

煤矿复合抑尘剂的筛选及性能研究

韩高升, 杨 坤, 李化雪, 韩 浩

(山东科技大学 矿业与安全工程学院, 山东 青岛 266590)

摘 要:选取三种表面活性剂,通过单一添加和两两复配模式制备了六种煤尘湿润剂,研究了不同表面活性剂的表面张力和对煤尘沉降时间的影响,并通过模拟实验,分析了不同表面活性剂对降尘效果的影响。实验表明:随着表面活性剂浓度的增大,抑尘剂的表面张力和煤尘的沉降时间不断下降。其中,在浓度 $0\sim 0.1\%$ 范围内,抑尘剂的表面张力和煤尘的沉降时间下降较快,在 $0.1\%\sim 0.4\%$ 范围内变化不大。三种表面活性剂相比较,十二烷基苯磺酸钠(SDBS)和聚丙烯酰胺(PAM)复配,抑尘剂的表面张力和煤尘的沉降时间最小;SDBS和烷基糖苷(APG)复配,抑尘剂的表面张力和煤尘的沉降时间介于单因素表面活性剂(SDBS, PAM和APG)之间;PAM和APG复配,抑尘剂的表面张力和煤尘的沉降时间比单因素表面活性剂大。煤尘湿润剂的最佳方案是:在SDBS与PAM复配时,表面活性剂的表面张力最小,煤尘的沉降时间最短。

关键词:表面活性剂;表面张力;沉降时间;煤尘;湿润剂

中图分类号:TD714.1

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2015)05-0014-06

Screening and Property of Composite Dust Suppressant in Coal Mine

Han Gaosheng, Yang Kun, Li Huaxue, Han Hao

(College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Three kinds of surfactants were selected and through single addition and pair combination six types of coal dust wetting agents were prepared to study the surface tension of different surfactants and its effect on the settling time of coal dust. Through a series of simulation experiments, the dust suppression effects of different surfactants were analyzed. Experimental results show that with the increase of surfactant concentration, the surface tension of dust suppressant and the settling time of coal dust decrease. When the concentration is $0\sim 0.1\%$, the surface tension of dust suppressant and the settling time of coal dust decrease rapidly while when the concentration is $0.1\%\sim 0.4\%$, no obvious changes take place. By comparing the three kinds of surfactants, it was found that when SDBS was compounded with PAM, surface tension of dust suppressant and the settling time of coal dust is the minimum; when SDBS was compounded with APG, the surface tension of dust suppressant and the settling time of coal dust keep between single factor surfactants of SDBS, PAM and APG; when PAM was compounded with APG, the surface tension of dust suppressant and the settling time of coal dust are higher than any of the single factor surfactant. Thus, with the smallest surfactant surface tension and the minimum coal suppression time, when SDBS is compounded with PAM, the best coal dust wetting effect can be reached.

Key words: surfactant; surface tension; settling time; coal dust; wetting agent

收稿日期:2015-04-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51379119)

