

# 某污水厂倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺改造和模块化深度处理系统设计

侯学勇, 冯云海, 刘霞

(中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 山东省某污水处理厂提标改造工程实施规模为  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 主体采用倒置 A<sup>2</sup>/O 处理工艺, 改造前出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准。通过增加水解酸化池、设置硝化液内回流和新增模块化深度处理系统, 使得出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。介绍了工程项目背景、提标改造关键技术路线、主要构筑物设计参数, 为类似工程提供参考。

**关键词:** 提标改造; 水解酸化池; 倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺; 模块化水处理系统

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)06-0059-04

## Reconstruction of Inverted A<sup>2</sup>/O Process and Design of Modular Advanced Treatment System in a Sewage Treatment Plant

HOU Xue-yong, FENG Yun-hai, LIU Xia

(Power China Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410000, China)

**Abstract:** The capacity of upgrading and reconstruction project of a sewage treatment plant in Shandong Province was  $40\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ . Before reconstruction, the inverted A<sup>2</sup>/O process was adopted, and the effluent was required to meet the first level B criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). Through adding hydrolytic acidification tank, nitrifying liquid reflux system and modular advanced treatment system, the effluent quality could meet the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The project background, key technical route in the upgrading and reconstruction, and design parameters of main structures were introduced to provide reference for similar projects.

**Key words:** upgrading and reconstruction; hydrolytic acidification tank; inverted A<sup>2</sup>/O; modular water treatment system

山东省某污水处理厂工程于2008年7月开工建设,2010年10月投入运行。主要处理橡胶、化工、食品、化肥和造纸等行业的生产废水和沿线生活小区污水,工程总设计规模为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 分两期建成。一期工程建设规模为  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 设计出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 B 标准。根据山东省政府与省住房和城乡建设厅签订的《“十二五”主要污染

物总量减排目标责任书》的要求,山东省县级及以上城市污水处理厂到2015年底前全部执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,该污水处理厂一期工程于2015年9月正式启动提标改造。

### 1 原污水厂概况

#### 1.1 原工艺流程

原有粗格栅及提升泵站、细格栅及曝气沉砂池、

紫外消毒渠按处理规模为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  建设,生物池、二沉池按处理规模为  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  建设。污水厂内生物池主要采用倒置  $A^2/O$  污水处理工艺,具体工艺流程如下:污水→粗格栅渠→提升泵站→细格栅渠→曝气沉砂池→生物池配水井→倒置  $A^2/O$  综合池→沉淀池→紫外消毒池→排放。

## 1.2 原设计进、出水水质

原设计进水按照市政污水水质设计,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,设计进、出水水质见表 1。

表 1 污水厂原设计进、出水水质

Tab. 1 Original design influent and effluent quality

mg · L <sup>-1</sup>						
项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TP	TN
进水	500	200	300	35	8	55
出水	60	20	20	8(15)	1	20

## 1.3 实际运行水质

2014 年 1 月—2015 年 3 月污水厂实际进、出水水质见表 2。

表 2 污水厂实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

mg · L <sup>-1</sup>					
项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TP
进水最高值	1 000	219	770	95.3	30.5
进水最低值	40	2.48	20	0.57	0.06
进水平均值	240.6	65.8	156.1	15.5	3.1
出水最高值	228	65	404	34.1	5.9
出水最低值	6	1.15	1	0.07	0.02
出水平均值	56.7	9.8	50.1	4.7	0.35

## 1.4 存在的问题

据实地调研,原污水厂存在如下问题:①污水厂布置较为紧凑,生产及辅助建筑等均无规划预留空间。②二沉池出水不均匀,部分出水堰板缺失,局部不出水,二沉池沉淀分离效果差,存在跑泥现象,局部区域容易形成死区,存在厌氧浮泥。③生物池采用倒置  $A^2/O$  工艺,未设内回流,污泥回流比高达 200%,二沉池实际水力负荷、固体负荷均比较高。④曝气池出水溶解氧有时达到 5~6 mg/L,曝气过度导致污泥絮体松散。⑤一些化工企业废水处理设施闲置,废水预处理达不到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)三级标准和《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010)要求,进水水质波动

