

• 水业导航 •

# 中国城市合流制改造及溢流污染控制策略研究

城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室 车 伍 唐 磊

近年来,我国许多大城市的污水处理率大幅提高,但是城市水环境质量却没有显著改善。例如北京城区污水处理率从上个世纪 90 年代初的 20% 提高到 2009 年的 94%,但是从近年《北京市水资源公报》所公布的水质数据看,城市河湖水体的污染问题并没有得到彻底解决,水质较差的水体所占比例甚至有升高的趋势。上海市中心城区污水处理率达到 85%,但城市河网水质仍不能达到水功能区划的要求。换言之,包括合流制溢流(CSO)污染在内的雨水径流污染是我国城市水环境的巨大遗患,因此,我国发达城市水环境污染治理的重点必将发生战略转移——城市非点源污染控制将成为未来水环境治理的重点和必然趋势。

合流制改造及溢流污染控制是我国一些城市迫切需要解决的重大问题,尤其像北京、上海这些靠加强点源污染控制对城市水环境的改善已不具备更大潜力的城市。

为了控制 CSO 污染,恢复受纳水体水质,世界上许多国家和城市长期以来都在积极探索并努力改善合流制系统。CSO 污染控制也是国际上近几十年乃至今后很长一段时期内城市水污染控制领域中重大的热点问题之一。

## 1 我国城市合流制改造策略及困惑

从 20 世纪 50 年代开始,我国一些城市就确立了新建城区采用分流制的规划设计原则,新建排水系统一般均采用分流制。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、客观因素的限制,许多城市老城区的合流制系统被大部分保留至今。

近年来,随着城市的发展、经济条件和城市水环境整治力度的大幅提高,许多城市投入大量资金对老城区原有合流制系统进行雨污分流改造:北京随着城区和道路建设将部分合流制管道改为分流制;上海部分城区一直在开展雨污分流改造工作;昆明

市近几年开始大规模实施主城区庭院和市政排水管网的雨污分流改造工程;南京、苏州、无锡、沈阳等城市也都主要采取“合改分”的思路,期望以此来减少合流制系统对水体的污染。

然而,由于在老城区进行雨污分流改造面临许多制约,不仅耗费大量资金和时间,改造工作困难重重,部分先行的改造也不彻底,效果不佳。一些城市经过多年的实践探索,已经逐渐对彻底“合改分”的思路产生置疑,并开始转变策略,尝试在原有合流制系统的基础上采取控制措施以减少 CSO 污染。事实上,这种改造策略的转变也正是许多发达国家多年来所经历过的。

面对我国城市自然和社会条件巨大的区域性差异、城市水环境和老城区合流制系统存在的种种问题,究竟应该采取怎样的改造策略和技术路线?是继续坚持整齐划一的彻底“合改分”策略,还是根据各城市的具体条件,因地制宜地制定“多路径”相结合的综合对策,在原有合流制的基础上完善其管道系统并同时采取各种 CSO 污染控制措施?对此,我国城市当前尚缺乏一个清晰、科学的全局性战略思路,工程界和学术界也存在很多的疑惑与争论,也成为我国城市管理和决策者亟需解决的问题。

## 2 我国城市 CSO 污染控制实施概况

随着城市非点源污染问题及合流制改造困难的日益凸显,CSO 污染控制逐渐引起重视,部分城市已开始实施或者规划实施一些 CSO 污染控制工程。2010 年上海在苏州河沿岸已建设 5 座总容积为 7 万多立方米的合流制调蓄池,还规划更大规模地建设多座调蓄池以及大型地下调蓄隧道,以减少排入苏州河的 CSO 污染。昆明近年来在城区实施截污工程,2011 年在二环内开工建设 18 座合流制调蓄池,总容积达 24 万多立方米,并规划提高合流制区域已有污水厂的处理能力以应对污水厂雨天增加的来水量。北京市近年已经实现了对合流制区域内旱

