

文章编号: 1000- 6524 (2002) 01- 0093- 06

## 城市灰尘粒径组成及环境效应 ——以西安市为例

杜佩轩<sup>1</sup>, 田 晖<sup>2</sup>, 韩永明<sup>1</sup>, 杜建波<sup>3</sup>, 刘 健<sup>1</sup>

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 杭州职业技术学院, 浙江 杭州 310002; 3. 桂林工学院, 广西 桂林 541000)

**摘 要:**以西安市为例,不同粒径城市灰尘质量分数分别为: 大于 20 目基本为零; 20~ 30 目占 13.54%; 30~ 50 目占 23.00%; 50~ 80 目占 14.04%; 80~ 100 目占 10.40%; 100~ 120 目占 5.52%; 120~ 140 目占 3.02%; 140~ 160 目占 7.90%; 160~ 180 目占 1.74%; 180~ 200 目占 7.52%; 小于 200 目占 11.98%。灰尘粒径基本都小于 1 mm, 很容易在外力作用下扬起、沉降、扬起、沉降往复交替循环, 形成大气颗粒污染物, 对人体和环境造成严重危害。

**关键词:** 城市灰尘; 环境效应; 大气颗粒物; 粒径组成; 污染

中图分类号: X513

文献标识码: A

## Urban dust composition of grain diameters and its environmental effect

DU Pei\_xuan<sup>1</sup>, TIAN Hui<sup>2</sup>, HAN Yong\_ming<sup>1</sup>, DU Jian\_be<sup>3</sup> and LIU Jian<sup>1</sup>

(1. Earth Science and Land Resources college, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Hangzhou Vocational and Technical College, Hangzhou 310002, China; 3. Guilin Technical College, Guilin 541000, China)

**Abstract:** The mass percentage of different diameters of urban dust grains is as follows: there are no dust grains larger than 20 M; dust grains 20~ 30 M account for 13.54%; 30~ 50 M 23.00%; 50~ 80 M 14.04%; 80~ 100 M 10.40%; 100~ 120 M 5.52%; 120~ 140 M 3.02%; 140~ 160 M 7.90%; 160~ 180 M 1.74%; 180~ 200 M 7.52%; smaller than 200 M 11.98%. Generally the diameters of dust grains in Xi'an area are smaller than one millimeter, and hence they tend to form a repeated cycle of rising and sinking under the action of external forces, and develop into particles that are likely to be breathed by human bodies, thus causing great harm to human health and environment.

**Key words:** urban dust; environmental effect; particles in the atmosphere; composition of grain diameters; pollution.

收稿日期: 2001- 05- 08; 修订日期: 2001- 12- 10

基金项目: 国家 305 科技攻关资助项目(85- 902- 07- 06)

作者简介: 杜佩轩(1955- ), 男, 副教授, 现从事地球化学、地质学、环境科学教学及科研工作。

本文所及“灰尘”(环境行业通用术语)实际指城市垃圾“尘土”。一般人们普遍关注城市大气污染、水污染、噪声污染等对环境的危害,而对灰尘在城市环境灾害发生中的传媒、导向、传递、引发等作用,普遍认识不足、重视不够。然而城市灰尘和大气颗粒物污染有密切的成因演化关系,大量的城市灰尘在风和大气流体的作用下,扬起、沉降、扬起、沉降往复交替循环;含有大量有害重金属的城市灰尘,成为潜在污染源,可以作为追肥或渗入潜水层对土壤和城市水环境、水资源造成直接污染;城市灰尘中的有害物质通过扩散或在适当条件下,可以发生各种转换形成更具危害的二次和三次污染物;如果城市灰尘和某些有害的工业废料混合,可能形成城市环境灾害。因此,城市“灰尘”是二次污染物,是城市环境污染研究中的一个重要研究对象。

通过城市灰尘研究可以了解城市灰尘的物质组成、有害元素含量及其赋存形式、迁移演化机理、与城市各类污染的相关关系;可以进行城市灰尘污染现状评估,发现和圈定城市灰尘污染环境地球化学异常;长期进行城市灰尘污染预测预报和监控,可以测定 1 年、5 年、10 年、50 年、100 年城市灰尘有害元素含量监控值。城市灰尘研究能够及时发现城市环境污染源,监控城市地下水污染、城市地裂缝变化、预防城市各类环境灾害的发生和发展等。城市灰尘粒径组成研究是这一科学研究的基础。

## 1 大气颗粒污染物一般分类

城市灰尘粒径分布特征可直接反映灰尘对人体产生的负影响。城市灰尘循环于距地面十几到几十米的范围内,变成大气可吸入颗粒物,对人体产生直接的危害。根据国内外颗粒物粒径分类标准(林肇信等, 2000; 戎秋涛等, 1990),对大气颗粒污染物进行如下划分:

