

Study on Preparation and Application Effect of High-Efficiency Wetting Type Dust Suppressant

Xin Jin^{1,2*}, Liusuo Wu^{1,2*#}, Peng Li^{1,2}, Zhenfu Ju^{1,2}, Zeqiang Xu^{1,2}, Ji Liu^{1,2}, Zhuo Wang^{1,2}, Shishuai Zhang^{1,2}

¹Nari Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing Jiangsu

²Beijing Nari Yihe Environmental Technology Corporation, Beijing

Email: #liusuowu@iccas.ac.cn

Received: Jan. 30th, 2019; accepted: Feb. 18th, 2019; published: Feb. 25th, 2019

Abstract

The surface tension of various surfactants was systematically characterized. Based on this, the surfactant was compounded to obtain a dust suppressant with high wettability. The wetting properties of the dust suppressant samples with different surface tension and solid content were compared. The results show that the wetting properties of the dust suppressant are not only related to the surface tension, but also related to the solid content in the sample. The dust measurement results of the engineering application show that the spray dust suppressant has higher dust suppression efficiency than the spray water, and the dust suppressant is more effective in reducing the respiratory dust of fine particles.

Keywords

Wetting Type Dust Suppressant, Surfactant, Dust

高效润湿型抑尘剂的制备及应用效果研究

靳昕^{1,2*}, 吴刘锁^{1,2*#}, 李鹏^{1,2}, 鞠振福^{1,2}, 徐泽强^{1,2}, 刘吉^{1,2}, 王卓^{1,2}, 张世帅^{1,2}

¹南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院有限公司), 江苏 南京

²北京南瑞怡和环保科技有限公司, 北京

Email: #liusuowu@iccas.ac.cn

收稿日期: 2019年1月30日; 录用日期: 2019年2月18日; 发布日期: 2019年2月25日

*第一作者。

#通讯作者。

摘要

对多种表面活性剂的表面张力进行了系统性的表征, 依此为基础对非离子/离子型表面活性剂进行复配, 获得了具有高效润湿性能的抑尘剂。对比了不同表面张力和固形物含量抑尘剂样品的润湿性能, 结果表明, 抑尘剂的润湿性能不仅与表面张力有关, 还与样品中的固形物含量有关, 固形物含量越高, 润湿性能越好。工程应用测尘结果显示, 喷洒抑尘剂比喷水具有更高的抑尘效率, 抑尘剂在降低细小颗粒物的呼吸性粉尘方面更加有效。

关键词

润湿型抑尘剂, 表面活性剂, 粉尘

Copyright © 2019 by authors 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. 前言

随着社会经济的发展, 工业化和城市化进程的加快, 环境污染问题日益严重。其中的粉尘污染问题是世界性的难题, 对人类的危害也愈来愈严重。粉尘污染存在于几乎所有的工业及生产过程中, 如采矿、火力发电、采石场、石料加工、水泥厂、化工厂、钢铁加工厂等。通常情况下, 粉尘污染的防控是非常困难和昂贵的, 尤其是开放性和随机性的无组织的粉尘污染。无组织粉尘排放作为大气污染的主要来源之一, 对人们的居住环境和人身健康造成严重的危害, 近年来成为了治理的重点。在已有的粉尘防治技术中, 化学药剂抑尘技术因其效果快、抑尘效率高、适应性广而成逐渐成为了粉尘防治技术的一个重要方向。依据抑尘机理的不同, 化学抑尘剂可分为润湿型抑尘剂、粘结型抑尘剂、凝聚型抑尘剂和复合型抑尘剂四类[1]。润湿型抑尘剂通过具有润湿和渗透作用的表面活性剂, 大幅度降低水的表面张力, 提高水与粉尘颗粒之间的结合能力, 更加容易捕捉到粉尘颗粒, 从而达到抑尘的效果[2]。影响润湿型抑尘剂降尘效果的因素很多, 包括煤粉的种类[3]、物化性质、抑尘剂的浓度及类型等。因此, 需要对抑尘剂的结构及性能进行深入分析, 获得影响抑尘剂抑尘效率的规律性认识。本文通过对多种表面活性剂润湿性能的研究及复配, 制备出高效的润湿型抑尘剂, 分析影响抑尘剂对煤粉润湿性能的关键因素。通过工程应用, 测试喷洒抑尘剂对煤粉颗粒的抑尘效果, 为煤矿企业使用抑尘剂提供参考。

