

大气透明度光谱和浑浊度的观测*

毛节泰、王强、赵柏林**

(北京大学地球物理系)

提 要

利用 1980 年 7 月—1981 年 7 月在北京大学用多波段太阳直接辐射强度的观测资料,分析了这一年中大气透明度光谱和埃斯屈朗浑浊度的变化。从实测的气溶胶光学厚度随波长变化的关系中可以推断,在这一期间,80% 的场合气溶胶谱分布应符合或非常接近 Junge 分布,在一般情况下, Junge 分布的参数 ν 与埃斯屈朗浑浊度 β 之间有反相关关系。

一、引 言

大气浑浊度是表示大气中气溶胶含量(不包括云雾粒子)的大气光学参数,常用来监测空气污染的状况。事实上空气污染给人们最直接的印象就是大气变得浑浊不清。由于大气气溶胶的增加影响到地气系统的热平衡,有可能影响到全球长期的气候状况,因此近年来受到各国的关注。很多国家和地区都对浑浊度进行了系统的观测和分析^[1-6],国际气象组织也对浑浊度观测作过规定^[7]。

从对太阳直接辐射的观测可以得出大气浑浊度。目前用于表示浑浊度的参数有两种:一是浑浊度系数,它是 $0.5 \mu\text{m}$ 波长整层大气气溶胶的垂直光学厚度。即把地面测到的太阳直接辐射写成

$$I_{\lambda} = I_{\lambda 0} S 10^{-(\tau_{R,\lambda} + \tau_{2,\lambda} + B_{\lambda}) \cdot m} \quad (1)$$

取 $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$, B 即为浑浊度系数,上式中 $I_{\lambda 0}$ 为大气外界太阳辐射的强度, S 为日地距离订正数, $\tau_{R,\lambda}$ 和 $\tau_{2,\lambda}$ 分别为分子大气的散射和吸收所构成的光学厚度, m 为大气光学质量数,习惯上(1)式以 10 为底,而不是以 e 为底。具体测量时只需测出地面 $0.5 \mu\text{m}$ 波长太阳直接辐射的强度,而 $\tau_{R,0.5}$ 和 $\tau_{2,0.5}$ 可以作为常数处理。

第二种是埃斯屈朗浑浊度。埃斯屈朗^[8]指出大气气溶胶光学厚度随波长的变化可写为

$$\tau(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (2)$$

并规定 β 为埃斯屈朗浑浊度。波长指数 α 在平均情况下可取 1.3。埃斯屈朗浑浊度实际上是波长为 $1 \mu\text{m}$ 处整层大气气溶胶的垂直光学厚度,如果 α 取标准值 1.3,则 β 和 B 之间

* 本文于 1982 年 3 月 27 日收到, 1982 年 12 月 6 日收到修改稿。

** 1) 王强同志目前在北京气象专科学校工作;
2) 栾胜基、景荣林同志参加部分观测工作。

有确定的关系。这时 β 也可以通过测量 $0.5 \mu\text{m}$ 波长处太阳直接辐射强度来确定。但若同时考虑 α 和 β 两个参数, 则埃斯屈朗浑浊度包含了比 B 更丰富的内容。Bullrich^[9] 指出, 由于尺度为 $0.3-0.7 \mu\text{m}$ 的气溶胶粒子对大气消光起最主要的作用, 只要在这一段中粒子的大小服从 Junge 分布, 光学厚度随波长的变化将满足(2)式, 并有 $\nu = \alpha + 2$ 。这里 ν 是 Junge 分布中的指数。这样, 如果从大气透过率光谱的观测中能证实确实能满足(2)式, 则不仅可以知道大气气溶胶含量, 而且对其大小分布也有一定的了解。

本文根据 1980 年 7 月至 1981 年 7 月在北京大学用多波段太阳辐射计观测大气透过率光谱的资料分析埃斯屈朗浑浊度的变化。

二、仪器和观测方法

用于大气透过率光谱测量的多波段太阳辐射计是由一台小型天文望远镜配上干涉滤光片、光电接收器、电压放大器和记录仪器组成。望远镜口径为 68 mm , 焦距为 840 mm 。光电接收器采用 2DU1B 硅光二极管, 其受光面直径为 1 mm , 故仪器的视场角仅为 $4'$, 由于张角小, 可基本上消除天空散射光的影响。2DU1B 的光谱敏感范围为 $0.4-1.1 \mu\text{m}$, 峰值在 $0.9 \mu\text{m}$ 。配合干涉滤光片的消次峰范围, 可以保证每次测量单一波长的辐射。在实验室中曾对硅光二极管的线性度和温度特性进行了测试, 表明满足观测的要求。干涉滤光片的特性列出于表 1。根据滤光片生产单位(北京玻璃研究所)提供的资料, 在常温范围内, 滤光片透过率的变化小于 $1-2\%$, 中心波长位置在温度升高时向长波方向漂移, 其温度漂移率小于 $0.2-0.3 \text{ \AA}/^\circ\text{C}$ 。

