

美国合流制溢流控制规划及其发展历程剖析

程 熙¹, 车 伍^{1,2}, 唐 磊³, 杨 正⁴

(1. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 北京建筑大学 北京市可持续城市排水系统构建与风险控制工程技术研究中心, 北京 100044; 3. 中国城市规划设计研究院, 北京 100044; 4. 中国地质大学<北京> 水资源与环境学院, 北京 100083)

摘 要: 合流制溢流(CSO)控制是一项长期而复杂的系统工程, 一直是我国城市水污染控制中的“盲点”或薄弱环节, 近年来逐渐成为海绵城市建设和黑臭水体整治中的热点和难点。在近年提出并实施编制的排水防涝规划及海绵城市专项规划中都有所涉及, 但目前还缺乏明确、清晰的定位、控制目标、控制系统构建等综合性策略。美国开展 CSO 控制规划及实践已数十年, 积累了丰富的经验和宝贵的经验。对美国 CSO 控制规划及其发展历程进行梳理和分析, 简要介绍美国 CSO 控制政策及指南, 根据美国十余个城市和地区的 CSO 控制规划, 分析其不同发展阶段、特征和发展趋势, 特别是其中控制策略的重大转变及原因, 结合美国多个城市 CSO 控制规划的实例进一步阐述其发展特点, 对我国城市 CSO 的控制提供一个参照和有益的借鉴。

关键词: CSO 控制; 规划; 策略; 水污染控制; 合流制系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)06-0007-06

Briefing of the Overflow Control Plan and Its Development of the Combined Sewer System in the United States

CHENG Xi¹, CHE Wu^{1,2}, TANG Lei³, YANG Zheng⁴

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Beijing Engineering Research Center of Sustainable Urban Sewage System Construction and Risk Control, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3. China Academy of Urban Planning and Design, Beijing 100044, China; 4. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: As a long-term and complicated system project, combined sewer overflow (CSO) control has always been a ‘blind spot’ or weak point in urban water pollution control in China. Recently, CSO has gradually become a hot spot as it has close link with the national strategies of sponge city construction and black smelly water treatment. Although CSO has been involved in flood drainage and sponge city planning, it is still lack of comprehensive understanding of its role in these strategies including its position, control objectives and control system construction. Based on the extensive experience accumulated in practice of CSO control plan for decades in the United States, the CSO controlling plan and its development in the United States were summarized and analyzed. The corresponding policies and guidelines were also briefly introduced. Furthermore, different development stages and trends, particularly the major changes and causes of control strategies of the CSO plan were analyzed via the summarized CSO control

plans from more than ten cities and regions in the United States. It is expected that the development characteristics of the CSO control plan in many American cities could provide a good reference for CSO control in China.

Key words: CSO control; plan; strategy; water pollution control; combined sewer system

随着我国海绵城市建设和黑臭水体整治工作的推进,合流制系统的整治和 CSO 污染控制已成为许多城市面临的亟待解决的难题,近年来受到越来越多的重视,有些城市也相继开展 CSO 控制工程和相关规划^[1,2]。尽管在排水防涝综合规划及海绵城市专项规划中均涉及到 CSO 控制的内容,但两者均未明确 CSO 污染控制在规划中的定位、控制目标、系统构建等问题。不少城市的排水防涝综合规划简单地采用“合改分”来应付 CSO 污染问题,国内外长期以来的实践证明,我国目前全面采用这一策略的系统研究和科学数据支撑不足,推行难度极大,面临施工难、代价高、效率低、民怨大等问题^[3]。

美国 CSO 污染控制历经数十年,已经形成一套较完整的体系,上至国家法规政策,下到各个城市专项规划、工程实践。早在 20 世纪七八十年代部分城市已经开始制定地方 CSO 控制规划,到 1994 年,美国环保局(EPA)发布的 CSO 控制政策中,就明确要求各地开展 CSO 长期控制规划(Long Term Control Plan, LTCP)和实践,在发展过程中虽然也碰到不少困难,但也取得了许多成就和突破。

国内外长期的实践充分证明,CSO 控制确实是一项复杂、长期且艰巨的系统工程,必须予以足够的重视,CSO 控制规划及其指引作用就显得尤为重要。

1 美国 CSO 控制规划及其法规政策背景

20 世纪六七十年代美国就开始研究 CSO 污染控制,1972 年清洁水法建立了国家污染物排放许可制度(NPDES),严格控制点源污染。之后由于 CSO 对水体污染的严重性及其控制的复杂性逐渐凸显,1989 年美国环保局发布 CSO 控制策略,用于指导各地开展 CSO 控制,其中非常关键的一点,是将 CSO 认定为点源污染,纳入了 NPDES 排放许可体系,这对 CSO 的有效管控具有十分重大的意义。

