

文章编号: 1009-6094(2012)02-0124-06

我国城市街道灰尘中 重金属的成分分析*

雷蕾¹, 陈玉成², 李章平³, 黎才发⁴

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 重庆市农业
资源与环境重点实验室, 重庆 400716; 3 西南大学图书馆,
重庆 400716; 4 常宁市人民政府, 湖南常宁 421500)

摘要: 收集了国内 39 个大中城市的 3 720 个城市街道灰尘重金属数据, 通过描述性分析、评价分析、聚类分析和功能分异分析, 初步确定了我国大中城市街道灰尘中重金属的成分及其污染程度。结果表明, 我国城市街道灰尘中 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 的平均赋存量分别为 17.82 mg/kg、3.67 mg/kg、152.85 mg/kg、143.58 mg/kg、0.66 mg/kg、46.74 mg/kg、220.88 mg/kg、602.30 mg/kg, 且变化幅度较大, 呈偏态分布。除 As、Cr、Hg 外, 其余重金属均低于国外相应平均值。富集系数、Nemerow 指数、地质累积指数和潜在生态危害指数评价表明, 污染最为严重的重金属是 Cd、Hg、Pb。39 个城市中, 铜陵、广州、株洲、湘潭、惠州、韶关属于 Cd-Hg-Pb-Zn-Cu 极严重污染型, 南京、上海、北京、芜湖、沈阳、香港、石家庄、杭州、合肥、乌鲁木齐等 15 个城市属于 Cd 极严重污染, 成都、金华、镇江属于 Pb-Zn-Cu 强度污染型, 其余 15 个城市其他重金属为一般中度污染型。南方片区城市街道灰尘重金属污染整体比北方片区严重, 中小城市的 Cd、Hg、Cu、Zn 等污染比特大城市严重, Pb、Cr 则相反。城市街道灰尘重金属污染按功能区从高到低为工业区、居民区、商业区、风景区。

关键词: 环境学; 城市街道灰尘; 重金属; 成分分析

中图分类号: X53 **文献标识码:** A

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6094.2012.02.029

0 引言

地表灰尘是城市环境重要的污染源之一, 除灰尘颗粒物本身外, 其富集携带的重金属更增强了灰尘本身的危害性^[1]。同时, 在降水、风等外动力条件下, 灰尘可作为次污染源对城市水、气等环境要素产生影响。由于重金属元素的难降解性和持久性, 城市街道灰尘的重金属污染更应得到广泛关注。

国外城市灰尘的研究始于 20 世纪 70 年代中期; 我国关于城市灰尘的研究起步较晚, 最近十几年才开展相关研究, 但发展较为迅速。国内已有北京、上海、南京、太原、杭州、重庆、成都、长沙等近 40 个大中城市相继开展了城市街道灰尘重金属的调查研究。本文在对这些文献分析的基础上, 探讨我国城市街道灰尘重金属成分及其污染特征, 确定主要的污染重金属, 以期对全国城市街道灰尘重金属污染水平有一个全貌的认识, 为健康城市生态系统的建设提供决策性依据。

1 材料与方法

1.1 数据采集

从 1995—2011 年发表的文献中, 收集国内主要大中城市

灰尘重金属的原始数据。城市及其样本为: 上海 939 个^[2-6], 石家庄 323 个^[7-8], 长沙 297 个^[9-10], 金华 201 个^[11-12], 韶关 192 个^[13], 成都 151 个^[14], 西安 121 个^[15-16], 顺德 120 个^[17], 芜湖 97 个^[18], 贵州 96 个^[19], 郑州 89 个^[20], 南京 75 个^[21-22], 阜新 75 个^[23], 焦作 72 个^[24], 北京 70 个^[25-28], 镇江 62 个^[29], 沈阳 61 个^[30], 香港 45 个^[31], 乌鲁木齐 45^[32], 九寨沟 44 个^[33], 西固 44 个^[34], 咸阳 42 个^[35], 兰州 41 个^[36-37], 宝鸡 38 个^[38], 保定 36 个^[39], 太原 36 个^[40], 重庆 36 个^[41], 湘潭 32 个^[10], 株洲 28 个^[10], 泉州 28 个^[42], 武汉 27 个^[43], 惠州 27 个^[44], 杭州 25 个^[45], 邯郸 25 个^[46], 合肥 21 个^[47], 淄博 19 个^[48], 临汾 18 个^[49], 铜陵 17 个^[50], 广州 12 个^[51]。获得有效样本 2 860 个。

重金属元素选取为 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn, 遴选城区内街道表面灰尘数据。

1.2 变量赋值

对于某一城市, 从不同文献中收集的不同样本量的原始数据, 按加权平均的方法, 得到该城市重金属元素质量比的最终代表值。

1.3 数学分析

1.3.1 描述性分析

分析各城市街道灰尘重金属质量比的平均值、全距、标准差、变异系数、偏度系数、峰态系数, 在此基础上检验分布形态^[52]。

1.3.2 评价分析

根据重金属元素背景值^[53-54], 计算各城市、各元素的富集系数(污染指数), 然后按照 Nemerow 方法计算各城市、各元素的综合污染指数。同时计算地质累积指数和潜在生态危害指数。