整个仪器安装在北京大学物理楼六楼平台上。海拔高度约 50 米 。测量时各个波段轮流进行, 每次周期约为 $8-10 \text{ 分钟}$ 。

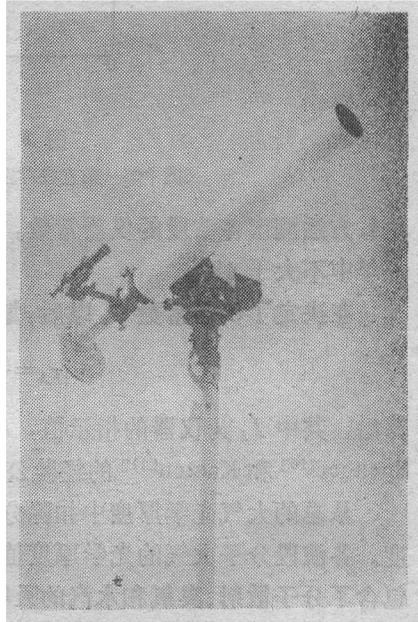


图 1 多波段太阳辐射计

表 1 干涉滤光片特性

中心波长 (μm)	半宽度 (\AA)	透过率 (%)	消次峰范围 (μm)
0.5000	110	52	0.4-1.3
0.5940	75	67	0.4-1.3
0.7150	135	47.5	0.4-1.3
0.7465	150	75	0.4-1.3
0.8420	225	58	0.4-1.3
0.9195	140	54.5	0.4-1.3
1.0600	225	52	0.4-2.5

仪器用 Bouguer-Langley 方法进行定标(图 2)。选取全年每个月中稳定的天气, 用

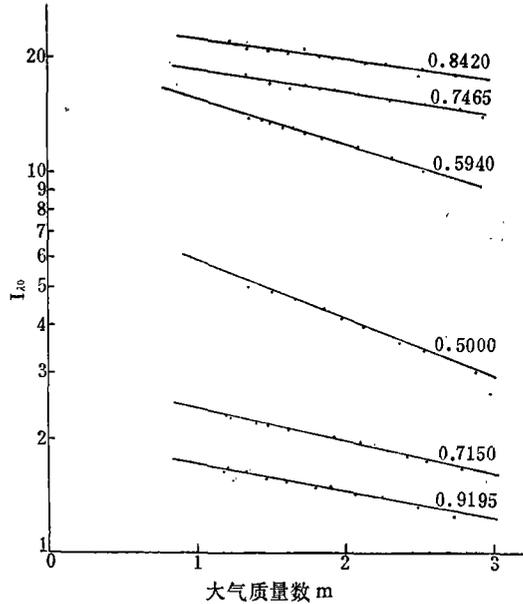


图 2 用 B-L 方法确定仪器常数 C_λ

(图中每一条直线对应于一个波段, 直线在纵轴上的截距即为 C_λ 值)

B-L 方法测出各波段的仪器常数, 然后取平均值供全年使用。仪器定标的相对偏差值在一年中不大于 4%。

在决定了仪器常数 C_λ 以后, 每一时刻的大气光学厚度可由

$$\tau_\lambda = \frac{1}{m} [\ln C_\lambda - \ln I_\lambda + \ln S] \quad (3)$$

算出, 其中 I_λ 为仪器的指示值, S 和 m 分别为日地距离订正和大气质量数, 分别采用 Spencer^[10] 和 Kasten^[11] 的经验公式算出。

从总的大气光学厚度中扣除分子大气的散射和吸收, 即可得到大气气溶胶的光学厚度。各波段分子大气的厚度值取自大气物理所的计算结果^[12], 其数值列于表 2, 其中包含了分子散射、臭氧和水汽的吸收。

表 2 分子大气的厚度

$\lambda(\mu\text{m})$	0.5000	0.5940	0.7150	0.7465	0.8420	0.9195	1.0600
$\tau_{\lambda, m}$	0.1510	0.10600	0.4200	0.0319	0.0422	0.1850	0.0068

