

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.06.022

反硝化生物滤池+高效沉淀池用于污水厂改造

缪攀

(东莞市厚街海清污水处理有限公司, 广东 东莞 523000)

摘要: 传统污水厂处理出水水质很难达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的准IV类标准,通常需要进行升级改造才能实现。某污水处理厂新增深度处理采用轻质反硝化生物滤池+微砂高效沉淀池工艺,处理水量为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理后的出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A排放标准提高到地表水准IV类标准,运行成本为 $0.355 \text{ 元}/\text{m}^3$,建设轻质反硝化生物滤池和微砂高效沉淀池投资成本分别为274、143.5元/ m^3 。该工程投运后取得较好的处理效果,可供其他提标改造项目参考。

关键词: 污水处理厂; 升级改造; 轻质反硝化生物滤池; 微砂高效沉淀池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)06-0113-04

Application of Denitrifying Biofilter and High Efficiency Sedimentation Tank in Upgrading of a WWTP

MIAO Pan

(Dongguan Houjie Haiqing Sewage Treatment Co. Ltd., Dongguan 523000, China)

Abstract: It is very difficult for the effluent of a traditional wastewater treatment plant to reach level quasi-IV in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), thus it usually needs to be upgraded. The advanced treatment process of a newly built WWTP with a treatment capacity of $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, adopts light denitrification biofilter and micro-sand high efficiency sedimentation tank. The effluent quality after treatment is improved from the first level A criteria in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) to the level quasi-IV in GB 3838-2002. The operating cost is $0.355 \text{ yuan}/\text{m}^3$. For this upgrading project, the investment costs of constructing light denitrification biofilter and micro-sand high efficiency sedimentation tank are $274 \text{ yuan}/\text{m}^3$ and $143.5 \text{ yuan}/\text{m}^3$ respectively. The excellent treatment performance has been achieved after operation, which could provide references for other upgrading projects.

Key words: WWTP; upgrading; light denitrification biofilter; micro-sand high efficiency sedimentation tank

轻质滤料反硝化生物滤池是在厌氧环境条件下,利用废水中的有机物和外部补充碳源,在聚苯乙烯轻质滤料上形成生物膜,将废水中的硝态氮还原为氮气,达到降低废水总氮的一种生物反应池。聚苯乙烯轻质滤料,具有质轻、比表面积大、吸附能力强、孔隙率高、滤速高、脱污能力强、颗粒大小均

匀、使用寿命长等优点^[1]。微砂高效沉淀池^[2-3]是在常规的混凝、絮凝沉淀工艺中同步加入有效粒径为 $80\sim 150 \mu\text{m}$ 的微砂,使之与污染物絮凝结合成一体,快速强化混凝、絮凝效果,使污水中的总磷、SS等在短时间内沉淀分离。微砂通过泵和砂水分离器进行回收、循环使用。某污水处理厂在升级改造中选

用轻质反硝化生物滤池+微砂高效沉淀池作为深度处理主体工艺,处理水量大,占地面积小,满足深度脱氮除磷的需求,解决了用地紧张问题,具有一定借鉴意义。

1 工程概况

该污水处理厂二期处理水量为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,运行超过 10 年,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。近年来,随着配套截污管网不断完善,污水厂进水污染物浓度逐渐上升,经常出现进水氨氮、总氮、总磷、SS 等超标现象,虽然通过科学的运行及增加药剂投加量,目前能解决进水超标的问题,但进水指标超标频次的日益增加大大提高了出水超标的风险。另外,当地政府要求,该污水厂二期出水水质主要指标要提升到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的 IV 类标准(TN、SS、粪大肠菌群不低于一级 A 标准),显然,现有的污水处理设施无法满足要求,需新增深度处理单元。

根据已有的运行经验,经过预处理及生物滤池单元的处理, BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 可确保达标, TN 需经深度脱氮工艺进一步处理才能达标。排放标准的提高,单纯依靠加大药剂量提高除磷效果,可靠性不足,过大的药剂量将导致过多碳源消耗在预处理段,加剧后续生物滤池碳源的不足,导致投加额外的碳源,增加了运行成本,所以该提标深度处理需选用脱氮、沉淀组合工艺来确保各项指标达标。经过综合比较,最终选定轻质反硝化生物滤池+微砂高效沉淀池组合工艺。

1.1 提标改造设计水量、水质

新建二期提标系统的设计进、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 | COD | BOD_5 | SS | TN | $\text{NH}_4^+\text{-N}$ | TP |
|------|-----|----------------|----|----|--------------------------|-----|
| 设计进水 | 30 | 6 | 20 | 25 | 1.5 | 2 |
| 设计出水 | 30 | 6 | 10 | 15 | 1.5 | 0.3 |

