

建筑粉尘抑制剂的制备及其应用

来水利, 国雅娜, 王晶晶

(陕西科技大学化学与化工学院, 陕西 西安 710021)

摘要:以羧甲基纤维素、丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸甲酯为原料,用溶液聚合法合成出一种具有黏结、润湿性能的成膜抑尘剂。经傅里叶红外光谱、X-射线衍射仪对制备的产物进行了结构表征。通过与市售黏结型抑尘剂进行比较,并对其润湿性、保水性、耐风蚀性、温度适应性进行测试。结果表明:合成的抑尘剂性能优于市售产品,当合成抑尘剂质量分数为3%时,黏度为16.70 mPa·s,粉尘渗透深度达3.4 cm,含水率为9.5%。在15 m/s的风力作用下,6 h后粉尘损失率仅为1.5%, -20~40℃变温条件下粉尘固结层完整无裂痕。

关键词:溶液聚合;黏结;润湿性;耐风蚀;温度适应性

中图分类号:X5

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2017)01-0079-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2017.01.018

Preparation and application of carboxymethyl cellulose grafting on BA/MMA dust suppressant

LAI Shui-li, GUO Ya-na, WANG Jing-jing

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: A kind of dust suppressant with good film-formation, adhesive and wetting properties is synthesized by solution polymerization of carboxymethyl cellulose, butyl acrylate and methyl methacrylate. The chemical structure and morphology of the obtained product are characterized by FT-IR spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction analysis (XRD). The wettability, water retention, wind erosion resistance and temperature adaptability of the binder are also tested. The results show that the synthetic dust suppressant has better performance than commercial products. The viscosity, depth of penetration and moisture content are 16.70 mPa·s, 3.43 cm and 9.5%, respectively. When the wind speed is 15 m/s, the dust loss rate is only 1.5% after 6 h, and the dust consolidation layer of dust surface is complete at the temperature of 20-40℃.

Key words: solution polymerization; bonding; wettability; wind erosion; temperature adaptability

建筑施工过程中产生大量的沙尘、扬尘,不仅造成空气质量下降,而且影响人体健康^[1-2]。因此,控制扬尘污染就成为城市化进程中提高空气质量的重要环节^[3-4]。目前抑制扬尘的主要方法有物理、生物和化学方法。物理方法(如加盖篷布)虽然简单,但影响城市景观^[5];生物方法(如植树造林)虽可有效抑尘,但周期长,成本大^[6]。相比之下,化学抑尘方便、高效,被认为是解决扬尘污染的最佳方法^[7-9]。郑向军等^[10]以钙镁络合物为主要组成物,外加助剂复配而成的抑尘剂虽然抑尘效果良好,但因其低降解性而未被广泛应用;付航航等^[11]利用泡沫降尘,但泡沫降尘设备的安装提高了成本;许玥等^[12]以海藻酸钠、氯化钙为原料制得快速成膜抑尘剂,其缺点是黏度低;许满贵等^[13]利用表面活性剂抑尘,虽然润湿性良好,但持久性差;徐召金等^[14]合

成的煤流抑尘剂虽然具有凝并性,但缺乏良好的成膜性。目前,抑尘剂的研究主要向多功能、生态型发展^[15-16]。鉴于此,笔者以羧甲基纤维素、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸丁酯为原料,加入辛癸基葡糖苷合成一种具有黏结性、润湿性的成膜抑尘剂。

1 实验部分

1.1 实验试剂与仪器

羧甲基纤维素(CMC)、丙酮,分析纯,国药集团化学试剂有限公司生产;甲基丙烯酸甲酯,分析纯,天津市登封化学有限公司生产;丙烯酸丁酯,分析纯,成都市科龙化工试剂厂生产;过硫酸铵,分析纯,天津市福晨化学试剂厂生产;亚硫酸氢钠,分析纯,天津市百世化工有限公司生产;氢氧化钠、无水乙醇、辛癸基葡糖苷,分析纯,天津科密欧化学试剂有

