

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.012

阳泉市污水处理二期工程 BARDENPHO 工艺设计和运行

张月, 王阳, 张宏伟, 刘晓茜

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 阳泉市污水处理二期工程建设规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 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 标准和《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类水质标准中的较严值。该项目采用抗冲击负荷能力强、脱氮除磷功能强的 BARDENPHO 生物处理工艺, 工艺流程为 BARDENPHO 生物处理 + 混合反应沉淀 + 滤布滤池 + 消毒, 污泥处理采用机械脱水工艺。生物处理采用多点布水、多点回流措施, 将污水分别配入预缺氧区和厌氧区, 污泥回流到预缺氧区与一定比例的进水混合, 大大增强了脱氮除磷能力。该项目于 2017 年投产运行, 出水水质稳定达到设计标准。

关键词: 污水处理厂; BARDENPHO 工艺; 滤布滤池

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0064-05

Design and Operation of BARDENPHO Process in Phase II Project of Yangquan Wastewater Treatment Plant

ZHANG Yue, WANG Yang, ZHANG Hong-wei, LIU Xiao-qian

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The capacity of phase II project of Yangquan wastewater treatment plant was $80\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. The effluent quality implements the strict value of the first level A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) and class V water quality standard of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). The project adopts the BARDENPHO biological treatment process with strong shock load resistance and strong nitrogen and phosphorus removal function. The process flow is BARDENPHO biological treatment + mixed reaction sedimentation tank + cloth filter + disinfection, and the sludge treatment adopts mechanical dewatering process. The biological treatment adopts multi-point water distribution and multi-point reflux measures. The sewage is divided into pre-anoxic zone and anaerobic zone respectively. The sludge returns to the pre-anoxic zone and mixes with a certain proportion of influent water, which greatly enhances the ability of nitrogen and phosphorus removal. The project was put into operation in 2017, and the effluent quality stably reached the design standard.

Key words: wastewater treatment plant; BARDENPHO process; cloth filter

1 项目概况

阳泉市是山西省污染较为严重的区域, 环境整治任务十分艰巨, 阳泉市污水处理一期工程已经运行十几年, 处理规模和污染物去除效果均不能满足

日益发展的城市需要, 致使大量未经处理的污水排入桃河, 加重了桃河的污染, 甚至危及娘子关水源, 因此阳泉市污水处理二期工程的建设对减轻城市污水对桃河的污染和保护娘子关水源具有重要意义。

阳泉市污水处理二期工程建设规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 污水处理采用 BARDENPHO 生物处理 + 混合反应沉淀 + 滤布滤池 + 消毒工艺, 污泥处理采用机械脱水工艺, 污泥含水率 $\leq 80\%$, 出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中的一级 A 标准和《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 中的 V 类水质标准较严者。

2 工程规模及进、出水水质

2.1 工程规模

根据城市总体规划和排水专项规划, 本工程的设计年限为近期 2020 年, 远期 2030 年。2020 年和 2030 年工程收水范围内预测污水量分别为 $15.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $18.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。一期工程已建规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 故二期工程近期(2020 年)规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 远期(2030 年)扩建规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.2 进、出水水质

为合理确定工程进水水质, 收集了一期工程多年水质记录, 对数据整理分析, 以不低于 90% 的保证率为原则, 结合实际情况, 确定阳泉市污水处理二期工程进水水质。

项目出水分为两部分: 一部分作为污水再生利用水, 供阳泉电力集团作工业循环冷却水补充水, 用户要求水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中的一级 A 标准; 其余出水达标排放至桃河。排放口河段位于娘子关水源保护区范围内, 污水厂出水水质主要指标必须达到《地表水环境质量标准》中的 V 类水质标准。因此出水水质标准同时满足两个标准的较严值。

具体设计进、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 ₅	SS	氨氮	TN	TP
进水	560	115	480	46	62	4.5
出水	40	10	10	2	15	0.5

