

北京市 1998~2001 年大气气溶胶 粒子数浓度分析*

姜 忠^{1,2)} 石广玉¹⁾ 陈焕森¹⁾

1) (中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

2) (中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 通过对北京市 1998~2001 年气溶胶数浓度的测量, 分析了气溶胶粒子谱分布和数浓度变化, 揭示了北京市气溶胶数浓度特征及其变化规律, 同时还分析了沙尘与北京市气溶胶数浓度的联系。研究表明, 北京市气溶胶数浓度自 1998 年逐年减小, 2001 年 6 月开始有所增加, 气溶胶数浓度日变化特征同 20 世纪 80 年代有较大差异, 北京市气溶胶变化与沙尘天气密切相关。

关键词: 气溶胶; 谱分布; 数浓度; 沙尘

1 引言

气溶胶作为悬浮在大气中的颗粒物, 不仅可以降低大气能见度, 影响大气环境, 还能直接影响人和其他动植物的生理健康。有研究表明, $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 直径的气溶胶粒子可通过呼吸到达肺部或进入肺泡, 并由血液通往全身。气溶胶本身的毒性及其携带的有毒物质能够给人体造成危害, 严重时能够使人致残、致畸、致癌^[1]。此外, 气溶胶还通过改变地气系统辐射平衡和云的微物理结构对气候产生影响^[2,3]。

随着北京市城市规模不断扩大, 城市人口和机动车数量都有较大幅度增加, 在一定程度上增加了气溶胶的源地, 影响了城市气溶胶粒子数量。另外, 由于北京近几年遭受强沙尘暴的次数略有增加, 因而也给北京带来大量的沙尘气溶胶, 严重影响了城市大气环境, 给交通运输和人们的工作、生活带来不便。随着国民生活水平的提高, 居住地及其周边的大气环境日益为人们所重视。加强城市气溶胶的研究, 揭示城市近地面气溶胶的发展现状及其变化规律, 不仅有助于环保部门采取合理的措施进行大气质量控制, 还能加强城市居民对气溶胶的认识, 从而提高国民的大气环境保护意识。

北京市气溶胶观测研究多集中在 20 世纪 80 年代, 90 年代以后相对较少。近 20 年来北京市气溶胶状况变化较大, 尤其是 90 年代后期。而且以往气溶胶观测多为几天到几十天, 无法获得气溶胶粒子数浓度的长期变化数据。本文通过对 1998 年 4 月至 2001 年 12 月北京市大气气溶胶数浓度近 4 年的观测, 研究了此期间北京市近地面大气气溶

2003-06-28 收到, 2003-08-04 收到修改稿

* 中国科学院知识创新项目 KZCX2-305、中国科学院国际合作局中日 ADEC 项目和国家重点基础研究规划项目 G2000048703 共同资助

胶粒子谱的分布特征, 粒子数浓度的年变化、日变化规律及其趋势, 并简要分析了气溶胶粒子同沙尘天气之间的联系。

2 观测仪器与观测方法

观测使用的仪器为苏州市华达仪器设备厂生产的 BCJ-1 尘埃粒子计数器。它分 6 档对大气气溶胶的浓度进行测量, 各档测量粒子直径的范围分别为: $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 、 $0.5\sim 0.7\ \mu\text{m}$ 、 $0.7\sim 1.0\ \mu\text{m}$ 、 $1.0\sim 2.0\ \mu\text{m}$ 、 $2.0\sim 5.0\ \mu\text{m}$ 及大于 $5.0\ \mu\text{m}$ 。仪器的采样流量是 $2.83\ \text{L min}^{-1}$ 。测量地点位于中国科学院大气物理研究所大塔分部 (39.56°N , 116.17°E), 介于北京市北三、四环路之间。仪器放置的高度离地面 8 m。测量时间是每天早晨 7:00 至傍晚 18:00, 每小时测量 3 次, 每次测量的持续时间是 1 min。雨雪天气时停止测量。

本文使用的数据是 1998 年 4 月至 2001 年 12 月 967 个有效观测日的测量结果。首先根据不同天气类型, 每种天气选取 5 组数据与其他观测仪器测量结果进行日观测对比, 测量数据符合较好, 尤其是沙尘日; 其次对 5 组沙尘天气前后近 1 周的观测数据进行对比, 测量数据变化趋势符合较好。本文使用的观测仪器虽然有专人进行定期维护和校正, 但是由于长期使用, 其精度较进行短期测量的仪器略有不足。

