

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.06.012

市政泵站雨天排放对黄浦江、苏州河水质的影响

陈长太，徐贵泉

(上海市水务规划设计研究院,上海 200233)

摘要:为研究市政泵站雨天排放对受纳水体水质的影响程度,利用一维河网水量水质模型和管网模型进行耦合计算,分析黄浦江、苏州河沿线 73 座市政泵站在不同典型降雨时段溢流排放时,对黄浦江和苏州河的水质影响程度进行了定量化研究。结果表明:雨天市政泵站排放对黄浦江和苏州河的水质浓度有不同程度的影响,越靠近中心城区的河道水体污染物浓度升幅越大,降雨量越大对水体的水质影响也越大;要降低市政泵站雨天排放对黄浦江、苏州河水质的影响,需采取工程措施和非工程措施综合措施来进行治理。

关键词:市政泵站;水质模型;平原河网;黄浦江;苏州河

中图分类号:X522 文献标志码:B 文章编号:1004-6933(2014)06-0059-04

Influence of overflow discharge from municipal pumping station in rainy days on water quality of Huangpu River and Suzhou Creek

CHEN Changtai, XU Guiquan

(Shanghai Water Planning and Design Research Institute, Shanghai 200232, China)

Abstract: In order to analyze the influence of overflow discharge from municipal pumping stations in rainy days on the water quality of the receiving water bodies, the overflow discharge during typical rainfall periods from 73 municipal pumping stations along the Huangpu River and Suzhou Creek were studied. Through coupling of a one-dimensional hydrodynamic and quality river network model and a pipe network model, the influence on the water quality of the Huangpu River and Suzhou Creek was quantitatively studied. The results show that the discharge from the municipal pumping stations in rainy days had different influences on pollutant concentrations in the Huangpu River and Suzhou Creek; the nearer to the city center, the higher the pollutant concentrations were, and the greater the rainfall, the greater the influence on the water quality became. In order to reduce these influences, engineering measures and non-engineering measures should be taken in an integrated manner.

Key words: municipal pumping station; water quality model; plain river network; Huangpu River; Suzhou Creek

截至 2012 年底,上海市城镇污水处理率已达 85.6%,随着上海截污治污工作的深入开展,直排入河点源得到有效治理,但同时面源污染问题日益突出,尤其在雨季降雨期经市政泵站直接排放入河的城市面源污染,对中心城区的水系水质冲击极大,短暂黑臭现象时有发生。黄浦江为目前太湖流域唯一

没有建闸控制的通江河流,而苏州河为黄浦江的一条支流,在其河口已建闸控制。黄浦江、苏州河均横贯上海中心城区,承担着防洪除涝、生态景观、旅游航运等重要功能。笔者以河网和管网数学模型为工具,对市政泵站雨天排放对黄浦江、苏州河的水质影响和对策进行研究探讨,可为相关河流的水环境治

基金项目:上海市科委科技攻关项目(04DZ12027)

作者简介:陈长太(1978—),男,高级工程师,硕士,主要从事水务规划设计、水资源开发与保护、水环境模拟等方面的研究。E-mail: chenchangtai@126.com

1 黄浦江、苏州河两岸市政泵站布置现状

目前,黄浦江、苏州河沿线已建成雨水排水系统 63 个,汇水面积 139.25 km²;市政雨水排水泵站 73 座,总装机流量为 710.48 m³/s。其中:黄浦江沿线共有市政泵站 39 座,装机规模 434.16 m³/s;苏州河沿线共有市政泵站 34 座,总装机流量 276.32 m³/s。各沿线市政泵站的位置分布见图 1。由于这些沿线市政排水系统大都为合流制排水系统,在旱季,市政污水可基本被截留输送至污水厂处理,基本不发生旱天排放入河的现象;但是在雨天,当降雨量超过市政泵站系统截留能力后,超过截留能力的雨污水将被迫溢流排入黄浦江、苏州河等中心城区水系,将对水体水质造成不同程度的影响。