作者简介:韩高升(1989—),男,山东潍坊人,硕士研究生,主要从事工业通风与除尘技术研究。

杨 坤(1978—),女,河南新乡人,副教授,博士,主要从事工业通风与除尘技术研究,本文通信作者。

E-mail: kunyang11@163.com

煤尘污染空气,影响矿工身体健康。长期吸入矿尘会引起身体器官的病变,轻者引起呼吸道炎症、慢性中毒和皮肤病,重者可导致尘肺病。矿尘中的煤尘,有的还具有燃烧爆炸性,如在空气中达到一定浓度时遇明火会引起爆炸造成重大伤亡事故^[1-2]。降低煤尘的密度是防治这些问题的有效途径之一。表面活性剂能降低水的表面张力,促进对煤尘的润湿作用^[3-6]。国内外现有的抑尘剂,单因素抑尘剂居多,而复配的抑尘剂相对较少。常婷等^[7-8]研究了单因素表面活性剂的润湿性能,结果表明:在水溶液中添加表面活性剂后可以很好地降低表面张力,进而降低煤尘的飞扬,且表面张力越小润湿性能越好,抑尘效率比水高46%以上。唐红娇等^[9]对阴、非离子表面活性剂的性能进行了研究,结果表明:阴-非离子混合表面活性剂比各成分单独使用具有更好的驱油效率和耐温抗盐性能,而且能够改善体系的溶解性和长期热稳定性;崔正刚等^[10-11]对阴、阳离子表面活性剂的协同性能进行了研究,研究表明:阴-阳离子混合表面活性剂体系在表面张力降低效率、效能、混合胶束的形成及其增溶能力等方面的协同效应显著。本研究将阴离子表面活性剂、阳离子表面活性剂和非离子表面活性剂两两复配共六种湿润剂来研究试剂的表面张力和煤尘的沉降时间,旨在找出最佳的复配试剂,为煤矿降尘提供技术支持。

1 实验部分

1.1 样品的制备

1)实验用煤尘取自济宁的三层煤,研磨后过100目的标准筛作为实验样品(粒径为0.15 mm)。

2)将蒸馏水与十二烷基苯磺酸钠(sodium dodecyl benzene sulfonate, SDBS)、聚丙烯酰胺(poly acrylamide, PAM)、烷基糖苷(alkyl polyglycosides, APG)或SDBS/PAM、SDBS/APG、PAM/APG配成溶液,配比方案如表1所示。

1.2 复合抑尘剂的性能表征

1)采用JYW-200A自动表/界面张力仪,用吊片法常温下测试各种抑尘剂的表面张力。

2)采用沉降法测定不同抑尘剂溶液对煤尘的润湿时间。沉降法是将少量的煤尘倒在润湿液的表面上,用秒表记录煤尘沉降到液面以下的时间。在其他条件相同的情况下,煤尘沉降到液面以下所用时间越短,说明溶液的润湿性越好。

2 实验结果分析

2.1 单因素表面活性剂对湿润剂表面张力的影响

如图1所示,三种表面活性剂的表面张力随着其浓度的增大呈现不断减小的趋势。在表面活性剂浓度为

表1 表面活性剂的配比

Tab.1 The ratio of surfactant

No.	SDBS/g	PAM/g	APG/g	H ₂ O/g	浓度/%
1	0	0	0	100	0
2	0.02	0	0	99.98	0.02
3	0.04	0	0	99.96	0.04
4	0.10	0	0	99.90	0.10
5	0.20	0	0	99.80	0.20
6	0.40	0	0	99.60	0.40
7	0	0.02	0	99.98	0.02
8	0	0.04	0	99.96	0.04
9	0	0.10	0	99.90	0.10
10	0	0.20	0	99.80	0.20
11	0	0.40	0	99.60	0.40
12	0	0	0.02	99.98	0.02
13	0	0	0.04	99.96	0.04
14	0	0	0.10	99.90	0.10
15	0	0	0.20	99.80	0.20
16	0	0	0.40	99.60	0.40
17	0.01	0.01	0	99.98	0.02
18	0.02	0.02	0	99.96	0.04
19	0.05	0.05	0	99.90	0.10
20	0.10	0.10	0	99.80	0.20
21	0.20	0.20	0	99.60	0.40
22	0.01	0	0.01	99.98	0.02
23	0.02	0	0.02	99.96	0.04
24	0.05	0	0.05	99.90	0.10
25	0.10	0	0.10	99.80	0.20
26	0.20	0	0.20	99.60	0.40
27	0	0.01	0.01	99.98	0.02
28	0	0.02	0.02	99.96	0.04
29	0	0.05	0.05	99.90	0.10
30	0	0.10	0.10	99.80	0.20
31	0	0.20	0.20	99.60	0.40

