

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.04.033

# 无锡市胡埭污水处理厂提标改造方案研究

吴晓波, 雷文江, 谭云鹏

(无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072)

**摘要:**通过分析无锡市胡埭污水处理厂进出水水质和污染物去除的要求,确定了在该厂原规模基础上进行提标改造的深度处理工艺。其中深度脱氮工艺采用深床反硝化滤池,深度除磷工艺采用气浮工艺;同时介绍了深度处理单元与新增构筑物的单体工艺设计。胡埭污水处理厂的提标改造工程于2020年12月建成,运行效果稳定。

**关键词:** 污水厂;提标改造;深度处理工艺

中图分类号: X703.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)04-0119-03

## 1 污水处理厂现状与水质分析

### 1.1 污水处理厂现状

无锡市滨湖区胡埭污水处理厂服务范围内以生活污水为主。当地污水的特点是氮、磷偏高,有机物含量较低。胡埭污水处理厂目前污水处理规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中1期运行 $0.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,2期运行 $2.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。目前该厂区1期工程深度处理段为滤布滤池,但故障率较高;2期工程为MBR(Membrane Bio-Reactor,膜生物反应器)工艺,无进一步去除氮、磷的深度处理段。

目前对污水处理厂出水水质的 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ (化学需氧量)、TN(总氮)、TP(总磷)提出了更高的要求,而现状工艺无深度处理单元,因此难以满足出水的水质要求。

### 1.2 现状进水水质分析

#### 1.2.1 现状进水水质涵盖率分析

对胡埭污水处理厂近3a的实际进水水质进行分析,得到不同涵盖率下的进水水质情况,如表1所示。表中 $\text{BOD}_5$ 为5日化学需氧量;SS为水质中的悬浮物含量; $\text{NH}_3\text{-N}$ 为水(废水)中氨氮含量。

由表1可知,进水主要污染物浓度数值跨度较大,说明胡埭污水处理厂目前进水水质波动范围较大,水质不够稳定。

#### 1.2.2 原设计进水水质

胡埭污水处理厂原设计进水水质见表2。

表1 胡埭污水处理厂不同涵盖率下的实际进水水质 单位:mg/L

涵盖率/%	$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{BOD}_5$	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
85	239	94.2	497	36.8	41.1	4.94
90	261	98.8	509	39.3	43.6	5.45
95	299	115.0	517	42.6	47.0	6.34
平均值	170.8	64.5	438	27.2	31	3.5

表2 胡埭污水处理厂原设计进水水质 单位:mg/L

$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{BOD}_5$	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
450	150	300	35	50	4

对比表1、表2可知,胡埭污水处理厂原设计进水水质中SS、 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、TP与实际进水水质偏差较大。当进水涵盖率为95%时, $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 浓度为299 mg/L;当进水涵盖率为85%时,进水SS和TP浓度已分别达到497 mg/L、4.94 mg/L,远超设计指标,因此需对 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、SS、TP的设计值进行调整。

#### 1.2.3 原设计出水水质

胡埭污水处理厂原设计出水与实际出水水质见表3。

表3 胡埭污水处理厂原设计、实际出水水质 单位:mg/L

项目	$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{BOD}_5$	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
原设计	50	10	10	5(8)	15	0.5
实际	30.5	6.8	6.5	0.75	13.8	0.41

2018年之前,胡埭污水处理厂经常受到偷排工业废水冲击,造成污水厂运行困难,部分指标已接近临界值,因此在不增加处理规模的基础上需要对工艺进行改进。

## 2 提标改造方案

### 2.1 提标改造设计要求

本次提标改造工程出水水质的主要污染物考核

收稿日期: 2021-07-10

作者简介: 吴晓波(1976—),男,本科,高级工程师,从事工程总承包管理工作。

指标执行《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)中一、二级保护区的排放标准<sup>[2]</sup>,其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。根据进水水质和出水标准,提标改造工程主要污染物排放的进水水质与出水水质设计见表4。表4中: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。

