

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.02.032

分流制系统泵站放江污染特征研究

刘磊

(上海市城市排水有限公司, 上海市 200233)

摘要:以上海市中心城区的4个分流制排水系统为研究对象,以COD、NH₃-N及SS为主要指标,研究各排水系统在大雨、中雨及小雨时的泵站放江污染特点及初期效应。结果表明,4个排水系统泵站放江时污染物浓度严重超标。小雨时,放江浓度与旱天生活污水浓度接近,大雨、中雨时受管道中旱天沉积物冲刷效应影响,COD及SS浓度增加,受稀释效应影响,NH₃-N浓度降低。通过分析,发现4个排水系统雨天泵站放江初期效应不明显,上述现象与放江时管蓄污水的排放以及管道沉积污染物的冲刷排放两者效应的共同作用有关,小雨时以前者为主,大雨时以后者为主,中雨时则与两种作用均有关系。揭示了市政泵站雨天排放特征及其影响机制,可用以支撑制定上海市分流制排水系统泵站雨天放江污染控制策略。

关键词: 污染物;分流制;排放特征;影响机制

中图分类号: X52

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0126-04

0 引言

上海市中心城区雨水以强排为主,中心城区多为合流制区域或存在混接的分流制区域。其中分流制系统雨天泵站短时集中放江裹挟的大量混接污水、初期雨水及管道沉积物排入河道造成雨后黑臭,泵站放江污染已成为上海市水体污染的主要原因之一。在未探明溢流污染物出流规律和溢流污染来源的情况下,盲目采取控制措施并不能有效削减溢流污染,为了解决上海市泵站放江污染问题,需要对上海市中心城区泵站放江污染特征开展研究。

国外自上世纪70年代对排水系统溢流污染的特征及规律便开展研究。1996—2001年,针对巴黎历史文化中心的Marais排水系统(面积0.41 km²),研究尺度相对较小的合流制排水系统溢流污染效应^[1]。Bertrand等^[2]对法国QASTOR数据库中的6个分流制和6个合流制排水系统的197场降雨事件进行分析,表明在分流制排水系统中50%的降雨事件,38%的初期污水中含50%的污染物,74%的初期污水中含80%的污染物;在合流制排水系统中50%的降雨事件,47%的初期污水中含50%的污染物,79%的初期污水中含80%的污染物,存在微弱的初期效应。

收稿日期: 2022-06-01

作者简介: 刘磊(1978—),女,学士,工程师,从事排水生产运行管理工作。

国内对排水系统雨天出流污染规律的研究从上世纪80年代开始。刘翠云、车伍等^[3]2003—2004年对北京市合流管道的溢流口和雨水干管的雨污水进行监测发现,合流制溢流的COD、SS、TN、TP的事件平均浓度的均值基本上处于分流制雨水浓度的低值或中值范围内。李贺^[4]重点研究了上海中心城区某合流制排水区域JXB系统雨天污染物溢流的出流过程和污染物的事件平均浓度(EMC),并探讨了溢流污染物的初期效应。孙从军^[5]通过对上海市中心城区典型分流制系统汛期降雨放江水质水量分析表明,溢流排放污染物的事件平均浓度(EMC)在不同雨型情况下表现不同,溶解性污染物随降雨量的增大而降低,而包含悬浮物的污染指标呈先升后降的变化趋势;在同等降雨条件下,前锋雨使得泵站溢流排放污染负荷远大于后锋雨;受雨型与预抽空的影响,不论小雨、中雨、大雨,SS初期效应均不显著,而溶解态污染物初期效应显著,不受降雨雨量与雨型的影响。

目前国内外学者虽然已经对排水系统溢流污染开展大量的研究工作,但是由于地域降雨特征、排水管道管理状况、地面卫生状况等不同,溢流污染特征以及污染物来源会呈现出不同的特点。本研究通过对上海市中心城区分流制排水系统的溢流污染特征进行调研分析,建立排水系统溢流污染排放数据库和溢流污染排放来源解析方法,揭示市政泵站雨天排放特征及其影响机制,用以支撑制定上海市分流制排水系统泵站雨天放江污染控制策略。

