

# 某乡镇污水处理厂工艺改造工程案例分析

王 鹏

武汉华德环保工程技术有限公司 湖北 武汉 430080

**摘要:** 在美丽乡村建设背景下,全国各地新建了大量的生活污水处理设施,但是普遍存在生物滤池堵塞和出水超标等问题。本文以中部地区某乡镇污水处理厂改造工程为例,分析了该厂出水滤池堵塞、出水超标的问题,并根据该厂特点进行了工艺改造,解决了滤池堵塞的问题,并提高了出水标准,达到了准地表水IV类标准(除TN外)。该改造工程案例可为以生物滤池为核心工艺的乡镇污水厂改造提供参考。

**关键词:** 生物滤池; 滤池堵塞; 出水提标; 改造工程

随着我国大力推进的美丽乡村建设,大量的生活污水处理设施在各乡镇村落地建设,但是在乡镇污水处理厂的建设过程中,盲目地应用了城市污水处理厂的建设与运营模式<sup>[1]</sup>,未能充分考虑到乡镇的自身特点。与此同时,各类新处理技术也随着乡镇生活污水治理项目井喷式涌现,很多乡镇污水处理厂成为了这些新技术、新工艺的试验地。

由于我国乡镇污水处理厂进水中有机物含量低,氮、磷含量较高<sup>[2]</sup>,污水流量变化大、运行管理能力不匹配等特点,导致了大部分乡镇污水处理厂在实际运行中都存在出水无法稳定达标的问题。乡镇污水处理厂实施工艺改造的主要原因为出水水质不达标或处理规模及出水水质均不达标<sup>[3]</sup>。

中部地区某市第一批建成的乡镇污水厂于2018年6月建成,以“AO一体化设备+多层生物滤池+人工湿地”为核心工艺,设计出水水质标准为《城镇污水处理厂污染物

排放标准》一级A标准。在其运行45个月后,出现了滤池堵塞、出水水质不达标等问题,故实施了工艺改造工程。改造完成后,该厂出水除TN外,其余指标达到《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)IV类水标准。本文针对某乡镇污水厂的改造工程案例进行分析,总结了乡镇污水处理厂的建设经验,可为后续类似项目提供借鉴。

## 1 污水厂前期建设情况

### 1.1 建设规模及进出水水质

前期该乡镇污水处理厂采用厂网一体化建设。服务面积约为2.6km<sup>2</sup>,涉及人口约1.5万人。建设规模采为1000m<sup>3</sup>/d。

该厂设计出水水质标准以所在地的水体功能规划、下游接纳水体的水质目标以及主管部门的要求为依据,确定的设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准。详见下表:

表1 设计出水水质指标

项目	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	备注
设计进水水质	≤ 10	≤ 50	≤ 10	5 (8)	≤ 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。

### 1.2 污水处理工艺

该厂从除磷脱氮效果、工艺流程特点、系统稳定性、污泥情况、设备及维护、能耗、占地共7个方面,最后确定核心处理工艺流程为:“AO一体化设备+自清洗过滤器+多层生物滤池+人工湿地”

### 1.3 主要处理构筑物设计参数

#### (1) AO一体化设备

AO一体化设备主要由厌氧段、好氧段和沉淀组成,共设有2套,单套处理能力为500m<sup>3</sup>/d。厌氧区停留时间0.75h,好氧区停留时间2.5h,沉淀区表面负荷1.05m/h。

#### (2) 多层生物滤池

多层生物滤池分2座,采用半地下式HDPE膜柔性池体。依次间隔填充碎石、生物填料,碎石层共5层,总厚度0.9m,生物填料共4层,总厚度1.6m。采用环形配水管,上进下出,间歇进水的布水方式。每间隔1h,进水0.5h。通风方式为机械强制通风。设计BOD<sub>5</sub>容积负荷为0.037kg/(m<sup>2</sup>·d),设计水力负荷为0.7m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d),设计强制通风量4000m<sup>3</sup>/h。

#### (3) 人工湿地

人工湿地与多层生物滤池合建,建于滤池顶部。填

料分三层,下层为出水层采用粗颗粒碎石,中层为生物填料,顶部为进水层采用细颗粒碎石,总厚度为0.6m。表层种植菖蒲。设计水力负荷为 $0.7\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

## 2 污水厂现状分析

### 2.1 进出水情况分析

本文统计了该厂建成运行36个月后,从2021年8月至2022年7月间实际进水量,进水的COD指标,出水的COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP指标。

