

改良 Bardenpho 工艺处理低 BOD_5/TN 混合污水工程设计

姚伟涛¹, 肖社明², 张永祥³

(1. 湖南省建筑科学研究院, 湖南 长沙 410011; 2. 湖南省建筑设计院有限公司, 湖南 长沙 410012; 3. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124)

摘要: 改良 Bardenpho 工艺是在传统 Bardenpho 工艺缺氧段前增设厌氧池, 将污泥回流至厌氧池内以保证磷的有效释放。某污水处理厂进水为由生活污水与工业废水组成的低 BOD_5/TN (BOD_5/TN 为 1.86) 混合污水, 采用改良 Bardenpho 工艺进行处理, 以达到同步脱氮除磷的目的, 运行结果表明, 出水水质能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准且运行稳定。通过交叉迭代试算, 确定了混合液内回流比及第二缺氧池的脱氮量, 同时, 将外加优质碳源投加到第二缺氧区首端, 并在该处安装硝酸盐浓度变送器, 根据其值大小控制碳源投加量, 以达到节省碳源、减少运行成本的目的。

关键词: 低 BOD_5/TN 混合污水; 改良 Bardenpho 工艺; 同步脱氮除磷; 外加碳源

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)14-0067-04

Project Design of Modified Bardenpho Process for Treatment of Low BOD_5/TN Mixed Wastewater

YAO Wei-tao¹, XIAO She-ming², ZHANG Yong-xiang³

(1. Hunan Academy of Building Research, Changsha 410011, China; 2. Hunan Architectural Design Institute Limited Company, Changsha 410012, China; 3. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Based on the traditional Bardenpho process, an anaerobic zone was added to the modified Bardenpho process, so that the activated sludge could be refluxed to the front of the first anaerobic stage. And then, the effective release of phosphorus could be ensured, which led to a raised effect of removing phosphorus. The modified Bardenpho process was designed to treat the low BOD_5/TN (1.86) wastewater which was mixed with domestic and industrial wastewater. So the simultaneous nitrogen and phosphorus removal could be achieved in one wastewater treatment plant. The operating results showed that the effluent quality could meet the first class A criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) and the treatment performance was steady. The internal reflux ratio in the mixture liquid and the nitrogen removal rate in the second anoxic tank were determined by cross iteration trial calculation. Then, the additional quality carbon source was added to the fore end of the second anoxic zone and a nitrate concentration transmitter was installed to save carbon source and reduce the operation cost.

Key words: low BOD_5/TN mixed wastewater; modified Bardenpho process; simultaneous nitrogen and phosphorus removal; additional carbon source

在生物脱氮除磷的众多工艺中,改良 Bardenpho 工艺因具有较高的脱氮除磷效率及碳源利用率而受到越来越多的关注。目前,Bardenpho 工艺已经广泛用于处理小区生活污水、垃圾渗滤液、啤酒废水、禽畜养殖废水以及污水处理厂升级改造工程中^[1~4],但由于我国相当一部分城镇污水存在碳源不足,使该工艺脱氮效率受到了严重制约,在实际工程中常采用投加外部优质碳源来应对^[5]。

黑龙江省富锦市某污水处理厂采用改良 Bardenpho 工艺处理由生活污水与工业废水组成的混合污水。

1 工程概况

该污水处理厂位于黑龙江省富锦市,紧靠松花江,近期(2020 年)占地为 1.38 hm²,远期(2025 年)预留 0.82 hm² 用地。该污水处理厂来水为绿色食品产业园区的生产废水经自有生化系统处理后满足《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010) C 标准的污水和城市生活污水的混合污水,其中生活污水 7 000 m³/d,工业废水 3 000 m³/d。该污水处理厂的近期设计规模为 1.0 × 10⁴ m³/d,远期设计规模为 2.0 × 10⁴ m³/d,设计进、出水水质指标如表 1 所示,其中设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。由表 1 可知,污水的可生化性较好(BOD₅/COD 为 0.43);BOD₅/TN 比值低,为 1.86;进水的 TN、TP 较高,对污水脱氮除磷要求高。针对进水水质情况及出水水质要求,该工程确定采用改良 Bardenpho 生化反应池+深度处理工艺(见图 1)。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	COD	BOD ₅	氨氮	TN	SS	TP
进水	300	130	56	70	257	6.5
出水	50	10	5(8)	15	10	0.5

