

海绵城市

海绵城市理念下的老城区 CSO 污染控制探索与实践

郭迎新¹, 徐海东², 谢薇³, 刘成林⁴, 彭维⁵, 周丹¹

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 北京分公司, 北京 100081; 2. 北京桑土环境景观设计有限公司, 北京 100083; 3. 北京市农村改水领导小组办公室, 北京 100053; 4. 广州市创景市政工程设计有限公司, 广东 广州 510070; 5. 北京市市政工程设计研究总院有限公司 广东分院, 广东 广州 510070)

摘要: 合流制溢流(CSO)污染是造成老城区水体黑臭和水环境污染的重要原因。在现状条件下有效控制合流制溢流污染是解决水环境污染的重要途径之一。以海绵城市建设目标为导向,初步探讨了在源头进行 LID 改造、在中端进行管网提升改造、在末端进行截污综合治理的工程体系,以解决合流制溢流污染和城市内涝问题。以国家海绵城市试点区蚂蝗河流域为典型案例阐述其合流制溢流整治经验,以期合流制老城区水环境整治提供新的整治思路和可借鉴的建设经验,为国家探索海绵城市建设提供有力技术支撑。

关键词: 合流制溢流污染控制; 海绵城市; 老城区

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0001-06

Exploration and Practice of Combined Sewer Overflow Pollution Control in Old Urban Area Based on Sponge City Concept

GUO Ying-xin¹, XU Hai-dong², XIE Wei³, LIU Cheng-lin⁴, PENG Wei⁵, ZHOU Dan¹

(1. Beijing Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100081, China; 2. Satu Environment & Landscape Design Co. Ltd., Beijing 100083, China; 3. Beijing Rural Water Diversion Guidance Center, Beijing 100053, China; 4. Guangzhou Chuangjing Municipal Engineering Design Co. Ltd., Guangzhou 510070, China; 5. Guangdong Branch, Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510070, China)

Abstract: Combined sewer overflow pollution is an important cause of black and odorous water body and water environmental pollution in the old urban area. Under the current conditions, effective controlling combined sewer overflow pollution is one of the important ways to solve the problem of water pollution. Based on the construction goal of sponge city, this paper studied the engineering system of low impact development (LID) renovation project at the source, upgrading the pipe network at the middle end and the comprehensive treatment of the pollution interception at the end, which could be used to solve the problems of combined overflow pollution and urban waterlogging. Taking the national sponge city pilot area as a typical case, such as the Mahuang River basin, this paper expounded the experience of combined sewer overflow pollution regulation, which provided a new idea and experience for water environment renovation in the old urban area, and provided strong technical support for the national exploration of the sponge city construction.

Key words: combined sewer overflow pollution control; sponge city; old urban area

我国设市城市的合流制管网主要分布在老城区,虽然合流制排水并不是造成水环境污染的主要原因,但合流制溢流(CSO)污染却是造成老城区水环境污染的主要原因,因此合流制溢流污染控制是我国老城区水环境整治不可回避的问题。合流制排水系统并非只存在于我国早期城市建设中,在发达国家也极为普遍^[1],但发达国家经过长期的研究和实践,已探索出成熟的合流制溢流污染控制技术。而我国对其污染规律及控制措施的研究相对薄弱,重视不足,仍在过度强调雨污分流制改造,老城区受施工难度大、影响范围广、投资巨大等问题制约,短期内很难实现雨污分流,因此解决老城区合流制溢流污染是缓解老城区水环境污染或水体黑臭的重要方式。

海绵城市作为城市开发建设的新理念,对于黑臭水体的整治模式一般按照源头减排-过程控制-末端治理的思路进行,即在源头削减下垫面径流污染和径流量,有效减少进入合流制管网的雨水和雨水径流污染,过程控制中对合流制管网进行改造,提高截流倍数,末端结合其他CSO调蓄设施或净化设施,可有效减少雨天溢流污染,提升城市水体水质。