0~0.1%范围内,溶液的表面张力下降较快,这是由于在0~0.1%范围内,表面活性剂的胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用较大。在表面活性剂浓度为0.1%~0.4%范围内,溶液的表面张力变化程度较小,基本维持在35 mN/m左右。原因在于:在浓度为0.1%时,表面活性剂的浓度达到临界胶束浓度,存在溶液中胶束、溶液中表面活性剂单个分子和吸附层中表面活性剂分子三者之间的平衡,溶液表面的吸附达到饱和,表面活性剂分子主要分布在溶液内部,对表面张力的影响大大减小。三种表面活性剂相比较,在浓度为0~0.1%范围内,APG溶液的表面张力最小,PAM溶液的表面张力最大,这是由于APG为非离子表面活性剂,没有离子电荷的排斥作用。徐英峰等^[12]发现非离子表面活性剂的润湿作用比阴离子表面活性剂好;刘程等^[13]也认为表面活性剂的亲油基链增长时,胶束聚集数增大,特别是非离子表面活性剂,增加的趋势更大。在浓度为0.2%~0.4%范围内,三种表面活性剂溶液的表面张力无明显变化。

2.2 复合表面活性剂对湿润剂表面张力的影响

如图2所示,三种复配表面活性剂的表面张力随浓度的增大而呈现不断减小的趋势。在表面活性剂浓度为0~0.1%时,溶液的表面张力下降较快,这是由于在0~0.1%范围内,复配表面活性剂的胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用也较大。在表面活性剂浓度为0.1%~0.4%时,溶液的表面张力变化程度较小,维持在30 mN/m左右,这是由于在0.1%~0.4%范围内,复配表面活性剂的胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用比浓度为0~0.1%的表面活性剂小。三种复配的表面活性剂相比较,在浓度为0~0.04%范围内,SDBS/APG复配溶液的表面张力最小,PAM/APG复配溶液的表面张力最大,表面活性剂浓度0.04%~0.4%时,SDBS/PAM复配溶液的表面张力最小,且减小的趋势最明显,这是由于SDBS/APG复配溶液比SDBS/PAM复配溶液更早达到临界胶束浓度。

