

改良 Bardenpho 工艺的设计与运行效果分析

王磊,慕杨,田海成

[济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 山东 济南 250002]

摘要: 济南某污水处理厂工程设计规模为 4 万 m^3/d , 二级处理采用改良 Bardenpho 工艺, 同时通过设置多点进水、碳源多点投加, 前端设置预缺氧池, 增设二级缺氧/好氧可变段等措施, 为污水厂提供多种工艺运行模式。运行结果表明: 改良 Bardenpho 工艺对 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 等污染物去除率分别达到了 94.98%、98.35%、93.95%、79.68%, 出水 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 分别为 11.7、0.68、3.03、0.77 mg/L , 除 TP 尚需通过深度处理强化去除外, 其余指标均优于设计出水水质。

关键词: 改良 Bardenpho 工艺; 脱氮除磷; 运行效果

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0128-04

0 引言

Bardenpho 工艺属于早期的生物脱氮除磷工艺, 为了提高 A/O 工艺的生物脱氮能力, Barnard 于 1973 年提出在 A/O 处理工艺后增加一个后置反硝化反应池和后置硝化反应池, 并称之为 Bardenpho 工艺。1976 年, Barnard 通过对 4 阶段 Bardenpho 脱氮工艺进行中试研究后提出 5 阶段的改良 Bardenpho 脱氮除磷工艺^[1], 即在 4 阶段 Bardenpho 工艺前增加一个释磷厌氧反应器, 以用于有效除磷。将回流污泥与生化反应池进水在厌氧区混合后, 再经过缺氧区、好氧区、后置缺氧区以及后置好氧区反应, 实现同步脱氮除磷的效果。随着全国各地污水处理厂脱氮除磷要求日益严格, 改良 Bardenpho 由重新得到了重视^[2-11], 但是关于改良 Bardenpho 工艺实际处理效果研究较少, 本文以山东省济南市某污水处理厂为例, 详细介绍改良 Bardenpho 工艺的设计参数及实际运行效果, 以为后续工程应用提供参考。

1 工程概况

污水处理厂设计规模为 40 000 m^3/d , 设计出水水质中 $\text{NH}_3\text{-N} \leq 2(3.5) \text{mg/L}$, $\text{TP} \leq 0.4 \text{mg/L}$, $\text{COD} \leq 45 \text{mg/L}$, 其他污染物指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的“一级 A”标准。设计进、出水水质见表 1; 污水处理工艺流程为

粗格栅 + 进水泵房 + 细格栅 + 曝气沉砂池 + 生物池 + 沉淀池 + 高效沉淀池 + 滤布滤池 + 紫外线消毒工艺, 工艺流程如图 1 所示。

表 1 设计进、出水水质 单位: mg/L

项目	BOD_5	COD	SS	TN	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP
进水水质	≤ 200	≤ 500	≤ 300	≤ 80	≤ 70	≤ 7
出水	≤ 10	≤ 45	≤ 10	≤ 15	$\leq 2(3.5)$	≤ 0.4

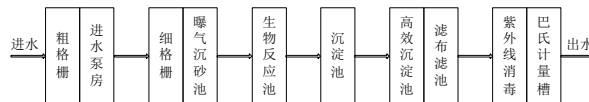


图 1 污水处理工艺流程

2 各单元设计参数

2.1 预处理单元

粗格栅及进水泵房内设置反捞式粗格栅 2 套, 渠道宽度 1 m, 栅条间隙 15 mm, 安装角度 75° , $N=2.5 \text{kW}$; 设置潜水排污泵 4 台 (3 用 1 备, 3 台变频), 单台流量 770 m^3/h , 扬程 25 m, $N=75 \text{kW}$ 。细格栅及曝气沉砂池设置回转式细格栅 2 套, 渠道宽度 1.2 m, 栅条间隙 5 mm, 安装角度 60° , $N=0.75 \text{kW}$; 曝气沉砂池长 18 m, 有效水深 2 m, 水平流速 0.06 m/s , 停留时间 6.7 min。

