

天津城区道路雨水径流水质监测及污染特征分析

张娜¹, 赵乐军², 李铁龙¹, 金朝晖^{1*}

1. 南开大学环境科学与工程学院/环境污染过程与基准教育部重点实验室, 天津 300071; 2. 天津市市政工程设计院, 天津 300051

摘要: 城市市区道路由于交通活动产生大量的重金属、无机阴离子、营养盐、有机污染物等, 对受纳水体的水质造成很大破坏, 并影响了水体的生态环境。通过对天津城区不同功能区(商业区、文教区和居住区)的道路降雨径流的 30 个水质指标进行监测分析, 评估天津市道路雨水径流的污染程度, 进而分析天津市降雨污染的基本特征。结果表明, 不同功能区理化指标平均浓度的大小顺序为: 商业区 > 居住区 > 文教区, 天津市道路雨水 pH 接近中性; 金属离子中铅在 3 个功能区中均超标, 在商业区、文教区和居住区中分别超标 1.16、1.05 和 1.28 倍, 且天津市重金属污染浓度与南京和澳门相近; 无机阴离子并未超出地表水质量标准 V 类标准或集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值。TN、TP、COD 和 BOD₅ 最大值分别严重超出国家地表水环境质量 V 类标准的 2.5、2.0、10 和 50 倍。挥发酚在 3 个功能区中均未超标, 而阴离子表面活性剂在商业区、文教区和居住区分别超过地表水质量标准 V 类标准的 37、17 和 6.3 倍。

关键词: 道路; 雨水径流; 水质监测; 污染特征; 天津

中图分类号: X832

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2127-05

城市路面由于频繁的交通活动, 汽车尾气排放、轮胎和路面磨损、部件腐蚀以及油脂渗漏等等导致大量的悬浮颗粒物、重金属、营养盐和有机物等污染物在路面的积累^[1]。降雨一旦发生, 这些污染物往往通过城市管网直接排入地表水体, 易对受纳水体造成水质恶化^[2]和水生生态破坏^[3]。因此, 国外一些发达国家对道路径流已经开展了 30 多年的研究^[1,4]。Lee-Hyung Kim^[5-6]等对径流水质特征进行了调查, 对径流中污染物累积、排放和迁移过程进行了模拟, Piguet^[7]等对道路雨水径流进行了大规模的实验研究。近年来我国也在北京^[8]、上海^[9]、西安^[10]等城市开展了路面径流水质的监测分析。但其只对某一特定的地点或只局限于几个污染物, 没有全面的反应降雨径流的污染特征。且由于不同城市的气候、周围环境、道路使用和维护状况不同, 导致不同城市道路雨水径流状况不同, 从一个城市得到的资料很难应用于另一个城市。

天津是中国四大直辖市之一, 中国北方的经济中心, 国际港口城市、生态城市。近年来随着我国改革开放事业的进一步深化, 天津市取得了非常突出的经济成果, 尤其是天津滨海新区, 它正在成为继广东深圳、上海浦东后中国经济增长的第三极。而天津又是一个水资源匮乏、水生生态环境脆弱的城市, 控制雨水径流污染及实施雨水资源化对城市的可持续发展具有重要意义。本文以天津市不同功能区(商业区、文教区和居住区)的路面为研究

对象, 对 29 种常见污染物进行监测, 了解城市路面径流的污染特征及主要污染物, 并研究其水化学变化的影响因素, 为天津市雨水处理及回收利用提供科学依据。

1 研究方法

1.1 采样点布设

商业区以天津市某商业街中间路段排水口作为采样点, 文教区以某中学总雨水排放口作为采样点, 居住区以某小区门前的雨水汇流井作为采样点。所有采样点路面雨水径流, 经道路两侧的落水管排入地面雨水管接口。

