

述评与讨论

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.16.001

关于合流制排水系统提质增效方法与措施的思考

周杨军¹, 解 铭¹, 薛江儒², 张高民², 孙子为¹, 赵 祥¹

(1. 中国城市规划设计研究院, 北京 100037; 2. 临沂市住房和城乡建设局, 山东 临沂 276000)

摘 要: 结合我国部分城市合流制排水系统的实际情况,对合流制排水系统存在的管道易淤积、内涝风险高、溢流污染严重、高水位及低污染物浓度等特点进行分析,有针对性地提出了合流制排水系统开展提质增效工作的方法策略。合流制排水系统开展提质增效工作时,首先应提高排水系统的排水能力,满足区域排水防涝需求,在此基础上,提高污染物负荷收集率和污水处理厂进水污染物浓度,减少进入自然水体的污染物负荷,核心是应根据地区水环境容量、降雨及排水系统特征,制定符合地区情况的排水系统建设标准。根据方法策略,结合合流制排水系统的特点,提出“反向溯源、模型引导、病害治理、末端控制、智慧运维”等五大方面的实施方案,为合流制排水系统提质增效工作的开展提供参考。

关键词: 合流制; 排水防涝; 提质增效; 溢流控制; 智慧运维

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)16-0001-07

Thinking on Methods and Measures for the Quality and Efficiency Improvement of Combined Drainage System

ZHOU Yang-jun¹, XIE Ming¹, XUE Jiang-ru², ZHANG Gao-min², SUN Zi-wei¹, ZHAO Xiang¹

(1. China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China; 2. Linyi Housing and Urban Rural Development Bureau, Linyi 276000, China)

Abstract: Combined with the actual situation of combined drainage system in some cities in China, the characteristics of combined drainage system, such as easy deposition of pipeline, high risk of waterlogging, serious overflow pollution, high water level and low pollutant concentration of influent, are analyzed. We put forward the methods and strategies to improve the quality and efficiency of the combined drainage system. We first improve the drainage capacity of the drainage system to meet the requirements of the regional drainage and waterlogging prevention. On this basis, the collection rate of pollutant load and the influent pollutant concentration of sewage are increased, and the pollutant loading into natural water body is reduced. The core is to formulate drainage system construction standards according to the regional water environment capacity, rainfall and drainage system characteristics. With the characteristics of combined drainage system, the implementation scheme of “reverse traceability, model guidance, disease treatment, terminal control, intelligent operation and maintenance” is proposed.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0802400)

It provides a reference for improving the quality and efficiency of the combined drainage system.

Key words: combined drainage system; flood control; quality and efficiency improvement; overflow control; intelligent operation and maintenance

1 背景

我国的污水系统长期在高水位、低污染物浓度下运行,收集处理效率较低^[1]。根据住房和城乡建设部发布的《2018年城乡建设统计年鉴》数据,截止到2018年底,我国城镇污水处理率达95.49%,但污染物负荷收集率仅为61%,这意味着约40%的污染物未经处理直接或间接排入水体,导致水体返黑返臭,威胁城市水环境安全。

为了巩固城镇黑臭水体治理成效,促进水环境质量持续改善,提高城镇污染物负荷收集率,住房和城乡建设部、生态环境部、国家发展改革委联合印发了《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》。

相关学者已对污水管网提质增效方法进行了大量探讨^[2-3],当前已开展的污水管网提质增效相关研究多是针对分流制排水系统。然而,根据《2018年城乡建设统计年鉴》的统计,截止到2018年底,我国仍有约 1.1×10^5 km 合流管道,占比约16%。受建设及发展情况影响,某些地区不具备进行彻底雨污分流改造的条件,合流制排水系统在我国仍将长期存在。合流制区域不但存在溢流污染问题,而且由于管道建设标准低、截流方式不合理等原因,合流制区域成为部分城市的内涝重灾区^[4-5],阻碍安全城市建设。

我国合流制区域普遍存在城市内涝、污染物负荷收集效率低等问题,因此有必要对合流制排水系统提质增效的方法与措施展开探讨。

2 合流制排水系统特征

合流制排水系统分为完全截流式合流制、不完全的截流式合流制及直排式合流制。随着城市建设,许多城市形成了混流式的排水系统,主要包括高混接比例的分流制排水系统、“街区合流,市政分流”的排水系统,以及山水、雨水、污水混合的排水系统^[6],这些排水系统也形成了另一种形式的合流系统。