3 处理工艺确定

3.1 水质特征分析

① BOD₅/COD

通常认为 $\text{BOD}_5/\text{COD} > 0.30$ 的污水才适于采用生化处理, 本项目进水 BOD_5/COD 为 0.21, 可生化性一般, 但是从一期工程运行数据分析, 二级生化处理效果较好, 所以二期工程可以采用生化处理。

② BOD₅/TN

$\text{BOD}_5/\text{TN} > 3$ 即可认为有足够碳源供反硝化菌利用^[1]。本项目进水 BOD_5/TN 最高为 3, 平均值为 1.8, 碳源严重不足, 需外加较多碳源才能满足要求。

③ BOD₅/TP

一般认为 $\text{BOD}_5/\text{TP} > 20$ 能获得较好的生物除磷效果。本项目进水 BOD_5/TP 指标为 25.5, 满足生物除磷对碳源的要求。因此在生物段中设置厌氧池, 可以有效进行磷的充分释放, 并在曝气段中完成磷的过量吸收, 保证系统的除磷效果^[2]。

3.2 处理工艺比选

本项目必须采用具有强化生物脱氮除磷功能的污水处理工艺, 同时, 还需增加深度处理工艺。

根据本项目水质特征分析, 选取 BARDENPHO 工艺和交替式活性污泥工艺两种方案进行比选。

① BARDENPHO 工艺

BARDENPHO 工艺将反硝化分为两部分完成: 第一部分是通过 A²/O 工艺完成氨氮的完全硝化、聚磷菌释磷和污水碳源反硝化, 其缺氧池池容和混合液回流量根据进水水质确定, 充分利用进水碳源完成尽可能多的反硝化, 降低运行费用。第二部分是外加碳源后置反硝化, 在后置反硝化池利用外加碳源完成硝酸盐的反硝化, 因外加碳源, 反硝化反应速率更高, 所需池容比前置反硝化相应减小。末端的好氧段只需很小的池容, 用来去除反硝化过程产生并附着于活性污泥絮体上的“氮沫”, 改善污泥沉降性能, 提高沉淀池出水水质。BARDENPHO 工艺具有污泥浓度高、碳源利用充分、抗冲击负荷能力强等特点。BARDENPHO 工艺流程见图 1。

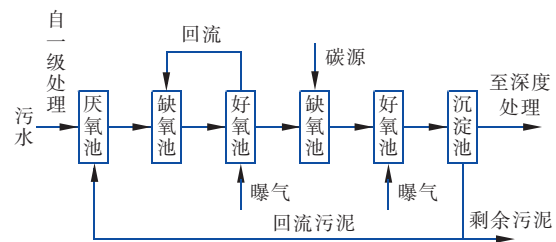


图 1 BARDENPHO 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of BARDENPHO process

② 交替式活性污泥工艺

交替式活性污泥工艺的主体是一个被分隔成数个单元的矩形反应池, 周期运行, 连续进水, 能够充分使用反应池的有效容积, 不需另建沉淀池或外部

污泥回流系统,同时满足有机负荷与水力负荷的要求。

一组矩形反应池分为3格,3格之间水力连通,每格均设有曝气系统,外侧的边池设有出水堰及剩余污泥排放设施,边池既可以作沉淀池又可以作生物反应池使用,中间池始终作生物反应池使用,污水可以进入3格中的任意一格。

运行周期包括两个主体运行阶段,根据进出水处理要求分段(厌氧、缺氧、好氧、沉淀)并保持连续运行。污水在第一个主体运行阶段首先进入左外侧边池内,混合液自左向右通过中间池进入作为沉淀池使用的右外侧边池,经沉淀后出水。进入第二个主体运行阶段后污水改为从右外侧边池进水,左外侧边池出水,切换过程平稳连续。每完成一个主体运行阶段便完成了由厌氧、缺氧到好氧的生物环境过程,不仅能去除一般的有机物和悬浮固体,还能去除氮和磷,整个主体运行序批式控制。

