

风速对人为扬尘源 PM_{10} 排放浓度和强度的影响

田刚, 樊守彬*, 黄玉虎, 聂磊, 李钢

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘要: 人为扬尘源排放模型很少考虑风速对排放的影响, 为了解人为扬尘源排放浓度及排放强度与风速的关系, 以施工扬尘和道路扬尘为典型人为扬尘源, 通过现场实测研究了风速对扬尘源附近大气环境中扬尘排放浓度、排放强度的影响. 结果表明, 扬尘源附近大气环境中因扬尘造成的 PM_{10} (可吸入颗粒物) 排放浓度随风速的增加先降后升, 本研究中最低浓度值所对应的 2.2 m 高度处的风速 $v(c_{\min})$ 为 1.0~2.0 m/s; 扬尘排放强度随风速的增加逐渐升高, 风速 $< v(c_{\min})$ 时, 排放强度随风速增加增幅较小, 风速超过 $v(c_{\min})$ 后, 排放强度迅速增大. 将人为扬尘分为机械力扬尘和风蚀扬尘, 进行了机制探讨, 理论结果与现场观测结果是吻合的.

关键词: 未铺装道路; 建筑工地; PM_{10} ; 扬尘; 风速

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)10-2983-04

Relationship Between Wind Velocity and PM_{10} Concentration & Emission Flux of Fugitive Dust Source

TIAN Gang, FAN Shou-bin, HUANG Yu-hu, NIE Lei, LI Gang

(Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, Beijing 100037, China)

Abstract: In the emission factor models of man-made fugitive dust, the wind velocity parameter has little been accounted for. PM_{10} concentration and wind velocity were measured near a unpaved road and in a construction site. PM_{10} emission flux was calculated using the measured data. The relationship between PM_{10} concentration and emission flux and wind velocity was studied. The results show that the PM_{10} concentration is high in the condition of static and slight wind. PM_{10} concentration descend with the wind velocity increased, and the concentration reaches to the minimum value when the wind velocity reach to 1.0-2.0 m/s, then with the wind velocity increasing ($> 1.0-2.0$ m/s), the PM_{10} concentration increases quickly. The emission flux increased with the wind velocity increasing, and the speed increasement become more after the wind velocity was faster than 2.0 m/s. The man-made fugitive dust was divided into mechanism operation and wind erosion dust to research the emission mechanism. The results based on theory analysis and the measured data are consistent.

Key words: unpaved road; construction site; PM_{10} ; fugitive dust; wind velocity

扬尘是我国许多城市大气颗粒物主要来源, 主要包括施工扬尘、道路扬尘等人为扬尘, 以及料堆、裸土等风蚀扬尘, 其中施工扬尘和道路扬尘是最主要的扬尘源^[1~8]. 扬尘排放计算及扩散模型在国内外国都进行了研究^[9~14], 使用最广泛的是美国环保局推荐使用的 AP-42 排放因子文件^[14]. 一些研究者采用扩散模型^[15,16]、隧道法^[17]、暴露高度浓度剖面法^[18~20]和示踪法^[21,22]等方法研究了人为扬尘源的排放特征和一些影响因素, 但是目前尚鲜见风速对人为扬尘影响的相关报道. 了解风速与扬尘的关系, 对量化扬尘排放量、制定城市大气控制措施, 都具有积极的促进作用. 本研究以未铺装道路和建筑工地作为典型扬尘源进行了现场 PM_{10} 浓度和气象数据测试, 分析了风速与 PM_{10} 排放浓度及排放强度的关系, 并对这种关系进行了理论探讨.

1 材料与方法

1.1 试验仪器

TEOM ~ RP1400a 1 台, 可以连续实时测量纪录 PM_{10} 浓度值; 便携式自动气象站 1 台, 可连续测量并自动记录风速、风向、温湿度数据.

1.2 试验地点及方法

道路扬尘试验地点为北京远郊一条未铺装道路, 道路宽度约 6.5 m, 车流量最高时段约 100 辆/h, 车速在 30~60 km/h 之间.

