文章编号：1004-0609(2007)05-0830-06

粉尘湿润剂的性能测定新方法及其应用

吴 超，彭小兰，李 明，吴国珉

(中南大学 资源与安全工程学院，长沙 410083)

摘 要：介绍了一种粉尘湿润剂的性能测定方法。该方法是将一定质量的粉尘分散在制备好的湿润剂溶液中并搅匀，经过短时间的沉淀后，采用高精度激光粒度分析仪，测定悬浮在溶液中的粉尘粒径和分散度。结果表明：悬浮在溶液中的粉尘颗粒大小和分散度随着溶液中的湿润剂类型、湿润剂质量浓度和沉淀时间的不同而变化。因此，应用高精度激光粒度分析仪可以间接地研究粉尘湿润剂的性能，从而达到开发新的粉尘湿润剂的目的。以湖南某铅锌矿矿尘为研究对象，对粒径小于 20 μm 的微尘进行实验，证明了该测定方法的可行性，并获得一组抑制铅锌矿矿尘的湿润剂配方。

关键词：粉尘；湿润剂性能；激光粒度分析仪；测定方法

中图分类号：X 506; TD 714 **文献标识码**：A

New measuring method of dust wetting agent performances and its application

WU Chao, PENG Xiao-lan, LI Ming, WU Guo-min

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: A new measuring method of dust wetting agent performance was described. Firstly, a small quantity of fine dust is deposited in the preparatory wetting agent solution and disturbed in homogeneously. It is kept for a moment and some dust particles with rather large size have deposited. Then particle sizes and distribution of suspended dust in the solution are measured by a laser particle analyzer with high accuracy. By changing the type of wetting agents and their concentrations in solution but keeping other conditions constant, the particle size and distribution in the solutions are measured again and again with the same test method described above. The variations of particle sizes and distribution of dust suspended in the solutions will be known by the approach and these variations are caused by the changes of wetting agents and concentrations as well as the depositing time. Therefore, the high accuracy laser particle analyzer can be used to measure the dust wetting agent performances indirectly. The measuring method can be applied for inventing new dust wetting agents. Accordingly, some dust sample of concentrated lead-zinc mineral collected from a lead-zinc mine in Hunan province was used for this study. After conducting a great number of tests of measuring the dust particle sizes less than 20 μm, the invented measuring method is proved to be reliable. Also, the optimal compositions of wetting agents for suppressing the lead-zinc dust in the mine were obtained.

Key words: dust; wetting agent performance; laser particle size analyzer; measuring method

应用粉尘湿润剂是抑制粉尘污染的有效方法之一[1−21]，因而粉尘湿润剂性能的测定方法也显得十分重要。目前已有的粉尘湿润剂性能测定方法有：表面张力法、湿润角测定法、沉降法、滴液法、上向和下向毛细管渗透法、动力实验法等[1]。表面张力法直接测定湿润液的表面张力，其缺点是脱离了粉尘的特

基金项目：国家自然科学基金资助项目(50474050)；教育部博士点专项基金资助项目(20040533011)

收稿日期：2006-12-31；**修订日期**：2007-02-28

通讯作者：吴 超，教授；电话：0731-8876524；E-mail: wuchao@mail.csu.edu.cn

性；湿润角测定法是将湿润液滴在平面块状物(粉尘母体)上测量，块状物毕竟与微颗粒粉尘有很大区别；沉降法通过测定撒在溶液表面粉尘沉入溶液的时间，以分析湿润剂的性能，它仅适用于密度较小的憎水性粉尘，且不能同时分析湿润剂对不同粒级粉尘的湿润性能；滴液法为间接定性分析，它不能同时分析湿润剂对不同粒级粉尘的湿润性能；由于粉尘颗粒小、分散度大、比表面大，下向毛细管渗透法测定时会产生气泡、裂纹和断层等现象，影响实验精度；反向渗透法也不能分析湿润剂对不同粒级粉尘的湿润性能，测定精度不高。

众所周知，粉尘粒径越小，特别是粒径小于 10 μm 的粉尘，对人体危害越大，而恰恰是此类粉尘不易被水湿润。因此，开发微颗粒粉尘湿润剂的意义更大，而探索新的湿润剂性能测定方法将为湿润剂的开发提供技术支持。近年来，随着高精度激光粒度分析仪的研制成功和推广应用，为开发新的测定方法提供了条件[9]。在此，本文作者发明了一种应用高精度激光粒度分析仪测定湿润剂性能的新方法，从而为开发新的粉尘湿润剂提供技术支持。

