

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.009

# 紧凑用地的污水处理厂工艺设计

刘金星, 胡邦, 程明涛  
(华昕设计集团有限公司, 江苏无锡 214072)

**摘要:** 江苏省某污水处理厂四期扩建工程总设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,生化处理采用“Bardenpho生化池+二沉池”工艺,深度处理采用“反硝化滤池+高效沉淀池+紫外线消毒”工艺,设计出水水质执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)中表2的标准,其中 $\text{COD} \leq 41 \text{ mg/L}$ 。该工程将生化池、二沉池、污泥泵房、二级提升泵房合建,将反硝化滤池、反洗风机房、反洗废水池合建,并在高效沉淀池中投加微砂,提高处理负荷,大大减少了污水厂占地面积,解决了污水厂用地紧张的问题。

**关键词:** 污水处理厂; 组合式池体; 紧凑用地; 工艺设计

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0058-05

## Process Design of Wastewater Treatment Plant under Land Constraint

LIU Jin-xing, HU Bang, CHENG Ming-tao  
(Huaxin Design Group Co. Ltd., Wuxi 214072, China)

**Abstract:** The total design capacity of the phase IV expansion project in a wastewater treatment plant in Jiangsu Province is  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The secondary biochemical treatment system consists of Bardenpho biochemical tank and secondary settling tank, while the advanced treatment utilizes a combination of denitrification filter, high-efficiency settling tank and ultraviolet disinfection. The design effluent quality is required to meet the limit in table 2 specified in *Discharge Standard of Main Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant & Key Industries of Taihu Area* (DB 32/1072-2018), where COD shall not exceed 41 mg/L. In this project, the biochemical tank, secondary settling tank, sludge pumping house, and secondary pumping house were constructed as a unified facility, the denitrification filter, backwashing blower chamber, and backwashing wastewater tank were integrated into a single system, and micro-sand was introduced into the high-efficiency settling tank. These designs enhanced the treatment capacity while significantly reducing the footprint area of the wastewater treatment plant and addressing the land constraint issue.

**Key words:** wastewater treatment plant; modular tank; land constraint; process design

江苏某污水处理厂现状规模为 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,随着城区的不断建设和发展,污水量持续增加,已接近满负荷,亟需对污水厂进行扩建,扩建工程设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

### 1 设计进、出水水质

根据该污水厂2019年1月—5月的进水水质统

计数据,进水水质较为稳定,这与周边产业发展及居民人口趋于稳定有关。取现状进水水质90%涵盖率数据用于确定扩建工程的设计进水水质参数,出水水质执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)中表2的标准,其中 $\text{COD} \leq 41 \text{ mg/L}$ 。扩建工程

的设计进、出水水质具体见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design quality of influent and effluent

| 项目 | COD | BOD <sub>5</sub> | SS  | NH <sub>3</sub> -N | TN     | TP  |
|----|-----|------------------|-----|--------------------|--------|-----|
| 进水 | 400 | 150              | 250 | 30                 | 40     | 4.5 |
| 出水 | 41  | 10               | 10  | 4(6)               | 12(15) | 0.5 |

注: 括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

## 2 总体设计

### 2.1 工艺流程

污水处理厂主体工艺采用“组合式生化池”,深度处理采用“反硝化滤池+高效沉淀池+紫外线消毒”工艺,处理后尾水一部分用于厂内和厂外中水回用,其余尾水排入一干河。污泥处理采用“污泥浓缩池+污泥调理池+板框脱水机”工艺,处理后污泥含水率≤60%,运至厂外集中处理;除臭采用“土壤除臭”工艺。具体工艺流程见图1。

