

城市雨水径流年污染总量核算

汪迎春^{1,2}, 刘贵平²

(1. 蚌埠学院 应用化学与环境工程系, 安徽 蚌埠, 233030; 2. 河海大学 水利水电学院, 南京 210098)

摘要:通过对蚌埠市新老城区地表雨水径流污染 7 个采样点、2 场次降雨, 共 40 个采样样本的采样与监测, 获得了污染物浓度随降雨历时的变化过程; 分析了地表污染程度、城市用地类型、雨水系统分流制式等因素对雨水径流污染程度的影响关系, 对雨水径流污染特性进行了统计分析; 在此基础上, 提出了城市地表雨水径流年污染总量计算模式, 初步核算了蚌埠市地表雨水径流年污染总量, 评估了地表雨水径流污染对水环境的影响。

关键词:雨水径流污染; 污染总量; 统计分析

中图分类号: X52 文献标志码: A 文章编号: 1674-4764(2012)04-0118-07

Calculating Annual Pollution Load in Urban Runoff

WANG Yingchun^{1,2}, LIU Guiping²

(1. Department of Chemistry & Environmental Engineering, Bengbu College, Bengbu 233030, Anhui, P. R. China;

2. Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

Abstract: Sampling and monitoring of surface runoff in Bengbu urban area were carried out during rainy seasons in 2009, and 40 rainfall samples from 7 sampling sites were analyzed. Discharge processes of runoff pollutants during rain events and relationships of the processes with rainfall characters were discussed. Then some aspects were analyzed, such as city surface pollutants, land style and system of drains, etc. Finally annual total quantity of runoff pollution from Bengbu urban area was calculated based the method.

Key words: runoff pollution; total pollution quantity; statistically analysis

雨水径流污染是指在降雨径流的淋溶和冲刷作用下, 大气、地面和土壤中的污染物扩散性地进入地表水和地下水而造成的水环境污染。雨水径流污染的主要污染物有: 悬浮沉积物、营养物质、耗氧物质、细菌和有毒污染物等。雨水径流污染的来源主要有 3 个部分: 降水、地表污染物和下水道系统。目前, 城市雨水径流污染已成为地表水环境污染的主要原因之一。关于雨水径流污染特性及规律的研究, 国外开展较早^[1-6], 近年来, 中国部分城市已开展这方面的研究^[2-23], 研究范围涵盖路面系统^[11,17,21]、建筑覆盖面^[19]、排放系统^[10,15-16]、渗透性或非渗透性地面^[10,12-13]等; 研究城市类型按地貌分有山地型^[7]和

平原型^[11-13], 按城市特征分有旅游城市^[12,21]和工业化城市^[11,13]。目前的研究工作主要集中在雨水径流污染特性及冲刷规律方面, 关于城市雨水径流污染总量核算的研究成果还比较匮乏, 笔者针对这一科学问题开展相关研究。

1 采样与监测

以蚌埠市为研究对象, 蚌埠市位于淮河之滨, 市区总面积 601.5 km²。其中, 淮河以北面积 240.66 km², 淮河以南面积 360.84 km², 2007 年底城市建成区面积 93 km², 建成区绿化覆盖率为 21.8%。2008 年末, 全市总人口 360 万, 其中市区人口 100 万。主城

收稿日期: 2012-01-05

基金项目: 国家自然科学基金(41001292, 51109064); “十一五”国家科技支撑计划(2008BAB29B09); 安徽省高校自然科学基金项目(KJ2009B131); 安徽省高校省级优秀青年人才基金(2009SQRZ126)

作者简介: 汪迎春(1976-), 男, 副教授, 博士后, 主要从事水环境、水沙数学模型研究, (E-mail) wangyingchhu@163.com。

区 2010 年规划面积 115 km²,人口 115 万;2020 年规划面积 165 km²,人口 165 万。该地区气候属于暖温带湿润季风气候,年平均气温 15.1 ℃,年平均降雨量 900 mm。

