

城市面源污染特征的分析

韩 冰 ,王效科 欧阳志云

(中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室 北京 100085)

摘要 对城市面源污染物的种类、来源和危害 ,以及对受纳水体的影响两方面综合进行分析 ,系统归纳了城市面源污染特征的研究结果 ,得出结论 :城市地表径流中污染物以悬浮颗粒物为主 ,其浓度明显大于城市污水 ;重金属及碳氢化合物浓度在数量级上与未经处理的城市污水基本相同 ,COD、BOD₅、总大肠菌数、TN 和 TP 都低于未经处理的城市污水 ;不同使用功能的地表降雨径流过程排污状况中 ,商业区污染负荷最大 ,城市地表径流污染物中的金属主要来自屋顶径流 ,碳氢化合物和铅主要是吸附在颗粒上 ,其他污染物浮动性较大。最后分析了城市面源污染的影响因素 ,如降雨强度、降雨量、降雨历时、城市土地利用类型、大气污染状况、地表清扫状况等。

关键词 城市地表径流 ;面源污染 ;污染特征

中图分类号 :X820.2 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2005)02-0001-04

Analysis on characteristics of urban non-point source pollution

HAN Bing , WANG Xiao-ke , OUYANG Zhi-yun

(Key Laboratory of System Ecology , Research Center for Eco-Environmental Sciences , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100085 , China)

Abstract The type , source and harm of pollutants of urban non-point source pollution and its influence on the receiving water are analyzed. The results of former research on characteristics of urban non-point source pollution are summarized systemically. It is concluded that the main pollutants of urban surface runoff are suspended solid , the concentration of which is distinctively higher than that in sewage. There is no difference in the concentrations of heavy metals and hydrocarbons between urban runoff and untreated sewage. The concentrations of COD , BOD₅ , total coli-group , total nitrogen , and total phosphorus are lower than those in urban sewage. Pollution of urban runoff in shopping center is most serious among all types of urban land use. Metals in urban runoff mainly come from roof runoff , and hydrocarbons and lead often adhere to the particulate matters. Other pollutants come with uncertainty. Finally , the factors influencing urban non-point source pollution are discussed , such as the intensity , duration and quantity of rainfall , the urban land use , the condition of atmospheric pollution , and the cleaning condition of land.

Key words urban runoff ; non-point source pollution ; characteristics of pollution

点源及面源是地表水体污染的两大来源^[1]。面源污染(Non-point Source Pollution) ,是指溶解的或固体污染物从非特定的地点 ,在降水和径流冲刷作用下 ,通过径流过程而汇入受纳水体(如河流、湖泊、水库、海湾等) ,引起的水体污染^[2]。面源污染中既包括城市地表雨水径流引起的水体污染 ,也包括广大

农村地区等地表雨水径流引起的水体污染。由于它是相对于点源污染而提出的 ,所以亦称之为非点源污染。随着对工业污染和城市生活污染控制水平的提高 ,非点源污染对城市水环境污染的影响表现得十分突出。20 世纪 60 年代发达国家开始关注非点源污染 ,20 世纪 70 年代起进行系统研究 ,并付诸管

理实践。在发展中国家 相对于点源污染而言 非点源污染仍未引起应有的重视。我国真正意义上的非点源污染研究始于北京城市径流污染的研究及 20 世纪 80 年代初的全国湖泊、水库富营养化调查和河流水质规划研究。但国内非点源污染研究范围较窄 ,管理实践进展也较为缓慢。

1 城市面源污染的危害

1.1 城市面源污染物的种类、来源及危害

在面源污染中 ,城市地表径流是仅次于农业面污染源的第二大面污染源^[3]。城市地表径流中的污染物主要来自于降雨对城市地表的冲刷 ,所以 ,城市地表沉积物是城市地表径流中污染物的主要来源。城市地表沉积物的组成决定着城市地表径流污染的性质。城市地表沉积物包含许多污染物质 ,有固体废物碎屑(城市垃圾、动物粪便、城市建筑施工场地堆积物)、化学药品(草坪施用的化肥农药)、空气沉降物和车辆排放物等。具有不同土地使用功能的城市地表 ,其沉积物的来源不同。如 ,城市工业区的地表沉积与工业生产过程的原料、半成品材料等的扩散、沉积、遗漏等有关 ;城市路面沉积物与车辆交通流量等因素有关 ;城市居民区地表沉积物与生活垃圾及居民生活习惯等因素有关 ,商业区地表沉积物则与商业活动类型有关^[1]。

从表 1 可以看出 ,城市面源污染物质一部分直接沉积在地表 ,其他部分则飘散在空气中或随降尘或降雨进入路面或土壤表面。那些沉积于地表的、或通过降尘或降雨进入路面的污染物在降雨径流过

