

蒲维维, 赵秀娟, 张小玲. 北京地区夏末秋初气象要素对 $PM_{2.5}$ 污染的影响. 应用气象学报, 2011, 22(6): 716-723.

北京地区夏末秋初气象要素对 $PM_{2.5}$ 污染的影响

蒲维维 赵秀娟* 张小玲

(中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089)

摘 要

利用北京宝联站及北京上甸子大气本底站 2006—2008 年的 7—9 月 $PM_{2.5}$ 连续观测资料以及北京市观象台的探空数据、海淀气象站的风廓线雷达和降水量等资料, 对北京地区夏末秋初 $PM_{2.5}$ 的质量浓度特征及其与气象要素的关系进行了统计分析。结果表明: 城区站各月平均 $PM_{2.5}$ 质量浓度明显高于郊区站, 高空偏南气流的输送是造成城区及本底地区出现细颗粒物污染的主要原因。从地面风速来看, 城区当北风和南风分别达到 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上时能起到扩散作用; 郊区在低风速的北风条件下也能起到扩散和稀释作用, 而南风基本上对郊区的颗粒物无扩散作用。 $PM_{2.5}$ 质量浓度在降水前后的清除量与降水量、初始质量浓度均呈正相关关系, 城区及郊区的云下清除过程更多取决于降水前污染物的浓度, 降水量作用较弱。当混合层高度突破 1500 m 时, 垂直扩散对污染物的稀释扩散效果明显。

关键词: $PM_{2.5}$; 风向; 风速; 降水; 混合层高度

引 言

空气动力学直径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 的气溶胶粒子称为 $PM_{2.5}$, 它是大气颗粒物中粒径较小的部分, 又称为细粒子。 $PM_{2.5}$ 通过直接或间接散射太阳辐射, 影响地面的能量收支平衡, 同时, $PM_{2.5}$ 的高散射效率是造成大气能见度剧烈下降的主要影响因子之一, 其质量浓度增加能显著降低大气能见度^[1-2]; $PM_{2.5}$ 作为各种光化学反应的载体, 促进城市大气光化学反应的发生, 其对环境的污染及对人体健康的危害在颗粒物中尤为突出^[3-4], 因此, 对 $PM_{2.5}$ 的研究越来越受到重视。北京作为北方最大的城市群——京津冀地区的重要组成部分, 自 20 世纪 90 年代以来城市建筑面积逐年增加, 城市交通尤其是汽车数量的迅速增长, 导致来自于气粒转化的二次颗粒物污染特征逐渐突出, 北京地区的气溶胶污染特征也发生了变化, $PM_{2.5}$ 已经成为北京最主要的污染物^[5]。近些年来, 我国学者对城市 $PM_{2.5}$ 的研究主要包括 $PM_{2.5}$ 化学组成、特征及来源分析^[6-9], $PM_{2.5}$ 对酸雨

的影响^[10], $PM_{2.5}$ 对能见度的影响^[11], $PM_{2.5}$ 的质量浓度特征及其与气象条件的关系^[12-15]等方面。以往对气象条件与 $PM_{2.5}$ 质量浓度关系方面的研究大多集中于风速、相对湿度、气压、气温等要素对 $PM_{2.5}$ 质量浓度的影响, 缺少从水平输送、局地环流、垂直扩散和降水清除等方面进行全面讨论, 特别是利用小时降水量分析降水清除作用的工作较少。考虑到 6 月北京地区周边地区多秸秆燃烧事件^[16-18], 其对颗粒物质量浓度的影响较大, 而 9 月仍为北京的汛期, 有利于分析降水对 $PM_{2.5}$ 的清除作用, 所以利用北京城区和郊区两个站点 2006—2008 年的 7—9 月连续观测的 $PM_{2.5}$ 质量浓度资料与气象要素资料对北京地区 $PM_{2.5}$ 的污染特征进行分析, 初步揭示夏末秋初气象要素对 $PM_{2.5}$ 质量浓度的影响规律。

1 资 料

分别选取北京宝联站(城区站)($39^{\circ}56'N$, $116^{\circ}17'E$, 海拔高度为 75.0 m)和北京上甸子区域大气本底站(郊区站)($40^{\circ}39'N$, $117^{\circ}07'E$, 海拔高度为

2011-03-29 收到, 2011-08-15 收到再改稿。

资助项目: 城市气象科学研究基金项目(UMRF200805), 北京市自然科学基金项目(8092010), 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806027)

* E-mail: xjzhao@ium. cn

293.9 m)资料。北京宝联站位于北京西三环和西四环之间的宝联体育公园内。宝联站自2004年8月起使用美国R&P公司生产的1400a TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) 仪器观测PM_{2.5}的质量浓度,该仪器每周检查1次流量和滤膜负载率,当滤膜负载率超过30%时,即进行更换。采集的数据为5 min 平均的PM_{2.5}质量浓度。北京上甸子区域大气本底站是世界气象组织区域大气本底观测站之一,也是代表京津冀经济圈区域的大气成分本底国家野外站,该站位于北京市东北部的密云县高岭镇上甸子村,距北京市区直线距离约100 km。上甸子站观测PM_{2.5}所用仪器以及业务观测方法与宝联站相同。

