



文章栏目：大气污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.202003008

中图分类号 X701

文献标识码 A

王林凯, 郭红霞, 秦建平, 等. 风蚀扬尘抑尘剂制备及其抑尘效果[J]. 环境工程学报, 2020, 14(12): 3460-3467.

WANG Linkai, GUO Hongxia, QIN Jianping, et al. Preparation and dust suppression effect of wind erosion dust suppressant[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(12): 3460-3467.

## 风蚀扬尘抑尘剂制备及其抑尘效果

王林凯<sup>1</sup>, 郭红霞<sup>1,\*</sup>, 秦建平<sup>2</sup>, 黄玉虎<sup>2</sup>, 李贝贝<sup>2</sup>

1. 北京工业大学材料科学与工程学院, 北京 100124

2. 北京市环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037

第一作者: 王林凯(1993—), 男, 硕士研究生。研究方向: 扬尘污染防治。E-mail: wanglinkai0727@163.com

\*通信作者: 郭红霞(1969—), 女, 博士, 研究员。研究方向: 无机有机复合材料。E-mail: hxguo@bjut.edu.cn

**摘要** 我国表征风蚀扬尘抑尘剂抑尘效果的性能指标尚不系统, 大部分抑尘剂的制备材料和制备工艺相对复杂。在抑尘剂性能指标研究的基础上增加抑尘有效期评价指标, 以成膜剂、渗透剂为原料, 采用复配工艺制备 A 抑尘剂, 将其与采用复杂聚合反应制备的 B 抑尘剂以及水进行抑尘效果比较测试。结果表明: 黏度、抗压强度、表面张力、渗透性、抑尘效率和抑尘有效期等指标可以很好地表征风蚀扬尘抑尘剂的抑尘效果; A、B 抑尘剂的性能基本相当, 且明显优于水, 简单复配工艺与复杂聚合反应相比具有一定优势; A、B 抑尘剂的初始抑尘效率分别为 99.6% 和 99.8%, 远高于水的初始抑尘效率(84.1%), B 抑尘剂喷洒 75 d 后仍具有较高的抑尘效率(97.3%), 抑尘有效期可达 2 个月, 而水的抑尘效率下降至 40% 左右。在上述研究的基础上, 建议后续开展抑尘剂在不同环境要素中的友好性指标研究, 如生物可降解性和对蚯蚓、淡水鱼的急性毒性等。

**关键词** 风蚀扬尘; 抑尘剂; 性能指标; 抑尘有效期

2018 年, 全国 338 个城市以细颗粒物 ( $PM_{2.5}$ ) 为首要污染物的天数占重度及以上污染天数的 60.0%, 以可吸入颗粒物 ( $PM_{10}$ ) 为首要污染物的占 37.2%, 在不扣除沙尘影响的情况下,  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  平均浓度分别为  $41 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $78 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 分别比 2017 年下降 6.8% 和 2.5%<sup>[1]</sup>。北方城市面临的颗粒物污染问题尤其严重<sup>[2]</sup>。扬尘源是城市大气颗粒物的主要来源之一<sup>[3]</sup>, 扬尘源包括施工扬尘、道路扬尘、土壤扬尘和堆场扬尘。风蚀扬尘又是施工场地内最难治理的排放环节, 赵秀勇等<sup>[4]</sup>指出, 风蚀扬尘占施工扬尘的 16%。洒水和防尘网是目前常用的风蚀扬尘防治措施, 但是均有不足之处。如洒水虽然抑尘效率较高, 但是抑尘效果持续时间短, 且容易造成水资源浪费; 防尘网可应用场合较多, 可反复利用, 但因网目密度普遍不高、覆盖不完整导致抑尘效率不高, 且可能造成土壤污染<sup>[5]</sup>。风蚀扬尘抑尘剂指利用天然或人工合成化学品的黏结力将粉尘黏结起来, 在易扬尘物料表面形成稳定层的物质, 抑制风蚀扬尘排放。抑尘剂能一定程度解决洒水和防尘网等抑尘措施存在的问题, 虽然也面临着二次污染的质疑, 但是抑尘剂的制备、评价及应用开始逐渐受到关注<sup>[6-21]</sup>。

风蚀扬尘抑尘剂的制备材料与工艺多种多样。郑云海等<sup>[8]</sup>研究了一种基于表面活性剂的施工扬尘抑尘剂。王永慧等<sup>[9]</sup>以聚多元醇为单体, 过硫酸铵为引发剂, 氢氧化铝为交联剂, 丙三醇为

