

太原市工业区不同下垫面降雨径流污染特征

来雪慧, 赵金安, 李丹, 高宇, 周航

(太原工业学院 环境与安全工程系, 山西 太原 030008)

摘要: [目的] 揭示太原市工业区不同下垫面降雨径流的污染特征, 为探明工业水体污染的来源以及工业水污染治理提供科学依据。[方法] 基于研究区 2 类不同下垫面的降雨径流水质监测数据, 计算场次降雨径流污染物的平均浓度(EMCs)。监测项目包括 COD_{cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$, TN, TP, Cu 和 Zn。[结果] 2 种下垫面条件下降雨径流的 COD_{cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$, TN 和 TP 的浓度均超出 V 类国家地表水标准, 重金属污染不明显; 污染物负荷(EMC)与降雨历时呈现负相关关系, 符合指数回归方程。[结论] 研究区降雨冲刷效应显著, 随着降雨历时的增加, 污染物浓度趋于降低。同时, 与国内其他城市工业区相比, 太原市工业区的污染程度较轻。

关键词: 径流水质; 事件降雨径流污染负荷(EMC); 下垫面; 太原市工业区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)06-0000-00

中图分类号: X824

Pollution Characteristics of Runoff on Different Underlying Surfaces in Industrial Area of Taiyuan Province

LAI Xuehui, ZHAO Jinan, LI Dan, GAO Yu, ZHOU Hang

(Department of Environment and Safety Engineering,

Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan, Shanxi 030008, China)

Abstract: [Objective] The pollution characteristics of rainfall runoff on different underlying surfaces in Taiyuan industrial area were investigated to provide some scientific bases for water conservation and ascertainment of industrial water pollution sources. [Methods] Based on the monitoring data of runoff water quality from two underlying surfaces, the mean pollutant concentrations of event rainfall(EMCs) were calculated. The monitoring ingredients including: COD_{cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$, TN, TP, Cu and Zn. [Results] Concentrations of COD_{cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3^- \text{-N}$, TN and TP in Taiyuan industrial area were all above the surface water range of standard V. No obvious pollution of heavy metal pollution was observed. There was a negative correlation between pollutant loads(EMCs) and the rainfall time, it conformed with an exponential equation. [Conclusion] There was a remarkable rainfall erosion effect on pollutants, and the pollutants concentration decreased with the increase of rainfall duration. In contrast with the cases of other domestic cities, the runoff water quality was in a lesser contamination degree for Taiyuan industrial area.

Keywords: runoff quality; mean pollutant concentration of event rainfall(EMC); underlying surface; Taiyuan industrial area

自 20 世纪 80 年代国内开展非点源污染研究以来, 虽然取得了诸多的成果, 但关于城市降雨径流污染的研究比较少^[1-3], 尤其是城市工业区的研究更少见报道。雨水作为一个城市区域水资源最根本的来源, 是解决水资源危机、改善城市水环境的重要途

径^[4]。屋面、路面和绿地是城市主要的下垫面类型, 当暴雨产生时, 下垫面上大量污染物在雨水的冲刷下随径流一起进入接纳水体, 进而威胁城市生态环境。另外, 随着城市化进程的加快, 城市不透水面积呈上升趋势, 暴雨产生的径流量也大大增加^[5]。本研究在

收稿日期: 2014-09-22

修回日期: 2014-10-17

资助项目: 山西省高等学校科技创新项目“农业活动影响下的寒地土壤氮和有机碳运移机制及规律研究”(2014151); 山西省重点学科建设经费项目

第一作者: 来雪慧(1984—), 女(汉族), 山西省大同市人, 博士, 讲师, 主要从事环境规划、农业面源等方面研究。E-mail: laixuehui@mail.bnu.edu.cn.