Nemerow 指数的计算公式为

$$I_i = \frac{C_i}{B_i} \quad (1)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \right)^2 + \left(\frac{C_i}{B_i} \right)_{\max}^2 \right]} \quad (2)$$

式中 I_i 为街道地表物中第 i 种污染物的富集系数, 即单项污染指数; C_i 、 B_i 分别为第 i 种重金属元素的平均浓度和相应的地球化学背景浓度(以土壤背景值代替); $(C_i/B_i)_{\max}$ 为各单项污染指数的最大值。

地质累积指数的计算公式为^[55]

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_i}{1.5 B_i} \quad (3)$$

单个重金属的潜在生态危害系数 E_i 为^[56]

$$E_i = T_i \frac{C_i}{C_0} \quad (4)$$

式中 C_i 、 C_0 分别为重金属的平均浓度和参比值; T_i 为重金属的毒性系数, Hakanson 提出 Hg、Cd、As、Pb、Cu、Cr、Ni、Zn 的毒性系数分别为 40、30、10、5、5、2、2、1^[57]。

多个重金属的潜在生态危害指数 RI 为^[56]

$$RI = \sum_{i=1}^n E_i \quad (5)$$

1.3.3 聚类分析

以欧氏距离为统计量, 采用离差平方和方法, 对各城市进行聚类。对南方片区和北方片区、特大城市与中小城市进行

* 收稿日期: 2011-11-08

作者简介: 雷蕾, 硕士研究生, 从事环境污染控制研究; 陈玉成(通信作者), 教授, 从事环境污染控制工程研究, chenycheng@swu.edu.cn。

基金项目: 西南大学博士基金项目(100112)

分类,并进行独立样品 *t* 检验^[52]。

1.3.4 功能分异分析

对已进行功能区调查的成都、重庆、上海、杭州、金华、韶关、乌鲁木齐 6 个典型城市的数据进行统计分析,分别计算工业区、商业区(含交通要道)、居民区(含文教区)、风景区(含城市公园)的富集系数,然后进行归类和方差分析^[52],确定城市功能区的重金属污染特征差异。

2 结果与讨论

2.1 我国城市街道灰尘重金属赋存量的描述性统计分析

考虑到篇幅,略去从文献中收集到的重金属质量比原始值,将其加工处理后,列出其基本统计参数(表 1)。我国城市街道灰尘 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 的平均质量比分别为 17.82 mg/kg、3.67 mg/kg、152.85 mg/kg、143.58 mg/kg、0.66 mg/kg、46.74 mg/kg、220.88 mg/kg、602.30 mg/kg。其中 Cd 变异系数大于 100%,表明国内不同城市地表灰尘中 Cd 的质量比变化受人为源影响较大。

与国外资料相比^[58-61],我国城市街道灰尘中 Cd、Cu、Ni、Pb、Zn 的质量比低于国外平均值(9.8 mg/kg、147.3 mg/kg、73.5 mg/kg、505.3 mg/kg、818.7 mg/kg);As、Cr、Hg 质量比均高于国外相应平均值,分别为国外的 4.41、2.56、2.77 倍,表明我国城市灰尘重金属污染情况不容乐观。

从分布形态来看,经过偏度系数与峰态系数的联合检验,所有重金属元素的质量比均不符合正态分布。所有金属呈现右偏,即向右侧拖尾,数据主要分布在低值范围内;就峰态而言,Cu 属于尖峰态,数据分布域较窄,其余重金属均为缓峰态,数据分布域较宽。

2.2 我国城市街道灰尘重金属污染评价

分别计算 39 个城市街道灰尘重金属的 Nemerrow 综合污染指数(表 2),参考分级标准可得,兰州、西安达到中度污染水平(综合指数为 2~3),北京、镇江、郑州、金华、成都、乌鲁木齐、九寨沟、咸阳、邯郸、临汾为严重污染水平(综合指数为 3~10),而铜陵、韶关、广州、株洲、湘潭等 27 个城市已达到极重污染水平(综合指数>10),其中铜陵、韶关、广州的灰尘重金属污染最为严重,综合污染指数超过 100。

39 个城市的平均富集系数为 16.42,而 Nemerrow 综合污染指数为 58.16,均达到极重污染水平。

不同重金属的污染程度不一样(表 3)。按照 Nemerrow 指数评价,Cd、Pb、Cu、Hg、Zn、As 的 Nemerrow 污染综合指数超过

10,已达到极重污染水平。其中以 Cd 的污染最为严重,污染综合指数达到 137.03;其次为 Cr,达到严重污染水平;Ni 为中度污染水平。

按照 Forstner 等^[62]对地质累积指数的分级,Cd、Hg、Pb、Zn、Cu、Cr、As 的指数为正数,显示出污染状态,其中 Cd、Hg 为强度污染,Pb、Zn、Cu 为中度污染,Cr、As 为中度污染;而 Ni 的指数为负数,没有显示出污染状态(表 3)。