表 1 城市面源污染物的种类、来源及危害^[1 4-7]

污染物分类	污染物来源	危 害
固体物质	轮胎磨损颗粒 ,筑路材料磨损颗粒 ,运输物品的泄漏 ,刹车 ,大气降尘 ,路面除冰剂 ,混凝土及沥青路面 ,杂物	是重金属及有毒化合物 PAHs 等粘附的载体 ;淤积水体 会降低水体的生态功能
	有机废物 ,下水道淤泥 ,植物残体 ,工业废物	消耗水中的氧 ,引起富营养化
重金属(Cd ,Cr , Cu , Pb , Ni , Zn 等)	汽车尾气的排放 ,燃料或润滑油的泄漏 ,除冰剂的撒播 ,轮胎的磨损 ,制动器 ,杂物 ,工业排放 ,农药	有毒
油和脂	燃料及润滑油的泄漏 ,废油的抛弃 ,工业用油的泄漏	有毒
毒 性 有 机 物 (PHC 和 PAHs 等)	汽油的不完全燃烧产物 ,润滑油的泄漏 ,塑化剂 ,染料 ,垃圾掩埋 ,石油工业	有毒
氮、磷营养物	大气沉降 ,对植物的施肥 ,杂物	引起水体富营养化
农 药	绿地的施用 ,空气中漂浮的农药颗粒的沉降	有毒

程将最终进入地表水体。由于这些污染物质的危害性很大 ,大多数是对生物有毒有害的 ,所以地表径流进入水体后会对水体水质产生很大影响。

1.2 城市面源污染对受纳水体的影响

地表水体 ,一般是指河流、湖泊 (水库)、河口、海洋和湿地等。地表径流中污染物的种类、浓度及雨水排放量是决定地表水体影响程度的主要因素。降雨状况及气候状况决定雨水排放量的大小 ,集雨流域的特点和功用决定着排放的污染物种类和浓度。如 ,城市合流制排水系统雨天溢流(CSO)中的污染物主要是与生活污水有关的耗氧污染物和病原微生物 ,而公路路面径流中污染物主要是与汽车交通有关的 SS、重金属和来自汽车尾气的由于燃料的不完全燃烧而产生的有毒有机物 PAH(多环芳烃)等。受纳水体的水文特征决定了其同化径流污染物的能力^[1]。

对受纳水体的影响是城市地表径流污染研究的重要组成部分。国外于 20 世纪 70 年代初开始这方面的研究 ,迄今已有了许多研究成果。根据 Brian 等^[4]的研究结果 ,1995 年苏格兰海岸水的污染物来源见表 2。其中 ,非点源 NO₃-N 输入竟高达 91.4% ,另外两种可能来源于车辆或与城市道路径流有关的金属铅和镉的输入也高达 71.0% ~ 77.4% 和 77.1% ~ 94.8%。William 等^[8]的研究结果见表 3 ,可见 ,城市面源污染对受纳水体的影响也很大 ,其中多环芳烃 Benz(a)anthracene 和 Chrysene 的城市面源输入高

表 2 苏格兰海岸水的污染物来源于面源污染的百分数^[4]

污染物	百分数 / %	污染物	百分数 / %
Hg	73.3 ~ 93.5	G-HCH	58.0 ~ 74.5
Cd	77.1 ~ 94.8	NO ₃ -N	91.4
Pb	71.0 ~ 77.4	PO ₄ -P	35.9 ~ 36.8
PCB	0 ~ 96.0	P	38.1 ~ 38.2

表 3 新泽西州 Passaic River 中的污染物来源于城市面源污染的百分数^[8]

分类	污染物	百分数 / %
金属	Cd	17.5
	Cu	13.5
	Ni	23.3
	Pb	48.7
	Zn	22.4
PAHS	Napthalene	36.9
	Phenanthrene	11.0
	Fluoranthene	37.4
	Pyrene	31.7
	Benz(a)anthracene	86.2
	Chrysene	58.9
DDT	DDT	76.8
PCB	PCB	8.0

达 86.2% 和 58.9% , 农药 DDT 的输入也达 76.8% , 重金属铅也是很值得一提的 , 城市面源向新泽西州 Passaic River 中输入的占总负荷的 48.7%。 Vitale 等研究发现 , 中型城市水体中 BOD 与 COD 的总含量约 40% ~ 80% 来自面源 , 在降雨较多的年份中 , 90% ~ 94% 的总 BOD 与 COD 负荷来自城市下水道的溢流^[9]。城市地表径流中污染物 SS、重金属及碳氢化合物的浓度与未经处理的城市污水基本相同^[10]。可见 , 城市地表径流污染的危害是相当大的。研究城市地表径流污染的特征及规律 , 开发可行的污染控制技术 & 对策 , 为政府部门对面源污染的控制管理决策提供科学依据具有重要意义。

