

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.20.021

# 制浆造纸产业园区污水处理厂提升改造工程案例

安洁<sup>1</sup>, 陈涛<sup>1</sup>, 尹敏敏<sup>2</sup>, 张长<sup>1</sup>

(1. 郑州大学环境技术咨询工程有限公司, 河南 郑州 450000; 2. 河南省地质局地质灾害防治中心, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 按照环保政策要求,新建、扩建制浆造纸企业应集中到产业园区,对造纸企业废水进行集中治理。河南某制浆造纸产业园区主导产业为造纸、纸制品加工、包装印刷及相关配套产业,其污水处理工艺由“调节池+絮凝反应沉淀+气水反冲洗滤池”提升改造为“细格栅+调节池+初沉池+UASB池+厌氧沉淀池+氧化沟+OAO生物池+二沉池+芬顿流化床+三沉池+加炭澄清池(应急)+转筒式精密过滤器”,连续半年的运行结果表明,即使进水水质波动较大,提升改造集成工艺对COD、BOD<sub>5</sub>、SS、氨氮、总氮、TP和色度的平均去除率分别达到98.8%、98.9%、99.3%、87.8%、64.0%、80%和91.4%,出水COD<40 mg/L、氨氮<2 mg/L、总磷<0.4 mg/L,其他水质指标优于《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014)的排放限值。该提升改造工程投资为21 806万元,综合运行费用为8.29元/m<sup>3</sup>,对其他类似制浆造纸产业园区污水处理具有一定的借鉴意义。

**关键词:** 制浆造纸废水; 集中治理; 提升改造; 集成工艺

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)20-0127-05

## Case of a WWTP Upgrading Project in Pulp and Papermaking Industrial Park

AN Jie<sup>1</sup>, CHEN Tao<sup>1</sup>, YIN Min-min<sup>2</sup>, ZHANG Chang<sup>1</sup>

(1. Zhengzhou University Environmental Technology Consulting Engineering Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China; 2. The Prevent and Control Center for the Geological Disaster of Henan Geological Bureau, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** According to the requirement of environmental protection policy, the new and expanded pulping and papermaking enterprises should be located in the industrial park, meanwhile the sewage of them should be centrally treated. The leading industries of a pulping and papermaking industrial park in Henan Province are papermaking, paper product processing, packaging printing and related supporting industries. The sewage treatment process has been upgraded from “regulating tank, flocculation reaction sedimentation, air-water backwashing filter” to “fine grid, regulating tank, primary sedimentation tank, UASB tank, anaerobic sedimentation tank, oxidation ditch, OAO biological tank, secondary sedimentation tank, Fenton fluidized bed, triple sedimentation tank, charcoal clarifier (emergency), and rotary cylinder type precision filter”. The continuous operation results of six months indicate that even if the influent quality fluctuated greatly, the average removal rates of COD, BOD<sub>5</sub>, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN, TP and chroma by the upgraded treatment process reach 98.8%, 98.9%, 99.3%, 87.8%, 64.0%, 80% and 91.4%,

通信作者: 尹敏敏 E-mail: minminyin2008@163.com

respectively. The effluent COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , and TP are less than 40 mg/L, 2 mg/L, and 0.4 mg/L, respectively. The other water quality indicators are better than the discharge limits of the *Discharge Standard for Water Pollutants in Jialu River Basin* (DB 41/908—2014). The upgrading investment of the project is 218.06 million yuan, and the comprehensive operating cost is 8.29 yuan/ $\text{m}^3$ , which has certain reference significance for the wastewater treatment in pulping and papermaking industrial park.