1　测定原理

沉降实验是测定粉尘的亲水性或粉尘湿润剂性能的常规方法之一，它的实验方法是：将少量的尘样小心地撒在溶液的表面上，然后用秒表记录粉尘沉降到液面以下时的时间，该沉降时间用于度量粉尘湿润剂的性能和粉尘的湿润特征。但此方法仅适用于密度较小的憎水性粉尘(粉尘密度小，沉入液面的时间较长，才能有较高的测定精度)，并且只能间接定性分析，实验精度较低，不能分析湿润剂对不同分散度粉尘的湿润性能。

新发明的粉尘湿润剂性能测定原理是：将一定质量的粉尘分散在盛有制备好的湿润剂溶液中并搅匀，经过短时间的沉淀后(此时部分颗粒较大的粗尘已经沉降到容器的底部)，采用高精度激光粒度分析仪测定仍然悬浮在溶液中的微尘粒径和分散度。改变溶液中的湿润剂类型和浓度等因素，而其他条件保持不变，用同样的方法重复进行实验和测量，悬浮在溶液中的粉尘颗粒大小和分散度将有所变化，这种变化主要是由于溶液中的湿润剂和浓度的变化而引起的。因此，应用高精度激光粒度分析仪可以间接研究粉尘湿润剂的性能。具体做法是：将少量的粉尘样品仔细地分散在湿润剂溶液中并搅匀，接着用超声波振动 5 min 让粉尘完全分散，然后静置 3 min，让粉尘充分湿润，部分颗粒较大的粉尘沉降到容器底部，再将容器中悬浮有微尘的溶液的 3/4 倒入循环泵(操作时要避免沉降到容器底部的较大颗粒粉尘被倒入)，调节激光粒度分析仪测定溶液中微尘的各项参数，通过测出悬浮在溶液中的微尘的参数来反映粉尘湿润剂的性能和溶液与粉尘的耦合性。

激光粒度分析仪是本测定方法的关键仪器。本研究采用珠海欧美克科技有限公司生产的 LS−800 激光粒度分析仪。该仪器原理是利用颗粒对光的散射现象测量颗粒的粒度分布，采用激光作光源，用计算机分析和输出数据。该仪器测量速度快、重复性较好，对一般样品的重复误差小于 3%；粒度测量范围为 0.05~300 μm。

2　测定技术和微颗粒描述方法

这里简要介绍激光粒度仪的重要测试技术及其测试统计表里应用的几个描述微颗粒的概念。

1) 测量粒度时需要把样品分散在液体中，该液体称为悬浮介质。合适的悬浮介质应该是既能使样品在其中分散，又不使样品在其中发生分解或化学反应。

2) 粒度分布是指一个粉体样品中各种粒径的颗粒所占的比例，因为任何一个粉体样品都是由大小不同的颗粒组成的，所以用粒度分布才能准确地描述其粗细情况。这里选择的粒度分布是用微分分布曲线表示的。样品的粒度分布遵循一定的规律，这一规律就称为分布模式。在 LS−800 激光粒度分析仪中，将它分为单峰模式和多峰模式两种。前者适用于单峰情况，即粒度分布只有一个峰的情况，而且前者不易受噪声干扰，结果较稳定。为了更好对比，本实验都用单峰模式表示。

另外，LS−800 激光粒度分析仪还可以测定矿尘悬浮液的遮光比，由遮光比的大小也可以反映液体中的粉尘含量。

3) 粒径用以表征颗粒的大小。在本实验中，粒径是指与待测颗粒有相同光学性质并有最相近的光散射特性的球形颗粒的直径。

粒度分布可以比较完整、详尽地描述一个粉体样品的颗粒大小，但是由于它数据量较多，因而不能一目了然。为简明起见，用一些能代表样品粒度某些特征的参数来描述其粒度情况，这些参数称为特征粒径。激光粒度仪能分析的内容包括粒度分布表、粒度分布曲线、平均粒径、中位粒径、边界粒径和比表面积等。

① 平均粒径。指样品中所有颗粒的粒径的平均值，可以根据粒度分布计算而得。根据关注的侧重点不同，计算平均粒径时会采用不同的加权方法，从而得出不同的平均粒径，例如：质量平均粒径 $D(4,3)$ 等，表示粒径对质量的加权平均，称为质量平均粒径。

