

大气干湿沉降向城市系统输入重金属元素通量特征研究

——以沈阳市为例

凌爽¹, 于成广², 卢思乔¹

(1. 辽宁省地质矿产研究院, 辽宁沈阳 110032; 2. 辽宁省地质矿产调查院, 辽宁沈阳 110032)

摘要 [目的]探讨大气干湿沉降向城市系统输入重金属元素通量特征。[方法]根据沈阳市不同行政区采样点重金属元素沉降通量, 分析沈阳市不同行政区重金属大气干湿沉降污染的空间分布特征。[结果]在不同的采样点, 大气干湿沉降中元素的年沉降通量差异较大, 但在沈阳市不同行政区分布规律大致相同。Cd、Pb、Hg 的年沉降通量在各地区的分布分别表现为: 铁西区 > 皇姑区 > 沈河区 > 和平区 > 大东区 > 东陵(浑南)区 > 于洪区, 铁西区 > 沈河区 > 皇姑区 > 和平区 > 东陵区 > 于洪区 > 大东区 > 浑南区, 铁西区 > 沈河区 > 皇姑区 > 和平区 > 大东(东陵)区 > 于洪(浑南)区。大气降尘污染的空间分布与污染源地域分布具有一致性, 即工业区 > 商业区或交通区 > 文化区 > 居民区 > 郊区。[结论]该研究为大气干湿沉降污染的控制与治理提供了理论参考。

关键词 大气干湿沉降; 沉降通量; 重金属; 大气环境

中图分类号 S162 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)26-10764-02

Flux Characteristics of Heavy Metals Inputted by Atmospheric Dry and Wet Deposition to a City System——A Case Study of Shenyang City

LING Shuang et al (Institute of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province, Shenyang, Liaoning 110032)

Abstract [Objective] The study aimed to discuss the flux characteristics of heavy metals inputted by atmospheric dry and wet deposition to a city system. [Method] Based on the deposition flux of heavy metals at different sampling points of Shenyang City, the spatial distribution of heavy metal pollution caused by atmospheric dry and wet deposition in Shenyang City was analyzed. [Result] At different sampling points, there were great differences in annual deposition flux of each heavy metal among various districts of Shenyang, but the spatial distribution of annual deposition flux of heavy metals in various districts was similar. For instance, the spatial distribution of annual deposition flux of Cd, Pb and Hg in various districts was shown as follows: Tiexi > Huanggu > Shenhe > Heping > Dadong > Dongling (Hunnan) > Yuhong, Tiexi > Shenhe > Huanggu > Heping > Dongling > Yuhong > Dadong > Hunnan, and Tiexi > Shenhe > Huanggu > Heping > Dadong (Dongling) > Yuhong (Hunnan). In a word, the spatial distribution of atmospheric dust pollution was consistent with the geographical distribution of pollution sources, namely industrial area > commercial or traffic zone > cultural district > residential area > suburb. [Conclusion] The research could provide scientific references for the prevention and control of atmospheric dust pollution.

Key words Atmospheric dry and wet deposition; Deposition flux; Heavy metals; Atmospheric environment

大气作为环境系统的重要组成部分,对整个生态系统有着重大的影响^[1]。近年来,随着人们生活水平的不断提高,人们对生存环境的要求也越来越高,大气污染的危害越来越受到人类的重视,特别是吸附在大气颗粒中的微量重金属元素,对人类健康有着直接和间接地影响^[2]。所以,国内对重金属在大气环境中的循环迁移和累积方面的研究逐渐成为热点。大气中的重金属在一定条件下沉降到地面,会增加土壤重金属负荷,不同类型地区因大气污染程度不同,重金属沉降贡献率差别很大。据 Kloke 等^[3]报道,许多工业发达国家,大气沉降对土壤系统中重金属累积贡献率在各种外源输入因子中排在首位。因此,研究大气沉降对土壤重金属累积的影响,不仅具有重要的理论价值,而且对防治重金属污染、保障人体健康具有实际指导意义。城市生态系统具有人口密集、工业发达、交通便利等特点,工业发达和交通便利导致了城市生态系统受到了冶金尘、燃料燃烧尘和交通尘等大气干湿沉降的严重污染。随着城市化在全球范围内的飞速发展以及城市人口的不断增长,客观上需要增加对城市生态环境的了解,并研究城市生态环境与人类健康之间的相互关系。大气尘降、土壤、水等是城市生态环境的重要组成部分,对城市的可持续发展有着重要意义。在城市环境中,各种各样的人类活动,将大量的重金属带入城市大气降尘、水和土

