

# 美国合流制溢流污染控制灰绿设施结合的经验

赵泽坤<sup>1</sup>, 车伍<sup>1,2,3</sup>, 赵杨<sup>4</sup>, 张伟<sup>1,2,3</sup>

(1. 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; 2. 北京建筑大学 北京市可持续城市排水系统构建与风险防控工程技术研究中心, 北京 100044; 3. 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京 100044; 4. 北京雨人润科生态技术有限公司, 北京 100044)

**摘要:** 合流制溢流(CSO)污染控制是我国海绵城市建设与黑臭水体整治中的一个重点与难点,也是一项长期而艰巨的任务。灰色与绿色设施结合作为CSO污染控制的一项重要策略,在美国应用较早并取得了良好效果。分析了美国应用绿色基础设施(GI)控制CSO污染的背景,对纽约市、圣路易斯都会区、亚历山德里亚市三个典型地区的CSO污染控制实例展开重点剖析,并结合其他城市灰绿设施应用概况进行整体分析。针对我国CSO污染控制的现状和问题,提出了值得重视与借鉴的几点经验。

**关键词:** 合流制溢流; 灰色基础设施; 绿色基础设施

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)20-0036-06

## Experiences of Combination of Gray – Green Infrastructure for Combined Sewer Overflow Control in the United States

ZHAO Ze-kun<sup>1</sup>, CHE Wu<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Yang<sup>4</sup>, ZHANG Wei<sup>1,2,3</sup>

(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. Beijing Advanced Innovation Centre for Future Urban Design, Beijing 100044, China; 4. Beijing Yuren Rainwater Ecotechnology Co. Ltd., Beijing 100044, China)

**Abstract:** As an important and difficult point in national strategies of sponge city construction and black-smelly water treatment, combined sewer overflow (CSO) control has always been a long-term and challenging work. As an important strategy of CSO pollution control, the combination of gray and green infrastructures used in CSO control strategy was applied earlier in America and got good application result. Based on the background of the application of green infrastructure (GI) in CSO control, the key analysis was carried out with the CSO control cases of three typical cities: New York, St. Louis Metropolitan, and Alexandria. Combined with hybrid gray-green approaches in other cities, the integral analysis has been conducted. Aiming at present problems existed in CSO control measures in China, experience

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51608026); 高精尖创新中心科研项目(UDC2016040100); 北京建筑大学市属高校基本科研业务费专项资金资助项目(X18035、X18118)

that is worthy of attention is put forward.

**Key words:** combined sewer overflow; gray infrastructure; green infrastructure

合流制溢流(CSO)污染是我国许多城市尤其一些大城市水环境治理中亟待解决的重大难题。关于合流制排水系统及其溢流污染的控制,我国近年发布的一些新编或修编的规范标准有较大的突破,已经从过去简单化的“合改分”向综合整治转变,并开始重视应用绿色基础设施(GI)来控制CSO污染,如《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)指出,合流制区域应优先构建源头减排系统以减少进入管网的径流量。我国一些学者也从策略与决策、系统构建、技术措施、模型模拟等方面,进行了综合灰色和绿色基础设施控制CSO污染的研究<sup>[1]</sup>。

我国CSO污染控制的前期实践探索以灰色策略为主,如上海、昆明等城市为改善水环境质量,开展了截污干管、CSO调蓄池等项目建设;广州市正在建设我国首个深层隧道调蓄工程,以缓解溢流污染及内涝问题;不少城市制定及实施了雨污分流的改造计划<sup>[2]</sup>;此外,一些大城市也开展了调蓄隧道或调蓄池的可行性研究及相关规划。近年来,随着海绵城市建设与黑臭水体整治的推进,城市雨水与合流制溢流污染的控制任务更加紧迫,一些城市逐步开展灰色与绿色设施的结合建设,如池州、常德、嘉兴等城市综合规划实施了CSO调蓄池、生物滞留措施等。整体而言,我国专业领域对合流制系统改造及溢流污染控制的认识逐渐清晰,技术水平和工程实施能力都快速提高,但在灰绿设施结合的CSO污染控制策略制定和实施过程中,还缺乏强有力的支撑和保障,仍具有一定盲目性,存在系统性和科学性不足等许多问题。美国开展CSO污染治理工作已有数十年历史,在世界范围内较早推广灰绿设施结合的方法控制CSO污染,整体上取得了良好效果,其中不少经验值得我国参考。

