

工程实例

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.02.017

改良Bardenpho+粉末活性炭+人工湿地处理生活污水

姜春杰

(南京市市政设计研究院有限责任公司, 江苏 南京 210008)

摘要: 某镇区污水处理厂四期扩建工程设计处理规模 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,采用曝气沉砂+混凝初沉+改良Bardenpho+粉末活性炭吸附加砂混凝澄清+紫外消毒+人工湿地处理工艺。运行结果表明,该工艺能够有效应对水质波动,出水指标优于设计标准,其中人工湿地出水COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP已达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水标准,具有良好的稳定出水水质作用,对COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP的去除率分别达到50.2%、46%、53.3%、46.7%。

关键词: 混凝沉淀; 改良Bardenpho; 粉末活性炭; 加砂混凝澄清; 人工湿地

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)02-0093-05

Application of Improved Bardenpho, PAC and Constructed Wetland Process in Sewage Treatment

JIANG Chun-jie

(Nanjing Municipal Design and Research Institute Co. Ltd., Nanjing 210008, China)

Abstract: The fourth phase expansion project of a township sewage treatment plant with a design scale of $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, adopted the main process of aerated grit chamber, coagulation and primary sedimentation, improved Bardenpho, powdered activated carbon (PAC) adsorption, additional sand coagulation clarification, ultraviolet disinfection, and constructed wetland. The operation results show that the process can effectively deal with the influent quality fluctuation, and the effluent indexes are better than the design standard. The effluent COD, BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP indexes of the constructed wetland have reached the level Ⅲ criteria in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002). The constructed wetland has a good effect on stabilizing the effluent quality. The removal rates of COD, BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP are 50.2%, 46%, 53.3% and 46.7% respectively.

Key words: coagulation and sedimentation; improved Bardenpho; powdered activated carbon; additional sand coagulation clarification; constructed wetland

1 工程概况

某镇区污水处理厂目前已完成三期工程建设,污水处理能力为 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准与广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准中较严者。该镇区面积85.09 km^2 ,常住总人口49.05万人,目前已形成以

牛仔服装、汽车、摩托车及其零部件为主的三大支柱产业,并初步形成产业聚集和组团发展。随着区域内人口的增多和大型企业的引进,现有污水处理能力已饱和,本次启动污水处理厂四期扩建工程,设计规模 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水主要指标COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准,其余指标执行《城镇污水处理厂污

染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准与广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准中较严者。

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	进水	三级出水控制浓度	湿地出水控制浓度
pH值	6~9	6~9	6~9
COD/(mg·L ⁻¹)	≤320	40	30
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	≤180	10	6
SS/(mg·L ⁻¹)	≤200	10	10
总氮/(mg·L ⁻¹)	≤60	15	15
氨氮/(mg·L ⁻¹)	≤35	5	1.5
磷酸盐(以P计)/(mg·L ⁻¹)	≤10	0.5	0.3

该污水处理厂四期扩建工程于2019年8月完成主体竣工验收,并完成通水及联动试车。目前污水处理厂运行稳定,污水处理达标率100%。

2 工艺选择

2.1 强化预处理工艺

本项目的服务对象包括富士康等工业企业,企业事故排放会造成冲击负荷以及有毒有害物质的超标排放,对污水厂的安全稳定运行具有较大影响。对于冲击性负荷或者有毒有害物质,通常在预处理端设置强化处理工艺^[1]。本工程结合实际进水水质,分别对水解酸化和混凝初沉两种强化预处理工艺进行比较。

水解酸化在中高浓度的工业废水处理中得到广泛应用^[2],经常作为厌氧工艺的前处理工艺,起到预酸化作用,提高厌氧反应器的处理效率。但在市政污水领域,水解酸化工艺很少使用,主要原因是水解酸化属于生化处理,需要消耗有机物,中高浓度的工业废水含有足够的碳源,不存在碳源不足问题。市政污水通常BOD₅浓度不高,碳源不足,如果采用水解酸化将加剧碳源不足,使得后续反硝化脱氮需要补充更多碳源,增加资源消耗。

