



衡水湖地区气溶胶分布特征的航测研究

孙霞¹, 银燕¹, 孙玉稳^{2,3}, 石立新^{2,3}, 段英², 吴志会²

(1. 南京信息工程大学 中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室, 江苏 南京 210044;

2. 河北省人工影响天气办公室, 河北 石家庄 050021; 3. 河北省气象与生态环境重点实验室, 河北 石家庄 050021)

摘要:利用飞机机载粒子测量系统(PMS)对河北省衡水湖自然保护区上空的大气气溶胶粒子进行观测研究。观测结果表明:下垫面、天气条件、逆温等对气溶胶的分布存在较大的影响;衡水湖上空不同高度的气溶胶平均谱分布均呈现出单峰分布;细粒子谱分布在 0.28 μm 左右处出现峰值;多阶 Γ 函数对气溶胶粒子谱有较好的拟合效果。

关键词:气溶胶;垂直分布;水平分布;谱分布

中图分类号:X513

文献标志码:A

文章编号:1008-5548(2011)04-0014-06

Aerial Survey of Distribution of Aerosols in Hengshui Lake Area

Sun Xia¹, Yin Yan¹, Sun Yuwen^{2,3}, Shi Lixin^{2,3},
Duan Ying², Wu Zhihui²

(1. CMA Key Lab for Atmospheric Physics Environment, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044;

2. Weather Modification Office of Hebei Province, Shijiazhuang 050021;

3. Key Laboratory of Meteorological and Ecological Environment of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: The optical instruments of onboard particles measure system were used to observe and study the aerosol particles over the Hengshui Lake in Hebei Province. The results showed that there were several elements which had a large effect on the distribution of aerosols, such as the underlying surface, weather conditions, temperature inversion, etc. The average size distribution of aerosols in different heights above Hengshui Lake showed a single peak and it was at the particle size of around 0.28 μm . The multi-stage Γ function had better fitting results on aerosol particle spectrum.

Key words: aerosol; vertical distribution; horizontal distribution; size distribution

气溶胶是悬浮在大气中的颗粒物^[1]。尽管它是大

气中的微量成分,但是由于它的普遍存在,在许多大气过程中所起的作用及其对局地、区域、全球空气质量和天气、气候的影响而显得非常重要。气溶胶粒子通过对太阳辐射和地球长波辐射的散射和吸收,影响大气加热或冷却率,并进而影响整个地-气系统的辐射收支;同时通过改变云的微物理结构而影响云的辐射特性。近几十年来,由于人类活动的增加,特别是工业化和城市化的发展,使得气溶胶粒子成为造成局地污染的重要因素,如工业排放烟尘、汽车排出的悬浮粒子及来自汽车的氮氧化物二次反应所产生的气溶胶粒子都是造成城市污染的主要原因^[2],因此气溶胶已引起人们的广泛关注。

20 世纪 70 年代以来,国外学者利用机载粒子测量系统(PMS)对大气气溶胶的物理特性进行的观测研究越来越多。Hidy 等^[3]分析得出加利福尼亚海岸上空的爱根核平均数浓度为 2 400 cm^{-3} ,而直径大于 0.5 μm 的粒子平均数浓度只有 20~100 cm^{-3} 。Twohy 等^[4]指出大多数气溶胶的直径小于 0.20 μm 。Irena 等人^[5]认为层状云和锋系对气溶胶都有不可忽视的敏感性,并且气溶胶会对碰撞冻结产生的云滴谱分布有中等程度的影响。从 20 世纪 80 年代开始,我国科研人员利用 PMS 探头进行了一系列的观测研究。黄梦宇等^[6]在对河北 1990—1991 年的 PMS 资料分析中发现云外气溶胶浓度值达 10^4 cm^{-3} 量级。杨军等^[7]对辽宁 1996、1997 年春夏季的气溶胶观测表明:气溶胶粒子谱受不同形成机制的影响表现出多峰分布特征。黄海燕等^[8]分析了 2004 年 9 月北京地区的 PMS 探测资料,结果表明:在北京市区南部气溶胶浓度大于北部,逆温层、风速等天气条件对气溶胶在不同高度的分布有重要影响。

衡水湖自然保护区位于河北省衡水市境内,属于省级自然保护区,也是华北平原第一个国家级内陆湿地自然保护区,并被纳入联合国教科文组织中国人与生物圈保护区网络。由于受人类活动干扰,衡水湖流域生态系统健康受到一定影响,因此开展衡水湖自然保护区上空的气溶胶观测具有典型的代表性^[9]。目前对湿地上空气溶胶的观测研究国内比较少见,气溶胶

