

( $P < 0.05$ ), 证明该浓集物对动物骨髓细胞有轻度毒性作用(见图 3)。但是, 经过化学分离后当组份(A-A)剂量为 1000mg/kg 体重时, 引起动物骨髓细胞的畸变作用, 而对骨髓细胞不产生毒性作用(见图 4)。从而可以

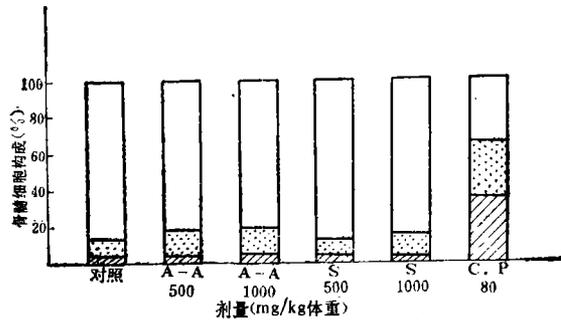


图 4 分离组份(A-A)和(S)对骨髓细胞构成影响(图例同图 3)

推理, 本研究所采用的化学分离手段制备的组份(A-A), 它对动物体细胞的毒性作用降

低了, 而致突变作用和染色体畸变作用相对地增强了, 这对进一步的毒理学研究提供了可能性。

#### 四、小 结

经化学分离制备的组份 A-A 是饮水中有机浓集物的活性组份, 呈现出比总有机浓集物更强的致突变作用和对动物体细胞的畸变作用, 证明本研究所用化学分离手段是研究饮用水有机浓集物的有效手段。

#### 参 考 文 献

- [1] 徐凤丹等: 环境科学, 4(3), 61(1983).
- [2] 徐凤丹等: 环境科学, 6(2), 2(1985).
- [3] Ames, B. N., *Mutat. Res.*, 113(3/4) 173(1983).
- [4] Schmid, W., *Mutat. Res.*, 31, 9 (1975).
- [5] Ledebur, M. V. et al., *Mutat. Res.*, 19, 109 (1973).

## 北京大气颗粒物的粒度分布

汪安璞 杨淑兰

(中国科学院环境化学研究所)

### 一、前 言

颗粒物已成为大气污染物中的主要控制对象, 其原因之一是由于它对人体健康的危害是很明显而普遍的。因此, 近十余年来, 环境科研工作者、医学卫生界对此进行了大量的研究, 特别是颗粒物粒度与其化学特性、生物效应等方面均有较大的进展<sup>[1]</sup>。

颗粒物对环境污染引起的问题中, 从人体健康影响的角度来看, 粒度(颗粒直径的大小, 以下简称粒径)的不同, 对人体健康危害的程度有很大的差异。为了针对有害颗粒物的监测与控制, 国外对可吸入颗粒物(Inhalable particles)的粒径界限作了不少探讨与规定<sup>[2]</sup>。

如 1952 年英国医学研究委员会(BMRC)规定以  $< 7.1\mu\text{m}$  作为可吸入颗粒的卫生标准, 1981 年美国环保局建议用  $< 15\mu\text{m}$  以下为界限, 近来又倾向于以  $< 10\mu\text{m}$  的颗粒物作为标准。这些对制订合适的环境卫生标准, 采取除尘防治措施等都是很必要的。因此, 开展大气颗粒物(气溶胶)粒度分布问题的研究, 和可吸入颗粒物的浓度水平与细粒( $< 2\mu\text{m}$ )的比例等是有其现实意义的。