在此讨论的合流制系统为完全截流式合流制、不完全的截流式合流制及直排式合流制系统,如图1所示。

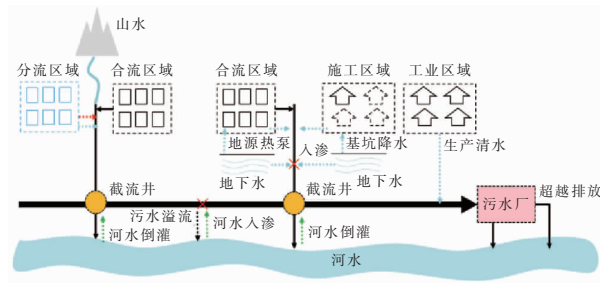


图1 我国合流制排水系统运行现状

Fig. 1 Current situation of the combined drainage system in China

在合流制系统中,城市排水共用一套排水系统,雨水、污水、入渗地下水、倒灌河(海)水、山水、生产生活产生的清水等均由这一套排水系统收集,这就造成合流制排水系统具有以下特征:①管道易淤积;②系统排水能力不足,内涝风险高;③晴天高水位、低浓度运行;④溢流污染严重。

2.1 管道易淤积

合流制管网在晴天具有低流速特点,污水中颗粒物更容易在管道中沉淀、淤积,尤其是少雨城市,降雨前期晴天时间较长,管道淤积更为严重。以某城市为例,根据排水管网普查资料,该市中心城区某合流区域排水管道淤积程度大部分在30%以上。

2.2 系统排水能力不足,内涝风险高

合流制区域多为老城区,管道投入运营时间长,建设时标准偏低,管道淤积严重,排水系统过水能力不足,甚至不能满足晴天污水收集要求。我国部分城市老城区合流制排水系统建设重现期仅为0.5~2年,部分截污主管建设时也仅考虑了污水收集功能,未考虑雨水、清水水量要求。降雨时,管道过流能力不足,城区内雨水不能及时排除,造成城区内涝。

2.3 晴天高水位、低浓度运行

在合流制排水系统中,因实际需要,生产生活清水(如基坑降水、地源热泵排水、工业冷却用水、供水管网渗漏等)也会进入合流管道,同时管道破损及排口倒灌,还会造成地下水、河水等清水进入合流管道。大量清水进入管道,造成管道高水位运行,管道污水中污染物浓度极低。

2.4 溢流污染严重

排水系统能力不足,有些排水系统晴天已在溢流,生活污水直接溢流进入水体,造成污染。雨天时,大量径流雨水进入管道,对管道造成冲刷,管道中淤泥直接溢流进入水体,从而对水体造成污染。有研究表明,雨天溢流污水污染物浓度远远高于生活污水,其中 COD 可高达 $1\ 025\ \text{mg/L}$ ^[7]。

3 方法策略

对于合流制排水系统提质增效工作,应以内涝防治安全与水环境安全为抓手。在内涝防治安全方面提高排水系统排水能力,满足区域排水防涝需求。在水环境方面提高污染物负荷收集率,提高污水处理厂进水污染物浓度,减少进入自然水体的污染物负荷。

