

城市雨水管理

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.03.017

珠海市城中村合流制排水系统的溢流污染控制策略

付朝晖¹, 赵雄², 陈诗浩^{2,3}, 齐利华¹, 姚娟娟², 张智²,
肖倩¹

(1. 珠海市规划设计研究院, 广东 珠海 519001; 2. 重庆大学 环境与生态学院, 重庆 400045; 3. 重庆市市政设计研究院, 重庆 400020)

摘要: 近年来, 珠海市黑臭水体治理取得了一定成效, 然而城中村合流制溢流污染问题成为城市水环境进一步改善的难点, 迫切需要对其控制策略进行深入研究。为此, 采用管道实时水质水量监测和暴雨洪水管理模型(SWMM)模拟相结合的方法, 提出了通过理论截流倍数判别, 低影响开发(LID)源头管控与截流-调蓄相结合的城中村合流制溢流污染控制策略, 并精准确定相关设计参数, 旨在为珠海市城中村合流制排水系统的改造和优化运行, 以及黑臭水体治理提供理论支撑。

关键词: 城中村; 合流制溢流污染; 暴雨洪水管理模型(SWMM); 截流倍数; 低影响开发; 调蓄池; 珠海市

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)03-0105-07

Strategy for Combined Sewer Overflow Pollution Control in Urban Villages of Zhuhai City

FU Zhao-hui¹, ZHAO Xiong², CHEN Shi-hao^{2,3}, QI Li-hua¹, YAO Juan-juan²,
ZHANG Zhi², XIAO Qian¹

(1. Zhuhai Institute of Urban Planning and Design, Zhuhai 519001, China; 2. College of Environment and Ecology, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 3. Chongqing Municipal Research Institute of Design, Chongqing 400020, China)

Abstract: In recent years, some achievements have been made in the treatment of black and odorous water bodies in Zhuhai. However, the problem of combined sewer overflow (CSO) pollution in these urban villages has become the key point for further improvement of urban water environment, and it is urgent to explore its control strategies in depth. Therefore, strategies for CSO pollution control in urban villages were proposed by using the method of real-time water quality and quantity monitoring and storm flood management model (SWMM) simulation, which included theoretical interception ratio discrimination, source control by low impact development (LID), interception and storage. In addition, relevant design parameters were accurately determined, which aimed to provide theoretical support for the reconstruction and optimization of the combined sewer system of urban villages in Zhuhai and the treatment of black and odorous water bodies.

Key words: urban village; combined sewer overflow pollution; storm water management model

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51778082)

通信作者: 姚娟娟 E-mail: yaojuanjuan@cqu.edu.cn

(SWMM); interception ratio; low impact development (LID); storage tank; Zhuhai City

合流制溢流污染是导致珠海市城市水体黑臭的一个重要原因。目前,珠海市的合流制排水系统主要位于成建制的连片城中村。珠海市的农村60%以上以城中村的形式存在,且将与城市长期共存。加之,珠海市属于典型的南方滨海城市,雨季暴雨强度大,降雨场次多,合流制溢流量大且持续时间长,雨季合流制溢流污染问题尤为突出。虽然部分城中村在前期进行了分流制改造的规划设计,但由于施工难度大,且城中村的监管特性造成建成后难以维系完全分流制,故珠海市城中村分流制改造无法全面落地。因此,迫切需要对珠海市城中村合流制溢流污染控制策略展开研究。

合流制溢流污染控制可分为源头控制、管道控制、存储调蓄和末端处理^[1-3]。杨正等^[4]的研究表明,为实现合流制溢流污染物总量削减目标,应从整个系统入手,即采取低影响开发(LID)源头控制措施;适当增加截流管的截流能力并相应提高污水厂的处理能力;设置调蓄设施,就地净化超量合流制溢流污水;提高污水厂的处理效率,减少厂前溢流和超越等。对于城中村合流制溢流污染控制而言,提高整个城市污水系统的雨季处理能力不具有可操作性。故而在城中村合流制系统现有实际截流倍数的基础上,采取LID源头控制和设置调蓄措施是较为可行的溢流污染就地化工程控制措施。

