

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.14.023

超磁分离与 BAF 组合工艺用于应急控源截污工程

龚宣亦, 王哲晓, 王 顺, 唐国强
(中建环能科技股份有限公司, 四川 成都 610045)

摘 要: 某污水处理厂因超负荷运行导致污水溢流,且受到占地、建设周期等因素制约,经过比选最终选择了超磁分离与无堵塞曝气生物滤池(BAF)组合工艺用于应急处置。介绍了该组合工艺的技术特点、技术参数、工艺流程、调试运行要点。该系统自 2018 年通水后,出水水质稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,累计削减 COD 约 224.2 t、SS 约 29.2 t、总磷约 5 t、氨氮约 41.8 t。该工艺投资成本约 2 645 万元,运行费用约 1.08 元/m³(不含投建费用),节省环保税约 88.06 万元。实践证明,该工艺在受到占地面积、施工周期等因素制约时仍能较好地发挥高品质应急控源截污作用,具有较强的技术可行性和一定的经济性。

关键词: 应急控源截污; 曝气生物滤池; 脱氮除磷; 超磁分离; 悬浮物

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)14-0132-05

Application of Super Magnetic Separation and BAF Combined Process in Source Sewage Emergency Control Project

GONG Xuan-yi, WANG Zhe-xiao, WANG Shun, TANG Guo-qiang
(CSCEC SIMEE Sci. & Tech. Co. Ltd., Chengdu 610045, China)

Abstract: Due to the overload operation of a sewage plant, and restricted by factors such as land occupation and construction period, the combined process of super magnetic separation and non-clogging biological aeration filter (BAF) was finally selected for emergency treatment after comparison. The technical features, parameters, process flow, conditioning, operation key points are elaborated. The effluent quality has stably reached the first level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) since operation in 2018. The total reductions of COD, suspended solids, total phosphorus and ammonia nitrogen are 224.2 t, 29.2 t, 5 t, and 41.8 t, respectively. The investment cost is about 26.45 million yuan, the operating cost is about 1.08 yuan/m³ (excluding building costs), and about 880 600 yuan green taxes are saved. The practice shows that it can still play the role of high-quality emergency source control and pollution interception well under the constraints of occupation area and construction period, and has strong technical feasibility and certain economic benefits.

Key words: source sewage emergency control; biological aeration filter; nitrogen and phosphorus removal; super magnetic separation; suspended solids

四川某污水处理厂已经建成运行近 10 年,原采用格栅+厌氧+氧化沟处理工艺,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。随着城市快速发展和人口的进一步增加,该污水厂的处理能力已远不能满足全部污水的达标处理,特别是汛期溢流污水量接近 1 ×

$10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,迫切需要一种建设周期短、占地小、费用省的高标准应急控源截污解决方案,以控制水环境污染的风险。

1 设计进、出水水质

结合城镇总体规划要求和该污水厂现状,确定溢流污水主要污染物指标为氨氮、总磷、SS等。结合当地排水系统与排水管网情况,该污水厂在扩改建期间会产生大量的溢流污水,此外,由于该厂主要接纳生活污水,随着城市发展预计未来依然以生活污水为主并呈持续增长态势。根据当地黑臭河道水环境综合整治的目标要求,以及当地水源地保护战略规划要求,需尽快处理溢流污水并达到一级A标准,即,增设 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 应急污水处理设施,原水为城市溢流生活污水,处理工艺为粗格栅+提升+细格栅+磁混凝+超磁分离+生物滤池+精密过滤+紫外线消毒,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。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/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
进水	300	150	180	30	3.5	6~9
出水	50	10	10	5(8)	0.5	6~9

注: 当水温 $< 12^\circ\text{C}$ 时出水 NH₃-N 执行标准为 8 mg/L。

2 工艺流程

结合上述污水厂接纳进水情况和目标要求,在应急处理领域具有比较优势的超磁分离净化技术成为首选,另外需要补充生化处理手段。

2.1 技术方案比选

超磁分离水体净化技术具有处理水量大、时间短、占地面积小、运行费用低等特点,适用于该项目,出水总磷为 $0.05 \sim 0.5 \text{ mg/L}$, $\text{SS} < 10 \text{ mg/L}$,但超磁技术不能很好地去除 COD、BOD₅、氨氮、总氮。经过技术比选,生化段 A²/O 工艺与 MBR 膜设备工艺因受到占地、周期、价格等因素制约而排除,选择常规二级污水处理工艺无堵塞曝气生物滤池(BAF),可结合滤池过滤作用,完成生物处理和悬浮物去除,节省了二沉池。在工艺流程中,可作为二级处理,或将滤池与其他二级工艺平行运行^[1]。在对二级处理升级改造时,滤池常作为三级处理硝化或(和)反