为构建两个“安全”,特提出以下四个合流制排水系统提质增效策略。

3.1 理系统:明确管网排水排污双功能并行

完善的合流制排水系统应具有雨天排涝、晴天排污的双重功能。以此为目标导向,对现状合流制排水系统进行综合评估,具体如图2所示。

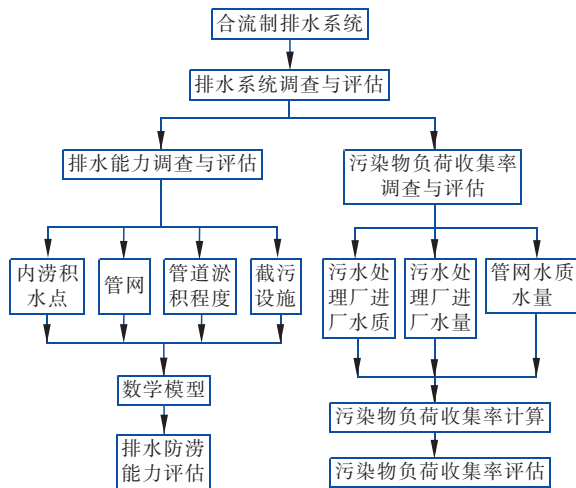


图2 排水系统调查与评估流程

Fig.2 Drainage system survey and assessment process

合流制排水系统的调查与评估分为排水能力调查与评估、污染物负荷收集率调查与评估两大方面。在进行调查与评估前,应明确调查系统的边界,减少系统之间的交叉干扰,同时也为后期改造明确工程范围。

排水能力调查包括内涝积水情况调查、管网调查、管道淤积程度调查及截污设施调查,根据调查结果,建立数学模型,对目标排水系统排水防涝能力进

行评估。

污染物负荷收集率调查包括污水处理厂进厂水质调查、污水处理厂进厂水量调查及管网水质水量调查,根据调查结果进行排水系统污染物负荷收集率计算,对目标排水系统污染物负荷收集率进行评估。

根据排水系统调查与评估结果,合流制排水系统提质增效在排水防涝能力提升、清污分离、控制溢流污染、智慧化管控与运维等方面开展工作。

3.2 优排涝:强化排涝能力的提升

根据系统排水防涝能力评估结果,进行系统化设计,提升系统排水防涝能力。若为局部节点造成内涝,如截流井建设不合理、管道淤积、雨水口堵塞及排口封堵等,应对局部节点进行改造,解决内涝问题。若为系统排水能力不足造成内涝,应进行源头LID、中途调蓄及末端截污系统建设,系统上提高排水系统排水防涝标准。

3.3 治溢流:杜绝晴天溢流,控制雨天溢流

① 晴天无溢流

造成合流制排水系统晴天溢流的原因主要是进入系统的外水量较大,超出了截污管道的容量。

大量生产生活清水、地下水及倒灌河(海)水进入合流制排水系统,会造成进入管道内的水量增大,晴天污水污染物浓度低。故应设置生产生活清水单独排放通道,对排水管道进行修复,实施排水口防倒灌改造,减少进入管道的清水量,提高晴天合流管道内污水污染物浓度。

② 雨天溢流控制

雨天溢流将大量污染负荷直接排入水体,造成水体水质恶化、黑臭。合流制系统溢流污染控制应从排水系统建设、排口改造等方面着手,根据系统情况,建设调蓄及处理设施,减少雨天溢流进入水体的污染物负荷量。