为了精确定各种合流制溢流污染控制措施及其组合的设计参数,必须对不同工程措施下的合流制系统年溢流污染负荷进行精准评估。目前,此类评估方法主要有在线监测法和数值模拟法。在线监测评估法具有很强的真实性,但由于投资巨大而无法大面积开展,故通常存在数据不足等问题^[5]。因此,基于暴雨洪水管理模型(SWMM)的模拟评估法成为一个重要补充。笔者采用在线监测与SWMM相结合的方法,充分发挥实时监测数据的定量反演作用和对模型的率定验证功能,评估不同工程措施下珠海市典型城中村的合流制溢流污染负荷,以合流制排水系统年溢流污染负荷不高于分流制排水系统年雨水径流污染负荷作为溢流污染控制的最低标准,以就地化工程措施控制合流制溢流污染为原则,精确定珠海市城中村合流制溢流污

染控制策略的理论截流倍数、各种实际场景下的LID措施和截流-调蓄的相关设计参数,并以此为理论支撑,提出了城中村合流制排水系统的改造、优化运行和黑臭水体治理的具体措施。

1 研究方法

1.1 代表性区域的选取

目前,珠海市共有城中村108个,主要集中在香洲区和斗门区,大多城中村为成建制且密集型分布。界涌村位于香洲区前山河流域上游的前山拱北105国道排洪渠流域北端,合流制排水系统服务面积约为0.23 km²,是典型的成建制城中村,土地利用以混凝土道路、绿地和密集住宅为主,拆建难度大,合流制排水体系可能长期存在;而且其合流制排水系统从前山河流域分流制污水主干管起端接入,雨季溢流污染严重,导致受纳水体(105国道排洪渠)黑臭严重。为此,选取界涌村合流制排水系统为典型代表进行研究。该村原有合流制排水系统的汇水区域边界、合流制干管、市政分流制污水主干管、溢流口和溢流受纳水体的位置见图1。



图1 界涌村原有的合流制排水系统

Fig.1 Original combined sewer system in Jieyong Village

根据资料收集和现场踏勘,界涌村合流制主干管(DN500)埋设于界涌村排洪渠底,该主干管末端接入珠海市105国道分流制市政污水主干管,进入前山河流域排水系统。界涌村内各合流制支管接入主干管前均设有溢流井,雨季合流制溢流污水直接排入

界涌村排洪渠,并最终汇入溢流受纳水体105国道排洪渠。

1.2 监测方法

本研究前期对界涌村合流制排水系统的流量及液位进行了一年的实时在线监测(采样周期为5~10 min),并对水质进行了一年的人工采样检测,分别获取了合流制系统旱流流量和水质(COD、TP、TN、NH₃-N和SS)的逐时变化曲线^[6],并作为基于SWMM的界涌村现状合流制模型的节点旱流输入。界涌村的合流制排水系统具有典型的南方小城镇排水规律特征,24 h内旱流污水的流量和污染物浓度变化均具有双峰效应,且流量峰超前于水质峰,这归因于流量具有瞬时性,而浓度由于混合作用具有一定的滞后性。旱流的流量、COD、NH₃-N、TN和TP浓度的平均时变化系数分别为1.7、5.2、2.2、2.2和2.3,波动较为显著^[6]。

为了获取更精确的逐分钟降雨数据,用于分析合流制溢流污染规律,本研究同步对界涌村2020年4月—2021年3月的降雨进行了实时在线监测。统计数据显示,在一年的监测期内,该村的年总降雨量为1 822.7 mm,与珠海市九州港近15年的年均降雨量(1 704.3±214.5) mm相比,具有一定的代表性,亦可作为SWMM模型的年降雨数据输入。该村的雨、旱季分明,雨季主要集中在5月—9月;同时受台风影响,雨季降雨量大,最高日降雨量超过200 mm,最高月降雨量达到500 mm以上。