1 研究区域

本研究选择上海市中心城区外环高速、西虬江、桃浦河及沪宁铁路所围成的相对独立的排水分区作为研究对象。

该排水分区有4个子排水系统,分别为真边西系统、真江东系统、真光系统及真如系统。其服务面积及末端泵站相关信息见表1。

表1 子排水系统相关信息

排水系统	泵站	服务面积 / km ²	雨水排放能力 / (m ³ ·s ⁻¹)	泵站截流能力 / (m ³ ·s ⁻¹)
真边西	定边	2.38	2.60 × 5 西虬江	0.066
真光	真光	3.54	3.30 × 5 西虬江	0.097
真江东	真江东	2.69	2.564 × 6 西虬江	0.158
真如	真西	2.42	2.80 × 6 桃浦	0.058

上述4个子排水系统均为分流制排水系统,但因管道混接等原因,为截流旱天污水,上述排水系统末端排涝泵站均设置了截流泵,将截流污水排入西干线,最终排入污水处理厂处理。雨天末端排涝泵站将雨水排入西虬江或桃浦河,但因雨天泵站放江雨水中含有大量生活污水、初期雨水及管道沉积物,造成上述水体严重污染,上海市于2016年将上述水体纳入黑臭水体治理范围。

2 材料与方法

2.1 取样点确定

为研究上海市中心城区泵站放江污染特征,本研究降雨期间在上述子排水系统末端泵站进行采样监测,以分析其放江污染特征。采样点设置于上述泵站的泵站前池。

2.2 采样方法

水质监测时间段:雨天溢流排放事件发生后,在0~60 min内每隔10 min取1个样,在60~180 min内每隔20 min取一个样,在180 min后每隔30 min取一个样;直到溢流排放事件结束。采样点为泵站前池,均采用自动采样仪(ISCO 6712)采集雨天出流过程样。

雨量测量方法:4个排水系统的采样点附近均安装有自动雨量计,每隔1 min采集一次降雨数据,降雨量精确到0.1 mm。

2.3 监测项目

对每个采集的样品,监测分析化学需氧量

(COD)、氨氮(NH₃-N)、悬浮固体(SS)等3项指标。

2.4 放江规律统计方法

2.4.1 放江事件平均浓度计算公式

由于排水系统雨天排放量随降雨过程动态开启雨水泵而发生变化,采用事件平均浓度(Event mean concentration, EMC)分析排水系统雨天溢流污染的总体特征,计算公式如下:

$$C_{EMC} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i \Delta t}{\sum_{i=1}^n Q_i \Delta t} \quad (1)$$

式中: n 为整个溢流排放事件的采样次数; C_i 为第 i 次采样浓度,mg/L; Q_i 为第 i 次采样径流流量,L/s; Δt 为采样时间间隔,s。

2.4.2 放江污染负荷计算方法

污染负荷为排水系统雨天排放污染物的总质量,是事件平均浓度与放江总水量的乘积,计算公式如下:

$$M = C_{EMC} \times Q \quad (2)$$

式中: C_{EMC} 为事件平均浓度,mg/L; Q 为放江总水量,m³。

2.5 初期效应分析方法

本研究采用 $M(v)$ 曲线法来定量判断初期效应。用横坐标表示累积排放体积占总体积的分数,纵坐标表示累积排放污染物质量占总排放量的分数,就可以得到 $M(v)$ 曲线,如图1所示。

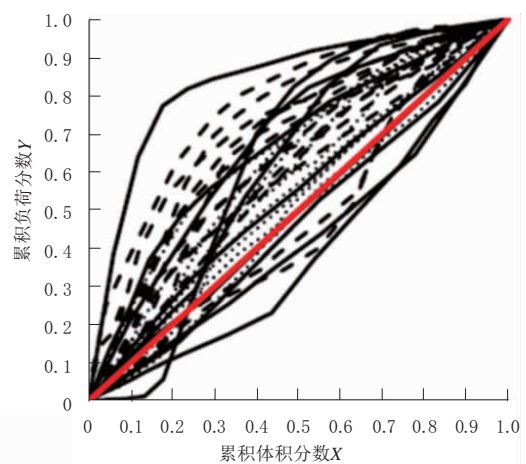


图1 $M(v)$ 曲线示意图

$$X = v(t)/V$$

$$Y = m(t)/M \quad (3)$$

式中: t 为时间; $m(t)$ 为 t 时刻出流污染物累积质量; M 为出流污染物总量; $v(t)$ 为 t 时刻出流累积体积; V 为出流总体积。

根据得到的 $M(v)$ 曲线,可以比较方便的判定初

期效应的存在。 $M(v)$ 曲线可以近似地用一个幂函数来表示:

$$\ln(Y) = b \ln(X) \quad (4)$$

式中: b 为初期效应参数,反映 $M(v)$ 曲线与角平分线之间的距离。 $b=1$ 为角平分线, b 值越小,初期效应越强,根据 b 值的不同将 $M(v)$ 曲线图分为6个区域以描述初期效应的程,见表2。