3.4 强管控:构建智慧化合流制管控系统

建设排水系统的智能传感和测控系统,运用先进的传感和测控设备,自动、实时、准确地采集管道内水量、水质、闸泵站监控及图像等信息,进行排水系统智慧管控。

通过智慧管控平台,对排水系统进行优化调度,实现系统排涝能力的提升及溢流污染的监控,形成“管网—调蓄设施—污水厂—河湖”的协同调度。

利用智慧化管控平台,做好管网养护,尤其是管

道清淤工作。管道淤积是合流制排水管道中普遍存在的问题,严重影响管道过水能力,应定期进行清淤,尤其是雨季前应进行全面清淤。

合流制排水系统的提质增效技术路线如图 3 所示。

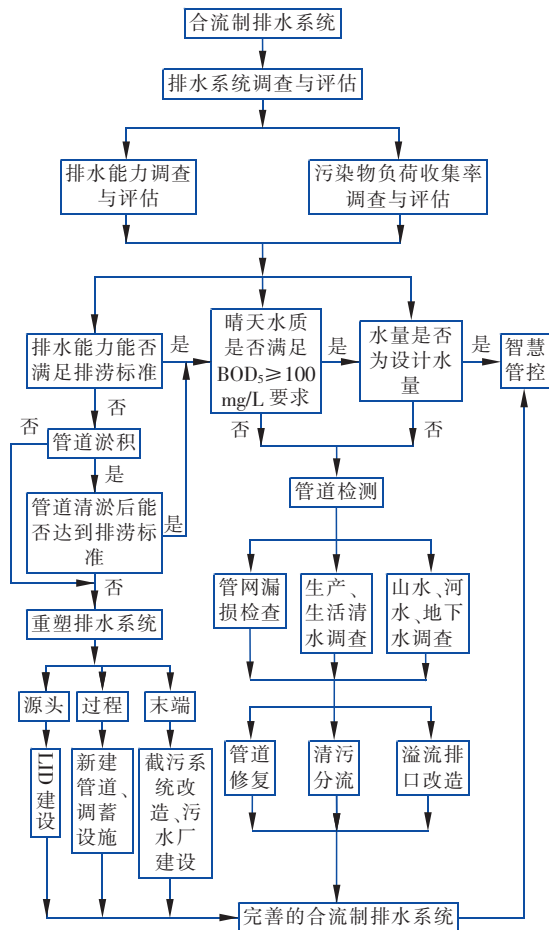


图 3 合流制排水系统提质增效技术路线

Fig. 3 Technical roadmap for quality and efficiency improvement of the combined drainage system

4 实施方案

4.1 反向溯源,剥离清水,调整合流制排水能力

在合流制排水系统中,由于管理、建设等原因,倒灌河(海)水、山水、生产生活产生的清水、供水管道渗漏等进入管道,造成管道高水位运行、管道溢流、水质浓度低等问题。

例如,临沂市老城区某合流制排水系统截污干管由于外水大量进入,晴天 COD 平均浓度仅为 70 mg/L,而雨天由于管道沉积物冲刷,管道内污水 COD 平均浓度达到了 381.6 mg/L,具体如表 1 所示。

表 1 某合流制排水系统截污主管水质对比

Tab. 1 Comparison of water quality of interceptor in a combined drainage system $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

点位编号	晴天		雨天	
	COD	氨氮	COD	氨氮
1	53	3.10	377	75.8
2	50	4.80	389	79.4
3	80	5.30	383	73.5
4	110	10.10	385	74.3
5	77	9.80	375	80.4
6	63	8.60	377	70.7
7	71	8.40	391	69.0
8	72	8.00	393	77.8
9	80	8.90	377	67.4
10	44	7.70	369	65.7

通过水质、水量调查及走访,确定清水来源并进行整改,使这部分清水不再进入合流制排水系统。清污分流的方法措施如表 2 所示。

表 2 清污分流的方法措施

Tab. 2 Methods and measures for separating clean water and sewage

清水来源	治理方法
倒灌河(海)水	①在管道与水体相交位置进行防倒灌改造; ②因管道建于河道中,管道破损导致河水入渗,应进行管道搬迁
山水	新建沟渠对山水进行截流,引入水体,不让山水进入排水管道
地下水	对排水管道及检查井进行修复
基坑降水	①加强管理,基坑降水禁止排入合流管道; ②基坑降水进行处理后可回灌地下水
地源热泵排水	加强管理,地源热泵排水禁止进入合流管道,应回补地下水
企业生产清水	①企业生产清水禁止排入合流管道; ②根据生产清水水质,对清水进行回用; ③若清水水质达标,应建设独立管道将清水排入水体或回补地下水
供水管道渗漏	对供水管道渗漏点进行修复

4.2 模型引导,海绵建设,综合提升排涝能力

根据调查及模型评估结果,对排水能力不足的管段进行改造,提升管道的排涝能力。同时根据评估结果,对雨水径流较大的区域进行海绵城市改造,减少雨水径流量及径流污染物负荷。

在合流制排水系统中,对于雨水的控制与排放需从源头、中途及末端三个环节进行控制。保证雨水有完善的排放通道,使雨水径流能够直接进入排涝河道,减少阻碍雨水排放的节点。某合流制排水

