

北京地区春末—秋初气溶胶理化特性的 观测研究

P4 A

许黎¹⁾ 冈田菊夫²⁾ 张鹏³⁾ 张代洲⁴⁾ 石广玉⁵⁾

1) (国家气候中心, 北京 100081)

2) (日本气象研究所, 日本筑波 305-0052)

3) (日本宇宙开发事业团地球观测研究中心, 日本东京 106-0032)

4) (熊本县立大学环境共生学部, 日本熊本 862-8502)

5) (中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要 分析了1997年5~9月和1998年4~9月北京整层大气气溶胶光学厚度、近地面气溶胶粒子数浓度的日变化、季节变化及其与气象要素的关系, 还分析了1997年5月16日、7月21日和8月2日收集的北京单个气溶胶粒子样品的形态、大小和化学元素组成。结果显示, 北京地区春末—秋初整层大气气溶胶光学厚度在0.1~1.6之间变化; 气溶胶数浓度($D > 0.3 \mu\text{m}$)为几~几百个/ cm^3 ; 整层大气气溶胶光学厚度的日变化型式与近地面气溶胶数浓度呈现相反的走向; 气溶胶光学厚度和数浓度的日、季节变化显示了整层大气和近地面大气气溶胶与该地区气象、气候条件的关系。气溶胶数浓度与大气相对湿度呈正相关, 与风向的关系是偏东风数浓度大, 西、西南风数浓度小。电子显微镜分析的结果表明: 颗粒物的形态以不规则形、丸形、液态滴形和方形为主; 颗粒物化学元素组成有Si、K、S、Al、Mg、Ca、Fe等元素; 人类活动排放的Zn、P、Ti、Pb、Ba等元素也检测到; 北京近地面粒子的一个显著特点是富含Ca和K元素, 它们可能分别来自建筑粉尘和有机物的燃烧; 给出了一个典型的碳黑粒子和一个粒子经过凝结过程的“卫星”滴环绕的矿物粒子的照片和元素谱图。

关键词: 北京地区 气溶胶 光学厚度

1 引言

尽管悬浮在大气中的气溶胶是大气的微量成分, 但它却是大气的重要组成部分。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, 影响大气的加热/冷却率, 并进而影响整个地气系统的热量收支; 此外, 它作为云的凝结核参与云雾的生消, 进而影响云的寿命、微结构、辐射特性和地球大气的水循环; 发生在气溶胶颗粒表面上的非均相过程和人类活动排放的废气在大气中的气—粒转换过程则作为自然和人为排放气体的汇而参与大气的化学过程并影响大气的组成; IPCC第二次评估气候变化1995报告中指出, 局部地区大气气溶胶产生的辐射强迫足以与温室气体的辐射强迫相抵并有余^[1]; 另一方面颗粒物负载的微量物质中含有对人体有害的元素, 如多环芳烃类和二恶英等有毒元素通过人的呼吸系统可造成人体的致畸、致癌和致变。同时由于它的物理化学特性

2000-05-22收到, 2001-06-21收到修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49635200 和日本宇宙事业开发团 NASDA 项目共同资助

的时空分布的不均匀性使得气溶胶成为当前大气科学研究中几个重要的不确定因子之一。诸如此类的种种原因,使得气溶胶研究成为目前非常热门的课题

日前很多论文都涉及到气溶胶研究,但是综合观测和研究气溶胶的物理和化学特性的文章并不多。本文侧重于对气溶胶基本特性的测量分析和关注这些特性之间的关联。

2 仪器设备与观测

观测整层大气气溶胶光学厚度、谱分布和散射相函数的仪器是日本东北大学研制的华盖辐射计,该仪器具有八块干涉滤光片,中心波长为 0.368、0.5、0.6、0.675、0.762、0.817、0.87 和 0.938 μm ,由微机控制该仪器自动跟踪太阳和采集记录数据,连续测量直接太阳辐射和由太阳方位起算的 $0^\circ\sim 30^\circ$ 范围的太阳华盖辐射,整层大气气溶胶的光学厚度、粒子谱分布和散射相函数通过精确的辐射传输迭代计算反演求得。同时测量整层大气气溶胶光学厚度的仪器还有日本 EKO 公司生产的 MS-120 型太阳光度计,它有 4 块干涉滤光片,中心波长为 0.368、0.5、0.675 和 0.778 μm ,由 4 个波段上太阳直接辐射值扣除空气分子的散射和臭氧分子的吸收而计算整层大气气溶胶的光学厚度。

测量近地面气溶胶数浓度、大小分布的仪器是国产 BCJ-1A 型光学粒子计数器 ($D>0.3\ \mu\text{m}$);收集空气中的单个粒子在涂碳的膜片上是由一个两级串联的撞击式气溶胶采样仪完成,第一级空气进气孔的半径为 0.5 mm,第二级为 0.25 mm。分析粒子形态、大小和化学元素组成的设备有北京大学电子显微镜实验室的附有散能 X 射线能谱仪的透射电子显微镜 (JEM-200CX) 以及日本气象研究所的配有散能 X 射线能谱仪 (Keveex, Sigma 2) 的透射电子显微镜 (Hitachi, H-600)。

