

大气气溶胶浓度及其谱分布的某些特征

王庚辰*

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文简要描述了光电仪器测量大气气溶胶粒子的工作原理;根据实测结果对不同大气条件下气溶胶粒子的浓度、谱分布特征进行了分析。结果表明,对于洁净大气和浑浊大气而言,气溶胶粒子的浓度和谱分布都有着明显的差别,相对变化最大的是那些半径处于0.2—1.0微米范围内的粒子;实际大气中粒子谱的演变过程是复杂的,并且具有多峰分布特征;相对湿度对气溶胶粒子物理特征的影响是明显的,并且这种影响主要是改变粒子的谱分布和折射指数。

一、前 言

对于大气气溶胶的研究工作,目前已经引起了人们的广泛关注^[1-3],这首先是由于悬浮在大气中不同大小的粒子在大气辐射、云物理以及整个地球环境状况的研究中所起的重要作用所致。1978年10—11月间在河北省香河观测站(位于北京东南方70公里处),我们采用光电法对气溶胶进行了实际观测,共获得了在不同大气条件下的气溶胶浓度和相应的谱分布资料282份,其中大气水平能见度大于30公里的资料有118份,而能见度小于15公里的资料有70份。本文仅对近地面大气气溶胶粒子的浓度、谱分布等物理特征做一初步分析。

二、仪器描述

粒子计数器的工作原理是根据在固定方向上的散射光强按照散射理论来推断散射粒子的几何尺寸。图1是仪器的光路系统示意图。整个系统的光路由白炽灯O,聚光系统I,投影系统II,散射腔M,取光系统III和光电倍增管T组成。由光源发出的光束通过聚光系统和投影系统在散射腔测量区形成一个 $1 \times 2 \text{ mm}^2$ 的亮区。当含有粒子的被测空气由抽气泵从进气管道吸入散射腔内并经过测量区时,每个粒子都顺序将光散射一次,同时产

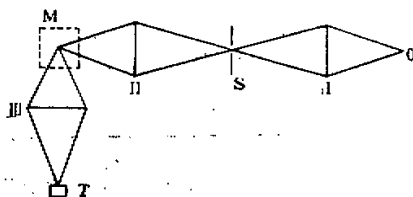


图1 粒子计数器的光路示意图

1980年8月12日收到修改稿。

* 一室红外组部分同志参加了观测、仪器标定,并对原稿进行过讨论,在此一并致谢。

生一个散射光脉冲,其幅度大小和粒子直径成一定的函数关系。这个光脉冲被聚焦在光电倍增管的阴极面上并在其输出端得到一个相应的电脉冲,而后再经放大、甄别,最后由计数系统计数。仪器测量范围为 0.3—10 微米(粒径),共分十五档进行计数、显示。

为了获得可靠的观测资料,曾对可能引起观测误差的各种因子进行了仔细的分析,这些因子包括:粒子的折射指数,粒子的非球形,仪器的光电系统以及仪器入口处的流场变化等等。为此,在观测前和观测过程中曾用塑胶球对仪器进行了粒子浓度和谱分布的标定,这种特制的球形粒子的折射指数为 1.49,非常接近于普遍使用的大气气溶胶粒子折射指数的平均值。仪器设有专门的校准系统以便随时校正仪器光电系统的稳定性。多次校正和标定结果表明,仪器在观测过程中比较稳定。为了估计风速对测量结果的影响,我们对仪器入口处的流场变化和粒子的运动轨迹方程进行了分析,并在只考虑粘滞力和假定粒子具有平均密度条件下,对球形粒子得到了不同风速情况下捕获不同大小粒子的修正系数,并据此对观测结果进行了修正。

三、大气气溶胶的浓度及其谱分布

1. 气溶胶的浓度及其变化

气溶胶粒子的浓度随着地理位置和大气环境状况的不同可以在很大范围内变化。表 1 是根据 21 天的观测结果处理得到的粒子浓度分布及其有关特征量。其中频数是指该组段中的资料份数,频率是指该组段中的资料份数占资料总份数的百分比。可以看到,就观测期间而言,该地区大气中气溶胶粒子的浓度变化可达 20 倍之多。考虑到整个观测期间大气状况比较稳定和大气水平能见度对粒子浓度的敏感性,我们将观测结果按能见度值进行了分类。资料表明,在不同大气状况下,气溶胶粒子的浓度有着明显的差异,就其