#### 2.1.1 进水情况分析

##### (1) 实际运行负荷分析

根据乡镇生活污水具有不均匀性和间歇性,整体水量比较少,但是会发生较大的瞬时变化<sup>[4]</sup>。经分析,该厂进水量波动较大,最大日进水量为 $780.96\text{m}^3/\text{d}$ ,最小日进水量为 $146.18\text{m}^3/\text{d}$ 。达到设计负荷60%的情况仅占全年运行的一半,其余时候负荷均不到60%。

##### (2) 进水COD负荷分析

经分析,该厂进水COD值呈正态分布,集中 $100\text{mg}/\text{l}$ 至 $150\text{mg}/\text{l}$ 之间,日进水COD最大值为 $250.31\text{mg}/\text{l}$ ,最小值为 $19.32\text{mg}/\text{l}$ ,整体波动较大。该厂进水量、进水COD负荷变化范围大,长期处于低负荷运行状态,生化系统处于贫营养状态,且水量及COD的冲击负荷也较为剧烈。

#### 2.1.2 出水情况分析

经分析,从出水指标合格率来看,该厂出水COD不合格率为2.47%,TP不合格率为42.74%,TN不合格率为27.4%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 不合格率为42.19%。从时间上看,该厂自2022年2月25日开始出现TP、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的同时超标,在此之前基本均能达标。

### 2.2 污水运行状态分析

因进水量变化幅度较大,COD负荷较低,实际进水中有机物总量远低于设计值,可生化性较差,不利于活性污泥微生物培养,导致污泥活性较差<sup>[5]</sup>。且AO一体化设备生化区停留时间过短,导致活性污泥培养难度加大,且一体化AO沉淀负荷较高,泥水分离效果差,活性污泥流失严重,无污泥外排,总磷无去除途径<sup>[6]</sup>。污水处理厂长期处于低负荷运转状态,通常表现为生物功能丧失<sup>[7]</sup>。

AO一体化设备生物脱氮除磷的效果差,主要依靠后续多层生物滤池及人工湿地。随着污水处理过程的不断运行,人工湿地很容易产生淤积、阻塞现象,使水力传导性降低,基质的吸附能力会趋于饱和,最终影响湿地的处理效果<sup>[8]</sup>。生物滤池结构原理注定了其会出现堵塞及滤料板结的问题,同时AO一体化设备污泥外溢,进入生物滤池中,进一步加快了堵塞和板结情况的发生。在滤

池发生堵塞板结后,必然会出现滤池短流的情况,导致污染物质外溢。整个系统运行期间未曾排泥,磷在系统内不断富集,最终导致TP外溢。

综上所述,该处理设施在运行了45个月后,系统崩溃,出水全面超标。

## 3 改造方案

### 3.1 改造思路

#### 3.1.1 改造思路

根据蒙小俊等人的研究,针对进水负荷低、碳源不足引起脱氮除磷效果差的问题。可通过投加补充甲醇、葡萄糖、乙酸和乙酸钠等碳源的方式提高生物活性,提高脱氮效果;可通过投加聚合氯化铝、聚合硫酸铁、硫酸铝、三氯化铁和聚合氯化铝铁等化学除磷药剂进行化学除磷,以达到稳定的除磷效果。

因此,该厂改造思路如下:增加碳源投加系统和化学除磷系统;提高生化系统的泥水分离效果,降低出水SS含量,缓解滤池堵塞情况;解决滤池滤料堵塞问题;无预留用地,尽可能在现有工艺流程上进行改造,不增加工艺单元。

#### 3.1.2 改造措施

可通过对原有构筑物进行改造、调整运行条件、增加后续处理设施等方案提升污水处理厂的处理效果。可选用一体化MBR膜设备,该设备具有抗冲击能力强、泥水分离效率高、处理效果稳定、自动化程度高、占地面积小、工期短等优点。潜流人工湿地系统内部的充氧更充分,有利于好氧微生物的生长和硝化反应的进行,具有较高的氮、磷的去除率。通过该改造措施,可减少一级提升,降低能耗,且潜流人工湿地对COD及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率能达到70%以上。

该厂采取以下改造措施:将现有AO一体化设备更换为一体化MBR膜设备,同时增加乙酸钠和PAC投加装置;更换滤池滤料,同时将多层生物滤池和人工湿地改造为潜流人工湿地。

### 3.2 改造工艺设计

#### 3.2.1 改造后工艺流程

乡镇生活污水厂经过格栅拦截 $2\text{mm}$ 及以上的漂浮物后进入调节池,然后经过潜污泵提升至一体化MBR膜设备,在设备内去除COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN后,通过抽吸出水进入潜流人工湿地,然后经接触消毒后达标外排。