混凝初沉池是集混凝反应与沉淀于一体的污水处理构筑物,可在混凝剂的作用下,使污水中的胶体和细微悬浮物凝聚成絮凝体,将冲击负荷中的部分SS和有毒有害物质分离,既能高效降低SS、色度等水质指标,又能去除多种有毒有害污染物。

考虑到水解酸化的局限性,本工程采用混凝初沉作为强化预处理工艺,以便更有效地应对冲击性负荷或者有毒有害物质,更好地保护后续生化处理系统。

2.2 二级生物处理

结合本项目的实际情况,以及污水排放标准逐渐趋严的大背景,污水处理的主体工艺需要满足以下原则:

① 脱氮除磷性能优越,尤其是脱氮性能无法通过化学方式弥补,生化系统自身的脱氮效率极为重要;

② 系统脱氮性能有较大提升潜力,满足未来可能的更高TN排放标准;

③ 本项目为PPP项目,投资、运行费用需适中;

④ 机械设备少,运行简单,维护需求少。

立项阶段对改良A²O、改良Bardenpho工艺及广东地区常用的A/A/O微曝氧化沟工艺进行了比选,三种工艺处理效果都可达标,但从目前的研究和实际应用来看^[3],在同等条件下改良Bardenpho工艺系统反硝化更彻底,其出水氨氮和硝酸盐氮的浓度要明显低于改良A²O和A/A/O微曝氧化沟工艺,其较高的脱氮效率更容易满足未来更高的TN排放标准,对碳源利用效率高,节约碳源投加量,混合液内回流比较低,节约了回流电耗,运行费用更低,运行简单,易维护。因此,推荐采用改良Bardenpho工艺。

2.3 三级深度处理

污水厂的二级处理出水浊度低,属于低浊水^[4],水中杂质浓度低,微粒尺寸小且颗粒分布均匀,不利于颗粒碰撞絮凝,常规混凝沉淀的絮凝反应慢,生成的絮凝体(矾花)粒径小、松散、质量小,不易沉降。

考虑到二级处理出水的水质特点,选用上升流速较大、占地面积小、综合投资省、运行稳定的粉末活性炭吸附加砂混凝澄清池作为集约三级深度处理工艺,在保证处理效果满足要求的前提下,缩短处理流程。

2.4 人工湿地

本项目尾水作为河道的生态补给水,为了稳定出水水质,减少污水厂出水对受纳水体的负面影响,末端采用人工湿地稳定处理工艺。

各种类型人工湿地在建设投资成本、占地面积、运行管理、景观效果、单位面积日处理水量、净化效果等方面存在一定差异,为达到相近处理能力,比较如下:

① 投资建设成本,垂直潜流人工湿地>水平潜流人工湿地>表面流人工湿地;

② 占地面积,表面流人工湿地>潜流人工湿地;

③ 运行管理,潜流人工湿地>表面流人工湿地;

④ 人工痕迹,潜流人工湿地>表面流人工湿地;

⑤ 单位面积日处理水量,潜流人工湿地>表面流人工湿地;

⑥ 净化效果,潜流人工湿地>表面流人工湿地。

实际应用中应因地制宜选择适宜的人工湿地或几种人工湿地的组合。对于本工程,采用垂直潜流人工湿地更为适宜^[5],其原因在于:①单独使用表面流湿地所需要的土地面积将非常大,不符合土地利用现状和功能规划;②垂直潜流人工湿地占地面积较小、污染物去除效果好、卫生环境好,符合本工程高标准出水的水质要求。

2.5 工艺流程

污水、污泥处理工艺流程见图1。

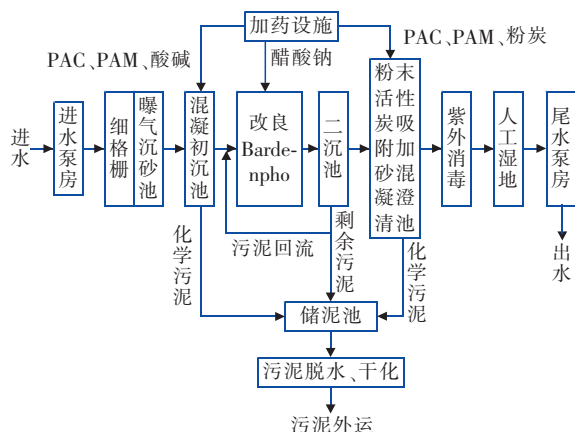


图1 污水、污泥处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage and sludge treatment process

