

# 高适应性复合人工湿地处理某污水处理厂尾水

许坤<sup>1,2</sup>, 吴义锋<sup>1,2</sup>, 肖宁<sup>3</sup>, 程方奎<sup>1,2</sup>, 吕锡武<sup>1,2</sup>

(1. 东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096; 2. 东南大学 无锡太湖环境工程研究中心, 江苏 无锡 214100; 3. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

**摘要:** 详细介绍了高适应性人工湿地处理长江经济带某污水处理厂尾水工程的设计内容, 可为建设场地复杂或用地紧张的同类型人工湿地的设计提供借鉴。设计总规模为  $14.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 其中  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  分流至生态河道,  $13.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  分流至高适应性复合人工湿地, 人工湿地工艺采用四级生态渠+表流湿地+沉水植物区, 最后出水 25% 用于回用, 75% 排至长江。实际运行中, 湿地进水水质基本达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准, 出水水质优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 中 IV 类水指标限值。

**关键词:** 高适应性复合人工湿地; 污水处理厂尾水; IV 类水质标准

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)22-0058-04

## Application of Highly Adaptable Constructed Wetland to the Advanced Treatment of Effluent from a Sewage Treatment Plant

XU Kun<sup>1,2</sup>, WU Yi-feng<sup>1,2</sup>, XIAO Ning<sup>3</sup>, CHENG Fang-kui<sup>1,2</sup>, LÜ Xi-wu<sup>1,2</sup>

(1. School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Engineering Research Center of Taihu Lake Water Environment, Southeast University, Wuxi 214100, China; 3. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

**Abstract:** The design process of highly adaptable constructed wetland used for advanced treatment of effluent from a sewage treatment plant in the Yangtze economic zone was introduced in detail, and it could provide references for designing the similar constructed wetland that had complex site conditions and less construction land. The effluent from sewage treatment plant was the influent of this project with treatment capacity as  $14.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , in which, the influent of  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  flew into the ecological river, the influent of  $13.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  flew into the constructed wetland. The treatment processes of constructed wetland were composed by four stages eco-ditch, surface flow wetland and submerged macrophyte zone. 25% of the final effluent was used for recycling, and 75% of the effluent was discharged to Yangtze River. After investigation, the influent indexes reached basically standard A of the first class of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). The effluent indexes were better than those of the class IV standard of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838 - 2002).

**Key words:** highly adaptable integrated constructed wetland; effluent of sewage treatment plant;

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07202004-002); 江苏省自然科学基金资助项目(BK20161146)

通信作者: 吕锡武 E-mail: xiwulu@seu.edu.cn

the class IV standard

长江经济带某污水处理厂尾水原直接排入长江,为响应水利部的号召,并根据该污水处理厂尾水入江排污口设置的行政许可相关规定,该污水处理厂尾水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准后须经人工湿地再次深度净化处理。受制于建设场地复杂和用地紧张,现对其尾水进行高适应性人工湿地设计<sup>[1-3]</sup>。

1 项目概况

本项目选址于长江经济带某污水处理厂南侧空地区域,场地范围内的用地类型包括林地、垃圾堆场、堆砂区、自然草地、河道以及部分建设用地(见图 1),场地类型较为复杂。工程用地整体为狭长,覆盖面积约为 30 hm<sup>2</sup>。其中,垃圾堆场已搁置多年,此块用地不宜用作湿地建设;河道东侧的部分用地因河道而分隔也无法用于湿地建设,工程用地大大缩减。另外,工程用地范围内标高变化幅度相对较大,最低标高(1.69 m)和最大标高(7.92 m)相差 6 m 之多,需要进行一个合理的高程布置。总体而言,本湿地水质净化工程设计难度较大。

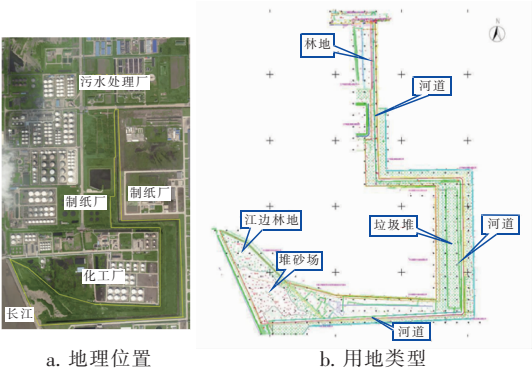


图 1 工程地理位置及用地类型

Fig. 1 Project location and land use types

2 工程设计

2.1 处理规模及进、出水水质

长江经济带某污水处理厂污水处理规模为  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,现该污水处理厂三、四期扩建新增污水处理规模  $9.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总污水处理能力达到  $14.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。因此,高适应性人工湿地工程设计处理规模为  $14.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