(1) 粉尘(dust):指分散于大气中的细小固体颗粒物,通常由煤、矿石和其他固体物料在开采、运输、加工等机械处理中形成,而城市大气粉尘则主要是由风扬起的街道地表灰尘所致。城市大气粉尘的粒径一般在 1~200  $\mu\text{m}$  之间。大于 10  $\mu\text{m}$  的大气颗粒污染物,在重力作用下,能在较短时间内沉降到地面,称其为大气降尘。小于 10  $\mu\text{m}$  大气颗粒污染物,能长期飘浮存留于大气中,称其为大气飘尘。它包括 PM<sub>10</sub>(指空气动力学直径小于或等于 10 $\mu\text{m}$  的大气颗粒物)和 PM<sub>2.5</sub>(指空气动力学直径小于或等于 2.5 $\mu\text{m}$  的大气颗粒物)(Pooley and Gibbs, 1996)。可吸入颗粒物(inhalable particles)可以通过呼吸系统进入人体,通常是指 PM<sub>10</sub>;可入肺颗粒(respirable particles)能够进入人体肺泡,通常是指 PM<sub>2.5</sub>。

(2) 烟(fume):指由固体升华、液体蒸发、化学反应等过程生成的蒸气。根据 ISO(质量认证体系)的定义,烟通常指由冶金过程形成的固体粒子的气溶胶。它是由熔融物质挥发后生成的气态物质的气凝物,在生成过程中总是伴有诸如氧化之类的化学反应。烟气溶胶粒子的粒径一般小于 1  $\mu\text{m}$ 。

(3) 黑烟(smoke):指由燃烧产生的可见气溶胶或由燃烧固体或液体时生成的细小粒子在大气中飘浮出现的气溶胶现象。黑烟中含有煤烟尘(soot)和硫酸微粒。黑烟微粒成为大气中水蒸气的凝结核后可以形成烟雾。黑烟可以用黑烟的遮光率、沾污的黑度、捕集沉降物的质量等来定量表示污染程度。黑烟气溶胶粒子的粒径一般为 0.05~1  $\mu\text{m}$ 。

(4) 飞灰(fly ash)和雾(fog):飞灰系指在燃料燃烧后,在烟道气中悬浮呈灰状的细小粒子,多为粉煤燃烧时的排出物。雾是由蒸气状态凝结成液体的微粒,悬浮在大气中所出现的

现象,粒子的粒径一般小于 100  $\mu\text{m}$ ,此时的相对湿度为 100%,直接影响 1 km 以外的大气水平能见度。

(5) 炭黑(carbon black):指工业生产过程中产生的或由天然森林火灾产生的,由粒径在 10~ 20 $\mu\text{m}$  的球粒和复合颗粒组成的碳质物质(据国际理论化学和应用化学联合会)。一般是由化石燃料不完全燃烧所致(Gddberg, 1985),如煤、木材、焦油(沥青)等碳化物,其中含有 50% 的碳。

(6) 总悬浮颗粒物(TSP):系指大气中粒径在 100  $\mu\text{m}$  以下的所有固体颗粒(中华人民共和国大气环境标准,GB3095- 82)。

## 2 城市灰尘粒径研究方法

城市灰尘样品风干后,除去树枝、杂草、石块等杂物,对样品进行连续粒径分级,最粗粒径为 1.00 mm(1 000  $\mu\text{m}$ ),最细粒径为 0.066 mm(66  $\mu\text{m}$ ),还可以再细分下去,但由于技术条件的限制引起的误差会更大,因此,仅分为 11 个粒级。从城市灰尘粒径分布和以上颗粒物的划分标准比较以及城市灰尘随环境的可变化性可以看出,其所属范围广泛,对人体有很大的危害,应引起足够的重视。研究表明,颗粒尺寸是表征颗粒物行为最重要的参数,颗粒物的全部性质都与粒径有关,而某些性质则非常强烈地依赖于颗粒尺寸(商翎等,1997)。