1 海绵城市理念下的CSO污染控制思路

1.1 老城区排水体制的确定

我国老城区合流制排水体制较为普遍,水体黑臭或水环境污染也较为普遍。但合流制排水本身不是造成水体黑臭或污染的原因,其重要原因是未对合流制溢流污染进行有效控制。过分强调分流制的好处,不考虑现状可实施条件,将合流制改造为分流制排水体制在很多老城区是不可行的。

对比雨污分流制、直排式合流制、截流式合流制排水(见表1)可见,分流制排水系统完善,污染排放少,防洪排涝和环境保护能力强,对污水厂处理规模要求不高,但存在排水管网和综合造价高、工程实施难度大、改造期限长等缺点。而截流式合流制摒弃了直排式合流制大量污染物直排的弊端,具有污水和初期雨水截流功能,本身为较完善的排水系统,其防涝和污染控制较好,管网改造造价一般,实施难度中等,改造期限一般。其缺点是污水和截流雨水均进入污水厂,导致入厂污水污染物浓度较低,污水量大,对污水厂的处理规模要求较高,处理效率较低,

因此对截流式合流制污染进行控制时要充分考虑进厂污水的污染物浓度问题,以提高污水厂效率。

表1 各种排水体制特点比较

Tab.1 Comparison of characteristics of various drainage systems

项目	截流式合流制	直排式合流制	雨污分流制
雨水管道(或合流管道)	有	有	有
污水管道	无	无	有
截流管道	有	无	无
初期雨水截流	有	无	无
雨季污水截流	有	无	无
对排放水体的污染	一般	最大	小
排水系统完善程度	较完善	不完善	完善
环境保护程度	较好	差	好
防洪排涝能力	较好	较好	较好
排水管网造价	一般	较小	较大
泵站造价	一般	较低	一般
污水厂造价	稍高	无	一般
综合造价	一般	较低	较高
维护管理	一般	易	一般
实施难度	一般	易	高
改造期限	一般	短	长

综上,在合流制老城区不要一味强调进行分流制改造才是解决问题的最优方案,应结合实际情况具体分析,若雨污分流改造的条件成熟且改造无难度,可选择一步到位进行雨污分流制改造。但当合流制管网分布较广,实施期限短,改造阻力大,则建议保留现状合流制,采用截流式合流制排水,并结合海绵城市的初期雨水控制和末端调蓄净化等措施,也能达到控制径流污染及溢流污染削减的目标。

1.2 海绵城市理念下的整治思路

海绵城市建设理念的提出,最初是强调国外低影响开发的理念,从源头控制径流,但随着对海绵城市建设理念的深入,加之我国城市发展和基础设施建设面临的市内涝、水环境污染、水资源紧缺等突出问题的复杂性,我国海绵城市的涵义已延伸至源头、过程和末端不同阶段的控制体系。

该治理思路还结合海绵城市建设目标,到2020年20%城市建成区实现对70%以上径流进行有效控制的要求,同时统筹解决老城区其他涉水问题如市内涝等进行合流制溢流污染控制。海绵城市对合流制溢流污染是通过源头减排-过程控制-末端

治理的工程体系进行有效控制。

① 源头减排:在源头对径流量和径流污染进行有效控制,减少进入合流制管网的雨水径流和径流污染物,从而减少进入合流制管网的污染物质,有效降低了溢流风险。

② 过程控制:对合流制管网进行整治,对不满足排水要求的管网进行修复或整治,对管网淤泥进行清理,减少管网内部污染。

③ 末端治理:对直排式合流制进行截污纳管,

对截流式合流制修复截污干管,改造现状溢流排口以提高截流倍数和减少溢流量,设置 CSO 调蓄池或净化设施对雨天雨污水进行存储或净化,设置溢流拍门井或止流阀防止河水倒灌入管网,达到对合流制溢流污染的有效控制。