收稿日期:2010-11-09,修回日期:2011-02-08。

基金项目:公益性行业(气象)科研专项,编号:GYHY(QX)2007-6-36;国家重大基础研究计划(973 计划)项目,编号:2006CB403706;江苏省“333 人才工程”项目;河北省气象局科研开发项目,编号 10ky14。

第一作者简介:孙霞(1988-),女,硕士研究生,研究方向为大气气溶胶与云降水相互作用、大气成分及其气候效应。E-mail:papa2196@sina.com.cn。

通信作者:银燕(1962-),男,教授,研究方向为大气气溶胶与云降水相互作用、大气成分及其气候效应。E-mail:yinyan@nuist.edu.cn。

的分布是研究湿地地区的云、降水、环境和气候变化的重要问题。

1 飞行概况及分析方法

1.1 PMS 观测仪器

飞机探测是获取大气气溶胶分布资料重要手段之一。2010 年 6 月河北省人工影响天气办公室使用机载粒子测量系统(PMS)对衡水湖上空大气气溶胶污染特征进行了探测。粒子探测系统主要包括气溶胶粒子谱 PCASP-100X、前向散射滴谱 FSSP-100-ER、二维灰度探头 OAP-2D-GA2 和 OAP-2D-GB2 等 4 个大气粒子采样探头, 另外还包括一些其他的设备,如美国 Droplet Measurement Technologies 公司生产的云凝结核(CCN)仪和手持卫星定位系统(GPS)等^[10]。飞机上还安装了温度计、露点仪、气压传感器、液态含水量仪等设备, 能够得到云粒子浓度、含水量、粒子的平均直径等数据的连续观测资料, 也可以得到温度、露点、气压、高度、空速等资料。

本文中的研究数据主要来源于 PCASP-100 探头、FSSPER 探头以及手持卫星定位系统(GPS)。PCASP-100X 探头用于探测大气中气溶胶粒子的谱分布, 其测量范围为 0.10~3.00 μm, 整个量程被分为 15 个间隔不完全相等的测量通道, 分辨率为 0.02 μm (在最小的测量通道上), 每秒钟的采样体积为 1 cm³, 并可根据高度变化在 0.5~1.5 cm³ 之间调整。FSSPER 探头分为 4 个量程(0、1、2、3), 每个量程测量范围不一样, 4 个量程合计覆盖范围 1~95 μm。每个量程下分为 15 档, 等间距。各探测仪器每秒钟采样一次。FSSP-100-ER 探头量程一般无云的时候用量程 3, 有云的时候用量程 1。

1.2 飞行概况

飞机探测时间为 2010 年 6 月 2 日 09:58:45—12:30:42, 持续时间约为 2 h 32 min, 飞行航线为正定市—深泽县—衡水市—衡水湖, 后原路返回。由机载测量系统 PMS 中探头记录数据得出飞行高度由地面至 6 661 m 高度, 此次飞行中, 飞机进行了多个平飞层次的探测。图 1 为手持 GPS 记录的飞行航迹。

2010 年 6 月 2 日衡水湖地区为多云天气, 有 10 成密卷云, 衡水湖上空近地层出现霾天气。

1.3 处理方法

本文中各微物理量的计算方法如下:

平均直径: $D=\sum(D_i \times N(D_i))/N$,

数密度谱: $n(D_i)=dN(D_i)/dD_i$,

式中: D_i 为 i 通道粒子的中值直径, μm; $N(D_i)$ 为单位体积内 i 通道的粒子数浓度, cm⁻³; N 为单位体积内粒子总数, cm⁻³; $n(D_i)$ 为气溶胶粒子数密度谱分

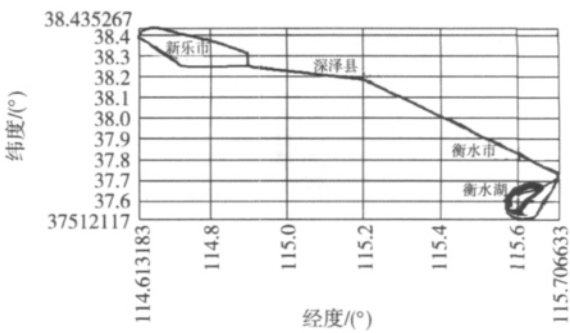


图 1 2010 年 6 月 2 日飞机航线图
Fig.1 Aircraft flight paths on June 2, 2010

布, cm⁻³·μm⁻¹。气溶胶粒子数浓度(简称数浓度)值采用 PMS 机载测量飞机上安装的气溶胶粒子探头中记录处理后相关数浓度数据。

2 结果与分析

2.1 衡水湖湖面附近气溶胶统计特征

将飞机飞行 1 000 m 高度层内气溶胶数浓度和尺度的平均值作为飞行区域近地面气溶胶的数浓度和尺度。表 1 给出了飞机在衡水湖、石家庄和北京 3 个地区探测时近地面气溶胶数浓度和平均直径的统计结果。