1997 年的现场观测是在北京市观象台 ($39^\circ 56' \text{N}$, $116^\circ 17' \text{E}$, 54 m) 进行的。为了避免电线和树枝等阴影的影响获得更开阔的视野,测量太阳和华盖辐射的华盖辐射计和太阳光度计被安装在离地面 17 m 高的楼顶上;粒子计数器放在气象观测草坪的备用百叶箱中,空气进气管位于离地面 1.4 m 高的百叶箱外;单个粒子采样仪进气管的高度约 1.2 m。为了能测量粒子的大小,分析前将采集后的膜片用铂和钯 (Pt/Pd) 的合金蒸着,然后从照片上度量粒子的阴影来计算粒子的高度,从而确定粒子为球形或圆盘形,再从粒子的长宽高和形态计算其大小。1998 年 4~9 月观测点移到中国科学院大气物理研究所气象铁塔院内的实验楼顶上 ($39^\circ 58' \text{N}$, $116^\circ 22' \text{E}$, 57 m),观测期间取得了大量气溶胶物理和化学特性的资料。

3 结果与讨论

3.1 气溶胶数浓度及其日、季节变化

BCJ-1A 型粒子计数器测量单位体积空气中直径大于 0.3、0.5、0.7、1.0、2.0、5.0 μm 的粒子浓度。北京地区 1997 年 5~9 月和 1998 年 4~9 月气溶胶数浓度 ($D>0.3\ \mu\text{m}$) 的范围为几~几百个/ cm^3 。1997 年北京春季没有明显的沙尘暴事件,5~9 月数浓度大于 100 个/ cm^3 的天数占当月观测天数的百分比逐月分别为 22%、48%、18%、54%和 31%。气溶胶浓度的日变化型式有:早晨高傍晚低,早晨低傍晚高,中午低早

晚高, 中午高早晚低和变化平缓等几种类型。1997 年观测期间这几种日变化类型所占的百分比分别为 40%、3%、37%、13% 和 7%。由此可见, 早晨气溶胶浓度高的情况最多。通常, 清晨大气运动较弱, 随着日出, 地球大气被加热, 对流运动增强, 地表面的颗粒物被带入空中, 使近地面的粒子数浓度变小, 但是整层大气气溶胶的特性并不是这样的, 光学厚度日变化早晨小逐渐增大的型式居多, 这与大气垂直运动的特点有关。气溶胶数浓度的季节变化是 7 月低, 6 月、8 月高, 5 月、9 月居中。近地面气溶胶数浓度的变化与当时的气象条件有关, 与当地的气候条件无关。

1998 年春季有一次较强的沙尘暴侵袭北京, 由于它发生在 4 月 18 日午夜~19 日凌晨并伴随着降水过程, 形成了一次沙尘暴湿沉降的泥雨过程, 观测时间(白天)没有测量到沙尘暴事件的资料。1998 年 4~9 月数浓度大于 $100 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 的天数占当月观测天数的百分比逐月分别为 50%、27%、0%、70%、45% 和 77%, 气溶胶数浓度的季节变化是 6 月低, 其余几个月高, 尤其是 7 月和 9 月数浓度大于 $100 \text{ 个}/\text{cm}^3$ 的天数占大多数。按照北京气候的特点, 9 月秋季天高气爽, 然而, 北京自身近几年大气环境的恶化是十分明显的, 空气质量日报中的首要污染物经常为可吸入颗粒物 ($D < 10 \mu\text{m}$), 本文的资料也充分显示了这一点。

3.2 气溶胶数浓度与气象条件的关系

北京近地面气溶胶的浓度在非采暖期与观测时的气象要素有密切的关系, 在适当的风速和湿度条件下, 裸露的地表是沙尘的源地, 它可以产生扬尘, 使空气中的颗粒物增多。图 1 给出了近地面气溶胶数浓度和谱分布与相对湿度的关系, 图中曲线表明气溶胶数浓度与相对湿度之间存在正相关, 这一结果与其他作者的结论一致^[4]。本文的一个特点是湿度从 30% 变化到 50% 时粒子浓度增加的最多, 小粒子的增加又多于大粒子。再看气溶胶谱分布及其与湿度的关系, 气溶胶谱分布响应湿度变化的曲线显示在图的上部, 需要说明的是, 由于本仪器测量通道数目少, 给出的气溶胶谱分布比较粗。首先, 北京近地面气溶胶数浓度谱分布呈现一个峰, 峰的中心位置在 $0.6 \mu\text{m}$ 处; 谱分布随湿度的变化同样是小粒子变化大, 湿度从 30% 变到 50% 谱分布值变化最大。空气的相对湿度从 30% 变到 50% 是空气从干燥变到不干燥, 空气的性质有所变化,

