

一次晴空条件下华北中南部上空气溶胶的 飞机观测及特征分析

董晓波¹, 王高磊², 吕 峰¹, 胡向峰¹

(1. 河北省人工影响天气办公室, 石家庄 050021; 2. 河北省气象局, 石家庄 050021)

摘 要: 利用 2008 年 5 月 4 日在晴空条件下对石家庄市及其东南部县城柏乡县的一次飞机探测资料, 分析了石家庄市及其附近乡村气溶胶粒子的垂直分布特征及粒子谱分布特征, 比较了城市与城市附近乡村的气溶胶粒子分布变化情况。结果表明: 气溶胶浓度随着高度的增加而递减; 边界层以内, 石家庄市上空和柏乡县上空的气溶胶粒子浓度都比较高, 虽然石家庄市上空低层气溶胶粒子浓度高于柏乡县上空低层气溶胶粒子浓度, 但两者差异不大。气溶胶在低层粒子谱比较宽, 中高层较窄, 两地气溶胶粒子平均直径均比较小, 小于 0.2 μm 。

关键词: 气溶胶; 垂直分布; 谱分布; 环境污染

中图分类号: X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673 - 7148(2010)01 - 0048 - 04

引 言

气溶胶是大气中很重要的微量成分, 在自然干净的大气中含量非常低, 但随着社会的不断发展, 人类活动对自然环境产生了深刻的影响, 受工业污染、交通扬尘、沙尘暴等因素的影响, 大气中气溶胶粒子明显增多。它们可以通过对太阳光吸收和散射改变地面的温度分布^[1-2]; 还由于污染的大气中存在大量亚微米的可溶性气溶胶, 有利于雾的形成, 而大雾天气又反过来加剧城市污染及细菌病毒的传播^[3]; 同时, 气溶胶在低空积聚, 空气湿度增大, 使轻雾日数增多, 造成大气透明度降低, 减少日照时数^[4]。因此, 近年来对大气气溶胶各种特性的研究已引起了人们的广泛重视。华北地区是中国北方重要的经济中心, 随着经济和城市建设的快速发展, 人类对环境的影响日益突出, 城市大气环境的污染也日趋严重^[5]。石家庄是中国 113 个大气污染防治重点城市中空气污染较为严重的城市之一, 还曾是全国污染最严重的 10 个城市之一。而位于河北省中南部的柏乡县, 地处太行山东麓的冲积平原上, 距西北石家庄市 65 km, 距西南邢台市 49 km, 主要以农业为经济主体, 没有重工业生产。

本文利用 2008 年 5 月 4 日在晴空条件下对石家庄市及其东南部县城柏乡县的一次飞行探测资料, 结合天气观测资料, 对该区域大气气溶胶的垂直分布特征进行初步分析。

1 探测仪器

机载 PMS 粒子测量系统是在 20 世纪 70 年代由美国 Robert Knollenberg 博士研制, 是目前国际上广泛使用的云物理观测研究的飞机探测设备。河北省人工影响天气办公室于 2003 年从美国引进了新一代 PMS 系统及相关的探测设备, 2004 年改装了一架夏延 III A 3625 人工增雨专用飞机。

本次使用的气溶胶粒子探测资料是由 PCASP - 100X (Passive Cavity Aerosol Spectrometer Probe - 100X) 所获取的, 其测量范围为 0.1—3 μm 。整个量程被分为 15 个间隔不完全相等的测量通道, 观测采样频率为 1 Hz^[6]。

PCASP 探头采用氦氖激光管作为光源, 其产生直径约为 600 μm 的激光束, 光束进入探头内部一个特定的采样室, 该采样室实际是一个谐振腔, 氦氖激光在此腔的作用下形成中心强度非常稳定的光束 (中心直径约 150 μm), 以便精确地区分粒子。在

收稿日期: 2009 - 07 - 24; 修订日期: 2009 - 11 - 19
基金项目: 国家 973 项目 (2006CB403706); 公益性行业 (气象) 科研专项 (京津 GYHY200806001) 资助
作者简介: 董晓波 (1982-), 男, 河北柏乡人, 助理工程师, 学士, 主要从事飞机人工增雨及大气探测研究. E-mail: xbo_dong@126.com