BARDENPHO工艺和交替式活性污泥工艺方案比选结果见表2。可见,交替式活性污泥工艺虽然

在占地、投资等方面具有优势,但操作复杂,运行效果不稳定,考虑到本项目出水直接影响桃河乃至娘子关水源水质,应严选技术可靠、稳定达标的工艺,因此确定选用BARDENPHO工艺。

表2 处理工艺方案比选

Tab.2 Comparison of treatment schemes

项 目	BARDENPHO 工艺	交替式活性 污泥工艺
占地/hm ²	7.37	7.03
投资/万元	26 683	24 968
电耗/(kW·h·m ⁻³)	0.43	0.42
外运泥量/(m ³ ·d ⁻¹)	132	132
定员/人	40	40
运行成本/(元·m ⁻³)	1.56	1.49
技术评价	优点	抗冲击负荷能力强 运行稳定
	缺点	占地较大 运行费用高 操作复杂 设备维修量大 运行不稳定

3.3 工艺流程

本项目总体工艺流程见图2。

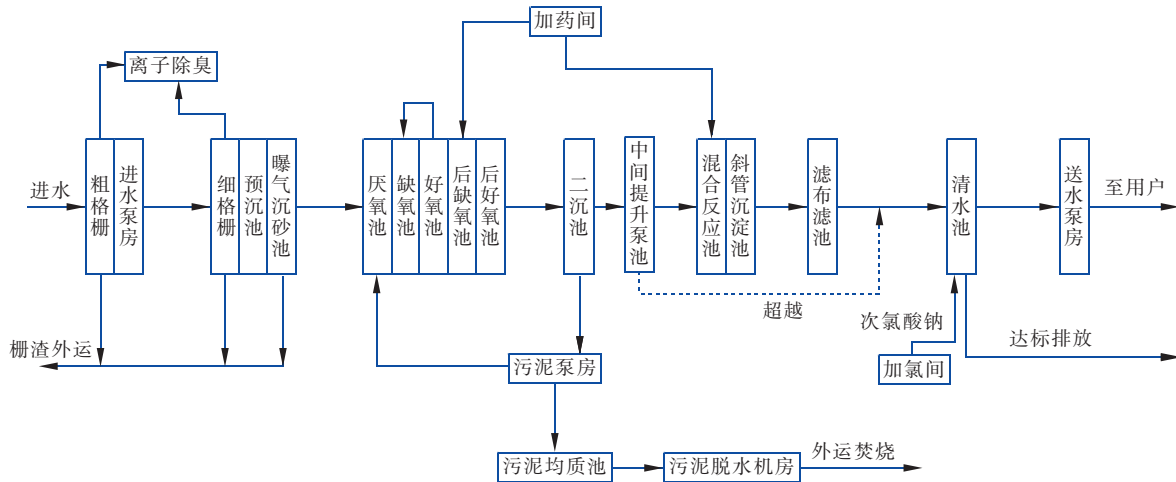


图2 污水处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of wastewater treatment process

4 工艺设计

4.1 主要构筑物设计

① 生物池。生物池由预缺氧区、厌氧区、前缺氧区、前好氧区、后缺氧区及后好氧区组成,在前端预缺氧区和厌氧区设置进水和回流污泥分配段,可根据运行实际情况调节进水和污泥流量分配,生物池总尺寸为120.2 m×107 m×8 m,设计流量为0.926 m³/s,有效水深为6.8 m,总停留时间为26 h,

前段停留时间为21 h,后段停留时间为5 h,好氧区曝气设计最大气水比7.29:1,污泥浓度4 000 mg/L,前段反硝化速率0.06 kgNO₃⁻-N/(kgSS·d),投加碳源反硝化速率0.66 kgNO₃⁻-N/(kgSS·d),污泥回流比为100%。