三、观测结果及分析

从 1980 年 7 月到 1981 年 7 月, 共观测 115 天, 其中大部分是晴朗的反气旋控制天气。

1. 大气光学厚度的日变化和年变化

图 3, 4 分别给出 1980 年 12 月 5 日和 1981 年 6 月 4 日各波段总的大气光学厚度日

变化的情形。每小时地面测风记录也标注在图上。测风记录取自海淀气象站，位于观测点西南约一公里处。

分析以上两图初步可以看出日变化的情形比较复杂，取决于各天具体的气象条件和周围环境的变化。一般来讲上午大气光学厚度在一段时间内相对稳定，下午大气光学厚度往往增大，而且变化幅度比较大。在冬季大部分时间里，早上的 τ_λ 往往稍大，中午以后也会逐渐增大，这意味着整层大气透过率在中午最好。在其它季节里，一般从早晨开始 τ_λ

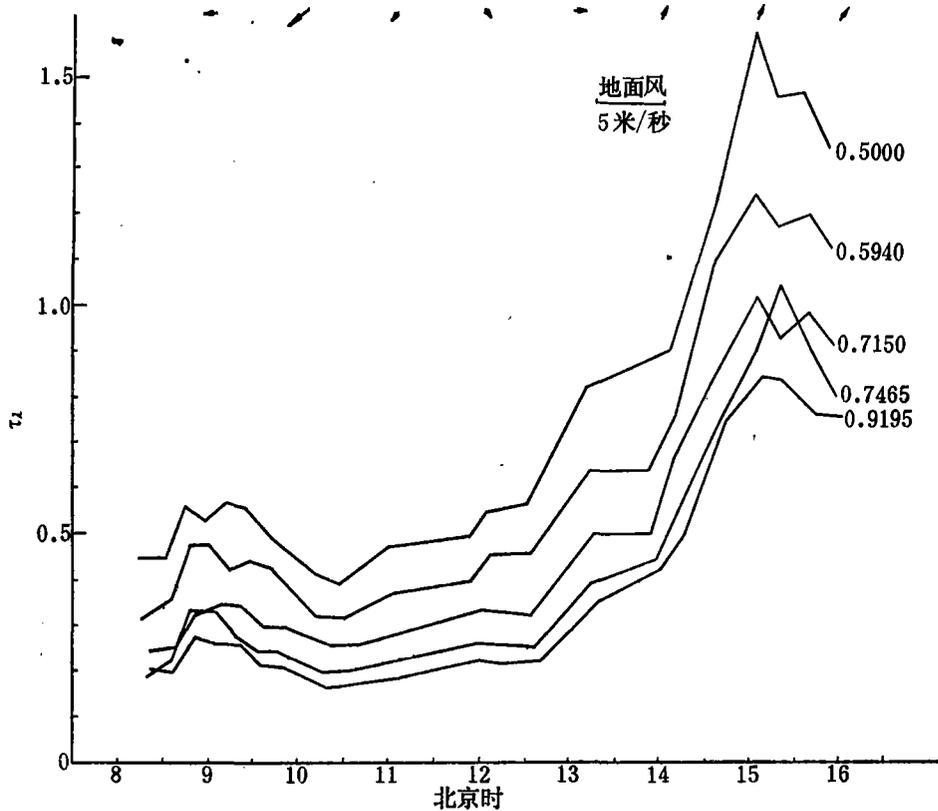


图 3 1980 年 12 月 5 日大气光学厚度的日变化

会逐渐增大，即早上整层大气透过率优于一天中其它时间。 τ_λ 日变化的幅度较大，一般在 $\pm 0.1-0.3$ ，有时可达 ± 0.5 ，相当于平均值的一倍左右。

根据对日变化情况的分析，选取上午大气状况比较稳定时刻的 τ_λ 值为代表，对全年进行统计，各波段月平均值的变化绘于图 5 和图 6。

图 5 给出 $0.5 \mu\text{m}$ 波段 τ_λ 的各月平均值在一年中的变化。全年总平均值为 0.452。分子大气所构成的光学厚度为 0.151，故气溶胶的影响是重要的。 $0.5 \mu\text{m}$ 波段的大气光学厚度直接和浑浊度系数 B 相联系，只要扣除分子大气的影响并把以 e 为底换为以 10 为底，即可得到浑浊度系数。