分析所用资料包括2006年、2007年和2008年每年的7月1日—9月30日宝联站及上甸子站的5 min 平均PM_{2.5}质量浓度资料、北京市观象台的探空数据、海淀气象站和上甸子站的小时降水量以及海淀气象站的风廓线雷达资料。

2 气象要素对PM_{2.5}污染的影响

2.1 北京地区PM_{2.5}质量浓度变化特征

表1给出了北京市2006—2008年7—9月的PM_{2.5}质量浓度月平均统计值。从表1可以看出,城区站各月平均PM_{2.5}质量浓度明显高于郊区站,质量浓度差为4.4~34.6 μg·m⁻³。2006—2008年夏末秋初,宝联站及上甸子站PM_{2.5}质量浓度月平均值分别为48.9~97.8 μg·m⁻³,33.9~63.5 μg·m⁻³。从各月PM_{2.5}质量浓度分布来看,宝联站及上甸子站在2006年7—9月PM_{2.5}月平均质量浓度比较接近;而2007年7月两站的PM_{2.5}质量浓度为9个月中最高值,8月两站的质量浓度明显降低,同时上甸子站8月PM_{2.5}质量浓度是观测期间的最低值,这种明显的质量浓度变化主要是气象条件改变造成

表1 2006—2008年7—9月PM_{2.5}质量浓度统计(单位:μg·m⁻³)

Table 1 Concentration of PM_{2.5} from July to September during 2006—2008(unit:μg·m⁻³)

时段	2006年		2007年		2008年	
	宝联	上甸子	宝联	上甸子	宝联	上甸子
7月	74.5	55.6	97.8	63.5	80.8	53.3
8月	76.7	53.2	63.0	34.6	52.1	47.7
9月	73.2	47.0	73.4	45.6	48.9	33.9
平均	74.8	51.9	78.1	47.9	60.6	45.0

的。对比于前两年同期,2008年夏末秋初的PM_{2.5}平均质量浓度有所下降,其中8月和9月质量浓度下降明显,这一方面要归因于北京奥运会前后北京及周边省市采取的污染控制措施,有效降低了区域内的整体污染物质量浓度水平,此外,有利于污染物扩散清除的气象条件也起到了重要作用。

2.2 水平输送与扩散对北京地区PM_{2.5}质量浓度的影响

已有研究结果表明^[19],北京与周边地区的大气污染物相互输送和交换,而影响污染物输送量和扩散效果的主要因子为风向和风速。考虑到1500 m 高度为大气污染物的主要运输高度^[20],因此本研究对1500 m 高度上的风向、风速进行统计分析。该层处于边界层以上,受局地地形和大气污染的影响较小,能较好地代表污染物输送的影响。本文在剔除降水日的基础上,利用2006—2008年7—9月北京市观象台每日08:00(北京时,下同)及20:00的探空数据配以相应时段PM_{2.5}小时质量浓度值绘制了风向玫瑰图(图1)。

通过对比1500 m 高度不同风向对PM_{2.5}质量浓度变化的影响可以发现,宝联站在西南风、南风作用下PM_{2.5}质量浓度较高,分别达到98.6 μg·m⁻³和90.1 μg·m⁻³;其次为东风、东南风及西风,质量浓度值分别为87.3 μg·m⁻³,82.7 μg·m⁻³和87.3 μg·m⁻³;其余风向的质量浓度值较低,最低为北风,质量浓度值为52.5 μg·m⁻³。说明当1500 m 高度风向范围为90°~270°时,城区易发生颗粒物污染。通过统计风向频率可以发现,颗粒物污染最严重的西南风向频率为26.6%,在8个风向中所占比例最大,南风频率为12.1%,其与西南风频率占到所有风向频率的4成左右。从图1还可看出,上甸子站在不同风向影响下PM_{2.5}质量浓度的分布与宝联站相似,西南风向平均质量浓度最高(74.1 μg·m⁻³),北风方向上平均质量浓度最低(26.6 μg·m⁻³)。从风向频率来看,西南风向频率最高(25.6%),南风向次之(13.7%)。通过上述分析可以看出,7—9月北京地区上空盛行的偏南气流将南部的天津、河北省南部和山西省部分城市产生的污染物输送至北京地区,同时由于北部山区的阻挡作用,使得污染物在北京地区累积,极易形成颗粒物污染。偏南气流输送的污染物不但加重了北京城区细颗粒物污染的程度,同时也是造成区域本底地区出现细颗粒物污染的主要原因。

