

雨水径流中重金属污染现状及其相关性分析

韦毓韬, 姜应和, 张校源, 熊家祺, 胡险峰, 李文婷, 刘 丽
(武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 随着城市化发展, 重金属污染物会通过汽油燃烧、轮胎的磨损、油脂的渗漏等过程产生, 其通常吸附于颗粒物表面或以化学态、离子态的形式附着于地面。经过雨水的冲刷作用, 重金属污染物溶于雨水径流排入受纳水体, 造成受纳水体污染, 影响生态环境。通过综合性地讨论我国几个城市的道路雨水径流中重金属污染现状, 对比不同城市和同一城市不同功能性用地的重金属污染状况, 就交通因素、大气污染程度、下垫面因素和季节性变化等对雨水径流重金属污染的影响进行了相关性分析, 为我国开展重金属污染防治工作提供相关依据。

关键词: 面源污染; 重金属; 相关性分析

中图分类号: X522

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2018.05.013

Heavy Metal Pollution in Rainwater Runoffs and its Correlation Analysis

Wei Yutao, Jiang Yinghe, Zhang Xiaoyuan, Xiong Jiaqi, Hu Xianfeng, Li Wenting, Liu Li
(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: With the development of urbanization, heavy metal pollutants are generated through gasoline combustion, tire wear and oil leakage. They are usually adsorbed on particulates or adhered to the ground in the manner of compound form and ionic state. After the scour of rainwater, heavy metal pollutants are dissolved in the rainwater runoffs going into the receiving water, resulting in polluting the receiving water and affecting the ecological environment. By comprehensive discussion of the current situation of heavy metal pollution in road runoffs of several cities in China, and comparison of heavy metal pollution in different functional land conditions in different cities and in the same city, a correlation analysis of heavy metal pollution of rainwater runoffs is carried out from the aspects of several factors such as traffic factors, the degree of air pollution, surface factors, and seasonal changes, providing relevant basis for implementation of heavy metal pollution control in China.

Keywords: Non-point Source Pollution; Heavy Metal; Correlation Analysis

CLC number: X522

城市面源污染, 亦称城市非点源污染, 是指在降水条件下, 雨水及雨水径流冲刷地面, 使溶解的或固体污染物从非特定的地点汇入受纳水体, 引起的水体污染^[1], 城市降雨径流污染是仅次于农业面源污染的第二大面源污染, 城市降雨径流污染物质进入水环境, 不仅使水体各参数指标超标, 还会对人体健康造成威胁^[2]。面源污染所面临的问题主要为水体的黑臭现象, 目前我国许多城市都已经开展了对城市黑臭水体的治理, 但面源污染中, 仍有一些表现不明, 但具有累积性和长期危

害性的污染, 如重金属污染。

我国对雨水及雨水径流中重金属污染的监测起步较晚, 且开展监测的范围也集中在一些主要城市, 从2006年开始, 广州、北京、天津、沈阳等城市相继才开始对非点源污染中的重金属含量进行监测分析, 与其相关的治理工程也开展的少之又少。文章基于我国已开展的重金属污染监测的数据现状, 对其相关性进行分析讨论, 旨在为我国水环境中重金属污染的防护提供参考。

收稿日期: 2018-06-05

基金项目: 武汉理工大学自主创新本科生项目 (2017-TJ-B1-16) 基金资助

作者简介: 韦毓韬 (1997-), 男, 本科。研究方向: 给排水科学与工程。E-mail: 15927149182@163.com

1 重金属来源及危害

1.1 重金属来源

城市道路径流作为非点源污染的一个部分,其中含有的污染物质及其含量关乎其危害程度。

道路表面会通过汽车尾气的排放、油脂的泄露和轮胎的磨损等累积大量的悬浮颗粒物、重金属和多环芳烃等污染物质^[3],径流污染中重金属污染物主要来源于交通因素、生活和工业生产中的废弃物。道路径流重金属污染物成分及来源^[4-5],见表1。

表1 重金属污染来源

来源	详情
污水水的排放	城市工业化的快速发展,大量工业污水未经处理或处理不够完全,排放至城市污水系统或受纳水体,导致水体中富集大量重金属离子。
大气降尘	主要由工业生产,煤炭燃烧,汽车尾气排放产生的大量含有重金属离子成分的气体以及轮胎磨损,金属电镀及制动部件的磨损等产生的粉尘及颗粒物。
农药化肥	过量或不合理的施用含镉化肥,会使不同土壤受到不同程度的镉污染。
废弃物	生活中许多废弃物都含有重金属成分,废旧电池,工业废弃物,彩釉的碟碗等都带有重金属成分,若不能合理处理,会对环境造成极大污染。
土木工程施工	土木工程施工中,钢材、金属电镀,油漆喷洒等施工过程中会产生许多重金属颗粒物,这些颗粒物会附着在地面。金属锈蚀过程中的脱落也会造成相应的重金属污染。
下垫面材质	屋面的材质,道路路面的材质,如沥青路面材质中含有镍等。

