

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.012

# 食用菌产业园区污水厂改扩建工程工艺设计

孙政<sup>1</sup>, 魏业香<sup>1</sup>, 林强<sup>1</sup>, 王先涛<sup>1</sup>, 袁绍春<sup>2</sup>, 蒋彬<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081; 2. 重庆交通大学  
水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074)

**摘要:** 在新的排放标准实施背景下,对金堂县食用菌产业园区污水厂存在的处理能力和处理效果偏低等问题进行了分析。根据该污水厂进水水量和水质变化特点,改扩建工程确定采用“事故调节池+水解酸化池+AAO/A/MBR生化池+臭氧高级氧化池+接触消毒池”的主体处理工艺,该工艺可强化去除污水中的难降解有机物、色度、TP、TN和SS等。实际运行结果表明,工艺运行状况良好,出水水质稳定,对SS、TP、COD、NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub>、TN的去除率分别达到了96.8%、93.7%、94.3%、97.5%、96.5%、80.3%,出水水质满足项目环评批复的要求,显著削减了受纳水体的污染负荷。

**关键词:** 食用菌产业园区; 污水处理; 改扩建工程; AAO/A/MBR工艺

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0073-05

## Process Design of Wastewater Treatment Plant Renovation and Expansion Project in an Edible Fungi Industrial Park

SUN Zheng<sup>1</sup>, WEI Ye-xiang<sup>1</sup>, LIN Qiang<sup>1</sup>, WANG Xian-tao<sup>1</sup>, YUAN Shao-chun<sup>2</sup>,  
JIANG Bin<sup>2</sup>

(1. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China; 2. Key Laboratory of Hydraulic and Water Transport Engineering <Ministry of Education>, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** In light of the new discharge standard being implemented, the analysis was conducted on the issues related to the low treatment capacity and effectiveness of the wastewater treatment plant in Jintang County Edible Fungi Industrial Park. Based on the characteristics of influent quantity and quality of the wastewater treatment plant, the primary treatment process for the renovation and expansion project consisted of accident regulation tank, hydrolytic acidification tank, AAO/A/MBR biochemical tank, ozone advanced oxidation tank and contact disinfection tank. This combined process was designed to enhance the removal efficiency of refractory organic matter, chromaticity, total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), and suspended solids (SS) from the wastewater. The operational results indicated that the process was functioning optimally, with stable effluent quality. The removal efficiencies of SS, TP, COD, NH<sub>3</sub>-N, BOD<sub>5</sub>, and TN achieved 96.8%, 93.7%, 94.3%, 97.5%, 96.5%, and 80.3% respectively, thereby ensuring that the effluent quality met the limits set forth in the project EIA approval. Consequently, there was a significant reduction in the pollution load of the receiving water.

**Key words:** edible fungi industrial park; wastewater treatment; renovation and expansion

project; AAO/A/MBR process

竹篙镇位于四川省金堂县境内东南部,属于沱江流域重点控制区域。近年来,竹篙镇始终把推动创业就业作为惠民生的重要举措,充分发展食用菌种植业,并已建成金堂县食用菌产业园区。园区内各企业污水经管网收集后进入园区污水处理厂,该污水处理厂目前已处于满负荷运行状态。为满足园区内企业发展需求,并符合更加严格的尾水排放标准,该污水厂亟需进行改扩建。

## 1 污水处理厂现状及问题分析

① 污水处理厂原建设规模偏小,已不能满足园区发展需求。该污水处理厂于2014年4月建成,设计规模为280 m<sup>3</sup>/d,后期又增加了300 m<sup>3</sup>/d的一体化处理设备,总处理规模达到580 m<sup>3</sup>/d。园区一期企业完全投产后污水产量约为680 m<sup>3</sup>/d;根据园区管委会提供的污水排放需求情况,园区二期已引进企业9家,预测园区污水排放总量可以达到1 600 m<sup>3</sup>/d。因此,在园区二期企业投产后,污水厂现有处理能力已不能满足园区企业发展需求,亟需扩大处理规模。

② 污水处理厂现执行标准更加严格,原处理工艺已不能满足要求。在改扩建之前,污水处理厂出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。自2017年1月1日起,四川省地方标准《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)开始施行,金堂县食用菌产业园区污水处理厂属于该标准中规定的工业园区集中式污水处理厂(岷沱流域重点控制区域),其主要水污染物排放浓度限值按新的地方标准执行。该改扩建项目环评批复中出水污染物执行的排放标准如下:COD、BOD<sub>5</sub>、TP、NH<sub>3</sub>-N执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准,TN执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)中的工业园区集中式污水处理厂标准,SS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,具体如表1所示。

