

美国合流制溢流控制标准分析及对我国的启示

贾楠¹, 王文亮², 车伍¹, 李俊奇¹, 王二松²

(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. 北京未来城市设计
高精尖创新中心, 北京 100044)

摘要: 合流制溢流(CSO)具有污水与降雨径流双重特性,受随机降雨、多污染源、阶段数据等条件影响,CSO 控制标准以基于控制效果的年均溢流频次、年溢流体积控制率和年污染物总量削减率为主;CSO 控制标准的确定以受纳水体水质为目标导向,以数据为基础,采用“流域治理、污染分担”策略,经技术经济分析确定。简要梳理了美国 CSO 控制标准确定的政策法规基础和方法,以期为我国 CSO 控制标准的确定以及“厂网一体、灰绿结合”技术路线、排放许可等配套政策法规的制定提供参考。

关键词: 合流制溢流; 控制标准; 美国; 启示

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0121-07

Analysis of Combined Sewer Overflow Control Standards of the United States and Its Enlightenment to China

JIA Nan¹, WANG Wen-liang², CHE Wu¹, LI Jun-qi¹, WANG Er-song²

(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 Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing 100044, China)

Abstract: Combined sewer overflow (CSO) has the dual characteristics of sewage and rainfall runoff, which is affected by random rainfall events, multiple pollution sources, periodic data and other conditions. CSO control standards are mainly based on the control effect, including annual average overflow frequency, overflow volume capture rate and pollutant loads reduction rate. The determination of CSO control standards is oriented to the target of receiving water quality, which is based on large amounts of data and determined by technical-economic analysis through adopting the strategy of “watershed treatment & pollution sharing”. The policy and regulatory basis and method for the determination of CSO control standards in the United States were briefly analyzed, so as to provide reference for the determination of CSO control standards, establishment of technology route of “integration of wastewater treatment plant and network, combination of green and grey infrastructure” and development of discharge permits and other supporting policies and regulations in China.

Key words: combined sewer overflow; control standard; the United States; enlightenment

随着海绵城市建设、城市黑臭水体治理、城镇污水处理提质增效等工作的不断深入,合流制溢流

(CSO)污染已成为不可避免且亟待解决的重大问题,CSO 控制政策法规、标准、综合措施、设施规模设计等方面的短板日益凸显,已成为科学开展 CSO 控制规划设计的重要瓶颈。

CSO 控制标准主要包括年均溢流频次、年溢流体积控制率和污染物控制,从各地近年编制的海绵城市专项规划、海绵城市建设与黑臭水体治理方案来看,多以年均溢流频次作为指标或标准;《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)中,首次在国家标准层面提出将年溢流体积控制率及处理设施的污染物排放浓度限值作为 CSO 控制效果的评价标准,并给出了具体的评价方法。然而,作为 CSO 控制规划设计方案制定首先要考虑的问题,指标如何选择、标准如何确定,仍值得深入探讨。

美国围绕 CSO 污染控制的政策法规、基础研究和工程实践工作已开展了数十年,围绕 CSO 控制标准这一基础问题,从政策法规体系和工程规划等方面分析美国在该方面的经验做法,有助于从降雨径流管控、城镇污水收集处理及城市水体环境质量改善等方面综合提高对 CSO 控制的认识,少走弯路。

1 美国 CSO 控制标准确定的政策法规基础

1.1 清洁水法(Clean Water Act,CWA)

CSO 作为点源污染,需满足美国水污染控制的第一大法案——清洁水法的如下规定:禁止违法排放污染物;满足基于技术(Technology-based)和基于水质(Water Quality-based)的排放限值;允许通过颁发国家污染物排放控制系统许可(NPDES Permits)授权满足 CWA 要求的污染物排放行为;允许州一级管理排放许可。其中,满足基于技术和基于水质的排放限值是 CSO 控制标准确定的重要依据^[1]。

① 基于技术的排放限值^[2]

基于技术的排放限值指根据现有技术的污染物处理能力(负荷或浓度)并考虑对受纳水体的影响确定的排放限值。对于污水处理厂,排放限值一般根据对二级处理出水的相关规定或州一级处理标准确定;对于其他处理设施,排放限值根据美国环保局(EPA)发布的排放指南、州一级处理标准或由排放许可撰写人根据项目具体条件通过最佳专业判断(Best Professional Judgment,BPJ)进行确定。