3 分析与讨论

3.1 气溶胶粒子谱分布的特征

3.1.1 气溶胶粒子谱分布的季节变化

首先给出北京市大气气溶胶 1998~2001 年平均数浓度谱 (图 1a) 和平均体积谱 (图 1b) 分布的季节变化特征。它是通过对 4 年期间的测量结果按照季节平均得到的, 每年 3、4、5 月为春季, 余下季节的月份依次类推。

从图 1a 可以看出, 北京市大气气溶胶粒子数浓度谱呈单峰分布, 峰值偏向于直径在 $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 和 $0.5\sim 0.7\ \mu\text{m}$ 的小粒子, 其数浓度比直径 $5.0\ \mu\text{m}$ 以上的大粒子要高出 4 个数量级。分析结果表明, 通常测量时, 小粒子的数浓度占粒子总浓度的 70% 以上, 4 年平均结果为 82%; 大粒子, 尤其是直径 $5.0\ \mu\text{m}$ 以上的粒子数浓度很小, 文献 [4, 5] 也报道了同样的测量结果。图 1b 表明气溶胶粒子的体积谱呈双峰分布, 主峰值的粒子直径在 $0.5\sim 0.7\ \mu\text{m}$, 次峰值的粒子直径在 $2.0\sim 5.0\ \mu\text{m}$ 。可见在粒子体积谱中, 直径在 $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 的小粒子所占比重很小, 而 $0.7\sim 1.0\ \mu\text{m}$ 直径的中档粒子和大粒子所占的比重较大。因此大粒子虽然数量不多, 但在粒子体积谱中却不容忽视。由于大气中大粒子的消光效应比小粒子强, 因此它们在大气环境中的作用也更加明显。

其次, 分析北京市大气气溶胶粒子谱分布的季节变化。从图 1a 可以看出, 直径 $0.7\ \mu\text{m}$ 以上的 4 档粒子数浓度谱季节变化规律基本一致, 秋季粒子数浓度都很高, 依次是冬季、春季和夏季。这同北京市所处的气候背景及周边地表植被覆盖有直接联系。小粒子的数浓度秋冬季高, 春季最小。图 1b 中的气溶胶粒子体积谱也具有同样的季节变化特征。

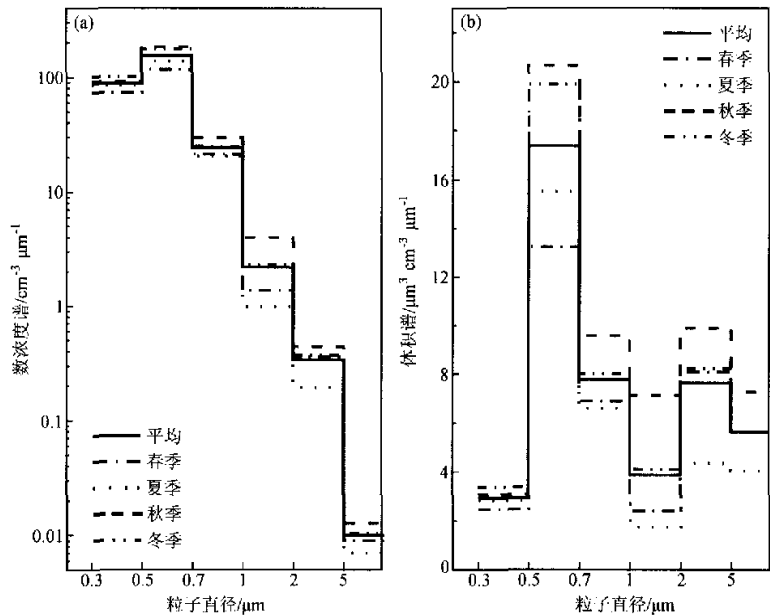


图 1 1998~2001 年平均数浓度谱 (a) 和
平均体积谱 (b) 分布的季节变化特征

3.1.2 沙尘天气对气溶胶粒子谱的影响

受气候背景与人类活动的影响,北京市近地面大气气溶胶粒子数浓度秋冬季较高,春季峰值并不明显。然而大粒子春季峰值却很突出,这是否与春季沙尘天气活跃有关?2001 年 3、4、5 月间共有 17 次沙尘天气过程影响北京,其中 3 月 8 次、4 月 6 次、5 月 3 次。将 2001 年春季北京市沙尘日、非沙尘日大气气溶胶粒子数浓度谱进行对比(见图 2),可以看出,气溶胶各档粒子数浓度按照非沙尘日、春季平均、沙尘日的顺序,依次增加。沙尘日增幅最大,其中小粒子和大粒子数浓度分别比非沙尘日增加 102.26%和 136.42%。由于小粒子占总粒子的绝对多数,因此在上述沙尘天气中,小粒子数量增长最为明显,而中档粒子、大粒子数量的增长比例则最为突出。以上仅为北京市 2001 年春季气溶胶数浓度谱的分析结果,时间段较短,并不能完全反映一年或几年沙尘天气对城市气溶胶的影响,有关工作还在继续。