该污水处理厂原工艺流程为:机械细格栅→调节池→一体化生物反应池→消毒池。实际运行结果表明,调节池的调节能力偏小,一体化生物反应

池的有机物降解能力及脱氮除磷能力不足,出水水质不能稳定达到设计排放标准,TN、TP、COD超标频率较高,最高值分别为32、3.7和82 mg/L。由于原处理工艺的固液分离效果较差,且污水中含有难降解有机物,SS及色度时常超标。

表1 污水处理厂改扩建前后进水水质及排放标准

Tab.1 Influent quality and discharge standards before and after renovation and expansion of

wastewater treatment plant mg·L<sup>-1</sup>

项目	改扩建前		改扩建后	
	进水	出水限值	进水	出水限值
TN	40	15	70	15
SS	180	10	400	10
TP	3	0.5	8	0.3
COD	350	50	500	30
NH <sub>3</sub> -N	25	5(T>12℃)或 8(T≤12℃)	45	1.5(T>12℃)或 3(T≤12℃)
BOD <sub>5</sub>	150	10	350	6

③ 污水处理厂原来的运行管理存在一定问题。一是园区部分企业间歇生产,其产生的废水集中排放,使得污水厂进水水量和水质波动较大,导致出水水质不稳定;二是工艺运行不稳定,出水TP频繁超标,除磷药剂投加量大,且难以及时根据进水水质的变化进行调整,增加了运行成本;三是园区总排水口缺少在线水质监测设备,使得污水厂水质调节滞后,增加了运行管理难度;四是污水处理厂原工艺中未设计除臭装置,臭气的无组织排放对厂区管理人员身体健康及周边环境影响较大,亟需改善。

## 2 改扩建工程

### 2.1 改扩建思路及工艺流程

根据污水处理厂存在的问题,结合实际情况,确定以下改扩建思路:

① 充分考虑金堂县食用菌产业园区的发展前景,根据前述的预测数据并留有一定余量,确定该产业园区污水处理厂改扩建的近期设计规模为2 000 m<sup>3</sup>/d,尾水经资水河最终排入沱江。

② 园区内部分企业间歇生产,生产废水集中排放,使得污水厂进水水量和水质波动较大,影响处理系统的稳定运行,故应在改扩建工艺中设置水

质和水量的调节设施。

③ 污水中含有部分长链有机物,改扩建之前出水色度超标,故在主体处理工艺之前,宜设置水解酸化等工艺,将长链有机物断链,降低后续工艺的处理难度,同时去除部分色度。

④ 污水处理厂改扩建之前出水TN和TP很难达到排放标准,SS亦时常超标。在改扩建工程排放标准要求更加严格的背景下,重点需强化对氮、磷及SS的去除,可采用投加聚合氯化铝(PAC)的AAO/A/MBR生化工艺作为主体工艺,严格控制出水中的氮、磷及SS浓度。

⑤ 采用高级氧化工艺作为出水水质的保障措施,在前段工艺不能达标时进一步去除难降解有机物和色度,确保出水达标排放。

根据上述改扩建思路,同时借鉴相关工程经验<sup>[1-5]</sup>,确定该改扩建工程的工艺流程:粗格栅及污水提升泵房→细格栅及隔油曝气沉砂池→事故调节池→水解酸化池→膜格栅→AAO/A/MBR生化池→臭氧高级氧化池→接触消毒池,具体见图1。

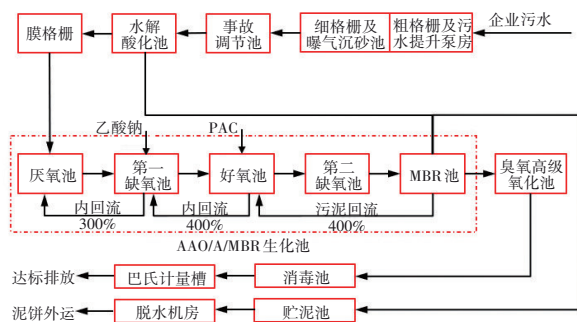


图1 改扩建后的工艺流程

Fig.1 Flow chart of treatment process after renovation and expansion

## 2.2 主要构筑物设计

因原污水处理系统的构筑物无法满足改扩建后的水质和水量要求,故该改扩建工程中的主要构筑物均为新建。

### 2.2.1 预处理单元

#### ① 粗格栅及污水提升泵房

粗格栅与污水提升泵站合建。粗格栅土建尺寸 $L \times B \times H = 6.3 \text{ m} \times 2.3 \text{ m} \times 5.65 \text{ m}$ ,污水提升泵房土建尺寸 $L \times B \times H = 3.0 \text{ m} \times 2.8 \text{ m} \times 7.15 \text{ m}$ 。