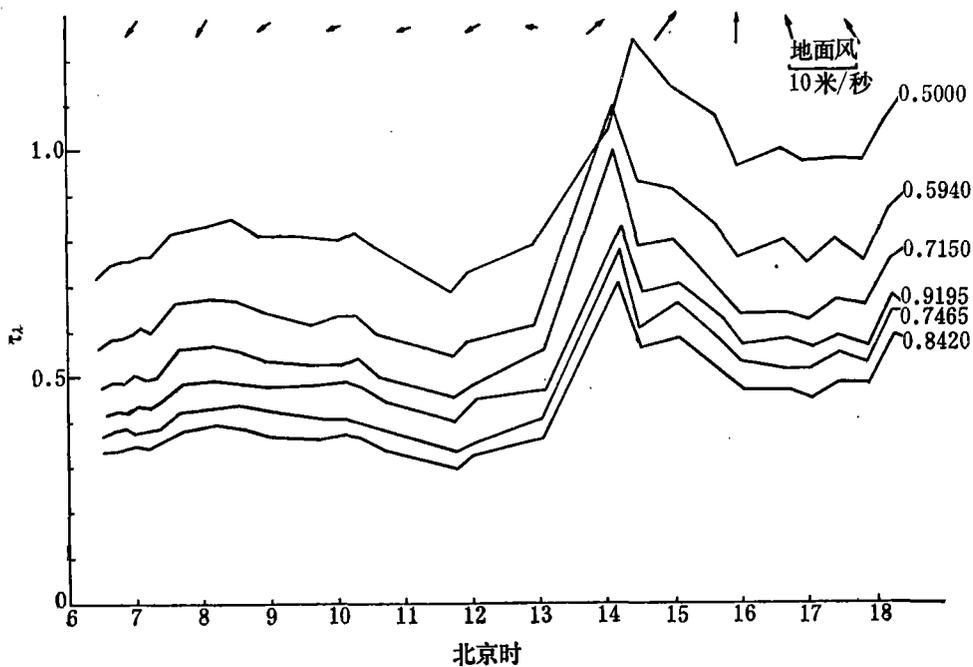


图 4 1981 年 6 月 4 日大气光学厚度的日变化

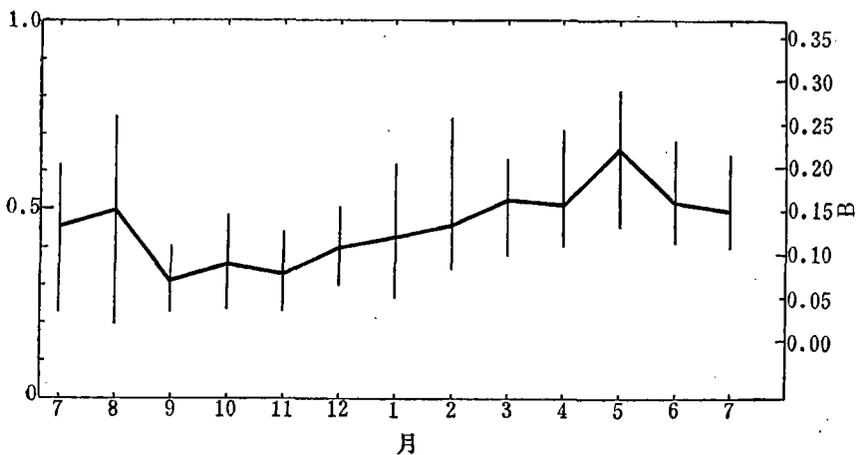


图 5 1980 年 7 月—1981 年 7 月 $0.5 \mu\text{m}$ 波段大气光学厚度月平均值的变化 (竖直短线表示这一个月中的最大偏离值, 右边的纵坐标为浑浊度系数 B)