② 中位径($D50$)。表示样品中小于 $D50$ 和大于 $D50$ 的颗粒各占 50%。有时也用 $D50$ 代表样品的平均粒径。在大多数情况下，$D50$ 与 $D(4,3)$很接近。只有当样品的粒度分布出现严重的不对称时，$D50$ 与 $D(4,3)$才会出现显著不同。

③ 边界粒径。用来表示粒度分布的上、下边界的粒径，是用 2 个百分比粒径来表示下、上限。例如，($D10$、$D90$)和($D25$、$D75$)分别是两种下边界和上边界的表示方法。

3 实验

3.1 实验的粉尘湿润剂

粉尘湿润剂是用于提高水对粉尘的湿润能力和抑尘效果的一种化学药剂，它特别适合于疏水性的微细粉尘。通过查阅国内外有关化学抑尘方面的成果[1−21]，并结合课题组已做的研究工作和积累的经验[1, 10−12, 20−21]，本实验中选择的湿润剂基料为十二烷基硫酸钠(SDS)、十二烷基苯磺酸钠(SDBS)和水玻璃($Na_2SiO_3·9H_2O$)。

3.2 实验粉尘的制备及其测定

本实验的粉尘原样取自湖南某铅锌矿的精矿，以下简称“矿尘”。

3.2.1 矿尘的取样和制备

在矿尘的制备和分析中，必须保证所取试样具有代表性，即分析试样的组成能代表整批原样的平均组成。处理矿尘的过程包括过筛、混合、缩分及烘干。粉尘过筛的目的是剔除粗尘，以便适宜用高精度激光粒度分析仪测定。

3.2.2 矿尘的化学成分

对矿尘进行等离子体发射光谱分析，它的化学成分分析结果见表 1。由表 1 可知，样品的成分非常复杂，含 Zn 的量最大，含 S、Pb 和 Fe 也较丰富，均超过 10%。

表 1 矿尘的化学成分分析结果

Table 1 Chemical compositions of dust (mass fraction, %)

Zn	S	Pb	Fe	Ca
29.9	25.2	19.2	10.1	0.72
Cd	Mn	Al	Cu	Others
0.15	0.44	0.43	0.27	13.59

3.3 实验的条件和步骤

3.3.1 仪器

欧美克 LS−800 型激光粒度分析仪；KQ−250B 超声波清洗器；配制湿润液的各种仪器。

3.3.2 试剂

去离子水；SDS 溶液(质量分数)：0.4%、0.6%和 0.8%；水玻璃溶液：3%、6%和 9%；SDBS 溶液：0.2%、0.4%和 0.8%。

3.3.3 测试条件

根据 LS−800 激光粒度分析仪的使用要求，溶液中悬浮粉尘的质量浓度最佳范围为 0.25~0.3 g/L；温度：20~35 ℃(最好 25 ℃)，过高不利于分散；分散时间：2~5 min；泵速选择低速。

3.3.4 测试步骤

1) 粉尘取样。用小于 90 μm 的筛子筛取矿尘，然后称取 4 份矿尘，每份质量为 0.250 g。

2) 含尘湿润剂溶液配制。根据需要配制不同浓度的湿润剂溶液，将称好的粉尘撒落到溶液中搅匀。

3) 含尘溶液的振动和静置沉降。先用超声波振动 5 min，然后沉降 3 min。

4) 依据测试原理测试悬浮液粉尘粒径。测试悬浮溶液中上部的 3/4 溶液中的悬浮粉尘粒径。

4 结果与分析

测试悬浮溶液中粉尘的粒径越小，含尘量越低，说明粉尘基本都沉淀了，也表示湿润剂的性能越好。根据上述步骤，多次测试悬浮粉尘分散度的实验，对比实验代表性的矿尘湿润性能测定报告，代表性结果如图 1~3 和表 2~4 所示，其中 φ 为尘粒径百分数。湿润剂对粉尘的湿润性能是通过图中的悬浮矿尘平均粒径大小等参数来反映的。

由图 1 和表 2 可以看出：SDS 溶液中悬浮的矿尘平均粒径比水的要小得多，同时粉尘浓度也低得多，即 SDS 溶液比水对矿尘具有更好的湿润性能。0.2%的 SDS 溶液湿润效果远远不如 0.4%和 0.6%的，经过 0.2%的 SDS 溶液湿润后的粉尘上边界粒径仍然有 10 μm，与水的湿润效果差别不大。经 0.4%的 SDS 溶液