#### ② 细格栅及隔油曝气沉砂池

细格栅与隔油曝气沉砂池合建,钢筋混凝土结

构,土建总尺寸 $L \times B = 16.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ 、 $H = 5.25 \sim 5.75 \text{ m}$ ,其中,细格栅平面尺寸 $L \times B = 5.8 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ 、 $H = 5.25 \sim 5.45 \text{ m}$ ,隔油曝气沉砂池平面尺寸 $L \times B = 10.2 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ 、 $H = 5.45 \sim 5.75 \text{ m}$ 。隔油曝气沉砂池中设置桥式除砂除油机及螺旋砂水分离器各1套,主要去除污水中的无机砂粒与油脂,降低对后续生物处理的影响。

#### ③ 事故调节池

因污水厂进水水量和水质波动大,在隔油曝气沉砂池后增设事故调节池,用于调节水量和水质,也可作为事故池贮存污水。夜间水量小时污水由曝气沉砂池流至事故调节池再进入生化池;当进水量及水质正常时,可超越事故调节池,污水从曝气沉砂池直接进入生化池进行处理。事故调节池土建尺寸 $L \times B \times H = 17.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m} \times 7.25 \text{ m}$ , $HRT = 7.5 \text{ h}$ 。设潜水泵3台,2用1备, $Q = 40.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H = 90 \text{ kPa}$ 、 $N = 5.0 \text{ kW}$ 。设潜水搅拌器5台,4用1备,推力 $F = 920 \text{ N}$ , $N = 3 \text{ kW}$ 。

#### ④ 水解酸化池

由于污水中存在一定量难降解的大分子有机污染物,设置1座水解酸化池,通过水解酸化作用将大分子有机物转化为小分子有机物,提高B/C值,改善污水的可生化性。水解酸化池土建尺寸 $L \times B \times H = 14.5 \text{ m} \times 5.6 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$ , $HRT = 6.0 \text{ h}$ 。设置2台流量为 $35 \sim 45 \text{ m}^3/\text{h}$ 的多点布水器,提高布水的均匀性。为了强化水解酸化效果,增加污水和微生物的接触时间,设置生物填料 $122 \text{ m}^3$ ,悬挂间距为 $300 \text{ mm}$ 。同时设置排泥泵1台, $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N = 0.75 \text{ kW}$ 、 $H = 100 \text{ kPa}$ 。

### 2.2.2 二级处理及其他单元

#### ① AAO/A生化池

AAO/A生化池共1座,分为2格,土建尺寸 $L \times B \times H = 16.0 \text{ m} \times 17.4 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$ ,平均有效水深为 $7.0 \text{ m}$ ,构造如图2所示。

AAO/A生化池设计规模为 $2000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。厌氧区、第一缺氧区、好氧区、第二缺氧区的HRT分别为 $1.73$ 、 $8.09$ 、 $9.0$ 、 $3.0 \text{ h}$ ,共计 $21.82 \text{ h}$ ;上述四区的污泥浓度分别为 $4.8$ 、 $6.4$ 、 $8.0$ 、 $8.0 \text{ g/L}$ ;第一和第二缺氧区的DO浓度分别控制在 $0.5$ 、 $0.7 \text{ mg/L}$ 以下,好氧区DO浓度为 $2.0 \sim 3.0 \text{ mg/L}$ 。好氧区污泥负荷为 $0.14 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,采用42套板条式微孔曝气器供氧。若将好氧区混合液直接回流至厌氧区,



一方面较高浓度水平的DO会对厌氧区释磷产生影响,另一方面,好氧区混合液中较高浓度的硝酸盐氮亦会在厌氧区发生反硝化,消耗厌氧区中的碳源,与厌氧释磷(此过程亦需碳源)竞争碳源,导致系统的生物除磷效果降低。因此,为消除上述不良影响,在AAO/A生化池内设置两条混合液回流线路,即好氧区回流至第一缺氧区(内回流比为400%)、第一缺氧区回流至厌氧区(内回流比为300%)。为了保障脱氮除磷效果,设计向第一缺氧区投加乙酸钠碳源,向好氧区投加PAC溶液,PAC投加量为15 mg/L。

