

# 沈阳冬夏季可吸入颗粒物浓度及尺度谱分布特征<sup>\* 1</sup>

严文莲<sup>1)2)</sup> 周德平<sup>1)</sup> 王扬峰<sup>1)</sup> 杨 军<sup>2)</sup> 李子华<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016)

<sup>2)</sup>(南京信息工程大学大气物理与大气环境实验室, 南京 210044)

## 摘 要

利用沈阳大气成分监测站颗粒物监测仪(Grimm 180)连续测得的夏季(2006年8月)、冬季(2006年12月和2007年1月)可吸入颗粒物的数浓度和质量浓度数据,分析了沈阳市可吸入颗粒物浓度日变化、谱分布及污染特征,在此基础上结合沈阳市常规气象资料,分析了气象要素和颗粒物污染之间的关系。结果表明:沈阳市冬、夏季部分时段可吸入颗粒物浓度存在明显的日变化和日际变化;谱分布较好地符合 Junge 分布;沈阳冬季  $PM_{10}$  超标日数占冬季观测总天数的 77%,  $PM_{2.5}$  超标日数(按美国 EPA 日均标准)占冬季观测总天数的 87%,  $PM_{10}$  平均数浓度为 6668.7 个/ $cm^3$ , 平均质量浓度达 252.8  $\mu g/m^3$ , 分别是夏季的 3.0 和 2.4 倍;冬、夏季  $PM_{2.5}/PM_{10}$  平均质量分数分别为 0.647 和 0.603,  $PM_{2.5}$  占可吸入颗粒物总数量的 99% 以上;浓度变化在很大程度上受到各种气象要素的影响,与温度、风速负相关,与湿度正相关,降雨、降雪过程使得颗粒物浓度明显降低,近地层逆温和雾是颗粒物增多的一个重要因素。颗粒物污染对城市能见度影响较大。

**关键词:** 沈阳;  $PM_{10}$ ;  $PM_{2.5}$ ; 尺度谱分布

## 引 言

大气颗粒物是影响人体健康、大气能见度和地球辐射平衡的重要污染物,同时也是大气化学反应的良好载体。随着我国经济的快速发展和城市规模的扩大,城市环境污染不断加剧。可吸入颗粒物(指空气动力学直径  $d \leq 10 \mu m$  的颗粒物,  $PM_{10}$ )已经成为我国许多大城市的首要污染物,它易被人们吸入呼吸道内,是导致城区人群患病率和死亡率增加的主要因素之一<sup>[1]</sup>。尤其是细颗粒物  $PM_{2.5}$  ( $d \leq 2.5 \mu m$ )可在肺泡沉积并进入血液循环,对人体健康的危害极大<sup>[2-3]</sup>,而且它也是导致能见度降低的主要因素<sup>[4]</sup>。因此,加强城市可吸入颗粒物浓度变化和尺度谱分布特征的研究,揭示城市近地面可吸入颗粒物的一些基本特征及变化规律有重要的意义。国外自 20 世纪 50 年代就开始了这方面的研究,近年来研究更加深入<sup>[5-6]</sup>。国内近二十多年来对颗粒物的观测研究也有了较多的报道<sup>[7-10]</sup>,自 2001 年沈阳市就开始了  $PM_{10}$  的系统监测,并对可吸入颗粒物

的研究也有相关报道<sup>[11-14]</sup>,但对近地层颗粒物数浓度尚未进行过系统观测,对细粒子的一些污染特征研究还不多见,尤其是对不同粒径( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ )下的气溶胶数浓度和质量浓度进行连续并同步观测的研究还远远不够。

2006 年 7 月沈阳大气环境研究所大气成分监测站开始对  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  质量浓度及不同粒径范围内数浓度进行同步监测。本文通过对沈阳市 2006 年 8 月、12 月、2007 年 1 月大气成分观测站颗粒物数浓度和质量浓度的监测资料进行分析,研究此期间沈阳市近地面颗粒物粒子谱的分布特征及颗粒物浓度变化情况,揭示了沈阳市冬、夏季部分时段可吸入颗粒物的污染特征,并结合沈阳市同时段气象资料,研究了颗粒物浓度变化与气象要素之间的关系。

## 1 仪器介绍及分析方法

本文颗粒物自动观测使用的仪器为德国 Grimm 公司生产的颗粒物监测仪(Grimm 180)。它

\* 国家科研院所社会公益研究专项资金项目(2005DIB2J111)资助。

2007-06-19 收到,2008-01-28 收到再改稿。

分32个通道,各通道测量粒子直径的起始值分别为0.2,0.28,0.3,0.35,0.4,0.45,0.5,0.58,0.65,0.7,0.8,1,1.3,1.6,2.0,2.5,2.5,3,3.5,4,5,6.5,7.5,8.5,10,12.5,15,17.5,20,25,30,32  $\mu\text{m}$ ,粒径范围是指光学粒径,采样流量为1.2 L/min。仪器采用 $90^\circ$ 激光散射原理,将粒子散射光转换为电信号,并放大,根据电脉冲的幅度对粒子进行分档计数,同时根据颗粒物粒径采用不同密度自动转化成相应尺度( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_1$ )的质量浓度并记录下来。数浓度测量范围为 $1\sim 2000000$ 个/L,质量浓度为 $0.1\sim 1500$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。为提高其灵敏度,在测量细粒子( $0.25\sim 2.5$   $\mu\text{m}$ )和粗粒子( $2.5\sim 32$   $\mu\text{m}$ )数浓度时,分别采用了不同的激光功率(0.65 mW和20 mW),在 $2.5\sim 3$   $\mu\text{m}$ 通道有重叠。该套仪器除记录不同通道的数浓度及 $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_1$ 的质量浓度外,还通过仪器上的温度湿度传感器记录相应的温湿资料,24 h连续监测,每5 min获得一个观测样本。采样地点位于沈阳区域气象中心楼顶,海拔高度约80 m。本文使用的风速、降水量和能见度资料均来自沈阳市气象观测站,能见度是每日4次(02:00,08:00,14:00,20:00(北京时,下同))的目测资料。

