

边界层大气气溶胶浓度与尺度谱 分布的时空变化

游荣高 洪钟祥 吕位秀 赵德山

孔琴心 朱文琴

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

1980年8月初,用光学粒子计数器,在北京325米气象塔上获得了从地面至300米六层的大气气溶胶浓度与尺度谱的垂直分布。由实测浓度 N_s ,按公式 $N_s = N_0 e^{-s/H_p}$,用最小二乘法原理确定气溶胶标高 H_p 。分析指出,大气气溶胶浓度和尺度谱的时间、空间变化明显。采用三参数谱分布模式 ($dN/dr = a r^b e^{-cr}$) 描述各层的平均谱,其谱分布参数随高度而变化。

一、引 言

近年来,大气气溶胶的理论研究与实验研究都取得了很大的进展,促进了环境研究、大气光学、辐射传输和大气遥感等学科的发展。

大气气溶胶主要集中在大气低层5公里以下,中层和高层的气溶胶与近地面和边界层气溶胶有着十分密切的关系,气溶胶的源主要处在地面,气溶胶的短距离和长距离输送主要由动力效应和热力效应决定。所以研究边界层气溶胶浓度与尺度谱分布的时、空变化具有特别重要的意义。

近来,人们十分关注北京地区的大气环境质量。1980年7月23日至8月2日,在北京北郊大气物理所气象塔(116°22'E, 39°58'N),用光学粒子计数器,进行了大气气溶胶浓度和尺度谱的近地面和垂直分布的观测。本文着重研究了边界层大气气溶胶浓度与尺度谱分布特征及其时、空变化。

二、仪器与观测

大气物理研究所气象观测塔座落在北京北郊土城附近,有较完整的大气参数的连续观测。

1981年9月21日收到初稿,1981年12月9日收到修改稿。

我们用国产 J-73 型和日制 PM-730-D₂-P 型光学粒子计数器, 分别进行了近地面和塔上大气气溶胶浓度和尺度谱分布的观测。流量为 300 毫升/分, 采样时间为 20 秒, 采样体积为 100 厘米³。1980 年 7 月 23 日至 8 月 2 日进行了近地面的观测, 采样管距地高度为 8 米, 每隔一小时观测一次。我们进行了四次塔上的测量, 第一次观测时间: 8 月 1 日 20:00—21:06; 第二次观测时间: 22:02—23:03; 第三次观测时间: 8 月 2 日 00:02—01:02; 第四次观测时间: 02:00—03:02。共获得了边界层中六层 (50 米、100 米、150 米、200 米、250 米、300 米) 的大气气溶胶浓度与尺度谱的垂直分布。

三、大气气溶胶浓度和尺度谱分布

(1) 近地面气溶胶浓度的周日变化 早上 7 时气溶胶浓度最高, 中午 14 时浓度最低, 傍晚浓度出现较大值, 夜里浓度低于早晨的浓度而高于中午时的浓度 (见图 1)。

早上浓度出现最高是因为近地面层气温低, 对流弱, 气溶胶粒子不易向上输送。中午前后, 近地面层气温高, 湍流较强, 对流充分, 垂直输送加强, 因此, 近地面浓度出现低值。而夜里, 由于地表面向大气放射长波辐射而没有太阳短波辐射的收入, 使得地表及下层大气温度降低, 上层空气冷却较慢, 此时对流十分弱, 所以夜里气溶胶浓度高于中午的浓度。

(2) 近地面尺度谱分布特征 图 2 表示白天和夜晚近地面气溶胶实测平均谱 (图中点划线为三参数拟合谱)。图中 $\frac{dN}{dr}$ 为单位粒子半径间隔每立方厘米的粒子数, r 为粒子半径。