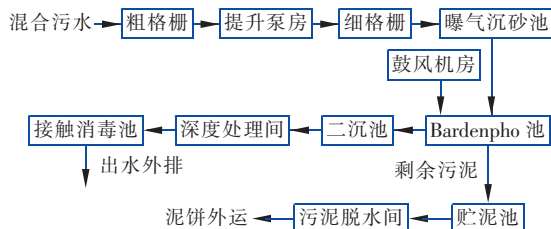


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

目前,该污水处理厂已经实际运行近一年,出水能达到一级 A 标准且运行稳定。

2 改良 Bardenpho 池设计

2.1 改良 Bardenpho 工艺简介

改良 Bardenpho 工艺是在 A²/O 工艺基础上,在后面增设了一个缺氧段和一个好氧段,其流程如图 2 所示。各段反应均独立运行,硝化液自第一好氧池回流至第一缺氧池,而第二好氧池无硝化液回流,所增设的缺氧段及好氧段起强化脱氮和提高出水水质的作用。在运行过程中,由于第一缺氧池进水中含有较多的内碳源可利用,因而具有较高的反硝化速率。在第二缺氧池中,由于第二好氧池出水中有有机物浓度较低,反硝化菌主要通过内源呼吸作用,以细胞内碳源进行反硝化,故反硝化效率较低,但这种反硝化作用可有效地提高整个处理系统的反硝化程度,从而有利于提高脱氮效率。为了使出水 TN 达标,常在第二缺氧池中投加优质碳源,使得大量的硝态氮和亚硝态氮利用外加碳源进行充分的反硝化反应。

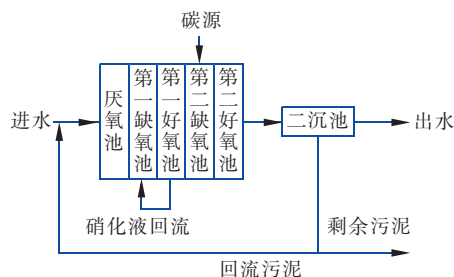


图 2 改良 Bardenpho 工艺流程

Fig. 2 Flow chart of modified Bardenpho process

2.2 改良 Bardenpho 池设计

2.2.1 平面布置示意图分析

本工程共新建改良 Bardenpho 生化池一座,分为两格,其平面布置如图 3 所示。

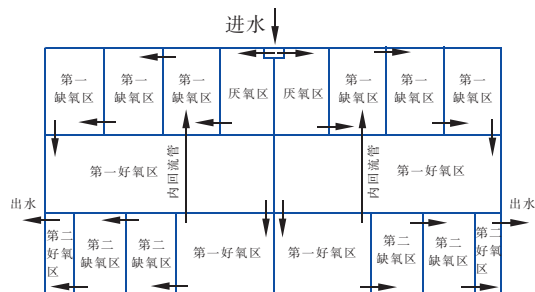


图 3 改良 Bardenpho 池平面布置

Fig. 3 Plane layout of modified Bardenpho tank

采用竖井进水,污水由进水井通过闸板分别进入两格生化池,依次经过厌氧区、第一缺氧区、第一好氧区、第二缺氧区、第二好氧区后,由矩形薄壁堰出水,最终至二沉池配水井。回流污泥通过回流污泥泵池内的污泥泵提升送入厌氧区。硝化液采用螺旋桨式穿墙泵从第一好氧区末端回流至第一缺氧区首端。

2.2.2 主要设计参数

本工程改良 Bardenpho 生化池设计规模为 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设计变化系数采用 1.1,设计进水 TN、TP 分别为 70 mg/L 和 6.5 mg/L,设计出水 TN、TP 分别为 15 mg/L 和 5.4 mg/L。生化池共设计一座,分为两格,总平面尺寸为 65.5 m × 29.1 m,池深为 7.0 m,有效水深为 6.0 m。生化池设计水温为 10 ℃,污泥负荷采用 $0.07 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,各区水力停留时间为厌氧区 1.8 h、第一缺氧区 6.1 h、第一好氧区 10.1 h、第二缺氧区 3.6 h、第二好氧区 0.5 h,总停留时间为 22.1 h。反应池混合液污泥浓度 MLSS 为 4 000 mg/L,污泥指数 SVI 值为 130 mL/g,最大内回流比为 200%,最大外回流比为 100%。

2.2.3 主要设备

本工程改良 Bardenpho 生化池内主要设备:

每格厌氧区与缺氧区设伞型双曲面立式搅拌机 1 台, $\varnothing 2\,500 \text{ mm}$, $N=5.5 \text{ kW}$,共 12 台,用于污水与污泥充分混合,防止污泥在池中沉淀;

每格第一好氧区末端设潜水搅拌机 1 台, $\varnothing 370 \text{ mm}$, $N=2.5 \text{ kW}$,共 2 台,用于减轻第二缺氧区进水 DO 浓度,从而有利于第二缺氧区反硝化反应;

每格第一好氧区末端设螺旋桨式穿墙泵 3 台, $Q=160 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=10 \text{ kPa}$, $N=1.5 \text{ kW}$,共 6 台,用于将硝化液回流到第一缺氧区内;

每格好氧区底部设管式微孔曝气器,该曝气器要求单位通气量 $\geq 15 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$,脱氧清水中的氧转移率 (SOTE) $> 32\%$,用于对污水充氧、混合。

2.2.4 仪表设置

在改良 Bardenpho 生化池内设置 DO 变送器、MLSS 变送器、ORP 变送器及硝酸盐浓度变送器等,利用各变送器监测数据,控制鼓风机、碳源投加泵及内回流泵等设备的运行。