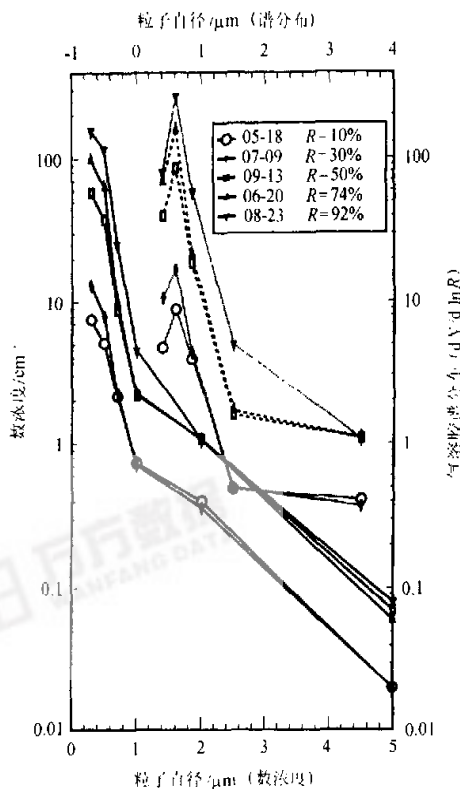


图 1 气溶胶数浓度和谱分布与湿度的关系

相对湿度继续增加时却受仪器测量精度的限制(分辨粒子的能力下降),这些数据的可信度也下降。这可能是气溶胶随湿度变化所表现出的特征的一种解释。另一个原因可能是粒子吸湿后体积变大,部分 $D < 0.3 \mu\text{m}$ 的粒子进入到仪器的测量范围,使测量的粒子数增多。大气中的小粒子主要来自燃烧过程的排放,除了碳黑粒子具有较好的吸湿特性外,小粒子的吸湿能力较大粒子差。空气中的碳黑粒子来自碳质燃料的不完全燃烧,中国是一个燃煤大国,空气中碳黑粒子的浓度较其它地区高,就大气本底监测站资料的比较,我国境内的瓦里关站月平均浓度高于国外大气本底站^[5],为小粒子与湿度的正相关提出了另一种可能的解释。分析发现数浓度的大小与当时的风向有关,从1997年6月20~25日气溶胶数浓度高值时段,其间逐时地面风速 $> 1.5 \text{ m s}^{-1}$ 的风向,东风($0^\circ \sim 180^\circ$ 以内)的时次为40个占总的风向时次49个的82%,与此相反1997年7月7~9日气溶胶数浓度值比较低,这期间逐时的风向(风速 $> 1.5 \text{ m s}^{-1}$)以 $180^\circ \sim 270^\circ$ 最多,约占该时段所有风向(N, NE, SE, S)的30.4%,观测站位于北京的西部,在风速 $1.5 \sim 8 \text{ m s}^{-1}$ 的情况下,吹东风时受北京城污染空气的影响,观测站空气中的颗粒物比较多,当吹西或西南风时,空气中的颗粒物就比较少,由此可知,北京地区气溶胶来源的人为作用已非常明显^[6]。

3.3 气溶胶光学厚度及其日、季节变化

整层大气气溶胶的光学厚度,粒子谱分布和散射相函数通过华盖辐射计测量太阳和华盖光的强度,然后由一个精确的辐射传输迭代程序来反演计算^[2]。北京地区整层大气气溶胶的光学厚度($\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ 处)1997年的春末到秋初在0.1~1.6之间,光学厚度有比较大的变化。整层大气气溶胶的光学厚度与大气稳定度,相对湿度等气象因子有很大的关系^[3]。整层大气气溶胶光学厚度的日变化以早晨小午后大的型式居多,1997年季节变化的特征是9月最小,5月和8月最高,6月和7月居中。就整体而言,北京地区的气候特征是秋高气爽,春季干燥且风沙较大,因此9月整层大气气溶胶的光学厚度最小,5月和8月分别是北京的春季和雨季,空气中的尘埃和水汽较多使得整层大气气溶胶的光学厚度增大,而6月和7月上半月是夏季的前半期,没有进入北京的雨季,大气的流场和控制当地的气团与5月、8月有所不同,故而大气气溶胶的光学厚度处于中间值的位置。整层大气气溶胶光学厚度日、季节变化的型式与近地面气溶胶数浓度不尽相同,有些甚至相反,下一节将进行讨论。

3.4 整层大气气溶胶光学厚度与近地面气溶胶数浓度之间的关系

图2显示了1997年6月21日测量的整层大气气溶胶光学厚度和近地面气溶胶数浓度的日变化。该图表明整层大气气溶胶的光学厚度随时间有一些起伏,除了7~9时稍有下降,总趋势是随时间上升,近地面气溶胶数浓度随时间的变化是连续下降,尤其在上午6~9时数浓度值大幅度减小。如前所述,气溶胶光学厚度度量整层大气气溶胶的消光,气溶胶数浓度是表征测量点空气中颗粒物的含量,一个代表整层大气的状况,另一个显示近地面的特征,按照观测时间大气运动的特点,这两者之间的反比关系是合理的。