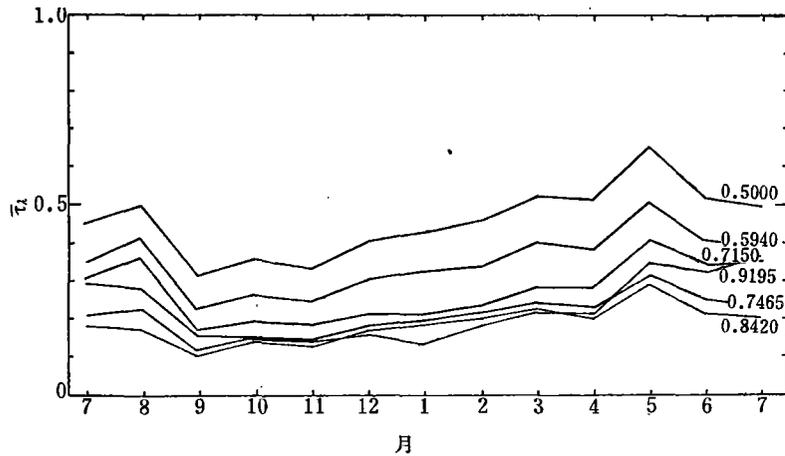


图 6 1980年7月—1981年7月各波段大气光学厚度的年变化

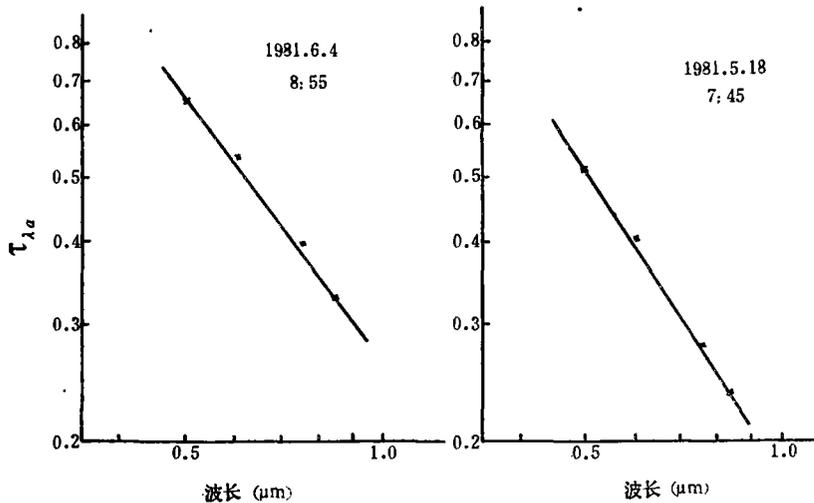


图 7 大气气溶胶的光学厚度随波长的变化

从图 5,6 可以看出在这一年中大气光学厚度的峰值出现在 5 月。因为这一年春季北京降水很小,空气干燥,加上风沙天气较多。次峰值出现在 3 月,相对来说 4 月的 τ_{λ} 值偏低,这是由于这个月有几次阴雨天气过程,雨后气溶胶要减少,但全月平均值仍高于其它季节。全年 τ_{λ} 最低值出现在秋季到初冬,即 9—11 月。这段时间北京秋高气爽,能见度最好。从月变化幅度比较小也表明这段时间比较稳定。

2. 大气气溶胶的光学厚度随波长的变化

图 7 给出大气气溶胶的光学厚度 $\tau_{\lambda,a}$ 随波长变化的两个例子。从图中可以看到,在半对数坐标中,0.5000,0.5940,0.7465 和 0.8420 μm 四个波段的 $\tau_{\lambda,a}$ 值近似在一条直线上,即满足(2)式。用最小二乘法可算出这条直线的截距和斜率,即埃斯屈朗浑浊度 β 和

波长指数 α 。从统计学角度出发,这条直线配得有意义,必须保持数据的相关系数大于一定的水平。如果选取置信度为 5%,则相关系数应大于 0.950,若取置信度为 1%,则相关系数应大于 0.990。根据这一要求,对各组观测资料分月进行了统计。表 3 中给出各月中相关系数小于 0.990 和 0.950 的比例及全年平均值。前面已经指出,对满足(2)式的场合,气溶胶的谱分布可以用 Junge 分布表示,或至少在 0.3—0.7 μm 这一段是满足 Junge

表 3 满足(2)式分布的统计

月份	总观测次数	相关系数小于 0.990 的次数(百分数)		相关系数小于 0.950 的次数(百分数)	
1	111	68	(61.3%)	14	(12.6%)
2	71	35	(49.3%)	6	(8.5%)
3	139	79	(56.8%)	26	(18.7%)
4	129	39	(30.2%)	6	(4.7%)
5	79	18	(22.8%)	5	(6.3%)
6	102	38	(37.3%)	11	(10.8%)
7	84	38	(45.2%)	7	(8.3%)
8	19	6	(31.6%)	0	(0%)
9	22	11	(50.0%)	2	(9.1%)
10	83	51	(61.4%)	19	(22.9%)
11	15	7	(46.7%)	2	(13.3%)
12	57	42	(73.7%)	10	(17.5%)
全年	911	432	(47.4%)	108	(11.9%)

分布的,如果取 5%的置信度作为标准,则统计表明 88%的观测是满足(2)式要求的。即

对北京地区这一年的观测而言,有 88%的场合气溶胶分布可以认为是满足 Junge 分布的。如果取 1%的置信度,则有 50%以上的场合可以认为是服从 Junge 分布的。由于由太阳直接辐射所观测到的这些参数都是整层大气的综合结果,所谓气溶胶谱也是整层大气柱中的平均结果。