收稿日期: 2007-10-31; 修订日期: 2008-01-22

基金项目: 北京市科技计划项目 (H030630540430); 中意合作北京风沙治理项目

作者简介: 田刚 (1954~), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为无组织扬尘控制技术和工业废水控制技术, E-mail: tg-iep@vip.163.com

* 通讯联系人, E-mail: fanshoubin@163.com

施工扬尘试验地点为北京近郊一大型建筑工地,占地面积为 22.45 hm². 测试点位于整个工地的中部,工地南部处于土地平整阶段,西北部分正在进行打桩工程,东北部分主要为已经建好的办公区域和工人宿舍.距离测试点 3 m 处有一条施工道路,主要为货车通过,车流量约为 6 辆/h,车速在 20~40 km/h 之间.

1.3 试验方法

在未铺装道路上连续测试 5 d,在建筑工地内连续测试 4 d,TEOM 采样口和风速测量点均为距离地面 2.2 m,数据存储频率为 1 次/min.为了使数据更具有代表性,采用 30 min 平均浓度值和风速值进行统计分析.由于背景值较低且变化不大,因此未对其进行核减.

2 结果与讨论

2.1 风速与扬尘浓度的关系

道路扬尘试验共得到 175 组有效数据(30 min PM₁₀ 平均浓度值及对应的风速平均值),图 1 为 PM₁₀ 浓度与风速的关系.从中可以看出,从静风开始 PM₁₀ 浓度随风速增大逐渐降低,风速达到一定值后 PM₁₀ 浓度随风速的增大而升高;PM₁₀ 浓度在风速为 1.2~1.6 m/s 时出现峰谷,通过回归方程计算,最低 PM₁₀ 排放浓度所对应的风速为 1.4 m/s.

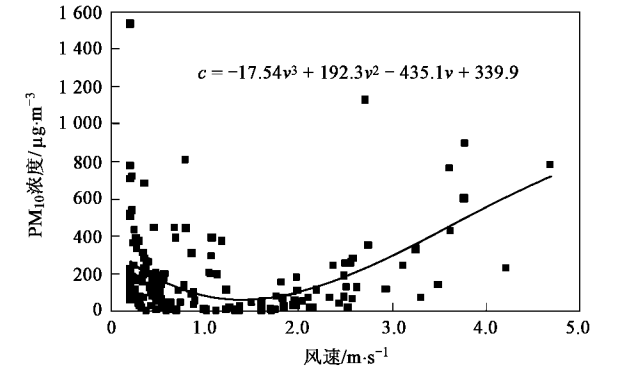


图 1 未铺装道路边 PM₁₀ 浓度与风速的关系
Fig.1 Relationship between PM₁₀ concentration and wind velocity near unpaved road

施工扬尘试验共得到 132 组有效数据(30 min PM₁₀ 平均浓度值及对应的风速平均值),图 2 为 PM₁₀ 浓度与风速的关系.从中可以看出,PM₁₀ 浓度曲线总体变化趋势与图 1 类似,在风速 2.0 m/s 左右也有 1 个峰谷.与图 1 不同的是,在风速很小(<0.7 m/s)时,PM₁₀ 浓度随风速的降低而减低,但幅度不明显.

通过回归方程计算,风速 > 1.0 m/s 后,PM₁₀ 浓度在风速 1.9 m/s 时达到最低值.

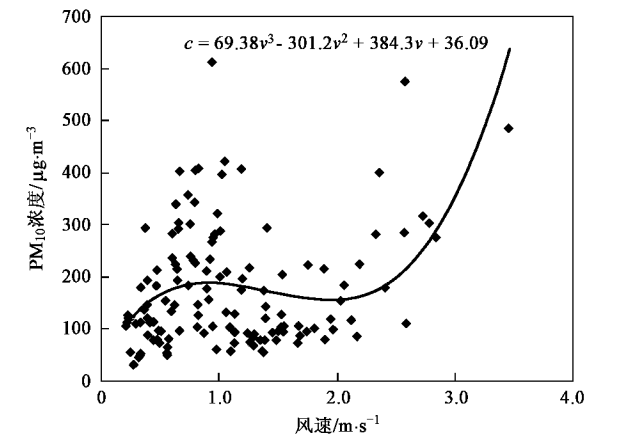


图 2 建筑工地内 PM₁₀ 浓度与风速的关系
Fig.2 Relationship between PM₁₀ concentration and wind velocity in construction site