大。⑥SS 超标严重,根据 2014 年 1 月—2015 年 3 月监测指标报表分析,超标率达到 77.5%。⑦原设计缺少水解酸化池、初沉池等必要的预处理设施,进水水质波动对后续生物处理影响较大。⑧预处理采用曝气沉砂池除砂,同时也去除部分容易降解的有机物,导致后续缺氧池反硝化时碳源不足。

## 2 提标改造工程

### 2.1 提标改造工程设计进、出水水质

受到沿线各排放主体的影响,进水污染物指标波动较大。周克钊等<sup>[1]</sup>通过研究分析得出“城市污水处理厂进水水质数据经过适当变换可以与标准正态分布曲线良好吻合,可以按照保证概率的方法确定城市污水厂的设计进水水质”。分析 2014 年 1 月—2015 年 3 月监测指标报表,得出各污染物指标累计频率分布图。通过分析,采用 90% 的概率保证率,由于 TN 缺乏监测数据,按  $\text{NH}_3 - \text{N}$  约占 TN 70% 来估算 TN 指标,提标改造后执行一级 A 标准,最终确定提标改造工程进、出水水质见表 3。

表 3 提标改造工程设计进、出水水质

Tab. 3 Design influent and effluent quality of upgrading and reconstruction project

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> - N	TP	TN
进水	420	130	250	30	8	45
一级 A 标准	50	10	10	5(8)	0.5	15

### 2.2 提标改造工艺流程

提标改造工程需尽量利用现有构筑物、设备及管线等,采用成熟可靠、经济合理、工期较短的工艺,改造工程施工期间应保证污水厂的连续生产,尽量避免减产或者停产。分析进出水水质可知,  $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 基本达标, COD 在达标线以上波动, SS 不达标。所以,提标改造工程重点为 COD 和 SS 的去除。

污水处理厂实测进水  $\text{BOD}_5/\text{COD} = 0.31$ , 仅刚好满足可生物降解条件<sup>[2]</sup>。因此对原有生物池进行改造,在缺氧池前段增加水解酸化池,污水经水解池,可以在较短的停留时间获得较高的 B/C 比,改善废水的可生化性,为后续脱氮除磷处理奠定良好基础。

原污水厂出水 SS 经常不达标,二沉池出水跑泥问题严重。经过实地调研发现导致以上问题有以下几个原因:①二沉池出水不均匀,出水堰板高度不一致甚至局部出水堰板缺失,导致出水区域负荷太高,

污泥随水流一起流出,不出水区域形成“死区”,污泥沉在池底厌氧发酵,死泥上浮至池面随水流流出。②生物池没有设置内回流,污水在好氧池完成硝化后进入二沉池泥水分离后部分流出,部分随回流污泥一起进入缺氧池进行反硝化脱氮,回流比达 200%。虽然二沉池表面水力负荷为  $0.66 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,但是池中竖向平均水流速度高达  $2.65 \text{ m/h}$ ,固体负荷为  $254.75 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,影响泥水分离效果。③生物池好氧区 HRT 为  $14.0 \text{ h}$ ,出水溶解氧有时达到  $5 \sim 6 \text{ mg/L}$ ,曝气过度会导致污泥絮体松散,不利于后续的沉淀分离,同时过高的溶解氧进入二沉池,溶解氧释放裹挟污泥至水面。④排泥不及时,污泥龄平均值高达 30 天,污泥老化不利于沉降。

常规二级处理出水,SS 一般可以控制在  $20 \sim 30 \text{ mg/L}$  之间<sup>[3]</sup>,而要达到一级 A 标准必须通过深度处理单元进一步去除水中残留的微生物絮体和胶体颗粒,一般可采用混凝、沉淀、过滤工艺去除。通过对机械加速澄清池 + V 型滤池、高效混凝沉淀池 +