本文着重对北京大气颗粒物的质量浓度在不同粒度中的分布状况及其在不同地区、不同季节的污染水平进行探讨, 以便对该地区颗粒物的污染与人体健康有关问题有所启示。

## 二、实验方法

用 AH-600 型大容量分级采样器(日本柴田公司)于1981年北京七个地点(首都钢铁厂、焦化厂、东单、有色金属研究院、中关村、环境化学研究所和怀柔), 1983年三个地点(北辛安,东单、怀柔)按四个季度(1月或3月、6月、9月、12月)采集颗粒物的五级粒度的样品各一次。各级粒度范围按空气动力学当量直径( $\mu\text{m}$ )为:  $> 7.0$ ,  $7.0-3.3$ ,  $3.3-2.0$ ,  $2.0-1.1$ ,  $< 1.1$  (由第1-5级)。每次采样空气量约为  $135.8\text{m}^3$  (流量  $566\text{l}/\text{min}$ )。用1号测尘滤膜(过氯乙烯有机膜)在采样前与采样后在恒温防尘条件下称重, 获得不同粒度范围内颗粒物的质量浓度数据。

## 三、结果与讨论

颗粒物的粒度分布是其物理特性的反映。城市大气颗粒物的浓度与粒度之间的关系是大气污染问题中的重要内容之一。现就北京大气颗粒物的质量-粒度有关问题探讨如下:

### 1. 颗粒物的质量浓度与粒度分布类型

与颗粒物粒度分布性质有关的主要参数之一是颗粒物的质量浓度(MC)。根据北京颗粒物中五种粒度范围内的质量累积百分数(见表1), 用对数正态概率纸与正态概率纸作图, 进行粒度分布类型的判别。其部分结果列于表2中。

由表2可知, 多数地点颗粒物的粒度分布在非采暖期均呈对数正态分布(全年亦如此), 但在采暖期则不同地点各有其不同的类型。如北辛安(在首钢附近)与东单(市内交通区)呈正态分布, 而怀柔(农村区, 水库旁)则呈对数正态分布。一般对数正态分布的粒度变化较大, 而正态分布则较小。因此, 如果采样点周围排放颗粒物的发生源比较稳定, 则其粒度变化范围不是很大的, 这就可能呈正态分布。相反, 如果局地污染源或外来污染

表1 北京大气颗粒物不同粒度的质量百分数与累积百分数

地点	分级级次	采暖期		非采暖期		平均*	
		MP (%)	CMP (%)	MP (%)	CMP (%)	MP (%)	CMP (%)
北辛安	1	59.6	100	40.4	100	52.1	100
	2	15.9	40.4	16.0	59.6	15.9	47.8
	3	7.9	24.5	13.8	43.6	10.2	31.9
	4	4.7	16.6	12.5	29.8	7.7	21.7
	5	11.9	11.9	17.3	17.3	14.0	14.0
东单	1	51.0	100	34.0	100	42.3	100
	2	15.7	49.0	17.3	66.0	16.5	57.7
	3	7.1	33.3	14.8	48.7	11.0	41.2
	4	3.9	26.2	14.4	33.9	9.3	30.2
	5	22.3	22.3	19.5	19.5	20.9	20.9
怀柔	1	34.3	100	35.5	100	35.2	100
	2	11.4	65.7	16.2	64.5	14.8	64.8
	3	18.2	54.7	13.2	48.3	14.6	50.0
	4	16.3	36.1	15.2	35.1	15.5	35.4
	5	19.8	19.8	19.2	19.9	19.9	19.9

\* 1983年四个季度的平均值。

(1) MP 为质量百分数, CMP 为累积质量百分数。

(2) 各级级次的粒径范围: 第1级  $> 7.0\mu\text{m}$ , 第2级  $3.3-7.0\mu\text{m}$ , 第3级  $2.0-3.3\mu\text{m}$ , 第4级  $1.1-2.0\mu\text{m}$ , 第5级  $< 1.1\mu\text{m}$ 。

表2 北京大气颗粒物粒度分布的类型

地点	时期 类型	采暖期	非采暖期	全年
		北辛安	正态	对数正态
东单	正态	对数正态	对数正态	对数正态
怀柔	对数正态	对数正态	对数正态	对数正态

1983年四个季度五级粒度分析的结果。

对采样点颗粒粒度有较大的变化, 则很可能呈对数正态分布。此外, 粗颗粒受局地源影响较大, 而细颗粒在大气近地面层的分布比较均匀。北辛安由于受首钢排放源的影响较大, 排放的颗粒物一般较稳定, 故其粒度呈正态分布。东单颗粒物浓度的季节变化是比较稳定的<sup>[2]</sup>, 故亦呈正态分布。怀柔地处远郊, 局地源影响很少, 颗粒物浓度水平常低于