为了对SWMM模型中透水区与不透水区的注蓄量和曼宁糙率系数,入渗模型、污染物累积模型和污染物冲刷模型的相关参数进行准确率定与验证,避免合流制旱流污水的短时(珠海雨季降雨历时大多小于2 h)水质水量的波动性和不可预测性对此带来的干扰,提高率定精度,本研究选取界涌村一处已进行过分流制改造的地块(同时涵盖绿地、住宅和道路,面积为0.023 km²)进行SWMM模型的率定与验证,并对三场降雨条件下,该区域分流制雨水管道排口处的水质(COD、TP、TN、NH₃-N和SS)和水量进行了实时监测(采样周期为10 min)。

1.3 SWMM模型的建立、率定及验证

根据界涌村原有的合流制排水系统摸排图、规划的及部分已实施的分流制雨水管道系统设计图,以及区域用地性质图、区域高精度地形图,分别建立基于SWMM的原有合流制排水系统和规划中的

完全分流制排水系统水质水量动态模型(简称:合流制模型和分流制模型),如图2所示。原有的合流制模型区域面积约0.23 km²,子汇水区332个,节点共计348个,溢流口13个(溢流至界涌村排洪渠,后汇入105国道排洪渠),管段共计351条(包含长度1 km的合流制干管)。规划的分流制模型区域面积约0.23 km²,子汇水区293个,节点共计309个(包含12个分流制雨水排口,亦排放至界涌村排洪渠),管段共计296条。根据文献资料,SWMM的入渗模型选用Horton模型,污染物冲刷模型采用指数冲刷模型,污染物累积模型采用饱和函数累积模型^[7]。

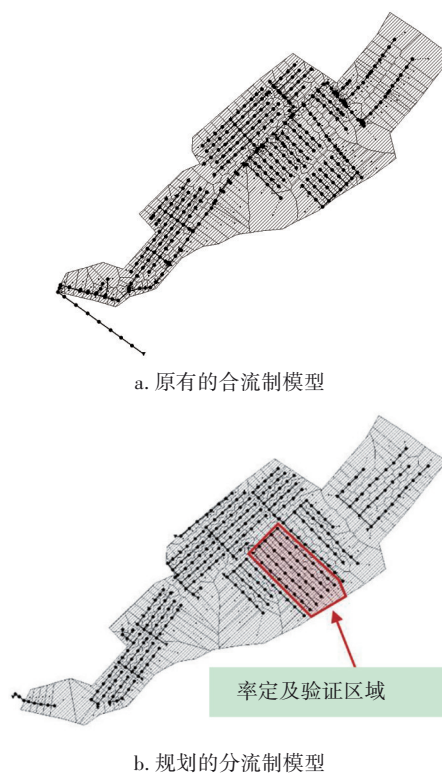


图2 基于SWMM的界涌村原有合流制模型和规划分流制模型

Fig.2 Original combined system model and planned separate system of Jieyong Village based on SWMM

本研究利用Morris法对模型参数进行了敏感性分析和率定,采用两场实际降雨事件(降雨量分别为51.5、10.5 mm,重现期 P 分别为0.7、0.2 a)率定区域雨水管排口处的水量及水质实测数据,对模型的参数进行了逐一率定。此外,选用另外一场实际降雨事件(降雨量为27.5 mm, $P=0.3$ a)的实测流量和水质数据,对率定后的模型进行了验证。根据模型的模拟值与监测值,计算出流量、SS、COD、TN、

$\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP的纳什效率系数分别为0.904、0.619、0.728、0.574、0.528、0.673,均大于0.5,表明模型模拟效果较好,结果较为可靠^[8]。