表 1 不同地区探测飞行过程气溶胶粒子统计特征
Tab.1 Statistical characteristics of aerosols during flight in different regions

地区	N/cm^{-3}		$d/\mu\text{m}$	
	最大值	平均值	最大值	平均值
衡水湖	4 742	3 343	0.39	0.18
石家庄 ^[11]	5 300	5 000	—	—
北京 ^[12]	6 128	1 428	0.29	0.23

从气溶胶粒子尺度来看, 6 月 2 日飞行探测过程中, 气溶胶小粒子的算术平均直径变化范围为 0.11~0.45 μm, 平均值为 0.18 μm。湖面附近气溶胶小粒子数浓度最大值为 4 742.00 cm⁻³, 最小值为 913 m 高度上的 1 270.67 cm⁻³, 平均数浓度为 3 342.87 cm⁻³。衡水湖湖面上空粒子算术平均直径变化范围为 0.12~0.39 μm, 平均值为 0.18 μm。郝立生等^[13]在对衡水周边地区气溶胶的一次观测分析结果是: 衡水湖附近枣强县的近地面气溶胶数浓度的平均值为 5 009 cm⁻³, 平均直径为 0.16 μm。衡水湖上空湖面附近气溶胶数浓度比周围乡镇低, 而平均直径稍大。湖水蒸发等原因使衡水湖湖面附近湿度较高, 气溶胶粒子易吸湿变大。石家庄和北京的近地面气溶胶数浓度最大值均高于衡水湖近湖面。对于气溶胶粒子尺度而言, 北京上空的气溶胶粒子最大直径小于衡水湖, 但平均值略高。

2.2 垂直分布特征

在研究气溶胶垂直分布特征时, 以飞机在衡水湖上

空上升阶段探测到的数据作为主要研究对象。因飞机进行环绕爬升飞行,因此对所有数据资料 0~600、>600~3 000、>3 000 m 以上进行分阶段高度平均来减少观测数据的波动,从而使图示能更明显的表现出数浓度、算术平均直径等参数的高度变化。

图 2 给出了 6 月 2 日飞机在衡水湖上空探测过程中的数浓度、平均直径以及大气温度垂直分布廓线。可以看出:当日衡水湖上空气溶胶数浓度随高度的变化可分为 3 个阶段:0~1 500 m 间,气溶胶数浓度减小趋势明显,由 $4\,170.61\text{ cm}^{-3}$ 减小为 $1\,130.41\text{ cm}^{-3}$,期间由于弱逆温层的存在导致曲线呈现一定的波动现象。气溶胶粒子算术平均直径变化程度较小,变化范围为 $0.184\sim 0.188\text{ }\mu\text{m}$;湖面至 900 m 高度间有雾霾存在,气溶胶数浓度平均值为 $3\,162.38\text{ cm}^{-3}$,平均直径仍在 $0.18\sim 0.19\text{ }\mu\text{m}$ 间波动。1 500~3 000 m 间,气溶胶数浓度在 $581.61\sim 916.04\text{ cm}^{-3}$ 间波动变化,平均直径变化范围为 $0.172\sim 0.186\text{ }\mu\text{m}$,气溶胶数浓度较前一高度飞行阶段下降一个量级;3 000 m 以上气溶胶数浓度由 246.82 cm^{-3} 迅速减小到 41.78 cm^{-3} ,随后变化趋势减缓,但整体浓度变化曲线仍呈下降趋势。细粒子的数浓度极大值为 $4\,169.27\text{ cm}^{-3}$,粗粒子数浓度极大值为 1.33 cm^{-3} ,两者均出现飞行距湖面最低距离处。

由于对流层的气溶胶是一个包括自然和人为源

的固体和液体质粒的复杂的动力混合体系,虽然次生的细质粒可远距离输送,但是由于源区主要在地面,其中直接排放的大质粒常沉降在局地源区附近,故大多数气溶胶质粒集中于对流层边界层 1~2 km 范围内,并表现出具有最宽的尺度和最大的变动性;4~5 km 以上,因地面直接排放的影响减弱,其尺度分布类似于稳定的背景气溶胶^[14]。逆温层内的稳定层结使湍流强度大大减弱,影响气溶胶粒子的垂直输送、扩散,并造成气溶胶在逆温层内垂直分布不连续,粒子在逆温层下累积;无逆温时数浓度最大值出现在近地面附近。

