

# 煤尘润湿性能与粒径关系的实验研究

谭焯昊<sup>1</sup>, 王鹏飞<sup>1,2\*</sup>, 易波波<sup>1</sup>, 苟尚旭<sup>1</sup>

(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 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

**摘 要:**为深入研究不同粒径煤的润湿性,采用接触角测量、沉降实验和反渗透测定的方法,对 5 种粒径的无烟煤进行系统的实验研究.结果表明:(1)煤与液体的接触角随煤粒径的增大而减小;(2)影响煤尘在液体中沉降时间的主要因素是煤尘的粒径,煤尘粒径越小沉降的速度越慢;(3)煤尘的反向渗透速度与煤尘的粒径是正相关的,反向渗透速度越快的必要条件为煤尘的粒径较大;(4)煤在机械破碎后,不同粒径煤尘的亲水性不同,即煤尘的润湿性在煤尘的粒径不同时表现不同,粒径较大的煤尘润湿性好,粒径越小的煤尘润湿性越差.

**关键词:**润湿性;接触角;粒径;反渗透;沉降

**中图分类号:**TD714      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-9102(2018)02-0014-04

## Experimental Study on Relationship between Wetting Performance and Particle Size of Coal Dust

Tan Xuanhao<sup>1</sup>, Wang Pengfei<sup>1,2</sup>, Yi Bobo<sup>1</sup>, Gou Shangxu<sup>1</sup>

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;  
2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** In order to study the wettability of coal under different particle diameters, the experimental study on five kinds of anthracite with particle size is carried out by contact angle measurement, sedimentation experiment and reverse osmosis determination method. Results show that firstly, the contact angle between coal and liquid decreases with the increase of coal particle size; secondly, the main factors of settling time of coal dust in liquid are the particle size of coal dust; thirdly, the reverse osmosis velocity of coal dust is positively correlated with the particle size of coal dust, and the necessary condition of the faster reverse permeation rate is that the particle size of coal dust is larger, and fourth, the coal is mechanically broken, the different particle size of coal dust has the different hydrophobicity, that is, the wetting of coal dust in the coal dust particle size is in different performance, the larger particle size of coal dust good wetness, the smaller the particle size, the worse the coal dust wetting.

**Keywords:** wettability; contact angle; particle size; reverse osmosis; sedimentation

中国是用煤大国,每年的煤炭消耗量占全世界煤炭消耗总量的 31%,在一次性能源消耗结构中,有 80% 的煤用于直接燃烧<sup>[1-3]</sup>.在矿井掘进和开采过程中,往往伴随着大量煤尘的产生,在一定条件下煤尘容易引起煤尘爆炸,且长期吸入呼吸性粉尘,矿工易患上尘肺病,因此煤尘严重影响矿工的生命健康安全<sup>[4,5]</sup>.

目前,通风除尘、煤层注水、喷雾降尘、化学除尘和个体防护等技术是我国粉尘防治常用技术<sup>[6]</sup>.喷雾降尘为使用范围最广的粉尘防治技术,据研究表明,喷雾降尘全尘降尘效率可达 75% 以上,但呼吸性粉尘

的降尘效率低于70%,低于国家标准<sup>[7,8]</sup>。为提高降尘效率,一些学者对煤尘润湿性做出了以下研究。李庆钊等<sup>[9]</sup>对矿井粉尘的分形特征及其表面润湿性能进行了研究,发现细化煤尘表现为较强的疏水性;董平<sup>[10]</sup>等研究了超细微粉尘表面的润湿性,不同变质程度的超细煤粉表面当粒度发生变化时,都变成了超强疏水表面;杨静等<sup>[11]</sup>对粒径小于38  $\mu\text{m}$ 的煤尘润湿性进行研究,发现随着煤尘粒度的减小,煤尘表面的亲水性变弱,疏水性增强。但矿井下煤尘粒度分布范围更广,除了细微粉尘外,还有细尘与粗尘。因此本文在前人基础上,就不同粒径煤尘的润湿性展开研究,分析粒径对煤尘润湿性的影响,为提高矿井喷雾降尘能力提供参考依据。

## 1 实验样品及实验方案

### 1.1 实验样品

实验选用湖南兴源煤矿的无烟煤。将煤样通过球磨机破碎成粉末状,再分别经由100,120,150,180,200目的标准筛进行分筛,取5组不同粒径的煤粉作为实验煤粉,按照煤粉过筛网的先后顺序,用ls13320激光粒度仪分析其粒径分布,具体粒径分布如表1所示。