季污水的全部收集与处理,经过多年改造实施,目前对余下的合流制是否进一步全面“合改分”持慎重态度。2011年排水集团、规划院和北京建筑工程学院联合开展了“中心城区合流制排水系统改造规划研究”,提出近期“分-截-蓄”的改造技术路线:对具备改造条件的区域,继续实施雨污分流改造;对不具备“合改分”条件的区域,局部改造溢流井、增大截流管道截流能力,同时相应提高下游污水厂的雨天处理能力;在有空间条件的位置建设合流制调蓄池;通过这一系列措施来减少排入水体的CSO污染。

上海、昆明、北京等城市相继实施这些措施及相关规划,无疑都有助于我国城市进一步深入研究和开展CSO污染控制工作。但是,仍然存在以下一些问题,对我国城市科学开展CSO污染控制工作形成不小的障碍和阻力。

### 3 我国城市当前CSO污染控制的若干问题

#### 3.1 对合流制改造及CSO污染控制认识不足

总体上,我国城市对合流制改造及CSO污染控制问题的严重性、复杂性、长期性和艰巨性认识不足,重视不够。许多城市尚未把CSO污染控制工作提上日程,而一些城市则倚赖于领导的决心和短期的大投入来彻底解决问题。也许中国具有集中人力物力办大事的特色能够在个别城市创造“奇迹”——用很短的时间、很快的速度来实现这个目标,但国内外大量城市的经验已表明,这是一项长期而艰巨的工作,欲速而不达,寄希望于短期内彻底解决是不科学和不切实际的。

发达国家很早便开始重视合流制改造和CSO污染控制问题。许多城市都长期开展对CSO污染控制的研究与实践(详见第4部分),近年来仍在不断加大研究力度,寻求更高效的控制策略和控制措施,并制定未来的长期规划,这些可为我国城市提供明鉴。

CSO污染控制不仅关系到城市水环境质量的改善,而且关系到城市基础设施的规划与建设、流域治理以及城市可持续发展等重大战略问题。与发达国家相比,我国城市排水系统的建设和维护都很落后,雨水径流污染程度也更严重;各个城市之间降雨特点、经济状况、排水基础设施条件、污染程度等方面差异巨大;加之我国还没有制定CSO污染控制相

关的法律法规,公众对CSO污染问题缺乏了解,这些问题都严重制约我国城市CSO污染控制工作的有效开展与实施。

#### 3.2 “合改分”及CSO污染控制决策缺乏科学性

我国许多城市一方面没有认识到“合改分”面临难以实施的现实困难和巨大代价问题,另一方面又缺乏系统的研究和有说服力的科学依据及数据支持。将合流制改为分流制是一项非常复杂的系统工程,需要结合各城市的具体情况,对降雨特点、污染物总量、水环境、管道系统、城区地面及地下空间条件、城市规划及未来发展、资金条件等许多因素进行全面分析和研究,才能做出科学的决策,否则可能事倍功半,造成巨大的资金浪费且达不到预期目标。

各城市做出“合改分”的重大决策前首先必须思考和回答以下几大问题:第一,“合改分”的原因和目的;第二,“合改分”的基础条件和方案是否可行、能否承受改造需要的巨额资金和巨大代价;第三,能否较大幅度削减污染物排放总量、实现预期的效果。遗憾的是,我国许多城市“合改分”的决策并不能清晰回答这些问题,即缺乏科学论证和充分的依据。

(1) 不同城市的合流制系统可能存在不同的问题。除了CSO污染这一共性问题外,一些城市的合流制管道因年久失修而严重老化破损;一些城市则因早期设计标准偏低、排水能力严重不足而导致合流制系统超负荷运行,存在较大的水涝风险和溢流负荷;而有些城市的合流制管道相对完好等等。因此,制定合流制系统改造方案前,必须对管道及其运行状况进行系统的调查与研究,针对存在的不同问题制定相应的改造规划。对于管道破损严重、排水能力不足的合流制系统,或者整个城市要进行大规模的翻新和改造时,可以考虑随着旧城改造和建设实施大规模的雨污分流改造,但也需要对改造方案进行科学、系统的研究与评估。

