

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.04.017

## 生物转盘在某城镇污水处理厂改造扩容工程中的应用

吕汶霖<sup>1</sup>, 孙德寿<sup>1</sup>, 王伟伟<sup>1</sup>, 左浩<sup>1</sup>, 柴伟贺<sup>1</sup>, 张磊<sup>2</sup>

(1. 青海洁神环境能源产业有限公司, 青海 西宁 810000; 2. 沈阳环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110167)

**摘要:** 平凉市某污水处理厂原设计规模 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用传统 $A^2/O$  + 深度处理工艺, 本次扩建后规模达到 $8.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。针对厂区用地紧张、进水总氮浓度高等问题, 缺氧区采用生物转盘强化系统的脱氮性能, 好氧区改造为限氧曝气区, 并新建初沉池以确保出水指标达标。实际运行数据显示, 在低温、低碳氮比条件下, 出水水质可稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。该工程总投资为10 793.17万元, 直接运行成本为0.72元/ $\text{m}^3$ 。

**关键词:** 污水处理厂; 扩容改造; 生物转盘

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)04-0082-05

## Application of Rotating Biological Contactors in Reconstruction and Expansion Project of a Municipal Wastewater Treatment Plant

LÜ Wen-lin<sup>1</sup>, SUN De-shou<sup>1</sup>, WANG Wei-wei<sup>1</sup>, ZUO Hao<sup>1</sup>, CHAI Wei-he<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>

(1. Qinghai Jiessen Environmental Energy Industry Co. Ltd., Xining 810000, China; 2. Shenyang Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110167, China)

**Abstract:** The original design capacity of a wastewater treatment plant in Pingliang City is  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , using the traditional  $A^2O$  + advanced treatment process, the capacity of this expansion reaches  $8.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . In view of the shortage of land and high concentration of influent total nitrogen, the anoxic zone adopts rotating biological contactors to enhance the denitrification performance, the aerobic zone is transformed into limited aeration zone, and a new primary sedimentation tank is built to ensure the design effluent target. Actual operation results showed that effluent quality stably met the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002) under low temperature and low C/N ratio. The total investment of the project was 107.931 7 million yuan, and the direct operation cost was 0.72 yuan/ $\text{m}^3$ .

**Key words:** wastewater treatment plant; expansion and reconstruction; rotating biological contactors

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07601-001); 辽宁省博士科研启动基金项目(20180540134); 环境微生物四川省重点实验室开放研究基金项目(KLCAS-2020-2)

通信作者: 张磊 E-mail: zhanglei86@syhky.com

## 1 工程背景

平凉市某污水处理厂位于二十里铺工业园区内,设计处理规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该污水处理厂于2006年投产运行,2016年进行升级改造,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A标准。

该污水处理厂采用传统 $A^2/O$ 工艺,二级处理出水采用高密度沉淀池+纤维转盘滤池作为深度处理工艺,处理后的尾水排入泾河,最终汇入黄河。剩余污泥经带式脱水机处理后含水率可降至60%。该污水处理厂自建成投产以来,实际出水水质一直优于设计出水水质。

随着经济社会的不断发展,加之城市排水管网的不断完善,污水处理厂服务范围内的污水产生量逐步增加。该厂现有的处理能力已经不能满足污水处理需求,因此需要在原有基础上进行改造扩容。

## 2 设计规模及进、出水水质

据统计,目前该污水处理厂的平均污水处理量接近 $6.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,峰值处理量可达到 $7.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。预计至2020年,该污水厂服务范围内的污水量为 $8.48 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。基于污水量的预测结果,决定将污水厂处理能力扩容至 $8.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

为了确保设计能够满足处理要求,对进水水质进行了重新核定,选取85%覆盖率的进水水质作为设计水质,出水水质仍执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。改造前后的设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
原设计进水水质	≤520	≤260	≤200	≤60	≤70	≤4.0
扩容工程设计进水水质	≤720	≤320	≤230	≤60	≤70	≤5.2
扩容工程设计出水水质	≤50	≤10	≤10	≤5(8) <sup>①</sup>	≤15	≤0.5