2.3 水平分布特征

气溶胶的水平变化一般远小于其在垂直方向上的变化。在研究气溶胶的水平分布特征时,对平飞阶段的数浓度和平均直径进行 30 s 平均。根据手持 GPS 记录数据及机载探头气溶胶探测数据,图 3(a)~(i)给出了当日衡水湖上空及周边陆地平飞过程中 9 个高度组上的数浓度和平均直径的变化曲线。这 9 个高度分别为 611、921、1 191、1 498、2 111、2 718、3 297、4 797、6 646 m。飞机在衡水湖上空的平飞探测飞行,在 6 661 m 高度内,平均低空约每 300 m、中空约每 600 m、高空约每 1 675 m 分别进行一次探测。

从图 3(a)~(i)可以看出:粒子数浓度和平均直径在水平方向上的分布是不均匀的。624 m 高度上粒子数浓度的变化范围为 $2\,904.09\sim 4\,361.09\text{ cm}^{-3}$,整体趋势是下降的;粒子尺度变化不大,范围为 $0.18\sim 0.19\text{ }\mu\text{m}$,总体趋势是增大的。根据飞机探测宏观记录及手持 GPS 仪器记录,此平飞过程中飞机由陆地驶向衡水湖湖面上空,气溶胶粒子数浓度在衡水湖上空较在周边陆地上大,湖水蒸发等原因使衡水湖上空湿度较大,气溶胶粒子吸湿变大^[7]。929 m 高度上气溶胶数浓度的变化范围为 $1\,587.33\sim 2\,050.67\text{ cm}^{-3}$,粒子尺度变化范围为 $0.18\sim 0.19\text{ }\mu\text{m}$ 。在此飞行高度上,飞机进行了约 17 min 较长时间的飞行,飞机在陆地和湖面上空交叉飞行。随粒子尺度的升高趋势是飞机由陆地上空驶向湖面,下降的趋势是飞机由湖面上空驶向陆地。929 m 高度飞行阶段气溶胶粒子数浓度与粒子尺度与 624 m 高度组相比相差不大。1 200 m 高度上气溶胶数浓度的变化范围是 $1\,629.33\sim 1\,950.00\text{ cm}^{-3}$,整体变化趋势变大,此时飞机由陆地上空飞往湖面;粒子尺度范围约为 $0.18\sim 0.19\text{ }\mu\text{m}$ 。1 508 m 高度上气溶胶数浓度的变化范围为 $1\,597.33\sim 1\,958\text{ cm}^{-3}$,整体变化趋势呈上升状,气溶胶数浓度的最大值与 624 m 高度已呈现降低趋势;粒子尺度与上述相差不大。2 117 m 高度上,气溶胶粒子数浓度变化范围为 $190.67\sim 402.67\text{ cm}^{-3}$,与前面较低高度的数据相比,气溶胶数浓度值已经大大减小,变化范围也减小;粒子算术平均直径变化范围为

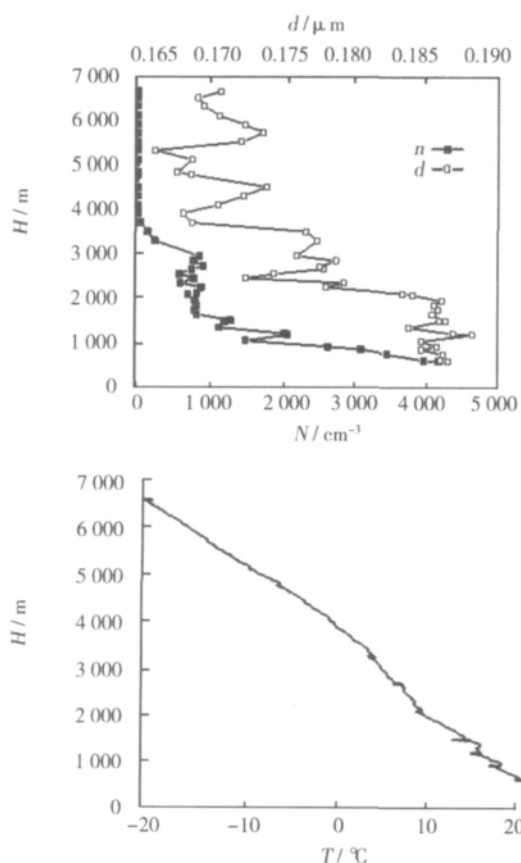


图 2 气溶胶平均粒子数浓度、平均直径、温度随高度的变化
Fig.2 Vertical distribution of aerosol number concentration, mean diameter and atmospheric temperature