2 结果与讨论

2.1 合流制理论截流倍数的取值

考虑到城中村合流制溢流污染控制工程的实施难度,本研究仅以合流制排水系统年溢流污染负荷不高于对应分流制排水系统年雨水径流污染负荷作为城中村溢流污染控制的最低标准(以下简称:合流制溢流污染最低控制标准),确定城中村合流制理论截流倍数 n_0 (即不考虑下游处理系统的能力)。采用该理论截流倍数作为珠海市城中村合流制系统是否需要进行溢流污染控制的参考标准,当城中村合流制系统实际的截流倍数低于该理论截流倍数时,则必须要考虑采取源头控制或过程调蓄

等就地化的溢流污染控制工程措施。

首先将2020年4月—2021年3月的逐分钟降雨数据输入分流制模型,模拟结果显示,研究区域年雨水径流污染负荷如下:SS负荷为21 867.0 kg/a, COD负荷为4 423.7 kg/a, TN负荷为885.9 kg/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷为648.2 kg/a, TP负荷为120.9 kg/a。

对于合流制系统,其截流倍数决定了溢流污染总量。因此,本研究在合流制干管末端不同过流能力条件下(即不同理论截流倍数 n_0 条件下),将2020年4月—2021年3月的实测分钟降雨数据输入合流制模型中,模拟计算年溢流次数和年溢流污染负荷,如表1所示。值得注意的是,当 $n_0=0.2\sim 4.8$ 时,合流制系统的年溢流SS污染负荷均低于对应的分流制系统的年雨水径流SS污染负荷,这可能缘于合流制系统对高SS的初期雨水的有效收纳。

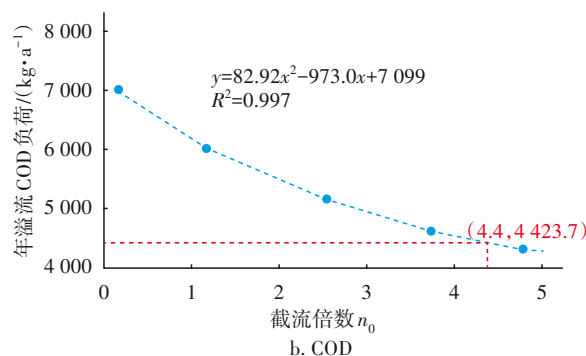
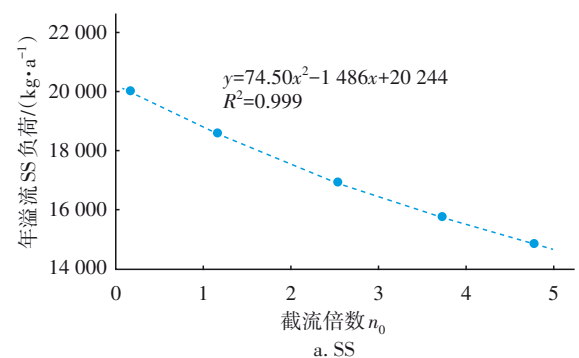
表1 合流制系统不同截流倍数下的溢流情况

Tab.1 Overflow of combined system at different interception ratios

干管过流能力/($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	不发生溢流的最大场次降雨量/mm	截流倍数 n_0	年溢流次数/(次 $\cdot\text{a}^{-1}$)	年溢流污染负荷($\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$)				
				SS	COD	TN	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP
665	12.5	4.8	40	14 837	4 314	569	462	77
545	11.0	3.8	41	15 759	4 673	627	510	83
405	9.5	2.5	44	16 972	5 195	716	587	92
250	8.0	1.2	47	18 584	5 993	864	715	107
135	6.5	0.2	55	20 007	6 979	1 070	899	125