市区<sup>[3]</sup>，一旦受外来颗粒物(或当地风尘)的影响较大时，就会在粒度分布的类型上反映出来，因此，它呈对数正态分布。

为了进一步了解对人体健康影响较大的颗粒物( $<7\mu\text{m}$  以下的)粒度分布类型，我们按上述方法同样处理了 $<7\mu\text{m}$  以下的颗粒物质量-粒度分布数据，结果只有怀柔在采暖期与非采暖期变为正态分布。这表明 $>7\mu\text{m}$  的颗粒在北辛安与东单可能主要是局地源的影响，而怀柔由于该地本身较洁净，原有粒度分布比较稳定(呈正态分布)。综上所述，北京 $7\mu\text{m}$  以下颗粒物的质量-粒度分布一般呈正态分布，而大于 $7\mu\text{m}$  的颗粒对粒度分布类型的影响较大。

## 2. 大气颗粒物不同粒度的质量百分比

根据 1981 年与 1983 年四个季度所得分级样品的平均质量浓度进行综合得到各粒度范围内的质量百分比，示于表 3。

表 3 北京大气颗粒物不同粒度范围的质量百分比

		$>2.0\mu$ 70%		$<2.0\mu$ 30%	
$>7.0\mu$ 42%		7.0—3.3 $\mu$ 15%	3.3—2.0 $\mu$ 13%	2.0—1.1 $\mu$ 12%	$<1.1\mu$ 18%
		$<7.0\mu$ 58%			

表 4 1981 年北京大气颗粒物中粗细粒度的比例(%)

地点	粗粒 ( $>2.0\mu$ )	细粒 ( $<2.0\mu$ )	粗粒 细粒	$>7.0\mu$ 占总颗粒 物的%
首 钢	75.5	24.5	3.08	52.4
焦化厂	68.5	31.5	2.17	45.9
东 单	85.0	15.0	5.67	59.8
中关村	68.4	31.6	2.16	50.9
有色院	74.4	25.6	2.91	51.5
环化所	73.0	27.0	2.70	46.2
怀 柔	57.4	42.6	1.35	30.0
平 均	71.7	28.3	2.53	48.1

按 1981 年 9 月与 12 月的平均值计算

表中揭示了北京颗粒物质量粒度谱的特征。 $2-7\mu\text{m}$  的颗粒为 28%， $<2\mu\text{m}$  的颗粒为 30%，两者大体上各占其半(指 $<7\mu\text{m}$  的颗粒物范围内)。 $>7\mu\text{m}$  以上的颗粒物为 42%。

北京不同地区粗粒( $>2\mu\text{m}$ )与细粒( $<2\mu\text{m}$ )的分布状况及其质量的比值，列于表 4 与表 5 (按 $>7\mu\text{m}-<1.1\mu\text{m}$  全部颗粒物计算)。

表 5 1983 年北京大气颗粒物中粗细粒度的比例(%)

地点	粗粒 ( $>2.0\mu$ )	细粒 ( $<2.0\mu$ )	粗粒 细粒	$>7.0\mu$ 占总颗粒 物的%
北 辛 安	76.2	23.8	3.20	50.4
东 单	69.1	30.9	2.24	41.8
怀 柔	65.7	34.3	1.92	35.9
平 均	70.3	29.7	2.45	42.7

按 1983 年 1、6、9、12 月的平均值计算

总的看来，不论哪个地区，都是粗粒高于细粒，约高出 2 至 3 倍。这主要是 $>7\mu\text{m}$  颗粒所占的质量比例较大之故。这部分的颗粒对人体健康影响并不是主要的。值得关心的是可吸入颗粒物( $<15$  或 $<10\mu\text{m}$ )中粗细粒所占的比例。为此，我们计算了 $<7\mu\text{m}$  以下颗粒物中粗细粒度的百分比(见表 6)。