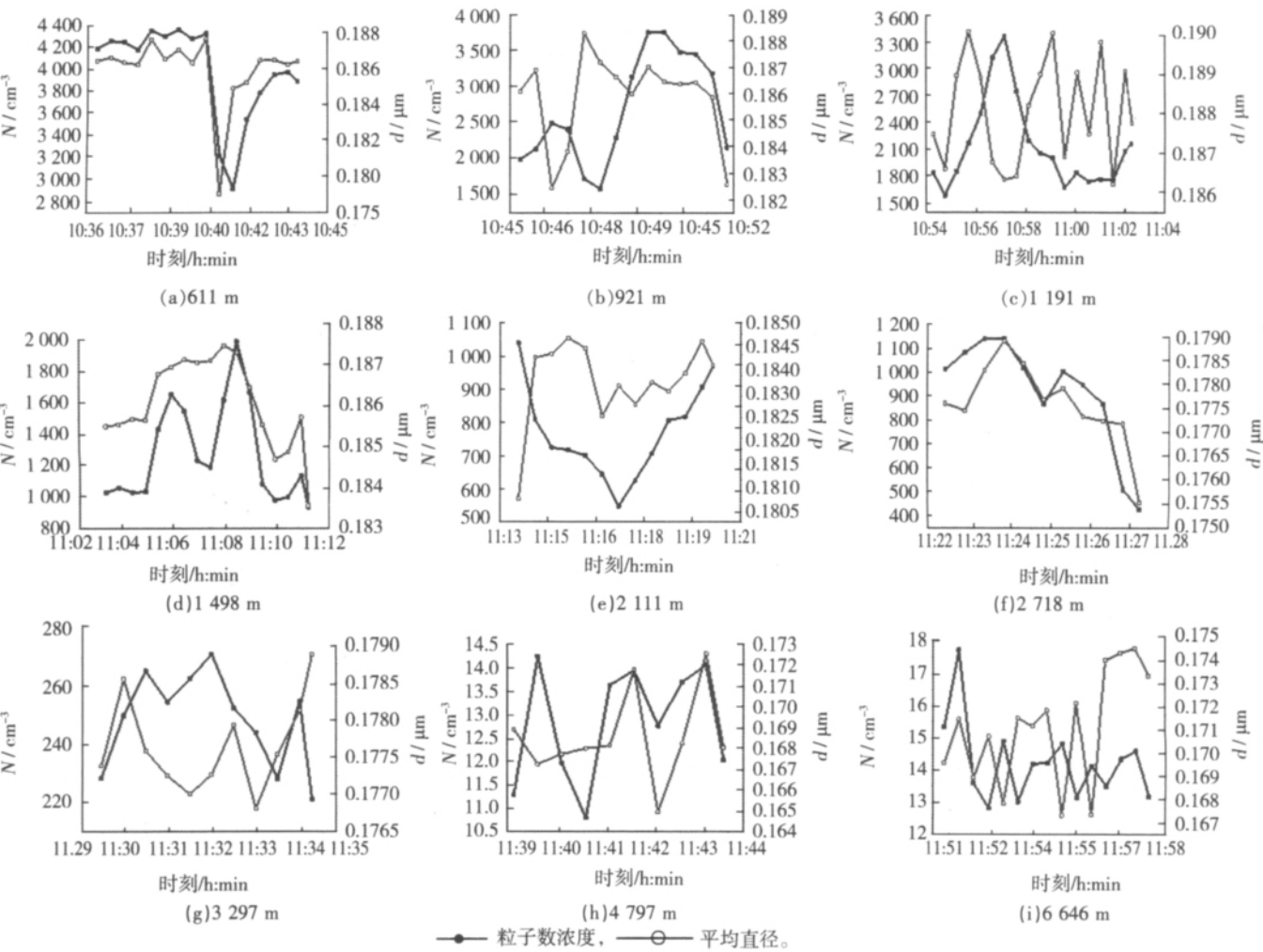


图 3 不同高度组气溶胶粒子的水平分布

Fig.3 Horizontal distribution of number concentration of aerosol particles at different altitudes