1.3 技术路线

海绵城市理念下的合流制溢流污染控制的技术路线包括现状分析、确定目标与指标、制定方案、效果复核四部分,具体见图 1。

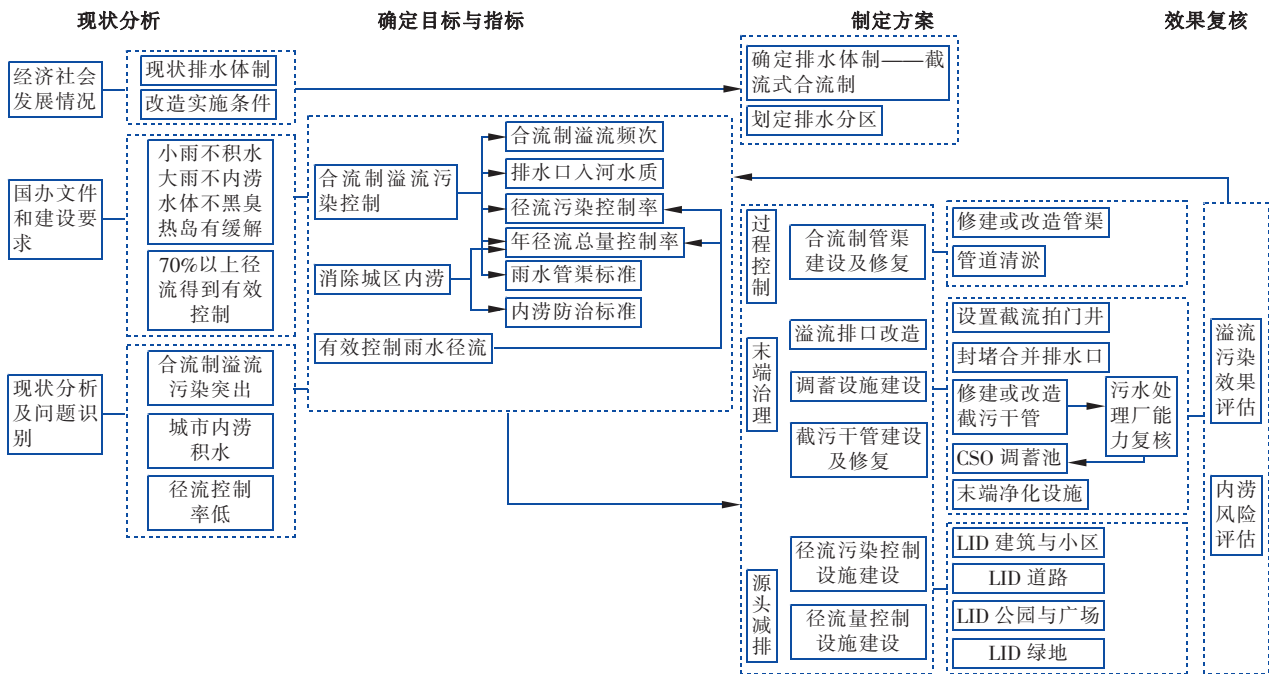


图 1 合流制溢流污染治理技术路线

Fig. 1 Technological route for overflow pollution control of the combined sewer system

① 现状分析:结合现状资料和模型评估对现状问题进行识别,重点识别合流制溢流污染状况及成因,兼顾内涝积水和径流控制状况及成因分析。

② 确定目标与指标:根据现状问题,结合国家和地区对区域海绵城市的建设要求,制定区域整治目标,重点对合流制溢流污染进行有效控制,同时兼顾消除内涝和有效控制雨水径流的要求。结合现状条件和改造难度,确定相应的控制指标,主要通过控制合流制溢流频次、排水口入河水质、径流污染控制率来实现合流制溢流污染控制,而对消除内涝起重要作用的年径流总量控制率、雨水管渠设计标准对溢流污染也有一定影响。

