

积分浊度计在沙尘暴监测网试验中应用分析

柯宗建 汤洁 王炳忠 颜鹏

(中国气象科学研究院,北京 100081)

摘要 中国气象局在沙尘暴监测网各站点安装了积分浊度计,这是国内首次利用积分浊度计进行大面积气溶胶光学性质的监测。文章选取北京观象台 2003 年 9 月 2 日至 11 月 18 日散射系数数据以及部分 PM₁₀ 质量浓度数据,结合气象资料分析了观测期间散射系数的变化特征,散射系数与 PM₁₀ 质量浓度以及能见度的关系,得出观测期间散射系数的平均值(标准偏差)为 306.2 Mm^{-1} (292.78 Mm^{-1});风速对散射系数有重要影响,散射系数与 PM₁₀ 质量浓度有较好的相关性($r = 0.761$),与能见度存在负相关关系($r = -0.716$)。

关键词 积分浊度计 大气气溶胶 散射系数

引言

近年来我国北方地区沙尘灾害出现相对较多,影响范围加大,危害程度也大为增强。频繁的沙尘天气给农牧业生产、交通运输以及人们的日常生活和工作等带来了很大的影响。沙尘暴过程扬起的沙尘悬浮于大气中,减弱了到达地面的太阳辐射,影响地气系统的辐射收支。中国气象局十分重视对沙尘暴天气的监测、预警服务工作,于 2001 年开始实施沙尘暴监测网的建设,在西北、华北地区建立了 20 个沙尘暴监测站点,遍及 8 个省市自治区,其中有 15 个站点安装了积分浊度计。沙尘暴监测网的配置仪器于 2003 年秋季安装完毕,但数据通讯传输仍在调试过程中。积分浊度计是进行沙尘暴监测的重要仪器之一,主要用于近地层气溶胶光学性质的实时监测。沙尘暴期间,利用积分浊度计测量沙尘气溶胶的散射系数,可以了解和掌握受沙尘暴影响严重的地区沙尘对大气光学性质影响的动态变化,为分析、评估沙尘暴的发生规模、影响等提供准确、实时、连续的观测资料。在非沙尘暴季节,沙尘暴监测网各站点的仪器照常运转,浊度计观测数据则可以用来了解气溶胶的散射作用对辐射传输的影响,分析中国北方地区气溶胶光学性质的特征以及变化规律,为研究中国北方地区气溶胶的气候效应提供气溶胶光学性质的数据。

国内对于积分浊度计的使用很晚,胡波等(2003)利用浊度计研究了兰州市西固区气溶胶粒子的散射特征^[1]。中国气象局成批量引进澳大利亚 ECOTECH 公司生产的 M9003 系列浊度计安装在各沙尘暴监测站点,是国内首次应用积分浊度计进行大面积气溶胶光学性质的监测。由于沙尘暴监测网还没有正式投入业务使用,本文选取北京观象台试验期间的散射系数和部分 PM₁₀ 质量浓度数据,结合气象资料进行初步分析。

1 积分浊度计

早在 1949 年,Beuttell 和 Brewer^[2]就根据积分几何式设计出第一批积分浊度计,这些仪器可以产生一个近似于余弦权重散射函数的信号,其量值为散射部分的消光系数。最初,积分浊度计用于战时军事行动中夜间对水平能见度的估测,随着光学测量电子技术的发展,特别是经过 Crosby 和 Kaerber(1963)以及 Charlson 和 Ahlquist(1967)两次较大的技术改进^[3],多波段浊度计于 1969 年问世,积分浊度计随之广泛地运用于其它领域。但是,直到 20 世纪 80、90 年代,利用积分浊度计测量不同化学组分气溶胶的散射作用,才广泛用于评估气溶胶直接引起的气候效应^[4]。

