

城市街道灰尘重金属污染研究进展*

谢宏芳 方凤满[#] 王海东

(安徽师范大学国土资源与旅游学院,安徽 芜湖 241003)

摘要 国外学者对城市街道灰尘中重金属的积累分布、粒径效应及其生物有效性等已展开了一系列有效研究,而中国城市街道灰尘重金属污染相关研究起步较晚,研究内容主要包括重金属污染特征与空间分异。综述了城市街道灰尘重金属污染现状、粒径效应、来源以及重金属含量影响因素等方面的研究进展,并对今后的城市街道灰尘重金属污染研究方向进行了展望。

关键词 街道灰尘 重金属污染 粒径效应 来源 影响因素

Research progress on heavy metal pollution in urban street dust Xie Hongfang, Fang Fengman, Wang Haidong.
(College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu Anhui 241003)

Abstract: Foreign scholar has done many researches on urban street dust, which including its heavy mental accumulation and distribution, size effect and bioavailability. The researches of heavy mental pollution in urban street dust started relative late in our country, which were focus on characteristic of heavy mental pollution and spatial heterogeneity. Based on the comprehensive literature review, this paper presented the recent research of heavy mental pollution in urban street dust, including the heavy metal pollution situation, size effect, and pollutant source. The factors affecting the heavy metal content in street dust, such as vehicle exhausts, industrial discharges and urban construction, were also introduced. Finally, several directions of future research on heavy mental pollution in urban street dust were forecasts.

Keywords: street dust; heavy metal pollution; size effect; source analysis; influential factors

城市灰尘是指粒径小于20目,分散于城市不同区域的地表固体颗粒物^[1]。按照灰尘的来源和颗粒物性质,可划分为城市街道灰尘、城市区域灰尘和城市大气灰尘。城市街道灰尘是指城市街道的垃圾灰尘颗粒物,粒径相对较粗,或大粒径颗粒物所占比例较大。该类灰尘由于受人流、车流的影响,大量有害金属(如Pb、Cd和Zn)吸附在颗粒物表面,对人类和环境都有着相当大的危害。一方面,城市街道灰尘在一定外力条件下扬起,通过呼吸道和皮肤被人体吸收,在人体内被消化、吸收、积累,从而对人体健康产生危害;另一方面,城市街道灰尘在降水的冲刷作用下进入河道,对城市水环境造成直接污染。因此,对城市街道灰尘重金属污染的研究意义重大。

国外学者在20世纪80年代以来,对城市街道灰尘中重金属的积累分布、粒径效应及其生物有效性等展开了一系列研究。而我国城市街道灰尘重金属污染相关研究起步较晚,研究内容主要包括重金属污染特征与空间分异。

1 城市街道灰尘重金属污染现状

1.1 城市街道灰尘中的重金属含量

近年来,国内外学者对城市街道灰尘的重金属含量均开展了研究。国外学者对达卡、马德里、汉城等城市街道灰尘的重金属污染情况进行了分析。结果表明,城市街道灰尘中的重金属受交通运输、工业生产、城市建设等人类活动的影响,含量均明显高于土壤中重金属的环境背景值。相比较而言,城市街道灰尘中的Pb和Zn的富集程度最高,其次是Cu和Cr,而Cd和Ni的富集程度最低。我国学者对上海、香港、杭州、乌鲁木齐等的城市街道灰尘重金属污染情况做了研究,研究结果跟国外的大体一致。国内外不同城市街道灰尘中重金属含量见表1。

1.2 城市街道灰尘中重金属的空间分布特征

城市街道灰尘中重金属的空间分布特征主要分为2类,一类呈“线型”,研究对象主要是一条或几条交通要道或高速公路灰尘中的重金属沿程分布。SEZGIN等^{[6]981-985}报道了伊斯坦布尔E-5高速公路

