

超大型污水厂超水量负荷高效能运行研究

陈 杰

(上海环境集团股份有限公司阳晨水务分公司,上海市 200120)

摘 要:以上海某超大型污水厂作为研究对象,开展了 1.4 倍超水量负荷高效能运行试验,考察了污水厂在夏季汛期超水量负荷条件下的过流能力和生物处理系统效能。试验时长为 37 h,污水厂进水水力平均负荷为设计处理量的 1.418 倍,最高瞬时水力负荷达 1.803 倍,进水 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和 TP 浓度分别维持在 250、20、25、4.5 mg/L 以下,出水 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和 TP 浓度分别在 25、0.2、8、0.2 mg/L 以下,出水水质满足一级 A 排放标准。1.4 倍超水量负荷对污水厂预处理、生物处理、二沉池等工艺段过流能力影响不大,对中间提升泵房前池液位有一定影响,污水厂设施设备运行情况整体稳定。结果表明,在夏季汛期,污水厂可实现短期内在 1.4 倍超水量负荷下安全稳定运行,能够初步应对汛期进水量突增情况,最大程度的减少汛期污水溢流。

关键词:超大型污水厂;溢流;AAO 工艺;高效能

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)12-0147-05

0 引 言

第一轮中央环保督察及“回头看”多次指出全国范围内多地溢流问题,各地陆续开始重视并开展溢流污染控制,事实上,溢流是由于进入污水系统的污水及客水(雨水、地下水、山洪水、河道水)量超过了污水系统的容纳能力所造成的^[1]。特别是近些年,由于全球气候的变化,发生极端天气事件的频率也比较高,由于降雨引起的城镇面源污染问题也进一步加重^[2-3]。全国各地也积极尝试采取措施应对溢流问题,例如,山东省潍坊市、天津市等城市选择建设调蓄设施作为溢流污染防治的手段^[4-5];贵阳市在南明河流域主干流河流制溢流问题上,通过布局 6 座调蓄池,同时联动污水处理厂按设计值的 10%增加产能的方案,实现减少溢流的目的^[6];上海通过水动力模型耦合历史大数据分析来进行污水干线系统优化调度的技术方案实现旱天减少溢流的目标^[7]。

当管网外来水量被低估,污水厂或可应对旱季污水处理量,但不足以应对雨季条件下管网内污水,缺乏雨季污染控制能力^[8]。为进一步发挥已建污水处理设施效能,在确保系统运行安全稳定、排放污染物总量最小的原则下,进一步提升污水厂运行能效,挖

潜污水处理厂生物处理系统能力,有效应对污水处理厂日高峰和雨天污水增量,确保污水处理厂雨天少溢流的目标,本文选取上海某超大型市政污水处理厂为对象,探讨其在超水量负荷下的运行效能,对我国超大型污水处理厂超负荷试验具有较好的借鉴意义。

1 试验方法

以上海某超大型污水厂为研究对象,探讨其在 1.4 倍超水量负荷下的过流能力和生物系统处理效能。污水厂设计处理规模为 110 万 m^3/d ,采用 AAO+深度处理工艺,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。污水厂主要设计进水水质详见表 1。

表 1 污水厂主要设计进水水质情况表

主要指标	数值/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
化学需氧量(COD_{Cr})	345
生化需氧量(BOD_5)	160
悬浮物(SS)	210
总氮(TN)	40
氨氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	30
总磷(TP)	6.0

污水厂生物系统主要运行参数见表 2。

污水厂各溢流风险点液位见表 3。

收稿日期: 2024-07-08

作者简介: 陈杰(1992—),男,硕士,工程师,从事市政给排水及污水处理等工作。

表 2 污水厂生物系统主要运行参数表

参数名称	数值
处理规模 / (万 m ³ ·d ⁻¹)	110
有效水深 / m	10
生物池 MLSS / (g·L ⁻¹)	3.2
二沉池水深 / m	3.75
二沉池停留时间 / h	4.81 (系列一) 5.13 (系列二)
表面负荷 / [m ³ ·(m ² ·h) ⁻¹]	0.60 (系列一) 0.56 (系列二)

