

石家庄秋季大气气溶胶物理特征分析¹⁾

孙玉稳 段 英 吴志会

(河北省人工影响天气办公室, 石家庄 050021)

提 要

利用 1990 年秋季在石家庄地区不同天气条件下飞机观测对流层低层(距地面 4000m 以下高度)大气气溶胶的观测资料,分析了气溶胶粒子数密度、质量浓度水平和垂直分布特征及其日变化。结果表明,晴空下,石家庄地区气溶胶源于本地,地面质量浓度为 $0.15 \times 10^{-9} - 0.85 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 高度 4000m 以下谱分布特征值 $N_0 = 1.5 \times 10^5 - 5.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3} \mu\text{m}^{-1}$, $\lambda = 13 - 15 \mu\text{m}^{-1}$; 逆温层影响气溶胶粒子的向上输送,使其在逆温层上下出现不连续分布;气溶胶的日变化表现为上午数密度大于下午,但下午粒子谱变宽;城市效应影响气溶胶粒子分布,城市上空气溶胶粒子数密度比郊区高 15%—30%。

关键词: 气溶胶 数密度 质量浓度 分布特征

引 言

大气气溶胶不仅对本地环境有重大影响,还影响大气辐射过程以及云和降雨微物理过程,并通过上述过程而影响天气,乃至气候的变化^[1]。因此,有关大气气溶胶的形成、扩散、输送和沉降等问题,近些年来引起广泛关注^[2]。本文利用 1990 年秋季河北省人工影响天气办公室在河北南部平原地区对大气气溶胶的飞机探测资料,分析了不同天气条件下大气气溶胶粒子分布特征,进而对气溶胶粒子来源、扩散和输送规律进行了初步研究。

1 资料观测及天气背景

1990 年秋季在石家庄地区进行了 4 次飞机观测,9 月 26 日 10 时 47 分从石家庄机场起飞,沿石家庄、元氏、临城、永年、邯郸、曲周、内丘、临城、藁城、石家庄飞行,12 时 01 分降落在石家庄机场,飞行高度一般在 3700—4000m,取样时间在 11 时 54 分至 12 时 01 分,即藁城到石家庄机场和降落一段。10 月 4 日 10 时 16 分从石家庄机场起飞,沿石家庄、元氏、栾城、藁城、正定、石家庄环行

一周,11 时 25 分降于石家庄机场,飞行高度 400—1200m,取样时间在整个飞行过程中。10 月 4 日 17 时从石家庄机场起飞,沿上午飞行路线飞行,飞行高度在 390—2000m,在整个飞行中连续取样。10 月 18 日 9 时 15 分从石家庄机场起飞,在石家庄机场附近上空飞行,飞行高度在 500—3000m,飞行时连续取样。观测设备使用经改装的 An-26 飞机,机上装有 PMS 粒子探测仪(其中 ASSP 探头可连续探测直径为 0.12—3.12 μm 的气溶胶粒子)以及温度自记仪器。

上述 4 次观测时天气条件分别为:9 月 26 日河北省受西风槽影响,观测区位于槽前部,能见度为 8km,云层主要为 As op 及 S 云,作业区云状为 Sc、As,云高为 4000m,当日 14 时以后降小雨;10 月 4 日晴天,石家庄地面刮南风,风速 3—4 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,能见度为 14km,因石家庄郊区正值秋收秋种,农民大量燃烧秸秆,机场低空烟雾较大,能见度较差;10 月 18 日为晴天,能见度为 12km。

2 天气条件对气溶胶分布的影响

1) 河北省科学基金和中国气象局科学基金资助项目

气溶胶粒子质量浓度 M 是按

$$M = \frac{\pi}{6} \Sigma N(D) D^3 \rho \text{ 计算的}^{[3]}.$$

式中, D 为等效球形粒子直径, $N(D)$ 是每立方厘米体积内直径为 D 的粒子个数, ρ 为气溶胶粒子的密度, 平均取 $2.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. 在不同天气条件下, 气溶胶粒子质量浓度随高度变化(见图1).