0.15~0.18 μm , 与前低空相比粒子尺度变化范围增大。2 727 m 高度上气溶胶粒子数浓度变化范围为 227.33~376.00 cm^{-3} , 较 2 177 m 高度上变化范围进一步减小; 粒子算术平均直径变化范围约为 0.16~0.19 μm 。3 299m 高度上, 气溶胶数浓度的变化范围为 93.33~254 cm^{-3} ; 粒子尺度变化范围为 0.15~0.19 μm , 变化范围较先前稍有增大。4 800 m 高度上, 气溶胶数浓度变化范围为 44.00~188.67 cm^{-3} , 粒子数浓度值进一步减小, 变化范围也减小; 粒子尺度变化范围为 0.16~0.28 μm , 结合天气图, 观测期间此高度上出现了密卷云, 云区内较大的相对湿度使部分吸湿性粒子活化成为凝结核, 水气在其上凝结使粒子增大, 粗粒子数相对增多^[15]。6 652 m 高度上的气溶胶数浓度变化范围为 23.33~96.00 cm^{-3} ; 粒子尺度变化范围为 0.14~0.22 μm 。

通过以上分析可以得出: 衡水湖上空气溶胶数浓度较周边陆地大, 且随着高度增加水平方向上粒子数浓度变化范围变小; 一般来说, 由于衡水湖湖水蒸发, 湖面上空大气湿度大, 气溶胶粒子会吸湿变大。如果出现云区, 气溶胶尺度会进一步加大。同高度陆地上空气溶胶粒子算术平均直径较衡水湖湖面上空大;

1 500 m 以下陆地上空与湖面上空的粒子尺度差变化不大, 其后随着高度的增加, 两者上空粒子尺度之间的差异变大。探测飞机在衡水湖上空飞行时, 由于飞机在衡水湖和周边陆地的交叉飞行, 气溶胶数浓度值和平均直径出现一定的趋势变化或波动现象。

2.4 平均谱分布特征

图 4 给出了与图 3(a)~(i)相对应的当日飞机在衡水湖上空平飞时不同高度的粒子平均谱。根据分布特征可将平飞高度分为 2 个高度组: 611~2 718 m; 3 297~6 646 m。两个高度组在 0.11 μm 处均存在一高值, 第二个高度组在 0.11 μm 处的数密度值比第一个高度组低 1~2 个量级。611~2 718 m 间的 4 个高度上气溶胶谱分布类型具有一致性, 在 2.25 μm 处存在一峰值, 且随着高度的增加, 数密度值是减小的; 3 297~6 646 m 间的 3 个高度的谱分布曲线呈现一定的波动性, 3 297 m 高度上气溶胶分布在 1.75 μm 处存在一低值, 6 646 m 高度上气溶胶分布在 0.6、1.05、1.75 μm 处存在峰值。在 9 个高度上, 尺度小于 0.28 μm 的粒子有较高的数密度值, 其后谱分布曲线呈现出剧烈的下降趋势, 尺度大于 0.28 μm 的粒子数密度值与其相

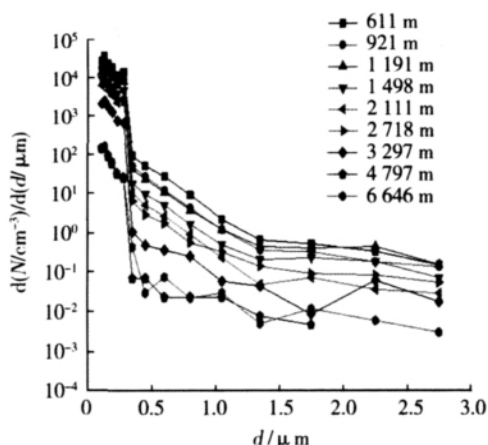


图 4 不同高度组气溶胶粒子平均谱分布

Fig.4 Size distribution of aerosol particles of different altitudes

比至少小两个量级,第二个高度组上谱分布下降较第一个高度组更为明显。如 611 m 高度上,0.28 μm 的粒子数密度值为 14 411.05 cm⁻³·μm⁻¹,0.35 μm 大的粒子数密度值为 93.15 cm⁻³·μm⁻¹;3 297 m 高度上,0.28 μm 的粒子数密度值为 656.70 cm⁻³·μm⁻¹,0.35 μm 大的粒子数密度值为 1.05 cm⁻³·μm⁻¹。

从图 4 可以看出:衡水湖上空不同高度的气溶胶平均谱均呈现出单峰分布。细粒子谱分布在 0.28 μm 左右处出现峰值,这可能是由于在气-粒转化过程由低挥发性的均质成核过程开始,形成约为 0.28 μm 左右的小粒子;随着高度的增加气溶胶数密度谱值变小;由于大气气溶胶粒子本身的重力沉降,随高度增加粗粒子的数浓度比细粒子的数浓度减小的快,粒子谱变窄;细粒子数密度明显大于粗粒子。