注:合流制系统的外渗水率为20%;当溢流间隔在2 h以内,则合记为1次独立溢流事件,下同。

通过非线性拟合发现,截流倍数 n_0 与各项污染物的年溢流污染负荷均满足二次函数关系,如图3所示。因此,可通过这些函数关系计算出不同 n_0 对应的各项污染物年溢流污染负荷。由图3可知,当合流制系统的COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP年溢流污染负荷分别等于分流制系统年雨水径流污染负荷时, n_0 分别为4.4、1.1、1.6和0.3。故按最不利原则,当界涌村合流制系统的 $n_0\geq 4.4$ 时,才能确保达到合流制溢流污染最低控制标准,即城中村合流制理论截流倍数为4.4,参考《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中的 n_0 推荐值2~5,该取值在推荐范围内。但根据界涌村合流制干管末端的流量监测数据,雨季该合流制系统受下游市政主干管壅水的影响,实际截流倍数约为1.2,低于设计值2.0,且远小于4.4。为就地控制合流制溢流污染,不将溢流转嫁至系统下游,应当考虑采用LID源头管控和截流—调蓄相结合的措施对原合流制系统进行改造。



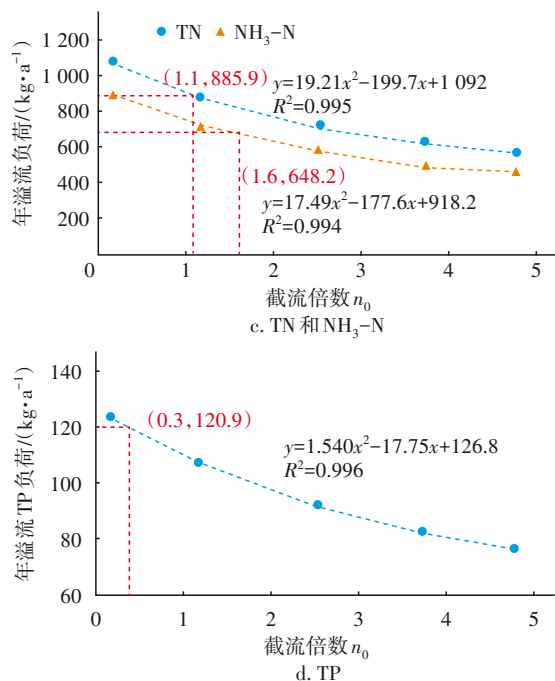


图3 截流倍数 n_0 与各项污染物年溢流污染负荷的关系
Fig.3 Relationship between interception ratio and annual overflow pollution load of each pollutant

2.2 LID控制策略

雨水径流的源头减量和净化是削减合流制系统雨天溢流污染的重要措施,故本研究提出通过海绵措施削减雨水径流,减轻降雨时合流制排水系统的压力,以有效控制溢流污染。研究借助合流制模型计算得到2020年4月—2021年3月界涌村的年径流总量控制率仅为38%,远未达到《珠海市海绵城市规划设计与导则(试行)》(修订版)中提出的

居住用地年径流总量控制率(改建、扩建项目)需达到60%的要求。因此,根据界涌村以居住用地为主、建筑物密度大、屋面和道路硬化、径流系数偏大的特点,本研究设置了植草沟、雨水花园及透水沥青路面三种可行的非入户LID措施(具体布置见图4),将年径流总量控制率控制在60%。