研究从分流制式、用地类型、新老城区等方面选

择代表性的 7 个采样点、2 场次降雨,共 40 个采样样本的采样与监测,获得了常见污染物浓度随降雨历时的变化过程。监测项目包括 7 项水质指标,监测的数据结果见表 1 和表 2。

表 1 2009 年 9 月 15 日分析结果

采样点位置	取样时间	水温/℃	pH	化学需氧量/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)
龙子河排涝站	8:30	26.0	7.16	402.0	102.00	17.70	0.52	38.40
	8:40	26.0	6.49	1 610.0	400.00	69.30	0.55	76.50
	8:50	26.0	7.07	1 130.0	282.00	130.00	0.57	154.00
迎湖路路面	7:06	26.0	6.95	354.0	87.90	10.40	0.42	16.90
	7:16	26.0	6.85	297.0	74.00	9.95	0.47	15.30
治淮路排涝站	7:58	25.9	7.09	547.0	137.00	33.70	0.71	35.70
	8:08	25.9	7.07	689.0	173.00	34.70	0.73	37.10
	8:18	25.9	7.12	594.0	150.00	38.10	0.71	38.60
南施家排涝站	6:10	25.8	7.42	40.4	10.40	1.51	0.22	4.39
	6:20	25.8	7.35	43.0	10.60	1.44	0.23	4.90
	6:30	25.8	7.32	41.8	10.30	1.66	0.22	3.99
	6:40	25.8	7.31	38.4	10.10	2.12	0.23	3.68
迎湖路排涝站	7:10	25.9	7.49	68.2	17.40	15.40	0.47	19.20
	7:20	25.9	7.37	148.0	37.50	31.80	0.82	34.80
	7:30	25.9	7.37	200.0	37.50	20.80	0.80	23.50
龙子湖雨污水入湖排放口	7:23	26.1	7.37	31.7	8.80	8.41	0.47	11.30
	7:33	26.1	7.34	28.7	8.00	8.93	0.44	11.80
	7:43	26.1	7.32	32.2	8.08	8.78	0.46	12.30
	7:53	26.1	7.30	44.1	9.44	8.19	0.47	12.80
张公山湖沿湖路面	8:03	26.1	7.31	60.3	12.20	16.20	0.48	20.70
	6:45	26.0	7.45	101.0	25.00	3.14	0.37	6.56
	6:55	26.0	7.40	99.2	24.80	1.90	0.34	6.86

表 2 2009 年 9 月 20 日分析结果

采样点位置	取样时间	水温/℃	pH	化学需氧量/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)
龙子河排涝站	17:20	29.5	7.39	171	42.0	30.6	0.48	36.7
	17:30	29.5	7.35	160	40.7	29.0	0.46	34.6
	17:40	29.5	7.33	215	51.6	27.9	0.49	33.5
	17:50	29.5	7.43	200	49.7	28.7	0.52	38.4
	18:00	29.5	7.42	178	43.3	34.2	0.48	37.7
	18:10	29.5	7.41	189	46.5	33.3	0.45	37.8

续表 2

采样点位置	取样时间	水温/℃	pH	化学需氧量/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)
迎湖路 路面	16:50	29.6	7.39	144.0	35.60	1.31	0.49	5.47
	17:00	29.6	7.33	243.0	52.20	9.88	0.46	14.00
南施家 排涝站	16:10	29.4	7.22	24.7	6.48	1.14	0.25	1.55
	16:20	29.4	7.24	36.4	9.36	1.22	0.22	2.26
	16:30	29.4	7.26	27.5	7.12	1.13	0.21	2.46
	16:40	29.4	7.20	58.7	11.60	1.15	0.23	2.33
迎湖路 排涝站	16:45	29.5	7.23	47.3	10.60	8.45	0.55	11.60
	16:55	29.5	7.27	83.9	20.90	27.60	0.52	30.10
龙子湖 雨污水入 湖排放口	15:02	29.6	7.32	65.5	17.70	10.50	0.45	14.10
	15:12	29.6	7.31	118.0	29.20	11.70	0.47	15.00
	15:22	29.6	7.35	109.0	26.60	1.54	0.44	8.22
	15:32	29.6	7.33	125.0	32.10	19.50	0.48	24.60