对当日衡水湖上空平飞探测 9 个高度组中的气溶胶粒子谱分布进行平均。采用多阶 Γ 函数对不同高度上大气气溶胶粒子谱进行拟合: $n_d=n_0 D^n \exp(\lambda d)$,式中, n_d 为气溶胶数密度谱分布值,cm⁻³·μm⁻¹; d 为通道粒子的中值直径,μm; n_0 、 n 和 λ 为待定系数,由观测资料拟合求得。如图 5,可以看出多阶 Γ 函数对气溶胶粒子谱有较好的拟合效果。

3 结论

本文中对华北平原衡水湖地区 2010 年 6 月 2 日 PMS 探测资料进行了初步分析,关于衡水湖湿地上空的气溶胶分布特征研究结果总结如下:

1) 衡水湖湖面附近气溶胶小粒子的算术平均直径平均值为 0.18 μm 湖面附近气溶胶小粒子数浓度最大值为 4 742.00 cm⁻³,最小值为 913 m 高度上的 1 270.67 cm⁻³,平均数浓度为 3 342.87 cm⁻³。

2) 当日衡水湖上空气溶胶数浓度随高度的变化可分为 3 个阶段:0~1 500 m 间,气溶胶数浓度减小趋势明显,由 4 170.61 cm⁻³ 减小为 1 130.41 cm⁻³; >1 500~

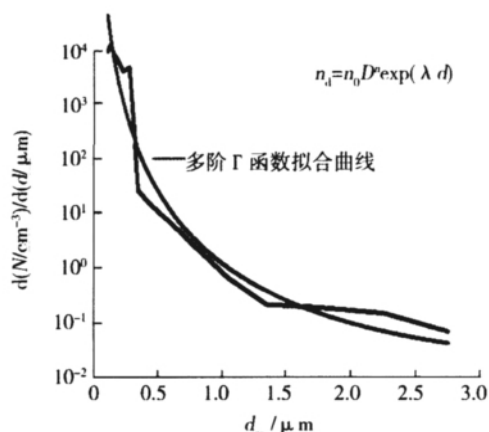


图 5 气溶胶粒子谱分布平均曲线及多阶 Γ 函数拟合曲线

Fig.5 Average curve and fitting curve of size distribution of aerosol particles: red line for the multi-order function Γ fitting curve

3 000 m 间,气溶胶数浓度在 581.61~916.04 cm⁻³ 间波动变化,气溶胶数浓度较前一高度飞行阶段下降一个量级;3 000 m 以上气溶胶数浓度由 246.82 cm⁻³ 迅速减小到 41.78 cm⁻³,随后变化趋势减缓,但整体浓度变化曲线仍呈下降趋势。

3) 飞机水平飞行观测时,衡水湖上空气溶胶数浓度较周边陆地大,且随着高度增加水平方向上粒子数浓度变化范围变小。如果出现云区,气溶胶尺度会进一步加大。同高度陆地上空气溶胶粒子算术平均直径较衡水湖湖面上空大;1 500 m 以下陆地上空与湖面上空的粒子尺度差变化不大,其后随着高度的增加,两者上空粒子尺度之间的差异变大。

4) 衡水湖上空不同高度的气溶胶平均谱分布均呈现出单峰分布。细粒子谱分布在 0.28 μm 左右处出现峰值;多阶 Γ 函数对气溶胶粒子谱有较好的拟合效果。

参考文献 (References):

- [1] 车凤翔. 中国城市气溶胶危害评价[J]. 中国粉体技术, 1999, 5(3): 4-10
- [2] HESS W N. 人工影响天气和气候[M]. 王昂生, 徐华英, 译. 北京: 科学出版社, 1985: 49
- [3] HIDY G M, MUELLER P K, WANG H H. Observations of aerosols over Southern California coastal waters[J]. Journal of Applied Meteorology, 1974, 13: 96
- [4] TWOHY C H, DURKEE A, HUEBERT B J, et al. Effect of aerosol particles on the microphysics of coastal stratiform cloud[J]. J Climate, 1995, 8: 773-783
- [5] IVANOVA Irena T, LEIGHTON Henry G. Aerosol-cloud interactions in a mesoscale model[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2008, 65: 289
- [6] 黄梦宇, 赵春生. 华北地区层状云微物理特性及气溶胶对云的影响[J]. 南京气象学院学报, 2005, 18(3): 360-368
- [7] 杨军, 周德福, 宫福久. 辽宁地区大气气溶胶粒子的垂直分布特征[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(2): 197-203