2. 实验部分

2.1. 实验原材料

十二烷基苯磺酸钠、脂肪醇聚氧乙烯醚类、壬酚基聚氧乙烯醚($n = 40, C_{14} \sim C_{18}$)、磺化琥珀酸二辛酯钠盐(快 T)、聚醚改性有机硅、氟碳类表面活性剂、聚乙二醇 PEG200、异丙醇、乙二醇、乙醇、去离子水等。剂名称及代号、类型如表 1 所示。

2.2. 试验仪器与耗材

试验所使用的主要仪器和耗材有: 电子分析天平、鼓风烘箱、表面张力仪、粉尘收集器、纤维滤膜、磁力搅拌器、煤粉、滤膜。

Table 1. Name, code and type of reagent used in the experiment
表 1. 实验用试剂名称、代号及类型

试剂名称	代号	类型
十二烷基苯磺酸钠	SDBS	阴离子
脂肪醇聚氧乙烯醚(C12~C14, n = 6)*	JFC	非离子
异辛醇聚氧乙烯醚, n = 6	JFC-E	非离子
脂肪醇聚氧乙烯醚(C12~C14, n = 9)	MOA-9	非离子
壬酚基聚氧乙烯醚	NP-40	非离子
磺化琥珀酸二辛酯钠盐	FT	阴离子
聚醚改性聚有机硅氧烷 500~1000 cp*	ET-101	非离子
聚醚改性聚有机硅氧烷 20 cp	ET-100	非离子
氟碳类表面活性剂	F-C	阴离子
聚乙二醇(分子量 200)	PEG	非离子

*C12~14 为脂肪醇聚氧乙烯醚中脂肪醇碳原子的数据为 12~14, 下同; cp 为粘度单位厘泊。

2.3. 抑尘剂的制备

1) 首先配制不同浓度的表面活性剂水溶液, 测试其表面张力, 得到各种不同表面活性剂物质的临界胶束浓度;

2) 将不同性质的表面活性剂及助剂进行复配, 采取正交法配制多种不同组分、不同浓度的润湿型抑尘剂配方。

2.4. 抑尘剂的性能测试

1) 表面张力测试: 采取 QBZY 系列全自动表面张力仪对表面活性剂和抑尘剂水溶液的表面张力进行测试, 上海方瑞仪器有限公司。

2) 粉尘沉降试验: 将干燥后的煤粉, 研磨至 200 目左右(75 μm), 将微量的煤粉 0.3~0.5 g 倒入到 100 ml 的溶液表面上, 记录煤粉沉降到液面以下经过的时间。

3) 抑尘效率测试: 依据 GB5748-85 《作业场所空气中粉尘测定方法》, 利用粉尘收集器在工程现场收集电厂翻车机翻煤过程中的扬尘, 分别收集原始、喷水和喷洒抑尘剂三种场景下的粉尘, 利用滤膜收集的粉尘质量差来计算不同场景下的粉尘浓度, 进而计算喷水和喷洒抑尘剂对煤粉的抑尘效率。

3. 结果与讨论

3.1. 不同表面活性剂的润湿性能

润湿型抑尘剂主要是依靠两亲性的表面活性剂降低水的表面张力(用符号 γ 表示), 进而润湿、渗透到粉尘颗粒的表面和内部, 使细小粉尘颗粒发生团聚而沉降[4]。因此, 表面活性剂水溶液的表面张力越低, 其对粉尘的润湿能力越强。当表面活性剂溶液浓度增大到一定值后, 体系的表面张力趋于平缓, 即体系存在一个表面张力变化的拐点, 该点所对应的浓度即为表面活性剂的临界胶束浓度(CMC), 也即是表面活性剂分子在水溶液中形成胶束的最低浓度[5]。

图 1 对比了 10 种不同类型表面活性剂水溶液的表面张力随浓度变化趋势, 由图中可以看出, 随着表面活性剂浓度的增加, 体系的表面张力逐渐降低, 均存在一个降低趋势的拐点, 即临界胶束浓度(CMC), 且每种表面活性剂的 CMC 有所差别。图 1 中的数据结果表明, 不同表面活性剂水溶液的表面张力数据为: PEG > NP-40 > JFC-E、JFC、MOA-9 > SDBS > ET-101 > FT > ET-100 > F-C, 这是由材料自身的结构