壤中,造成这些元素的积累,并通过大气、水体或食物链而直接或间接地威胁着人类的健康甚至生命。沈阳市作为东北老重工业基地,随着城市社会经济的发展,燃煤、工业粉尘排放及交通道路扬尘等对城市环境造成了巨大压力。因此,笔者根据沈阳市不同行政区采样点重金属元素沉降量,分析沈阳市不同行政区重金属大气干湿沉降污染的空间分布特征及其原因。

1 材料与方法

1.1 样品采集与制备 采样点的布置以不同行政区为依据,沈阳市内共布置 36 个大气干湿沉降样品采集点,每个功能区布点不少于 5 个(图 1)。进行降尘来源解析时,所考虑的污染源主要有土壤风沙尘、燃煤尘、机动车尾气尘、建筑尘和道路尘。接受降尘周期为 1 年,采样周期为半年,分为采暖期和非采暖期。采样点(25 m × 25 m)四周无高大遮挡物,并避开烟囱和交通要道等点、线污染源的局部污染。样品采集采用湿法收集装置,样品用陶瓷集尘缸(内壁光滑,接收口内径约 30 cm,高约 60 cm)收集。野外回收样品时,用光洁的镊子将落入缸内的树叶、昆虫等异物取出,然后用去离子水反复冲洗缸壁,将所用沉淀物和悬浊液转移至聚乙烯塑料桶中密封保存,并及时送至实验室妥存备用。对收集的大气干湿沉降样品,实验室内用滤纸进行过滤。通过对干、湿沉降样品的测试,最终计算出大气干湿沉降通量和各元素沉降量。集尘缸等采样器具在使用前用 10% (体积分数)的盐酸浸泡 24 h 后,用去离子水清洗干净。

作者简介 凌爽(1982 -),女,辽宁沈阳人,工程师,硕士,从事环境评价和矿山复垦方面的研究,E-mail: wenyu5943@163.com。

收稿日期 2013-07-07

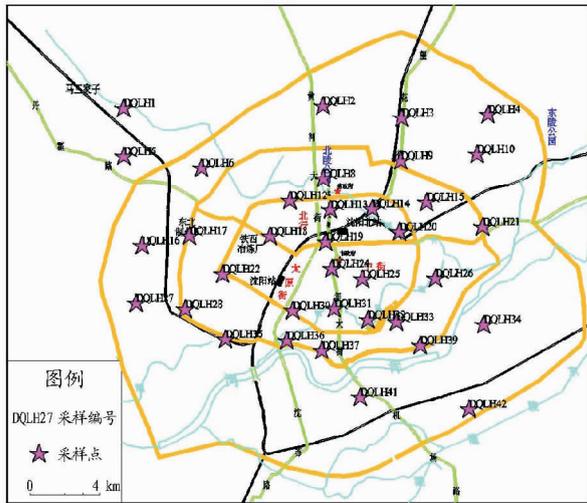


图1 沈阳市采样点分布

1.2 分析与测定方法 用 $0.45 \mu\text{m}$ 的聚酯纤维滤膜将样品全部过滤后,记录滤液体积,样品送达实验室后,将所用溶液和尘粒转入合适的烧杯中,在电热板上蒸发,使体积浓缩至 $10 \sim 20 \text{ ml}$;冷却后用水冲洗杯壁,并把杯壁上的尘粒擦洗干净,将溶液和尘粒全部转移到已恒重的 100 ml 瓷坩埚中,放在搪瓷盘里,在电热板上小心蒸干(溶液少时注意不要崩溅),然后放入烘箱于 $(65 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重,最后称其质量。对所有干湿沉降样品进行降尘总质量(沉降总量)及 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni、Mn 元素含量的测定。其中,As 和 Hg 采用 AFS-230E 原子荧光光度计测定,其余重金属元素的质量分数采用全谱直读电感耦合等离子发射光谱法(ICP-AES;IRIS Intrepid IIXSP,美国热电公司)测定。