本文采用的是 M9003 系列单波长积分浊度计,

国家公益性重点项目“大陆大气本底基准研究”资助

作者简介:柯宗建,男,1978 年生,在读硕士研究生

收稿日期:2004 年 4 月 27 日;定稿日期:2004 年 6 月 4 日

它用来测量波长为 525 nm 的气溶胶散射系数。其工作原理是在采样泵的驱动下,样气通过进气管进入测量光室,在测量光室内,被光源照射的样气中的气体和粒子成分对入射光产生散射。测量室内设有数个光阑,用于保证一次散射光到达光电倍增管,而多次散射光不能到达。光电倍增管产生的电信号正比于样气的散射系数 δ_{scat} 。用过滤的空气对仪器进行校准,把空气的瑞利散射部分从 δ_{scat} 中去除。

2 试验与数据

北京市观象台是中国气象局沙尘暴监测网的一个站点,位于北京市南郊,该站点周围污染源较多,观测点南侧 200 m 处就是南五环交通干线,西侧约 100 m 有一条公路,交通比较繁忙,观测站受人为活动影响较大。从观测环境看,该站点观测资料可以反映北京市近郊区的大气气溶胶状况。该站的浊度计和 PM10 仪器都是中国气象局沙尘暴监测网的标准配置设备,浊度计在使用前利用干洁空气与 F134 进行标定,标定值符合仪器的标准,稳定度达 95% 以上;PM10 仪器采用美国 TEOM 公司生产的 1400A 系列监测仪。仪器安放在一个独立的仪器工作间内,进气管伸出仪器间屋顶之上,管口距离地面 3.0 m 左右。

本文获取了北京观象台 2003 年 9 月 2 日至 11 月 18 日(秋季)气溶胶散射系数数据和气象资料。在散射系数数据处理过程中,先对偶然突然变化的数据

进行甄别删除,然后对每天获取的零气检查值作每 5 min 一次的时间序列平均,用于调整散射系数每 5 min 的测量值,再对这些处理后的数据进行小时平均。此外,还获取了 2003 年 9 月 2~7 日 PM10 仪器的观测资料,取仪器测得的每小时数据。

3 结果与分析

3.1 气溶胶散射系数的变化特征

图 1 是 2003 年 9 月 2 日至 11 月 18 日观测期间气溶胶散射系数的逐时分布图。气溶胶的散射系数小时平均值在观测期间内变化非常激烈,极小值在 10 Mm^{-1} 以下,最大值达到 1600 Mm^{-1} 以上。10 月底到 11 月初连续几天出现小时平均散射系数的高值,然后迅速回落。从风场资料上看,10 月 29 日晚上散射系数持续升高的时刻对应的是静风,夜间大气层结作用使得局地污染物沉积下来,气溶胶浓度维持在很高的水平,散射系数出现高值;在接下来的 3 天时间里,风速都比较小,气溶胶颗粒不容易扩散,到了 11 月 2 日凌晨,风速突然急剧增加,大于 4 m/s 的风速持续了十几个小时,风速最大值达到 7 m/s 以上。随着风速的增加,扩散作用增强,局地气溶胶颗粒随之减少,散射系数迅速降低。