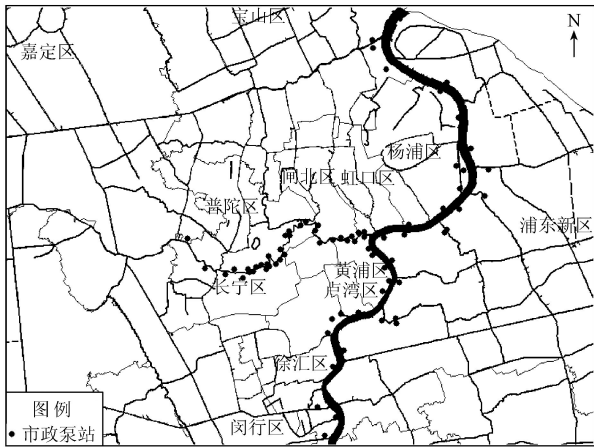


图 1 黄浦江、苏州河两岸现状市政泵站位置示意图

2 计算降雨条件

1999 年徐家汇站年降雨量达 1776.0 mm,属丰水年型,其中 6、7、8 月的月降雨量分别为:729.2 mm、105.9 mm 和 326.4 mm(图 2),这 3 个月基本代表了特丰月、偏丰月和平水月的降雨,具有较好的代表性。同时,在这期间水务、环保等部门对市政泵站排水的水量水质做了大量监测,数据资料比较丰富。因此,本文以这 3 个月作为典型时段进行水文计算分析。

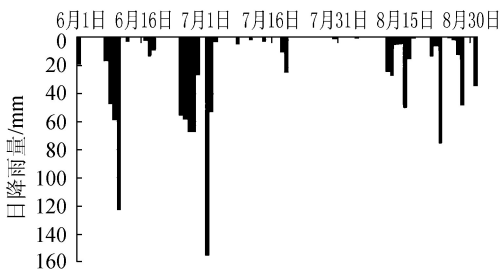


图 2 1999 年 6—8 月逐日降雨过程

3 河网和管网水量水质模型

3.1 河网水量水质模型

近 30 年来,基于上海的实际水情和工情,在学习吸收国内外先进水环境数学模型的基础上,上海市水务规划设计研究院研究已建立了一套能够反映上海感潮河网地区水量、水质、水环境承载能力时空变化规律的数学模型软件系统^[1-3]。经过多年的资料积累、对模型的率定验证以及在防洪、排涝、引水灌溉、水环境综合整治、水资源利用与保护等方面的应用检验,表明该模型能够真实客观地反映上海平原、感潮、人工调控河网在各种复杂影响因素下的水流运动和水质变化规律^[4-5]。

3.1.1 水量基本方程

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial Z}{\partial x} - u^2 \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_Z + \\ g \frac{n^2 |Q| Q}{AR^{1.333}} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: Q 为流量; x 为空间坐标; B_w 为水面宽度(包括主流断面宽度 B 及起调蓄作用的附加水面宽度); Z 为水位; t 为时间坐标; q 为旁侧入流流量; u 为断面平均流速; g 为重力加速度; A 为过流断面面积; n 为糙率系数; R 为水力半径。

3.1.2 水质基本方程

$$\frac{\partial(A\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(Au\rho)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) - kA\rho + S_r \frac{A}{h} + \frac{dS}{dx} \quad (2)$$

式中: ρ 为污染物质的断面平均浓度; E_x 为纵向分散系数; S 为外部源(汇)项(包括调蓄支河的汇入和汇出); k 为污染物降解系数; h 为水深; S_r 为底泥释放系数。

3.2 排水系统管网水力模型

排水系统管网水力模型^[1]采用英国 Wallingford Software 的 InfoWorksCS,排水系统管网水力学的的基本方程为圣维南方程组。对于无压管流,类似于方程(1),即有式(3);对于有压满管流,则式(3)中的自由表面宽度用式(4)代替。

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\cos\theta \frac{\partial h}{\partial x} - S_0 + \frac{|Q| Q}{K^2} \right) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$B = \frac{gA_f}{u_p^2} \quad (4)$$

式中: θ 为管道的水平倾角; S_0 为管道水力坡度; K

为流量模数; A_f 为管道横截面积; u_p 为压力流的流速。

关于河网与管网水量水质模型的计算方法以及模型的率定和验证详见文献[2-3]。两个模型均采用静态耦合的方式进行计算,即先利用管网模型模拟计算出各市政泵站排放的动态变化过程,然后以该排水过程作为非恒定点源,放入一维河网水动力水质模型中进行耦合计算,对市政泵站排放入河前后黄浦江、苏州河代表断面的水质变化过程进行模拟分析。

4 雨天排放污染负荷量

当上海地区发生 1999 年 6、7、8 月实况降雨时,黄浦江、苏州河两岸 73 座泵站总排水量将分别达到 4774.0 万 m^3 、396.0 万 m^3 和 2412.7 万 m^3 。根据近年对典型市政泵站排放水质的监测成果,COD、 NH_3-N 的排放质量浓度分别按 200 mg/L 和 10 mg/L 估算,则 6、7、8 月降雨条件下排放总污染负荷 COD 将分别为 9 548.9 t、792.1 t 和 4 825.4 t, NH_3-N 将分别为 477.4 t、39.6 t 和 241.3 t,详见表 1 所示。

