

受溢流污染影响的公园水体污染控制和生态修复技术应用研究

王 晓

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 以福建省某城市受溢流污染影响的公园水体为例,探索了水体溢流污染控制和生态修复技术的应用。该公园水体北侧和东南侧存在支流汇入,虽然已实施污水末端截流控制,但公园水体生态仍受支流雨季溢流污染影响严重。在近期无法实施管网彻底雨污分流改造的实际情况下,提出完善现有末端截流系统,充分利用公园水体设置溢流堰提高雨季溢流截流量,并设置一体化净化设备和生态湿地就地处理调蓄溢流量,以削减进入水体的溢流污染负荷。同时,通过公园水体地形改造,构建多塘净化湿地系统。工程实践表明:增加调蓄容量,一体化净化设备和生态湿地就地处理溢流调蓄量的治理措施,显著提升了公园水体水质、透明度和生态系统稳定性,为有效缓解溢流污染对自然水体生态系统的影响提供了重要借鉴。

关键词: 公园水体;溢流污染;就地处理;生态湿地;溢流频次

中图分类号: X703.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)04-0170-05

Research on Application of Pollution Control and Ecological Restoration Technology in Park Water Affected by Overflow Pollution

WANG Xiao

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Taking the park water affected by the overflow pollution in a city in Fujian Province as an example, the application of water overflow pollution control and ecological restoration technology is explored. There are tributaries on the north and southeast sides of the park water. Although the sewage end interception and control have been implemented, the ecology of the park water is still severely affected by overflow pollution during the rainy season. In the near future, it is impossible to implement the complete separation of rainwater and sewage of pipe network. It is proposed to perfect the existing end interception system, to fully utilize the park water to set up the overflow weir in order to increase the overflow interception in rainy season, and to set up the integrated purification equipment and ecological wetland for the on-site treatment of the overflow to reduce the overflow pollution load in to park water. In addition, a multi-pond purification wetland system is constructed by the reconstruction of park water terrain. The engineering practice shows that the treatment measures of increasing the storage capacity, integrated purification equipment and ecological wetland for on-site treatment of overflow have obviously improved the water quality and transparency of park water, and the stability of ecological system, which provide the important reference for the effective alleviation of overflow pollution impact on the natural water ecosystems.

Keywords: park water; overflow pollution; on-site treatment; ecological wetlands; overflow frequency

0 引 言

随着我国城市发展,城市地下雨污水管网也随之不断更新发展,但由于历史原因,我国大部分区域为合流制区域,仍存在很多雨天溢流污染问题。溢流污染排入河道、湖泊、人工水体后对整个水体生态

系统造成的影响不容忽视,也是目前自然水体生态恢复亟需解决的瓶颈问题。

国外发达国家在溢流污染治理方面有较多经验,美国主要通过增大截流倍数、设置调蓄池、增加污水厂处理能力等减少溢流污染^[1];日本主要通过新建雨水隧道、蓄水池等增大调蓄容量的方式控制溢流污染^[2],德国则重视雨水径流源头控制、新建雨水调蓄池和源头分散处理方式来控制溢流污染^[3]。

当前,由于片区开发和地块改造无法同步实施

收稿日期: 2024-05-24

作者简介: 王晓(1990—),女,硕士,工程师,从事排水和水环境治理设计工作。

等客观问题,我国很多地区仍采用了截流式合流制排水系统。溢流污染控制可从溢流污染总量、年平均径流频次、年溢流体积控制着手,目前通常采用提高截流倍数的方式减少溢流污染^[4],尽管如此,但通常由于溢流污水水质远高于自然水体水环境容量,仍会对水体造成较大污染。在难以通过彻底的雨污分流改造实现溢流污染源头削减的情况下,可以采用分散、局部调蓄初期雨水的控制措施达到污染物削减的目的^[5],并充分利用物理、化学和微生物相结合的措施对雨天溢流污染进行就地处理^[6]。

因此在污水片区整体改造难度大、代价高的前提下,如何通过增加就地调蓄量,实现就地调蓄和净化处理以减少雨季溢流污染对受纳水体的水生植物、水体透明度等生态系统稳定性的影响是目前亟需解决的问题。

