

衡阳市夏秋季大气颗粒物污染特征

杨 蓉,叶勇军,蒋复量,王淑云

(南华大学 环境保护与安全工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:为了得到衡阳市区大气颗粒物的污染水平及分布特征,本文根据衡阳城区特点及人员活动规律,以 2013 年 8 月 25~27 日和 11 月 27~29 日作为夏秋季代表日,在人员活动最为集中的交通主干道附近进行了定点实地测量,包括作为参照的南华大学共设 6 测点.结果表明,秋季 $PM_{2.5}$ 浓度明显高于夏季,数浓度前者为后者的 2.27~3.13 倍,质量浓度前者为后者的 1.74~3.74 倍.从整体特征而言,颗粒直径基本在 $5\ \mu m$ 以下,其中 $PM_{2.5}$ 数量在 PM_{10} 中占比达 99.5 左右,而 $PM_{1.0}$ 又约占到了 $PM_{2.5}$ 的 97%;早 8 点和晚 8 点左右是人员户外活动高峰期,也是 $PM_{2.5}$ 浓度最高的时段,中午和午后水平较低,夏季 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量浓度均在国家二级标准限值以内,秋季部分区域超出限值,同时对各测点进行了颗粒物污染程度排序.本文还通过实验发现,洒水对降低 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度都是有效的,有效时段为洒水后第 11 至 24 小时.

关键词:衡阳; $PM_{2.5}$; PM_{10} ;有效性验证

中图分类号:X51 **文献标识码:**B

Characterization of Atmospheric Particulates in Hengyang During Summer and Autumn

YANG Rong, YE Yong-jun, JIANG Fu-liang, WANG Shu-yun

(School of Environmental Protection and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: In order to understand the pollution level of atmospheric particulates and the characteristics of distribution in Hengyang, field measurements were carried out during August 25~27 and November 27~29 of 2013. Five measuring points were selected along the side of the main road, and one point was at the University of South China. The result showed that the concentration of $PM_{2.5}$ was significantly higher in autumn than in summer.

收稿日期:2014-01-26

基金项目:衡阳市科技计划基金资助项目(2012KJ26)

作者简介:杨 蓉(1986-),女,湖北襄阳人,南华大学环境保护与安全工程学院讲师,硕士.主要研究方向:作业环境安全风险评价.

The numerical density of $PM_{2.5}$ in autumn was 2.27 ~ 3.13 times and the mass concentration was 1.74 ~ 3.74 times higher in autumn than in summer. In general, the size of particles was almost below 5 μm in diameter, and the dominant particles were less than 1 μm . The $PM_{2.5}$ concentration was highest at 8 am and 8 pm, but was lowest at noon and in the afternoon. Mass concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} were less than the national standard limits in Summer, but some areas beyond the limits in autumn. Then the six measuring points were ranked according to the degree of pollution. This study provides evidence that watering can reduce $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentration and the best result of particle reduction is between 11 to 24 hours after watering.

key words: Hengyang; $PM_{2.5}$; PM_{10} ; effectiveness verification

研究表明,大气颗粒物浓度的高低是影响空气质量的关键因素,并严重危害人体健康^[1-6]. 为了掌握衡阳大气颗粒物的污染水平和分布特征,作者于 2013 年夏秋季分别在市区主要交通道路附近对颗粒物进行了实地监测,并实验验证了洒水对控制大气颗粒物污染的有效性,以期对衡阳市大气污染防治提供一定帮助.

1 监测方法

1.1 监测点布置

本次实验测点根据衡阳民众户外活动特点,布置在衡阳城区中心活动最为集中的主干道附近和校园环境,共 6 个. 测点选取突出道路环境与绿化环境的对比,及道路附近车流量对大气颗粒物浓度的影响. 测点位置依次为点 A 南华大学校园中心、测点 B 红湘路与常胜路交汇点、测点 C 衡阳中医院外十字路口、测点 D 莲湖广场近大洋百货、测点 E 解放大道与蒸阳北路交叉口、测点 F 南方大厦. 其中 D、E 点车流量与人流量均最大, B、C 点车流量较大人流量也较大, E 点为江边位置, 周围无工业污染排放源. 测量高度控制在 1.2 m 至 1.5 m 间.

1.2 采样仪器和监测方法

实验采用美国 TSI APS3321 型空气动力学粒径谱仪进行测量. 仪器利用双束激光粒径测量原理,通过测量粒子在 2 束激光之间的飞行时间,对比标准粒子球飞行时间曲线,换算出粒子大小. 仪器自带软件包可完成数据实时、自动采集和存储,测量粒径范围 0.5 ~ 20 μm ,共 52 通道测量,工作湿度 10% ~ 90%,可同时给出粒子数量浓度表面浓度、体积浓度和质量浓度随粒径分布以及光散射强度等信息.