EPA 在 1994 年正式颁布的 CSO 控制政策中,第一次明确要求各地开展长期控制规划,地方可以采取实证途径或者推测途径来满足水质标准。所谓实证途径,即证明长期控制规划能够实现水质标准;推测途径则是需要实现年平均溢流次数不多于 4 ~

6 次、溢流总量削减 85% 或者一定量的污染物削减。具体采取何种途径需要根据地方合流制系统特征和条件而定,这一要求为长期控制规划目标的选择提供了依据。CSO 控制政策中对长期控制规划的内容进行了规定,主要包括系统特征调研、公众参与、措施筛选等(见图 1)。为了进一步指导地方开展 CSO 长期控制规划,EPA 在 1995 年又发布了 CSO 长期控制规划指南。根据 EPA 在 LTCP 指南中的估算,实现全国 CSO 控制将至少需要大约 412 亿美元^[4],这对于地方财政是一笔巨大的开支,探索更经济合理的 CSO 控制策略成为共同的需求。

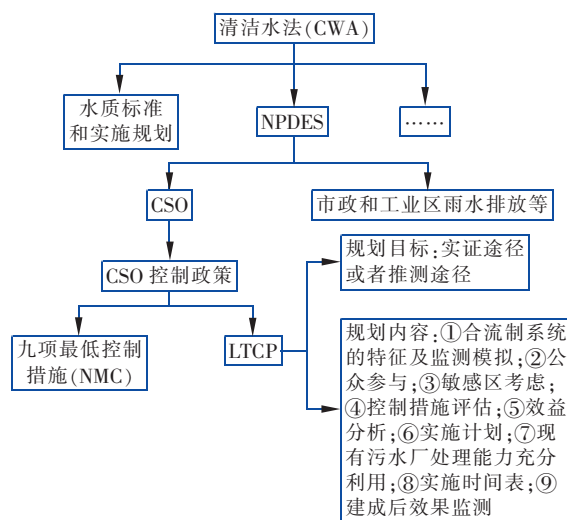


图 1 美国水污染控制相关法规及 CSO 长期控制规划

Fig. 1 Related water pollution control policies and CSO long term control plan in the United States

美国在 21 世纪初开始重视和提倡绿色基础设施(GI),并广泛应用于雨洪管理。由于 GI 能够有效削减城市径流和污染物排放,综合效益显著^[5],它为 CSO 控制提供了另一种经济高效的理念和方法,不少城市开始将 GI 作为 CSO 控制的一项重要措施,并纳入长期规划之中。在经过一系列研究和实践的基础上,EPA 明确开始在全国推广 GI 在 CSO 控制中的应用。2011 年 EPA 将 GI 理念纳入长期控制规划模板中,为小型社区提供实际的指导。与此同时,EPA 为了实现市政雨水及污水的经济高效管

理,同时提倡采用 GI 等可持续的控制措施,2012 年发布了《市政雨污水综合规划方法框架》(简称“综合规划”),其中包含了污水处理、CSO 及污水管道溢流(SSO)控制、雨洪管理、GI 和成本等主要内容,这将帮助各地更合理地安排项目及投资。2014 年,EPA 又在《绿色 CSO 控制规划:GI 的规划与模拟》中,更进一步强调将 GI 与 CSO 长期控制规划相结合,以发挥更广泛的环境和社会效益。

2 美国 CSO 控制规划的发展阶段

基于美国 CSO 控制政策及十余个城市和地区的 CSO 控制规划,对 CSO 规划发展的历程进行梳理和分析,发现其中有两个重要的转折点,分别是 1994 年 CSO 控制政策的颁布和 21 世纪初许多地区将 GI 纳入长期控制规划之中,这从 EPA 一系列政策文件的发布时间和地方 CSO 控制规划的更新时间不难看出。前者确定了 CSO 长期控制规划的必要性、重要性,明确了规划的具体内容、控制目标及其法律背景,因此,具有较强的指导性和可操作性;后者则是 CSO 控制理念和方法上的创新和重大转变。为了更清晰地了解美国 CSO 控制领域的总体情况和 CSO 规划的概貌,将美国 CSO 控制规划发展历程分为三个阶段:早期发展阶段(1994 年之前)、长期控制规划发展初期(1994 年至 21 世纪初)及长期控制规划“绿色化”发展阶段(21 世纪初至今)。