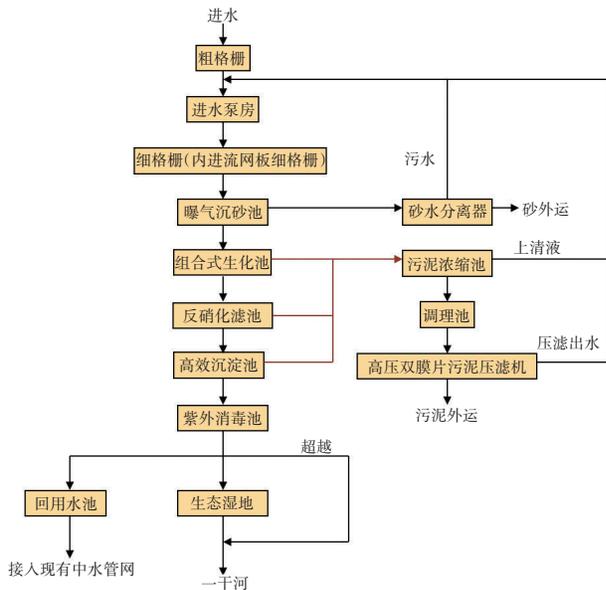


图1 工艺流程

Fig.1 Flow chart of treatment process

### 2.2 总平面设计

污水处理厂扩建工程占地面积为4.05 hm<sup>2</sup>,总平面设计如图2所示。由于该工程占地面积小,而且有高压线在地块上方穿过,需要考虑高压线两侧各15 m的安全距离,高压线禁建区域面积约为1.3 hm<sup>2</sup>。该工程在平面布置上受到极大限制,因此单体设计尽量采用组合建(构)筑物、减小平面尺寸、

加大池深等。



图2 污水厂总平面设计

Fig.2 General plan of wastewater treatment plant

污水厂总平面按照功能分区进行布置。厂区设1个主入口和1个次入口,主、次入口均位于厂区北侧,紧邻荷花路,其中,次入口位于主入口西侧,方便生产车辆和人员出入;该扩建工程未设置办公楼,与现状办公楼共用;预处理区位于厂区东北侧,便于厂外污水接入;组合式生化池、鼓风机房及变配电间位于厂区中部,变配电间靠近用电负荷中心;深度处理区中反硝化滤池、高效沉淀池、紫外消毒池、加药间等位于厂区东南侧;人工湿地位于厂区东侧;污泥处理区位于厂区西侧。整个厂区总体布置合理,污水预处理区、生化处理区、污泥处理区划分清晰,生产管理方便,连接管道简洁。污水厂效果图如图3所示。



图3 污水厂效果图

Fig.3 Rendering of wastewater treatment plant

### 2.3 高程设计

污水厂范围内现状地面标高为9.16~16.07 m,根据一干河50年一遇防洪设计标准(10.47 m),结合荷花路标高和土方平衡计算,确定污水厂室外地面标高为12.0 m(85国家高程)。

## 3 主要构筑物设计

### 3.1 粗格栅及进水泵房

粗格栅及进水泵房设计规模为5.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,

平面尺寸 $L \times B = 16.2 \text{ m} \times 11.2 \text{ m}$ 。泵房内设置 4 台潜水泵, 3 用 1 备,  $Q = 1\,120 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 150 \text{ kPa}$ ,  $N = 75 \text{ kW}$ ; 粗格栅 2 套, 宽为 1 100 mm, 栅隙为 10 mm。

### 3.2 细格栅及曝气沉砂池

细格栅及曝气沉砂池的设计规模为  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 平面尺寸 $L \times B = 36.0 \text{ m} \times 8.1 \text{ m}$ 。格栅渠设置内进流网板细格栅 2 套, 栅隙为 3 mm; 曝气沉砂池设置桥式吸砂机 1 套。

### 3.3 组合式生化池

#### 3.3.1 平面布置

组合式生化池设计规模为  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 1 座两组, 每组规模为  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 两组可独立运行。生化池、二沉池、污泥泵房、提升泵房合建<sup>[1]</sup>, 水池顶部加盖。组合式生化池流程及平面布置如图 4 和图 5 所示。