经改造后,一体化MBR膜设备作为核心工艺,改造后的潜流人工湿地作为深度处理设施,进一步提高出水水质,以达到地表水标准。同时将原工艺的三级提升改为二级提升,并取消了中间水池和自清洗过滤器。

改造后工艺流程为：“一体化MBR膜设备+人工湿地”。

### 3.2.2 主要改造内容

#### (1) 一体化MBR膜设备

通过在原AO一体化设备替换成一体化MBR膜设备，其设备共2组，单组处理能力为500m<sup>3</sup>/d。设备分为缺氧区、好氧区、膜池、清水池四个区域，其中缺氧区容积为44.2m<sup>3</sup>，水力停留时间为2.1h，好氧区容积为134m<sup>3</sup>，水力停留时间为6.4h，膜池容积为32.5m<sup>3</sup>，水力停留时间为1.6h，清水池容积为11.7m<sup>3</sup>，水力停留时间为0.6h。膜元件采用增强型PVDF平板膜，过滤孔径 ≤ 0.1m，膜通量为20L/(m<sup>2</sup>·h)，整机功率为7.6kW。设备采用“产水静止反洗”的运行流程，通过时间或压差控制自行进行反洗。反洗用水取自清水池。

#### (2) 潜流人工湿地

通过将原人工湿地和多层生物滤池打通，改变原进

水方式，建设成为上行潜流人工湿地。在改造过程中，多层生物滤池原有的填料层不变，将原上层人工湿地三层填料改造为二层，自上往下为碎石层和基质层。原多层生物滤池的出水管路改为进水管路，原人工湿地的进水管改为出水管路。潜流人工湿地设有两座，单座总深度2.5m。填料至上而下为基质、碎石、生物填料、碎石、生物填料、碎石、生物填料、碎石、生物填料、卵石。填料总厚度为2.2m，其中基质层厚0.6m，碎石层厚0.1m，卵石层厚0.5m，生物填料厚0.4m。

### 4 改造后运行效果

该厂自2022年8月开始改造，于2022年11月改造调试完成。本文统计分析了2022年12月1日至2023年1月30日共61天的出水在线数据，出水总排口指标均能稳定达标，达标率100%，自12月28日开始，出水COD、TN逐渐趋向稳定，出水指标波动范围在5以内。NH<sub>3</sub>-N、TP去除率较高，系统中NH<sub>3</sub>-N基本均被去除。

表2 改造前后出水指标

项目	COD (mg/L)		NH <sub>3</sub> -N (mg/L)		TN (mg/L)		TP (mg/L)		备注
	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后	
平均值	31.13	23.10	7.03	0.23	11.09	10.32	0.76	0.15	
最大值	70.92	40.27	29.45	0.77	30.08	13.79	2.52	0.29	
最小值	15.22	16.53	0.02	0.02	4.02	7.06	0.08	0.08	

### 5 结语

(1) “一体化MBR膜设备+人工湿地”工艺能够较好适应低碳源、波动大的乡镇污水处理，具有出水指标稳定，脱氮效果好的优点。即使在冬季，出水TN指标依然能够较为稳定。

(2) 乡镇污水厂运行中人工成本目前占比达到较大。可利用智慧化平台，提高系统自动化程度，减少值守人员，是进一步降低乡镇污水厂运行成本的重要举措。

(3) 从出水TN指标来看，人工湿地在冬季对TN的脱除效果有限。

#### 参考文献

[1]陈冬升.乡镇污水处理厂建设与运营中存在的问题及对策[J].中国资源综合利用.2020,38(5).  
[2]云文泽.低碳源乡镇污水深度脱氮除磷技术研究[J].

市政技术.2016,34(03).

[3]刘东征,王正雄,杨涛.乡镇污水处理厂升级改造工程设计与经验总结[J].中国给水排水.2019,55(10).

[4]原菁.A<sup>2</sup>O+MBR工艺在乡镇污水处理厂的运用[J].科技创新与应用.2021,11(15).

[5]龙海洋,黄康,谢长春.乡镇污水处理设施超低负荷运行问题调控案例及分析[J].山东化工.2021,50(21).

[6]李仰斌,张国华,谢崇宝.我国农村生活排水现状及处理对策建议[J].中国水利.2008(3).

[7]毕学军,张波,丁曰堂,等.长期低负荷运行对污水生物除磷的影响[J].中国给水排水.2002(7).

[8]廖庆玉,卢彦,章金鸿.人工湿地处理技术研究概况及其在农村面源污染治理中的应用[J].广州环境科学.2012(2).