基于上述分析可知:北京地区细颗粒物质量浓

度随风向变化具有显著差异,风向决定了污染物输送的方向,而对污染物的稀释扩散程度则主要取决于风速。为了分析在偏南、偏北风向作用下风速对 $PM_{2.5}$ 的影响,选择持续 1 d 以上风向为偏南风或偏北风的数据作为统计样本进行 $PM_{2.5}$ 质量浓度随风

速变化的分类统计(图 2)。从图 2 可以看出,除了个别数据点以外,不论是城区还是远郊区上甸子在偏北风增强的情况下 $PM_{2.5}$ 质量浓度均随之降低,说明偏北风所携带的较清洁空气对北京地区大气中颗粒物污染起到明显的扩散稀释作用。偏南风的作

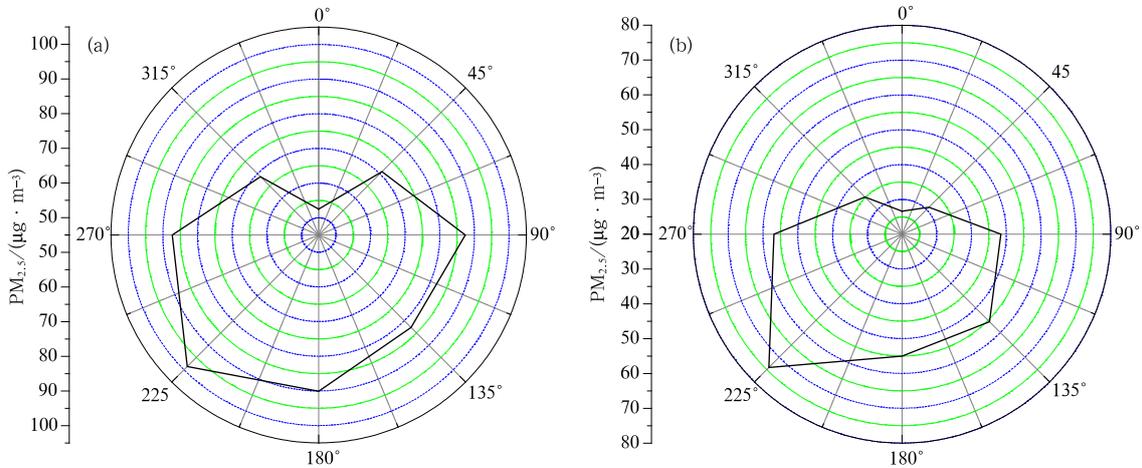


图 1 2006—2008 年 7—9 月 1500 m 高空风向对宝联站(a)、上甸子站(b) $PM_{2.5}$ 质量浓度影响

Fig. 1 The influence of 1500-meter wind direction on $PM_{2.5}$ concentration at Baolian(a) and Shangdianzi(b) stations from July to September during 2006—2008