表 3 污水厂各溢流风险点液位情况表

溢流风险点	设计值 / m
总配水井	低峰: 9.21
	平均: 9.28
	高峰: 9.38
	调蓄: 9.51
	溢流: 9.64
细格栅	8.45
沉砂池出水渠(溢流渠前)	8.34
二沉池配水井	7.57
中间提升泵房前池	5.40
滤池	10.0
出水泵房前池	5.29

1.1 试验内容

综合考量污水厂现状情况、历史实操经验、工艺设备的复杂性和运行的安全性,在汛期期间,待进水量满足全厂超水量负荷 1.4 倍测试要求时,开展全厂超水量负荷高效能研究,考察污水厂在超水量负荷条件下的过流能力和生物处理系统效能,主要监测指标为 COD、TN、TP、NH₄⁺-H 等污染物指标,以及提升泵房前池和出口泵房前池等关键区域液位数据。

1.2 技术路线

污水厂超负荷高效能研究技术路线见图 1。

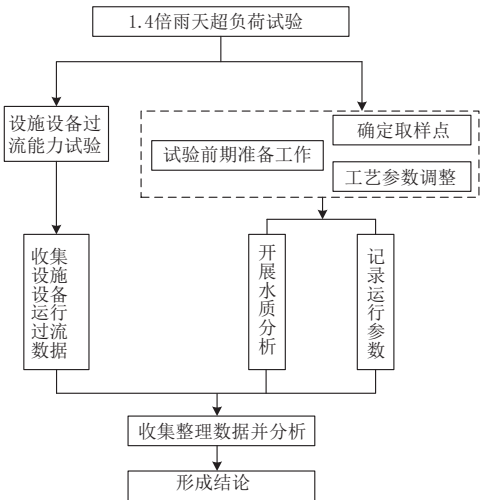


图 1 污水厂超负荷高效能研究技术路线图

1.3 监测方法

有关水质指标按照国家标准进行测定,见表 4。

表 4 水质测定项目及方法

分析项目	分析方法	方法来源
COD	重铬酸钾法	GB 11914—1989
NH ₄ ⁺ -N	纳氏试剂比色法	GB 7479—1987
TN	过硫酸钾氧化 - 紫外分光光度法	GB 11894—1989
TP	钼酸铵分光光度法	GB 11893—1989

1.4 前期准备

污泥活性对污水厂超负荷达标运行至关重要,为了确保测试期间生物池功能正常,需在试验前期进行调控操作。通过实时监测,研判活性污泥的变化情况,并实时调整工艺参数,以调控污泥活性在合理范围,主要指标控制见表 5。

表 5 污水厂生物系统调控经验参数范围

序号	控制参数单位	控制范围
1	溶解氧 / (mg·L ⁻¹)	1.5 ~ 2.5
2	污泥浓度 / (g·L ⁻¹)	2.5 ~ 4
3	SV30 / %	20 ~ 35
4	SVI / (mL·g ⁻¹)	70 ~ 120
5	内回流 / %	100 ~ 200
6	外回流 / %	80 ~ 120
7	泥龄 / d	15 ~ 25

上述指标设置均为生物系统调控经验控制范围,受当地气温及大水量冲击下,生物池部分指标实际运行情况可能存在一定的范围波动。

2 结果与讨论

2.1 水量、水位负荷变化分析

2.1.1 测试期间平均与瞬时进水情况

本次测试时间为 2023 年汛期期间,时间从 8 月 10 日至 9 月 30 日,受天气情况不确定影响,在 1.4 倍超水量负荷下的具体测试日期及相关负荷统计情况见表 6。

表 6 污水厂 1.4 倍超水量负荷测试情况表

序号	测试日期	测试时长 / h	平均负荷	最高负荷	总计时长 / h
1	2023-08-17	8	1.357	1.685	102
2	2023-08-22	6	1.439	2.029	
3	2023-08-29	37	1.418	1.803	
4	2023-09-03	8	1.433	1.673	
5	2023-09-13	4	1.372	1.643	
6	2023-09-15	5	1.355	1.495	
7	2023-09-22	10	1.350	1.493	
8	2023-09-23	24	1.371	1.586	

由表 6 可知,在 1.4 倍超水量负荷共测试 8 次,其进水平均负荷为设计值的 1.393 倍,瞬时最高负荷达到 2.029 倍,测试时长最短 4 h,最长达 37 h。

