

# 城市地表灰尘重金属研究进展及展望

王 济<sup>1,2</sup>, 张一修<sup>1,2</sup>, 高 翔<sup>1,2</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001;  
2. 贵州省山地资源与环境遥感应用重点实验室, 贵阳 550001)

**摘要:** 城市地表灰尘是城市环境科学研究的对象之一, 在对国内外有关城市灰尘概念界定研究成果进行总结的基础上, 对城市地表灰尘提出新的概念和新的认识。城市地表灰尘是城市生态环境中具有环境指示作用的地表颗粒物, 是含有重金属、多环芳烃等多种污染物的源与汇。对国内外地表灰尘重金属的含量水平、时空分布特征、迁移循环、赋存形态及生物有效性等方面的研究成果进行比较系统的阐述; 灰尘中重金属的来源识别的方法主要有 GIS 空间分析, 元素示踪技术, 统计学方法等。并提出在今后的研究中应进一步完善城市地表灰尘中重金属的时间变化规律、地表灰尘在环境中的滞留时间、粒径的划分以及区域人体健康影响及风险评估模型优化四个方面的研究。

**关键词:** 城市; 灰尘; 重金属; 进展

文章编号: 1000-0585(2012)05-0821-10

## 1 引言

随着城市化进程在全球范围内的加快, 城市不透水地面的迅速增加改变了地表污染物的累积和冲刷规律, 使非点源污染的“源”、“过程”、“汇”都发生了变化。地表灰尘作为污染物的重要载体, 是典型的非点源污染之一<sup>[1~4]</sup>。城市地表灰尘由于受人流、车流的影响, 大量重金属(如 Hg、Pb、Cd、Cu 和 Zn) 吸附在地表灰尘表面, 对人类和环境都有相当大的危害<sup>[5]</sup>。其一, 城市地表灰尘在一定外动力条件下易扬起, 通过呼吸和皮肤接触等途径被人体吸收, 在人体内被消化、吸收、积累, 从而对人体健康产生危害<sup>[3~6]</sup>; 其二, 城市地表灰尘在降水的冲刷作用下进入水循环系统, 对城市水环境造成间接污染<sup>[6~8]</sup>。

对于城市地表灰尘重金属污染的研究, 在国外开始于 20 世纪七八十年代, 在城市地表灰尘重金属的研究方法、含量、分布特征、赋存形态和来源分析等方面取得了较多的研究成果<sup>[9~13]</sup>。而国内对于城市地表灰尘主要侧重于灰尘对大气颗粒物的贡献率以及防尘措施的研究, 对城市地表灰尘中重金属的研究较少<sup>[14~18]</sup>。随着对“城市灰尘”这个二次污染源的持续关注, 近几年对于地表灰尘的迁移循环、毒性以及地表灰尘中重金属的空间分布特征、赋存形态及其环境效应的研究也有了一定的进展<sup>[14~19]</sup>, 但一直未能引起学术界的足够重视。

收稿日期: 2011-08-13; 修订日期: 2012-03-03

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD14B02); 贵州省科学技术基金(黔科合 J 字[2011]2045 号)

作者简介: 王济(1975-), 男, 博士, 教授, 长期从事土壤重金属污染和土壤侵蚀研究。

E-mail: wangji@gznu.edu.cn

## 2 城市地表灰尘概念

### 2.1 城市地表灰尘的概念

1975年,《Nature》杂志上刊登了一篇关于城市灰尘的论文,“城市地表灰尘中的铅”,由此首次提出了“地表灰尘”的名称<sup>[20]</sup>。20世纪70年代中期国外开始了对城市地表灰尘的研究,但至今,对于城市地表灰尘的概念和研究对象还没有取得统一的认识,国内外研究中所采用的研究对象术语各不相同:street dust、road dust、outdoor dust、deposited street dust、urban dust、exterior dust、roadside dust、RDS(Road-deposited sediment)、路边尘土、街心尘土、地表扬尘、道路灰尘、城市灰尘等。

有学者对“城市灰尘”概念进行了界定。杜佩轩等<sup>[21]</sup>将其定义为粒径小于20目( $< 0.920\text{mm}$ ),分散于城市不同区域(位置、功能区)的地表固体颗粒物,由城市地表灰尘、城市区域灰尘和城市大气灰尘组成;城市地表灰尘是指城市地表的垃圾灰尘颗粒物,灰尘粒径相对较粗,或粗粒级占有较大比例,该类灰尘由于受人流车流的影响,有害重金属如Pb、Cd和Zn大量吸附在颗粒物表面。Anju<sup>[12]</sup>在研究中指出地表灰尘是人类生产生活的产物,是来自不同源的固态物质、液态物质和气态物质相互作用的产物。Sutherland等<sup>[9]</sup>定义地表灰尘是一种复杂的环境介质,含有大量路边风化的土壤、老化的路面上的物质、有机物、汽车尾气排放物、轮胎磨损老化后的物质、工业废气的沉降累积等。总结以上对城市灰尘的理解,笔者认为城市地表灰尘是城市生态环境中具有环境指示作用的地表颗粒物,是含有重金属、多环芳烃等多种污染物的源与汇。基于此,本文对地表灰尘的概念提出一些新的理解,以促进对其概念的理解及其在城市生态环境研究中的应用。