根据工程可研批复和现场实际处理量的需求,该污水厂二期提标改造工程处理水量仍为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.2 工艺流程

提标改造工程是在现有主体工艺基础上,新建

一座 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的轻质反硝化生物滤池和一座 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的微砂高效沉淀池。

现有的二期主体处理工艺为预处理池+曝气生物滤池/深床反硝化滤池+紫外杀菌,对进入二期处理系统的 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 能有较大程度的去除,但只能部分去除 TN,故新建深度处理工艺(轻质反硝化生物滤池+高效微砂沉淀池)重点针对 TN、TP、SS 指标进行处理,深度处理出水经过紫外消毒后排入附近水体。污水生物处理过程中产生的污泥采用重力浓缩+板框压滤工艺,脱水后外运处置。污水处理工艺流程见图 1。

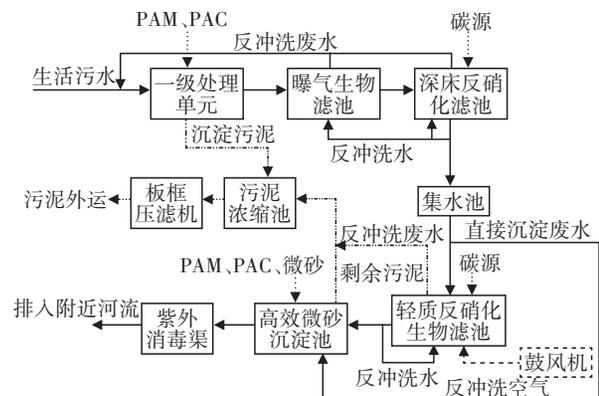


图 1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

2 工艺设计

2.1 轻质反硝化生物滤池

轻质反硝化生物滤池以主要成分为聚苯乙烯的人造颗粒为载体,在厌氧环境条件下,利用废水中的有机物以及外部补充碳源(乙酸钠),在载体表面培养、驯化反硝化生物菌群,对废水中的 TN 进行有效去除。

轻质反硝化生物滤池采用多组池体并联运行,经计算,设计了 10 组规格一致并呈对称分布的池体。原有工艺设施处理出水自流到中间集水池,由泵提升到轻质反硝化滤池的配水渠,每组池体通过闸门和气动进水控制阀联合精确分配处理水量,废水从池底向上流动,穿过滤料承托层、轻质滤料层,汇集到出水渠,重力流入下一级处理单元。轻质反硝化生物滤池通过安装在进水管路上的电磁流量计、进水渠和出水渠的液位计以及池底部的压力变送器,对相关参数进行实时收集,并同步传输到中控室,结合其他的在线仪表检测数据进行综合计算分析,做到全周期自动运行,实现了在线精确加药,

避免了人员误操作。单组轻质反硝化生物滤池如图2所示。

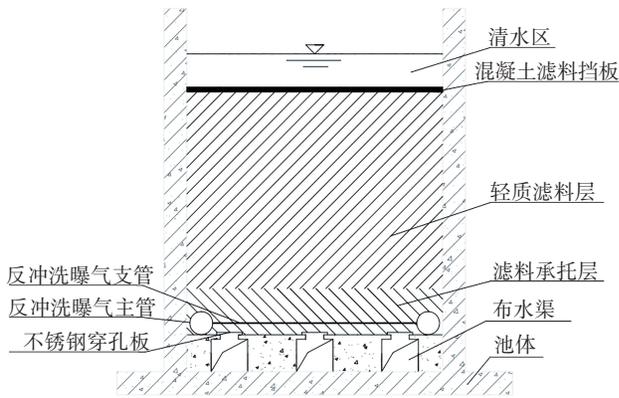


图2 轻质反硝化生物滤池示意

Fig.2 Schematic diagram of light denitrification biofilter

新建轻质反硝化生物滤池1座,钢筋混凝土结构,设计处理水量为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,占地 $1\,640 \text{ m}^2$,包含10格长方体反应单体。每格反应单体的尺寸($L \times W \times H$)为 $13.9 \text{ m} \times 6.1 \text{ m} \times 8.1 \text{ m}$,滤料反应区的有效容积为 16.9 m^3 ,清水区的设计净水头为 2.0 m 。反应单体内的轻质滤料高度为 3.5 m ,滤料承托层(塑料圆柱体)厚为 0.5 m 。污水从池底的配水渠进入反应单体,经过滤料承托层、轻质滤料层,从池顶汇流到出水渠,自流进入微砂高效沉淀池。污水在滤料层的有效停留时间为 31.8 min ,滤速为 9.8 m/h 。滤池反冲洗采用气洗、水洗、气洗+水洗组合的方式,水洗采用重力流冲洗,气洗强度最大只需 $19.81 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,远小于其他提标改造工程案例的气洗强度^[4],节省了风机能耗,降低了运行成本。