## 1 美国CSO污染控制“绿色化”的背景

美国于20世纪中叶开始对CSO污染控制的研究工作,联邦环保局将CSO污染纳入到污染物排放许可证制度(NPDES)中进行管控,并出台CSO控制政策明确要求各地实施九项最基本控制措施、编制CSO长期控制规划等。21世纪初期及以前,美国CSO污染控制以管网雨污分流、截流管道修建、调蓄池及隧道建设、污水处理厂升级改造等灰色策略为

主,虽有一些绿色屋顶、雨水断接等GI项目,但由于缺乏完善的性能参数及可靠性验证,在CSO控制规划与实践中并未大范围、系统性地应用<sup>[3]</sup>。

随着CSO污染控制的持续推进,在取得一定效果的同时,多地也暴露出资金支付困难、空间限制、环境影响等一系列问题,仅依靠灰色设施已难以满足CSO污染控制及城市可持续发展的需求。而21世纪以来,GI的发展与实践经验的积累,其显著的综合效益受到广泛关注。2007年联邦环保局正式发布声明推广使用GI缓解CSO污染和其他城市水问题,并鼓励将GI纳入CSO长期控制规划。接下来几年里,联邦环保局相继发布了《绿色长期控制规划模板:小型社区CSO控制规划工具》、《绿色化CSO控制规划:GI控制CSO的规划与模拟》等系列文件,进一步推进与指导GI与CSO长期控制规划的整合。为更好地实现市政雨污水综合管理,2012年联邦环保局发布了《市政雨污水综合规划方法框架》,将CSO污染控制与雨水、污水等水问题相协调,强调了GI应用于流域综合管理的重要性。

地方政府多以与联邦环保局或州政府协商签署CSO裁定协议的形式,作为当地CSO污染控制的重要法律性依据。为更有效推进CSO污染控制策略的“绿色化”,纽约、费城、克里夫里等多地纷纷在CSO裁定协议中加入GI相关条款;其中部分地区对实施GI提出了强制性量化要求,如克利夫兰规定在8年内至少投资4 200万美元用于GI控制 $16.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的年溢流量。比较分析不同地区的CSO裁定协议,可以看出早期的裁定协议中多将GI作为环境补充项目或额外投资项目,而近期的协议中更多将GI整合到CSO污染控制的规划方案中,体现了美国多地在GI应用策略上的重要转变。

## 2 美国灰绿设施结合案例及分析

### 2.1 典型案例

美国不同地区在运用灰绿设施结合方法控制CSO污染中既有一定共性,又兼具不同特点。根据城市规模、现状条件及问题、控制策略等不同方面特征,选取纽约市、圣路易斯都会区、亚历山德里亚市三个典型案例进行重点剖析。

#### ① 纽约市

纽约市是美国人口最多的城市,排水面积的70%为合流制区域,其中72%为不透水表面。巨大的人口和发展压力,以及较高的合流制及硬化面积比例,一定程度上反映了许多大型城市在CSO污染控制中面临的普遍问题。

纽约市于20世纪50年代开始对CSO污染进行研究与评估,是美国较早开展溢流污染控制的城市之一。在前期探索中,纽约市以调蓄设施建设、污水厂升级改造等为主。1972年纽约市首座CSO调蓄设施竣工,有效存储容积为 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,并在20世纪90年代相继开展其他CSO调蓄设施的设计与实施工作。20世纪70年代中期到80年代中期,纽约市投入大量资金对当地污水厂的二级处理工艺进行升级改造,提高了对CSO污染物的处理水平。此外,纽约市还积极实施了设施运行系统优化、管道清理、水体漂浮物控制、河道整治等措施。在CSO污染控制取得一定效果的同时,昂贵的建设费用、巨大的环境及社会影响给纽约市带来了沉重的负担。

为响应国家政策及满足自身发展需求,2008年纽约市开始实施可持续雨水管理规划,推广GI应用于城市住宅、街道、公园等新建及改造项目中,是纽约市雨水管理“绿色化”的重要转折点。为更规范明确地实施GI控制CSO污染,2010年纽约市发布《绿色基础设施规划》,制定了一项灰绿设施结合策略,计划到2030年实施GI控制10%的合流制区域不透水面积上的25.4 mm降雨,建设29亿美元高性价比的灰色设施,优化现有排水系统,开展适应性管理及公众参与等。“适应性管理”是指对实施的项目进行监测与评估,并依据反馈信息及时对控制策略进行优化调整。2012年纽约市修改CSO裁定协议,宣布取消14亿美元的调蓄设施、污水厂扩建等项目,推迟20亿美元的灰色基础设施建设,并筹备1.87亿美元用于首个5年的GI建设。此外,纽约市环保局还承诺将GI纳入到CSO长期规划的编制中,细化GI具体的实施区域和技术措施。