各种环境介质中,微粒粒径分布关系,既可用颗粒数目、体积描述,也可用质量参数描述(张大年,1999;田晖,2001)。在粒径  $r$  和  $r+ dr$  间的微粒数  $dN$  的粒径分布关系为: $dN = f(r) dr$ ,  $f(r)$  是粒数随粒径变化的分布函数。相应地,与粒数  $dN$  相当的体积  $dV$  的粒径分布关系为: $dV = v(r) dN = v(r) f(r) dr$ ,其中  $v(r)$  是粒径为  $r$  的单颗粒物的体积系数。与微粒的体积分布相类似,其质量  $dM$  的粒径分布关系为: $dM = \rho(r) v(r) f(r) dr$ ,其中  $\rho(r)$  为粒径为  $r$  的微粒的密度系数。利用以上关系,可以分别给出微粒数目、体积及质量对粒径的函数关系,并转换成频率分布。对于微粒数目的频率分布,设总粒数为  $N_t$ ,  $N_t = \int_1^2 f(r) dr$ ,则样品微粒随粒径的频率分布是: $dN = 1/N_t f(r) dr$ 。通常,天然物质微粒的粒径分布并非正态分布,一般服从对数正态分布。

## 3 西安市灰尘粒径组成

粒径分布指某一粒子群中不同粒径的粒子所占的比例(叶文虎等,1994)。事实上,城市灰尘所有的物理化学性质都与粒径有关,因此,城市灰尘粒径分布规律是研究的焦点之一。为了查清西安市灰尘粒径组成,1996 年以来我们系统勘查了不同功能区城市灰尘的分布特征,采集了近百件各种城市灰尘样品,其中以研究城市灰尘粒径组成为目的大样(质量大于 2.5 kg) 11 件。本文选择了具有典型代表意义的康复路、劳动路、小寨、火车站、钟楼 5 个地区(分布在西安市东、西、南、北、中,属于商业贸易、交通枢纽、人流物流聚集区域),使用多点(一般大于 10 个小点)组合的方法采样,力求样品具有最大的代表性,位置准确,方法合理。经过阴干晾晒、反复揉搓、清除杂物,使用沈阳不锈钢镀铬筛筛分成 11 个粒级,计算了不同采样点灰尘不同粒径质量平均值(表 1),作为西安市灰尘不同粒径的质量分布标准值。

表 1 西安市不同粒径灰尘质量分数分布统计表

 $w_B/\%$ 

Table 1 Statistics of quality percentage distribution of grains with different diameters in Xi'an City

样品粒径/目	劳动路	小寨	康复路	钟楼	火车站	平均值
> 20(0.920)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20~ 30(0.920~ 0.681 mm)	10.30	13.80	20.90	11.40	11.30	13.54
30~ 50(0.681~ 0.357 mm)	24.00	20.90	27.10	19.50	23.60	23.00
50~ 80(0.357~ 0.196 mm)	18.10	2.70	18.00	16.00	15.40	14.04
80~ 100(0.196~ 0.152 mm)	8.90	19.90	5.70	7.70	9.80	10.40
100~ 120(0.152~ 0.121 mm)	8.20	4.70	3.60	4.20	6.90	5.52
120~ 140(0.121~ 0.101 mm)	2.60	3.20	1.70	2.80	4.80	3.02
140~ 160(0.101~ 0.088 mm)	4.80	13.60	3.20	7.10	10.80	7.90
160~ 180(0.088~ 0.080 mm)	1.90	1.10	1.60	2.20	1.90	1.74
180~ 200(0.080~ 0.066 mm)	2.70	5.30	4.90	16.30	8.40	7.52
< 200(< 0.066 mm)	15.70	12.60	12.00	14.10	5.50	11.98
合计	97.20	97.80	98.70	101.30	98.40	98.68
损失率	2.80	2.20	1.30	1.30	1.60	1.84

## 4 西安市灰尘不同粒径分布规律

### 4.1 不同粒径质量分数分布的不均一性

根据表 1, 质量分数最大的为 30~ 50 目, 占 23.00%; 质量分数最小的为 160~ 180 目, 大于 20 目的样品几乎没有, 而 20~ 100 目约占 60.98%, 是构成城市灰尘的主要部分, 其相对细粒部分占 37.68%。该数据说明西安市不同粒径灰尘质量分数的分布具极不均一性。

### 4.2 不同样品质量分数分布曲线的相似性

根据西安市灰尘不同粒径质量分数分布对比曲线(图 1), 取自西安市各繁华商业区和交通枢纽区不同位置的灰尘样品质量分数分布曲线变化具有一致性。

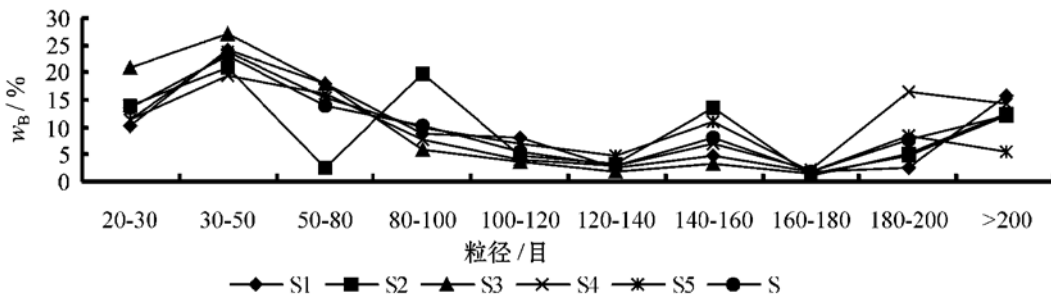


图 1 西安市城市灰尘不同样品质量分数分布图

Fig. 1 Quality percentage distribution of grains with different diameters in Xi'an City