1.2 水样的采样

自降雨—径流发生时, 用采样器采集瞬时径流水样, 每隔 30 min 采集样品 1 次, 同时用自动雨量计 3554WD 记录降雨情况并收集雨水样品。

1.3 水样分析

监测的水质指标共 31 个:

物理指标: 流量、水温、pH、色度、电导率、溶解氧、浊度、悬浮物;

金属离子: 铁、锰、镉、锌、铜、砷、汞、铅、六价铬、钙、镁;

非金属无机物: 氨氮、总氮、总磷、硫酸盐、氟化物、氯化物、氰化物;

有机污染物: TOC、COD、BOD₅、挥发酚、阴离子表面活性剂。

水质监测分析方法如表 1 所示。

基金项目: 国家科技重大专项, 水污染控制与治理科技专项(水专项)(2008ZX07314-004-003-001)

作者简介: 张娜(1985年生), 女, 硕士研究生, 主要从事环境监测及水污染修复。E-mail: zncsfu0929@126.com

*通讯联系人: 金朝晖。E-mail: jinzh@nankai.edu.cn

收稿日期: 2009-10-18

表1 水质监测分析方法^[11]

Table 1 Monitoring and Analysis Methods of Water Quality

监测指标	分析方法
流量	雨量计(3554WD)
水温	多项水质监测仪(哈希)
pH 值	
电导率	
溶解氧	
色度	铂钴标准比色法
浊度	浊度仪
SS	重量法
COD	COD 测定仪
总磷	钼酸铵分光光度法
氨氮	纳氏试剂分光光度法
总氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
六价铬	二苯碳酰二肼分光光度法
铁	火焰原子吸收分光光度法
锰	
铅	
锌	
钙	
镁	
铜	
镉	
BOD ₅	稀释法
TOC	TOC 测定仪
砷	原子荧光法
挥发酚	4-氨基安替比林分光光度法
汞	原子荧光法
氰化物	异烟酸-吡啶啉比色法
阴离子表面活性剂	亚甲基蓝分光光度法
硫酸盐	离子色谱法
氟化物	
氯化物	

1.4 路面径流的水文特征

表2列出了3次降雨径流事件的水文参数。

表2 3次降雨径流事件的水文参数

Table 2 Hydrological parameters of the three Rainfall runoff events

时间	降雨历时 /min	径流历时 /min	最大雨强 /(mm·h ⁻¹)	降雨量 /mm	雨前干燥 期/h
2009-06-16	230	225	18.8	77.4	24
2009-06-18	430	85	7.7	38.3	12
2009-07-06	105	95	2.7	4.6	412

2 结果与讨论

2.1 理化指标

从表3可以看出不同功能区的理化指标除pH外,各样点的浓度标准差均存在很大差别,说明不同类别降雨径流的理化指标变化幅度不尽相同。这与降雨-径流的特征如降雨强度、降雨持续时间、径流量等有关。较高的降雨强度和较大的径流量能够提供较大的动能或水量来运移较多的悬浮固体,或者对溶解离子产生稀释作用而导致电导率剧烈下

表3 不同功能区道路理化指标统计特征

Table 3 The demographic characteristics of physical and chemical indicators in the road of different functional areas

功能区	pH	电导率 /($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	色度/度	浊度 (NTU)	SS/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
商 范围	5.99~7.52	112~1687	16~180	13~250	52.50~1946.50
业 平均值	6.80	430.19	56.25	89.10	747.29
区 SD	0.48	493.20	53.60	84.84	639.10
文 范围	6.80~7.54	75~619	12~65	20~79	86~258
教 平均值	7.17	270.26	27.14	36.88	197.96
区 SD	0.28	203.55	19.37	20.75	158.92
居 范围	6.92~7.88	90~703	15~53	31~154	134.25~445.50
住 平均值	7.63	340.9	30.2	64.72	246.9
区 SD	0.29	233.5	20.47	40.51	129.5
地表水质量 表准V级	6~9				