表 1 1999 年 6—8 月市政泵站总排放量及总排放污染负荷

月份	降雨量/ mm	总排放量/ 万 m^3	总排放污染负荷/t	
			COD	NH_3-N
6 月	729.2	4774.0	9 548.9	477.4
7 月	105.9	396.0	792.1	39.6
8 月	326.4	2412.7	4 825.4	241.3

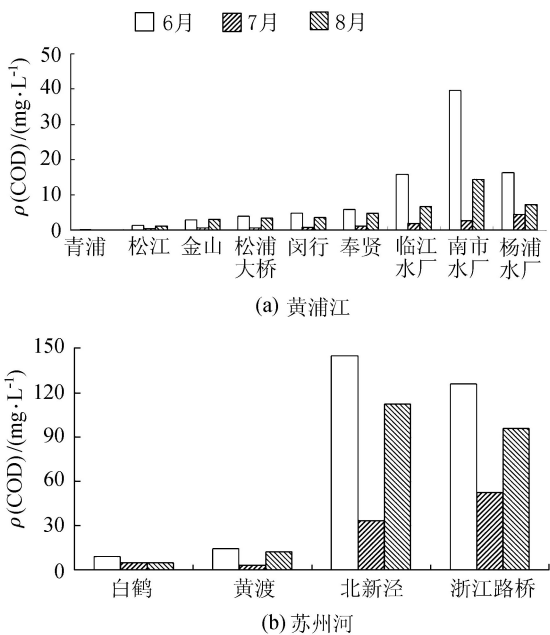


图 3 1999 年 6—8 月降雨条件下黄浦江、苏州河 COD 质量浓度最大增幅

5 雨天排放对黄浦江、苏州河影响分析

暴雨期间市政泵站大量雨水排放,将对受纳水体的水质产生严重的冲击污染。在 1971 年 8 月的水文边界条件下,若区域发生 1999 年 6—8 月月实况降雨,与无降雨条件下相比较,黄浦江、苏州河代表断面的 COD 和 NH_3-N 质量浓度的最大增幅如图 3 和图 4 所示。

由图 3 可知,当市政泵站排放入河后,黄浦江和苏州河的污染物质量浓度将有不同程度的增加,由于泵站排水主要集中在中心城区,因此,越靠近中心城区的质量浓度增幅越大。如在 6 月份降雨条件下,黄浦江全线 COD 瞬时质量浓度最大增幅为 0.01 ~ 59.27 mg/L,其中黄浦江中上游(黄浦江奉贤取水断面以上)最大增幅在 5.01 mg/L 以下,而黄浦江中心城区段(临江水厂至杨浦水厂)最大增幅在 15.29 mg/L 以上。苏州河全线 COD 质量浓度增幅为 8.92 ~ 146.57 mg/L,其中苏州河上游(黄渡以上)最大增幅在 14.53 mg/L 以下,而苏州河中心城区段(北新泾至浙江路桥)最大增幅达 126.29 mg/L 以上。

市政泵站排水量与降雨量密切相关,降雨量越大排水量越大,对水体的水质浓度冲击也越大。在降雨量最大的 6 月份,黄浦江全线 COD 和 NH_3-N 瞬时质量浓度最大增幅分别为 59.27 和 2.68 mg/L;苏州河全线 COD 和 NH_3-N 质量浓度分别为 146.57 mg/L 和 7.29 mg/L,黄浦江和苏州河中心城区段的水质将受到严重的影响。但在降雨量最小的 7 月

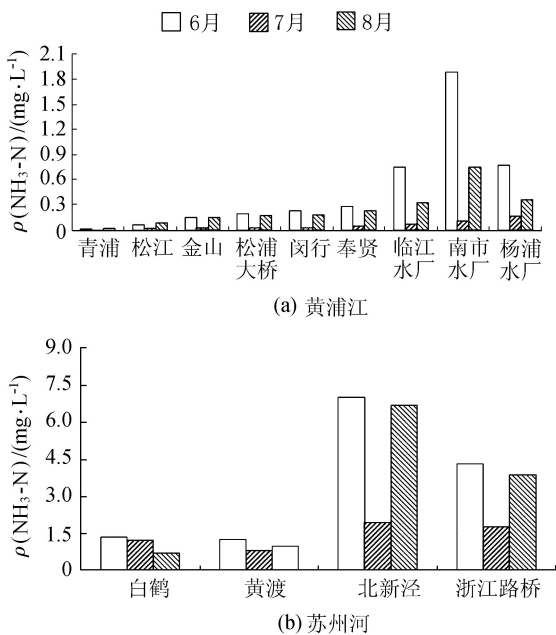


图 4 1999 年 6—8 月降雨条件下黄浦江、苏州河 NH_3-N 质量浓度最大增幅

份,黄浦江全线 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度最大增幅分别为 5.13 和 0.19 mg/L,苏州河全线 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度分别为 52.12 和 1.95 mg/L,黄浦江水质受影响比较轻微,苏州河中心城区段的水质仍受到较大影响,但影响程度远小于 6 月份。