收稿日期: 2020-03-02; 录用日期: 2020-05-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFF0211804)

塑化剂，在微波反应器中制备聚多元醇接枝纤维素基甘蔗渣抑尘剂。梁文俊等<sup>[10]</sup>以秸秆、淀粉、碱为主要原料，制备了一种环境友好型煤尘抑制剂，在 5~6 级风速下，抑尘效率接近 100%。蒋耀东等<sup>[11]</sup>利用脲酶诱导碳酸钙沉淀的方法研制了脲酶抑制剂。苏璐璐等<sup>[12]</sup>利用丙烯酸、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸丁酯和苯乙烯，通过幂级加料方式合成了水性聚合物抑尘剂，用于稳定澳洲铁矿粉，铁矿粉露天堆场  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  的 24 h 控制效率分别达到 75.0% 和 80.95%。马强<sup>[13]</sup>利用木质素磺酸钙和丙烯酰胺接枝共聚合成了用于控制施工扬尘的抑尘剂。许玥等<sup>[14]</sup>利用海藻酸钠、氯化钙等研制了一种可在施工场地快速成膜的环境友好型抑尘剂，抑尘效率可达 99.4%。刘若萱等<sup>[15]</sup>利用腐殖酸、田菁胶等研制了一种用于裸露地面绿化的腐植酸结壳抑尘剂。王益民等<sup>[16]</sup>利用甘油、聚多元醇、丙烯酸、过硫酸钾改性复配得到抑尘剂。

虽然市场上或实验室层面的风蚀扬尘抑尘剂较多，但我国没有统一的测试标准及方法，只能借鉴《铁路煤炭运输抑尘剂技术条件 第 1 部分：抑尘剂》(TB/T 3210.1-2009) 中的方法，这也造成了抑尘剂评价的混乱。因此，如何有效地测试风蚀扬尘抑尘剂性能已经成为亟待解决的问题。对风蚀扬尘抑尘剂性能的表征有多种角度和方法。表征抑尘剂结壳性能的指标有黏度、抗压强度、抗风蚀性能等；表征抑尘剂润湿性能的指标有表面张力、降尘时间、渗透深度等。李敏等<sup>[17]</sup>指出，经抑尘剂固化后的抗雨蚀性能是影响抑尘剂使用时效性的关键因素之一。秦建平<sup>[18]</sup>使用便携式风洞 (PI-SWERL) 测试风蚀扬尘抑尘剂效率，研究喷洒方式、稀释倍数和风速对抑尘效率的影响，该方法可以科学地选择抑尘剂最佳成本效益对应的稀释倍数。李颖泉等<sup>[19]</sup>对合成的速溶型抑尘剂进行了乳液性能、抑尘性能、腐蚀性和毒性测试。

综上所述，风蚀扬尘抑尘剂的制备材料都比较多，制备工艺多数为接枝等复杂聚合反应，只有少数为复配等简单工艺。国内相关文献提出的风蚀扬尘抑尘剂性能指标尚不系统。本研究以成膜剂和渗透剂为材料采用复配工艺制备 A 风蚀扬尘抑尘剂，与国产某公司采用聚合工艺制备的 B 抑尘剂进行比较，在借鉴 TB/T 3210.1-2009 和相关文献提出的性能指标及测试方法基础上，增加了抑尘有效期这一影响抑尘剂使用成本的重要指标，对 A 和 B 抑尘剂进行对比测试，以期对风蚀扬尘抑尘剂制备与评价提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验材料包括纤维素衍生物、聚多元醇、表面活性剂。

### 1.2 成膜剂的选择

成膜剂要求有较好的黏性与成膜性，本研究选用纤维素衍生物和聚多元醇组成的成膜剂。纤维素衍生物主要影响抑尘剂的黏度。配制一系列质量分数梯度的纤维素衍生物溶液并测试其黏度，其变化情况如图 1 所示。

TB/T 3210.1-2009 要求抑尘剂黏度  $>5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。由图 1 可以看出，抑尘剂的黏度随纤维素衍生物质量分数升高而升高，当纤维素衍生物质量分数为 0.10% 时，抑尘剂的动力黏度为  $20.2 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。这与王永慧等<sup>[9]</sup>制备的甘蔗渣抑尘剂运动黏度 ( $23.95 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ) 接近。运动黏度为动力黏度与同温度下液体密度之比，当抑尘剂密