第一作者:谢宏芳,女,1985年生,硕士研究生,研究方向为区域环境评价与优化。[#]通讯作者。

*国家自然科学基金资助项目(No. 40901258);安徽高校省级自然科学研究重点项目(No. KJ2009A137)。

表1 国内外不同城市街道灰尘中重金属质量浓度
Table 1 Concentration of heavy metals in urban street dust of cities at home and abroad mg/kg

城市	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
达卡 ^[2]		22±9	99±17	23.0±4.2	35.0±7.8	97±29
马德里 ^[3]		188		44	192.7	476
汉城 ^[4]	3	101			245	296
萨洛尼卡 ^{[5]484-487}	4.1	129			214	645
伊斯坦布尔 ^{[6]980-983}	4.24	26.34	11.15	4.7	36.15	387.98
渥太华 ^[7]	0.33	38.13	41.7	14.8	33.49	101.3
上海 ^[8]		60.9~278.0	632~1 264		1 032~2 310	4 514~7 593
香港 ^[9]		110	124	28.6	120	3 840
杭州 ^{[10]6-12}		47~57			52~60	172~214
乌鲁木齐 ^{[11]148-151}	1	137.3			1 090.5	548
沈阳 ^[12]				220.06		
西安 ^[13]	0.95		52		111	280

18 km 路段上灰尘中的重金属(除 Ni 和 Mn 外)含量均高于该地区相应土壤中的重金属最大含量,这些重金属主要源自汽车尾气,并且沿高速公路形成线型污染源。EWEN 等^{[5]488}、GEORGE 等^[11]的研究表明,希腊萨洛尼卡市和约阿尼纳市公路由于受驾驶风格、基质组成、昼夜交通量的变化以及气候条件的影响,灰尘中重金属含量高低不同,但大体上沿公路成线型污染。另一类呈“面型”,研究对象往往是一个特定的区域。张惠敏等^{[10]6}、WEI 等^{[11]119}分别研究了杭州市和乌鲁木齐市的工业区、商业区、居民区和附近农村道路灰尘中 Pb、Cu、Cd、Zn、Hg 的积累情况。结果表明,不同功能区的城市街道灰尘中的重金属含量存在较大变异,一般以工业区和商业区为最高,而居民区和新开发的城市区域相对较低。

1.3 城市街道灰尘中重金属的赋存形态及其生物有效性

TESSIER 连续提取法^[15]被广泛应用于城市街道灰尘重金属的赋存形态分析。TESSIER 连续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。LI 等^[16]、张菊等^[17]、常静等^{[18]153,154,[19]}对香港、上海城市街道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%(质量分数)以上的 Zn 以碳酸盐结合态存在,Cu、Cd 主要以有机/硫化物结合态存在,而 Ni 则主要以残渣态存在。

当外界条件如 pH 和氧化还原条件发生改变时,城市街道灰尘中重金属的赋存形态也会发生改变,会导致碳酸盐结合态和铁锰氧化物结合态中的重金属释放到环境中去。因此,可根据城市街道灰尘中碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态和可交换态

中的重金属比例来评价重金属的生物有效性。结合国内外学者对城市街道灰尘中各重金属含量水平的研究可知,灰尘中 Cu、Zn、Pb、Cd、Ni、Cr 的生物有效性从大到小顺序一般依次为 Cd、Zn 或 Pb、Ni、Cu、Cr。

2 城市街道灰尘重金属污染的粒径效应

粒径分布既决定了城市街道灰尘的可迁移性,也与其污染潜力密切相关。总体上来说,城市街道灰尘中重金属含量随灰尘粒径减小而增加。DE-LETIC 等^[20]研究了阿拉伯街道灰尘中重金属污染的粒径效应,发现 4 个粒径级别(分别为 2~63、63~250、250~500、>500 μm)中,2~63 μm 级别的重金属含量最高,Pb 在该粒径级别的质量分数占 70%以上。方凤满等^[21]研究了芜湖市春季街道灰尘中重金属污染的粒径效应,发现 As 和 Hg 含量呈现出随粒径减小而增加的趋势,As 和 Hg 在 >200 目粒径上的平均富集比例分别为 55.8%和 63.5%,说明 Hg 更易富集在细小灰尘颗粒上。常静等^{[18]153-155}报道上海市街道灰尘中 6 种重金属含量随粒径的减小而明显增加,其中 75、150 μm 是主要的重金属粒径级别,Pb、Cr、Cu、Ni、Cd、Zn 在这 2 个粒径级别的质量分数之和分别占 68.4%、65.7%、60.2%、58.3%、57.3%、30.0%。

