

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.14.004

# 中国城市合流制及相关排水系统的主要特征分析

赵 杨<sup>1</sup>, 车 伍<sup>2,3</sup>, 杨 正<sup>4,5</sup>

(1. 北京雨人润科生态技术有限责任公司, 北京 100044; 2. 北京建筑大学 城市雨水系统与  
水环境教育部重点实验室, 北京 100044; 3. 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京  
100044; 4. 中国地质大学<北京> 水资源与环境学院, 北京 100083; 5. 北京雨人润科  
生态技术有限责任公司 城市雨洪管理研究中心, 北京 100044)

**摘 要:** 鉴于城市合流制排水系统本身的复杂性,以及我国不同城市和地区发展过程中由于历史和人为原因、政策导向等因素的综合影响,我国城市合流制及相关排水系统呈现出极其复杂的特征。基于对我国城市合流制排水系统问题的长期观察与思考,结合对多个城市近年来合流制排水系统改造与溢流控制的跟踪调研与项目实施经历,对城市合流制及其相关的代表性排水系统进行分类梳理,综合分析政策法规、规范标准、综合建设管理水平和城市改造等外部条件对合流制及相关排水系统的复合性影响,提出我国城市合流制排水系统的复杂性和多样性、溢流问题的特殊严重性、各地改造条件显著差异性的主要特征。

**关键词:** 排水系统特征; 合流制; 分流制; 溢流控制

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)14-0018-11

## Analysis of Characteristics of China Urban Combined Sewer System and Related Other Sewer Systems

ZHAO Yang<sup>1</sup>, CHE Wu<sup>2,3</sup>, YANG Zheng<sup>4,5</sup>

(1. Beijing Yuren Rain-eco Technology Co. Ltd., Beijing 100044, China; 2. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3. Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing 100044, China; 4. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences <Beijing>, Beijing 100083, China; 5. Urban Stormwater Management Research Center, Beijing Yuren Rain-eco Technology Co. Ltd., Beijing 100044, China)

**Abstract:** Considering of the complexity of combined sewer system, China's Combined Sewer System (CSS) and its related other sewer systems presented obviously diverse characteristics and implementation difficulties, which were caused by continued compound effects of various city's CSO control policy, natural condition and historical sewers physical form. Based on long-term tracking research on the implementation situation and strategy transition in different Chinese CSO control pilot cities, the classification of typical CSSs and its related sewer systems was concluded, and the influencing factors of CSSs which were effected by CSO control policy, criterion, guideline and cities' management level were analyzed. Finally, the characteristics of China's CSS on sewer system diversity, overflow pollution seriousness, and regional differences were proposed.

**Key words:** characteristics of drainage system; combined sewer system; separate sewer system; CSO control

我国在快速城镇化发展过程中形成了多种排水系统,这些排水系统除了排水体制有所不同,在持续、高速的城市建设和改造过程中,部分排水系统由于本身就不完善,又加上后来不断组合、叠加、异化等作用,形成与真正意义上的分流制、合流制不同的排水系统类型。各城市所处建设阶段和发展水平不同,建设管理中的人为因素与当地自然条件共同作用,进一步强化了我国城市不同排水系统复杂的多样化状态。有些相对完善,有些处于过渡阶段,有些由于大范围混接等既成事实已经转化为不同特征的排水系统,有些则破损严重甚至处于“废弃状态”。

我国城市合流制及相关排水系统的上述特点,造成政策制定者、职能部门管理者、专业人员在讨论合流制问题时,很难将现实中复杂的排水系统与常规整治策略——对照,制定对策时容易陷入混乱与困惑,继而转向对特定城市、局部问题、某种典型解决方案和措施的讨论,因而得出许多莫衷一是的见解。有专家认为,我国城镇排水管网在理论和规划设计上的分流制与合流制,在实际中都是不存在的;分流制污水管道和合流制管道长期“满管流”是很多城市排水口或溢流口阶段性污水冒溢的根本原因。由于对我国城市合流制及其相关排水系统的多样性和复杂性缺乏全面、透彻的理解,难以取得基本的共识,严重影响了制定策略的科学性、合理性和有效性。

在实际工作中,讨论我国城市合流制问题及其系统决策,必须客观认识由多种原因形成的不同排水体制与运行状态的排水系统并存的真实现状。不仅需要深入理解合流制排水系统本身系统决策的基本逻辑和方法,还必须区分、把握和兼顾与其相关的多种排水系统交织所呈现的实质特征,并借鉴国际上已形成的合流制排水系统改造及合流制溢流(CSO)污染控制的经验和教训,才有助于提出具有针对性、系统性和强指导性的决策思路和实施策略。

## 1 我国城市合流制排水系统概况

新中国成立初期,全国只有少数城市建设了排水工程设施,主要采用直排式的合流制排水体制,部分城市新建排水系统仍然选择合流制排水体制<sup>[1]</sup>。20世纪80年代与90年代,长期雨污合流直排使城

市水环境受到严重污染,多个城市开始实施排水系统的截污改造工程,将直排式合流制排水系统改造为截流式合流制排水系统。但在城市发展中,随着截污系统服务范围的快速增长,原本设计就偏低的截流倍数进一步降低,污水处理厂的规模、工艺和排放标准又缺少对合流制系统截流水量的配套设计,很快造成系统的截流和处理能力不足,这种“半拉子”的截污工程没有充分发挥出应有的功能,水体污染依然严重,需要对其重新进行评估和设计。一些城市重新进行了系统评估与设计,但实施又面临拆迁改造、地面与地下空间选择等涉及的跨专业和跨部门的综合协调,这些大量与城市发展相关的“非技术”限制因素影响面极大,造成系统改造困难重重,推进缓慢,有些工程甚至被搁置或延续至今。如贵阳南明河从20世纪80年代就开始修建截污沟以整治水环境<sup>[2]</sup>、上海在1996年启动的苏州河综合整治<sup>[3]</sup>,至今仍在持续开展截污与溢流污染控制的相关工作。

