

银川市某高密度城区合流制溢流污染特性研究

银雅伦¹, 侯精明¹, 杨露¹, 李东来¹, 栾广学¹, 李欣怡¹, 樊超², 屈蕴²

(1. 西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 中规院(北京)规划设计有限公司, 北京 100044)

摘要: 针对合流制管网系统溢流污染严重且易造成受纳水体出现黑臭现象等问题,以银川市第一污水处理厂片区为例,基于雨洪管理模型(SWMM),在短历时设计降雨和典型年长历时降雨条件下,模拟分析了研究区域溢流排口溢流量及溢流污染物负荷对不同降雨条件的响应关系及其对受纳水体水质的影响。结果表明:雨天合流制管网系统的溢流量及溢流污染负荷较大,且无论是短历时还是长历时降雨条件下,均具有随着降雨量的增加而增大的特点;厂前溢流污染浓度大,超过受纳水体自净能力,短期内水体水质处于黑臭状态。本研究对银川市黑臭水体治理及溢流污染防治方案的制订具有重要的参考价值。

关键词: 合流制管网系统; 溢流污染; 雨洪管理模型(SWMM); 水质衰减; 银川市

中图分类号: X52; TV131.2 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2022)06-0095-08

Pollution characteristics of combined sewer overflow in a high density urban area of Yinchuan City

YIN Yalun¹, HOU Jingming¹, YANG Lu¹, LI Donglai¹, LUAN Guangxue¹,
LI Xinyi¹, FAN Chao², QU Yun²

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. CAUPD Beijing Planning and Design Consultants Ltd., Beijing 100044, China)

Abstract: In view of the serious sewer overflow pollution of the combined pipe network system and the black and odorous phenomenon of the receiving water body, taking the Yinchuan No. 1 Sewage Treatment Plant area as an example, the SWMM model is adopted for the simulation study under the conditions of short duration design rainfall and typical year long duration rainfall. The response of the overflow discharge and overflow pollutant load of the study area to different rainfall conditions and their impact on the water quality of the receiving water body are simulated and analyzed. The results show that in rainy days, the overflow and overflow pollution load of the combined pipe network system were large, and they increased with the increase of rainfall under both short-term and long-term rainfall conditions. The overflow pollution in front of the plant was highly concentrated, which exceeded the self-purification capacity of the receiving water body, and the water quality was in a black and odorous state in a short time. This study is of important referential value to the treatment of black and odorous water and the formulation of overflow pollution control plan in Yinchuan City.

Key words: confluence pipe network system; overflow pollution characteristics; storm water management model(SWMM); water quality attenuation; Yinchuan City

1 研究背景

随着我国城市化的快速发展,城市下垫面发生了变化,越来越多不透水道路和建筑代替了原本以

植被为主的地面、农田、水域等,导致城市内涝频发,从而引发了合流制溢流等城市水环境问题,严重影响了城市水体质量。虽然我国在城市水环境治理方面已进行了大量工作^[1-2],目前城市点源污染已经

收稿日期:2022-01-11; 修回日期:2022-07-27

基金项目:中德合作交流项目(M-0427); 国家自然科学基金项目(52009104、52079106)

作者简介:银雅伦(1998-),女,四川遂宁人,硕士研究生,研究方向为合流制溢流污染特性。

通讯作者:侯精明(1982-),男,河北怀安人,博士,教授,研究方向为地表水及其附随过程数值模型。

得到了较好的控制,但由于地理、历史、经济等因素的制约,部分城市管网排水系统落后于城市发展20年左右^[3-4],较多城市目前仍采用合流制管网系统承担生活污水及雨水的收集、输送、排放等任务,在雨季极易发生溢流,造成接纳水体出现黑臭现象^[5-6]。掌握合流制溢流污染特性,对溢流污染及黑臭水体治理方案的规划实施具有重要作用^[7-9]。

目前国内很多专家学者在合流制溢流方面做了大量研究,边兆生等^[10]及詹志威等^[11]分别以长沙市小西门排渍泵站服务片区和武汉市巡司河片区为例,探究了研究区域雨季溢流污染情况并针对性地提出了治理方案;王婷婷等^[12]以镇江市运粮河为例,探讨了合流制溢流控制的指标和标准;王君等^[13]通过对美国纽约控制合流制溢流污染的发展过程进行分析,提出了我国开展合流制溢流污染控制方面可借鉴的方法;周杨军等^[14]对合流制排水系统自身存在的问题进行了分析,提出关于合流制排水系统提质增效的意见;海永龙等^[15]以北运河沙河水库区域为例,采用条件回归树方法分析了影响合流制管网溢流污染的主要降雨因素;周美成等^[16]通过采集检验苏南某市老城区排水系统溢流口的溢流出水,探究了该市不同降雨强度下的合流制管网溢流污染特性;李捷等^[17]通过分析广州城区降雨的初期冲刷效应,对广州市上西关涌调蓄池的环境效能进行了评估,以期广州市合流制溢流污染的控制、研究等提供借鉴。