3.5 气溶胶形态和大小

1997年5月16日采集的粒子在北京大学电子显微镜实验室进行分析,1997年7月21日,8月2日颗粒物样品用日本气象研究所的电子显微镜分析。

图 3 显示了典型粒子的显微照片和粒子的元素组成。图 3a 是不规则形的矿物粗粒子, 粒子的元素组成以地壳元素 Al、Si、K、Ca 和 Fe 为主; 图 3b 和 3c 是由“卫星”滴环绕的粒子, 尽管粒子都有“卫星”液滴的环绕, 中心粒子的大小、元素组成和来源皆不相同, 图 3b 中心粒子是矿物, 元素组成以地壳元素为主, 这颗粒子是矿物粒子在空中吸附了硫酸溶液而成的, 北京近地面有很多矿物粒子吸附硫酸溶液, 本文将这类粒子归结为类型 6 粒子, 见表 2。图 3c 箭头所示则是具有“卫星”结构的硫酸小粒子, S 元素的重量百分比 >87%, 它是由 SO_2 气体核化而成的粒子, 图中标有字母 A 的粒子是没有“卫星”滴环绕的丸形硫酸粒子; 图 3d 是一个富含 Ca 元素的方形建筑粉尘粒子; 图 3e 是典型的链条状的碳黑粒子, 它的元素由地壳和燃煤排放的元素组成。从电子显微镜拍摄的粒子照片来看, 北京近地面颗粒的形态主要有: 不规则形、液态滴形、丸形和方形。1997 年 7~8 月采集粒子的抽气泵两级进气孔半径为 0.5 和 0.25 mm, 1997 年 7 月 21 日采集的颗粒物样品中只分析了 0.5 mm 半径的进气孔抽取的颗粒物样品 (20C), 8 月 2 日的 0.5 和 0.25 mm 半径的进气孔抽取的样品 (19D 和 19E) 都做了分析, 由于采样仪进气孔半径的不

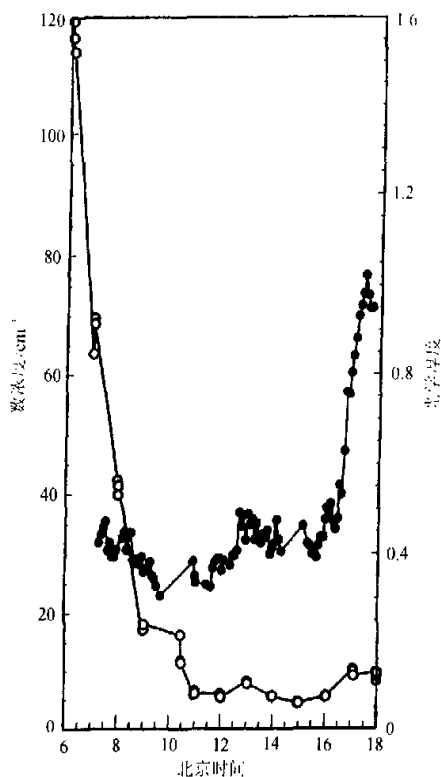
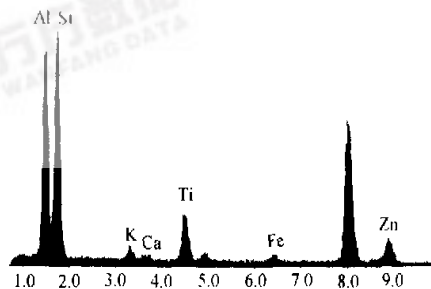
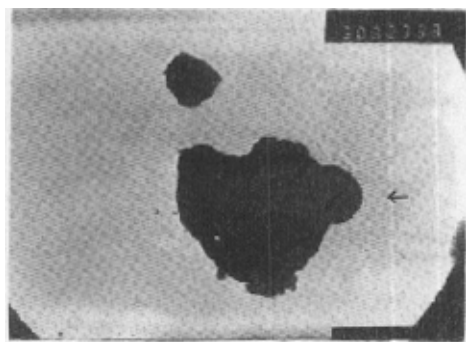
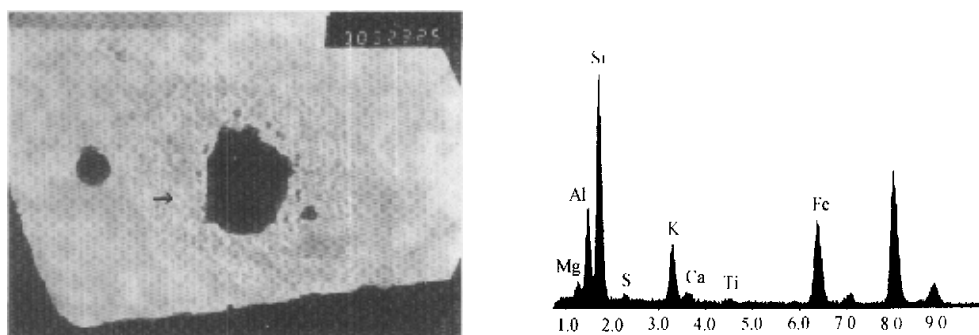