**Key words:** pulping and papermaking wastewater; centralized management; upgrading; integrated technique

造纸废水中因含有大量的半纤维素、木质素及化学药品,耗氧量大,对生态环境造成严重破坏,其处理始终是社会关注的热点之一。因污水的集中处理较单独处理效率更高<sup>[1]</sup>,园区规划及规划环评、国家《水污染防治行动计划》等要求,新建、扩建制浆造纸企业应集中到产业园区,并实现污水集中治理。

河南某制浆造纸产业园区规划面积为8 km<sup>2</sup>,主导产业为造纸、纸制品加工、包装印刷及相关配套产业,属于市级工业专业园区。该制浆造纸产业园区现状排水重点企业以造纸企业为主,造纸废水包括制浆蒸煮废液、洗涤废水、漂白废水与纸机白水等。

## 1 园区污水厂概况

该制浆造纸产业园区污水处理厂位于大隗镇河屯村,占地约7.2 hm<sup>2</sup>,南靠双洎河。该产业园区内各造纸厂均建有独立污水处理系统,执行《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544—2008),大多采用物化+生化工艺,出水进入园区污水处理厂。园区污水处理厂实际进水量约 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,污水处理工艺为调节池+絮凝反应沉淀+气水反冲洗滤池(见图1),执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准(其中 $\text{COD}\leq 40\text{ mg/L}$ ),排水由厂区南侧总排水口排入双洎河。

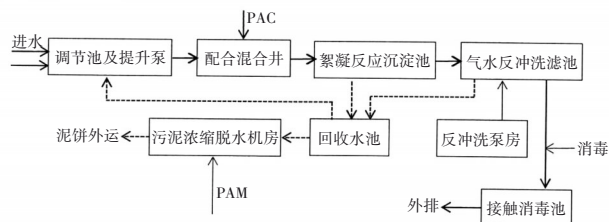


图1 现有工程污水处理工艺

Fig.1 Flow chart of existing sewage treatment process

此次提升改造的主要原因:①近年来随着国家

和地方环保标准及政策不断严格,园区内大部分造纸企业治污设施已经过多轮投资改造,企业运营成本较高,吨纸治污成本增大;②受市场行情及环保管控影响,造纸企业生产负荷较低,基本维持在50%或间歇性生产,造成各企业污水处理设施利用效率较低、运行不稳定;③个别企业排水超园区污水处理厂进水指标要求,易造成制浆造纸产业园区污水处理厂处理工艺尾水不能达标排放;④园区污水厂尾水是双洎河上游的主要水源,为保障双洎河下游考核断面水质稳定达标,需进一步降低尾水中的主要污染物浓度。

## 2 进、出水水质及工艺流程

### 2.1 设计进、出水水质

该制浆造纸产业园区污水处理厂目前处理的工业废水主要为造纸废水,根据当地政府部门及环保要求,各企业废水经简单的预处理后由“一厂一管”排至园区污水处理厂集中处理,排水需执行 $\text{COD}\leq 40\text{ mg/L}$ 、氨氮 $\leq 2\text{ mg/L}$ 、总磷 $\leq 0.4\text{ mg/L}$ 的标准,其他水质指标达到《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014)的排放限值,具体见表1。

表1 进水水质与排放标准

Tab.1 Influent quality and discharge standards

项目	COD/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3\text{-N}$ / ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	色度/ 倍
进水水质	3 000	800	1 300	15	20	1.0	300
排水水质	$\leq 40$	$\leq 10$	$\leq 10$	2.0	$\leq 15$	$\leq 0.4$	30

### 2.2 废水处理提升改造工艺

园区造纸企业废水由间接排放改为直接排入园区污水处理厂,园区污水厂进水由达到《制浆造纸工业水污染物排放标准》(即 $\text{COD}\leq 100\text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5\leq 40\text{ mg/L}$ 、 $\text{SS}\leq 100\text{ mg/L}$ 和色度 $\leq 100$ 倍)变为企业简单预处理后直排(见表1),且设计出水水质要