2.2 二级处理单元

针对污水处理厂的进水碳氮比低以及总氮去除率要求较高的特点, 为提高脱氮除磷效率而采用改良 Bardenpho 工艺, 同时为防止污泥回流中硝酸盐对厌氧释磷的影响, 在工艺前端增加了预缺氧区。为提高运行调控灵活性, 在第二缺氧区内设置缺氧、好氧可

收稿日期: 2023-07-29

作者简介: 王磊(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事给排水设计工作。

调区,同时设搅拌器和曝气器。第二级缺氧区后设好氧池,用于吹脱剩余的氮气,同时确保生物池有机污染物出水的控制,尽量减少在二次沉淀池中磷的释放,工艺流程如图 2 所示。

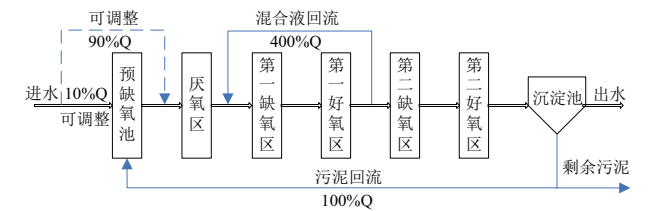


图 2 改良 Bardenpho 工艺流程图

改良 Bardenpho 工艺有效水深 7 m,总停留时间 21 h,其中预缺氧池 0.5 h,厌氧区 1.5 h,第一缺氧区 8.0 h,第一好氧区 8.0 h,第二级缺氧区 2.0 h,二级好氧区 1.0 h。设计污泥浓度 4 000 mg/L,污泥负荷 0.068 kgBOD₅/kgMLSS·d,混合液回流比 300%~400%,污泥回流比 100%,污泥龄 17 d,改良 Bardenpho 工艺平面图如图 3 所示。

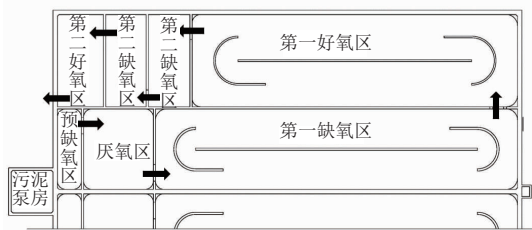


图 3 改良 Bardenpho 工艺平面图

2.3 深度处理单元

高效沉淀池与滤布滤池合建,高效沉淀池混合区 2.12 min,絮凝反应区 12.26 min,沉淀区表面负荷 8.7 m/h,转盘滤池滤速 8.3 m/h。紫外线消毒渠内设置由 14 个消毒模块组成,1 个模块有 8 个灯管组

成,合计 112 支灯管,每只灯管功率 320 W。

3 设计特点

3.1 多点进水

本项目改良 Bardenpho 工艺在设计时设置 4 个进水点:分别位于预缺氧池、厌氧区、缺氧区前端、缺氧区中端。实际运行中根据实际进水碳氮比灵活调整各进水点的进水量,最大程度利用污水中的碳源,解决进水碳氮比较低的问题。

3.2 第二缺氧区可灵活调节

本项目第二缺氧区分为两格,两格同时安装搅拌器和曝气器,根据进水水质,既可作为缺氧运行也可作为好氧运行,保证 NH₃-N 稳定达标。另外缺氧段设计成 2 格,第一格缺氧区可作为脱气池,以防第一级好氧区溶解氧过高对第二级缺氧区产生不利影响。

3.3 实现碳源多点投加

为充分利用外碳源,设计在预缺氧池、厌氧池、第一缺氧池、第二缺氧池都设置了碳源投加点,提高脱氮除磷效率。实际运行中外碳源主要投加到第二级缺氧池,为反硝化脱氮提供充足的碳源,实现深度脱氮。