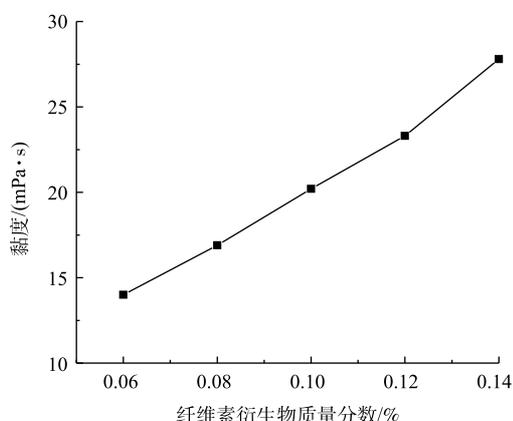


图 1 抑尘剂黏度随纤维素衍生物质量分数的变化  
Fig. 1 Change of viscosity of dust suppressant with cellulose derivative mass fraction

度接近于1时,运动黏度与动力黏度基本相当。抑尘剂的抗压强度、抗风蚀强度均好于市售抑尘剂,综合考虑添加聚多元醇及稀释抑尘剂成品对黏度的影响,确定纤维素衍生物质量分数为0.10%。

聚多元醇成膜性好,它与纤维素衍生物的混合溶液不仅可以使土壤表面的粉尘凝聚,还能使凝聚的粉尘在更大面积上成膜。在纤维素衍生物质量分数为0.10%的条件下,配置一系列质量分数梯度的聚多元醇混合溶液,喷洒到所取的土样中,待其完全干燥后测试土样的抗压强度。土样的抗压强度随聚多元醇质量分数的变化情况如图2所示。可以看出,聚多元醇质量分数在1.5%以后,抗压强度保持相对平稳波动,从经济层面考虑,确定其质量分数为1.5%。

### 1.3 渗透剂的选择

抑尘剂需要借助渗透剂来提高润湿性与渗透性。抑尘剂的表面张力越小,其润湿性与渗透性越好。本研究选用常见的表面活性剂作为渗透剂。在成膜剂确定的情况下,配制一系列质量分数梯度的表面活性剂混合溶液,采用Wilhelmy盘法<sup>[20]</sup>测定溶液的表面张力,实验仪器为JK99C型全自动表界面张力测量仪。抑尘剂表面张力随表面活性剂质量分数的变化如图3所示。可以看出,抑尘剂的表面张力随表面活性剂质量分数的升高而降低。当表面活性剂质量分数为1.0%时,抑尘剂表面张力为 $22.7 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ,该浓度已接近表面活性剂的临界胶束质量分数。继续增加表面活性剂的质量分数,其表面张力虽有所降低,但效果并不明显。因此,从抑尘剂的性能以及经济性考虑,确定表面活性剂的质量分数为1.0%。

综上所述,抑尘剂关键成分及质量分数为0.10%纤维素衍生物、1.5%聚多元醇和1.0%表面活性剂。本研究以复配的方式制备A风蚀扬尘抑尘剂。

### 1.4 实验仪器及性能指标的选择

风蚀扬尘抑尘剂性能指标测试所用实验仪器有数字风速仪、指针式推拉力计、便携式风洞(PI-SWERL)、NDJ-8S旋转黏度计、JK99C全自动表界面张力测量仪。

本研究以A、B抑尘剂和水作比较,进行一系列性能指标测试,以表征抑尘剂的抑尘效果。A、B抑尘剂主要成分均为可降解的高分子有机物,喷洒在土壤上后,可形成稳定的固结层。

理化指标是风蚀扬尘抑尘剂的基础性能指标,在一定范围内理化指标越优异,抑尘剂的抑尘效率越高。前期通过理化测试可以初步判断抑尘剂的性能优劣,从而筛选出性能良好的抑尘剂。关于风蚀扬尘抑尘剂的理化测试指标较多,本研究基于测试原理、必要性及操作简便性等因素,测试了抑尘剂和水的黏度、抗压强度、表面张力及渗透性。