2.1 早期发展阶段

美国很早就开始重视 CSO 污染问题,20 世纪 70 年代部分地区在清洁水法的基础上开始制定 CSO 控制规划,而不少地区则是将 CSO 控制包含在排水设施规划或排水系统总体规划中,规划形式多样。这一时期在国家层面尚无明确的 CSO 控制目标,某些州或市在清洁水法的基础上确定了当地的 CSO 控制目标。以国王郡为例,根据其所在华盛顿州 1985 年颁布的《水污染控制法》,要求各地方开展 CSO 控制规划,尽早实现最合理的 CSO 削减,到 1987 年,这一要求明确表述为“每个溢流口未处理溢流的次数需要满足平均每年不多于一次的控制要求”。这一时期地方开展的 CSO 控制实践及规划为 EPA 后来制定 CSO 控制政策提供了宝贵的经验。

2.2 长期控制规划发展初期

尽管各地在上一阶段开展 CSO 控制取得了一定成效,但 CSO 仍然是公众健康和水环境质量的一大威胁。为了进一步让地方政府认识到 CSO 控制

的重要性、复杂性和艰巨性,1994 年,EPA 发布了 CSO 控制政策,并明确要求各地开展长期控制规划,其中规定了规划的主要内容及控制目标,缺少 CSO 控制规划的地区需要根据要求制定长期控制规划,已有 CSO 控制规划的地区则需要进行规划修编。同时,EPA 也提倡以流域为基础的方式开展长期控制规划,其最大优势是在制定水质控制目标时因地制宜地考虑 CSO 和非 CSO 污染的影响,如费城始终采用该方式来制定长期控制规划,原因是费城位于河流下游,无法控制上游来水状况,还面临基础数据不足等问题,难以评估水质污染类型及负荷。在规划目标选择上,多数地区选择相对易于量化和操作的溢流次数、溢流量或溢流污染物排放量作为 CSO 控制指标。当然,在制定控制目标时需始终围绕地方水质标准,同时重点考虑对生态敏感区的影响。

通过对十余个地区和城市这一阶段规划的总结分析,基本上所有地区规划的控制策略均以采用传统的灰色基础设施为主,包括雨污分流、截污干管新建、末端调蓄、污水厂升级改造等。以雨污分流为例,美国有合流制的社区数目从 1972 年的 1 300 多个下降到 1995 年的 1 100 多个,再到 2004 年的 722 个,将近一半的社区采取了完全雨污分流策略应对合流制问题。这表明,在特定条件下,雨污分流仍不失为可选择的方案之一,关键是,在 CSO 控制规划中必须根据当地实际条件,因地制宜,避免盲目和“一刀切”的简单化方式^[3]。美国部分地区和城市 CSO 控制规划目标与阶段性 CSO 控制效果见表 1。

表 1 美国部分地区和城市 CSO 控制规划目标与阶段性溢流控制效果

Tab. 1 CSO control plan objectives and phased overflow control effect of partial areas and cities in the United States

项 目	CSO 控制规划目标	CSO 控制实施时间段	对应溢流总量控制率/%
密尔沃基	平均溢流次数不高于 6 次或溢流削减率不少于 85%	1977 年—2002 年	80
波特兰	冬季不多于 4 次,夏季 3 年一遇不溢流	1993 年—2011 年	79
纽约	—	1972 年—2010 年	72
西雅图	平均未处理的年溢流次数不多于 1 次	1980 年—2010 年	60
圣路易斯大都会	溢流次数不高于 4 次	1980 年—2009 年	55

表1反映出,经过上述两个阶段,各地CSO控制实践取得显著成效,CSO控制规划的实施很大程度上改善了溢流状况,其中灰色基础设施发挥了“主力军”的角色,对于实现CSO规划控制目标有着难以替代的作用。但也必须看到,这期间的灰色基础设施耗费了大量的资金,加上旧城区地上和地下空间的限制,进一步改造或建设需要付出更大的代价。例如,纽约采用以灰色基础设施为主导的控制措施,将溢流总量控制率由30%提高到72%共花费15亿美元,这给地方财政造成了巨大的负担。另外,随着城市水环境质量要求及污染物总量排放标准日益严格,CSO规划控制目标进一步提高,传统控制措施已经不能或难以继续唱“独角戏”^[6]。