3. 埃斯屈朗浑浊度的变化

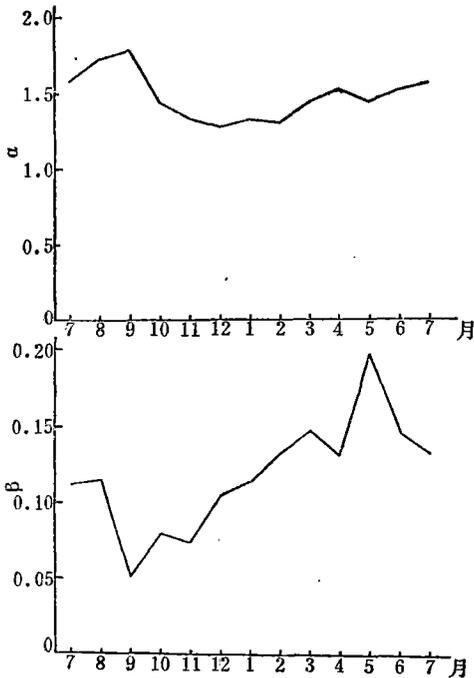
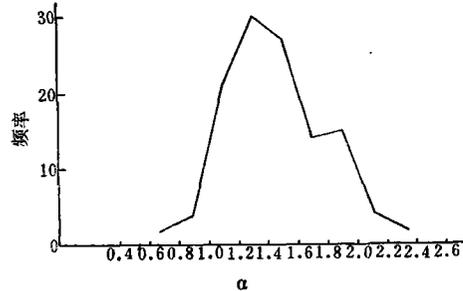
图 8 埃斯屈朗浑浊度 β 和 α 的年变化图 9 波长指数 α 的频率分布

图 8 给出埃斯屈朗浑浊度 β 和波长指数 α 月平均值的变化。可以看出 α 的峰值出现在 9 月,而在 11 月到次年的 2 月则较低。 α 值越大表示气溶胶分布中小粒子占优势。可以看到,在冬季,大粒子相对增多。 β 的年平均值为 0.116,均方差为 0.065。它在 9 月出现最低值,而在 5 月和 3 月出现峰值和次峰值。这和 τ_λ 的变化相一致。

图 9 给出 α 值的频率分布。全年平均值为 1.448,标准差为 0.312。 α 最常出现在 1.2—1.4 这一区间。比 1.0 小的 α 值出现很少,在 1.8—2.0 这一区间出现的频率略多。这与其它各国的情况很相似。埃斯屈朗^[8]曾提出 α 的标准值为 1.3,集中在 1.3—1.9 附近。

从图 8 也可以看出 β 和 α 值之间有负相关。图 10 是用 1981 年 1—7 月的各次观测所作的点聚图。实线是用最小二乘法配的相关曲线,可写为

$$\beta = -0.0899 + 0.41145/\alpha - 0.0895/\alpha^2 \quad (4)$$

其相关系数为 0.616。

为了研究埃斯屈朗浑浊度和风向之间的关系,计算了每小时平均的 $\bar{\beta}$ 值。图 11 是 3, 6, 9, 12 月以及全年 $\bar{\beta}$ 值在不同风向时的分布图。不同月份代表了不同季节的情况。从全年总的结果来看,西北方向的风使 $\bar{\beta}$ 值偏小而西南风和南风则对应着较大的 $\bar{\beta}$ 值。这一点和测站周围工业区和生活区的配置比较一致,表明很大一部分气溶胶粒子是由这些源产生的。