2 雨水径流污染特性分析

1) 雨水径流污染评价方法

水质评价分为单因子评价和综合评价。单因子水质评价有 2 种典型方法:一是根据国家《地表水环境质量标准(GB3838—2002)》,将实测值与国家标准值进行比较,做出水质类别的评价;二是采用单项污染指数法进行评价,将水质质量浓度值量纲同一化处理,做出同一类水质污染程度的评价。笔者移植文献[22]中的评价思想和方法,略作改动,不考虑功能区划因素。监测的污染物浓度和计算的污染指数,可以互相转化,且一一对应。

单因子水质指数 P 由 1 位整数、小数点后 2 位或 3 位有效数字组成,表示为式(1),

$$P_i = X_1 \cdot X_2 X_3 \quad (1)$$

式中: X_1 代表第 i 项水质指标的水质类别; $X_2 X_3$ 代表监测数据在 X_1 类水质变化区间中所处的位置,根据公式按四舍五入的原则计算确定, P_i 大于 6 即表示此类污染指标为劣五类。单因子水质指数分溶解氧和非溶解氧 2 类指标,处理方法同文献[21]。

综合水质标识指数^[23]是在上述单因子水质标

识指数法基础上,筛选主要的水质评价指标综合评价,笔者主要针对 COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TP4 项指标取均值,下同。采用单因子水质指数和综合水质标识指数,可以完整标识水质评价指标的类别、水质数据等重要信息。既能按国家标准类别定性评价,又能根据标识指数进行水质数据的分析;既可以通过比较分析同一类水质指标在同一级别中的差异,也可以在不同类别水质指标中比较分析水质的污染程度。

2) 雨水径流污染特性分析

监测共 40 个样本,总体分析统计的结果如表 3~4 及图 1~2。可得出:污染指数最高为 TN,其次为 NH₄⁺-N, COD 和 BOD₅ 相当。各指标均值浓度均远高于中值浓度,主要原因是一些重污染采集点区域内化工企业集中,排水系统为合流制系统,地表污染积累和排水管网中污染积累严重,受雨水冲刷,污染物浓度远高于早流时的污水浓度,如 COD 最高高达 1 610 mg/L。从图 1~2 可看出约 5% 左右的样本数量处于极端污染状态,80% 以上处于劣五类状态(指数大于 6.0)。一次降雨事件中,TP 的污染指数变差系数最小,平均为 0.02。

表 3 雨水径流污染特性统计表

特征值	样本个数	中值指数	中值浓度/ (mg·L ⁻¹)	均值指数	均值浓度/ (mg·L ⁻¹)	总样本污染 指数变差系数	降雨事件污染 指数变差系数均值
COD	40	7.84	113.5	10.38	219.9	0.77	0.11
BOD ₅	40	7.79	27.9	10.38	54.23	0.75	0.09
NH ₄ ⁺ -N	40	10.23	10.45	14.19	18.82	0.83	0.20

续表 3

特征值	样本个数	中值指数	中值浓度/ (mg·L ⁻¹)	均值指数	均值浓度/ (mg·L ⁻¹)	总样本污染 指数变差系数	降雨事件污染 指数变差系数均值
TP	40	6.18	0.47	5.87	0.46	0.15	0.02
TN	40	12.58	15.3	16.73	23.49	0.78	0.17
综合指数	40	8.15	—	10.20	—	0.65	0.11