对于不同类型的污染物指标,CWA 给出了具体的基于技术的排放限值确定方法。BOD、TSS、粪大肠杆菌、油脂等传统污染物的排放限值采用最佳传

统污染物控制技术(Best Conventional Pollutant Control Technology,BCT)法分析确定,COD、TOC、N、P 等非传统污染物和有毒污染物的排放限值采用最佳技术经济可行(Best Available Technology Economically Achievable,BAT)法分析确定。

但 EPA 发布的排放指南中,未给出基于 BAT、BCT 方法的 CSO 污染物排放限值,许可撰写人需通过 BPJ 确定 CSO 基于技术的排放限值。

② 基于水质的排放限值^[2]

基于水质的排放限值指根据水体水质标准(Water Quality Standard,WQS)“反推”确定的排放限值,一般比基于技术的排放限值严格,短期内较难实现。WQS 包括水体设计用途及相应的水质指标标准(Water Quality Criteria,WQC),WQS 由州一级制定并报 EPA 审批,若未通过审批而且州不做相应修订,则由 EPA 代为制定,此外,州必须每 3 年对水质标准进行复议并提交 EPA 审批。

水体设计用途体现了民众对水体功能的基本需求,包括温水或冷水水生生物栖息、可游泳、可垂钓、可饮用、可灌溉、可观赏等。水质指标标准主要为支撑水体设计用途的化学、物理或生物指标,如重金属、致病菌、悬浮物、溶解氧、水獭或鸟类数量等。值得注意的是,水质指标标准是根据水体设计用途从科学性角度制定的,不受经济和社会因素影响,但 WQS 很难始终保持达标,从经济因素考虑,在特殊空间或时间内,水质指标标准可以进行豁免,如允许 CSO 排放口下游水体的局部区域(游泳海岸、贝类栖息区域及其他重要栖息地等区域除外)不达标,允许雨天超控制标准发生的 CSO 导致 WQS 临时不达标但水质指标值控制在允许的范围内等。

1.2 CSO 控制政策

美国具有针对性的 CSO 控制是从 1989 年 8 月 10 日 EPA 发布 CSO 控制策略(CSO Control Strategy)^[3]开始的。该策略的主要目的是:①确保旱天不发生溢流;②使所有雨天 CSO 排放口满足 CWA 基于技术和基于水质的排放限值要求;③最小化对水体水质、水生生物、人类健康的影响。

随后,1991 年,EPA 开始编制 CSO 控制政策(CSO Control Policy)来详细说明 CSO 控制策略以加快满足 CWA 的相关要求,并于 1994 年 4 月 19 日正式发布^[4]。该政策详细介绍了 CSO 排放许可持证人与许可撰写人、NPDES 许可管理部门、州水质标

准部门的责任,为各利益相关方统筹协调制定和实施CSO控制方案提供了操作指南。2000年,CWA进行修订,提出2000年12月21日后颁发的所有NPDES许可证均应符合CSO控制政策的要求。

CSO控制政策指出,许可持证人需制定和实施CSO九项基本控制措施(Nine Minimum Controls, NMC)和长期控制规划(Long-term Control Plan, LTCP),并纳入不同阶段或相关的(如污水处理厂排放许可)NPDES许可上报EPA或其授权的州一级NPDES许可管理部门审批,同时还要对各许可周期内CSO控制措施的实施、效果监测及达标情况进行报审。EPA或其授权的州一级NPDES许可管理部

门负责配合许可撰写人、持证人进行许可的编制和报批,并监管NMC、LTCP的实施与达标情况。州水质标准部门负责审议和修订受CSO影响的水体水质标准(WQS),如在特殊空间或时间内需对部分情形的CSO排放进行豁免时,州水质标准部门需配合持证人编制水质达标分析报告并报EPA审批。

1.3 NPDES 许可

CSO NPDES许可分为3个阶段,第1阶段(Phase I)只有1个周期,时限为5年;第2阶段(Phase II)有若干个周期,每个周期为5年,直至CSO控制项目全部实施完成后,进入第3阶段(Post Phase II),即运行期。每个阶段的内容见表1^[5]。