注: ①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。

## 3 改造方案

### 3.1 现状问题分析

经现场调研分析并参考工业园区污水处理厂工程实践,改造扩容工程存在以下问题:

① 该污水处理厂有屠宰及肉类加工、果蔬深加工等工业废水接入,实际进水的COD、BOD<sub>5</sub>、SS和TN等指标远高于常规生活污水水质。随着工业园区的农副产品加工产业集群快速发展,目前实际进水浓度已高于原设计进水水质。

② 该污水处理厂冬季水温偏低,进水TN浓度较高,多数月份进水TN平均浓度接近70 mg/L。经过核算(进水TN取69 mg/L,进水量取 $58141 \text{ m}^3/\text{d}$ ),现状 $A^2/O$ 池在水温为10℃时,反硝化速率仅为 $0.028 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,生物脱氮能力无法满足要求。

③ 该污水厂扩容后规模为 $8.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,属于IV类污水处理厂。根据《城市生活垃圾处理和给水与污水处理工程项目建设用地指标》(建标[2005]157号),项目建设用地约 $9.2 \text{ hm}^2$ ,但是污水处理厂厂区面积仅有 $7.5 \text{ hm}^2$ ,用地非常紧张。

④ 该污水处理厂已运行10余年,厂内部分设备老化损坏严重,已到大修或更换年限。尤其是污泥回流泵、水下搅拌器等设备,由于不能正常运行,已严重影响了处理效果。

## 3.2 技术思路及方案

### 3.2.1 预处理工艺

本工程在生化池前设置初沉池并辅助投加絮凝剂,用于去除进水的COD、BOD<sub>5</sub>及SS,降低后续生化池的处理负荷。由于现有细格栅渠井和曝气沉砂池无法满足新建初沉池的高程需求,故弃用另建。

### 3.2.2 二级处理工艺

生化池改造的核心目标是提高生物硝化和反硝化能力。目前污水处理厂构筑物布局十分紧凑,工艺选择尽可能优先利用原有土建及设备。综合考虑工程投资、施工周期及厂区用地等因素,经过技术比选,生化池改造采用生物转盘(RBC)工艺。

半浸没式生物转盘采用钢架结构架设在原有 $A^2/O$ 缺氧池,与原 $A^2/O$ 工艺为镶嵌关系,可以充分利用现有构筑物及工艺条件。改造过程中无管道拆改,工程量小且改造周期短。生物转盘在驱动装置的驱动下,盘片上附着的微生物交替与废水和空气接触,即可完成同步硝化反硝化过程。通过改造曝气管道,将原有 $A^2/O$ 好氧池改造为限氧曝气池,使其具备分段(4段)控制DO浓度的功能。如进水TN浓度过高,限氧曝气池前段可作为缺氧池运行,进行生物反硝化。

### 3.2.3 深度处理工艺

原有深度处理工艺运行至今,效果良好。为便于运行管理,深度处理单元沿用既有工艺路线,采用高密度沉淀池+纤维转盘滤池。消毒单元不能满足扩容后的水力停留时间要求,因此增加紫外消毒设施,保障粪大肠菌群数稳定达标。

厂区现状平面布置如图1所示。改造过程中,在污泥干化车间南侧空地新建临时细格栅,拆除厂区现状细格栅及旋流沉砂池、机修间,新建细格栅、曝气沉砂池及初沉池。受用地限制,细格栅、沉砂池和初沉池采用合建形式。将综合楼北侧建筑拆除,此处空地新建二沉池。新建高密度沉淀池和纤维转盘滤池,与原有构筑物并列布置。