(2) 需要客观、正确地分析和评估“合改分”的可行性。老城区一般地面建筑拥挤,路面狭窄,地下管线等基础设施错综复杂,一些城市还涉及历史遗产和文物保护、居民房屋拆迁等棘手问题。而雨污分流改造工程涉及面非常广,存在工程投资巨大、施工困难、损坏现有建筑和路面、影响交通和市民生活等诸多问题。从我国许多城市“合改分”的实施状况

看,由于改造过程中均遇到了一系列困难,远未真正实现完全分流的目标。例如北京中心城区,一些区域尚可随着建筑改造及道路的建设实施雨污分流,而在许多胡同和历史文物保护区域,“合改分”的难度极大甚至根本不具备改造的可能。

(3) 以 CSO 污染控制为主要目的之“合改分”,关键要评估改造之后能否显著削减排入水体的污染负荷。但是,从国内外一些城市的经验和一些研究数据看,“合改分”未必一定带来水环境的显著改善。一方面,许多城市的改造都难以完全和彻底,局部改造容易出现下游或上游仍然是合流管;另一方面,雨水径流也含有大量污染物,分流制雨水对水环境造成的污染同样不容忽视,在某些情况下甚至可能比 CSO 更为严重。丹麦最近一项研究用模型模拟分析“合改分”前后的变化:将某一合流制区域中的约 32% 改造为分流制,改造后溢流次数和溢流量分别减少了约 39% 和 43%,但是导致直接排入水体的总水量和 COD 年污染负荷分别增加了约 161% 和 67%;若将该研究区域的合流制系统全部改为分流制时,增加的污染负荷将会更大,对受纳水体造成严重的危害。根据北京的实测数据估算也能得到类似结论。此外,我国城市一些分流制雨水管道中出现较严重的新“合流现象”(雨污混接)也是不容忽视的问题。由此可见,“合改分”也必须考虑雨水径流的污染,否则可能得不偿失,达不到减少水体污染的目的,尤其对雨水径流污染较为严重的城市。

(4) CSO 污染控制还需要综合考虑“源头控制-截-蓄-处理厂匹配”等系统组合和设施规模的合理设计等工程优化和科学问题(限于篇幅,将另文专题讨论)。我国城市目前在 CSO 污染排放规律、系统控制以及一些关键控制技术的基础理论、科学的设计方法和参数、及实践应用方面都非常欠缺,基本上还处于局部摸索阶段。

总之,由于长期以来倚重彻底“合改分”的单一思路和规划,对 CSO 污染及其控制的基础研究薄弱而滞后,并且由于相关政策法规的缺失以及排水管网设施等方面长期的“欠债”,许多城市严重缺乏基本资料和基础数据,导致在制定合流制改造及 CSO 污染控制策略和技术路线时存在很大的困惑和盲目。

### 3.3 缺乏清晰的战略思路和近、远期规划

正是由于长期以来认识不足、重视不够和研究薄弱,导致各城市合流制改造及 CSO 污染控制的战略思路不清晰,缺乏科学、系统的近、远期规划。

合流制改造和 CSO 污染控制问题非常复杂,并且涉及到城市及其基础设施的长期发展和建设,因而需要各城市制定长期规划。美国环保局在 1995 年就发布了 CSO 长期控制规划指南,并规定各城市必须制定 CSO 污染控制长期规划。华盛顿、纽约等城市最近还制定了未来二十年的 CSO 污染控制规划,来逐步解决 CSO 污染问题。值得特别一提的是,美国环保局长期以来,在城市径流污染控制及 CSO 污染控制方面发挥出巨大作用,这方面的工作必须引起我国国家环保局的重视。

我国城市应根据各自不同特点有针对性地开展研究,明确城市合流制系统现状及存在的主要问题、解决这些问题的战略思路、技术路线和主要措施等。依据清晰的战略思路,制定合流制改造和溢流污染控制的近、远期目标及其规划,并对规划方案和措施的实施进行长期监测与评估,进行及时、必要的修订和调整,才能最终实现对 CSO 污染的有效控制。