表2 初期效应评价标准

b 参数值	分布区域	对应初期效应程度
$0 < b \leq 0.185$	1	强烈
$b < 1$ $0.185 < b \leq 0.862$	2	正初期效应 中等
$0.862 < b \leq 1.000$	3	微弱
$1.000 < b \leq 1.159$	4	微弱
$b > 1$ $1.159 < b \leq 5.395$	5	负初期效应 中等
$5.395 < b \leq +\infty$	6	强烈

3 结果与讨论

各排水系统雨天溢流污染特征,在小雨、中雨和大雨之间存在差异。因此,分别对小雨、中雨、大雨条件下的排水系统雨天溢流污染初期效应展开研究,分析排水系统溢流污染的特征。

3.1 雨天放江水质与旱天水质对比分析

2019—2020年间,分别对四个排水系统旱天、小雨放江、中雨放江及大雨放江污水浓度进行了监测,如图2各图所示,分析可见:

(1)四个系统雨天放江的COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 事件平均浓度均明显高于地表水环境质量标准V类水浓度限制,造成雨天河道水质变差。

(2)定边系统小雨放江时的事件平均浓度与旱天出流浓度较为接近,真西系统小雨和中雨放江时的事件平均浓度与旱天出流浓度较为接近,表明上述两个系统在小雨、中雨时放江与旱天管道中蓄存的污水有关。

(3)定边系统中雨、大雨时,其他3个系统在大雨时,放江COD、SS明显高于旱天出流水质浓度,与旱天时沉积在管道中的颗粒态污染物在雨天冲刷排放有关。

3.2 不同排水放江 C_{EMC} 对比分析

对4个排水系统在小雨、中雨、大雨情形下的放江事件平均浓度进行统计,并进行对比分析,可得出:

(1)四个排水系统小雨情形下的放江 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度相对最高,中雨情形次之,大雨情形下的放江

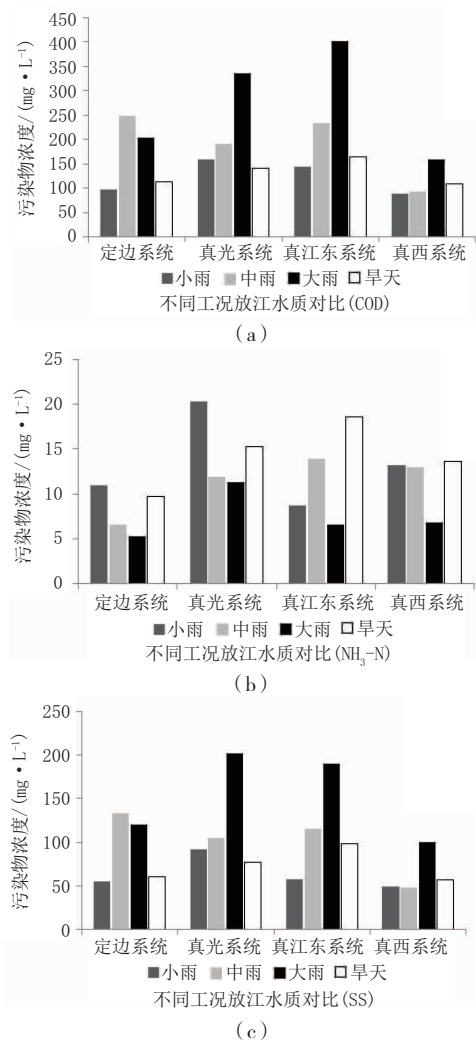


图2 旱天及雨天泵站污水浓度监测

$\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度相对最低,与降雨量大时的稀释效应有关。

(2)四个排水系统总体上大雨情形下的放江COD、SS浓度相对最高,中雨情形次之,小雨情形相对最低。这表明虽然降雨对污染物浓度具有稀释作用,但是雨水泵开启台数增加了管道中淤积污染物冲刷效应;冲刷效应强于稀释效应导致了大雨情形下放江化学需氧量、悬浮物浓度的增加。