1 工程概况

该公园水体位于福建省某地级市,北侧和东南侧支流来水汇入该公园水体,北侧支流上游已实施截污管道进行截污,但由于末端污水主管输送能力有限,仍存在旱季和雨季溢流污染情况;东南侧支流沿河分布工业厂房,小区,上游为暗涵段,支流现状设三道溢流堰截流上游污水,但仍有部分污水通过雨季溢流进入该公园水体;受上述支流溢流污染影响,公园水体水质变差、底泥发黑上浮、生态系统严重受损,水质呈现劣 V 类水平,现状水质数据见表 1。

表 1 现状入人工水体河道水质				单位:mg/L
项目	COD	SS	TP	NH ₃ -N
北侧河道	69.23	196	0.79	7.43
东南侧河道	451.5	148	0.71	3.73

2 解决思路

本研究采用灰绿措施相结合手段重点从增加调蓄总量和减少溢流次数着手,实现支流入公园水体溢流污染控制^[7]。

为了恢复公园水体生态系统,针对上述问题,一是完善现状旱季支流截污系统,同时,少部分溢流污水通过一体化设备和生态湿地就地净化处理,确保未经处理的旱季污水不直接排入公园水体;二是雨季利用北侧支流现状液压坝和东南侧支流新建溢流堰,发挥天然塘体调蓄增加调蓄容量,减少溢流频次,调蓄后污水利用一体化净化设备+生态湿地就地

净化处理,处理后出水作为清水补给公园。

同时,分别针对两条支流,研究制定了相应的溢流污染控制技术路线(见图 1、图 2)。

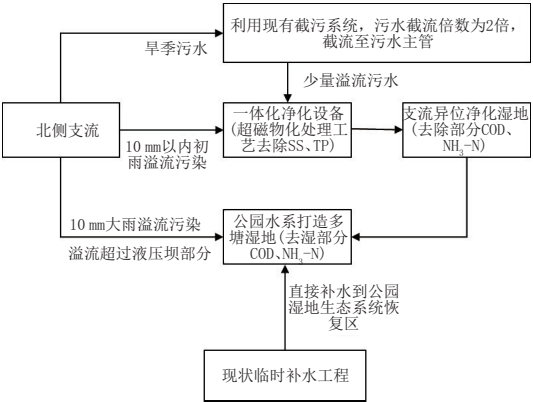


图 1 北侧支流溢流污染治理技术路线

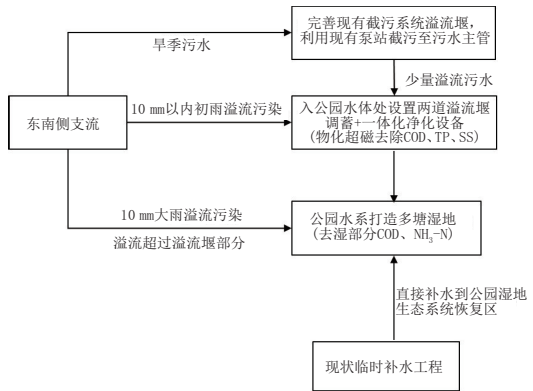


图 2 东南侧支流溢流污染治理技术路线

此外,改造公园水体塘底地形,构建多塘湿地,对两支流来水进一步净化处理,恢复整个公园水体的水生生态系统稳定性。

3 工程设计参数

3.1 北侧支流溢流污染控制设计

北侧支流来水溢流污染净化系统采用一体化净化设备+支流异位净化湿地组合处理工艺。调蓄溢流污水经一体化泵站提升后,进入基于超磁分离处理工艺的一体化净化设备,实现溢流污水中 SS 和 TP 的去除,处理出水排入支流异位净化湿地。根据北侧支流水质监测数据最不利工况确定系统进水质,一体化设备和湿地设计进出水水质见表 2。

表 2 北侧支流设计进出水水质					单位:mg/L
项目	COD	SS	TP	NH ₃ -N	
一体化设备进水	69.23	196.00	3.46	7.43 ~14.7	
一体化设备出水	69.23	20.00	0.40	7.43 ~14.7	
异位净化湿地出水	62.5	20.00	0.40	5.2~11.5	

