

北京市城区大气中可吸入 颗粒物粒径分布规律的研究

洪伟雄 全文熠 王必耘 付光

田德海 黄玲玲 张婴奇 马丹

(北京市环境保护科学研究所)

THE RESEARCH ON THE SIZE DISTRIBUTION OF INHALABLE PARTICULATE MATTERS IN BEIJING URBAN DISTRICT

Hong Weixiong, Quan Wenyi, Wang Biyun, Fu Guang,

Tian Dehai, Huang Lingling, Zhang Yingqi, Ma Dan

(Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection)

Abstract

High volume six stage Sierra cascade impactors were used to collect samples of inhalable particulate matters (IPM) (diameter less than $15\text{ }\mu\text{m}$) in four Beijing urban districts. The concentrations of IPM show high seasonal correlations, they were $0.31\text{--}0.51\text{ mg/m}^3$ in winter and $0.11\text{--}0.18\text{ mg/m}^3$ in summer. The linear regression fits of the cumulative mass (percent) to the log-aerodynamic diameter of IPM in these four districts were straight lines. Correlation coefficients were not less than 0.985. The result suggested that the size distribution followed log-normal distribution. The size distributions of all samples were unimodal. Mass median diameters (MMD) of IPM were $1.1\text{--}1.8\text{ }\mu\text{m}$ in winter and $1.8\text{--}2.1\text{ }\mu\text{m}$ in summer. It was obvious that the MMD in winter was less than that in summer. Geometric standard deviations were 4.3–7.0. The particles smaller than $3\text{ }\mu\text{m}$ were about 60% of the IPM and the particles smaller than $0.95\text{ }\mu\text{m}$ were about 40% of the IPM.

大气颗粒物按其颗粒直径的大小分为降尘和飘尘,一般认为粒径大于10微米的叫降尘;小于10微米的叫飘尘。不过,这一分级概念在很大程度上是人为的,美国环保局1978—1981年经实验研究建议把粒径15微米以下的颗粒称为“可吸入颗粒物(Inhala-

ble Particulate Matters-IPM)”^[1]。IPM可被吸入人体呼吸器官,对人体造成直接危害^[2]。

国内外对大气中总悬浮颗粒物的粒径分布规律进行过一些研究^[3,4,5,6],但对可吸入颗粒物(IPM)粒径分布规律的研究,

可供参考的文章并不多见。为了进一步探索北京市城区大气污染与健康的关系，我们对北京市城区大气中IPM粒径分布规律进行了研究，初步了解到北京市城区IPM（15微米以下的颗粒）粒径分布的规律。

一、实 验

1. 采样点的设置

北京市二环路以内的四个城区是人口密集，交通拥挤，商业，服务业网点和办事机构集中的区域，我们在宣武、崇文、东城和西城区各设立了一个采样点。

宣武区：大栅栏西街第一旅馆四楼平台。东临大栅栏商业网点，北、西和南面是居民区，属于商业和居民区环境。

崇文区：东花市旅馆三楼平台，附近有一些商业服务点，但不多，基本属于居民区环境。

东城区：交道口南大街北兵马司胡同东城区卫生防疫站院内，属于居民区环境。

西城区：西单十字路口，西单体育场的西南角，西单路口交通拥挤，过往车辆较多，北面是西单商场和其他商业网点，属于商业和交通环境。

清洁对照区：设在距东直门171公里的河北省兴隆县北京天文台观测站内，该天文台在一座叫连营寨的小山顶上，连营寨海拔高860米，距地面高度280米，周围15公里以

内没有较大的污染源，空气清晰，环境幽雅。

2. 样品采集

使用美国Sierra公司230系列大流量冲击式分级采样器采样，该采样器除带有五个矩形冲击喷口外，还专门为它配有上截止粒径为15微米的颗粒粒径选择入口。利用该采样器可得到粒径在15微米以下六个不同粒径的IPM级分（五个冲击分级器加上一个底膜），各级粒径分布特征见表1。