### 2.2 对地表灰尘概念的理解

**2.2.1 污染物质的“源”和“汇”** 城市地表灰尘是城市生态环境中重金属等各种污染物的“源”和“汇”<sup>[1]</sup>。在城市建设活动、高度密集的车流及人流、生活废弃物排放等人为因素影响下,汽车尾气、车胎和汽车外壳磨损颗粒、污染土壤颗粒等会转化为城市地表灰尘,形成灰尘点源或面源污染。在一定外力条件下,地表灰尘与大气颗粒物相互转化,加剧城市大气环境污染。在人为水文活动或雨季,灰尘中携带的大量污染物质,尤其是重金属在径流的搬运下进入城市水循环系统,形成典型的水体非点源污染。

**2.2.2 环境指示作用** 在环境科学研究中,土壤、大气颗粒物等被视为能很好反映污染信息的环境介质。在城市地表环境中,由于受较频繁的人为扰动,城市土壤多为客土,很难真实地反映区域污染的实际状况,而与之相比,地表灰尘分布范围广,污染物质大多来自区域内部短时间内的累积<sup>[4]</sup>,是一种典型的非点源污染,对区域环境状况有良好的指示作用<sup>[22]</sup>。所以,地表灰尘具有分布范围广、取样方便、代表性强、与非点源污染联系紧密等独特的环境指示特征。

## 3 城市灰尘研究进展

城市地表灰尘是城市生态环境要素的重要组成部分,其研究包括众多方面,如灰尘重金属含量、空间分布特征、时间分布特征,地表灰尘的循环过程、灰尘重金属的赋存形态等。本文主要从以下方面阐述城市地表灰尘重金属的研究进展。

### 3.1 城市地表灰尘重金属的含量水平及其时空分布特征

**3.1.1 城市地表灰尘重金属的含量水平** 近年来,一些研究者对纽约、伦敦、北京、首

尔、上海、西安、香港、重庆、贵阳等城市地表灰尘重金属含量展开研究。结果表明，地表灰尘重金属的主要研究对象为 Cd、Pb、Cu 和 Zn。地表灰尘中重金属受汽车交通运输、工业生产、城市建设等人类活动影响显著，含量均明显高于土壤重金属的环境背景值<sup>[22~27]</sup>。

研究发现，在车辆经常处于怠速状态的十字路口，地表灰尘中重金属的含量较高<sup>[10,25]</sup>。总体来说，城市人口规模越大，地表灰尘中重金属的含量就越高，进一步说明了地表灰尘中重金属的含量主要受人类活动影响（表 1）<sup>[11,17,18,22,28~30]</sup>。对地表灰尘中重金属 Pb 的长期对比研究发现<sup>[26,27]</sup>，推广无铅汽油使用后，地表灰尘中重金属 Pb 含量有明显下降。

表 1 部分城市地表灰尘重金属含量及变化范围

Tab 1 Global studies of individual metals concentrations and ranges of concentrations in urban dusts in population order

城市	人口 数量/万人	城市地表灰尘中的金属含量/ (mg · kg <sup>-1</sup> )			
		Cd	Pb	Cu	Zn
上海 <sup>[17]</sup>	1845	Nd	1272~4725	110~278	6022~7593
北京 <sup>[31]</sup>	1700	710	69.56	178.50	248.54
纽约 <sup>[22]</sup>	1697	8.00	2582	355	1811
首尔 <sup>[22]</sup>	1063	3.00	245	101	296
伦敦 <sup>[22]</sup>	923	Nd	544~1636	111~512	988~3358
沈阳 <sup>[28]</sup>	720	2.00~15	63~509	47~204	277~423
西安 <sup>[29]</sup>	609	5.00	231	95	422
香港 <sup>[22]</sup>	545	Nd	208~755	92~392	574~2397
重庆 <sup>[30]</sup>	542	1.00~19	37~149	21~261	109~247
长沙 <sup>[32]</sup>	190	0.4~5.0	90~144	40~54	325~433
贵阳 <sup>[33]</sup>	150	0.619	67.42	129.4	182.13
保定 <sup>[18]</sup>	105	2.84	249	177	416