为最大程度分析超水量负荷运行对污水处理系统的影响,选取 8 月 29 日 11 时—8 月 30 日 24 时的超水量负荷测试为重点研究对象进行数据分析,污水厂水力负荷变化情况见图 2,测试期间污水厂进水平均负荷为设计值的 1.418 倍,其中最高瞬时水力负荷为 1.803 倍。

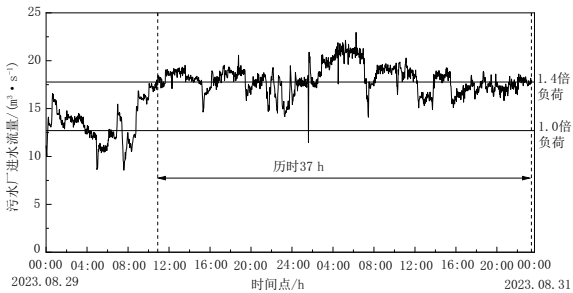


图 2 测试期间污水厂水力负荷变化情况图(单位:m³/s)

2.1.2 污水厂超负荷过流情况

测试期间,平均进水流量达 18.05 m³/s,污水厂过水基本流畅,1.4 倍超水力负荷下对于污水厂预处理、生物处理、二沉池等建构筑物影响相对较小,这可能是由于污水厂近年来完成提标改造,设计处理量从 170 万 m³/d 提标改造为 110 万 m³/d,因此对上述建构筑物过流能力影响相对较小,但对于污水厂中间提升泵房等提标改造过程中新建的建构筑物有一定影响,中间提升泵房、出口泵房前池液位变化见图 3。

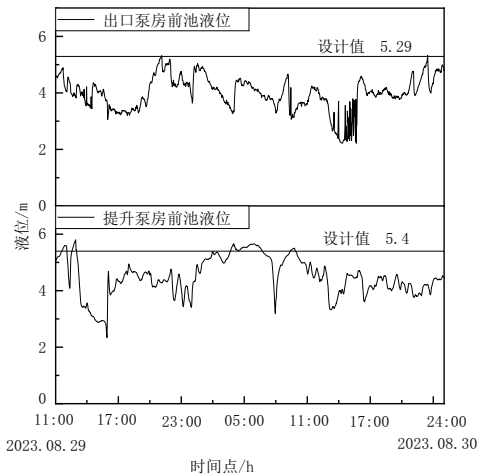


图 3 中间提升泵房与出口泵房前池液位变化情况图(单位:m)

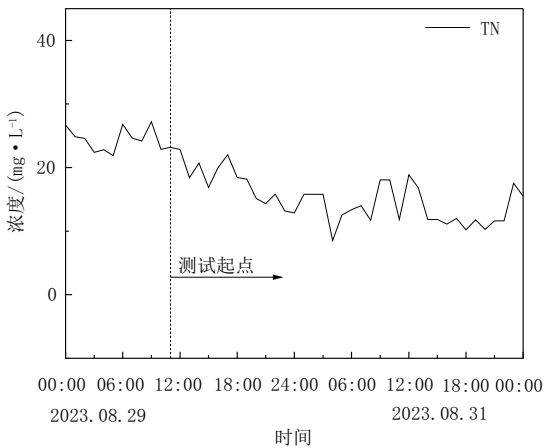
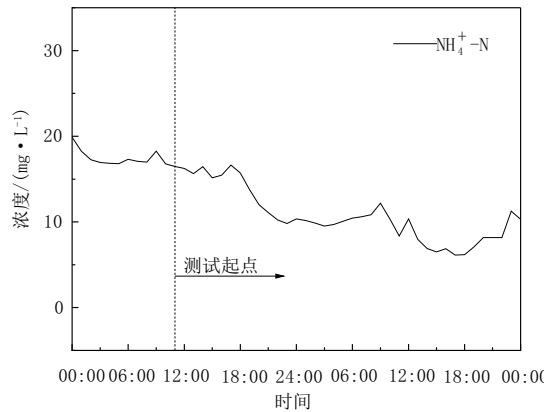
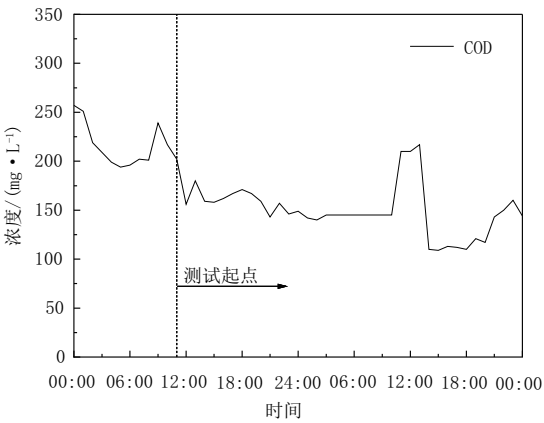
从图 3 可知,污水厂中间提升泵房前池液位和出口泵房前池液位绝大多数时间是在正常运行值范围内,其中,中间提升泵房前池液位最大值会高于设