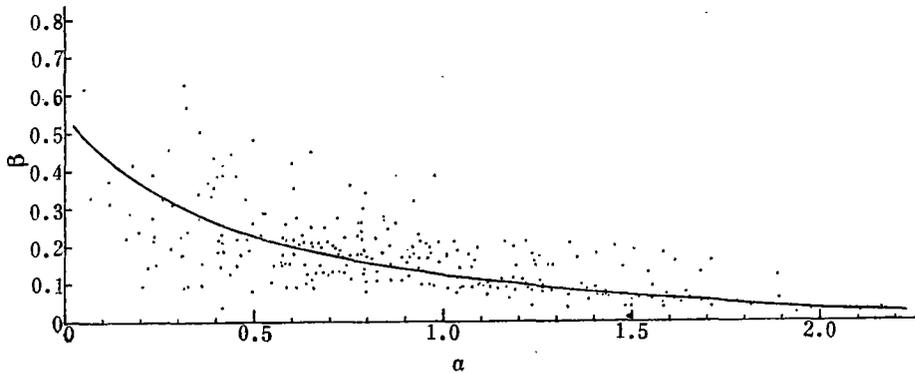


图 10 α, β 之间的相关图

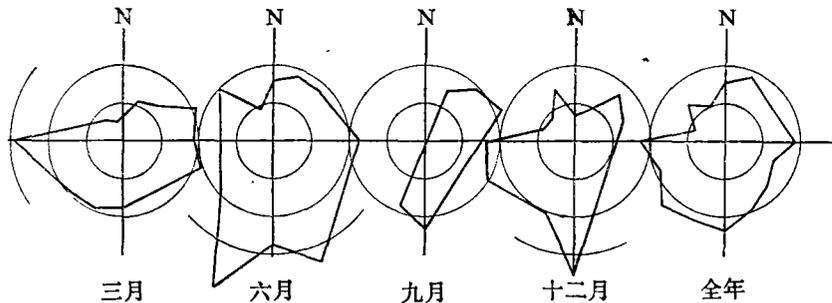


图 11 $\bar{\beta}$ 值在不同风向时的分布

四、讨论和结论

从上面的观测资料可以得出下列结论:

1) 从大气透过率光谱分布可以看出,北京地区在 88% 的情况下,尺度从 0.3—0.7 μm 气溶胶的大小分布可用 Junge 分布来表示。

2) 埃斯屈朗浑浊度 β 和波长指数 α 之间有很好的负相关,表明当粒子增多时,大粒子的相对比重也加大。

3) 埃斯屈朗浑浊度 β 的年平均值为 0.116, 最小值出现在 9 月而极大值出现于 5 月。波长指数 α 的年平均值为 1.448, 峰值出现在 9 月而在 11 月到次年 2 月其值较低。这种变化和大气光学厚度的年变化有相似的规律。

4) 浑浊度 β 的平均值和风向有较明显的关系。

对大气光学厚度和浑浊度的观测还有很多问题值得进一步讨论。首先这里关心的是由于大气气溶胶粒子,而不是云雾粒子的作用。但实际上这两者常常难以区分。因此观测中常常会出现一些很大的光学厚度值。从研究当地气溶胶的变化规律来说,更有兴趣的是那些曾经出现过的光学厚度极小值。如果极小值有进一步减小的趋势,则表明当地的大气环境在改善,反之则污染情况在加重。

把我们的观测结果和地面对气溶胶直接取样观测的结果进行比较,原则上是很有意义的,但两者很难完全一致。其原因是多方面的,包括地面和整层空气柱之间的差别;不同仪器敏感的粒子尺度之间的差别等等。陆原等^[13]曾在北京城区和郊区分别用 CLJ-776 型尘埃粒子计数器测量了粒子浓度的日变化和年变化。图 12, 13 是他们测得的粒子浓度年变化和日变化曲线。比较用光学方法和直接方法测量的日变化曲线,两者有重要的相似之处,即一般都在中午时刻粒子浓度最低,而这一情况恰好与 Peterson^[5]等在美国 Carolina 州中部测量的结果相反,他们统计浑浊度系数在中午最大。总可以找到足够的理由来解释各自的观测结果,但作者认为在目前资料不甚充分的情况下,先保留这一观测事实为好。比较用光学方法和直接测量的年变化曲线,两者有相似之处,但也有差别。如直接测量尘埃浓度在冬季最高,5,6 月次之,而光学方法测出的结果是 5,6 月光学厚