注 A：纽约、伦敦部分数据来自文献 [11]。

注 B：Nd 表示无数据。

**3.1.2 城市地表灰尘重金属的空间变化** 城市地表灰尘污染物空间分布的研究，主要基于城市不同服务功能分区原则，把城市分为不同的功能区。通过对重金属含量的调查，并进行不同功能区地表灰尘重金属含量的对比，从而得出重金属的空间分布规律。其空间分布特征主要有两类研究方法，一类是“线型的研究”，研究地表灰尘中重金属沿一条或几条交通要道或高速公路两侧的分布情况；另一类是“面型的研究”或“区域型的研究”，研究对象主要是一个特定的区域，按照不同的功能类型划分为工业区、居住区和交通要道等。两者密切关联，“线型的研究”要与其所处的区域特征相结合，“面型的研究”要以“线型的研究”特征来体现。

线型的研究如：Al-Chalabi 等研究了澳大利亚布里斯班市区三条主要交通干道上大气、降尘和地表灰尘中重金属 Pb 的含量，分析发现地表灰尘对大气中颗粒态铅有吸附作用，从而导致大气颗粒态铅的减少<sup>[34]</sup>。Sezgin 等研究了伊斯坦布尔 E-5 高速公路从

Topkapi 到 Avcilar 之间长达 18km 的路段上地表灰尘中重金属的含量,发现地表灰尘中重金属的含量均高于该地区典型土壤中重金属的最大含量,明显存在着重金属污染<sup>[35]</sup>。Li 等研究了香港城市土壤和地表灰尘中重金属的污染状况,发现地表灰尘中含有较高的 Zn,尤其是在交通要道上,Zn 的平均含量高达 1450mg/kg<sup>[22]</sup>。Chang 等利用台中城市道路灰尘和土壤重金属的来源对比研究发现 Cu、Cr 和 Ni 主要分布于道路交叉路口<sup>[24]</sup>。面型的研究如:Al-Rajhi 等研究了沙特阿拉伯 Riyadh 市不同功能区(主要分为市区、郊区、乡村、老工业区、新工业区和交通要道等六种类型)室内灰尘和室外灰尘中重金属 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb 和 Zn 的含量,发现老工业区灰尘中各重金属的含量较高,交通要道灰尘中 Pb 含量明显较高,灰尘中重金属主要来源于汽车尾气排放<sup>[36]</sup>。Charlesworth 等采用空间插值法绘出 Birmingham 市和 Coventry 镇地表灰尘中重金属的空间分布图,发现位于环线以内以及 Birmingham 市西北方向工业区中地表灰尘重金属含量明显高于其它地区,红绿灯交通路口处地表灰尘中重金属含量较高<sup>[11]</sup>。王金达等对沈阳市城市土壤和灰尘中铅的分布特征的研究结果表明:沈阳市区灰尘中铅浓度的平均含量为 220.6mg/kg,范围为 19.85~2809.90mg/kg,高于土壤铅的平均含量 199.72mg/kg;工业区灰尘铅的含量远远高于商业区等其它功能区<sup>[37]</sup>。

**3.1.3 城市地表灰尘重金属的时间变化** 环境载体(大气、土壤、灰尘等)中铅含量的季节变化导致儿童血铅含量出现季节变化。由于气候变化和人为因素的影响,灰尘中污染物的积累或浓度会随着时间变化。Chon 等采集了雨季前后韩国首尔城市土壤和灰尘样品,发现雨季前后土壤中的重金属含量没有明显变化,而灰尘中的重金属含量明显下降<sup>[38]</sup>。张菊等通过对 3 个小城镇地表灰尘重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 等在各季节的平均含量的分析,研究了城市地表灰尘重金属的季节变化规律,结果显示,重金属 Cr 和 Ni 含量季节性变化显著,主要表现为夏季含量较高,春季含量较低;其余元素的季节性变化不明显<sup>[39]</sup>。

### 3.2 城市地表灰尘的迁移循环过程

城市灰尘的搬运介质主要是大气。使灰尘发生搬运和沉积的地质营力主要是风,以机械搬运为主<sup>[14]</sup>。广布于城市表面的灰尘颗粒物在风、雨水及重力的作用下,与大气颗粒物相互转化,成为城市环境的一大污染源。在人工和自然作用下,城市灰尘颗粒物又被搬运出城市,构成了城市灰尘循环。城市灰尘的物质总体相对保持平衡。韩永明等研究了西安市灰尘循环模式及搬运沉积,发现城市灰尘的搬运沉积方式与其粒径组成密切相关,西安市灰尘颗粒物主要来源于以跳跃方式搬运的中远距离颗粒物(图 1)<sup>[14]</sup>。