(3)真西系统的放江水质浓度相对最低,真光和真江东系统的放江浓度总体上较为接近且高于其它排水系统,尤其是大雨时真光和真江东系统的放江浓度明显高于其它两个排水系统,表明不同排水系统之间放江特征存在差异。

3.3 雨天泵站放江初期效应分析

分别对四个排水系统在大雨、中雨、小雨情形下的放江初期效应参数进行计算,三种工况下初期效应参数范围介于0.440~2.113,可见:

(1)总体上所有四个排水系统在小雨、中雨、大

雨情形下均表现为微弱的正、负初期效应现象($0.862 < b \leq 1.159$),或者说没有明显的初期效应现象,与以下原因有关:

a. 四个排水系统雨水管网均存在污水混接现象,旱天时管道中流速较低导致污水中的颗粒态污染物在管道中大量沉积。雨天降雨放江时管道中的污染物受水力冲刷作用再悬浮;沉积物由管道中不同位置达到雨水泵站,形成持续的冲刷效应。

b. 混接污水旱天蓄积在雨水管道中,雨天时随着泵站放江管道中蓄存的污水排出,降低了初期效应现象。

c. 研究区域的服务区域面积在 $2.38 \sim 3.54 \text{ km}^2$ 之间,不同地点降雨初期形成的地表径流达到雨水管网末端排放口的时间不同,导致降雨初期效应不明显。

(2) 大雨情形下部分降雨场次存在中等程度的正、负初期效应现象;但均无强烈的正、负初期效应出现。定边系统大雨情形下 COD 初期效应参数的最小值为 0.454,最大值为 2.113;真江东系统大雨情形下 COD、SS 初期效应参数最小值分别为 0.565、0.44;真西系统大雨情形下 COD、SS 初期效应参数最小值分别为 0.561、0.595。

4 个排水系统中等初期效应均主要表现为 COD、SS 两项指标,且主要表现为中等正初期效应现象。究其原因,大雨时雨水泵站开启台数多导致泵站放江初期管道中沉积物冲刷剧烈,因此到了降雨后期沉积物冲刷效应减弱。这就降低了降雨中后期的污染物浓度,并在部分降雨场次表现出中等程度的正初期效应现象。

4 结 论

总体上,定边、真光、真江东和真西四个排水系统在小雨、中雨、大雨时的雨水管网放江 COD 浓度分别超出地表水 V 类水浓度限值 2.1 倍、3.8 倍和 5.9 倍; $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度分别超出地表水 V 类水浓度限

值 2.1 倍、3.8 倍和 5.9 倍。排水系统雨天放江对河道水质造成了严重影响,是导致雨天河道水质反复变差的成因。

大雨时的放江 COD 浓度相对最高、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度相对最低,前者与管道中旱天沉积污染物在雨天的冲刷排放有关;后者与降雨径流对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的稀释有关。大雨乃至中雨时,雨水泵开启台数增加了管道中淤积污染物冲刷效应;冲刷效应强于稀释效应导致了大雨、中雨情形下放江 COD、SS 浓度的增加。

与雨水管网旱天截流水质平均浓度相比,小雨时的放江浓度与其基本接近,表明雨水管网旱天水位较高、管蓄容量大,雨天时管蓄污水随着泵站开启进入河道。

通过对雨天泵站放江过程中累计污染量与累计水量的 $M(v)$ 曲线分析表明,总体上 4 个泵站在小雨、中雨、大雨情形下均表现为微弱的正、负初期效应现象,所有监测的降雨场次均未出现明显的正、负初期效应现象。泵站放江过程中污染负荷量和水质浓度随时间变化不明显,上述现象与放江时管蓄污水的排放以及管道沉积污染物的冲刷排放两者效应的共同作用有关,小雨时以前者为主,大雨时以后者为主,中雨时则与两种作用均有关系。

参考文献:

- [1] Chebbo G., Gromaire M.C., Ahyerre M., etc. Production and transport of urban wet weather pollution in combined sewer systems: the "Marais" experimental urban catchment in Paris[J]. Urban Water, 2001(3):3-15.
- [2] Bertrand-Krajewski 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] 刘翠云, 车伍, 董朝阳. 分流制雨水与合流制溢流水质的比较[J]. 给水排水, 2007, 4(33): 51-55.
- [4] 李贺, 李田. 上海中心城区合流制排水系统雨天溢流水质研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(3): 80.
- [5] 孙从军, 康丽娟, 赵振, 等. 典型高混接率分流制排水泵站雨天放江污染特征研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(12): 2687-2692.