1) 黏度是抑尘剂的重要参数,过大或过小都会对抑尘剂性能造成不利影响<sup>[21]</sup>。适当的黏度会

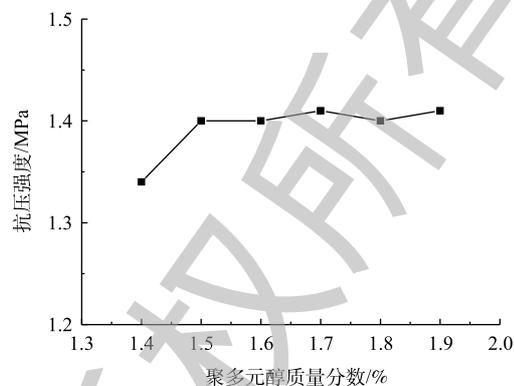


图2 抗压强度随聚多元醇质量分数的变化  
Fig. 2 Change of compressive strength with polyvinyl alcohol mass fraction

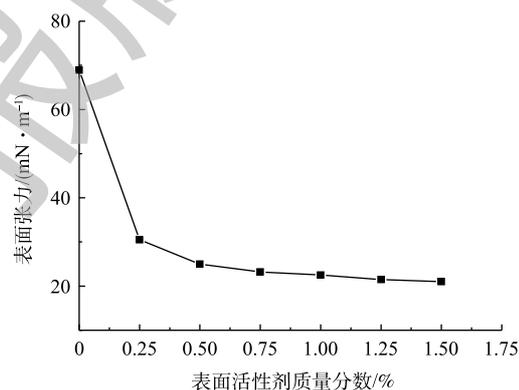


图3 表面张力随表面活性剂质量分数的变化  
Fig. 3 Change of surface tension with surfactant mass fraction

使粉尘小颗粒间彼此粘连，起到良好的抑尘效果<sup>[22]</sup>。

2) 抗压强度反映出抑尘剂喷洒到土样上结壳的效果。将托盘(长×宽×高为 48 cm×32 cm×5 cm)用土样均匀填平，将抑尘剂均匀喷洒到土样表面，待其完全干燥后，用压力计测试距离较远的 3 个点的表面抗压强度并取平均值，得到抑尘剂的抗压强度。

3) 抑尘剂的表面张力可决定其在粉尘上的伸展程度<sup>[19]</sup>。为实现抑尘剂溶液对粉尘的有效润湿，要求抑尘剂的表面张力尽量低。渗透性是表面张力性能的直观体现，可以通过渗透深度来表征。取 3 个相同的试管，填入相同高度的土样并振荡夯实，将抑尘剂均匀滴入试管，每隔一定时间观察抑尘剂渗透深度，直至抑尘剂不再向下渗透，用直尺测量其渗透深度，并取平均值。

抑尘效率是评价风蚀扬尘抑尘剂的重要指标，国外使用便携式风洞(PI-SWERL)来测试抑尘剂的抑尘效率<sup>[23]</sup>。PI-SWERL 可以模拟风在不同等级下的剪切力，最高可模拟到 17.2 m·s<sup>-1</sup>(相当于 8 级风)，它能对颗粒物浓度进行实时监测并测试出土壤表面的颗粒物累计排放潜势。秦建平<sup>[18]</sup>利用 PI-SWERL 对比测试了国内外 2 种抑尘剂对风蚀扬尘 PM<sub>2.5</sub> 的抑制效率。对实验现场表层 2.5 cm 的土壤进行平整以备测试，采用梅花布点法在实验现场选取 6 个点位，使用 PI-SWERL 测试评估实验现场 PM<sub>2.5</sub> 排放潜势的均匀性。在实验现场的土壤表面放置实验框(长×宽×高为 1.2 m×1.2 m×0.2 m)，在实验框内随机选取 3 个位置进行测试，计算平均值。将测试出的抑尘剂风蚀扬尘 PM<sub>2.5</sub> 累计排放潜势与未喷洒的裸地进行对比，计算抑尘剂的抑尘效率( $\eta$ )，计算方法如式(1)所示。

$$\eta = \frac{E_0 - E_1}{E_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $\eta$  为抑尘效率； $E_1$  为抑尘剂或水的 PM<sub>2.5</sub> 累计排放潜势，mg·m<sup>-2</sup>； $E_0$  为裸地的 PM<sub>2.5</sub> 累计排放潜势，mg·m<sup>-2</sup>。

抑尘有效期是指风蚀扬尘抑尘剂抑尘效率维持在一定数值的时间，这是一项影响抑尘剂使用成本的重要指标。已有研究<sup>[23]</sup>表明，风蚀扬尘抑尘剂在 2~3 个月之内可以保持显著抑尘效果，此后也还有一定抑尘效果。目前，国内这方面的研究较少。本研究按照抑尘效率测试中所述的方法，测试评估抑尘剂和水是否可以在 2 个月的抑尘有效期达到以上抑尘目标。对 B 抑尘剂和水所喷洒的裸地及空白裸地设置 3 组对比实验框，用以测试当天、1 个月后、2 个月后的抑尘效率，进而评价抑尘有效期。