Sierra大流量采样器分级特性 表 1

级 数	动力学直径(μm)
1	15~7.2
2	7.2~3.0
3	3.0~1.5
4	1.5~0.95
5	0.95~0.49
6	<0.49

表1给出值是该采样器在采样流量1.13米³/分，收集效率50%时的动力学切割直径。样品收集在49型超细玻璃纤维滤膜上，滤膜使用前经500°C高温烘烤两小时，采样时空气流量保持在1.13米³/分。

样品分采暖期和非采暖期两次采集，采暖期安排在冬季12月~1月份，非采暖期安排在6月~7月份。各采样点的采样时间，采样总体积，IPM总量和IPM总浓度见表2。

IPM 样品 有关数据

表 2

样 品 号	采 样 点	采 样 时 间	总采样体积 (m ³)	颗粒物总量 (g)	总 浓 度 (mg/m ³)
S-01	宣 武 区	1983.12.15~19	5889	3.00	0.51
S-02	崇 文 区	1983.12.26~34.1.1	9723	4.12	0.42
S-03	东 城 区	1984.1.21~25	8329	2.55	0.31
S-04	西 城 区	1984.1.14~20	5551	2.51	0.45
S-05	宣 武 区	1984.7.3~9	9287	1.68	0.18
S-06	崇 文 区	1984.7.3~9	10606	1.95	0.18
S-07	东 城 区	1984.6.13~19	10933	1.21	0.11
S-08	西 城 区	1984.6.13~20	9891	1.27	0.13
S-09	本底对照点	1984.7.14~28	10928	0.513	0.05

二、结果和讨论

1. 不同粒径IPM的分布规律

北京市城区IPM粒径分布数据见表3-1、3-2, 表4是不同级分IPM的重量累积百分数, 由重量累积百分数对颗粒的空气动力学直径(D_p)的对数进行回归计算, 得到相关系数很好的线性方程 $y=a+b\log x$, 其截距(a)、斜率(b)和相关系数(r)均列

于表5。这些数据说明北京市城区和清洁对照区IPM粒径大小遵从对数—正态分布。图1是与表5相应的在对数概率纸上绘制的回归曲线, 根据线性回归方程计算出质量中值直径(MMD)(累积百分数50%所对应的动力学直径)和几何标准差(s_g)(累积百分数84.2%和50%处相对应的动力学直径之比值, 表明颗粒的分散程度)也列于表5。

北京市城区IPM粒度分布数据(冬季)

表 3-1

样 品 级 分	S-01		S-02		S-03		S-04	
	重量(g)	百分比	重量(g)	百分比	重量(g)	百分比	重量(g)	百分比
1	0.6443	21.4	0.8094	19.6	0.5384	21.1	0.4687	24.5
2	0.6017	20.0	0.7834	19.0	0.3878	15.2	0.3931	20.6
3	0.2901	9.6	0.4178	10.1	0.1994	7.8	0.1950	10.2
4	0.2708	9.0	0.3823	9.3	0.2199	8.6	0.1573	8.2
5	0.3034	10.1	0.2918	7.1	0.2440	9.6	0.1649	8.6
6	0.9011	29.9	1.4387	34.9	0.9618	37.7	0.5321	27.9
总 计	3.00	100.0	4.12	100.0	2.55	100.0	1.91	100.0

北京市城区IPM粒度分布数据(夏季)