表1 CSO NPDES 许可各阶段的主要内容

Tab.1 Main contents of CSO NPDES permits

NPDES 许可要求	第1阶段	第2阶段	第3阶段
提出基于技术的排放限值	CSO 九项基本控制措施	CSO 九项基本控制措施	CSO 九项基本控制措施
提出基于水质的排放限值	定性标准	定性标准、基于效果的标准	定性标准、基于效果的标准、定量的基于水质的排放限值
监测	对合流制排水系统(CSS)运行情况、CSO 特征进行监测和模拟分析	①监测分析CSO对受纳水体的影响;②监测预评估CSO控制措施的效果	监测项目实施后的达标情况
报告编制	①NMC实施报告; ②LTCP临时提交版	CSO 控制措施实施报告	项目实施后达标监测报告
特殊要求	①禁止旱天溢流; ②编制LTCP	①禁止旱天溢流;②实施LTCP;③无法满足WQS时,协商制定WQS补充条款;④敏感水体再评价	①禁止旱天溢流;②无法满足WQS时,协商制定WQS补充条款

由表1可知,NPDES许可的第1和第2阶段,未给出定量的基于技术的排放限值,而是定性的要求,即实施NMC,原因在于,CSO控制政策指出NMC符合基于BPJ的BAT和BCT要求,即满足CWA基于技术的排放要求,至于为何未给出定量的基于技术的排放限值,是基于对造成CSO的降雨径流基本特征的认识——降雨径流及其所携带污染物的类型、浓度、总量具有很大的随机性,该特征决定了很难有径流控制技术能够实现稳定的水质处理能力。

NPDES许可的第1阶段,也未给出定量的基于水质的排放限值,原因在于第1阶段通过监测与模拟获得的CSO及相应受纳水体污染特征分析数据不足以支撑基于WQS反推确定CSO排放限值。而且,NPDES许可的第2阶段初期及CSO控制措施实施过程中获得的监测数据仍难以支撑制定较为准确的排放限值,直至进入第3阶段,全部CSO控制措

施实施完成后,才能获得直接且充分的数据证明能否达到WQS要求,故第2阶段同样未给出定量的基于水质的排放限值,而是采用定量的基于CSO控制效果的标准代替,即年均溢流频次、年溢流体积削减率、年污染物总量(如BOD、TSS)削减率等。

2 美国CSO控制标准确定方法

如前文所述,受数据不充分等条件所限,为满足CWA基于技术和水质的控制要求,CSO控制政策指出基于水质的排放限值可通过效果标准进行表达,为指导许可撰写人根据WQS及对CSO特征、受纳水体污染特征等的监测与模拟数据确定效果标准,并据此确定最佳CSO控制方案,CSO政策给出了效果标准的确定方法:推定法和实证法^[5-6]。

2.1 推定法

之所以称为推定法,是依据该方法确定的CSO控制水平并不能确保WQS达标,但基于LTCP及

NPDES 第1阶段和第2阶段对 CSS 运行情况、CSO 及其受纳水体污染特征的监测和模拟分析,采用该方法确定的 CSO 控制效果标准是经济合理的。

年均场次控制率是基于监测与模型模拟得到的各 CSO 排放口的多年平均溢流频次,年溢流体积控制率指多年通过雨污分流、截流、调蓄、处理等措施削减或收集处理的雨天溢流雨污水体积与总溢流体积的比值;年污染物总量削减率指通过年溢流水量控制与水质处理实现的特定污染物的削减量与污染物总量的比值。为制定3个控制标准,首先需要对 CSO 控制前的 CSO 体积、频次、历时等特征进行评估,得到现状条件下的基准值(Baseline)。

CSO 控制政策指出,以场次或体积作为控制标准时,得到控制的溢流雨污水必须进行污水处理厂一级处理或与之相当的处理、对悬浮物和垃圾等漂浮物进行处置、消毒并对化学残留物(如余氯)进行处理;对仍未得到控制的溢流雨污水,应最大限度参照以上要求进行处理,或进行深度处理后排放。

非常重要,参照污水厂一级处理工艺进行 CSO 雨污水处理并确定出水标准时,需注意 CSO 与污水明显不同:CSO 流量和污染物浓度受降雨径流影响是变化的、处理设施雨天旱天交替运行、CSO 雨污水中大颗粒物较多;此外,为最大程度利用或通过提升污水厂一级处理能力处理超过截流倍数的 CSO 雨污水,美国法规专门针对 CSO 提出污水处理厂可以超越二级处理(Bypass)对这部分雨污水进行一级处理及后续净化后排放的规定。