本项目进水为污水处理厂尾水,经调研,进水基本达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB

18918—2002)一级 A 标准,出水需达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水标准要求。具体设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

mg · L <sup>-1</sup>				
项目	COD	BOD <sub>5</sub>	氨氮	TP
进水	50	10	5	0.5
出水	30	6	1.5	0.3

2.2 设计方案及工艺流程

本工程除去垃圾堆场及被河道分隔的用地后,可利用的面积大约为 22 hm<sup>2</sup>,整个湿地的水力负荷将不低于  $0.67 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。为保证出水水质达标,高适应性人工湿地设计方案如下:污水处理厂尾水由提升泵提升至湿地前端配水池,根据环境容量计算,设计分流  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  至生态河道,承担部分流量的尾水净化功能;分流  $13.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  至人工湿地,人工湿地共设置了三个功能单元,依次为生态渠、表流湿地、沉水植物区。其中,生态渠根据工程实际用地情况共设置四级,边坡采用多孔混凝土护坡,并设置一至两级的植物表面滤床和生态浮床,增强植物及微生物的生境以强化对污水的去除效果;生态渠出水通过溢流堰跌至表流湿地,并在表流湿地末端设置水位控制堰,通过水位调控以不同的模式运行;表流湿地出水通过水位控制堰跌至沉水植物区,沉水植物区对表流湿地出水进行复氧,稳定出水水质,并在沉水植物区设置软围隔以优化流场。最终,生态河道中的尾水汇至沉水植物区,沉水植物区 25% 出水回用于道路洒洗、绿化养护、河道补水及企业生产;75% 出水由排江泵站排至长江。具体工艺流程见图 2。工程平面布置见图 3。

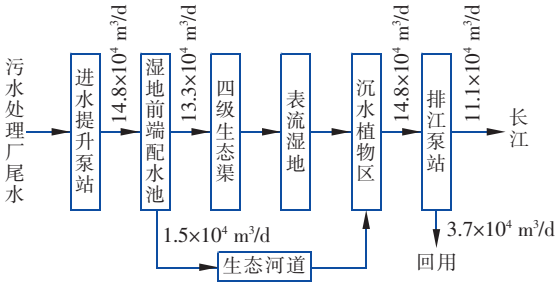


图 2 工艺流程

Fig. 2 Flow chart of treatment process

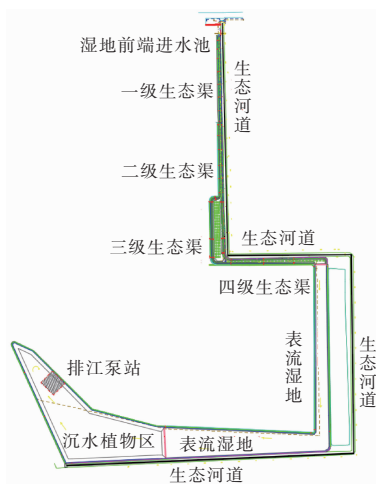


图3 工程平面布置

Fig. 3 Plane layout of constructed wetland project

## 2.3 主体工程设计参数

### 2.3.1 进水提升泵站

进水提升泵站即污水处理厂排水泵站,分为原污水处理厂排水泵站和三、四期扩建新增排水泵站。新增排水泵站设计采用地下钢混结构,变化系数为1.30,最大设计流量为 $5\,400\text{ m}^3/\text{h}$ ;有效容积为 $135\text{ m}^3$ ;配有污水提升泵5台(4用1备),潜水排污泵 $Q=1\,350\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=160\text{ kPa}$ , $N=90\text{ kW}$ ;电动葫芦1台,起质量为 $3\text{ t}$ , $N=3.0\text{ kW}$ 。

### 2.3.2 湿地前端配水池

湿地前端配水池设计采用钢混结构,面积为 $15\text{ m}^2$ ,有效水深为 $2.5\text{ m}$ ,总容积为 $37.5\text{ m}^3$ ,底部设置进水管(DN1 600)。在配水池南侧和东侧分别设置出水堰,通过堰长控制分流量,南侧出水堰分流 $13.3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 尾水至生态渠,东侧出水堰分流 $1.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 尾水至生态河道。

