

北京等地对流层低层晴天气溶胶 微物理特征

陈万奎 严采 蔡*

(气象科学研究所人工影响天气研究所)

提 要

1982年4—7月对北京等地对流层低层晴天气溶胶数浓度、尺度谱分布进行了飞机观测。结果表明:来自西、西北和北部气团的气溶胶数浓度相当低(平均为 $10^{-1}—10^0$ /厘米³)。尺度谱分布用 $dn/dD = C/D^A$ 拟合,相关显著水平 $\alpha \leq 0.01$,幂指数 A 值多小于3(占总数73%以上),比Junge给出的 $A=4$ 值小些。鉴于直径 $D=0.5—2$ 微米粒子在大气中的重要性,也按 $dn/dD = C'/D^B$ 进行拟合,多数测值 $\alpha \leq 0.01$,少数 $\alpha \leq 0.05$ 。幂指数 A 、 B 和 $D=0.5—1$ 微米粒子相对数浓度 f ,在水平、垂直方向上是相当均匀稳定的。

受城市影响时,混合层内气溶胶数浓度明显增大,尺度谱分布斜率变陡(A 、 B 增大),特别是和“气—粒”转化有关的 $D=1$ 微米左右粒子数浓度增加非常显著,比不受城市影响时,增加了1—2个量级,最大可增加3个量级。可见,城市影响是造成混合层气溶胶数浓度增大、尺度谱分布变陡、局地大气污染加重、低层能见度变坏的重要原因。

一、前 言

大气气溶胶(以下称 AP)指悬浮于大气中的固态、液态微粒。它主要来自海洋、大陆风沙和自然过程或人类活动过程中产生的“气—粒”转化^[1]。 AP 不仅对云雾形成有重要作用,还可能影响大气辐射,进而影响气候^[2,3,4]。

在环境科学研究中, AP 是大气中重要的微粒污染物,其中 $D < 10$ 微米的飘尘能长期飘浮于大气中,它本身可能是有害物质,也可能是其它污染物的反应剂或运载体^[5,6]。特别是 $D < 2$ 微米粒子多含有有毒物质,又易被人类上呼吸道吸入,危害更大,如砷、多环芳烃多包含在2微米以下 AP 中^[7]。

国内80年代对 AP 观测主要在地面进行^[8,9,10]。飞机观测始于1982年,国家气象局气科院使用专用探测飞机(依尔—14)先后在北京等地进行了大量观测,观测高度自地面到6公里(海拔高度,下同)。本文分析了1982年4—7月观测结果。

本文1986年7月15日收到,1987年6月25日收到修改稿。

* 参加飞机观测有内蒙气象局研究所、气科院人工影响天气研究所

二、机载仪器和观测方法

主要机载仪器是前向散射谱仪(FSSP-100)^[11]。飞行观测方式是盘旋爬高和水平飞行相结合,共获得垂直、水平方向观测资料5422和4190组,经1—3分钟飞行路径平均后有310组平均资料。

三、晴天 AP 尺度谱分布

观测表明: $D > 8$ 微米 AP 数浓度很低(10^{-2} /厘米³),因此本文仅分析0.5—8微米粒子。为比较各种大小粒子的重要性,采用相对数浓度 f_i 。分析表明:晴天 AP 尺度谱都呈单峰谱,即 f_i 随 D_i 增大而减小,其中0.5—2微米和6—8微米段减小最快,2—6微米段减小缓慢(见图1、2)。晴天 AP 尺度谱采用 Junge^[12]幂指数关系($dn/dD = C/D^A$)拟合,由于0.5—2微米粒子在大气中的重要性,对这种大小粒子亦用关系 $dn/dD = C'/D^B$ 拟合。

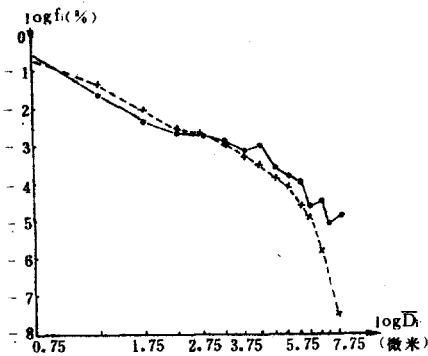


图1 干净气团 AP 尺度谱(1982年4月28日北京沙河机场观测结果)
——,--- 各表示 0—400
3000—4000米高度层平均谱

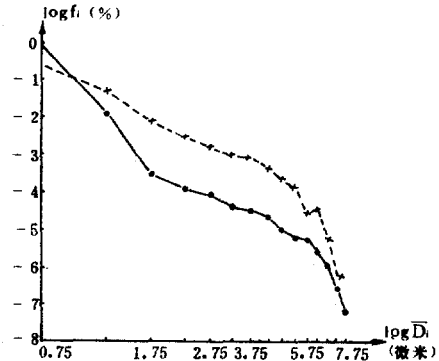


图2 浑浊大气 AP 尺度谱(1982年4月21日,北京沙河机场观测结果)(说明同图1)