和性能所决定的。

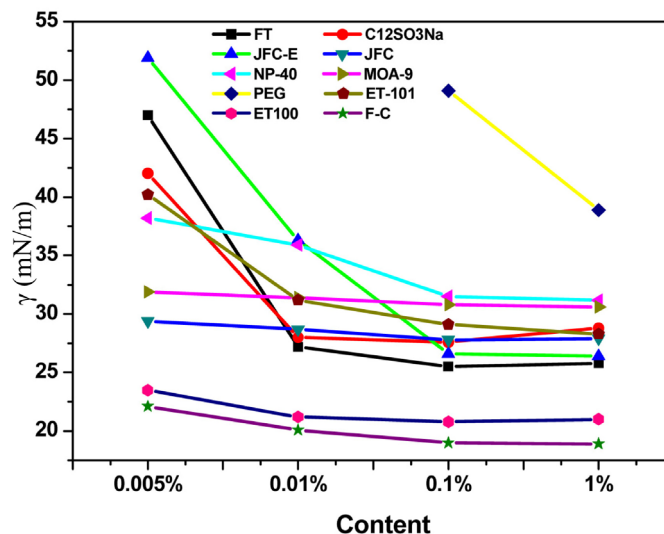


Figure 1. Surface tension curves of aqueous surfactant solutions with different concentrations

图 1. 不同浓度表面活性剂水溶液的表面张力曲线

此外,由图中数据可以看出,氟碳类表面活性剂(F-C)的表面张力最低,并且在极低的浓度下(50 ppm)其水溶液的表面张力为 22 mN/m 左右。这是由于氟碳类表面活性剂中,电负性强的氟原子取代了氢原子,氟碳链极性较低,疏水性较高,很容易在水面上形成单分子膜[6],因此,氟碳类表面活性剂在极低的浓度下便能显著降低水溶液的表面张力。不同表面活性剂的表面张力数据为开发润湿型抑尘剂配方、产品性能及成本优化奠定基础。

3.2. 润湿型抑尘剂优化

依据前面各种表面活性剂润湿性能的研究和分析,分别选取脂肪醇聚氧乙烯醚、壬酚基聚氧乙烯醚、十二烷基苯磺酸钠和高效的表面活性剂(氟碳类或有机硅类)作为基料,异丙醇、乙二醇和乙醇作为辅料,将它们按照一定的比例配制出 5 种配方的抑尘剂。

图 2 为制备的 3 种润湿型抑尘剂原液、稀释 600、800 和 1000 倍后的表面张力数据。由图中可以看出,1#、2#和 3#抑尘剂原液和稀释不同倍数的表面张力均低于 25 mN/m,这主要是由于产品配方中含有高效氟碳类或有机硅类表面活性剂的缘故。表 2 对比了自制的两种抑尘剂 1#、2#产品与国内外两种抑尘剂产品的润湿性能,结果表明,1#和 2#抑尘剂原液和稀释 600 倍后的表面张力和煤粉沉降时间均低于国内外的两种产品,在表 2 中的四种样品的表面张力越低,其润湿性能越好,煤粉在溶液的沉降时间越短。

抑尘剂的润湿性能和工程现场抑尘效率与表面张力有一定的关系[7],如上表 2 所示,但是并不是绝对的对等关系,这在很多抑尘剂文献中均有报道。为了进一步深入了解影响抑尘剂润湿性能的规律,本文对比了 3 种不同表面张力和固含量的抑尘剂产品,测试了煤粉在其中的沉降时间,如表 3 所示。通过对比 4#和 5#抑尘剂样品可以发现,虽然两种样品的原液和稀释 800 倍后的表面张力相近,均为 29 mN/m 左右,但是相同质量的煤粉在两种抑尘剂稀释液中的沉降时间却相差了近 11 秒,这与两种样品中固形物含量有关(32% vs. 27%)。由 4#和 5#原液及稀释 800 倍后抑尘剂水溶液的表面张力数据可以推断出,两种抑尘剂稀释 800 倍后,溶液中的表面活性剂浓度依然在临界胶束浓度之上。

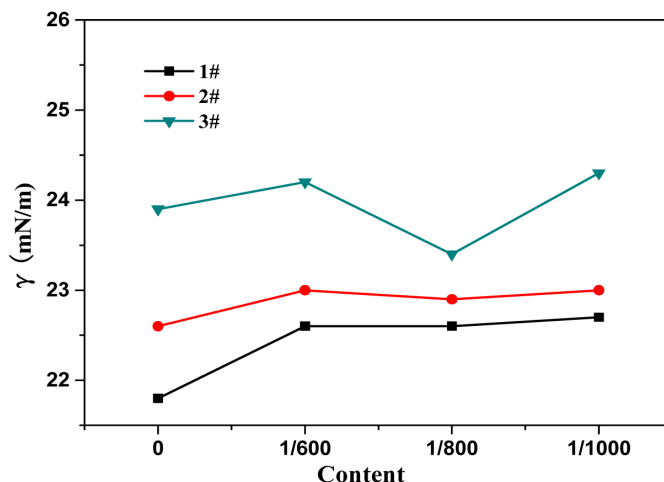


Figure 2. Data curve of surface tension of dust suppressant with different dilutions
图 2. 稀释不同浓度的抑尘剂表面张力数据曲线