本文使用的是夏季(2006年8月12—31日)和冬季(2006年12月18日—2007年1月25日)的有效观测日数据进行比较分析(1月观测期间,6,7,10,11,18—22日数据缺)。数据分析发现,颗粒物基本上处在 $10$   $\mu\text{m}$ 以下的粒径范围内,所以本文主要研究 $10$   $\mu\text{m}$ 以下的粒子浓度(即前面24个通道的观测值)。对两个 $2.5\sim 3$   $\mu\text{m}$ 的通道值取其算术平均。采用常规的数理统计方法进行数据处理,分别获得小时平均、日平均及季节平均。除特殊标明外,本文所称粗粒子为 $2.5\sim 10$   $\mu\text{m}$ 粒径范围的颗粒物,细粒子为 $0.25\sim 2.5$   $\mu\text{m}$ 粒径范围的颗粒物;颗粒物的质量浓度单位为 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,数浓度单位为 $\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 $\text{PM}_{10}$ 的数浓度、质量浓度日变化特征

将冬、夏季有效观测日24 h逐时质量浓度与数浓度分别进行平均,得到沈阳市 $\text{PM}_{10}$ 的冬、夏季质量浓度和数浓度平均日变化情况(图1)。由图可见,冬、夏两季日变化都呈单峰单谷型,即在上午出现一峰值,下午出现一谷值。冬季在10:00数浓度和质量浓度都达到最高值,13:00—14:00浓度达到

最低;夏季上午浓度峰值出现的时间比冬季要早,质量浓度在08:00左右,数浓度在07:00就会达到最高值,16:00为一天中最低值,较冬季迟;这一观测结果与我国北方城市早晨污染大于傍晚污染的结论相一致<sup>[15]</sup>,只是峰值出现的时间有些差别。早上这段时间浓度高,主要原因是这段时间是人类活动、工业生产、交通运输的高峰期,这些污染源排放出大量的颗粒物,使得 $\text{PM}_{10}$ 浓度增大;下午浓度低值时段出现的主要原因是地面增温,使得近地面大气不稳定,湍流作用较大,利于污染物扩散和输送,因此出现一天当中浓度最低值。沈阳这种单峰单谷型的浓度日变化特征与其他一些城市<sup>[8,16]</sup>的双峰双谷型不同,南京地区<sup>[8]</sup>冬季数浓度除了早上与午后的峰谷外,在夜晚和午夜还分别出现一峰一谷。观测期间沈阳市冬季从傍晚起至次日早上这段时间,其数浓度一直处在较高水平,且在上半夜有持续增大的趋势,到下半夜变化不大;质量浓度有一定的起伏变化,而总的来说是比午后高,并且下半夜比上半夜要高。夏季也有类似的规律,在16:00后开始升高,数浓度和质量浓度下半夜都比上半夜高;但与冬季相比,相应时间的数浓度与质量浓度值都明显偏低。冬季傍晚至次日早上这段时间正是集中供暖时间,导致颗粒物浓度值持续较高。可见沈阳市冬季燃煤供暖对颗粒物污染贡献很大,这也是冬季浓度明显高于夏季的一个重要原因。从图中还可以看到夏季质量浓度与数浓度随时间变化的曲线基本一致,而冬季起伏相对较大,在个别时间段还出现了相反趋势,如冬季的午夜时间,这可能是由于夜间大粒子沉降明显,使得该时间段小粒子数量相对较多的原因。

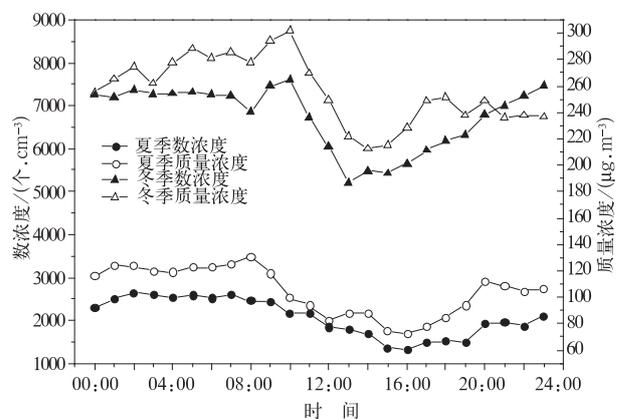


图1 沈阳冬季、夏季 $\text{PM}_{10}$ 数浓度和质量浓度日变化  
Fig. 1 Diurnal variation of  $\text{PM}_{10}$  number and mass concentration in summer and winter of Shenyang

## 2.2 PM<sub>10</sub> 浓度日际变化情况

图 2 是观测期间质量浓度和数浓度逐日变化图。由图 2 可见,质量浓度和数浓度总体上变化趋势一致。大气颗粒物浓度逐日变化较大,其原因主要与天气状况有关。夏季降水量相对较多,在 8 月 12,13,26,27 日分别出现了不同程度的降水,降水量分别为 3.7,0.5,18.0,0.6 mm。每次降水或降水后一两天可吸入颗粒物浓度都有明显的降低,并且雨量较大时,颗粒物浓度降低的也多(图 2a)。例如,8 月 26 日的降雨使得 PM<sub>10</sub> 质量浓度由 25 日的 195.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  降低到 26 日的 82.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,减少一半以上,数浓度也减少了将近 50%。16,17,21 日都是晴天,且日平均风速都达到了 3 级,从图 2a 上可看出,这几日颗粒物浓度较低。可见,晴好天气下,湍流垂直扩散和水平输送加强,也能使得近地层颗粒