4 运行效果分析

4.1 总体运行效果

本工程 2019 年底建成,2020 年开始试运行,其中 2021 年 1 月至 7 月期间水量逐渐增加,处理水量为 1.51~4.09 万 m³/d,2021 年 7 月以后基本满负荷运行,项目运行 2 a 来的进出水水质,见表 2。

表 2 实际进、出水水质						单位:mg/L
项目内容	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质	76.8~345(148)	109~551(405)	93~433(229)	17.9~53.5(47.2)	17.9~71.5(61.6)	2.28~8.78(5.5)
出水水质	1.0~6.2(2.44)	10.0~29.5(19.4)	1.0~9.0(4.65)	0.1~2.0(0.54)	2.37~13.54(7.33)	0.02~0.35(0.22)
平均去除率	97.7%	95.2%	97.9%	98.8%	88.1%	96.4%
设计出水限值	10	45	10	2(3.5)	15	0.4

注:括号内为平均值。

从表 2 中可以看出,COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 进水平均值分别为 405、148、47.2、61.6、5.5 mg/L 左右。其中 BOD₅/COD 为 0.36,污水可生化性较好;BOD₅/TN 为 2.40,无法满足脱氮需求;BOD₅/TP 为 27,满足生物除磷要求。污水经处理后,出水 BOD₅、COD_{Cr}、NH₃-N、SS 平均值分别为 2.44、19.4、0.54、4.65 mg/L,远优于设计出水水质,去除率分别达到 97.7%、95.2%、97.9%、98.8%,氨氮的去除效果很

好,说明硝化反应较好,同时出水 TN、TP 平均值分别为 7.33 mg/L、0.22 mg/L,去除率也较高,分别达到了 88.1%和 96.4%,辅以化学除磷明显提升了除磷效率,运行稳定,没有受到季节变化影响。

4.2 改良 Bardenpho 工艺运行效果分析

试验期间污泥浓度 MLSS 平均为 6 040 mg/L,MLVSS 平均为 3 120 mg/L,污泥回流比约 100%,混合液回流比约 400%,预缺氧区进水比例约 10%,厌

氧区进水比例约 90%。

4.2.1 有机物处理效果

根据沿程水质实测分析,进水 COD 为 264 mg/L, AAO 进水井 COD 为 233 mg/L,预处理 COD 去除率为 11.7%;预缺氧池进水 COD 为 81.6 mg/L, COD 大幅下降的主要原因在于回流污泥的稀释作用,预缺氧池出水 COD 为 58.3 mg/L, COD 下降原因主要在于回流污泥反硝化消耗了部分进水碳源。厌氧区进水 COD 为 104.5 mg/L,厌氧区 COD 升高的主要原因在于部分进水直接进入厌氧区,厌氧池出水 COD 为 85.5 mg/L,厌氧释磷消耗 COD 为 19 mg/L。第一缺氧区进水 COD 为 66.1 mg/L,下降原因主要在于混合液回流的稀释作用,第一缺氧区出水 COD 为 42.8 mg/L,第一缺氧区反硝化消耗 COD 为 23.3 mg/L。第一好氧区出水 COD 为 15.6 mg/L,第二好氧区出水 COD 为 11.7 mg/L,改良 Bardenpho 工艺对 COD 去除率为 94.98%。沿程 COD 变化如图 4 所示。