D 型滤池、模块化水处理系统进行技术经济比较,得出模块化水处理系统工艺具有以下优势:①占地面积小,整体占地面积减少 60%。②工厂化生产模式生产,标准高、质量好。③工期短,比其他常规的深度处理设备工期缩短 2/3,能满足 2015 年底出水达标的目标。④运行自动化程度高。⑤水处理模块能互为备用,维护方便,具有很好的应急能力。因此本工程的深度处理采用模块化水处理系统。

提标改造思路如下:①改造生物池。从好氧池划分出 HRT 为  $2.0 \text{ h}$  的区域作为新的厌氧池,好氧池 HRT 从  $14.0 \text{ h}$  减少到  $12.0 \text{ h}$ ,原厌氧池作为新的缺氧池,HRT 仍为  $4.0 \text{ h}$ ,原缺氧池通过改造作为水解酸化池,停留时间为  $4.0 \text{ h}$ 。好氧池新设硝化液内回流,回流比为 200%,污泥回流比降低为 100%。②修整二沉池。重新调整出水堰板,保证均匀出水。③新建  $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  模块化水处理及配套加药、控制、反洗等深度处理设施。

最终确定的提标改造工程工艺流程见图 1。

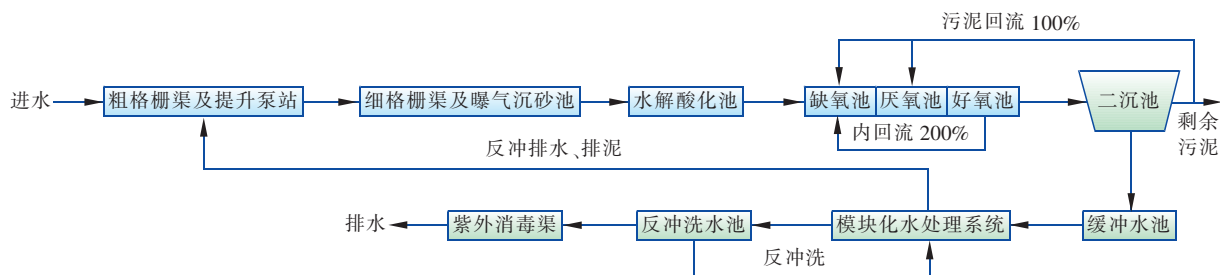


图 1 提标改造工程工艺流程

Fig. 1 Flow chart of upgrading and reconstruction project process

### 3 提标改造工艺设计

#### 3.1 生物处理单元

##### ① 水解酸化池

2 座。停留时间  $\text{HRT} = 4.0 \text{ h}$ ,有效水深为  $4.7 \text{ m}$ ,有效容积为  $3\,478 \text{ m}^3$ ,上升流速为  $1.13 \text{ m/h}$ 。

##### ② 缺氧池

2 座。HRT 为  $4.00 \text{ h}$ ,有效水深为  $4.60 \text{ m}$ ,有效容积为  $3\,404 \text{ m}^3$ 。

##### ③ 厌氧池

2 座。HRT 为  $2.0 \text{ h}$ ,有效水深为  $4.55 \text{ m}$ ,有效容积为  $1\,684 \text{ m}^3$ 。

##### ④ 好氧池

2 座。污泥负荷为  $0.08 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,污泥浓度为  $4\,000 \text{ mg/L}$ ,污泥龄为  $20 \text{ d}$ ,污泥回

流比为 100%,硝化液回流比为 200%,HRT 为  $12 \text{ h}$ ,有效水深为  $4.5 \text{ m}$ ,有效容积为  $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

#### 3.2 深度处理单元

##### ① 缓冲水池

1 座。有效容积为  $240 \text{ m}^3$ ,有效水深为  $3.75 \text{ m}$ ,停留时间为  $8.5 \text{ min}$ 。