降^[12],而pH变幅很小,接近中性,这是由于同一个地点所有污染物的酸碱程度在总体上是大致不变的。并且由表2还可以看出,不同功能区道路各理化指标(除pH)平均浓度的排列顺序为:商业区>居住区>文教区,商业区高的理化指标可能与商业区人口流动较大、不同商店经营商品不同等有关。

2.2 金属离子

从表4可以看出铬和铅在居住区中含量最高,其它金属均为商业区中含量最高,而文教区全部居于二者之间,这可能是由于居住区无论在晴天还是雨天道路交通量相差不多,并且雨天时人们不愿意乘公交车而倾向于打车回家,导致进出居住区的车辆并未减少。

同时表4还可以看出,天津市商业区铬、镉、铁、锰和铅浓度为地表水环境质量标准V类标准的倍数分别为:1.1、1.1、6.2、1.95和1.16倍,文教区铬和铅浓度分别为1.22和1.05倍,居住区铬、铁和铅浓度分别为1.28、4.9和1.28倍,其它金属在3个功能区中均未超标。南京市沪宁高速铬污染浓度超过标准的4.4倍,镉超过18.1倍,铅为1.3倍^[13];中国澳门孙逸仙大马路铅浓度为标准的1.22倍^[14]。经过调查,在采样范围内,有1个制造含铬的金属加工厂,很可能是铬含量超过了地表水环境质量标准V类标准的主要原因。综上所述天津市道路降雨径流存在一定的重金属污染,但是由于影响路面径流污染物浓度的因素较多,主要有路面材料、用地类型、交通量、大气沉降、降雨特征和路面清扫方式等,且这些因素的作用机制复杂,故本研究所得结果与国内同类研究存在一定差异。

2.3 无机阴离子

从表5可以看出,居住区中无机阴离子(氰化物、硫酸盐、氯化物、氟化物)含量最高,其次为

表4 不同功能区道路金属离子统计特征
Table 4 The demographic characteristics of metal ions in the road of different functional areas

项目	商业区			文教区			居住区			地表水质量标准 V 级
	范围	平均值	SD	范围	平均值	SD	范围	平均值	SD	
锌	0.02~1.46	0.32	0.52	0.007~0.469	0.113	0.177	0.007~0.101	0.028	0.041	2.0
钙	17.71~167.99	73.82	46.40	12.08~52.24	35.59	18.55	20.99~59.12	35.65	16.48	
镁	1.06~36.85	10.15	12.10	0.351~14.806	5.14	5.79	1.29~16.14	7.59	7.21	
铜	0.002~0.076	0.017	0.026	0.008~0.041	0.02	0.012	0~0.022	0.014	0.009	1.0
镉	0.006~0.026	0.011	0.007	0~0.01	0.004	0.004	0~0.012	0.006	0.006	0.01
铬	0~0.22	0.11	0.07	0.005~0.189	0.122	0.07	0.019~0.22	0.128	0.088	0.1
铁	0.10~4.26	1.86	1.62	0~0.54	0.09	0.20	0~3.65	1.47	1.55	0.3*
锰	0.024~0.47	0.195	0.161	0~0.095	0.05	0.03	0~0.03	0.02	0.01	0.1*
铅	0.01~0.137	0.116	0.069	0~0.198	0.105	0.093	0.008~0.179	0.128	0.069	0.1
砷	0.002~0.01	0.005	0.003	0.001~0.0028	0.002	0.0009	0.0023~0.0028	0.0025	0.0002	0.1
汞	0.00051~0.0008	0.00059	0.0001	0.00048~0.00083	0.00066	0.0001	0.00062~0.00086	0.00072	0.00009	0.001

注: *为集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值。

表5 不同功能区道路无机阴离子统计特征
Table 5 The demographic characteristics of inorganic anions in the road of different functional areas