拟合结果表明:对于 $D = 0.5—8$ 微米 AP 尺度谱相关显著水平 $\alpha \leq 0.01$ 。 $D = 0.5—2$ 微米,多数 $\alpha \leq 0.01$,少数 $\alpha \leq 0.05$ 。在0—1500米垂直厚度层中, A 取值比较集中,众数在2.5—3(占38.5%),1.5—3占73%, $A > 3$ (多和浑浊大气相关连)占27%。 B 取值较 A 分散,众数在2—2.5(占36.7%), $B > 4$ 出现第二峰值(和较强污染有关),占22.5%(见图3)。在0—4000米厚度层中,有类似图3结果。这些观测事实表明:北京等地 AP 尺度谱中有较多的2—6微米粒子。有无城市影响时,AP 尺度谱是不相同的,受城市影响时,有大量的0.5—2微米粒子,使得幂指数 $B > A$,而不受城市影响时多是 $B \leq A$ 。

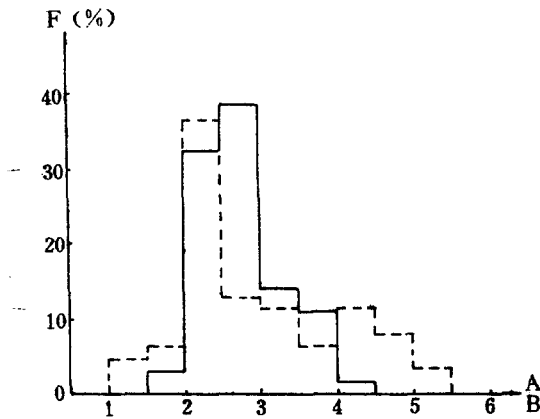


图3 0—1500米厚度层内, 湿指数A(实线)、B(虚线)频率分布

四、来自西、西北、北部干净气团中AP尺度谱微物理特征

1. 水平分布

AP数浓度及其微物理特征值, 表征了在水平方向上的均匀程度和可能的源、汇及输送方向。表1列出了1982年5月15日8—9时从西安兰田到郑州西部伊川县280公里水平航线上AP微物理特征值。观测高度3000米, 处于700 hPa槽后偏北气流中, 观测航线相对于气团是从气团边缘到气团中心。表2列出了当日16—18时从郑州北魏县到北京南大王庄1800米高度、445公里水平航线上AP微物理特征。相对于气团, 观测航线位于气团中心。

表1 兰田—伊川AP微物理特征

特征值	B	A	D_1 (微米)	N (厘米 ⁻³)	f_1	f_2	f_3
平均值	2.01	3.14	1.37	4.92	0.515	0.215	0.092
标准差	0.06	0.30	0.02	1.11	0.011	0.007	0.004
变异系数	0.03	0.10	0.02	0.23	0.021	0.033	0.043
极大值	2.13	3.59	1.45	6.96	0.536	0.226	0.100
极小值	1.93	2.62	1.33	2.83	0.494	0.199	0.086

注: 变异系数=标准差/平均值, f_1 、 f_2 、 f_3 分别为粒子直径0.5—1、1—1.5、1.5—2微米的相对浓度, 下同。

表 2 魏县一大王庄 AP 微物理特征

特征值	B	A	D (微米)	N (厘米 ⁻³)	f ₁	f ₂	f ₃
平均值	2.00	2.78	1.45	5.95	0.508	0.198	0.062
标准差	0.12	0.33	0.03	1.36	0.017	0.009	0.004
变异系数	0.06	0.12	0.02	0.23	0.033	0.045	0.065
极大值	2.27	3.30	1.50	8.77	0.544	0.216	0.074
极小值	1.80	2.24	1.41	3.60	0.484	0.183	0.056

从表 1、2 得出：来自北方的冷空气团，在 3000、1800 米高度上，AP 微物理特征值水平分布相当均匀，除数浓度 N 变异系数稍大(0.23)外，其它特征值变异系数均小于 0.11。各层没有明显的源和汇，N 的差异和局地相对湿度有关^[13]。各高度层上特征值虽然相近，但差异还是明显的，如 3000 米高度 A 值高于 1800 米 A 值，这表明高层的尺度谱更窄、更陡。这种差异也反应在其它特征值上，如低层 N、D 较大等。造成这些差异的原因，一是重力沉降，二是气团中下沉气流，使低层较大粒子难于向上输送。