限公司生产。

傅里叶红外光谱仪(VECTOR-22),德国 Bruker 公司生产;扫描电子显微镜(JEOL JSM-6390A),日本电子株式会社生产;X-射线衍射仪(D/max-2200PC 型),日本理学电机株式会社生产;旋转黏度计,广州德天仪器有限公司生产;高低温交变箱,上海昶冠电子科技有限公司生产。

1.2 实验制备过程

取一定量 CMC 和 80 mL 去离子水加入到四口烧瓶,通氮气保护,搅拌溶解 CMC 至澄清透明状,用恒压滴液漏斗向反应器中加入部分过硫酸铵/亚硫酸氢钠氧化还原引发剂、丙烯酸丁酯(BA)、甲基丙烯酸甲酯(MMA)单体进行反应,出现乳白色泛蓝光现象后向反应器中缓慢滴加剩余量引发剂、BA、MMA,滴加完毕,保温反应 1 h 后加入一定量辛癸基葡糖苷搅拌,得抑尘剂乳液(以“S”型抑尘剂表示)。

将乳液冷却后转入烧杯,加入质量分数为 5% 的 NaOH 溶液至乳液不再析出沉淀。用乙醇洗涤碱性乳液至中性,抽滤得粗接枝产物,将滤饼溶于丙酮,加到索式提取器中回流分离 24 h 除去 CMC、单体、均聚物。抽滤,干燥,得纯接枝产物(以“CBM”表示)。

2 性能测试

2.1 抑尘剂黏度测试

抑尘剂黏度大小是其是否实用的重要指标。实验中,利用旋转黏度计分别测试了水、质量分数分别为 1.0%、2.0%、3.0%、4.0%、5.0% 的“S”型抑尘剂、市售黏结型抑尘剂(以“N”型抑尘剂表示)的黏度大小。

2.2 抑尘剂润湿性测试

抑尘剂对粉尘的润湿程度越大,渗透性就越强,反之,渗透性越差。取某建筑施工工地的粉尘,通过记录粉尘在水、不同质量分数的“S”型抑尘剂、“N”型抑尘剂中的沉降时间测试其润湿性。配制质量分数分别为 1.0%、2.0%、3.0%、4.0%、5.0% 的抑尘剂溶液,取 5.0 g 粉尘进行沉降,记录沉降时间(s)。

2.3 抑尘剂保水性测试

当粉尘含水率大于 4% 时,可起到抑尘作用^[17]。称取 50 g 完全烘干的煤尘 3 等份置于半径为 10 cm 的表面皿中,分别喷洒水、质量分数为 3.0% 的“S”型抑尘剂和质量分数为 2.0% 的“N”型抑尘剂(喷洒量均为 1.5 kg/m²),记质量为 W_1 ,于 25℃ 恒温箱中蒸散,每 4 h 称重 1 次,并记为 W_2 , $W_{水}$

为喷洒水后的粉尘质量,计算粉尘固结层含水率:

$$\eta = [(W_1 - W_2)/W_{水}] \times 100\% \quad (1)$$

2.4 抗风蚀性测试

选择 15 m/s 风速进行抗风蚀实验。按 2.3 中所述的方法制备 3 个相同样本,干燥,记录质量 $M_{前}$,用鼓风机水平吹扫粉尘固结层,每 30 min 记录 1 次质量 $M_{后}$,计算粉尘损失率:

$$\kappa = [(M_{后} - M_{前})/M_{前}] \times 100\% \quad (2)$$

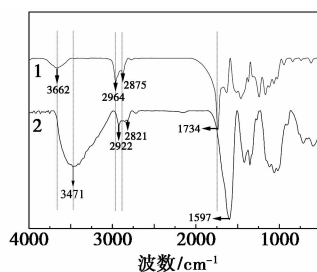
2.5 温度适应性测试

利用高低温交变箱分析温度变化对粉尘固结层的影响。按 2.3 中所述的方法制备 3 个相同样本,干燥,放到高低温交变箱中,设温度范围为 -20 ~ 60℃,平均升温速率为 2℃/h,期间观察并记录粉尘固化层表面现象。