纽约市的灰绿设施综合实施策略中,GI投资24亿美元,占比为45.3%。其制定过程中重点考虑了GI的综合效益,与前期制定的完全灰色设施策略相比,该策略可节省15亿美元投资,每年多控制 $760 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的溢流量,并在节能、房产升值等方面产生1.39~4.18亿美元的额外收益。截止到2016年,纽约市已有14座污水处理厂、4座CSO调蓄设施、

超过4000个GI资产应用于CSO污染控制中,每年能够控制80%以上的溢流体积。纽约市《绿色基础设施绩效指标报告》显示,第一个五年计划后,采用GI措施控制1.5%不透水面积的降雨,可减少 $190 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的年溢流量,约占年溢流总量的2.4%;2030年规划期结束后,通过GI可控制10%不透水面积的降雨,减少8.1%的年溢流总量。

## ② 圣路易斯都会区

圣路易斯都会排水区(MSD)服务人口为140万人,拥有全美第四大管道系统,其中合流制区域为 $194.2 \text{ km}^2$ ,占比约14%,大部分于20世纪20年代前建设完成。MSD有199个CSO排口,分布于密西西比河及其支流沿岸,管网老化及排口错综复杂是该地区CSO污染控制面临的突出问题。

MSD前期的CSO污染控制以灰色策略为主。为解决合流制污水直排问题,MSD于20世纪六七十年代进行了2座污水厂及其配套截流管网的建设,并在之后完善了污水厂的二级处理工艺。针对合流污水截流改造后的溢流污染问题,1988年MSD开始建造“溢流调节系统”,通过在CSO排口设置自动控制闸门等措施,提高管网的收集与短时间内的调蓄能力,每年可减少 $1.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 溢流量。针对截流与处理能力不匹配的问题,20世纪90年代MSD对当地2座污水厂进行升级改造,提升了超过 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的雨天合流污水处理能力,并进行了泵站等设施的扩建或完善。为进一步减少溢流污染,MSD投资6900万美元修建了一条直径为2 m的调蓄隧道,每年可控制 $128 \times 10^4 \text{ m}^3$ 溢流量,结合当地交通与住宅改造、管网修复等项目,有针对性地选择了44个CSO排口并制定及实施了雨污分流改造计划。

经过数十年的努力,MSD的CSO污染得到有效改善,但截止到2010年每年仍有 $5035 \times 10^4 \text{ m}^3$ 合流污水溢流。为达到每年不超过4次溢流的CSO控制目标,MSD于2011年修改CSO长期控制规划,计划在23年内建设3条调蓄隧道和1座调蓄池,进行局部雨污分流及处理设施建设,并投资1亿美元建设GI。其中GI重点在密西西比河附近区域实施,主要是由于该区域有大面积的空置或废弃场地,较易于绿色化改造。

为更有效实施GI,MSD首先投资300万美元进行为期5年的GI试点建设,监测评估项目绩效,并



开展公众教育与推广工作。研究发现,当地合流制区域较适宜采用绿色屋顶、绿色街道、绿色停车厂改造、雨水桶等 GI 技术措施,而由于土壤特性,不适宜采用快速渗透等技术。2016 年在试点项目经验总结的基础上,MSD 发布了绿色基础设施全面实施规划,要求采用 GI 至少控制  $(34 \sim 57) \times 10^4 \text{ m}^3$  的年合流污水溢流量,并对剩余 9 700 万美元的 GI 近远期实施计划进行了细化。除此之外,MSD 还制定了树木种植规划,目标是提高合流制 GI 项目区域 10% 的林冠覆盖率,并积极推广实施雨水断接、不透水面积改造等项目。

基于复杂的 CSO 污染及其排放特性,MSD 在长期规划制定过程中划分了七个子区域,并对源头控制、截流、调蓄和处理四类技术中超过 70 个具体措施分别展开适用性评估,共构建了 55 个不同组合的控制方案进行比选。MSD 综合分析了费用、CSO 控制效果、财政支付能力、可实施性、公众接受程度等要素,最终确定的控制方案中 GI 投资 1 亿美元,约占 CSO 控制投资的 5.5%。考虑今后发展过程中可能实施的其他 GI 项目,MSD 模型模拟预测未来通过 GI 可有效控制约 9.4% 的年溢流总量。