### 2.3.3 生态河道

本工程设计利用的河道长度为 $2.8\text{ km}$ ,河宽约 $10\text{ m}$ ;设计生态河道水位线为 $1.20\text{ m}$ ,有效水深为 $1.45\text{ m}$ 。为保证分流至生态河道的尾水最终回到湿地,在污水厂北端设置橡胶坝,橡胶坝坝袋为充气式,锚固结构为螺栓压板,坝长为 $10\text{ m}$ ,坝顶高程为 $1.40\text{ m}$ 。在生态河道末端设置拦污网、矩形堰、集水池,拦污网规格为 $10.0\text{ m}\times 3.0\text{ m}$ ,矩形堰规格为 $10.0\text{ m}\times 0.3\text{ m}\times 1.45\text{ m}$ ,集水池规格为 $10.0\text{ m}\times 7.28\text{ m}\times 2.85\text{ m}$ 。生态河道出水通过潜污泵提升至湿地沉水植物区,潜污泵设于集水池,共2台(1用1备), $Q=750\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=50\text{ kPa}$ , $N=18.5\text{ kW}$ 。

### 2.3.4 生态渠

为维护岸坡的安全与稳定,突破传统硬质岸坡的特点,生态渠护坡采用多孔混凝土护坡技术,该技术采用类似天然土壤透水透气特性并具有一定强度的多孔混凝土预制球铺装护砌,利用多孔混凝土的连续孔隙及其铺装时自然产生的较大孔隙,为绿色植物提供良好的载体。其次,在生态渠护坡中设置一级或两级的植物表面滤床使微生物得到富集并大量繁殖。最后,在生态渠中布置生态浮床,水面覆盖率控制在 $20\%$ 左右,床面夏秋季种植空心菜、水葫芦等,冬春季换茬为水芹、冬麦等,在植物生长季节,定期收割,水上植物种植面积比例为 $15\%\sim 20\%$ ,下部悬挂弹性填料,依靠立体型生物链去除污染物。

由于工程用地前端较为狭窄,根据地形情况设计采用四级生态渠。一级生态渠设计总长度为 $252\text{ m}$ ,上口宽度为 $7.5\text{ m}$ ,边坡设置一级植物表面滤床,宽度为 $1.5\text{ m}$ ,边坡比为 $1:1$ ,设计水位线为 $3.85\sim 3.45\text{ m}$ ;二级生态渠设计总长为 $217\text{ m}$ ,上口宽度为 $10.7\sim 11.2\text{ m}$ ,边坡设置一级植物表面滤床,宽度为 $1.5\text{ m}$ ,边坡比为 $1:1.5$ ,设计水位线为 $3.45\sim 3.25\text{ m}$ ;三级生态渠设计总长为 $199\text{ m}$ ,上口宽度为 $39.6\sim 41.9\text{ m}$ ,边坡设置两级植物表面滤床,宽度均为 $2.0\text{ m}$ ,边坡比为 $1:3$ ,设计水位线为 $3.25\text{ m}$ ;四级生态渠设计总长为 $294\text{ m}$ ,上口宽度为 $15.8\sim 19.4\text{ m}$ ,边坡设置一级植物表面滤床,宽度为 $2.0\text{ m}$ ,边坡比为 $1:3$ ,设计水位线为 $3.25\sim 3.15\text{ m}$ 。在末端设置溢流堰,堰顶标高为 $3.15\text{ m}$ 。

### 2.3.5 表流湿地

表流湿地设计高水位线为 $3.05\sim 2.90\text{ m}$ ,低水位线为 $2.75\sim 2.60\text{ m}$ ,有效水深为 $0.3\sim 0.6\text{ m}$ ,有效容积为 $14\,867\sim 30\,691\text{ m}^3$ ,边坡比为 $1:3$ ,边坡及底部采用原状土压实,其上覆种植土。在末端采取可调控水位( $2.60\sim 2.90\text{ m}$ )的溢流堰。在低水位时整个系统模拟天然沼泽湿地运行,植物自行完成生长、枯萎、沤渍残体等过程,依赖于基质中的腐殖质和植物残体释放的有机物作为碳源完成反硝化脱氮过程;高水位时湿地系统以普通表流湿地运行,做到植物有序管理、及时换茬。