不同强度的沙尘天气中,气溶

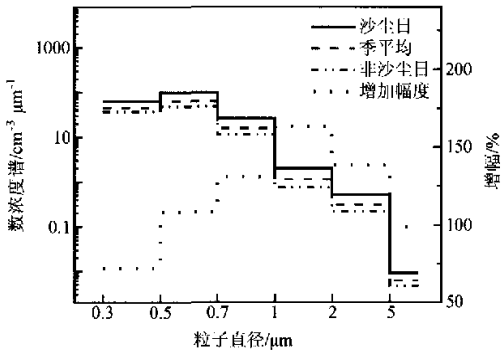


图 2 沙尘日、春季、非沙尘日气溶胶平均数浓度谱分布

胶粒子数浓度谱分布的差别也较大。通过分析影响北京市的2000年4月5日、2002年3月20日、4月8日^[1]沙尘天气和2000年11月3、4日扬沙过程中气溶胶数浓度谱的变化,可以发现各档粒子数浓度普遍升高。沙尘暴天气里中档粒子和大粒子数浓度增加的比例最大,有时可达一个数量级,小粒子在数量上增加较多。而且通常沙尘暴过后2~3天,气溶胶数浓度普遍又形成峰值,可能与输送的沙尘粒子以及不同的天气状况有关。扬沙天气里,大粒子数浓度增幅并不明显,小粒子数浓度增幅通常超过沙尘暴天气。值得注意的是各种沙尘天气里,0.3~0.5 μm 直径的小粒子增幅明显超过0.5~0.7 μm 直径的粒子,并使其在总粒子数中的比例超过后者。

3.2 气溶胶粒子数浓度的特征

3.2.1 数浓度变化趋势

综合1998年4月至2001年12月的数据,得到15个季节平均数浓度(见图3)。

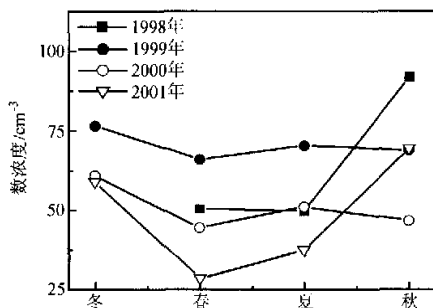


图3 总粒子数浓度季平均

1998年由于没有3月份的观测数据,因此仅使用了4、5两个月作为春季平均。1999、2000年气溶胶粒子总浓度季节变化趋势相近,冬季粒子总浓度较大,春季较低,夏季有所上升,秋季略有下降。2001年冬季、春季和夏季气溶胶粒子总浓度变化趋势同1999、2000年相似,只是变化幅度较大,夏秋季节之间的变化同前两年有些区别。1998年夏季和冬季北京气溶胶粒子总浓度变化趋势同2001年十分接近。通过以上分析可以发现气

溶胶粒子总浓度变化具有一定季节规律,由于影响气溶胶数浓度的因素较多,相关的规律还有待进一步深入研究。

3.2.2 气溶胶粒子数浓度月平均值的逐年变化

4年中,北京市不同粒径的气溶胶粒子数浓度变化差别较大。计算所得6档气溶胶粒子日平均数浓度的离散系数分别为: 1.5950×10^{-2} , 2.1366×10^{-2} , 2.5455×10^{-2} , 6.6186×10^{-2} , 3.1299×10^{-2} , 5.0637×10^{-2} 。小粒子数浓度相对稳定,变化不大;中档粒子和大粒子数浓度变化幅度较大。

分别将大粒子和小粒子的数浓度按月进行平均,得到北京市大气气溶胶粒子数浓度自1998年4月至2001年12月的变化特征(图4),可见大粒子和小粒子月平均数浓度4年变化基本一致。1998年底至2001年6月,由于受燃料变化等诸多因素影响,北京市气溶胶粒子数浓度虽有季节起伏,但总体在逐年降低。2001年6月以后,北京市气溶胶粒子数浓度开始有所增加,并于10月形成较大峰值,初步分析同北京地区当年特殊的气候背景有关。