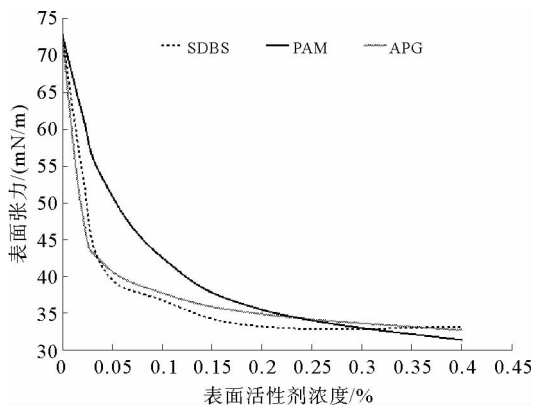


图 1 单因素表面活性剂表面张力

Fig. 1 Single factor surfactant surface tension

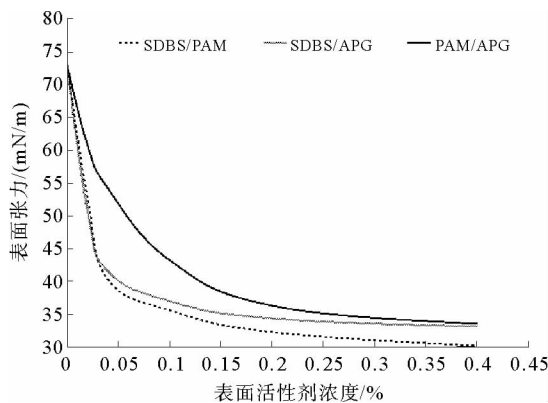


图 2 复合表面活性剂表面张力

Fig. 2 Composite surfactant surface tension

2.3 单因素表面活性剂与复合表面活性剂对湿润剂表面张力的影响

如图3所示,两类系列溶液的表面张力都随着浓度的增大而呈现不断减小的趋势。SDBS/PAM复配溶液的表面张力小于SDBS和PAM,这是由于阴离子表面活性剂(SDBS)和阳离子表面活性剂(PAM)在溶液中形成混合胶束时,不但没有单一表面活性剂离子间相同电荷的斥力,而且正负离子之间的引力促进了两种离子间的缔合,因此使混合胶束更加紧密,界面活性得到改善。SDBS/APG复配溶液的表面张力大小介于SDBS和APG之间,由于阴/非离子表面活性剂(APG)复配,其胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用介于单因素表面活性剂之间;APG/PAM复配溶液的表面张力大于APG和PAM,由于阳/非离子表面活性剂复配,其胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用比单因素表面活性剂小。离子型表面活性剂与非离子型表面活性剂形成混合胶束时,非离子表面活性剂分子减弱了带相同电荷的离子型表面活性剂之间的排斥作用,从而提高了混合表面活性剂的静电稳定性。其次是离子-偶极吸引相互作用。由于非离子型表面活性剂分子的亲水基具有极性,分子的正负电荷有一定的分离,通过偶极子对离子基团实现定向电吸

引作用,使得胶团表面的电荷密度减少,从而增强胶束和吸附层中分子间的相互作用力。

2.4 单因素表面活性剂对煤尘沉降时间的影响

图 4 表示三种表面活性剂对煤尘沉降时间的影响。可以看出煤尘的沉降时间随浓度的增大呈现不断减小的趋势。表面活性剂浓度为 0~0.1% 范围内,煤尘的沉降时间迅速下降,这是由于在 0~0.1% 范围内,表面活性剂的胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用较大,从而加速了煤尘的沉降;在表面活性剂浓度为 0.1%~0.4% 范围内,沉降时间的变化程度较小,维持在 100 s 左右,这是由于在浓度为 0.1% 时,表面活性剂的浓度达到临界胶束浓度,存在溶液中胶束、溶液中表面活性剂单个分子和吸附层中表面活性剂分子三者之间的平衡,溶液表面的吸附达到饱和,表面活性剂分子主要分布在溶液内部,对表面张力的影响大大减小,煤尘沉降时间的变化程度也相应变小。三种表面活性剂对煤尘沉降时间的影响无明显差异。