在1987年发布的《室外排水设计规范》(GBJ 14—87)中,开始提出城市新建城区宜采用分流制排水体制。此后,在新建城区基本按分流制排水体制进行建设的同时,许多城市也在排水系统相关规划中,提出要将原有的合流制排水系统逐步改造成分流制。但彻底的“合改分”始终面临如下难题:①对比合流制排水系统,分流制排水系统排放的污染总量是否有所减少<sup>[4]</sup>,以及削减的污染总量与“合改分”所付出的巨额工程投资和社会影响是否匹配;②逐一改造建筑与小区排水系统的巨大工程量、巨额投资和实施难度;③市政道路地上与地下空间极为紧张,管线错综复杂;④需要衡量城市历史遗产改造带来的长期影响与代价;⑤基础设施大规模改造带来严重社会影响和阻碍;⑥社区改造与改造后移交涉及的相关物权、管理权等部门责权和司法问题;⑦改造后的持续性违规混接和排放问题及其监管等。这些难题既包括技术问题,也包括“非技术”问题,而且往往后者更难解决,形成决策的重要限制性因素。因此,大部分城市在核心区域的雨污分流改造工作举步维艰,有些城市完成了部分城区的改造,也有些城市只在局部区域市政主干线路完成了

部分不完全的分流改造,这些工程如果不能顺利完成后续的整体改造并做好系统衔接,又将会成为低效的“夹生”或“半拉子”工程。

昆明<sup>[5]</sup>、南京、广州<sup>[6]</sup>、北京、武汉等许多城市多年前便陆续开展了局部或大范围的“合改分”工程,实际上,即便以巨大的决心经过长期的改造,仍然难以全面实施,至今仍然保留了大量合流制排水系统。也有部分发展水平较高、财政支付能力强的城市通过艰苦的努力并付出巨大的代价,基本完成了部分合流制区域的雨污分流改造,但绝大部分城市至今仍未完成全面“合改分”的艰巨任务。

由于水污染治理的压力和雨污分流的艰难,部分城市经过多年的实践摸索和实效检验,暂时放弃了完全实施“合改分”的策略,开展了针对合流制排水系统溢流污染控制的探索和实践。部分城市根据空间条件和既存系统特征,主要利用深层地下或城郊空间进行分散或集中的调蓄和处理实施溢流控制。例如,上海市在2003年启动的苏州河整治二期工程中开始建设合流制溢流调蓄池,2017年又进一步开展了深层调蓄隧道试验段的建设<sup>[7]</sup>,2019年最新排水规划通过投资分析,提出实施绿色基础设施和建设临河雨水净化后排放的“蓝带”配套措施,并结合深隧等工程建设,形成综合的溢流控制方案;镇江市2018年启动沿金山湖CSO污染治理项目,以期通过“深层截流主干管+末端调蓄及处理”系统建设,控制老城区CSO污染<sup>[8]</sup>;昆明市从2010年开始已陆续建成17座合流制溢流调蓄池<sup>[5]</sup>,并在2020年发布《城镇污水处理厂主要水污染物排放限值》(DB 5301/T 43—2020),针对雨天合流制溢流污染控制提出专门的排放标准。部分城市结合海绵城市建设、老旧小区改造等机遇,对建成区实施低影响开发改造,通过绿色与灰色基础设施共同减少溢流总量,但很多城市在合流制老城区广泛推进海绵城市改造时,仍然面临空间狭窄、绿地不足、投资巨大等实施难题的制约。面对达标压力和实践过程中的各种困惑,也有部分城市近年来又重新启动了大规模的雨污分流改造,有些则陷入盲目决策而带来的困境。

除了上述合流制排水系统本身的雨污分流改造和溢流控制面对的困境外,由于社会各界普遍对排水管网系统重视不足,监督、执法管理不严,造成大量新建城市的分流制排水系统也存在不同程度的混

接、乱接与错接问题,个别城市大面积区域形成实质上的两套“雨污合流管网”,甚至形成比截流式合流制系统更严重的污染。以深圳市为例,早在1990年对最早建设的罗湖、上步两区的排水系统进行检测时,就发现雨、污排水系统已全部混流<sup>[9]</sup>。后来,对部分分流制雨水系统再实施了污水截流改造,部分区域形成了沿河暗涵截排的“大截排”模式,也引发了一些争议。

截至2016年,根据《中国城市建设统计年鉴》数据,我国仍有城市合流制管道 $10.9 \times 10^4$  km,占城市排水管道总长度的18.8%,且在31个省级行政区(港澳台地区未列入统计)均有分布<sup>[10]</sup>。但如果将长期以来实质上雨水、污水合流的管网系统统计在内,估计合流制管道占城市排水管道总长度的比例还将大幅提升,且有很高比例仍未形成完善的截流式合流制排水系统。

## 2 我国城市合流制及相关排水系统类型

在城市发展过程中,排水系统受到建设之初的排水体制、城市建设管理水平、发展过程中的经济水平、城市空间条件的急剧变化,以及短期整治措施等因素的综合影响,形成多种实质上“雨污合流”的排水系统。既有建设之初即是合流制且至今仍未形成完善的截流式合流制排水系统,也存在由于各种原因实际上已形成“雨污合流”并呈现溢流污染问题的各类混杂的排水系统。后者并非真正意义上的合流制系统,但经过多年演变,不仅实质上承担雨水与污水混合排放的功能并造成严重的污染问题,而且面临与截流式合流制系统改造相同的难题。如果不将这些实质上形成“雨污合流”的排水系统纳入分析的范畴,就难以客观面对许多城市排水系统错综复杂的现状和治理困境,难以妥善解决合流制系统的决策与实施问题。

鉴于文章篇幅所限,为便于清晰分析和概括性地阐述观点,根据不同排水系统类型的构成原因与特征将其分为4大类:一是合流制排水系统,主要包括完善的截流式合流制排水系统、不完整的截流式合流制排水系统,以及局部区域现今仍然存在的直排式合流制排水系统;二是实际形成“雨污合流”的分流制排水系统,如高比例混错接的分流制排水系统(即“假的”分流制排水系统)、不完整的分流制排水系统(只建了污水或雨水系统的分流制系统)、截流式分流制排水系统;三是合流制改造过程中形成



的处于过渡阶段的排水系统,如“小区合流、道路分流”的排水系统;四是城市建设过程中形成的比较特殊的排水系统,如山水、雨水、污水混合的排水系统。值得注意的是,很多城市不止存在一种排水系统类型,上述的多种排水系统也常常共存于同一城市的不同区域。

不同排水系统的具体分类与系统特征如下:

① 完善的截流式合流制排水系统。所谓“完善”的截流式合流制排水系统,应具备源头控制、收集、截流、调蓄、处理等各子系统,并基本形成良好的衔接关系,尤其雨天的截流、调蓄能力与污水处理厂和就地处理设施的处理能力需要相互匹配,真正实现合流制溢流污染的有效控制(见图1)。值得注意的是,由于溢流控制目标的不断提升,以及现代城

市雨洪管理的发展,截流式合流制系统本身也在不断创新发展,并在不同国家、城市或地区呈现出不同的措施组合形式,其“完善”是一个相对概念。例如,传统的截流式合流制主要包含合流污水的收集与截流管网、调蓄设施、处理厂等灰色设施,早期一些发达国家的截流式合流制属于这一种,如美国城市早期开展的合流制长期规划所采取的系统。而近年来随着绿色设施的发展及其对合流制溢流控制实效的提高,使源头低影响开发改造也逐渐成为完善的截流式合流制系统需要重点考虑的组成部分之一,而成为一种“新型的截流式合流制系统”<sup>[11]</sup>,美国一些城市近年所做的合流制区域水治理新的规划就属于这一类,在我国海绵城市建设和黑臭水体治理中也开始得到应用。

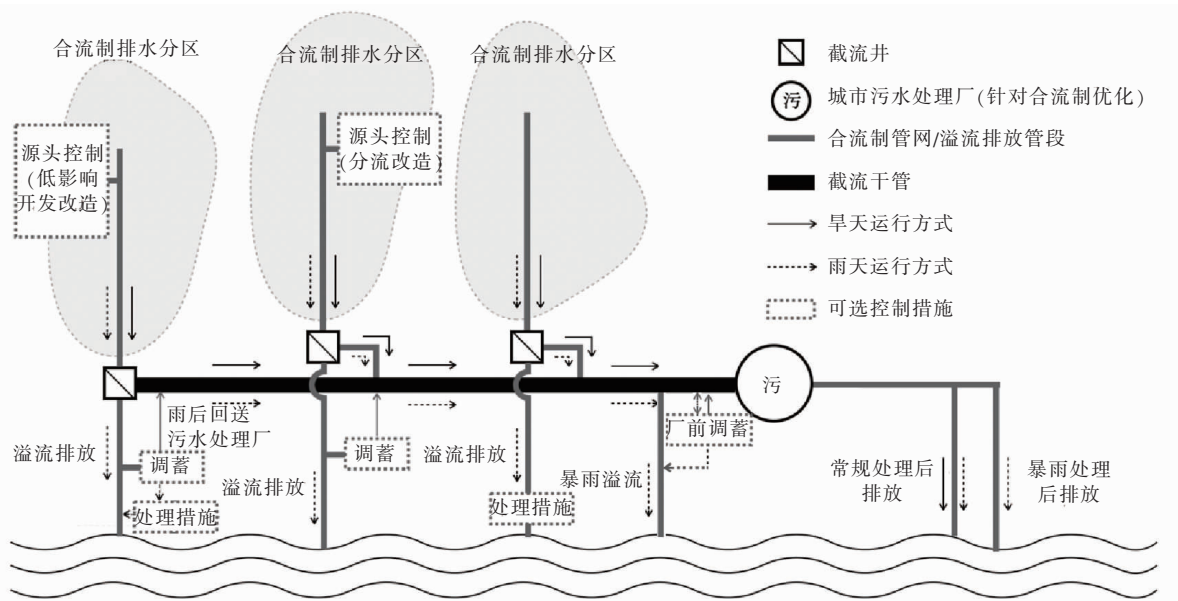


图1 完善的截流式合流制排水系统示意

Fig. 1 Systemic framework of complete intercepting combined sewer system

② 不完整的截流式合流制排水系统(见图2)。经过多年改造,部分城市已经投入巨大资金建设了比较完整的截流干管或一些调蓄设施,但由于缺少系统思路,这些排水系统普遍存在各子系统之间缺乏合理匹配的问题,有些就形成了“假截流式合流制系统”,造成合流雨污水的溢流频次、溢流总量、污染负荷都明显高于完善的截流式合流制排水系统,修建的截流干管与调蓄设施实际上也没有发挥出应有的功效,甚至只是转移了污染物排放的位置。该类型排水系统中的典型问题包括:a. 因雨天

污水厂处理能力与截流干管截流能力不匹配而形成大量厂前溢流;b. 因污水厂处理能力与调蓄设施调蓄量不匹配,或污水厂旱天处理能力饱和,造成调蓄设施临时储存的合流污水无法送回污水厂处理。这些问题目前常见于我国许多城市的排水系统,大量城市的现状合流制系统属于该类型,其中污水厂处理能力和处理工艺与合流制系统不相匹配的情况最为普遍和严重,是今后一个时期需要重点解决的大问题,尤其是结合正在推进的污水处理“提质增效”行动。