表 6 1983 年北京大气颗粒物中粗细粒度的比例(%)

地点	粗粒 (2.0— $7.0\mu$ )	细粒 ( $<2.0\mu$ )	粗粒 细粒	$<7.0\mu$ 占总颗粒 物%
北 辛 安	51.8	48.2	1.07	49.6
东 单	48.1	51.9	0.93	59.2
怀 柔	46.7	53.3	0.88	64.1
平 均	48.8	51.2	0.96	57.6

按 1983 年 1、6、9、12 月的平均值计算。

从表中可知，细粒约占 51%，即可吸入颗粒中至少有一半对人体健康是有危害性的。国外城市颗粒物中粗细粒的比值一般为 0.5—1 左右。北京为 1 左右。这表明粗粒比国外较

多。不过北京细粒的浓度水平也是相当高的(见表7)。国外城市大气中细粒的浓度平均为20—30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>。怀柔细粒的浓度是被测各地点中最低的(127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 174 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，但比国外仍高4—6倍之多，这是值得引起重视的问题。

3. 不同地区、不同季节颗粒物的质量中值直径(MMD)

国际射线保护委员会(ICRP II)肺气动力学工作组的实验结果表明<sup>[2]</sup>。颗粒在呼吸系统中的沉积量与颗粒物粒度分布的质量中值直径(MMD,  $\mu\text{m}$ )是密切相关的。一般 $>2\mu\text{m}$ 的颗粒大部分沉积在鼻咽区， $<2\mu\text{m}$ 在肺泡区和支气管区的沉积率最大。北京颗粒物在不同地区、不同时期的MMD及平均

表7 北京大气中粗细粒的浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

地 点	年 份	1981 年		1983 年	
		粗粒 ( $>2.0\mu$ )	细粒 ( $<2.0\mu$ )	粗粒 ( $>2.0\mu$ )	细粒 ( $<2.0\mu$ )
怀 柔		234.7	126.7	317.9	174.1
东 单		562.8	132.2	614.0	265.1
北 辛 安				897.2	249.4
首 钢		751.4	231.6		
焦 化 厂		390.1	162.1		
中 关 村		650.4	288.4		
有 色 院		519.0	143.8		
环 化 所		575.6	94.4		
平 均		526.3	168.4	609.7	229.5

表8 北京大气颗粒物的平均浓度及质量中值直径

年 份	1981 年						
	采 暖 期		非采暖期		平 均		
时 期	MC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MMD ( $\mu\text{m}$ )	MC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MMD ( $\mu\text{m}$ )	MC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MMD ( $\mu\text{m}$ )	$\sigma_g$ 或 $\sigma$
首 钢	366.5	1.7	146.9	2.2	256.7	2.0	13.3
焦 化 厂	326.4	1.5	176.5	1.4	251.5	1.5	3.1
东 单	268.8	3.6	207.6	1.7	238.2	2.7	3.2
中 关 村	682.5	1.6	139.0	1.2	410.8	1.4	2.4
有 色 院	621.6	2.1	155.4	1.4	388.5	1.8	4.0
环 化 所	540.3	2.7	220.4	1.3	380.4	2.0	3.1
怀 柔	248.4	1.4	140.6	1.5	194.5	1.5	3.3

1983 年							
北 辛 安	564.6	2.5	534.0	2.0	549.3	2.0	3.5
东 单	421.2	1.6	593.4	1.8	507.3	1.9	2.4
怀 柔	171.4	2.1	466.3	2.1	318.9	1.2	1.2

(1) 表中数值系 $<7.0\mu\text{m}$ 以下颗粒物的计算值

(2) MC: 平均浓度, MMD: 质量中值直径,  $\sigma_g$ : MMD的几何标准偏差,  $\sigma$ 为标准偏差

浓度(MC,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )示于表8中。

表中数值均按 $<7\mu\text{m}$ 的颗粒物计算的。MMD是以质量浓度的累积百分数对粒径 $D_p$ 在对数正态概率纸或正态概率纸上作图,取其累积百分数为50%时的 $D_p$ 值,即为MMD。