表1 煤粉粒径分布

煤样编号	$D_{10}$	$D_{50}$	$D_{90}$	S.D.
1	81.82	170.5	285.7	2.317
2	83.19	147.1	215.1	2.038
3	78.35	126.9	183.8	1.649
4	64.04	112.4	164.5	2.100
5	8.67	63.8	142.5	3.139

注: $D_{50}$ 为中位径,即表示小于此粒径的颗粒体积占全部颗粒总体积的50%;S.D.为相对尺寸范围,描述雾滴尺寸的分散程度

### 1.2 实验方案

1)煤表面接触角测定:采用CA100B接触角测量仪(如图1a所示),产自上海盈诺精密仪器有限公司,使用成型煤粉测量接触角<sup>[12]</sup>,在5组煤粉中各取0.5g在40MPa压力下,分别在成型模具中加压1min,压制成表面光滑的煤片,测量煤片表面与液体的接触角。

2)煤尘沉降测定:采用标准比色管与固定支架作为实验平台(如图1b所示),在5组煤粉中分别称取1g煤粉,将比色管中加入等量清水,再将煤尘分别加入比色管中,记录煤尘由清水表面完全沉降到比色管底部的时间。

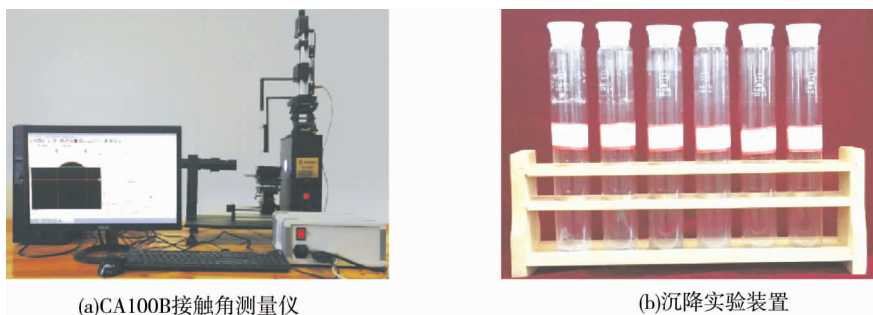


图1 实验仪器

3)煤尘反向渗透测定:利用毛细作用原理测量煤尘润湿性<sup>[12]</sup>,将5组等量煤尘加入毛细玻璃管中,再将玻璃管固定在实验装置上保持玻璃管处于相同高度,用滤纸固定玻璃管下部,在实验装置的水槽中加入超过玻璃管底部1mm的清水,观察清水在玻璃管中的渗透速度,记录在相同高度时渗透所消耗的时间。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 接触角与煤样粒径规律

本实验使用的煤片由5种不同粒径煤尘压制而成,因此煤片具有不同的性质。为描述和评价接触角与

煤尘粒径的联系,需选择粒径的主要分布来衡量煤尘粒径的大小.粒径的  $D_{50}$  为中位径,即表示小于此粒径的颗粒体积占全部颗粒总体积的 50%,可直观的表现煤尘粒径的分布,因此本实验主要以  $D_{50}$  为标准,研究煤尘粒径对煤尘润湿性影响的规律.

液滴接触固体物质表面,在气-固-液三者之间形成的交界处,固-液界面与气-液界面的夹角就是接触角,接触角是最能体现煤表面润湿性的表征方法<sup>[13]</sup>.不同固体表面润湿性受其本身性质决定,煤在破碎过程中,由于一系列的物理和化学反应,不同粒径的煤尘亲水性差异较大,因此不同粒径所压制成的煤片表面与液滴的接触角不同,亲水性越强,接触角越小,反之则越大.接触角越小,越能体现出煤片表面的润湿性能较强,接触角越大,则体现出煤片表面润湿性能较差.具体的接触角测量结果如图 2 所示.

由图 2 可知,液滴在煤片表面的接触角随着煤样粒径的减小呈上升趋势, $D_{50}$  为  $170.5 \mu\text{m}$  的煤尘所制成的煤片与液滴接触角为  $7.45^\circ$ ,比较于  $D_{50}$  为  $63.8 \mu\text{m}$  的煤尘所制成的煤片与液滴的接触角由  $23.68^\circ$  上升  $16.23^\circ$ ,接触角变化明显,且液滴在煤样 1 所制成的煤片上停留时间极短,液滴几乎在 1 s 内完全渗透进入煤片,而液滴在煤样 5 所制成的煤片上停留较长时间,渗透速度慢.