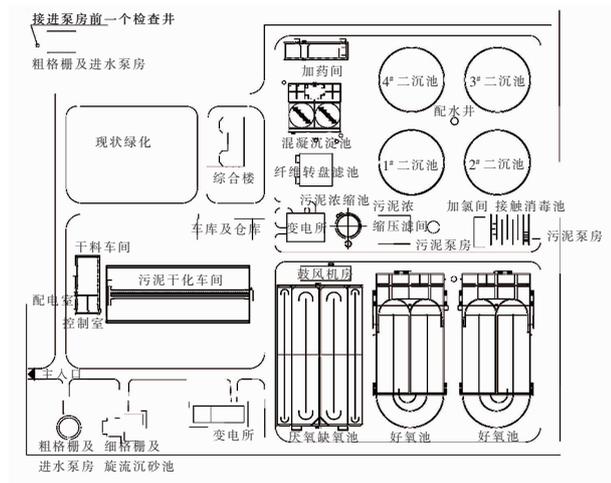


图1 污水处理厂平面布置

Fig.1 Plane layout of wastewater treatment plant

改造后的工艺流程如图2所示。生物转盘是改造工程的核心工艺,具有微生物浓度高、抗冲击负荷能力强、运行能耗低、自动化程度高等优点<sup>[1-3]</sup>。

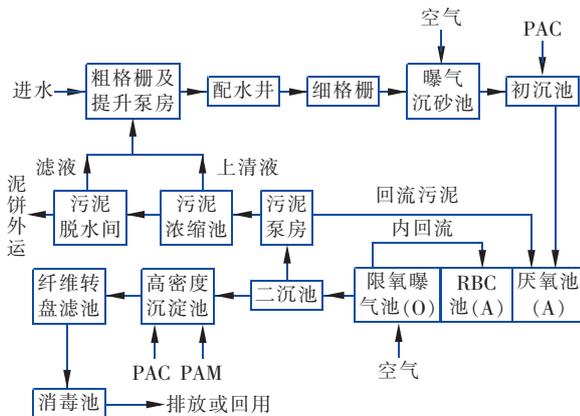


图2 污水处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of sewage treatment process

本工程选用的生物转盘(见图3),盘片材料为空间网状结构,孔隙率高,设备盘片表面积约750 m<sup>2</sup>,厚度为50 mm,挂膜后生物量折算成污泥浓度可达到40 000~60 000 mg/L。



a. 盘片生物膜

b. 生物转盘全景

图3 半浸没式生物转盘

Fig.3 Semi-submerged rotating biological contactors

本工程采用的生物转盘表面是以芽孢杆菌为优势菌群的生物膜。研究表明,芽孢杆菌的存在既能促进其他异养菌生长,进而通过种间协同作用进行高效反硝化<sup>[4]</sup>;又能吸收污水中的铵盐、硫化氢等物质,降低臭气产生量<sup>[5]</sup>。目前生物转盘工艺已在青海西宁、内蒙古呼和浩特、陕西咸阳、山西侯马等北方寒冷地区的城镇污水处理厂改造项目中应用,处理效果良好。

## 4 工程设计

### 4.1 原有处理系统改造

① A<sup>2</sup>/O池。原有A<sup>2</sup>/O池2座,构筑物利用。厌氧池有效容积为7 200 m<sup>3</sup>,缺氧池有效容积为14 400 m<sup>3</sup>,好氧池有效容积为28 125 m<sup>3</sup>。原有厌氧池保持结构、功能不变,水下搅拌器等设备全部利用。

缺氧池前端改造为混合区,厌氧区出水与内回流液在该区域内充分混合。混合区有效容积约4 500 m<sup>3</sup>,原有水下搅拌器等设备利用。缺氧池后端改造为RBC池,RBC池安装生物转盘54台。单台生物转盘设备尺寸为∅2 000 mm×4 230 mm,生物转盘约40%浸没在污水中,转速为2.5~4.0 r/min,设计表面负荷为0.4 kgBOD<sub>5</sub>/(m<sup>2</sup>·d)。

原有好氧池采用管式曝气器(DN65),水力停留时间和曝气系统能够满足需要。原有悬浮离心鼓风机5台,新增悬浮离心鼓风机3台,6用2备,单台鼓风机风量为100 m<sup>3</sup>/min,风压为55 kPa。