统计观测期间的散射系数小时平均值,有效样品 1868 个,得出散射系数平均值为 306.2 Mm^{-1} ,标准偏差为 292.78 Mm^{-1} 。

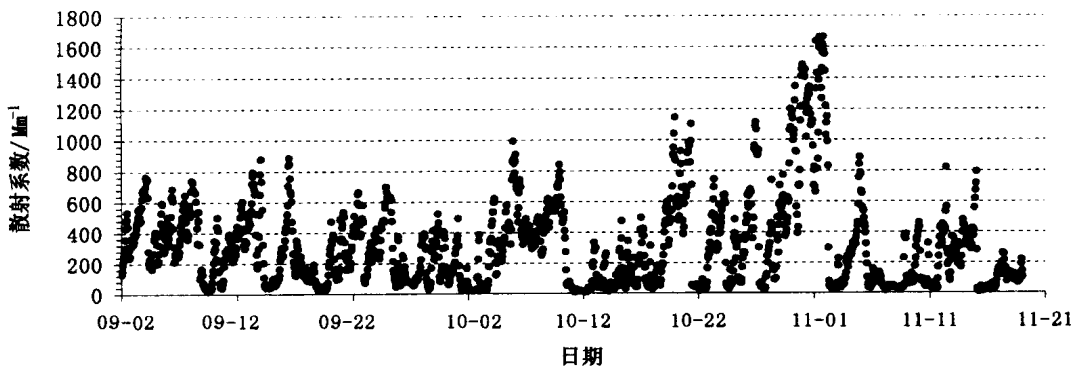


图 1 为 2003 年 9 月 2 日至 11 月 21 日气溶胶散射系数逐时分布图

图 2 为 2003 年 9 月 2 日至 11 月 21 日观测期间气溶胶散射系数的日变化分布情况,这是利用百分位数制作的 Box-plot 图。百分位数(Percentile)是一种常用的数值统计方法,其定义为:将样本范围分

成 100 等份的 99 个等分值,即在 n 个有序的数中,在某数之前和之后的数各占 $i\%$ 和 $(100 - i)\%$,该数也就是这些数中的第 i 个百分位数。图中从下到上分别表示 5 分位数、10 分位数、25 分位数、中值

(50 分位数)、平均值、75 分位数、90 分位数和 95 分位数的日变化情况。散射系数平均值的日变化在 $200 \sim 400 \text{ Mm}^{-1}$ 之间,其分布呈现夜间高、白天低的

趋势; 90 分位散射系数日变化呈现明显的双峰型; 95 分位散射系数值变化比较激烈,反映了北京观象台局地强污染源的影响。

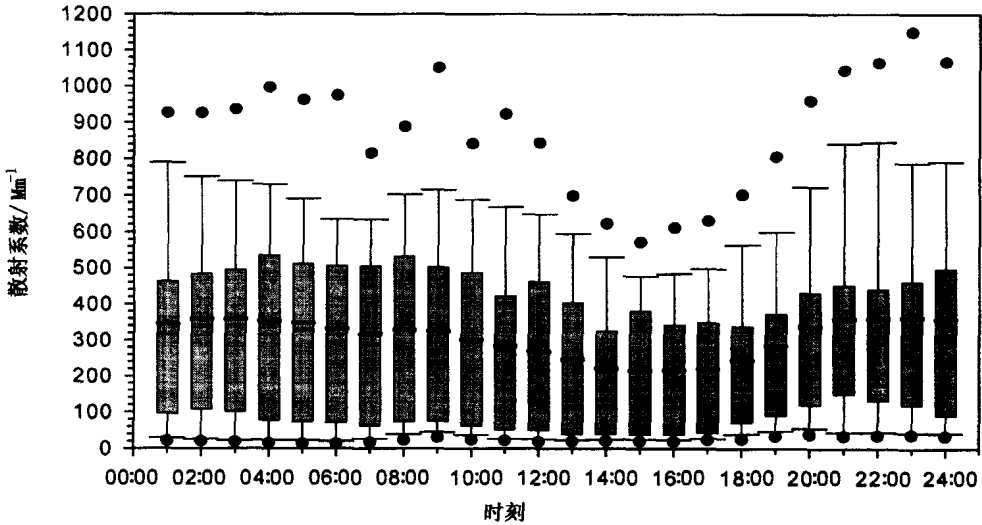


图 2 2003 年 9 月 2 日至 11 月 18 日气溶胶散射系数日变化分布图

3.2 散射系数与 PM10 质量浓度的关系

取散射系数与 PM10 质量浓度同期(2003 年 9 月 2 日至 9 月 8 日)的数据作逐时变化分布(图 3)。可以看出,气溶胶散射系数和 PM10 质量浓度小时平均值的变化基本上是同位相的,当质量浓度出现高值时气溶胶的散射系数往往出现较高的值,反之,当质量浓度出现低值时气溶胶的散射系数也表现出低值分布。但是,某些时刻气溶胶散射系数和 PM10 质量浓度也表现出位相差,或者两者的变化幅度不一致,这可能是由于气溶胶颗粒物的粒径不