表 3-2

样 品 级 分	S-05		S-06		S-07		S-08		S-09	
	重量(g)	百分比	重量(g)	百分比	重量(g)	百分比	重量(g)	百分比	重量(g)	百分比
1	0.3854	22.5	0.4744	24.3	0.2519	20.9	0.2604	20.4	0.0929	18.1
2	0.3900	22.8	0.4386	22.4	0.2663	22.0	0.2815	22.1	0.1114	21.7
3	0.1383	8.1	0.1963	10.0	0.1186	9.8	0.1378	10.8	0.0433	8.5
4	0.1745	10.2	0.2438	12.5	0.1335	11.1	0.1370	10.8	0.0683	13.3
5	0.2305	13.5	0.2455	12.6	0.1442	11.9	0.1429	11.2	0.0925	18.0
6	0.3916	22.9	0.3554	18.2	0.2939	24.3	0.3139	24.7	0.1048	20.4
总 计	1.68	100.0	1.95	100.0	1.21	100.0	1.27	100.0	0.513	100.0

北京市城区IPM粒度分布累积百分数

表 4

采 样 点	分 级 浓 度 重 量 累 积 百 分 数					
	<0.49 μ	<0.95 μ	<1.5 μ	<3.0 μ	<7.2 μ	<15 μ
S-01	29.9	40.0	49.0	58.6	78.6	100.0
S-02	34.9	42.0	51.3	61.4	80.4	100.0
S-03	37.7	47.3	55.9	63.7	78.9	100.0
S-04	27.9	36.5	44.7	54.9	75.5	100.0
S-05	22.9	36.4	46.6	54.7	77.5	100.0
S-06	18.2	30.8	43.3	53.3	75.7	100.0
S-07	24.3	36.2	47.3	57.1	79.1	100.0
S-08	24.7	35.9	46.7	57.5	79.6	100.0
S-09	20.7	38.4	51.7	60.1	81.9	100.0

IPM 粒度分布回归数据

表 5

样 品 号	样 品 数	相关系数	质量中值直径	几何标准差	斜 率	截 距	回 归 方 程
		r	MMD(μm)	S_g	b	a	
S-01	4	0.992	1.6	5.4	46.27	41.19	$y = 41.19 + 46.27 \log x$
S-02	7	0.991	1.3	6.0	43.84	44.46	$y = 44.46 + 43.84 \log x$
S-03	5	0.990	1.1	7.0	40.19	48.15	$y = 48.15 + 40.19 \log x$
S-04	3	0.985	1.8	5.2	47.58	37.91	$y = 37.91 + 47.58 \log x$
S-05	6	0.992	1.8	4.8	50.20	36.65	$y = 36.65 + 50.20 \log x$
S-06	6	0.994	2.1	4.3	53.67	32.49	$y = 32.49 + 53.67 \log x$
S-07	6	0.995	1.8	4.8	50.13	37.66	$y = 37.66 + 50.13 \log x$
S-08	6	0.995	1.8	4.7	50.28	37.67	$y = 37.67 + 50.28 \log x$
S-09	6	0.996	1.7	4.5	51.70	38.48	$y = 38.48 + 51.70 \log x$

质量中值直径说明 粒径 分布的 集中 趋势，北京市城区 IPM 的质量中值直径在 1.1~2.1 微米之间，与 Van Vaeck^[3] 等报导比利时安特卫普市大气颗粒物质量中值直径 1.02~1.35 微米接近。与李震等^[5] 所报导北京市卫生研究所院内测得大气颗粒物质量中值直径 0.58~2.17 微米较为一致。

样品 S-01~S-04 是采暖期 样品，质量中值直径分别为 1.6、1.3、1.1 和 1.8 微米；S-05~S-08 是非采暖期 样品，质量中值直径分别为 1.8、2.1、1.8 和 1.8 微米，采暖期 IPM 的质量中值直径小于非采暖期，说明采暖期大气中 IPM 小颗粒 成分多。这可能是由于采暖期取暖用煤量大，煤燃烧生成小颗粒成分多造成的。由图 1 看出冬季四条直线（S-01~S-04）彼此间的偏离比夏季的四条直线（S-05~S-08）大些，说明夏季北京市四个城区大气中 IPM 的分布情况很近似，IPM 扩散分布较为均匀，而冬季略差一些，这可能是由于各城区冬季 燃煤情况，以及取暖煤炉数量不完全相同所致。