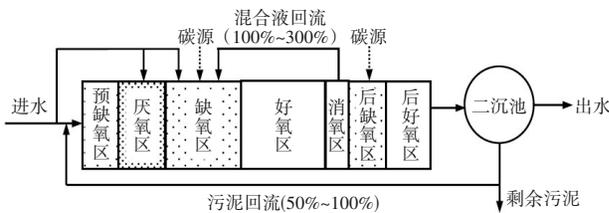


图 4 组合式生化池流程

Fig.4 Flow chart of modular biochemical tank

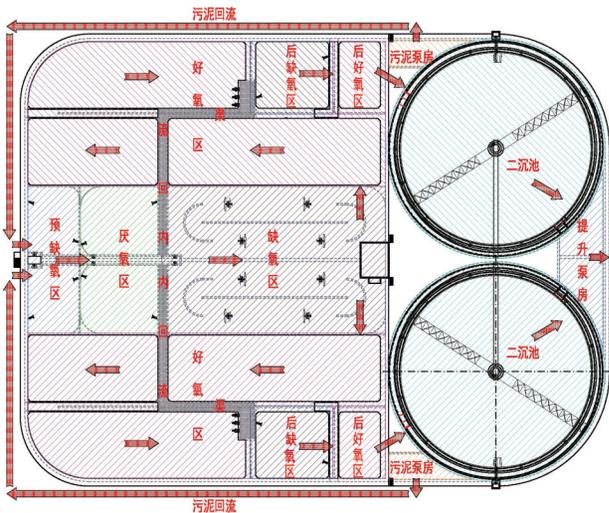


图 5 组合式生化池平面布置

Fig.5 Layout of modular biochemical tank

#### 3.3.2 生化池

生化池采用 Bardenpho 工艺, 在其前端增设预缺氧区, 污水依次进入预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区、后缺氧区、后好氧区, 最后进入二沉池。生化池进水和回流污泥先进入预缺氧区进行反硝化

脱氮, 再进入厌氧区进行除磷, 并在缺氧区进水端设碳源投加点。根据进、出水水质情况, 调节进入厌氧区和缺氧区的水量, 以确保脱氮和除磷效果, 并在好氧区后设置后缺氧区以强化对氮的去除, 在后缺氧区后设置后好氧区。

设计最低水温为  $12 \text{ }^\circ\text{C}$ , 混合液污泥浓度平均为  $3.5 \text{ g/L}$ , 污泥总负荷为  $0.089 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ , 污泥总产率系数为  $0.8 \text{ kgMLVSS/kgBOD}_5$ , 污泥龄为 19.2 d, 有效水深为 7 m, 预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区、后缺氧区、后好氧区的水力停留时间分别为 1、1.5、4、10.5、1.5、1 h, 总水力停留时间为 19.5 h。设计需氧量为  $707.41 \text{ kg/h}$ , 折合空气量为  $255 \text{ m}^3/\text{min}$ 。预缺氧区、厌氧区和后缺氧区共设 12 台潜水搅拌机, 功率为 4.5~6.5 kW; 缺氧区设 8 台潜水推流器, 功率为 3.5 kW; 硝化液回流采用穿墙泵, 数量为 6 台, 回流比为 300%, 单台流量为  $1\,044 \text{ m}^3/\text{h}$ , 扬程为 10 kPa, 功率为 11 kW; 好氧区采用管式微孔曝气器, 合计 2 050 m (单根为 1 m), 曝气器规格为  $7 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{根})$ 。

#### 3.3.3 二沉池

二沉池为周边进水、周边出水, 共 2 座, 直径为 42.0 m, 最大流量时表面负荷为  $1.04 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 平均流量时表面负荷为  $0.75 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 有效水深为 4.65 m, 超高为 0.5 m, 总高度为 5.15 m。采用中心传动单管吸泥机。

#### 3.3.4 污泥回流及剩余污泥排放系统

污泥回流及剩余污泥排放系统设在 Bardenpho 生化池与二沉池之间。污泥回流采用潜水排污泵,  $Q = 520 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 40 \text{ kPa}$ ,  $N = 7.5 \text{ kW}$ , 数量为 6 台, 4 用 2 备; 剩余污泥排放亦采用潜水排污泵,  $Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 150 \text{ kPa}$ ,  $N = 11 \text{ kW}$ , 数量为 4 台, 2 用 2 备。

#### 3.3.5 提升泵房

提升泵房设置于两座二沉池之间。提升泵采用潜水排污泵,  $Q = 520 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 70 \text{ kPa}$ ,  $N = 11 \text{ kW}$ , 数量为 6 台, 4 用 2 备。

### 3.4 反硝化滤池

反硝化滤池设计规模为  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 反硝化滤池、反洗风机房、反洗废水池合建, 池体进水端设碳源投加点, 平面尺寸 $L \times B = 30.06 \text{ m} \times 28.63 \text{ m}$ 。滤池共 6 格, 平均滤速为  $9.8 \text{ m/h}$ , 硝酸盐氮负荷为  $0.75 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ , 反洗水流速为  $47 \text{ m/h}$ , 反洗气流速为  $12 \text{ m/h}$ 。反洗风机房内 2 台螺杆风机,  $Q = 60 \text{ m}^3/$

min、 $H=80$  kPa、 $N=110$  kW,数量为2台,1用1备。反洗废水池<sup>[2]</sup>内设3台反洗废水泵, $Q=200$  m<sup>3</sup>/h、 $H=70$  kPa、 $N=7.5$  kW,数量为4台,2用2备。