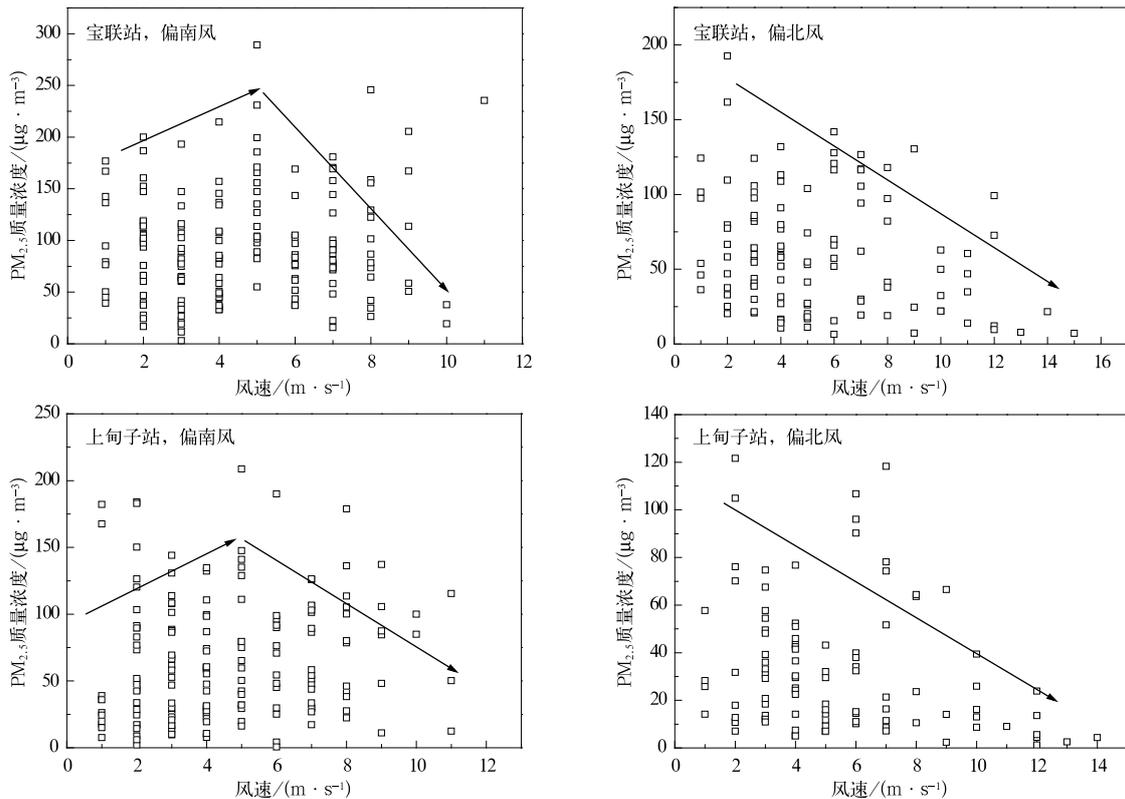


图 2 2006—2008 年 7—9 月 1500 m 高空风速对宝联站与上甸子站 $PM_{2.5}$ 质量浓度影响

Fig. 2 The influence of 1500-meter wind speed on $PM_{2.5}$ concentration at Baolian and Shangdianzi stations from July to September during 2006—2008

用有所不同,城区与远郊区的PM_{2.5}质量浓度均随着风速的增大逐渐增加,并在5 m·s⁻¹左右达到最高,说明对颗粒物起到了明显的输送累积作用;之后随着偏南风的增强,PM_{2.5}质量浓度有所降低,表明强的偏南风也具有一定扩散作用,但总体上PM_{2.5}仍维持在较高的质量浓度水平。因此,偏南风系统对北京地区大气中颗粒物主要起输送和累积作用。

2.3 局地环流对北京地区PM_{2.5}质量浓度的影响

由于北京地区在没有明显天气系统过境时多受局地环流的影响,主要是山谷风的作用,白天以偏南风为主,夜间以偏北风为主。地面风与污染物的质量浓度关系可以从一定程度上反应出局地环流的影响。PM_{2.5}质量浓度随地面风向的变化关系与高空风相似。当宝联站的地面风向在90°~270°范围内时,对应较高的PM_{2.5}质量浓度,其中南风风向时质量浓度最高,为82.0 μg·m⁻³。上甸子站的地面风向在180°~270°范围内时,PM_{2.5}质量浓度也较高,其中西风风向时质量浓度为70.9 μg·m⁻³,为8个风向中的最高值。

图3给出了PM_{2.5}质量浓度随地面风速的变化情况,地面风速在城区和郊区对细颗粒物的输送和扩散作用明显不同,偏北风主要起到扩散稀释作用,特别是在上甸子地区由于北部地区大气较为清洁,PM_{2.5}质量浓度基本随着风速的增加而降低,即使是在风速比较低的时候也能够起到一定的扩散稀释作用。而在城区北风风速基本要达到2 m·s⁻¹以上

PM_{2.5}的质量浓度才开始降低,在2 m·s⁻¹以下扩散稀释作用不明显,这可能是城区建筑物较多,受障碍物的阻挡,污染物不易扩散。地面偏南风在城区和郊区的作用明显不同,在城区风速低于3.5 m·s⁻¹的情况下,PM_{2.5}质量浓度基本变化不大,当风速高于3.5 m·s⁻¹的时候,质量浓度才明显降低,通过统计发现风速高于3.5 m·s⁻¹的风有83%出现在13:00—19:00,该时段恰好是下午边界层发展较高的时段,说明风速的增强及边界层的抬升导致了PM_{2.5}质量浓度的降低。偏南风在郊区的作用与城区相反,当风速高于3.0 m·s⁻¹时,PM_{2.5}质量浓度随着风速的增加而逐渐增加,在6.0 m·s⁻¹左右达到最高,风速高于6.0 m·s⁻¹以后,PM_{2.5}质量浓度开始下降,此时风的扩散稀释作用才得以体现。统计发现2006—2008年7—9月上甸子站观测到的偏南风有效数据(同时有PM_{2.5}质量浓度)中仅有不足1%的风速高于6.0 m·s⁻¹,因此在上甸子地区只要地面为偏南风时,对细颗粒物几乎没有扩散作用。当风速低于3.0 m·s⁻¹时,与宝联站相似,PM_{2.5}质量浓度变化不大。通过统计风速在3.0~6.0 m·s⁻¹之间的数据分布情况来看,其中92%出现在09:00—20:00,这与白天北京地区盛行的谷风(偏南风)相对应,其将城市地区的污染物输送到北部上甸子地区,造成下游地区细颗粒质量浓度的增加,也是影响上甸子站PM_{2.5}质量浓度日变化的一个重要原因。

