

运行与管理

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.029

杭州某城镇污水处理厂五段式 Bardenpho 工艺调试运行

李宏斌, 刘保成, 李昌兵, 张 维, 孙怀谷, 韩 丽

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘 要: 对杭州某城镇污水处理厂五段式 Bardenpho 工艺的调试过程进行总结, 分析了运行过程中遇到的原水中碳源的充分利用、生物除磷效果的控制等问题。采取初沉池超越运行、严格控制好氧段溶解氧和内回流比等措施, 实现了在生物池完成脱氮除磷并节省碳源投加量的效果。实践证明, 五段式 Bardenpho 工艺的出水水质可满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。

关键词: 五段式 Bardenpho; 脱氮除磷; 调试运行

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0150-05

Commissioning and Operation of Five-stage Bardenpho Process in a Municipal Sewage Treatment Plant in Hangzhou

LI Hong-bin, LIU Bao-cheng, LI Chang-bing, ZHANG Wei, SUN Huai-gu, HAN Li
(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract: The commissioning process of five-stage Bardenpho in a wastewater treatment plant of Hangzhou was summarized. The full utilization of carbon source in raw water and the control of biological phosphorus removal were analyzed. By means of the bypass operation of primary sedimentation tank and the strict control of dissolved oxygen and internal reflux ratio in the aerobic section, nitrogen and phosphorus were removed in the biological tank as well as the carbon source is saved. The effluent quality of five-stage Bardenpho can meet the first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

Key words: five-stage Bardenpho; nitrogen and phosphorus removal; commissioning and operation

随着浙江省“五水共治”工作的推进, 省内污水处理厂的出水标准越来越严格。在一级 A 标准的基础上提出了“双 A”标准, 即 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 3 \text{ mg/L}$, 这使得传统的脱氮除磷工艺无法满足越来越高的排放要求。

Bardenpho 工艺因其脱氮除磷优势, 在全国各地城镇污水处理厂的提标改造中得到应用。由于 Bardenpho 工艺相较于传统 AO 工艺, 增加了一个二级缺氧反应池和快速好氧反应池, 因此具有更好的

脱氮能力^[1], 而五段式 Bardenpho 更在前端增加了一个厌氧反应池, 进一步提高了除磷效果, 能够充分利用原水中的碳源, 因此更适于处理低碳、高氮的污水, 运行方式也更加灵活, 节约投资, 更能应对水质变化冲击^[2]。

1 工程概况

杭州某污水处理厂二期扩建 + 提标工程, 设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 建成后总处理规模由 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提高至 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水标准由一级 A 提升

到“双 A”标准,即 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 3 \text{ mg/L}$ 。其中新建部分包括新建生物池 ($5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)、二沉池 ($5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)、混合反应沉淀池 ($10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)、V 型滤池 ($5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。

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

项 目	设计进水水质	设计出水水质
$\text{COD}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 440	≤ 30
$\text{BOD}_5/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 145	≤ 10
$\text{SS}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 160	≤ 10
$\text{NH}_3 - \text{N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 38	≤ 3
$\text{TN}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 50	≤ 15
$\text{TP}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	≤ 4.5	≤ 0.5
pH 值	6 ~ 9	6 ~ 9

出水水质在一级 A 标准的基础上执行“双 A”标准,即 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 3 \text{ mg/L}$ 。

工艺流程见图 1。

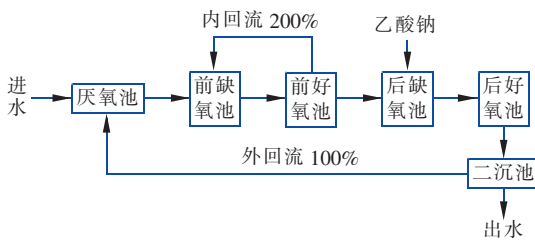


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sewage treatment process

五段式 Bardenpho 工艺在前端增加了厌氧池,外回流污泥回流至厌氧池,厌氧池有利于聚磷菌对磷的有效释放。

项目调试过程分为单机调试、系统调试、清水联动、工艺调试 4 个阶段。这 4 个阶段相互衔接,其中工艺调试耗时最长,从污泥接种到满负荷运行用时一个月。接种污泥来自一期生化系统未经脱水的活性污泥,加快了调试进度。通过鼓风机频率和主管阀门开度控制溶解氧,通过内外回流泵频率控制回流比。