注:中值浓度指评价样本中 50%频率对应的污染物质浓度

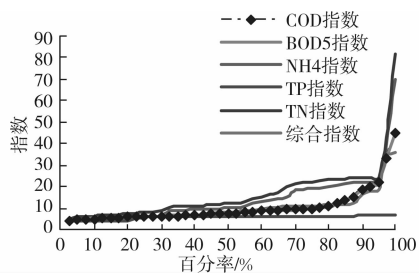


图 1 监测样本污染指数分布图

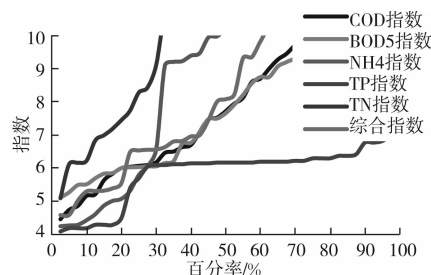


图 2 监测样本污染指数分布局部放大图

表 4 雨水径流污染特性分类统计表

特征值		工业区合流制排水系统	老城区合流制系统	分流制雨水系统	路面系统
测点数		2	2	1	2
样本数		12	14	6	8
COD	指数	17.68	6.93	5.66	10.16
	均值浓度/(mg·L ⁻¹)	507.08	82.99	38.86	206.37
	中值浓度/(mg·L ⁻¹)	308.5	66.85	39.40	193.5
BOD ₅	指数	17.65	6.91	5.82	9.99
	均值浓度/(mg·L ⁻¹)	126.48	19.72	9.50	49.92
	中值浓度/(mg·L ⁻¹)	76.8	17.55	10.20	43.9
NH ₄ ⁺ -N	指数	26.13	12.02	4.82	7.85
	均值浓度/(mg·L ⁻¹)	42.27	14.13	1.42	6.10
	中值浓度/(mg·L ⁻¹)	33.5	11.1	1.33	6.51
TP	指数	6.39	6.31	4.26	5.95
	均值浓度/(mg·L ⁻¹)	0.56	0.52	0.23	0.43
	中值浓度/(mg·L ⁻¹)	0.52	0.47	0.23	0.44
TN	指数	29.96	13.93	6.51	10.42
	均值浓度/(mg·L ⁻¹)	49.92	17.86	3.20	10.85
	中值浓度/(mg·L ⁻¹)	37.75	14.55	3.07	10.43
综合指数		18.08	8.04	5.14	8.49

对 7 个采样点共 40 个采样样本进行分类,共分为 4 种类型,分别为:工业区合流制排水系统、老城区合流制系统、分流制雨水系统、路面系统。其中,工业区合流制排水系统包括 2 个采样点:龙子河排涝站、治淮路排涝站,共 12 个样本;老城区合流制系统包括 2 个采样点:迎湖路排涝站、龙子湖雨污水入湖排放口,共 14 个样本;分流制雨水系统包括 1 个

采样点:南施家排涝站雨水排放口,共 6 个样本;路面系统包括 2 个采样点:迎湖路路面、张公山湖沿湖路路面,共 8 个样本。统计分析结果见表 2,可得出:按综合污染指数排序,工业区合流制排水系统综合污染指数最高,最低为分流制雨水系统(为五类水),老城区合流制系统和路面系统相当。合流制系统系统中污染指标最高的为 TN 和 NH₄⁺-N,分流

制雨水系统中较高的污染指标为 TN、BOD₅ 和 COD,路面系统较高的污染指标为 TN、BOD₅ 和 COD。COD 指标最高的为工业区合流制排水系统,其次为路面系统;NH₄⁺-N 指标最高的为工业区合流制排水系统,其次为老城区合流制系统。

3 雨水径流污染总量核算

目前城市雨水径流污染总量核算还存在一定的难度,相关研究成果匮乏。笔者在现有监测数据的基础上,提出了蚌埠市雨水径流污染总量计算模式,初步核算了蚌埠市的雨水径流年污染总量。雨水径流污染计算模式框图见图 3。

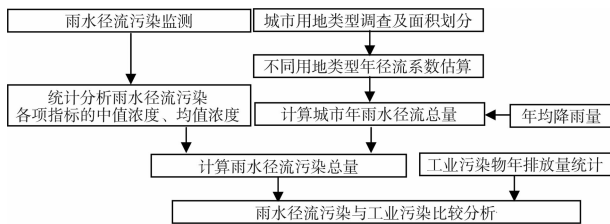


图 2 监测样本污染指数分布局部放大图

1) 蚌埠市主城区年雨水径流总量估算

2010 年蚌埠市主城区规划面积 115 km²,为核算蚌埠市主城区雨水径流污染总量,参考表 3:《城市排水工程规划规范》-径流系数表,将蚌埠市土地类型划分为城市建成区和未建成区,城市建成区又细分为:旧城区、新城区、绿地,采用的径流系数见下表 4。