对太原市工业区硬质屋面和沥青路面降雨径流水质进行监测分析的基础上,探讨两种下垫面条件下的雨水径流污染物历时变化规律,并计算场次沥青路面降雨径流污染物的事件平均浓度(EMCs),分析影响径流水质的主要因素,研究结果不仅有助于了解工业区水体污染的来源,还可以为城市工业的水污染治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 区域概况

太原市气候属于暖温带大陆性季风气候,四季分明,降水集中,全年光照充足,多年年平均气温为 9.5 ℃,年均降水量为 468.4 mm。通过对太原市近 20 a 的降雨数据分析得知,其降雨量年份差异很大,总体降雨量呈上升趋势。同时,年内降雨主要分布在夏秋季,7—9 月降雨集中。尖草坪区位于太原市北端,是一个农业和工业兼容的新型城区,但其中的工业比例占 56.82%,工业基础比较雄厚,已基本形成了以冶金、石化、建材、机械加工制造为主的工业产业布局。因此,结合太原市降雨特点与尖草坪区的工业基础,考虑到本研究中试验的可操作性,采样区选择在位于尖草坪区的太原工业学院校园内。

1.2 采样点选取及样品采集

根据太原工业区下垫面的特点和雨水样品的采集原则,本研究选择了 2 类不同下垫面的集水口作为样品采集点,分别为硬质屋面雨水竖排管口和沥青路面集水井口。由于考虑到试验的方便性,2 个采样点分布在以实验室为中心的 100 m 范围内。太原市每年 6—8 月为降雨高峰期,本研究在此期间对日间降雨产生的地表径流共进行 4 次集中采样,2 类不同下垫面的雨水样品分别为 28 个,每个样品测试 3 次,取平均值进行分析。采样时间从径流形成开始计为 0 min,之后分别在 10,20,30,40,50,70,100 min 时分别采集 1 个样品,将所采集的水样保存于聚乙烯瓶。在采样时,如果降雨暂停或所形成的径流很小而难以收集水样,则采样暂停,待降雨及其形成的径流增大再接着采样。降雨暂停或所形成的径流很小的时间不计入降雨或产流时间,在取样累计时间时应该将这段时间予以扣除,并准确记录降雨间隙的开始时间与结束时间。

1.3 分析方法

采集的径流水样及时送至实验室并于 24 h 内进行水质指标分析。监测指标主要有 COD_{cr}、氨氮、总氮、硝氮、总磷和重金属(Zn 和 Cu),具体的水质指标分析方法详见表 1。

表 1 径流水样中水质指标分析方法

水质指标	测定方法
COD _{cr}	快速消解分光光度法(HJ/T399—2007)
NH ₃ -N	纳氏试剂分光光度法(HJ535—2009)
NO ₃ ⁻ -N	紫外分光光度法(HJ/T346—2007)
TN	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ636—2012)
TP	钼酸铵分光光度法(GB/T11893—89)
Zn,Cu	原子吸收分光光度法(GB7475—87)

1.4 降雨径流的污染物负荷(EMC)

根据国内外文献查阅,在场次降雨径流中所产生的污染物负荷通常采用 EMC 指标^[6]进行量化。EMC 指一场降雨径流事件全过程中排放的污染物平均浓度,其计算方法^[7-8]为:

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t C_t Q_t dt}{\int_0^t Q_t dt} = \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (1)$$

式中: M ——整个降雨过程中某种污染物的总含量(g); V ——相对应的总径流量(m³); t ——总的径流时间(min); C_t ——随时间变化的污染物含量(mg/L); Q_t ——随时间变化的径流速率(m³/min); Δt ——不连续的时间间隔。由于实测中无法监测污染物的连续浓度数据,所以在实际计算过程中用某一时刻的污染物质浓度来代替其所在时间段的浓度。

2 结果与分析

2.1 不同下垫面径流污染输出规律

通过对 2 类不同下垫面条件下的降雨径流水质监测,对 7 个指标的污染物平均浓度历时变化进行分析(图 1—2)。由图 1—2 表明,2 种下垫面条件下不同污染物的浓度均具有随着时间的变化逐渐减小的规律。降雨初期污染物浓度较高,但由于冲刷效应,污染物浓度明显下降。硬质屋面和沥青路面的 COD_{cr} 平均浓度在降雨初期为 293.5 mg/L,超出国家《地表水环境质量标准》^[9]中的 V 类标准 7 倍多,在经历 50 min 后,浓度下降为初期的 26% 左右,经历 100 min 后,浓度已经下降至 43.5 mg/L,但仍超出 V 类标准中的 40 mg/L。2 种下垫面条件下 TN 的平均浓度为 9.8 mg/L,超过国家标准中的 V 类标准将近 5 倍,在经历 100 min 的冲刷后,浓度下降为初期的 33.7%。NH₃-N、NO₃-N 和 TP 略超出 V 类标准,经过雨水冲刷后达到 III 类标准。Cu 和 Zn 的平均浓度在降雨初期达到国家 II 类标准。另外,硬质屋顶径流中除 COD_{cr} 和 Cu 外,其他 5 类污染物的初始浓度都要低于其在沥青路面径流中的浓度,这说明硬