图 2 整层大气气溶胶光学厚度 (实心圆) 和近地面气溶胶数浓度 (空心圆) 的日变化

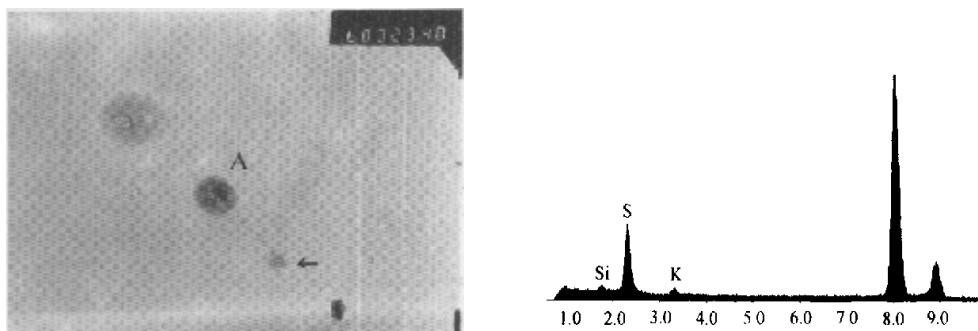


(a) 不规则形粒子的形态和元素谱图

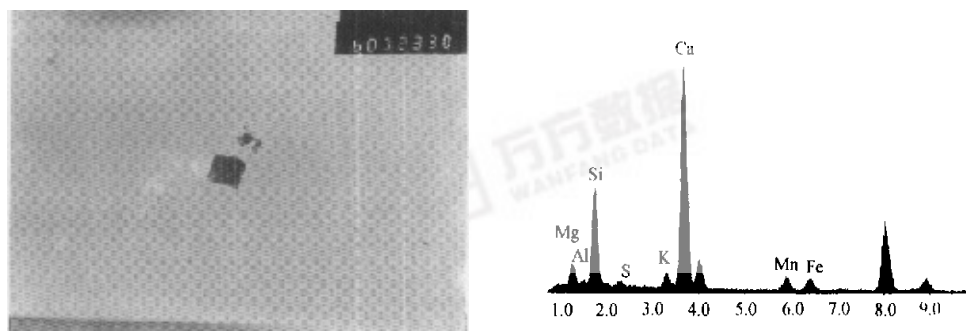
图 3 典型粒子的显微照片和粒子的元素组成



(b) 液态滴环绕的矿物粒子的形态和元素谱图

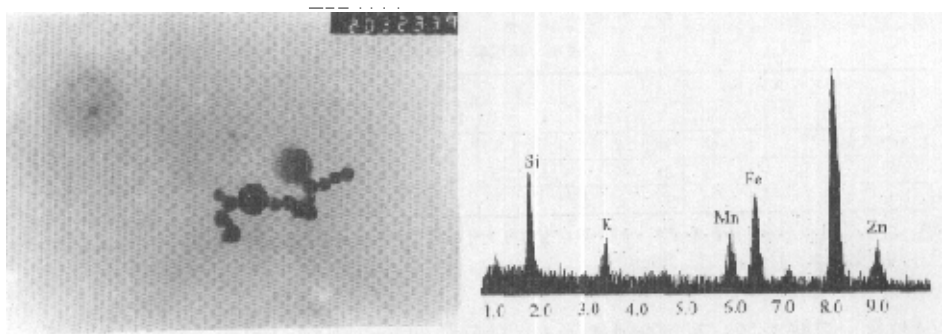


(c) “卫星”滴形粒子的形态和元素谱图



(d) 方形粒子的形态和元素谱图

图3(续) 典型粒子的显微照片和粒子的元素组成



(c) 碳黑粒子的形态和元素谱图

图 3 (续) 典型粒子的显微照片和粒子的元素组成

同, 其采集粒子的效率也不同, 在假设空气中具有 2 g m^{-3} 浓度的球形粒子的情况下, 进气孔半径 0.25 mm 的采样仪采集粒子的效率, 在粒子半径 $R = 0.15 \mu\text{m}$ 为 50% , $R > 0.25 \mu\text{m}$ 为 100% ; 进气孔半径 0.5 mm 的采集效率改变为 $R = 0.5 \mu\text{m}$ 为 50% , $R > 0.7 \mu\text{m}$ 时才能 100% ^[8]。显然, 进气孔半径 0.5 mm 采集粒子样品时失去了很多 $R < 0.5 \mu\text{m}$ 的粒子。在收集效率偏向于大粒子的情况下, 度量到样品 20C 和 19D 有很多大粒子 ($R > 0.5 \mu\text{m}$), 约占分析粒子总数的 91% , 并且还探测到一些 $R > 2.0 \mu\text{m}$ 的巨型矿物粒子; 采样进气孔半径 0.25 mm 的样品 19E, 大粒子的比例只占该样品分析粒子数的 10% , 并且没有测量到 $R > 1.0 \mu\text{m}$ 的粗粒子, 主要是亚微米大小的粒子。气溶胶的形态和大小为确定粒子的类型和来源提供了辅助信息。