1.2 重金属危害

重金属污染具有不可降解性,一旦产生就很难消除,对环境和人体都会有影响,在水环境中会随食物链传递,其毒害作用会逐级放大,如果不加以控制,最终会使转移到人体内的含量过多,从而对人体健康造成巨大的危害,是一种不可忽视的污染物。主城区的重金属污染物主要为铅、锌、铁、铜,其危害^[6-7],见表2。

表2 重金属危害

重金属	危害
铅(Pb)	Pb 对人体健康有极大的危害,其不具有有益功能,一旦进入人体很难排除,能直接损害人的脑细胞,对胎儿可造成先天智商低下,对老年人则会造成老年痴呆,且还会对造血系统和肾脏产生危害,损害骨髓造血引起贫血。
锌(Zn)	Zn 是人体必需的微量元素,体内正常含锌量为 2~3 g,如果含锌量过高,会引起腹泻、呕吐等胃肠道症状,在胃液中形成的氯化锌对胃黏膜具有较强的腐蚀性,可致胃黏膜充血、水肿甚至出血。
铜(Cu)	Cu 人体必需的微量元素,但铜在人体残留过多,会对脏器造成负担,导致人体的新陈代谢紊乱,肝硬化。超过一定量后会释放进入血液,损失血红细胞,引起酶系统的氧化活性降低,导致贫血和溶血。
镉(Cd)	Cd 在人体内滞留时间过长,有致癌性。镉会导致高血压,引起心脑血管疾病,破坏骨钙,引起肾功能失调。在人体中急剧累积会引起急性、慢性中毒,急性中毒最终可能导致死亡。

过量的重金属对人体都有着或多或少的危害,有必要对雨水径流中重金属含量进行监测,对严重地区的径流污染进行治理改善,避免水体及人身体健康受到重金属污染威胁。

2 我国雨水径流中重金属污染现状

我国城市雨水径流非点源污染研究起步较晚,20 世纪 80 年代首先在北京开始,随后杭州、苏州、南京、西安、青岛等城市相继开展这项研究^[8],

其中广州、北京、天津、乌鲁木齐、沈阳等城市先后对城市道路径流中重金属含量进行了监测分析,雨水径流中的重金属含量^[9-13],见表3。

从表3 的数据可以看出,我国各地存在着不同程度的重金属污染,根据《地表水环境质量标准》^[14]要求,广州、北京、天津径流中重金属 Pb 的含量已经超过了Ⅴ类水质要求,为劣Ⅴ类水,其中北京的 Zn、Cd 含量也超过了Ⅴ类水质要求。Cu 的污染程度低于其他重金属污染物,均未超过

Ⅱ类水质要求。相同城市不同功能区重金属污染程度也存在着差异,其中沈阳曾对该市不同城区雨水径流中的重金属含量进行过监测,处于不同

功能性区域的雨水径流中重金属污染程度也有不同,监测结果,见表 4。

表 3 各地区道路雨水径流中重金属含量

地区	Cu/mg·L ⁻¹	Zn/mg·L ⁻¹	Pb/μg·L ⁻¹	Cd/μg·L ⁻¹
广州	0. 0900 ~0. 2400 (0. 16)	0. 860 ~4. 400 (2. 06)	11. 90 ~426. 7 (115. 2)	0. 4 ~5. 1 (1. 6)
乌鲁木齐	0. 1168 ~0. 4950 (0. 2238)	0. 4354 ~0. 9015 (0. 6621)	45. 60 ~165. 0 (84. 5)	2. 1 ~5. 2 (3. 3)
北京	0. 0460 ~0. 9355 (0. 3813)	0. 3887 ~5. 5830 (2. 1922)	35. 65 ~712. 5 (257. 92)	0. 5 ~139. 9 (27. 238)
天津	0 ~0. 0760 (0. 017)	0. 007 ~1. 46 (0. 1537)	0 ~198. 0 (116. 33)	0 ~26 (7)
沈阳	0. 0059 ~0. 0786 (0. 0274)	0. 0283 ~0. 4255 (0. 1197)	0. 05 ~31. 72 (7. 17)	0. 12 ~0. 53 (0. 27)