实验分为两个阶段,分别于 2013 年 8 月 25 日至 27 日和 11 月 27 日至 29 日在所布置测点进行实地监测,其中以南华大学测点作为不同环境下的比对. 6 个测点共得到有效数据 48 组,考虑监测期间气象条件较为稳定,对同一测点同一时间点的数据求平均,整理后共得到 16 组样本数据.

2 结果与讨论

2.1 颗粒物粒径分布

选取衡阳市夏秋季 D 测点同一时刻大气颗粒物监测数据绘制粒径谱如图 1.

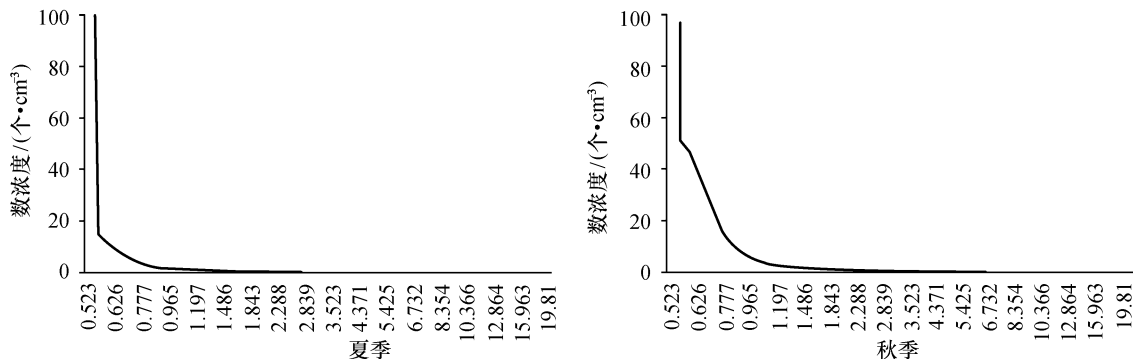


图 1 夏秋季颗粒物粒径谱图

Fig. 1 Distribution of particle number concentration in summer and autumn

从图 1 可以看出,衡阳市大气颗粒物粒径分布夏秋季趋势基本相同,由数据统计,PM₁₀ 中 PM_{2.5} 占比达 99% 以上,而 PM_{1.0} 又约占到了 PM_{2.5} 的 97%. 已有研究指出直径越小的粒子其危害也越大^[7-8],但是对于这种粒子,如今国内外还没有研究出一种切实有效的治理措施,因而研究应不能仅停留于 PM_{2.5},应重视 PM_{1.0} 甚至更小直径的大气污染颗粒,例如 PM_{0.1}^[9-11].

2.2 颗粒物质量浓度日变化特征

衡阳市区大气颗粒物的粒径组成随时间变化极小,但浓度的变化却是非常明显的. 点 A 为全天候监测,不论夏季还是秋季,一天之中早晚的各类颗粒物浓度均是最高的,中午前后直至下午 17 时左右差别基本不大,且浓度最低. 表 1 仅列出典型时刻颗粒物质量浓度值.

对比夏季和秋季数值,秋季污染明显高于夏季,PM_{2.5} 数浓度前者是后者的 2.27 ~ 3.13 倍,质量浓度前者为后者的 1.74 ~ 3.74 倍. PM_{2.5} 与 PM₁₀ 质量浓度的比值在早 8 点左右较高,不论夏

季还是秋季均达到 0.45 左右. 分析其原因,一方面是颗粒物浓度与温度有很大关系,温度高时有利颗粒物的扩散;另一方面,早晚车辆出行高峰直接带来大气污染物排放量增加.

表 1 不同时刻颗粒物质量浓度分布 (μg/m³)

Table1 Mass concentration distribution at different time				
季节	颗粒物类型	8:00	17:00	20:00
夏季	PM _{1.0}	20.77	5.22	9.867
	PM _{2.5}	31.77	9.29	19.03
	PM ₁₀	71.5	24.3	76.1
秋季	PM _{1.0}	33.4	14	30.1
	PM _{2.5}	55.2	27.17	71.2
	PM ₁₀	118.67	80.57	200

2.3 不同测点颗粒物数浓度和质量浓度分布特征

各季节 6 个测点的大气颗粒物浓度监测结果见表 2. 由于偶然因素影响造成夏季 F 点数据异常,予以排除.