### 3.5 高效沉淀池(微砂)

考虑到用地情况,设计时增大沉淀池负荷、减小沉淀池平面尺寸,同时为了减轻高效沉淀池的负担,将其设置在反硝化滤池后端。

高效沉淀池(微砂)设计规模为 $5.0 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,平面尺寸 $L \times B=20.6$  m $\times$  $17.4$  m。机械混合 $2.1$  min、絮凝反应 $6.2$  min,沉淀区直径为 $7.5$  m,表面负荷为 $23.6$  m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),混合区和絮凝区分别设置搅拌器2台,功率分别为3和5.5 kW,设置微砂循环泵4台, $Q=65$  m<sup>3</sup>/h、 $H=200$  kPa、 $N=5.5$  kW,变频。设置剩余污泥泵2台, $Q=100$  m<sup>3</sup>/h、 $H=200$  kPa、 $N=11$  kW。沉淀区设置中心传动浓缩刮泥机2台,直径为 $7.5$  m,功率为 $2.2$  kW。

### 3.6 紫外消毒池

采用紫外线消毒,消毒池设计规模为 $5.0 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,平面尺寸 $L \times B=13.5$  m $\times$  $4.3$  m。紫外线消毒模块2套,每套设有5个双排架,每个双排架共有20支灯管,每支灯管的功率为320 W。紫外线消毒池出水分两路,一路直接排出厂外,另一路排入人工湿地。

### 3.7 人工湿地

人工湿地设计面积约为 $1.16$  hm<sup>2</sup>,为表面流生态湿地,其中水体面积为 $7660$  m<sup>2</sup>,景观绿化面积为 $3915$  m<sup>2</sup>。人工湿地流程见图6。



图6 人工湿地处理流程

Fig.6 Flow chart of constructed wetland treatment process

### 3.8 污泥浓缩池

污泥浓缩池共2座,直径为 $12.0$  m,有效水深为 $4.80$  m,污泥固体负荷为 $35.4$  kg/(m<sup>2</sup>·d)<sup>[3]</sup>。设计浓缩后污泥含水率为98%。污泥浓缩池内安装中心传动浓缩机1台,功率为 $0.75$  kW。污泥提升泵2台, $Q=50$  m<sup>3</sup>/h、 $H=200$  kPa、 $N=5.5$  kW,1用1备。

### 3.9 污泥调理池

污泥调理池平面尺寸 $L \times B=15.6$  m $\times$  $5.0$  m,共分

3格,安装耙式搅拌器,功率为 $15$  kW。设置1套三氯化铁投加系统和CaO投加系统,CaO按干泥量的20%投加,三氯化铁按干泥量的5%~10%投加。

### 3.10 污泥脱水机房

污泥脱水机房的设计规模为 $5.0 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,平面尺寸 $L \times B=37.8$  m $\times$  $16.2$  m。安装2套板框压滤机,过滤面积为 $450$  m<sup>2</sup>,功率为 $18.5$  kW。设计脱水前污泥含水率为98%,脱水后污泥含水率为60%,脱水机每天运行2~3个批次。

污泥脱水后汇集至1台水平螺旋输送机,再经倾斜螺旋输送机输送至污泥料仓,由污泥料仓底部的电动刀闸阀控制,重力落入运泥卡车中,泥饼外运,进行无害化处置。

### 3.11 鼓风机房及变配电间

鼓风机房及变配电间的设计规模为 $5.0 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,平面尺寸 $L \times B=25.0$  m $\times$  $21.0$  m,设4台磁悬浮风机,3用1备,单台风量为 $85$  m<sup>3</sup>/min、风压为 $80$  kPa、功率为 $146$  kW。

### 3.12 加药间及机修间

加药间及机修间的设计规模为 $5.0 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,平面尺寸 $L \times B=21.0$  m $\times$  $9.0$  m。加药间设置聚合氯化铝(PAC)、聚丙烯酰胺(PAM)和次氯酸钠(中水回用补氯)投加系统,药剂储罐容积均为 $10$  m<sup>3</sup>。

### 3.13 除臭系统

污水处理厂常用的生物除臭工艺有填充式生物滤池和生物土壤除臭工艺。填充式生物滤池适用于中等气量除臭的场所;生物土壤除臭工艺适用于大型气量除臭的场所。填充式生物滤池使用5年左右需更换滤料;生物土壤除臭工艺使用天然矿物质滤料,永久无需更换,但需要一定面积的土地或构筑物安放土壤滤体,而土壤除臭系统上部可种植草坪,与厂区绿化融为一体,因此该工程采用生物土壤除臭工艺。

