

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.22.018

# Bardenpho + 生物滤池(DN + CN)用于污水厂准Ⅳ类出水提标

宋田翼

(山东省城建设计院, 山东 济南 250000)

**摘 要:** 河南省三门峡市某县城污水处理厂现状规模为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用 CAST + 絮凝沉淀 + 纤维转盘过滤工艺, 出水水质执行一级 A 排放标准。提标改造工程将出水水质提高到地表水准Ⅳ类水质。针对该厂进水  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 浓度较高的特点, 改造工程注重对脱氮功能的强化, 即将生化系统 CAST 工艺改造为 Bardenpho ( $\text{A}^2\text{O} + \text{AO}$ ) 工艺, 同时深度处理系统增加反硝化滤池 (DN 池) 和曝气生物滤池 (CN 池)。项目改造后运行稳定良好, 出水水质全面优于准Ⅳ类水质标准。

**关键词:** 准Ⅳ类水质; 多级 AO 工艺; 反硝化滤池 (DN 池); 曝气生物滤池 (CN 池)

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)22-0106-04

## Bardenpho + Biofiltration (DN + CN) Process Used in Wastewater Treatment Plant with Effluent of Quasi-Ⅳ Water Standard

SONG Tian-yi

(Shandong Provincial Urban Construction Design Institute, Jinan 250000, China)

**Abstract:** The current treatment scale of a county wastewater treatment plant of Sanmenxia City in Henan Province was  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The combination process of CAST + flocculation sedimentation + fiber rotary table filtration process was applied, and the effluent quality was required as first class A discharge standard. The project was required to improve the effluent quality to quasi-Ⅳ level. In view of the high concentration of  $\text{NH}_3 - \text{N}$  and TN in the influent, the transformation focused on the enhancement of denitrification performance, i. e. the biochemical system CAST process was transformed into Bardenpho process ( $\text{A}^2\text{O} + \text{AO}$ ), while the advanced treatment system was added with denitrification filter (DN tank) and biological aerated filter (CN tank). After the reconstruction of the project, the production operation is stable and the effect is good. The effluent quality is better than the quasi-Ⅳ water quality standard.

**Key words:** quasi-Ⅳ water quality; multi-stage AO process; denitrification filter (DN); biological aerated filter (CN)

### 1 工程现状及存在问题

#### 1.1 现状简介

河南省三门峡市某县城污水处理厂现状规模为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用 CAST + 絮凝沉淀 + 纤维转盘过滤工艺, 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。污水处理工艺流程为: 污水→粗、细格栅渠→旋流沉砂池→CAST 池→二次提升泵站→絮凝沉淀池→纤维

转盘滤池→接触消毒池→尾水排出厂外。由于实际进水中的  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 指标超出设计值较多, 导致出水中  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 不能稳定达标, 其他指标均能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。本次提升改造工程需将出水水质提高到地表水准Ⅳ类水质。

#### 1.2 现状水质分析

污水厂 2018 年实际进、出水及设计水质见表 1。

表1 实际进、出水水质与设计水质

Tab.1 Actual and design influent and effluent quality

mg · L<sup>-1</sup>

项 目		NH <sub>3</sub> - N	TN	SS	TP	COD	BOD <sub>5</sub>
原设计进水		30	40	200	4	350	200
实际 进水	平均值	47.5	57.50	137.34	2.13	234.49	115.11
	最高值	98.50	137.80	287.00	4.64	600.00	275.50
	最低值	5.70	10.33	32.00	0.24	32.00	12.00
	90% 概率	≤67.96	≤76.30	≤198.0	≤2.94	≤363.2	≤177.2
实际 出水	平均值	1.65	17.84	5.80	0.18	31.19	3.19
	最高值	37.80	29.44	13.00	0.86	68.00	8.93
	最低值	0.03	6.36	1.80	0.01	4.00	0.28
	95% 概率	≤9.66	≤23.97	≤9.00	≤0.42	≤50.00	≤7.57
原设计出水(一级 A)		≤5(8)	≤15	≤10	≤0.5	≤50	≤10
提标出水(准地表Ⅳ类)		≤1.5	≤15	≤10	≤0.3	≤30	≤6

### 1.3 存在主要问题、原因分析及对策

现状出水和原设计的一级 A 标准相比, COD、BOD<sub>5</sub>、SS 及 TP 指标均能稳定达标, 但 NH<sub>3</sub> - N、TN 两项指标超标严重, 其中出水 TN 达标率最低, 平均只有 20% 左右。主要原因及对策如下:

① 实际进水中 NH<sub>3</sub> - N、TN 指标超出设计进水水质情况较为严重, 根据业主分析, 可能与当地县城存在有较大规模的酿酒厂有关。由于实际进水 NH<sub>3</sub> - N、TN 超出当初设计值较多, 导致核心处理构筑物生化池运行负荷过重, 最严重时处理负荷超出设计负荷一倍以上, “小马拉大车” 现象普遍, 使生化池不能发挥出相应设计功能。

采取措施: 根据实际进水情况重新调整设计进水水质参数。参照实际进水 90% 概率之下的 NH<sub>3</sub> - N、TN 浓度分别为 67.96、76.30 mg/L, 故本次设计将 NH<sub>3</sub> - N、TN 进水水质浓度提高到 70、80 mg/L, 相应的各处理构筑物负荷计算、曝气量计算、所需药剂投加量计算等均按照此数值执行。

② 原有生化处理系统采用形式及设计参数存在问题。原有工程生化系统采用 CAST 池形式, 设计池容较小, 且实际进水水质比原设计水质差, 导致生化系统一直超负荷运行, 无法满足反硝化脱氮的需求。同时 CAST 工艺的进水、缺氧、好氧、沉淀等阶段在同一池体内进行, 实际运行受人为操作水平影响较大, 导致在处理高浓度含氮废水时效果不稳定, 脱氮效率较低。

采取措施: 本次设计对原有生化系统进行改造, 一是扩容改造, 通过增加新建生化池的形式, 扩大生化系统的总容积, 使总停留时间达到计算所需的 22

h 左右; 二是对扩容后的生化池容重新分配, 增大缺氧区容积到 8 h 左右; 三是将 CAST 池改造为更易控制各阶段运行的 Bardenpho 工艺(A<sup>2</sup>O + AO), 同时新建配套的二沉池, 增加污泥外回流和内回流设施。

③ 现状进水水质中碳源相对不足, 生物脱氮效率低。进水 BOD<sub>5</sub>/COD = 0.49, 可生化行较好。BOD<sub>5</sub>/TP = 54, 污水生物除磷效果有保证。BOD<sub>5</sub>/TN = 2.0, 反硝化碳源不足, 生物脱氮效率低。

采取措施: 向污水中投加外部碳源来保证反硝化过程中对碳源的需求。按《室外排水设计规范》, BOD<sub>5</sub>/TN 宜 > 4。按照投加乙酸钠计, 3 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup> 污水每天投加的乙酸钠(30% 溶液)为 10.57 t/d。

## 2 提标改造工程设计

### 2.1 设计方案

提标工程将原 CAST 池改造为 AAO 池, 同时通过新建的形式增大了生化系统停留时间, 重新分配了厌氧、缺氧、好氧区池容, 新建了二沉池, 增加了混合液回流和污泥回流设施。对照一级 A 标准和准Ⅳ类水质标准, 现状 COD、BOD<sub>5</sub>、TP 指标仍需进一步去除。现状深度处理系统为“絮凝沉淀 + 纤维转盘过滤”工艺, 该工艺对准Ⅳ类水质要求的 COD ≤ 30 mg/L、BOD<sub>5</sub> ≤ 6 mg/L、TP ≤ 0.3 mg/L 都存在不确定性, 故本次工程还需考虑对深度处理系统进行改造。考虑到实际工程运行中, 通过生化去除 TN 效率达到 80% 已属上限, 在本工程进水 TN 高达 80 mg/L 的情况下, 仅通过生化系统改造使出水 TN 稳定达到 15 mg/L 以下, 也存在一定的风险。因此在深度处理系统改造时, 将进一步去除有机物和进一步脱氮统一考虑。鉴于此, 设计在深度处理系统新

建兼具除碳和脱氮两种功能的生物滤池,采用反硝化生物滤池(DN)<sup>[1]</sup>+曝气生物滤池(CN)联合工艺。反硝化生物滤池(DN)池主要作用为利用填料中反硝化菌群进一步将生化系统出水中剩余的硝态氮转化为氮气排除,达到去除TN的效果。需要说明的是,由于进水中 $BOD_5/TN=2.0$ ,反硝化需要的碳源不足,本次配套建设碳源投加设施,碳源投加点共两处,一处为生化系统缺氧池,另一处为反硝化生物滤池(DN)。反硝化生物滤池(DN)之后为曝气生物滤池(CN),其主要作用为在曝气状态下利用填料中的好氧菌氧化去除残余的氨氮及有机物,保证最终出水稳定达到准Ⅳ类水质。