## 2 结果与讨论

### 2.1 理化指标测试结果

对 A、B 抑尘剂和水进行黏度、抗压强度、表面张力与渗透性测试，A 抑尘剂按原液喷洒，B 抑尘剂按说明书稀释 25 倍后喷洒，抑尘剂和水的水喷洒量均为 3.0 L·m<sup>-2</sup>，结果如表 1 所示。可以看出，A 抑尘剂常温下黏度为 47.6 mPa·s，B 抑尘剂常温下黏度为 7.0 mPa·s，2 种抑尘剂的黏度都超过了水的黏度以及 TB/T 3210.1-2009 的要求(>5 mPa·s)，且能保持良好的流动性，同时固结层的稳定性较好。土样在喷洒 A、B 抑尘剂后抗压强度分别达到 1.40 MPa 和 1.33 MPa，远高于水的抗压强度(0.11 MPa)。2 种抑尘剂形成的固结层结构稳定，且高于对固沙强度的要求( $\geq 1.0$  MPa)<sup>[24]</sup>。A、B 抑尘剂表面张力分别为 23.2 mN·m<sup>-1</sup> 和 46.0 mN·m<sup>-1</sup>，远小于水的表面张力(72.0 mN·m<sup>-1</sup>)。A、B 抑尘剂的渗透性均高于水，说明其液体的流动性、润湿性较好，能形成厚度更大的稳定层，有利于提高抑尘效率。

表 1 理化指标测试结果

Table 1 Test results of physical and chemical index

抑尘剂	黏度/ (mPa·s)	抗压强度/ MPa	表面张力/ (mN·m <sup>-1</sup> )	渗透性/ mm
A抑尘剂	47.6	1.40	23.2	13.0
B抑尘剂	7.0	1.33	46.0	12.5
水	0	0.11	72.0	12.0

## 2.2 抑尘效率比较结果

采用 PI-SWERL 对 A、B 抑尘剂和水进行抑尘效率测试, 测试现场见图 4。为评价 A 抑尘剂的使用成本, 测试不同稀释倍数 (原液、稀释 5 倍、稀释 10 倍) 和  $3.0 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$  喷洒量时的抑尘效率。B 抑尘剂按照说明书要求的稀释倍数 (25 倍) 和喷洒量 ( $3.0 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 进行喷洒之后, 再喷洒  $3.0 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$  的水, 最终相当于稀释了 50 倍, 喷洒量为  $6.0 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ 。图 5 是裸地及喷洒水后的风蚀扬尘排放潜势, 图 6 是喷洒 A、B 抑尘剂后的风蚀扬尘排放潜势。PI-SWERL 不同转速与模拟风速对应关系如表 2 所示。