3.6 气溶胶化学成分

1997 年 5 月 16 日采集的粒子中有一个比较典型的燃烧后排放的粒子, 放大 2 万倍后在电子显微镜下看到的粒子形态, 它是一串链条状的小颗粒排列图 (图 3c), 可以看到这一串粒子的半径都是小于 $0.25 \mu\text{m}$ 的, X 射线能谱仪分析的该粒子的主要元素有 Si、Fe、Mn、K 和 Zn 等, 从粒子的元素组成来看, 粒子中主要包含地壳元素 Si、Fe、Mn 和 K, 然而, 我们不能将粒子归于地壳粒子^[6], 因为粒子的形态和大小表明了粒子是由燃烧产生的, Zn 元素是细粒态的由气-粒转换而来的二次粒子表面上的元素, 根据燃煤产生 Mn, 燃油产生 V、Ni^[9], 结合粒子链条状结构, 可以确定该粒子是燃煤产生的粒子。从 1997 年 5 月 16 日采集颗粒样品的化学元素组成来看, 北京近地面的化学成分主要有 Si、K、S、Al、Mg、Ca 等元素, 在被检测的 25 个粒子中这些元素所占的百分比分别为 96% 、 88% 、 76% 、 52% 、 44% 、 44% ; Zn、P、Ti 等人类活动排放的元素分别为 28% 、 16% 和 8% , 并且还检测到 Mn、As 和 Sc 等元素。尽管分析的样本不多, 还是可以看出北京春季颗粒物的一些特征, 北京地区大气中颗粒物的硫元素含量比较高。

1997 年 7 月 21 日 (20C) 采集颗粒物样品时只有 0.5 mm 半径的进气孔抽取样品, 8 月 2 日 (19D 和 19E) 有 0.5 和 0.25 mm 半径的进气孔抽取样品。表 1 汇总了 1997 年 7、8 月样品粒子化学元素组成的分析结果。表中第一列为样品号, 样品进气孔的半径 (mm); 第二列起为各元素占支配或富含的粒子数目。

表 1 中的一个特点是 19D 样品中元素 Ca-D 和 Ca-R 的粒子有 42 个之多, 占被

表 1 颗粒物元素的组成

样品号	气孔 mm	Na-		Si-		S-		Ca-		Fe-		Zn-		Al-R (Mg-R)	K-		Ti	Pb	Ba
		D	R	D	R	D	R	D	R	D	R	D	R		D	R	D	-D	-R
20C	0.5	1	3	5	18	32	5	1	8	1	1	0	0	1			1		
19D	0.5			1	21	0	1	15	27	1	7	0	2	1		4			
19E	0.25			1	8	2	13	4	3	1	0	1	2	1/(2)	4	23		1	2

注: Si-D、Si-R 分别表示 Si 元素占支配 (重量百分比大于 65%) 和富含 Si (重量百分比小于 65%, 但是百分比中最大的元素) 的粒子数目, 以此类推。

分析粒子数的 53%。按照香河地区 (北京东南 60 km) 1993 年夏季上空颗粒物元素分析的结果, 含 Ca 的粒子很少^[6], 然而这一样品中含 Ca 的粒子很多, 通常 Ca 被认为主要源自沙漠的沙粒, 然而, 北京的夏季很少受沙尘暴的影响, 其他作者也分析到北京近地面颗粒物含有丰富的 Ca 元素^[10], 分析这次样品颗粒物的类型为矿物粒子且粒径较大, 究其原因, 可能是来自建筑粉尘, 因为采样场地的南边正在建造住房, 采样时的风向为南风。但是, 并不是吹南风时的粒子样品都富含 Ca 元素, 20C 样品同是吹南风, Ca 元素并不是很多, 而是分析到海盐粒子, 这就是粒子特性多样性的一种体现。19E 样品粒子中则有另一个特点, 27 个粒子 (40%) 富含 K 元素或 K 元素占支配地位, K 元素的来源有两个方面, 一是来自地壳, 另一个来自有机物的燃烧。由于 19E 样品的粒子多为亚微米粒子, 分析这些富含 K 元素粒子的其它元素组成, 发现很多粒子含有 S 元素, 可以判断这些粒子来自有机物燃烧的排放, 因为北京观象台西面有农田。同时还分析到样品中一些人类活动排放的粒子, 它们富含 Ti、Zn、Ba 和 Pb 元素或占支配地位。