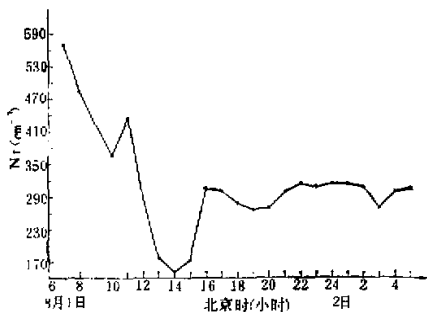


图 1 北京地区近地面大气气溶胶浓度的周日变化。

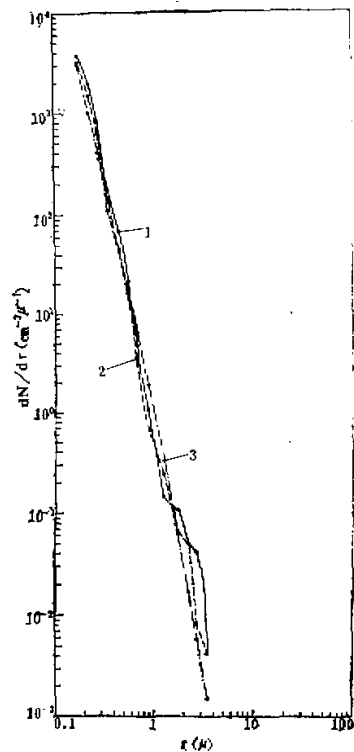


图 2 近地面气溶胶实测平均谱。

- (1) 白天 12 次平均谱 (1980.8.1)。
- (2) 夜晚 12 次平均谱 (8.1, 19:00—8.2, 05:00)。
- (3) 夜晚平均谱的三参数拟合谱。

从图 2 看出近地面气溶胶实测平均谱分布的特征是,在小粒子区 ($r < 1.25\mu$) 基本上是线性的;在大粒子区 ($r > 1.25\mu$) 分布曲线变弯曲,斜率变小。