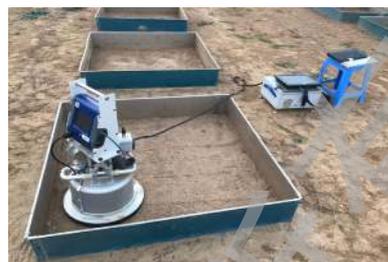


图 4 风蚀扬尘抑尘剂抑尘效率测试现场

Fig. 4 Test site of dust suppression efficiency of wind erosion dust suppressant

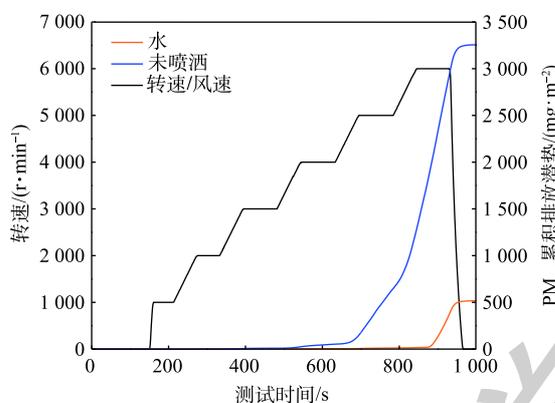


图 5 裸地及喷洒水后的风蚀扬尘排放潜势

Fig. 5 Potential of wind-erosion dust emission of bare land and sprayed water

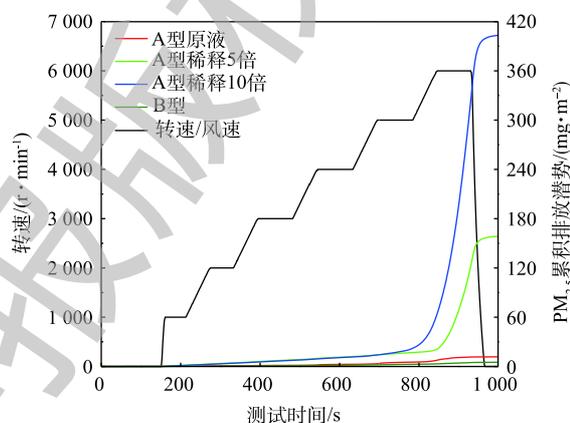


图 6 喷洒 A、B 抑尘剂后的风蚀扬尘排放潜势

Fig. 6 Potential of wind-erosion dust emission of sprayed A and B type dust suppressants

由图 5、图 6 和式 (1) 可知, 就整个风蚀过程而言, 抑尘效率由高到低排序为 B(99.8%)>A 原液 (99.6%)>A 稀释 5 倍 (95.1%)>A 稀释 10 倍 (87.6%)>水 (84.1%)。A、B 抑尘剂抑尘效率比较接近, A 抑尘剂的抑尘效率随着稀释倍数的增加而降低, 说明抑尘剂在稀释后润湿土壤、形成稳定层的能力降低。稀释 5 倍后 A 抑尘剂的抑尘效率 (95%) 仍高于水, 但稀释 10 倍后 A 抑尘剂的抑尘效率与水近似。在考虑抑尘剂使用成本的情况下, A 抑尘剂可以稀释 5 倍之后使用。

由表 3 可以看出, 在转速由  $5000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  增至  $6000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  的过程中, A、B 抑尘剂和水都保持较高的抑尘效率, 但水和稀释后的 A 抑尘剂的抑尘效率略有下降, 二者在土壤形成的结壳层未能经受住风洞转速为  $6000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  的持续风蚀作用, 排放了大量扬尘。

## 2.3 时间对抑尘效率的影响

由于 A 抑尘剂需要使用原液才能达到 B 抑尘剂稀释 50 倍后的抑尘效率, 并且 A 抑尘剂未商业化, 因此, 选择 B 抑尘剂进行为期 2 个月的有效期测试。有效期测试包括 3 个阶段: 第 1 阶段 (0 d) 结束后, 共有不连续的 11 d 有效

表 2 PI-SWERL 转速与风速对应关系

Table 2 Correlation between PI-SWERL rotating speeds and wind speeds

转速/ ( $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ )	摩擦风速/ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	10 m 高度处 自然风速/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	自然风力 等级
1 000	0.24	4.5	3
2 000	0.39	7.4	4
3 000	0.55	10.4	5
4 000	0.69	13.1	6
5 000	0.82	15.5	7
6 000	0.91	17.2	8
7 000	0.97	18.3	8

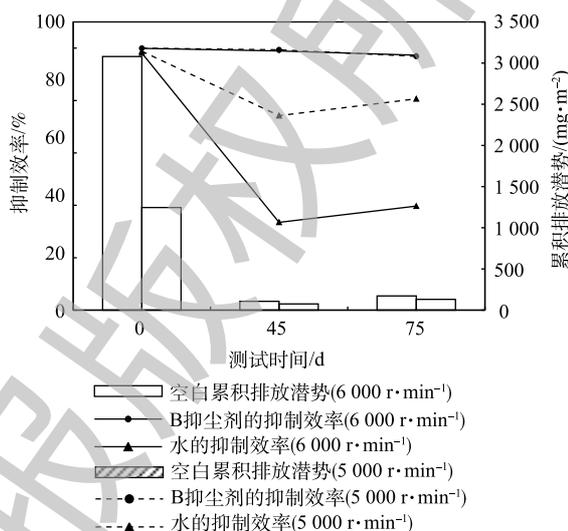
表 3 不同转速下抑尘剂和水的效率

Table 3 Efficiencies of dust suppressant and water at different rotating speeds

转速/(r·min <sup>-1</sup> )	A抑尘剂的抑尘效率/%			B抑尘剂的抑尘效率/%	水的抑尘效率/%
	原液	稀释5倍	稀释10倍		
5 000	99.2	97.3	96.6	99.6	98.2
6 000	99.6	95.1	87.6	99.8	84.1