Charlesworth 等采用综合分析的方法从“地表灰尘(Source)-迁移沉积物(Transport sediment)-最终沉积物(Deposited sediment)”来研究城市地表灰尘在迁移转化过程中由于环境条件的改变(如 pH,氧化还原条件、细菌生长等)导致的重金属赋存形态的变化<sup>[13]</sup>。Sutherland 等并提出建立一个连续方程来研究地表灰尘,即灰尘的输入、输出、地表灰尘累积的变化量及其相关的过程,地表灰尘的输入包括外部输入和内部输入,外部输入包括土壤、干湿沉降和生物输入(如落叶),内部输入则包括路面的磨损、路面沥青的降解、车辆的磨损(轮胎、制动衬面等)、尾气排放等;输出则包括清扫、颗粒在外动力作用下(如风、车辆行驶)的再悬浮以及雨水冲刷等;在一定时间内灰尘输入大于输出即为灰尘的累积量,而正是累积下来的灰尘中含有大量的污染物质<sup>[9]</sup>。

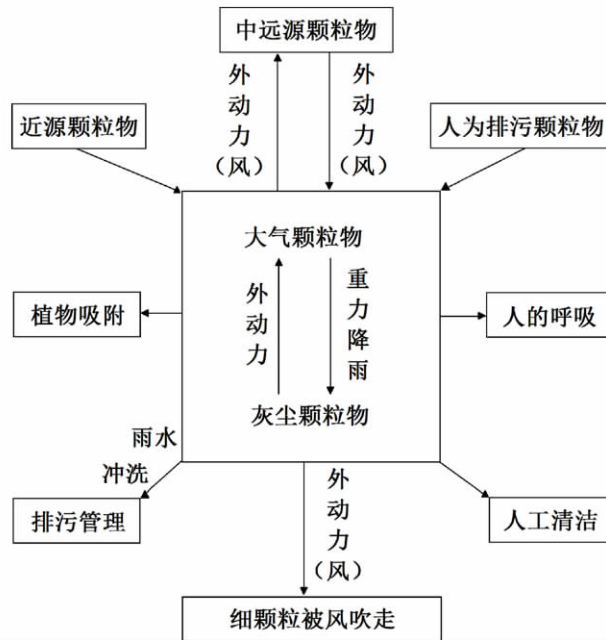
图 1 城市灰尘的迁移循环<sup>[14]</sup>

Fig 1 Transfer and cycle of urban dusts

### 3.3 城市地表灰尘重金属的赋存形态及其生物有效性

Tessier 提取法被广泛的应用于城市地表灰尘重金属的赋存形态分析。Tessier 提取法将重金属分为可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机硫化物结合态和残渣态<sup>[40]</sup>。Li 等对香港城市地表灰尘中重金属赋存形态的研究发现，Pb 和 Zn 主要以碳酸盐结合态和铁锰氧化物结合态存在，其中，60% 以上的 Zn 结合于碳酸盐结合态；Cu 主要以有机物结合态存在，Cd 的可交换态含量明显高于其它重金属<sup>[22]</sup>。

Anju 对印度 Delhi 市地表灰尘中重金属 Cu、Zn、Pb、Cd、Ni、Cr 固相化学形态分析的结果表明，灰尘中重金属的形态分布与土壤中重金属的形态分布相似，Cu 主要以有机物结合态存在；绝大部分的 Zn 以铁锰氧化物结合态存在；Pb 主要存在于残渣态，其次结合于铁锰氧化物结合态；Cd 虽然主要以残渣态为主，但其碳酸盐态和可交换态的含量较高，甚至可占总量的 50% 以上；Ni 和 Cr 的残渣态均占到总量的 70% 以上<sup>[12]</sup>。田晖对西安市地表灰尘中 Cd、Cr、Pb 的赋存形态的研究表明，Cr 主要结合在残渣态中，其次以有机物结合态和铁锰氧化物结合态存在；Pb 主要以残渣态和铁锰氧化物结合态存在，少部分以有机物结合态存在；Cd 依次主要以有机物结合态、残渣态和铁锰氧化物结合态存在<sup>[41]</sup>。Charlesworth 等研究了英国 Coventry 镇地表灰尘在迁移转化过程中重金属 Cd、Cu、Ni、Pb 和 Zn 赋存形态的变化趋势，发现当外界环境条件如 pH、氧化还原条件发生变化时，重金属的赋存形态也会发生变化，从而导致地表灰尘中结合于碳酸盐态和有机物结合态的重金属释放到环境中对环境造成污染<sup>[42]</sup>。

地表灰尘中以可交换态存在的重金属极易发生迁移转化，以碳酸盐结合态存在的重金属在 pH 发生变化时也更容易释放到环境中去，因此根据地表灰尘中结合在可交换态的和碳

酸盐结合态重金属占总量百分比的高低来评价地表灰尘中重金属的生物有效性。众多研究结果表明<sup>[12,22,43~46]</sup>, 地表灰尘中重金属 Cd、Cu、Zn 和 Pb 的生物有效性的顺序分别为: Cd>Zn≈Pb >Cu。