② 接触消毒池。原有接触消毒池1座,尺寸

为 20.7 m × 16.9 m × 4.0 m,设计次氯酸钠投加量为 6 mg/L。增加紫外线消毒设备 1 套,功率 22 kW。

③ 污泥泵房。原有污泥泵房 1 座,池体直径 6.0 m,池深 7.0 m。原有 5 台污泥回流泵全部更换,原有 2 台剩余污泥泵利旧,设计污泥回流比为 50% ~ 100%。

#### 4.2 新建处理构筑物

① 细格栅。拆除原有细格栅,新建细格栅渠井 2 座,单座尺寸( $L \times B \times H$ )为 9.3 m × 2.0 m × 2.15 m。设内进流式网板细格栅 2 套,格栅宽 1.8 m,网孔直径为 5.0 mm。

② 曝气沉砂池。拆除原有沉砂池,新建曝气沉砂池 1 座,分为 2 格,单格尺寸 21.1 m × 3.0 m × 5.25 m。设计配套鼓风机 2 台,1 用 1 备,单台风量为 9.6 m<sup>3</sup>/min,风压为 39.2 kPa。

③ 初沉池。新建初沉池 1 座,分为 2 格,单格尺寸为 42 m × 19 m × 4.5 m。初沉池有效水深 4.0 m,设计表面负荷 2.2 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h)。

初沉池前端投加聚合氯化铝(PAC),设计投加浓度为 30 mg/L。

④ 二沉池。新建二沉池 2 座,采用周进周出

辐流式沉淀池,池体直径 30 m,有效水深 4.0 m,设计表面负荷 0.85 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h)。

⑤ 高密度沉淀池。新建高密度沉淀池 1 座,设计规模为 3.5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。新建高密度沉淀池混合区水力停留时间为 3 min,设计 PAC 投加浓度为 10 ~ 15 mg/L;絮凝区反应时间为 15 min,设计 PAM 投加浓度为 1 mg/L;沉淀区设计表面负荷 8.2 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h)。

⑥ 纤维转盘滤池。新建纤维转盘滤池 1 座,设计规模为 3.5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。纤维转盘滤池设计滤速为 10 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h),最大滤速为 13 ~ 15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h)。

#### 5 运行效果

该污水处理厂改造扩容工程于 2018 年 11 月底通过环保验收,自建成运行以来,系统进水量(90% 保证率)为 5.8 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,最大进水量约 7.9 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,出水各项指标均能达到或优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

2019 年 3 月—2020 年 3 月实际进、出水水质如表 2 所示。

表 2 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	TN	TP
平均进水	287.18	138.21	199.19	43.41	64.52	5.13
最大出水	47.30	9.80	9.00	2.41	13.60	0.48
最小出水	11.30	5.10	3.00	0.05	6.70	0.06
平均出水	25.49	7.65	5.68	0.61	10.80	0.20

2018 年底,随着平凉工业园区污水处理厂的建成投产,部分易降解的高浓度有机废水接入工业园区污水处理厂,导致进水碳氮比下降。由表 2 可知,进水 BOD<sub>5</sub>/TN 仅为 2.14,为在不使用外加碳源条件下,保证出水 TN 稳定达标,污水处理厂将初沉池停用,减少了预处理过程的碳源消耗;同时将限氧曝气池的溶解氧浓度控制在 0.2 ~ 1.5 mg/L。

运行数据显示,在低碳氮比条件下,仅通过调整运行方式即实现了出水 TN 的稳定达标。究其原因,一方面是厌氧池内的水解过程将大分子有机物转为小分子有机物,提高了进水的 B/C 值,为后续生物脱氮提供了碳源;另一方面则是限氧曝气池的低溶解氧浓度减少了碳源的过度氧化,并降低了内回流液中的溶解氧对反硝化过程的干扰<sup>[6]</sup>。

平凉市在甘肃省气候区划中属于泾渭河冷温带亚湿润区,最冷月平均气温仅为 -4.5 °C。对 2019 年—2020 年冬季进水水温进行统计分析,污水处理厂进水水温 ≤ 10 °C 的为 31 d, ≤ 12 °C 的为 125 d。低水温条件下的进、出水水质见表 3。