降水; 由于测试需要干燥地块, 因此间隔 45 d 后进行第 2 阶段测试; 第 3 阶段测试在与第 1 阶段间隔 75 d 后进行。

B 抑尘剂和水的可持续 PM<sub>2.5</sub> 抑制效率如图 7 所示。可以看出, 在 6 000 r·min<sup>-1</sup> 即模拟 8 级风的情况下, 未做喷洒处理的空白场地排放潜势变化较大, 0 d 的累积排放潜势约为 45 d 和 75 d 的 28.9 倍和 17.9 倍。这表明开展抑尘有效期实验必须为每一阶段测试准备空白场地, 因为空白场地会随时间和季节发生变化。45 d 和 75 d 后, B 抑尘剂的 PM<sub>2.5</sub> 抑制效率分别为 98.9% 和 97.3%, 抑尘有效期可达 2 个月, 水的 PM<sub>2.5</sub> 抑制效率分别为 33.5% 和 39.7%。水的效率不降反升的原因可能是各实验框之间略有差异。抑尘剂在喷洒 75 d 后, 抑尘效率 (97.3%) 仍远高于水。在 5 000 r·min<sup>-1</sup> 即模拟 7 级风的情况下, 45 d 和 75 d 后, B 抑尘剂的 PM<sub>2.5</sub> 抑制效率分别为 99.4% 和 96.9%, 水的 PM<sub>2.5</sub> 抑制效率分别为 74.2% 和 80.6%, 水的效率相比 8 级风时有明显上升。

图 7 B 抑尘剂和水的可持续 PM<sub>2.5</sub> 抑制效率Fig. 7 Sustainable PM<sub>2.5</sub> dust suppression efficiencies of type B dust suppressant and water

### 3 结论与建议

1) 风蚀扬尘抑尘剂的作用是稳定易扬尘物料表面粉尘, 抑制风蚀扬尘排放。可以准确表征抑尘剂的性能指标主要包括黏度、抗压强度、表面张力、渗透性、抑尘效率和抑尘有效期等。

2) 大部分抑尘剂的制备材料和制备工艺相对复杂, 复配而成的 A 抑尘剂和聚合反应制备的 B 抑尘剂的黏度、抗压强度、表面张力、渗透性、抑尘效率等性能基本相当, 且均明显优于水。由此可见, 简单复配抑尘剂制备工艺与复杂聚合反应工艺相比具有一定优势。

3) A、B 抑尘剂的初始抑尘效率分别为 99.6% 和 99.8%, 远高于水的初始抑尘效率 (84.1%)。B 抑尘剂喷洒 75 d 后, 抑尘效率仍高达 97.3%, 抑尘有效期可达 2 个月, 而水的抑尘效率下降至 40% 左右。

4) 在实际应用中, 除了应该关注风蚀扬尘抑尘剂的性能指标之外, 建议后续开展其在不同环境要素中的友好性指标研究, 如涉及土壤环境的蚯蚓急性毒性实验, 涉及水环境的淡水鱼急性毒性实验和生物可降解性实验等。

### 参考文献

[1] 生态环境部. 2017 中国生态环境状况公报[R]. 北京, 2018.