2.2 风速与扬尘排放强度的关系

本研究所指排放强度是指扬尘源附近单位时间内通过单位面积的扬尘通量,其数值等于排放浓度乘以风速,单位为 μg/(s·m²),根据某一时段排放强度及其分布场,就可以计算出该时段的扬尘源扬尘排放量.这种方法被广泛使用在 AP-42 排放因子文件中,由于该模型是基于大量实际监测得到的经验性统计结果,并没有把风速作为模型的参数之一,而把模型应用于北京或国内其他城市时,风速等气象条件的改变会对模型结果产生影响,但还未发现有关报道.根据本研究的结果,风速直接影响人为扬尘排放强度,因此在利用排放因子计算人为扬尘排放量时应该考虑风速对计算结果的影响.

道路扬尘试验点 PM₁₀ 排放强度与风速的关系如图 3 所示.设图 1 中最低扬尘浓度所对应的风速为最低浓度风速,以 $v(c_{\min})$ 表示.从图 3 中可以看出 PM₁₀ 排放强度随风速的增大逐渐增强,风速 < $v(c_{\min})$ 时,增幅较小,超过 $v(c_{\min})$ 后,排放强度随风速增加迅速增加.从数学上讲,在风速达到 $v(c_{\min})$ 时,排放浓度随风速的增加由递减转变为递增,因此其与风速的乘积随风速增加获得了更大的增幅.

施工扬尘试验点 PM₁₀ 排放强度与风速的关系如图 4 所示.如图 2 所示,浓度风速曲线中第 2 个拐点所对应的风速为 $v(c_{\min})$.从图 4 中可以看出,与道路扬尘类似,施工扬尘 PM₁₀ 排放强度随风速的增

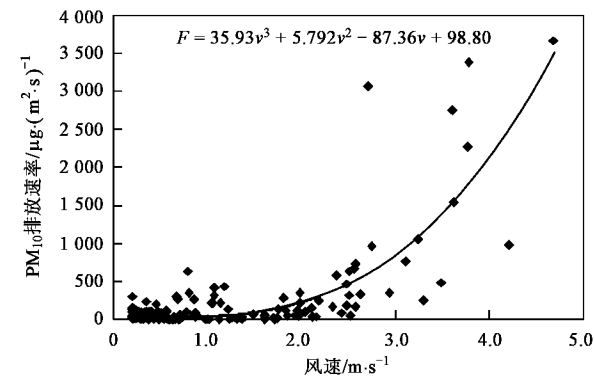


图 3 未铺装道路 PM_{10} 排放与风速的关系

Fig.3 Relationship between PM_{10} emission flux and wind velocity near unpaved road

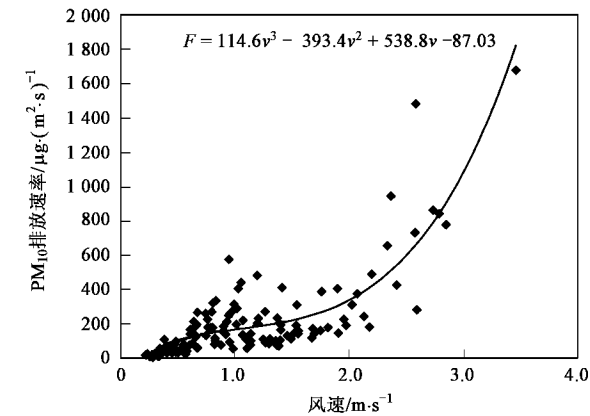


图 4 建筑工地 PM_{10} 排放与风速的关系

Fig.4 Relationship between PM_{10} emission flux and wind velocity in construction site

大逐渐增强, 风速 $< v(c_{\min})$ 时, 增幅较小, 风速超过 $v(c_{\min})$ 后, 排放强度随风速增加迅速增加. 显然, 在数学原理上也与道路扬尘类似.

2.3 理论与应用讨论

2.3.1 理论讨论

以道路扬尘为例, 设人为扬尘由机械扬尘和风蚀扬尘两部分组成. 机械扬尘可以认为是由于车轮对地面的磨擦扰动, 导致尘土跃迁而产生的扬尘, 风蚀扬尘可认为是风力借助人为活动而产生的风蚀扬尘. 机械扬尘排放量可判定为在相同人为活动条件下、风速为 0 时的扬尘排放量, 风力扬尘排放量则为扬尘排放总量减去机械扬尘排放量.