表 2 各测点颗粒物数浓度和质量浓度分布

Table 2 Concentration distribution at different measuring points					
测点	颗粒物类型	夏季		秋季	
		数浓度/(个·cm ⁻³)	质量浓度/(μg·m ⁻³)	数浓度/(个·cm ⁻³)	质量浓度/(μg·m ⁻³)
A	PM _{1.0}	176	9.867	545	30.1
	PM _{2.5}	181	19.03	566	71.2
	PM ₁₀	182	76.1	569	200
B	PM _{1.0}	185	10.18	798	42.6
	PM _{2.5}	192	25.4	824	95.7
	PM ₁₀	194	106.7	829	276.67
C	PM _{1.0}	189	10.3	738	37.6
	PM _{2.5}	195	23.1	758	78.4
	PM ₁₀	196	75.93	762	201.33
D	PM _{1.0}	324	12.68	784	43.9
	PM _{2.5}	332	29.97	813	107
	PM ₁₀	334	110.33	820	381
E	PM _{1.0}	200	10.67	693	38.3
	PM _{2.5}	209	29.3	711	74.7
	PM ₁₀	210	102.8	714	196.33
F	PM _{1.0}	—	—	963	49.1
	PM _{2.5}	—	—	984	91.97
	PM ₁₀	—	—	986	243.67

A 点为校园环境,从表 2 中可以看出不论是 PM_{1.0} 还是 PM_{2.5} 浓度均为最少,由此可见细颗粒物浓度与环境有直接关系. 对于车辆少且绿色植物较多的良好环境,细颗粒物浓度会相对较低,但

对于直径稍大的颗粒(2.5 μm 以上)却并不一定呈现这种趋势:即使车辆多且绿色植物少的区域也可能出现 PM₁₀ 相对低的情况,表明行人高度处较大粒径颗粒物浓度对环境依赖性较细颗粒物

小,衡阳市汽车尾气的排放对大气颗粒污染物贡献较大.针对这一现象,控制PM_{2.5}的措施便可理解为两个方面,一是减少汽车尾气中颗粒污染物排放,二是多种植绿色植物,为了适应PM_{2.5}悬浮于空的特点植物高度应尽量达到人均呼吸高度.

2.4 各测点大气颗粒物污染程度

根据表2中数据,对6个测点进行大小排序(即反应大气颗粒物污染程度高低),数值越大,说明污染越严重.为了凸显PM₁₀的危害性,将其同PM_{2.5},PM₁₀一起列为统计对象.利用决策分析中的Broda函数方法来确定综合排序方法,记在

第j类型中排在第i个测点S_i后面的个数为B_j(S_i),则测点S_i的Broda函数为

$$B(S_i) = \sum_{j=1}^3 B_j(S_i) (i = 1, 2, \cdots 6)$$

经计算,污染程度排名为夏季:D>E>B>C>A;秋季:D>B=F>C>E>A.再根据国家《环境空气质量标准》(GB3095—2012)中二类区所执行的二级标准进行判别,PM_{2.5}浓度限值为75 μg/m³,PM₁₀浓度限值为150 μg/m³,夏季均在限值内,而秋季每个测点均有超标现象,超标率列于表3中.

表3 秋季不同测点大气颗粒物质量浓度超标率

Table 2 Over-limit ratio of particulates concentration at different measuring points in Autumn

测点	A	B	C	D	E	F
PM _{2.5}	未超标	27.6%	4.53%	42.67%	未超标	22.6%
PM ₁₀	33.3%	84.45%	34.22%	154%	30.89%	62.45%

上表结果显示车流量最大的D点颗粒物浓度超标率明显较其他点位大,其中PM₁₀尤甚.

3 洒水降低细颗粒物浓度有效性的实验验证

为了探索洒水对降低大气颗粒物浓度的有效性,本文运用实验模拟,监测得到洒水后空气中细颗粒物的变化.

实验在一完全密闭空间进行,仍然使用APS3321进行颗粒物浓度监测,环境条件均在仪器

许可范围内.实验中尽可能将人为因素影响降低到最小,通过洒水前和刚洒完水时数据监测发现室内气溶胶浓度基本保持稳定.仪器设为自动,每16 min存储一次数据,测量中无任何外界干扰,且依然保持完全密闭.监测结果如图5,由于监测时间较长,横坐标数值较多,故截取两段典型变化时段进行说明.其中横坐标为0时对应洒水前颗粒物质量浓度,其余则为洒水后颗粒物质量浓度测值,既反映了洒水前后颗粒物质量浓度变化,同时体现了洒水后颗粒物质量浓度随时间的变化趋势.