探头内还有一个抽气泵,它的作用就是将进入探头前端采样管的粒子汇集成一个直径约 150 μm 的具有一定速度的粒子流,粒子流经过采样管进入采样室,然后穿越与之垂直的激光束中心采样区,当粒子流通过激光束时产生光散射,这些散射光被相应的探测器接收,根据散射光与粒子尺寸之间的函数关系获得所测粒子的尺寸,然后将其归入相应的测量通道中并计数,最后粒子的尺寸及数目等信息传送给数据采集系统进行处理。

2 飞行方法及天气背景

探测飞行时间:2008 年 5 月 4 日 16:20—18:40,分别在石家庄市和柏乡县县城上空做垂直探测飞行。16:27—17:30 在石家庄市上空进行飞行探测,飞行高度为 600—5100 m;17:39—18:38 在柏乡县县城上空进行飞行探测,飞行高度同样为 600—5100 m。

2008 年 5 月 4 日 08:00 河北中南部地区 850 hPa、700 hPa、500 hPa 三层为东北冷涡后部的西北气流控制,地面处于高压前部。17:00 石家庄市地面观测记录为:晴天、无云,东南风 4 m/s,能见度为 11 km,温度 23 ℃,气压 1063 hPa;17:00 邢台市地面观测记录为:晴天、无云,西南风 4 m/s,能见度为 11 km,温度 23 ℃,气压 1064 hPa。

3 资料分析

3.1 垂直分布特征

图 1 为石家庄市和柏乡县上空的垂直观测结果。从图中可以看出,两地上空的气溶胶浓度随高

度递减。在边界层 1700 m 以下,石家庄市上空和柏乡县上空的气溶胶粒子浓度都比较高,表明气溶胶粒子主要来源于地面。在近地面层,虽然石家庄市上空的气溶胶粒子浓度高于柏乡县上空的气溶胶粒子浓度,但两者差异不大。石家庄市上空 1700 m 以内,气溶胶的平均数浓度为 2.4×10^9 个/cm³,柏乡县上空 1700 m 以内,气溶胶的平均数浓度为 1.6×10^9 个/cm³,石家庄市的气溶胶粒子浓度大约是柏乡县气溶胶粒子浓度的 1.5 倍。石家庄市上空从 1700 m 到 4600 m,柏乡县上空从 1700 m 到 4300 m 气溶胶粒子浓度随高度递减,比边界层以下气溶胶粒子的数浓度减少一个量级。而石家庄市上空从 4600 m 气溶胶粒子浓度急剧减少到 3.3×10^7 个/cm³,柏乡县则从 4300 m 气溶胶粒子浓度急剧减少到 3.4×10^7 个/cm³。由 PMS 粒子测量系统中用于测量空中温度的温度探头所探测到的温度廓线可以看出,石家庄市上空从 4600 m 到 4700 m,柏乡县上空从 4300 m 到 4400 m 都存在逆温层,逆温层的存在抑制了粒子的向上输送(见图 2)。