质屋顶对这些污染物质的削减作用强于沥青路面。硬质屋顶 COD_{cr} 浓度高于沥青路面,这与降雨对路面

的冲刷、地表的清洁状况以及污染物的化学特性等有关。

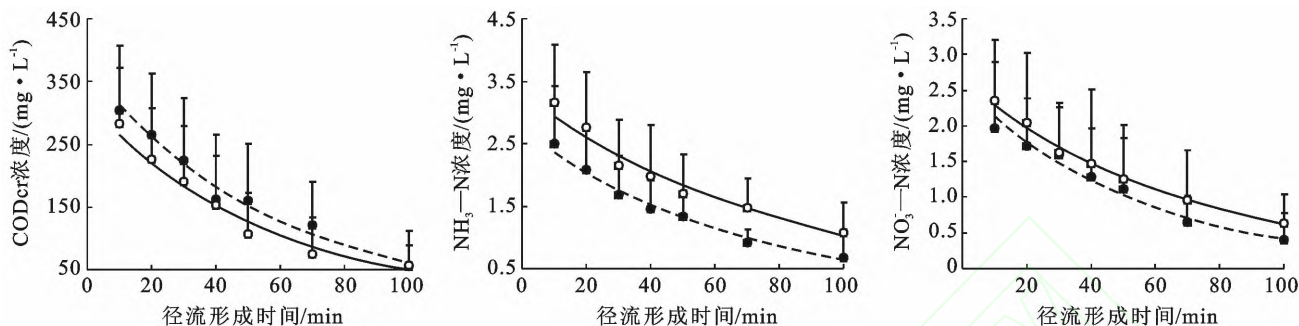


图 1 降雨径流中 COD_{cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 平均浓度的历时变化

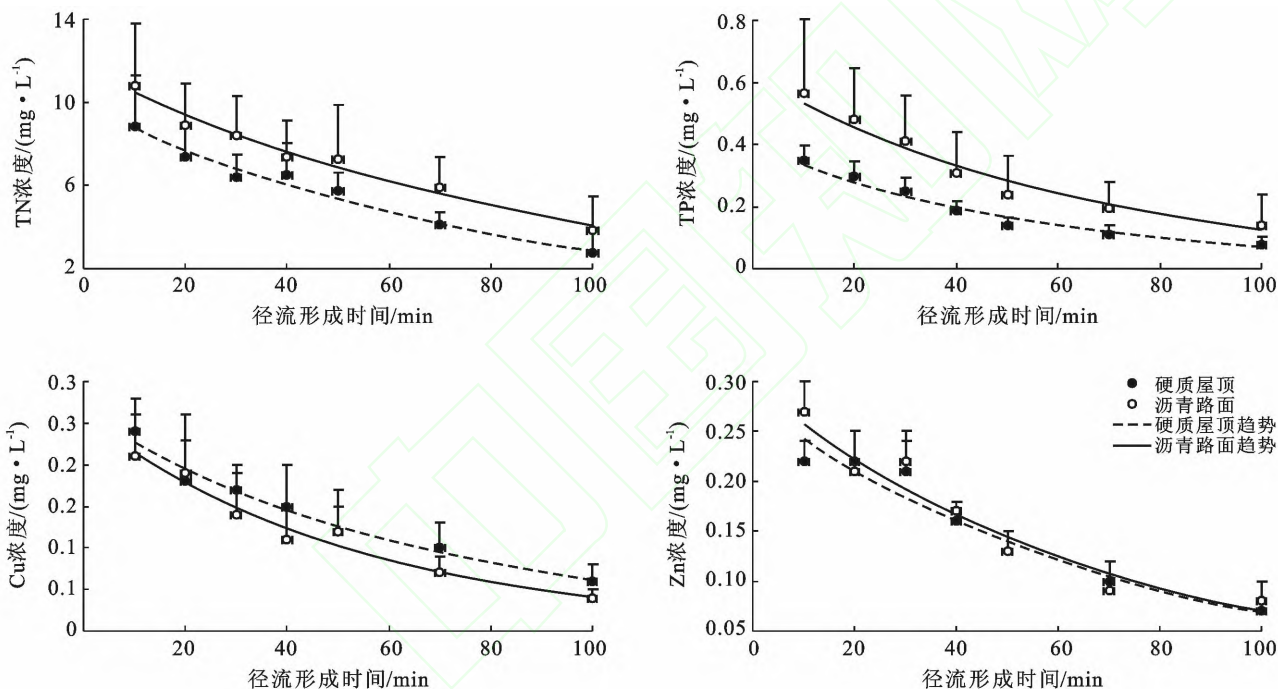


图 2 降雨径流中 Tn , TP , Cu , Zn 各污染物平均浓度的历时变化

2.2 降雨径流污染负荷分析

根据降雨径流污染负荷的计算方法,表 2 为实测不同下垫面条件下的径流污染物 EMC 值。由表 2 可以看出,硬质屋面和沥青路面条件下的 COD_{cr} 和 TN 具有较高的污染强度。 COD_{cr} 在监测到的第 1 次降雨事件中的径流污染最为严重,硬质屋面和沥青路面径流中的 COD_{cr} 浓度 EMC 值分别为 238.2 和 219.0 mg/L ,与《地表水环境质量标准》中的 V 类标准相比,分别超标 6 和 5.5 倍。而 TN 在文中的第 2 次降雨中径流污染最为严重,2 种下垫面条件下的浓度 EMC 值分别高达 6.14 和 8.50 mg/L ,超出国家 V 类标准的 3~5 倍,同时沥青路面的浓度高于硬质屋面。TP, Cu 和 Zn 的污染浓度 EMC 值较低,均符合 IV 类标准以下。

2.3 降雨径流对污染物质的冲刷效应