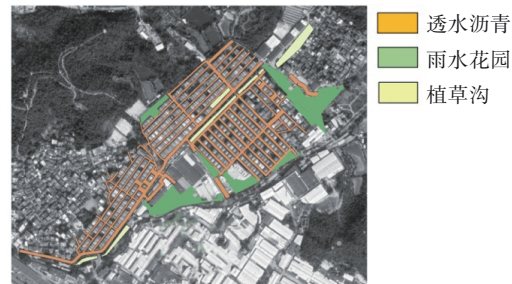


图4 界涌村LID设施布置

Fig.4 Layout of LID facilities in Jieyong Village

将2020年4月—2021年3月的降雨数据输入加载了LID措施的合流制模型中进行计算。当 n_0 分别为2.0、1.2和0.2时,采用LID措施后合流制溢流污染的削减情况见表2。采用LID措施后,年径流总量控制率达到了60%,年溢流水量和污染负荷都有明显的削减,年溢流量削减率均达到了60%左右,年溢流次数削减了21%~33%。当截流倍数为0.2时,各污染物的年溢流总量削减率在45%~55%之间,当截流倍数为1.2和2.0时,各污染物的年溢流总量削减率在55%~60%之间。因此,采用LID措施后,即使合流制系统雨季排水严重受阻,截流倍数低至0.2,仍能满足合流制溢流污染控制最低标准。

表2 采用LID措施后合流制溢流污染的削减情况

Tab.2 Reduction of combined sewer overflow pollution by LID

项 目	$n_0=2.0$		$n_0=1.2$		$n_0=0.2$	
	现状	LID控制	现状	LID控制	现状	LID控制
年溢流量/ m^3	98 483	35 189	108 320	41 624	123 064	52 657
年溢流次数/ $(\text{次} \cdot \text{a}^{-1})$	45	32	47	37	55	37
年溢流SS负荷/ $(\text{kg} \cdot \text{a}^{-1})$	17 501	6 989	18 584	7 884	20 007	9 256
年溢流COD负荷/ $(\text{kg} \cdot \text{a}^{-1})$	5 439	2 188	5 993	2 601	6 979	3 454
年溢流TN负荷/ $(\text{kg} \cdot \text{a}^{-1})$	760	326	864	402	1 070	576
年溢流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷/ $(\text{kg} \cdot \text{a}^{-1})$	624	270	715	335	899	491
年溢流TP负荷/ $(\text{kg} \cdot \text{a}^{-1})$	97	40	107	48	125	63

2.3 调蓄池控制策略

除采取源头控制的LID措施以外,修建调蓄池也是合流制系统控制溢流污染最常用的措施之一。调蓄设施可以用于削减峰值流量、控制地表径流污

染,并且当雨水水质较差时,调蓄池能对雨水径流进行高效收集和分质截流。借助合流制模型模拟计算发现:当截流倍数 $n_0 > 1.6$ 时,除COD外,其余污染物的年溢流污染负荷均低于对应的分流制系统

雨水径流污染负荷。因此,调蓄池的理论容积只需满足合流制年溢流 COD 负荷 \leq 分流制年雨水径流 COD 负荷。本研究进一步借助合流制模型计算出不同截流倍数和不同调蓄池理论容积下的年溢流 COD 负荷。通过非线性拟合发现,调蓄池理论容积与年溢流 COD 负荷之间呈显著指数函数关系($R^2>0.999$),如图5所示。通过该函数关系,可以准确计算出不同截流倍数条件下调蓄池的理论容积,如表3所示。根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中推荐的合流制溢流调蓄池调蓄量的计算方法,可以根据调蓄池容积计算调蓄池建成后的截流倍数。

表3 不同截流倍数下调蓄池的理论容积

Tab.3 Theoretical volume of storage tank at different interception ratios

合流制实际截流倍数 n_0	3.8	2.9	2.0	1.2	0.2
设计标准	合流制年溢流污染负荷 \leq 分流制年雨水径流污染负荷				
调蓄池理论容积/ m^3	124	314	552	849	1 368
调蓄径流深度/mm	0.5	1.4	2.4	3.7	5.9
调蓄池建成后的截流倍数	4.8	5.6	6.8	8.5	12.0

注: 调蓄池的最大排空周期为 24 h,放空时间为 1 h。

调蓄池的最大排空周期与相邻两场降雨的间隔时间有关。对珠海市 2020 年 5 月—9 月(雨季) 112 场降雨的相邻间隔时间进行累积频率分析,如图6所示。可知,雨季珠海市相邻两场降雨的平均间隔时间为 33 h, 50% 和 70% 累计频率对应的间隔时间分别为 14 h 和 24 h。