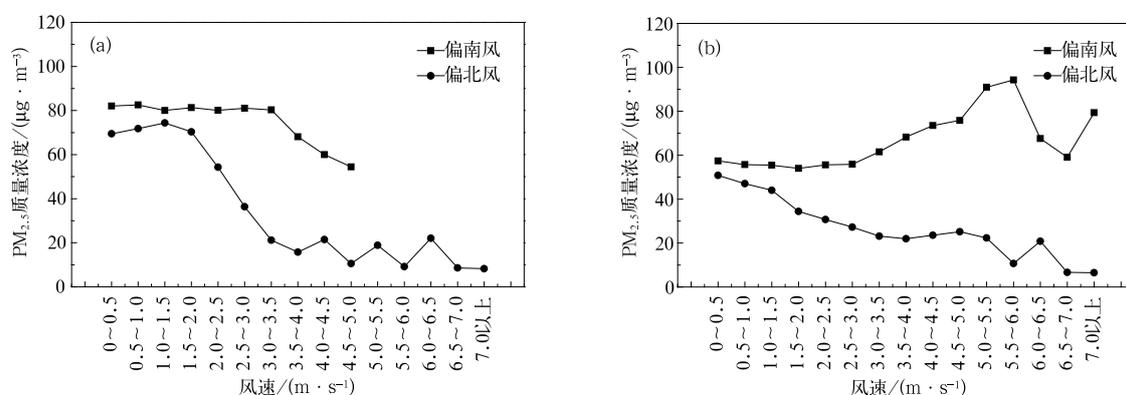


图3 2006—2008年7—9月地面风速对宝联站(a)与上甸子站(b)PM_{2.5}质量浓度的影响

Fig. 3 The influence of surface wind speed on PM_{2.5} concentration at Baolian(a) and Shangdianzi(b) stations from July to September during 2006—2008

2.4 降水对PM_{2.5}质量浓度的影响

降水对大气气溶胶的清除是维持大气中悬浮粒子源汇平衡、大气自清洁的重要过程^[21]。降水对颗

粒物的清除过程分为云内清除和云下清除。云下清除是指雨滴在降落过程中,主要通过惯性碰并过程和布朗扩散作用,捕获气溶胶粒子,使之从大气中清

除的过程。为分析降水对 $PM_{2.5}$ 的清除作用,本文采用逐小时降水量及 $PM_{2.5}$ 浓度数据,分析降水对 $PM_{2.5}$ 的影响。

降水对 $PM_{2.5}$ 的清除量等于降水前 1 小时 $PM_{2.5}$ 的质量浓度(即 $PM_{2.5}$ 的初始质量浓度)与降水后 $PM_{2.5}$ 质量浓度的差值。若清除量大于零表示降水后 $PM_{2.5}$ 浓度较降水前下降,即降水对 $PM_{2.5}$ 起到清除作用。图 4 分别为宝联站及上甸子站清除量

与小时降水量、 $PM_{2.5}$ 初始质量浓度的关系图。从图 4 可以看出,两站的清除量随小时降水量的增加而增大(均通过 0.01 显著性检验),说明随着降水量的增加,云下冲刷过程导致大气中污染物逐渐被清除。从图 4 还可看出,清除量与 $PM_{2.5}$ 初始质量浓度呈正相关(均通过 0.01 显著性检验),即降水前 1 小时的 $PM_{2.5}$ 浓度越大,清除量也随之增大。