项目	商业区			文教区			居住区			地表水质量标准 V 级
	范围	平均值	SD	范围	平均值	SD	范围	平均值	SD	
氧化物	0~0.015	0.008	0.005	0~0.128	0.059	0.059	0.004~0.106	0.071	0.055	0.2
硫酸盐	5.86~106.98	29.06	35.28	6.99~44.59	24.71	16.79	15.49~118.60	55.27	42.47	250*
氟化物	0.27~1.97	0.85	0.55	0.305~1.058	0.552	0.245	0~3.65	1.47	1.55	1.5
氯化物	2.92~126.92	27.88	43.86	0.11~40.85	14.95	16.23	3.36~47.31	23.55	19.11	250*

注: *为集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值。

文教区,最后为商业区,其中硫酸盐和氯化物在三个功能区中变幅很大,这可能是由于人们日常生活规律导致不同时刻排放的污染物浓度不同,但均未超出地表水环境质量标准 V 级或集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值。

2.4 营养盐及有机污染物综合指标

不同来源城市径流中的营养盐及有机类浓度差异较大。天津市 COD、BOD₅、TOC、总磷、总氮和氨氮的平均浓度范围分别为 103.96~524.14、7.72~528.24、10.76~266.44、0.26~1.06、3.02~5.25、0.088~0.16 mg·L⁻¹ (表 6)。广州市道路降水径流 COD、BOD₅、TOC、总磷、总氮浓度范围分别为 109~1740、9.1~35.9、150~596、0.11~1.63、4.52~29.82 mg·L⁻¹[12]。珠海城区地表径流污染物 COD、BOD₅、总磷、总氮和氨氮的平均浓度范围分别为 34.43~

93.58、3.77~8.87、0.41~0.54、4.92~8.29、3.15~5.05 mg·L⁻¹[15]。韩国城市住宅区和工业区降雨径流中 COD、BOD₅和总磷的浓度范围分别为 10~1455、12~6324、0.1~22.4 mg·L⁻¹[16]。与这 3 个城市相比,天津城市降雨径流中氮、磷浓度最低,但是商业区中总磷已为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)V 类(农业用水区及一般景观用水)标准的 2.65 倍,总氮在商业区、文教区、居住区也分别为地表水质量标准 V 级的 2.01、2.63、1.51 倍。而 COD、BOD₅高于广州和珠海,与韩国的相近。研究表明,天津市城市降雨径流引起的氮、磷污染尚不属于最严重,但随着城市人口的增加,降雨径流的污染负荷必然增加。而 COD 和 BOD₅虽然相比国外较低,但其最大值已分别严重超出国家地表水环境质量 V 级 10 和 50 倍。

表6 不同功能区道路营养盐及有机污染物综合指标统计特征
Table 6 The demographic characteristics of nutrients and organic pollutants comprehensive index in the road of different functional areas

项目	商业区			文教区			居住区			地表水质量标准 V 级
	范围	平均值	SD	范围	平均值	SD	范围	平均值	SD	
COD	90~2266	524.14	682.79	38~268	103.96	92.42	14~199	109.7	70.7	40
总磷	0.03~2.14	1.06	0.94	0.03~1.5	0.479	0.58	0.16~0.33	0.26	0.077	0.4
氨氮	0.04~0.45	0.16	0.12	0.049~0.295	0.161	0.107	0.052~0.131	0.088	0.029	2.0
总氮	1.82~6.01	4.02	1.62	2.4~9.41	5.25	2.89	1.62~5.2	3.02	1.63	2.0
BOD ₅	61.15~2361.43	528.24	902.29	4.25~28.74	16.72	10.67	4.41~11.42	7.72	2.94	10
TOC	25.96~1202	266.44	415.58	7~61	29.38	29	3.53~20	10.76	8.51	