Tessier 提取法虽然被广泛应用于地表灰尘中重金属的赋存形态分析和生物有效性评价, 但该方法也存在着再吸附、非专一性等问题<sup>[9]</sup>, 并且这种分析方法较费时费力, 评价城市地表灰尘重金属污染及其生物有效性的一种替代方法是部分消解法。不同的研究者对于提取剂的选取各不相同, 但主要还是采用稀盐酸或 5% 稀硝酸进行重金属有效态的提取<sup>[44,47~50]</sup>。Sutherland 等对比了 9 种部分消解法和全量消解法, 发现 0.5M HCl (样品与提取剂之比为 0.5g:10ml, 在室温下振荡 1 h), 能够较好的提取城市地表灰尘中除残渣态的生物可利用态重金属<sup>[9]</sup>。

### 3.4 城市地表灰尘重金属的来源分析

城市地表灰尘中重金属主要来源于汽车交通污染、工业污染和城市建设。汽车交通污染主要表现为汽车尾气排放、汽车橡胶轮胎老化磨损、车体自身的磨损、路面材料的老化磨损等, 目前得到普遍公认的是含铅汽油和柴油燃烧后尾气排放是城市地表灰尘重金属 Pb 的主要来源, 事实上, 燃料中除 Pb 外, 还含有多种微量元素, 车辆轮胎中亦含有多种重金属元素, 其中, Zn 和 Cd 可能来源于汽车橡胶轮胎的磨损。工业污染主要表现为金属冶炼厂以及电镀厂、轧钢厂等金属加工厂的废气排放。城市建设主要表现为建筑扬尘、建筑物金属部分的腐蚀脱落、各种建筑材料(如油漆)的老化脱落等<sup>[9,12,16,17,24,51,52]</sup>。

GIS 空间分析, 元素示踪技术, 统计学方法如相关性分析、主成分分析法、聚类分析等被广泛的应用到城市地表灰尘重金属的来源识别上。Chang 等应用 GIS 空间分析功能研究发现钢厂灰尘含有较高含量的 Pb<sup>[24]</sup>。Chiaradia 等<sup>[53]</sup>收集悉尼两个郊区的微粒和两种主要品牌汽油的微粒, 并测定其铅同位素组成。结果表明, 悉尼空气中铅与往年相比下降 75%, 但汽油铅仍占大气铅的 90% 以上。Zhu 等<sup>[54]</sup>测定珠三角城市区域的风成尘、气溶胶的铅同位素和元素组成。结果表明大气铅污染来源于汽车尾气和工业。Al-Rajhi 等通过相关分析和主成分分析, 发现沙特阿拉伯 Riyadh 市室内灰尘和室外地表灰尘中重金属的含量均主要来源于汽车尾气排放<sup>[55]</sup>。Anju 等<sup>[12]</sup>通过元素相关性分析以及主成分分析, 得出地表灰尘中的 Cu、Cr 和 Ni 主要来源于工业污染源, Pb 和 Cd 主要来源于不同污染源所排放的废气, 而 Zn 来源于工业和交通污染的混合源。De Miguel 等<sup>[26]</sup>通过多元统计分析、主成分分析和聚类分析将地表灰尘中重金属元素分为自然源元素、城市源元素以及混合源元素。Yeung 等<sup>[52]</sup>采用主成分分析得出香港地表灰尘来源于四个方面: 金属颗粒物和地壳物质的混合物、汽车尾气排放、路面材料以及海洋气溶胶和地壳物质的混合物。Xie 等通过相关分析和主成分分析研究了利物浦市地表灰尘的磁化率与灰尘中重金属 Ti、Fe、Pb 和 Zn 之间的联系, 发现灰尘主要来源于城市污染源<sup>[56]</sup>。张一修等通过相关分析研究发现贵阳城市道路灰尘中 Cu 和 Zn 主要来源于汽车尾气排放、汽车轮胎和车体的老化磨损等因素, As 和 Ni 可能与地球化学成因有关<sup>[33]</sup>。

通过比较识别重金属来源的多种方法发现, GIS 空间分析可能在局部污染的判别方面有较强的应用能力。元素示踪技术多应用于某一元素来源识别。相关性分析和主成分分析等多元统计方法是从总体上分析, 反映的是整体研究区域的总体污染情况, 对局部重污染的判别能力有限。因此, 在重金属来源识别时应结合多元统计分析、GIS 空间分析、元素示踪技术以及周围环境情况进行详细的推断。

## 4 研究展望

### (1) 城市地表灰尘重金属污染的时间变化规律

已经开展的有关研究均是建立在城市地表灰尘具有稳定来源和沉降累积过程这一基础上，今后进一步分析城市地表灰尘重金属污染是否具有日变化和季节变化规律，或者是否受其他因素控制从而呈现出非季节性的规律等。