物浓度降低。冬季近地面易产生逆温,观测期间大雾天气较多,颗粒物不易扩散。12 月 20 日和 30 日沈阳市由于受蒙古高压控制,大气层结稳定,再加上雾的影响,导致颗粒物浓度明显升高。1 月 3—5 日、15—17 日、23—25 日都有不同程度的雾出现,使得这些天的颗粒物浓度一直较高,空气质量达到或超过了轻微污染的级别。尤其是 1 月 4 日出现的大雾和雾凇天气,使得 PM<sub>10</sub> 质量浓度达到本次观测到的最大值 588.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,相应的数浓度为 14133.2 个/ $\text{cm}^3$ 。由于在 12 月 26 日午前、1 月 6 日晚沈阳地区出现降雪,污染物浓度在之后的几天又出现明显降低(图 2b)。这也证实了降雨降雪是颗粒物清除的一个重要途径,而近地层逆温和雾是颗粒物增多的一个重要因素。

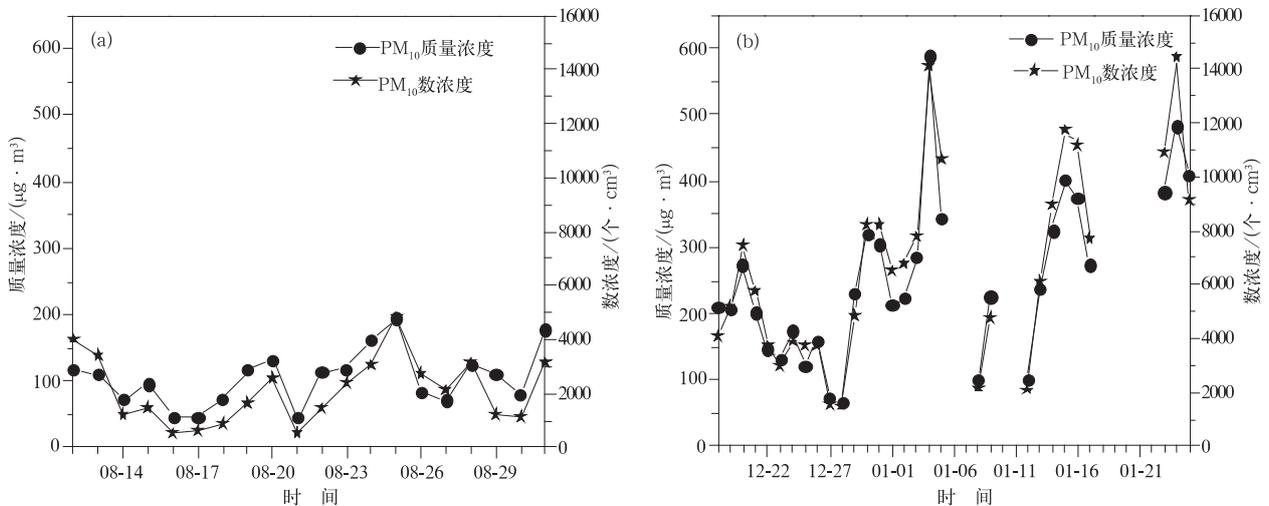


图 2 沈阳 2006 年 8 月(a)、2006 年 12 月—2007 年 1 月(b) PM<sub>10</sub> 质量浓度和数浓度逐日变化

Fig. 2 Inter-daily variation of PM<sub>10</sub> number and mass concentration in August 2006 and December 2006 to January 2007 of Shenyang

## 2.3 谱分布特征

图 3 给出了沈阳市观测期间冬、夏季可吸入颗粒物数浓度谱、两季平均数浓度谱及体积浓度谱分布情况。由图 3a 可见冬、夏季数浓度谱型基本一致,均呈单峰型,只是在所有粒径范围冬季数浓度均比夏季要高。图 3b 实线表示所有观测日的平均数浓度谱,由图可知,颗粒物粒子主要集中在积聚模态,在粒径约 0.3  $\mu\text{m}$  附近达到一个极大值。在 0.3 ~ 1  $\mu\text{m}$  之间,随着粒径的增大,粒子数量明显降低,到粒径大于 2.0  $\mu\text{m}$  后,粒子数浓度随粒径增加下降减缓,且该部分粒径范围内粒子数浓度在可吸入颗粒

物中仅占有极微小的比例。观测期间粒子浓度平均值为 4398.4 个/ $\text{cm}^3$ ,其中细粒子(0.25~2.0  $\mu\text{m}$ )为 4394 个/ $\text{cm}^3$ ,粗粒子( $d > 2.0 \mu\text{m}$ )仅 4.4 个/ $\text{cm}^3$ ,远远小于细粒子。对数浓度谱的曲线进行拟合,发现其变化曲线倾向于符合 Junge 分布  $n(D) = dN/dD = CD^{-\nu-1}$ ,拟合曲线见图 3b 虚线,相应的参数分别为  $C = 131.1708$ ,  $\nu = 3.2339$ ,拟合的平均相对误差为 9.4%。体积谱和质量谱之间只相差一个密度,一般情况下颗粒物粒子的体积谱和质量谱是相似的,体积谱可以近似于粒子质量谱的变化规律。从图 3c 上可以看出,平均体积浓度谱呈多峰型分布,主峰处