同引起的,因为气溶胶细粒子($0.2 \mu\text{m} \leq r \leq 1.0 \mu\text{m}$)对散射的贡献最大,而粗粒子($r > 1.0 \mu\text{m}$)对散射作用的贡献较小,但这两种尺度的颗粒物对质量浓度的贡献却相反,数浓度相同的情况下,粗粒子对质量浓度的贡献远远大于细粒子。如果 PM10 质量浓度出现急剧增大是由粗粒子的突然增多引起的,气溶胶的散射系数变化不如质量浓度激烈;反之,如果 PM10 质量浓度增大主要是由于细粒子的增加引起的,虽然质量浓度变化不大,但是散射系数的变化却激烈得多。

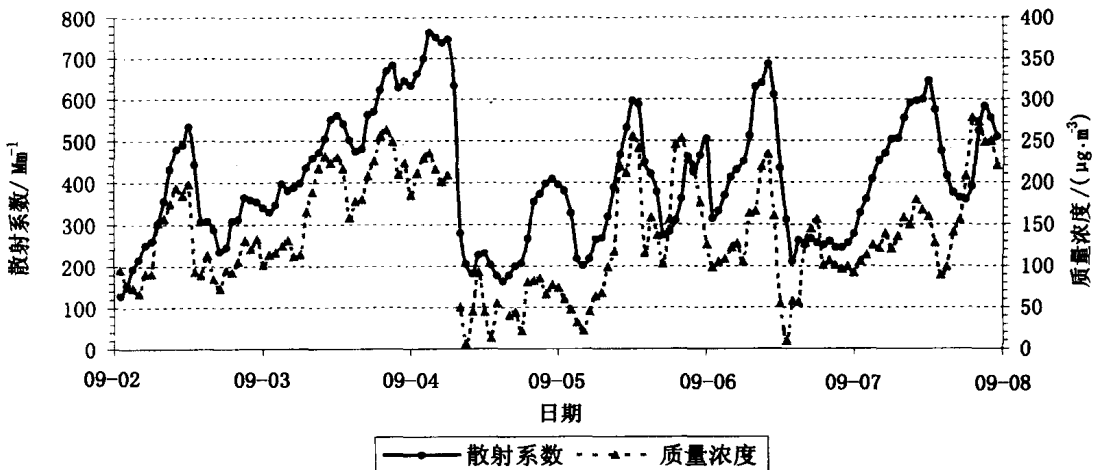


图 3 2003 年 9 月 2~8 日散射系数与 PM10 质量浓度逐时分布图

图 4 是气溶胶散射系数与 PM10 质量浓度散点图。气溶胶比散射系数定义为： $\alpha = \delta_{sp} / M$ ，其中 M 为气溶胶的质量浓度。统计散射系数和 PM10 质量浓度的小时平均值，有效样品 142 个，相关系数 $r = 0.761$ ，气溶胶比散射系数 $\alpha = 2.73 \text{ m}^2/\text{g}$ 。比散射系数与气溶胶的化学成分有关，由硫酸盐与硝酸盐组成的气溶胶，散射作用比较显著，比散射系数一般较大，White(1990)在美国测得干硫酸盐气溶胶的比散射系数为 $7.1 \text{ m}^2/\text{g}^{[5]}$ 。Penner 等(1993)估算了气溶胶比散射系数 α 在 $3.6 \sim 7 \text{ m}^2/\text{g}$ 之间^[6]，Shih(1999)在香港测量的 α 值为 $0.98 \text{ m}^2/\text{g}^{[7]}$ ，Xu 等(2002)在浙江临安本底站测得的 α 值为 $4.0 \text{ m}^2/\text{g}^{[8]}$ ，可见，不同地区由于气溶胶化学组成的区别，比散射系数的差别较大。本文获得的比散射系数 α 的值不在 Penner 等(1993)估算的区间范围内，比 Xu 等(2002)在临安获得的 α 值低一些，但明显比 Shih(1999)在香港观测得到的 α 值高。