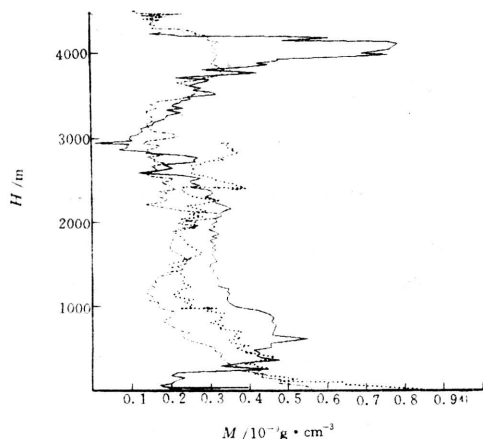


图1 气溶胶粒子质量浓度随高度分布

实线:1990年9月26日 点划线:1990年10月9日 虚线:1990年10月18日

由图1可看出,晴天时,2000m以下气溶胶粒子质量浓度分布随高度呈负指数递减,地面浓度为 $0.85 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. 半阴天时1000m以下仍服从负指数分布,但地面质量浓度降至 $0.58 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. 当阴天时大气中对流运动较强,低层的负指数分布遭破坏,气溶胶粒子随云的分布出现两个峰值,一个在4000m为 $0.78 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 一个在6000m为 $0.55 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. 可见气溶胶粒子由低层向上层的输送受天气条件影响很大,在晴天向上输送靠粒子扩散或大气湍流运动,而在阴雨天气下,由于风的影响,大气对流运动强烈,使大量气溶胶粒子被送到云顶。

3 逆温对气溶胶粒子分布的影响

大气中逆温可阻止其上下层空气交换,使气溶胶粒子分布具有分层特征(见图2).

查温度资料知,当日在600—800m出现了较强的逆温层,在逆温层下,气溶胶粒子数密度出现 $1.5 \times 10^4 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的低值,而在逆

温层中上部出现 $3.2 \times 10^4 \text{ 个} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的峰值。

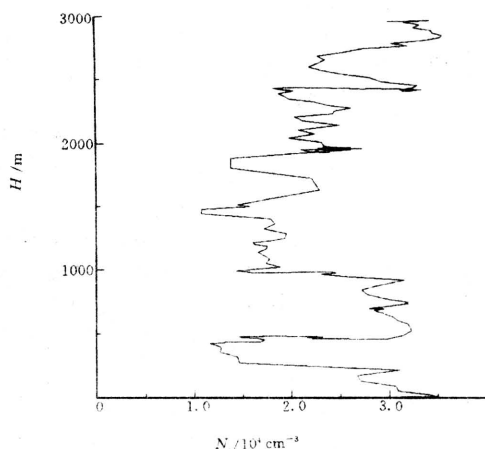


图2 气溶胶粒子数密度随高度变化
1990年10月18日

逆温层不仅对气溶胶粒子数密度有影响,而且对其谱特征也有影响,气溶胶粒子的尺度谱按如下经验公式拟合:

$$N = N_0 \exp(-\lambda D)$$

式中, N 是直径为 D 的粒子数密度, 单位为 $\text{cm}^{-3} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, N_0 和 λ 为由观测资料拟合求得的参数。为了深入研究气溶胶粒子随高度变化, 依据实测资料, 分别求出500m以下高度和500m以上高度层气溶胶粒子谱分布公式中的斜率参数值 $\lambda (\mu\text{m}^{-1})$ 和截距参数 $N_0 (\text{cm}^{-3} \cdot \mu\text{m}^{-1})$, 平均粒子谱见图3。

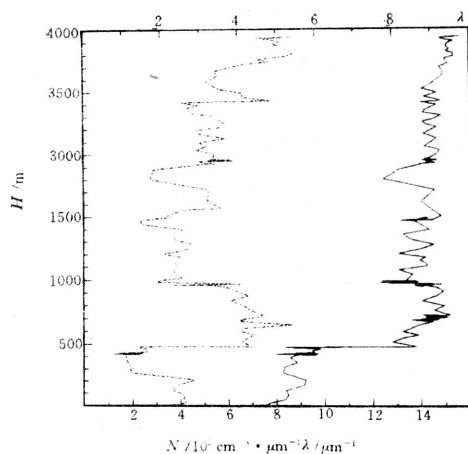


图3 晴空拟合曲线的截距参数、斜率参数随高度变化
实线: λ 点划线: N_0

按 λ 值随高度的差异可分为两段,在 500—3000m 高度层内为 $13\text{--}15\mu\text{m}^{-1}$, 500m 以下为 $8\text{--}9\mu\text{m}^{-1}$, 对照温度层结发现, λ 的不连续点正出现在强逆温层下方附近。 N_0 随高度升高而递增, 其值为 $1.6 \times 10^5\text{--}5.5 \times 10^5 \text{cm}^{-3} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, 且在强逆温层处出现明显的峰, 其峰为 $4.5 \times 10^5 \text{cm}^{-3} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 。 据此推测, 可能造成 500m 以下大粒子多, 谱较宽, 而 500m 以上谱较窄, 且在逆温层出现粒子数较多。 大气湍流运动决定于不同高度上动量的传送和空气受热不均匀所形成的气团浮力, 在无风和逆温下, 湍流运动减弱, 从而抑制了发生于逆温层的粒子交换过程, 大粒子在通过逆温层的向上扩散输送过程中因惯性大, 平均落速大, 不易通过逆温层, 同时, 因逆温层中空气稳定, 使粒子也易于在其中滞留。