不同区域的溢流污染特性各不相同,因地制宜地对合流制溢流污染进行研究,了解其溢流特性,可为溢流污染防治方案的制订及水环境工程措施的建设提供重要依据。故本研究以银川市第一污水处理厂片区为例,通过构建雨洪管理模型(storm water management model, SWMM),模拟分析第一污水处理厂厂前溢流排口在设计重现期和典型年长历时降雨条件下合流制管网系统的溢流污染特性,以期银川市第一污水处理厂片区黑臭水体治理及管网整治提供数据支撑。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

银川市是西北地区重要的中心城市,地处温带大陆性气候带,四季分明,昼夜温差大,雨雪稀少,蒸发强烈,气候干燥。银川市城区以污水厂服务范围区域划分为六大排水系统,其中第一污水处理厂排水系统位于兴庆区,主要以合流制管网为主,存在一个溢流排口,位于第一污水处理厂前,服务面积为

20.46 km²,该区域为高密度城区,不透水面积比例较高,其主要排水沟道为城市第四排水沟,城市第四排水沟总长度为7.2 km,主要接纳第一污水处理厂尾水负荷及雨季厂前溢流负荷,城市第四排水沟原本水质较差,目前已出现部分黑臭现象并最终汇入银新干沟。研究区域管网布置如图1所示。

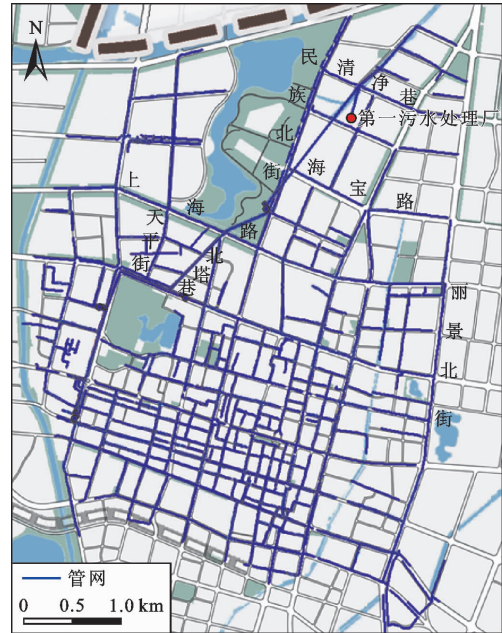


图1 研究区域合流制管网布置图

2.2 数据来源

2.2.1 降雨数据

(1)设计重现期降雨。本文选取0.5、1、2、3、5、10、20、30、50 a共9个重现期降雨进行模拟分析,银川市暴雨强度公式如下:

$$q = \frac{551.4(1 + 0.5841 \lg p)}{(t + 11)^{0.669}} \quad (1)$$

式中: q 为设计暴雨强度,mm/h; p 为暴雨重现期,a; t 为暴雨历时,min。各重现期120 min的设计降雨雨型如图2所示。

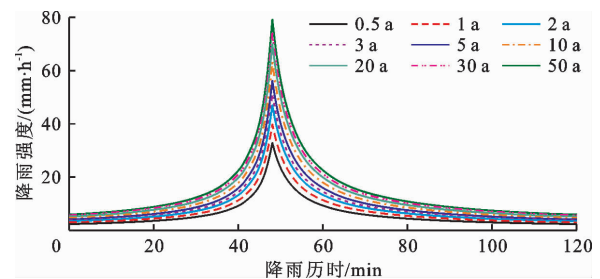


图2 银川市各重现期120 min设计降雨雨型

(2)典型年长历时降雨。银川市降雨较少,且降雨是引起城市合流制溢流污染的重要因素之一,

故模拟降雨数据的合理选取可提高研究区域溢流污染特性研究的可信度。经统计分析银川市气象局 1990-2020 年共 31 a 的日均降雨数据得到多年平均降雨量为 199.54 mm,其中,1991 年降雨量为 194.60 mm,与银川市城区多年平均降雨量最为接近,故将 1991 年选作典型年,对全年降雨情况下的合流制溢流排口的溢流情况进行模拟分析。1991 年银川市城区日降雨量分布如表 1 所示。

表 1 典型年 1991 年银川市城区日降雨量分布

日期/ (月-日)	日降雨量/ mm	日期/ (月-日)	日降雨量/ mm	日期/ (月-日)	日降雨量/ mm	日期/ (月-日)	日降雨量/ mm	日期/ (月-日)	日降雨量/ mm
01-23	0.1	04-16	7.4	06-18	1.4	08-27	40.6	09-16	1.4
02-13	2.9	05-24	9.6	07-21	7.2	08-28	2.5	09-17	0.6
02-14	0.1	05-27	19.3	07-27	11.8	08-31	0.4	10-02	2.5
03-14	2.0	05-28	1.1	07-28	0.6	09-04	3.6	10-03	0.6
03-25	9.4	05-31	11.3	08-02	13.8	09-06	0.3	12-24	1.9
03-26	1.4	06-01	0.8	08-13	0.3	09-10	0.4	12-25	0.4
04-10	6.5	06-09	2.9	08-14	0.4	09-14	1.4	12-26	0.3
04-11	6.8	06-10	1.9	08-26	18.9	09-15	0.1		