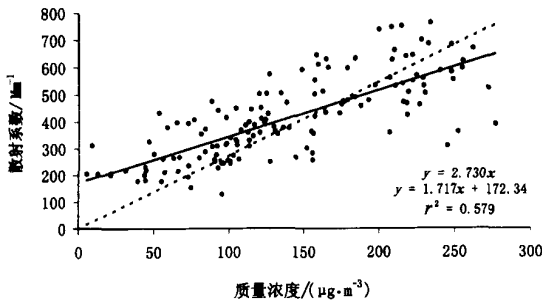


图 4 散射系数与 PM10 质量浓度散点图

3.3 散射系数与能见度的关系

气象能见度是一种主观性定义，即指正常人的视力在白天无云的天空背景下，辨认出视角大于

0.5° 的黑色目标物的形体或轮廓的最大水平距离。相应的科学术语为视程，意指在给定方向能看到多远的距离。在大气水平均一的情况下，可以推导出气象能见距 R 与大气消光系数 δ_{ext} 有下述关系^[9]：

$$R = \frac{1}{\delta_{ext}} \ln \frac{1}{\varepsilon} = \frac{3.912}{\delta_{ext}} \quad (1)$$

式中的 $\varepsilon = 0.02$ ，是视角对比阈值，为观测者开始不能把目标物从背景中区分出来的亮度对比值。

图 5 是气溶胶散射系数与能见度观测值的时间序列图。其中，能见度数据为观测站每天 08:00、14:00 和 20:00 三个时刻的观测值，散射系数取相同时刻值与它对应。从图中可以看出，气溶胶散射系数与能见度呈现较好的负相关关系，散射系数的低值对应能见度的高值，反之亦然。利用散射系数和能见度对应时刻的样品求相关性，有效样品数 239 个，相关系数 $r = -0.716$ 。

利用式(1)计算能见度，大气消光系数 δ_{ext} 考虑了气溶胶散射作用与空气瑞利散射作用(瑞利散射系数取浊度计内部设置值 14.82 Mm^{-1})，忽略了气溶胶和空气分子的吸收消光。图 6 是计算的能见度与能见度实际观测值的散点图。统计的有效样品数 239 个，两者的相关系数为 0.742，利用气溶胶散射系数与空气瑞利散射系数近视计算的能见度与能见度实际观测值有很好的相关性。计算的能见度值比能见度观测值高一方面是由于计算中忽略了气溶胶与空气分子的吸收消光，而另一方面则来源于能见度观测值的人为误差，观测值受人眼视力的极大限制，观测期间能见度的最大观测值仅为 45 km，而通过计算得到的能见度高值达到 150 km。