2.5 有机污染物

从表7可以看出,挥发酚在3个功能区中均未超标,而阴离子表面活性剂在商业区、文教区和居住区分别超过地表水质量标准V级的37、17和6.3倍,由于表面活性剂的双亲性,易被吸附、定向于物质表面,使其具有湿润、乳化、分散、起泡、发泡、洗涤等性能^[17],并作为洁净剂、分散剂、高碱性添加剂、防锈剂、抗静电剂、乳化降粘剂、消蜡防蜡剂以及污水处理剂等,应用在汽车工业的石油产品中,是其超标的主要原因。

表7 不同功能区道路有机污染物统计特征

Table 7 The demographic characteristics of organic pollutants in the road of different functional areas

项目	商业区			文教区			居住区			地表水质量标准V级
	范围	平均值	SD	范围	平均值	SD	范围	平均值	SD	
挥发酚	0.017~0.189	0.095	0.065	0.013~0.092	0.054	0.030	0.022~0.121	0.054	0.039	0.1
阴离子表面活性剂	2.235~25.64	11.12	8.50	0.526~12.757	5.109	4.45	0.562~3.67	1.89	1.26	0.3

(3) 天津市无机阴离子并未超出地表水质量标准V级或集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值。

(4) 天津城市降雨径流中氮、磷浓度与某些地区相比并不严重,氮、磷最大值分别超出国家地表水环境质量V级2.5、2.0倍,而COD和BOD₅的最大值是地表水环境质量V级10和50倍。

(5) 挥发酚在3个功能区中均未超标,而阴离子表面活性剂在商业区、文教区和居住区分别超过地表水质量标准V级的37、17和6.3倍。

综上所述,天津市道路降雨径流的无处理排放,会对天津市地表水质造成严重影响。随着天津市经济发展进程的加快,城市道路雨水径流对环境的污染不可忽视,如果能采取有效措施使污水实现资源化利用,那么既可以缓解天津市用水紧张的局面,又可以减少对环境的污染。

参考文献:

[1] DELETIC A, ORR D W. Pollution buildup on road surface[J]. Journal of Environmental Engineering, 2005, 131(1): 49-59.

[2] PERDIKAKI K, MASON C F. Impact of road run-off on receiving streams in eastern England[J]. Water Research, 1999, 33(7): 1627-1633.

[3] KAYHANIAN M, STRANSKY C, BAY S, et al. Toxicity of urban highway runoff with respect to storm duration[J]. Science of The Total Environment, 2008, 389(2-3): 386-406.

[4] CANALE R P, AUER M T, OWENS E M, et al. Modeling fecal coliform bacteria II. model development and application[J]. Water Research, 1993, 27(4): 703 - 714.

[5] KIM L H, KANG J, KAYHANIAN M, et al. Characteristics of litter waste in highway storm runoff[J]. Water Science and Technology, 2006, 53(2): 225-234.

3 结论

通过对天津市不同功能区(商业区、文教区、居住区)道路降雨径流进行的监测分析,结果表明:

(1) 不同类别降雨径流的理化指标变化幅度不尽相同,不同功能区道路各理化指标平均浓度的排列顺序为:商业区>居住区>文教区,各个功能区pH均接近中性;

(2) 天津市道路降雨径流重金属都存在一定的污染,但是由于某些不确定的因素,本研究所得结果与国内同类研究存在一定差异。

[6] KIM L H, KAYHANIAN M, ZOH K D, et al. Modeling of highway stormwater runoff[J]. Science of the Total Environment, 2005, 348(1/3): 1-18.

[7] PIGUET P, PARRIAUX A, BENSIMON M. Road runoff management using over-the-shoulder infiltration: real-scale experimentation[J]. water science and technology, 2009, 60 (6): 1575-1587.

[8] 张亚东, 车伍, 刘燕, 等. 北京城区道路雨水径流污染指标相关性分析[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16 (6): 182-184.

ZHANG Yadong, CHE Wu, LIU Yan, et al. Interrelation of pollutants in road runoff of beijing urban area[J]. Urban Environment and Urban Ecology, 2003, 16 (6): 182-184.

[9] 王和意. 上海城市降雨径流污染过程及管理措施研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.