需明确的是,场次控制标准是基于 WQS,通过

体积或进一步通过污染物控制分析确定的。而且,虽然推定法以效果标准代替基于水质的排放限值,但许可证撰写人仍需要基于对 CSS、CSO 及受纳水体的监测和模拟,分析 CSO 体积控制对污染物总量排放的影响,评估是否满足受纳水体 WQS,并通过“费用-效果”分析,得出最优 CSO 控制方案。若不能满足 WQS,还需基于 WQS,在“费用-效果”最优基础上,确定仍需采取的 CSO 控制措施及投资。

如果数据分析表明,推定法确定的 CSO 控制标准不能实现 WQS 达标,则需要采用实证法。

2.2 实证法

采用实证法时,许可证撰写人必须基于已有监测和模拟数据,明确达到以下要求:①足以实现 WQS 达标,除非由于水体本底条件或其他非 CSO 污染源导致不能满足 WQS,也就是说,即使完全消除 CSO 也不能实现 WQS 达标;②如果其他污染源得到控制,制定的 CSO 控制方案足以实现 WQS 达标,此情形下,需在流域内实施 TMDLs (Total Maximum Daily Loads) 方案,需满足分配给 CSO 的污染负荷量削减要求;③确保 CSO 控制方案满足“费用-效果”最优;④不排除在“费用-效果”最优基础上进一步采取其他控制措施的可能。

无论推定法还是实证法,许可证撰写人均需要确定投资与年溢流体积或污染物总量控制效果的关系曲线,确定最优的 CSO 控制方案。由于实证法的要求较为严格和复杂,美国各州多采用推定法确定基于水质的 CSO 排放限值,总结美国部分城市的 CSO 控制效果标准如表2所示。

表2 美国部分城市 CSO 控制效果标准

Tab.2 Performance-based CSO control standards in some cities of the United States

项 目	年均溢流频次/次	年溢流体积控制率/%	主要技术措施	污染物控制标准或实现的水体水质标准	CSO 雨污水主要处理工艺
佐治亚州 亚特兰大市 ^[7-8]	4	—	调蓄隧道、部分合流制改分流制	污染物控制标准:年 TSS 总量削减率 $\geq 60\%$,年 BOD ₅ 总量削减率 $\geq 25\%$;处理设施实际运行出水 TSS 为 7~38 mg/L(平均为 25 mg/L,平均去除率为 80%),CBOD 为 22~177 mg/L(平均为 52 mg/L,平均去除率为 55%)	一级处理、过滤、紫外线消毒
马萨诸塞州 波士顿市 ^[9]	—	88	调蓄池/隧道、GI、CSO 排放口处理(安装自动堰门与闸门、漂浮物控制挡板等)、部分合流制改分流制	全年 $>95\%$ 的时间满足水体可垂钓、可游泳标准:Class B(淡水,DO ≥ 5 mg/L、温度 ≤ 28.3 °C、pH 值为 6.0~8.3),Class SB(海水,DO ≥ 5 mg/L、温度 ≤ 26.7 °C、pH 值为 6.5~8.5),肠球菌月均值 ≤ 35 CFU/100 mL(海水)或 33 CFU/100 mL(淡水)、单样本值 ≤ 104 CFU/100 mL(海水)或 61 CFU/100 mL(淡水)、粪大肠菌群月均值 ≤ 126 CFU/100 mL(淡水)、单样本值 ≤ 235 CFU/100 mL(淡水)	一级处理、消毒/脱氯

续表2(Continued)

