

苏州城区不同功能区地表径流污染特征

吴 蓓¹, 汪 翊¹, 黄 玮², 顾 丽¹

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市规划局, 江苏 南京 210029)

摘要 :以苏州城区为例,在多雨季节对商业区、工业区、居民区三大功能区的降雨径流水质进行了 6 次采样监测,发现不同功能区地表径流水质差异较大,前 10 min 初雨径流中各功能区 COD、TN、NH₄⁺-N、SS 及工业区 TP 的平均浓度均劣于 V 类水质标准。另外商业区初雨径流中 COD、SS、TN、NH₄⁺-N 浓度均高于其他功能区,工业区初雨径流中 TP 浓度高于商业区和居民区。随着降雨历时的延长,降雨径流中主要污染物浓度均逐渐下降并趋于稳定。

关键词 :苏州城区;地表径流;初雨径流;污染特征

中图分类号:X522 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2007)02-0057-03

Contamination characteristics of surface runoff in different functional districts of Suzhou City

WU Bei¹, WANG Hui¹, HUANG Wei², GU Li¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Planning Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract Six samples were taken from three different functional districts, i. e. commercial, industrial and residential districts of Suzhou City during rainy season. The results show that water quality of surface runoff differs greatly in different districts. The average concentrations of COD, TN, NH₄⁺-N and SS in all districts and TP in industrial district during the first 10 min runoff were below grade V of surface water environment standard. In initial runoff of commercial district, the concentrations of COD, SS, TN and NH₄⁺-N are higher than those of other districts as well as the concentration of TP in industrial district. The concentrations of pollutants in runoff descend with the time and tend to be stable.

Key words Suzhou city; surface runoff; contamination characteristic

研究表明,在有效控制点源污染后,面源污染已成为威胁水环境的主要原因之一。水体的面源污染主要是指降雨引起的地表径流对水体的污染,包括城市地表雨水径流和农村地表雨水径流引起的水体污染等^[1]。随着城市化水平的提高,城市不透水地面面积不断上升。当降雨产生时,不仅径流量大大增加,而且径流冲刷会携带大量的污染物,包括多种有毒有害物质进入地表水体,这将对城市生态环境构成严重威胁。

苏州市地处以太湖为中心的浅碟形平原的底部,全市地势低平,自西向东缓慢倾斜。古城区内建筑密集,绿地和可渗透性地面相对较少,市内河道密布,受潮水顶托与地形影响流向不定,流速缓慢。城

区内水体水质恶化非常严重,均为劣 V 类水体。造成污染的原因既有包括工业污染源、“三产”污染源及城市生活污染源在内的点源污染,也有由城市降雨径流引起的面源污染^[2]。苏州年均降雨量约为 1 099.6 mm,多集中在 6~11 月。本文对苏州城区商业区、工业区、居民区 3 种典型的功能区进行了径流水质的采样分析,确定了 3 种汇水面初雨径流的污染程度及特征。

1 苏州城区地表径流监测概况

1.1 样品采集

商业区、居民区、工业区是性质不同的城市功能区,其地表富集的污染物量及性质都有差异,使得各

区所形成的降雨径流也有不同的污染特征。因此 , 采用分区收集水样的方式进行研究 ,能确定各区降雨径流污染物来源和污染特征。商业区径流采样点设在观前商业区景德路 ,居民区径流采样点设在桂花新村居民住宅小区道路上 ,工业区设在苏州工业园区滨河路 ,各采样点均具有一定代表性。对 3 个不同区域的采样点进行同步采样。时间段为每次地表径流形成至延续的 60 min 内 ,其中按照 0 ~ 5 min、5 ~ 10 min、10 ~ 15 min、15 ~ 30 min、30 ~ 45 min 和 45 ~ 60 min 分为 6 个采样时间段。具体监测时间见表 1。