③ 制定方案:首先应根据现状条件确定改造后的排水体制(此处确定采用截流式合流制),并对

排水分区进行优化。按照源头减排-过程控制-末端治理的思路制定工程方案,源头通过径流量和径流污染的有效控制,减少溢流风险和排入管道内的污染物质;过程对于合流制管渠进行修复或重建,满足截流倍数要求,同时清除管道内的淤泥和垃圾,减少内部污染;末端对排口进行改造,控制溢流频次,建设截污主干管和 CSO 调蓄设施后输送至污水处理厂。对输送至污水厂的雨污水量应复核下游污水厂的处理能力和进厂污水浓度,不满足能力复核的应采取相应措施。

④ 效果复核:复核方案实施后的溢流污染控制效果和内涝消除效果,当不满足②中的目标和指标要求时,应重新调整方案,再校核,反复至满足要求,同时考虑方案的经济性,最终确定最佳方案。

2 萍乡市蚂蝗河流域污染控制实践

2.1 项目概况及现状问题分析

萍乡市海绵城市试点建设区面积为 32.98 km²,其中老城区为 12 km²,蚂蝗河流域位于试点区老城区部分西南侧,地处萍水河以西,流域面积为 2.42 km²。蚂蝗河起源于萍乡市火车站北侧,沿跃进北路经山下路汇入萍水河,长约 2 330 m。2007 年覆盖为合流暗渠,目前以截污溢流形式排入萍水河河底西侧污水截流主干管(d 1 350 mm),蚂蝗河断面尺寸为 1.0 m×1.2 m~5.5 m×3.3 m。流域地处江南丘陵地区,亚热带湿润季风气候,雨量充沛,多年平均降水量为 1 600 mm,降雨集中在 3 月—7 月,短历时暴雨频发。土壤 0~100 cm 多为红壤,性状多为壤黏土或砂黏土,地下水位偏高,土壤的渗透能力较差。

蚂蝗河流域采用截流式合流制排水,合流水经分布萍水河截流排口进入河底西侧的污水截流主干管,最终送至谢家滩污水处理厂。目前流域存在突出的合流制溢流污染问题,以及在山下路附近有较为严重的内涝积水问题,因此流域合流制溢流污染整治应考虑内涝治理的需要。

分析造成该地区合流制溢流污染的原因,主要有以下几方面:

① 截污主干管。萍水河河底西侧截污主干管受河水冲击、河床沉陷等影响,已出现不同程度的沉降、上浮、倾斜、破损,导致污水溢出及河水倒灌的现象,既造成萍水河水质污染,又导致进入谢家滩污水处理厂进水污染物浓度极低, $COD < 200$ mg/L。

② 截污排口。流域沿萍水河共分布截污排口 11 处,现状排口淤积堵塞,管道错节坍塌,排口与截污主干管连接方式不合理,现状截流倍数(1~2)较低导致雨季大量雨污水溢流至萍水河。

③ 合流制管网。现状合流制管道建设年代久远,多年来从未进行过清掏,导致管道淤积严重,减少了合流管的有效过水面,降低了雨水截流倍数,加重了内涝风险。借助水力模型模拟评估现状合流管渠设计重现期普遍偏低,约为 0.5~1.0 年,这也是造成内涝积水的主要原因。

④ 径流污染。老城区人口密集,开发建设强度大,非透水地面覆盖度高,导致降雨产生的径流量较大,汇入合流制管网后加重了溢流风险。且区域内未对径流污染进行有效控制,初期雨水携带大量

径流污染进入合流管,加重了污染物的排放。

2.2 建设目标与指标确定

针对蚂蝗河流域现状问题,基于海绵城市老城区以解决问题为导向的指导思想,制定其建设目标为有效控制合流制溢流污染和消除山下路内涝积水,主要控制指标为合流制溢流频次和截流倍数、排口入河污染物排放量、年径流总量控制率、年径流污染控制指标、排水防涝标准等。