表 2 不同城市的 Nemerrow 综合污染指数

Table 2 Nemerrow index of different cities

城市	指数	分级	城市	指数	分级	城市	指数	分级
铜陵	138.23	极重	太原	35.40	极重	合肥	11.73	极重
韶关	123.85	极重	香港	33.35	极重	北京	7.57	严重
广州	100.48	极重	石家庄	32.89	极重	镇江	7.49	严重
株洲	92.95	极重	宝鸡	31.72	极重	郑州	7.48	严重
湘潭	92.41	极重	阜新	28.44	极重	金华	7.10	严重
惠州	73.91	极重	顺德	27.45	极重	成都	6.52	严重
贵阳	52.37	极重	上海	26.39	极重	乌鲁木齐	5.76	严重
长沙	46.27	极重	西固	25.45	极重	九寨沟	5.28	严重
南京	44.60	极重	保定	25.43	极重	咸阳	5.01	严重
重庆	43.74	极重	芜湖	24.82	极重	邯郸	4.96	严重
淄博	38.83	极重	武汉	23.63	极重	临汾	4.37	严重
沈阳	38.43	极重	泉州	20.25	极重	兰州	2.72	中度
焦作	38.25	极重	杭州	15.56	极重	西安	2.01	中度

表 3 不同重金属的评价指数

Table 3 Assessment index of different heavy metals

	Nemerrow 指数评价		地质累积指数评价		潜在生态危害指数评价	
	指数	分级	指数	分级	指数	分级
As	18.87	极重	0.03	轻度	15.36	轻度
Cd	137.03	极重	4.92	强度	1 359.71	强度
Cr	4.62	严重	0.61	轻度	4.58	轻度
Cu	60.96	极重	1.91	中度	28.15	轻度
Hg	45.75	极重	4.15	强度	1 063.89	强度
Ni	2.33	中度	-0.12	清洁	2.77	轻度
Pb	91.81	极重	2.75	中度	50.43	中度
Zn	38.22	极重	2.53	中度	8.65	轻度

表 1 我国城市街道灰尘重金属质量比的基本统计参数

Table 1 Statistics parameters of heavy metals concentration in Chinese city street dusts

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
样本量	1 015	2 213	1 559	2 349	1 026	705	2 474	2 135
最小值/(mg·kg ⁻¹)	3.51	0.08	52.20	22.66	0.03	22.11	21.90	69.60
最大值/(mg·kg ⁻¹)	48.80	15.42	420.00	604.20	1.60	109.00	901.00	1 831.60
全距/(mg·kg ⁻¹)	45.29	15.34	367.80	581.54	1.58	86.89	879.10	1 762.00
中位值/(mg·kg ⁻¹)	14.26	2.64	122.41	98.00	0.42	37.60	141.52	437.55
算数平均值/(mg·kg ⁻¹)	17.82	3.67	152.85	143.58	0.66	46.74	220.88	602.30
标准差/(mg·kg ⁻¹)	12.83	4.13	98.26	135.41	0.56	25.12	215.29	489.35
变异系数/%	71.99	112.47	64.29	94.31	84.67	53.73	97.47	81.25
峰态系数	1.53	1.98	1.42	5.68	-1.63	1.01	2.54	0.71
偏度系数	1.29	1.62	1.51	2.33	0.41	1.45	1.77	1.35

我国城市街道灰尘重金属潜在生态危害指数 E_i 从大到小依次为 Cd、Hg、Pb、Cu、As、Zn、Cr、Ni。根据 E_i 大小,参照 Lars Hakanson 分级方法^[56],达到强度危害的重金属是 Cd、Hg、Pb 为中度危害,其余重金属为轻度危害(表 3)。我国城市街道灰尘重金属综合潜在生态危害指数 RI 为 2543.67,参照 Lars Hakanson 分级方法^[56],达到严重危害。

综合以上几种评价方法,我国城市街道灰尘重金属污染状况不容乐观,大部分城市已达严重污染,主要重金属是 Cd、Hg、Pb。

2.3 我国城市街道灰尘重金属的聚类分析

根据各城市、各重金属的富集系数,用 SPSS 11.0 统计软件进行聚类,可以将 39 个城市分为 4 类,即铜陵、广州、株洲、湘潭、惠州、韶关属于 Cd-Hg-Pb-Zn-Cu 极严重污染型,南京、上海、北京、芜湖、沈阳、香港、石家庄、杭州、合肥、乌鲁木齐等 15 个城市属于 Cd 极严重污染,成都、金华、镇江属于 Pb-Zn-Cu 强度污染型,其余 15 个城市的其他重金属为一般中度污染型。

谢宏芳等^[63]研究认为,Cd 主要起源于工业活动,如冶炼、电镀、电池、金属加工等;Hg 则是煤炭燃烧的标志元素,同时荧光灯、汞灯等气体放电灯的广泛使用,也会使环境中 Hg 的含量远远超过背景值;元素组合 Pb-Zn-Cu 主要来源于交通污染。铜陵、广州、株洲、湘潭、惠州、韶关属于工业重点城市,其中铜陵^[64]、株洲以有色冶金为主,因此这些城市灰尘重金属污染最为严重。

