

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.05.017

## 基于 SWMM 模型的截流倍数环境效应分析

林雪君<sup>1</sup>, 杜 遂<sup>1</sup>, 戴立峰<sup>1</sup>, 洪月菊<sup>1</sup>, 谌兴鑫<sup>2</sup>, 周 俊<sup>3,4</sup>

(1. 武汉市规划研究院, 湖北 武汉 430014; 2. 武汉华星光电技术有限公司, 湖北 武汉 430000; 3. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070; 4. 湖南城市学院 市政与测绘工程学院, 湖南 益阳 413000)

**摘 要:** 由于对改造建设的重视程度、时序安排、经济条件、改造难度等许多主观和客观因素的限制,许多城市老城区的合流制排水系统保留至今。采用 SWMM 水力水质模型,对城市合流区的污染物削减情况进行模拟评价,以期为合流制排水系统的截流倍数取值及建设方向提供参考。结果表明,当截流倍数  $n \geq 2$  时,合流制排水系统即可达到分流制排水系统的污染物截流效果;但只有当截流倍数  $n \geq 5$  时,合流制排水系统才能达到分流制排水系统的污染物削减效果。城市合流区需尽快进行合改分建设,或加大末端处理设施的建设。

**关键词:** 合流制排水系统; 截流倍数; 污染物削减; SWMM

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)05-0111-05

## Environmental Effect Analysis of Interception Ratio Based on SWMM Model

LIN Xue-jun<sup>1</sup>, DU Sui<sup>1</sup>, DAI Li-feng<sup>1</sup>, HONG Yue-ju<sup>1</sup>, CHEN Xing-xin<sup>2</sup>, ZHOU Jun<sup>3,4</sup>

(1. Wuhan Planning & Design Institute, Wuhan 430014, China; 2. Wuhan China Star Optoelectronics Technology Co. Ltd., Wuhan 430000, China; 3. School of Civil Engineering & Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 4. School of Municipal and Mapping Engineering, Hunan City University, Yiyang 413000, China)

**Abstract:** Due to the limitation of subjective and objective factors, such as the importance of reconstruction, time sequence, economic condition and reconstruction difficulties, etc, the combined sewer system in many old urban districts has been preserved till now. In this study, SWMM model was used to simulate and evaluate pollutants reduction in urban combined sewer area, which aimed to provide reference for interception ratio and construction direction of combined sewer system. When the interception ratio was no less than 2, the combined sewer system could achieve the pollutants interception performance equal to that of the separate sewer system. However, the combined sewer system achieved the pollutants reduction performance equal to that of the separate sewer system only when the interception ratio was no less than 5. In urban combined sewer area, it is necessary to transform the combined sewer system into separate sewer system as soon as possible, or increase the construction of terminal treatment facilities.

**Key words:** combined sewer system; interception ratio; reduction of pollutants; SWMM

随着国家在黑臭水体治理和环保督查方面的要求,在城市快速发展的过程中,如何提升水体水质,进而发挥水优势、做好水文章,是武汉市当前的一个

重点工作。武汉市现存合流制排水区面积总计 69 km<sup>2</sup>,位于硚口区、江汉区、江岸区、洪山区、武昌区等 5 个中心城区,主要涉及三金潭污水系统、汉西污

水系统和二郎庙污水系统,属于三大名流“机场河、黄孝河、巡司河”的上游汇水区。合流区的溢流污染严重影响了城市内河的水环境质量,降低了武汉市居民景观、感官舒适度,破坏城市形象。开展合流区污染控制环境效益分析对武汉市黑臭水体治理和推进环境工程技术进步有重要意义。

现行规范推荐的溢流污染控制标准是截流倍数标准,但截流倍数标准取值为 $2\sim5$ ,取值宽泛,不利于推广<sup>[1-2]</sup>。笔者以武汉市武昌旧城合流区为例,研究不同截流倍数标准下典型污染物(COD)的削减情况,以为合流区的溢流污染控制提供参考。

## 1 研究区域概况

### 1.1 研究范围及人口情况

武昌旧城现状合流区研究范围为 $16.2\text{ km}^2$ ,包括6个片区:新生路片区(A)、筷子湖片区(B)、平湖门+彭刘杨片区(C)、文昌门片区(D)、紫阳湖片区和晒湖片区,如图1所示。现状以居住小区和公共服务用地为主,其中居住用地占40%,管理及服务用地占17%,交通设施用地占22%。2017年现状常住人口为52.3万人,总建筑量约为 $1\,464\times10^4\text{ m}^2$ ,建筑可承载人口约41.8万人,属于人口密集型老城区。