小粒子和大粒子数浓度的具体变化又有所区别:小粒子数浓度振荡频率大,峰值数日多,且每季都有峰值出现,峰值量级相差不大;大粒子数浓度振荡频率大致只是

1) 为了解特大沙尘暴过程中北京市大气气溶胶的变化特征,特选择2002年两次强沙尘天气进行分析。

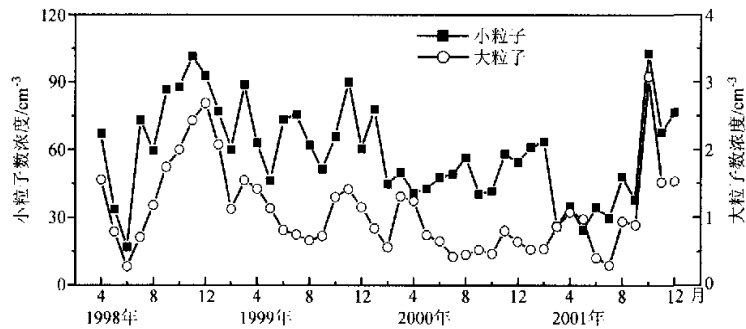


图4 1998~2001年小粒子和大粒子数浓度月平均

小粒子的一半,且峰值大小相差较大。以上区别说明北京市大、小气溶胶粒子数浓度的长期变化具有一定相关性。由于气溶胶总粒子中小粒子所占比重最大,因此,小粒子数浓度变化可等同为总粒子数浓度变化。

3.2.3 气溶胶粒子数浓度日平均极值的月概率分布

北京市大气气溶胶粒子总浓度月平均中,每个季节都有峰值出现,只是每年峰值出现的月份有所不同,峰值多出现在1、10、11、12月,通常5月粒子总浓度最小。图5为1998~2001年气溶胶小粒子数浓度日平均大于80、100 cm³和小于20、10 cm³的各月相对发生概率分布。由图可见,粒子数浓度高值期集中在1、3、7、10、11、12月,以10、11月发生频率为最高;粒子数浓度低值期集中在3、4、5、6、7、10月,以5、7月发生频率最高;其中3、7、10月是粒子数浓度高值和低值发生频率都比较多的月份。

分析表明,1998年以来北京市秋季和冬季近地面气溶胶粒子数较其他季节多,空气质量较差,而5、6月粒子总数较少,空气质量好,文献[6]也给出了类似的测量结果。这同人们过去对北京大气环境的认识存在较大差异,可能的原因是:(1)城市规模扩大,城市建设和人类活动增多,相应增加了气溶胶的源地;(2)近年来北方遭受干旱,地表植被覆盖减少,秋季扬沙和浮尘天气有所增加;(3)相同月份中粒子数浓度高值期与低值期同时存在,如10月份粒子数低浓度天气的发生频率较高,且高浓

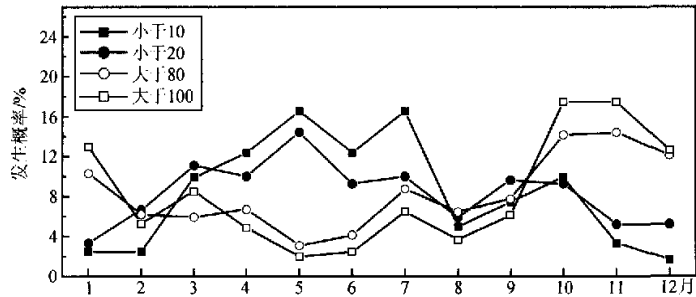


图5 小粒子高、低值数浓度各月相对发生概率分布

度的发生频率也很高。

图6为北京市1998~2001年大粒子气溶胶数浓度日平均大于 1.5 、 2.0 cm^3 和小于 0.75 、 0.5 cm^3 的各月相对发生概率分布。图中前两条曲线变化同后两条基本相反,且同图5中的总粒子和小粒子数浓度变化曲线相似,只是峰值更少,曲线更加平滑。北京市大粒子气溶胶数浓度高值期多分布在1、3、4、10、11、12月,秋季发生频率最高;大粒子数浓度低值期多在5、6、7、8、9月,夏季较明显。这表明北京近几年来大粒子数浓度的年变化和小粒子有相似之处;秋季10、11月和冬季12月、1月以及春季3、4月数浓度较高,秋季最为突出,春季3、4月峰值也很明显。究其原因不仅同北京的气候环流背景有关,而且还和近年来的人类活动有一定联系。北京近几年春季3、4月发生的强沙尘暴为北京市区输送了大量的大颗粒沙尘粒子,而且由于机动车数激增,尾气排放增加,都使得北京市气溶胶源地增加。10、11月北京大风天气较多,大气中气溶胶粒子数浓度也相应增加,加之秋季北方气温降低,大气相对湿度增加,吸湿性小粒子容易增长,因而导致了大粒子数浓度较高。