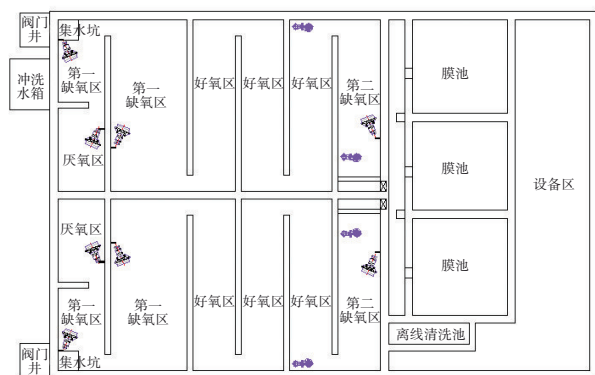


图2 生化池平面布置

Fig.2 Plan layout of biochemical tank

缺氧区设置3台内回流泵,2用1备,单台参数 $Q=125\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=70\text{ kPa}$ 、 $N=5.5\text{ kW}$ 。好氧区亦设置3台内回流泵,2用1备,单台参数 $Q=170\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=70\text{ kPa}$ 、 $N=5.5\text{ kW}$ 。

## ② MBR膜池

设置MBR膜池1座,土建尺寸 $L\times B\times H=5.9\text{ m}\times 14.75\text{ m}\times 8.0\text{ m}$ ,平均有效水深为6.3 m。设置膜组件12套,设计膜通量为 $16\sim 21.5\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,单套膜组件有效过滤面积 $\geq 580\text{ m}^2$ ,气水比为25:1。膜池的主要功能是利用超滤膜对生化处理后的污水进行泥水分离,去除各类污染物。剩余污泥一部分排至贮泥池,一部分回流至水解酸化池,以保证水解酸化池中的污泥浓度。膜池的污泥浓度为 $10\text{ g/L}$ ,DO浓度为 $5.0\text{ mg/L}$ 。整个生化系统的污泥龄为20 d。

## ③ 膜设备间

膜设备间土建尺寸 $L\times B\times H=3.7\text{ m}\times 17.4\text{ m}\times 15\text{ m}$ 。膜设备间配置MBR工艺所需设备,包括产水泵4台(3用1备, $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=2.2\text{ kW}$ )、空压机2台(1用1备, $Q=1\text{ m}^3/\text{min}$ 、 $N=5.5\text{ kW}$ )、混合液回流泵3台

(2用1备, $Q=170\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=12.5\text{ kW}$ )、膜清洗加药系统1套。

## ④ 臭氧高级氧化池

污水中含有部分显色的难降解有机物,为了进一步降低污水中的有机物浓度,并使色度得到有效去除,设置臭氧高级氧化池1座,采用罐体设计,直径为 $3.5\text{ m}$ 、高为 $7.3\text{ m}$ 。臭氧投加量为 $2\text{ kg/h}$ ,设计接触时间为 $40\text{ min}$ 。

## ⑤ 消毒及出水计量

设置接触消毒池1座,与巴氏计量槽合建,钢筋混凝土结构,尺寸 $L\times B\times H=10.7\text{ m}\times 3.3\text{ m}\times 3.8\text{ m}$ 。消毒剂采用次氯酸钠,有效氯投加量为 $10\text{ mg/L}$ ,设计接触时间 $\geq 30\text{ min}$ 。

## ⑥ 污泥脱水间

设置污泥脱水间1座,设叠螺浓缩脱水机1台,处理能力为 $90\sim 150\text{ kg/h}$ (以干污泥计),进泥含水率为 $99.4\%$ 、 $Q=15\sim 25\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $N=3\text{ kW}$ ,配置一体化溶药系统1套、在线稀释装置2套。

## ⑦ 除臭设计

设置生物除臭装置1套,处理来自粗格栅及污水提升泵房、细格栅及曝气沉砂池、事故调节池、水解酸化池、生化池、污泥脱水间及贮泥池等建(构)筑物内产生的臭气。设计风量为 $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ,臭气经生物填料的滤速 $<0.12\text{ m/s}$ ,臭气与生物填料的接触时间 $>11.5\text{ s}$ ,恶臭排放标准按照GB 18918—2002相关规定执行。