1.2 样品分析方法

苏州古城区河道污染严重 ,以有机污染为主 ,同时 NH₄⁺-N、TN、TP 的最高超标倍数分别达 14.5、6.54 和 4.55^[2] ,故监测指标包括 COD、TN、TP、NH₄⁺-N、SS。样品分析均采用国家标准规定的样品测定方法 :COD(重铬酸钾法 ,GB 11894—89)^[3]、TN(过硫酸钾氧化-紫外分光光度法 ,GB 11894—89)^[3]、TP(钼酸铵分光光度法 ,GB 11893—89)^[3]、NH₄⁺-N(纳氏试剂比色法 ,GB 11894—89)^[3]、SS(0.45 μm 滤膜过滤 103 ~ 105℃烘干称重 ,GB 11901—89)^[3]。多次初雨径流的各种污染物的平均浓度分别与 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中 V 类水标准对比得出其污染程度。

2 结果与分析

2.1 城市降雨径流污染物浓度

2.1.1 苏州城区降雨径流污染物浓度

由监测值可看出 ,初雨径流和后段时间径流中污染物的浓度有较大差别 ,特别是前 10 min 初雨径流污染最为严重 ,故取径流形成后 10 min 内水样进行污染程度分析。

商业区、工业区、居民区的初雨径流污染物的浓度均较大 ,见表 2。

由表 2 可以看出 :COD、TN、NH₄⁺-N 污染在商业区最严重 ,TP 污染在工业区最严重。各功能区初雨径流污染特征具有显著差别。

2.1.2 我国不同地区的城市降雨径流污染比较

将本文中 3 个不同功能区的初雨径流水质与北京^[4]、武汉^[5]的监测结果进行比较(表 3)。虽然北京、武汉没有细分功能区 ,但仍然可以看出苏州城区初雨径流的污染水平具有我国大中城市降雨径流的污染特点。

表 3 国内城市地表径流水质监测结果对比 mg/L

监测项目	北京	武汉	苏州(初雨径流)		
			商业区	工业区	居民区
ρ(SS)	734	350 ~ 650	534	422	379
ρ(COD)	582	60 ~ 110	421	188	140
ρ(TN)	11.2	4.9 ~ 6.04	9.42	7.34	7.14
ρ(TP)	1.74	0.3 ~ 0.53	0.37	0.59	0.19
ρ(NH ₄ ⁺ -N)	2.4	—	4.78	4.21	3.08

2.2 城市降雨径流污染物浓度特性分析

2.2.1 不同功能区地表径流特征分析

由不同功能区地表径流水质(历次分时段监测结果的平均值)随时间变化趋势(图 1)可见 ,汇水面的性质不同 ,地表径流水质也存在很大差异。

a. COD 与 SS。由于商业区位于苏州最繁华的地段 ,集餐饮、娱乐、休闲于一体 ,人类活动频繁 ,污染因素多 ,故其初雨径流的 ρ(COD)、ρ(SS)平均值分别达 421.4 mg/L、533.5 mg/L ,较居住区和工业区污染严重。

b. TN 和 NH₄⁺-N。由于商业区人口密集、车流量大、汽车尾气排放量大 ,其排出的尾气对降雨径流中的 TN、NH₄⁺-N 含量具有很大贡献 ,因此商业区地表径流中 ρ(TN)、ρ(NH₄⁺-N)均值分别为 9.42 mg/L、

表 1 6 次地表径流监测时间

地区	商业区			工业区			居民区		
	下雨时间	径流形成时间	停雨时间	下雨时间	径流形成时间	停雨时间	下雨时间	径流形成时间	停雨时间
2004-07-19	20 :10	20 :20	20 :40	20 :10	20 :20	20 :40	20 :10	20 :20	20 :40
2004-07-25	12 :00	12 :15	13 :30	12 :00	12 :15	13 :30	12 :00	12 :15	13 :30
2005-07-28	—	—	—	18 :35	18 :43	18 :53	18 :37	18 :48	19 :03
2005-07-30	17 :20	17 :30	19 :30	17 :11	17 :20	19 :31	17 :15	17 :28	19 :30
2005-08-17	18 :34	18 :42	21 :30	18 :32	18 :41	21 :30	18 :30	18 :44	21 :30
2005-10-30	15 :00	15 :10	16 :30	15 :00	15 :10	16 :30	15 :00	15 :10	16 :30