2.3 长期控制规划“绿色化”发展阶段

绿色基础设施为突破传统CSO控制策略的瓶颈提供了新的思路,相比传统灰色基础设施,它有着更显著的环境、社会及经济效益,因此“灰绿结合”逐渐替代传统灰色基础设施的发展理念。20世纪初,“绿色化”发展理念愈来愈多地融入到各地区的CSO控制规划之中,这对规划中的控制策略、措施选择、项目安排等产生直接而深远的影响。对绿色发展理念的重视与这个时期美国政府重视温室气体减排,并积极推动“碳减排”,倡导绿色经济的发展战略是一致的。美国五个城市最新的CSO控制规划中灰绿措施的投资占比见图2。

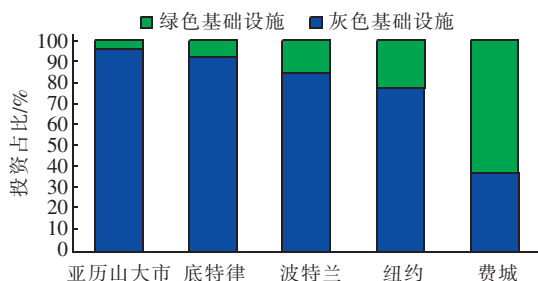


图2 美国五个城市CSO控制规划中灰绿措施的投资占比

Fig.2 Investment proportion of gray and green infrastructure in CSO control plans of five cities in the United States

从图2可看出,尽管GI受到空前关注,但除了费城绿色设施占有较大的比例,其他四个城市仍然是灰色设施占比较大。这可能有多方面原因,一是绿色化阶段尚处于发展前期;二是虽然GI能够有效削减进入合流制管道的雨水量及污染负荷,在特定情况下能够替代灰色基础设施或者推迟部分效益低的CSO控制项目,但许多中心城合流制区域的高建

筑密度缺乏足够的空间来实施绿色设施,审视一下北京二环以内和上海中心城的合流制区域类似情况就不难理解。此外,在许多老城区,其实无论采取灰色还是绿色基础设施,大范围、大规模实施的难度和资金投入均很大,而且绿色设施更多涉及非常有限的绿地空间和宝贵的土地资源,已不仅仅是简单的理念问题和设施本身的投资测算问题。这使得地方在实施CSO控制规划和大范围改造工程时面临着巨大的经济压力和社会影响的压力。在我国,目前推进海绵城市和黑臭水体治理中,这样的压力也已经凸显。因此,在CSO控制规划编制过程中,不仅需要因地制宜地进行系统决策、选择控制措施,同时还需要合理协调灰绿措施的比重和建设时序,以实现技术经济、环境和社会等多方面的优化。总体上,在美国多数地区已经开展了数十年CSO控制实践的基础上,城市灰色基础设施建设逐渐成熟与完善,但也面临一些困难和瓶颈。可以预见,未来绿色基础设施理念将更多地融入CSO规划之中。

2.4 美国未来CSO控制规划的发展趋势探讨

美国正式推行CSO长期控制规划已二十余年,在CSO污染控制上取得了显著的成效,但各地也面临着巨大的财政压力,需要在有限的资源下实现投资的最优化。另外,部分地区的CSO长期控制规划也暴露出局限于针对CSO问题,缺少对清洁水法的全面响应,这造成一些地方开展一系列水质控制规划时缺乏全局性、计划性与连续性^[7]。EPA于2012年提出的“综合规划”框架便是基于这一背景,旨在倡导地方采取综合性的规划实现市政雨污水的高效管理,同时推荐应用可持续的措施。长期控制规划能够为地方开展CSO控制提供全面的指导,而综合规划则是基于清洁水法的所有要求,实现CSO/SSO、雨洪管理、污水处理等的综合管理(见表2),综合规划是将公众健康和环境问题放在第一位。从表2可看出,相比CSO长期控制规划,水综合规划具有以下优势:①规划中综合考虑CSO/SSO、污水处理配套、分流制雨水及雨洪综合管理等问题,避免出现项目间的重叠与冲突;②鼓励非商业组织合作,加强部门协作的同时让更多的利益相关方参与进来;③具备更大的灵活性;④能够加速水质的改善,实现资金优化配置。总体来看,综合规划比长期控制规划范围更广,综合效益更显著,当然,操作难度也会更高。近年来,美国不少地区根据该框架以综

合规划的形式制定 CSO 控制规划或者对长期控制规划进行修编,包括 CSO 控制内容的综合规划是否会成为未来的一个发展趋势,还有待研究和观察。

表 2 CSO 长期控制规划与市政雨污水综合规划的比较

Tab. 2 Comparison of CSO long term control plan and integrated municipal stormwater and wastewater planning