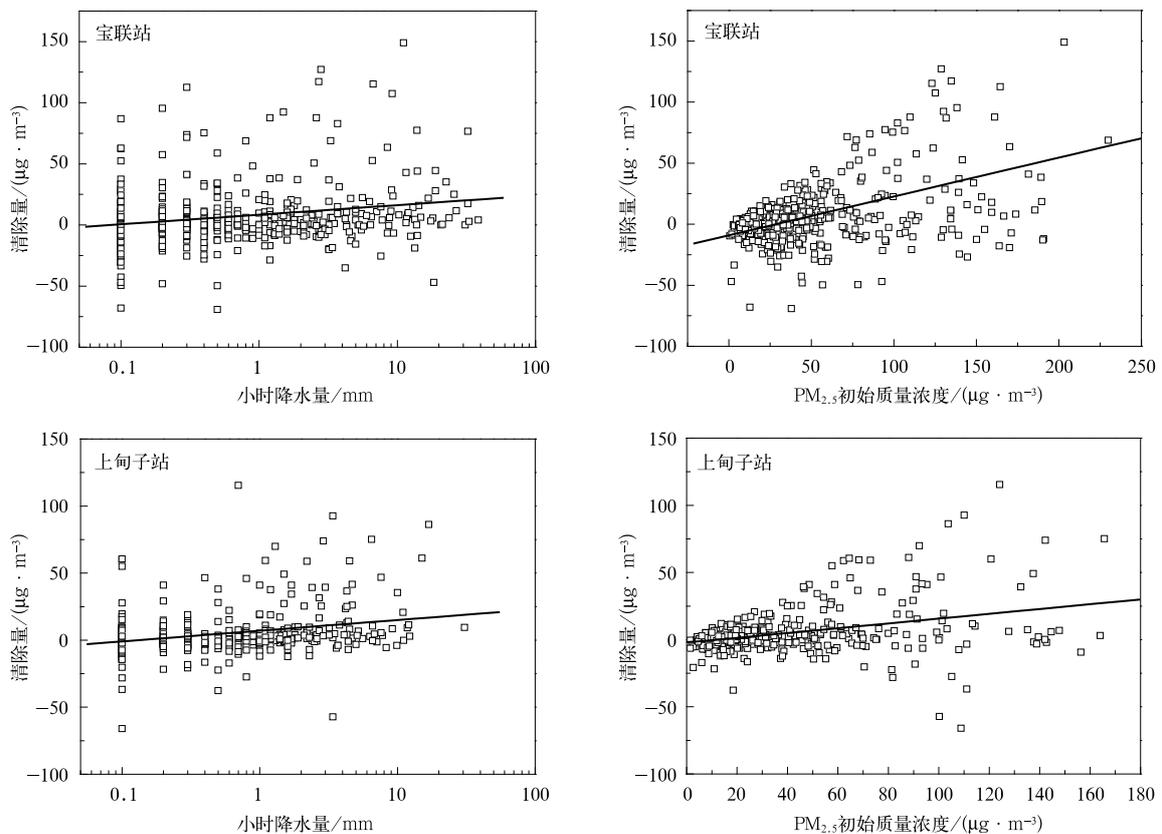


图 4 2006—2008 年 7—9 月宝联站和上甸子站 $PM_{2.5}$ 清除量随小时降水量和 $PM_{2.5}$ 初始质量浓度的变化

Fig. 4 The elimination quantity with the variation of hourly precipitation and $PM_{2.5}$ initial concentration from July to September during 2006—2008

从以上分析可以看出,降水前后污染物浓度的变化不但与降水量大小有关,同时也与污染物的初始质量浓度相关。为考虑污染物的初始质量浓度和降水量对清除作用的影响(只考虑清除量大于零,即对 $PM_{2.5}$ 起到清除作用的情况),本文将 $PM_{2.5}$ 初始质量浓度 c_0 和小时降水量 R 作为因子,与清除量分别归一化后,分别得到宝联站(式(1))与上甸子站(式(2))的回归方程。

$$Y = 1.008 \times c_0 + 0.005 \times R - 5.922 \times 10^{-6}, (1)$$

$Y = 1.005 \times c_0 + 0.034 \times R - 5.647 \times 10^{-7}。(2)$
式(1)相关系数为 0.65,式(2)相关系数为 0.56。从回归方程中可以看出,宝联站与上甸子站的 c_0 系数分别为 1.008 及 1.005,均大于相应的 R 的系数,说明无论是在北京城区还是郊区,降水前 $PM_{2.5}$ 的质量浓度对清除量的贡献比降水量要大。在颗粒物的云下清除过程中,最关键的因素是捕获系数,而捕获系数大小又取决于雨滴谱和污染物粒子尺度谱的数量浓度分布函数及雨滴下落末速度。由于北京地区

PM_{2.5}的质量浓度较高,当同等级雨量的雨水对云下污染物进行冲刷时,单位时间内被雨水捕获的PM_{2.5}较多,因此云下清除过程更多取决于污染物的浓度,降水量的作用相对较弱。

2.5 垂直扩散对PM_{2.5}质量浓度的影响

污染物在大气中的质量浓度除了受污染源强度的影响外,还取决于大气本身的扩散稀释能力。大气混合层高度是反映污染物在垂直方向扩散的重要参数,也是影响大气污染物扩散的主要气象因子之一。最大混合层高度是指日间混合层高度的最大值,是日最高地面气温沿干绝热线上升与早晨探空曲线相交对应的高度。本文利用北京市观象台每日08:00的探空温度廓线,采用干绝热曲线法计算夏秋季节的白天最大混合层高度并结合宝联站日均PM_{2.5}质量浓度进行分析。