图1 研究范围分片情况

Fig. 1 Fragment diagram of research area

### 1.2 雨水排放模式

武昌旧城合流区以武昌古城和晒湖地区为主的排江区总面积约 $9.8\text{ km}^2$ ;以新生路片区为主的排江区总面积约 $6.4\text{ km}^2$ 。武昌沿江地区雨水通过各泵站就近抽排入江,排江泵站总抽排能力为 $63.62\text{ m}^3/\text{s}$ ;紫阳湖和晒湖地区雨水先汇入巡司河,经江南泵站抽排入江。武昌旧城合流区雨水系统见图2。

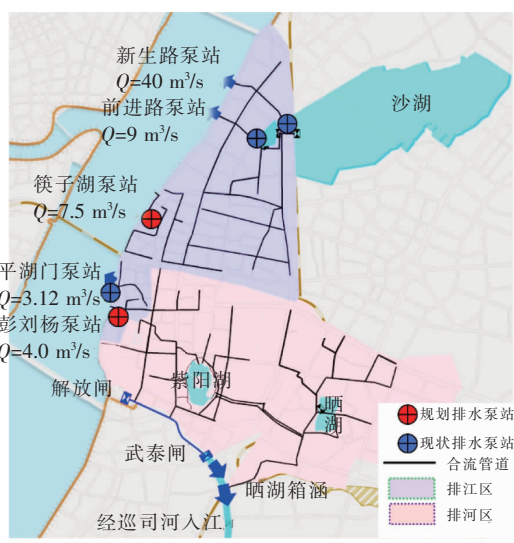


图2 武昌旧城合流区的雨水系统

Fig. 2 Diagram of rainwater system in Wuchang combined drainage area

### 1.3 污水排放模式

以解放路和武珞路为界,研究范围的污水分属于二郎庙污水处理系统和黄家湖污水处理系统,目前2座污水厂已全部建成运营。武昌旧城合流区的污水系统如图3所示。



图3 武昌旧城合流区的污水系统

Fig. 3 Sewage system diagram of Wuchang combined drainage area

二郎庙污水处理系统:新生路南片合流污水经武青三千道向北排往新生路泵站;沿临江大道设截污管,截流文昌门、彭刘杨、平湖门和筷子湖泵站的合流污水,向北会同新生路北片分流区污水排往新

生路泵站,最终排往二郎庙污水厂。黄家湖污水处理系统:武泰闸和晒湖箱涵出口设有截污管,截流晴天污水和雨天部分合流水排往黄家湖污水泵站。

#### 1.4 污水产生量

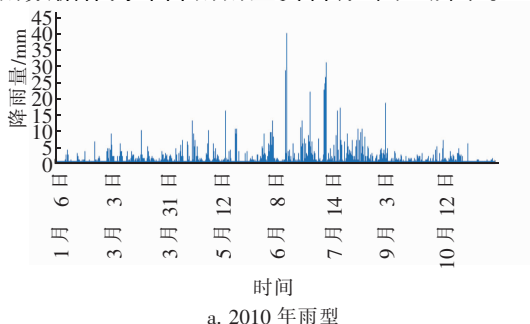
单位分项建设用地指标法是根据武汉市分区规划确定的不同性质的用地面积,采用不同性质用地的污水量指标来计算城市污水量,即城市污水量 =  $\sum F_i \times P_i$ ,其中, $F_i$ 为各类用地的面积, $P_i$ 为各类用地的单位污水量指标。居住用地用水量按照居住人口的人均居民生活用水量代替,各类用地的单位用水量指标参考《武汉市市政综合管网技术规范》(DB 4201/T 499—2016),相关污水量指标按照产污系数 0.75~0.85 确定。