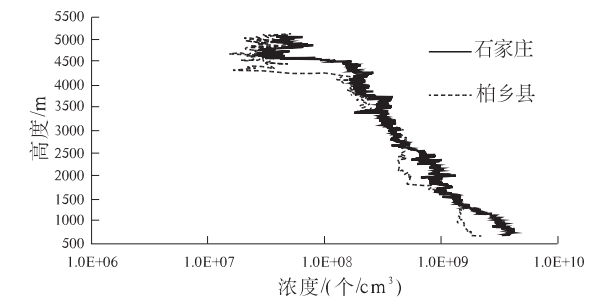


图 1 石家庄市和柏乡县上空的气溶胶粒子数浓度垂直分布

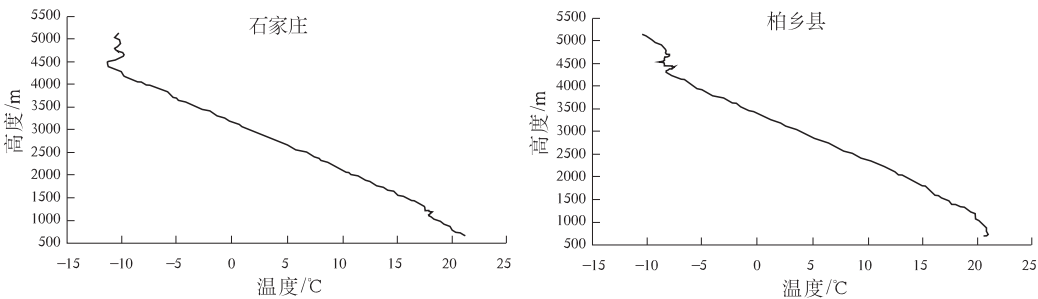


图 2 石家庄市和柏乡县上空的垂直观测温度分布

3.2 气溶胶谱及粒子直径分布特征

表 1 是不同高度层气溶胶粒子平均直径的分布。从表 1 中可以看出,两地的气溶胶粒子的平均直径为 0.1—0.2 μm,表明当天空中主要以细小的气溶胶粒子为主。

表 1 石家庄市和柏乡县不同高度层气溶胶粒子平均直径 μm					
高度层/m	600	1500	3000	4000	5100
石家庄市	0.175	0.174	0.195	0.195	0.174
柏乡县	0.172	0.174	0.181	0.194	0.171

选取石家庄市和柏乡县两地 600 m、1500 m、3000 m、5100 m 高度的气溶胶粒子谱分别绘于图 3。

从图 3 中可以看到,石家庄市 3000 m 以下的气溶胶粒子谱较宽,覆盖了 $0.1\text{--}2.3\text{ }\mu\text{m}$ 的尺度,5100 m 高度的粒子谱较窄,主要以直径小于 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 的粒子为主;柏乡县上空1500 m 以下气溶胶粒子谱与石家庄市较类似,而3000—5100 m 高度的气溶胶粒子

谱较窄,主要集中在 $0.1\text{--}0.3\text{ }\mu\text{m}$ 之间。柏乡县1500 m 以下气溶胶粒子谱呈双峰分布、1500 m 以上呈单峰分布,而石家庄市则在3000 m 以下呈多峰分布、3000 m 以上呈单峰分布。

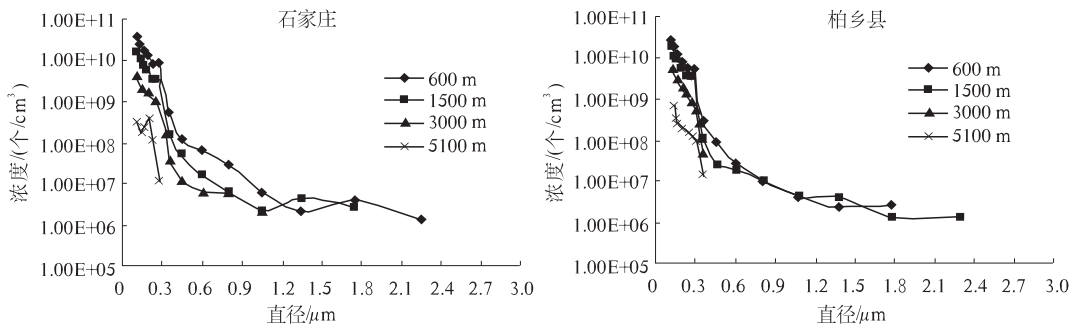


图 3 石家庄市和柏乡县上空气溶胶粒子在不同高度的谱分布

4 讨 论

(1)这次探测飞行选择了石家庄市区和一个没有重工业生产的县城柏乡县做相同高度的垂直探测,目的是比较城市和城市附近乡镇的气溶胶分布变化情况。经过分析发现,两地气溶胶粒子浓度变化趋势近似。近地面高度层气溶胶粒子浓度都比较高,虽然石家庄市的气溶胶粒子浓度高于柏乡县,但两者差异不大。而作为一个没有重工业生产的小县城,柏乡县上空特别是低层仍然具有较高浓度的气溶胶粒子,并且能从飞机上目测到该县城上空有霾层,这可能与其所处的地理位置有关。柏乡县位于石家庄市和邢台市之间,与两城市距离分别为65 km 和49 km。河北的中南部地区属于华北地区污染较严重地区,而石家庄市和邢台市又都是重污染城市,柏乡县可能是受到其周围地区污染排放的影响。石立新等观测发现,石家庄污染地区乡村上空的云凝结核明显高于张家口坝上无污染地区乡村上空,其浓度差异达5倍以上^[7],也从另一方面说明城市周边乡村上空已经受到城市环境污染的影响。