计值,但在污水厂实际运行中,根据运行经验,当前池液位高于 6.0 m 时,会增加水泵开启台数,减少对提升泵房前池液位的影响。

2.2 进出水水质变化分析

2.2.1 进水水质变化分析

测试期间,污水厂进水水质见图 4,从图 4 中可知,进水污染物 COD、NH₄⁺-N、TN 和 TP 浓度分别维持在 250、20、25、4.5 mg/L 以下,受雨天降水影响,进水污染物 COD、NH₄⁺-N、TN 和 TP 浓度整体呈下降趋势,其中 TP、COD 指标在测试期间有一定波动,但波动数值在正常范围内。



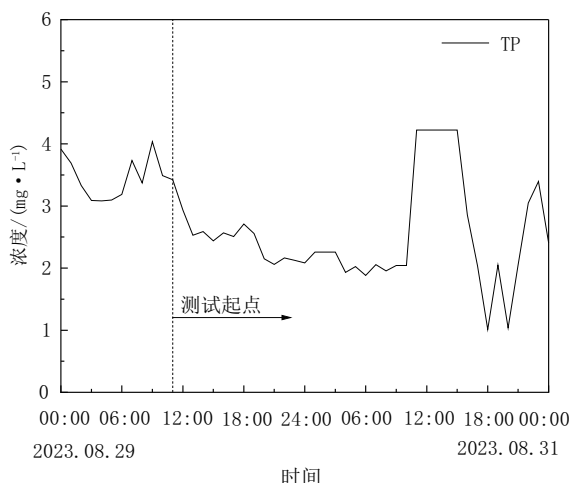


图4 测试期间进水水质变化情况图

2.2.2 出水水质变化分析

测试期间,污水厂出水水质见图5,从图5中可以看出,出水COD、 NH_4^+-N 、TN和TP浓度分别维持在25、0.2、8、0.2 mg/L以下,出水水质均明显低于一级A排放标准,受进水水量、水质变化,出水水质存在一定波动,但整体保持稳定,测试结束后,各出水指标稳定。

2.2.3 进出水水质月度分析

2023年8月污水厂平均进出水水质情况见表7。

通过表7可以看出污水厂8月份平均进水污染物COD、 NH_4^+-N 、TN和TP浓度分别为292、24、28.5、5.10 mg/L,进水污染物浓度要高于1.4倍超水力负荷期间的进水污染物浓度,8月份月度出水主要指标与超水力负荷期间的出水指标相差不大。

2.3 进水水质沿程变化分析

选取生物池进水、厌氧池前端、厌氧池末端、缺氧池前端、缺氧池末端、好氧池末端、二沉池为取样点,分析在1.4倍超水量负荷运行下,对COD、 NH_4^+-N 、TN和TP浓度的沿程变化规律进行分析,见图6。

从图6中可以看出,在COD去除方面,厌氧池前端COD浓度下降,主要是污水系统进行了外回流稀释;进入厌氧池后,发生厌氧释磷作用,消耗有机物,COD浓度继续下降,随后,由于缺氧段回流稀释和反硝化作用,COD浓度在进入缺氧池再次降低,在好氧池硝化反应后,出水COD浓度为11.0 mg/L,COD去除率为91.2%,整体上1.4倍超水量负荷对污水厂COD的去除影响不大。在TN/ NH_4^+-N 去除方面,污水厂进水TN和 NH_4^+-N 浓度分别为29.2、21.5 mg/L,污水厂进水 NH_4^+-N 占比较高,这是由于生活污水中各种有机氮在管网输送过程中发生氨化