注:括号里的数值为均值。

表 4 沈阳不同区域雨水径流重金属含量 μg·L⁻¹

地点	Cu	Zn	Pb	Cd
文化路立交桥	19. 41	43. 72	0. 14	0. 18
三好街	78. 62	74. 51	0. 32	0. 24
沈阳第一制药厂	24. 03	46. 57	0. 05	0. 22
沈阳火车站	17. 80	189. 95	31. 72	0. 46
中街	33. 15	425. 53	14. 85	0. 53
步云家园小区	13. 20	29. 05	0. 18	0. 12
奥林匹克生态公园	5. 89	28. 31	2. 96	0. 12

不同城区重金属污染程度有一定的差异,可能与交通因素、工业化程度、大气污染程度、地理位置等影响有关。浑南森林公园的径流重金属污染较为轻微,三好街 Cu 的污染为森林公园的 13 倍,Zn 污染最严重的中街是森林公园 Zn 污染的 15 倍;位于交通枢纽的沈阳火车站,该地区的 Pb 污染程度是沈阳第一制药厂的 634 倍,可以推测,重金属 Pb 的排放在一定程度上与交通因素有关。

3 雨水径流中重金属污染相关性分析

3.1 我国不同城市径流重金属污染相关性分析

3.1.1 交通因素 降雨过程中雨水会不断冲洗大气中的污染物质,降落地表后又不断冲刷地表沉积污染物,严重污染城市水体。Zn、Pb、Cd 等重

金属污染物一般都与汽车因素有关,查阅采样当年年份的统计年鉴^[15-19]以及查阅各城区的市区的面积,计算得到主城区单位面积上的汽车拥有量,见图 1,各城市道路雨水径流中重金属含量,见图 2。

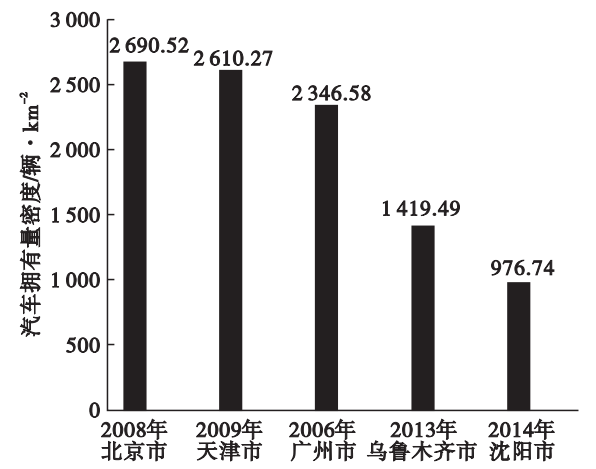


图 1 采样年份当地汽车拥有量密度

广州市在 2006 年份的汽车拥有量密度远大于乌鲁木齐市在 2012 年份的汽车拥有量密度,从重金属污染物来源分析,可以看出 Zn、Pb 的含量在汽车拥有量密度较大的广州地区较高。从重金属污染状况可以看出,广州市与乌鲁木齐市道路径流中 Cu、Cd、Zn、Pb 的含量均小于北京市的含量。以上 5 座城市中汽车拥有量密度按大小排序

为北京 > 天津 > 广州 > 乌鲁木齐 > 沈阳,而这 5 座城市降雨径流中 Pb 含量大小为北京 > 天津 > 广州 > 乌鲁木齐 > 沈阳,结果显示城市汽车拥有量密度与城市道路降雨径流中 Pb 含量有较高的正相关性。