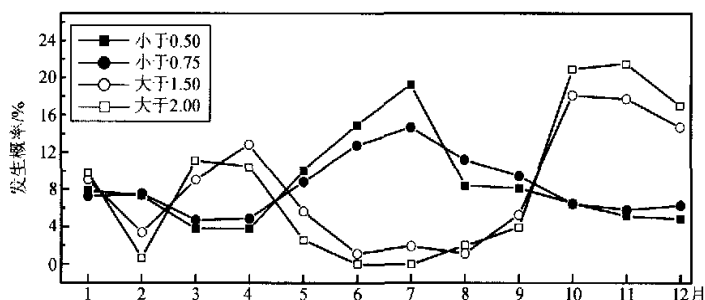


图6 大粒子高、低值数浓度各月相对发生概率分布

3.2.4 气溶胶粒子数浓度日变化

我国学者20世纪80年代对北京市气溶胶的观测研究表明,晴天时气溶胶粒子数浓度日变化明显,早晨、傍晚粒子数浓度大,而中午小,这同中午前后湍流交换强烈,混合层高度升高,地面气溶胶含量减少有关^[7~9]。20世纪70年代日本城市观测结果也存在上述特点。然而在1998~2001年北京市气溶胶数浓度平均中,傍晚16:00、17:00峰值仅在冬季比较明显,且谷值相对靠后,出现在15:00左右。可能的解释是:(1)本文中总粒子仅指直径在 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上的粒子;(2)本文中使用的日变化为4年平均效果;(3)近些年北京的气溶胶状况同以前存在差异。

不同粒径的气溶胶数浓度日变化中,大粒子较小粒子变化复杂,早晚峰值比小粒子明显,尤其是秋季;而且大粒子数浓度达到谷值后,数浓度开始增加的时刻较小粒子有所提前。这是因为影响大、小粒子数浓度变化的因素有所不同,小粒子受相对湿度影响较大,中午相对湿度最低,仪器可探测的小粒子减少明显;大粒子则受重力影响较显著,午后大气活动强度减弱,大粒子沉降加速,致使近地面大粒子数浓度开始增加。

下面着重分析小粒子和大粒子数浓度各季节的平均日变化。通过对4年期间粒子

数浓度的日变化测量结果按季节进行平均后,得到小粒子和大粒子数浓度的日变化特征(图 7)。由图 7a 可见,平均的小粒子气溶胶数浓度自 7:00 开始呈线性递减,15:00 略有增加,但增加并不明显;春、夏、秋季情形同年平均相似,只是秋季日变化中,小粒子数浓度增加时间提前约 1 h,且增幅较为明显;冬季小粒子数浓度日变化与其他季节差别较大,早晨 8:00 数浓度峰值明显,之后大幅减少,15:00 后数浓度迅速增加,形成早晚双峰,这与北京地区早晚逆温有关。

由图 7b 可见,大粒子数浓度平均日变化中,早晚双峰现象较小粒子更为突出,谷值出现在午后 13:00 左右;春、夏季日变化和平均状况相近;秋、冬季却存在较大差异,秋季北京市大粒子气溶胶数浓度最高,变化幅度最大,且早晨峰值比傍晚峰值大许多;冬季大粒子气溶胶数浓度日变化和小粒子基本相同。