4 气溶胶粒子的日变化

大气中, 温度垂直递减率的大小决定湍流运动的强弱。 在晴朗无风天气条件下, 高层气溶胶浓度与稳定度呈负相关, 低空气溶胶浓度与稳定度呈正相关关系。 大气边界层受辐射日变化影响, 使气溶胶粒子分布发生日变化。 10月4日上午10时, 从飞机观测资料看, 在 1300m 以下大气垂直递减率为 $5.5 \text{C} \cdot \text{km}^{-1}$, 到下午5时, 大气垂直递减率升到 $7 \text{C} \cdot \text{km}^{-1}$, 湍流运动的增强使气溶胶粒子数密度和质量浓度发生变化。 质量浓度上午在 1300m 以下服从负指数分布, 下午 2000m 以下随高度上升却有所增加(见图4)。 粒子数密度也有相应的趋势。

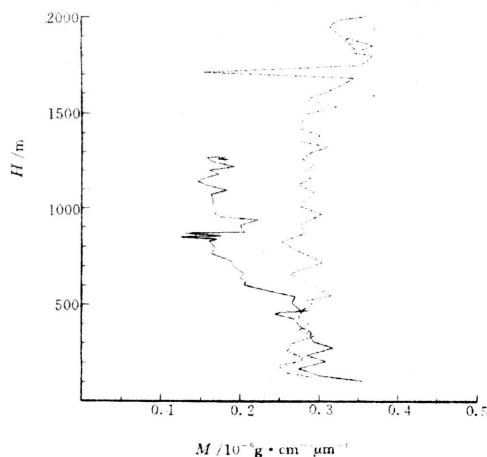


图4 气溶胶粒子质量浓度的日变化
实线:上午 点划线:下午

气溶胶粒子谱分布也发生变化(见图5、图6)。

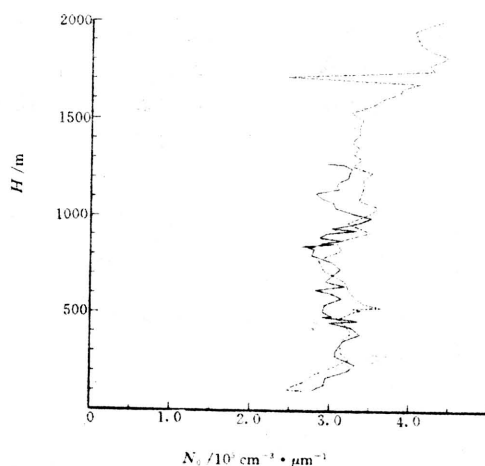


图5 拟合曲线 N_0 参数随高度变化
实线:上午 点划线:下午

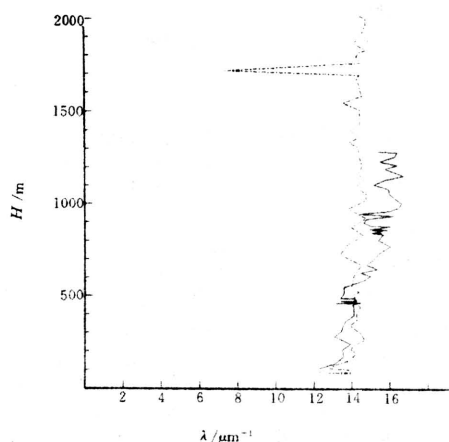


图6 拟合曲线 λ 随高度变化
实线:上午 点划线:下午

10月4日上午 N_0 随高度变化不大, 值为 $2.8 \times 10^5\text{--}3.5 \times 10^5 \text{cm}^{-3} \cdot \mu\text{m}^{-1}$; 下午 N_0 随高度上升而递增, 值为 $2.5 \times 10^5\text{--}4.5 \times 10^5 \text{cm}^{-3} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 。 同日 λ 在上午随高度上升而递增, 值为 $12\text{--}16\mu\text{m}^{-1}$; 下午 λ 值基本不变, 为 $14\mu\text{m}^{-1}$ 。 即上午低层的粒子谱比下午的粒子谱宽, 上午高层谱比下午窄。 查 10月4日上午10—11时及下午5—6时地面观测资料知, 飞行时地面相对湿度分别为 38% 和 28%, 下午相对湿度降低, 小于气溶胶粒子吸湿增大的最低相对湿度(40%)^[4], 从而排除