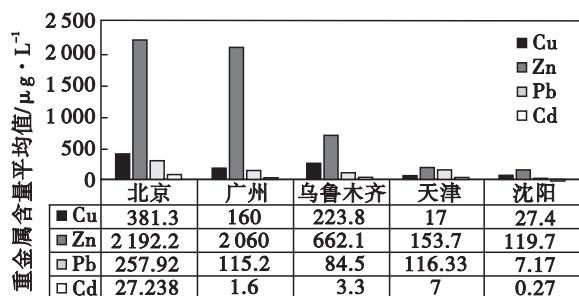


图2 各城市道路雨水径流中重金属含量平均值

3.1.2 大气污染程度 随着现代工业化的发展,一些冶金工业排放的工业气体中含有会带有一定量的金属或重金属粒子,并且一些土木工程施工所产生的扬尘以及人们日常生活中生活废弃污染物的排放也会带有重金属。重金属元素在不同粒径颗粒物中均有不同程度的富集,相对而言,重金属在细颗粒物($PM_{2.5}$)中的含量要比在粗颗粒物(PM_{5-10})中的高^[20]。这些大气颗粒物随着雨水的冲洗会融入雨水中,使雨水径流中重金属浓度升高,造成非点源污染。陈昱奇等^[13]对自然降雨与道路径流中重金属的含量进行过监测,污染严重地区相应重金属含量分别为自然降雨中重金属 Cu、Zn、Pb、Cd 含量的 48 倍、229 倍、24 倍和 3 倍,重金属在自然降雨中的含量要远低于道路径流中的重金属含量。王华等^[21]在成都市西华大学校园内的教学楼顶采集了 3~10 月份的自然降雨,样品中 Zn、Pb、Cu 的月平均量分别为 9.86、9.72、1.79 $\mu\text{g/L}$,所检测出的重金属含量很小。因此,可以推测大气污染程度不是道路雨水径流重金属污染的主要影响因素。

3.1.3 下垫面因素 雨水中污染较大的一般为屋面径流和道路径流,而不同下垫面造成的污染程度也会有所不同。

对于屋面因素的影响,屋面径流的重金属污染物除了来自屋面承接的大气干沉降和降雨冲刷的湿沉降外,还与屋面的材质有关。王闪等^[22],

通过天然降雨和模拟实验降雨研究了 3 种不同屋面材质(青瓦、沥青瓦、沥青卷材)所形成的屋面径流中的重金属浓度。重金属 Pb、Cd、Zn 在 3 种屋面径流中的平均浓度顺序为沥青瓦屋面 > 青瓦屋面 > 沥青屋面。青瓦屋面的主要材料为粘土,烧结后表面有许多细小空隙,具有吸附性,所以容易吸附以气态存在于空气中的重金属^[23]。而沥青瓦表面覆盖有经染料着色的矿物颗粒,这些染料中有些含有有色金属氧化物^[24],长期经雨水冲刷而发生脱落会导致含有金属元素的矿物颗粒融入雨水中,使雨水中重金属含量升高。袁宏林等^[25],通过对 2013 年全年在西安市不同下垫面采集道路雨水径流样品研究发现,柏油路面上的雨水径流中 Pb 含量最高,石板路面上 Pb 的含量在其次,塑胶路面上的 Pb 含量最少,除了一些人为因素外,最主要的是道路不透水面积的情况,柏油路面的不透水面积达 100%,而塑胶路面的不透水面积只有 50%,由此可见透水路面的渗透作用会减轻雨水径流的污染程度。

3.2 相同城市不同城区的相关性分析

对于沈阳城区不同地点,中街、火车站这两个采样点中锌、镉的含量最高,分别为第一、第二且远高于其他监测点。原因可能是现在新车型均采用防腐镀锌汽车板,由此产生的锌粉尘会随着降雨径流进入水体中造成锌污染,而且合成橡胶添加剂中含有氧化锌,汽车润滑油中含有硫代硫酸锌,故而汽车轮胎的磨损、润滑油的使用均会导致城市水环境中污染锌含量的上升。

文化路立交桥采样点位于文化路与青年大街交叉处,其交通量大,但是其降雨径流中 4 种重金属含量均较低。分析其原因可能为:文化路立交桥四周无高层建筑与商业圈,且其采样点地势高于四周路面,四周路面的降雨径流无法汇向采样点,由此导致此采样点 4 种重金属含量均较低。

张娜等^[12]在天津市 3 个不同功能区(商业区、文教区、居住区)的道路径流进行了监测分析,结果显示 Cd 和 Pb 的含量居住区最高,Zn、Cu、Cd 等金属含量为商业区最高,而文教区的含量在二者之间。造成这样的原因经分析可能是:商

业区和居住区的车流量相较文教区大,经过时间的累积,商业区和居住区的道路表面含有的重金属颗粒物及相关污染物较多,雨水冲刷后,其雨水径流中的重金属含量大于文教区中径流重金属含量。交通要素还会增加大气污染,机动车排放的颗粒物及行驶载带的扬尘是道路中大气污染颗粒物污染水平较高的首要因素^[26]。

4 结论

(1)道路雨水径流中 Cu、Zn、Pb、Cd 含量受多方面因素影响,其中以交通因素影响为主,大气污染程度虽然也会使雨水中重金属含量有所增加,但不是主要的影响因素;下垫面的材质与特性、城区所处的地理位置、季节性的变化等都对重金属的污染程度具有一定的影响。