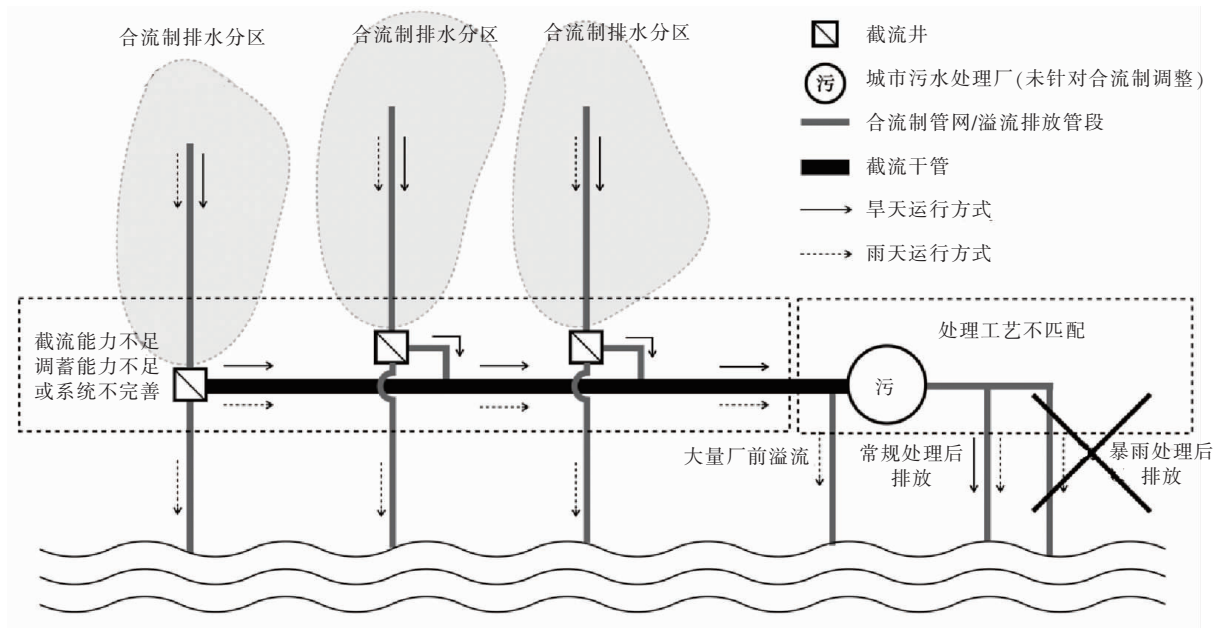


图2 不完整的截流式合流制排水系统

Fig. 2 Systemic framework of incomplete intercepting combined sewer system

③ 直排式合流制排水系统(见图3)。大部分城市的直排式合流制系统已被逐步改造为不完整的截流式合流制系统或其他排水系统,但在少数欠发达地区,以及某些城市的局部区域,仍然存在该类型的排水系统,旱天、雨天都对水体造成直接污染,也面临改造策略的选择问题。

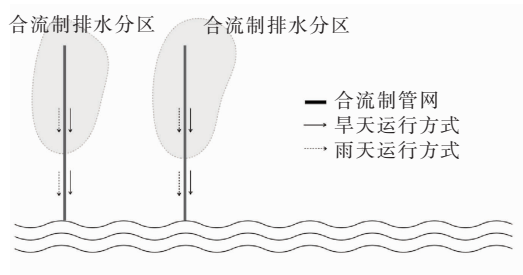


图3 直排式合流制排水系统

Fig. 3 Systemic framework of non-intercepting combined sewer system

④ 高比例混错接的分流制排水系统(见图4)。部分城市新建区域虽按分流制规划建设,但由于存在大量雨污混错接问题,实际形成了雨水管和污水管均为“雨污混(合)流”的状态,形成了两套混流管网<sup>[9]</sup>。这类“假分流制排水系统”在很多城市的不同区域都存在,混错接程度有所不同。有些可通过改造实现雨污完全分流,有些则已不具备重新分流的改造条件或难度太大、成本太高。如上所述,很多城市的这类分流制系统实际面临与合流制系统

相似的决策难度和困境,需要对混错接严重程度做出基本判断,并需开展大量细致的分析工作。

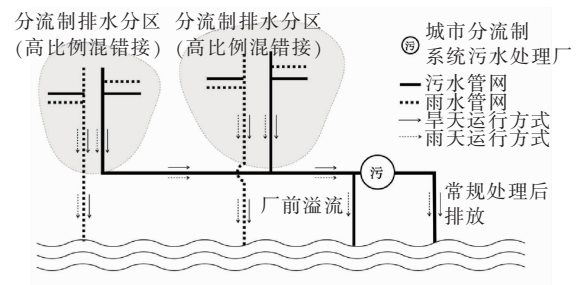


图4 高比例混错接分流制排水系统

Fig. 4 Systemic framework of separate sewer system with a high proportion of incorrect connection for stormwater and wastewater pipelines

⑤ 不完整的分流制排水系统(见图5)。受限于地方经济发展水平,存在只建设污水管网的排水系统(少量地区也有只建设雨水管网的情况)。而后在城市建设过程中,由于实施空间不足、资金不足、拆迁协调难度大等各种原因,有些城区已经难以新增或改造管网系统,形成了所谓长期处于过渡阶段的特殊排水系统。这类排水系统也是按分流制排水系统设计和建设的,但实际上也形成了“雨污合流”状态,其中少量只建设雨水排水系统的区域还存在旱季污水直排现象。该类排水系统目前不仅存在于局部落后地区,也多存在于由于城市发展速度过快而无法实施新增管网的建成区或城乡接合

部,新增或改造管网同样面临已经建成的复杂城市空间等条件的限制。

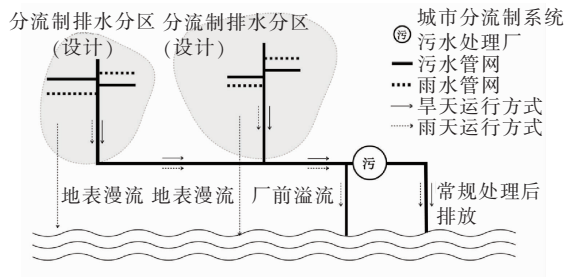


图5 不完美的分流制排水系统

Fig. 5 Systemic framework of incomplete separate sewer system

⑥ 截流式分流制排水系统(见图6)。部分城市的分流制排水系统混错接问题严重,在短期内难以全面排查与改造的现实下,对分流制的雨水系统进行末端截流改造,将旱季混接进雨水管的污水截流至污水处理厂。降雨时,一旦雨污混流污水水量超过系统截流和处理能力,会产生与合流制系统相似的溢流污染问题。例如,高学琰<sup>[12]</sup>针对混接、错接、乱接明显的合流制排水系统和分流制排水系统混合的部分地区,提出沿城市水体两岸敷设截流干管系统的“截流式综合排水体制”,以及在“截流式分流制”基础上衍生出的“分散式截流排水系统”<sup>[13]</sup>,限于篇幅,不再一一列举。

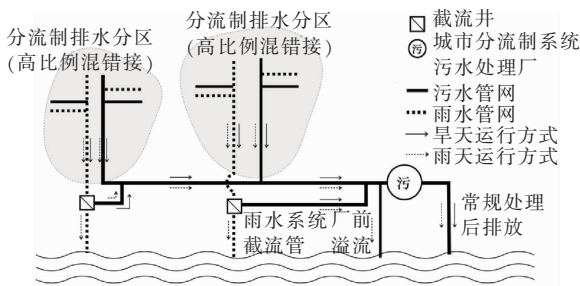


图6 截流式分流制排水系统

Fig. 6 Systemic framework of intercepting separate sewer system

⑦ 雨污分流改造中形成的不彻底的分流制排水系统(见图7)。部分城市由于短期内全面实施建筑与地块内的雨污分流改造难度巨大,选择优先实施市政道路分流改造,形成了“源头合流、市政干线分流”的排水系统。这类排水系统中雨水管网的收集范围通常比较有限,有些只能收集道路雨水径流,原有合流制管网仍然收集绝大部分汇水面的雨水和污水。如果缺乏综合评估、长期可持续规划与可落