硝化单元,但其特性决定了对进水 SS 有较高的要求,一般要求进水 $\text{SS} < 60 \text{ mg/L}$ 。在除磷方面,若单独采用生物除磷,达不到现有出水 TP 要求。因此,要达到一级 A 排放标准,并有效控制 TP,比选确定采用超磁分离与 BAF 技术组合方案。工艺流程见图1。

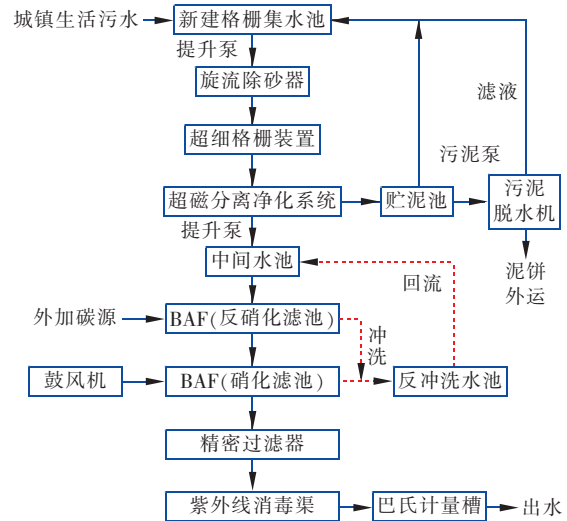


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

超磁分离与曝气生物滤池组合工艺主要包括:超磁分离水体净化成套设备、前置反硝化滤池、硝化曝气滤池、精密过滤。原水经机械格栅去除粗大固体杂物后提升至旋流除砂器,旋流沉砂器将污水中细小的砂状颗粒去除后,出水进入超磁系统进行预处理,超磁系统排泥进入贮泥池,经污泥脱水机处理后外运^[2]。随后污水进入反硝化生物滤池、硝化曝气生物滤池进行微生物生化降解,硝化曝气生物滤池出水回流至反硝化生物滤池,将来自好氧池混合液中的硝酸盐及亚硝酸盐还原成氮气逸入大气,达到脱氮的目的。硝化曝气生物滤池出水经过精密过滤器进一步去除 SS 和总磷,再经紫外线消毒,达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准后排放。

采用上向流的运行方式,污水从下部气水混合室进入,经滤头进入滤床,大粒径悬浮颗粒截留在滤池底部。上向流可以保证供气充足、混合均匀,防止气堵^[3]。

2.2 主要构筑物及设备参数

超磁分离净化系统采用集装箱式,污水处理站采用 MUM-15000 系统 1 套,含混凝、超磁分离处

理、加药及污泥处理4个部分,运行功率约40 kW。单套超磁系统采用1套混凝反应设备、2台集装箱,单台集装箱尺寸为9 125 mm × 2 950 mm × 2 896 mm。超磁分离机采用稀土永磁强磁材料组成一组强磁力磁盘打捞分离机,经磁混凝后形成的磁性悬浮絮团和水流经磁盘组之间的流道时,其中磁性絮团由于受到强磁力的作用,吸附在磁盘表面上,随着磁盘转动而从水体中分离出来,从而去除水中SS,实现与水的快速分离,水流经超磁分离机的时间约15 s。

在操作运行中,需注意系统需要维持一定量的磁粉,以便获得污染物最佳去除效果;标准化系列PAC配制浓度10%,投加量100 mg/L;PAM配制浓度0.1%,投加量2 mg/L。实际投加量根据现场的水质情况适当调整,PAC溶液配制浓度最高可达30%,PAM溶液配制浓度可达0.15%。

① 反硝化生物滤池

前置反硝化生物滤池采用可拆装的模块化模式,筒体采用钢结构。共设16套,单套直径3.2 m,高6.75 m。滤料层厚4.15 m。设计规模 1×10^4 m³/d,设计流量420 m³/h,反硝化负荷 $0.8 \sim 1.2$ kgNO₃⁻ - N/(m³ 滤料 · d);滤头布水系统;单堰出水;反冲洗排泥。

反冲洗形式:快速降水位 + 气水联合反冲洗。根据实际情况,一般反冲洗周期为24 ~ 48 h。

滤料:选择球型轻质多孔黏土烧结生物滤料,滤料层厚3.5 m,滤料规格为P3.5(有效粒径3.2 ~ 3.8 mm)。

承托层:底层破碎卵石直径18 ~ 25 mm,厚0.35 m;上层破碎卵石直径9 ~ 18 mm,厚0.15 m。

滤池专用防堵长柄滤头:滤头缝隙宽2.5 mm,缝隙长24.5 mm,单个滤头滤缝8条,滤头柄长330 mm,滤头分布为49个/m²。反冲洗水洗强度 $20 \sim 30$ m³/(m² · h);反冲洗气洗强度 54 m³/(m² · h);反冲洗历时3 ~ 10 min;回流比200%。