从图 2 还看出白天实测的平均谱中小粒子区和大粒子区的谱函数值都比夜晚的谱函

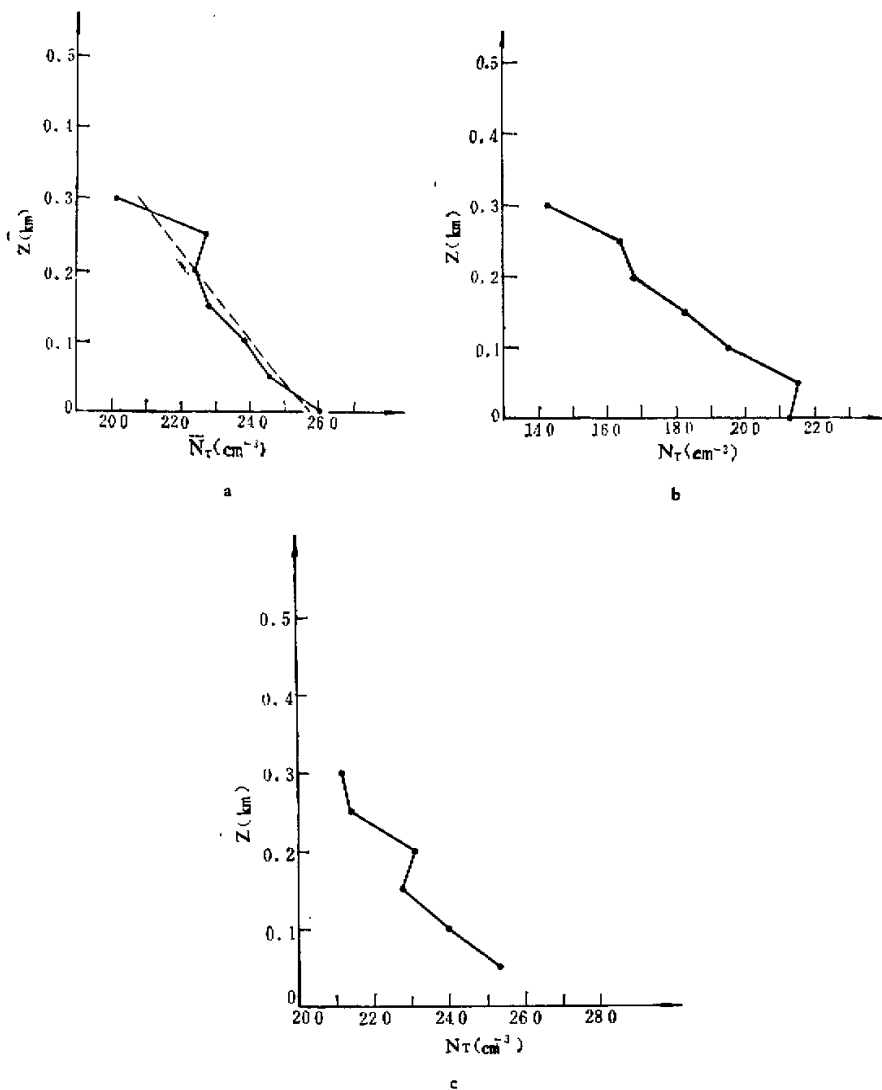


图 3 大气气溶胶浓度的垂直分布。

- a 实线为实测的平均浓度垂直分布(1980.8.1, 20:00—8.2, 03:07),
虚线为拟合曲线(按 $N_s = N_0 e^{-s/H_s}$, $H_s = 1.41$ 公里)。
- b 第一次测量的浓度垂直分布(1980.8.1, 20:00—21:06),
- c 第二次测量的浓度垂直分布(1980.8.1, 22:02—23:03)。

数值大(除 r 为 1.25μ , 2.25μ , 3.5μ 处的谱函数值外);而且白天实测平均谱的总浓度高于夜晚实测平均谱的总浓度。这是意料之中的。原因之一,是在白天人类活动频繁所致。

(3) 浓度的垂直分布 我们获得了从地面至 300 米的大气气溶胶浓度的垂直分布(见图 3)。图 3a 表示平均浓度的垂直分布。在上层 250 米处粒子浓度稍有增加。图 3b 为第一次观测的浓度垂直分布。从图中看出在低层 50 米处总浓度稍有增加。这与当时 30 米出现一层逆温,大气状态稳定有关。图 3c 表示第二次观测的浓度垂直分布,在 200

表 1 1980 年 8 月 1 日浓度的短期变化

时间 (北京时)	$N_s(\text{厘米}^{-1})$					
	50 米	100 米	150 米	200 米	250 米	300 米
20:00—21:06	215.1	194.7	182.8	168.3	164.1	142.8
22:02—23:03	253.5	240.5	227.7	231.5	214.4	212.1

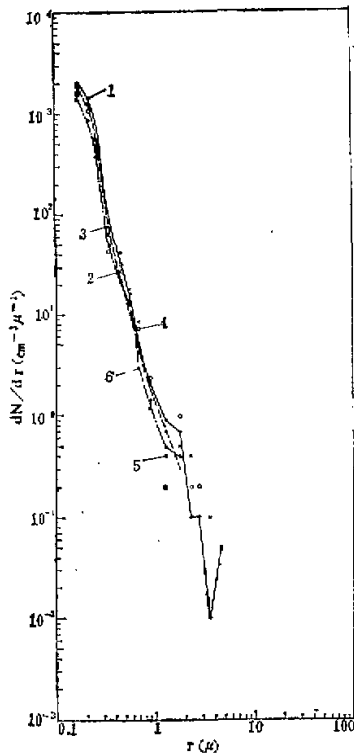


图 4 实测谱分布随高度的变化。
(1980.8.1, 20:00—21:06)
(1)50 米, (2)100 米, (3)150 米,
(4)200 米, (5)250 米, (6)300 米。

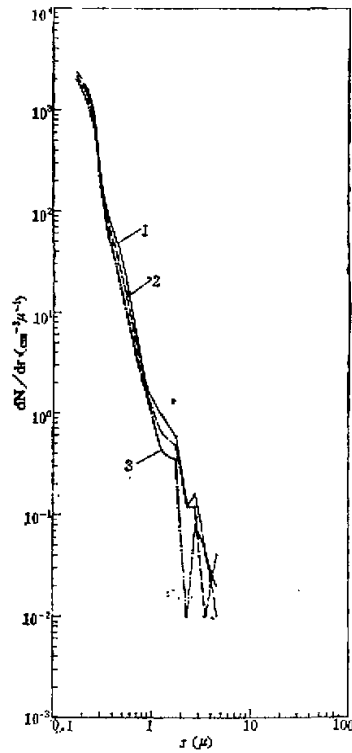


图 5 实测平均谱分布随高度的变化。
(1980.8.1, 20:00—8.2, 03:07)
(1)50 米, (2)150 米, (3)300 米。

米处, 粒子总浓度稍有增加。

从表 1 看出每层浓度的短期变化, 22:02—23:03 时段每层的浓度比 20:00—21:06 时段每层的浓度增加 18—48.5%。

(4) 尺度谱分布随高度的变化

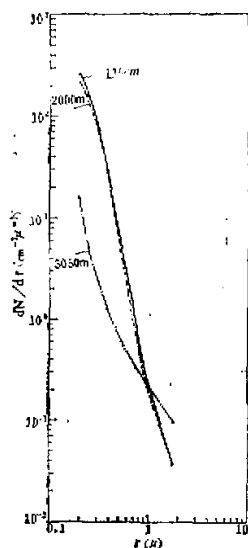


图 6 长春地区实测平均谱分布随高度的变化(1979.8.)