### ③ 亚历山德里亚市

弗吉尼亚州的亚历山德里亚市城市及人口规模较小,合流制区域位于东部老城区,面积为  $2.2 \text{ km}^2$ ,约占城市总排水面积的 6%。虽然合流制区域面积及比例较低,但长期以来 CSO 污染严重影响了当地水体水质达标与改善,成为了一类小型城市或城镇所不容忽视的问题。

亚历山德里亚市在 CSO 污染控制前期将雨污分流改造作为主要策略。1999 年该市出台了 CSO 长期控制规划,对 CSO 污染特性进行分析研究,细化了联邦环保局要求的九项最基本控制措施,并完善了公众参与及监管机制。2005 年该市制定了一项“合流制面积削减计划(ARP)”,要求所有开发者在合流制区域的新建和改造项目中进行分流制管网建设或改造,当实施较为困难时,项目开发者需向地方政府支付资金,由政府主导进行雨污分流改造。

基于雨污分流推进中遇到的一系列问题,该市发布的《可持续发展规划 2030》指出,在短期阶段继续实施“合流制面积削减计划”,并遵守 NPDES 的相关要求;在长期阶段通过比较调蓄、LID、雨污分流等技术措施,制定更经济高效的控制方案。截止

到 2014 年,该市的雨污分流改造由于施工及资金困难仅完成了  $0.057 \text{ km}^2$  的区域,每年仍有 50 ~ 70 次溢流,严重制约水环境改善。2016 年该市对原有 CSO 长期控制规划进行修订,计划在 20 年内投资 1.3 ~ 1.9 亿美元,建设 1 条  $0.6 \times 10^4 \text{ m}^3$  的调蓄隧道和 1 座  $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3$  的调蓄池,并结合 GI 实施进行局部雨污分流改造。该灰绿设施结合策略与 3.0 ~ 4.5 亿美元的完全雨污分流改造策略相比,具有显著的经济效益,并有着更高的可行性。此外,该市还积极向当地居民提供雨水桶,开展雨水收集利用项目,并制定了对私人开发商和业主的 GI 激励计划。

亚历山德里亚市将调蓄及处理作为 CSO 污染控制的主要技术,将 GI 作为一种补充性措施与灰色设施结合使用,占总投资的 4%,可进一步缓解溢流污染,并产生额外的经济、社会、环境效益。这是由于亚历山德里亚市约 71% 是不透水表面,GI 实施空间有限,通过在合流区域的可行性空间建设 GI,仅能减少 30% ~ 40% 的年溢流总量,并不能满足当地 CSO 控制目标,且如此大规模的实施 GI 可能会超过 2035 年的规划期限,而通过建设调蓄池、隧道等灰色设施可有效地将年溢流频率控制在 4 次以下。

## 2.2 整体分析

除以上列举的三个案例外,其他地区的 CSO 污染控制也各有特点。例如,费城将 GI 作为 CSO 污染控制的主要设施,并致力于建设成全美一流的绿色环保型城市,其 GI 投资比例高、实施力度大。波特兰市是灰绿设施结合控制 CSO 污染的“先行者”,并于 2011 年达到了 96% 的年溢流控制率的目标要求,随后该市又制定了长达 40 年的设施规划,侧重于实施经济高效的 GI 控制额外的 CSO 污染,以达到更高的水质水平。

笔者结合相关资料,对美国 10 个地区的灰绿设施应用概况进行了总结分析(见表 1),虽不足以反映美国的全部情况,但也具有一定的代表性。可以看出,美国不少地区的 CSO 污染控制经历了数十年努力并投入了以数亿美元计的资金,且仍在继续,其长期性、艰巨性显而易见。2007 年联邦环保局发布政策推广 GI 控制 CSO 污染是一个重要节点,随后几年各地纷纷修编原有规划,推广实施 GI 并与灰色设施结合,以达到 CSO 控制目标及水质标准要求。部分地区为更好地推进 GI 控制 CSO 污染,另外编

制了绿色基础设施规划,对 GI 的实施目标、具体技术措施、项目安排等进行了细化。

表1 美国10个地区CSO污染控制灰绿设施应用概况

Tab.1 Overview of application of CSO control gray and green infrastructure in 10 regions of the United States