实的实施计划,盲目实施这类工程,对合流制系统污染物总量的削减效果非常有限,短期内投资收效较差。

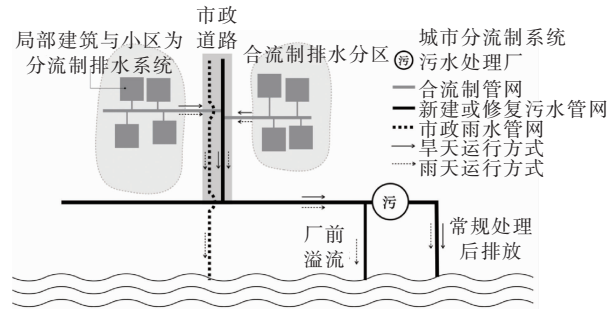


图7 雨污分流改造中形成的不彻底的分流制排水系统

Fig. 7 Systemic framework of uncompleted separate system in the process of combined sewer separation

⑧ 山水、雨水、污水合流的排水系统(见图8)。城市化过程中部分水道演变为排污渠,后续改造为具有行洪、排污、排涝等多种功能的暗渠、大型管涵或开放渠道,造成山水、雨水、污水、河水等多水源合流的状态,常见于沿海地区或以山地为主地区。该类型排水系统由于旱天管网内混有大量山水,进厂污水浓度很低,同时截流了部分河道自然流量;雨天截流干管迅速被山洪占满,大量溢流排放。

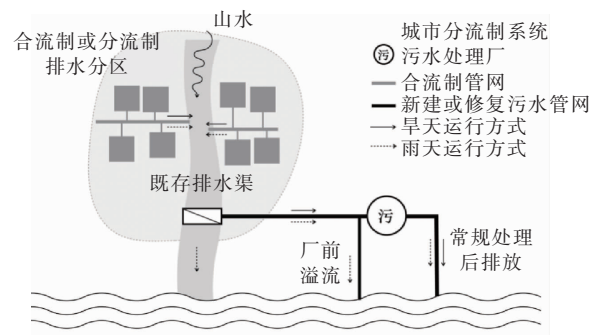


图8 山水、雨水、污水合流的排水系统示意图

Fig. 8 Systemic framework of combined sewer system with mountain stream, stormwater runoff and sewage

以上列举的这些排水系统,并非都应在治理中作为“合流制排水系统”看待,而是由于我国排水系统的多样性特点对合流制系统决策、水环境综合整治构成重大影响,必须充分考虑其改造方式和可行性,因地制宜、系统分析以得出结论。

### 3 我国城市合流制及相关排水系统外部条件

上述排水系统某些类型明显有别于发达国家比较常见的合流制与分流制排水系统,这些“特殊”排水系统类型的形成,一方面由于建设之初便存在系



统本身不完善的问题,另一方面还受到政策法规、规范标准、综合建设管理水平,以及城市排水系统与水系改造产生的衍生问题等外部条件的综合影响。这些外部条件进一步显化和加剧了排水系统本身不完善所产生的问题,其在影响并塑造城市合流制及相关排水系统现状的同时,也在影响着这些排水系统的未来。

### 3.1 法规与政策

从各国合流制溢流控制发展路径来看,国家针对合流制系统制定的专项法规、管理制度、总体策略、实施框架等,与各城市政府因地制宜制定的具体实施策略共同作用,促进了合流制溢流污染问题的解决。而各国针对合流制溢流控制的明确立法规定和关键政策,普遍成为逐步解决合流制问题过程中的重要“里程碑”事件。

针对合流制排水系统的收集、排放、配套处理等主要管理环节,我国尚未形成针对合流制系统,且比较完整、相互衔接的法规和管理规定。生态环境部2018年发布的《排污许可管理办法(试行)》和2019年更新的《固定污染源排污许可分类管理名录》中,都未包括对合流制溢流排口与合流制溢流污染的控制,导致合流制溢流排口的管理暂时成为“管理空白”,使合流制溢流排口的执法、监管均缺少合理依据,造成管理上的困难和混乱。此外,现实中部分城市污水处理厂服务区域包含一定范围的合流制及其他“雨污合流”排水系统,但《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)缺少针对“雨污合流”区域的污水处理厂排放要求,旱天与雨天的管理要求与排放标准相同,间接限制了合流污水的截流、调蓄等设施建设与污水处理厂的匹配,一定程度上加剧了厂前溢流等现象的发生。

回顾我国针对合流制溢流污染出台的相关政策文件,近10年来对合流制溢流问题重视程度明显提高。2008年国务院办公厅4号文件、2013年国务院办公厅23号文件《关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》等国家重要文件,明确提出了全国范围内推进管网雨污分流改造的总体战略。2018年住房和城乡建设部与生态环境部联合发布《城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》,提出暂不具备雨污分流改造条件的,要控制合流制溢流污染。2019年4月住房和城乡建设部发布《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》,进一步对

“清污分流”提出了管理要求。从连续发布的多项政策要求来看,在优先提出要实施雨污分流改造的同时,已经开始关注和引导对合流制溢流污染的控制,但主要偏向对具体处理措施或处理方式的引导。面对复杂多样的排水系统类型、系统运行工况和不同现实条件,很多城市政府仍然缺乏针对合流制及相关排水系统问题的清晰的工作框架,以及科学、完善的“合改分”与溢流控制的决策依据。