其中 $\sigma_g$ 为MMD的几何标准偏差。在对数正态分布时,取 $\sigma_g = \frac{D_{84}}{D_{50}}$ 或 $\frac{D_{50}}{D_{16}}$ 。在正态分布时,取标准偏差 $\sigma = D_{84} - D_{50}$ 或 $D_{50} - D_{16}$ 。从表中可知,北京各地区的MMD在

1.5—2.0 之间。它们在肺泡区及支气管区的沉积率约为 30%<sup>[2]</sup>。这些  $< 2\mu\text{m}$  的细粒属于积聚模态(见后)。除大气中云雾之外,它们大部分系人为的排放物或二次污染物所形成。如果按颗粒物的总质量浓度求其 MMD(见表5、6),因北京大多数地区  $> 7\mu\text{m}$  的颗粒所占比例较大,一般为 40—60%,故其 MMD 值也会相应地增大(见表9),约大 2—5 倍。这样的 MMD 值会影响对可吸入颗粒粒度的正确衡量。因而,近年来不少环境保护科研工作者与环境卫生学者主张以可吸入颗粒( $< 15$  或  $< 10\mu\text{m}$ )而不以总颗粒物(TSP)作为环境监测的标准。

4. 颗粒物的质量-粒度分布的模态(Mass-size distribution mode)

表9 北京大气颗粒物的 MMD ( $\mu\text{m}$ )

地 点	粒度范围		总颗粒物	
	$< 7.0$		1981	1983
怀 柔	1.5	2.1	2.8	3.5
东 单	2.7	1.9	10.5	4.5
北 辛 安		2.0		7.7
首 钢	2.0			
焦 化 厂	1.5		5.5	
中 关 村	1.4		6.9	
有 色 院	1.8		8.0	
环 化 所	2.0		5.9	

Whitby 研究了大气颗粒物(气溶胶)粒

表10 北京大气颗粒物粒度分布的模态及最大浓度时的粒径

年份	1981 年						1983 年					
	采 暖 期			非采暖期			采 暖 期			非采暖期		
	模态	$\Delta m / \Delta \log D_p$	$D_p$	模态	$\Delta m / \Delta \log D_p$	$D_p$	模态	$\Delta m / \Delta \log D_p$	$D_p$	模态	$\Delta m / \Delta \log D_p$	$D_p$
怀 柔	双模	230.1	2.0	双模	149.9	3.3	双模	219.4	3.3	双模	441.0	3.3
		267.2	7.0		174.4	$> 7.0$		141.0	$> 7.0$		405.4	$> 7.0$
东 单	单模	601.7	$> 7.0$	单模	508.2	$> 7.0$	双模	340.3	1.1	双模	613.8	3.3
						$> 7.0$		694.5	$> 7.0$		482.8	$> 7.0$
北 辛 安							双模	294.9	1.1	双模	570.5	3.3
								1361.9	$> 7.0$		572.8	$> 7.0$
首 钢	单模	1196.4	3.3	单模	301.9	$> 7.0$	注: (1) 采暖期为 1 月或 3 月与 12 月取其浓度的平均值,非采暖期为 6 月与 9 月的平均值。 (2) 微分质量-粒度浓度, $\Delta m / \Delta \log D_p$ , 其单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。 (3) 颗粒物的空气动力学直径, $D_p$ , 其单位为 $\mu\text{m}$ 。表中数值为各模态中 $\Delta m / \Delta \log D_p$ 最大值时相应的 $D_p$ 值。					
焦 化 厂	双模	485.0	3.3	双模	288.5	3.3						
		310.9	$> 7.0$		310.9	$> 7.0$						
中 关 村	双模	922.1	2.0	单模	294.6	$> 7.0$						
		1351.3	$> 7.0$									
有 色 院	单模	679.6	$> 7.0$	单模	291.9	$> 7.0$						
环 化 所	单模	735.7	7.0	双模	274.3	2.0						
					384.0	$> 7.0$						

度分布的模态(或称峰型, Mode)<sup>[1,4]</sup>. 他提出有核模、积聚模和粗粒模三种. 各模态的粒度分布范围不同. 核模为 0.005—0.05 $\mu\text{m}$ , 它主要是高温过程或化学反应产生的蒸气凝结而成的颗粒. 积聚模为 0.05—2 $\mu\text{m}$ , 它们是由核模的颗粒凝聚或通过蒸气凝结长大而形成的. 粗粒模为 > 2 $\mu\text{m}$  的颗粒是由机械粉碎、液滴蒸发、土尘卷扬而来. 因此, 掌握颗粒物粒度分布的模态, 对了解其污染来源、

形成过程等是很有价值的.