通过单位分项建设用地指标法计算得到武昌旧城合流区的污水流量如下:新生路片区的人口为 19.3 万人,平均日产污量为  $0.624 \text{ m}^3/\text{s}$ ;筷子湖片区的人口为 3.8 万人,平均日产污量为  $0.121 \text{ m}^3/\text{s}$ ;平湖门片区人口为 1.3 万人,平均日产污量为  $0.041 \text{ m}^3/\text{s}$ ;彭刘杨片区人口为 2.1 万人,平均日产污量为  $0.065 \text{ m}^3/\text{s}$ ;文昌门片区的人口为 2.0 万人,平均日产污量为  $0.083 \text{ m}^3/\text{s}$ ;紫阳湖片区的人口为 10.7 万人,平均日产污量为  $0.431 \text{ m}^3/\text{s}$ ;晒湖片区的人口为 13.1 万人,平均日产污量为  $0.438 \text{ m}^3/\text{s}$ ;总计人口为 52.3 万人,平均日产污量为  $1.803 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

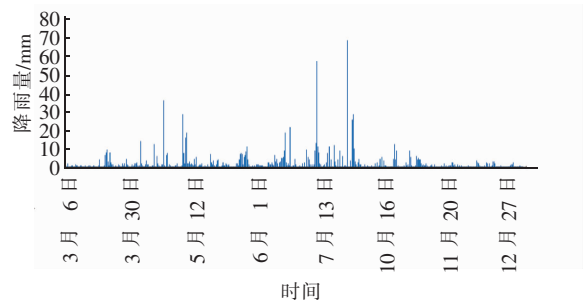
#### 2 年降雨雨型的选取

武汉市属亚热带季风性湿润气候区,一年中初夏梅雨季节雨量较集中,年平均(1956 年—2010 年)降水量为 1 240.6 mm;武汉市 2010 年—2017 年的降水量分别为 1 432、849、1 153、1 223.5、1 071、1 401.2、1 813.4、1 157.5 mm。

根据中国气象局武汉暴雨研究所提供的 2010 年—2014 年红旗渠路监测点 1 h 时段的 5 年雨型数据,本研究选取丰水年 2010 年和平水年 2012 年的降雨数据作为年降雨雨型资料,如图 4 所示。



a. 2010 年雨型



b. 2012 年雨型

图 4 武汉市 2010 年和 2012 年的雨型

Fig. 4 Rain pattern of Wuhan in 2010 and 2012

### 3 模型构建

#### 3.1 参数取值

采用 SWMM 模型软件构建排水系统管网模型,进行不同片区、不同工况下的模拟计算<sup>[3-4]</sup>。主要建模参数设置如下:

水力学模块相关参数:①汇水区。依据地形地势,结合雨水管道布置情况划分汇水区。②雨型。本次拟研究汇水区全年水量和污染物的控制情况,因此采用 2010 年、2012 年全年雨型模拟管网运行状况。③污水量。根据分类建设用地法计算产污量,以点源污染的形式添加到模型中。④不同截流倍数  $n$ 。模型中可以直接设置管道的最大流量,根据不同截流倍数计算得到  $n = 0 \sim 5$  时的截流量,通过调整模型截流管的最大流量(截流管过流能力需大于  $n = 5$  时的截流量,无需调整管径),以满足不同截流倍数的截流需求。

水质模块相关参数:①选择 COD 作为典型污染物。②土地污染物累计。采用 pow 函数,最大增长 10 kg,速率常数为 0.5 kg,饱和常数为 1 d。③土地污染物冲刷。采用 exp 函数,系数取 0.1 mg/L,指数取 1.2。④生活污水水质。根据武汉市早流污水水质监测结果(二郎庙污水厂、龙王嘴污水厂、汤逊湖污水厂、黄家湖污水厂、纸坊污水厂进水 COD 浓度分别为 141、171、231、144、346 mg/L),武汉市生活污水的 COD 平均浓度为 207 mg/L,故本次模型中生活污水的 COD 浓度赋值为 200 mg/L。

#### 3.2 模型搭建

根据武昌合流区的排水特征,将其分为两大分区:新生路分区和巡司河分区,两个分区的早流污水量分别为  $0.934$ 、 $0.869 \text{ m}^3/\text{s}$ 。通过实地调研及管线勘测得到研究范围的地形地势及排水管网走向,将