系统雨水排放通道改造如图4所示。

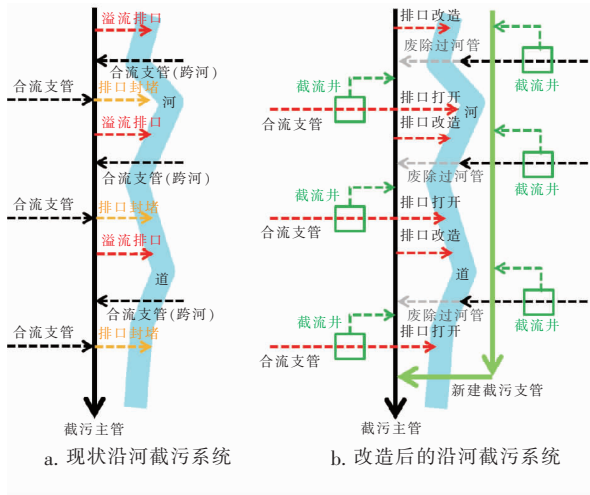


图4 某合流制排水系统雨水排放通道改造

Fig.4 Rainwater drainage channel modifications for a combined drainage system

① 排水系统源头

进行源头海绵城市建设,从源头进行雨水调蓄、削峰,缓解峰值降雨对排水管网的冲击,削减雨水径流冲刷的地表污染物负荷。

② 排水系统中途

在现状合流制排水系统中,管网情况复杂,现状合流管道管径存在不能满足排涝需求的情况,导致城区内涝。

在有实施条件的情况下,应新建排水管道,完善雨水排放通道,达到排涝要求。在无条件实施新建管道时,可采用节点分段调蓄的方式,缓解峰值降雨对管道的冲击,增加雨水排放空间。

③ 排水系统末端

完善末端截污系统,进行截污系统改造,减少对雨水排放的阻碍。按照截流标准,截流管道中的冲刷沉积物及生活污水,建设完善的截流污水的收集、调蓄及处理系统。

4.3 病害治理,管网重塑,构建管道修复快的技术

① 管道修复

根据管道调查资料,对破损排水管道进行修复,减少地下水入渗量,同时对检查井进行修复。在原管道管径满足过水要求时,对管道进行修复,否则应进行管道新建,以满足过水要求。管道修复分为开挖修复及非开挖修复,非开挖修复时应保证施工质量并做好验收。

② 常态化清淤

在合流制排水管道中,管道更容易淤积,若不及时进行清理,淤泥将占据管道空间,降雨时管道中沉积的污染物通过冲刷进入水体^[8-9]。根据淤积深度对管道进行清淤,通常管道淤积深度不应超过管内径的20%。

4.4 末端控制,构建因地制宜的溢流处理系统

雨天溢流污染是合流制排水系统中普遍存在的问题,甚至有些合流制排水系统晴天也存在溢流或污水直排现象。但是,通过合理的合流制排水系统建设,溢流污染可得到有效控制。

对于存在溢流污染的合流制排水系统,晴天应严禁污水溢流或直排进入水体,雨天通过提质增效建设,完善合流制系统,控制溢流污染,提高污染物负荷收集率。

控制合流制系统溢流污染的核心是制定合适的截污标准,因地制宜,实现截污治理与初雨治理联动,实现截污标准与水体水环境容量联动,如图5所示。

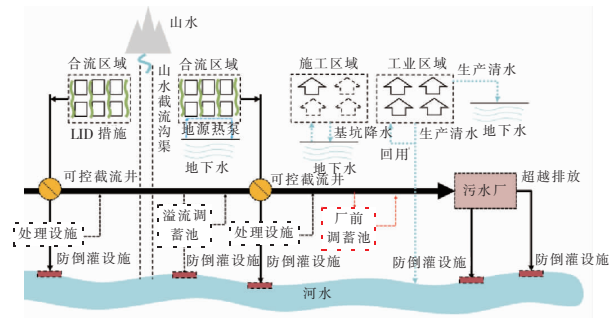


图5 改造后的合流制排水系统

Fig.5 Schematic diagram of the combined drainage system after reconstruction

4.4.1 制定截污标准

对存在溢流的合流制排水系统应进行水量水质监测,监测排水管道晴天流量、雨天流量、溢流流量及上述水质。结合实际降雨过程中水量水质监测及气象统计数据,当溢流污水污染物浓度达到水环境容量排放要求时,以此时降雨量作为合流制排水系统控制降雨量^[10]。同时根据地区降雨强度、降雨量,设置控制目标降雨时段。

4.4.2 截污系统流量设计

有雨天实测数据情况下,排水管道重建时的管道设计流量计算如下:

$$Q_{\text{重建管道}} = Q_{\text{雨天}} + Q_{\text{溢流}} \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{重建管道}}$ 为重建截污管道设计流量; $Q_{\text{雨天}}$ 为