表 2 银川市 24 h 长历时设计降雨雨型分配

时段/h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
分配比/%	1	1	1	1	1	1	4.5	10	37	18	7	3.5
时段/h	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
分配比/%	1.67	1.67	1.67	1.67	1.66	1.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66

2.2.2 污染物数据

(1)天然雨水污染物初始浓度。本次考虑 TSS、COD、TP 和 TN 共 4 种常规污染物作为研究对象^[18-20]。天然雨水中的污染物浓度通常综合考虑 SWMM 模型用户手册及相关文献并由实测资料进行取值。由于银川市常年降雨较少,无法获得实测降雨条件下的污染物浓度,因此,本文参考 SWMM 模型用户手册及相关文献^[21-23],同时参照邻近地区的参数取值,得到天然雨水中 TSS、COD、TP、TN 的初始浓度分别为 50、10、0.9、6.6 mg/L。

(2)基础生活污水流量及污染物浓度。在合流制排水系统中,基础生活污水及早季管道沉积污染物是导致溢流污染物浓度较大的主要原因,因此基础生活污水在 SWMM 水质模型建立中不可忽略。本文根据银川市第一污水处理厂 2019-2020 年日进污量和日进污水水质指标数据,统计出旱季(无雨日)天数共 658 d,此时的进污情况不受降雨的影响,更接近生活污水的真实情况。根据旱季的日进

污数据统计出研究区域污水处理厂年均进污量与各污染物浓度值。将污水处理厂的年进污量与该片区汇入合流制管网的子汇水面积之和相比,得到旱季单位面积基础生活污水流量^[24]。经计算得出旱季单位面积进污流量为 0.33 L/s,TSS、COD、TP 和 TN 的水质进水平均浓度分别为 275.09、425.52、6.39 和 25.52 mg/L。

由于降雨数据为日降雨总量,为研究日降雨对城区合流制管网溢流量及污染物溢流情况的影响,需要获取更为精确的降雨数据。雨型能反映降雨过程中雨量随时间分配的特征,利用同频率法得到银川市 24 h 长历时设计降雨雨型,再将日降雨量数据分配至每 1 h,得到更为精确的日降雨过程。根据同频率法得到的银川市 24 h 长历时设计降雨雨型分配如表 2 所示。

2.3 研究方法

采用 SWMM 水质模型对研究区域合流制管网厂前溢流情况进行模拟。SWMM 模型是由美国环境保护署主持开发的都市雨洪管理模型,被广泛应用于城市合流制管网的研究中。该模型主要包括地表产流、地表汇流、管网汇流和水质模拟 4 个方面。其中,地表产流和地表汇流主要是依靠划分子汇水分区、建立节点与管线之间的联系来模拟产汇流过程;管网汇流是根据求解圣维南方程来模拟水流在管道中的流动;水质模拟是通过建立累积冲刷模型来模拟污染物在地表的累积及在降雨条件下的冲刷过程。

根据研究区域的卫星影像图划分子汇水区,并根据银川市管网布置图将第一污水处理厂片区管网概化为 5 990 个节点及 3 953 根主管道,总管道长度为 134.35 km。管网概化结果如图 3 所示。子汇水区及管网概化涉及的参数依照实际情况和 SWMM 模型用户手册进行取值。

SWMM 模型在水质模拟方面提供了 4 种污染物累积模型^[25-27],即线性累积、幂函数累积、指数累积和饱和累积。根据国内外研究经验,本文选取饱和函数累积模型模拟研究区域地面污染物的累积情况,需要确定的参数有最大累积量和半饱和累积时间两种。地表污染物的冲刷过程采用指数冲刷函数模型进行模拟,需要输入的参数有冲刷指数和冲刷系数。根据相关参考文献[28]~[30]确定这些参数的取值,各参数取值见表 3 所示。根据研究区域