从图中还可以看出,春季小粒子数浓度最低,秋冬季节最高;而大粒子数浓度则在夏季最低,秋季最高。

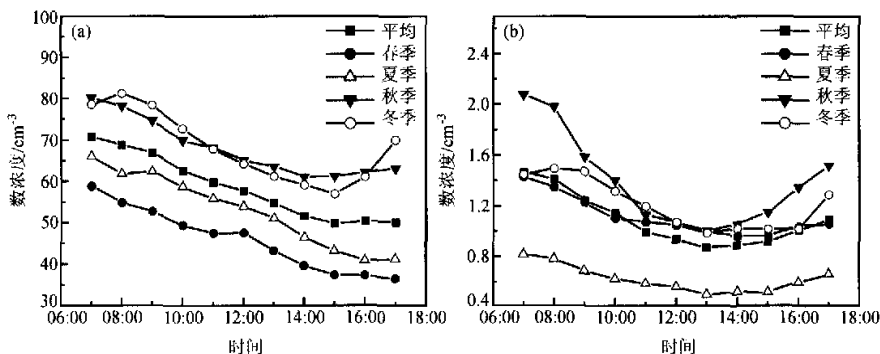


图 7 小粒子 (a) 和大粒子 (b) 数浓度平均日变化

4 结论

本文通过对 1998~2001 年北京市气溶胶测量数据的处理,分析了北京市 4 年期间近地面直径在 $0.3 \mu\text{m}$ 以上的大气气溶胶粒子数浓度变化特征及其变化规律,以及北京市大气气溶胶粒子与沙尘季节、沙尘天气的联系。分析的初步结果归纳如下:

- (1) 北京市大气气溶胶粒子数浓度谱呈单峰结构,体积谱呈双峰结构,秋季最为明显。
- (2) 1998 年以来,由于北京市大气质量有所改善,各档气溶胶粒子数浓度逐年减小,但 2001 年 6 月之后粒子数浓度有所增加。
- (3) 北京市气溶胶粒子总浓度年变化呈一定的季节规律,5 月份粒子总浓度通常全年最低;受气候环流和人类活动的影响,秋季、冬季粒子总浓度较高。
- (4) 北京市气溶胶粒子总浓度日变化较单一,通常早晨为峰值,大气能见度低,除秋冬季外,傍晚峰值不明显。同 20 世纪 80 年代初的研究结果相比,傍晚峰值削弱严重,且午后粒子总浓度达到谷值的时刻延后。
- (5) 沙尘季节和沙尘天气中,北京市气溶胶粒子数浓度普遍增加,空气质量变差,

能见度降低。通常气溶胶粒子增加偏向于两端,小粒子数量增加最多,大粒子数量增加的比例最大。沙尘暴天气过后,北京市气溶胶粒子数浓度通常再度出现峰值,大气能见度降低,这同沙尘的输送和天气背景有关。

参 考 文 献

- 1 任丽新、游荣高、吕位秀等,城市大气气溶胶的物理化学特性及其对人体健康的影响,环境与气候研究,1999, 4 (1), 67~73.
- 2 刘毅、王明星、张仁健,中国气溶胶研究进展,环境与气候研究,1999, 4 (4), 406~412.
- 3 王明星,气溶胶与气候,环境与气候研究,2000, 5 (1), 1~5.
- 4 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,环境与气候研究,2000, 5 (1), 85~89.
- 5 张仁健、王明星、张文等,北京地区气溶胶化学成分及其谱分布研究,环境与气候研究,2000, 5 (1), 6~12.
- 6 安俊岭、张仁健、韩志伟,北方 15 个大型城市总悬浮颗粒物的季节变化,环境与气候研究,2000, 5 (1), 25~29.
- 7 游荣高、任丽新,北京采暖期间和采暖期前大气气溶胶物理特性的对比研究,大气科学,1990, 14 (2), 354~363.
- 8 朱文琴,气溶胶粒子谱的观测分析,大气科学,1982, 6 (2), 217~223.
- 9 邱金桓,北京等地气象能见度的变化特征分析,大气科学,1986, 10 (4), 437~442.
- 10 许黎、冈田菊夫、张鹏等,北京地区春末一秋初气溶胶理化特性的观测研究,大气科学,2002, 26 (3), 401~411.
- 11 章澄吕,大气气溶胶教程,北京:气象出版社,1995, 1~328.

Analysis on Aerosol Concentration of Beijing during 1998~2001

Jiang Zhong^{1,2)}, Shi Guanyu¹⁾, and Chen Huansen¹⁾

1) (*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

2) (*Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*)

Abstract Based on the analysis of aerosol concentration from 1998 to 2001, some of the aerosol variance characteristics and tendency of Beijing atmosphere were got, in addition, the influence on aerosol concentration from the dust weather was analyzed. The research results show that aerosol number concentration of Beijing decreased annually from 1998, but increased in June of 2001. The daily variance of aerosol number concentration is different from that in the 1980s. Aerosol number concentration has a close relationship with dust weather.

Key words: atmospheric aerosol; size distribution; number concentration; dust