① 合流制溢流污染频次和截流倍数:根据模型模拟评估,萍乡市年降雨次数约为 102 次(降雨量 > 2 mm),现状溢流频次为 29 次,溢流频率约为 28%。按照蚂蝗河年降雨分布特征、早流污水水量、现状改造难度,溢流频率宜控制在 10% 左右,年溢流频次控制在 10 次,对比降雨频率曲线即降雨量不超过 34.3 mm 时不发生溢流。截流倍数根据早流污水的水质、水量、排放水体的卫生要求、水文、气候、经济和排水区域大小等因素经过计算后确定,考虑区域降雨量较大,谢家滩污水处理厂处理能力有限,截流倍数宜取 2。

② 排口入河污染物排放量:根据萍水河水质目标要求及水环境容量分析,对沿河各流域进行入河污染物指标分解。为实现合流制污染有效控制,达到入河水质指标,流域 COD 、 SS 、 TP 、 $NH_3 - N$ 年入河量分别不大于 120.8、122.4、1.2、5.9 t。

③ 年径流总量控制率和污染控制率:按照相关上位规划要求,流域年径流总量控制率目标为 75%,对应设计降雨量为 22.8 mm。为实现雨水径流污染控制,城市面源污染控制按 SS 计,削减率需达到 50% 以上。

④ 排水防涝标准:依据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016 年版)和相关规划,确定流域排水防涝标准为 30 年一遇设计暴雨不成灾。

2.3 方案制定

蚂蝗河流域为老城区,现状排水体制主要为截流式合流制。从排水体制角度出发,对雨污分流和保留现状合流制排水体制两种方案进行综合比选,考虑目标可达性、工程实施难度、经济性,采用保留现状合流制排水体制的模式进行合流制溢流改造和内涝整治,方案实施工程量相对较小,可实施性较强。径流污染削减与径流总量控制相辅相成。方案考虑从源头削减(LID)和末端控制环节进行径流污染物的削减。通过源头 LID 改造工程、沿河溢流截

污管道建设工程、末端溢流调蓄工程及截污主干管改造工程等综合实现溢流污染削减,确保达到总体目标和相关指标要求,工程方案总体布置见图 2。

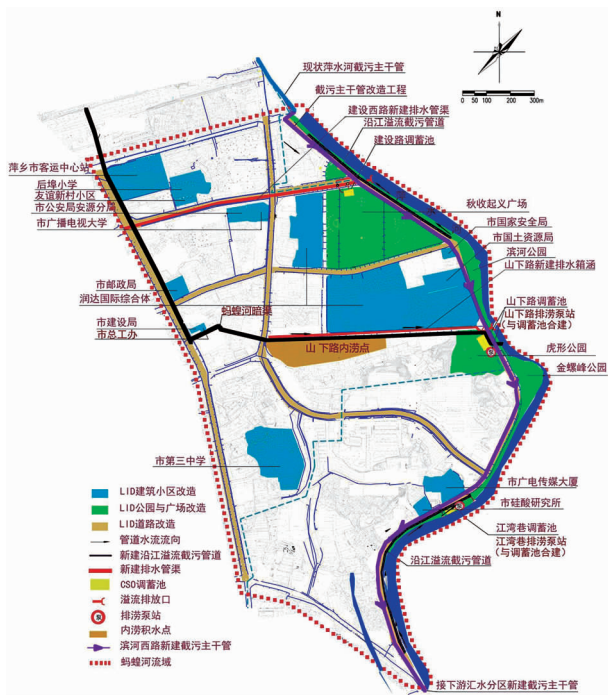


图 2 蚂蝗河流域工程布置示意

Fig. 2 Distribution of engineering in Mahuang River basin

① LID 源头减排

分析流域各地块和道路改造的可能性,明确源头减排水量、水质控制要求,尽量减少地块污染物排放量和外排水量,减轻合流管溢流压力并减少进入合流管的污染物。通过详细调研分析,确定 LID 源头减排项目改造 27 项,其中建筑小区 16 项,公园广场 4 项,道路类 7 项。通过 LID 建设,加强对源头雨水径流污染的有效控制,并减少雨水径流量。