##### ② 模块化水处理系统

二沉池出水均匀分配进入深度处理设备,加入混凝剂与絮凝剂后进行水力絮凝反应,再经斜管沉淀分离矾花,接着进行均质滤料过滤。

共 4 台。单台处理规模为  $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,絮凝时间为  $23 \text{ min}$ ,沉淀负荷为  $7.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,设计滤速为  $8 \text{ m/h}$ ,反洗强度为  $13 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

##### ③ 反冲洗水池

1座。设计流量为 $1\,667\text{ m}^3/\text{h}$ ,有效容积为 $355\text{ m}^3$ ,有效水深为 $3.3\text{ m}$ ;停留时间为 $11.5\text{ min}$ 。

#### 4 提标改造后运行效果及经济指标

提标改造工程稳定运行后出水指标均达到一级A排放标准,2016年9月进、出水水质见表4。

表4 2016年9月进、出水水质

Tab.4 Influent and effluent quality in Sep. 2016

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
项 目	$\text{BOD}_5$	COD	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	TP	SS
进水	144.6	461	27.9	45.6	3.23	206
二沉池出水	11.8	59.2	3.72	18.5	0.66	35.6
总出水	7.82	46.35	1.92	8.86	0.30	9.85

提标改造工程总投资为 $1\,904.29$ 万元,单位投资为 $476\text{ 元}/\text{m}^3$ 。改造后污水处理总成本为 $0.97\text{ 元}/\text{m}^3$ ,经营成本为 $0.80\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

#### 5 结论

污水厂提标改造工程充分利用原厂构筑物,增加水解酸化,有效提高了污水可生化性;设置硝化液内回流降低二沉池负荷;增加模块化深度处理系统进一步净化水质。运行结果表明,出水水质稳定达到一级A排放标准。

(上接第58页)

#### 5 设计总结

在水污染形势日趋严峻的背景下,天津市率先执行了国内最严格的污水厂排放标准,各项控制指标均明显严于国家一级A标准,对天津市污水厂的新建和改造提出了更大的挑战。张贵庄污水厂结合多年运行情况和工艺流程特点,通过现场试验的方式,有针对性地确定了经济、可靠的改造方案:降低深度处理负荷+新增臭氧催化氧化工艺。工程总投资约 $2.4$ 亿元,改造工程单位投资约 $1\,200\text{ 元}/\text{m}^3$ ,经营成本增加约 $0.48\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

#### 参考文献:

- [1] 王舜和,郭淑琴. 天津市张贵庄污水处理及再生利用一期工程设计[J]. 中国给水排水,2013,29(8):52-55,59.
- [2] 李承强,张竑. 深圳龙华污水处理厂的工程设计与调试[J]. 中国给水排水,2008,24(24):28-31.
- [3] 赵国志. 福州市洋里污水处理厂一、二期工程的设计

#### 参考文献:

- [1] 周克钊,周枚. 城市污水处理厂设计进水水质确定和出水水质评价[J]. 给水排水,2006,32(9):26-30.
- [2] 徐美倩. 废水可生化性评价技术探讨[J]. 工业水处理,2008,28(5):17-20.
- [3] 崔玉川,刘振江,张绍怡. 城市污水厂处理设施设计计算(第2版)[M]. 北京:化学工业出版社,2011.



作者简介:侯学勇(1985-),男,江苏盐城人,大学本科,注册环保工程师,主要从事城市污水厂设计工作。

E-mail:200412055@163.com

收稿日期:2016-10-14

- 及运行[J]. 中国给水排水,2010,26(2):31-36,41.
- [4] 胡维杰. 上海市石洞口城市污水处理厂设计[J]. 中国给水排水,2003,19(7):68-71.



作者简介:王舜和(1981-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,高级工程师,从事市政工程设计工作。

E-mail:30626936@qq.com

收稿日期:2016-12-28