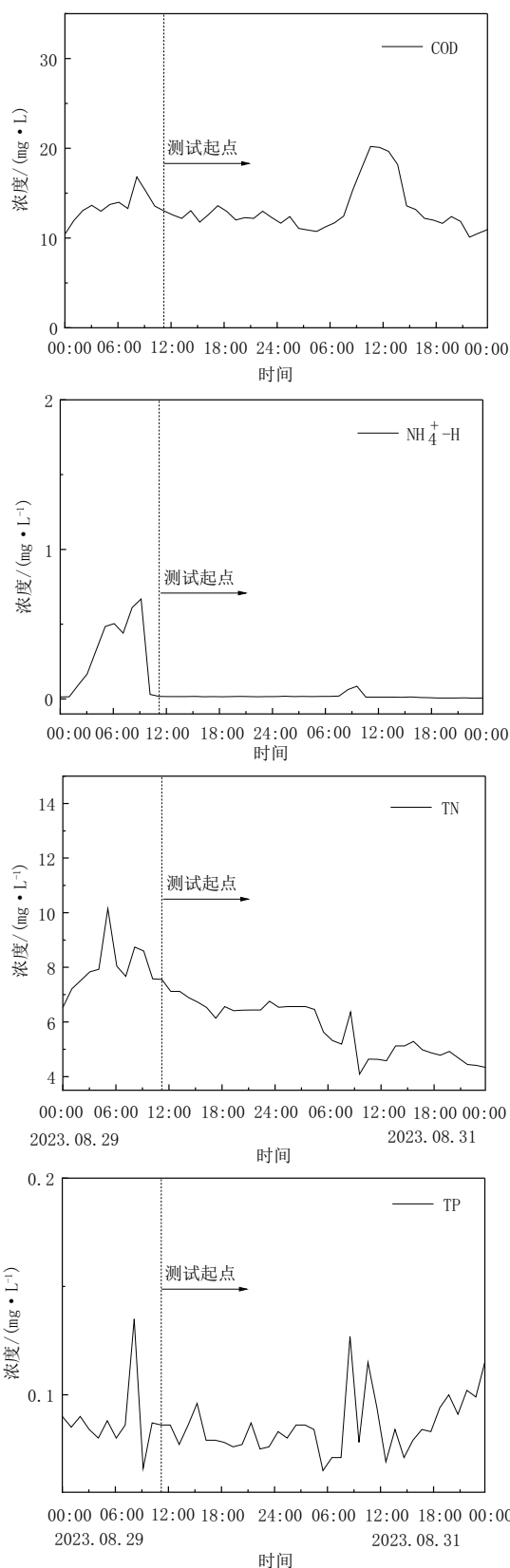


图5 污水厂测试期间出水指标变化情况图

作用,使一部分有机氮转化为 NH_4^+-N ,二沉池出水 NH_4^+-N 为0.16 mg/L,出水TN为7.28 mg/L,总氮脱氮率为75.07%,1.4倍超水量负荷运行对污水厂脱氮性能没有显著影响。在TP去除方面,污水厂进水

表 7 污水厂 2023 年 8 月平均进出水水质情况表 单位:mg/L

主要指标	进水	出水
化学需氧量(COD _{Cr})	292	10
氨氮(NH ₄ ⁺ -N)	24	0.22
总氮(TN)	28.5	7.39
总磷(TP)	5.10	0.10

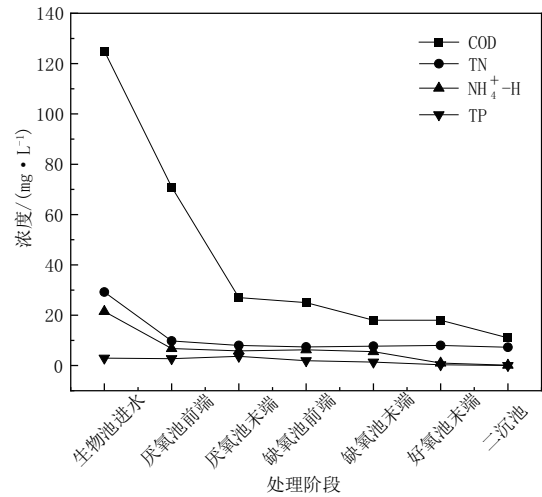


图 6 不同污染物的沿程变化情况图(单位:mg/L)