项 目	年均溢流频次/次	年溢流体积控制率/%	主要技术措施	污染物控制标准或实现的水体水质标准	CSO 雨污水主要处理工艺
纽约州维斯切斯特湾 ^[10]	—	85	调蓄池、GI	实现季节性可游泳、可垂钓水体水质标准:粪大肠菌群月均值 ≤ 200 CFU/100 mL、肠球菌月均值 ≤ 35 CFU/100 mL,特殊条件水体的粪大肠菌群月均值 ≤ 600 CFU/100 mL、肠球菌月均值 ≤ 300 CFU/100 mL	一级处理、消毒
密苏里州圣路易斯市 ^[11]	4	—	调蓄池/隧道、截流、GI、污水厂改造、部分合流制改分流制	实现可娱乐、水生生物栖息水体水质标准: $\text{NH}_3 - \text{N}$ 均值为 $0.1 \sim 6.9$ mg/L、瞬时值为 $0.6 \sim 56.6$ mg/L, DO 最小日均值(或全年90%样品) ≥ 5 mg/L(部分河段经审议和修订后将降低标准),粪大肠菌群月均值 ≤ 206 CFU/100 mL(可全身接触)或126 CFU/100 mL(公共游泳区域)或1 134 CFU/100 mL(非全身接触)	一级处理、消毒
宾夕法尼亚州费城市 ^[12]	—	85	调蓄池/隧道、GI、部分合流制改分流制	实现可娱乐水体水质标准:粪大肠菌群月均值 ≤ 200 CFU/100 mL(游泳季节)或2 000 CFU/100 mL(非游泳季节),TSS ≤ 25 mg/L等	一级处理、消毒
新泽西州 ^[13-14]	—	89	调蓄池、GI	实现可娱乐水体水质标准:粪大肠菌群月均值 ≤ 200 CFU/100 mL(每月至少5次取样),DO 最小日均值 ≥ 5 mg/L,pH 值为 $6.5 \sim 8.5$ 等	一级处理(格栅、旋流沉砂池等)、消毒
伊利诺伊州埃尔金市 ^[15]	—	85	调蓄池/隧道、GI、部分合流制改分流制	实现可娱乐、水生生物栖息水体水质标准:粪大肠菌群月均值 ≤ 200 CFU/100 mL且10%的样品 ≤ 400 CFU/100 mL(4月—10月,每月至少5次取样),DO ≥ 5 mg/L且7 d均值 ≥ 6 mg/L(3月—7月)或DO ≥ 3.5 mg/L且7 d最小日均值 ≥ 4 mg/L,30 d均值 ≥ 5.5 mg/L(8月—次年2月),pH 值为 $6.5 \sim 9$ 等	一级处理、消毒
印第安纳州拉斐特市 ^[16]	4	—	调蓄池、截流、GI、污水处理厂改造、部分合流制改为分流制	实现可娱乐水体水质标准:粪大肠菌群的单样本值 ≤ 235 CFU/100 mL、月均值 ≤ 125 CFU/100 mL(4月—10月,每月至少5次取样)等	一级处理、消毒
特拉华州威明顿市 ^[17-18]	—	85	调蓄池、截流、实时控制、GI、污水厂改造、部分合流制改分流制(受影响水体为水源地)等	实现可娱乐水体水质标准:粪大肠菌群月均值 ≤ 100 CFU/100 mL,满足TMDLs 污染负荷分配要求	一级处理、消毒
内布拉斯加州奥马哈市 ^[19-20]	—	85	调蓄池/隧道、截流、GI、部分合流制改为分流制	实现可娱乐水体水质标准:月均粪大肠菌群 ≤ 126 CFU/100 mL(5月—9月)	一级处理、消毒
俄勒冈州波特兰市 ^[21]	4(冬季); 1(每3个夏季)	—	调蓄池/隧道、GI、部分合流制改分流制	污染物控制标准:年TSS 总量削减率 $\geq 70\%$,年BOD ₅ 总量削减率 $\geq 50\%$,TSS 月均值 ≤ 30 mg/L、周均值 ≤ 45 mg/L,BOD ₅ 月均值 ≤ 30 mg/L、周均值 ≤ 45 mg/L	化学强化一级处理、消毒、二级处理
华盛顿州西雅图市 ^[22]	1	—	调蓄池/隧道、GI、部分合流制改分流制	污染物控制标准:年TSS 总量削减率 $\geq 50\%$,年可沉降固体(Settleable Solid) ≤ 0.3 mL/(L·h),粪大肠菌群月均值 ≤ 400 CFU/100 mL	化学强化一级处理、消毒
弗吉尼亚州亚历山大市 ^[23]	4	—	调蓄池/隧道、GI、实时控制、部分合流制改分流制	污染物控制标准:满足TMDLs 分配的占比80%~99%细菌削减负荷;满足可娱乐水体水质标准即粪大肠菌群月均值 ≤ 126 CFU/100 mL	一级处理、消毒

3 对我国的启示

3.1 控制标准的确定以效果为导向、数据为基础

年均溢流频次、年溢流体积控制率、污染物控制标准虽然是基于CSO控制效果的标准,但最终目标是受纳水体功能达标,即目标是“水质”,因此,无论选用哪个指标作为控制标准,均需要以水体水质为目标,以CSO溢流水量控制为手段,通过“费用-效果”分析确定标准取值及相应控制方案。实践中,从便于监管角度考虑,可选择年均溢流频次作为控制标准,但仍需评估相应的溢流量、溢流污染物总量控制效果以及水体水质达标情况。