求更高,亟需对园区污水厂原有工艺进行提升改造。

该工程提升改造后集成工艺为“细格栅+调节

池+初沉池+UASB池+厌氧沉淀池+氧化沟+OAO生物池+二沉池+芬顿流化床+三沉池+加炭澄清池(应急)+转筒式精密过滤器”,具体见图2。

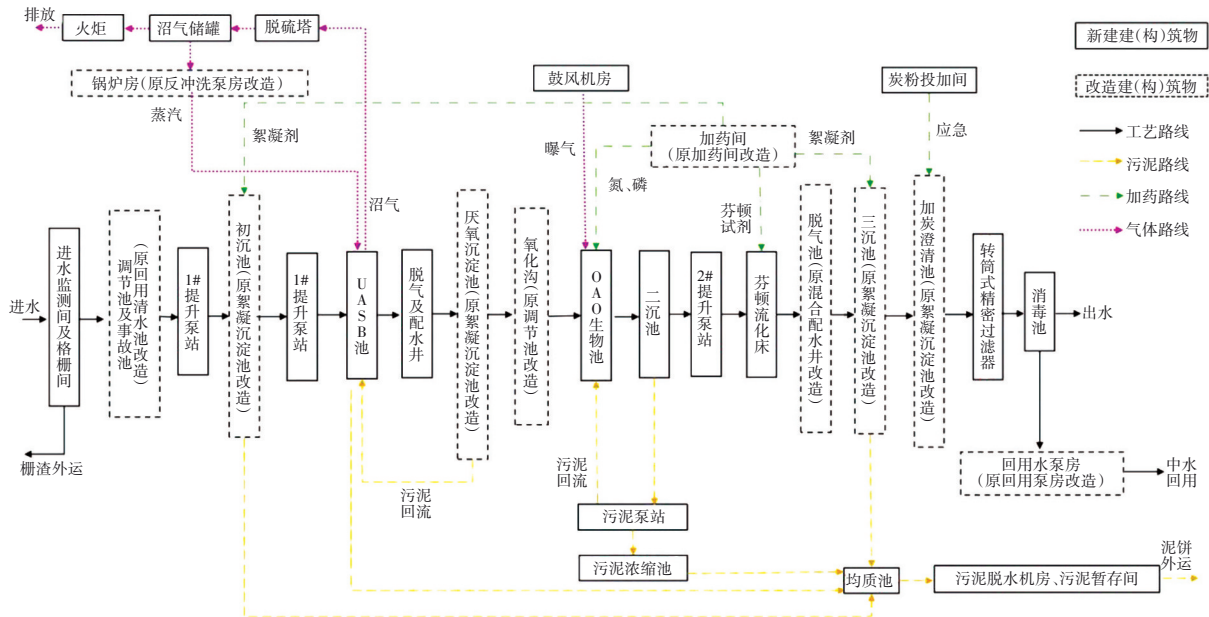


图2 废水处理提升改造工艺流程

Fig.2 Flow chart of wastewater treatment upgrading process

### 3 工艺设计

#### 3.1 提升改造思路

为保证提升改造后的出水稳定达标排放,需考虑强化各污染因子的去除措施。该工程进水主要为造纸工业废水,有机污染物浓度高、水质水量波动大,B/C为0.27,可生化性较差,因此,污水厂提升改造工艺方案应着重考虑改善污水可生化性,提高生化处理效果,深度处理单元应加强难降解COD及色度去除,以保证出水达标<sup>[2-3]</sup>。

BOD<sub>5</sub>:N:P的比值是影响生物脱氮除磷的重要因素,该工程进水BOD<sub>5</sub>/TN=40,BOD<sub>5</sub>/TP=800,满足生物脱氮除磷工艺对碳源的要求,但实际进水BOD<sub>5</sub>具有波动性,为保证生物脱氮效果,必要时可考虑补充外部碳源和氮、磷元素。

#### 3.2 主要设计参数

##### 3.2.1 改造部分

① 初沉池(原折板絮凝平流沉淀池改造)。折板絮凝池,1座2组,配备混凝搅拌器和絮凝搅拌器各2套;初沉池,1座,表面负荷 $0.69 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,沉淀时间5.0 h,配备桁车式刮泥机2台,排泥泵2台(1用1备)。