TP 浓度相对较低为 2.94 mg/L,最终出水 TP 浓度分别为 0.033 mg/L,TP 去除率为 98.88%,1.4 倍超水量负荷运行对污水厂 TP 的去除没有显著影响。

2.4 过流期间设备运行情况分析

在鼓风机方面,污水厂共有 8 台鼓风机,在 1.4 倍超水量负荷测试期间,通过增开 1~2 台风机,确保生物池溶解氧含量,充分去除初期雨水中带入的污染物,随着污染物浓度降低,通过降低风机台数和风机开度,避免过量曝气。在泵类运行方面,1.4 倍超水量负荷测试期间,增加 1~2 台中间提升泵台数,一定程度上提升污水过流能力;回流泵类均为固定回流量模式控制,通过适当增加内回流泵、外回流泵台数,控制内回流比 r 和外回流比 R 分别在 200%和 100%。在污泥处理设施运行方面,由于超负荷测试具有一定的不确定性,测试时间相对较短,排泥量、污泥处理设施与超水量负荷测试未发现明显的关联性。污水厂测试前后主要设备运行情况见表 8。

3 结 语

该文以上海某超大型污水厂为研究对象,探究在夏季汛期,在满足进水量超负荷运行条件下,考察了污水厂在 1.4 倍超水量负荷下的过流能力和污水处理效能,得出以下结论。

表 8 污水厂主要设备运行情况表

设备类型	阶段	开启台数
生物池风机	试验前超水力负荷	4~5
		5~6
中间提升泵	试验前超水力负荷	3~4
		4~5

(1)在 1.4 倍超水量负荷短期运行下,对污水厂预处理、生物处理、二沉池等工艺段过流能力影响不大,设施设备运行情况基本稳定;中间提升泵房前池液位瞬时最大值会高于设计值。在实际运行中,可通过增加中间提升泵、出水泵开启台数,以及增加反硝化滤池氮气释放和反冲洗频率等举措,一定程度上增加污水厂污水过流能力,确保污水厂安全环保稳定运行。

(2)在 1.4 倍超水量负荷短期运行下,由于雨季影响,进水 COD、NH₄⁺-N、TN 和 TP 浓度整体上呈现下降趋势,污水厂出水水质可实现安全环保达标排放,整体可控。

(3)超大型污水厂在夏季可实现短期内应对汛期进水流量突增情况,最大程度减少汛期污水溢流,在夏季超水量运行前,要做好超水量负荷运行应急预案,做好设施设备的日常运行维护、备品备件和应对超负荷运行操作的人员培训,确保污水厂在超水量负荷下能够安全稳定运行。但在冬季,综合考量低温、水质等因素,超大型污水厂相关运行负荷情况需要进一步验证。

参考文献:

[1] 蒲贵兵,谢天,邵川.重庆市污水溢流污染控制的困惑与建议[J].中国给水排水,2022,38(18):1-5.

[2] 刘宇轩,高雅弘,王振北,等.城镇合流制排水系统溢流污染控制综述[J].环境工程,2023,41(12):32-47.

[3] Atauzzaman M, Ali M. Effects of combined sewer overflow on water quality: a case study of Hatirjheel Lake in Dhaka[J]. SN Applied Sciences, 2022, 4(11): 56-63.

[4] 笪健,王德生,曹兴坤,等.潍坊市超大型调蓄池工艺设计与建设特点[J].中国给水排水,2020,36(18):85-89.

[5] 周传庭,杨殿海,赵金保.天津市中心城区合流系统末端调蓄工程的设计要点[J].中国给水排水,2020,36(16):91-94,100.

[6] 建娜,邹艾华,罗光亮,等.贵阳市南明河流域合流制溢流污染防治方案探讨[J].环境影响评价,2024,46(3):44-49.

[7] 陈泽伟,纪莎莎,何黎,等.基于水动力模型与大数据分析的污水干线优化调度策略[J].净水技术,2024,43(3):110-116.

[8] 蒋玲燕,薛松,胡启源.上海市主城区供水量与污水量变化规律研究[J].给水排水,2022,48(增刊1):193-195,201.