## 3 处理效果及经济分析

污水处理厂改扩建工程完成调试后,于2022年6月—12月对出水水质进行了跟踪监测,具体运行效果如表2所示。跟踪监测期间进水水量为 $1\,480\sim 1\,730\text{ m}^3/\text{d}$ 。

表2 改扩建后的处理效果

Tab.2 Wastewater treatment effect after renovation and expansion  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	TN	SS	TP	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{BOD}_5$
进水	范围	11.3~53.6	0.54~12.71	64.7~917.8	2.4~38.6	71.2~153.2
	均值	38.5	5.05	244.5	18.8	118.4
出水	范围	3.7~7.8	2.9~0.91	10.1~36.1	0.24~0.82	2.5~3.9
	均值	6.4	0.28	12.8	0.54	3.1

由表 2 可知,金堂县食用菌产业园区污水处理厂改扩建工程实施后,出水各项关键指标均满足环评批复文件中的污染物排放要求,TN、SS、TP、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{BOD}_5$  的去除率分别达到 80.3%、96.8%、93.7%、94.3%、97.5%、96.5%。TN 去除率略微偏低,可能与进水中氮的存在形式有关。

改扩建工程总投资约 4 658.43 万元。经营成本共 5.46 元/ $\text{m}^3$ ,其中电费为 2.11 元/ $\text{m}^3$ 、药剂费为 0.72 元/ $\text{m}^3$ 、污泥处置费为 0.16 元/ $\text{m}^3$ 、工资及福利费为 0.35 元/ $\text{m}^3$ 、大修及检修维护费为 1.33 元/ $\text{m}^3$ 、管理及其他费用为 0.79 元/ $\text{m}^3$ 。

#### 4 结论

① 金堂县食用菌产业园区污水处理厂改扩建工程采用“粗格栅及污水提升泵房→细格栅及隔油曝气沉砂池→事故调节池→水解酸化池→膜格栅→AAO/A/MBR 生化池→臭氧高级氧化池→接触消毒池”组合工艺,对 SS、TP、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{BOD}_5$  的去除率均超过 93%,能够稳定达到环评批复规定的排放要求。该工程总投资约 4 658.43 万元,经营成本为 5.46 元/ $\text{m}^3$ 。

② 该改扩建工程有效解决了原有处理工艺存在的问题,提升了出水水质,可使 COD、TN、TP 排放量分别减少 343.1、40.2、5.6 t/a,有效削减了接纳水体资水河的污染负荷,对类似工业园区污水处理厂建设和运行具有一定的借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 李俊生,王学峰,马娜,等.高级氧化技术在食品工业废水处理的研究进展[J].水处理技术,2023,49(1):20-25.
- LI Junsheng, WANG Xuefeng, MA Na, *et al.* Research progress of advanced oxidation technology in food industry wastewater treatment[J]. Technology of Water

Treatment, 2023, 49(1): 20-25(in Chinese).

- [2] 邓永飞,刘涛,吴海铨,等.食品工业废水处理技术研究进展[J].工业水处理,2021,41(10):1-7,13.
- DENG Yongfei, LIU Tao, WU Haiquan, *et al.* Research progress of wastewater treatment technology in food industry[J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(10): 1-7, 13(in Chinese).
- [3] 裴红洋.某罐头食品加工废水处理改造工程实例[J].净水技术,2016,35(4):95-98.
- PEI Hongyang. Case study of reconstruction project of pectin wastewater treatment in a canned food processing enterprise[J]. Water Purification Technology, 2016, 35(4): 95-98(in Chinese).
- [4] 尤鑫,刘海燕,邹磊,等.豆制品废水处理工程设计实例及分析[J].中国给水排水,2019,35(4):106-108,112.
- YOU Xin, LIU Haiyan, ZOU Lei, *et al.* Design and analysis of a soybean wastewater treatment project [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(4): 106-108, 112 (in Chinese).
- [5] 程永伟,武彦生,高雄,等.A/O+MBR 组合工艺处理方便面厂生产废水[J].中国给水排水,2018,34(2):103-106.
- CHENG Yongwei, WU Yansheng, GAO Xiong, *et al.* Treatment of noodles factory wastewater by A/O and MBR combined process [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(2): 103-106 (in Chinese).

作者简介:孙政(1966—),男,四川威远人,本科,教授级高工,注册监理工程师,注册公用设备(给排水)工程师,主要从事水处理技术、黑臭水体治理等方面的设计与研究工作。

E-mail:724502201@qq.com

收稿日期:2023-09-10

修回日期:2023-10-30

(编辑:刘贵春)