目标降雨强度时,污水厂进水流量; $Q_{\text{溢流}}$ 为目标降雨强度时的溢流流量。

无雨天实测数据情况下,排水管道重建时的管道设计流量计算如下:

$$Q_{\text{重建管道}} = Q_{\text{污水}} + Q_{\text{雨水}} \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{污水}}$ 为晴天污水流量(包括管道内流量及溢流量); $Q_{\text{雨水}}$ 为设计降雨强度时的雨水流量。

4.4.3 截污系统容积设计

有雨天实测数据情况下,排水管道重建时的截污系统设计容积计算如下:

$$V_{\text{调蓄池}} + V_{\text{管道}} + V_{\text{污水厂}} = (V_{\text{雨天}} + V_{\text{溢流}}) \times (1 + a) \quad (3)$$

式中: $V_{\text{调蓄池}}$ 为溢流污染控制调蓄池容积; $V_{\text{管道}}$ 为管道能够容纳的雨水量; $V_{\text{污水厂}}$ 为目标降雨历时下的污水厂最大处理水量; $V_{\text{雨天}}$ 为目标降雨历时和降雨量下的管道过流量; $V_{\text{溢流}}$ 为目标降雨历时、降雨量时的溢流水量; a 为考虑事故或未探明水量进入系统时的安全系数,建议取 0.1~0.15。

无雨天实测数据情况下,排水管道重建时的截污系统设计容积计算如下:

$$V_{\text{调蓄池}} + V'_{\text{污水厂}} + V_{\text{管道}} = (V_{\text{污水}} + V_{\text{雨水}}) \times (1 + a) \quad (4)$$

式中: $V'_{\text{污水厂}}$ 为设计降雨历时的污水厂最大处理水量; $V_{\text{污水}}$ 为晴天污水水量(包括管道内污水量及溢流量); $V_{\text{雨水}}$ 为设计降雨历时、降雨量时进入管道的雨水量。

4.4.4 溢流排口改造

对溢流排口进行改造,根据水质、水量,调控排口启闭,做到可控排放。晴天污水通过合流管道直接进入污水厂,雨天合流污水超过污水厂接收能力后进入调蓄池。当降雨超过系统容量时,开启溢流排放口,同时开启调蓄池处理设施进行快速处理,排放水体,为系统排涝让出空间,如图 6 所示。

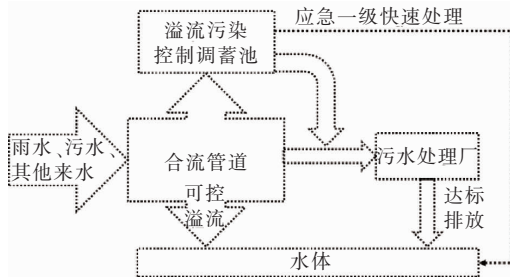


图 6 合流制排水系统排水路线

Fig.6 Drainage route of the combined drainage system

4.5 智慧运维,联合调度,推进厂网河湖系统运行

对合流制排水系统进行智慧水务建设,做到厂网河一体化管控,分区段建设采集传输层、数据层、应用层、服务层及用户界面(见表 3)。

表 3 智慧水务平台建设

Tab.3 Smart water platform construction

分层结构	建设内容
数据采集传输层	水体水位流量站、雨量站、排水管网水量水质监测站、阀门泵站监测站、污水厂水量水质监测站、视频监控站等
数据层	BIM 模型数据、GIS 空间图形数据、设备属性数据、运营管理数据、水务业务数据、实时监测数据
应用层	可视化三维模型展示、水资源综合调度、防汛预报预警、管网水力模型模拟预测、水质指标排口监视、设备信息查询、维护管理巡查记录
服务层	设备远程控制、运行实况监视、预报预警分析、管网模型模拟预测、基础信息更新、水质情况监测、定位查找处置、维护巡查管理、对外发布信息
用户界面	业务办公网站、移动外业应用

通过系统调控,对管道、调蓄池、污水处理厂、溢流排口及水体进行联合调度,减少溢流频次,提高污染物负荷收集率;对管道内水质水量进行实时监测,同时还要实时监测进入管道内的清水量,采取措施,挤出管道内的清水。