(2)从气溶胶粒子的垂直分布看,无论是低空还是高空,两地的气溶胶粒子分布均随高度递减。在边界层以下,石家庄市气溶胶粒子浓度是柏乡县气溶胶粒子浓度的1.5倍。两地的气溶胶粒子平均直径为 $0.1\text{--}0.2\text{ }\mu\text{m}$,表明当天气溶胶主要以细粒子的形态存在。两地不同高度的气溶胶的尺度谱在低层呈多峰分布,在高层呈单峰分布。相同条件下,不同直径大小的粒子数浓度不同, $0.1\text{--}0.3\text{ }\mu\text{m}$ 的细小粒子随高度的增加而明显减少。石家庄市和柏乡县

城区的低层粒子谱较宽,达到 $2.3\text{ }\mu\text{m}$;高层粒子谱最窄,主要集中在 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下。

(3)本文仅对石家庄市及周边地区的一次探测飞行观测进行了初步分析,从观测数据看与其他有关河北中南部地区气溶胶分布情况的研究较为一致^[8-9],但是由于气溶胶粒子分布变化受到季节变化、地域变化、空地变化、自然现象和人类活动等多方面影响,因此对河北中南部地区乃至华北地区的气溶胶分布情况与中长期变化特征还需要多方面深入和长期的观测研究。

参考文献

[1] 宿兴涛. 中国沙尘气溶胶研究新进展[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(3): 72-77.

[2] 王蓓, 刘建国, 刘增东, 等. 大气气溶胶粒子数密度和质量浓度的测量[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(5): 35-37.

[3] 王海艳, 熊坤, 孔剑君, 等. 大雾天气对城市环境中空气质量的影响及危害[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(增刊): 76-77.

[4] 韩相斌, 许庆娥, 王三瑞, 等. 濮阳日照变化趋势及成因分析[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(2): 43-46.

[5] 潘淑杰. 天津市大气环境污染特征分析[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(增刊): 18-21.

[6] 刘卫国, 苏正军, 王广河, 等. 新一代机载 PMS 粒子测量系统及应用[J]. 应用气象学报, 2003, 14(增刊): 11-18.

[7] Shi L X, Duan Y. Observations of cloud condensation nuclei in North China[J]. Acta Meteorological Sinica, 2008, 22(1): 97-106.

[8] 张瑜, 银燕, 段英, 等. 石家庄地区夏季气溶胶飞机探测资料分析[J]. 内蒙古气象, 2007(5): 6-8.

[9] 张瑜. 河北地区秋季气溶胶飞机探测资料分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.

An Airplane Detection and Character Analysis on Aerosol Over Middle-South of North China in Clear Day

Dong Xiaobo¹, Wang Gaolei², Lu Feng¹, Hu Xiangfeng¹

(1. The Weather Modification Office of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;
2. Hebei Provincial Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Using the airplane detection data of Shijiazhuang city and Baixiang county on May 4, 2008, the aerosol particle vertical distributions character and particle spectrum distributions character of Shijiazhuang city and the country near the city are analyzed, the distributions of aerosol between the urban and village near the city is compared. The result dedicates that aerosol concentration is descending alone with the increasing of height. Inside the boundary, the aerosol concentration over Shijiazhuang city and Baixiang county are both higher. Although aerosol concentration in the low-layer of Shijiazhuang city is higher than that in Baixiang county, the difference is not large. The aerosol particle spectrum is wider in the low-layer, is narrower in the middle-layer and high-layer. The aerosol average diameter of both places is small, less than 0.2 μm .

Key words: aerosol; vertical distributions; spectrum distribution; environment pollution