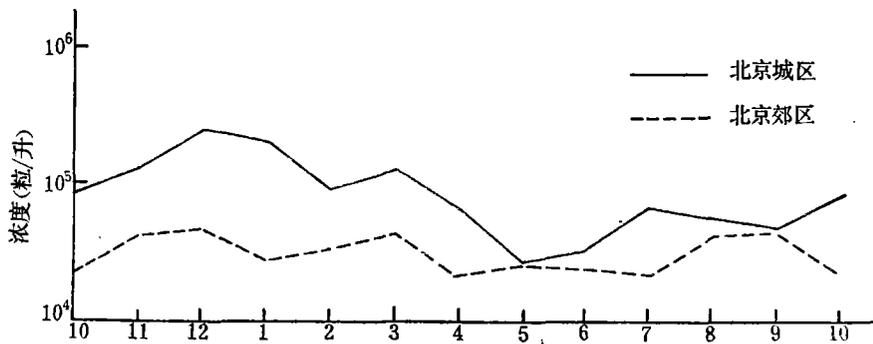


图 12 在北京直接测量尘埃浓度的年变化

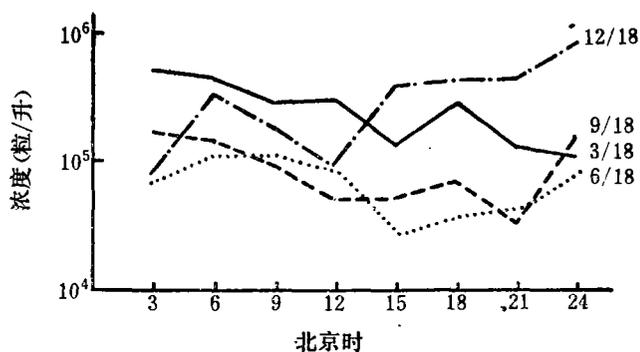


图 13 在北京直接测量尘埃浓度的日变化

度最大,而冬季次之。这里可能的原因是地面浓度和空气柱总浓度之差别,气溶胶谱分布变化的影响等等。另一个原因是两者测量的时间和地点都不相同,局地的影响也难于估计。因此今后进行有设计的对比观测取得更系统的资料是很必要的。

参 考 文 献

- [1] Folwer, E. C. et. al., Atmospheric turbidity over the United States, 1961—1966, *J. Appl. Meteor.*, **8**, 1955—1962, 1969.
- [2] Keizo Murai, et. al., Ground-based spectral measurements of solar radiation (I) Extinction and size distribution of aerosol particles in the atmosphere. *Pap. Met. Geophys.*, **28**, 69—184, 1977.
- [3] King, M. D. and D. M. Byrne, Spectral variation of optical depth at Tucson Arizona between August 1975 and December 1977, *J. Appl. Meteor.*, **19**, 723—732, 1978.
- [4] King, M. D. and D. M. Byrne, Aerosol size distribution obtained by inversion of spectral optical depth measurements, *J. Atmos. Sci.*, **35**, 2153—2167, 1978.
- [5] Peterson, J. T. and E. C. Flowers, Atmospheric turbidity over central north Carolina, *J. Appl. Meteor.*, **20**, 229—241, 1981.
- [6] Shaw, G. E. Aerosol at Manna Loa: Optical properties, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 862—869, 1979.
- [7] WMO operations manual for sampling and analysis techniques for chemical constituents in air and precipitation, WMO-299, 1974.
- [8] Angstrom, A., The parameters of atmospheric turbidity, *Tellus*, **16**, 64—75, 1964.
- [9] Bullrich, K., Scattered radiation in the atmosphere and the natural aerosol, *Adv. Geophys.*, **10**, 101—257, 1964.
- [10] Spencer, J. W. Fourier series representation of the position of the sun, *Search*, **2**, 172, 1971.
- [11] Fasten, F., A new table and approximate formula for the relative optical air mass, *Arch. Meteorol. Geophys., Bioklimatol.*, Ser. B, **14**(2), 206—223, 1966.
- [12] 中国科学院大气物理研究所, 可见光和红外辐射在大气中的透过率(一), 1980.
- [13] 陆原等, 我国大气含尘浓度测定及分析报告, «工业企业洁净厂房设计规范»编制组, 油印本, 1981.

THE OBSERVATION OF THE ATMOSPHERIC TRANSPARENCY SPECTRUM AND THE TURBIDITY

Mao Jietai, Wang Qiang, Zhao Bolin

(Department of Geophysics, Peking University)

Abstract

Using the data of multiband solar direct radiative intensity observed in July 1980 to July 1981 at Peking University, the variation of the atmospheric transparent spectrum and the Angstrom turbidity were analysed. According to the change of the aerosols' optical depth with wavelength, it was shown, in about 88% cases, the size distribution of the aerosols were the same or very close to the Junge distribution. Usually, the parameter ν of the Junge distribution and the Angstrom turbidity β have a inverse relation.

新 书 消 息

[55-8] 中国气象史 (中国农业丛刊气象之部) 农业版

气象学类 洪世年、陈文言编著

大 32 开 100 千字 77 页 平装 估价: 0.98 元

83 年 10 月出版 书号: 16144.2618

我国有关气象的历史资料,十分丰富。本书以历史唯物主义的观点,评述我国几千年来气象科学发展的情况,从而体现我国气象科学已经取得的成就,达到古为今用的目的。本书内容分春秋以前、战国以后、明清、近代直到新中国气象事业发展等,总结了历史经验,指出今后发展的方向。

读者对象: 有关气象、天文、地理大专院校师生、科研人员和气象工作者等。