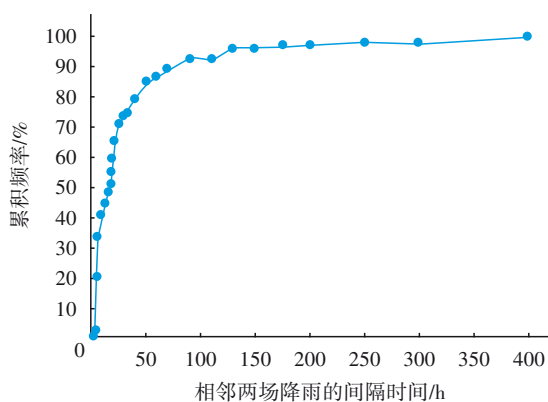


图6 2020年5月—9月相邻两场降雨的间隔时间累积频率

Fig.6 Cumulative frequency of the interval between two adjacent rainfall from May to September 2020

综上,从设计的角度进一步考察了调蓄池最大排空周期在 12~48 h 之间变化时对调蓄池容积的影响,结果如表4所示。可知,在上述区间范围内,调

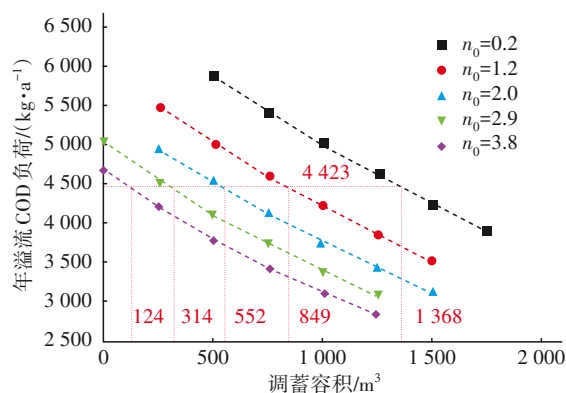


图5 合流制年溢流 COD 负荷与理论调蓄容积的关系

Fig.5 Relationship between annual CSO COD load and theoretical storage capacity

蓄池容积的变化系数为 1.3,可作为选择安全系数时的参考。虽然前山河流域污水处理系统旱季处理能力的冗余量与调蓄池的运行密切相关,但鉴于整个排水系统的上下游各子系统调蓄池的复杂性,难以量化其对局部单一调蓄池运行的影响。故对调蓄池的实际运行而言,可依据上游泵站站前液位或污水厂厂前液位的实时反馈来控制。

表4 调蓄池的最大排空周期对其理论容积计算的影响 ($n_0=2.0$)Tab.4 Influence of maximum drain cycle of storage tank on its theoretical volume calculation ($n_0=2.0$)

调蓄池排空周期/h	12	24	36	48
设计标准	合流制年溢流污染负荷 \leq 分流制年雨水径流污染负荷			
调蓄池理论容积/ m^3	485	554	610	650
调蓄径流深度/mm	2.1	2.4	2.7	2.8
调蓄池建成后的截流倍数	6.2	6.8	7.3	7.6

3 结论与建议

① 以合流制系统年溢流污染负荷等于分流制系统年雨水径流污染负荷作为溢流污染控制的最低标准,从污染负荷角度分析,珠海市城中村合流制系统的实际截流倍数不应低于 4.4,当低于此

值时,则应采用溢流污染控制的工程措施。

② 根据溢流污染最低控制标准,在城中村合流制干管降雨时排水严重受阻的情况下,采用LID措施进行合流制溢流污染控制,需将年径流总量控制在60%以上。

③ 根据溢流污染最低控制标准,调蓄径流深度与合流制系统实际截流倍数满足二次函数关系。故不同实际截流倍数下,设计调蓄径流深度可按该函数关系进行取值,并可按规范考虑1.1~1.5的安全系数以计算调蓄池容积。