表 1 粒子浓度的分布及其特征量

序 号	组 段 (个/厘米 ³)	组中值 (个/厘米 ³)	频数 f_i	频率 $f_i(\%)$	累积频数 Σf_i	累积频率 $\Sigma f_i(\%)$
1	0—25	12.5	5	1.8	5	1.8
2	25—50	37.5	33	11.7	38	13.5
3	50—75	62.5	50	17.7	88	31.2
4	75—100	87.5	32	11.4	120	42.6
5	100—125	112.5	24	8.5	144	51.1
6	125—150	137.5	33	11.7	177	62.8
7	150—175	162.5	52	18.4	229	81.2
8	175—200	187.5	51	18.1	280	99.3
9	200—225	212.5	2	0.7	282	100.0

表 2 不同大气状况下的粒子浓度(个/厘米³)

大 气 状 况	$\bar{N}$	N_{max}	N_{min}
V>30 公里	70	174	18
V<15 公里	167	217	91

平均状态而言,在能见度小于 15 公里的“浑浊”大气中粒子的浓度约为能见度大于 30 公里的“洁净”大气中粒子浓度的 2.4 倍。从这个意义上讲,气溶胶粒子的浓度可作为反映不同气团物理特征的有效指标之一。一般来讲,气溶胶粒子浓度的增加会导致大气能见度的变坏,但这并不是唯一的,粒子本身的属性、谱分布以及其它气象要素也直接会对能见度产生影响。图 2 给出了不同大气状况下气溶胶粒子浓度分布的平均值,可以发现,对本观测地区而言,在能见度大于 30 公里的秋季“洁净”大气中,粒子浓度处在 50—75 个/厘米³范围内的频率约为 40%,而绝大多数情况下(80% 以上)粒子浓度都处在 25—100 个/厘米³范围内,而在能见度小于 15 公里的“浑浊”大气中,粒子浓度却大都(70% 以上)集中在 150—200 个/厘米³范围内。

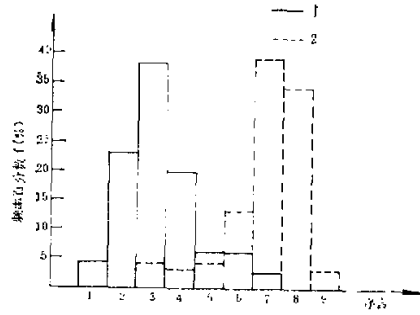


图2 不同大气能见度情况下的气溶胶浓度分布

1. 能见度大于 30 公里, 2. 能见度小于 15 公里, 横座标序号表示的粒子浓度范围见表 1。

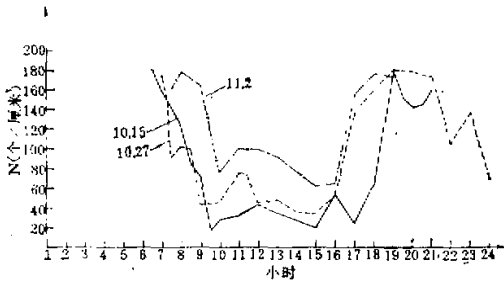


图3 气溶胶浓度的日变化实例

、要对实际大气中粒子浓度的上述变化做出客观解释,显然需要考虑大量的因子。本观测点位于香河县城,因此,可以明显地发现人类活动对观测结果的影响。图 3 是粒子浓度的日变化实例。可以发现,清晨,近地面的粒子浓度较大,这时人们的生活和生产活动刚刚开始,中午前后,粒子浓度明显偏小,这显然是由于大气中对流活动和垂直输送

加强的缘故。傍晚,大气中的粒子浓度又重新增加。夜间,虽然由于边界层逆温过程的发展使得垂直输送过程几乎完全停止,但由于人类活动的急剧减少,因而粒子浓度又会下降。一般来讲,在日出后 1—2 小时到日落前 1—2 小时这段时间内,由于大气混合得比较充分,因此,粒子浓度的变化相对比较稳定。

香河县位于工业污染比较严重的北京市和天津市之间,观测中曾发现来自这些污染区上空的气流会使粒子浓度发生明显变化。可见,要对某一地区气溶胶粒子浓度的变化作出解释,考察粒子的源和汇也是非常重要的。

2. 大气气溶胶粒子的谱分布特征

一般来讲,不同来源的粒子会有不同的谱分布。但由于大气条件的变化,会发生粒子的吸湿、扩散,凝并等微物理过程,从而使原有的粒子谱发生演变。图 4 和表 3 给出了不同大气条件下的粒子谱。可以发现,在“洁净”大气中,气溶胶粒子的尺寸一般偏小,平均