通过对 4 场降雨时间在 2 类不同下垫面条件下的径流污染物流出规律进行综合分析得知,对于硬质屋面和沥青路面,降雨径流对其污染物的冲刷效应相近,这可能是由于两者的透水率类似,导致雨水下渗能力和产生的径流量也差不多,从而对累积污染物质的冲刷力也相似。另外,硬质屋面和沥青路面下垫面上污染物质的初始冲刷效应较为明显,随着降雨历时的延长,污染物浓度逐渐降低,整个 100 min 的径流时间运移 50% 的污染负荷,这与其他城市的研究结果^[10]基本一致。与硬质屋面相比,沥青路面的径流冲刷效应更为显著。通过径流可以去除超过 50% 以上的污染物,尤其是对于 COD_{cr} 和重金属的去除。相关分析结果表明,7 类污染物浓度 EMC 随着径流时

间均具有相似的变化规律,且均符合指数回归方程,相关系数均在 0.98 以上。降雨前的干期污染物进行积累,降雨初期由于雨水冲刷使得污染物进行汇聚,随着降雨历时的延续,下垫面经过冲刷,污染物浓度逐渐降低并趋于平稳。

2.4 径流污染与其他城市工业区的比较

根据已有的研究,以太原市硬质屋面和沥青路面降雨径流水质的平均 EMC 值与杭州、福州、东莞以及厦门 4 个城市的工业区径流水质加以比较(表 3)。根据表 3 可知,太原市工业区降雨径流中各污染物的浓度均低于东莞。主要原因可能是太原与东莞在工业发展的差距,导致太原市工业区受到的污染较小。

同时,与福州相比,太原市的 COD_{cr} 和 TP 浓度偏高,而各种形态氮浓度偏低。相反,太原工业区各种形态的氮浓度却高于杭州和厦门市,说明太原工业发展过程中主要受到氮污染。另外,相对于杭州和厦门沿海城市,年降雨量大,雨季降水丰富,即使大量的氮污染物沉积于城市下垫面,但仍然能够通过雨水的冲刷而不至于大量积累。值得注意的是,对于大多数城市来说,在降雨径流水质监测中重金属污染小,甚至低于检测限。