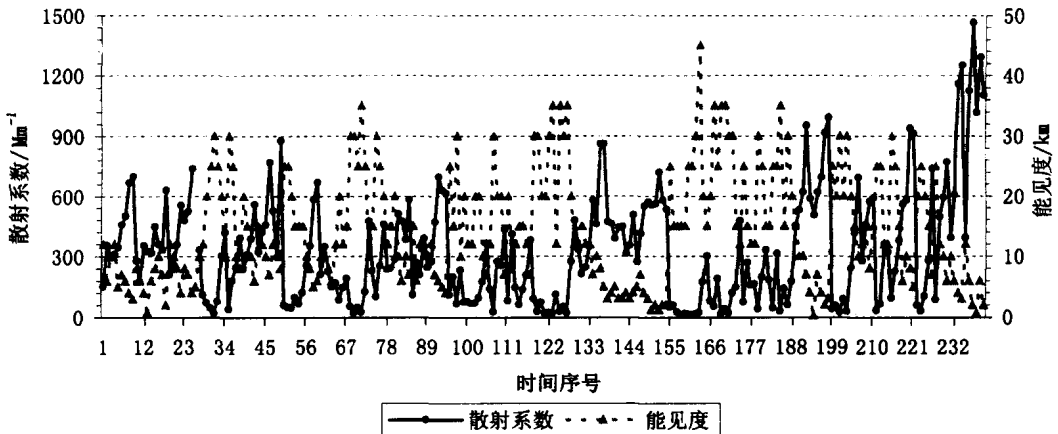


图 5 气溶胶散射系数与能见度观测值时间序列图

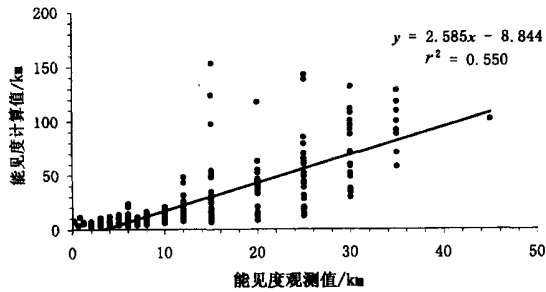


图6 能见度计算值与观测值散点图

4 结论

(1)北京市郊区秋季气溶胶散射系数变化非常激烈,小时平均值变化范围很大,气溶胶散射系数的平均值为 306.2 Mm^{-1} ,标准偏差为 292.78 Mm^{-1} ,风速对散射系数有重要影响。

(2)气溶胶散射系数与 PM_{10} 质量浓度的逐时变化分布呈现比较一致的趋势。散射系数与 PM_{10} 质量浓度之间存在较好的相关性,相关系数 $r = -0.761$ 。

(3)气溶胶散射系数与能见度之间存在较好的负相关关系,相关系数 $r = 0.716$ 。气溶胶散射系数增大将使大气能见度降低。

参考文献

- 1 胡波,张武,张镭,等.兰州西固区冬季大气气溶胶粒子的散射特征.高原气象,2003,22(4):354-360
- 2 Beuttell R G, Brewer A W. Instruments for the measurement of the visual range. J. Sci. Instrum., 1949,26:357-359
- 3 Bodhaine B A, Ahlquist N C, Schnell R C. Three-wavelength nephelometer suitable for aircraft measurement of background aerosol scattering coefficient. Atmospheric Environment, 1991,25A(10):2267-2276
- 4 Heintzenberg J, Charlson R J. Design and Application of Integrating Nephelometer: A review. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1996,13:987-1000
- 5 White W. Contribution to Light Extinction. Section 4, Report 24, US National Acid Precipitation Assessment Program. US Government Printing Office, Washington D.C., 1990
- 6 Penner J E, Eddleman H, Novakov T. Towards the development of a global inventory for black carbon emission. Atmos. Environ., 1993,27A:1277-1295
- 7 Shih M Y. Light scattering and absorption properties of aerosols in the Hong Kong region:[Master Thesis]. The Hong Kong Polytechnic University, 1999
- 8 Xu J, Bergin M H, Yu X, et al. Measurement of aerosol chemical, physical and radiative properties in the Yangtze delta region of China. Atmos Environ, 2002,36,161-173
- 9 章澄昌,周文贤.大气气溶胶教程.北京:气象出版社,1995.297-298

Primary Analysis of Application Results of Integrating Nephelometers in Dust Storm Monitoring Network Experiment

Ke Zongjian Tang Jie Wang Bingzhong Yan Peng
(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Integrating nephelometers were installed at each station of the dust storm monitoring net by the China Meteorological Administration. This is the first time that the optical properties of aerosol were monitored using integrating nephelometers on a large scale in China. The variation feature of scattering coefficient and the relation between scattering coefficient and PM_{10} mass concentration and visibility were analyzed based on the primary principles of integrating nephelometers, using the scattering coefficient data and PM_{10} mass concentration from Beijing Observatory and meteorological data from September to November 2003. The results indicate that the mean value (standard deviation) is 306.2 Mm^{-1} (292.78 Mm^{-1}). Wind speed has an important effect on scattering coefficient, while scattering coefficient has good correlation with PM_{10} mass concentration ($r = -0.761$), and there exists a negative correlation between scattering and visibility ($r = -0.716$).

Key words: integrating nephelometer, atmospheric aerosol, scattering coefficient