在  $0.25\sim 0.35\ \mu\text{m}$  段,其他峰相对主峰来说,都比较小,其中在粗粒子段有一个较明显的峰,峰值在

$6.5\sim 8.0\ \mu\text{m}$ ,与陈义珍等<sup>[17]</sup>研究的体积谱为双峰型、主峰在粗粒子段不同。

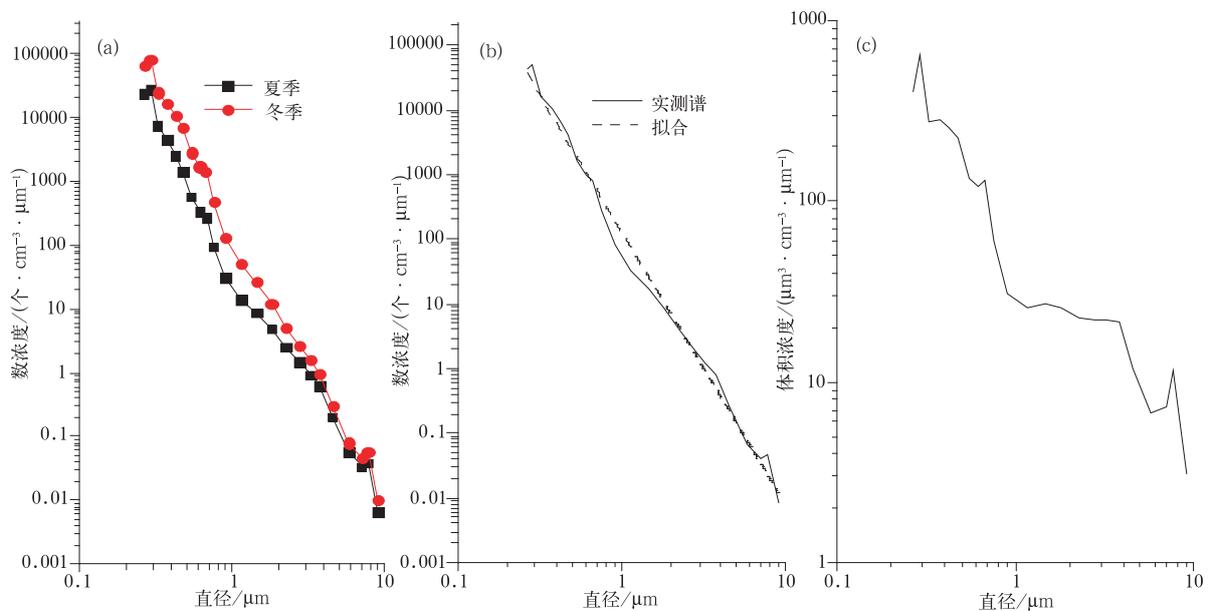


图3 沈阳市冬、夏季颗粒物数浓度(a)、总体平均数浓度(b)和平均体积浓度(c)谱分布

Fig. 3 Aerosol size distributions of number in summer and winter (a), total averaged number (b) and volume (c) concentration in Shenyang

## 2.4 $\text{PM}_{10}$ 与 $\text{PM}_{2.5}$ 污染水平及其关系

由表1可以看出,沈阳夏季  $\text{PM}_{10}$  平均质量浓度为  $104.9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,平均数浓度为  $2211.2\ \text{个}/\text{cm}^3$ ,质量浓度和数浓度的最大日均值分别是它们的1.9和2.3倍。冬季  $\text{PM}_{10}$  平均质量浓度值为  $252.8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,是夏季的2.4倍,比2001—2002年<sup>[12]</sup>冬季平均值稍低;数浓度平均值为  $6668.7\ \text{个}/\text{cm}^3$ ,是夏季的3.0倍,  $\text{PM}_{10}$  相应的最大日均数浓度和质量浓度值都为它们的日均平均值的2.2倍左右;冬、夏季  $\text{PM}_{2.5}$  数浓度变化特征与  $\text{PM}_{10}$  的相应变化差别不大,平均质量浓度分别为  $179.3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $64.6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。如果  $\text{PM}_{10}$  按国家二级标准( $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{PM}_{2.5}$  按美国 EPA 日均标准  $65\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  来比较,沈阳  $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  超标日数分别占冬季观测总天数的77%和87%,夏季分别为9%和

45%。另外沈阳冬季观测期间  $\text{PM}_{10}$  超过国家三级质量标准( $250\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ )的天数达到43%。可见沈阳市冬季  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  污染比较严重,其  $\text{PM}_{10}$  平均质量浓度超过国家二级标准的68%。分析沈阳市冬季  $\text{PM}_{10}$  污染严重的原因,主要还是因为冬季处于采暖期,燃煤量大,排放到空气中的颗粒物增多,再加上沈阳冬季降水少,观测期间虽有几次不同程度的降雪过程,但由于大雾天气较多,逆温严重,不利于颗粒物的清除及扩散,所以颗粒物浓度比较高。夏季相对来说降水多,利于颗粒物的清除,而且稳定的大气层结相对较少,因而污染相对较轻,  $\text{PM}_{10}$  污染基本达到国家二级标准。

由表1还可以看到,在沈阳地区细粒子的数浓度已经达到99%以上。另外,冬、夏季  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$

表1 沈阳冬、夏季  $\text{PM}_{10}$  和  $\text{PM}_{2.5}$  日均质量浓度(单位:  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )及数浓度(单位:  $\text{cm}^{-3}$ )

Table 1  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  daily mean mass concentration (unit:  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) and number concentration (unit:  $\text{cm}^{-3}$ )

季节	$\text{PM}_{10}$ 浓度范围		$\text{PM}_{10}$ 平均值		$\text{PM}_{2.5}$ 浓度范围		$\text{PM}_{2.5}$ 平均值	
	数浓度	质量浓度	数浓度	质量浓度	数浓度	质量浓度	数浓度	质量浓度
冬	1495.8~14447.6	66.4~588.5	6668.7	252.8	1494.8~14442.8	37.5~434.7	6665.7	179.3
夏	550.9~4989.6	44.9~195.1	2211.2	104.9	549.9~4988.5	21.7~129.2	2209.4	64.6