根据支流异位净化湿地现场测量,旱季溢流量为 2 500 m³/d。同时,利用堰前调蓄空间可保证当

日降雨量不超过 10 mm 时可不产生溢流污水,最终确定调蓄容量为 5 000 m³。一体化净化设备和支流异位净化湿地处理规模为 5 000 m³/d,降雨前,利用一体化泵站将溢流堰前污水抽排,预留调蓄容积,待雨停后进行就地净化处理。

支流异位净化湿地充分利用现状塘体改造,具体采用兼性塘+曝气塘+水生植物塘+表流湿地工艺,同时,辅助曝气、生物膜等强化净化措施。在水生植物塘恢复微齿眼子菜、篦齿眼子菜、苦草、刺苦草等沉水植物;表流湿地区恢复纸莎草、水葱、香蒲、旱伞草等挺水植物;边坡铺设沸石和火山岩。湿地设计参数见表 3,湿地水深在 1.7~3.0 m,湿地整体停留湿地 5.5 d,满足湿地指南停留时间大于 4 d 的要求。

3.2 东南侧支流溢流污染控制设计

完善东南侧支流污水截流系统,对现有溢流堰进行修复,由于暂无规划用地可用于调蓄池建设,结合现状截流设施的改造,在汇入公园水体处新建溢流堰对雨季溢流污染进行自然塘体调蓄,同时新建一体化净化设施就地处理调蓄污染后排入公园湿地净化。

(1)初雨调蓄设计

东南侧支流现状在河道中设置溢流堰,采用堰槽结合的方式对支流进行截污,但目前仍存在旱季少量溢流以及雨季严重溢流情况。现状截流堰高度为 0.3 m,在不影响支流行洪条件下,将堰顶高度提升至 0.5 m,提高旱季污水截流效果。

同时,在支流入公园水体入口处新建一道溢流堰,堰前可调蓄库容约为 7 500 m³,在降雨前将堰前排空,可保证降雨不大于 10 mm 时不产生溢流污染入公园水体,同时就地设置一体化设备对堰前的溢流污染进行处理后排至公园湿地;不小于 10 mm 雨季溢流污染直接进入公园湿地。

(2)溢流污染净化系统设计

东南侧支流采用一体化超磁物化净化设备进行调蓄溢流污染控制,主要针对来水 SS 和 TP 进行净化处理,设计进水水质按照支流实测水质,见表 3,一体化净化设备出水进入公园湿地。

表 3 一体化设备设计进出水水质			单位:mg/L
项目	SS	TP	
进水水质	148.00	0.71	
一体化设备出水	20	0.4	

3.3 公园湿地系统设计

对现状公园水体进行局部水下地形改造,构建

多塘湿地净化系统,公园湿地旱季来水主要为北侧和东南侧支流。公园湿地的设计进出水水质见表 4。

表 4 设计进出水水质					单位:mg/L
项目	COD	BOD ₅	SS	TP	NH ₃ -N
湿地进水	62.5	23.5	20.0	0.4	5.2~11.5
湿地出水	40.0	10.0	20.0	0.4	2.0~4.0

公园湿地采用预处理塘+兼性塘+曝气塘+生态系统塘工艺,同时,在不影响行洪条件下辅助设置曝气、生物膜等强化净化措施,湿地水深在 1.5~1.7 m,设计流量 10 000 m³/d,停留时间约 3.2 d。

4 工程效果

对完工后 4 个月内水质数据进行检测分析发现(见图 3~图 8),北侧支流溢流污染采用一体化设备+异位净化湿地的处理效果较好。对净化系统来水和出水进行检测对比发现,北侧支流一体化设备出水 TP 可稳定在 0.1 mg/L,北侧支流异位净化湿地 COD 出水浓度在 20 mg/L 以下,NH₃-N 出水浓度在 0.2 mg/L 以下,上述出水污染物浓度均远低于目标浓度,也进一步验证了灰绿措施组合对溢流污染削减效果较好^[7]。北侧支流入公园水体以液压坝作为溢流污染截流堰,通过液压坝可有效调节水位,确保小雨溢流污染不直接入公园。此类河道中设置闸坝拦截措施的控制方式在上海滴水湖入湖支流溢流污染的控制中也有相关研究报道^[8]。