根据北京 1981 年与 1983 年不同粒度中颗粒物的质量, 计算了采暖期与非采暖期各地点的微分质量粒度分布浓度( $\Delta m / \Delta \log D_p$ ,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 并求出在此最大浓度(即峰值)时相应的粒径  $D_p$ ( $\mu\text{m}$ ) (表 10). 于图 1 中示出了某些地点的粒度分布情况.

从图表中可知, 除个别地点或季节以外, 北京大气颗粒物多数呈双模态(或双峰型)的

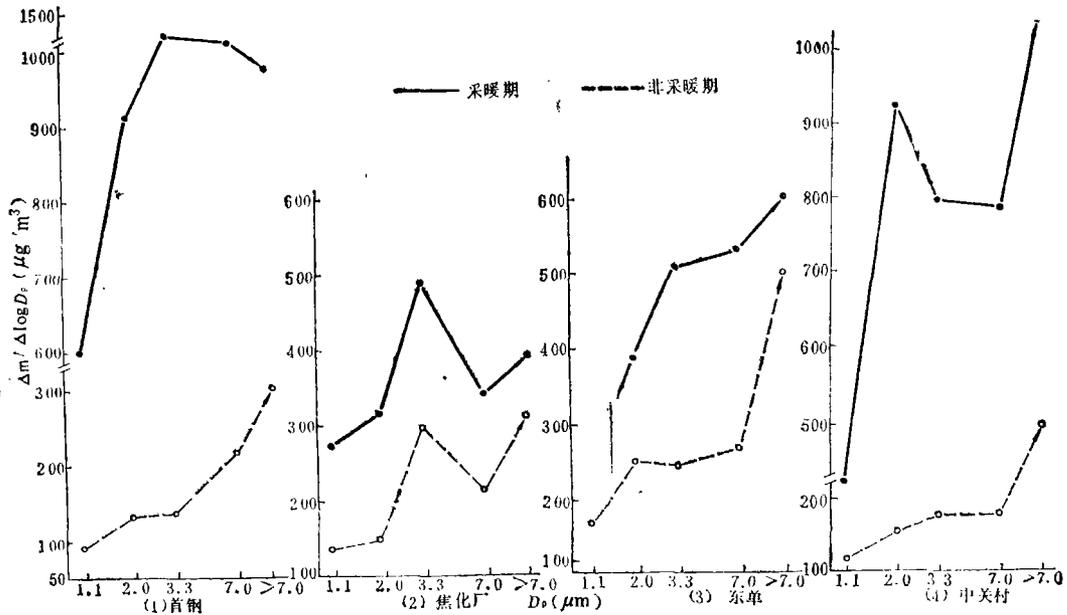


图 1 北京大气颗粒物的粒度分布  
(1) 首都钢铁厂 (2) 焦化厂 (3) 中关村 (4) 东单

分布. 这与国外城市大气颗粒物的情况很相似<sup>[4]</sup>. 在北京被测的各地点都存在粗粒模态的浓度相当高, 峰值在粒径为 7 $\mu\text{m}$ , > 7 $\mu\text{m}$  处. 从表 5 与表 6 中得知, > 7 $\mu\text{m}$  颗粒占总颗粒物的 42.7—48% (平均). 这与我们用富集因子法所得总颗粒物 (TSP) 风砂、土壤约占 50%<sup>[5]</sup> 是一致的.