以长江为大致分界线,分别统计 20 个北方片区城市与 19 个南方片区城市的街道灰尘重金属平均富集系数(图 1),南方片区(13.09)明显高于北方片区(4.46)。经过独立样本 t 检验,南方片区的所有重金属污染程度均明显高于北方($p < 0.05$)。由于城市街道灰尘受工业生产、交通运输、城市建设、生活垃圾等频繁人类活动的影响,通常存在重金属积累现象,质量比均高于土壤环境背景值,而在此次数据收集范围内,南方城市总体上较北方发达,人类活动密度更大,因此污染更为严重。

比较 18 个特大城市(省会城市)与 21 个中小城市的街道灰尘重金属平均富集系数(图 2),发现中小城市(9.84)要高于特大城市(7.29)。尽管经过独立样本 t 检验,特大城市与中小城市之间没有整体上的明显差异,但仔细分析可知,污染比较严重的重金属元素如 Cd、Hg、Cu、Zn 都是中小城市高于特大城市。原因可能是,Cd、Hg、Cu、Zn 属于燃煤和工业排放,中小城市清洁能源使用率低,向环境排放多,污染治理水平也低(废弃电池含 Cd、Hg,中小城市处理不到位);而 Pb、Cr 主要来源于交通排放,其质量比与交通流量与人口密度呈正相关,因此特大城市街道灰尘中的 Pb、Cr 质量比要高于中小城市。

2.4 我国城市街道灰尘重金属污染的功能分异

对成都、重庆、上海、杭州、金华、韶关、乌鲁木齐的街道灰尘重金属进行进一步功能区分析(表 4),以城市的平均背景值为依据,计算各功能区的富集系数。

其中,Cd、Cr、Pb、Zn 的变异系数均大于 100%,说明这些金属在不同城市城区街道地表物中的质量比差异大,人类活动的干扰性越强污染程度可能越严重。对富集系数进行方差分析发现,各元素的富集系数从大到小为 Cd、Zn、Pb、Cr、Cu、Hg、Ni、As,各功能区从大到小顺序为工业区(20.93)、居民区

(8.55)、商业区(7.51)、风景区(6.37),差异均达到显著水平。

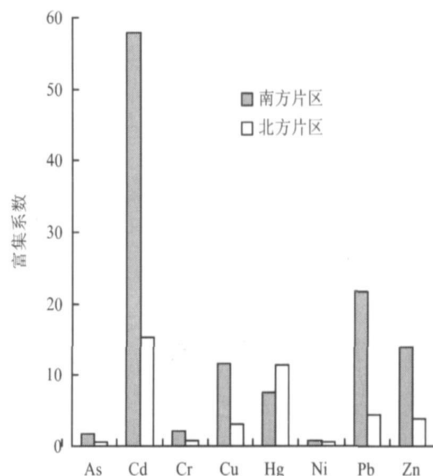


图1 我国南北城市之间灰尘重金属的比较

Fig.1 Difference between northern and southern

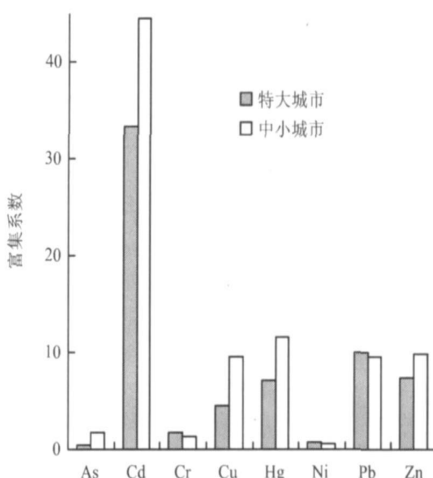


图2 我国大小城市之间灰尘重金属的比较

Fig.2 Difference between bigalopolis and town

3 结论

1)我国城市街道灰尘 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 的平均赋存量分别为 17.82 mg/kg、3.67 mg/kg、152.85 mg/kg、143.58 mg/kg、0.66 mg/kg、46.74 mg/kg、220.88 mg/kg、602.30 mg/kg,且变化幅度较大,均呈偏态分布,其中 As、Cr、Hg 分别为国外的 4.41、2.56、2.77 倍,表明我国城市灰尘重金属污染较为严重。

2)我国城市街道灰尘重金属污染最严重的城市是铜陵、韶关、广州,主要污染元素是 Cd、Hg、Pb。

3)39 个城市街道灰尘重金属中,铜陵、广州、株洲、湘潭、惠州、韶关属于 Cd-Hg-Pb-Zn-Cu 极严重污染型,南京、上海、北京、芜湖、沈阳、香港、石家庄、杭州、合肥、乌鲁木齐等 15 个城市属于 Cd 极严重污染,成都、金华、镇江属于 Pb-Zn-Cu 强度污染型,其余 15 个城市的其他重金属为一般中度污染型。