S1—劳动路; S2—小寨; S3—康复路; S4—钟楼; S5—火车站; S—平均值

### 4.3 城市灰尘与大气颗粒污染物

在城市灰尘中, 大气粉尘(< 200  $\mu\text{m}$ ) 污染物占 48.08%, 比例较大, 接近 50%, 其中大气总悬浮颗粒(< 100  $\mu\text{m}$ ) 污染物占 29.14%。因此, 城市灰尘是大气颗粒污染物的主要来源。

## 5 城市灰尘及其环境效应

### 5.1 城市灰尘动力效应

“风”成为城市灰尘污染的重要动力源,它不仅使城市灰尘演变为城市大气颗粒污染物,而且偶而伴随发生城市沙尘暴,造成大面积、高强度、多位置城市灰尘污染,即城市灰尘面型污染。“人流车流”成为城市灰尘污染的又一动力源(杨小波等,2001),使城市交通枢纽区和繁华商业区发生城市灰尘的局部污染,即城市灰尘线型污染。同时卫生清洁中的扬尘和城市建筑中尘土,形成了城市灰尘的点污染。因此,在外动力条件作用下,城市灰尘形成了典型的“点、线、面”污染,而该污染具有持久性、偶然性、潜在性。西安市灰尘粒径基本都小于1 mm,很容易在外动力作用下再次飘起,扬起、沉降、扬起、沉降往复交替循环,成为城市环境中的重要污染物。

### 5.2 城市灰尘地理效应

城市地理条件直接影响城市灰尘的空间传播,平坦地形有利于城市灰尘的扩散稀释,而低洼地形城市灰尘不易扩散,常常在低洼地区滞留,使得城市灰尘的浓度加大、粒度变小、成分复杂、危害更大。西安市属于舒缓波状加低洼地形,西北低、东南高,长年西北风的切入降低了局部高位的大气颗粒物浓度,多数注入并沉降于低洼的负地形中,使低洼地带长年受到城市灰尘的侵害(马乃喜,1999)。同时城市特殊的地理区位作用、林立楼房的阻滞作用,使城市灰尘的增长类似于一个缓慢增生的“粉瘤”,最终演变成可怕的城市环境化学定时炸弹。

### 5.3 城市灰尘物质效应

城市灰尘中的颗粒物本身具有极大的危害,深入研究城市灰尘的物质成分十分重要。据研究,大气颗粒物中的化学成分随粒径的变化差异加大,细粒物质表面积大、吸附力强、成分复杂,其主要化学成分可分成可溶性成分(大多数无机离子)、有机成分、微量元素、碳元素等四大类。应当引起注意的是微量元素,特别是重金属有害元素。近年来,在对西安市城市灰尘的研究中发现,Pb平均含量达到111  $\mu\text{g/g}$ ,Ag为0.5  $\mu\text{g/g}$ ,Hg为0.45  $\mu\text{g/g}$ ,Zn为280  $\mu\text{g/g}$ ,Sb为5.66  $\mu\text{g/g}$ ,分别达到地壳克拉克值的5~10倍,此含量在地质找矿中也极为少见,由此可见城市灰尘中重金属污染已十分严重。

### 5.4 城市灰尘循环效应

城市灰尘为大气颗粒物和含有Pb、Ag、Zn、Hg等重金属的污染物,有害物质的混入不仅使其成为更加有害的大气颗粒污染物,而且城市灰尘本身是一重要的污染源。其可溶性离子和重金属等物质渗入地下,对地下水造成污染;城市灰尘因大气降水排入下水道,溶入城市污水,污水被用作农作物灌溉,对土壤和农作物造成侵害;城市灰尘在下水道和排污区淤积成为淤泥,淤泥作为农作物追肥,进入土壤、农作物、人体循环系统(杨士弘等,1997)。这些不合理的迁移和循环,增强了城市灰尘的循环污染效应。