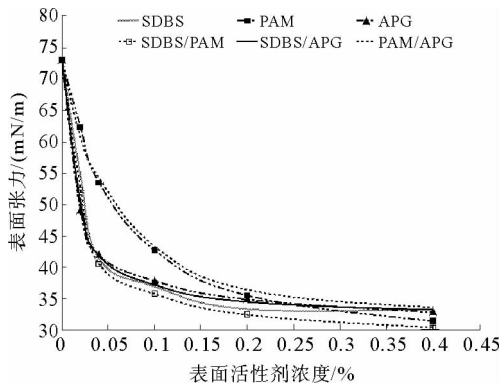


图 3 单因素表面活性剂与复合表面活性剂表面张力

Fig. 3 Single factor surfactant and compound surfactants surface tension

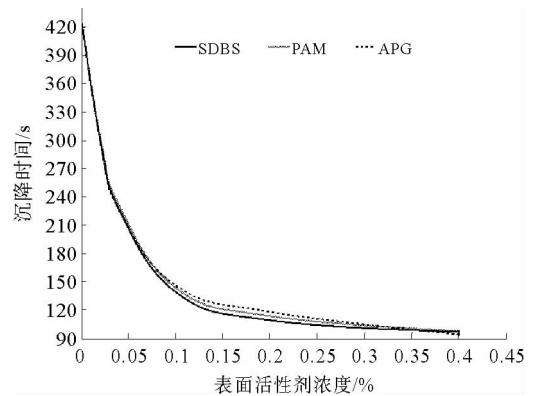


图 4 单因素表面活性剂对煤尘沉降时间的影响

Fig. 4 Effect of single factor surfactant on the settling time of coal dust

2.5 复合表面活性剂对煤尘沉降时间的影响

如图 5 所示,煤尘沉降时间随三种复配表面活性剂浓度的增大均呈现不断减小的趋势。表面活性剂浓度为 0~0.1% 范围内,溶液的沉降时间迅速下降,这是由于在 0~0.1% 范围内,复配表面活性剂的胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用较大,加速了煤尘的沉降;在表面活性剂浓度为 0.1%~0.4% 时,溶液沉降时间的变化程度较小,基本维持在 90 s 左右,这是由于在浓度为 0.1% 时,表面活性剂的浓度达到临界胶束浓度,存在溶液中胶束、溶液中表面活性剂单个分子和吸附层中表面活性剂分子三者之间的平衡,溶液表面的吸附达到饱和,表面活性剂分子主要分布在溶液内部,对表面张力的影响大大减小,即煤尘沉降时间也大大缩短。复配溶液的沉降时间相对较短,对煤尘的沉降效果较明显。

2.6 单因素表面活性剂与复合表面活性剂对煤尘沉降时间的影响

如图 6 所示,煤尘沉降时间随两类系列溶液浓度的增大呈现不断减小的趋势。SDBS/PAM 复配溶液作用的煤尘沉降时间比 SDBS 和 PAM 短,这是由于阴离子表面活性剂(SDBS)和阳离子表面活性剂(PAM)在溶液中形成混合胶束时,不但没有单一表面活性剂离子间相同电荷的斥力,而且正负离子之间的引力促进了两种离子间的缔合,因此使混合胶束更加紧密,界面活性得到改善,煤尘更易与阴-阳离子表面活性剂结合,沉降时间也相应的减小;SDBS/APG 复配溶液的沉降时间在 SDBS 和 APG 之间,由于阴/非离子表面活性剂复配,其胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用介于单因素表面活性剂之间;APG/PAM 复配溶液的沉降时间比 SDBS 和 PAM 的时间长,由于阳/非离子型表面活性剂复配,其胶束化生成能力及降低表面张力效能的增效作用比单因素表面活性剂小,即离子型表面活性剂与非离子型表面活性剂形成混合胶束时,非离子表面活性剂分子减弱了带相同电荷的离子型表面活性剂之间的排斥作用,从而提高了混合表面活性剂的静电稳定性。其次是离子-偶极吸引相互作用。由于非离子型表面活性剂分子的亲水基具有极性,

分子的正负电荷有一定的分离,通过偶极子对离子基团的定向实现电吸引作用,使得胶团表面的电荷密度减少,从而增强胶束和吸附层中的分子间的相互作用力。

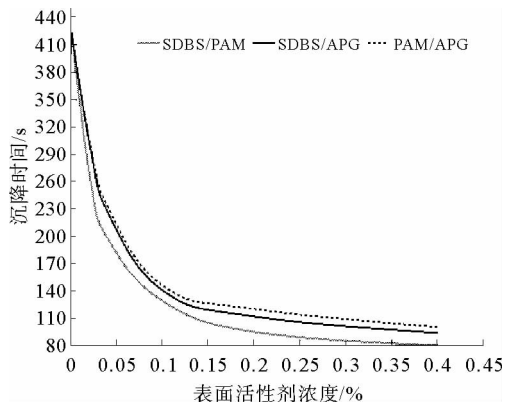


图 5 复合表面活性剂对煤尘沉降时间的影响
Fig. 5 Effect of composite surfactant on the coal dust settling time

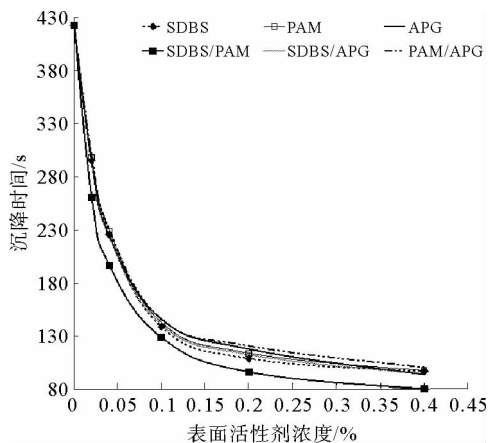


图 6 单因素表面活性剂与复合表面活性剂对沉降时间的影响
Fig. 6 Effect of single factor surfactant with compound surfactant on the coal dust settling time