② 三沉池(原折板絮凝平流沉淀池改造)。折板絮凝池,1座2组,配备混凝搅拌器2套;三沉池,1座2格,表面负荷为 $0.69 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,沉淀时间5.0 h,配备桁车式刮泥机2台、排泥泵2台(1用1备)。

③ 缺氧及好氧池(原回用清水池改造)。钢混结构,1座3格,反应池有效容积 $12487.5 \text{ m}^3$ ,HRT为9.99 h,其中缺氧区6.66 h、好氧区3.33 h,气水比7.2:1;配备高速潜水搅拌机24台,叶轮直径480 mm;配备可提升式旋流曝气器250个,曝气量 $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

④ 氧化沟(原调节池改造)。将现有调节池的池壁加高,氧化沟有效池容为 $36414 \text{ m}^3$ ,HRT为29.1 h,有效水深7 m,混合液污泥浓度 $4500 \text{ mg/L}$ ,气水比14.4:1;生化处理单元污泥回流比为50%~100%,硝化液回流比为150%~300%,剩余污泥量约15 t/d,总HRT为38.09 h(缺氧及好氧池+氧化沟);配备推流器18台,叶轮直径1800 mm;配备导流泵6台(4用2备),扬程10 kPa;配备旋流曝气器540个,曝气量 $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

⑤ 中和池(原混合配水井改造)。钢混结构,

1座, HRT为28 min, 配套磁悬浮风机2台(1用1备), 风量 $20\text{ m}^3/\text{min}$ , 穿孔曝气管2套。

⑥ 鼓风机房、配电间及加温池(原回用泵房及配电间改造)。鼓风机房为地上框架结构, 1座, 氧化沟、缺氧及好氧池分别配备磁悬浮风机3台和2台; 加温池1座, 有效容积 $726\text{ m}^3$ , 配备混合器1套, 提升泵3台, 搅拌器1台(叶轮直径480 mm)。

⑦ 加药间(原加药间改造)。地上框架结构, 1座, 配备PAC、PAM、氮、磷、硫酸、双氧水、氢氧化钠、硫酸亚铁投加系统。

⑧ 锅炉房(原反冲洗泵房改造)。构筑物1座, 利用UASB产生的沼气为加温池提供蒸汽, 配备1台10 t的燃气锅炉。

### 3.2.2 新建部分

① 进水监测间及格栅。监测间1座, 平面尺寸为 $8\text{ m}\times 3\text{ m}$ ; 格栅渠2道, 配备螺旋输送压榨机1套、转鼓格栅3台, 栅条间距1 mm, 电动葫芦1台, 起重质量3 t。

② 调节池及事故池。调节池钢混结构, HRT为8 h, 配备低速推流器4台、高速推流器2台、潜污泵3台(2用1备); 事故池为钢混结构, HRT为4 h, 配备低速推流器4台、高速推流器2台、潜污泵2台(1用1备)。

③ UASB及沉淀池。UASB池为钢混结构, 6座, 单座尺寸 $24\text{ m}\times 24\text{ m}$ , 有效容积为 $28\,600\text{ m}^3$ , 容积负荷 $2.5\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ , 混合液污泥浓度10~20 g/L, 配备脉冲布水器、三相分离器、不锈钢出水槽和水封槽; UASB沉淀池1座, 表面负荷为 $1.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 配备周边传动浓缩机2套。

④ 厌氧污泥泵房。钢混半地下结构, 1座, 回流比100%, 配备回流污泥泵3台(2用1备)、剩余污泥泵2台(1用1备)、电动葫芦1台, 起重质量2 t。

⑤ 二沉池。设计流量 $1\,250\text{ m}^3/\text{h}$ , 2座, 表面负荷 $0.88\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 配备周边传动浓缩机2套, 连续运行, 现场手动控制开停。