项目	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
设计进水水质	350	150	400	40	50	8
设计出水水质	≤40	≤10	≤10	≤3(5)	≤10(12)	≤0.3
去除率/%	88.6	93.3	97.5	92.5	80.0	96.3

## 2.2 深度处理工艺

根据改造要求,对于氮、磷指标的进一步提标,需要在各期生化处理后设置深度处理单元。新标准中出水TN指标需达到10mg/L以下,TP指标需达到0.3mg/L以下,去除率要求更高。而目前胡埭污水厂现有深度处理设施主要是滤布滤池,仅能在一定程度上过滤截留悬浮物,而对氮、磷指标的进一步削减无效果,需考虑增加更为有效的工艺措施。

### 2.2.1 深度脱氮工艺

由于通过MBR(膜生物反应器)和CAST(循环式活性污泥法)得到的现状出水水质均能满足深床反硝化滤池与反硝化滤池的进水SS要求,因此,综合考虑投资成本及应用普遍性,本工程推荐使用技术较为成熟、应用更为广泛的深床反硝化滤池。

### 2.2.2 深度除磷工艺

鉴于气浮工艺在污水厂运行的良好效果<sup>[3-4]</sup>,在当地某厂进行气浮中试试验,药剂采用液态聚合氯化铝PAC和助凝剂聚丙烯酰胺PAM。试验结果表明,当混凝剂PAC投加量为5~10mg/L,助凝剂PAM投

加量为0.1~0.2mg/L时,出水TP数据集中在0.02~0.08mg/L,回流比约5%。

根据中试结果可知,气浮单元对总磷有更高的去除率,悬浮物去除彻底,出水水质更优,投加药剂量较少,药剂费用低。气浮单元的水下设备较少,且无动力设备,设备维护较简单,可以减轻污水厂工作强度。

综合考虑占地面积、厂区的整体布置及试验效果,采用气浮工艺作为TP深度处理的工艺。

### 2.2.3 深度处理工艺方案确定

气浮工艺对磷酸盐的去除较为彻底,一般出水TP指标均小于0.1mg/L,而过低含量的磷酸盐将成为影响反硝化滤池反硝化潜力的限制因素,影响脱氮能力的发挥。因此,使滤池进水保持适量浓度PO<sub>4</sub>-P是维系缺氧生物膜微生物生长并确保反应器保持高效反硝化性能的必要条件。经气浮池后出水溶氧会上升0.2~0.5mg/L,也给反硝化滤池的缺氧环境带来影响,增加碳源成本。在此考虑下,深度处理工艺将反硝化滤池置于混凝气浮之前。

根据以上工艺比选、试验,再考虑出水水质要求及投资成本,提标改造工程推荐工艺方案定为“现状出水+反硝化滤池+混凝气浮”,处理工艺流程图见图1。

## 3 优化方案设计

### 3.1 优化方案

通过全流程试验及现状运行状况分析可知,胡埭污水处理厂设备以及工艺运行方式存在一定的优化空间,主要优化措施如下:

(1)通过全流程溶解氧测试可知,膜池出水溶解氧含量非常高,因此可以通过加大膜池到好氧池内的回流比例,并减少生化段供气量来充分利用膜池DO(溶氧量)。

(2)根据现状进水水质,目前所用离心风机风量

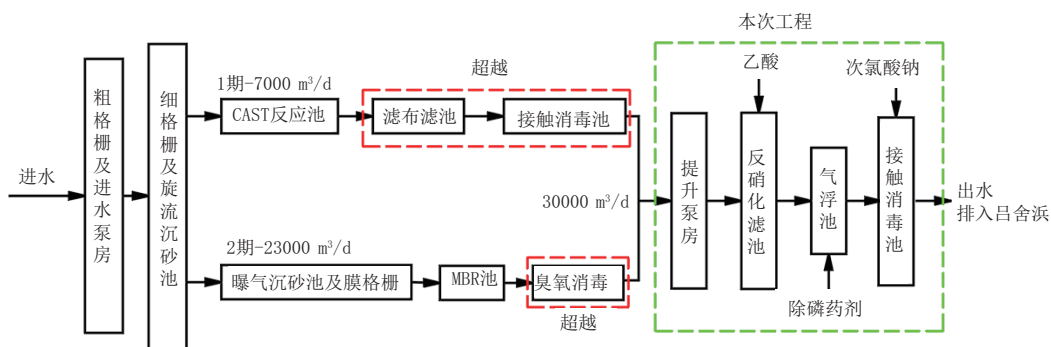


图1 工艺流程图

过大、能耗较高,因此将现状离心风机 110 kW 调整为 37 kW 罗茨风机,变频控制。

(3)优化现状设备、工艺运行控制调节,通过增加在线监测、过程控制和大数据分析等措施,对工艺、设备运行实现智能控制,为污染物去除提供良好的生物及化学条件,使污水处理系统发挥最大的生化反应潜力。

(4)现状自控系统老化,需对老厂区自控系统进行改造。

(5)目前内回流比为 100%,出水仍存在大量硝酸盐,因此通过增加内回流比例来强化氮的去除。

通过以上优化措施,能够进一步挖掘 2 期处理能力,进一步提升出水水质,在夏季或进水水质较好条件下,能够不经过深度处理即达到排放标准,深度处理设施仅处理 1 期出水,从而减少运行组数。当进水水质较差或冬季时,2 期出水也进入深度处理段处理,深度处理组数全开。以上运行措施能够有效降低药剂投加费用、电耗,从而降低运行成本。

## 3.2 单体工艺设计

### 3.2.1 综合水池

将反洗水池与接触消毒池合建为综合水池,同时废除 1 期原有的消毒设施。设计规模  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,平面尺寸为  $23.86 \text{ m} \times 26.7 \text{ m}$ ,有效水深为 3.2 m,设置 2 台反洗泵( $Q=900 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=11 \text{ m}$ , $N=45 \text{ kW}$ )。

### 3.2.2 反硝化滤池

新建反硝化滤池 1 座,通过反硝化作用进一步去除 2 级出水中的硝态氮,降低出水总氮,保证出水水质达标。滤池为半地下钢筋混凝土构筑物,分 4 格,总体尺寸为  $28.32 \text{ m} \times 23.7 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$ ,单格过滤面积为  $56.3 \text{ m}^2$ ,平均滤速为  $5.55 \text{ m/h}$ ,滤池水头损失约为  $2 \sim 2.5 \text{ m}$ 。配有 1 套反冲洗系统,采用气水反冲洗模式进行反冲洗,反冲洗强度为气洗  $92 \text{ m}^3/\text{h}$ 、水洗  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ,滤池滤料采用石英砂,厚度为 1.83 m。其余设备包括 2 台反洗风机( $Q=90 \text{ m}^3/\text{min}$ , $P=68.6 \text{ kPa}$ , $N=150 \text{ kW}$ )、2 个  $15 \text{ m}^3$  的碳源储罐和 2 台碳源投加泵( $Q=500 \text{ L/h}$ , $H=40 \text{ m}$ , $N=0.55 \text{ kW}$ )。

### 3.2.3 高速气浮池

为保障出水 TP 浓度达标,采用混凝气浮工艺,进一步去除 2 级出水的 TP 含量。

本工程新建气浮池 1 座,平面尺寸为  $11.2 \text{ m} \times 26.55 \text{ m}$ 。高速气浮装置(含配套核心设备)包括高效微氧化强溶溶气装置、微气泡发生装置、紊流装置、絮凝紊流装置、布水装置及集水装置。其余装置包括

3 台回流水泵( $Q=85 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=68 \text{ m}$ , $N=30 \text{ kW}$ )、2 套  $4 \text{ kW}$  混凝搅拌器、2 套  $3 \text{ kW}$  手电动进水闸板。