新建轻质反硝化生物滤池的工程量主要包括土建(不含基坑支护、土方外运等费用)、设备采购及安装。

工程造价成本:

- ① 土建混凝土用量 $8\,400 \text{ m}^3$,总价为550万元;
- ② 钢筋用量 $1\,000 \text{ t}$,总价为530万元;
- ③ 人工费为450万元;
- ④ 设备费为3160万元,安装费为790万元(按设备费的20%计)。

总计5480万元,单位造价成本为 $274 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

2.2 微砂高效沉淀池

微砂高效沉淀池是在常规的混凝、絮凝沉淀工

艺中同步加入有效粒径为 $80 \sim 150 \mu\text{m}$ 的微砂,使之与污染物絮凝结合成一体,快速强化混凝、絮凝,使SS、总磷得到有效去除。

经过轻质反硝化生物滤池处理的废水和从集水池直接超越的废水混合后,进入微砂高效沉淀池的配水渠,然后分配到各微砂沉淀池单体,进入单体的废水依次经过快速搅拌区、慢速搅拌区和斜板沉淀区。

加药系统分别在快速搅拌区和慢速搅拌区投加药剂,与已投加在废水中的细砂黏附形成矾花,在斜板沉淀区进行泥水分离,含有细砂的污泥通过循环泵被抽回到前端并通过砂水分离器离心分离,细砂被回用于慢速搅拌区加速矾花形成,污泥送到污泥浓缩池进一步处理。

新建微砂沉淀池1座,钢筋混凝土结构,分为4组平行运行,设计处理水量为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,占地 $1\,860 \text{ m}^2$,混合池(快速搅拌区)停留时间为 2.7 min ,反应池(慢速搅拌区)停留时间为 5.0 min ,斜板沉淀区的停留时间为 16.8 min 。

新建微砂高效沉淀池的工程量主要包括土建(不考虑基坑支护、土方外运等)、设备采购及安装。

工程造价成本:

- ① 土建混凝土用量 $8\,211 \text{ m}^3$,总价530万元;
- ② 钢筋用量 $1\,503 \text{ t}$,总价800万元;
- ③ 人工费560万元;
- ④ 设备费3080万元(不含电气、自控和备品备件);
- ⑤ 安装费770万元(按设备费20%计)。

合计5740万元,单位造价成本为 $143.5 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

3 工程运行效果

微砂高效沉淀池由于主要进行化学沉淀反应,仅用1d就使出水的相关水质指标达到设计要求。轻质反硝化生物滤池涉及反硝化菌的培养,处理污水的效果相对较慢,培养7d后,出水水质达到设计要求。

深度处理工艺系统运行调试结果见表2。

由表2可知,轻质反硝化生物滤池运行稳定后,去除TN量 $>15 \text{ mg/L}$,TN平均去除率为 82.5% 。为平衡运行费用,轻质反硝化生物滤池在只处理50%废水量的情况下,能确保最终出水TN浓度低于 15 mg/L ,满足排放要求。

表2 运行调试结果

Tab.2 Operation and commissioning results

mg·L⁻¹

| 日期 | COD | | SS | | TN | | TP | |
|--------|------|------|-----|-----|------|-----------------|------|------|
| | 进水 | 出水 | 进水 | 出水 | 进水 | 出水 [*] | 进水 | 出水 |
| 12月1日 | 22.3 | 35.1 | 8.2 | 7.4 | 22.8 | 21.4 | 0.60 | 0.30 |
| 12月2日 | 25.6 | 30.2 | 6.0 | 4.2 | 24.7 | 19.2 | 0.79 | 0.30 |
| 12月3日 | 33.2 | 28.4 | 7.1 | 3.8 | 17.5 | 13.2 | 2.21 | 0.41 |
| 12月4日 | 28.8 | 27.3 | 4.5 | 2.9 | 19.3 | 11.2 | 1.01 | 0.32 |
| 12月5日 | 20.5 | 19.3 | 3.7 | 3.0 | 20.0 | 11.8 | 0.80 | 0.29 |
| 12月6日 | 22.6 | 18.8 | 6.6 | 3.2 | 22.8 | 10.0 | 0.74 | 0.25 |
| 12月7日 | 25.9 | 22.7 | 5.7 | 3.1 | 24.7 | 8.5 | 0.62 | 0.22 |
| 12月8日 | 27.5 | 26.6 | 8.2 | 3.8 | 18.6 | 6.4 | 0.68 | 0.22 |
| 12月9日 | 28.3 | 26.2 | 6.5 | 2.9 | 20.2 | 4.3 | 0.78 | 0.28 |
| 12月10日 | 30.5 | 28.3 | 5.9 | 3.0 | 22.8 | 3.9 | 0.88 | 0.26 |
| 12月11日 | 33.4 | 29.8 | 6.4 | 3.2 | 20.5 | 4.2 | 0.79 | 0.22 |
| 12月12日 | 30.3 | 27.8 | 4.6 | 3.1 | 21.3 | 4.6 | 0.66 | 0.18 |
| 12月13日 | 26.4 | 25.5 | 3.8 | 2.1 | 22.4 | 4.8 | 0.58 | 0.15 |
| 12月14日 | 28.8 | 26.2 | 5.1 | 3.0 | 24.8 | 5.0 | 0.62 | 0.20 |
| 12月15日 | 29.2 | 27.5 | 7.2 | 3.4 | 23.6 | 4.2 | 0.72 | 0.24 |
| 12月16日 | 27.8 | 25.9 | 6.8 | 3.2 | 24.2 | 3.2 | 0.76 | 0.28 |
| 12月17日 | 31.7 | 29.1 | 4.4 | 2.8 | 22.5 | 3.7 | 0.68 | 0.25 |
| 12月18日 | 32.6 | 28.3 | 4.7 | 2.7 | 22.8 | 3.3 | 0.72 | 0.31 |
| 12月19日 | 27.9 | 25.2 | 5.6 | 2.8 | 22.4 | 2.8 | 0.68 | 0.28 |
| 12月20日 | 26.3 | 25.2 | 4.8 | 2.9 | 21.7 | 3.2 | 0.62 | 0.22 |