为更好地分析日间最大混合层高度的变化对污染物质量浓度的影响,本文在剔除了对污染物质量浓度具有明显的水平输送、扩散和降水清除等作用的数据后,再进行统计,即剔除偏南气流、偏北气流以及有效降水影响的数据,因此,数据基本反映了一般天气条件下混合层高度变化对颗粒物质量浓度的影响。图5为PM_{2.5}质量浓度随混合层高度变化的散点图。从图5可以看出,北京地区2006—2008年7—9月的混合层变化范围为305~2987 m,大部分集中在1000 m以上,平均混合层高度为1630 m。当混合层高度在1000 m以上时,PM_{2.5}质量浓度随着高度增加呈现下降趋势(通过0.01显著性检验),混合层高度在1000 m以下的个别数据点与总体趋势不符,混合层高度较低,PM_{2.5}质量浓度也比较低,通过分析发现这种情况主要发生在降水过程或者偏北风系统过后,天空多云,造成混合层高度较低,但前期的清除过程使得大气中颗粒物质量浓度处于较低水平,从而造成了二者同时出现低值的现象。虽然混合层高度在1000 m以上PM_{2.5}质量浓度总体上随混合层高度增加而降低,但是1000~1500 m PM_{2.5}分布较为均匀,随混合层高度增加其下降趋势不明显,且集中了大部分质量浓度高于100 μg·m⁻³的数据,当混合层高度高于1500 m时,PM_{2.5}质量浓度随着混合层高度的增加下降趋势非常明显。这说明北京地区2006—2008年7—9月混合层高度在1500 m以下时,垂直扩散对污染物的稀释扩散能力并不明显,只有当混合层高度突破1500 m,才能起到明显的作用。

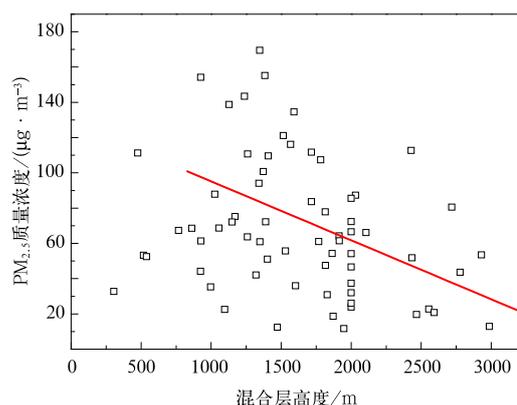


图5 2006—2008年7—9月

PM_{2.5}质量浓度与混合层高度关系

Fig. 5 Scatterplot of PM_{2.5} concentration and mixing layer height from July to September during 2006—2008

3 结论

本研究通过对北京2006—2008年的7—9月PM_{2.5}质量浓度变化特征及主要影响气象要素的分析研究,得到如下结论:

1)北京地区夏末秋初,城区站各月PM_{2.5}平均质量浓度明显高于郊区站。2006年7—9月各月PM_{2.5}平均质量浓度变化不大;2007年8月城区及郊区PM_{2.5}质量浓度均明显降低;2008年夏末秋初PM_{2.5}平均质量浓度有所下降,其中8月和9月质量浓度下降明显。

2)高空偏南风对北京地区大气中的颗粒物主要起输送和累积作用,不但加重了北京城区细颗粒物污染的程度,同时也是造成区域本底地区出现细颗粒物污染的主要原因。偏北风所携带的空气较为清洁,对北京地区的颗粒物起到有效的稀释扩散作用。

3)地面风速在城区和郊区对细颗粒物的输送和扩散作用明显不同。在城区北风和南风分别达到2 m·s⁻¹和3.5 m·s⁻¹以上才能起到扩散作用;郊区在低风速的北风条件下也能起到扩散和稀释作用,而南风则相反,基本上对颗粒物无扩散作用。

4)降水前后PM_{2.5}小时质量浓度的变化量与小时降水量、PM_{2.5}初始质量浓度均呈正相关关系,城区与郊区云下清除过程更多取决于降水前污染物的质量浓度。混合层高度在1000 m以上时,PM_{2.5}总体上随混合层高度增加而降低,只有当混合层高度突破1500 m时,才能对颗粒物起到明显的扩散作