上述法规政策的引导,在地方政府的执行过程中进一步强化,造成了上述部分城市的雨污分流改造工作面临极大的难度,甚至溢流控制策略反复的状况。在某种程度上,加剧了溢流控制子系统之间的不匹配、系统实施方案不合理的现象,造就了我合流制及相关排水系统的多样性。例如,以南方某城市为例,2010年启动雨污分流改造,实施过程中市民对工程建设的负面影响反应强烈,引起多方关注,2013年停工,2014年开始要求保留主城区合流制,推进新城区分流制建设,2017年几经争议,重新将雨污分流纳入排水管理条例,继续推进雨污分流的相关工作。在反复实施过程中,也形成了局部不彻底的分流制排水系统。而长期的雨污分流工程付出了巨大的代价,已实施分流改造的片区究竟削减了多少污染物,以及曾经使地方转向溢流控制改造的客观难题能否克服,仍有待进一步全面分析和讨论。

### 3.2 规范标准

我国现行标准规范体系中,《城镇给水排水技术规范》(GB 50788—2012)、《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,以及2014年版、2016年版)、《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017)、《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)都各有侧重地提及了合流制系统设计和溢流污染控制措施的设计方法和标准。但至今仍然没有专门针对合流制排水系统和溢流控制系统且内容全面的国家标准和技术规范,现有的标准规范难以应对如此庞大而复杂的系统工程之所需,造成工程设计中容易陷入局部设施规模和工艺而忽略系统关系,导致一些重大工程项目“摸着石头过河”的局面,也影响系统方案的科学合理性和工程实效。

由于缺乏长期研究,现行标准规范在某些重要术语、设计方法、关键参数、系统关系的处理等方面也存在一些问题,有些甚至容易形成误导,直接影响

工程和设施的设计,进而影响投资和实效,有时甚至造成“无效工程”。以截流倍数为例,“宜采用2~5”的取值范围比较宽泛,尚缺少对适用条件、各系统匹配等方面具有指导性、系统性的说明和要求,一些设计人员设计中忽略系统关系、盲目取值就会出现上述“厂前溢流”“无效截流”等情况。

总体来说,这些标准规范存在如下问题:①对合流制本身的系统性、全面性的深度分析和阐述不足;②对我国合流制及相关排水系统的特殊条件缺少针对性的系统解决策略和方法;③对某些重要术语如“初期雨水”等的不当使用或混乱使用。这些问题的存在,一定程度上使设计人员陷于困惑,直接影响工程项目、设施规模的合理设计和实施效果。

### 3.3 综合建设管理水平

建设与管理水平是造成我国城市排水系统的复杂程度和困境的重要因素,对排水系统质量、运行效能和使用寿命有着长期的持续性影响,所造成的危害短期内难以修复,有些甚至不可逆转,并形成系统性影响,使大量新建设施的效果大打折扣。一些城市排水系统频繁出现严重的淤积、破损、渗漏、错接等问题,又进一步加剧了我国合流制及相关排水系统问题的复杂程度和危害性,而且有些修复需要付出极大的代价,甚至已经难以修复。

#### ① 非法连接和违规排放

由于对城市排水及相关公共设施的监管、合理利用与保护意识不足,2014年1月1日起施行的《城镇排水与污水处理条例》中即明确提出分流制地区禁止污水接入雨水管网的法律要求,且旧城区改造不得将雨水、污水管网相互混接。但由于城市管理执法不严、违法成本低和市民行为的惯性,城市建成区的非法连接与违规排放现象并未消除,实际实施效果有限。此外,在《城镇排水与污水处理条例》等相关法规实施前,不少城市已形成大量区域的管网混接、错接与乱接现象。这些比较混乱的排水系统连接状态,不仅加剧了现状排水系统的混乱,也对正在建设的相关工程和未来的规划建设造成重大影响。

#### ② 建设质量和运维水平

由于建材质量与实施过程中的专业管理不足,造成城市排水设施存在局部错口、基础塌陷、管材变形等多种病害,造成合流制及相关排水系统传输污染物过程中的漏损、转移排放和低效处理等问题。

以管网渗漏问题为例,由于建设质量、运维管理的综合原因造成的管网渗漏,进一步会导致如下问题:a. 日常合流污水与河水、地下水连通,使污染物在传输过程中不断稀释,造成污水处理厂进水浓度和处理效率的大幅降低,且部分污染物直接在传输过程中直接排放;b. 容易形成高水位运行,造成截污干管雨天截流能力大幅降低;c. 降低管网旱季流速,加剧沉积等一系列问题。再如,部分区域由于缺少足够的截流管道施工作业空间,采用“沿河挂管”“河内开槽”等截流形式,因设计合理性和施工质量等问题导致截流系统中途漏排、渗排、直排,截流系统实质上没有发挥作用。而在地下水位较低的北方或西北地区,管网破损、渗漏则导致污水直接进入地下而污染地下水,构成另一方面的严重问题。

大部分城市因涉水设施运维管理人员的专业水平和运维手段落后,加上经费不足等综合原因,又持续性地加剧了排水管网问题所带来的影响。如部分管网、检查井、截流井等由于长年失养,无法正常工作,而这些关键节点的失效将直接影响系统整体的收集、截流与处理能力,极大降低系统整体的运行效率。此外,部分城市由于运维管理不足导致管道内形成大量沉积,暴雨时冲刷加剧溢流污染对水体的冲击影响。近年来,发达地区城市在这方面有了较大改观,但欠发达地区的情况依然严重。

### 3.4 城市排水系统相关改造形成的衍生影响

除政策法规、规范标准与建设管理水平对排水系统的影响外,部分城市近年来在排水系统改造过程中,由于缺少系统考虑,一些头痛医头、脚痛医脚的简单化改造方式对既有排水系统造成了其他的衍生影响,反而新增或加剧了污染危害或洪涝风险。

① 排水系统改造不当造成的影响。针对溢流污染和管道混错接导致的污水直排,部分城市为了应对检查或考核,不是从系统根源上去解决问题,而是采取对入河雨水排口及溢流口的简单粗暴的改造,有些采用闸门等设施控制排口开闭,有些则直接对排口进行临时或永久性封堵。一方面加剧管内高水位、沉积物累积等问题,另一方面由于很多城市排涝除险系统(又称大排水系统或超标雨水径流控制系统)缺失,管网系统排水能力不足,封堵改造又进一步加剧了城市内涝风险。

② 水系改造的衍生影响。基于防洪、营造景观水面等需求,部分城市在水系内设置闸、坝等设



施,对水系水位、流向等进行人工干预和调度,常见如汛期城防“大包围”防涝工程,以及部分城市开展的河道蓄水工程。这些水系改造工程不仅显著改变了城市河道的自然水位和运行状态,还造成部分管道和排口淹没在水系常水位以下,是导致或加剧管网系统高水位运行的重要原因之一,造成一系列连续性影响。