根据美国做法,规划设计阶段CSO控制方案的制定要以现状基准监测数据为基础,以模型评估为手段,并采用CSO控制项目实施过程中的阶段性监测数据不断对模型进行校正和完善,直至全部项目完成后才能通过水体水质监测数据确定CSO控制方案的最终效果,故监测贯穿始终,数据是基础。

此外,虽然美国多采用推定法确定效果标准,但由于我国城市水体污染的整体状况相对较差,除CSO外的多种污染源较多,因此,可综合采用实证法,参照TMDLs“流域治理、污染分担”的方法开展水体治理(但需注意,美国的TMDLs需要以复杂的流域模型做支撑,周期和数据要求很高)。

3.2 充分认识CSO控制的特殊性和长期性

CSO具有污水与降雨径流的双重特性,降雨径流最大的特点就是其随机性,故美国以基于技术的NMC、基于控制效果的指标作为基本控制标准;而且,在处理措施上,并未直接采用高标准的二级处理,而是最大限度采用适应性更强、投入产出更优的一级处理与消毒等物化措施,出水水质指标则抓影响水体功能的核心指标并且以总量、均值或范围值为主;此外,还对超控制标准的溢流所导致的受纳水体不达标进行适度豁免,这些简化或概化的做法均较好地考虑了CSO的规律或特征,可操作性更强。

我国的水体环境质量底子相对于发达国家要差,大力开展黑臭水体治理与水环境质量综合提升工作更应该从基础工作做起,摸清底数,扎扎实实把厂管网问题解决好,把旱天直排解决好,从美国CSO长期控制规划及各阶段NPDES许可内容可以看出,在相当长的时期内,美国仍然会抓厂网运行调度这一CSO控制基本措施,并积极通过“灰绿结合”进一步提升CSO控制效果,同时也在量力而行地“合改

分”,多条腿走路。我国的海绵城市建设、黑臭水体治理、污水处理提质增效正齐头并进,一定要高质量协同,发挥综合效益,这必然是一场硬仗和持久战。

3.3 CSO控制政策法规先行

关于水体水质标准制定。考虑CSO的特殊性、不同地方气象水文特点、既有基础设施情况、经济水平、受纳水体情况等,美国并没有采取一刀切的水体水质标准,而是授权地方制定,国家负责审核并抓基本要求,在基本功能满足的前提下,水质标准可能一河一标准;重要的是,建立起了由下及上的反馈机制,水质标准并非一成不变,根据具体条件,经过公众评议、技术经济分析,水质标准是允许进行合理调整的,值得我国借鉴。

关于排放许可制度。我国针对污水已建立排放许可制度,然而雨水排放、CSO仍未纳入,海绵城市建设试点城市均在探索建立雨水排放许可制度,建议借鉴发达国家经验尽快予以完善并纳入既有许可体系。此外,非常重要的一点,以污水处理厂为例,针对CSO的污水处理厂一级处理达标排放合法化等问题均要从制度法规层面予以解决,才能形成真正有效的合流制排水系统,并最大限度发挥“厂网一体”控制CSO的经济效益。除政策法规外,我国现行标准规范在CSO控制标准、设施规模设计方法、设计参数等方面也存在较大不足,在此不再赘述。

参考文献:

- [1] USEPA. Introduction to the clean water act[EB/OL]. [2018-10-12]. <http://www.epa.gov/watertrain>.
- [2] USEPA. Combined Sewer Overflows Guidance for Monitoring and Modeling[M]. Washington D C; Bibliogov, 1999.
- [3] USEPA. National Combined Sewer Overflow Control Strategy [M]. Washington D C; Bibliogov, 1989.
- [4] USEPA. Combined sewer overflow (CSO) control policy [EB/OL]. [2018-10-12]. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=2000407X.TXT>.
- [5] USEPA. Combined sewer overflows guidance for permit writers[EB/OL]. [2018-10-13]. https://www3.epa.gov/npdes/pubs/csopermitwriters_1.pdf.
- [6] USEPA. Guidance: coordinating CSO long-term planning with water quality standards review[EB/OL]. [2018-10-13]. https://www3.epa.gov/npdes/pubs/wqs_guide_final.pdf.
- [7] USEPA and State EPD. Combined sewer overflow