的土地利用情况,将子汇水区分为房屋、绿地、道路和其他 4 种地面类型分别进行模拟。

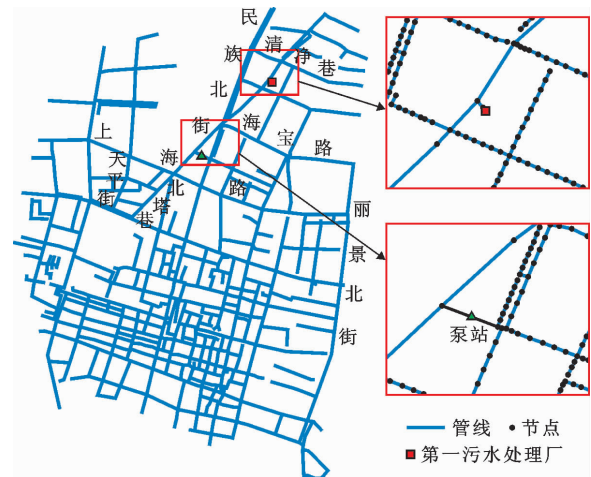


图 3 研究区域合流制管网概化图

表 3 SWMM 模型污染物参数取值表

地面类型	污染物参数	TSS	COD	TP	TN
房屋	最大累积量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	140	100	0.6	1.4
	半饱和累积时间/d	10	10	10	10
	冲刷系数	0.009	0.008	0.004	0.008
	冲刷指数	0.4	0.54	1.7	0.54
绿地	最大累积量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	120	120	0.5	5
	半饱和累积时间/d	10	10	1	0.3
	冲刷系数	0.09	0.085	0.002	0.005
	冲刷指数	0.2	0.53	1.2	2
道路	最大累积量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	130	90	0.5	6.5
	半饱和累积时间/d	8	8	10	10
	冲刷系数	0.008	0.007	0.004	0.005
	冲刷指数	0.5	0.8	1.7	2
其他	最大累积量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	80	65	0.6	8.5
	半饱和累积时间/d	5.5	8	10	10
	冲刷系数	0.008	0.007	0.004	0.004
	冲刷指数	1.8	1.8	1.7	2

2.4 模型验证

由于无实测污水处理厂进水流量过程线,无法对 SWMM 模型参数的选取进行验证,但是水质以水量为载体,若能精准模拟水在管道内流动的水动力过程,则也能说明水质模拟的准确性。因此本次研究通过对比实际与模拟积涝点情况来验证管网水动力参数的选取是否合理。为更加准确地描述地表积涝情况,使其不受地表外围客水影响,且充分考虑地表水流与地下管道水流的交换问题,在进行模型验证时,将银川市全区域管网模型与二维地表水动力

模型进行耦合。在实测降雨条件下对实测积水点和模拟积水点的积水面积和积水深度进行比较,以此验证管网水动力参数选取的准确性^[24]。积涝点选取上海路与北塔巷交叉口,积水面积和积水深度的模拟结果及其与实际值的对比如表 4 和图 4 所示。

由表 4 可见,上海路与北塔巷交叉口积水面积和积水深度的模拟值与实测值的相对误差分别为 3.5% 和 5.2%,表明在已选取的参数条件下模型模拟结果与实测结果相比虽有一定的误差,但相对误差均在 6% 以内,管网模型参数选取合理。

表 4 上海路与北塔巷交叉口积涝状况模拟值与实测值对比

实测积水面积/m ²	模拟积水面积/m ²	积水面积绝对误差/m ²	积水面积相对误差/%	实测积水深度/m	模拟积水深度/m	积水深度绝对误差/m	积水深度相对误差/%
20000	19300	700	3.5	0.25	0.237	0.013	5.2

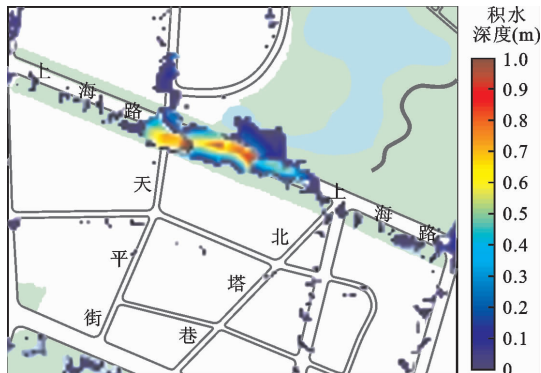


图 4 上海路与北塔巷交叉口区域积涝状况模拟结果

3 结果与分析

分别对短历时重现期设计降雨和典型年长历时降雨条件下的银川市第一污水处理厂片区溢流排口溢流情况进行模拟分析。

3.1 短历时设计降雨模拟结果与分析

降雨重现期分别为 0.5、1、2、3、5、10、20、30 和 50 a 时,溢流水量和溢流污染物负荷量及其在不同重现期下的变化规律如图 5 所示。

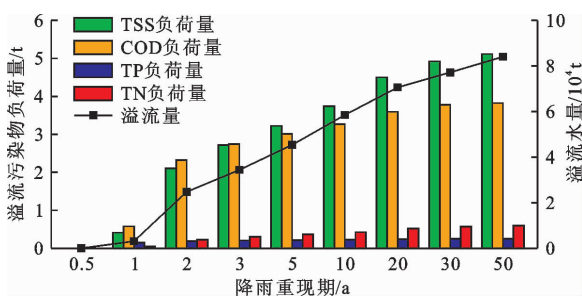


图 5 不同降雨重现期下溢流水量及污染物负荷量变化趋势

由图 5 可见,重现期为 1 年一遇时开始发生溢流,溢流水量及溢流污染物负荷量均随着重现期的增加而增大,其中重现期为 1 年一遇情况下的溢流水量和 TSS、COD、TP、TN 溢流负荷量分别为 0.314×10^4 、0.412、0.576、0.155 和 0.051 t,50 年一遇情况下的溢流水量和 TSS、COD、TP、TN 溢流负荷量达到了 8.408×10^4 、5.114、3.824、0.252 和 0.599 t。主要由于小重现期情况下,污水处理厂容量未达到饱和状态,故可容纳处理所有或大部分合流管道的污水,不需要关闭厂前阀门,溢流排口溢流水量及