## 4 我国城市合流制及相关排水系统特征

### 4.1 合流制及相关排水系统的多样性与复杂性

由上所述,与许多发达国家比较,我国的合流制及相关排水系统呈现出明显的多样性,和多种实质上的“雨污合流”排水系统并存的复杂状态,大大增加了制定对策和实施治理的难度,也增大了需要付出的代价。因此,必须正视我国城市排水系统的严酷现实,在制定策略时必须保持应有的慎重和很强的针对性。

### 4.2 溢流问题的严重性

我国合流制及相关排水系统在其本身系统特点和外部条件的综合影响下,相比发达国家,雨污合流污水的溢流污染形成更为严重的危害。主要体现在:

① 高比例混错接的分流制排水系统、不完整的分流制排水系统、高水位形成的“憋排”排水系统等仍然存在不同程度的旱天污水直排问题。由于建设、维护、管理等人为因素,造成管线处于失养状态并形成大量病害,导致污染物在转输过程中,通过渗、漏等多种形式污染水体。

② 雨天溢流污染更为严重,对水体的冲击影响更大。这是因为:a.雨水径流污染负荷本身就高;b.溢流控制措施缺乏或不完善;c.城市管道淤积、污染物沉积等因素的综合影响,暴雨时,雨污合流污水携带大量管道沉积物排入水体,溢流量大且排放的污染物浓度高。在不少城市的溢流口,雨季都曾出现非常严重的黑水区和大量漂浮物。

美国 EPA 在 2001 年针对合流制溢流问题影响和控制情况的研究报告中,对全国范围的监测样本进行了研究,结果显示未经处理的合流制溢流污染  $BOD_5$  为 25 ~ 100 mg/L, TSS 为 150 ~ 400 mg/L; 日本 2002 年 5 月发布的《合流制下水道改善对策相关的研究报告》显示,溢流污染物  $BOD_5$  为 20 ~ 100 mg/L, COD 为 20 ~ 100 mg/L。而基于北京<sup>[14]</sup>、上海<sup>[15]</sup>、合肥<sup>[16]</sup>、武汉<sup>[17]</sup>、固原等地区对合流制区域

雨季溢流污染的监测数据分析与现场观测,我国溢流污染物平均浓度范围明显高于上述发达国家,部分检测结果表明合流制溢流污染物 COD 高达 1 000 mg/L<sup>[18]</sup> 以上,在不少城市已经成为水环境质量的重要甚至首要威胁。

### 4.3 各地排水系统改造条件的显著差异性

由于合流制及其排水系统特征和外部条件的综合影响,导致我国各个城市合流制问题危害程度、现存排水基础设施运行情况差异极大,并具有一定程度的区域性特征。不同城市经济条件和发展水平的差异,使其在短期内要实现的改造目标、实施策略、面临的难度和具体做法上,具有显著差异性。主要体现在:

① 不同城市或同一城市的不同区域,合流制及相关排水系统改造面临的改造难度和瓶颈问题不同。一般来说,超大城市、大城市的合流制及其相关排水系统的完善程度、建设管理水平、经济实力优于中小城市和欠发达地区。但超大城市、大城市的合流制区域通常规模较大,处于建成区的核心区域,系统决策中非技术因素往往形成制约性影响,不仅包括地上和地下空间(如大城市地铁)、历史建筑遗产、本地风貌或国防要求等限制性条件,还涉及支付巨额的土地成本和造成的重大社会影响,成为大城市合流制系统改造的瓶颈问题。小城市受非技术因素制约相对较小,但排水系统基础条件薄弱、建设管理水平不足,在新建基础设施的同时往往要考虑现存基础设施的修缮和重建,面对巨额资金和长期投入则捉襟见肘。

② 城市所在区域的自然地理特征、水文地质条件、人为因素等综合造就了现状排水系统的类型和运行状态,并直接影响各城市溢流控制技术路线的选择,体现出一定的区域性特征。例如,前述高地下水位地区出现的管网高位运行问题,就是比较明显的区域共性问题。华北、西北等地区,长期污水的渗漏,不仅造成地下水污染,还会导致部分区域路面基础塌陷,成为另一种重大安全隐患,同样具有比较明显的区域性特征。

## 5 展望

近年来,城市合流制排水系统的改造与溢流控制被摆到了更为显著的位置,也已成为一些城市的迫切任务,促使业内对上述问题的系统性认识和关键环节的讨论不断深入,从而引发对现状的进一步

思考和探讨。鉴于上述我国城市合流制及相关排水系统的突出特征,在国内前期已经开展的大量工作与取得的宝贵经验的基础上,仍需要进一步厘清和解决好以下几方面的突出问题:

① 对合流制系统本身的复杂性,以及我国特殊条件下的合流制排水系统及相关雨污合流排水系统的多样性有充分的认识。在讨论合流制系统问题时,都应首先明确讨论对象的排水系统类型,全面评估当地多种排水系统的实际情况;搞清源头减排、雨污水管网收集系统、截流系统与污水处理厂的实际能力和各子系统匹配关系,形成对本地合流制及其相关系统比较全面和深入的认识。

② 必须有清晰、明确并适合各城市的国家顶层设计,包括一般原则、法律法规、政策和普适性的技术指导等。同时要避免“顾此失彼”和一刀切、简单化的“达标”要求。充分引导各地方政府基于排水系统条件、技术经济的分析,通过技术路线和方案比选,因地制宜地确定实施路径,编制长期规划,并逐步跟踪评估,适时调整,制定科学合理的路线图,逐步实现控制目标。

③ 针对我国比较特殊的多种“雨污合流”的排水系统,应基于实施改造的可行性、污染物削减量情况、经济效益分析,综合决策“合改分”以及溢流控制策略,并始终围绕污染物总量削减做出慎重、客观、合理的判断。

④ 强化建设管理、执法管理和维护管理工作,切实对既存的基础设施、未来的建设项目建立比较完善、严格的建设管理体系,从源头上消除导致排水系统问题的各种危害因素。

⑤ 需要制定具有强指导性、科学合理、清晰明确、系统结构完整、可遵循易操作的合流制溢流控制专项规范标准或技术指南。

⑥ 必须协调好合流制排水系统改造和溢流控制与海绵城市建设、污水处理提质增效、黑臭水体综合整治、城市排水防涝等密切相关的水领域及其重大工程项目的衔接关系,避免系统割裂和分别实施,以提高整体的投资效益。

#### 参考文献:

- [1] 王淑梅,王宝贞,曹向东,等. 对我国城市排水体制的探讨[J]. 中国给水排水,2007,23(12):16-21.  
Wang Shumei, Wang Baozhen, Cao Xiangdong, et al.