4)南方片区城市街道灰尘重金属污染整体比北方片区严重;中小城市的 Cd、Hg、Cu、Zn 等污染比特大城市严重,Pb、Cr 则相反。

表4 不同功能区城市街道灰尘重金属的平均质量比与标准差

mg·kg⁻¹

Table 4 Average content and standard difference of heavy metals in different functional area

	工业区(59)	商业区(39)	居民区(65)	风景区(41)	平均背景值	富集系数
As	14.29±24.91	4.17±3.10	6.95±2.87	6.72±3.48	9.19	0.87 ^d
Cd	14.89±24.91	2.89±3.10	2.59±2.87	2.83±3.48	0.12	48.33 ^a
Cr	406.55±485.75	230.99±293.42	329.63±441.40	220.92±277.52	60.91	4.88 ^e
Cu	166.83±90.17	113.26±43.63	77.48±44.16	51.49±29.65	23.78	4.30 ^e
Hg	0.46±0.27	0.39±0.45	0.23±0.17	0.17±0.16	0.15	2.07 ^d
Ni	69.73±40.49	41.62±22.32	42.97±21.04	39.06±31.48	24.67	1.96 ^d
Pb	486.44±808.32	301.57±441.81	603.53±1272.28	232.53±392.86	26.47	15.43 ^b
Zn	1584.54±2667.68	1198.41±2140.06	1272.28±2452.35	983.63±1736.76	68.22	18.47 ^b

注:表中数据为平均值±标准差;括号中数据为样本量;不同金属间无共同字母者表示经统计检验富集系数差异达到显著性($p < 0.05$)。

5)我国城市街道灰尘重金属污染按功能区从高到低为工业区、居民区、商业区、风景区。

References(参考文献):

- [1] DU Peixuan(杜佩轩), TIAN Hui(田晖), HAN Yongming(韩永明). Concept, research content and method of urban dust[J]. *Geology of Shaanxi*(陕西地质), 2004, 22(1): 73-79.
- [2] LI Haiwen(李海雯), CHEN Zhenlou(陈振楼), WANG Jun(王军), et al. Research of spatial variability of heavy metal pollution of dust in Shanghai urban area based on the GIS[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*(环境科学学报), 2007, 27(5): 805-808.
- [3] ZHANG Ju(张菊), CHEN Zhenlou(陈振楼), XU Shiyuan(许世远), et al. Lead pollution and its assessment in urban street dust of Shanghai[J]. *Environmental Science*(环境科学), 2006, 27(3): 519-523.
- [4] LIN Xiao(林啸), LIU Min(刘敏), HOU Lijun(侯立军), et al. Soil and surface dust heavy metal pollution state and assessment in Shanghai City[J]. *China Environmental Science*(中国环境科学), 2007, 27(5): 613-618.
- [5] MENG Fei(孟飞), LIU Min(刘敏), HOU Lijun(侯立军), et al. Heavy metals in urban dusts and soils of Shanghai and its pollution assessment[J]. *Journal of East China Normal University*(华东师范大学学报), 2007(4): 56-63.
- [6] SHI Guitao(史贵涛), CHEN Zhenlou(陈振楼), WANG Li(王利), et al. Heavy metal pollution and the ecological risk in dust of Shanghai urban parks[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*(城市环境与城市生态), 2006, 19(4): 40-43.
- [7] ZHAO Zhou(赵宙). *Research on heavy metal pollution in the of street dusts in Shijiazhuang city*(石家庄市街道积尘重金属污染研究)[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2008.
- [8] CUI Xingtao(崔邢涛), LUAN Wenlou(栾文楼), NIU Yanbin(牛彦斌), et al. Assessment of heavy metal pollution and potential ecological hazard in atmospheric dust near ground of Shijiazhuang city[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*(城市环境与城市生态), 2011, 24(1): 27-30.
- [9] GUO Lin(郭琳), ZENG Guangming(曾光明), CHENG Yunlin(程运林). Identity analysis of the surface sediment on the urban streets[J]. *Environmental Monitoring in China*(中国环境监测), 2003, 19(6): 40-42.
- [10] LONG Yongzhen(龙永珍), ZOU Haiyan(邹海洋), DAI Tegen(戴塔根). Heavy metal pollution in dust of Changzhan city region[J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*(中南大学学报:自然科学版), 2010, 41(4): 1633-1638.
- [11] LI Quanfeng(李凤全), PAN Hongmei(潘虹梅), YE Wei(叶玮), et al. Specificity of the heavy metal pollution and the ecological hazard in urban dust[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*(安徽农业科学), 2008, 36(6): 2495-2498.
- [12] LI Fengquan(李凤全), YE Wei(叶玮), CHENG Yan(程雁). Spatial variation characteristics of urban dust heavy metal pollution based on geostatistics[J]. *Journal of Zhejiang Normal University: Natural Sciences*(浙江师范大学学报:自然科学版), 2008, 31(4): 367-372.
- [13] LUO Yinghua(罗莹华), DAI Tegen(戴塔根), LIANG Kai(梁凯). Study on distribution of the atmospheric dust-fall and its metal element contents in Shaoguan city, Guangdong province[J]. *Geological Survey and Research*(地质调查与研究), 2006, 29(1): 64-67.
- [14] SHI Weiguang(施为光). Heavy metal from street surface sediment in Chengdu city[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*(城市环境与城市生态), 1995, 8(3): 25-29.
- [15] CAO Bin(曹斌), XIA Jianxin(夏建新). Analysis on heavy metal pollution features in urban area[J]. *Journal of the Central University for Nationalities: Natural Sciences Edition*(中央民族大学学报:自然科学版), 2008, 17(8): 40-44.
- [16] HUANG Li(黄丽), LU Xinwei(卢新卫), ZHAI Meng(翟萌), et al. Heavy metal pollution and risk assessment in dust of Xi an City Parks[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*(城市环境与城市生态), 2010, 23(1): 17-20.
- [17] WU Guoping(吴国平), WANG Fengji(王丰基), LIANG Zhifeng(梁志锋), et al. Heavy metals contamination in atmospheric dust of Chongqing city [J]. *Environmental Protection*(环境监测), 2009, 414(28): 46-48.
- [18] FANG Fengman(方凤满), JIANG Bingyan(蒋炳言), WANG Haidong(王海东), et al. Particle size distribution and health risk assessment of heavy metals in surface dust of Wuhu urban area[J]. *Geographical Research*(地理研究), 2010, 29(7): 1194-1120.
- [19] YOU Zhixiao(游志校), YANG Cheng(杨成), LIU Xin(刘鑫). Lead pollution and it's assessment in urban street dust of Guiyang city [J]. *Urban Environment & Urban Ecology*(城市环境与城市生态), 2010, 23(4): 33-40.
- [20] XU Xin(徐欣). *Distribution and concentrations of heavy metals in surface dust in different-scale-cities*(不同等级城镇居民点地面灰尘重金属含量与分布)[D]. Kaifeng: Henan University, 2010.
- [21] PANG Bo(庞博), ZHANG Yinlong(张银龙), WANG Dan(王丹). The characteristic of particulate size and heavy metal in foliar dust and surface dust from different urban areas[J]. *Ecology and Environmental Sciences*(生态环境学报), 2009, 18(4): 1312-1317.
- [22] NI Liujian(倪刘建), ZHANG Ganlin(张甘霖), RUAN Xinling(阮