注：^{*}为轻质反硝化生物滤池的出水水样。

4 运行成本分析

根据已有的运行数据,新建深度处理工艺运行成本约为0.355元/m³,其成本明细见表3。

表3 运行成本

Tab.3 Running cost

| 项目 | 平均消耗量 | 单价 | 成本/(元·m ⁻³) |
|---------|--------------|--------------|-------------------------|
| PAC | 16 mg/L | 630 元/t | 0.001 |
| PAM | 1.2 mg/L | 16 000 元/t | 0.019 |
| 微砂 | 1.0 mg/L | 3 450 元/t | 0.004 |
| 20% 乙酸钠 | 250 mg/L | 1 300 元/t | 0.325 |
| 电 | 3 850 kW·h/d | 0.6 元/(kW·h) | 0.006 |

由表3可知,新建深度处理工艺的主要运行费用为补充投加碳源(乙酸钠),占整个提标系统运行成本的91.5%,故对碳源的精准投加是优化运行成本的重要一环。

5 结论

轻质反硝化生物滤池+微砂高效沉淀池作为污水深度处理工艺,在处理水量为40×10⁴m³/d时,占地面积仅为3 500 m²,具有处理水量大、占地面积小

的优势,比较适用于用地紧张的地区;根据调试运行数据,在总出水TN、TP、SS达标的情况下,深度处理段运行费用为0.355元/m³,其中碳源投加成本占整个提标系统的91.5%,因此碳源的精确投加是控制运行费用的关键;另外,该提标项目的轻质反硝化生物滤池和微砂高效沉淀池工程造价成本分别为274、143.5元/m³,其他提标改造项目可酌情参考。

参考文献:

- [1] 王芬,季民,牛育辉,等. 改性聚苯乙烯滤料在BAF中的应用[J]. 中国给水排水,2009,25(15):76-78.
WANG Fen, JI Min, NIU Yuhui, et al. Application of modified polystyrene media in biological aerated filter [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(15): 76-78 (in Chinese).
- [2] 王旭阳,刘天顺,陈伟楠. 磁混凝沉淀池在某污水处理厂升级改造中的应用[J]. 中国给水排水,2018,34(4):73-75.
WANG Xuyang, LIU Tianshun, CHEN Weinan. Application of magnetic coagulation sedimentation tank in upgrading of a wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(4): 73-75 (in Chinese).
- [3] 张素霞,徐扬,刘永康,等. ACTIFLO[®]微砂加重絮凝斜管高效沉淀技术[J]. 中国给水排水,2006,22(8):26-31.
ZHANG Suxia, XU Yang, LIU Yongkang, et al. ACTIFLO[®] high efficiency lamella settler with micro-sand ballasted floc technology [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(8): 26-31 (in Chinese).
- [4] 栗文明,高敏,周军,等. 反硝化滤池污水处理工艺应用调研及设计要点[J]. 中国给水排水,2020,36(22):100-105.
LI Wenming, GAO Min, ZHOU Jun, et al. Application survey and design points of the denitrification filter in wastewater treatment process [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 100-105 (in Chinese).

作者简介:缪攀(1986-),男,湖北仙桃人,硕士,工程师,主要从事污水厂建设和污水处理工艺调试工作。

E-mail: mp2740216@163.com

收稿日期:2021-01-22

修回日期:2021-03-24

(编辑:衣春敏)