② 过程控制

a. 优化排水管网系统和排水分区,降低内涝风险。修复破损和不满足排水要求的合流管,对淤积严重管道进行清淤,提高排水能力。在现状建设西路新建一条高位排水管,实现高水高排,优化排水分区;在山下路北侧增建一条排水渠涵,增大现状蚂蝗河暗渠过流能力,大幅降低山下路发生内涝的风险。

b. 管道清淤。对黄江南巷沿线合流管进行清掏和疏通,对连接山下路积水点和滨河西路口(市硅酸盐研究所)的管道进行重点清掏和修复,提高现状管渠的排水能力,降低管道内污染。

③ 末端治理

a. 完善截污管网。为了解决现状截污主干管存在的沉降、破损导致污水溢流以及河水倒灌等问题,维护下游谢家滩污水处理厂进水水量及水质的稳定,将河底的截污主干管迁改至滨河西路下,管径为 $d1\ 350\text{ mm}$,设计坡度接顺上下游管底标高。同时将在萍水河岸上滨河西路东侧绿化带新建平行的截污溢流管道。新建截污溢流管道分为两段:站前路—楚萍路管段,管径为 $d1\ 000\text{ mm}$,管长为 850 m ;文昌路—昭萍路管段,管径为 $d1\ 000\text{ mm}$,管长 900 m 。对现状截污主干管进行封堵废弃,新建截污主干管与上下游现状截污主干管节点管底标高顺接。将旱季污水及初期雨水排至改造后的截污主干管,雨季超标雨水经新建的溢流截污管道进入溢流调蓄池或溢流入萍水河。

b. 建设 CSO 调蓄池。结合场地现状和管网情况,在排水主管末端设置 3 处 CSO 调蓄池(建设路调蓄池 $0.5 \times 10^4\text{ m}^3$ 、山下路调蓄池 $1.3 \times 10^4\text{ m}^3$ 、江湾巷调蓄池 $0.4 \times 10^4\text{ m}^3$),总调蓄规模为 $2.2 \times 10^4\text{ m}^3$ 。在山下路和江湾巷相对最低点设置强排设施,防止萍水河水位较高时发生顶托导致内涝。按照排涝要求确定山下路排涝与江湾巷排涝规模分别为 $4.5\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $1.0\text{ m}^3/\text{s}$ 。为节省用地,将排涝泵站与调蓄池合建。

调蓄池与管道采用并联布置,旱季污水通过限流管排入截污干渠。降雨初期,当管道水位标高高出于下游限流管时,调蓄池开始进水。调蓄池水满时进水闸门关闭。降雨后期雨水通过高位溢流管排入萍水河(见图 3)。调蓄池排空污水利用下游谢家滩污水处理厂峰值处理能力进行处理。谢家滩污水处理厂现状处理规模为 $8 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,综合变化系数为 1.31,经计算,通过合理的错峰排空及污水处理厂的调节运行,可实现调蓄池在 $24 \sim 48\text{ h}$ 内错峰排空,从而实现溢流污染削减目标。