根据接触角的变化趋势和煤样粒径的不同,可以大致推断出,同一种煤在机械破碎后,不同粒径的煤尘亲水性不同,粒径越小的煤尘亲水性越差,具体表现为在一定条件下所制成的煤片与液体的接触角随着煤样粒径增大而逐渐变小,相比较于大粒径的煤尘所制成的煤片,粒径小的煤样所制成的煤片在测量接触角时角度明显变大,因此通过该实验可知,煤片与液滴的接触角随着煤尘的粒径变小而变大,煤尘的润湿性随粒径的增大而变强.

## 2.2 煤尘粒径对沉降的影响

喷雾降尘技术主要是雾滴与粉尘颗粒的碰撞捕集和凝结沉降,因此煤尘能否有效的被雾滴捕集,进入液滴后能否有效沉降十分重要<sup>[14]</sup>.沉降实验主要测量在相同高度下的煤尘由液体表面沉降到液面下的速度,因煤尘的灰分与固定碳含量不同,所以不同煤尘的亲水性差异较大,沉降速度可体现出煤尘润湿性的强弱,润湿性越好的煤尘,穿透液面的能力越强,润湿性越差的煤尘,穿透能力差,甚至可能停留在液体表面,形成悬浮的粉尘膜.因此煤尘在液体中沉降的速度越快,证明煤尘的润湿性越好,反之煤尘的润湿性越差.由于喷雾液滴的表面张力是随温度与液体性质不同而有很大差异,为能够准确的表现出沉降的实际能力,实验选择常温常压下的清水作为沉降溶液,其表面张力系数测定为  $0.073 \text{ N/m}$ .

图 3 为粉尘沉降时间.由图 3 可知,沉降时间随着煤样编号逐渐上升,即随着煤尘粒径的减小,沉降时间逐渐变长,当煤尘粒径  $D_{50}$  为  $112.4 \mu\text{m}$  时,沉降时间为  $17.11 \text{ s}$ ;  $D_{50}$  为  $63.8 \mu\text{m}$  时,沉降时间为  $54.37 \text{ s}$ .相比之下,沉降时间上升  $37.26 \text{ s}$ ,上升趋势明显,且当  $D_{50}$  为  $63.8 \mu\text{m}$  时,在沉降过程中煤尘始终有一部分悬浮在液体表面形成粉尘膜,搅动后也无明显变化,通过以上论述,可推断出煤尘的亲水性随着煤尘的粒径减小而逐渐降低,特别是当  $D_{50}$  由  $112.4 \mu\text{m}$  降低到  $63.8 \mu\text{m}$  时可知煤尘的润湿性显著降低.

## 2.3 毛细作用下的反渗透

反渗透主要利用毛细作用原理来测量煤尘的润湿性<sup>[12]</sup>.测量前将煤尘放入正空干燥箱进行干燥,以减小由于在空气中暴露时间过长而被水蒸气润湿的误差,同时也可以提升反渗透速度.测量时将等量的煤

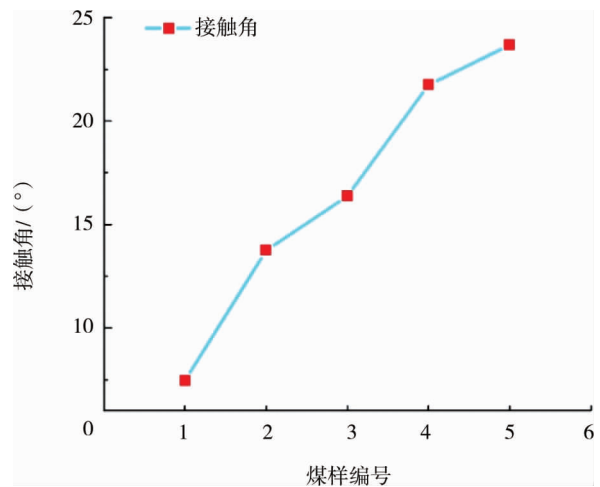


图 2 煤片表面接触角

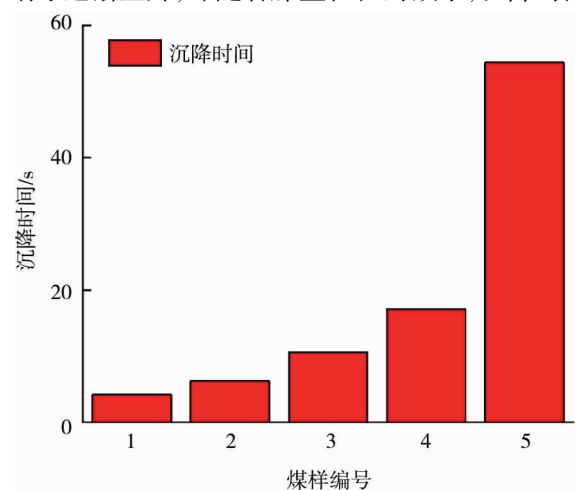


图 3 煤粉沉降时间

尘加入毛细玻璃管中,玻璃管下部用滤纸包裹浸泡在液体中,观测液体在玻璃管中的上升速度,由玻璃管下部接触液体时开始记时.在液体上升到相同的玻璃管内煤柱高度的基础上,液体上升的速度越快,煤尘的润湿性越强,反之则煤尘润湿性越差,本实验取5 cm煤柱高度观测液体上升速度,记录每上升1 cm的渗透时间,结果如表2所示.