WANG Yihe. Pollution processes and management researches on urban rainfall runoff in Shanghai[D]. Shanghai: East China Normal University, 2005.

[10] 赵剑强, 孙奇溥. 城市道路路面径流水质特性及排污规律[J]. 长安大学学报, 2002, 22(2): 21-23.

ZHAO Jianqiang, SUN Qipu, Quality characteristics of urban-road runoff and regulation of pollutants discharge[J]. Journal of Chang an University(Natural Science Edition), 2002, 22(2): 21-23.

[11] 中华人民共和国标准[S]. GB3838-2002. The People's Republic of China Standard[S]. GB3838-2002.

[12] 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.

GAN Huayang, ZHUO Muning, LI Dingqiang, et al, Water quality characteristics of road runoff from urban area of Guangzhou[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(5): 969-973.

[13] 余爱华, 石迪, 赵尘. 公路沥青路面径流的水质特性[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32 (5): 149-152.

YU Aihua, SHI Di, ZHAO Chen, Water characteristics of highway a sphalt pavement runoff[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2008, 32 (5): 149-152.

[14] 黄金良, 杜鹏飞, 欧志丹, 等. 澳门城市路面地表径流特征分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(4): 469-473.

- HUANG Jinliang, DU Pengfei, OU Zhidan, et al. Characterization of urban roadway runoff in Macau[J]. *China Environmental Science*, 2006, 6(4): 469-473
- [15] 卓慕宁, 吴志峰, 王继增, 等. 珠海城区降雨径流污染特征初步研究[J]. *土壤学报*, 2003, 40(5): 775-778.
- ZHUO Muning, WU Zhifeng, WANG Jizeng, et al. Study on the characteristics of pollution in precipitation runoff in Zhuhai urban area[J]. *Acta Pedologica sinica*, 2003, 40(5): 775-778.
- [16] LEE J H, BANG KW. Characterization of urban stormwater runoff[J]. *Water Research*, 2000, 34 (6): 1773-1780.
- [17] 荆忠胜. 表面活性剂概论[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 46-78.
- JING Zhongsheng. *Introduction to Surfactants*[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1999: 46-78.

Characteristics of pollution and monitoring of water quality in Tianjin

ZHANG Na¹, ZHAO Lejun², LI Tielong¹, JIN Zhaohui¹

1. College of Environmental and Science and Engineering, Nankai University, Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria, Ministry of Education, Tianjin, 300071, China; 2. Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute, Tianjin 300051, China

Abstract: Many kinds of pollutants such as heavy metals, inorganic anions, nutritive salt and organic pollutants derived from traffic activities were enriched in urban road runoff, and they could significantly degrade the quality of the receiving waters and affect the hydro-ecosystem. Based on this, 30 water quality parameters of road runoff sampled in different functional areas which included cultural and education zone, commercial zone and residential zone, were monitored and analyzed to find the characteristics of the road runoff pollution in Tianjin. The results showed that pH was closed to 7, and the average concentration of physical and chemical indicators was: commercial zone > residential zone > cultural and education zone. The concentration of Pb was 1.16, 1.05 and 1.28 times higher than the guideline in commercial zone, cultural and education zone and residential zone respectively, and the heavy metal concentration of road runoff in Tianjin was similar to that in Nanjing and Macau. The concentration of inorganic anions was lower than the grade V of the Surface Water Quality Criteria, however, the maximum value of TN, TP, COD and BOD₅ were 2.5, 2.0, 10 and 50 times larger than the grade V of the Surface Water Quality Criteria seriously respectively. Furthermore, the concentrations of volatile phenol in the three functional areas were also within the scope of the criteria, while the concentration of LAS in the commercial zone, cultural and education zone and residential zone were 37, 17, 6.3 times higher than the grade V of the Surface Water Quality Criteria respectively.

Key words: functional areas; road; runoff stormwater; water monitoring and analysis; characteristics of pollution