表 3 《城市排水工程规划规范》-径流系数表

区域情况	径流系数
城市建筑密集区(城市中心区)	0.60~0.85
城市建筑密集区(一般规划区)	0.45~0.60
城市建筑稀疏区	0.20~0.45

注:径流系数是指任意时段内一定汇水面积的径流深与同时段内降水量的比值。径流系数说明在降水量中有多少水变成了径流,它综合反映了流域内自然地理要素对径流的影响。径流系数的大小与自然地理区的干湿程度有很大关系。中国北方河流多年平均径流系数小;南方河流多年平均径流系数大。因此,径流系数分布有地区规律。

表 7 蚌埠市 2006、2007 年废水主要污染排放情况变化表

污染物名称	2006 年			2007 年		
	工业	生活	合计	工业	生活	合计
化学需氧量/t	9 763.6	12 172.08	21 935.68	9 223.8	11 441.2	20 665.0
氨氮/t	831.1	1 897.9	2 729.0	834.8	2 400.7	3 235.5
废水排放量/万 t	8 276.8	5 653.1	13 929.9	7 568.9	5 765.0	13 333.9
化学需氧量平均排放浓度/(mg·L ⁻¹)	117.96	215.32	157.47	121.86	198.46	154.98
氨氮平均排放浓度/(mg·L ⁻¹)	10.04	33.57	19.59	11.03	41.64	24.27

表 4 蚌埠市主城区雨水径流计算表

土地划分	面积/km ²	径流系数 R _i	年径流量/10 ⁶ m ³
城市建成区 旧城区	37	0.7	23.31
新城区	36	0.52	16.85
绿地	20	0.25	4.5
城市未建成区	22	0.35	6.93

说明:根据《2008 年安徽省水资源公报》,蚌埠市(全市,一市三县)常年径流深 221.4 mm,常年径流系数 0.25。城市建成区绿地部分按该地区的常年径流系数计算,城市未建成区径流系数取该地区常年径流系数和一般规划区径流系数下限的均值。

不同用地类型年雨水径流量 W_i 的计算公式:

$$W_i = A_i \cdot R_i \cdot P$$

其中, A_i 为各分块面积; R_i 为各分块径流系数; P 为年均降雨量,取为 900 mm。

年雨水径流总量 W 的计算公式: $W = \sum W_i$

其中, W_i 为旧城区、新城区、城市建成区绿地以及城市未建成区的年径流量;

通过上述方案核算,蚌埠市主城区年雨水径流排水量 5 160 万 t。

2) 蚌埠市主城区年雨水径流污染总量核算

雨水径流污染总量 T 的计算公式: $T = C \cdot W$
其中, C 为雨水径流污染中值浓度或均值浓度; W 为年雨水径流总量

按本次监测统计结果的中值浓度计算,得表 5。

按本次监测统计结果的均值浓度计算,得表 6。

表 5 按中值浓度核算雨水径流年污染产生量

污染指标	中值浓度/(mg·L ⁻¹)	雨水径流年污染产生量/t
COD	113.5	5 857
NH ₄ ⁺ -N	10.45	539

表 6 按均值浓度核算雨水径流年污染产生量

污染指标	均值浓度/(mg·L ⁻¹)	雨水径流年污染产生量/t
COD	219.9	11 347
NH ₄ ⁺ -N	18.82	971

初步核算,蚌埠市主城区年雨水径流排水量与生活污水年排放量相当:

按中值浓度计,污染物质年排放量(与2007年工业污染物质年排放量比):

$$\text{雨水 COD/工业 COD}=0.64$$

$$\text{雨水氨氮/工业氨氮}=0.65$$

按均值浓度计,污染物质年排放量(与2007年工业污染物质年排放量比):

$$\text{雨水 COD/工业 COD}=1.23$$

$$\text{雨水氨氮/工业氨氮}=1.16$$

从计算结果可看出,若按均值浓度计,雨水污染物质年排放量已高于工业水污染物质年排放量。雨水径流污染已是一个重要的污染源,随着城市点源治理控制工作的完善,雨水径流污染占的比例会越来越高。由于本次监测的样本还不够大,统计分析未按用地类型细分,实际城市的染物质平均排放浓度可能在上述中值浓度和均值浓度之间,以后再深入研究。

4 结论

通过对蚌埠市新城区及老城区地表雨水径流污染7个采样点、2场次降雨,共40个采样样本的采样与监测,获得了污染物浓度随降雨历时的变化过程。应用单因子水质指数和综合水质指数用于城市雨水径流污染的评价,分析了地表污染程度、城市用地类型、雨水系统分流制式等因素对雨水径流污染程度的影响关系,对雨水径流污染特性进行了统计分析,污染指数最高为TN,其次为 NH_4^+-N ,COD和 BOD_5 相当,建议提升城市污水处理工艺,适应日益增长的 NH_4^+-N 污染,并将 NH_4^+-N 纳入十二五减排目标,以促进水环境的改善。在现有监测数据的基础上,提出了城市地表雨水径流年污染总量计算模式,并初步核算了蚌埠市地表雨水径流年污染总量。结果揭示了雨水径流污染对地表水环境影响严重且危害大,按均值浓度计,雨水径流污染物中的COD、 NH_4^+-N 年排放量已高于工业污水中COD、 NH_4^+-N 年排放量,雨水径流污染已成为污染减排总量居高不下的重要污染源。

参考文献:

- [1] Millar R G. Analytical determination of pollutant wash-off parameters [J]. *Envir Engrg ASCE*, 1999, 125(10):989-992.
- [2] Bertrand K E J L, Chebbo G, Saget A. Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon [J]. *Water Research*, 1998, 32(8):2341-2356.
- [3] Torben L, Kirsten B, Margit R A. First flush effects in an urban catchment area in Aalborg [J]. *Water Sci Technol*, 1998, 37(1):251-257.
- [4] Brodie I, Rosewell C. Theoretical relationships between rainfall intensity and kinetic energy variants associated with stormwater particle washoff [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 340(1/2):40-47.
- [5] Lee S B, Yoon C G, Jung K W, et al. Comparative evaluation of runoff and water quality using HSPF and SWMM [J]. *Water Science & Technology*, 2010, 62(6):1401-1409.
- [6] Helmreich B, Hilliges R, Schriewer A, et al. Runoff pollutants of a highly trafficked urban road: correlation analysis and seasonal influences [J]. *Chemosphere*, 2010, 80(9):991-997.
- [7] 颜文涛,韩易,何强. 山地城市径流污染特征分析[J]. *土木建筑与环境*, 2011, 33(3):136-142.
YAN Wentao, HAN Yi, HE Qiang. Characterization of stormwater runoff pollution in mountain city [J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2011, 33(3):136-142.
- [8] 王兴梁,梁世军. 城市降雨径流污染及最佳治理方案探讨[J]. *环境科学与管理*, 2007, 32(3):50-53.
WANG Xingqin, LIANG Shijun. The pollution of urban rainfall runoff and analyse on best controlling practices of it [J]. *Environmental Science and Management*, 2007, 32(3):50-53.
- [9] 车伍,张炜,李俊奇,等. 城市雨水径流污染的初期弃流控制[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(6):1-5.
CHE Wu, ZHANG Wei, LI Junqi, et al. Initial split-flow control of urban rainwater runoff pollution [J]. *China Water & Wastewater*, 2007, 23(6):1-5.
- [10] 蔡婧,李小平,陈小华. 河道生态护坡对地表径流的污染控制[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(7):1325-1334.
CAI Jing, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua. The effects of ecological riverbank slopes on surface runoff pollution control [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(7):1325-1334.
- [11] 张淑娜,李小娟. 天津市区道路地表径流污染特征研究[J]. *中国环境监测*, 2008, 24(3):65-69.
ZHANG Shuna, LI Xiaojuan. Pollute character of road earth's surface radial flow in tianjin heartland [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2008, 24(3):65-69.
- [12] 吴蓓,汪岁羽,黄玮. 苏州城区不同功能区地表径流污染特征[J]. *水资源保护*, 2007, 23(2):57-63.
WU Bei, WANG Hui, HUANG Wei. Contamination