表2 无烟煤反渗透速度

煤样编号	反渗透时间/s				
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
1	2.2	7.9	19.9	34.20	57.2
2	6.0	18.2	45.9	76.30	137.9
3	6.4	22.4	63.9	149.20	272.3
4	8.0	30.9	93.8	200.50	392.7
5	122.4	202.2	805.9	1 310.16	2 162.6

由表2可知,随着渗透高度的增加,每增加1 cm所消耗的时间呈几何增长,以1号煤样为例,0~1 cm渗透所消耗的时间为2.2 s,1~2 cm消耗时间为5.7 s,2~3 cm耗时12 s,3~4 cm耗时14.3 s,4~5 cm耗时23 s,渗透的越高,所消耗的时间越长,表明在毛细作用下水分子向上渗透的速度与渗透高度呈负相关.当渗透在同一高度时,渗透所消耗的时间随煤样的粒径不同而有很大的差距,煤样的 $D_{50}$ 为170.5  $\mu\text{m}$ 时,渗透到2 cm用时7.9 s,而当 $D_{50}$ 为147.1  $\mu\text{m}$ 时,渗透到2 cm用时18.2 s,对比之下上升了10.3 s,且随着 $D_{50}$ 不断减小,渗透所用时间更长,特别当 $D_{50}$ 为63.8  $\mu\text{m}$ 时渗透到2 cm的时间最长,为202.2 s,远大于 $D_{50}$ 为112.4  $\mu\text{m}$ 时的30.9 s,由此可知,随着煤尘的粒径减小,煤尘的润湿性降低,具体体现为煤尘的反渗透能力随着粒径的减小逐渐变弱.

### 3 结论

1) 煤尘的润湿性与煤尘的粒径相关联,煤尘的粒径越大,煤尘的润湿能力越强,反之煤尘的润湿能力越弱,因此煤尘粒径是影响湿式降尘效率的重要因素.

2) 在矿井日常粉尘防范中,需针对煤尘粒径分布进行分析,并尽量减小粒径较小煤尘的产生,以此提高降尘效率.

### 参考文献:

- [1] 黄文辉,唐修义.煤燃烧过程中微量元素的迁移和富集[J].中国煤田地质,2002(s1):76-88.
- [2] 侯聪,邵龙义,王静,等.燃煤排放可吸入颗粒物中微量元素的分布特征[J].煤炭学报,2016,41(3):760-768.
- [3] Zhang H F, Wang S X, Hao J M, et al. Chemical and size characterization of particles emitted from the burning of coal and wood in rural households in Guizhou, China[J]. Atmospheric Environment, 2012,51(5):94-99.
- [4] 宋富美,李季.我国煤矿尘肺病现状及预防对策研究[J].煤矿安全,2014,45(5):231-233.
- [5] 时训先,蒋仲安,周姝嫣,等.综采工作面粉尘分布规律的实验研究[J].煤炭学报,2008,33(10):1117-1121.
- [6] 程卫民,刘伟,聂文,等.煤矿采掘工作面粉尘防治技术及其发展趋势[J].山东科技大学学报(自然科学版),2010,29(4):77-82.
- [7] 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.
- [8] 王鹏飞,刘荣华,汤梦,等.煤矿井下高压喷雾雾化特性及其降尘效果实验研究[J].煤炭学报,2015,40(9):2124-2130.
- [9] 李庆钊,林柏泉,张军凯,等.矿井煤尘的分形特征及其表面润湿性能的影响[J].煤炭学报,2012,37(s1):138-142.
- [10] 董平,单忠健,李哲.超细煤粉表面润湿性的研究[J].煤炭学报,2004,29(3):346-349.
- [11] 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.
- [12] 解兴智,傅贵.煤润湿性测量方法的探讨[J].煤炭科学技术,2004,32(2):65-68.
- [13] 李骄阳,李凯琦.煤表面润湿性的影响因素[J].煤炭学报,2016,41(s2):448-453.
- [14] 马素平,寇子明.喷雾降尘机理的研究[J].煤炭学报,2005,30(3):297-300.