表 3 低水温条件下进、出水水质

Tab. 3 Influent and effluent quality at low water temperature

mg · L<sup>-1</sup>

项目	进水水温 ≤ 10 °C		进水水温 ≤ 12 °C	
	平均进水	平均出水	平均进水	平均出水
COD	337.99	29.16	294.30	28.33
BOD <sub>5</sub>	114.44	7.59	126.88	7.55
SS	197.60	5.27	199.55	5.66
NH <sub>3</sub> - N	47.30	0.56	44.00	0.65
TN	69.78	10.90	67.58	10.48
TP	5.72	0.21	5.37	0.18

由表3可知,污水处理厂各项出水指标稳定达标,表现出良好的低温硝化反硝化能力。

## 6 技术经济指标

该污水处理厂扩建工程总投资为10 793.17万元,其中生物转盘购置费用为6 869.5万元。直接运行费用为0.72元/m<sup>3</sup>,其中生物转盘的运行费用主要为电费和药剂费,包括电费0.20元/m<sup>3</sup>、药剂费0.18元/m<sup>3</sup>,未考虑中水收益。

## 7 结论

工程实践表明,生物转盘工艺在平凉市某城镇污水处理厂扩建工程中运行效果良好,在低碳氮比、低温条件下,出水水质能够稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。该工艺在我国北方城镇污水处理厂的新建和改建中具有一定的推广应用价值。

## 参考文献:

- [1] 李芳,阚连宝,崔红梅,等. 生物转盘高效脱氮的实验研究[J]. 化学通报,2012,75(8):760-764.  
LI Fang, KAN Lianbao, CUI Hongmei, *et al.* Study on high denitrification of rotating biological contactor [J]. Chemistry, 2012, 75(8): 760-764 (in Chinese).
- [2] 韦真周,范庆丰,容继,等. 生物转盘处理小城镇生活污水工程实例[J]. 水处理技术,2016,42(2):133-136.  
WEI Zhenzhou, FAN Qingfeng, RONG Ji, *et al.* A case history of treating urban sewage by rotating biological contactor [J]. Technology of Water Treatment, 2016, 42(2): 133-136 (in Chinese).
- [3] 孙怀谷,周丹,袭铁夫,等. 生物转盘工艺在城镇污水处理中的工程应用[J]. 中国给水排水,2020,36(4):62-65.

SUN Huaigu, ZHOU Dan, XI Tiefu, *et al.* Application of rotating biological contactors in municipal wastewater treatment project [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(4): 62-65 (in Chinese).

- [4] 王思宇,李军,王秀杰,等. 添加芽孢杆菌污泥反硝化特性及菌群结构分析[J]. 中国环境科学,2017,37(12):4649-4656.  
WANG Siyu, LI Jun, WANG Xiujie, *et al.* Denitrification characteristics of *Bacillus subtilis* sludge and analysis of microbial community structure [J]. China Environmental Science, 2017, 37(12): 4649-4656 (in Chinese).
- [5] 严兴,刘军,雷芳,等. 清爽系统的消臭与污泥减量效果及微生物相分析[J]. 中国给水排水,2016,32(19):124-128.  
YAN Xing, LIU Jun, LEI Fang, *et al.* Deodorization and sludge reduction efficiency of activated sludge process enhanced with modification machine and analysis of microorganisms [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(19): 124-128 (in Chinese).
- [6] 王逸飞,吉芳英,许晓毅,等. 重庆城镇污水处理厂生物脱氮优化调控措施[J]. 中国给水排水,2019,35(15):1-6.  
WANG Yifei, JI Fangying, XU Xiaoyi, *et al.* Optimization and control measures for biological nitrogen removal in Chongqing urban wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(15): 1-6 (in Chinese).

作者简介:吕汶霖(1985-),男,四川南充人,博士,工程师,主要从事污水处理工艺及污水处理数学模拟方面研究。

E-mail: axinbetter@163.com

收稿日期:2020-08-30

修回日期:2020-11-04

(编辑:衣春敏)

节约用水强监管,保护资源补短板