而言, 80% 左右的粒子其半径不大于 0.2 微米, 半径大于 0.2 微米的粒子只占总浓度的

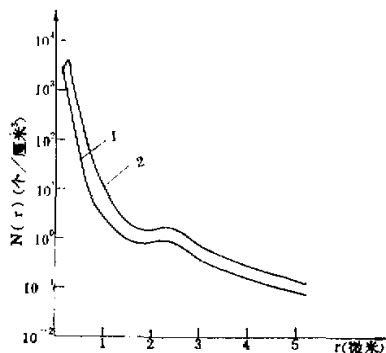


图 4 不同大气状况下的气溶胶谱分布

1. $\bar{N}=70$ 个/厘米³ $\bar{r}=0.216$ 微米,
 $V>30$ 公里 2. $\bar{N}=167$ 个/厘米³,
 $\bar{r}=0.271$ 微米, $V<15$ 公里。

20% 左右, 而在“浑浊”大气中, 相应的百分比分别为 43% 和 57%。同时, 在“浑浊”大气中, 整个粒子谱明显地移向大粒子一端, 从而使粒子的平均半径由洁净大气中的 0.216 微米增至“浑浊”大气中的 0.271 微米。应当指出的是, 对于不同大小的粒子, 其浓度的相对变化也是不一样的。图 5 给出了平均粒子谱在“浑浊”大气(N_2)和“洁净”大气(N_1)中的相对变化。可以看到, 粒子谱相对变化最大的是那些半径处于 0.2—1.0 微米范围内的粒子。对粒子谱的分析表明, 大粒子的数量随其尺寸的增加而迅速减少。例如, 半径大于 1 微米的粒子只占总数的 1% 左右, 其绝对数小于 1 个/厘米³。但是粒子谱的变化并

不是平滑的, 在谱分布曲线上往往会出现一个或多个峰值, 其位置约在 1—3 微米范围内。

图 6 给出了粒子的这种多峰值谱分布特征的实例。对影响粒子谱演变过程的某些重要力学过程的分析表明, 在小粒子区, 由热运动引起的扩散和凝并占主导地位, 而在大粒子区, 气溶胶系统中的主要过程则是重力沉淀和重力凝并。有理由认为, 这些过程的相互转化是形成粒子谱多峰分布的主要原因。

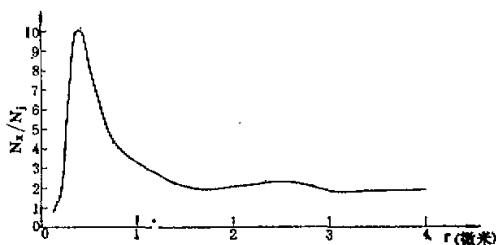


图 5 不同大气状况下粒子谱的相对变化

为了解决和气溶胶有关的理论和实际问题, 常常希望用一解析式来描述气溶胶的粒子谱^[6-9]。考虑到实际大气中粒子谱的一般特征和实际计算中的简单性, 我们用下式获得了较好的拟合结果。

表 3 不同大气状况下的粒子谱(个/100 厘米³·Δr*)

大气状况 \ 粒子半径 r(微米)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
洁净大气	3095	967		164	87	42.4	21.1	13.3	8.4	7.8	4.9	3.8	2.03	1.17	
浑浊大气	3035	3870	1655	721	279	44.2	17.1	16.2	11.1	7.0	3.7	2.7			

* Δr 为相邻两半径值的间隔

$$n(r) = ar^b e^{-cr}$$

式中 $n(r)$ 是单位体积空气中半径为 r 的粒子数, a, b, c 为经验常数。

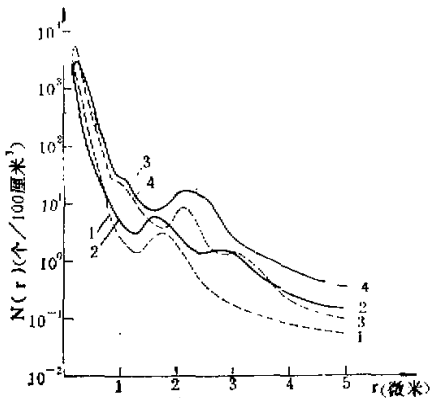
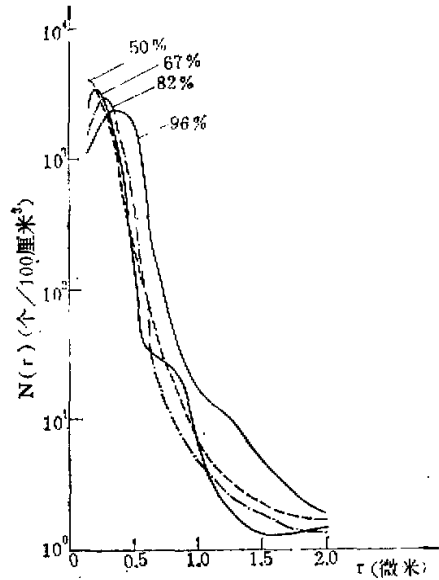


图6 大气气溶胶的多峰分布实例

1. 10.27, $N=60$ 个/厘米³, $V>30$ 公里,
2. 10.11, $N=45$ 个/厘米³, $V>30$ 公里.
3. 11.2, $N=169$ 个/厘米³, $V<15$ 公里,
4. 11.9, $N=139$ 个/厘米³, $V<15$ 公里.