本研究中,除东莞市 Zn 的浓度超过国家《地表水环境质量标准》^[9] 中 V 类标准的 1 倍多,其他各项均符合 II 类标准。

表 2 太原工业区实测不同下垫面条件下的降雨径流 EMC 值

		mg/L						
日期	下垫面条件	COD_{cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	TN	TP	Cu	Zn
20140618	硬质屋面	238.2	0.95	0.50	4.61	0.17	0.13	0.13
	沥青路面	219.0	2.05	0.77	6.78	0.44	0.06	0.16
20140704	硬质屋面	144.3	1.84	1.62	6.14	0.19	0.14	0.15
	沥青路面	107.8	2.44	2.18	8.50	0.31	0.13	0.14
20140723	硬质屋面	162.2	1.49	1.29	5.93	0.18	0.12	0.11
	沥青路面	128.1	1.68	1.36	7.01	0.21	0.11	0.14
20140828	硬质屋面	65.0	0.90	0.69	3.86	0.13	0.09	0.15
	沥青路面	58.1	1.00	0.70	4.17	0.17	0.10	0.12

表 3 与其他城市工业区降雨径流污染物负荷 EMC 的对比

城市	mg/L						
	污染物 EMC 值						
	COD_{cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	TN	TP	Cu	Zn
太原	140.40	1.55	1.14	5.88	0.23	0.11	0.14
杭州	239.80	1.36	—	—	0.79	—	—
福州	119.35	3.87	—	6.42	0.19	—	—
东莞	221.45	5.51	—	12.19	2.99	0.32	3.45
厦门	—	0.73	2.38	4.58	0.39	—	—

3 结论

(1) 城市工业区中硬质屋面和沥青路面是 2 种最为常见的下垫面,其雨水径流污染物主要包括 COD_{cr} 及氮磷等营养物质。在本研究中,所监测的 2 种下垫面条件下的降雨径流 COD_{cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN 和 TP 的浓度均超出国家地表水标准中的 V 类标准, Cu 和 Zn 的平均浓度在降雨初期符合国家 II 类标准。

(2) 通过场次降雨径流事件的污染物负荷 (EMC) 计算,硬质屋面和沥青路面的降雨径流 COD_{cr} 和 TN 具有较高的污染负荷。TP, Cu 和 Zn 的污染负荷较低,均符合 IV 类标准以下,重金属污染不显著。

(3) 硬质屋面和沥青路面径流在降雨初期,各污

染物浓度达到最大值,并发现随着降雨历时的增加,径流中各污染物浓度逐渐减小趋于稳定。各污染物负荷与降雨历时之间符合指数回归方程,其相关系数均在 0.98 以上。

[参 考 文 献]

- [1] 沈桂芬,张敬东,严小轩,等. 武汉降雨径流水质特性及主要影响因素分析[J]. 水资源保护, 2005, 21(2): 57-58.
- [2] Katerina P, Christopher F M. Impact of road runoff on receiving streams in eastern England [J]. Water Resources, 1999, 33(7): 1627-1633.
- [3] Lee J H, Woong B. Characterization of urban storm water runoff [J]. Water Resources, 2000, 34(6): 1773-1780.
- [4] 杨建锋. 城市化和雨水利用[J]. 北京水利, 2001(1): 22-

- 23.
- [5] 任玉芬,王效科,韩冰,等.城市不同下垫面的降雨径流污染[J].生态学报,2005,25(12):3225-3230.
- [6] USEPA. Results of the Nationwide Urban Runoff Program[R]. Washington D C: Environmental Protection Agency,1983.
- [7] 欧阳威,王玮,郝芳华,等.北京城区不同下垫面降雨径流产污特征分析[J].中国环境科学,2010,30(9):1249-1256.
- [8] Kim J H, Yur J H, Kim J K. Diffuse pollution loading from urban stormwater runoff in Daejeon City, Korea [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85 (2):9-16.
- [9] 中华人民共和国环境保护部. GB3838—2002 中华人民共和国地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境出版社,2002.
- [10] 李春荣,刘坤,林积泉,等.海口市城区不同下垫面降雨径流污染特征[J].中国环境监测,2013,29(5):80-83.