2 城市地表径流水质的研究进展

20 世纪 70 年代中期 , 在美国国家环境保护局的总体规划下 , 全美各州环境科学研究部门相继开展对路面径流的研究工作 , 并取得了丰富的实测资料。本文对美国各地区研究测试结果汇总比较 , 分析了城市污水的污染物浓度、合流制排水中污染物浓度以及分流制排水中污染物浓度的相对大小 , 如图 1 所示^[11]。研究结果认为 : ①城市污水与合流制排水具有一些相似的特征 , 比如 , 合流制排水的 BOD₅ 浓度约为城市污水的一半。②分流制排水(即地表径流排水)则具有不同的特征 , 比如 , 其排水中 BOD₅ 浓度约为城市污水的 1/5 , 基本上达到二级污

水处理厂出水的要求。③分流制排水中的大肠菌数明显低于城市污水的值。但比景观娱乐用水水质的要求仍大 2 ~ 4 个数量级(100 ~ 10 000 倍)。④分流制排水中的 SS 浓度要明显大于城市污水的值 , 但其 BOD₅、总大肠菌数、总氮和总磷浓度值都低于城市污水。

1982 年 Finnemore(美国) 的报道 , 给出美国华盛顿地区具有不同使用功能地表的降雨径流过程排污状况^[11]。其中 , 商业区污染负荷最大 , 以铅、锌较突出。

Gromaire 等^[11] 1999 年在法国巴黎 Marais 集水区对城市地表径流污染物的来源进行了研究 , 结果发现(表 4) , 金属主要来自屋顶径流 , 屋顶径流中的锌占地表径流污染负荷高达 93% , 其次来自道路径流 , 这可能是因为 Marais 集水区的屋面材料大多数为金属。而 COD、BOD₅、SS 和 VSS 在道路径流中的

表 4 法国巴黎 Marais 集水区各种类型径流占地表径流污染负荷的百分数

污染物	屋顶径流			绿地径流			道路径流		
	10%	中值	90%	10%	中值	90%	10%	中值	90%
SS	13	23	43	11	18	28	40	56	70
VSS	12	18	33	11	19	20	44	62	71
COD	15	25	37	10	19	27	44	57	71
BOD ₅	15	21	32	9	20	26	49	58	72
Cd	84	88	92	3	5	8	4	7	10
Cu	48	64	85	3	5	8	11	32	43
Pb	80	88	93	2	3	7	4	9	17
Zn	88	93	96	1	2	5	2	5	7

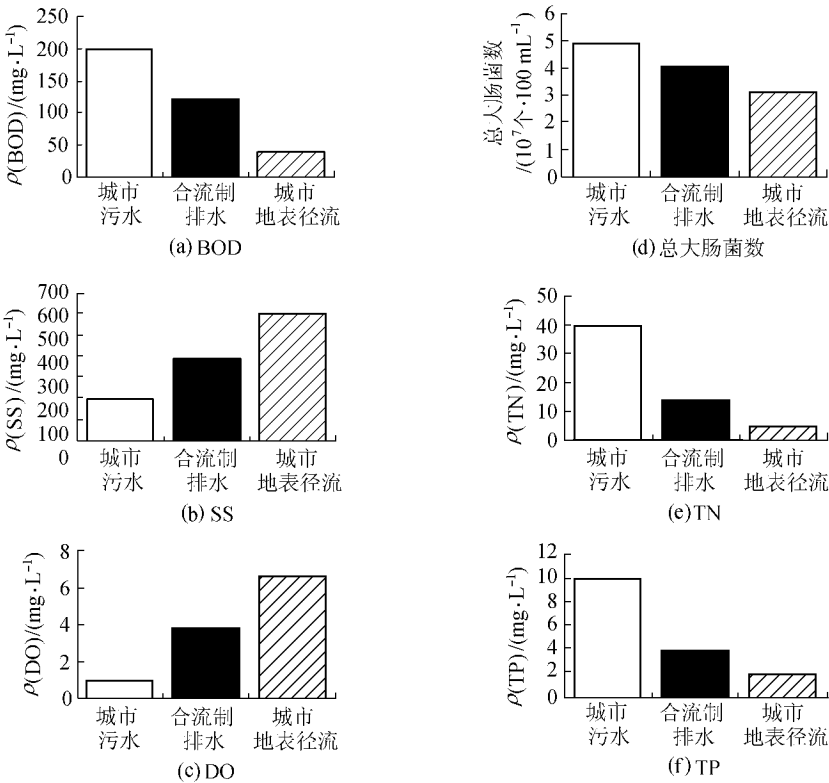


图 1 美国城市污水、合流制排水及城市地表径流中污染物浓度比较^[11]