① DO 变送器安装在第一、第二好氧区末端,好氧段的 DO 值控制在 1.5 ~ 2.5 mg/L,若好氧区的 DO 值超出相应范围,则通过减少鼓风机的进风量

来调节其大小。

② MLSS 变送器安装在第二好氧区末端,其值在 4 000 mg/L 左右。若其值偏高,则应通过增加二沉池的剩余污泥排放量,降低污泥龄来降低 MLSS 值;若其值偏低,则应通过减少二沉池的剩余污泥排放量,增加污泥龄来提高 MLSS 的值。

③ ORP 变送器安装在第一、第二缺氧区的末端,其数值反映了缺氧区末端的氧化还原状态。由于 ORP 值与硝酸盐浓度呈线性关系,其值可以反映缺氧区内反硝化进行的程度。一般缺氧区 ORP 值为 -200 ~ -100 mV,其值越低则反硝化程度越彻底。

④ 硝酸盐浓度变送器安装在第二缺氧区首端,根据其值大小控制碳源投加量。

2.3 混合液内回流比及第二缺氧池脱氮量的确定

合理确定混合液内回流比,能达到节省动力的目的,而合理确定第二缺氧池的脱氮量,将直接影响到外加优质碳源的投加量,从而决定运行成本。根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016 年版)中生物脱氮、除磷要求:脱氮时,污水中的五日生化需氧量与总凯氏氮之比宜大于 4;除磷时,污水中的五日生化需氧量与 TP 之比宜大于 17;厌氧/缺氧/好氧法中混合液回流比 $\geq 200\%$ 。

本设计先按 BOD₅/TN 为 4 的去除比例来估算第二缺氧池对 TN 的去除量,经估算,第二缺氧池需去除 TN 的量约为 25 mg/L。根据崔洪升等^[5]提出的交叉迭代法,最终试算出第二缺氧池反硝化氮量为 24.1 mg/L,在第二缺氧池投加外部碳源,内回流比为 200% 时即能达到出水标准。综合《室外排水设计规范》中生物脱氮、除磷要求及交叉迭代法,最终确定混合液内回流比为 200%,第二缺氧池脱氮量为 25 mg/L。

为了使混合液内回流量可根据实际进水水质情况而变,整个改良 Bardenpho 生化池内共设置了 6 台内回流泵,单格 3 台,通过控制内回流泵的启停台数来达到不同的内回流比。同时,在第二缺氧区首端设置了硝酸盐浓度变送器,根据其值大小来控制外加碳源的实际投加量,以减小运行成本。

3 结论

① 针对低 BOD₅/TN 的由生活污水与工业废水组成的混合污水,采用具有较高脱氮除磷效率及碳源利用率的改良 Bardenpho 处理工艺,使污水处

理系统运行稳定、高效。

② 在确定混合液内回流比及第二缺氧池脱氮量时,采用了《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版)中生物脱氮、除磷要求及交叉迭代法相结合的方法,并在第二缺氧区首端设置了硝酸盐浓度变送器,从而减少碳源投加量,使出水TN达到一级A排放标准,可为类似混合污水处理工程设计提供参考。

参考文献:

- [1] 郭远凯,黎松强,吴馥萍. 改良 Bardenpho 工艺同步脱氮除磷处理小区生活污水[J]. 水处理技术,2008,34(10):57-59.
- Guo Yuankai, Li Songqiang, Wu Fuping. Synchronous removal of phosphorus and nitrogen compound in domestic sewage by improved Bardenpho process[J]. Technology of Water Treatment, 2008, 34(10): 57-59 (in Chinese).
- [2] 王焕荣,牛新光,殷配福. 改良 Bardenpho 工艺用于处理垃圾渗滤液[J]. 中国给水排水,2014,30(12):16-19.
- Wang Huanrong, Niu Xinguang, Yin Peifu. Treatment of landfill leachate by modified Bardenpho process[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(12): 16-19 (in Chinese).
- [3] 郭远凯,黎松强. 啤酒废水改良 Bardenpho 工艺除磷脱氮技术研究[J]. 环境科学与技术,2009,32(8):120-122.
- Guo Yuankai, Li Songqiang. Improved Bardenpho craft for removal of phosphorus and nitrogen from brewery wastewater[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32(8): 120-122 (in Chinese).
- [4] 全恩从,郭中伟,王思宇,等. 保定市三座污水处理厂升级改造工程[J]. 中国给水排水,2015,31(18):86-89.
- Tong Encong, Guo Zhongwei, Wang Siyu, et al. Upgrading and reconstruction projects of three sewage treatment plants in Baoding City[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(18): 86-89 (in Chinese).
- [5] 崔洪升,刘世德. 强化脱氮 Bardenpho 工艺碳源投加位置及内回流比的确定[J]. 中国给水排水,2015,31(12):22-24.
- Cui Hongsheng, Liu Shide. Determination of carbon source addition position and internal reflux ratio in Bardenpho process for enhanced denitrification[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(12): 22-24 (in Chinese).



作者简介:姚伟涛(1984-),女,湖南邵阳人,硕士,市政给排水工程师,研究方向为废水处理与资源化理论与技术,主要从事市政污水处理项目工程设计工作。

E-mail: yao_wei_tao@163.com

收稿日期:2018-01-19

坚持节约资源和保护环境的基本国策