东南侧支流溢流污染控制一体化设备净化效果相对不太稳定,原因是东南侧支流已有污水截流系统截污效果较差,仅依靠河道内设置小型溢流堰的截流效果远低于北侧支流河道内设置液压坝的截流效果,溢流污染来水浓度波动大,如进水 COD 浓度在 12~201.7 mg/L 变化,NH₃-N 浓度在 0.1~32 mg/L 变化,TP 浓度在 0.1~7.5 mg/L 变化,系统进水最高浓度远高于设计浓度,导致出水效果不稳定。

进一步分析公园湿地出水效果发现,湿地出水 COD 浓度在 18.1~51.2 mg/L,NH₃-N 浓度在 0~6.3 mg/L,TP 浓度在 0.1~0.6 mg/L,出水水质与设计目标浓度 COD 40 mg/L,NH₃-N 2~4 mg/L,TP 0.4 mg/L 的要求稍有偏差。分析原因如下:一是东南侧支流在 2024 年 2 月污染严重,来水水质严重偏高,且公园湿地需同时发挥调蓄和水质净化作用,在较短停留时间下,曝气、仿生水草等强化去除 COD 和 NH₃-N 的辅助措施对水质净化效果有限。二是东南侧支流溢流污染调

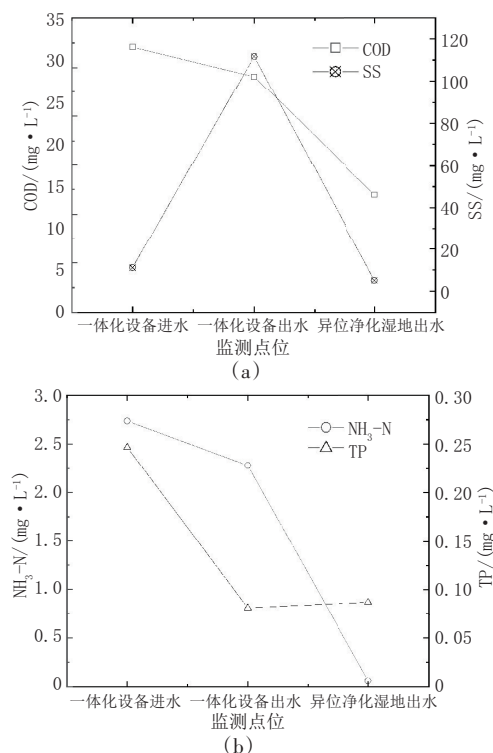


图3 北侧支流2023年11月水质数据(单位:mg/L)