机械扬尘排放量和扰动力成正比, 对于相同扬尘源来讲, 扰动力越大扬尘排放量越大. 相同量的机械力扬尘进入大气中后, 其在大气中浓度应该与风速的 1 次方成反比, 如图 5 中的曲线 A.

地面粉尘在车辆通过时被车轮扰动, 一部分成为机械力扬尘直接进入大气, 一部分借助风力的扰动形成风蚀扬尘. 相关研究发现, 风蚀扬尘排放潜势与风速的 3 次方成正比^[23,24]. 在车轮的摩擦和激发作用下, 路面粉尘则更容易在风的作用下形成扬尘, 显然车轮摩擦促进了风蚀扬尘的产生. 风蚀扬尘潜势是一个排放强度的概念, 因此在一定的风蚀潜势下, 进入大气中扬尘浓度则与风速成 2 次方关系, 如图 5 中的 B 曲线.

如图 5 所示, A、B 曲线相加则成为曲线 C. 2 种扬尘叠加后, 导致道路扬尘排放浓度随风速增加呈现先降后升的关系.

施工扬尘来源较为复杂, 研究表明, 施工扬尘以施工现场内各类施工车辆造成的道路扬尘为主^[2,4]. 如图 2 所示, 总体上讲, 施工扬尘排放浓度随风速的变化趋势与道路扬尘相似. 在低风速下出现排放浓度随风速降低而降低的趋势, 初步分析是因为夜间施工强度较低, 因而排放浓度较低, 当时又处于较低风速的条件, 背景值受到了一定的干扰.

如前所述, 机械力扬尘的排放强度不受风速的影响, 但是风蚀扬尘强度和风速的 3 次方成正比, 两者叠加后, 呈现人为扬尘排放强度随风速增加而增加的趋势.

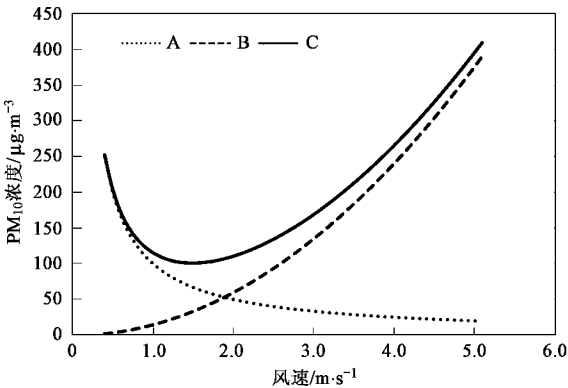


图 5 不同因素引发的 PM_{10} 浓度

Fig.5 PM_{10} concentration caused by different factors

2.3.2 应用讨论

污染物浓度是表征大气环境质量的量化指标, 直接影响到城市居民的健康. 本研究结果表明, 人为扬尘源附近大气环境中因扬尘造成的 PM_{10} 浓度随风速的增加先降后升, 最低浓度风速为 1.0 ~ 2.0 m/s, 此时所对应的风力等级约为 2 级. 也就是说, 在 2 级风天气下, 人为扬尘对空气质量的危害最小.

在以往利用排放因子计算人为扬尘量、制定扬

尘排放清单时,均未考虑过风速对排放量的影响.本研究表明,扬尘排放量与风速的关系很大,风速越大扬尘排放量越大,而且风速超过最低浓度风速 $v(c_{\min})$ 后,扬尘排放量将随风速的增加迅速增加.可见,在计算扬尘排放量时不可忽视当地风速情况;对于城市环境管理者来讲,当风力等级大于2级时,应加强人为扬尘的控制.

3 结论

(1)人为扬尘源附近大气环境中因扬尘造成的 PM_{10} 浓度随风速的增加先降后升,最低浓度值所对应的2.2 m高度处的风速约为1.0~2.0 m/s.

(2)人为扬尘源附近大气环境中因扬尘造成的 PM_{10} 排放强度随风速的增大逐渐增强,风速小于最低浓度风速 $v(c_{\min})$ 时,增幅较小,风速超过 $v(c_{\min})$ 后,排放强度随风速增加迅速增加.