研究区合流制排水管网进行模型概化,新生路分区末端截流设施为新生路污水泵站,巡司河分区末端截流设施位于巡司河起端。新生路、巡司河分区模型如图5所示。



图5 新生路分区和巡司河分区模型

Fig.5 Model of Xinshenglu subarea and Xunsihe subarea

#### 4 模拟结果与分析

通过对比分析合流、分流系统的污染物截流率与污染物削减率两个指标,考察合流制排水系统的截流效果与处理效果,找出合流制排水系统雨季污染水体的症结所在。污染物截流率:用来评估收集系统对污染物的截流效果,等于截流进入污水处理厂的污染物的量与污染物总量的比值;污染物削减率:用来评估污水收集及处理系统对污染物的削减效果,等于得到处理的污染物的量与污染物总量的比值。

根据模拟结果可得:新生路分区2010年雨季COD总量为508.6 kg,包含雨水径流COD污染量88.9 kg和雨季点源COD污染量419.7 kg;2012年雨季COD总量为408.9 kg,包含雨水径流COD污染量86.8 kg和雨季点源COD污染量322.1 kg。巡司河分区2010年雨季COD总量为519.4 kg,包含雨水径流COD污染量128.9 kg和雨季点源COD污染量390.5 kg;2012年雨季COD总量为426.2 kg,包含雨水径流COD污染量126.5 kg和雨季点源COD污染量299.7 kg。

同等降雨条件下,若采用分流制排水体制,雨季点源COD污染全部被截流,雨水径流COD污染全部直接排放,则新生路分区2010年和2012年分流COD截流率分别为82.5%、78.8%;巡司河分区2010年和2012年分流COD截流率分别为75.2%、70.3%。新生路、巡司河分区不同截流倍数标准下全年合流制、分流制污染物截流率的对比结果如图6所示。

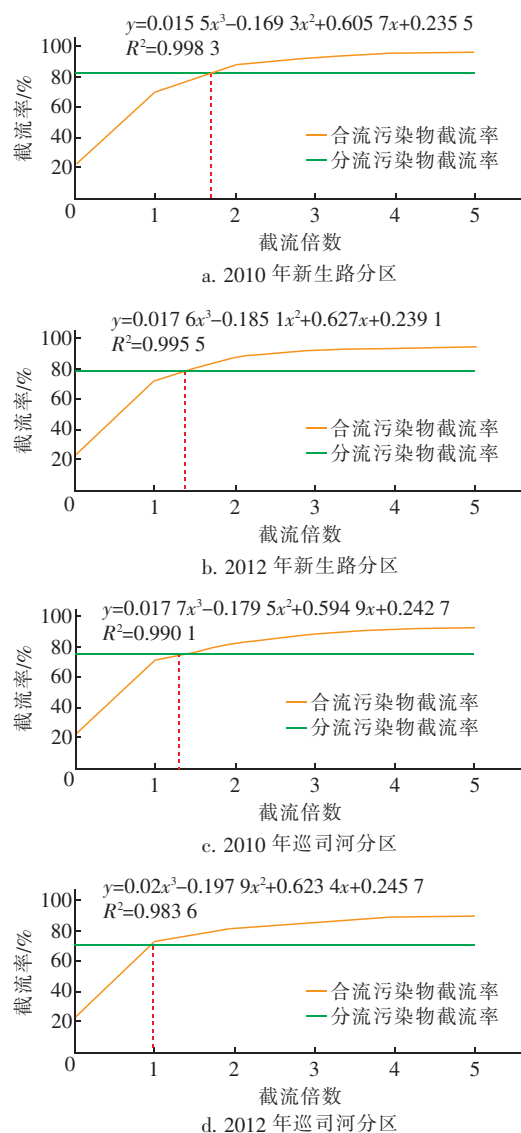


图6 新生路、巡司河分区的污染物截流情况

Fig.6 Pollutants retention in Xinshenglu subarea and Xunsihe subarea

同时考虑污水处理厂的污染物去除能力,二级处理的COD去除负荷约为85%,雨季一级强化处理的COD去除负荷约为70%<sup>[5]</sup>,新生路、巡司河分区不同截流倍数标准下全年合流制、分流制的COD削减率对比结果如图7所示。

根据模型模拟结果,当截流倍数 $n \geq 2$ 时,合流制排水系统即可达到分流制排水系统的污染物截流效果。但综合考虑末端污水厂的处理能力,截流倍数 $n$ 需取值在5及以上,合流制排水系统才能达到分流制排水系统的污染物削减效果。国家规范要求合流区截流倍数取值2~5,基本满足污染物截流需

