

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.10.016

# 武汉市黄孝河合流制溢流强化处理设施工艺设计

孙 巍, 赵红兵

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430014)

**摘 要:** 武汉市黄孝河合流制溢流强化处理设施用于处理雨季时发生在黄孝河明渠起端的合流制溢流污水,运行模式为间歇运行,设计规模 $6\text{ m}^3/\text{s}$ 。采用细格栅、曝气沉砂池、高效沉淀池、精密过滤设备、紫外消毒等物化为主的污水处理工艺,使用了可高效处理无机质污泥的带式浓缩脱水一体机对厂区剩余污泥进行减量化。工艺方案中充分考虑了间歇运行模式下的运行及维护需求,进行了高效沉淀池出水的自循环及便于全厂设施运维的放空等特别设计。对厂区的自产水进行了生产回用,可节约水资源,降低运行费用。采用离子除臭工艺对产臭单体的臭气进行处理,达标后排放,同时进行了屋顶花园等高标准绿化设计,工程环境友好。

**关键词:** 合流制溢流污染; 高效沉淀池; 间歇运行; 离子除臭

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)10-0101-05

## Design of Wuhan Huangxiao River Combined Sewer Overflow Enhanced Treatment Facility

SUN Wei, ZHAO Hong-bing

(Central & Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430014, China)

**Abstract:** The Wuhan Huangxiao River combined sewer overflow (CSO) enhanced treatment facility with intermittent operation mode is applied to treat the combined sewer overflow collected at the beginning of Huangxiao River open channel in the rainy season. The design scale of the facility is  $6\text{ m}^3/\text{s}$ . It adopts physical-chemical wastewater treatment processes such as fine grid, aerated grit chamber, high efficient sedimentation tank, precision filtration equipment, ultraviolet disinfection, and a belt thickening and dewatering machine which can efficiently deal with inorganic sludge is selected to reduce the excess sludge in the plant. In the design scheme, the operation and maintenance requirements under intermittent operation mode were fully considered, and special designs such as self-circulation of the effluent from the high efficient sedimentation tank and venting for the operation and maintenance convenience of the whole plant facilities were carried out. The tail water in the plant was recycled to save water resources and reduce the operating cost. The odor of odorous monomer was treated by ion deodorization process and emitted after reaching the emission standard. In addition, the high-standard greening design such as roof garden was adopted, making the project environment-friendly.

**Key words:** combined sewer overflow pollution; high efficient sedimentation tank; intermittent operation; ion deodorization

## 1 工程概况

黄孝河为武汉市城市内河(上游为暗涵,下游为明渠),承担着汉口东部51.4 km<sup>2</sup>城区的雨、污水排放任务,服务人口110万人;其中京广铁路以南地区为合流区(即上游暗涵段),面积约为18.4 km<sup>2</sup>,雨水经黄孝河暗涵排入黄孝河明渠,合流制排水系统的旱季污水通过在暗涵出口处设置钢坝闸拦截,经污水泵站提升至污水处理厂进行处理。但雨季时,由于大量雨水的汇入,导致合流制污水量远超污水处理厂的处理规模,进而在黄孝河明渠起端发生合流制溢流(CSO)污染<sup>[1]</sup>。

武汉市黄孝河CSO强化处理设施旨在解决黄孝河明渠雨季的CSO污染问题,将雨季污水处理厂消纳不了的CSO污水接入CSO在线强化处理设施,通过调蓄池来调节CSO来水量与强化处理设施处理规模的不平衡。