四个城区大气中 IPM 的几何标准差夏季为 4.3~4.8，冬季为 5.2~7.0，这也说明夏季 IPM 颗粒分散程度比冬季 小些。北京市 IPM 几何标准差与比利时 安特卫普^[3] 的几何标准差 3.3~6.9 很接近。

图 2 是根据线性回归方程所作出的不同粒径范围的颗粒重量百分数对动力学直径的

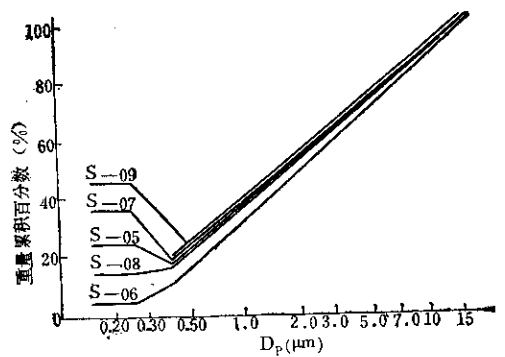
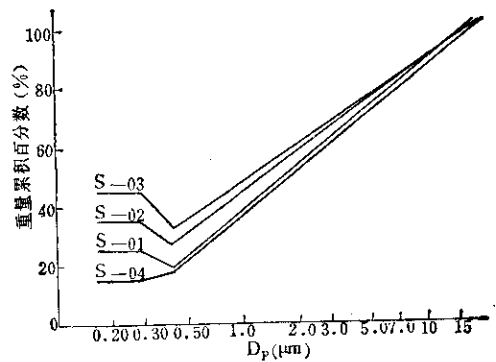


图 1 IPM 粒度分布回归曲线

对数的分布图，由图 2 可看出北京市 IPM 粒径呈单峰态分布，这与比利时安特卫普^[3] 和美国帕萨迪纳（Pasadena）^[6] 地区的分布型式相同。

2. IPM 的总浓度

我国大气环境质量标准中规定二类地区，即城市规划中确定的居民区、商业交通居民混合区等地大气中总悬浮颗粒物的日平

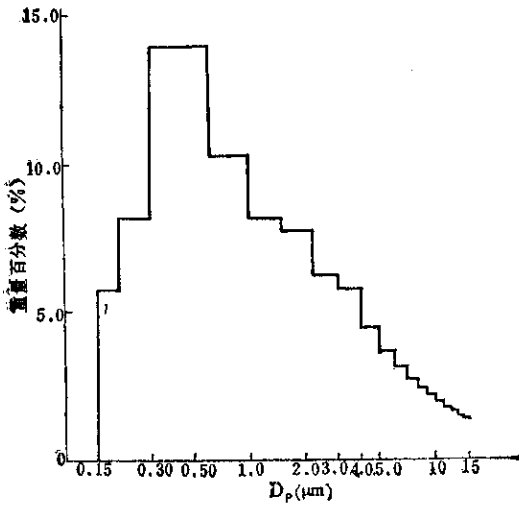


图2 IPM粒度分布图

均浓度不应高于0.30毫克/米³；飘尘的日平均浓度不应高于0.15毫克/米³。总悬浮颗粒物的上截止粒径为50~100微米；飘尘的上截止粒径为10微米，与我们所测的IPM的上截止粒径15微米接近。

北京历年环境监测和北京卫生防疫部门所测定的浓度值一般上截止粒径是50~100微米。实际上对人体健康危害程度较大的是小于15微米的可吸入颗粒物，因此，测定小于15微米的可吸入颗粒物（IPM）的总浓度才更有意义。

我们测定的北京市四个城区小于15微米IPM总浓度列于表2，宣武区、崇文区、东城区和西城区冬季大气中IPM总浓度分别为0.51、0.42、0.31和0.45毫克/米³，全部超过大气环境中规定的0.15毫克/米³；夏季分别为0.18、0.18、0.11和0.13毫克/米³，宣武区和崇文区也超过了大气环境质量标准。由于取样上截止粒径不同，我们测定的IPM总浓度无法与历年北京地区积累的总悬浮颗粒浓度比较。