- [2] ZHAO P S, DONG F, HE D, et al. Characteristics of concentrations and chemical compositions for PM<sub>2.5</sub> in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, 13(9): 4631-4644.
- [3] 胡敏, 唐倩, 彭剑飞, 等. 我国大气颗粒物来源及特征分析[J]. *环境与可持续发展*, 2011, 36(5): 15-19.
- [4] 赵秀勇, 程水源, 田刚, 等. 北京市施工扬尘污染与控制[J]. *北京工业大学学报*, 2007, 33(10): 84-88.
- [5] LU X Q, VOGT R D, LI H X, et al. China's ineffective plastic solution to haze[J]. *Science*, 2019, 364(6446): 1145.
- [6] 江召兵, 张倩, 杨峰, 等. 施工工地扬尘治理工程技术概述[J]. *资源节约与环保*, 2019, 15(2): 52-53.
- [7] 梁文俊, 任思达, 孙绍良, 等. 抑尘方式的研究进展及其应用[J]. *广州化工*, 2016, 44(19): 30-31.
- [8] 郑云海, 田森林, 李林, 等. 基于表面活性剂的施工扬尘抑尘剂及其性能[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(4): 2391-2396.
- [9] 王永慧, 贾志超, 蒋林天, 等. 甘蔗渣抑尘剂的微波聚合制备及性能表征[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(7): 4202-4209.
- [10] 梁文俊, 任思达, 马贺, 等. 环境友好型煤尘抑制剂的制备[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(9): 5091-5096.
- [11] 蒋耀东, 黄娟, 张雷, 等. 基于脲酶诱导碳酸钙沉淀的新型扬尘抑制剂[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(9): 5097-5103.
- [12] 苏璐璐, 姬亚芹, 张福强, 等. 水性聚合物对铁矿粉的抑尘性能与现场应用[J]. *环境工程学报*, 2019, 13(9): 2181-2188.
- [13] 马强. 建筑工地抑尘剂的制备与研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2014.
- [14] 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.
- [15] 刘若萱, 郑向军, 解刚, 等. 用于裸露地面绿化的腐植酸结壳抑尘剂及其制备方法: ZL201611171205.1[P]. 2017-05-10.
- [16] 王益民, 孟丽聪. 环保抑尘剂的制备研究[J]. *山东化工*, 2017, 46(6): 26-28.
- [17] 李敏, 柴寿喜, 杜红普, 等. SH抑尘剂固化建设场地类型土的抗雨蚀性能[J]. *环境工程学报*, 2016, 10(6): 3105-3110.
- [18] 秦建平, 李贝贝, 杨涛, 等. 风蚀扬尘抑尘剂效率测试方法与应用[J]. *环境科学*, 2019, 40(9): 3935-3941.
- [19] 李颖泉, 赵保卫, 董波, 等. 施工扬尘控制用速溶型抑尘剂性能研究[J]. *安全与环境学报*, 2019, 19(6): 2088-2094.
- [20] 尹东霞, 马沛生, 夏淑倩. 液体表面张力测定方法的研究进展[J]. *科技通报*, 2007, 23(3): 424-429.
- [21] 袁丹婷. VAc-MA共聚物固沙抑尘剂的合成与研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2012.
- [22] 梁文俊, 任思达, 王昭艺, 等. 农业废弃物秸秆制备煤尘抑尘剂及应用[J]. *广州化工*, 2018, 46(16): 85-87.
- [23] KAVOURAS I G, ETYEMEZIAN V, NIKOLICH G, et al. A new technique for characterizing the efficacy of fugitive dust suppressants[J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2009, 59(5): 603-612.
- [24] 韩致文, 胡英娣. 化学工程固沙在塔里木沙漠公路沙害防治中的适宜性[J]. *环境科学*, 2000, 21(5): 86-88.

(本文编辑: 郑晓梅)

## Preparation and dust suppression effect of wind erosion dust suppressant

WANG Linkai<sup>1</sup>, GUO Hongxia<sup>1\*</sup>, QIN Jianping<sup>2</sup>, HUANG Yuhu<sup>2</sup>, LI Beibei<sup>2</sup>

1. College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

2. National Engineering Research Center of Urban Environmental Pollution Control, Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China

\*Corresponding author, E-mail: hxguo@bjut.edu.cn

**Abstract** The performance indices to characterize the dust suppression effect of wind erosion dust suppressant in China are not systematic, and the preparation materials and processes of most dust suppressants are relatively complicated. On the basis of the study on the performance indices of dust suppressant, the validity period evaluation index of dust suppressant was added. Type A dust suppressant was prepared by the compounding process with the raw materials of film-forming agent and penetrant, and its dust suppression effect was compared with water and type B dust suppressant which was prepared by complex polymerization reaction. The results showed that the indices of viscosity, compressive strength, surface tension, permeability, dust suppression efficiency and validity period of dust suppression could well characterize the dust suppression effect of wind erosion dust suppressant. The performance of type A and B dust suppressants was basically the same and significantly better than that of water, while the simple compounding process had some advantages over the complex polymerization reaction. The initial dust suppression efficiencies of type A and B were 99.6% and 99.8%, respectively, which were much higher than that of water (84.1%). After spraying for 75 d, type B still had a high dust suppression efficiency (97.3%), and the validity period of dust suppression was up to 2 months, while the dust suppression efficiency of water decreased to about 40%. On the basis of the above researchs, it is suggested to carry out the study on the friendliness indices of dust suppressant in different environmental factors in the future, such as biodegradability test and acute toxicity test on earthworm and freshwater fish.

**Keywords** wind erosion; dust suppressant; performance indices; validity period of dust suppression