越差.反渗透试验结果与接触角试验一致,煤尘粒径越小,吸湿量越少.

2)煤尘粒径对亲水性有较大影响.煤尘亲水性随着粒径减小而减弱,这意味着较小的煤尘颗粒更难被水润湿,煤尘颗粒越小,喷雾降尘效果越差.

3)煤的润湿效果与表面活性剂有关.其中OP-10表现出最佳的润湿效果,其次是SBDS,再次是SDS,最后是Tween-80.质量分数为0.005%的SBDS和OP-10溶液润湿效果最佳,这是因为这些表面活性剂能够显著降低溶液的表面张力,提高煤尘的润湿性;当溶液中活性剂质量分数超过0.05%时,润湿性能基本不再提升.因此,在实际应用中,使用表面活性剂OP-10和SBDS能够有效降低煤尘的接触角和沉降时间,提高喷雾降尘的效率.

参考文献:

- [1] 国家统计局.中华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报[R].2022.
- [2] 国家卫生健康委员会规划发展与信息司.2021年我国卫生健康事业发展统计公报[J].中国病毒病杂志,2022,12(5):321-330.
- [3] 王鹏飞,刘荣华,桂哲,等.煤矿井下气水喷雾雾化特性及降尘效率理论研究[J].煤炭学报,2016,41(9):2256-2262.
- [4] 程卫民,周刚,陈连军,等.我国煤矿粉尘防治理论与技术20年研究进展及展望[J].煤炭科学技术,2020,48(2):1-20.
- [5] 马威,刘勇,陈芳.难湿润煤层快速综掘工作面粉尘防治技术[J].煤炭科学技术,2015,43(1):70-73.
- [6] 赵振保,杨晨,孙春燕,等.煤尘润湿性的实验研究[J].煤炭学报,2011,36(3):442-446.
- [7] 杨静,徐辉,高建广,等.粒度对煤尘表面特性及润湿性的影响[J].煤矿安全,2014,45(10):140-143.
- [8] 杨静,伍修锜,李改平,等.煤尘粒度分形特征的研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2010,29(1):31-36.
- [9] CRAWFORD R J, GUY D W, MAINWARING D E. The influence of coal rank and mineral matter content on contact angle hysteresis[J]. Fuel, 1994, 73(5): 742-746.
- [10] GOSIEWSKA A, DRELICH J, LASKOWSKI J S, et al. Mineral matter distribution on coal surface and its effect on coal wettability[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2002, 247(1): 107-116.
- [11] ORUMWENSE F. Estimation of the wettability of coal from contact angles using coagulants and flocculants[J]. Fuel, 1998, 77(9/10): 1107-1111.
- [12] XIA W C, NI C, XIE G Y. The influence of surface roughness on wettability of natural/gold-coated ultra-low ash coal particles[J]. Powder Technology, 2016, 288: 286-290.
- [13] 林海飞,刘宝莉,严敏,等.非阳离子表面活性剂对煤润湿性能影响的研究[J].中国安全科学学报,2018,28(5):123-128.
- [14] 刘晓阳.表面活性剂吸附对褐煤润湿性影响及其调控机制研究[D].太原:太原理工大学,2017.
- [15] 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.
- [16] 甄浩.表面活性剂对煤吸水效果影响的试验及应用[D].邯郸:河北工程大学,2014.