3 城市街道灰尘重金属的来源

城市街道灰尘中的重金属主要来源于交通污染、工业污染和城市建设^[22,23]。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、车体自身磨损、路面材料老化磨损等。工业污染主要表现为金属冶炼场以及电镀厂、轧钢厂等金属加工厂的废

气排放。城市建设污染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。ROSSINI 等^[24]通过对土壤、大气微粒和植物叶片中重金属含量的监测,发现 Cd、Fe、Mn、Ti、V 来源于自然因素。SHI 等^[25]报道上海市街道灰尘中的 As 主要来源于自然因素,Hg 主要来源于煤的燃烧,而 Pb、Cr 和 Cd 则主要来源于交通污染,建筑施工和风化腐蚀的建筑材料。交通过程中含 Pb 汽油和柴油燃烧后的尾气排放是 Pb 的主要来源。车辆轮胎中亦含有多种重金属元素,其中 Cu、Mn、Zn 和 Cd 可能来源于汽车橡胶轮胎的磨损,而 Cd 也受建筑物墙面剥蚀及生活垃圾源的影响^[26]。

4 城市街道灰尘重金属含量的影响因素

4.1 交通流量

交通流量是影响城市街道灰尘重金属含量及其分布的主要因素之一。大量的研究表明,街道的日交通流量与该街道灰尘中的 Pb 含量呈正相关关系,OGUNSOLA 等^[27]的研究发现,尼日利亚拉各斯某道路(车流量为 10 万辆/d)灰尘中 Pb 和 Zn 含量均高于贝尼奥尼沙道路(车流量为 3.4 万辆/d)。VIARD 等^[28]评价了某高速公路车流量分别为 4 万、6 万辆/d 处的重金属污染情况,发现 Pb、Cd、Zn 的含量与车流量均呈正相关关系。PANDIAN 等^[29]的研究表明,在交通十字路口,红绿灯使得车辆加速、减速、停止、形成队列以及驾驶员的驾驶模式都影响着灰尘中的重金属含量,在车辆减速形成队列以及驾驶员不遵守速度限制时,就会造成汽车尾气大量排放和灰尘中重金属的富集,尤其是 Pb 的富集。另外,车辆自身的特点,如类型、大小、车龄、发动机状况以及使用的燃料质量都直接影响着城市街道灰尘中的重金属含量。ZEHETNER 等^[30]、SAEEDI 等^[31]的研究表明,公路两侧灰尘污染呈高度异质性,距离公路中心越远,灰尘中重金属(Pb、Cd、Cu、Zn、Ni、Cr 等)的含量越低,在道路两侧由于交通活动产生的重金属比自然因素产生重金属更易移动。

4.2 地形及路况

城市街道所处的地理位置直接影响灰尘中重金属的含量及其分布格局^[32]。山区和丘陵地带汽车排放的重金属颗粒物不易被大气稀释,容易滞留在街道表面。平坦地形有利于重金属的扩散和稀释。城市街道灰尘中重金属的含量受街道结构及其几何形状的影响,合理的街道结构对汽车排放的污染物

有稀释作用,从而降低灰尘中重金属的含量,提高空气质量。

城市建筑设计对风环境因素考虑不周会造成局部地区气流不畅,在建筑物周围形成漩涡和死角,使污染物不能及时扩散,重金属颗粒物滞留在街道表面。吕萍等^[33]通过对兰州城区街道峡谷的研究发现,在街道特殊地形和当地气象条件的共同作用下,汽车排放污染物在高层建筑物背风面及街道面产生堆积,随着建筑物屋顶风速的增大,大气扩散速率增大,峡谷内污染物浓度降低。蒋德海等^[34]的研究表明,在几何比例相同的街道峡谷里,建筑物外形越趋向于流线型,则街道峡谷内污染物的地面浓度越低。