2 调试及运行

2.1 污泥接种方法

该项目二期扩建生物池内的活性污泥接种,将直接由一期二沉池浓缩后的剩余污泥进行补充。一期二沉池剩余污泥没有加药脱水,活性较好,不用驯化就可以直接培养。外观淡黄褐色,污泥絮状明显,絮体大, SV_{30} 约为 45%,土腥味明显, MLVSS/MLSS

比值在 50% 以上。

投加方法:在一期剩余污泥管路上增设三通和手动蝶阀,关闭污泥储池剩余污泥进口闸门,将一期剩余污泥直接由泵送至二期生物池好氧段,分多点投加。在开始调试前适当提高一期生物池内活性污泥浓度至 $8\,500 \text{ mg/L}$ 以上。

二期生物池单池有效容积为 $19\,083 \text{ m}^3$ 。设计悬浮物固体浓度为 $3\,500 \text{ mg/L}$,考虑到池体为全新构筑物,在投加活性污泥后必定会有一部分污泥沉淀在池底及回流渠道底部,这一部分污泥的损失将降低池内活性污泥的有效浓度,因此计算二期活性污泥接种量时,提高污泥浓度目标值为 $5\,000 \text{ mg/L}$ 。

由于接种污泥采用从一期二沉池污泥泵房直接泵送至二期生物池,剩余污泥浓度约为生物池内污泥浓度的 2 倍即 $17\,000 \text{ mg/L}$,需从一期抽调 $5\,600 \text{ m}^3$ 的剩余污泥至二期生物池(单侧)。Bardenpho 好氧池内回流泵出口悬浮物固体浓度 $> 3\,500 \text{ mg/L}$ 视为污泥接种成功。

2.2 进水调试

生物池的进水调试处于 9 月、10 月份,原水进水温度约为 26°C 。

进水调试分为间断进水和连续进水两个阶段。接种污泥的前三天,连续向二期生物池 24 h 注入活性污泥,流量为 $150 \text{ m}^3/\text{h}$,同时开启 Bardenpho 厌氧池、前缺氧池和后缺氧池推流器,使得泥水混合均匀,少量曝气维持污泥生物活性,溶解氧控制在 $2 \sim 3.5 \text{ mg/L}$ 。因接种污泥为一期浓缩后的剩余污泥,适应原水水质情况,因此不需要驯化过程,这加快了调试进度。

第四天开始少量进污水,每天进水 4 h,流量为 $300 \text{ m}^3/\text{h}$,生物池出水堰出水后开启内回流,回流比为 70%。

二沉池注满后开启套筒阀,套筒阀出水开启外回流,回流比为 100%。在二沉池出水堰即将出水时,关闭生物池进水,让生物池和二沉池通过内、外回流进行循环,使池内泥水混合均匀。每间隔一段时间用便携式污泥浓度计测定生物池厌氧段、缺氧段、好氧段不同位置的污泥浓度,并做好记录。直至池内污泥浓度相对均匀,且溶解氧处于良好状态。

三天后连续进水,每天监测二沉池出水水质。在二沉池设置临时取样仪,取 24 h 混合样检测水质,主要关注 COD 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 TN 、 TP 等指标,上述指

标连续两天全部合格后提升进水负荷,每次提升50%负荷直至满负荷。

3 遇到的问题及解决办法

3.1 调试初期达标排放问题

根据环保相关要求,新建、扩建污水处理厂调试阶段出水必须达标排放,但是污水处理厂调试初期系统不够稳定,出水可能不达标。因此在该项目Bardenpho工艺调试过程中,采取了如下措施:

① 利用一期处理后的中水注满池体做满水试验。在池体机械竣工后,生物池、二沉池等构筑物的满水试验利用一期处理后的中水,其水质较好,因此在污泥接种完成后小流量进污水,通过用污水置换的方式提升生物池内污水浓度,缓慢提升处理负荷,直至Bardenpho工艺系统启动成功。

② 初期不合格水回流。利用二沉池的放空管路回流,将不合格水回流至进水泵房处,重新进入系统处理。在Bardenpho工艺系统启动成功前,内外回流都是系统内部循环,因此不断进入系统的新鲜污水必将充满生物池和二沉池等构筑物,为保证不合格水不溢流到后续处理单元,开启二沉池放空阀,使得二沉池出水堰不出水。对二沉池水质加强监测,增加检测频率,直至出水的COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP指标稳定达标后,关闭排空阀,二沉池正式出水。

上述措施根据项目实际情况综合使用,使得Bardenpho生化系统能够尽快启动并发挥作用,出水在很短的时间内就能达标排放。

3.2 初沉池运行方式

初沉池的设置对原水中的无机物、SS、COD等有明显的去除效果,对提高后续生化系统活性污泥的有机组分比例(VSS/SS)、提升活性污泥效能有很大帮助,但也存在如下问题:①初沉池的臭气浓度较高,导致对除臭装置的要求较高,密封性要好,参考相关工程经验,在初沉池出水堰板处设置了反吊膜封闭除臭装置^[3],其他部分均为混凝土封闭结构。初沉池投用时,池体周边有少量臭气逸出,超越初沉池直接进生物池后,臭气浓度明显减少,池体周边无明显异味逸出。②初沉池的使用损失了部分碳源,初期调试初沉池投用时,后缺氧池的反硝化过程需要补充部分碳源,以达到控制TN、TP的目的,但运行调试后期超越初沉池后,充分利用了原水中的碳源,根据生物池出水的硝酸盐浓度调整碳源投加量^[4],减少了后缺氧池外加补充碳源,节省了运行

费用。

4 对主要污染物的去除效果

2019年8月26日—11月4日工艺调试期间,对进水到二沉池出水区间内水质变化情况进行统计分析。

4.1 对COD去除效果

对COD的去除效果见图2。

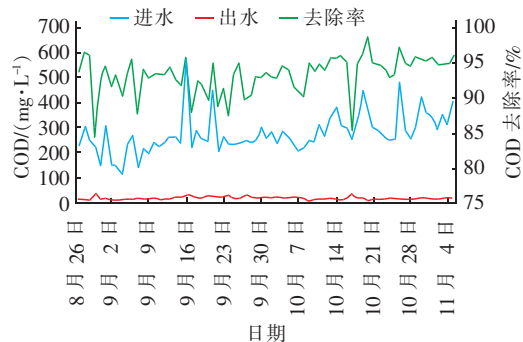


图2 对COD的去除效果

Fig. 2 Removal effect of COD

进水 BOD_5 和TN、TP的关系见表2。

表2 进水 BOD_5 与TN、TP的关系

Tab. 2 Relationship of influent BOD_5 and TN, TP

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

日期	BOD_5	TN	TP
8月26日	79	36.4	3.52
8月30日	53	21.4	2.60
9月5日	93	31.8	3.54
9月10日	74	35.2	3.76
9月15日	182	39.2	3.84
9月20日	142	40.6	4.00
9月25日	85	43.4	4.10
9月30日	89	38.6	3.90
10月5日	85	40.2	3.86
10月10日	102	43.8	4.04
10月15日	100	47.6	4.88
10月20日	98	42.7	4.76
10月25日	142	44.2	4.44
10月30日	123	48.8	4.62
11月4日	102	47.8	4.78

由图2和表2可以看出:

① 进水COD为113~576 mg/L,平均值为275 mg/L,进水COD浓度相对稳定;与设计进水COD浓度相比,实际进水水质呈现“低碳”特征。后续调试过程中对原水碳源的充分利用并辅以外加碳源也正是为了解决这个问题。