图7 不同湿度情况下粒子谱的相对变化实例
(1978.11.3). 曲线上标出的是相对湿度值

3. 相对湿度对粒子谱的影响

大气湿度因子同气溶胶粒子之间在未饱和情况下的相互作用机制至今研究得还很不充分。图7是不同大气湿度情况下粒子谱的相对变化实例。对观测结果的分析表明,在直到50%的低湿度情况下,几乎看不到相对湿度对粒子谱有什么影响,而当相对湿度从50%增至96%时,粒子谱却发生了明显的变化,尤其是处在0.15—1.0微米范围内的粒子,变化更为显著。在这一湿度范围内,粒子谱的峰值明显地向大粒子一端移动,而增大了的粒子同原来相比则具有更大的“吃掉”小粒子的能力。这样,随着相对湿度的增大,气溶胶系统中的扩散、凝并过程会不断增强,从而使大气中粒子的总数减少,但对于尺寸较大的粒子而言,其浓度却会相对增加。

一般来讲,在高湿度情况下,不仅会有粒子谱的相对变化,而且由于水汽的扩散,甚至凝结过程的发生,粒子的折射指数也会相应改变,结果会导致气溶胶系统散射效率的增强,从而使大气浑浊度增大,能见度减小。本观测结果表明,相对湿度从60%增至97%,大气水平能见度会相应降低4—7倍。

四、结 论

1. 大气气溶胶的浓度和谱可以作为反映不同气团物理特征的有效指标之一,考察粒子的源和汇对研究气溶胶的特征有着最基本的意义。

2. 香河地区, 洁净大气中的粒子浓度变化范围在大多数情况下为 20—100 个/厘米³, 而在浑浊大气中, 这个范围是 150—200 个/厘米³.

3. 实际大气中的粒子谱一般具有多峰分布特征, 这种特征可认为是由于气溶胶系统中力学特征量的演变所引起的.

4. “洁净”大气和“浑浊”大气中的粒子谱有明显的不同. 相对变化幅度最大的是那些半径处于 0.2—1.0 微米范围内的粒子.

5. 大气中相对湿度从 60% 左右就开始对气溶胶的物理和光学特性产生明显的影响, 这种影响主要是改变粒子的谱分布和折射指数.

参 考 文 献

- [1] Yamamoto, G. and Tanaka, M., *Appl. Opt.*, Vol. 8, No. 2, 1969.
- [2] WMO Operations manual for sampling and analysis techniques for chemical constituents in air and precipitation, WMO-No. 299, 1971.
- [3] Box, M. A. and Lo, S. Y., *J. Appl. Meteor.*, Vol. 15, No. 10, 1976.
- [4] Murai, K. et al., *Papers in Meteor. and Geoph.* Vol. 28, No. 4, 1977.
- [5] King, M. D. et al., *J. Atmosph. Sci.*, Vol. 35, No. 11, 1978.
- [6] Лещин Л. М., *Изв. АН СССР серия геофиз.*, №. 10, 1958.
- [7] Deirmendzian, D., *Appl. Opt.*, Vol. 3, p. 187, 1964.
- [8] Junge, C. E., *Air chemistry and Radioactivity*, New York, 1963.

SOME CHARACTERISTICS OF THE CONCENTRATION AND SIZE DISTRIBUTION OF ATMOSPHERIC AEROSOL

Wang Geng-chen

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

Working principle of the optic-electrical apparatus for the measurement of atmospheric aerosol has been briefly described. The concentration and size distribution of atmospheric aerosol under different atmospheric conditions have been analysed. The results show that both the concentration and size distribution of atmospheric aerosol in clean atmosphere are obviously different from that in turbid atmosphere. The largest variation in particle numbers exists in the radius range of 0.2—1.0 μ . In real atmosphere, aerosol size distribution undergoes very complex evolutionary process and has a multi-peak distribution. The effect of relative humidity on microphysical properties of aerosol is evident and this effect mainly changes the aerosol size distribution and refractive index.