表 2 商业区、工业区、居民区初雨径流污染物浓度

mg/L

功能区	ρ(COD)			ρ(SS)			ρ(TN)			ρ(NH ₄ ⁺ -N)			ρ(TP)		
	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值
商业区	810	158	421	1000	268	534	14.28	5.08	9.42	12.81	2.59	4.78	0.53	0.29	0.37
工业区	960	33	188	1700	110	422	11.69	4.75	7.34	11.2	2.38	4.21	1.37	0.1	0.59
居民区	320	45	140	1500	73	379	10.04	2.93	7.14	7.97	1.12	3.08	0.39	0.12	0.19

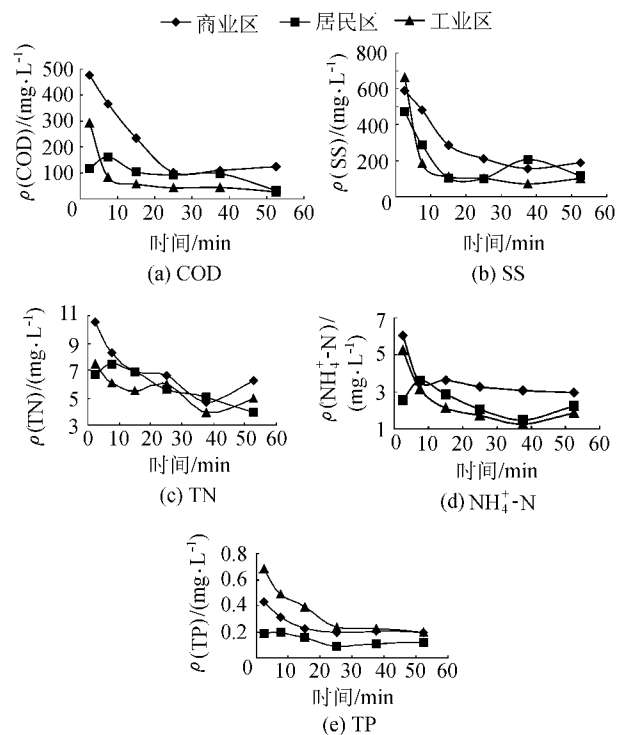


图 1 不同功能区地表径流水质变化趋势

4.78 mg/L, 高于居民区和工业区;本次工业区取样点属于苏州新区,工业尚处发展阶段,且以电子产品为主,因此由工厂废气及汽车尾气所造成的 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的污染不及商业区严重,其质量浓度均值分别为 7.34 mg/L、4.21 mg/L。

c. TP. 苏州市区降雨径流中 $\rho(\text{TP})$ 分布状况在不同功能区存在着显著差异,工业区远高于商业区和居民区,其均值为 0.59 mg/L,最大值达 1.37 mg/L。磷作为非点源污染物产生的过程十分复杂,它受降雨过程(降雨类型、强度及持续时间)和下垫面因素(地形、地貌、土壤的化学和物理状况、植被或作物特征,以及农业实践措施等)的综合影响^[6]。工业区 TP 含量较高,可能是由于该区采样点旁有几个大型的建筑工地。磷化合物一般都是吸附在颗粒物上,因此建筑工地是磷的一个重要来源地^[7],这可能是引起工业区 TP 含量偏高的原因之一。

2.2.2 不同时间段地表径流特征分析

a. 根据三个不同区域主要污染物浓度变化(图 2)可知,初雨径流的污染浓度最高。随着降雨历时的延长,这些污染物指标均呈逐渐下降趋势。但许多研究表明,下降趋势还取决于降雨强度、降雨量、降雨间隔时间等。

b. 不同功能区内地表径流水质随时间而变化。由图 2 可见,商业区内形成的地表径流, $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{SS})$ 值浓度随时间变化较大,呈快速递减的趋势, $\rho(\text{COD})$ 仅在 20 min 内由 421.4 mg/L 下降为 168.1 mg/L,而 $\rho(\text{SS})$ 也由 533.5 mg/L 下降为 248.38 mg/L。工业区