质量分数的平均值分别为 0.69 和 0.603, 两季平均为 0.647。可见, 无论冬季还是夏季, 细粒子的质量浓度均占总数的一半以上, 这也说明大粒子数虽少, 却在质量浓度中贡献较大。沈阳  $PM_{2.5}/PM_{10}$  平均质量分数比黄鹂鸣等<sup>[18]</sup> 关于南京的 5 个采样点的平均  $PM_{2.5}/PM_{10}$  值 0.717 低, 比刘宇等<sup>[19]</sup> 关于兰州市、郊区平均的  $PM_{2.5}/PM_{10}$  值 0.52 高。对沈阳市  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  的质量浓度进行相关性分析表明, 较好地符合线性关系, 相关系数达到 0.99, 通过了 0.01 的显著性检验。这也可以看出沈阳市颗粒物在空气中主要以细粒子的形式存在。由于细粒子可进入人体的支气管和肺泡, 引发各种疾病, 这更需要引起人们的注意。

## 2.5 可吸入颗粒物浓度与气象要素的关系

### 2.5.1 冬、夏季颗粒物浓度与温度、相对湿度的关系

图 4a 给出了沈阳夏季 8 月 17—19 日 3 d 的气溶胶质量浓度、数浓度与相应温度、相对湿度的日变化。从图中可以看出, 夏季在夜晚至凌晨这段时间

相对湿度较高, 温度较低, 相应的粒子浓度也相对较高; 日出后气温上升, 湍流加强, 湿度迅速下降, 在午后 1~2 h 内气温达到一天中最高值, 相应的相对湿度出现一天中最低值, 而对应的粒子浓度也较低。夏季数浓度与质量浓度总体上都与温度负相关, 相关系数分别为 -0.35 和 -0.10; 与相对湿度正相关, 相关系数分别为 0.57 和 0.34。这与其他观测结果是一致的<sup>[9,16]</sup>, 在相对湿度低于一定值时, 颗粒物数浓度与相对湿度成正相关, 而粗粒子数量变化不大, 主要是由于原来低于粒子计数器测量下限的小粒子在空气湿度较大的情况下吸湿增长到可测范围使数浓度增大的缘故。这也使得相应的质量浓度随湿度增大而增大。李子华等<sup>[20]</sup> 研究表明, 温度、湿度、颗粒物之间相互作用, 白天颗粒物粒子的存在, 使白天近地层降温, 晚上升温, 而相对湿度通过对颗粒物短波辐射光学特性的影响进一步影响近地面温度, 随着相对湿度增大, 近地面温度降低。另外, 在 17 日 00:00—06:00 和 19 日 04:00—08:00

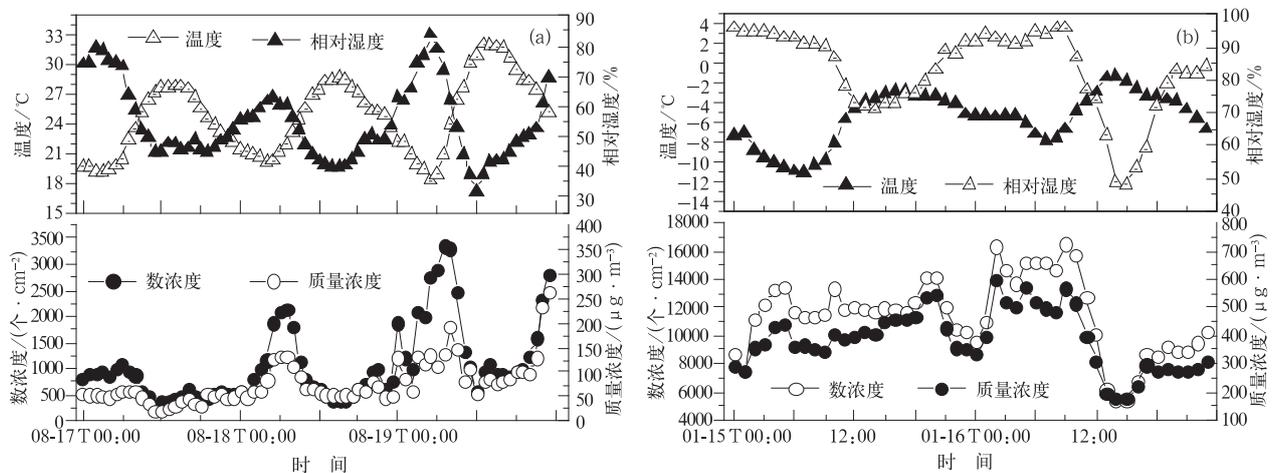


图 4 沈阳夏季(a)、冬季(b)  $PM_{10}$  平均数浓度、质量浓度与温度、相对湿度日变化

Fig. 4 The diurnal variation of mean number, mass concentration of  $PM_{10}$  and temperature, relative humidity in Shenyang  
(a) summer, (b) winter

期间相对湿度都较大(70%以上), 但对应的浓度差别较大, 可见浓度的大小不仅与温湿条件有关, 还受到其他因素的影响。

观测期间, 冬季有雾日较多, 在这里冬季主要分析有雾日(1月15—16日)粒子浓度与温度和相对湿度的变化(图4b)。15日和16日有雾时段主要出现在午夜至次日08:00, 相对湿度在90%以上, 在07:00之前, 温度持续下降, 由于近地层出现逆温,

使得近地面颗粒物不易向上输送, 出现高浓度值。07:00后, 太阳辐射加强, 气温上升, 逆温层慢慢被破坏, 雾逐渐消散, 相对湿度急剧下降, 16日上午粒子浓度也随之下降; 而15日相应的粒子浓度下降出现滞后, 白天一直维持较高水平, 到20:00才开始下降, 并且很快随着夜晚辐射降温和逆温的形成, 粒子出现堆积, 浓度又开始上升。可见冬季有雾日颗粒物浓度与温度和相对湿度关系较复杂。