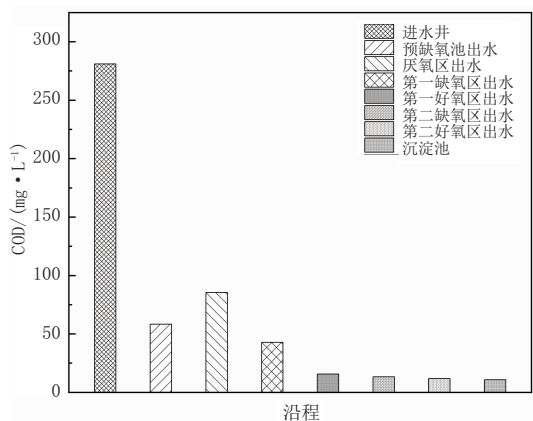


图4 COD沿程变化规律

4.2.2 氮的处理效果

根据沿程水质实测分析,进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 43.1 mg/L, AAO 进水井 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 41.3 mg/L,预处理 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率为 4.17%;预缺氧池进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 12.9 mg/L,预缺氧池出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 12.7 mg/L,厌氧区进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 15.6 mg/L,厌氧区 $\text{NH}_3\text{-N}$ 升高的主要原因在于部分进水直接进入厌氧区,厌氧区出水为 15.0 mg/L。第一缺氧区进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 5.54 mg/L,第一缺氧区出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 5.21 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 在厌氧区和第一缺氧区中浓度降低的主要原因为回流污泥和混合液的稀释作用。第一好氧区进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 3.57 mg/L,第一好氧区出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均为 0.68 mg/L,由此可见大部分 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在好氧池中去除。第二好氧区对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 几乎没有去除。改良 Bardenpho 工艺对

$\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率为 98.35%。沿程 $\text{NH}_3\text{-N}$ 变化如图 5 所示。

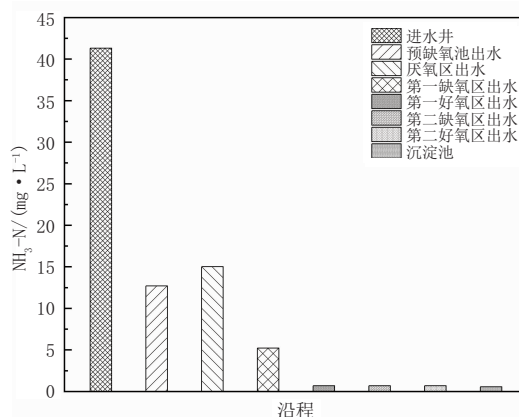


图5 $\text{NH}_3\text{-N}$ 沿程变化规律

根据沿程水质实测分析,进水 TN 为 52.1 mg/L, AAO 进水井 TN 为 50.1 mg/L,预处理 TN 去除率为 3.84%;预缺氧池进水 TN 为 19.3 mg/L,预缺氧池出水为 TN 为 14.9 mg/L,预缺氧池 TN 降低的原因主要在于回流污泥中硝酸盐的反硝化作用。厌氧区进水 TN 为 19.3 mg/L,厌氧区 TN 升高的主要原因在于部分进水 TN 直接进入厌氧池,厌氧区出水 TN 为 16.9 mg/L,说明在厌氧区中仍发生了部分反硝化作用。第一缺氧区出水 TN 为 7.66 mg/L,说明第一缺氧区出水 TN 已满足出水水质要求。第一好氧区出水 TN 为 4.72 mg/L,第二级缺氧区出水 TN 为 3.03 mg/L。改良 Bardenpho 工艺对 TN 去除率为 93.95%。沿程 TN 变化如图 6 所示。

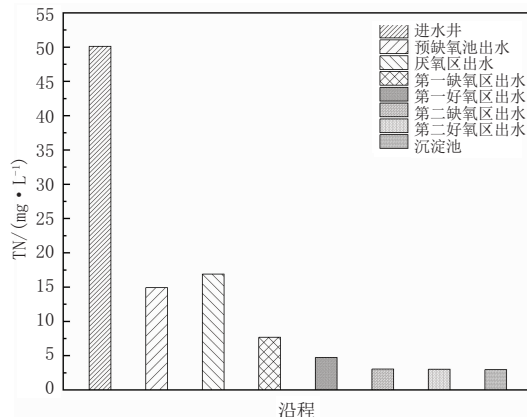


图6 TN沿程变化规律

4.2.3 磷的处理效果

根据沿程水质实测分析,进水 TP 为 6.01 mg/L,进入预缺氧池和厌氧区后,出水 TP 为 7.06 mg/L,增加了 1.05 mg/L,说明厌氧释磷效果较好。第一缺氧区出水 TP 降低为 2.23 mg/L,说明缺氧池具有反硝化除磷作用。第一好氧区出水 TP 为 1.08 mg/L,经过二级好氧后出水 TP 为 0.77 mg/L,经过好氧区后 TP