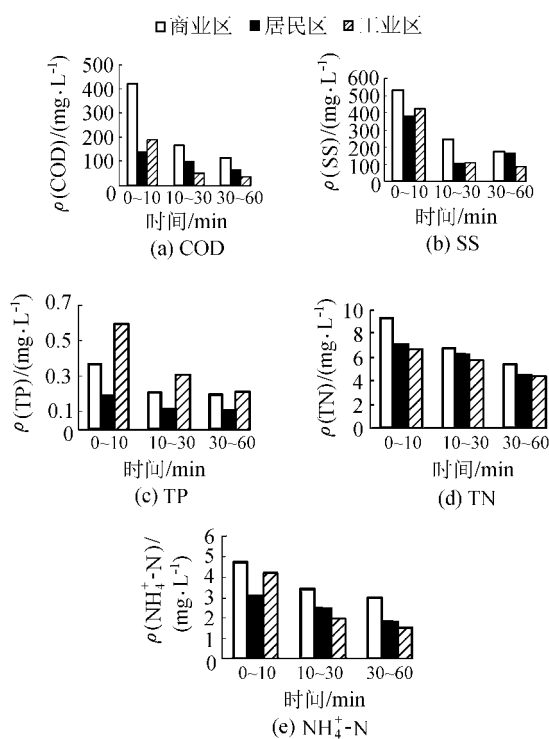


图 2 不同功能区地表径流分时段变化

除 $\rho(\text{TN})$ 下降幅度较小外,其余各监测指标均随时间变化较大,特别是 $\rho(\text{SS})$,由起初的 421.9 mg/L 骤然下降到 106.63 mg/L。居民区内形成的地表径流水质除 SS 外,其余各监测项随时间变化较小,呈小幅下降的趋势。这与取样点所在功能区的特点是相符的。

3 结 论

a. 结合苏州城区河道污染的特征,对苏州城区三大功能区(商业区、工业区、居民区)降雨径流进行了 SS、COD、TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 等 5 项指标的监测。结果表明,苏州城区地表径流污染严重,特别是前 10 min 的初雨径流,其污染物最大质量浓度分别可达 1700 mg/L、960 mg/L、14.28 mg/L、12.81 mg/L、1.37 mg/L;平均浓度除商业区及居民区的 TP 浓度外,各项指标均劣于 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》V 类水质标准。

b. 苏州城区不同功能区地表径流水质差异较大,其中商业区地表径流中 $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{SS})$ 、 $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ 均高于工业区和居民区,而工业区的 $\rho(\text{TP})$ 高于商业区和居民区;居民区径流污染相对较小,且随时间变化较为平坦。

c. 可结合本文降雨径流流量的监测及苏州城区各种下垫面所占比例的资料,进行定量分析和掌握历次降雨径流在入河污染物总量中占有的贡献率。同时可采用次降雨径流污染物平均浓度即 C_{EM} (Event Mean Concentration)来说明单 (下转第 63 页)

3.1.3 提高用水效率

据调查,深圳市生活用水中主要的用水设施水龙头和卫生器具等质量合格率仅为 53%,节水型器具使用率更低,公共设施用水调查中,使用率仅为 11.4%^①。如果今后在提高节水器具的普及率、降低城市供水管网的漏失率、提高水价,以及在加强全社会节水宣传等工程和非工程措施方面多做工作,对于抑制深圳居民生活需水不合理增长是非常必要和迫切的。虽然深圳市工业企业总体的重复利用率平均达到 88.7%(不含电力行业),但主要是其冷却水重复利用率高的原因,其他的工艺及生活用水重复利用率还比较低^①。