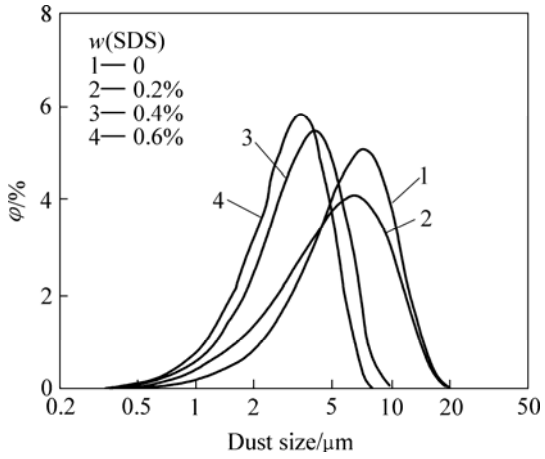

图 1　矿尘在不同浓度 SDS 湿润溶液中的悬浮粒径分布

Fig.1　Dust size distribution suspended in SDS solution with different concentrations

表 2　矿尘在不同浓度 SDS 湿润溶液中的悬浮特征粒径

Table 2　Various equivalent diameters of dust suspended in SDS solution with different concentrations (μm)

w(SDS)/%	D50	D10	D25	D75	D90	D(4, 3)
0	5.84	2.31	3.79	8.20	10.52	6.20
0.2	5.00	1.59	2.93	7.63	10.39	5.60
0.4	3.30	1.39	2.21	4.54	5.73	3.47
0.6	2.85	1.26	1.95	3.85	4.79	2.96

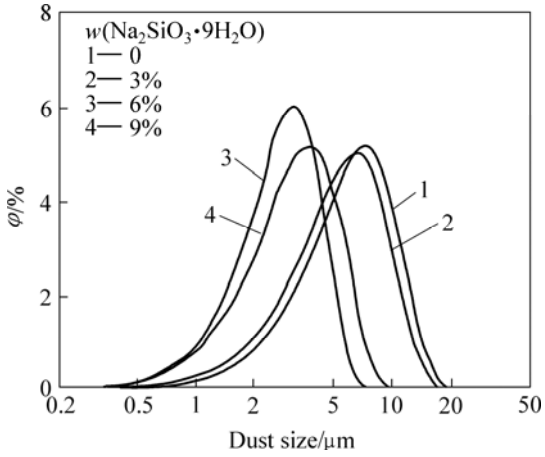

图 2　矿尘在不同浓度水玻璃湿润溶液中的悬浮粒径分布

Fig.2　Dust size distribution suspended in water glass solution with different concentrations

湿润的粉尘粒径有大幅度的下降，上边界粒径只有 5.73 μm，比水的要小 5 μm 左右，说明该溶液能够将 5.73~10.52 μm 的粉尘很好地湿润和沉降下来；中位径也从水中的 5.84 μm 下降到 3.30 μm。而 0.6%的 SDS 溶液的效果最好。

表 3　矿尘在不同浓度水玻璃湿润溶液中的悬浮特征粒径

Table 3　Various equivalent diameters of dust suspended in water glass solution with different concentrations (μm)

w(Na_2SiO_3·$9H_2O$)/%	D50	D10	D25	D75	D90	D(4, 3)
0	5.84	2.31	3.79	8.20	10.52	6.20
3	5.23	2.03	3.36	7.41	9.57	5.58
6	2.60	1.18	1.80	3.48	4.31	2.70
9	3.02	1.21	1.97	4.23	5.42	3.20

由图 2 和表 3 的平均粒径可以看出：测得的水玻璃溶液中悬浮的粉尘平均粒径比水中的要小得多，水中悬浮的矿尘平均粒径为 5.84 μm，而在 6%的水玻璃溶液悬浮的矿尘平均粒径为 2.60 μm，平均粒径大幅度减小，这也进一步说明水玻璃溶液湿润矿尘效果好。对于不同浓度的水玻璃溶液其湿润性能是不同的：经 3%的水玻璃溶液湿润沉淀后的悬浮的矿尘平均粒径仍有 5.23 μm，与水的情况差别很小；6%和 9%的水玻璃溶液都有明显的湿润降尘效果，以 6%的水玻璃溶液降尘效果最好。因此，综合湿润降尘效果和经济因素，选用 6%的水玻璃。