### 3.2.4 反洗废水池及提升泵池

反洗废水池用于反硝化滤池反冲洗废水及放空废水排放与暂存污水。现状出水至反硝化滤池需泵提升,因此将提升泵池与反洗废水池合建。有效容积  $3000 \text{ m}^3$ ,有效水深 5 m,主要设备包括 2 台变频潜水泵( $Q=500 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=16 \text{ m}$ , $N=37 \text{ kW}$ )、4 台搅拌机( $N=3.75 \text{ kW}$ )、3 台变频提升泵( $Q=625 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=14 \text{ m}$ , $N=37 \text{ kW}$ )。

### 3.2.5 加药间

新建加药间 1 座,用于存放消毒剂、PAC(聚合氯化铝)以及 PAM(聚丙烯酰胺)等药品,尺寸为  $7.2 \text{ m} \times 18 \text{ m}$ ,主要设备包括  $10 \text{ m}^3$  次氯酸钠储药罐 1 台、次氯酸钠加药泵 2 台( $Q=500 \text{ L/h}$ , $H=30 \text{ m}$ , $N=0.55 \text{ kW}$ ); $20 \text{ m}^3$  PAC 加药罐 1 台、PAC 加药泵 3 台( $Q=500 \text{ L/h}$ , $H=30 \text{ m}$ , $N=0.55 \text{ kW}$ ); $10 \text{ m}^3$  PAM 加药罐 1 台、PAM 加药泵 3 台( $Q=1000 \text{ L/h}$ , $H=30 \text{ m}$ , $N=1.1 \text{ kW}$ )。

### 3.2.6 活性炭投加系统

新增活性炭投加系统 1 套,主要用于进水水质严重波动时紧急投加活性炭,以保证出水达标。包括  $30 \text{ m}^3$  的活性炭储仓、溶解装置与配套空气装置各 1 套。

### 3.2.7 生物工艺智能控制系统

新增生物工艺智能控制系统 1 套,主要用于现状生物工艺的智能控制,实现运行管理精细化。主要包括智能硝化调控系统、智能反硝化调控系统、智能除磷调控系统和工艺参数数据挖掘系统 4 个板块。

### 3.2.8 除臭设计

增设除臭系统,对新、老厂区部分单体进行除臭处理。除臭构筑物包括除臭系统一:粗格栅、提升泵房、细格栅、旋流沉砂池、反洗废水池(新建)、膜格栅、曝气沉砂池;除臭系统二:贮泥池、污泥脱水机房。除臭系统一主要收集粗格栅及进水泵房、细格栅及旋流沉砂池以及反洗废水池的臭气进行集中处理,处理风量为  $12000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。除臭系统二主要收集污泥系统的臭气进行处理,处理风量为  $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

## 4 运行效果

本次提标改造于 2020 年 12 月建成运行。2021 年 1~6 月平均运行水质见表 5。

由表 5 可知,经改造深度处理后,出水水质均有所提升,其中出水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、TN、TP 浓度分别降低

(下转第 129 页)

彻,再加上建设周期的偏紧、同类型项目偏少、可参考借鉴的经验有限等因素,在诸多细节方面考虑不周全,常导致项目上马后不能顺利完成调试,很难迅速转入商业运营。

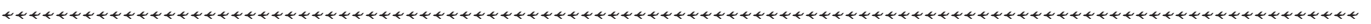
例如,干化焚烧技术中的热干化技术,上海市普遍采用以蒸汽为热媒的传导式热干化技术。原理很简单,即利用蒸汽热源,通过干化机传递热量,完成污泥的干化过程,同时干化机将干化污泥顺利推出。但是,由于项目策划时国内在热干化方面的成熟制造商较少,上海市污泥干化机多为国外进口。而国外进口干化机,是根据该国污泥的含砂量、有机含量、粘滞特性等特性,研制生产的。一旦干化的污泥特性有不同,在生产过程中,进口干化机在工作稳定性、检修频次、污泥脱水效率等使用性能方面,在可能有很多不尽人意的方面,甚至因为污泥泥性的不同,导致干化机不能正常工作,从而引起后续焚烧线的停运。因此,以干化焚烧技术的推广为例,研制符合国内泥质的干化机,在降低投资成本的同时,提高干化机的工作效能,尤为重要和迫切。