- [8] 黄海燕,房文,郑国光. 北京市区秋季边界层气溶胶水平分布特征的飞机航测研究[J]. 北京大学学报, 2009, 45(2): 273-278
- [9] 李春晖, 郑小康, 崔崑, 等. 衡水湖流域生态系统健康评价[J]. 地理研究, 2008, 27(3): 565-573
- [10] 刘卫国, 苏正军, 王广河. 第一代机载 PMS 粒子测量系统及应用[J]. 应用气象学报, 2003, 14(s): 11-18
- [11] 吴志会, 段英, 石立新, 等. 石家庄地区春季大气气溶胶粒子垂直分布特征的研究[C]// 中国气象学会学术会议论文集, 2005: 217-220
- [12] 范焯,郭学良,付丹红. 北京及周边地区 2004 年 8—9 月间大气气溶胶分布特征观测分析[J]. 气候与环境研究, 2007, 12(1): 49-62
- [13] 郝立生, 闵锦忠, 段英. 衡水湖湿地气溶胶分布的飞机观测[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 113-114
- [14] 章澄昌, 周文贤. 大气气溶胶教程[M]. 北京: 气象出版社, 1995: 106
- [15] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 25-29

(上接第 7 页)

仿真结果表明:40°导流板的流化比另外两种倾角均匀。而 42°导流板的床层流化左右最不对称。而且,对称的流化床层内水泥颗粒的速度分布也比较均匀。所以,采用 40°导流板结构,加上控制进气速度,有可能得到比较均匀的流化床层结构。

3.2.3 应用效果

研究结果在唐山市专用汽车制造有限公司产品中进行了实验和样车试用。用户报告指出:通过实验和产品性能测试,改进后的产品在性能上有了明显的提高,其卸料速度提高了 30%,同时将水泥剩余率降低了 45%,满足了公司对此型号运输车的改进需求。

4 结论

采用 40°侧导流板,用弧形布风板代替平面布风

板的改进优化效果,能够有效改善散装水泥运输车罐内水泥的流化质量。改进方案适用于以散装水泥运输车为主的所有散装物料运输车,在原有的散装物料运输车的基础上对其结构进行改进,能够改善其工作性能,提高工作效率。

参考文献 (References):

- [1] 李洪钟, 郭慕孙. 气固流态化的散式化[M]. 北京: 化学工业出版社, 200: 2-9
- [2] 裴未迟, 李耀刚. 基于 FLUENT 散装水泥运输罐车流化过程仿真[J]. 机床与液压, 2008(8): 153-156
- [3] 韩海银. 散装水泥气力输送技术及应用[J]. 建筑机械, 2000(11): 34-35
- [4] 韩占忠. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004: 173-178

(上接第 13 页)

谱分布。

2)Ni、Cu、Zn、As、Se、Br、Pb 等元素的粗、细模态的富集因子都比较大,尤其是细粒模态,表明这些元素更容易在细粒模态上富集,进一步说明这些元素主要来自人为污染源。

3)因子分析结果表明:土壤尘、煤烟尘、工业源和汽车尾气排放源对北京冬季气溶胶有明显贡献。

参考文献 (References):

- [1] 董俊玲,张仁健,符凉斌. 中国地区气溶胶气候效应研究进展[J]. 中国粉体技术, 2010, 16(1): 1-4
- [2] 张仁健,王明星,胡非,等. 采暖期前和采暖期北京大气气溶胶的化学成分研究[J]. 中国科学院研究生院学报, 2002, 19(1): 75-81

- [3] 王红斌, 陈杰, 刘鹤, 等. 西安市夏季空气气溶胶污染特征及来源分析[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(1): 51-56
- [4] 张仁健, 王明星, 张文, 等. 北京冬春季气溶胶化学成分及谱分布研究[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(1): 6-12
- [5] 王庚辰, 谢 骅, 万小伟, 等. 北京地区空气中 PM₁₀ 的元素组分及其变化[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 41-44
- [6] 陶俊, 张仁健, 董林, 等. 夏季广州城区细颗粒物 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中水溶性无机离子特征[J]. 环境科学, 2010, 31(7): 9-16
- [7] 朱光华, 王广甫. PIXE 分析技术的国际横向比对结果[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(1): 80-84
- [8] ZHANG R J, ARIMOTO R, AN J L, et al. Ground observations of a strong dust storm in Beijing in March 2002[J]. J Geophys Res, 2005, 110(D18S06), doi:10.1029/2004JD004589
- [9] WINCHESTER J W, LU Weixiu, REN Lixin, et al. Fine and coarse aerosol composition from a rural area in Northern China [J]. Atmospheric Environment, 1981, 15: 933-937