- 心玲), et al. The flux and pollution character of dust fall in different functional zones of Nanjing[J]. *China Environmental Science*(中国环境科学), 2007, 27(1): 2-6.
- [23] ZHANG Wei(张伟), JIN Manman(金漫漫). Contents of heavy metals in dustfall of Fuxin city[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*(安徽农学通报), 2009, 15(3): 60-61.
- [24] ZOU Haiming(邹海明), LI Fenru(李粉茹), GUAN Nan(官楠), et al. Effects of TSP and dustfall on heavy metal accumulation in soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*(中国农学通报), 2006, 22(5): 393-395.
- [25] XIANG Li(向丽), LI Yingxia(李迎霞), SHI Jianghong(史江红), et al. Investigation of heavy metal and polycyclic aromatic hydrocarbons contamination in street dusts in urban Beijing[J]. *Environmental Science*(环境科学), 2010, 32(1): 159-166.
- [26] LI Xiaoyan(李晓燕), CHEN Tongbin(陈同斌), LEI Mei(雷梅), et al. Concentrations and risk of heavy metals in surface soil and dust in urban squares and school campus in Beijing[J]. *Geographical Research*(地理研究), 2010, 29(6): 989-995.
- [27] HAN Dongyu(韩东昱), CEN Kuang(岑况), GONG Qingjie(龚庆杰). Cu, Pb, Zn Contents in road dusts in parks and their pollution assessment in Beijing[J]. *Research of Environmental Sciences*(环境科学研究), 2004, 17(2): 10-21.
- [28] LIU Chunhua(刘春华), CEN Kuang(岑况), YU Yang(于扬). Study on the occurrence states of heavy metals in street dusts of Beijing city and their environmental effects[J]. *Rock and Mineral Analysis*(岩石测试), 2011, 30(2): 205-209.
- [29] ZHU Wei(朱伟), BIAN Bo(边博), RUAN Aidong(阮爱东). Analysis of source of heavy metal contamination in road-deposited sediment from Zhenjiang[J]. *Environmental Science*(环境科学), 2007, 28(7): 1584-1588.
- [30] LI Chong(李崇), LI Fayun(李法云), ZHANG Ying(张营), et al. Spatial distribution characteristics of heavy metals in street dust in Shenyang city[J]. *Ecology and Environmental Sciences*(生态环境学报), 2008, 17(2): 560-564.
- [31] LI X D, POON C S, LIU P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong[J]. *Applied Geochemistry*, 2001(16): 1361-1368.
- [32] LIU Yuyan(刘玉燕), LIU Haofeng(刘浩峰), LIU Min(刘敏). Concentrations and health risk assessment of urban surface dust in Urumqi[J]. *Arid Zone Research*(干旱区研究), 2009, 26(5): 750-754.
- [33] XU Yuhui(许宇慧), TANG Ya(唐亚), ZHANG Chaosheng(张朝生), et al. Contamination assessment of heavy metals in road dusts and soils of the Jiuzhaigou national scenic area in Sichuan, China[J]. *Journal of Mountain Science*(山地学报), 2010, 28(3): 288-292.
- [34] QIN Song(秦松). Distribution, source and quality assessment of heavy metals in urban street dust of Xigu region(西固城区街道灰尘重金属含量的分布、来源及质量评价)[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.
- [35] SHI Xingmin(史兴民), WANG Jianhui(王建辉). Street surface dust heavy metal pollution state and assessment in Xianyang City[J]. *Progress in Geography*(地理科学进展), 2009, 28(3): 435-440.
- [36] YANG Sucai(杨苏才), ZENG Jingjing(曾静静), WANG Shengli(王胜利). Assessment on heavy metals (Cu, Zn, Pb) pollution and analysis on the causation of the pollution in Lanzhou[J]. *Journal of Arid Land Resources & Environment*(干旱区资源与环境), 2004, 18(8): 28-31.
- [37] YANG Liping(杨丽萍), CHEN Fahu(陈发虎), ZHANG Chengjun(张成君). Chemical characteristics of atmospheric dust in Lanzhou[J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Science Edition*(兰州大学学报:自然科学版), 2002, 38(5): 115-120.
- [38] WANG Lijun(王利军), LU Xinwei(卢新卫), LEI Kai(雷凯). The contents of arsenic and mercury and environmental risk assessment of street dusts in Baoji[J]. *Research of Environmental Sciences*(环境科学研究), 2007, 20(5): 35-38.
- [39] ZHENG Xiaokang(郑小康), LI Chunhui(李春晖), HUANG Guohe(黄国和), et al. Pollutant distribution in urban dusts of Baoding and health risk assessment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*(环境科学学报), 2009, 29(10): 2195-2202.
- [40] ZHANG Naiming(张乃明). Effects of air settlement on heavy metal accumulation in soil[J]. *Soil and Environmental Sciences*(土壤与环境), 2001, 10(2): 91-93.
- [41] LI Zhangping(李章平), CHEN Yucheng(陈玉成), YANG Xuechun(杨学春), et al. Heavy metals contamination of street dusts in core zone of Chongqing Municipality[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*(水土保持学报), 2006, 20(1): 104-116.
- [42] LIU Haiting(刘海婷), YU Ruilian(于瑞莲), HU Gongren(胡恭任). Assessment of pollution by heavy metal street dust in the Quanzhou city[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*(矿物岩石), 2010, 30(3): 116-120.
- [43] HU Ruichun(胡瑞春), QIU Ling(邱玲). Study of the mode of occurrence of heavy metal in the surface soil, foliar dust of Wuhan city[J]. *Resources Environment & Engineering*(资源环境与工程), 2008(22): 32-35.
- [44] QIU Yuan(邱媛), GUAN Dongsheng(管东生). Particulate size and heavy metal accumulation in foliar dust from urban vegetation in rapidly developing cities[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*(环境科学学报), 2007, 27(12): 2080-2086.
- [45] ZHANG Huimin(张慧敏), ZHANG Mingkui(章明奎). The concentration and availability of pollutants in road dust from different functional zones of Hangzhou city[J]. *Guangdong Trace Elements Science*(广东微量元素科学), 2007, 14(12): 14-18.
- [46] ZHANG Hongjian(张洪建), DU Zhenchuan(杜振川), LI Zengxue(李增学). Hazard compounds and elements of dusts from the Handan city[J]. *Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology*(河北建筑技术学院学报), 2002, 19(1): 1-4.
- [47] XIE Yujing(谢玉静), ZHU Jiye(朱继业), WANG Lachun(王腊春). Characteristic of grain size and pollution source apportionment of atmospheric dust of Hefei[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*(城市环境与城市生态), 2008, 21(1): 30-33.
- [48] ZHANG Li(张丽). Geochemical study of heavy metal pollution in the soils and road dust of Zibo city(淄博城区土壤及街道灰尘重金属地球化学研究)[D]. Zibo: Shandong University of Science and Technology, 2006.
- [49] CHENG Wenliang(程文亮), WANG Yonggang(王永刚), JIN Xia(靳霞), et al. The concentration and risk assessment of heavy metals in dustfall generated by Linfen iron and steel works[J]. *Journal of Shanxi Normal University: Natural Science Edition*(山西师范大学学报:自然科学版), 2010, 24(4): 109-113.
- [50] LI Xiangling(李湘凌), ZHOU Taofa(周涛发), YIN Hanqin(殷汉琴), et al. Sources analysis of dustfall in Tongling city based on hierarchical cluster analysis and principal component analysis methods[J].