污染物负荷量相对较小。随着设计降雨重现期的增加,降雨总量增大,地表水排入合流管道后进入污水处理厂,由于水量较大,污水处理厂在降雨结束之前即达到饱和状态,此时必须关闭厂前阀门,厂前水头增大,合流管道污水通过厂前溢流排口溢流,随后进入受纳水体,从而也造成了城市水体的严重污染。

3.2 典型年溢流模拟结果与分析

典型年 1991 年 39 场次(表 1)长历时降雨条件下的合流制溢流模拟结果如图 6 所示,根据图 6 统计分析第一污水处理厂片区溢流排口的溢流水量及污染物负荷量对长历时降雨条件的响应关系。

由图 6 可见,典型年 39 场次降雨条件下,共有 7 场次降雨发生溢流。当 24 h 降雨量小于 9.4 mm 时,研究区域无溢流发生;当降雨量达到 9.4 mm 时开始发生厂前溢流,溢流水量和 TSS、COD、TP、TN 溢流负荷量分别为 0.056×10^4 、0.051、0.070、0.001 和 0.005 t,主要是由于污水处理厂在当前降雨条件下达到容量饱和状态,需要通过厂前溢流排口排出从而缓解污水处理厂的压力,随着降雨量的增大,厂前溢流排口的溢流水量及污染物负荷量也随之增大;当降雨量为 40.6 mm 时(39 场次中最大日降雨量),溢流水量及 TSS、COD、TP、TN 溢流负荷量达到了 26.017×10^4 、17.054、13.959、0.366 和 1.933 t。与重现期降雨条件下的溢流规律相似,主要是由于污水处理厂在短时间内存储和处理污水的能力有限,故容量饱和后需要关闭进水阀门,将后续合流管道来水量通过溢流排口排至受纳水体。

典型年全年共产生溢流水量 51.47×10^4 t、TSS 溢流负荷量 41.209 t、COD 溢流负荷量 44.406 t、TP 溢流负荷量 0.951 t、TN 溢流负荷量 4.357 t,均排入受纳水体,即城市第四排水沟,从而对其水体水质造成了严重影响,在雨天会出现黑臭现象。

3.3 不同降雨条件下受纳水体水质分析

城市第四排水沟作为第一污水处理厂的受纳水体,在接收雨天溢流排口溢流负荷的同时,也承担着第一污水处理厂的尾水负荷。污水处理厂的尾水负荷一般满足国家规定的地表水质标准,对受纳水体具有补水效果,可辅助水体水质消除黑臭。雨天溢

流污染物浓度较大,且具有短历时、高排量的特点。本文对水体水质变化情况的模拟计算采用二维稳态水质模型,对重现期降雨及典型年最大日降雨量降

雨进行模拟计算分析。

二维稳态水质模型方程如下:

$$C(x,y) = \exp\left(-K_1 \frac{x}{86400u}\right) \left\{ C_h + \frac{C_p Q_p}{H \sqrt{\pi M_y x u}} \left[\exp\left(-\frac{uy^2}{4M_y x}\right) + \exp\left(-\frac{u(2B-y)^2}{4M_y x}\right) \right] \right\} \quad (2)$$

式中: $C(x,y)$ 为排污口污染物浓度,mg/L; x 为计算点距排污口所在岸边的纵向距离,m; y 为计算点距排污口所在岸边的横向距离,m; B 为河道宽度,m; H 为河道平均水深,m; u 为河道水流流速,m/s; C_h 为排污口上游污染物浓度,mg/L; C_p 为排污口废水