3 结果与讨论

3.1 CBM 的红外光谱分析

CMC 与 CBM 的红外光谱图如图 1 所示。由图 1 中曲线 2 可以看出,3 471 cm⁻¹ 处宽而强的伸缩振动吸收峰为 CMC 糖环上—OH 吸收峰;2 922、2 821 cm⁻¹ 处是 C—H 伸缩振动吸收峰;1 597 cm⁻¹ 处的强吸收峰对应 CMC 羧酸羰基特征吸收峰。图 1 中曲线 1 中—OH 吸收峰强度明显弱于 CMC,原因是 CMC 中活泼羟基参与了接枝反应,2 964、2 875 cm⁻¹ 处吸收峰增强,原因是单体酯接枝到 CMC 上—CH₃、—CH₂ 的单元数增加,加之 1 734 cm⁻¹ 处酯羰基强吸收峰的出现,均表明接枝反应的有效进行。



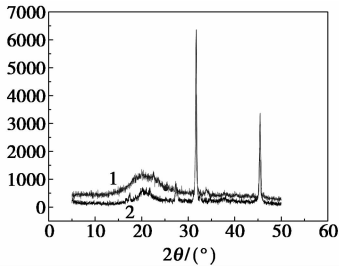
1—CMC;2—CBM

图 1 CMC 与 CBM 的红外光谱图

3.2 CBM 的 X-射线衍射分析

CBM 的 X-射线衍射分析如图 2 所示。由图 2 可以看出,CMC、CBM 虽在 $2\theta = 20、27、32、45^\circ$ 处出现相同峰位,但吸收峰强度却相差很大。CMC 结晶度为 48.63%,说明 CMC 的分子链排列相对规整,而接枝后产物的结晶度仅为 19.27%,原因是在 CMC 中的非晶区更容易发生反应,BA、MMA 单体的

引入使 CMC 非晶表面区的晶格遭到破坏,又由于单体的链增长反应往往发生在接枝反应以后,这种反应方式使得无定形区域所占比例增大,从而接枝产物的结晶度降低。



1—CMB;2—CMC

图2 CMC、CBM的X-衍射分析

3.3 抑尘剂黏度及渗透深度的测试

不同质量分数抑尘剂的黏度测试结果如表1所示。25℃时,水的黏度为0.89 mPa·s,“N”型抑尘剂、“S”型抑尘剂的黏度均随质量分数的增大而增大。对“N”型抑尘剂而言,其渗透深度先增大后减小,当 $w = 2.0\%$ 时,渗透深度最大为2.6 cm。“S”型抑尘剂在 $w = 5.0\%$ 时,渗透深度可达3.9 cm,其原因是加入的表面活性剂辛癸基葡糖苷对粉尘具有良好的润湿性。研究发现,当渗透深度达3.0 cm以上时,抑尘效果明显,考虑到成本因素,“S”型抑尘剂质量分数为3.0%时最佳。

表1 不同质量分数抑尘剂的黏度

w/%	黏度/(mPa·s)		渗透深度/cm	
	“S”抑尘剂	“N”抑尘剂	“S”抑尘剂	“N”抑尘剂
0	0.87	0.89	0.4	0.4
1.0	7.32	24.86	1.0	1.8
2.0	11.21	30.45	2.7	2.6
3.0	16.70	37.17	3.4	2.3
4.0	21.93	45.12	3.7	2.0
5.0	28.05	57.43	3.9	1.9

3.4 抑尘剂润湿性测试

不同质量分数抑尘剂对粉尘沉降时间如表2所示。由表2可以看出,水对粉尘的沉降时间最长;随着“N”型抑尘剂质量分数的升高,“N”型抑尘剂对粉尘的沉降时间先减小后稍有增大,当 $w = 2.0\%$ 时,粉尘311s沉降完全;随着“S”型抑尘剂质量分数的升高,“S”型抑尘剂对粉尘的沉降时间先迅速减小后缓慢的减小,当 $w = 3.0\%$ 时,粉尘沉降时间下降趋势最明显,为187 s,表明其对粉尘良好的润湿