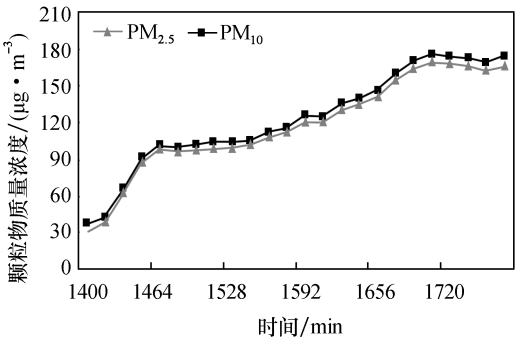
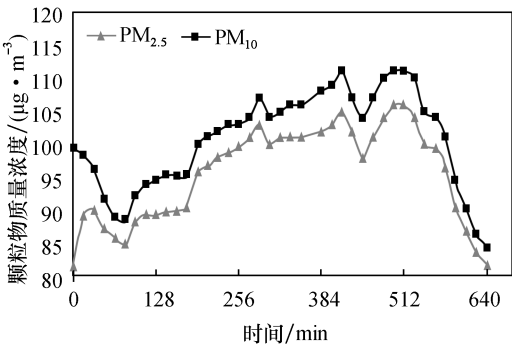


图2 洒水后室内大气颗粒物浓度随时间变化规律

Fig.2 Variation of atmospheric particle concentration over time after watering

从图2可以发现,PM_{2.5}和PM₁₀在32 min以后的变化趋势都是一致的,而在这32 min之内二者变化却是完全相反的呈现,PM₁₀首先下降而

PM_{2.5}浓度首先增长,说明洒水对降低PM₁₀浓度的初始效应是更为显著的,对PM_{2.5}降低反而不利.从整体趋势来看,颗粒物浓度在8.5 h之内是震

荡上升的,随后开始下降直至降低到初始浓度的37%左右,其后又是持续增长,此次增长幅度更大甚至超越了首个波形的峰值.从另一个角度来说,洒水的有效时段为第11至24 h之间,对降低 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度都是有效的.如若将此结果应用于实际,则受气象因素以及人为因素影响,一方面风速会加速污染物扩散,外界温度的变化也会加速水分的蒸发,另一方面道路颗粒污染物也在不断排放,使得环境条件变得较为复杂,但可以此结论作为参考,待条件更为充分时进行实地测量.

4 结 论

1)衡阳市大气气溶胶颗粒物以 $5\ \mu m$ 以下粒径为主, PM_{10} 中 $PM_{2.5}$ 占比达99%以上,而 $PM_{1.0}$ 又约占到了 $PM_{2.5}$ 的97%.

2)秋季比夏季细颗粒物质量浓度高出1.74~3.74倍,夏季 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量浓度均在国家空气质量二级标准限值以内,秋季多数区域超过此标准限值,个别区域如解放大道与蒸湘路交汇处超标较多.早晚颗粒物浓度最高,午间及午后水平较低.

3)通过实验验证洒水对降低 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 确实是有效的,有效时段为洒水后11至24小时,其余时间则出现高于初始浓度的现象.利用这种规律,控制洒水时间和频率,可达到有效降低大气颗粒物浓度的目的.

由于本实验条件有限,未能全面深入进行实地监测和大气颗粒污染物成分分析,今后有待进一步通过完善条件进行更小粒径的颗粒物监测,以及对实际生活中洒水后颗粒物浓度变化规律进行验证,并进行洒水车洒水方式的优化.

参考文献:

- [1] 高知义. 大气细颗粒物人群暴露的健康影响及遗传易感性研究[D]. 上海:复旦大学,2010.
- [2] 范妙莉. 环境细颗粒物($PM_{2.5}$)致肺损伤及维生素E拮抗作用实验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆医科大学,2012.
- [3] Harrison R M. Sources and processes affecting of concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ particle matter in Birmingham of U. K. [J]. Atmospheric Environment, 1997, 24: 4103-4117.
- [4] 杨新兴. 大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 及其危害[J]. 前沿科学, 2012, 6(1): 22-30.
- [5] Chueinta W, Hopke P K, Paatero P. Investigation of source of atmospheric aerosol at urban and suburban residential areas in Thailand by positive matrix factorization[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34(20): 3319-3329.
- [6] 郝志坡. 石家庄大气颗粒物粒度分布与大气能见度变化的关系研究[D]. 石家庄:河北师范大学,2012.
- [7] 王芬娟,方栋,李红,等. 大气超细颗粒物观测和扩散模拟研究进展[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(2): 79-85.
- [8] 王明仕,刘克武,钦凡,等. 焦作市高新区冬季不同粒径颗粒物质量特征分析[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(10): 81-84.
- [9] Oberdoster G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles[J]. International archives of occupational and environmental health, 2001, 74(1): 1-8.
- [10] 谢小芳,孙在,付志民,等. 杭州市大气超细颗粒物数浓度谱季节性特征[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 434-440.
- [11] 孙睿,吕森林,尚羽,等. 上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究[J]. 环境科学, 2012, 33(5): 1431-1437.