## 2.2 设计方案与比选方案比较

在本次设计前期的方案论证阶段,还提出其他几种不同方案,分析比选见表2。

表2 设计方案比选

Tab.2 Comparison of each design scheme

方案	优缺点
设计工艺: CAST改造为AAO +AO、深度处理新 增生物滤池	优点:达标稳定;现有深度处理充分利 旧,投资较省。 缺点:流程长,占地大,建成后厂区略显 拥挤
其他方案一: 改造CAST为MBR	优点:达标稳定,流程简单,有较好的前 瞻性。 缺点:工程投资及运行费用均较高。除 磷加药对MBR膜寿命影响较大,MBR 膜通量受气温影响较大;存在不达标风 险;不能停产改造现有CAST池,实施 困难
其他方案二: 现有CAST+新建 MBR	优点:占地面积小,流程简单,容易不停 产改造。 缺点:工程投资及运行费用均较高。除 磷加药对MBR膜寿命影响较大,MBR 膜通量受气温影响较大;存在不达标风 险;不能停产改造现有CAST池,实施 困难

通过几种方案的比选,结合本工程实际情况,最终确定设计提标改造工艺流程为:污水→调节池(原有1座,本次增加1座)→粗格栅渠及进水泵站(原有)→细格栅渠及沉砂池(原有)→厌氧缺氧(AA)池(本次新建)→好氧(O)池(原1~4#CAST池改造)→二级AO池(原5#CAST池改造)→二沉池(本次新建)→二次提升泵站(原有)→絮凝沉淀池(原有)→三次提升泵站(本次新建)→反硝化生物滤池(DN)(本次新建)→曝气生物滤池(CN)(本次新建)→纤维转盘滤池(原有)→接触消毒池(原有)→尾水排出厂外。

## 2.3 主要构筑物参数

厌氧缺氧池(AA池):1座2格,多点布水<sup>[2]</sup>,池体尺寸为 $71.5\text{ m}\times 28.0\text{ m}\times 6.4\text{ m}$ ,水力停留时间为8.5 h。厌氧区停留时间为1.5 h,内设高速潜水搅拌机4台,搅拌功率为 $5.3\text{ W/m}^3$ 。缺氧区停留时间为7.0 h,内设低速潜水推进器8台,搅拌功率为 $3.6\text{ W/m}^3$ 。

原1~4#CAST池改造为好氧池(O池):原1~4#CAST池,总尺寸为 $83.0\text{ m}\times 42.5\text{ m}\times 6.2\text{ m}$ 。本次改为2格好氧池,好氧池停留时间为14 h,新增PP回流泵2台,混合液回流比为400%,池底曝气系统利旧。

原5#CAST池改造为二级AO池:原5#CAST池总尺寸为 $34.5\text{ m}\times 24.0\text{ m}\times 5.5\text{ m}$ 。本次改为2格AO池,停留时间为3.0 h,本次不增加设备,微孔曝气管及搅拌机利旧。

二沉池:2座,周进周出辐流式,单座直径为30 m,表面水力负荷为 $0.88\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,设置中心传动单管式吸泥机2套。

三次提升泵池(与生物滤池反洗水池合建)1座,尺寸为 $20.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 4.6\text{ m}$ 。前端为反洗水池,后端为三次提升泵池,中间以薄壁溢流堰分隔,优先保证反洗水池中的水量。反洗水泵采用潜水泵,2用1备,单台功率为37 kW。三次提升水泵采用潜水泵,2用1备,单台功率为18.5 kW。

反硝化生物滤池(DN池):1座4格,尺寸为 $30.0\text{ m}\times 12.8\text{ m}\times 6.8\text{ m}$ ,过滤面积 $196\text{ m}^2$ ,滤料层厚度3.0 m,滤料体积 $588\text{ m}^3$ ,滤料材质为4~6 mm球型多孔生物陶粒,水力负荷为 $6.37\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,硝态氮去除负荷为 $0.26\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。主要设备为 $\varnothing 28\text{ mm}\times 390\text{ mm}$ 的长柄滤头7 056个。滤池反洗采用气、水联合反冲洗方式,水冲洗强度为 $6\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,气冲洗强度为 $16\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