- Discussion on Chinese urban drainage system[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(12): 16-21 (in Chinese).
- [2] 张鹏. 贵阳南明河流域径流污染控制策略研究[D]. 北京:北京建筑大学,2016.  
Zhang Kun. Study on Control Strategies of Runoff Pollution in Nanming River Basin of Guiyang [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2016 (in Chinese).
- [3] 季永兴,刘水芹. 苏州河水环境治理20年回顾与展望[J]. 水资源保护,2020,36(1):25-30.  
Ji Yongxing, Liu Shuiqin. Review and prospect of Suzhou Creek water environment treatment in 20 years [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1): 25-30 (in Chinese).
- [4] 车伍,唐磊. 中国城市合流制改造及溢流污染控制策略研究[J]. 给水排水,2012,38(3):1-5.  
Che Wu, Tang Lei. Research on strategy of China combined sewer system retrofitting and combined sewer overflow control[J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(3): 1-5 (in Chinese).
- [5] 徐晓梅,黎巍,何佳,等. 昆明主城合流污水调蓄池截污效能模拟[J]. 环境科学研究,2012,25(10):1180-1186.  
Xu Xiaomei, Li Wei, He Jia, et al. Simulation study on the interception efficiency of rainwater storage tanks in Kunming [J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(10): 1180-1186 (in Chinese).
- [6] 林文杰,赵俊凤,吴慧英. 东濠涌深隧工程对初雨污染的减排效果初探[J]. 人民珠江,2014,35(5):72-75.  
Lin Wenjie, Zhao Junfeng, Wu Huiying. Preliminary study on the emission reduction effect of Donghaochong deep tunnel project on initial rain pollution [J]. Pearl River, 2014, 35(5): 72-75 (in Chinese).
- [7] 赵敏华,龚屹巍. 上海苏州河治理20年回顾及成效[J]. 中国防汛抗旱,2018,28(12):38-41.  
Zhao Minhua, Gong Yiwei. Review and effect of Suzhou Creek management in Shanghai in the past 20 years [J]. China Flood & Drought Management, 2018, 28(12): 38-41 (in Chinese).
- [8] 刘绪为,胡坚,王浩正,等. 基于TMDL的金山湖水环境治理模拟耦合计算与实践[J]. 中国给水排水,2020,36(1):105-109.  
Liu Xuwei, Hu Jian, Wang Haozheng, et al. Simulated coupling calculation and practice of water environment

- treatment in Jinshan Lake based on Total Maximum Daily Load[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(1): 105–109(in Chinese).
- [9] 奉桂红,刘世文,胡永龙. 深圳市实施排水系统分流制的探讨[J]. *中国给水排水*, 2002, 18(10): 24–26. Feng Guihong, Liu Shiwen, Hu Yonglong. Discussion on the practice of combined sewerage system in Shenzhen City[J]. *China Water & Wastewater*, 2002, 18(10): 24–26(in Chinese).
- [10] 赵泽坤,车伍,赵杨,等. 中美合流制溢流污染控制概要比较[J]. *给水排水*, 2018, 44(11): 128–134. Zhao Zekun, Che Wu, Zhao Yang, *et al.* Summary comparison of combined sewer overflow control between China and the United States[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2018, 44(11): 128–134(in Chinese).
- [11] 潘国庆,车伍. 国内外城镇排水体制的探讨[J]. *给水排水*, 2007, 33(增刊): 323–327. Pan Guoqing, Che Wu. Discussion on town drainage system at home and abroad[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2007, 33(S): 323–327(in Chinese).
- [12] 高学珑. 截流式综合排水体制的提出与应用可行性分析[J]. *给水排水*, 2013, 39(5): 45–49. Gao Xuelong. Novelty and application feasibility of intercepting integrated drainage system[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2013, 39(5): 45–49(in Chinese).
- [13] 高学珑,彭海琴,蔡辉艺,等. 分散式截流排水系统的形式及应用探讨[J]. *中国给水排水*, 2016, 32(2): 6–10. Gao Xuelong, Peng Haiqin, Cai Huiyi, *et al.* Discussion on type and application of distributed intercepting drainage systems[J]. *China Water & Wastewater*, 2016, 32(2): 6–10(in Chinese).
- [14] 李海燕,黄宇,车伍,等. 非点源污染对北京城区典型流域水质影响的研究[J]. *给水排水*, 2007, 33(增刊): 60–63. Li Haiyan, Huang Yu, Che Wu, *et al.* Study on the influence of non-point source pollution on the water quality of typical watershed in Beijing urban area[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2007, 33(S): 60–63(in Chinese).
- [15] 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).
- [16] 李田,钱静,沈军,等. 合肥市排水系统雨天出流水质监测与分析[J]. *给水排水*, 2014, 40(2): 40–44. Li Tian, Qian Jing, Shen Jun, *et al.* Monitor and analysis on effluent water quality of the stormwater drainage system in Hefei City[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2014, 40(2): 40–44(in Chinese).
- [17] 汪常青,李燕. 水质模型在武汉水环境管理中的应用[J]. *中国给水排水*, 2011, 27(12): 9–13. Wang Changqing, Li Yan. Application of water quality model in water environmental management in Wuhan[J]. *China Water & Wastewater*, 2011, 27(12): 9–13(in Chinese).
- [18] 潘国庆. 不同排水体制的污染负荷及控制措施研究[D]. 北京:北京建筑工程学院, 2008. Pan Guoqing. Study on Pollution Load and Control Measures of Different Drainage Systems[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2008(in Chinese).



**作者简介:**赵杨(1986–),男,北京人,硕士,北京雨人润科生态技术有限责任公司总经理,主要研究方向为城市雨洪管理、合流制溢流控制、水环境综合整治。

**E-mail:** zhaoyang@bjyrrk.com

**收稿日期:** 2020–06–02