3.7 气溶胶粒子的类型

在确定气溶胶粒子的类型之前需要将粒子的形态、大小和化学元素组成的资料进行综合分析, 从日本电子显微镜的分析结果中, 我们将粒子分成丸形硫酸粒子 (类型 2)、矿物粒子 (类型 3)、溶液环绕的矿物粒子 (类型 6) 和其它类型的粒子, 这里的其它类型粒子是一些海盐粒子 (以 Na 元素占支配或富含为依据) 或特殊元素支配的粒子, 比如锌或铅等元素支配的粒子, 表 2 给出这些分析结果。表中第 1 列到第 3 列分别为样品号、分析该样品的粒子数和样品进气孔的半径; 第 4 列到第 7 列为各类型粒子的数目和该类型粒子占本样品分析粒子数目的百分比; 第 8 列为粗粒子 ($R > 0.5 \mu\text{m}$) 在各个样品中的数目和所占的百分比。

表 2 颗粒物类型和所占的比例与粗粒子数目和所占的比例

样品号	粒子数	进气孔	类型 2		类型 3		类型 6		其他类型		$R > 0.5 \mu\text{m}$	
			粒子数	比例	粒子数	比例	粒子数	比例	粒子数	比例	粒子数	比例
20C	77	0.5 mm	26	34%	16	21%	32	42%	3	4%	74	96%
19D	80	0.5 mm	2	3%	69	86%	9	11%	0	0	70	88%
19E	68	0.25 mm	22	32%	15	22%	28	41%	3	4.4%	7	10%

参照表 1, 20C 样品中有 3 个海盐粒子, 北京距渤海湾有 150 km 左右, 而与香河

的距离为 60 km, 这与香河地区对流层大气中发现海盐粒子的机理是相同的, 具体分析参见文献[11]。由表 1 中可以看出两个样品(19E 和 20C)的硫酸粒子都约占 1/3, 而另一类型的粒子是矿物粒子周围由一些溶液环绕, 它们都有较高的比例(>40%); 另一个样品(19D)矿物粒子占绝对优势。由于采样仪进气孔半径的不同, 其采集亚微米和超微米粒子的效率也不同, 比较同一天采集的粒子样品 19D 和 19E, 样品 19D 由于进气孔半径大, 从粒子收集效率可知, 捕获到的粒子也大, 所以矿物粒子类型 3 占 86%; 样品 19E 进气孔半径小, 颗粒也较小, 丸型硫酸粒子较多, 这是由于采样仪进气孔半径的不同带来的不同。从 19D 和 19E 两个样品的结果中可以看到地壳粒子多于气—粒转换的二次粒子, 而人类活动排放的硫化物粒子占有 16% (24/148), 尽管硫化物粒子的比例不很高, 但是空气中的 S 元素并不低, 只是这些 S 元素还未在空中转换成粒子立即被矿物粒子吸附, 所以类型 6 的粒子在样品中占相当高的比例, 即矿物粒子吸附(凝结)硫酸溶液。

结合 1997 年 5 月 16 日颗粒物化学元素组成的结果来看, 不同时间采集的颗粒物样品有完全不同的结果。一个显著的特点是近地面粒子中“卫星”结构的纯硫酸粒子很少, 而是矿物粗粒子吸附一些硫酸溶液, 其粒子的特性是颗粒物尺度较大而富含 S 元素, 这一点与对流层和平流层气溶胶颗粒物有明显的差别, 在香河地区上空有很多卫星结构的纯硫酸粒子^[6]。其原因是可以想象的, 在对流层和平流层大气中, 颗粒物的碰并和凝结等过程会减少, 粒子的演变过程也减少, 故而在空气中气—粒转换过程产生的粒子以纯硫酸粒子为多。近地面(1.2 m)的情况则不同, 粒子经历的碰并和凝结等过程增多, 使得原生粒子发生一些变化, 其元素的组成也随之而变化, 而人类排放的污染气体还未转换成粒子即被矿物粒子吸附或发生粒子的凝结、碰并等过程形成矿物粒子周围环绕硫酸溶液。

3.8 近地面气溶胶粒子的来源

从颗粒物的形态、大小和化学元素的组成可以得知, 近地面颗粒物的来源一方面是直接进入大气的原生粒子, 它由地壳粒子和一些富含钙的建筑粉尘组成(方形粒子), 另一方面是工业活动排放的废气在大气中由气—粒转换产生的二次粒子。由于本次测量粒子采集在近地面, 大气边界层中对流运动比较活跃, 使得由气—粒转换产生的二次粒子中纯硫酸粒子较少, 取而代之的是含有多种元素的具有硫酸溶液或小粒子环绕的“卫星”结构的矿物粒子, 它们源于粒子的吸附和凝结空气中的硫酸气体。