表2 沈阳市主要行政区基本概况

行政区	面积// km^2	人口// $\times 10^4$	主要概况	性质
和平区	60	70	和平区位于沈阳市的中心区域,是全市的政治、经济、科教、文化中心。	文化区
沈河区	58	70	沈河区是沈阳市的政治中心、商贸中心、金融中心、文化中心,旅游胜地和开放门户,是全国城区中第一个国家级可持续发展试验区。	商业区
皇姑区	66	80	皇姑区是辽宁省的行政中心区和文化教育大区。	文化区
大东区	105	70	大东区是沈阳市内五区之一,是沈阳民族工业的发祥地,是中国著名的航空发动机制造基地、数控机床生产基地、商务汽车生产基地。	工业区
铁西区	128	110	铁西区是中华人民共和国装备制造第一区,中国重工业的摇篮。	工业区
浑南新区	292	40	浑南新区是重点发展高新技术的国家级产业基地,是老城区延伸的新城区,是向“大浑南”辐射的桥头堡,即“现代服务业的中心、研发创新的基地、新兴产业的制高点和展示形象的窗口”。	高新区
东陵区	913	40	近郊区之一,区内有东北最大航空港—沈阳桃仙国际机场。	居住区
于洪区	774	60	近郊区之一。	居住区

序,其含量顺序为 Mn、Zn、Pb、Cu、Cr、Ni、As、Cd、Hg。在不同的采样点,元素大气干湿沉降的年沉降通量差异较大,但其分布规律大致相同。Cd、Cu、Pb、Hg 的年沉降通量在各地区分别表现为:铁西>皇姑>沈河>和平>大东>东陵(浑南)>于洪,铁西>沈河>皇姑>和平>大东>东陵>于洪>浑南,铁西>沈河>皇姑>和平>东陵>于洪>大东>浑南,铁西>沈河>皇姑>和平>大东(东陵)>于洪(浑南)。Ni、Zn、Mn 等元素分布具有类似的规律,说明元素的沉降量具有一致性。值得注意的是,Cu、Hg 元素在铁西区的沉降量大大高于浑南新区,大概为其的 3 倍。而 Cu、Ni 为燃煤尘中

2 结果与分析

2.1 我国不同城市降尘浓度对比 近几年我国工业得到较大程度的发展,工业区新建、扩建项目增多,工业区四周烟囱林立,烟尘量增加,从而使尘类污染加重;交通区人流、车流不断,带入大量泥土和灰尘,特别是一些运载水泥、石灰、煤的车辆,几乎没有防尘设施,使所载物质乘风飞扬,造成尘类污染也较重;居民区比较卫生,人车流动较少活动量不大,这是污染较轻的原因(表1)。可见,工业污染源排放、机动车尾气排放对大气中重金属的贡献最大^[4-5]。值得注意的是,一些重工业城市如本溪、太原等工业区和交通密集区,降尘浓度与清洁区的差值尤其大,在一些株洲和芜湖等轻工业城市这个差值就较小。这说明我国采矿、冶金等重工业生产以及交通运输是形成大气降尘污染的一个主要原因^[6]。

表1 我国几个城市不同功能区降尘浓度 t/km^2

城市	工业区	交通区	居民区	清洁区
本溪	58.0	60.0	30.2	21.8
太原	60.0	55.0	40.0	-
马鞍山	19.2	-	10.9	11.7
沈阳	28.3	29.2	26.2	-
大连	24.2	25.8	19.4	19.5
石河子	30.0	28.1	21.0	6.1
徐州	16.5	-	14.6	10.0
芜湖	16.7	11.2	12.6	7.4
株洲	32.2	27.2	17.3	10.1
南宁	14.4	12.7	7.9	5.4