### (2) 地表灰尘在环境中的滞留时间

城市地表灰尘的一个重要特征就是其在环境中的滞留时间 (residence time) 非常短，因此地表灰尘中污染物只能代表近期内的污染状况。由于地表灰尘在环境的滞留时间受天气干燥晴朗的时间长短、风的搬运能力、雨水的冲刷能力以及人工清扫的影响<sup>[57]</sup>，同时因灰尘本身的物质组成具有多源性。因此，开展有关灰尘在环境中的滞留时间的研究工作具有一定难度。

### (3) 粒径的划分

研究表明城市街道灰尘中重金属含量随着粒径的减小而增加。目前的地表灰尘粒径划分标准过于粗糙并且没有统一的标准，导致对于地表灰尘粒径的选择没有统一的标准，不利于各研究结果进行对比，并最终影响对灰尘中重金属污染作出恰当的评价，不利于进一步的研究。因此，更详尽的粒径划分标准的建立以及重金属的迁移特征与粒径之间的关系是今后进一步研究须开展的工作。

### (4) 区域人体健康影响及风险评估模型的优化

杜佩轩等将城市灰尘对环境的影响归纳了五个“效应”，分别是：动力效应、地理效应、物质效应、循环效应及人体效应<sup>[58]</sup>。也有研究者将灰尘中的重金属与土壤、河流底泥进行对比，并计算富集系数<sup>[22]</sup>。对于地表灰尘的毒性学研究也有所进展，魏金枝等对哈尔滨地表扬尘的毒性研究发现：地表灰尘可造成大鼠的肺及支气管组织损伤，并具有致突变性<sup>[59]</sup>。方凤满等得出手一口摄入途径是儿童地表灰尘重金属风险的主要途径<sup>[60]</sup>。由于城市灰尘来源的复杂性及其在城市环境中所扮演的特殊角色，今后应加强灰尘中所含重金属污染物对于人体健康影响方面的研究，确定主要的暴露途径，优化暴露计算模型，开展人体健康风险评估。

致谢：本文得到章典教授、杨胜天教授的指导，特此致谢。

## 参考文献：

- [1] Adachi K, Tainosho Y. Single particle characterization of size-fractionated road sediments. *Applied Geochemistry*, 2005, 20: 849~859.
- [2] Ball J E, Jenks R, Aubourg D. An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. *Science of the Total Environment*, 1998, 209: 243~254.
- [3] Bris F J, Garnaud S, Apperry N, *et al.* 1999. A street deposit sampling method for metal and hydrocarbon contamination assessment. *Science of the Total Environment*, 1999, 235: 211~220.
- [4] 张一修, 王济, 秦樊鑫, 等. 贵阳市道路灰尘和土壤重金属来源识别比较. *环境科学学报*, 2012, 32(1): 204~212.
- [5] Lankey R L, Davidson C I, Mcichael F C. Mass balance for lead in the California south coast in air basin: An update. *Environmental Research Section A*, 1998, 78: 86~93.
- [6] USEPA. Uptake Biokinetic model for lead in children (IEUBK). Washington D. C: Version, 1994. 94~501, 517.
- [7] Manta D S, Angelone M, Bellanca A, *et al.* Heavy metals in urban soils: A case study from the city of Palermo