- Geological Review*(地质评论), 2010, 56(2): 283-288.
- [51] QIU Yuan(邱媛), GUAN Dongsheng(管东生). Particulate size and heavy accumulation in foliar dust from urban vegetation in rapidly developing cities[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*(环境科学学报), 2007, 27(12): 2081-2086.
- [52] CHEN Yucheng(陈玉成), LU Zongqing(吕宗清), LI Zhangping(李章平). *Mathematics analysis for environment*(环境数学分析)[M]. Chongqing: Southwest Normal University Press, 1998.
- [53] The China Station of Environmental Monitoring(中国环境监测总站). *The elemental background value in Chinese soil*(中国土壤元素背景值)[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [54] MOU Shusen(牟树森), QING Changle(青长乐). *Environmental pedology*(环境土壤学)[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1993.
- [55] FORSTNER U, AHLF W, CALMANO W, et al. Sediment criteria development-contributions from environmental geochemistry to water quality management[C]//HELING D, ROTHE P, FORSTNER U, et al. *Sediments and environmental geochemistry: selected aspects and case histories*. Berlin: Springer-Verlag, 1990: 311-338.
- [56] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980(14): 975-1001.
- [57] THORNTON I. *Metal contamination of soils in urban areas*[M]. Oxford: Blackwell, 1991.
- [58] SMUSSEN P E, SUBRAMANIAN K S, JESSIMAN B J. A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada [J]. *Science of the Total Environment*, 2001(267): 125-140.
- [59] ADACHI K, TAINOSHO Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust [J]. *Environment International*, 2004, 30: 1009-1017.
- [60] CHATTOPADHYAY G, LIN K C, FEITZ A J. Household dust metal levels in the Sydney metropolitan area [J]. *Environmental Research*, 2003(93): 301-307.
- [61] FIGUEROA D M, De la O-VILLANUEVA M, De la PARRA M L. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hemosillo, Sonora, Mexico [J]. *Atmospheric Environment*, 2007(41): 276-288.
- [62] MOHAMMAD Y, FARINA S, SHAHZAD A, et al. Assessment of Cd, Ni, Cu, and Pb pollution in Lahore, Pakistan [J]. *Environment International*, 1998, 24(7): 761-766.
- [63] XIE Hongfang(谢宏芳), FANG Fengman(方凤满), WANG Haidong(王海东). Research progress on heavy metal pollution in urban street dust [J]. *Environmental Pollution & Control*(环境污染与防治), 2010, 32(5): 78-81.
- [64] YIN Hanqin(殷汉琴), CHEN Furong(陈富荣), CHEN Xingren(陈兴仁), et al. Assessment of heavy metal pollutions to the soils in Tongling City, Anhui [J]. *Journal of Safety and Environment*(安全与环境学报), 2010, 10(3): 98-102.