在干化焚烧、厌氧消化、好氧发酵等传统技术之外,创新污泥处理处置新工艺、新技术,也是污泥处置事业发展不可或缺的关键环节。例如,未来可考虑更为绿色的热解技术作为焚烧的替代技术。污泥热解工艺,在缺氧环境下,通过间接高温加热,切断固体废物中有机物质的高分子链结构,完全裂解有机物分子,使其分解重组,最终形成可燃气体和干燥低

分子链碳化固体物质。热裂解过程中产生的可燃气体,一般为一氧化碳、氢气、甲烷等低分子碳氢化合物,可被无害燃烧处理(燃烧热能补充干化热能),燃烧尾气二氧化硫浓度低,且烟气没有二噁英和重金属污染风险,较污泥焚烧的尾气处理工艺简单、成本低;干燥低分子链碳化固体物质为一般固体废物,整个处理过程没有危废产生风险。与污泥焚烧技术相比,该技术在实现污泥“无害化、减量化、稳定化、资源化”的处置过程时,运行成本有明显优势。在取得污泥有效处置的环境价值或者说削减同等的环境污染当量时,较少的运行成本意味着更大的环境价值或更低的碳当量排放,是持续环境污染总量下降的重要治理技术和装备。

参考文献:

- [1] 刘宇佳,赵旭东.污泥干化焚烧技术进展及我国典型工程概况[J].中国环保产业,2019(2):55-59.
- [2] 王磊.市政污泥脱水干化及粘滞特性变化规律研究[D].上海:东华大学,2018.
- [3] 梅静.污泥粘滞特性的宏观表征和降粘研究 [D].上海:东华大学,2017.
- [4] 陈文迪.污泥在流化床内的燃烧特性及高效焚烧处理处置研究[D].杭州:浙江大学,2019.
- [5] 朱小玲.竹园污泥干化焚烧厂运行技术优化研究[D].杭州:浙江大学,2012.
- [6] 陈少卿,王飞,池涌,等.污泥干燥焚烧工程系统质能平衡分析[J].环境工程学报,2017,11(1):515-521.
- [7] 孙中涛,刘露.垃圾焚烧烟气脱酸工艺选择及应用[J].环境卫生工程,2018(12):93-96.



(上接第 121 页)

表 5 设计进出水水质处理程度表 单位:mg/L

项目	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
现进水水质	263	94.7	459	37.6	44.5	5.73
现设计出水水质	≤40	≤10	≤10	≤3	≤10	≤0.3
原出水水质	30.5	6.8	6.5	0.75	13.8	0.41
现出水水质	20.9	7.0	4.4	0.3	7.6	0.2

31.5%、44.9%和 51.2%,且平均水质满足一级 A 标准,说明本次提标改造方案可行,应用效果良好。

5 结 语

本项目于 2020 年 12 月 18 日建成,改造工艺可

靠,运行效果稳定,作为无锡市滨湖区、无锡市、乃至华东地区的污水处理示范工程,具有较为深远的影响。本次改造工艺可供类似项目参考。

参考文献:

- [1] 蒋岚岚,胡邦,陈皓,等.无锡市胡埭污水处理厂升级改造工艺设计 [J].中国给水排水,2010,26(6):27-29.
- [2] 张辰.城镇污水处理厂升级改造工程要点[J].给水排水,2008,34(5):1-2.
- [3] 孟智智,张仂,谢承友,等.气浮法水处理工艺应用现状[J].盐科学与化工,2021,50(6):1-3.
- [4] 隋克俭,李家驹,李鹏峰,等.溶气气浮工艺用于城镇污水处理厂二级出水的深度除磷研究[J].环境工程,2020,38(7):66-70,65.