- remediation plan[EB/OL]. [2018-10-13]. <http://cleanwateratlanta.org/combinedseweroverflows/FactSheet.pdf>.
- [8] Carol H, Mark B, Mohammed B. CSO technologies webcast part 2[EB/OL]. [2018-10-13]. http://www.epa.gov/npdes/webcasts/certificate/cso_control_technologies2.pdf.
- [9] MWRA. Combined sewer overflow control plan; annual progress report 2015[EB/OL]. [2018-10-13]. <http://www.mwra.com/annual/csoar/2015/2015csoar-r4.pdf>.
- [10] New York City Department of Environmental Protection. Combined sewer overflow long term control plan for Westchester Creek[EB/OL]. [2018-10-15]. https://www1.nyc.gov/html/dep/pdf/cso_long_term_control_plan/ltcp-westchester-cso-20140630.pdf.
- [11] Jacobs Engineering Group, Galardi Rothstein Group, Greeley and Hansen LLC, *et al.* Combined sewer overflow long-term control plan update report[EB/OL]. [2018-10-15] <https://www.stlmsd.com/sites/default/files/education/448859.PDF>.
- [12] Pennsylvania Department of Environmental Protection, EPA. Philadelphia's wet weather management programs: Combined sewer management program annual report[EB/OL]. [2018-10-15]. http://phillywatersheds.org/doc/CSO-Stormwater_FY13_Annual_Reports-FINAL_Appendices.pdf.
- [13] Stephansen S. Combined sewer overflow long term control plan review[EB/OL]. [2018-10-18]. <https://www.nj.gov/dep/dwq/pdf/cso-ppt-albany-pool-ltcp-review.pdf>.
- [14] van Abs D J, McClean A, Tsoulou I, *et al.* Water infrastructure in New Jersey's CSO cities; Elevating the importance of upgrading New Jersey's urban water systems[EB/OL]. [2018-10-18]. https://www.njfuture.org/wp-content/uploads/2014/04/VanAbs_Urban-Water-Infrastructure-Report-Revised-Final-June-2014.pdf.
- [15] IEPA. Combined sewer overflow long term control plan; Report for Fox River Water Reclamation District, Elgin, Illinois[EB/OL]. [2018-10-19]. <https://www.frwrdd.com/wp-content/uploads/2016/03/FRWRD-CSO-LTCP-Final-Report-Reduced.pdf>.
- [16] Water Pollution Control Department, City of Lafayette, Indiana, USA. Combined sewer overflow long term control plan[EB/OL]. [2018-10-20]. http://www.lafayette.in.gov/DocumentCenter/View/4455/Lafayette-CSO-LTCP_Final-Report_SEP09?bidId=.
- [17] Department of Public Works, City of Wilmington, Delaware, USA. Combined sewer overflow final long term control plan[EB/OL]. [2018-10-21]. <https://www.wilmingtonde.gov/home/showdocument?id=728>.
- [18] USEPA. Region III NPDES permit quality review; Delaware[EB/OL]. [2018-10-21]. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/documents/2013_de_pqr_report_final.pdf.
- [19] Clean Solutions for Omaha. Update to long-term control plan for the Omaha combined sewer overflow control program[EB/OL]. [2018-10-22]. http://www.omahacso.com/files/6814/1450/8302/Final_Omaha_LTCPUpdate-Appendices_Oct2014.pdf.
- [20] Vogel J R, Frankforter J D, Rus D L, *et al.* Water quality of combined sewer overflows, stormwater, and streams, Omaha, Nebraska, 2006-07[EB/OL]. [2018-10-22]. <https://pubs.usgs.gov/sir/2009/5175/pdf/SIR2009-5175.pdf>.
- [21] Bureau of Environmental Services, City of Portland, USA. Annual CSO and CMOM report, FY2017[EB/OL]. [2018-10-24]. <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/653407>.
- [22] King County Wastewater Treatment Division. 2012 King County long-term combined sewer overflow control plan amendment[EB/OL]. [2018-10-25]. <http://www.kingcounty.gov/environment/wastewater/cso.as>.
- [23] Skrabak B. LTCPU report; Final for Virginia Department of Environmental Quality[EB/OL]. [2018-10-28]. <https://www.alexandriava.gov/Sewers>.



作者简介:贾楠(1992-),女,河北保定人,硕士研究生,研究方向为城市雨洪控制与管理。

E-mail:474814520@qq.com

收稿日期:2018-12-15