城市或地区	CSO 控制目标	GI 实施控制目标	GI 控制比例/%	GI 投资/亿美元	GI 投资比例/%	前期投资/亿美元
费城(2011年—2036年)	85%年溢流控制率	34%不透水表面	23.9	16.70	69.5	—
纽约(2011年—2030年)	—	10%不透水表面	8.1*	24.00	45.3	15.0
华盛顿(2015年—2030年)	1~4次溢流	30%不透水表面	17.4	0.90	9.2	13.0
底特律(2010年—2029年)	—	两年一遇降雨条件下 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 径流	10.0~20.0*	0.50	8.3	7.60
圣路易斯都会区 (2011年—2034年)	4次溢流	$(34 \sim 57) \times 10^4 \text{ m}^3$ 年溢流量	—	1.00	5.5	6.40
堪萨斯(2009年—2034年)	88%年溢流控制率	3.4 km <sup>2</sup> 合流区面积	2.3	0.68	4.9	—
亚历山德里亚(2016年—2035年)	4次溢流	—	—	0.50	4.0	—
克利夫兰(2011年—2018年)	98%年溢流控制率	$16.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 年溢流量	1.1*	0.42	1.4	8.50
奥农多加县(2010年—2018年)	96%年溢流控制率	$94.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 年溢流量	6.3*	0.78	—	3.67
波特兰(2011年—2050年)	已完成	2.4 km <sup>2</sup> 不透水表面	—	0.86	—	14.00

注: GI 控制比例一列中,\*表示 GI 控制年溢流总量的比例,未加\*表示 GI 控制合流区域面积的比例。

从 GI 规划期限与实施目标方面看,相对长期的规划更多地选择合流区域不透水表面的面积或比例作为 GI 量化实施目标,其特点是易于整体规划布局、便于监测与考核;相对短期的规划更多的是采用年溢流控制体积作为 GI 量化实施目标,能较为直观地体现 GI 控制 CSO 污染的绩效水平,常常需要结合模型模拟进行分析计算。10 个地区中绝大多数 GI 的控制比例 < 20%,可以看出虽然 GI 备受关注,但灰色设施仍承担了大部分 CSO 污染控制任务,其重要性不言而喻,而合理地规划实施 GI 往往可以弥补灰色设施的不足,减少项目投资,提高整体效益。

从投资方面看,除纽约、费城 GI 投资比例较高外,超过半数地区 GI 投资在 10% 以下,多数城市对 GI 表现出“相对保守”的态度。笔者分析,这主要与当地 CSO 控制目标的达标情况、前期灰色设施完善程度、GI 可实施程度等诸多因素有关。此外,相较传统的灰色技术措施,GI 作为一种新兴技术还在发展完善,在多地实施的有效性尚未得到充分证实,因此推进过程中多采取适应性管理方式,依据项目监测和实施效果评估情况,适时进行调整,逐步优化控制策略,并决定未来绿色或灰色设施的投资额。

除此之外,密尔沃基市还制定了一项 GI 实施规划,目标是到 2035 年应用 GI 控制相当于全市所有不透水表面上 12.7 mm 的降雨;西雅图市制定了在

2025 年之前通过 GI 控制  $265 \times 10^4 \text{ m}^3$  年雨水的 GI 实施策略。此类在全市范围内推广的 GI 规划策略,类似于我国的海绵城市建设,虽不仅限于合流制区域实施,但对于减少雨水径流,结合灰色设施控制 CSO 污染,也起到了不容忽视的作用。

### 3 经验总结

结合我国在海绵城市建设与黑臭水体整治中 CSO 污染控制的现状及存在的一些问题,以下几点经验尤为值得我国关注。

#### ① 法规政策及责任部门的管控与导向

通过联邦法规政策的发布与修订,美国将 CSO 污染纳入 NPDES 排放许可制度,明确了 CSO 污染控制的基本要求及指导性意见等,地方层面以此为基准,补充完善相应的政策条例并制定有效的控制策略,形成了一套较为完备的管理与推进体系。同样值得重视的是,联邦环保局出台的一系列指南文件,对于推动和指导各地落实联邦政府的法规政策、实施 GI 控制 CSO 污染等,发挥了极为关键的作用。