### 2.5.2 可吸入颗粒物与风速的关系

风速是反映大气动力稳定性的重要特征量,是与空气污染密切相关的气象参数,它对大气污染物的扩散稀释和三维输送起着重要作用。利用观测期间的日均数浓度及相应的日平均风速资料来描述沈阳市风速对颗粒物粗、细粒子数浓度的影响(图5)。

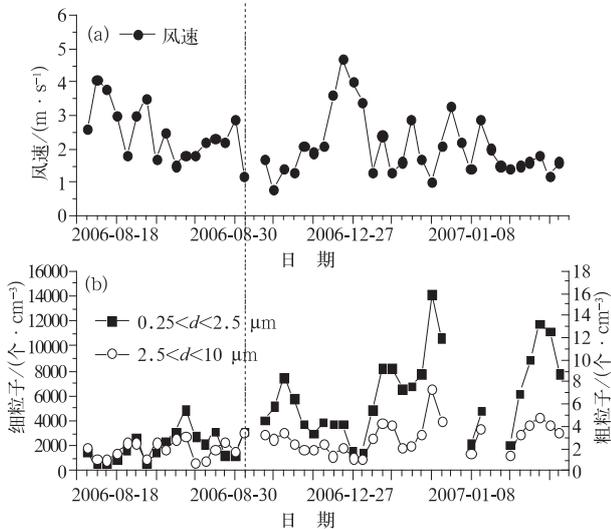


图5 沈阳风速(a)与粗、细粒子数浓度(b)逐日变化  
Fig. 5 The wind speed (a) and inter-daily of coarse/fine particle number concentration (b) in Shenyang

这段时间风速基本处在1.0~5.0 m/s之间,由图5可见,总体上粗、细粒子都与风速成较好的负相关性。当风速较小时,不利于颗粒物的扩散和输送,当风速达到2级以上时,颗粒物浓度有明显下降。这是因为当风速增大时,在不超过一定阈值范围内,湍流加强,大气中的污染物在湍流混合和水平输送的作用下,逐渐分散稀释,可使颗粒物的浓度降低。图中显示出细粒子随风速变化幅度比较大,二者相关系数为-0.52(通过0.01显著性检验)。与细粒子相比,粗粒子虽也呈现负相关趋势(相关系数为-0.49,通过0.01显著性检验),但数量变化幅度不大,在个位数范围内。由于质量浓度与数浓度变化趋势有很好的-一致性,由此可知质量浓度与风速也有类似的变化趋势(图略),其细粒子质量浓度与风速相关系数为-0.50。

### 2.5.3 不同天气状况下颗粒物数浓度和谱的变化

为了研究不同天气状况对颗粒物数浓度和谱的影响,选取8月24—27日资料进行分析,相关的气象条件及粗、细粒子浓度情况见表2。图6是该时段谱分布情况,同时给出了降雨日(8月26日)相对25日的浓度减少率。

表2 2006年8月24—27日的天气要素及粗、细粒子浓度

Table 2 Meteorological elements and coarse/fine particle from Aug 24 to 27, 2006

日期	天气	细粒子 (个·cm <sup>-3</sup> )	粗粒子 (个·cm <sup>-3</sup> )	湿度/%	温度/℃	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	降水量/mm
08-24	晴有时多云	3035.6	2.9	58.8	25.8	1.5	0.0
08-25	多云转阴	4827.4	3.1	65.0	26.6	1.8	0.0
08-26	中雨	2744.3	0.8	90.0	22.4	1.8	18.0
08-27	小雨转多云	2116.6	0.9	88.0	22.7	2.2	0.6

分析表明,该时段温度、风速较小,变化幅度不大,风向多为西南方向,而由于降水作用使得湿度出现大的变化。在不同天气状况下数浓度有一定的差异,尤其是在细粒子端,差异更明显。4 d中阴天数浓度最大,其次为晴天,而雨天各尺度档数浓度比阴天、晴天都要低。受河套附近的高空槽和地面低压东移北上影响,26日出现了明显的降水过程,日降水量为18 mm。26日的数浓度在粗、细粒子段与25日相比都有明显减少,这主要是由于降水清除的结果。在小于0.50 μm端,颗粒物粒子清除率较低,在0.50 μm以上颗粒物的减少率随着粒子直径的增大而增大。从图6上还可以看到,在粒径为0.40~0.45 μm之间有一个清除率谷值,为了判断

这个谷是否显著,计算了每个点的标准偏差绘于图上,可见,谷值附近各点的波动范围均比较大。因此,图中所显示的谷可能只是一种偶然因素造成的,还不能判断是一种规律性现象,有待于以后工作中进一步关注。27日小雨(雨量0.6 mm)过程对细粒子也有一定的清除效果,而粗粒子数量没有减少。

为进一步研究雨水对空气中颗粒物的清除效果,将8月26日24时次雨量与粗、细粒子数浓度进行了对比分析。根据气象资料,在07:07—07:22有零星小雨出现,到08:30降雨开始明显起来。图7中显示,在降雨之前(06:00),细粒子浓度很高,为4050.5个·cm<sup>-3</sup>,降雨之后,粗、细粒子都开始减少。降雨开始时段(10:00—14:00),当降雨量下降

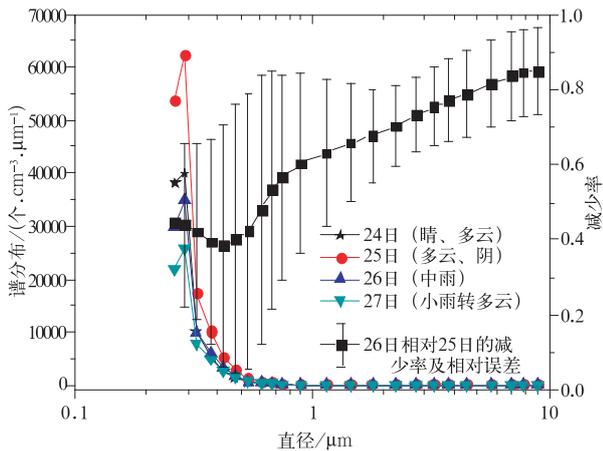


图 6 2006 年 8 月 24—27 日不同天气下谱分布及 26 日相对 25 日的减少率

Fig. 6 Size distribution of different weather during Aug 24—27, 2006 and cleared rate of Aug 26 because of precipitation