### 3.4 CSO 污染控制理念落后、技术单一

我国城市目前主要通过采取“合改分”、扩大截流管道、设置调蓄池等传统雨洪管理理念和灰色基础设施来控制 CSO 污染。然而,传统方法除了实施难度大、影响面广、持续时间长等弊端,最为突出的还有高昂的建设、运行维护费用及较低的控制效率问题。例如,许多城市都在建设或者规划建设大型调蓄池,作为 CSO 污染控制的一种主流技术,调蓄池虽然技术简单成熟,但需要较大的容积和地下空间,及非常大的投资。由于 CSO 过程影响因素多、污染物输送规律复杂,如何利用有限的容积高效率控制溢流污染尚未得到合理解决。从上海已经投入使用的调蓄池运行效果来看,虽然对 CSO 污染物的削减起到了一定的作用,但控制率较低且不稳定,相对于较高的工程投资及运行维护费用而言,实际控制效果不尽人意。

传统灰色基础设施采取大型的集中控制措施对 CSO 进行中途和末端控制,而仅仅依靠这些方法单独作用很难经济、高效地大幅度削减排入水体的污

染负荷,彻底的解决溢流污染问题。因而,需要寻求新的控制理念和更为经济高效的控制措施。

#### 4 发达国家合流制改造和溢流污染控制概况

总结分析发达国家在这个领域积累的经验对我国会有很好的借鉴。

##### 4.1 合流制改造和 CSO 污染控制的基本思路和经验

十九世纪中叶以后,发达国家一些城市开始建设合流制排水管道系统。到了二十世纪后半叶,随着人们对城市非点源污染及水环境保护的重视,越来越多的城市提倡将原有合流制系统改为分流制,人们普遍认为实行“合改分”是解决 CSO 污染的有效措施。然而,一些城市经过一段时期的实践后发现,城市水环境并没有显著地改善,大规模的改造困难重重且可能得不偿失,有些城市甚至不存在彻底改造的可行性和必要性。

从二十世纪八十年代开始,瑞典、美国、德国、日本等国家在很大程度上减少甚至放弃了“合改分”的做法,而是随着城市的发展因地制宜地不断完善排水系统、加强对城市雨水的综合管理,对雨水径流及 CSO 污染进行控制。尽管他们的不少城市至今也还在为此付出艰苦的努力,但长期的研究和实践,还是积累了不少好的经验:

(1) 许多城市都因地制宜地保留原有大量合流制系统,并通过提高管道截流能力、建设调蓄池和调蓄隧道、升级改造污水厂以提高雨天处理能力、加大对雨天溢流污水的处理等措施,进一步完善合流制排水系统及有效控制 CSO 污染。

(2) 制定各城市 CSO 污染控制中长期目标和规划;积极研发高效的控制技术及其装置,促进各种新技术的推广与应用,提高控制效率。

(3) 制定相关政策与法规,加大对公众的宣传教育,提高公众对 CSO 污染问题的重视,并且在某些项目中鼓励市民参与。

(4) 针对传统方法的局限和不足,近年来大力提倡采用绿色基础设施,以削减投资和提高控制效率。

##### 4.2 CSO 污染控制新思路——推广绿色雨水基础设施

近年来,发达国家提出的“低影响开发”(LID)和“绿色雨水基础设施”(GSI)得到越来越广泛的接

受和应用,已被证明是实现低碳、节能、生态和可持续的雨洪管理理念和技术体系。

美国一些城市也开始将 LID 和 GSI 应用于 CSO 污染控制,通过增加雨水径流的渗透和滞蓄,延缓雨水径流进入管道的时间,减小进入合流制系统的径流总量和峰流量,最终达到减少 CSO 发生的频率和溢流量的目的,这种策略具有节省投资、环境效益高等优点。