5 结论与建议

① 我国现状合流制系统在实际运行过程中,若短期内无法实现雨污分流时,可通过提质增效建设,建立更完善的合流制系统。

② 合流制排水系统提质增效建设是对合流制系统建设的一项完善工作,进行溢流污染控制,提高污染物负荷收集率是目前大部分合流制系统亟待解决的问题。

③ 在排水系统提质增效建设时,同时开展智慧水务建设,提高排水系统管控的效率及科学性。

参考文献:

- [1] 徐祖信,徐晋,金伟,等. 我国城市黑臭水体治理面临的挑战与机遇[J]. 给水排水,2019,45(3):1-5,77. XU Zuxin, XU Jin, JIN Wei, et al. Challenges and opportunities of black and odorous water body in the cities of China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019,45(3):1-5,77(in Chinese).
- [2] 唐建国,张悦,梅晓洁. 城镇排水系统提质增效的方法与措施[J]. 给水排水,2019,45(4):30-38.

- TANG Jianguo, ZHANG Yue, MEI Xiaojie. Strategies and methods for improving the quality and efficiency of the urban drainage system [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 45(4): 30–38 (in Chinese).
- [3] 孙永利. 城镇污水处理提质增效的内涵与思路[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(2): 1–6.
- SUN Yongli. Connotation and way of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(2): 1–6 (in Chinese).
- [4] 吴斯文, 张建明, 涂青, 等. 东莞市宏远片区内涝原因分析及整治方案设计[J]. *给水排水*, 2012, 38(3): 39–41.
- WU Siwen, ZHANG Jianming, TU Qing, *et al.* Reason analysis and renovation plan design for the waterlogging in Hongyuan District in Dongguan City [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2012, 38(3): 39–41 (in Chinese).
- [5] 侯精明, 康永德, 李轩, 等. 西安市暴雨致涝成因分析及对策[J]. *西安理工大学学报*, 2020, 36(3): 269–274.
- HOU Jingming, KANG Yongde, LI Xuan, *et al.* Analysis and countermeasures of inundation caused by heavy rain in Xi'an [J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2020, 36(3): 269–274 (in Chinese).
- [6] 赵杨, 车伍, 杨正. 中国城市合流制及相关排水系统的主要特征分析[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(14): 18–28.
- ZHAO Yang, CHE Wu, YANG Zheng. Analysis of characteristics of China urban combined sewer system and related other sewer systems [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(14): 18–28 (in Chinese).
- [7] 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): 80–84.
- LI He, LI Tian. Characteristics of combined sewer overflow during rainfall in central area of Shanghai [J]. *China Water & Wastewater*, 2009, 25(3): 80–84 (in Chinese).
- [8] 高原, 王红武, 张善发, 等. 合流制排水管道沉积物及其模型研究进展[J]. *中国给水排水*, 2010, 26(2): 15–18, 27.
- GAO Yuan, WANG Hongwu, ZHANG Shanfa, *et al.* Current research progress in combined sewer sediments and their models [J]. *China Water & Wastewater*, 2010, 26(2): 15–18, 27 (in Chinese).
- [9] 刘志长. 合流制排水管道沉积物的沉积状况及控制技术[D]. 长沙: 湖南大学, 2011.
- LIU Zhichang. Study on the Sedimentation Condition and Control Technology of Combined System Drainage Pipe [D]. Changsha: Hunan University, 2011 (in Chinese).
- [10] 朱智兵. 城市合流制排水管网系统截流倍数分析计算方法[J]. *江苏水利*, 2008(5): 17–18.
- ZHU Zhibing. Analysis and calculation method of closure multiple of urban combined sewer system [J]. *Jiangsu Water Resources*, 2008(5): 17–18 (in Chinese).

作者简介:周杨军(1982–),男,安徽滁州人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给排水),中国城市规划设计研究院上海分院生态与市政所所长,从事城市生态基础设施的设计与规划咨询工作。

E-mail: 21949607@qq.com

收稿日期: 2020–11–09

修回日期: 2020–12–01

(编辑:丁彩娟)

以水定需,量水而行,促进水资源可持续利用