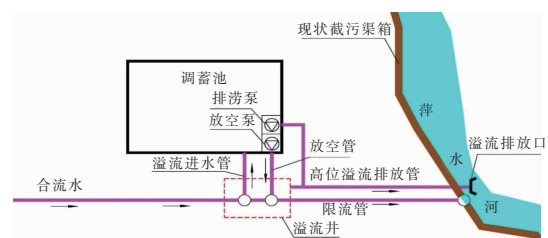


图 3 山下路调蓄池运行示意

Fig. 3 Operating for storage tank on Shania Road

c. 溢流排口改造。现状部分排口和截污主干

管溢流形式不合理,结合截污主干管修复和新建溢流截污管道对排口进行统一改造,如图4所示。

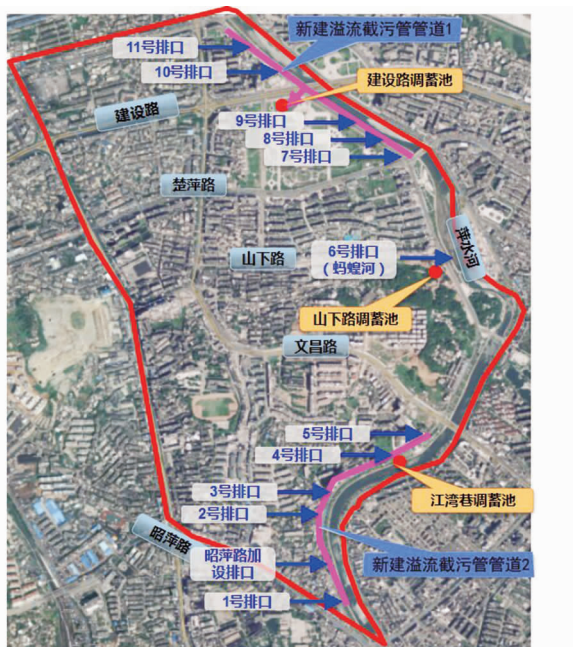


图4 截污溢流管道和溢流排口改造分布

Fig. 4 Reconstruction distribution of sewage interception overflow pipeline and overflow outlet

2.4 效果复核

借助水文模型对历年实测降雨制出的典型年降雨进行溢流污染实施效果评估,方案实施后,在典型年降雨条件下,模型统计年均溢流频次由现状的29次减少为9次,发生溢流时对应的降雨量为35 mm,满足溢流频次和溢流降雨量的要求。典型年溢流量为 $115.35 \times 10^4 \text{ m}^3$,年污染物排放量满足总体目标和控制指标,对现状萍水河环境具有明显改善效果。为实现合流制污染有效控制,达到入河水质指标,经计算,流域COD、SS、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 年入河量分别不大于120.8、122.4、1.2、5.9 t,具体见表2。

表2 规划污染物综合削减率计算结果

Tab. 2 Calculating results of planned comprehensive reduction rate of pollutants

项目	COD	SS	TP	$\text{NH}_3 - \text{N}$
环境容量/ $(\text{t} \cdot \text{a}^{-1})$	120.8	122.4	1.2	5.9
削减量/ $(\text{t} \cdot \text{a}^{-1})$	412.9	288.4	2.3	28.5
排放量/ $(\text{t} \cdot \text{a}^{-1})$	76.59	58.85	0.36	5.55
综合削减率/%	77.37	70.20	65.71	82.85

该工程实施后,在30年一遇降雨条件下,流域内涝情况得到较大缓解。发生30年一遇6 h及以

上的降雨时,项目区域的内涝防治均达到要求,发生30年一遇2 h强度的降雨时,在昭萍路和滨河西路交叉口区域及山下路区域有小片区域深度大于15 cm的短历时(小于30 min)积水,同时能够满足内涝防治的要求。

3 结语

合流制溢流污染是造成老城区水体黑臭和水环境污染的重要原因。受老城区现状改造条件限制,短期内实现雨污分流改造并不完全适用。如何在保留现状排水体制下,以问题为导向,避免大拆大建,实现与合流制溢流污染的有效控制是解决城区水体黑臭和水环境污染的重要途径。蚂蝗河流域溢流控制建设实践表明,按照海绵城市的建设思路构建源头LID改造、过程管网改造提升、末端截污的体系实现源头、过程、末端全过程控制,有效控制合流制溢流污染,同时兼顾城市内涝防治,为合流制老城区的水环境整治提供了新的整治思路。

参考文献:

- [1] 程熙,车伍,唐磊,等. 美国合流制溢流污染规划及其发展历程剖析[J]. 中国给水排水,2017,33(6):7-12.
Cheng Xi, Che Wu, Tang Lei, et al. Briefing of the overflow control plan and its development of the combined sewer system in the United States[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(6):7-12 (in Chinese).



作者简介:郭迎新(1983-),女,河北保定人,硕士,工程师,从事海绵城市、黑臭水体整治、水生态相关的规划、设计和咨询工作。

E-mail:286371980@qq.com

收稿日期:2018-10-12