- (sicily), Italy. *Science Total Environment*, 2002, 300:229~243.
- [ 8 ] Oskarson A, Hallen I P, Sundberg J. Exposure to toxic elements via breast milk. *Analyst*, 1995, 120:6803~6812.
- [ 9 ] Sutherland R A, Tack F M G, Ziegler A D, *et al.* Metal extraction from road-deposited sediments using nine partial decomposition procedures. *Applied Geochemistry*, 2004, 19:947~955.
- [10] Ellis J B, Revitt D M. Incidence of heavy metals in street surface sediments; Solubility and grain size studies. *Water, Air and Soil Pollution*, 1982, 17:87~100.
- [11] Charlesworth S, Everett M, McCarthy R, *et al.* A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dust in a large and a small urban area; Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environmental International*, 2003, 29(5):563~573.
- [12] Anju D K, Banerjee. Heavy metals levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. *Environmental Pollution*, 2003, 123: 95~105.
- [13] Charlesworth S M, Lees J A. Particulate-associated heavy metals in the urban environment; Their transport from source to deposit, Coventry, UK. *Chemosphere*, 1999, 39(5):833~848.
- [14] 韩永明,杜佩轩,李智明.西安市灰尘循环模式及搬运沉积.物探与化探,2003,27(3):227~229.
- [15] 王济,张浩,曾希柏,等.贵阳市城区土壤重金属分布特征及污染评价.土壤,2010,42(6):928~934.
- [16] 刘春华,岑况.北京市地表灰尘的化学成分及其可能来源.环境科学学报,2007,27(7):1181~1188.
- [17] 孟飞,刘敏,侯立军,等.上海中心城区地表灰尘与土壤中重金属累积及污染评价.华东师范大学学报:自然科学版,2007,7(4):56~63.
- [18] 郑小康,李春晖,黄国和,等.保定城区地表灰尘污染物分布特征及健康风险评价.环境科学学报,2009,29(10):2195~2202.
- [19] 常静,刘敏,侯立军,等.城市地表灰尘的概念、污染特征与环境效应.应用生态学报,2007,18(5):1153~1158.
- [20] Day J P, Hart M, Robinson M S. Lead in urban street dust. *Nature*, 1975, 253: 243~245.
- [21] 杜佩轩,田晖,韩永明.城市灰尘概念、研究内容与方法.陕西地质,2004,22(1):73~79.
- [22] Li X D, Poon C S, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, 2001, 16:1361~1368.
- [23] 李晓燕,陈同斌,雷梅,等.北京城市广场及校园表土(灰尘)中重金属水平与健康风险.地理研究,2010,29(6):989~996.
- [24] Chang S H, Wang K S, Chang H F, *et al.* Comparison of source identification of metals in road-dust and soil. *Soil and Sediment Contamination*, 2009, 18:669~683.
- [25] Fergusson J E, Hayes R W, Yong T S, *et al.* Heavy metal pollution by traffic in Christchurch, New Zealand; Lead and cadmium content of dust, soil, and plant samples. *New Zealand Journal of Science*, 1980, 23: 293~310.
- [26] De Miguel E, Lamas J F, Chac n E, *et al.* Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust; Unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*. 1997, 31(17):2733~2740.
- [27] Chan G Y, Chui V W, Wong M H, Lead concentration in Hong Kong roadside dust after reduction of lead level in petrol. *Biomedical and Environmental Science*, 1989, 2:131~140.
- [28] 李崇,李法云,张营,等.沈阳市地表灰尘中重金属的空间分布特征研究.生态环境,2008,17(2):560~564.
- [29] Han Y M, Du P X, Cao J J, *et al.* Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xian, Central China. *Science Total Environment*, 2006, 355:176~186.
- [30] 李章平,陈玉成,杨学春,等.重庆市主城区地表地物中重金属的污染特征.水土保持学报,2006,20(1):114~116,138.
- [31] 向丽,李迎霞,史江红,等.北京城区道路灰尘重金属和多环芳烃污染状况探析.环境科学.2010,31(1):159~167.
- [32] 郭琳,曾光明,程运林.城市地表地物特性分析.中国环境监测,2003,19(6):40~42.
- [33] 张一修,王济,张浩.贵阳市区地表灰尘重金属污染分析与评价.生态环境学报,2011,20(1):169~174.
- [34] Al-Chalabi A S, Hawker D. Response of vehicular lead to the presence of street dust in the atmospheric environment of major roads. *The Science of the Total Environment*, 1997, 206: 195~202.
- [35] Sezgin N, Ozcan H K, Demir G, *et al.* Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 high way. *Environment International*, 2004, 29(7): 979~985.