- characteristics of surface runoff in different functional districts of Suzhou City [J]. Water Resources Protection, 2007, 23(2): 57-63.
- [13] 林莉峰,李田,李贺. 上海市城区非渗透性地面径流的污染特性研究[J]. 环境科学, 2007, 28(7):1430-1434. LIN Lifeng, LI Tian, LI He. Characteristics of surface runoff pollution of Shanghai urban area [J]. Environmental Science, 2007, 28(7):1430-1434.
- [14] 周赛军,任伯帆,邓仁健. 湘潭市地表雨水径流污染的特性研究[J]. 环境科学与管理, 2008, 10(2):43-46. ZHOU Saijun, REN Bozhi, DENG Renjian. Study on the pollution characteristics of xiang tan city road surface sediment [J]. Environmental Science and Management, 2008, 10(2):43-46.
- [15] 李立青,尹澄清. 雨、污合流制城区降雨径流污染的迁移转化过程与来源研究[J]. 环境科学, 2009, 30(2): 368-375. LI Liqing, YIN Chengqing. Transport and sources of runoff pollution from urban area with combined sewer system [J]. Environmental Science, 2009, 30(2): 368-375.
- [16] 罗鸿兵,罗麟,黄鹄. 城市入河径流排放口总污染特征研究[J]. 环境科学, 2009, 30(11): 3227-3235. LUO Hongbing, LUO Lin, HUANG Hu. Total pollution features of urban runoff outlet for urban river [J]. Environmental Science, 2009, 30(11): 3227-3235.
- [17] 吴春笃,汝梅,黄卫东,等. 镇江城市道路雨水径流污染预测[J]. 中国科学技术大学学报, 2008, 38(4):337-341. WU Chundu, RU Mei, HUANG Weidong, et al. Prediction of stormwater pollutants on road of urban Zhenjiang [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2008, 38(4):337-341.
- [18] 李思敏,吕森,张炜. 邯郸市雨水径流污染分析[J], 河北工程大学学报:自然科学版, 2008(3):1-3. LI Simin, LYU Sen, ZHANG Wei. The analysis of runoff pollution of Handan [J]. Journal of Hebei University of Engineering: Natural Science Edition, 2008(3):1-3.
- [19] 董欣,杜鹏飞,李志一,等. 城市降雨屋面、路面径流水文水质特征研究[J]. 环境科学, 2008, 29(3): 607-612. DONG Xin, DU Pengfei, LI Zhiyi, et al. Hydrology and pollution characteristics of urban runoff: Beijing as a sample [J]. Environmental Science, 2008, 29(3): 607-612.
- [20] 王和意,刘敏,刘巧梅,等. 城市暴雨径流初始冲刷效应和径流污染管理[J]. 水科学进展, 2006, 17(2):181-185. WANG Heyi, LIU Min, LIU Qiaomei, et al. First flush effect of urban stormwater runoff and management of runoff pollutant [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(2):181-185.
- [21] 张丹,于苏俊. 九寨沟公路和栈道降雨径流污染负荷过程的研究[J]. 环境工程学报, 2007, 1(2):25-28. ZHANG Dan, YU Sujun. Study on impacts of stormwater runoff from road and wood-pavement in Jiuzhaigou Valley [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2007, 1(2):25-28.
- [22] 徐祖信. 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报, 2005, 33(3):321-325. XU Zuxin. Single factor water quality identification index for environmental quality assessment of surface water [J]. Journal of Tongji University, 2005, 33(3): 321-325.
- [23] 徐祖信. 我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2005, 33(4):482-488. XU Zuxin. Comprehensive water quality identification index for environmental quality assessment of surface water [J]. Journal of Tongji University, 2005, 33(4): 482-488.