6 对策与措施

市政泵站雨天排放对苏州河、黄浦江的水质将产生不同程度的影响,因此,需要采取各种对策和措施削减雨天排放量和污染负荷。

6.1 工程措施

①新建排水系统实行严格的雨污分流,对有条件的已建雨污合流系统进行雨污分流改造。②对分流制改造有困难的,需进一步完善截流设施,提高雨水截流倍数,减少初期雨水排放量。③总结分析昌平、梦清园、成都、芙蓉江和江苏等地已建调蓄池的建设、运行和管理经验,在有条件的排水系统中增设雨水调蓄池。④根据要求,上海中心城区的雨水排水标准需由现状 1 年一遇提高至 5 年一遇以上,因此,可结合防汛排水标准提高,在苏州河等河道下方设置大型调蓄隧道,通过灵活调度,既确保防汛安全,又可有效对初期雨水进行拦蓄处理。⑤推广低影响开发技术,如绿色屋面、下沉式绿地、道路渗透铺装、公共雨水滞留空间、屋面雨水收集与利用、滨河景观绿化等,降低地表径流系数并拦截部分污染物。

6.2 非工程措施

①优化已建排水系统的运行方式,一方面降低泵站运行水位以充分利用系统内的调蓄容积;另一方面雨天实行与旱天不同的运行管理模式:降雨前用截流泵站先抽空管道、提高排江泵的开车及停车水位、延长截流泵站开车时间等;②根据城市暴雨不均匀性特点,利用相邻排水系统的管道进行调蓄;③改进和加强雨水管道的疏通和清洗,防止污染物大量沉积管道;④加强道路清扫、冲洗以及雨水口清理,减少地表污染负荷;⑤制定配套的初期雨水管理政策法规,如:雨水排放水质标准、各级管理部门与雨水系统使用者在控制污染方面的职责范围等。

7 结 语

a. 利用一维河网水量水质模型和管网水动力模型,分析了当上海地区发生 1999 年 6—8 月实况雨型的情况下,黄浦江、苏州河沿线 73 座市政泵站溢流排放的污染负荷量,并对黄浦江和苏州河主要断面的水质影响程度进行量化分析。

b. 当市政泵站排放入河时,黄浦江和苏州河的

污染物浓度将有不同程度的上升,由于泵站排水主要集中在中心城区,因此,越靠近中心城区的河道,水质浓度升幅越大。

c. 市政泵站排放水量与降雨量密切相关,降雨量越大排放水量越大,排放的污染负荷也越大,对水体的水质影响也越大。

d. 要降低市政泵站雨天排放对黄浦江、苏州河水质的影响,需要得到城市规划、园林绿化、市政道路、水务、环保等多部门的配合与支持,通过采取工程措施和非工程措施的综合措施进行综合治理。

参考文献:

[1] 徐贵泉,宋德蕃,黄士力,等. 感潮河网水量水质模型及其数值模拟[J]. 应用基础与工程科学学报, 1996, 4(1): 94-104. (XU Guiquan, SONG Defan, HUANG Shili, et al. Hydraulics and water quality model for tidal river network and numerical simulation[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 1996, 4(1): 94-104. (in Chinese))

[2] 徐贵泉. 苏州河水系河网水动力模型研究[R]. 上海:上海市水务规划设计研究院, 2002.

[3] Danish Hydraulic Institute. MIKE11: a modelling system for rivers and channels reference manual[R]. Copenhagen: Danish Hydraulic Institute (DHI), 2007.

[4] 徐贵泉,林卫青,张善发,等. 苏州河环境综合整治二期水务工程环境效益研究[R]. 上海:上海市水务规划设计研究院,上海市环境科学研究院,等, 2004.

[5] 徐贵泉,周建国,褚君达,等. 黄浦江、苏州河水资源综合调度关键技术研究[R]. 上海,南京:上海市水务规划设计研究院,河海大学,等, 2007.

(收稿日期:2013-12-09 编辑:高渭文)