### 5.5 城市灰尘人体效应

美国进行的流行病学研究表明:人体吸入大气颗粒污染物会引起呼吸道炎症,并导致婴儿早产死亡率增加,并与颗粒物的化学结构无关,不管所研究的颗粒物是来自煤烟型污染,还是来自交通型污染。

西安市灰尘中60%左右的灰尘粒径小于0.25 mm,40%左右在0.25~1 mm之间,这些

颗粒物进入人体的机率很大。较小的颗粒占的比例越大,其危害也越大。对人体健康危害最大的是  $10\ \mu\text{m}$  以下悬浮的颗粒物,粒径为  $10\sim 0.1\ \mu\text{m}$  的颗粒物有 90% 沉积于呼吸道和肺泡上(林年丰, 1991),其中粒径为  $5\sim 0.5\ \mu\text{m}$  的颗粒物沉积率随粒径的减小而逐渐减少。 $0.5\ \mu\text{m}$  颗粒物的沉积率为 20%~30%,粒径为  $2\sim 4\ \mu\text{m}$  的颗粒物在肺泡内沉积率最大。沉积在肺部的污染物如被溶解,就会直接侵入血液,造成血液中毒;未被溶解的污染物有可能被细胞所吸收使细胞遭受破坏,侵入肺组织或淋巴结可引起尘肺。细颗粒物的比表面积大,所以它们吸附的重金属和有毒有害物质多,同时也使这些有毒物质在肺部更容易溶解。有害化学成分,如多环芳烃、重金属的存在和它们的浓度也决定了其毒性的大小。另外,人们在细颗粒物中暴露的时间长短对人体的健康也有重要影响。

**致 谢:** 研究过程中,1996、1997、1998、1999、2000、2001 届本科毕业生吕华华、高利莘、王晓芳、琼拉、高玉娟、李亚军、韩连明、罗宪婴、王尔国、丁建海等同学做了大量工作,在此表示感谢。

## References

- Lin Nianfeng. 1991. Environmental Geochemistry of Medicine[M]. Jilin Science Press, 74~84 (in Chinese).
- Lin Zhaoxin, Liu Tianqi, *et al.* 2000. Introduction of Environmental Protection[M]. Beijing: High School Education Press, 76~80 (in Chinese).
- Ma Naixi. 1999. Study of Ecological Environment Construction in Xi'an City[M]. Xi'an: Xi'an Map Press, 10~20 (in Chinese).
- Rong Qitao and Wong Huanxin. 1990. Environmental Geochemistry[M]. Beijing: Geology Press, 145~153 (in Chinese).
- Shang Ling. 1997. Ecological Geochemistry and Its Application of the Element[M]. Shenyang: Liaoning College Press, 154~277 (in Chinese).
- Tian Hui. 2001. Study of environmental geochemistry and conformation of street dust microelement in Xi'an City[D]. Xi'an: Chang'an College, 35~52 (in Chinese with English abstract).
- Yang Shihong. 1997. Urban Ecological Environment[M]. Beijing: Science Press, 17~49 (in Chinese).
- Yang Xiaobo, Wu Qingshu, *et al.* 2001. Urban Ecology[M]. Beijing: Science Press, 95~174 (in Chinese).
- Ye Wenhui, Luan Shengji, *et al.* 1994. Evaluation of Environmental Quality[M]. Beijing: High School Education Press, 121~158 (in Chinese).
- Zhang Danian. 1999. Study of Urban Air Grain That Can Be Breathed[M]. Shanghai: Shanghai Environment Science, 25~50 (in Chinese).

## 附中文参考文献

- 林年丰. 1991. 医学环境地球化学[M]. 吉林科学出版社, 74~84.
- 林肇信, 刘天齐, 等. 2000. 环境保护概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 76~80.
- 马乃喜. 1999. 西安生态环境建设研究[M]. 西安: 西安地图出版社, 10~20.
- 戎秋涛, 翁焕新. 1990. 环境地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 145~153.
- 商 翱. 1997. 元素生态地球化学及其应用[M]. 沈阳: 辽宁大学出版社, 154~277.
- 田 晖. 2001. 西安市街道灰尘微量元素环境地球化学及赋存状态研究[D]. 西安: 长安大学, 35~38.
- 杨士弘. 1997. 城市生态环境学[M]. 北京: 科学出版社, 17~49.
- 杨小波, 吴庆书, 等. 2001. 城市生态学[M]. 北京: 科学出版社, 95~174.
- 叶文虎, 栾胜基, 等. 1994. 环境质量评价学[M]. 北京: 高等教育出版社, 121~158.
- 张大年. 1999. 城市大气可吸入颗粒物的研究[M]. 上海: 上海环境科学出版社, 25~50.