与北京 1991 年春季沙尘暴时近地面颗粒的元素组成作比较^[12], 沙尘暴, S 元素的百分比只占 14%, Ca 元素的百分比却上升为 60%以上, Zn、P、Ti、Mn、As 和 Sc 等人为元素没有检测到。由 1993 年高空气球捕获的对流层粒子的元素组成介于这两种情况之间, 即没有近地面粒子那么多的人为元素, 也不象沙尘暴粒子有那么多地壳元素。结合粒子的形态大小, 从某种意义上来说, 北京近地面大气中已有很多人类活动排放气体, 有些气体转换成粒子, 大部分气体则被颗粒物凝结、吸附在其表面。观测期间近地面颗粒受远距离输送的影响不太大。

致谢: 作者十分感谢日本科学技术振兴事业团的资助, 得以在日本完成电子显微镜的分析。张立盛、王喜红、陈焕森、陈丽琼、金心、王令霞、王标、胡荣明、樊小标等人参加了观测工作, 宋艳

玲协助了本文的部分绘图工作。观测期间得到了北京市观象台高俊英台长及其同仁的大力支持,作者在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 IPCC, The science of climate change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 1995*, J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 1996, 4.
- 2 Nakajima, T., M. Tanaka and T. Yamauchi, Retrieval of the optical properties of aerosols from aureole and extinction data, *Appl. Opt.*, 1983, **22**, 2951~2959.
- 3 邱金桓, 潘继东, 杨理权, 中国10个地方大气气溶胶1980~1994年间变化特征研究, *大气科学*, 1997, **21**(4), 725~733.
- 4 Takamura, T. et al., Effects of atmospheric humidity on the refractive index and the size distribution of aerosol as estimated from light scattering measurements, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1984, **62**, 573~582.
- 5 汤洁, 温玉璞等, 青海高原地区大气黑碳气溶胶的观测研究, 第七届全国大气环境学术会议论文集, 1998, 231~237.
- 6 许黎, 樊小标等, 对流层平流层气溶胶粒子的形态和化学组成, *气象学报*, 1998, **56**(5), 551~559.
- 7 Ciras, J. L. and G. P. Ayers, On sizing impacted sulfuric acid aerosol particles, *J. Appl. Meteor.*, 1979, **18**, 634~638.
- 8 Ranz, W. E., and J. B. Wong, Impaction of dust and smoke particles on surface and body collectors, *Ind. Eng. Chem.*, 1952, **44**, 1371~1381.
- 9 朱光华, 汪新福等, 南极长城站地区1987年夏季大气气溶胶研究, *南极研究*, 1990, **2**(2), 44~50.
- 10 王明星, *大气化学* (第二版), 北京: 气象出版社, 1999.
- 11 Xu Li, K. Okada et al., The composition of individual aerosol particles in the troposphere and stratosphere over Xianghe (39.45°N, 117.0°E), China, *Atmospheric Environment*, 2001, **35**, 3145~3153.
- 12 许黎, 樊小标等, 北京一次沙尘暴的来源及有关特性, 第五届全国风工程及工业空气动力学学术会议论文集, 1998, p.1.

An Observational Study of Physical and Chemical Characteristics of Atmospheric Aerosol Particles from Late Spring to Early Autumn over the Beijing Area

Xu Li¹⁾, Okada Kikuo²⁾, Zhang Peng³⁾, Zhang Danzhou⁴⁾ and Shi Guangyu⁵⁾

1) (National Climate Center, Beijing 100081)

2) (Meteorological Research Institute, Tsukuba 305-0052, Japan)

3) (Earth Observation Research Center, National Space Development Agency of Japan, Tokyo 106-0032, Japan)

4) (Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences, Prefectural University of Kumamoto, Kumamoto 862-8502, Japan)

5) (Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Physical and chemical characteristics of the atmospheric aerosols over the Beijing area are studied in this paper. Observed items include their optical depth and the number density, and the morphology, size and chemical element composition of individual particles near the ground. The observation period covered May~September, 1997 and April~September, 1998. The results show that: (1) the total optical depth of the atmospheric aerosols ranges from 0.1 up to 1.6; (2) the number density

of atmospheric aerosols with $D > 0.3 \mu\text{m}$ covers from several to several-hundred particles per cubic centimeter; (3) the diurnal and seasonal variations of the column optical depth and number density are influenced by the local meteorological and climatic conditions; (4) the number density is closely related to the atmospheric humidity; (5) the relationship between the number density and the wind direction shows that density is larger when the wind direction is between 0° and 180° , while it is smaller as the wind direction is in $180^\circ \sim 270^\circ$; (6) the elements of Si, K, S, Al, Mg, Ca and Fe have been detected in the particles. The elements of Zn, P, Ti, Pb and Ba, which come from the fossil fuel burning, are also detected. A remarkable characteristic of aerosol particles is that many particles are Ca-rich and K-rich, which may come from the construction sites and the biomass burning. Photographs of three typical particles are presented. One of them is a black carbon particle, another one is a Ca-rich particle with a "square" shape, and the third one is a dust particle surrounding some "satellite" droplets. The element spectra of each particle are also presented.

Key words: Beijing area; aerosol; optical depth

田 万方数据
WANFANG DATA