(3)分析表明,人为扬尘源 PM_{10} 排放是人为活动和自然条件综合作用的结果.

(4)风速对扬尘排放浓度和排放强度均有显著的影响,因此在利用排放因子计算扬尘排放量、制定人为扬尘控制措施等过程中,均不可忽视风速这个因素.

参考文献:

[1] 樊守彬,田刚,李钢,等.北京铺装道路交通扬尘排放规律研究[J].环境科学,2007,28(10):2396-2399.

[2] 田刚,樊守彬,李钢,等.施工工地出口附近道路交通扬尘排放特征研究[J].环境科学,2007,28(11):2626-2629.

[3] 田刚,李建民,李钢,等.建筑工地大气降尘与总悬浮颗粒物相关性研究[J].环境科学,2007,28(9):1941-1943.

[4] 黄玉虎,田刚,秦建平,等.不同施工阶段扬尘污染特征研究[J].环境科学,2007,28(12):2885-2888.

[5] 田刚,李钢,闫宝林,等.施工扬尘空间扩散规律研究[J].环境科学,2008,29(1):259-262.

[6] 樊守彬,闫宝林,黄玉虎,等.北京交通扬尘排放及污染控制研究[A].见:赵英民.北京绿色奥运环境保护技术与发展[C].北京:中国水利水电出版社,2006.286-290.

[7] 黄玉虎,樊守彬,秦建平,等.北京建筑物拆除工程扬尘污染排放研究[A].见:赵英民.北京绿色奥运环境保护技术与发展

[C].北京:中国水利水电出版社,2006.291-298.

[8] 张利文,白志鹏,郭光焕,等.开放源对环境空气质量影响的评估技术与实例[J].环境科学研究,2006,19(3):18-23.

[9] 沙维奇. ADMS 模型解析城区总悬浮颗粒物来源[J]. 中国环境监测,2007,23(2):110-113.

[10] 谷清,杨新兴,李云生. 颗粒物面源模式计算方法[J]. 中国工程科学,2005,7(1):41-44.

[11] 谷清,汤大钢. 面源模式反扩散参数研究[J]. 环境科学研究,2001,14(5):54-56.

[12] 朱发庆,贺彬,赵碧云. 面源长期平均浓度的新算法[J]. 中国环境科学,1997,17(4):340-344.

[13] 刘永红,余志,田丰,等.一种线源扩散模型的建立及算法实现[J].环境科学与技术,2006,29(10):13-14.

[14] USEPA. Emission factor documentation for AP-42[R]. Kansas City, MO: Midwest Research Institute, 1993.

[15] Venkatram A, Fitz D, Bumiller K, *et al.* Using a dispersion model to estimate emission rates of particulate matter from paved roads[J]. Atmospheric Environment, 1999, 33: 1093-1102.

[16] Nagendra S M S, Khare M. Line source emission modelling[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36: 2083-2098.

[17] Gidhagena L, Johanssonb C, Omb J S, *et al.* Model simulation of ultrafine particles inside a road tunnel [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37: 2023-2036.

[18] Tsai C J, Chang C T. An investigation of dust emissions from unpaved surfaces in Taiwan [J]. Separation and Purification Technology, 2002, 29: 181-188.

[19] Veranth J M, Pardyjak E R, Seshadri G. Vehicle-generated fugitive dust transport: analytic models and field study [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37: 2295-2303.

[20] Venkatram A. On estimating emissions through horizontal fluxes[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38: 1337-1344.

[21] Kantamaneni R, Adams G, Bamesberger L, *et al.* The measurement of roadway PM_{10} emission rates using atmospheric tracer ratio techniques[J]. Atmospheric Environment, 1996, 30(24): 4209-4223.

[22] Claiborn C, Mitra A, Adams G, *et al.* Evaluation of PM_{10} emission rates from paved and unpaved roads using tracer techniques[J]. Atmospheric Environment, 1995, 29(10):1075-1089.

[23] 江小珂,贺世群,邵霞,等.北京市人民政府环境保护局-意大利环境与国土部环境合作风沙治理项目(北京部分)第一阶段报告[R].北京:北京环境保护基金会,2007.

[24] Chepil W S, Woodruff N P. The physics of wind erosion and its control[M]. New York: Academic Press Inc,1963.211-302.