从图 3 和表 4 看出：SDBS 湿润溶液悬浮的粉尘粒径大部分集中在 2.5~5 μm，5~10 μm 的矿尘可以被 SDBS 溶液很好地湿润和沉降下来，这说明 SDBS 溶液比水的湿润性能要更好。在本实验中，0.4%的 SDBS 溶液的湿润效果最好。

由图 1~3 可以看出：3 种湿润剂适宜浓度的湿润效果都不错，90 μm 的粉尘经水湿润沉降后悬浮的矿尘粒径小于 20 μm，经湿润剂沉降后的粉尘粒径基本

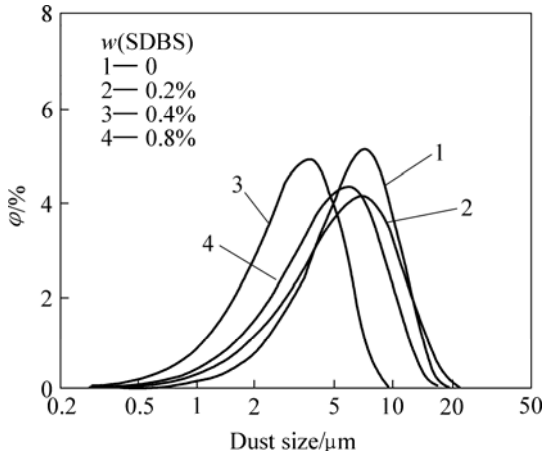

图 3　矿尘在不同浓度 SDBS 湿润溶液中的悬浮粒径分布

Fig.3　Dust size distribution suspended in SDBS solution with different concentrations

表 4 矿尘在不同浓度 SDBS 湿润溶液中的悬浮特征粒径

Table 4 Various equivalent diameters of dust suspended in SDBS solution with different concentrations (μm)

w(SDBS)/%	*D*50	*D*10	*D*25	*D*75	*D*90	*D*(4,3)
0	5.84	2.31	3.79	8.20	10.52	6.20
0.2	5.38	1.73	3.17	8.16	11.07	6.00
0.4	2.96	1.14	1.89	4.21	5.44	3.16
0.8	4.54	1.55	2.75	6.74	9.00	4.99

都小于 10 μm；水湿润沉降后悬浮矿尘粒径最多的也就是曲线峰值集中在 10 μm 左右，而经湿润溶液后的粉尘粒径基本都在 3 μm。

另外，对比统计水和湿润液沉降矿尘后悬浮液的遮光比，其数值都变小些，从激光粒度仪遮光比的原理可以得知，显然是粉尘的浓度变小了，说明湿润溶液比水具有更好的湿润性能。

5 结论

1) 该粉尘湿润剂性能测试新方法，适用于测定各种微细粉尘湿润剂的性能，可以达到定量分析湿润剂对不同粒度级别粉尘的作用效果，测定自动化程度高，数据可靠，适用范围广。

2) 对于细的铅锌矿尘，0.4%的 SDBS 溶液湿润效果最佳，另外 0.6%的 SDS 溶液和 6%的水玻璃溶液的湿润效果也较好。

REFERENCES

[1] 吴 超. 化学抑尘[M]. 长沙：中南大学出版社，2003.
WU Chao. Chemical suppression of dust[M]. Changsha: Central South University Press, 2003.

[2] Bertagna V, Erre R, Rouelle F, Chemia M, Petitdidier S, Levy D. Electrochemical study for the characterisation of wet silicon oxide surfaces[J]. Electrochimica Acta, 2001, 47(1): 129−136.

[3] Dutschk V, Breitzke B. Spreading characteristics of aqueous surfactant solutions on polymer surfaces[J]. Tenside, Surfactants, Detergents, 2005, 42(2): 82−87.

[4] Gillies G, Buscher K, Preuss M, Kappl M, Butt H J, Graf K. Contact angles and wetting behaviour of single micron-sized particles[J]. Journal of Physics Condensed Matter, 2005, 17(S9): 445−464.

[5] Kellay H, Binks B P, Hendrikx Y, Lee L T, Meunier J. Properties of surfactant monolayers in relation to microemulsion phase behaviour[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 1994, 49(S): 85−112.