2.7 模拟实验结果分析

如图 7 所示,一次喷洒六种表面活性剂后,煤尘飞扬量随着浓度的增大呈现不断减小的趋势。复配的三种表面活性剂浓度为 0~0.1% 时,煤尘飞扬量明显比单因素的表面活性剂小;浓度为 0.2%~0.4% 时,煤尘飞扬量变化程度较小,基本维持在 0.35 g 左右,这是由于溶液的表面张力变化程度较小。三种复配表面活性剂相比较,在浓度为 0~0.04% 范围内,SDBS/APG 复配溶液的表面张力最小,PAM/APG 复配溶液的表面张力最大,表面活性剂浓度 0.04%~0.4% 时,SDBS/PAM 复配溶液的表面张力最小,且减小的趋势最明显,这是由于 SDBS/PAM 溶液的表面张力最小。

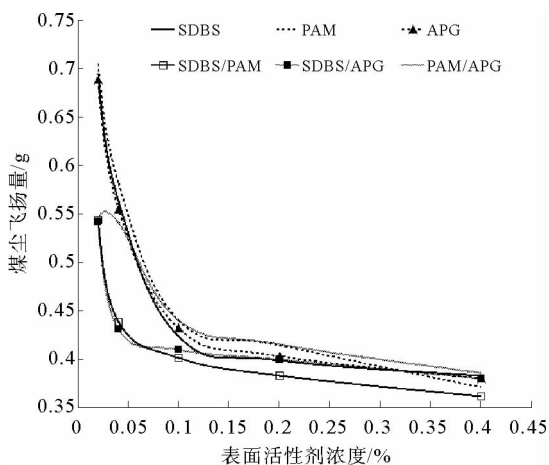


图 7 一次喷洒煤尘飞扬量

Fig. 7 A spraying dust float in the sky

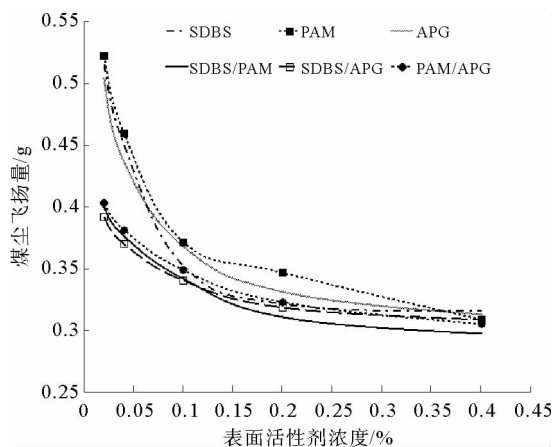


图 8 二次喷洒煤尘飞扬量

Fig. 8 Two spraying dust float in the sky

如图 8 所示,二次喷洒六种表面活性剂后,煤尘的飞扬量比一次喷洒的煤尘飞扬量小。在浓度为 0~0.1% 范围内,喷洒 SDBS/APG 溶液后煤尘飞扬量最小;在浓度为 0.2%~0.4% 范围内,喷洒 SDBS/PAM 溶液后煤尘飞扬量最小,基本维持在 0.3 g 左右,这与溶液的表面张力变化趋势相同。

3 结论

1)随着表面活性剂浓度的增大,表面活性剂的表面张力和煤尘的沉降时间不断减小。其中,在浓度0~0.1%范围内下降较快,在0.1%~0.4%范围内,抑尘剂的表面张力和沉降时间变化不大。随着表面活性剂浓度的增大,一次喷洒煤尘飞扬量和二次喷洒煤尘飞扬量呈现不断地减小的趋势,且二次喷洒明显比一次喷洒的效果好。