从图 4 和图 5 看出边界层大气气溶胶实测谱分布的特征是, 在小粒子区 ($r < 1.25\mu$) 为线性变化, 在大粒子区 ($r > 1.25\mu$) 粒子数随粒子半径增大而递减率变小, 分布曲线变弯曲。从图 5 我们发现: 1. 处于粒子半径区间 ($r < 3\mu$) 的粒子数随高度而减少, 而处于粒子半径区间 ($r > 3\mu$) 的粒子数与高度的依赖关系不太明显。2. 低层 50 米处的大粒子 ($r > 1.25\mu$) 比 300 米处的大粒子更为丰富。3. 在不同高度处, 粒子半径从 0.275μ 到 0.350μ 之间的粒子数是十分接近的。4. 在 50 米和 300 米处的实测平均谱中还明显地出现次峰特征, 次峰位于粒子半径 2.75 微米处。

从图 5 和图 2, 空中谱与地面谱相比较, 两者差别较大, 高度 50 米和 300 米处, 粒子半径为 0.175μ 的粒子数比近地面 (夜晚) 的粒子数分别低 27% 和 39%; 处于粒子半径为 4.5μ 的粒子数比近地面 (夜晚) 的粒子数低一个量级左右。这显然与重力沉降有关。

我们在长春地区^[1], 1979 年飞机观测的大气气溶胶尺度谱分布随高度的变化 (见图 6), 层次也是十分明显的。在 5050 米处, 谱分布变化比较大, 大粒子比较丰富。

四、气溶胶标高的确定与尺度谱分布模式及谱分布参数随高度的变化

在高度 z 处, 大气气溶胶粒子的平均浓度为 N_z , 可由下式表示:

$$N_z = N_0 e^{-z/H_p} \quad (1)$$

其中 N_0 为地面气溶胶浓度, H_p 为气溶胶标高 (单位为公里)。

因此, 用光学粒子计数器测量每层的气溶胶的浓度, 从气溶胶粒子浓度的垂直分布, 按公式 (1), 用最小二乘法确定出大气气溶胶的标高。其结果为 1.41 公里。这是浑浊大气条件下 (夜晚、阴、能见度 5 公里) 的气溶胶标高。 $\log N_z$ 与 z 的相关系数为 -0.94 。

气溶胶粒子平均浓度垂直分布按 (1) 式 ($H_p = 1.41$ 公里) 的拟合曲线表示在图 3a 中, 虚线为拟合曲线, 拟合曲线与实测曲线符合得较好。

从表 2 看出每层的浓度拟合值 (按 (1) 式, $H_p = 1.41$ 公里) 与浓度的实测平均值符合得较好。

大气气溶胶的物理和光学特性的研究及辐射计算需要设计合理的尺度谱分布模式。采用三参数谱分布模式^[2]:

$$n(r) = \frac{dN}{dr} = ar^b e^{-cr} \quad (2)$$

表 2 浓度拟合值与实测平均值相比较 ($H_p = 1.41$ 公里)

z (米)	0	50	100	150	200	250	300
N_e 拟合值(厘米 $^{-3}$)	257.4	248.4	239.8	231.5	223.4	215.6	208.1
实测平均值(厘米 $^{-3}$)	260.6	245.5	238.4	228.1	223.8	227.0	201.5

描述近地面和边界层大气气溶胶粒子尺度谱分布。式中 $\frac{dN}{dr}$ 为单位粒子半径间隔内每立方厘米的粒子数, r 为粒子半径, a, b, c 为待定谱分布参数, 用最小二乘法确定。

近地面, 夜晚 12 次实测平均谱的三参数拟合谱和高度 50 米处 5 次实测平均谱的三参数拟合谱分别表示在图 2 和图 7 中。从图 2 和图 7 看出, 三参数谱模式的拟合谱与实测平均谱符合得较好。