[6] Rocha V G, Blanco C, Santamaria R, Diestre E I, Menendez R, Granda M. Pitch/coke wetting behaviour[J]. Fuel, 2005, 84(12/13): 1550−1556.

[7] Simons S J R, Rossetti D, Pagliai P, Ward R, Fitzpatrick S. The relationship between surface properties and binder performance in granulation[J]. Chemical Engineering Science, 2005, 60(14): 4055−4060.

[8] 刘 程，张万福. 表面活性剂产品大全[M]. 北京：化学工业出版社，1998.
LIU Cheng, ZHANG Wan-fu. Handbook of surfactant products[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 1998.

[9] 刘桂华，张玉敏. 激光粒度分析中粉体分散方法的研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2002, 25(5): 55−17.
LIU Gui-hua, ZHANG Yu-min. Study of powder diffusion method in laser analysis of particle size[J]. Material Science and Technology of Army Equipment, 2002, 25(5): 55−17.

[10] 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.
WU Chao, GU De-sheng. Investigation of improvement on wetting coal dust by anionic surfactant added sodium sulfate[J]. Journal of Safety and Environment, 2001, 1(2): 45−49.

[11] 吴 超，左治兴，欧家才，周 勃，李孜军. 不同实验装置测定粉尘湿润剂的湿润效果相关性研究[J]. 中国有色金属学报，2005, 15(10): 1612-1617.
WU Chao, ZUO Zhi-xing, OU Jia-cai, ZHOU Bo, LI Zi-jun. Relevance of wetting effects to dust by using various wetting devices in investigating wetting agents[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2005, 15(10): 1612−1617.

[12] 吴 超. 化学抑尘剂的基础研究及在矿山中的应用[J]. 矿业快报, 2001(12): 5−7.
WU Chao. Fundamental investigation of chemical dust suppressants and their applications in mines[J]. Mining Express, 2001(12): 5−7.

[13] 张华俊，刘 菲. 路面抑尘剂综述[J]. 劳动保护科学技术, 2000, 20(6): 40−42.
ZHANG Hua-jun, LIU Fei. Review of dust suppressants for roadways[J]. Science and Technology for Labor Protection, 2000, 20(6): 40−42.

[14] 彭兴文，柳建龙. 高效抑尘剂系列产品[J]. 中国科技成果, 2001(10): 39.
PENG Xing-wen, LIU Jian-long. Series products of high efficient dust suppressants[J]. Scientific Fruits of China, 2001(10): 39.

[15] 李 锦，柳建龙. 改良 MPS 型抑尘剂在料堆防尘中的实验研究[J]. 工业安全与防尘, 2000(1): 13−15.
LI Jin, LIU Jian-long. Experimental study of the improved MPS type dust suppressant in dust prevention of granular pile[J].

Industry Safety and Dust Prevention, 2000(1): 13−15.

[16] 杜翠凤, 蒋仲安. 干燥气候条件下采场路面抑尘技术的试验研究[J]. 有色金属: 矿山部分, 2004, 56(3): 41−43.
DU Cui-feng, JIANG Zhong-an. Experimental study of dust suppression technology of roadway in stope under drying climate conditions[J]. Nonferrous Metals: Mining Part, 2004, 56(3): 41−43.

[17] 王淀佐, 林　强. 选矿与冶金药剂分子设计[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996.
WANG Dian-zuo, LIN Qiang. Molecular design of agents for mineral processing and metallurgy[M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1996.

[18] 覃立香, 朱瑞红. CH 抑尘剂的性能与应用[J]. 中国职业安全卫生管理体系认证, 2001(6): 44−46.
QIN Li-xiang, ZHU Rui-hong. Behavior of CH type dust suppressant and its application[J]. Approved System of China Occupational Safety and Health Management, 2001(6): 44−46.

[19] 那　琼. 尾矿库干滩防尘抑尘剂的试验研究[J]. 金属矿山，2002(6): 45−46.
NA Qiong. Experimental study of dust depressant for dry tailings dam[J]. Metal Mines, 2002(6): 45−46.

[20] WU Chao, PENG Xiao-lan, WU Guo-min. Wetting agent investigation for controlling dust of lead-zinc ores[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2007, 17(1): 159−167.

[21] WU Chao, OU Jia-cai, ZHOU Bo. Coupling of anionic wetting agents to dust of sulfide ores by a dropping liquid method[J]. Journal of Central South University of Technology, 2005, 12(6): 737−741.

(编辑　杨幼平)