2)三种表面活性剂相比较,SDBS和PAM复配,抑尘剂的表面张力和煤尘的沉降时间最小;SDBS和APG复配,抑尘剂的表面张力和煤尘的沉降时间介于单因素表面活性剂之间;PAM和APG复配,抑尘剂的表面张力和煤尘的沉降时间比单因素表面活性剂大。煤尘湿润剂的最佳方案是在SDBS与PAM复配时,表面活性剂的表面张力最小,煤尘的沉降时间最短。

参考文献:

- [1]李润之.瓦斯爆炸诱导沉积煤尘爆炸的研究[D].重庆:煤炭总院重庆分院,2007:8-13.
- [2]司荣军.瓦斯煤尘爆炸研究现状及发展趋势[J].矿业安全与环保,2014,41(1):72-75.
Si Rongjun. Research status and development trend of gas and coal dust explosion[J]. Mining Safety and Environmental Protection,2014,41(1):72-75.
- [3]赵振保,杨晨,孙春燕,等.煤炭润湿性的实验研究[J].煤炭学报,2011,36(3):442-446.
Zhao Zhenbao, Yang Chen, Sun Chunyan, et al. Experimental study of coal dust wettability[J]. Journal of China Coal Society,2011,36(3):442-446.
- [4]孙银玉.煤炭润湿性研究及降尘剂复配方案[D].淮南:安徽理工大学,2014:3-14.
- [5]蒋海波,肖跃龙,赵妩.新型表面活性剂溶液对煤尘的润湿性能研究[J].中国安全生产科学技术,2013,9(6):11-15.
Jiang Haibo, Xiao Yuelong, Zhao Wu. Study on the wetting property of a novel surfactant solution on coal dust[J]. Journal of Safety Science and Technology,2013,9(6):11-15.
- [6]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.
Yang Jing, Tan Yunzhen, Wang Zhenhua, et al. Study on the coal dust surface characteristics and wetting mechanism[J]. Journal of China Coal Society,2007,32(7):737-740.
- [7]黄维刚,胡夫,刘楠琴.表面活性剂对煤尘湿润性能的影响研究[J].矿业安全与环保,2010,37(2):4-11.
Huang Weigang, Hu Fu, Liu Nanqin. Study on the effect of surfactants on the wettability of coal dust[J]. Mining Safety and Environmental Protection,2010,37(2):4-11.
- [8]常婷,程芳琴.表面活性剂在化学抑尘中的应用[J].科技情报开发与经济,2009,19(11):122-124.
Chang Ting, Cheng Fangqin. The application of the surfactants in chemical dust suppressants[J]. Sci-tech Information Development & Economy,2009,19(11):122-124.
- [9]唐红娇,侯吉瑞,赵凤兰,等.油田用非离子型及阴-非离子型表面活性剂的应用进展[J].油田化学,2011,28(1):115-118.
Tang Hongjiao, Hou Jirui, Zhao Fenglan, et al. Application progress of nonionic and anionic-nonionic surfactants used in oil field[J]. Oilfield Chemistry,2011,28(1):115-118.
- [10]崔正刚.阴离子/阳离子混合表面活性剂体系协同效应及其应用[J].日用化学品科学,1999(4):23-27.
Cui Zhenggang. The synergistic effects and application of anionic/cationic binary surfactant system[J]. Detergent & Cosmetics,1999(4):23-27.
- [11]王仲妮,邹志琛,周武,等.阴阳离子表面活性剂混合溶液的表面活性[J].山东师范大学学报:自然科学版,1995,10(1):101-109.
- [12]徐英峰,冯海明.对润湿剂润湿煤尘影响因素的研究[J].中国煤炭,2005,31(3):39-40.
- [13]刘程,李江华,刘博,等.表面活性剂应用手册[M].北京:化学工业出版社,2004:74-104.

(责任编辑:吕海亮)