② 二沉池出水 COD 为 5.1 ~ 37.8 mg/L, 平均为 17.26 mg/L, 二沉池后续的混合反应沉淀池和 V 型滤池能够去除 SS 中非溶解性的 COD、TP 等, 最终出水能够满足“双 A”标准。

③ COD 去除率呈现上升趋势, 即去除率随着有机负荷的增加而增加, 变化趋势一致; 显示随着调试过程的进行, 系统逐渐成熟, COD 去除率也逐渐稳定。相关研究表明, 五段式 Bardenpho 工艺对不同进水 COD 负荷, 具有很好的适应性^[5]。

④ BOD_5/TN 平均值为 2.33, BOD_5/TP 平均值为 23.51, 说明原水中碳源并不算充足, 但在调试的 71 d 内, 外加碳源仅投加 12 d, 说明五段式 Bardenpho 工艺对原水中的碳源利用率很高。

4.2 对氮去除效果

对 NH_3-N 和 TN 的去除效果分别见图 3、4。

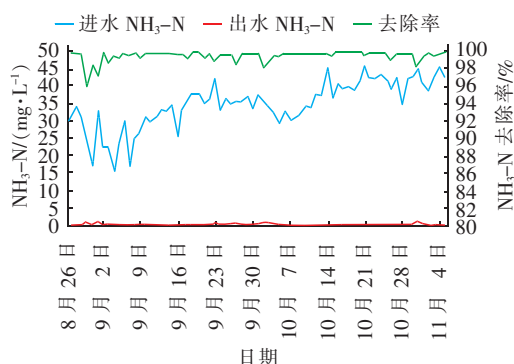


图 3 对 NH_3-N 的去除效果

Fig. 3 Removal effect of NH_3-N

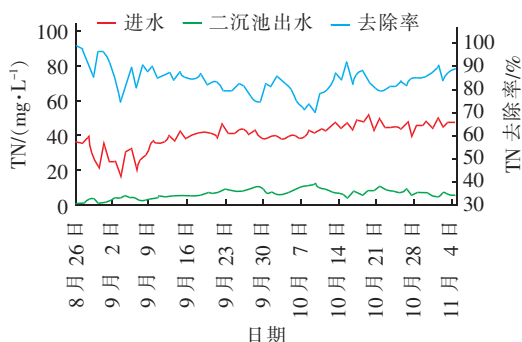


图 4 对 TN 的去除效果

Fig. 4 Removal effect of TN

由图 3、4 可以看出:

① 进水 NH_3-N 最高为 45.5 mg/L, 最低为 15.1 mg/L, 平均为 34.72 mg/L, 出水 NH_3-N < 1 mg/L; 进水 TN 最高为 51.8 mg/L, 最低为 17.4 mg/L, 平均为 40.16 mg/L, 出水 TN 最高为 12.2

mg/L, 最低为 0.7 mg/L, 平均为 6.48 mg/L, 平均去除率为 84.01%, 对氮的去除效果有保证。

② 相关研究表明, 五段式 Bardenpho 对氨氮的硝化具有很好的效果, $NO_2^- - N$ 没有积累, 硝化反应良好^[6]。从统计数据来看, 在进水 TN 波动较大的情况下, 前好氧池硝化反应较充分, 在外加碳源的辅助下, 反硝化效果也较好, 出水 TN 的平均去除率为 84%, 说明五段式 Bardenpho 工艺可较好地处理 TN 浓度变化大的污水。

4.3 对 TP 去除效果

对 TP 的去除效果见图 5。

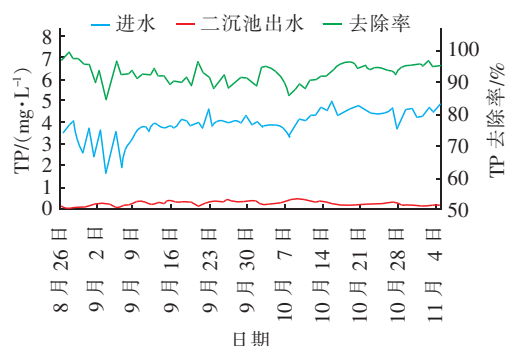


图 5 对 TP 的去除效果

Fig. 5 Removal effect of TP

由图 5 可以看出:

① 进水 TP 最高为 4.88 mg/L, 最低为 1.66 mg/L, 平均为 3.94 mg/L, TP 的去除率平均为 92.98%, 说明五段式 Bardenpho 对进水 TP 波动较大有很强的承受能力。

② 二沉池出水 TP 平均为 0.27 mg/L, 能够满足“双 A”标准中对 $TP \leq 0.5$ mg/L 的要求。五段式 Bardenpho 由于前置了厌氧池, 保证了厌氧状态磷的充分释放, 并对原水碳源充分利用, 生物除磷效果好, 能够满足一级 A 排放标准。

③ 前好氧池末端的污泥回流到前缺氧池, 使得大量的硝酸盐和亚硝酸盐回流前缺氧池, 而不是回流至进水端, 五段式 Bardenpho 的厌氧池能够为释磷菌创造较好的厌氧环境, 原水也能够为释磷过程提供充足的碳源^[7]。磷的充分释放对后续好氧段磷的吸收有帮助。

5 结论

① 五段式 Bardenpho 处理工艺对城镇污水处理厂脱氮除磷有良好的效果, 在原水 $BOD_5/TN < 4$ 的情况下, 能够充分利用原水碳源完成脱氮除磷, 相

较于传统AO工艺具有优势。

② 严格控制前好氧池的溶解氧和内回流比,为生物除磷创造良好的缺氧环境很重要。

③ 初沉池投入使用对去除原水中无机物、提升生化系统VSS/SS比例、增加活性污泥的效能有帮助;初沉池超越可以使得原水中碳源得到充分利用,节省了外加碳源,较小的内回流比即能达到较好的处理效果。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 郑兴灿. 城镇污水处理厂一级A稳定达标技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
Zheng Xingcan. Technologies for Compliance with Effluent Discharge Standard of WWTP in China [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015 (in Chinese).
- [3] 刘浩,杨俊杰,于宁. Bardenpho五段法/MBBR用于青岛李村河污水厂三期扩建[J]. 中国给水排水,2016,32(24):62-66.
Liu Hao, Yang Junjie, Yu Ning. Design and operation of third-phase expansion project of Qingdao Licunhe WWTP by five-stage Bardenpho and MBBR process [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32 (24): 62 - 66 (in Chinese).
- [4] 姚伟涛,肖社明,张永祥. 改良Bardenpho工艺处理低BOD₅/TN混合污水工程设计[J]. 中国给水排水,2018,34(14):67-70.
Yao Weitao, Xiao Sheming, Zhang Yongxiang. Project design of modified Bardenpho process for treatment of low BOD₅/TN mixed wastewater [J]. China Water &

Wastewater, 2018, 34 (14): 67 - 70 (in Chinese).

- [5] 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).
- [6] 朱泽龙,王琴. 改良型Bardenpho工艺处理生活污水的效果分析[J]. 煤炭与化工,2016,39(12):143-147.
Zhu Zelong, Wang Qin. Performance analysis of modified Bardenpho process for treatment of municipal wastewater [J]. Coal and Chemical Industry, 2016, 39 (12): 143 - 147 (in Chinese).
- [7] 朱泽龙. 改良型Bardenpho与MBBR组合工艺在城市污水处理厂中的应用研究[D]. 保定:河北大学,2017.
Zhu Zelong. Application Analysis of Modified Bardenpho and MBBR Combination Process in the Municipal Wastewater Treatment Plant [D]. Baoding: Hebei University, 2017 (in Chinese).



作者简介:李宏斌(1983-),男,内蒙古突泉人,大学本科,工程师,主要从事污水处理、工程总承包与项目管理工作。

E-mail: linhb6509@163.com

收稿日期:2020-03-06