Table 2. Comparison of wettability between self-made dust suppressor and domestic and foreign dust suppressor products
表 2. 自制抑尘剂与国内外抑尘剂产品的润湿性能对比

样品	表面张力(mN/m)			
	国外样品-1	国内样品-1	1#	2#
原液	27.6	25.7	21.8	22.6
1/600	28.1	26.8	22.6	23.0
煤粉沉降时间* (s)	—	~25	~5	~8

*试验采用静态的方式向稀释 600 倍后的抑尘剂水溶液中倒入一定量的煤粉，记录其沉降时间。

Table 3. Wettability data of dust suppressant
表 3. 抑尘剂润湿性能数据

样品	表面张力(mN/m)		
	4#	5#	3#
原液	29.6	29.9	23.9
1/800	29.9	29.9	23.4
煤粉沉降时间* (s)	~43	~54	~98
固形物含量/%	~32	~27	~20

*沉降时间为向稀释 800 倍后的抑尘剂水溶液中倒入一定量的煤粉，记录其沉降时间。

在临界胶束浓度之上，样品的表面张力不再进一步的降低，表面活性剂在水溶液中形成胶团[8]。与 5#样品相比，4#样品的固形物含量较高，因此在稀释 800 倍的水溶液中，4#样品中表面活性剂分子形成胶团的数量较多，煤粉在 4#溶液中沉降时，更容易受到表面活性剂胶团的润湿，沉降速度加快，沉降时间较短。对比 3#和 5#样品的固形物含量与煤粉沉降时间数据也可以看出，3#抑尘剂样品及其稀释液虽然具有较低的表面张力，但是煤粉在其稀释液的沉降时间达到了 98 秒左右，这与 3#样品中表面活性剂的固形物含量较低有关(20%)。综上表 3 中的数据对比可以发现，煤粉在抑尘剂稀释液的润湿性能不仅仅与表面张力有关[9]，还与样品中的固形物含量有很大关系。

3.3. 抑尘效率测试

为了检验研发的抑尘剂产品对煤粉的抑尘效果，需要在工程中测试喷洒抑尘剂前后粉尘浓度的变化，

进而计算抑尘剂的抑尘效率。选取某电厂翻车机翻煤处作为实验测试点，在相同位置、相同时间内利用粉尘收集器收集原尘、喷水(未加抑尘剂)和喷洒抑尘剂三种状态下的粉尘质量，进而计算粉尘的浓度。

表 4 为不同处理状态下的粉尘浓度及抑尘效率数据，由表中数据可以看出，不采取任何防尘措施时全尘浓度高达 240 mg/m^3 ，呼尘浓度也达到了 150 mg/m^3 以上。经过喷水处理后，粉尘浓度有一定程度的降低，但是在风口处的抑尘效率并不明显，全尘和呼尘的抑尘效率分别为 37.5% 和 34.4%。而经抑尘剂喷洒后，风口处的全尘和呼尘抑尘效率分别达到了 83.3% 和 88.5%，降尘效果明显。此外，还可以看出，抑尘剂对呼尘的抑尘效率要略高于全尘，这说明抑尘剂在抑制细小粉尘颗粒扬尘方面效果明显[10]。

Table 4. Dust concentration data and dust suppression efficiency under different conditions

表 4. 不同状态下粉尘浓度数据及抑尘效率

位置	不同状态下粉尘浓度/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$				
	原始粉尘浓度	喷水	抑尘效率/%	抑尘剂*	抑尘效率/%
全尘-风口处	240	150	37.5%	40	83.3%
呼尘-风口处	152.5	100	34.4%	17.5	88.5%
全尘-侧面	117.5	60	48.9%	52.5	55.3%
呼尘-侧面	87.5	17.5	80%	10	88.6%