用。

参考文献

- [1] 于风莲, 刘东贤, 胡英. 有关气溶胶细粒子对城市能见度影响的研究. *气象科技*, 2002, 30(6):379-383.
- [2] 宋宇, 唐孝炎, 方晨, 等. 北京市能见度下降与颗粒物污染的关系. *环境科学学报*, 2003, 23(4):468-471.
- [3] Pope C R, Burnett R M J, Calle T E, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 2002, 287: 1132-1141.
- [4] Chan Y C, Simpson R W, Metainsh G H, et al. Source apportionment of visibility degradation problems Brisbane (Australia) using multiple linear regression techniques. *Atmospheric Environment*, 1999, 33(19): 3237-3250.
- [5] 于淑秋, 徐祥德, 林学椿. 北京市区大气污染的时空特征. *应用气象学报*, 2002, 13(特刊):92-99.
- [6] Sun Y L, Zhuang G S, Wang Y, et al. The air-borne particulate pollution in Beijing-concentration, composition, distribution and sources. *Atmospheric Environment*, 2004, 38: 5991-6004.
- [7] Song Y, Tang X Y, Xie S D, et al. Source apportionment of PM_{2.5} in Beijing in 2004. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 146: 124-130.
- [8] 徐敬, 丁国安, 颜鹏, 等. 北京地区 PM_{2.5} 的成分特征及来源分析. *应用气象学报*, 2007, 18(5):645-654.
- [9] 王英锋, 张姗姗, 李杏茹, 等. 北京大气颗粒物中多环芳烃浓度季节变化及来源分析. *环境化学*, 2010, 29(3):369-375.
- [10] 蒲维维, 张小玲, 徐敬, 等. 北京地区酸雨特征及影响因素. *应用气象学报*, 2010, 21(4):464-472.
- [11] 林云, 孙向明, 张小丽, 等. 深圳市大气能见度与细粒子浓度统计模型. *应用气象学报*, 2009, 20(2):252-256.
- [12] Zhao X J, Zhang X L, Xu X F, et al. Seasonal and diurnal variations of ambient PM_{2.5} concentration in urban and rural environments in Beijing. *Atmospheric Environment*, 2009, 43: 2893-2900.
- [13] 刘洁, 张小玲, 徐晓峰, 等. 北京地区 SO₂、NO_x、O₃、PM_{2.5} 变化特征的城郊对比分析. *环境科学*, 2008, 29(4):1059-1065.
- [14] 董雪玲, 刘大猛, 袁杨森, 等. 北京市 2005 年夏季大气颗粒物污染特征及影响因素. *环境工程学报*, 2007, 1(9):100-104.
- [15] 严文莲, 周德平, 汪杨峰, 等. 沈阳冬夏季可吸入颗粒物浓度及尺度谱分布特征. *应用气象学报*, 2008, 19(4):435-443.
- [16] Zheng X Y, Liu X D, Zhao F H, et al. Seasonal characteristics of biomass burning contribution to Beijing aerosol. *Science in China (Series B)*, 2005, 48(5): 481-488.
- [17] 李令军, 王英, 张强, 等. 麦秸焚烧对北京市空气质量影响探讨. *中国科学(D辑)*, 2008, 38(2):232-242.
- [18] 李金香, 赵越, 李令军, 等. 麦秸焚烧导致的北京市大气污染时空分布和化学组成特征分析. *环境科学学报*, 2008, 28(9): 1904-1909.
- [19] 任阵海, 黄美元, 董保群, 等. 我国酸性物质的大气输送研究. 北京: 国家环保总局, 1995.
- [20] 张铮, 孟广礼. 1988 年两广地区春季酸雨观测和天气形势分析. *北京大学学报(自然科学版)*, 1992, 28(1):85-95.
- [21] 彭红, 秦瑜. 降水对气溶胶粒子清除的参数化. *大气科学*, 1992, 16(5):622-630.

Effect of Meteorological Factors on PM_{2.5} in Late Summer and Early Autumn of Beijing

Pu Weiwei Zhao Xiujian Zhang Xiaoling

(*Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089*)

Abstract

The characteristics of PM_{2.5} concentration of Beijing and the relationship with meteorological factors are investigated, using the PM_{2.5} data of Baolian, Shangdianzi stations, sounding data, wind profiling radar data and precipitation data during July, August and September from 2006 to 2008. The results show that the average PM_{2.5} concentration of late summer and early autumn at urban station (Baolian) are significantly higher than that of rural station (Shangdianzi). The prevailing southerly air flow of July to September of Beijing can transport the pollutants that generated in Tianjin, Hebei and Shanxi to Beijing. Due to the mountains blocking in the north, the pollutants are very likely to accumulate and form particle pollution. So the wind direction at 1500 m level has significant influence on PM_{2.5} concentration. The transport of pollutants by the southerly flow not only enhances the pollution level of urban, but also contributes to the fine particle pollution in regional background areas. The northerly flow is clean, and plays the important role of effective dilution and diffusion of PM_{2.5} in Beijing area. The ground wind speed plays different roles in urban and rural areas. The southerly and northerly wind could diffuse PM_{2.5} in urban area when the wind speed exceeds $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. In rural area, the northerly wind could dilute and diffuse PM_{2.5} effectively, but the southerly wind has no effect of diffusion. The variation of PM_{2.5} concentration has positive correlation with precipitation amount and PM_{2.5} initial concentration. The precipitation amount and PM_{2.5} initial concentration in the process of below-cloud scavenging in urban and rural areas are different. As the most critical factor in the below-cloud scavenging process, the capture coefficient depends on the raindrop size, particle size and the raindrop falling speed. Owing to high PM_{2.5} concentrations in urban area, the capture efficiency of PM_{2.5} per unit time is greater than that of rural area under the same precipitation condition. In rural area where PM_{2.5} concentration is lower, the scavenging process depends on the increase of precipitation amount. The PM_{2.5} concentration decreases with the increase of mixing layer when it exceeds 1000 m. Vertical diffusion of PM_{2.5} is more effective when the mixing height breakthrough 1500 m.

Key words: PM_{2.5}; wind direction; wind speed; precipitation; mixing layer height