谱分布参数列于表 3 和表 4。参数 a 与总浓度和谱有关, 主要依赖于总浓度。参数 b 与谱分布曲线的斜率有关, 而参数 c 主要与大粒子区的谱分布特征有关。从表 3 看出, 近地面谱分布参数 b 的数值, 白天和夜晚的值比较接近, 夜晚的绝对值大于白天的绝对值, 这表明了夜晚的大粒子数少于白天的的大粒子数, 也就是夜晚的谱分布曲线的斜率略大于白天的谱分布曲线的斜率。白天的 a 值大于夜晚的 a 值, 表明了白天的总浓度大。

从表 4 看出, 谱分布参数 b 的绝对值随高度而增大, 这反映上层的大粒子较少, 尺度谱相对比较窄。谱参数 a 三层的数值比较接近, 但也十分清楚地表明了随高度而减小。

五、结 语

上述边界层大气气溶胶浓度和尺度谱分布的时、空变化仅是初步的研究。本文得出几点结论:

1. 边界层大气气溶胶浓度和尺度谱的垂直分布的时间、空间变化是明显的。浓度随高度按指数递减。粒子尺度谱分布特征是, 在小粒子区 ($r < 1.25\mu$) 为线性变化, 在大粒子区 ($r > 1.25\mu$) 粒子数随粒子半径增大而递减率变小, 分布曲线变弯曲。在实测平均谱中, 发现次峰特征, 次峰位于粒子半径 2.75 微米附近。

2. 从大气气溶胶总浓度的垂直分布确定出气溶胶的标高为 1.41 公里 (夜晚、阴、能见

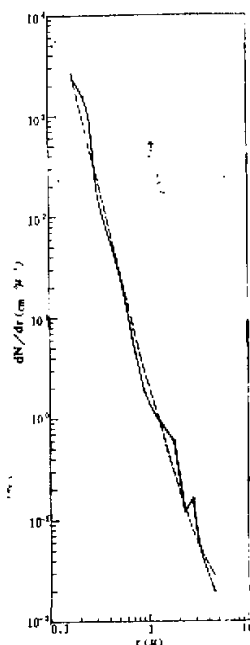


图 7 拟合谱与实测平均谱的比较。
图中实线为高度 50 米处的实测平均谱,
虚线为三参数拟合谱。

表 3 近地面谱分布参数

日 期	天 气 条 件	a	b	c
1980.8.1(白天)	多云,能见度 7 公里	2.2082	-4.3431	0.4443
8.1,19:00—8.2,05:00	阴,能见度 5 公里	1.4832	-4.4426	0.3790

表 4 谱分布参数随高度的变化

高度 (米)	a	b	c
50	1.0851	-4.4242	-0.6730
150	1.0760	-4.4803	-0.3050
300	1.0587	-4.4866	0.1626

度为 5 公里)。

3. 采用三参数尺度谱分布函数 $n(r) = ar^b e^{-\sigma r}$, 描述边界层大气气溶胶尺度谱分布, 每层的谱参数随高度变化是明显的。参数 b 的绝对值随高度而增大, 参数 a 随高度而减小。

参 考 文 献

- [1] 游荣高、任雨新, 大气气溶胶浓度与大小谱分布变化的研究, 《长春遥感试验论文集》, 吉林人民出版社, 1981.
 [2] 游荣高, 大气气溶胶浓度和尺度谱分布变化特征及尺度谱分布模式的研究, 科学探索, 3(1981)。

VARIATION OF ATMOSPHERIC AEROSOL CONCENTRATION AND SIZE DISTRIBUTION IN THE BOUNDARY LAYER WITH TIME AND ALTITUDE

You Ronggao Hong Zhongxiang Lü Weixiu Zhao Deshan Kong Qinxin
Zhu Wenqin

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

Atmospheric aerosol number concentration and size distribution in the boundary layer have been measured with optical particle counter on the 325 meter meteorological tower at six levels. Aerosol scale height is determined from measured concentration N_z by using of the formula $N_z = N_0 e^{-z/H_p}$. An analysis shows that variation of aerosol concentration and size distribution with time and altitude is significant. The averaged size distribution for each level can be described by $\frac{dN}{dr} = ar^b e^{-\sigma r}$.