④ 为了提高整个城市污水系统的雨季处理能力的可操作性,以及降低上下游子系统与之匹配运行的控制难度,对汇入主干管的各子系统(如城中村合流制排水系统)应进行科学合理限流,分散控制溢流污染,避免降雨时下游子流域混合污水无限制、无序地涌入排水主干管,占据上游子系统正常的排水下行通道,导致上游子系统雨季溢流污染加重。

参考文献:

- [1] 余嵘,赵丹,刘渊博,等. SWMM模型中不同LID措施在排水系统模拟中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2016(1): 35-38.
- YU Rong, ZHAO Dan, LIU Yuanbo, *et al.* The application of different LID measures of SWMM model in the drainage system in simulation [J]. China Rural Water and Hydropower, 2016(1): 35-38 (in Chinese).
- [2] 朱利民,王润,李洪浩,等. 合流制溢流污染控制实践:以岳阳蛇皮套泵站为例[J]. 中国给水排水, 2020, 36(1): 99-104.
- ZHU Limin, WANG Run, LI Honghao, *et al.* Combined sewer overflow control engineering practice: a case study of Shepitao pumping station in Yueyang City [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(1): 99-104 (in Chinese).
- [3] 周传庭,杨殿海,赵金保. 天津市中心城区合流系统末端调蓄工程的设计要点[J]. 中国给水排水, 2020, 36(16): 91-94, 100.
- ZHOU Chuanting, YANG Dianhai, ZHAO Jinbao. Design key points of terminal regulation and storage project of combined drainage system in central urban area of Tianjin [J]. China Water & Wastewater, 2020,

36(16):91-94, 100 (in Chinese).

- [4] 杨正,车伍,赵杨. 城市“合改分”与合流制溢流控制的总体策略与科学决策[J]. 中国给水排水, 2020, 36(14): 46-55.
- YANG Zheng, CHE Wu, ZHAO Yang. General strategy and scientific decision-making of urban “combined sewer separation” and CSO control [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(14): 46-55 (in Chinese).
- [5] 王生愿,余黎,陈小龙,等. 基于在线监测和SWMM模型的合流制排水体制系统化提升方案评估研究[J]. 中国环境监测, 2021, 37(1): 103-111.
- WANG Shengyuan, YU Li, CHEN Xiaolong, *et al.* Evaluation of systematic upgrading scheme of combined drainage system based on online monitoring and SWMM [J]. Environmental Monitoring in China, 2021, 37(1): 103-111 (in Chinese).
- [6] 段庄,陈诗浩,姚娟娟,等. 珠海浅丘地区城中村合流制排水的水量和水质特征[J]. 中国给水排水, 2020, 36(13): 101-105.
- DUAN Zhuang, CHEN Shihao, YAO Juanjuan, *et al.* Wastewater quantity and quality characteristics of combined sewer system in urban village in shallow hilly area of Zhuhai [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(13): 101-105 (in Chinese).
- [7] 王文亮,李俊奇,宫永伟,等. 基于SWMM模型的低影响开发雨洪控制效果模拟[J]. 中国给水排水, 2012, 28(21): 42-44.
- WANG Wenliang, LI Junqi, GONG Yongwei, *et al.* LID stormwater control effect simulation based on SWMM [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(21):42-44 (in Chinese).
- [8] 代文江,李江云. 城市雨洪模型参数不确定性分析及应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(3): 109-113.
- DAI Wenjiang, LI Jiangyun. Analysis and application of parameter uncertainty of urban storm water model [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(3): 109-113 (in Chinese).

作者简介:付朝晖(1968-),女,河北阜城人,大学本科,教授级高级工程师,主要研究方向为城市黑臭水体治理。

E-mail:284815519@qq.com

收稿日期:2021-09-23

修回日期:2021-12-03

(编辑:刘贵春)