曝气生物滤池(CN池):1座4格,尺寸为 $30.0\text{ m}\times 12.8\text{ m}\times 6.8\text{ m}$ ,过滤面积 $196\text{ m}^2$ ,滤料层厚度3.0 m,滤料体积 $588\text{ m}^3$ ,滤料材质为4~6 mm球型多孔生物陶粒,水力负荷为 $6.37\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,氨氮去除负荷为 $0.33\text{ kgNH}_4^+ - \text{N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。主要设备为 $\varnothing 28\text{ mm}\times 390\text{ mm}$ 的长柄滤头7 056个,膜孔 $\varnothing 1\text{ mm}$ 的单孔膜空气扩散器8 648套,三叶罗茨鼓风机(曝气用)4台,单台 $Q=5.0\text{ m}^3/\text{min}$ , $P=68.6\text{ kPa}$ , $N=11\text{ kW}$ 。CN滤池反洗采用气、水联合反冲洗方



式,水冲强度为  $6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,气冲洗强度为  $16 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

碳源储池及投加设施:碳源采用30%乙酸钠溶液,储池为全地下钢混结构,1座2格,单格尺寸为  $4.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ 。储药容积  $80 \text{ m}^3$ ,储药平均周期约8 d。池体旁地面设置3台隔膜泵加药,2用1备,单台  $Q = 600 \text{ L}/\text{h}$ ,  $H = 300 \text{ kPa}$ ,  $N = 0.75 \text{ kW}$ 。乙酸钠加药点共两处,分别投加至新建缺氧池、新建反硝化滤池(DN池)。两处投加点均由玻璃浮子流量计准确控制投加量,根据进、出水中TN数据准确控制,实现在TN稳定达标的前提下尽量节省运行

费用的目的。

反冲洗鼓风机房:将厂区内原有仓库改造成反冲洗鼓风机房,新增2台空气悬浮离心风机,为DN滤池及CN滤池提供反冲洗空气源,单台  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{min}$ ,  $P = 68.6 \text{ kPa}$ ,  $N = 90 \text{ kW}$ 。滤池反洗采用气、水联合反冲洗方式,水冲强度为  $6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,气冲洗强度为  $16 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

### 3 运行效果及经济指标

该工程运行至今,出水一直稳定达标。

2019年11月—2020年2月出水水质指标如表3所示。

表3 实际出水水质

Tab.3 Actual effluent quality

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

项 目		$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	SS	TP	COD	$\text{BOD}_5$
实际出水 (95%概率)	絮凝沉淀池出水 (生化系统改造后)	6.15	14.85	6.82	0.37	40.18	7.32
	最终出水 (增加DN+CN池后)	0.46	10.53	5.63	0.20	22.75	3.91

该工程总投资为3760万元。运行后处理成本比原来增加  $0.61 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,增加费用主要包含投加乙酸钠药剂费用及动力消耗费用,其中乙酸钠投加成本约  $0.46 \text{ 元}/\text{m}^3$ (浓度30%的乙酸钠溶液按  $1500 \text{ 元}/\text{t}$  计算,投加量为  $3858 \text{ t}/\text{a}$ )。单位污水电耗为  $0.85 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。

### 4 结论

三门峡市某污水厂采用“AAO + AO + 反硝化滤池(DN池) + 曝气生物滤池(CN池)”工艺进行准IV类出水提标改造,自通水以来,出水一直稳定达标,安全可靠,可为类似污水处理厂提标改造的设计提供借鉴。

### 参考文献:

- [1] 李雨霏,韩洪军,张凌瀚.前置反硝化曝气生物滤池调试中出现的问题及解决措施[J].中国给水排水,2009,25(12):92-95.  
Li Yufei, Han Hongjun, Zhang Linghan. Problems and solutions in the commissioning of pre-denitrification biological aerated filter[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(12): 92-95 (in Chinese).
- [2] 毕晔,谢丽,周琪,等. BNR - MBR 组合工艺处理生活污水研究进展[J]. 给水排水,2010,36(9):132-137.  
Bi Ye, Xie Li, Zhou Qi, et al. Study progress in combination of biological nutrient removal systems with

membrane bioreactor (BNR - MBR) for municipal wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(9): 132-137 (in Chinese).



作者简介:宋田翼(1986 - ),男,山东兖州人,本科,高级工程师,国家注册公用设备工程师(给水排水),国家注册咨询工程师(投资),主要从事市政给水排水工程的设计及咨询工作,曾获得国家优秀勘察设计成果奖三等奖1项,山东省优秀勘察设计成果奖一等奖2项、二等奖4项、三等奖2项,山东省优秀咨询成果奖三等奖2项,济南市优秀勘察设计成果奖一等奖1项、二等奖1项、三等奖2项。

E-mail: sty860115@163.com

收稿日期:2019-12-10