② 二沉池。采用钢筋混凝土辐流式沉淀池,中央进水,周边出水,澄清水经环形集水渠收集后直接排入集水井,进入深度处理工段。

设置二沉池4座,内径为36 m,周边水深为4 m,停留时间为4.86 h。

③ 混合反应沉淀池。混合反应沉淀池由混合池、反应池、斜管沉淀池组成,设计流量为 $1.204 \text{ m}^3/\text{s}$ 。机械混合,混合时间为36 s;反应为机械反应,反应时间为20 min;沉淀为斜管沉淀,斜管数量为 784 m^2 ;刮泥机4台,长度为14 m。

④ 滤布滤池。滤布滤池工艺尺寸为 $10 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4.95 \text{ m}$,设计流量为 $1.204 \text{ m}^3/\text{s}$,设置纤维转盘过滤器4套,单套转盘数量为12片,筛网孔径为 $10 \mu\text{m}$,单盘最大进水流量为 26 L/s 。

⑤ 碳源投加及加药加氯间。单体功能为投加碳源、混凝剂和消毒剂,建筑平面尺寸为 $37.5 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ 。消毒剂采用次氯酸钠,投加点为混合池和清水池。化学除磷量按 1 mg/L 计,混凝剂采用液体PAC,最大加药量为 8 mg/L ,投加浓度为10%;助凝剂采用PAM,最大加药量为 2 mg/L ,投加浓度为0.1%;为保证反硝化脱氮碳源,设置2套乙酸钠溶液罐,单罐体积为 12 m^3 ,最大加药量为 150 mg/L ,投加浓度为10%。

⑥ 污泥脱水机房。平面尺寸为 $33.9 \text{ m} \times 15 \text{ m}$,设置3台叠螺式脱水机,单台处理能力为 $400 \sim 680 \text{ kgDS/d}$ 。

4.2 工艺设计特点

① 生物处理前端采用多点布水、多点回流,将污水分别配入预缺氧区和厌氧区,污泥回流到预缺氧区与一定比例的进水混合后进入厌氧区、缺氧区 and 好氧区,大大增强除磷脱氮能力^[3]。每段都设置了缺氧区 and 好氧区进行硝化和反硝化,实际TN去除率可达67%以上,TP生化去除率可达63%以上^[4]。

② 设置精确曝气系统,通过模型软件直观查看各种水质指标在生物池内的沿程分布和池内任意位置上污染物的时间分布。建立设备能耗模型和药耗模型,可模拟污水处理过程中设备的耗电量及投药量,计算处理单位水量所需的电耗、药耗及成本,并以图形的形式输出。精确曝气系统对鼓风机和各受控曝气单元的气量分配进行自动调节,根据实际水质水量数据智能分配每个溶解氧控制区的溶氧量,自动调整气体流量设定值,实现按需曝气。

③ 为解决鼓风机在运行初期风量过大问题,配置4台鼓风机,单台设计风量为总风量的30%,将总风量的变化范围扩大到13.5%~120%,确保风量具有最大的调节范围,满足节能要求。