#### ② CSO 污染控制的长期规划指引

基于 CSO 污染的复杂性及其控制工程的长期性与艰巨性,编制长期控制规划是美国各地广泛应用的一项重要举措。随着相关工作的推进、实践经验的积累和一些问题的暴露,结合 GI 等新理念、新方法的发展,各地也积极调整 CSO 污染控制的理

念、方法和策略,并及时修正或重新编制长期规划。

### ③ 不同地区 CSO 污染控制策略的差异性

联邦环保局并未对各地 CSO 污染的具体控制方案和技术措施选择等进行统一或量化的规定,各地结合自身实际情况因地制宜地制定相应策略。不同地区由于发展规模、本底条件、设施水平、资金情况、公众支持程度等不同,对灰色及绿色设施的定位、规划目标、技术选择、投资比例等都有一定差异。

### ④ 通过技术经济分析优化灰绿设施组合

CSO 污染控制系统中包含多种灰色和绿色技术措施,美国各地多通过详细的技术经济分析进行系统决策。即构建不同技术组合的控制方案,借助模型模拟、理论分析计算、会议研讨等方法进行评估与比选,最终确定最为高效合理的方案。此外,联邦及地方政府十分重视 GI 带来的环境、社会、经济等方面的综合效益,如纽约、费城、华盛顿等多个城市对其进行量化分析,并纳入到规划方案的决策过程中,以实现投资效益的最大化。

### ⑤ CSO 污染控制子系统之间的协调建设

实践表明,美国极为重视 CSO 污染控制不同子系统之间的协调建设。不少地区规划实施 GI 后,在满足 CSO 控制目标的前提下,为减少投资,取消或推迟了相应的灰色设施建设计划;许多地区在修建截流管网、CSO 调蓄设施的同时,对污水处理厂及泵站等也进行了相应的升级改造。CSO 污染控制的源头控制、截流、调蓄、处理等子系统相互关联,合理的配套与衔接对于优化资源配置、提升系统整体控制效果具有重要作用。

### ⑥ 雨污分流改造的针对性实施

美国许多城市的案例表明,完全雨污分流改造往往投资代价极大,常高于其他的控制方案,并带来巨大的环境及交通影响。此外,雨污分流改造也并非一定会减少污染物的排放,改造后的雨水系统及其径流污染仍然需要重视。因此,美国多数地区都是将雨污分流改造作为 CSO 污染控制的备选措施之一,有针对性地选择可行性强、投资成本低、实施效果好的区域进行改造,并充分结合其他技术措施统筹应用,而不是简单化的一概推行。

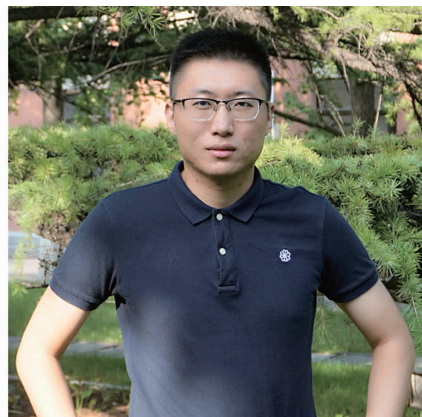
### ⑦ 适时评估调整控制策略

考虑现有技术及认识水平的局限,今后行业的发展与变革,以及 CSO 污染控制实践中可能存在的一系列不确定因素,不合理或“一刀切”的规定或实

施计划可能会带来极大的问题和损失。因此,对于 CSO 污染控制,尤其是包含 GI 的方案,美国大多通过适应性管理的方法,依据建设后项目的监测及评估结果,适时调整和优化控制策略,并有针对性地部署下一阶段的灰色或绿色设施建设计划。

### 参考文献:

- [1] 张颖,李田. LID 措施降低老城区合流制溢流污染的模拟研究[J]. 中国给水排水,2016,32(11):127-131.  
Zhang Ying, Li Tian. Simulation on LID measures for control of combined sewer overflows in existing urban areas[J]. China Water & Wastewater,2016,32(11):127-131 (in Chinese).
- [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.  
Che Wu, Ge Yukun, Tang Lei, et al. Analysis of integrated plan for urban drainage (stormwater) and flood control [J]. China Water & Wastewater,2016,32(10):15-21 (in Chinese).
- [3] 程熙,车伍,唐磊,等. 美国合流制溢流控制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:赵泽坤(1992-),男,河北沧州人,硕士研究生,研究方向为城市雨洪控制与管理。

E-mail:471416430@qq.com

收稿日期:2018-06-05