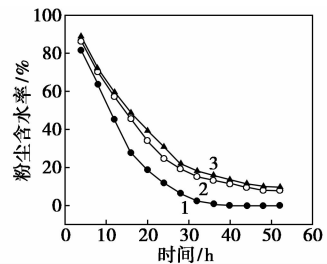
性能。

表2 不同质量分数抑尘剂对粉尘的沉降时间

研究对象	w/%				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
水	1482	1432	1466	1470	1451
“S”型抑尘剂	441	295	187	155	136
“N”型抑尘剂	634	311	359	392	420

3.5 抑尘剂保水性测试

抑尘剂保水性测试结果如图3所示。由图3可以看出,喷洒了水的粉尘40 h后粉尘含水率几乎为0.0%,喷洒了 $w = 2.0\%$ 的“N”型抑尘剂50 h后粉尘含水率为7.8%,而喷洒 $w = 3.0\%$ 的“S”型抑尘剂的粉尘含水率最高达9.5%,原因是“S”型抑尘剂的黏结性与润湿性相协同,渗透深度增大的同时粉尘固结层黏度也增大,所以含水率相对较高。

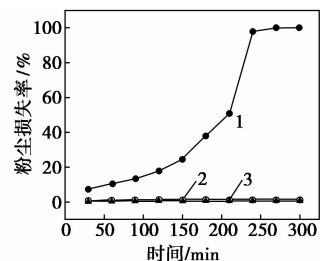


1—水;2—“N”型抑尘剂;3—“S”型抑尘剂

图3 粉尘含水率与时间关系

3.6 抗风蚀性测试

粉尘损失率与时间的关系如图4所示。由图4可以看出,在15 m/s风力作用下持续吹扫3.5 h后,喷洒水的粉尘损失率高达50.7%,而经过6 h后,喷洒了“N”型抑尘剂、“S”型抑尘剂的粉尘表面因黏结成膜粉尘损失仅为1.5%左右,表明“N”型抑尘剂、“S”型抑尘剂均具有良好的抗风蚀性。



1—水;2—“S”型抑尘剂;3—“N”型抑尘剂

图4 粉尘损失率与时间关系

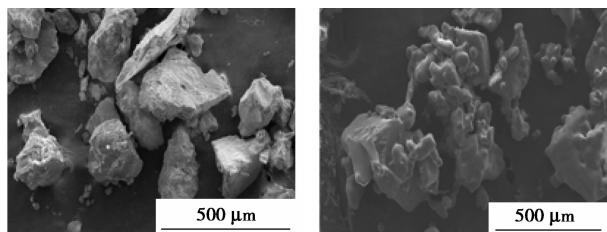
3.7 温度适应性测试

对粉尘固结层进行温度适应性测试,结果表明,

喷洒水后的粉尘经高低温变换,固结层失水分散;喷洒了“N”抑尘剂的粉尘固结层有裂痕,原因是表面固结层较硬;而喷洒了“S”型抑尘剂的粉尘形成完整固结层,具有良好的温度适应性。

3.8 扫描电镜(SEM)图分析

喷洒水、“N”抑尘剂、“S”抑尘剂的粉尘电镜图如图 5 所示。由图 5(a)可以看出,洒水的粉尘分布松散,无粘结。由图 5(b)可以看出,粉尘之间的黏结并不紧密。由图 5(c)可以看出,由于“S”型抑尘剂的良好黏结渗透作用,粉尘紧密黏结,起到了很好的抑尘效果。



(a) 水

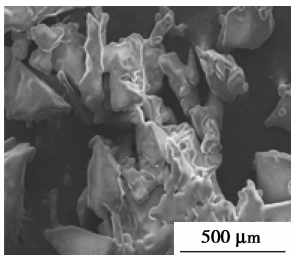
(b) $w = 2.0\%$ 的“N”型抑尘剂(c) $w = 3.0\%$ 的“S”型抑尘剂