具体工程方案如图1所示<sup>[2]</sup>。

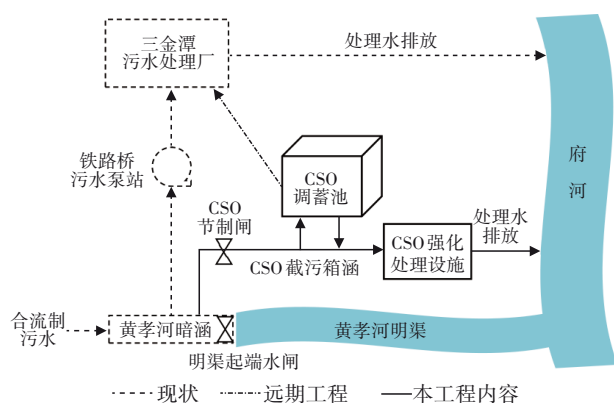


图1 黄孝河CSO污染治理方案示意

Fig.1 Schematic diagram of Huangxiao River CSO pollution treatment scheme

黄孝河CSO强化处理设施位于武汉市江岸区黄孝河明渠与张公堤交汇处西南侧,紧邻后湖泵站。

工程建设规模6 m<sup>3</sup>/s,间歇运行,污水处理工艺为细格栅、曝气沉砂池、高效沉淀池、精密过滤设备、紫外消毒池;污泥经高效沉淀浓缩后进入带式浓缩脱水一体机,减量后外运。

全厂采用离子除臭工艺对产臭单体的臭气进行处理,并进行了屋顶花园等立体的高标准绿化设计,环境友好。

黄孝河CSO强化处理设施建成后的效果如图2所示。



图2 黄孝河CSO强化处理设施鸟瞰图

Fig.2 Aerial view of Huangxiao River CSO enhanced treatment facility

## 2 设计进、出水水质

CSO强化处理设施处理对象主要为合流制排水系统产生的溢流污水即CSO污水,是以城市污水为本底,混有因降水而产生的径流污染,及因冲刷作用而携带的管道底泥,因为CSO污水的特点很大程度上取决于降水情况,所以其污染具有非连续性、爆发性、随机性的特点。

CSO水质随城市降雨特性、居民生活习惯、城市气候、空气污染程度以及道路清洗频率等属地性因素不同而不同,根据国内外合流制排水系统溢流污水水质情况,同时参考同一流域内的三金潭污水处理厂进水水质,结合城市规划功能,经综合分析后确定了黄孝河CSO强化处理设施的设计进、出水水质,具体见表1。

表1 黄孝河CSO强化处理设施设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of Huangxiao River CSO enhanced treatment facility  
mg·L<sup>-1</sup>

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	TSS	NH <sub>3</sub> -N	TP
进水	50 ~ 180	100 ~ 400	70 ~ 500	10 ~ 25	1.5 ~ 4
出水			10		1

TSS是CSO污染物中一个非常关键的指标,李明远等<sup>[3]</sup>的研究也得出径流污染中TSS和COD具有较高污染性,国内外相关研究<sup>[4-6]</sup>也得出了一致的结论。有研究表明<sup>[3,7]</sup>,TSS与COD、氨氮等水质指标线性相关性及指数相关性良好,这可能是因为非溶解态的污染物存在于TSS中,所以TSS可以较好地指征CSO污水的污染特性。以此为基础,并结合受纳水体的环境容量及环评的具体要求,将TSS和TP作为CSO强化处理设施的出水水质控制指标,即

TSS≤10 mg/L, TP≤1 mg/L。

CSO 污水中含有大量的致病微生物,其随水体传播会严重威胁城市居民的身体健康,参考国外 CSO 均进行消毒处理的工程经验,本项目对 CSO 污水进行消毒后排放,出水执行粪大肠菌群数≤1 000 个/L。

### 3 处理工艺

#### 3.1 污水处理工艺

考虑 CSO 污水水质、水量波动范围大及非连续性产生的特点,选择了抗冲击负荷能力强、间歇运行、启动迅速、表面水力负荷高、占地面积小、去除效率高、出水效果稳定、易于操作、维护简单的高效沉淀池作为污水的核心处理工艺。

高效沉淀池是以回流污泥作为絮凝核心对絮凝过程进行强化的一级强化处理工艺,具有优化的絮凝机制、带有斜管的澄清浓缩池、污泥循环澄清三个核心优势。其产水量高,污泥浓缩同步完成,外排污泥浓度高(20~40 g/L),可节省污泥后续处理的投资及运行费用。此外,污泥的回流促进了反应池中的混凝和絮凝反应,且回流污泥中含有一些药剂成分,回流至絮凝区后,延长了药剂和水的絮凝接触时间,使其可以再次得到利用,进一步减少药剂的投加量,可比常规混凝沉淀工艺节省药剂 10%~20%。