了粒子吸湿增大的影响。气溶胶分布发生变化的原因主要是湍流运动的加强,更有利于气溶胶粒子向高层输送。

5 城市对气溶胶粒子水平分布的影响

为了分析城市对气溶胶粒子分布的影响,选用10月4日下午17时02分到07分,在石家庄至元氏一线450—500m高空水平飞行时探测资料和17时23分到25分在石家庄北部至机场附近2000m高空平飞时的探测资料。在500m高空,石家庄市上空气溶胶粒子数密度达 6×10^5 个 $\cdot \text{cm}^{-3}$,离石家庄市愈远,数密度逐渐降低,到元氏上空已降至 4.4×10^5 — 4.7×10^5 个 cm^{-3} 。在2000m上空市区为 7.2×10^5 — 7.3×10^5 个 $\cdot \text{cm}^{-3}$,而在石家庄市西北部郊区降到 6.4×10^5 — 6.6×10^5 个 $\cdot \text{cm}^{-3}$ 。在500—2000m上空,气溶胶粒子数密度市区比郊区及郊县高15%—30%。由于10月4日石家庄市周围郊县焚烧秸秆,烟雾向上扩散较慢,而城市热岛效应明显,造成大量烟雾向市区汇集,使市区气溶胶粒子浓度有所增加。

6 结论

6.1 晴空条件下,石家庄市附近大气气溶胶源于本地,当天气变化时会影响气溶胶粒子

谱分布特征值 λ 、 N_0 ,气溶胶粒子的分布特征与天气条件密切相关。

6.2 逆温层是控制气溶胶粒子垂直输送的重要因子,当逆温出现时,逆温层上下质量浓度和谱密度分布出现不连续,大粒子在向上输送中受到逆温阻滞。

6.3 气溶胶粒子谱分布具有明显日变化,在2000m以下,上午质量浓度分布近似负指数型,下午随高度上升而增加,近似斜线型。上午低层谱比下午平均要宽,上午高层谱比下午平均要窄。湍流运动强,有利于气溶胶向上输送。

6.4 城市热岛效应对气溶胶粒子分布影响较大,城市上空往往形成气溶胶粒子高峰,这种差异在低层表现得更为明显。

参考文献

- 1 Choularton T. G., Fullarton G. and Gaym. J. Some observations of the influence of meteorological variables on the size distribution of natural aerosol particles. *Atmospheric Environment*, 1982, 16(2): 315—323.
- 2 谷福印等. 北京地区大气气溶胶的物理特征. *环境科学学报*, 1989, 9.
- 3 陈万奎. 北京郊区春季飘尘特征. *环境科学学报*, 5(3).
- 4 游来光. 利用粒子测量系统研究云物理过程和人工增雨条件. 云降水物理和人工增雨技术研究. 北京: 气象出版社, 1994: 236—249.

The Analysis of Physical Feature of Aerosol Particles in Autumn over Shijiazhuang Area

Sun Yuwen Duan Ying Wu Zhihui

(Weather Modification Office of Heibe Province, Shijiazhang, 050021)

Abstract

The daily change of number density of aerosol particles and quality concentration in horizontal and vertical derrection are analyzed. The earosol data observated by aircraft is used in convective baundary layer under different weather conditions during autumn in 1990 over shijiazhuang area. The results show that the aerosol particles are of local ones under clear air over shijiazhuang area. The concentration of aerosol particles is from 0.15×10^{-9} to $0.85 \times 10^{-9} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. The characteristic value of spectral distribution N_0 is from 1.5×10^5 to $5.5 \times 10^5 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, and λ value is from 13 to $15 \mu\text{m}^{-1}$ below 4000 meters. The upward transport of aerosol particles is limited, and its distribution occurred discontinuity due to the inversion layer effected.

The daily change of aerosol number density in the morning was greater than in the afternoon. The spectral distribution of aerosol particles was affected for the city effected. The number density of aerosol particles over the city area was higher than that over the rural area.

Key Words: aerosol particle number density quality concentration distribution character