从表 10 及图 1 中的另一个浓度峰值在 2 $\mu\text{m}$  与 3.3 $\mu\text{m}$  处, 介于积聚模与粗模之间, 天然与人为污染两种来源兼有. 值得提出的是: 1983 年东单与北辛安于采暖期在 1.1 $\mu\text{m}$

(细粒)处有峰值, 这反映了市区或工业区颗粒粒度分布的特性, 它们属积聚模态, 表明主要是人为污染(来源)的影响.

#### 四、小 结

通过 1981 年与 1983 年北京某些地区大气颗粒物的质量与粒度之间的关系, 阐明了粒度分布的特征, 其主要结果为:

1. 北京大气颗粒物中粗粒 (> 2 $\mu\text{m}$ ) 约占总颗粒物质量的 70%, 细粒 (< 2 $\mu\text{m}$ ) 约占 30%. > 7 $\mu\text{m}$  的颗粒约占 50%, < 7 $\mu\text{m}$  以

下的颗粒中粗粒占 47%，细粒占 53%。

2. 北京大气颗粒物的质量-粒度分布一般呈正态分布 ( $<7\mu\text{m}$  以下的颗粒物)。在其他条件下亦会有对数正态分布出现。

3. 北京颗粒物的质量中值直径 (MMD) 在可吸入颗粒 ( $<7\mu\text{m}$  以下) 部分中一般为  $2\mu\text{m}$  左右, 对人体健康影响较大, 值得引起重视。

4. 颗粒物的模态 (mode) 呈典型的城市双模态 (或双峰型)。粗粒模在城区郊区均较明显而突出, 积聚模在有人为污染较重的地区较为明显。

综上所述, 北京大气颗粒物中对人体健康危害较大的粒度其含量是相当高的, 因此, 有必要在降低环境中总悬浮颗粒物 (TSP) 的

同时, 还需要注意对可吸入颗粒物的防治与控制。目前首先要普遍加强对可吸入颗粒的监测与分析, 并进一步对其化学组分、生物效应进行综合研究。

本工作中葛继荣、马慈光、王庆广等同志参加了采样, 特此表示谢意。

### 参 考 文 献

- [1] National Research Council of the National Academy of Sciences, *Airborne Particle*, pp. 1-19, pp. 107-146, University Park Press, Baltimore, Maryland 21202, U.S.A. 1979.
- [2] 曹守仁, 环境保护, 7, 21(1982).
- [3] 汪安璞等, 环境科学学报, 1(3)220(1981).
- [4] Whitby, K. T., *Atmos, Environ.* 13, 123(1979).
- [5] 汪安璞等, 环境化学, 2(6)25(1983).

# 烟囱高度和夜间城市热岛效应对 污染物输送和扩散的影响

叶 卓 佳

(中国科学院大气物理所)

## 一、引 言

人口的发展和工业密集的城市, 增加了地面粗糙度及热排放量, 形成城市热岛环流。周明煜等<sup>[1,2]</sup>根据北京地区台站资料研究北京市城市边界层结构。本文以输送扩散方程, 通过积分边界层控制方程组, 得到城市热岛和中尺度城市热岛环流。由此产生的气象要素场作为输送扩散方程所需的气象场, 去模拟计算在城市条件下污染物的输送和扩散; 用一维热动力学边界层方程组的数值模拟, 得到水平均匀地面条件的气象场, 由这些气象场输入到扩散方程中计算水平均匀条件下污染物输送和扩散。比较两者结果可研究

城市对污染物输送和扩散的影响。通过改变源高去研究源高对污染物输送和扩散影响。由于稳定夜间边界层是造成严重的污染的气象条件, 本文只研究小风条件下夜间边界层。

## 二、模式方程

描述烟羽状态的非定常、非线性方程为:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} = -u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} - w \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} + Q \quad (1)$$

其中  $\bar{c}$  为浓度,  $Q$  为源强, 以单位长度表示 (当  $Q$  为点源时, 则  $\bar{c}$  为横向积分浓度:  $\int c dy$ )。  $u$ ,  $w$  和  $k_x$ ,  $k_z$  分别为风速和涡旋扩