(2)我国不同地区均受到不同程度的重金属污染,其中广州和北京的整体污染较严重,部分样品中 Cu、Zn、Pb 含量超过 V 类地表水水质标准,沈阳和天津有部分重金属超标,但与广州和北京两城市相比,污染较轻微。原因可能是广州与北京的汽车拥有量较多,且广州与北京作为一线城市,受人为活动因素影响过大,导致重金属污染较为严重。

(3)在同一城市不同监测地区中,属于交通重要枢纽、人为活动频繁的商圈重金属污染较为严重,其主要原因是汽车尾气的排放、轮胎刹车皮的磨损、废弃物丢弃等使地表附着许多含重金属成分的粉尘及颗粒物,经雨水冲刷后导致雨水径流中重金属含量增加。

参考文献

- [1]侯培强,王效科,郑飞翔,等.我国城市面源污染特征的研究现状[J].给水排水,2009(35):188-193.
- [2]张志彬,孟庆宇,马征,城市面源污染的污染特征研究[J].给水排水,2016(42):163-167.
- [3]Deletic A, Orr D W. Pollution buildup on road surfaces[J]. Journal of Environmental Engineering, 2005, 131(1): 49-59.
- [4]郑良永,杜丽清.我国农业化肥污染及环境保护对策[J].中国热带农业,2013(2):76-78.
- [5]Drapper D, Tomlinson R, Williams P. Pollutant concentration in road runoff: southeast Queensland case study[J]. Journal Environmental Engineering, 2000, 126(4): 313-320.
- [6]Chen Zhen, Meng Huan, Xing Gengmei, et al. Acute toxicological effects of copper nanoparticles in vivo[J]. Toxicology Letters, 2006, 163(2): 109-120.
- [7]李星宇.西安市路面径流雨水中重金属的污染状况及变化特性[D].西安:西安建筑科技大学,2014.
- [8]陈伟伟,詹小来,曹惠提,等.城市雨水径流非点源污染研究进展[J].节水灌溉,2011(12):50-52.
- [9]甘华阳,卓慕宁,李定强,等.广州城市道路雨水径流的水质特征[J].生态环境,2006,15(5):969-973.
- [10]董微砥,陈学刚,魏疆,等.乌鲁木齐市道路雨水径流重金属污染分析[J].环境工程,2014(5):105-110.
- [11]李海燕,胡磊,王崇臣.道路雨水径流重金属含量测定[J].环境化学,2009,28(1):145-146.
- [12]张娜,赵乐军,李铁龙,等.天津城区道路雨水径流水质监测及污染特征分析[J].生态环境学报,2009,18(6):2127-2131.
- [13]陈显奇,潘俊,董健,等.沈阳城区雨水径流中重金属的空间分布规律研究[J].供水技术,2015,9(5):32-36.
- [14]国家环保总局,国家质量监督检验检疫总局.地表水环境质量标准 GB/T3838-2002[S].北京:中国环境科学出版社,2003.
- [15]黄平湘.广州统计年鉴(2006)[M].北京:中国统计出版社,2006.
- [16]董玥,田喜斌.沈阳统计年鉴(2014)[M].北京:中国统计出版社,2014:378.
- [17]黄国森.乌鲁木齐统计年鉴(2013)[M].北京:中国统计出版社,2013:311-313.
- [18]于秀琴.北京统计年鉴(2008)[M].北京:中国统计出版社,2008:3-8.
- [19]杜西平.天津统计年鉴(2009)[M].北京:中国统计出版社,2009:349.
- [20]Cyrus J, Stölzel M, Heinrich J, et al. Elemental composition and sources of fine and ultrafine ambient particles in Erfurt, Germany[J]. Sci Total Environ, 2003, 305(1-3):143-156.
- [21]王华,马宁,杨晓静,等.成都市雨水中重金属特征[J].地球与环境,2010,38(1):49-53.
- [22]王闪,李敏,张立秋.不同屋面材料径流过程中重金属的污染特征[J].城市环境与城市生态,2015,28(3):35-38.
- [23]冯新斌,仇广乐,付学吾.环境汞污染[J].化学进展,2009,21(2/3):436-457.
- [24]徐晓虹,熊碧玲,吴建锋,等.彩砂的研究与应用[J].佛山陶瓷,2005(12):24-27.
- [25]袁宏林,郑鹏,李星宇,等.西安市不同下垫面路面径流雨水中重金属的四季污染特征[J].生态环境学报,2014,2(7):1170-1174.
- [26]陈建华,王玮,刘红杰,等.北京市交通路口大气颗粒物污染特征研究(IV)—大气颗粒物污染特征及其影响因素[J].环境科学研究,2005,18(2):34-38.