典型的例子如:波特兰市通过综合采用绿色基础设施与灰色基础设施对原有合流制系统进行改造,为城市带来了 6 300 万美元的经济效益;费城流域办公室 2009 年 8 月份的一份报告显示,在解决费城的 CSO 问题中,传统的灰色基础设施方法可发挥 1.22 亿美元的效益,而综合采用绿色基础设施能贡献 28.464 亿美元的效益;2010 年纽约市公布了一项“绿色基础设施计划”,通过采取一系列可持续的源头控制措施,如设置绿色屋顶、建设绿色道路和绿色停车场、增加湿地面积、采用透水铺装、安装雨水桶、建筑雨落管截流等,来减少进入合流制管道系统的雨水量。新计划将改变原来完全依赖传统的控制方法,取而代之的是绿色基础设施和传统灰色基础设施的组合,2011 年纽约市环保部门对各种 CSO 污染控制措施进行评估后决定,完全放弃彻底“合改分”的做法。绿色基础设施的兴起,也从另一方面说明 CSO 污染控制的难度和传统方法的局限性。

由于绿色基础设施在环境和经济效益方面的巨大优势,从目前来看,采用绿色基础设施与灰色基础设施结合的 CSO 污染控制策略正在美国各城市兴起,成为 CSO 污染控制一种新的发展趋势,值得我国城市借鉴与研究。

#### 5 我国城市合流制改造及溢流污染控制策略

要从根本上解决我国城市 CSO 污染问题,首先应转变对“合改分”的绝对、单一路径的依赖,及只依靠传统灰色基础设施来控制 CSO 污染的简单思路;基于新的雨洪管理理念和方法,根据各城市具体条件,通过系统、科学的研究,因地制宜地制定合流制改造及溢流污染控制策略与规划。

(1) 制定城市合流制改造及溢流污染控制总体规划

通过综合研究与分析城市规划及发展状况、合

流制排水系统状况、城市降雨特征、溢流污染负荷、以及地表水体环境等各种因素,基于对“合改分”方案的可行性分析,以及污染物总量控制、投资效益等量化分析,科学的制定城市合流制改造及溢流污染控制总体规划。对于需要进行“合改分”的区域,应采取雨水径流污染控制措施,并纳入整个城市雨水径流污染控制规划中;对于保留合流制的区域,则应系统地开展 CSO 污染控制,综合采取绿色基础设施与灰色基础设施,并加强非工程性措施。

(2) 制定 CSO 污染控制总体目标与近期及中长期控制规划

在水务、环保、市政、规划设计及科研等部门和单位的密切配合下,制定 CSO 污染控制总体目标。针对总体目标,运用新的雨洪管理理念和方法,因地制宜地制定 CSO 污染控制近期及中长期控制性详细规划。

(3) 制定 CSO 污染控制技术路线并进行系统决策

合理制定城市 CSO 污染控制技术路线,借助模型分析等手段进行系统决策与总体方案的优化。综合应用绿色基础设施与灰色基础设施,并利用非工程性措施保障各种控制措施的落实和推行。

(4) CSO 污染控制方案的实施及实施效果的监测与评估

进行措施的选择、组合和方案比选,科学合理地确定各子系统方案及控制设施的规模,保证控制方案的高效实施,并对实施效果进行持续的监测与评估,优化运行管理,及时修订与完善规划方案,最终解决城市 CSO 污染问题。

## 6 结语

我国城市水环境污染治理的重点迟早会向城市雨水径流、CSO 污染控制转移。近年来,北京、上海、昆明等城市逐步展开对 CSO 的污染控制,也必将引起更多城市的重视。但应认识到,合流制改造及 CSO 污染控制是一项长期而艰巨的工作,在这方面,我们欠债太多,还有大量的基础性工作要做,需要各城市开展深入的研究,在清晰的战略思路指导下,科学地制定合流制改造及 CSO 污染控制规划,进行系统决策,采取合理的技术路线和控制措施。尤其在做出大规模“合改分”重大决策的时候,一定要基于对城市具体情况深入、系统的研究,改造方案需要有科学的依据和数据支撑。各城市应改变依赖传统灰色基础设施的单一思路,充分借鉴发达国家已经取得的一些经验,应用新的理念和方法,同时尽快制定我国城市雨水径流和 CSO 污染控制的法律法规,综合采取绿色基础设施、灰色基础设施与非工程性措施,经济、高效地解决我国城市 CSO 污染问题,为恢复健康的城市水环境提供保障。