3 核心单元设计

3.1 混凝初沉池

混凝初沉池用于应急处理,去除污水中超标

SS、重金属等,正常状态可超越。

设混凝初沉池1座,设计规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,变化系数1.39,内分2组。混合3 min,絮凝15 min,表面负荷 $7.95 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,构筑物尺寸 $(L \times B \times H) = 29.20 \text{ m} \times 25.25 \text{ m} \times 6.90 \text{ m}$ 。主要设备:混合搅拌机2台,桨叶直径1.2 m, $N=11 \text{ kW}$;絮凝搅拌机2台,叶轮直径2.5 m, $N=7.5 \text{ kW}$;刮泥机2台, $D=13 \text{ m}$, $N=0.37 \text{ kW}$;剩余污泥泵2台, $Q=52 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=50 \text{ kPa}$, $N=3 \text{ kW}$;备用污泥泵2台, $Q=52 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=50 \text{ kPa}$, $N=3 \text{ kW}$;回流污泥泵2台, $Q=21 \sim 52 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=50 \text{ kPa}$, $N=3 \text{ kW}$;斜板填料安装面积 262 m^2 ,斜板斜长1.2 m,管内径80 mm,安装角度 60° 。

3.2 改良Bardenpho生化池

改良Bardenpho生化池由预缺氧、厌氧、缺氧、好氧、后缺氧、后好氧等部分组成。预缺氧段:反硝化去除回流污泥中的硝态氮,增强除磷效果;厌氧段:生物除磷;缺氧段:利用污水中的碳源将好氧段处理后的硝态氮还原成氮气,完成脱氮,同时, BOD_5 下降;好氧段:氧化有机物,硝化;后缺氧段:利用内源呼吸的内碳源或者外加碳源,进一步进行反硝化反应;后好氧段:确保生物池出水有机物的控制。

设改良Bardenpho生化池2座,单座设计规模 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,变化系数为1.39,污泥负荷为 $0.073 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,污泥浓度为 3500 mg/L ,污泥龄为16 d,总停留时间为16.3 h,其中预缺氧0.5 h、厌氧1.5 h、缺氧5.5 h、好氧6.0 h、后缺氧2.0 h、后好氧0.8 h,内回流比 $100\% \sim 300\%$,气水比5.5:1,有效水深7 m,构筑物尺寸 $(L \times B \times H) = 56.20 \text{ m} \times 45.50 \text{ m} \times 8.00 \text{ m}$ 。

主要设备:双曲面搅拌机2台, $D=2.5 \text{ m}$, $N=4.0 \text{ kW}$,安装于预缺氧段;低速潜水推流器2台, $D=2.1 \text{ m}$, $N=5.5 \text{ kW}$,安装于厌氧段;低速潜水推流器4台, $D=2.5 \text{ m}$, $N=7.5 \text{ kW}$,安装于缺氧段;低速潜水推流器2台, $D=1.8 \text{ m}$, $N=5.5 \text{ kW}$,安装于后缺氧段;高速潜水搅拌机1台, $D=0.64 \text{ m}$, $N=7.5 \text{ kW}$,安装于后好氧段;微孔曝气器2938个, $D=0.3 \text{ m}$, $Q=4 \text{ m}^3/(\text{个} \cdot \text{h})$ 。

3.3 粉末活性炭附加砂混凝澄清池

粉末活性炭附加砂混凝澄清池由粉末活性炭接触吸附池、混凝反应池、加砂絮凝池、沉淀池等组成,用于进一步强化去除COD、SS、TP。

设粉末活性炭附加砂混凝澄清池1座,设计规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,变化系数1.39,内分两组。粉末活

性炭吸附接触池停留时间 17 min, 混凝反应池停留时间 3 min, 加砂絮凝池停留时间 7.5 min, 沉淀池表面负荷 $33.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 粉末活性炭投加量 30 mg/L , 微砂投加量分别为 2 mg/L (不投加粉末活性炭时)、 5 mg/L (投加粉末活性炭时)。