2.2 沈阳市各行政区大气干湿沉降物中重金属沉降通量分析 沈阳市主要行政区中,大东区、铁西区为工业区,和平区、皇姑区为文化区(表2)。由表3可知,按元素平均值排

特征性强的元素,这可能与铁西地区高密度工厂用煤有关;而汽车尾气中特征性最强的元素为 Pb,冶金尘中特征性较强的元素为 Zn、As^[7]。研究区 Cd、Hg、Pb、As 的年输入通量分布特征与各地的工业产业布局模式具有良好的对应关系,沈阳市铁西区分布有大量的工业企业,重金属影响依然比较突出,在铁西冶炼厂附近分布有 As、Cd、Pb、Mg、Na 元素的高含量点;在沈河区太原街商业区和皇姑区北行商业区受汽车尾气、燃煤和大量基建项目的影响,分布有 As、Pb 高含量点。而对和平文化区及东陵、于洪、浑南等居民区由于远离工业

(下转第 10792 页)

岸的地下水位抬升没达到以胡杨为主体的荒漠河岸林植被生长发育所需要的程度反而有下降的趋势。

(4) 在野外测定胡杨胸径的过程中,发现人类放牧对胡杨幼苗的破坏也很大,这种破坏在幼龄胡杨树高变化分析过程中更加突出的显示。因此,在继续实施生态输水的同时,建议利用并加强对河道两岸幼龄胡杨的各种保护措施,保证胡杨幼苗正常生长。同时,减少人类活动,以避免扩大农业,降低对地下水的过度利用。

(5) 为了保证水量合理配置方案的实施,需要采用河道疏浚,封堵叉河,加高堤防,修建生态闸,建设节制闸等工程措施,合理有效地分配和控制区间耗水量,为实现水资源合理配置目标提供工程保障。

参考文献

[1] 宋郁东,樊自立,雷志栋. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000:215-241.
 [2] 刘培君,朱峰. 塔里木河两岸自然地理条件[C]//梁匡一,刘培军. 塔里木河下游两岸资源与环境遥感研究. 北京:科学技术文献出版社,1990:200-220.
 [3] 郑丹,陈亚宁,薛燕. 新疆塔里木河下游断流河道输水对地下水变化的影响分析[J]. 干旱区地理,2004,27(2):216-220.

[4] 沙代提·木沙,玉米提·哈力克,托呼提·艾合买提,等. 塔里木河下游生态输水过程中荒漠河岸林活力恢复监测[J]. 生态环境学报,2009,18(5):1898-1902.
 [5] 汪飞,玉米提·哈力克,翟富春,等. 应急输水干扰下塔里木河下游荒漠植被的变化[J]. 新疆农业科学,2009,46(1):179-183.
 [6] 玉米提·哈力克,塔依尔江·艾山,艾里西尔·库尔班,等. 胡杨冠幅对塔里木河下游应急生态输水的响应[J]. 东北林业大学学报,2011,39(9):82-84.
 [7] CHEN Y N, CHEN Y P, XU C C, et al. Effects of ecological water conveyance on groundwater dynamics and riparian vegetation in the lower reaches of Tarim River, China[J]. Hydrological Processes, 2010, 24:170-177.
 [8] 李卫红,陈亚鹏,张宏峰,等. 塔里木河下游断流河道应急输水与地表植被响应[J]. 中国沙漠,2004,24(3):301-305.
 [9] 闫正龙,黄强,牛宝茹. 应急输水工程对塔里木河下游地区植被覆盖度的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(3):621-626.
 [10] TAYIERJIANG AISHAN, ÜMMÜT, HALIK, BERND CYFFKA, et al. Monitoring the hydrological and ecological response to water diversion in the lower reaches of the Tarim River, Northwest China[J]. Quaternary International, 2013, 311:155-162.
 [11] 肖生春,肖洪浪,司建华,等. 胡杨(*Populus euphratica*) 径向生长日变化特征分析[J]. 冰川冻土,2010,32(4):816-822.
 [12] 玉米提·哈力克,柴政,艾里西尔·库尔班,等. 胡杨部分生态指标对塔里木河下游应急输水的响应[J]. 资源科学,2009,31(8):1309-1314.
 [13] 徐海量,叶茂,李吉枚. 塔里木河下游输水后地下水动态变化及天然植被的生态响应[J]. 自然科学进展,2007,17(4):460-470.