比重都较大,均超过了 50%,其次是屋顶径流。这说明道路径流的污染较严重,而对于金属来说,要优先控制屋顶径流。

Gromaire 等^[12]1999 年在法国巴黎 Marais 集水区也对溶解态污染物和颗粒吸附态污染物进行了研究,结果表明,碳氢化合物和铅对于所有样品都是主要吸附在颗粒上,其他污染物浮动性较大。相比较而言,对于路面和绿地径流,污染物大多数吸附在颗粒上,然而,屋顶径流中有一大部分的污染物,如锌和镉,是溶解状态的。根据这个研究结果,通过沉积或过滤除去悬浮颗粒物在地表径流中会大大减少铅和碳氢化合物的负荷,其他污染物也会有所减少,但效果可能不会太明显。屋顶径流中溶解态的污染物是不可能通过过滤或沉积除去的,因此,它们是很危险的。

通过以上论述,比较国外的研究结果,对城市地表径流水质,可以归纳出以下几个特征:

a. 城市地表径流中污染物以 SS 为主,其浓度明显大于城市污水的值;

b. 重金属及碳氢化合物的浓度在数量级上与未经处理的城市污水基本相同;

c. COD、BOD₅、总大肠菌数、总氮和总磷浓度值都低于未经处理的城市污水;

d. 不同使用功能地表的降雨径流过程排污状况中,商业区污染负荷最大;

e. 城市地表径流污染物中的金属主要来自屋顶径流;

f. 碳氢化合物和铅主要是吸附在颗粒上,其他污染物浮动性较大,对于路面和绿地径流,污染物大多数吸附在颗粒上,屋顶径流中有一大部分的污染物,如 Zn 和 Cd 呈溶解状态;

g. 地表径流污染物浓度变化范围很大,不仅表现在不同地区,而且即使在同一地区变化范围仍然很大。这与不同地区的气象条件及地表污染状况等因素有关。

3 城市面源污染的影响因素

影响城市面源污染的因素包括:降雨强度、降雨量、降雨历时、城市土地利用类型(如居民区、工业区、商业区、城市道路等)、大气污染状况、地表清扫状况等。降雨强度决定着淋洗地表污染物的能量的大小,降雨量决定着稀释污染物的水量,降雨历时既决定着污染物被冲刷的时间也决定着降雨期间的污染物向地表输送的时间,城市土地利用类型决定着

污染物的性质及累积速率;大气污染状况决定着降雨初期雨水中污染物含量,城市地表清扫的频率及效果影响着晴天时在地表累积的污染物数量^[1]。可见,影响城市非点源污染的因素很多,且许多为随机性因素,在地表污染物的累积和冲刷两个主要环节中都有随机性因素起作用,如两场降雨之间的间隔时间、降雨历时、降雨强度等,这些因素使得对任一场降雨来说,由于其随机性强,偶然性大,测试结果变化大。所以,研究城市地表径流污染,就需要在降雨时进行大量的现场测试,并根据研究目的对相关的环境条件进行统计分析。

参考文献:

- [1] 赵剑强.城市地表径流污染与控制[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [2] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶.非点源污染的管理及控制[J].环境科学,1998,19(5):87~96.
- [3] Deletic A B, Maksimovic C T. Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas[J]. J of Envir Engrg, ASCE, 1998, 124(9):869~879.
- [4] Brian J, Fauzia U, David G, et al. Initiatives to tackle diffuse pollution in the UK[J]. Wat Sci Tech, 1998, 38(10):131~138.
- [5] Sansalone J J, Buchberger S G. Partitioning and first flush of metal in urban roadway storm water[J]. J of Envir Engrg, ASCE, 1997, 123(2):134~143.
- [6] Ellis J B, Revitt D M. The contribution of highway surfaces to urban stormwater sediments and metal loadings[J]. The Science of the Total Environment, 1987, 59:339~349.
- [7] Drapper D, Tomlinson R, Williams P. Pollutant concentration in road runoff: southeast queensland case study[J]. J of Envir Engrg, ASCE, 1999, 126(4):313~320.
- [8] William J, Richard P M, Carol K M. The potential contribution of urban runoff to surface sediments of the Passaic river: sources and chemical characteristics[J]. Chemosphere, 1999, 38(2):363~377.
- [9] 陆雍森.环境评价[M].上海:同济大学出版社,1990.
- [10] Ellis K V, White G, Warn A E. Surface water pollution and its contro[M]. England: Macmillan Publishers Ltd, 1989. 268~270.
- [11] Gromaire M C, Garnaud S, Saad M. et al. Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers[J]. Water Research, 2001, 35(2):521~533.
- [12] Gromaire M C, Garnaud S, Gonzalez A, et al. Characterization of urban runoff pollution in Paris[J]. Water Science & Technology, 1999, 39(2):1~8.

(收稿日期 2004-09-30 编辑 高渭文)