3.4 垂直潜流人工湿地

垂直潜流人工湿地用于进一步去除污染物, 稳定出水水质, 保证生态补水的安全, 同时兼顾景观效果。遵循生态自然净化、经济合理、低维护、避免生物入侵的原则。

垂直潜流湿地总占地面积 $14\,791.3 \text{ m}^2$, 其中有效种植面积 $12\,511 \text{ m}^2$, 设计水力负荷 $3.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 湿地床层深 1.2 m , 填料平均孔隙率 0.4 , 水力停留时间 0.15 d 。潜流湿地水生植物种植类型以净化能力强、根系发达的芦苇、香蒲为主, 观赏性植物再力花、美人蕉为辅。人工湿地共分 16 个湿地单元, 每个单元设计处理水量 $3\,125 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

配水系统: 潜流湿地共划分为 16 个单元, 并联运行, 通过主配水渠连接, 主配水渠总长 321.75 m , 净宽 2.0 m , 渠深 2.1 m , 有效水深 1.6 m 。每个单元面积 800 m^2 , 采用管道系统配水, 为了减小单元格前后配水孔水头差, 采用枝状配水系统, 设主配水管、次配水管和穿孔配水管, 主配水管 DN300, 次配水管 DN200, 穿孔配水管 DN80, 因配水管暴露于空气中, 为降低管道老化速率, 延长管道使用寿命, 采用 PE 管, 穿孔配水管间距 3.0 m , 孔径 15 mm , 开孔间距 200 mm , 孔口朝下, 交错布置。

集水系统: 16 个湿地单元通过集水渠连接, 集水渠总长 321.75 m , 净宽 1.2 m , 渠深 1.8 m , 每个单元采用枝状管道系统, 设主收水管和穿孔集水管, 主收水管 DN300, 穿孔集水管 DN100, 穿孔集水管与穿孔配水管垂直交错布置。集水管采用 PE 管, 穿孔集水管间距 3.0 m , 孔径 20 mm , 开孔间距 200 mm , 孔口朝下, 交错布置。

滤床系统: 本工程位于华南地区, 年平均气温较高, 湿地床层按 1.2 m 设计, 共分 3 层, 由上到下依次为种植层、过渡层和承托层, 各层厚度分别为 0.4 、 0.5 和 0.3 m 。种植层填料粒径 $8 \sim 15 \text{ mm}$ 、过渡层填料粒径 $20 \sim 35 \text{ mm}$ 、承托层填料粒径 $35 \sim 60 \text{ mm}$, 填料的选择因地制宜, 碎石填料便宜且来源广泛, 为提高潜流湿地填料对污染因子的去除效果, 在上层碎石填料中增加一定比例的沸石填料, 上层

填料中碎石与沸石比例按体积比 $2:1$ 进行混合, 中层填料中碎石与陶粒的比例按体积比 $1:3$ 进行混合, 底层填料作为承托层选用来源广泛的碎石。

抗渗设计: 底部采用土工膜进行防渗, 土工膜为非织造复合土工膜, 厚度不小于 1.5 mm , 幅宽不小于 6.5 m 。

4 工程验收及运行效果

本工程于 2019 年 8 月底完成调试, 竣工环保验收合格, 至今已运行 1 年多, 污水处理监测结果如表 2 所示。可见, 出水稳定、可靠, 各项指标都明显优于设计标准, 其中人工湿地出水的 COD、BOD₅、NH₃-N、TP 已达到地表Ⅲ类水质标准, 人工湿地对 COD、BOD₅、NH₃-N、TP 的去除率分别为 50.2% 、 46% 、 53.3% 和 46.7% 。

表 2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

项 目	进水均值	三级出水均值	湿地出水均值
COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	171	21.3	10.6
BOD ₅ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	67.3	5.0	2.7
SS/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	177	6.7	
NH ₃ -N/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	26.9	0.3	0.14
TN/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	30.3	5.0	
TP/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.7	0.3	0.16
pH 值	7.6	7.5	