(上接第 10765 页)

区,大气受污染程度相对较轻。可见,大气降尘污染的空间分

布与污染源地域分布具有一致性,即工业区 > 商业区或交通区 > 文化区 > 居民区 > 郊区^[8]。

表 3 沈阳市不同行政区大气干湿沉降物中各元素沉降通量

kg/(km²·a)

行政区	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Mn
大东	8.51	0.66	27.16	27.24	0.09	25.21	49.92	134.00	233.90
东陵	6.50	0.61	28.51	26.38	0.09	18.49	53.00	191.10	239.00
和平	12.29	0.77	26.07	34.00	0.10	16.83	59.90	159.10	240.80
皇姑	8.66	0.82	25.32	33.98	0.09	16.25	68.13	159.80	208.70
浑南	5.85	0.61	19.19	19.45	0.07	13.79	46.73	109.20	205.10
沈河	14.19	0.80	28.68	38.78	0.15	20.95	72.35	178.30	233.00
铁西	12.44	0.95	32.35	57.88	0.20	21.88	80.00	202.70	329.20
于洪	5.78	0.60	20.13	23.68	0.07	12.58	52.53	139.30	192.90
平均值	9.28	0.73	25.93	32.67	0.11	18.25	60.32	159.20	235.32

3 结语

燃煤尘、交通尘和建筑尘是沈阳市降尘的主要来源,目前对铁西工业区降尘贡献最大的是燃煤尘,对沈河、皇姑商业区贡献较大的是交通尘、燃煤尘、建筑尘,而对和平文化区及东陵、于洪、浑南等居民区降尘贡献相对较小。但随着近年来铁西区冶炼厂关闭和工厂搬迁改造,沈阳市的空气质量在逐渐的改善,重工业经济对空气的污染在减小,工业粉尘排放已经得到较好的控制和改善。今后,沈阳市要加强对建筑工地的管理,加强对车辆尾气排放管理,使用清洁能源,提高集中供热比例,减少建筑尘、交通尘和燃煤尘对城市空气质量的影响。

参考文献

[1] 杨忠平,卢文喜,龙玉桥. 长春市城区重金属大气干湿沉降特征[J]. 环境科学研究,2009,22(1):28-34.

[2] WONG C S C, LI X D, ZHANG G, et al. Atmospheric deposition of heavy metal in the Pearl River Delta, China [J]. Atmos Environ, 2003, 37:767-776.
 [3] KLOKE A D R, SAVER BECK. Changing metal cycles and human health [M]. Berlin: Sping-Verlag, 1984:113-141.
 [4] 王跃,陈惠忠. 西北四城镇大气粉尘重金属元素研究[J]. 城市环境与城市生态,1999(4):25-28.
 [5] 付铁英,孙平. 本溪市大气降尘及其组分变化规律的研究[J]. 环境保护科学,1997,23(6):4-6.
 [6] 高杨. 成都理工大学校园内大气降尘中重金属铬的分布及形态分析研究[D]. 成都:成都理工大学,2007.
 [7] 汤奇峰,杨忠芳,张本仁,等. 成都经济区 As 等元素大气干湿沉降通量及来源研究[J]. 地学前缘,2007,14(3):186-196.
 [8] 李玲,汪立河. 城市大气降尘污染特征分析及对策[J]. 福建环境,2002,19(3):12-14.