污染物浓度,mg/L; Q_p 为排污口废水排放量, m^3/s ; M_y 为横向扩散系数, m^2/s ; K_1 为水质降解系数, d^{-1} 。

方程式(2)中的参数依照实际情况及相关文献进行取值^[31-32],模型各参数值如表5所示。

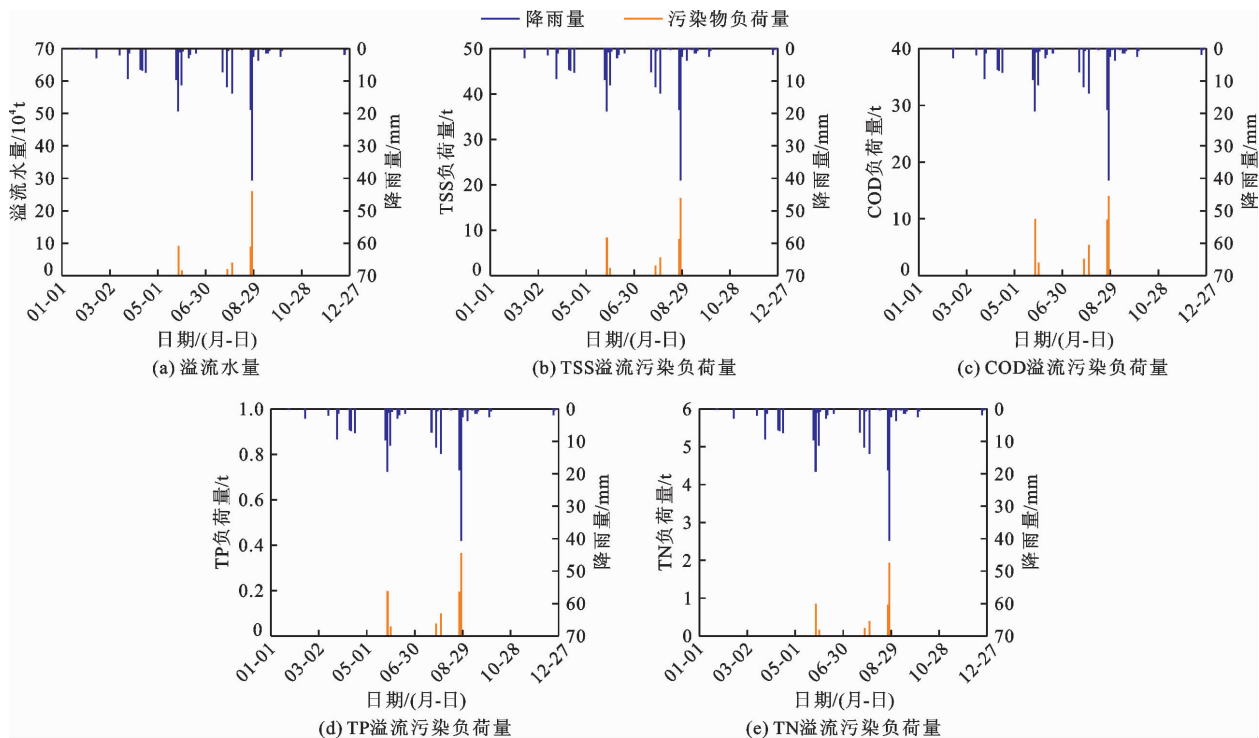


图6 典型年(1991年)溢流水量及溢流污染物负荷量对降雨量的响应关系

表5 二维稳态水质模型参数取值

$K_1 /$ d^{-1}	$u /$ $(m \cdot s^{-1})$	$M_y /$ $(m^2 \cdot s^{-1})$	$B /$ m	$C_h /$ $(mg \cdot L^{-1})$	$H /$ m	$Q_p /$ $(m^3 \cdot s^{-1})$	$C_p /$ $(mg \cdot L^{-1})$	$x /$ m	$y /$ m
0.2	0.35	0.1	5.5	-	0.5	0	0	3	-

注:“-”表示参数为非恒定值。

由二维稳态水质模型模拟出接纳水体水质在发生溢流后3 d内的变化情况,结果见图7。由图7可以看出,降雨量越大,则河道水质越差。随着时间的推移,接纳水体的污染物浓度逐渐降低。其中在50年一遇条件下(图7(d)),合流制溢流TSS、COD、TP、TN断面浓度3 d内分别从128.023 mg/L削减至75.846 mg/L、从191.821 mg/L削减至113.642 mg/L、从3.121 mg/L削减至1.849 mg/L、从11.861

mg/L削减至7.027 mg/L;典型年单日最大降雨条件下(图7(e)),TSS、COD、TP、TN断面浓度3 d内分别从127.495 mg/L削减至75.533 mg/L、从190.877 mg/L削减至113.083 mg/L、从3.105 mg/L削减至1.839 mg/L、从11.813 mg/L削减至6.998 mg/L。这是由于河道自身具有一定的净化能力,且污水处理厂的尾水对河道的补水也对其水体水质具有一定的稀释效果。但由于溢流污染较为严重,故降雨溢流发生

3 d后,河道水体水质仍远超国家标定的底边V类水质标准,水体具有出现黑臭现象的风险。

4 讨论

本文通过 SWMM 水质模型对银川市第一污水处理厂片区合流制管网厂前溢流情况进行模拟,并探究不同降雨条件下合流制管网所产生的溢流污染负荷在 3 d 内对受纳水体水质产生的影响。模拟结果表明,雨天,合流制管网的溢流量和溢流污染负荷较大,且无论是短历时降雨还是长历时降雨条件下,溢流污染负荷都具有随着降雨量的增加而增大的特点,这与张湖川^[33]对合流制管网溢流规律的研究结果一致。尽管研究区域年降雨天数及降雨量较少,但污水处理厂厂前溢流产生的污染浓度较大,具有短历时、高排量的特性,受纳水体接纳的污染负荷

超过其自身的净化能力以及污水处理厂尾水对其水质的净化效果,水体污染严重,这与程鹏等^[34]对深圳河流域溢流污染规律的研究结果相符。雨季,不仅合流制管网溢流会对城市水环境造成严重影响,而且由于污水处理厂处理污水的能力有限而导致的厂前溢流对城市水环境以及受纳水体的影响也同样不能忽略。