同时,在抑制生产和生活需求的同时,还必须加强污水治理力度,建立全过程和全面的用水节水防污管理制度,全面推进节水防污型社会的建设。

3.2 调控效果评价

到 2030 年,通过采取控制人口规模、调整产业结构、提高用水效率措施可分别节约水量 2.2 亿 m³、2.4 亿 m³、1.7 亿 m³。综合采用上述 3 种措施后,扣除各种措施的重复计算量,共可节水 5.4 亿 m³,其中调整产业结构可降低需水 2.4 亿 m³,占节水量的 46%;控制人口规模可降低需水 1.3 亿 m³,占节水量的 24%;在此基础上,进一步提高用水效率可降低需水 1.7 亿 m³,占节水量的 30%。需水增长速度也将从目前超过 10% 的增长率大幅下降,至 2030 年接近零增长,水环境得到改善。

4 结 语

本文根据深圳的用水需求和社会经济发展资料,

进行了国内外情况对比,分析了深圳市现状用水及其存在的问题,进而揭示了未来面临的水资源供需矛盾和水环境压力,并就其资源环境的约束问题,提出了水资源需求的调控措施。分析表明,深圳市面临水资源短缺和水污染双重压力,必须进行水需求控制。调整产业结构、控制人口规模、提高用水效率等控制措施对抑制水需求过快增长具有明显作用,到 2030 年可削减水量 5.4 亿 m³。

鉴于深圳市在城市化过程中的代表性和地处南方沿海城市的典型性,在处理珠江三角洲、长江三角洲以及其他沿海城市类似问题时,本文运用的理念和调控对策可供参考。

致谢 本文主要结果数据来源于水利部水利水电规划设计总院“深圳市水污染水环境治理工作专题研究第三子项目——深圳市水资源优化配置、节约和保护研究”项目报告,在此特别感谢项目组全体人员。

参考文献:

[1] 深圳市水务局.深圳市水资源公报(1998-2003) [R].
[2] 中华人民共和国水利部.中国水资源公报(1998-2003) [R].
[3] 深圳市统计局.深圳统计年鉴[M].北京:中国统计年鉴出版社,2004.
[4] 中国统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计年鉴出版社,1999,2001,2004.
[5] 世界银行 2000 年世界发展指标编写组.2000 世界发展指标[M].北京:中国财政经济出版社,2000,8-10,128-130.
[6] 侯捷.中国城市节水 2010 年技术进步发展规划[M].上海:文汇出版社,1998,91-92.

(收稿日期:2005-09-08 编辑:高渭文)

(上接第 59 页)

次径流的污染物负荷

$$C_{EM} = \sum Q_i C_i \Delta t / \sum Q_i \Delta t$$

式中: C_{EM} 为次降雨径流污染物平均浓度; Q_i 为流量; C_i 为浓度; Δt 为采样时间间隔^[8]。

从而为苏州城区非点源污染负荷定量估算及控制措施制定提供更加科学的依据,以期采取更加经济、有效的工程措施削减苏州城区初雨径流污染,从而达到改善苏州水环境质量的目的。

参考文献:

[1] 伍发元,黄种买,龙向宗,等.汉阳墨水湖地区城市面源污染控制研究[J].西南给排水,2003,25(6):18-20.
[2] 河海大学,苏州科技学院.国家 863 重大科技专项—苏州市水环境质量改善与综合示范项目课题实施方案(一、

三专题) [R].2003.
[3] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].3 版.北京:中国环境科学出版社,1989.
[4] 车武,刘燕,李俊奇,等.国内外城市雨水水质及污染控制[J].给水排水,2003,29(10):38-41.
[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] 单保庆,尹澄清,于静,等.降雨-径流过程中土壤表层磷迁移过程模拟研究[J].环境科学学报,2001,21(1):7-12.
[7] 王和意,刘敏,刘巧梅,等.城市降雨径流非点源污染分析与研究进展[J].城市环境与城市生态,2003,16(6):283-285.
[8] 赵建伟,单保庆,尹澄清,等.城市旅游区降雨径流污染特征——以武汉动物园为例[J].环境科学学报,2006,26(7):1062-1067.

(收稿日期:2006-10-27 编辑:高渭文)

① 深圳市 2010 年节水规划.