项 目	CSO 长期控制规划	市政雨污水综合规划
法律依据	清洁水法 (NPDES)、CSO 控制政策	清洁水法 (NPDES、NPDES MS4 许可、TMDL)、CSO 控制政策
规划范围	CSO/SSO	CSO/SSO、污水处理、雨洪管理
规划目标	在清洁水法及水质标准为总要求下控制溢流次数、溢流量或污染负荷等	整体满足清洁水法及水质标准要求
主要内容	①合流制系统的特征及监测模拟;②公众参与;③敏感区考虑;④控制措施评估;⑤效益分析;⑥实施计划;⑦现有污水厂处理能力充分利用;⑧实施时间表;⑨建成后效果监测	①水质,人类健康和法规问题阐述;②现有系统和性能描述;③利益相关方参与;④评估和选择措施;⑤效果评估;⑥综合规划优化

3 美国 CSO 控制规划实例分析

美国 CSO 控制规划经历的上述三个阶段,特点鲜明。许多地区的 CSO 控制规划的发展历程基本符合这一规律,但又各有特色。

① 波特兰

波特兰是美国采用“灰绿结合”策略控制 CSO 的“先行者”,早在 20 世纪 90 年代就已开展断接、雨水花园等源头措施减少进入合流制管道的雨水量,同时结合雨污分流、调蓄隧道等灰色措施控制 CSO。1994 年该市编制完成 CSO 控制设施规划,将其作为长期控制规划实行。到 2011 年威尔米特河东岸 CSO 项目竣工,溢流总量控制达到 96%,其中断接一项技术措施就实现年溢流总量控制的 1/5 左右,这标志着波特兰 CSO 长期控制规划项目的完成。紧接着该市又开始实施长达 40 年的 CSO 控制设施规划,通过优化排水系统和实施 GI 进一步削减溢流量和溢流次数。波特兰 CSO 控制规划的突出特点是始终将源头控制措施纳入其中,GI 在 CSO 控制的各个阶段都发挥着重要的作用,为其他城市开展“灰绿结合”的 CSO 控制规划提供了很好的范例。

② 费城

由于费城位于河流下游,难以控制上游污染源

及来水水质,其 CSO 控制规划也很有代表性。在 1997 年制订的 CSO 长期控制规划中,费城就明确采用 CSO 控制政策中提倡的以流域为基础的策略,并将其作为流域综合管理规划的一部分。随着 GI 的推广及其显著的综合效益,2009 年费城对其长期控制规划进行更新,改名为“绿色城市,清水规划”,目标是在 20 年内实现合流制区域 34% 不透水下垫面 25.4 mm 降雨的径流控制,预计 GI 项目投资占比达到 63%。在确定规划中的控制策略时,费城采用以环境、社会及经济为“三底线”的评估方法量化 CSO 控制措施的综合效益。费城以流域为基础的 CSO 控制规划形式对位于流域下游的一些城市具有很好的参考意义,同时“三底线”方法可以成为措施选择重要的量化评估工具。

③ 西雅图

西雅图在 1980 年排水设施规划中开始强调优先开展生态敏感区的 CSO 控制,众所周知该区域对鲑鱼洄游的重要性和水质要求的严格性。在这个规划中,以及后来的 1988 年 CSO 削减规划及 2001 年 CSO 削减规划修编中主要采取建设调蓄设施的控制策略,而在 2005 年 CSO 削减规划修编的更新内容中,开始探索采取最佳管理措施 (BMP),2010 年的 CSO 削减规划修编中开始采用 GI。尽管到 2009 年西雅图已经将溢流总量降低了 70%,但每年仍然有近 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$ 污染水溢流进入水体,这与华盛顿州《水污染控制法》中“每个溢流口未处理溢流的次数需要满足平均每年不多于一次”的控制要求还有很长一段距离。因此,2012 年 EPA 和华盛顿州生态部门对西雅图罚款 35 万美元,同时要求其在 2015 年完成长期控制规划,并在 2025 年完成所有规划项目。最终,西雅图在 2016 年完成了西雅图水系保护规划并按此开展 CSO 控制,该规划包含了 CSO 长期控制规划、综合规划和环境影响分析三个部分。西雅图推荐采用综合规划的形式开展 CSO 控制,在实施对水质影响显著的雨水控制项目的同时推迟一些综合效益较低的 CSO 长期控制项目。西雅图是美国最早开展综合规划控制 CSO 的城市之一,它的实践为其他城市开展综合规划提供了借鉴。