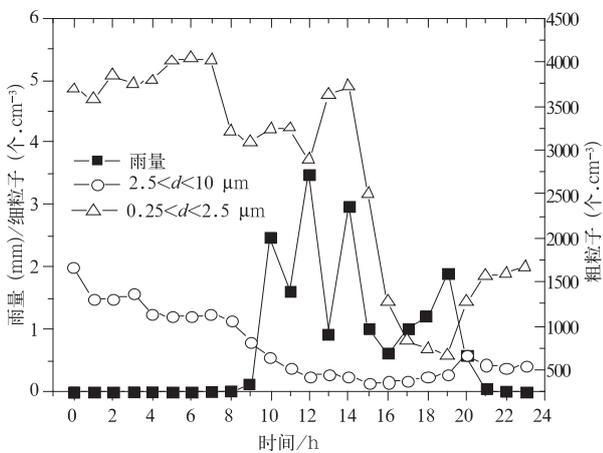


图 7 2006 年 8 月 26 日粗、细粒子数浓度与雨量日变化对比

Fig. 7 The precipitation process and variation of number concentration of coarse and fine aerosol on Aug 26, 2006

时,细粒子浓度也略有上升。随着降雨时间的延长,细粒子浓度在 14:00 后出现大幅度下降,至 19:00 仅  $664.603 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。粗粒子数浓度在降雨期间比降雨前后都要小,但相对细粒子来说,其变化幅度不大。在降雨停止后,粗、细粒子数浓度都有所上升。上述特征表明小雨也有一定的湿沉降作用,且随着降雨量的增大和降水时间的延长,雨水清除效果更明显。

## 2.6 颗粒物污染与能见度之间的关系

图 8 反映了观测期间所有能见度与相应时刻  $\text{PM}_{10}$  的数浓度关系,总体上说,当  $\text{PM}_{10}$  数浓度值越大时,空气污染也越严重,对应的能见度也较小;反

之, $\text{PM}_{10}$  数浓度值越小,空气也越清洁,能见度相对较大。可见,颗粒物对能见度的影响很大,其主要原因是由于大气中的可吸入颗粒物对可见光的吸收和散射所产生的消光作用所致。

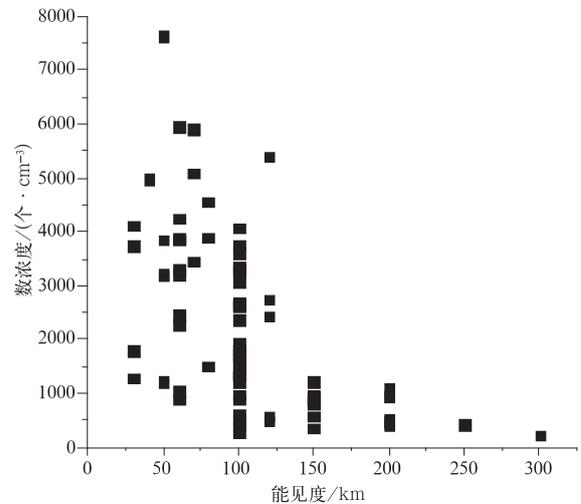


图 8 能见度与数浓度的关系

Fig. 8 The relation of the visibility and number concentration

## 3 结论

1) 在沈阳观测期间(2006 年 8 月、12 月和 2007 年 1 月)  $\text{PM}_{10}$  浓度平均日变化都呈单峰单谷型特点,冬季 10:00 数浓度和质量浓度均达到最高值,13:00—14:00 浓度达到最低值;夏季峰值出现的时间比冬季要早,谷值较冬季迟;冬季由于傍晚至次日早晨燃煤采暖,数浓度一直处在较高水平。

2) 沈阳冬季  $\text{PM}_{10}$  平均数浓度是  $6668.7 \text{ 个}/\text{cm}^3$ ,质量浓度是  $252.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,分别是夏季(8 月)的 3.0 倍和 2.4 倍;冬季  $\text{PM}_{10}$  超标日数较多,超标天数占总样本数的 77%,超过三级标准日数占 43%。 $\text{PM}_{2.5}$  平均质量浓度分别为  $179.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $64.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

3) 平均数浓度谱分布呈单峰型,峰值在  $0.3 \mu\text{m}$  附近,颗粒物粒子主要集中在积聚模态;体积浓度谱呈多峰型,主峰在  $0.25 \sim 0.35 \mu\text{m}$  段;数浓度谱的曲线用 Junge 分布模式  $n(D) = 131.1708D^{-4.2339}$  拟合较好,平均相对误差为 9.4%。

4) 不同天气状况下的谱分布有很大不同,阴天粗、细粒子数密度都高于晴、雨天;降水使得颗粒物浓度明显降低,尤其是对细粒子清除率较高;降水的

清除效果与降雨量和降水持续时间长短密切相关。

5) 观测期间,细粒子在  $PM_{10}$  中占有很高的比例, $PM_{2.5}$  占可吸入颗粒物总数量的 99% 以上,冬、夏季  $PM_{2.5}/PM_{10}$  平均质量分数分别为 0.69 和 0.603; $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  的质量浓度较好地符合线性关系。

6)  $PM_{10}$  浓度变化在很大程度上受到各种气象要素的影响,与温度、风速负相关,与湿度正相关;冬季有雾日与温度和相对湿度相关性不明显,颗粒物污染对城市能见度影响较大。