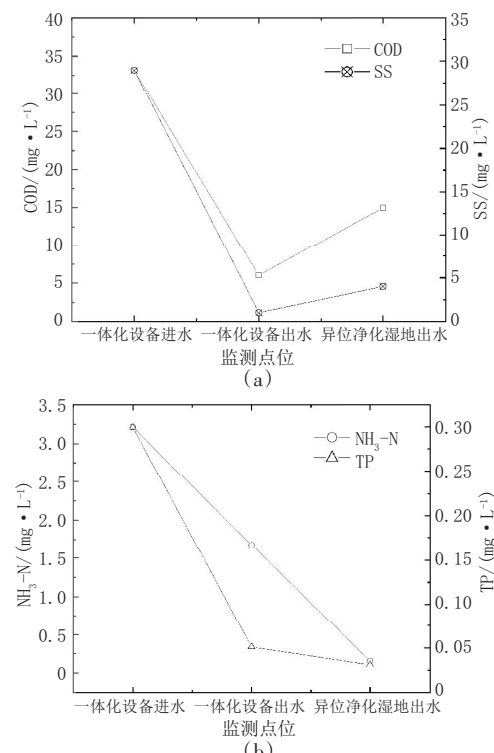


图5 北侧支流2024年2月水质数据

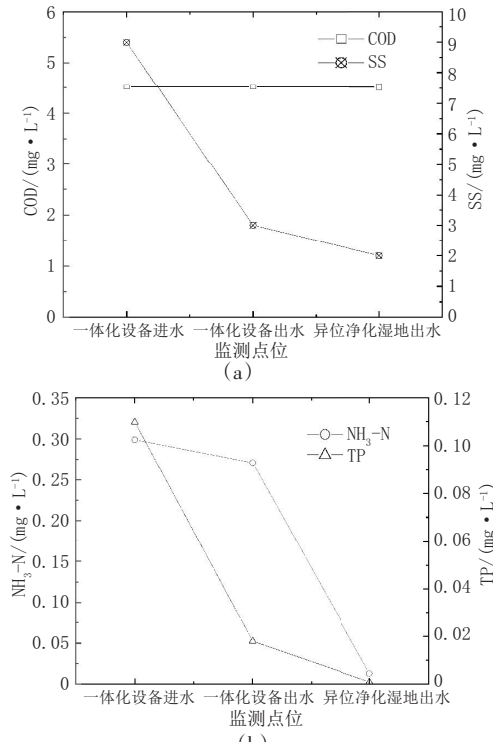


图4 北侧支流2023年12月水质数据

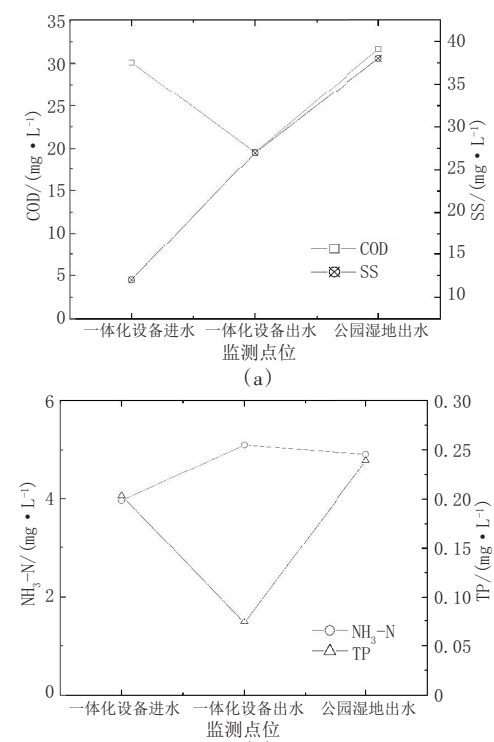


图6 东南侧支流2023年11月水质数据

蓄净化效果需要运维单位在大雨前预降堰前水位以留足调蓄空间,实际运维过程并未有效实施,导致公园湿地出水效果不佳。在外源无法彻底雨污分流改造前提下,本工程本身对公园湿地的设计目标为保证公园水系感官明显提升,不出现劣五类黑臭和底泥上浮,所以,除2024年2月来水水质浓度明显偏高

的特殊情况下,可以认为公园湿地的设计基本符合预期工程效果。

根据该市多年日降雨资料统计,支流每年平均约有45 d的日降雨量大于或等于10 mm。因此,上述工程措施实施后,可以保证公园水体全年320 d不受溢流污染影响,显著削减了溢流频次,这与武汉东