⑥ 回流及剩余污泥泵房。设计流量为 $1\,250\text{ m}^3/\text{h}$ , 钢混半地下结构, 1座, 配备回流污泥泵3台(2用1备)、剩余污泥泵2台(1用1备), 电动葫芦1台, 起重质量2 t。

⑦ 芬顿流化床。设计流量 $1\,250\text{ m}^3/\text{h}$ , 3座, 配备提升泵6台(3用3备)、循环泵12台(6用6备)、不锈钢芬顿塔3套、纳米微气泡发生装置3套, 流量

$25\text{ m}^3/\text{h}$ 。

⑧ 转筒式精密过滤间。进一步去除水中SS, 设计流量 $1\,250\text{ m}^3/\text{h}$ , 配备不锈钢316L转筒式精密过滤器2套。

⑨ 消毒接触池及回用水池。接触消毒池、巴氏计量槽与回用水池合建, 半地下式钢筋混凝土结构, 有效水深3.5 m, 巴歇尔槽喉宽0.6 m。

⑩ 回用水泵房及加氯间。中水回用规模 $9\,000\text{ m}^3/\text{d}$ , 回用水泵房配备流量 $185\text{ m}^3/\text{h}$ 单机单吸离心泵3台(2用1备)、流量 $10\text{ m}^3/\text{h}$ 的潜污泵1台; 加氯间配备消毒剂螺杆计量泵2台(1用1备)、次氯酸钠储罐1台、加药泵2台(流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$ )。

⑪ 污泥浓缩池及均质池。污泥浓缩池直径20 m, 2座, 污泥固体负荷 $27.9\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ , 配备周边传动浓缩机2套、污泥提升泵3台(2用1备); 均质池1座2格, 有效水深6 m, HRT为2.0 h, 配备高速搅拌机4台, 叶轮直径480 mm。

⑫ 污泥脱水机房及暂存间。脱水机房和暂存间各1座, 平面尺寸均为 $40\text{ m}\times 25\text{ m}$ , 进泥含水率99%, 泥饼含水率 $\leq 70\%$ , 运行时间16 h, 配备污泥压榨机7台、压榨机填充泵7台、压榨机保压泵7台、冲洗水泵7台、压榨水泵7台、一级输送机7台、二级输送机1台、三氯化铁投加泵2台、三氯化铁储罐2座、PAM加药泵3台、PAM溶药装置1套。

⑬ 脱硫塔及沼气储罐。沼气产率 $0.5\text{ m}^3/\text{kgCOD}$ , 沼气流 $984\text{ m}^3/\text{h}$ , 脱硫塔配备气水分离器1座, 流量计1台; 沼气储罐1座, 材质PVDF, 容积 $5\,000\text{ m}^3$ ; 火炬1座, 最大燃烧量 $900\text{ m}^3/\text{h}$ , 不锈钢材质。

⑭ 除臭系统。除臭间2座, 尺寸 $18\text{ m}\times 7\text{ m}$ , 配备 $16\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 生物滤池2套、循环水泵4台(2用2备)、离心风机4台(2用2备)、喷淋水泵2台(流量 $6\text{ m}^3/\text{h}$ )。

## 4 运行效果

### 4.1 污水处理效果

该项目于2022年10月建成并投入运行。近半年来, 园区污水处理厂实际处理水量为 $21\,442\sim 29\,106\text{ m}^3/\text{d}$ , 平均为 $26\,729\text{ m}^3/\text{d}$ 。以2023年上半年运行数据(数据为月均值, 各预处理及生化段水质数据源于污水厂化验室, 总出水水质数据源于在线监测设备)分析园区污水处理厂及各主要工艺单元

对 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TP、TN 和色度的去除效果,具体见表 2。

表 2 废水处理提升改造工艺对污染物的去除效果  
Tab.2 Removal effect of wastewater treatment upgrading process on pollutants