5 运行效果及分析

本项目于2017年投产运行,出水水质稳定达标,实际进、出水水质见表3。

表3 实际进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality

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

项 目	COD		$\text{NH}_3 - \text{N}$		SS		TP		TN		BOD_5	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2017年1月	318	18	21	0.4	235	5.6	2.5	0.3	34	11	79	4.9
2017年2月	306	22	27	0.2	168	5.8	3.2	0.3	38	12	73	5.7
2017年3月	356	15	27	0.2	183	5.8	3.5	0.4	40	12	85	5.6
2017年4月	482	17	25	0.2	225	5.9	3.4	0.4	37	12	130	5.9
2017年5月	307	16	21	0.2	79	5.5	2.7	0.3	32	12	68	5.5
2017年6月	224	14	20	0.4	129	5.6	2.3	0.3	33	12	68	5.3
2017年7月	177	16	19	0.2	308	5.4	1.9	0.3	29	12	63	5.6
2017年8月	219	14	17	0.2	232	6.3	1.4	0.3	31	12	71	5.7
2017年9月	171	15	17	0.2	233	6.3	1.4	0.3	27	12	57	5.1
2017年10月	202	17	20	0.2	203	5.9	2.1	0.3	28	12	61	5.5
2018年1月	185	18	20	0.5	306	6.0	1.2	0.4	27	12	71	5.0
2018年2月	294	23	56	0.4	443	5.0	3.7	0.3	65	11	101	5.0
2018年3月	191	20	46	0.4	323	4.0	2.0	0.2	52	7	67	4.0
2018年4月	305	17	36	0.1	444	5.0	2.6	0.2	52	10	93	4.0
2018年5月	182	8	20	0.1	306	3.0	1.0	0.2	27	11	59	3.0
平均值	261	17	26	0.3	254	5.4	2.3	0.3	37	11	76	5.1

运行期间TN平均去除率达到67%,TP平均去除率达到85%。

运行分析:

① 生物池在实际运行中通过改变曝气、搅拌和配水实现多种运行方式,可以针对不同时期的来水进行调整,充分利用来水中的碳源,减少投药量。

② 运行期间适当提高生物池内污泥浓度,提高抗冲击负荷能力和处理能力,最高日处理量达到 $9.17 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

③ 调整水泵运行数量,保证水泵在高效区内运行,同时结合精确曝气系统,进一步降低运行能耗,电耗达到 $0.3 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,远低于设计值。

6 结论

阳泉市污水处理二期工程采用 BARDENPHO 生物处理 + 混合反应沉淀 + 滤布滤池 + 消毒工艺,投运后,各项出水水质均优于一级 A 排放标准和地表 V 类水质标准的较严值,大大提升了桃河水环境质量,进一步保护了娘子关水源水质,对阳泉市环境保护起到了重要作用。

参考文献:

- [1] 戴仲怡,李瑞成,王建兴. 多段强化脱氮工艺 A^2/O 工艺用于大型半地下式污水处理厂[J]. 中国给水排水, 2017,33(16):75-78.
- Dai Zhongyi, Li Ruicheng, Wang Jianxing. Application of multi-stage A^2/O process for enhanced nitrogen removal in large semi-underground wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(16):75-78 (in Chinese).
- [2] 刘胜军,杨学,石凤,等. 多级多段 AO 除磷脱氮工艺分析与研究[J]. 给水排水, 2012,38(增刊):191-194.
- Liu Shengjun, Yang Xue, Shi Feng, et al. Analysis and research of multilevel anoxic-oxic phosphorus and nitrogen removal technology[J]. Water & Wastewater Engineering, 2012,38(S1):191-194 (in Chinese).
- [3] 刘常敬,石凤,杨晨光,等. 节能型半地下污水厂多段多级 AO 工艺设计及调试运行[J]. 中国给水排水, 2018,34(22):51-54.
- Liu Changjing, Shi Feng, Yang Chenguang, et al. Design and commission of energy-saving and semi-underground wastewater treatment plant with multi-stage AO as treatment process[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22):51-54 (in Chinese).
- [4] 刘加强,张建昆,李莹,等. 倒置 $\text{A}^2/\text{O} + \text{A}/\text{O}$ 工艺用于某城市污水厂二期扩建工程[J]. 中国给水排水, 2018,34(22):55-58.
- Liu Jiaqiang, Zhang Jiankun, Li Ying, et al. Application of reversed $\text{A}^2/\text{O} + \text{A}/\text{O}$ process in the second-phase extension project of a municipal wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22):55-58 (in Chinese).



作者简介:张月(1979-),女,天津人,硕士,高级工程师,研究方向为市政给排水设计,曾获全国优秀工程勘察设计行业奖。

E-mail:zhangyue02@cemi.com.cn

收稿日期:2019-11-18