- [36] Al-Rajhi M A, Seaward M R D, Al-Aamer A S. Metal levels in indoor and outdoor dust in Riyadh, Saudi Arabia. *Environment International*, 1996, 22(3):315~324.
- [37] 王金达, 刘景双, 于君宝, 等. 沈阳市城区土壤和灰尘中铅的分布特征. *中国环境科学*, 2003, 23 (3):300~304.
- [38] Chon H T, Ahn J S, Jung M C. Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea. *Environmental Geochemistry and Health*, 1998, 20: 77.
- [39] 张菊. 上海城市地表灰尘重金属污染研究. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 2005.
- [40] Tessier A, Campbell P G C, Bisson M. Sequential extraction procedures for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 1979, 51(7):844~850.
- [41] 田晖. 西安市地表灰尘中镉、铬、铅赋存形态及环境效应. *北京地质*, 2002, 14 (2):34~39.
- [42] Charlesworth S M, Lees J A. The transport of particulate-associated heavy metals from source to deposit in the urban environment, Coventry, UK. *The Science of the Total Environment*, 1999, 235:351~353.
- [43] Droppo I G, Irvine K N, Murphy T P, *et al.* Fractional metals in street dust of a mixed land use sewershed, Hamilton, Ontario. In: Wheater H, Kirby C. *Hydrology in a Changing Environment III*. New York: John Wiley and Sons Ltd., 1998, 384~394.
- [44] Sutherland R A, Tolosa C A. Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii. *Environmental pollution*, 2000, 110:483~495.
- [45] Serrano-Belles C, Leharne S. Assessing the potential for lead release from road dusts and soils. *Environmental Geochemistry and Health*, 1997, 19:89~100
- [46] Wang W H, Wong M H, Leharne S, *et al.* Fractionation and bio-toxicity of heavy metals in urban dusts collected from Hong Kong and London. *Environmental Geochemistry and Health*, 1998, 20(4):185~198.
- [47] Harrison R M. Toxic metals in street and household dusts. *The Science of the Total Environment*, 1979, 11(1): 89~97.
- [48] Gibson M J, Farmer J G. Chemical partitioning of trace metal contaminants in urban street dirt. *The Science of the Total Environment*, 1984, 33: 49~57.
- [49] Latimer J S, Hoffman E J, Hoffman G, *et al.* Sources of petroleum hydrocarbons in urban run off. *Water, Air and Soil Pollution*, 1990, 52(1-2):1~21.
- [50] Stone M, Marsalek J. Trace metal composition and speciation in street sediment; Sault Ste. Marie, Canada. *Water, Air and Soil Pollution*, 1996, 87:149~169.
- [51] Al-Rajhi M A, Al-Shayeb S M, Seaward M R D, *et al.* Particle size effect for metal pollution analysis of atmospherically deposited dust. *Atmospheric Environment*, 1996, 30(1):145~153.
- [52] Yeung Z L L, Kwok R C W, Yu K N. Determination of multi-element profiles of street dust using energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF). *Applied Radiation and Isotopes*, 2003, 58:339~346.
- [53] Chiaradia M, Gulson B L, James M, *et al.* Identification of secondary lead sources in the air of an urban environment. *Atmosphere Environment*, 1997, 31 (21):3511~3521.
- [54] Zhu B Q, Chen Y W, Peng J H. Lead isotope geochemistry of the urban environment in the Pearl River Delta. *Applied Geochemistry*, 2001, 16: 409~417.
- [55] Al-Rajhi M A, Seaward M R D, Al-Aamer A S. Metal levels in indoor and outdoor dust in Riyadh, Saudi Arabia. *Environment International*, 1996, 22(3):315~324.
- [56] Xie S, Dearing J A, Bloemendal J. The organic of content of street dust in Liverpool, UK, and its association with dust magnetic properties. *Atmospheric Environment*, 2000, 34: 269~275.
- [57] Akhter M S, Madany IN. Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water, Air and Soil Pollution*, 1993, 66:111~119.
- [58] 杜佩轩, 田晖, 韩永明, 等. 城市灰尘粒径组成及环境效应. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21:(1):93~98.
- [59] 魏金枝, 朱振岗, 王贤珍, 等. 道路扬尘毒性研究. *环境与健康杂志*, 2002, 19(4):325~327.
- [60] 方凤满, 蒋炳言, 王海东, 等. 芜湖市市区地表灰尘中重金属粒径效应及其健康风险评价. *地理研究*, 2010, 29(7): 1193~1202.

## The advances in research on heavy metals of the surface dust in urban areas

WANG Ji<sup>1,2</sup>, ZHANG Yi-xiu<sup>1,2</sup>, GAO Xiang<sup>1,2</sup>

(1. School of Geographic and Environment Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. Key Laboratory of Remote Sensing Applications in Resources and Environment, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** Surface dust in urban areas is one of the important topics in urban environmental science. A review was given in this paper on the conceptual definition of surface dust in urban areas. The new concept and new understandings about surface dust in urban areas were put forward. Surface dust was sources and sinks of many pollutants as heavy metals and PAHs have environmental indicative function in urban areas. A review was given on the advances in the research on heavy metals of surface dust in urban areas in various aspects in this paper, such as content level, space-time distribution, transference and cycle, forms and bioavailability. The concentrations of heavy metals of surface dust in surface dust in urban areas were obviously higher than environmental background values in soil. The research on methods of spatial distribution of heavy metals were line type and face type. The concentrations of pollutants have changed over times. The main transporting medium of surface dust is atmosphere. The heavy metals in surface dust has exchangeable, carbonate combination, iron and manganese oxide combination, organic sulfide combination patterns and residua. The main sources of heavy metals in surface dust were traffic pollution, industrial pollution and urban construction. The sources identification methods included GIS spatial analysis, element tracer technology and multivariate analysis. The future development prospects were also pointed out. It is an urgent task to study the temporal variations such as diurnal changes, seasonal changes or non-seasonal changes by any factors control, the residence time in environment, particle classification as well as to establish standards and study the relationship between transfer characteristics and particle sizes, to optimize the regional human health effects and risk assessment model such as confirming the main routes of exposure, optimizing exposure calculation model and carrying out the human body health risk assessment.

**Key words:** city; dust; heavy metals; review