降低了 1.46 mg/L,去除了大部分的 TP。但也表明改良 Bardenpho 工艺出水 TP 尚无法满足出水排放标准,高效沉淀池投加混凝剂后出水 TP 为 0.08 mg/L,达到设计出水水质要求。改良 Bardenpho 工艺对 TP 去除率为 79.68%,沿程 TP 变化如图 7 所示。

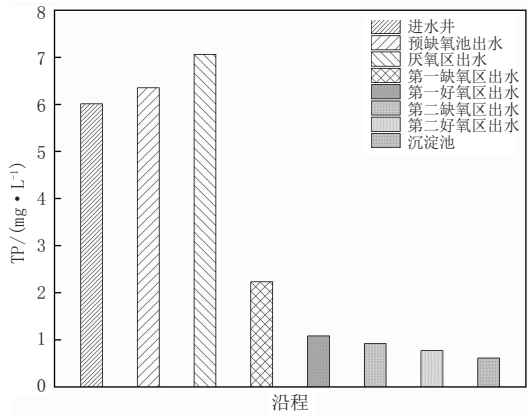


图 7 沿程 TP 变化规律

6 结 语

在进水 COD_{Cr}、NH₃-N、TN、TP 分别为 233.0、41.3、50.1、3.79 mg/L 情况下,改良 Bardenpho 工艺对 COD_{Cr}、NH₃-N、TN、TP 等污染物去除率分别达到了 94.98%、98.35%、93.95%、79.68%,出水 COD_{Cr}、NH₃-N、TN、TP 分别为 11.70、0.68、3.03、0.77 mg/L,除

TP 尚需通过深度处理强化去除外,其余指标均优于设计出水水质。

参考文献:

[1] Barnard. A review of biological phosphorous removal in the activated sludge process[J].Water S.A.1976,2(3): 136-144.
[2] 王胤,吴嘉利,翔姚,等.五段 Bardenpho/生物滤池在氧化沟提标改造中的应用[J].中国给水排水,2022,38(10): 74-78.
[3] 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.
[4] 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(10): 57-59.
[5] 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.
[6] 白华清,贺阳,袁绍春,等.改进型 Bardenpho+反硝化滤池用于污水厂提标改造[J].工业水处理,2021,41(12): 132-135.
[7] 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.
[8] 宋田翼. Bardenpho+生物滤池(DN+CN)用于污水厂准Ⅳ类出水提标[J].中国给水排水,2020,36(22): 106-109.
[9] 孙欣,崔洪升. Bardenpho+深床滤池工艺用于半地下污水处理厂工程[J].中国给水排水,2017,33(16): 82-85.
[10] 刘娟,项绪文,沈军,等. Bardenpho MBBR+磁絮凝沉淀用于污水厂升级改造[J].中国给水排水,2023,39(4): 70-74.
[11] 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.

(上接第 127 页)

(1)沉井法相比明挖现浇法的优势在于综合造价低、风险小,但工期较长,在工期不是控制因素的前提下可以优先采用。

(2)在软土地区施工沉井时,需要在设计阶段充分考虑沉井下沉过程中可能出现的各种问题,采取充分的措施降低风险,确保沉井顺利实施。

参考文献:

[1] 马超.泵站地下池体结构形式及施工方案对比分析[J].城市道桥与防洪,2021(12):106-108.
[2] 刘国彬,王卫东.基坑工程手册[M].2 版.北京:中国建筑工业出版社,2009.
[3] 给水排水工程结构设计手册编委会.给水排水工程结构设计手册[M].2 版.北京:中国建筑工业出版社,2007.