项目		pH	COD/ (mg· L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> / (mg· L <sup>-1</sup> )	SS/ (mg· L <sup>-1</sup> )	氨氮/ (mg· L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg· L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg· L <sup>-1</sup> )	色度/ 倍
细格栅+调节池+初沉池	进水	6~9	3 000	800	1 300	8	20	1	300
	出水	6~9	2 100	680	390	8	20	0.8	240
UASB池+厌氧沉淀池	进水	6~9	2 100	680	390	8	20	0.8	240
	出水	6~9	840	204	156	7.2	18	0.8	132
氧化沟+ OAO生物池+二沉池	进水	6~9	840	204	156	7.2	18	0.8	132
	出水	6~9	142.8	24.5	39	1.44	7.2	0.4	92.4
芬顿流化床+三沉池+转筒式精密过滤器	进水	6~9	142.8	24.5	39	1.44	7.2	0.4	92.4
	出水	6~9	35.0	8.81	8.78	0.98	7.20	0.20	25.87
执行标准		6~9	40	10	10	2	15	0.4	30

从表 2 可以看出,提升改造集成工艺对 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TP、TN 和色度的平均去除率分别达到 98.8%、98.9%、99.3%、87.8%、64.0%、80% 和 91.4%,出水水质均优于设计排水标准;生化处理工艺对 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TN 和 TP 的去除效果较好,去除率分别达到 93.2%、96.3%、82.0%、64.0% 和 50%;深度处理工艺对 COD、SS 和色度去除效果相对较好,去除率分别达到 75.5%、77.5% 和 72.0%。

4.2 技术经济分析

该工程总投资 21 806 万元,直接运行费用为 8.29 元/m<sup>3</sup>,其中:人工费 0.17 元/m<sup>3</sup>,电费 2.31 元/m<sup>3</sup>,药剂费(双氧水、硫酸亚铁、硫酸、液碱等)5.33 元/m<sup>3</sup>,污泥处置费 0.44 元/m<sup>3</sup>,水费 0.04 元/m<sup>3</sup>。

5 结语

① 园区造纸企业废水由间接排放改为直接排入园区污水处理厂,需对园区污水厂原有工艺进行提升改造,改造内容包括回用清水池改为缺氧及好氧池,调节池改为氧化沟等;新建内容包括调节

池、事故池、UASB 池、芬顿流化床、精密过滤间、消毒池等。该工程提升改造投资为 21 806 万元,综合运行费用为 8.29 元/m<sup>3</sup>。

② 即使进水水质波动较大,提升改造集成工艺对 COD、BOD<sub>5</sub>、SS、氨氮、总氮、TP 和色度的平均去除率仍分别达到 98.8%、98.9%、99.3%、87.8%、64.0%、80% 和 91.4%,出水 COD<40 mg/L、氨氮<2 mg/L、总磷<0.4 mg/L,其他水质指标优于《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014)的排放限值。

参考文献:

[ 1 ] YUAN Z W,JIANG W L,BI J. Cost- effectiveness of two operational models at industrial wastewater treatment plants in China: a case study in Shengze Town, Suzhou City[J]. Journal of Environmental Management, 2010, 91(10): 2038-2044.

[ 2 ] 钟启俊. 福建某制浆造纸产业园区污水处理厂工程[J]. 水处理技术,2018,44(10):128-130.

ZHONG Qijun. Engineering of sewage treatment plant of paper pulping industrial park in Fujian Province [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(10): 128-130 (in Chinese).

[ 3 ] 郑利,王祥勇,郑翔,等. 厌氧/好氧/Fenton 流化床工艺处理废纸造纸综合废水[J]. 中国给水排水,2018, 34(24):70-74.

ZHENG Li, WANG Xiangyong, ZHENG Xiang, et al. Application of anaerobic-aerobic-Fenton fluidized bed process in wastewater treatment from paper making with recycled paper[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(24): 70-74(in Chinese).

作者简介:安洁(1983- ),女,河南郑州人,大学本科,高级工程师,主要研究方向为水污染控制与环境管理。

E-mail:minminyin2008@163.com

收稿日期:2023-07-07

修回日期:2023-07-24

(编辑:衣春敏)