Heavy metal ingredient analysis in the dust of the Chinese urban areas

LEI Lei¹, CHEN Yu-cheng², LI Zhang-ping³, LI Cai-fa⁴

(1 College of Resources & Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2 Chongqing Key Lab of Agricultural Resources & Environment, Chongqing 400716, China; 3 Library of Southwest University, Chongqing 400716, China; 4 The People's Government of Changning Municipality, Changning 421500, Hunan, China)

Abstract: The present paper intends to provide a heavy metal ingredient analysis in the dust of the Chinese urban streets based on the 3720 samples collected from 39 large and media-sized cities in China.

The results of our synthetic analysis indicate that the average content of eight heavy metals, such as that of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn in the dusts over the streets of the above mentioned cities are respectively 17.82 mg/kg, 3.67 mg/kg, 152.85 mg/kg, 143.58 mg/kg, 0.66 mg/kg, 46.74 mg/kg, 220.88 mg/kg, 602.30 mg/kg. The primary analysis findings also reveal that the distribution of such metals are in great variety and in skewed manner. Except for those of As, Cr and Hg, the ingredients of other metals prove to be lower than those in similar-sized cities of other countries. However, the ingredients of Cd, Hg and Pb tend to be the most severe pollutants in accordance with the related concentration coefficients. As to the Nemerow index, geoaccumulation index and the potential ecological risk index, it is possible to divide the 39 cities involved into four types, that is, those extremely heavily contaminated by Cd-Hg-Pb-Zn-Cu (such as Tongling, Guangzhou, Zhuzhou, Xiangtan, Huizhou, Shaoguan), those 15 cities severely contaminated by Cd (such as Nanjing, Shanghai, Beijing, Wuhu, Shenyang, Hong Kong, Shijiazhuang, Hangzhou, Hefei, Urumqi and so on), and those seriously contaminated with Pb-Zn-Cu (e.g. Chengdu, Jinhua, Zhenjiang) and the rest 15 cities medium contaminated with the rest heavy metals involved. Generally speaking, cities in China south are more severely contaminated with heavy metals than those in the north. In addition, biggest cities are less contaminated with Cd, Hg, Cu and Zn than small towns, whereas biggest cities suffer worse contamination of Pb and Cr than those in towns. Besides, according to the functional zones, the contamination extent can also be categorized in the following order: industrial district > residential area > shopping centre > scenic spots.

Key words: environmentalology; city street dusts; heavy metal; component analysis

CLC number: X53

Document code: A

Article ID: 1009-6094(2012)02-0124-06