出水采用紫外消毒系统。具体工艺流程见图 3。

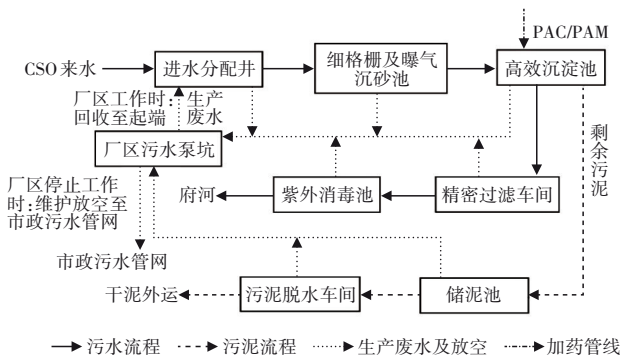


图 3 黄孝河 CSO 强化处理工艺流程

Fig.3 Flow chart of Huangxiao River CSO enhanced treatment process

#### 3.2 污泥处理工艺

本工程产生的污泥主要为高效沉淀池浓缩区的剩余污泥,以无机质污泥为主,性质类似于初次沉淀池污泥,比阻及压缩系数小,宜采用带式压滤

脱水。根据 CSO 的污染特点及污水处理工艺,结合污泥的处置要求,充分考虑运行费用、维护难度、投资、噪声、运行稳定性等因素,本工程采用带式浓缩脱水一体机,将污泥脱水至含水率 80% 后外运。

#### 3.3 除臭工艺

结合本工程间歇运行的特点,选用运行维护简单、占地面积小的离子除臭工艺。其除臭原理:在电场作用下,离子发生器产生大量的带电高能颗粒,它与空气中的氧分子进行碰撞形成正、负氧离子,正氧离子具有很强的氧化性及吸附性,能在极短的时间内氧化、分解甲硫醇、氨、硫化氢、VOC 等,最终生成二氧化碳、水等稳定无害的小分子,达到除臭的目的;同时负氧离子依靠自身极性对污染气体中的细微颗粒和悬浮物进行吸附,从而实现净化空气的目的;此外,氧离子能破坏空气中细菌的生存环境,起到有效的消毒和杀菌作用。

#### 4 主要处理构筑物设计

本项目工程内容:建设进水分配井及仪表间、细格栅及曝气沉砂池、高效沉淀池、精密过滤设备间、紫外消毒池、厂区污水泵坑、污泥脱水车间、加药间、离子除臭系统、变配电间、机修、仓库、车库、管理楼等,具体布置见图 4。



图 4 黄孝河 CSO 强化处理设施平面

Fig.4 Plane layout of Huangxiao River CSO enhanced treatment facility

#### 4.1 细格栅及曝气沉砂池

细格栅间与曝气沉砂池合建,平面尺寸为 63.05 m×46.60 m,处理规模 6 m³/s,共 3 座,单座设计流量 2 m³/s;细格栅栅条间隙 5 mm,每座细格栅间



采用3道平行的过水渠(2用1备),每道放置1台回转孔板格栅,每道细格栅前各设闸门1台,作检修和切换用。曝气沉砂池每座分2格,单格设计流量 $1\text{ m}^3/\text{s}$ 。单格尺寸为 $45\text{ m}\times 4.4\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ ,单格有效容积 $594\text{ m}^3$ 。水平流速 $0.076\text{ m/s}$ ,水力停留时间 $9.9\text{ min}$ ,采用机械排砂,每座沉砂池设水平排砂螺杆装置2套;配2台砂泵,互为备用。