图 5 洒水、“N”抑尘剂、“S”抑尘剂的粉尘电镜图

4 结论

(1) 利用溶液接枝聚合成功制备了抑尘剂,并通过红外光谱表征与 X-衍射分析证明了接枝反应有效进行。

(2) 以城市建筑工地粉尘为研究对象,通过水、市售“N”型抑尘剂、“S”型抑尘剂之间的对比,结果表明,“S”型抑尘剂性能相对更优良,具有一定的黏结性、润湿性、保水性。当 $w = 3.0\%$ 时,黏度为 $16.70 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,粉尘渗透深度可达 3.4 cm ,沉降时间仅为 187 s ,含水率为 9.5% 。

(3) 喷洒“S”型抑尘剂粉尘固结层抗风蚀性、温度适应性优良。 15 m/s 风力作用 6 h 后粉尘损失率仅为 1.5% , $-20 \sim 40^\circ\text{C}$ 变温箱中 40 h 粉尘固结层完整无裂痕。且在电镜图中可以看出粉尘紧密黏

结,具有良好的抑尘效果。

参考文献

- [1] Xiaodong L I, Shu S U, Huang T. Health damage assessment model for construction dust[J]. Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University, 2015, 55(1): 50 - 55.
- [2] Jiang Y, Hu X, Yves U J, *et al.* Status, source and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust of an industrial city, NW China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2014, 106: 11 - 18.
- [3] Shen Z, Sun J, Cao J, *et al.* Chemical profiles of urban fugitive dust PM2.5 samples in Northern Chinese cities[J]. Science of The Total Environment, 2016, 569: 619 - 626.
- [4] Wu Z, Zhang X, Wu M. Mitigating construction dust pollution: State of the art and the way forward[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112: 1658 - 1666.
- [5] 蒋涛, 白慧莉, 孙宇. 抑尘剂控制扬尘污染的研究——以西安市扬尘污染分析为例[J]. 绿色科技, 2013(10): 198 - 203.
- [6] Lee H, Honda Y, Lim Y H, *et al.* Effect of Asian dust storms on mortality in three Asian cities [J]. Atmospheric Environment, 2014, 89(2): 309 - 317.
- [7] 周亚萍, 李永强, 何仲虎. 抑尘剂的研究现状及发展新趋势[J]. 广州化工, 2015(7): 48 - 49.
- [8] Gérardin F, Midoux N. Attenuation of road dust emissions caused by industrial vehicle traffic[J]. Atmospheric Environment, 2016, 127: 46 - 54.
- [9] 陈高林, 王飞, 郭红光. 抑尘剂技术研究现状及发展趋势[J]. 煤炭技术, 2014, 33(11): 340 - 342.
- [10] 郑向军, 李晋生, 薛峰, 等. 新型环保道路抑尘剂在城市道路的应用[J]. 环境工程技术学报, 2014, 4(2): 169 - 172.
- [11] 付航航, 耶毅刚, 翼晓飞. 泡沫降尘技术在胡家河煤矿的应用[J]. 陕西煤炭, 2015, 34(1): 111 - 113.
- [12] 许玥, 熊峰. 建筑施工现场快速成膜抑尘剂的研制[J]. 安全与环境工程, 2015, 22(4): 94 - 98.
- [13] 许满贵, 魏攀, 何鹏程, 等. 表面活性剂降尘效果试验研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(3): 139 - 142.
- [14] 徐召金, 木松, 马磊, 等. 新型煤流抑尘剂的研究与应用[J]. 环境科技, 2016, 29(1): 28 - 31.
- [15] Weatherman G, Cash M. Composition and method of dust suppression wetting agents: US, 20160089625[P]. 2016 - 03 - 31.
- [16] Amato F, Escrig A, Sanfelix V, *et al.* Effects of water and CMA in mitigating industrial road dust resuspension[J]. Atmospheric Environment, 2016, 131: 334 - 340.
- [17] 马强, 王梅. 建筑工地扬尘抑制剂的制备与研究[J]. 工业安全与环保, 2014(8): 61 - 63. ■