表 3 AP 水平方向上微物理特征

观测日期 (月/日)	5/15		6/18		6/24	7/21
资料份数	622	864	756	300	580	622
气团来向(度)	350—10	275—300	295—355		270—285	300—310
观测高度(米)	3000	1800	2300	2000	3000	3000
水平距离(公里)	280	445	330	100	250	270
\bar{B} $\delta(B)$	2.01 0.03	2.00 0.06	1.98 0.08	2.25 0.08	2.21 0.12	2.18 0.05
\bar{A} $\delta(A)$	3.14 0.10	2.78 0.12	2.48 0.09	2.65 0.14	2.40 0.09	2.93 0.10
\bar{D}_1 (微米) $\delta(D_1)$	1.37 0.02	1.45 0.02	1.53 0.06	1.40 0.05	1.41 0.04	1.35 0.02
\bar{N} (个/厘米 ³) $\delta(N)$	4.92 0.23	5.95 0.23	2.25 0.33	3.42 0.46	0.82 0.52	2.91 0.41
\bar{f}_1 $\delta(f_1)$	0.515 0.021	0.508 0.033	0.494 0.076	0.553 0.062	0.541 0.076	0.543 0.027
\bar{f}_2 $\delta(f_2)$	0.215 0.033	0.198 0.045	0.191 0.047	0.184 0.045	0.180 0.103	0.196 0.038
\bar{f}_3 $\delta(f_3)$	0.092 0.043	0.062 0.065	0.096 0.082	0.082 0.088	0.083 0.146	0.085 0.064

综合来自北、西北、西部气团 AP 微物理特征值列于表 3。表中“—”表示平均值， δ 表

示变异系数。共同特点是 N 比较低,但时、空变化较大(没有量级变化),变异系数可达 0.52。其它特征值相当稳定,变异系数小于 0.15。这是干净气团 AP 的一个重要属性。

2. 垂直分布

AP 垂直分布反映了气团与下垫面(地面)粒子交换的强弱和垂直方向均匀程度,也反映了大气层结特点。表 4 列出了各厚度层平均特征。

表 4 AP 垂直方向上微物理特征

观测日期 (月/日)	5/15		6/18			4/28
	资料份数	363	180	184	121	128
观测层厚度 (米)	3000—110	110—1800	2300—1000	1000—2000	2000—960	32—4000
\bar{B}	2.01	2.06	2.33	2.17	2.22	2.19
$\delta(B)$	0.06	0.04	0.07	0.03	0.10	0.16
\bar{A}	2.99	2.46	2.73	2.53	2.72	2.30
$\delta(A)$	0.09	0.04	0.10	0.08	0.09	0.13
\bar{D} (微米)	1.40	1.48	1.40	1.46	1.46	1.53
$\delta(D)$	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04
\bar{N} (个/厘米 ³)	6.55	3.62	4.15	2.87	4.38	1.02
$\delta(N)$	0.17	0.23	0.58	0.42	0.39	0.26
\bar{f}_1	0.510	0.523	0.510	0.534	0.534	0.500
$\delta(f_1)$	0.035	0.020	0.035	0.015	0.085	0.120
\bar{f}_2	0.210	0.193	0.210	0.190	0.180	0.173
$\delta(f_2)$	0.064	0.024	0.064	0.021	0.088	0.180
\bar{f}_3	0.061	0.054	0.091	0.053	0.084	0.078
$\delta(f_3)$	0.062	0.064	0.062	0.036	0.107	0.180

从表 4 可看出:从地面到 3000 米的垂直厚度层中,平均分布参数十分相近,除数浓度变异系数较大外(最大为 0.58),其它参数的变异系数均小于 0.18。即来自北、西北、西部气团中的气溶胶数浓度和谱分布特征,不仅在水平方向上相当均匀、稳定,在垂直方向上也是均匀、稳定的。

五、城市对 AP 垂直分布的影响

为了分析城市的影响,在北京沙河机场、呼和浩特白塔机场进行了垂直探测,结果列于表 5。从表 5 得出:混合层(0—1500 米)中特征量 \bar{B} 、 \bar{A} 、 \bar{f}_1 明显大于自由大气中对应值。而不受城市影响时,却无此现象(见表 4, 4/28 测值)。这些事实表明:受城市影响时,有一种 AP 产生机制,优先使 $D=1$ 微米左右粒子明显增多,使 AP 数浓度可增大 1—2

个量级,最大可达3个量级。相对数浓度 \bar{f}_i 可高出20%以上。城市愈大,离城市愈近 \bar{N} 、 \bar{B} 、 \bar{A} 、 \bar{f}_i 增加愈大。