#### 4.2 高效沉淀池

设高效沉淀池1座,混凝土框架结构,屋面采用屋顶绿化形式,总平面尺寸为 $120\text{ m}\times 40.7\text{ m}$ ,处理规模 $6\text{ m}^3/\text{s}$ ,分为6格,单格设计流量 $1\text{ m}^3/\text{s}$ 。每格高效沉淀池由2个混凝池、1个机械絮凝池、1个水力絮凝区、1个沉淀-浓缩池组成,其中混凝池有效容积为 $2\times 64\text{ m}^3$ ,混合时间为 $128\text{ s}$ ;机械絮凝池有效容积为 $380\text{ m}^3$ ,GT值为 $26\ 600$ ;沉淀-浓缩池直径 $17\text{ m}$ ,斜管面积为 $180\text{ m}^2$ ,斜管区上升流速为 $20\text{ m/h}$ ,污泥循环率为3%。考虑到本厂为间歇运行模式,存在每次运行时初期产水不达标的情况,特别设有将不达标出水回流至起端的自循环系统,直至出水渠监测指标合格后,再出水至下游单体,确保出水实时达标。

#### 4.3 精密过滤设备间

精密过滤设备间1座,混凝土框架结构,屋面采用屋顶绿化形式,总平面尺寸为 $38.8\text{ m}\times 25.5\text{ m}$ ,处理规模 $6\text{ m}^3/\text{s}$ ,分为3组,单组设计流量 $2\text{ m}^3/\text{s}$ 。每组装有6台精密过滤器,单台设备规模为 $1\ 250\text{ m}^3/\text{h}$ ,安全系数1.3,过滤效率 $\geq 50\%$ 。

#### 4.4 紫外消毒池

设紫外消毒池1座,地下式,总平面尺寸为 $21.4\text{ m}\times 13.4\text{ m}$ ,处理规模 $6\text{ m}^3/\text{s}$ ,分为6组,单组设计流量 $1\text{ m}^3/\text{s}$ ,每组160根灯管,每根灯管 $320\text{ W}$ ,中间设有溢流渠。

#### 4.5 加药间

加药间为混凝土框架结构,平面尺寸为 $31.4\text{ m}\times 9.4\text{ m}$ ,为高效沉淀池提供混凝剂PAC及絮凝剂PAM。混凝剂采用液态碱式氯化铝( $10\%\text{ Al}_2\text{O}_3$ 计),以商品原液计,投加量为 $60\sim 150\text{ mg/L}$ ;絮凝剂采用聚丙烯酰胺(PAM),投加量为 $0.5\sim 1.0\text{ mg/L}$ ,投加浓度0.2%。为保证混凝及絮凝效果,提高药剂利用率,药剂在高效沉淀池投加点处经在线稀释后再投加。

#### 4.6 污泥脱水车间

污泥脱水车间为混凝土框架结构,屋面采用屋顶绿化形式,平面尺寸为 $43.3\text{ m}\times 13\text{ m}$ ,设储泥池一座,分两格,每格平面尺寸为 $7\text{ m}\times 7\text{ m}$ 。进泥主要为高效沉淀池化学污泥,含水率约98%,选用带式浓缩脱水一体机,设4台,单台处理量为 $80\text{ m}^3/\text{h}$ ,设备进行封闭除臭。共设4套污泥料仓系统,单套有效容积 $100\text{ m}^3$ 。

#### 4.7 除臭系统

设计采用离子除臭工艺。收集进水分配井、细格栅及曝气沉砂池、高效沉淀池、储泥池及污泥脱水车间产生的臭气,然后通过臭气收集系统集中送入离子除臭装置,臭气在离子除臭装置内进行分解、氧化等反应,使臭气中的氨、硫化氢、甲硫醇和甲烷等恶臭污染物质有效分解,处理后的气体通过外排风机达标排放。本工程总除臭风量为 $70\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ ,采用2套除臭设备,单套处理能力为 $35\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ ,功率 $46\text{ kW}$ 。

### 5 工程设计特点

黄孝河CSO强化处理设施处理CSO污水的吨水电费为 $0.045\text{ 元}/\text{m}^3$ ,吨水药剂费用为 $0.22\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

工程设计具有以下特点:

① 处理设施分组设计合理,单组可独立或联合运行,且具备进配水均匀设计的考量,能够有效应对来水量的不同工况。

② 采用以泥渣为循环介质的普通高效沉淀池作为污水核心处理构筑物,具有产水量高、污泥浓缩同步完成、节约用地、抗冲击负荷能力强、节省药剂、处理效果好等优势。

③ 为满足高效沉淀池快速启动、出水达标的现实需要,特别设计了从高效沉淀池出水渠回流至其起端进水渠的自循环系统,确保出水实时达标。

④ 充分考虑间歇运行、设施维护的需求,全厂单体均设置了放空检修系统。

### 6 结语

武汉市黄孝河合流制溢流强化处理设施用于处理雨季时发生在黄孝河明渠起端的合流制溢流污水,采用细格栅、曝气沉砂池、高效沉淀池、精密过滤设备、紫外消毒等物化为主的污水处理工艺,其工程设计经验值得借鉴。

## 参考文献:

- [1] 张文胜,孙巍. 武汉市黄孝河合流制溢流调蓄池工艺设计[J]. 给水排水,2020,46(2):45-48.  
ZHANG Wensheng, SUN Wei. Design for CSOs storage tank of Huangxiaohe River in Wuhan [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46 (2) : 45-48 (in Chinese).
- [2] 孙巍,张文胜. 武汉市黄孝河合流制溢流污染控制系统设计[J]. 给水排水,2019,45(12):9-12.  
SUN Wei, ZHANG Wensheng. Design of pollution control system for CSOs of Huangxiao River in Wuhan City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45 (12):9-12(in Chinese).
- [3] 李明远,魏杰,张武强,等. 深圳市初期雨水特征分析及控制对策研究[J]. 广东化工,2017,44(10):43-46.  
LI Mingyuan, WEI Jie, ZHANG Wuqiang, *et al.* First-flush rainfall in Shenzhen City[J]. Guangdong Chemical Industry, 2017,44(10):43-46(in Chinese).
- [4] 荆红卫,华蕾,陈圆圆,等. 城市雨水管网降雨径流污染特征及对接纳水体水质的影响[J]. 环境化学,2012,31(2):208-215.  
JING Hongwei, HUA Lei, CHEN Yuanyuan, *et al.* Pollution characteristics of runoff in urban storm sewer and its impaction to receiving water[J]. Environmental Chemistry, 2012,31(2):208-215(in Chinese).
- [5] 车武,汪慧珍,任超,等. 北京城区屋面雨水污染及利用研究[J]. 中国给水排水,2001,17(6):57-61.  
CHE Wu, WANG Huizhen, REN Chao, *et al.* Research on roof runoff pollution and utilization in Beijing urban area[J]. China Water & Wastewater, 2001, 17(6) : 57-61(in Chinese).
- [6] GROMAIRE M C, GARNAUD S, SAAD M, *et al.* Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers[J]. Water Research, 2001,35(2):521-533.
- [7] 赵剑强,闫敏,刘珊,等. 城市路面径流污染的调查[J]. 中国给水排水,2001,17(1):33-35.  
ZHAO Jianqiang, YAN Min, LIU Shan, *et al.* Investigation on runoff pollution of urban pavement [J]. China Water & Wastewater, 2001, 17 (1) : 33-35 (in Chinese).

作者简介:孙巍(1985-),女,黑龙江绥化人,硕士,高级工程师,主要研究方向为污水处理及水环境治理,已取得7个实用新型专利,参编标准1项,曾获全国优秀工程勘察设计行业奖二等奖1项、行业优秀勘察设计三等奖1项、湖北省勘察设计行业优秀市政工程设计一等奖1项、湖北省优秀勘察设计工程设计三等奖1项、武汉地区优秀勘察设计公司市政公用工程二等奖和三等奖各1项。

E-mail:2678592020@qq.com

收稿日期:2021-08-27

修回日期:2022-01-05

(编辑:孔红春)

全面推进水生态环境保护和修复  
打造水清岸绿、河畅湖美的美丽家园