求,目前合流区的污染治理重点在于末端处理设施的建设,或者进行合流制改分流制建设。

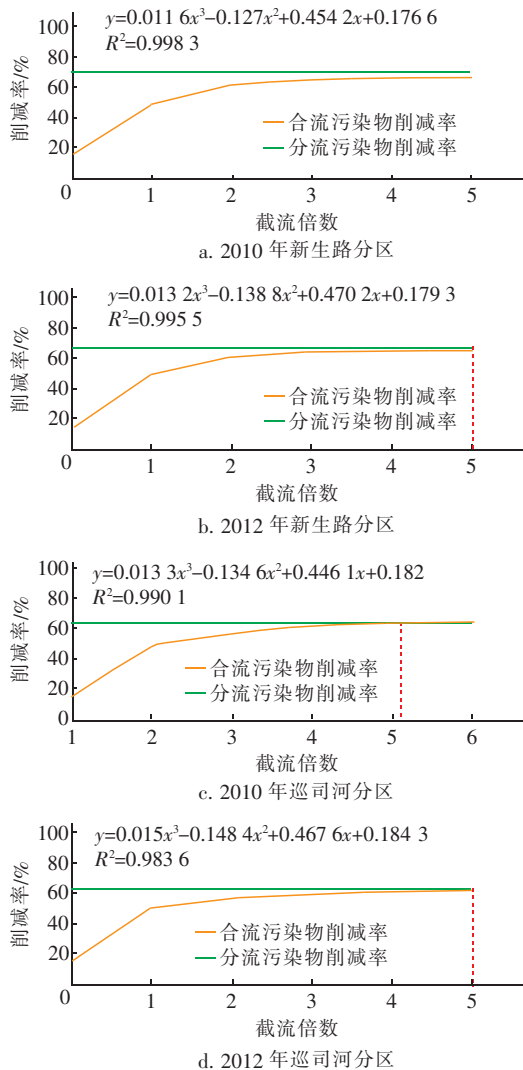


图7 新生路、巡司河分区的污染物削减情况

Fig.7 Comprehensive reduction of pollutants in Xinshenglu subarea and Xunsihe subarea

## 5 结论

① 当截流倍数  $n \geq 2$  时,合流制排水系统即可达到分流制排水系统的污染物截流效果。

② 综合考虑末端污水厂的处理能力,截流倍数  $n$  需取值在 5 及以上,合流制排水系统才能达到分流制排水系统的污染物削减效果。

③ 合流区的污染治理重点在于末端处理设施的建设。

## 参考文献:

- [1] 谢长焕,生喜民,张晓霞,等. 旱季污水总量暴雨强度拟合法确定合流制截流倍数[J]. 中国给水排水, 2008,24(14):34-36.  
XIE Changhuan, SHENG Ximin, ZHANG Xiaoxia, et al. Determination of interception ratio of combined drainage system using fitting method of wastewater amount and storm intensity in dry season [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(14): 34-36 (in Chinese).
- [2] 李瑞成,王吉宁. 老城区排污管网改造中应注意的几个问题[J]. 中国给水排水, 2008, 24(12): 6-10.  
LI Ruicheng, WANG Jining. Some problems needing attention in reconstruction of wastewater discharge system of old urban area [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(12): 6-10 (in Chinese).
- [3] 陈晓燕,张娜,吴芳芳,等. 雨洪管理模型 SWMM 的原理、参数和应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 4-7.  
CHEN Xiaoyan, ZHANG Na, WU Fangfang, et al. Stormwater management model (SWMM): principles, parameters and applications [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(4): 4-7 (in Chinese).
- [4] 何佳,王丽,张丽平,等. 滇池北岸重污染排水区污染控制与水质改善方案研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(5): 66-70.  
HE Jia, WANG Li, ZHANG Liping, et al. Study on scheme of water pollution control and water quality improvement in heavy pollution region on north side of Dianchi Lake [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(5): 66-70 (in Chinese).
- [5] 梁冠亮. 化学强化一级处理—人工湿地处理生活污水的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.  
LIANG Guanliang. Domestic Wastewater Treatment by Chemical Enhanced Primary Treatment - Subsurface Flow Constructed Wetland Process [J]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008 (in Chinese).

作者简介:林雪君(1992-),女,湖北武汉人,硕士,工程师,主要从事市政环境规划工作。

E-mail: 1364833028@qq.com

收稿日期:2019-05-20

修回日期:2019-06-10

(编辑:刘贵春)