表2的数据表明，无论是采暖期还是非采暖期，宣武区的IPM总浓度都是最高，污染最严重。清洁对照区的IPM总浓度只

有0.05毫克/米³，明显低于其他各采样点。

3. IPM对人体健康的影响

据文献报导，^[1,2] 5微米以下的颗粒可进入肺部，1.1微米以下的颗粒可沉积在那里。北京市城区IPM中小于3.0微米的颗粒约占60%（见表4），小于0.95微米的颗粒约占40%（见表4）。冬季大气中IPM的浓度若平均按0.40毫克/米³计，则小于3.0微米的颗粒约为0.24毫克/米³；小于0.95微米的颗粒约占0.16毫克/米³。如果每人每天吸入31米³空气，那么就可能有7.4毫克小于3.0微米的尘粒吸入肺部；5.0毫克小于0.95微米的尘粒沉积在肺泡中。Vaech^[3]报导冬季大约有95~98%的多环芳烃吸附于直径小于3.0微米的尘粒上；有70~80%的多环芳烃吸附于直径小于1.0微米的颗粒上，这就意味着大气中几乎全部致癌性多环芳烃都随着3.0微米以下的尘粒进入人体肺部而造成危害。这一事实提醒我们在治理环境大气时必须着眼于对人体危害程度较大的微小尘粒上。

三、结 论

1. 使用Sierra大流量冲击式分级采样器测定了北京市城区大气中直径15微米以下的IPM总浓度，采暖期为0.31~0.51毫克/米³，非采暖期为0.11~0.18毫克/米³。冬、夏IPM浓度具有明显差异，冬季高于夏季。

2. 对不同粒径各级分重量累积百分数与粒径对数进行一元线性回归计算，得到相关系数很好的线性方程 $y = a + b \log x$ ，相关系数除S-04为0.985以外，其余均在0.990以上（见表5）。表明IPM粒径遵从对数—正态分布。

3. 由回归方程作出粒度分布图（图2），说明北京市城区IPM粒度呈单峰态分布，与国外文献报导一致^[3,6]，粒度集中在0.50微米左右。

（下转第47页）

(上接第10页)

4. 计算出北京市城区 IPM 质量中值直径为 $1.1 \sim 2.1$ 微米, 冬季 ($1.1 \sim 1.8$ 微米) 小于夏季 ($1.8 \sim 2.1$ 微米), 可能是冬季燃煤多, 排放尘粒小的原因。

5. 北京市城区 IPM 中, 小于 3.0 微米的颗粒约占 60% , 小于 0.95 微米的颗粒约占 40% 。

6. IPM 分布的几何标准差为 $4.3 \sim 7.0$, 与国内外报导数据一致。

7. 四个城区大气中 IPM 分布差异不大, 夏季更为相近, 说明城区范围内 IPM 扩散分布较为均匀。

8. 宣武区大栅栏地区 IPM 总浓度为

0.51 毫克/米³ (冬季) 和 0.18 微克/米³ (夏季), 不论冬、夏都是四个城区中污染最严重的地区。

参 考 文 献

- [1] 曹守仁, 环境保护, 7, 21—24(1982)。
- [2] Task Group on Lung Dynamics, Health Physics, 12, 173—207(1966)。
- [3] Van Vaeck, L. and Van Cauwenbergh, K., Atmos. Environ., 12(11), 2229—2239(1978)。
- [4] Miguel, A. H. and Friedlander, S. K., Atmos. Environ., 12, 2407—2413(1978)。
- [5] 李震等, 中华预防医学杂志, 18(3), 135—139(1984)。
- [6] Jones, P. W. and Leber, P., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 383—393, Ann Arbor Science Publishers, Inc. Ann Arbor, MI ©, 1979。