4 对我国 CSO 污染控制的启示

在海绵城市建设和黑臭水体整治的热潮中,CSO 污染控制已经成为难以回避的一个重大问题,但我国十多年的研究和实践及美国长期的实践已充

分证明,这是一项长期而复杂的系统工程,必须从长计议。从美国的经验并结合国情,有以下几点启示:

① 完善 CSO 控制的相关法规。美国的经验表明,将重要的污染源及其控制纳入水污染控制的法规体系具有十分重大的意义。我国《城镇排水与污水处理条例》中,对合流制的污染控制重点主要还是放在雨污分流的策略上,而对难以实现合改分的地区,对 CSO 的控制还不够明确。一些城市在开展相关专项规划或 CSO 污染控制时,缺乏明确、清晰的管控依据,以及清晰的目标和系统的策略。考虑到 CSO 污染控制对实现海绵城市和黑臭水体治理目标的重要性、复杂性和长期性,我国必须加快包括 CSO 污染控制在内的相关法规的完善工作。

② CSO 污染的准确定位及其控制策略的科学性。近年来我国已有不少学者开展了相关的研究,一些城市如上海、北京、昆明、广州等都在积极探索 CSO 的污染控制,并开始了一些实践,但更多城市还在迷茫或等待、观望。从顶层和全局看,无论是国家已经发布的相关法规、政策还是专项规划,以及目前在推进的海绵城市建设和黑臭水体治理,关于 CSO 的控制策略总体上显得思路不清,路径不明,或比较简单片面。这不仅需要通过深入的研究和及时总结已有的经验,更需要加强对国际经验的总结,以此为参照,针对我国城市排水系统的一些特殊性开展比较研究,吸取有价值的经验,制定更全面、更长远、更科学的控制策略,减少一些不必要的弯路。近年来,通过不同途径组织的一些有针对性的专业考察团就是一项有效的措施,当然,仅此还远远不够。

③ 强化 CSO 规划指引,探索适合我国国情的专项规划发展方向。同美国提出 CSO 长期控制规划时的全国整体水质污染控制状况相比,现阶段我国仍面临较严峻的黑臭水体难题,部分地区 CSO、农业面源、工业点源、城市点源和面源等复杂的污染问题交织在一起,各地区、各流域甚至一个城市的子流域都面临不一样的问题。同时,由于缺乏长期全面的监测与数据积累,各污染源类型及其比重情况也不够清晰,在不少地区 CSO 污染仍未能得到足够的重视。尽管《海绵城市专项规划编制暂行规定》要求各城市 2016 年 10 月底提交规划成果,但有不少城市未能如期编制完成海绵城市专项规划,已完成的规划中 CSO 的控制策略也远未达到清晰合理的程度。鉴于我国城市水体污染状况、现有规划体系

及规划编制实施难度,目前在我国城市全面开展 CSO 控制专项规划的必要性和可行性还值得研究,但从长期来看,CSO 污染控制专项规划对许多大中城市是十分必要的,特别是对于合流制区域较大、“合改分”困难或者混接和 CSO 污染严重的城区。近期看,可以在排水防涝综合规划或海绵城市专项规划中以专篇来制定更全面、更深入、更合理的控制策略,已经完成规划而又未能很好解决这个问题的,则需要考虑规划的补充或修编。

参考文献:

- [1] 杨雪,车伍,李俊奇,等. 国内外对合流制管道溢流污染的控制与管理[J]. 中国给水排水,2008,24(16):7-11.
- [2] 车伍,葛裕坤,唐磊,等. 我国城市排水(雨水)防涝综合规划剖析[J]. 中国给水排水,2016,32(10):15-21.
- [3] 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.
- [4] Office of Wastewater Management, EPA. Combined Sewer Overflow Guidance for Long-term Control Plan [Z]. Washington:USEPA,1995.
- [5] 张伟,车伍,王建龙,等. 利用绿色基础设施控制城市雨水径流[J]. 中国给水排水,2011,27(4):22-27.
- [6] 唐磊,车伍,赵杨. 基于低影响开发的合流制溢流污染控制策略研究[J]. 给水排水,2013,39(8):47-51.
- [7] Office of Water, EPA. Achieving Water Quality Through Municipal Stormwater and Wastewater Plans [Z]. Washington DC:USEPA,2011.



作者简介:程熙(1991-),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向为城市雨洪控制利用。

E-mail:877385361@qq.com

收稿日期:2017-01-25