### 参考文献

- [1] 唐孝炎. 环境化学, 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [2] 滕恩江, 胡伟, 吴国平, 等. 中国四城市空气中粗细颗粒物元素组成特征. 中国环境科学, 1999, 19(3): 238-242.
- [3] 邵龙义, 时宗波, 黄勤. 都市大气环境中可吸入颗粒物的研究. 环境保护, 2000, 1: 24-26.
- [4] Chan Y C, Simpson R W, Ctainsh G H, et al. Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques. *Atmos Environ*, 1999, 33: 3237-3250.
- [5] Whitby K T. The physical characteristics of sulfur aerosols. *Atmos Environ*, 1978, 12: 135-159.
- [6] Buzorius G, Hameri K, Pekkanen J, et al. Spatial variation of aerosol number concentration in Helsinki city. *Atmos Environ*, 1999, 33: 553-565.
- [7] 王庚辰. 大气气溶胶浓度与尺度谱分布的某些特征. 大气科学, 1982, 6(2): 211-216.
- [8] 陈金荣, 周文贤, 安强. 南京冬季大气气溶胶的物理特征. 南京气象学院学报, 1996, 19(3): 374-378.
- [9] 张仁健, 王明星, 戴淑玲, 等. 北京地区气溶胶粒度谱分布初步研究. 气候与环境研究, 2000, 5(1): 85-89.
- [10] 朱彬, 马力, 杨军, 等. 重庆冬季大气气溶胶的物理、化学特征. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 662-668.
- [11] 石宇虹, 张菁, 刘从容. 沈阳空气质量时空变化. 气象科技, 2002, 30(5): 313-317.
- [12] 梁元凤, 刘从容. 沈阳市环境空气中可吸入颗粒物污染现状分析. 环境保护科学, 2003, 29(2): 6-7.
- [13] 秦怡, 戴伟, 李长祯, 等. 沈阳市可吸入尘(IP)与其他气象因素的相关分析. 中国公共卫生学报, 1999, 18(2): 79-81.
- [14] 杨军, 周德平, 宫福久. 辽宁地区大气气溶胶粒子的垂直分布特征. 南京气象学院学报, 2000, 23(2): 196-203.
- [15] 国家环保局, 中国环境科学院. 城市大气污染总量控制典型范例. 北京: 中国环境科学出版社, 1993: 40-48.
- [16] 桑建人, 杨有林. 银川市初夏气溶胶粒子谱分布特征. 中国沙漠, 2003, 23(3): 328-330.
- [17] 陈义珍, 柴发合, 魏强. 北京市冬季气溶胶粒子尺度谱分布研究. 安全与环境学报, 2006, 6(1): 80-84.
- [18] 黄鹂鸣, 王格慧, 王荟, 等. 南京市空气中颗粒物  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  污染水平. 中国环境科学, 2002, 22(4): 334-337.
- [19] 刘宇, 王武功, 尚可政, 等. 兰州市低空风时空变化特征及其与空气污染的关系. 高原气象, 2002, 21(3): 322-326.
- [20] 李子华, 杨军, 黄世鸿. 考虑湿度影响的城市气溶胶粒子白天温度效应. 大气科学, 2000, 24(1): 87-94.

## Concentrations and Size Distributions of Inhalable Particles in Summer and Winter in Shenyang

Yan Wenlian<sup>1)2)</sup> Zhou Deping<sup>1)</sup> Wang Yangfeng<sup>1)</sup> Yang Jun<sup>2)</sup> Li Zihua<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Shenyang Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016)

<sup>2)</sup> (Department of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

### Abstract

Inhalable particles which refer to particles with aerodynamic diameters less than 10  $\mu\text{m}$  are the main pollutants in many cities. They are crucial to human health, visibility of atmosphere and radiation balance, and are also the good bearer of atmospheric chemistry reaction. Some studies about inhalable particles are made in Shenyang, but the studies on the number concentration of the surface layer aerosols and the polluted characteristic are scarce, especially the synchronous observation and research about the number and mass concentration of  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  are not enough. Atmospheric component monitoring station of Shenyang has begun to continuously and synchronously monitor the  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  with ambient dust monitor (Grimm 180) since July 2006. Based on continuous observations of inhalable particles including number and mass concentration data in the atmosphere in August 2006 (summer), in December 2006, and in January 2007 (winter), data are processed by mathematical statistics to obtain the average hourly, daily and seasonal concentration. In order to reveal pollution characteristics of Inhalable Particles in Shenyang, particle spectrum distribution and variations of concentration are analyzed. In addition, the relations to meteorological factors are investigated. Results show that the diurnal and inter-daily variations of concentration are obvious, and diurnal variations of summer and winter both show the characteristics of single peak and single vale. Peak value in summer is earlier than that in winter, but vale value is later. Number and mass concentrations reach the highest point at about 10:00 in winter, and the lowest point is between 13:00 and 14:00. The spectrum distribution conforms to the Junge distribution well, and the average relative error is 9.4%. Number of days that  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  mass concentration is above air quality standards, and is 77% and 87% of total days in winter respectively, and number of days that exceeds third class standard is 43%. The mean number density is 6668.7  $\text{cm}^{-3}$ , and the mass concentration reaches 252.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 3.0 and 2.4 times of summer respectively. Average mass percentage about  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  of winter and summer respectively are 0.647 and 0.603,  $\text{PM}_{2.5}$  average quantity accounts for over 99% of  $\text{PM}_{10}$ . Concentration variation has a good connection with wind speed, temperature and relative humidity. The spectrum distribution is different as well as the conditions of the different weather, and the precipitation and snowfall could wipe off aerosol concentration obviously, especially of the high clear rate for the fine particles, and the near ground temperature inversion and fog are important for aerosol increase. The visibility in the city is affected evidently by pollution of the airborne particulate matters.

**Key words:** Shenyang;  $\text{PM}_{10}$ ;  $\text{PM}_{2.5}$ ; size distributions