综上所述,雨天,银川市第一污水处理厂片区合流制管网溢流量及溢流污染负荷量对该片区受纳水体的影响较大,致使其有发生水体黑臭的风险,且溢流发生后,受纳水体在短期内无法达到国家标定的底标水质,因此应采取相应的措施,如建设 CSO (combined sewer overflow) 调蓄池、修建雨水花园、绿色屋顶、植草沟等绿色基础设施^[11],缓解合流制管网溢流对城市水环境造成的不良影响。

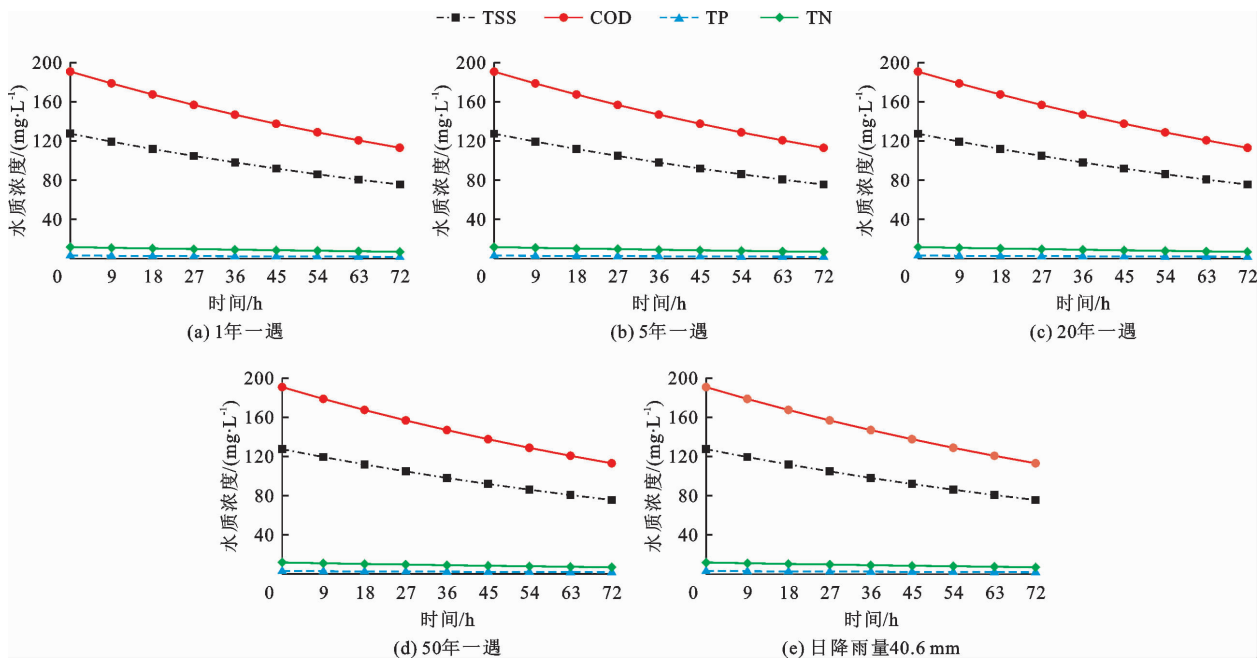


图7 不同重现期降雨条件下受纳水体污染物浓度 3 d 衰减变化趋势

5 结论

通过对银川市第一污水处理厂片区合流制管网溢流特性的研究,得到以下结论:

(1)短历时设计降雨条件下,研究区域在重现期为 1 年一遇时开始发生溢流,溢流量及污染物负荷量均随着重现期的增加而增大。典型年当降雨量达到 9.4 mm 时,研究区域开始发生溢流,且其溢流规律与短历时降雨条件下的规律相似。全年总溢流量及污染量较大。

(2)虽然研究区域年降雨天数及降雨量较少,

且城市第四排水沟具有一定的自净能力,但在雨天,由合流制管网系统造成的厂前溢流污染严重,短时间内水体水质无法达到国家标定的底边V类水质标准,水体具有出现黑臭现象的风险。

银川市年降雨天数及降雨量较少,但其合流制管网系统产生的溢流污染仍然会对受纳水体造成严重影响,建议采取一定的灰绿协同措施以减轻雨天合流制管网溢流对城市水环境造成的影响。本文对银川市第一污水处理厂片区溢流排口溢流污染特性的研究结果可为银川市黑臭水体治理及溢流污染防治方案的制订提供参考。

参考文献:

- [1] 张喜林. 城市水环境建设中若干问题的探讨[J]. 冶金管理, 2020(13): 152-153.
- [2] 王传勇. 城市水环境综合治理工程存在的问题与解决途径[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(9): 80-81.
- [3] 罗靖. 深圳市白石洲城中村排水系统模型构建及其应用[D]. 北京: 清华大学, 2014.
- [4] 任柯玮. 基于 Mike 的城市雨水管网模型与数据管理[D]. 张家口: 河北建筑工程学院, 2020.
- [5] 王家卓, 胡应均, 张春洋, 等. 对我国合流制排水系统及其溢流污染控制的思考[J]. 环境保护, 2018, 46(17): 14-19.
- [6] 郭迎新, 徐海东, 谢薇, 等. 海绵城市理念下的老城区 CSO 污染控制探索与实践[J]. 中国给水排水, 2019, 35(14): 1-6.
- [7] LI Yiping, ZHOU Yuxuan, JIANG Haiying, et al. Characterization and sources apportionment of overflow pollution in urban separate stormwater systems inappropriately connected with sewage[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 303: 114231.
- [8] TAGHIPOUR M, TOLOUEI S, AUTIXIER L, et al. Normalized dynamic behavior of combined sewer overflow discharges for source water characterization and management[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 249: 109836.
- [9] YU Dawei, LIU Dian, HAI Yonglong, et al. Effect of rainfall characteristics on the sewer sediment, hydrograph, and pollutant discharge of combined sewer overflow[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 303: 114268.
- [10] 边兆生, 蔡甜, 戴慧奇. 合流制分区排水系统溢流污染负荷评估与治理[J]. 中国给水排水, 2020, 36(21): 115-120.
- [11] 詹志威, 李孟, 金溪. 基于 SWMM 模型的合流制管道溢流污染控制系统模拟[J]. 环境工程学报, 2020, 14(2): 423-431.
- [12] 王婷婷, 朱晓娟, 吕马飞, 等. 镇江运河合流制溢流控制标准分析[J]. 给水排水, 2020, 56(S1): 666-668+675.
- [13] 王君, 张晓昕, 刘珊. 美国纽约合流制溢流污染控制策略及启示[J]. 北京规划建设, 2021(5): 52-57.
- [14] 周杨军, 解铭, 薛江儒, 等. 关于合流制排水系统提质增效方法与措施的思考[J]. 中国给水排水, 2021, 37(16): 1-7.
- [15] 海永龙, 佃柳, 郁达伟, 等. 降雨特征对合流制管网溢流污染的影响[J]. 环境工程学报, 2020, 14(11): 3082-3091.
- [16] 周美成, 陈俊, 董良飞, 等. 苏南老城区合流制管网的溢流污染特征[J]. 环境工程学报, 2015, 9(7): 3159-3164.
- [17] 李捷, 隋军, 冯云刚. 上西关涌流域调蓄工程控制溢流污染研究[J]. 环境工程学报, 2015, 9(1): 464-468.
- [18] 张志彬, 孟庆宇, 马征. 城市面源污染的污染特征研究[J]. 给水排水, 2016, 52(S1): 163-167.
- [19] 张琼华, 王倩, 王晓昌, 等. 典型城市道路雨水径流污染解析和利用标准探讨[J]. 环境工程学报, 2016, 10(7): 3451-3456.
- [20] 李畅, 涂晓杰, 秦雅琪, 等. 南宁市道路初期雨水径流污染物浓度分析[J]. 环境工程, 2017, 35(7): 70-75.
- [21] 陈伟伟, 张会敏, 张建斌, 等. 城区路面径流水质特征与初期径流量研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(5): 123-125+177.
- [22] 周抒宇, 宋现财, 王静, 等. 城镇雨水径流污染研究综述[J]. 供水技术, 2021, 15(3): 43-50.
- [23] 李慧莉, 张榆敏. 黄土基改性陶粒对雨水径流中污染物的去除效能研究[J]. 当代化工, 2019, 48(12): 2727-2730+2734.
- [24] 侯精明, 栾广学, 王添, 等. “灰绿”协同措施对银川市合流制溢流污染的影响[J]. 水资源保护, 2022, 38(3): 43-49+86.
- [25] 李依江. 基于 SWMM 的西安市老城区合流制溢流污染控制研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- [26] 何佳琪. 合流制排水管网溢流模拟及优化研究[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2017.
- [27] 唐秀秀. 采取 SWMM 和 Infoworks 模拟污染物控制效果的分析[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.
- [28] 孟莹莹, 冒建华, 李俊奇, 等. 灰绿措施组合对城市溢流污染的削减效果研究[J]. 给水排水, 2020, 56(S1): 669-675.
- [29] 杨新德, 戴忱, 曹万春. 合流制排水系统截流能力分析与溢流污染控制方案[J]. 给水排水, 2021, 57(S1): 196-200.
- [30] 胡良宇, 戎贵文, 汪星, 等. 初期弃流后板房屋面雨水污染物质量浓度衰减规律[J]. 水资源保护, 2021, 37(3): 102-107.
- [31] 晋焱铠. 辽河干流水环境容量与污染物总量控制研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
- [32] 吴礼裕, 田柯欣, 黄夏融, 等. 某印染污水处理厂扩建项目水环境影响分析[J]. 黑龙江环境通报, 2018, 42(3): 8-12.
- [33] 张湖川. 海绵城市建设初期雨水径流污染特征及削减率研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2019.
- [34] 程鹏, 李明远, 楼凯, 等. 深圳河湾流域溢流污染规律及其对海湾水质的影响[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2021, 57(1): 132-142.