4.3 气候与气象因素

受风的影响,汽车尾气排放出的灰尘容易扩散到周边环境。一般下风向灰尘中的重金属平均含量比上风向的高。在风速和风力较大的地区,灰尘中重金属虽然能够得到有效稀释,但也容易形成更大范围的污染。降雨是影响灰尘中重金属积累的主要因素。相关研究表明,地表灰尘中积累的重金属量受降雨类型的影响较大,强度大、持续时间长的降雨对重金属有明显的去除作用,而小雨会使灰尘颗粒的粒径减小,相应的灰尘中所含重金属有所增加。

5 展望

城市街道灰尘重金属污染的研究方向应包括 5 个方面:(1)城市街道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街道灰尘具有稳定来源和沉降累积过程这一基础上,今后应进一步分析城市街道灰尘重金属污染是否具有季节性变化规律,或者是否受其他因素控制从而呈现出非季节性的变化规律等。(2)城市街道灰尘重金属在气、土、水界面之间的迁移研究。已经开展的有关研究均是建立在单一的界面上,今后应加强对城市街道灰尘重金属在气/土、水/土、气/土/水界面之间的迁移转化研究。(3)城市街道灰尘毒理学研究。目前,对于城市街道灰尘的毒性研究还比较少,今后应加强这方面的研究工作。(4)城市街道灰尘颗粒物粒径组成和各粒径级别中重金属含量的研究。国外对这方面的研究已很成熟,但我国的研究还处于起步阶段,而且灰尘颗粒物粒径分级方法与国外也不统一,今后的相关研究要进一步与国际接轨,如统一粒径分级方法,以便于学术交流。(5)城市街道灰尘重金属的健康风险评价。国外从 20 世纪 90

年代开始对城市街道灰尘重金属进行了健康风险评价,并从城市道路规划和环境保护方面针对人体健康提出了很多建设性意见,但我国在这方面的研究还处于起步阶段。今后,应加强城市街道灰尘重金属健康风险评价工作,为人体健康防护和环境污染治理提供足够的理论依据。

参考文献:

- [1] 杜佩轩,田晖,韩永明,等.城市灰尘粒径组成及环境效应——以西安市为例[J].岩石矿物学杂志,2003,21(1):94-98.
- [2] AHMED F, ISHIGA H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(21):3835-3844.
- [3] DE MIGUEL E, LLAMAS J F, CHACON E, et al. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust unleaded petrol and urban lead[J]. Atmospheric Environment, 1997, 31(17):2733-2740.
- [4] 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[J]. Environmental Geochemistry and Health, 1998, 20(2):77-86.
- [5] EWEN C, ANAGNOSTOPOULOU M, WARD N, et al. Monitoring of heavy metal levels in roadside dusts of Thessaloniki, Greece in relation to motor vehicle traffic density and flow[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 157(1/2/3/4):1-4.
- [6] SEZGIN N, OZCAN H K, DEMIR G, et al. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway[J]. Environment International, 2003, 29(7).
- [7] RASMUSSEN 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 Total Environment, 2001, 267(1):125-140.
- [8] 张菊. 上海城市街道灰尘重金属污染研究[D]. 上海:华东师范大学, 2005.
- [9] YEUNG Z L L, KWOK B R C W, YU K N. Determination of multi-element profiles of street dust using energy dispersive X-ray fluorescence(EDXRF)[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2003, 58(3):339-346.
- [10] 张惠敏,章明奎.杭州不同功能区道路灰尘中污染物的分布和有效性[J].广东微量元素科学,2007,14(12).
- [11] WEI Binggan, JIANG Fengqing, LI Xuemei, et al. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, China[J]. Microchemical Journal, 2009, 93(2).
- [12] 李崇,李法云,张营,等.沈阳市街道灰尘中重金属的空间分布特征研究[J].生态环境,2008,17(2):560-564.
- [13] 杜佩轩,马智民,韩永明,等.城市灰尘污染及治理[J].城市问题,2004,18(2):46-49.
- [14] GEORGE Z T, DIMOSTHENIS L G, ATHANASIOS G V. Graphite furnace and hydride generation atomic absorption spectrometric determination of cadmium, lead, and tin traces in natural surface waters: study of preconcentration technique performance[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 163(2/3):988-994.
- [15] TESSIER A, CAMPBELL P G C, BISSON M. Sequential extraction procedures for the speciation of particulate trace metals[J]. Analytical Chemistry, 1979, 51(7):844-850.
- [16] LI Xiangdong, POON C S, LIU P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong[J]. Applied Geochemistry, 2001, 16(11):1361-1368.
- [17] 张菊,邓焕广,陈振楼,等.上海市区街道灰尘重金属污染研究[J].土壤通报,2007,38(4):727-731.
- [18] 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[J].应用生态学报,2008,18(5).
- [19] 常静,刘敏,许世远,等.上海城市降雨径流污染时空分布与初始冲刷效应[J].地理研究,2006,25(6):994-1002.
- [20] DELETIC A, ORR D W. Pollution buildup on road surfaces[J]. Journal of Environmental Engineering, 2005, 131(1):49-59.
- [21] 方凤满,张志明,陈文娟,等.芜湖市区春季地表灰尘中汞和砷的空间及粒径分布规律[J].环境科学学报,2009,29(9):1871-1877.
- [22] 韩东昱,岑况,龚庆杰,等.北京市公园道路粉尘Cu、Pb、Zn含量及其污染评价[J].环境科学研究,2004,12(2):10-13.
- [23] SUTHERLAND R A, TACK F M G, ZIEGLER A D. Metal extraction from road-deposited sediments using nine partial decomposition procedures[J]. Applied Geochemistry, 2004, 19(6):947-955.
- [24] ROSSINI O S, FERNANDEZE A J. Monitoring of heavy metals in topsoils, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources[J]. Microchemical Journal, 2007, 86(1):131-139.
- [25] SHI Guitao, CHEN Zhenlou, XU Shiyuan, et al. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2009, 156(2):251-260.
- [26] 刘春华,岑况.北京市街道灰尘粒度特征及其来源探析[J].环境科学学报,2007,27(6):1006-1012.
- [27] OGUNSOLA O J, OLUWOLE A F, ASUBIOJO O I, et al. Traffic pollution: preliminary elemental characterisation of roadside dust in Lagos, Nigeria[J]. The Science of the Total Environment, 1994, 146(17):175-184.
- [28] VIARD B, PIHAN F, PROMEYRAT S, et al. Integrated assessment of heavy metal(Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil graminaceae and land snails[J]. Chemosphere, 2004, 55(10):1349-1359.
- [29] PANDIAN S, GOKHALE S, GHOSHAL A K. Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2009, 14(3):180-196.
- [30] ZEHETNER F, ROSEN U, MENTLER A, et al. Distribution of road salt residues, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons across a highway-forest interface[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2009, 198(1/2/3/4):125-132.
- [31] SAEEDI M, HOSSEINZADEH M, JAMSHIDI A, et al. Assessment of heavy metals contamination and leaching characteristics in highway side soils, Iran[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 151(1/2/3/4):231-241.
- [32] 郭广慧,雷梅,陈同斌,等.交通活动对公路两侧土壤和灰尘中重金属含量的影响[J].环境科学学报,2008,28(10):1937-1945.
- [33] 吕萍,袁九毅.兰州城区街道峡谷内流厂及机动车排放污染物扩散规律研究[J].兰州大学学报:自然科学版,2002,38(6):118-120.
- [34] 蒋德海,蒋维楣,苗世光.城市街道峡谷气流和污染物分布的数值模拟[J].环境科学研究,2006,19(3):8-12.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2010-03-10)