表5 受城市影响时AP垂直分布

城市名称	北 京				呼 和 浩 特
	15	15	15	15	
离城市水平 距离(公里)	15	15	15	15	30
观测高度 (米)	0—400	400—1000	1000—1500	1500—3000	0—400
\bar{B}	4.35	3.97	3.79	3.26	4.06
$\delta(B)$	0.11	0.14	0.14	0.27	0.18
\bar{A}	3.10	3.25	2.89	2.76	2.87
$\delta(A)$	0.17	0.15	0.14	0.17	0.07
\bar{D}_i (微米)	0.98	0.99	1.07	1.22	1.09
$\delta(D_i)$	0.12	0.12	0.11	0.18	0.10
\bar{N} (个/厘米 ³)	25.96	41.71	17.43	4.88	3.08
$\delta(N)$	0.52	0.88	1.32	0.64	0.25
\bar{f}_1	0.817	0.791	0.762	0.684	0.764
$\delta(f_1)$	0.046	0.055	0.077	0.184	0.067
\bar{f}_2	0.109	0.126	0.124	0.142	0.111
$\delta(f_2)$	0.120	0.273	0.221	0.322	0.092
\bar{f}_3	0.021	0.029	0.032	0.048	0.035
$\delta(f_3)$	0.428	0.446	0.381	0.478	0.318

注:观测高度是相对于地面高度

六、结 论

1. 来自西、西北、北部气团中AP数浓度平均为 10^{-1} — 10^0 /厘米³,尺度谱分布特征值在水平和垂直方向相当均匀、稳定。

2. 受城市影响时,直径1微米左右粒子数浓度急剧增加,数浓度在水平、垂直方向不均匀,尺度谱分布特征值 \bar{B} 、 \bar{A} 、 \bar{f}_i 明显增大。城市愈大,离城市愈近增大愈明显。

参 考 文 献

- [1] WCP 43. Tropospheric aerosols; Review of current data on physical and optical properties.
- [2] 曹鸿兴等译,全球大气研究出版丛书第16号;气候的物理基础及其模拟,155—162,434—450,科学出版社,1982年。
- [3] K. Ta. 康德拉捷夫等,尘埃气溶胶和大范围云层对辐射状况和气候的影响,气象科技,第二期,1985年。
- [4] 周景林编辑,大气气溶胶研究中的一些问题,气象科技,第四期,1985年。

- [5] 汪安璞等,北京地区大气飘尘的化学特性,环境科学学报,1,3,1981.
- [6] 周明煜等,北京地区一次尘暴过程的气溶胶特征,环境科学学报,1,3,1981.
- [7] 王明星等,北京一月大气气溶胶的化学成分及其谱分布,大气科学,10,1,1986.
- [8] 王庚辰,大气气溶胶浓度及其谱分布的某些特征,大气科学,6,2,1982.
- [9] 朱文琴,气溶胶粒子谱的观测分析,大气科学,6,2,1982.
- [10] 周明煜等,北京城区秋冬季节气溶胶浓度分布规律及其天气类型,大气科学,7,4,1983.
- [11] 粒子测量系统公司,前向散射粒子探头说明书,1982年.
- [12] N. H. 弗列却,雨云物理学,程纯枢译,P78,科学出版社,1966年.
- [13] 陈万奎,气溶胶粒子数浓度与相对湿度的关系,气象科学技术集刊,第9期,气象出版社,1984年.

CLEAR AIR AEROSOL MICROPHYSICS FEATURES IN THE LOWER TROPOSPHERE IN BEIJING

Chen Wankui Yan Caifan

(Institute of weather Modification, AMS)

Abstract

Clear air aerosol number concentration and its number/size spectrum distribution in the lower troposphere were observed by airborne instruments in Beijing etc. during April—July in 1982. Results show that the aerosol number concentration of the air coming from west, northwest and north are rather low ($10^{-1} - 10^0 \text{ cm}^{-3}$ on the average). The number/size distribution has been fitted by $\frac{dn}{dD} = C/D^A$, with the correlation significance level $\alpha \leq 0.01$, most exponentail A values are less than 3. Because of the importance of the diameter 0.5 to $2\mu\text{m}$ particles in the atmosphere, its number/size distribution has also been by $\frac{dn}{dD} = C'/D^B$. It is found that the correlation significance level is $\alpha \leq 0.01$ for the most observations, and $\alpha \leq 0.05$ for a small parts. The values of A, B and smaller particles ($0.5 \leq D \leq 1\mu\text{m}$) relative number concentration f_1 are fairly uniform and steady both in horizontal and vertical direction.

When effected by city, the aerosol number concentration in the mixing layer increase evidently, the number/size spectrum distribution is steeper and especially for the smaller particles ($D \sim 1\mu\text{m}$) the concentration is very remarkable, therefore city effect is a important cause for high aerosol concentration, steep number/size distribution, strong local air pollution and low visibility in mixing layer.