污水厂共设置2套土壤除臭系统,分别位于预处理区和污泥处理区。预处理区包括粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池,处理风量为 $0.95 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/h;污泥处理区包括污泥浓缩池、污泥调理池、污泥脱水机房及生化池的厌氧区和缺氧区,处理风量为 $3.7 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/h。

### 3.14 反洗水池

反洗水池主要为反硝化滤池提供反洗水,有效容积为 $800$  m<sup>3</sup>。水池内安装3台潜水排污泵,2用1

备,  $Q=360\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=80\text{ kPa}$ 、 $N=15\text{ kW}$ 。

#### 4 运行效果

采集污水厂2023年4月—5月的运行数据,以

10 d为一个时间段取平均值,结果见表2。根据污水厂进、出水水质,出水各项指标均达到设计标准,出水水质稳定。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

mg·L<sup>-1</sup>

| 项目        | 进水  |                  |     |                    |    |      | 出水   |                  |     |                    |     |      |
|-----------|-----|------------------|-----|--------------------|----|------|------|------------------|-----|--------------------|-----|------|
|           | COD | BOD <sub>5</sub> | SS  | NH <sub>3</sub> -N | TN | TP   | COD  | BOD <sub>5</sub> | SS  | NH <sub>3</sub> -N | TN  | TP   |
| 4月1日—10日  | 210 | 75               | 136 | 17                 | 41 | 5.7  | 18.2 | 5.4              | 8.2 | 0.2                | 7.4 | 0.12 |
| 4月11日—20日 | 203 | 71               | 128 | 25                 | 41 | 5.5  | 22.2 | 6.6              | 7.9 | 0.6                | 7.4 | 0.16 |
| 4月21日—30日 | 138 | 50               | 87  | 24                 | 33 | 3.5  | 19.8 | 5.9              | 6.5 | 0.4                | 7.2 | 0.14 |
| 5月1日—10日  | 240 | 85               | 150 | 20                 | 40 | 4.6  | 17.6 | 5.2              | 8.5 | 0.2                | 6.7 | 0.13 |
| 5月11日—20日 | 164 | 62               | 104 | 21                 | 33 | 3.9  | 18.9 | 5.7              | 7.1 | 0.3                | 8.0 | 0.15 |
| 5月21日—31日 | 114 | 45               | 81  | 19                 | 26 | 2.83 | 18.2 | 5.4              | 6.2 | 0.3                | 7.2 | 0.18 |

#### 5 结论

① 江苏某污水处理厂扩建工程用地红线范围较小,且高压线在地块上空穿过,严重挤压了污水厂的可用地范围。该工程未建设办公楼,办公区与现状厂区合用,通过将部分建(构)筑物合建、增加池深等措施减小工程占地面积,同时建(构)筑物合建也降低了工程造价。

② 该工程采用高效沉淀池,加载微砂,提高沉淀池负荷,同时采用紫外线消毒,均能够减少占地面积;此外,采用生物土壤除臭工艺,将除臭系统与绿化有效结合在一起,实现一地两用。

③ 该工程通过处理单元的组合、工艺优化等,大大降低了污水厂占地面积,对类似工程具有一定的借鉴意义。

2020(4): 82-85 (in Chinese).

[ 2 ] 刘金星,程文,章涛. 深床滤池在某污水厂提标改造工程中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2021(10): 131-134.

LIU Jinxing, CHENG Wen, ZHANG Tao. Application of deep bed filter in a wastewater treatment plant upgrading reconstruction project [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2021 (10): 131-134 (in Chinese).

[ 3 ] 戴惠,冯成军,张万里,等. 徐州沛县经济开发区污水处理厂工艺设计[J]. 中国给水排水, 2015, 31(14): 66-70.

DAI Hui, FENG Chengjun, ZHANG Wanli, et al. Process design of WWTP in Xuzhou Pei County Economic Development Zone [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(14): 66-70 (in Chinese).

#### 参考文献:

[ 1 ] 刘金星,胡邦,余步存. 云南某工业园区污水处理厂工艺设计[J]. 城市道桥与防洪, 2020(4): 82-85.

LIU Jinxing, HU Bang, SHE Bucun. Technological design of wastewater treatment plant in an industrial zone of Yunnan [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control,

作者简介:刘金星(1987- ),男,满族,辽宁葫芦岛人,本科,高级工程师,主要从事污(废)水处理以及市政管网设计与研究工作。

E-mail:liujinxing123@126.com

收稿日期:2023-05-20

修回日期:2023-10-25

(编辑:刘贵春)