### 2.3.6 沉水植物区

沉水植物区位于湿地水质净化系统的末端,为水质保障单元。沉水植物区设计水位线为 $2.50\text{ m}$ ,



有效水深为 3.5 m,有效容积为 215 942 m<sup>3</sup>,边坡比为 1:3,边坡及底部采用原状土压实,其上覆种植土。在沉水湿地中设置软围隔导流,改善沉水湿地中流场形态,增强水质净化效果。

### 2.3.7 排江泵站

排江泵站采用地下钢混结构,变化系数为 1.30,最大设计流量为 8 020 m<sup>3</sup>/h;配潜水排污泵 5 台(4 用 1 备), $Q=2\ 005\ \text{m}^3/\text{h}$ , $H=72\ \text{kPa}$ , $N=55\ \text{kW}$ 。

### 2.4 植物配置

在湿地不同功能区种植挺水植物、浮叶植物和沉水植物(见表 2),构建人工湿地生态系统。

表 2 人工湿地植物配置参数

Tab. 2 Plant configuration parameters of constructed wetland

区 域	植物类型	植物种类	种植密度或覆盖度	种植方式
岸坡及植物表面滤床	挺水植物	花叶芦竹、芦苇、水葱、美人蕉、茭白	15~25 株/m <sup>2</sup>	育苗移栽
	浮叶植物	睡莲、水鳖	覆盖度 50%~55%	育苗移栽
中部浮叶和沉水带	浮叶植物	睡莲、水鳖	覆盖度 50%~55%	育苗移栽
	沉水植物	菹草、轮叶黑藻	覆盖度 65%~75%	包土沉栽

### 3 主要经济技术指标

本工程总建设面积 22.7 hm<sup>2</sup>,总容积 35.5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,总水力停留时间 ≥ 46.57 h。湿地处理系统工程总投资为 3 318.85 万元,其中工程前期费为 193.13 万元,工程建安费为 2 788.62 万元,其他费为 179.06 万元,工程预备费为 158.04 万元。年运行费用为 226.88 万元,水处理成本为 0.042 元/m<sup>3</sup>。

### 4 运行效果分析

目前本湿地接纳污水总量为 9.8 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 左右,工程于 2018 年 3 月完工并进行调试,经过 3 个月的稳定运行后,系统运行情况良好,植物生长正常,出水水质达到设计标准。表 3 为稳定运行后一个月的平均进、出水指标。

表 3 平均进、出水指标

Tab. 3 Average influent and effluent quality

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	氨氮	TP
进水/(mg · L <sup>-1</sup> )	34.0	8	2.67	0.43
出水/(mg · L <sup>-1</sup> )	18.0	4	0.63	0.21
去除率/%	47.1	50	76.4	51.2

### 5 结语

长江经济带某污水厂尾水高适应性湿地处理工程通过设计合理的功能分区、采用多孔混凝土护坡技术、布置生态浮床和植物表面滤床、设置软围隔、建立合理的植物配置等措施,突破了建设场地类型复杂、用地紧张等限制因素,保障了污染物的有效去除,从而降低了沿江水环境风险。

### 参考文献:

- [1] 管策,郁达伟,郑祥,等. 我国人工湿地在城市污水处理厂尾水脱氮除磷中的研究与应用进展[J]. 农业环境科学学报,2012,31(12):2309-2320.  
Guan Ce, Yu Dawei, Zheng Xiang, et al. Removing nitrogen and phosphorus of effluent from wastewater treatment plants by constructed wetlands in China: An overview[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012,31(12):2309-2320(in Chinese).
- [2] 陈思莉,王丽,魏清伟,等. 人工湿地处理 10 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 工业园尾水设计实例[J]. 中国给水排水,2014,30(14):49-52.  
Chen Sili, Wang Li, Guo Qingwei, et al. Large-scale example of effluent from industrial park with constructed wetland process[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(14):49-52(in Chinese).
- [3] 满丽. 洙水河滩人工湿地水质净化工程设计[J]. 中国给水排水,2017,33(14):66-69.  
Man Li. Design of constructed wetland for water purification in Zhushui River benchland[J]. China Water & Wastewater, 2017,33(14):66-69(in Chinese).



作者简介:许坤(1995-),男,安徽六安人,硕士研究生,研究方向为水污染控制。

E-mail: xukunseu@163.com

收稿日期:2019-02-17