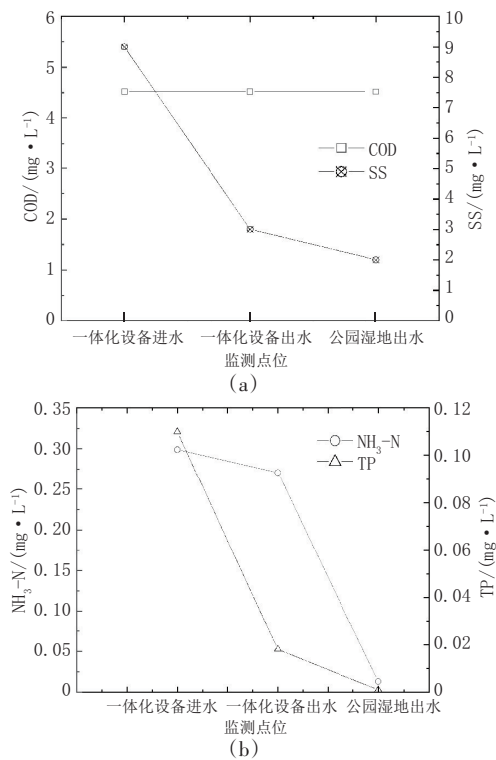


图7 东南侧支流2023年12月水质数据

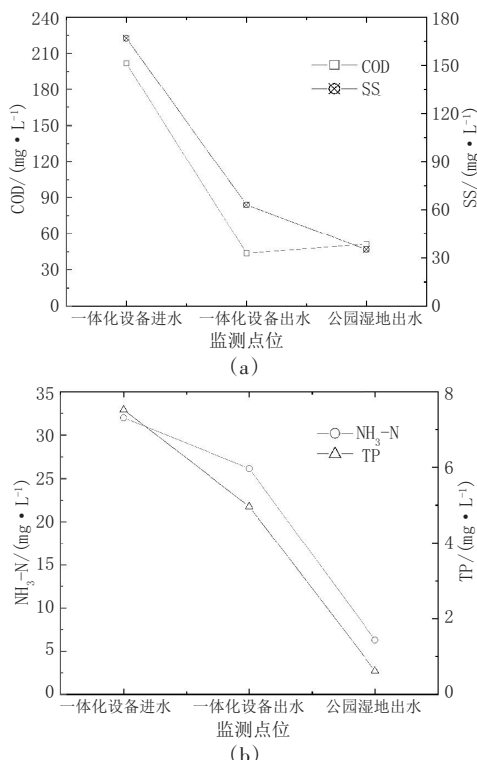


图8 东南侧支流2024年2月水质数据

湖增加溢流污染调蓄容量有效减少年溢流频次的效果一致^[9]。另外,基于溢流污染主要发生在雨季的特性,选择了超磁物化+多塘湿地的处理工艺,类似

工艺在其他河道溢流污染应急治理中也得到了广泛应用^[10]。一体化处理设备近期作为溢流污染的就地处理设备,待远期大面积雨污分流改造完成后,该设备可用于雨后公园水体水质和透明度快速提升^[11],以实现公园水体草型清水湖泊生态系统的构建和维持,避免一次性投资的浪费。

5 结 语

本研究和工程实践表明,截流式合流制排水系统,可结合增加溢流污染截流调蓄、就地一体化设备+生态处理的方式较好的缓解了目前污水厂运行满负荷,下游污水主管输送能力有限带来的溢流污染问题;增加就地自然调蓄容积,通过溢流污染就地处理和利用,有效减少了未经处理的溢流频次。考虑到就地一体化设备结合生态处理的处理效果受来水水质影响大,为了更好的实现溢流污染就地处理和回用效果,建议加强污水源头雨污分流改造,尽可能减少末端溢流污染,以保证溢流污染受纳水体的水质和生态系统稳定性。

参考文献:

- [1] Chebbo G, Gromaire M C, Ahyyer M. Production and transport of urban wet weather pollution in combined sewer systems: the "Marais" experimental urban catchment in Paris[J]. Urban Water, 2001(1/2): 3.
- [2] 王建龙,车伍,易红星. 基于低影响开发的城市雨洪控制与利用方法[J]. 中国给水排水, 2009, 25(14): 6-9.
- [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] 张辰,徐文征,李春光. 中心城区合流制排水系统改造技术研究与实践[J]. 给水排水, 2020, 56(5): 68-72.
- [5] 贾良杰. 川南老城区黑臭水体合流制溢流污染控制策略研究-以内江市蟠龙冲为例[D]. 成都:西华大学, 2020.
- [6] 祝超逸,李怀正. 河道护坡湿地类型对雨天溢流污染物去除特性[J]. 净水技术, 2023, 42(5): 122-130.
- [7] 孟莹莹,冒建华,李俊奇,等. 灰绿措施组合对城市溢流污染的削减效果研究[J]. 给水排水, 2020(46): 669-675.
- [8] 张辰,吕永鹏,莫祖澜,等. 以总磷控制为主导的滴水湖水水质保障系统方案探讨[J]. 给水排水, 2019, 45(9): 46-54.
- [9] 徐成剑,胡胜利. 武汉市东湖水环境提升工程CSO调蓄池规模模拟研究[J]. 水利水电快报, 2021, 42(12): 124-129.
- [10] 孟令鑫,胡天媛,宫政,等. 超磁混凝/接触氧化/稳定塘工艺应急处理黑臭水体[J]. 中国给水排水, 2018(16): 93-96.
- [11] 王书航,郑邦方,尚晓,等. 平原河网景观湖泊水质提升关键问题分析与对策研究:以嘉兴南湖为例[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(6): 891-896.