表 2 是在未使用混凝初沉池及粉末活性炭的情况下的运行效果, 本工程设置的混凝初沉池及投加粉末活性炭均作为事故进水时应急处理的备用措施, 实际正常运行并未使用。

5 经济分析

本工程总投资 3.1 亿元, 工程费用 2.58 亿元, 其中污水厂 2.12 亿元 (含 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水处理产生的污泥的脱水干化, 污泥干化含水率 $\leq 40\%$), 人工湿地 0.46 亿元, 污水处理成本 2.36 元/ m^3 , 运行成本 1.84 元/ m^3 , 电耗 $0.49 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。

药剂使用量: 混凝初沉池投加液体商品 PAC 溶液 (含 Al_2O_3 10%), 投加量为 45 mg/L (应急投加), PAM 投加量为 $0.5 \sim 1 \text{ mg/L}$ (应急投加); 粉末活性炭吸附加砂澄清池投加液体商品 PAC 溶液 (含 Al_2O_3 10%), 投加量为 $58 \sim 138 \text{ mg/L}$, PAM 投加量为 $0.5 \sim 1 \text{ mg/L}$, 粉末活性炭投加量 30 mg/L (应急投加), 微砂投加量分别为 2 mg/L (不投加粉末活性炭

时)、5 mg/L(投加粉末活性炭时)。

6 结论

工程实践表明,采用曝气沉砂+混凝初沉+改良 Bardenpho+粉末活性炭吸附加砂混凝澄清+紫外消毒+人工湿地处理生活污水,具有良好的处理效果,能够有效应对水质波动,稳定出水水质。

参考文献:

- [1] 张超,覃敏杰,徐冰心,等. 工业废水冲击负荷对污水处理厂 AAO 工艺运行影响的对策[J]. 净水技术,2017,36(7):67-70,86.
ZHANG Chao, QIN Minjie, XU Bingxin, *et al.* Countermeasure of impact load of industrial wastewater on operation of AAO process in WWTP [J]. Water Purification Technology, 2017, 36 (7) : 67-70, 86 (in Chinese).
- [2] 卢徐节,孙芮,柳林,等. 水解酸化/接触氧化/生物滤池工艺处理针织印染废水[J]. 中国给水排水,2008,24(22):60-62.
LU Xujie, SUN Rui, LIU Lin, *et al.* Hydrolysis acidification/contact oxidation/biofilter process for treatment of knitting printing and dyeing wastewater[J]. China Water & Wastewater, 2008, 24 (22) : 60-62 (in Chinese).
- [3] GRADY C P L, DAIGGER G T, LIM H C. 废水生物处理[M]. 3 版. 张锡辉,刘勇弟,吴光学,译. 北京:中国建筑工业出版社,2017.

建筑工业出版社,2017.

GRADY C P L, DAIGGER G T, LIM H C. Biological Wastewater Treatment[M]. 3rd ed. ZHANG Xihui, LIU Yongdi, WU Guangxue, translated. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017(in Chinese).

- [4] 孙力平,姜春杰,王少坡,等. 泥渣回流强化混凝沉淀工艺处理污水厂二级出水[J]. 中国给水排水,2005,21(5):24-28.

SUN Liping, JIANG Chunjie, WANG Shaopo, *et al.* Enhancing coagulation/sedimentation process by recycling activated sludge for treatment of secondary effluent from WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(5):24-28(in Chinese).

- [5] 白玉华,章小军,雷志洪,等. 垂直流人工湿地净化机理及工程实践[J]. 北京工业大学学报,2008,34(7):761-767.

BAI Yuhua, ZHANG Xiaojun, LEI Zhihong, *et al.* Mechanisms and applied engineering of vertical flow constructed wetland in wastewater treatment[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2008, 34 (7) : 761-767(in Chinese).

作者简介:姜春杰(1981-),男,山东威海人,硕士,高级工程师,主要从事给排水设计工作。

E-mail:80708032@qq.com

收稿日期:2021-01-05

修回日期:2021-01-19

(编辑:衣春敏)

加强湖泊管理保护
改善湖泊生态环境
维护湖泊健康生命