*为稀释 800 倍后的抑尘剂水溶液进行喷洒。

对于扬尘侧面，由于扬尘主要是由翻车过程中的动能产生的空气对流产生的粉尘，粉尘颗粒相对较大，测尘点布置的位置较近，因此，无论是喷水或喷洒抑尘剂，侧面测得的全尘浓度均较高，抑尘效率在 50% 左右，而呼尘测试时滤网过滤掉颗粒较大的粉尘，测试的细小粉尘浓度均相对较低。

整体抑尘效率对比，喷洒抑尘剂比喷水对于煤粉的扬尘抑制作用要高出很多，抑尘效率提高了 1 倍以上，这主要是由于抑尘剂大幅度降低了水的表面张力，增加了水滴与粉尘颗粒的相互作用，润湿、渗透进而团聚颗粒而沉降[11]。

3.4. 抑尘效率测试条件

抑尘效率测试：依据 GB5748-85《作业场所空气中粉尘测定方法》，利用粉尘收集器在工程现场收集电厂翻车机翻煤过程中相同位置的扬尘，分别收集原始、喷水和喷洒抑尘剂三种场景下的粉尘，利用滤膜收集的粉尘质量差来计算不同场景下的粉尘浓度，进而计算喷水和喷洒抑尘剂对煤粉的抑尘效率。滤膜在称重前需要在 50°C 的烘箱内干燥 24 h。

4. 结论与展望

1) 配制了多种表面活性剂不同浓度样品，测试了各种样品的表面张力数据。在相同浓度下，各种表面活性剂溶液的表面张力数据趋势为：氟碳类表面活性剂 < 有机硅类表面活性剂 < 快 T < SDBS < JFC-E、JFC、MOA-9 < NP-40 < PEG。

2) 抑尘剂的润湿性能不仅与表面张力有关，还受抑尘剂浓度的影响。相近固形物含量情况下，表面张力越低，润湿性能越好；不同固形物含量情况下，抑尘剂固形物含量越高，润湿性能越好。

3) 工程现场测尘结果表明，只进行水喷雾抑尘效率较低，不能达到理想的降尘效果，使用抑尘剂后，抑尘效率达 80% 以上，较水喷雾而言，抑尘效率提高了 1 倍以上。此外，抑尘剂对降低呼吸性粉尘的捕捉效果比全尘明显。

4) 润湿型抑尘剂对降低水的表面张力有明显的效果，因此，可以润湿多种不同类型的粉尘，如煤粉、矿粉、灰尘、石棉、硅石粉、水泥粉等，可以推广应用至煤矿、钢铁、矿区、水泥等领域生产过程中的

动态扬尘治理。此外，与普通喷水相比，喷洒抑尘剂具有更高的抑尘效率，在节能、节水、环保等方面也有明显的提高。

参考文献

- [1] 马云龙. 化学抑尘剂的研究进展[J]. 民营科技, 2017(7): 72.
- [2] 蒋耀东, 张雪, 张雷, 等. 抑尘剂的研究应用现状及发展趋势[J]. 设备运维, 2017(10): 145-148.
- [3] 杜翠凤, 蒋仲安, 许彦. 粘结型抑尘剂抑制露天煤场扬尘的工业实验[J]. 金属矿山, 2005(3): 55-57.
- [4] 刘凤月, 朱红, 李伟. 煤炭运输用生态型抑尘剂的制备研[J]. 中国胶黏剂, 2007, 16(11): 33-35.
- [5] 王杰, 薄纯玲, 王淑钰, 等. 氨基酸型表面活性剂的进展[J]. 中国洗涤用品工业, 2018(6): 61-68.
- [6] 李永飞, 高鹏. 氟碳表面活性剂的合成及性能测定[J]. 精细石油化工进展, 2017(6): 17-18.
- [7] 苟尚旭, 刘荣华, 王鹏飞, 等. 表面活性剂对煤的润湿型影响[J]. 矿业工程研究, 2016, 31(4): 24-27.
- [8] 王伶俐. 表面活性剂的研究现状和未来发展走向[J]. 当代化工研究, 2018(11): 85-86.
- [9] 李凯崇, 杨柳, 蒋富强, 等. 改性木质素磺酸盐煤炭抑尘剂的制备与研究[J]. 环境工程, 2012, 30(1): 66-69.
- [10] 杨静, 王琨, 房孝敏. 新型煤尘抑制剂的研制与性能测试[J]. 煤矿安全, 2011, 42(8): 1-4.
- [11] 金龙哲, 杨继星, 欧盛南. 润湿型化学抑尘剂的试验研究[J]. 2007, 7(6): 109-112.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org