② 硝化生物滤池

硝化生物滤池采用可拆装的模块化模式,筒体采用钢结构。共设16套,单套直径3.2 m,高6.75 m。滤料层厚4.15 m。设计规模 1×10^4 m³/d,设计流量420 m³/h,硝化负荷 0.6 kgNH₃ - N/(m³ 滤料 · d),水力负荷 3.24 m³/(m² · h)。

主要完成对进水中氨氮的硝化,并对有机物进

行降解,同时截留SS。硝化滤池填装球型轻质多孔黏土烧结生物滤料,运行时通过鼓风曝气,利用滤料上生长、附着的微生物的代谢作用,吸附、降解污水中的氨氮和有机物。

滤头布水系统,单堰出水,反冲洗排泥。

反冲洗形式:快速降水位 + 气水联合反冲洗。根据实际情况,一般反冲洗周期为24 ~ 48 h。

滤料:选择球型轻质多孔黏土烧结生物滤料,滤料层厚4.15 m,滤料规格为P3.5(有效粒径3.2 ~ 3.8 mm)。

承托层:底层破碎卵石直径18 ~ 25 mm,厚0.35 m;上层破碎卵石直径9 ~ 18 mm,厚0.15 m。

滤池专用防堵长柄滤头:滤头缝隙宽2.5 mm,缝隙长24.5 mm,单个滤头滤缝8条,滤头柄长330 mm,滤头分布为49个/m²;反冲洗水洗强度 16 L/(m² · s);反冲洗气洗强度 12 L/(m² · s)。按每次同时反冲洗1台BAF罐考虑,则每次反冲洗用水量 462 m³/h、用气量 5.78 m³/min。

3 调试运行

由于无堵塞曝气生物滤池对进水SS要求较高(<60 mg/L),因此通过设置超磁分离净化系统对进水进行预处理^[4-5],采用精密过滤器预处理时,过滤孔径应小于滤池布水滤头,超细格栅(微过滤器、转鼓格栅、旋转格栅)宜选用筛网水平安装的产品,最好选择内进流孔板格栅解决毛发纤维物缠绕问题,并考虑布水方式能否采用其他方式。为了减少滤池长柄滤头堵塞,在中间水池的停留时间应大于30 min,使超磁出水中的药剂混凝充分反应,避免罐体滤头堵塞或滤料板结。系统需要维持一定量的磁粉,以便获得最佳污染物去除效果。

为了利用原水中的碳源,采用前置反硝化滤池,硝化滤池的出水回流,利用污水中的碳源、硝酸盐进行反硝化作用,去除总氮。硝化滤池则通过微生物、溶解氧氧化有机物,发生硝化作用,将氨氮转化为硝酸盐。从实际进水水质监测情况来看,总氮浓度较高、有机物浓度较低,前置反硝化不能完全满足出水标准,在调试运行期间需要根据情况外加碳源进行反硝化才能使总氮达标。利用现有其他项目以微生物接种的形式进行生物挂膜,可将微生物培养时间缩短为13 d,整个工期约45 d。

反冲洗频率与有机负荷、SS负荷、水力负荷、滤池内污泥产量、截留固体粒子的能力等因素有关。

频繁的反冲洗会导致生物膜脱落过多,尤其是对硝化类BAF极为不利。同时也会产生更多的固体量,并增加能耗。滤池反冲洗排水往往具有周期间断性、时间短、瞬时流量大的特点,若直接排入预处理系统会造成冲击,故应在进入排水缓冲池后,定量连续排入预处理系统。

运行过程中发现,综合水池出现絮体漂浮,同时伴随着出水TP超标的情况。建议设计为带沉淀排泥的水池,或增加扰动避免沉积。或者反冲洗用水池与回流池分建,反冲洗水用末端过滤后产水,也可定期清洗清水池,避免淤积。

2018年9月2日开始进行污泥接种,启动初期采用另外一个项目的活性污泥闷曝挂膜,2 d后转为正常水力负荷,由于采用了成熟的活性污泥,曝气生物滤池的启动相对顺利和快速,微生物生长良好,污染物去除率达到80%视为启动完成,2018年9月15日实现达标排放。

4 稳定运行效果

该应急控源截污工程调试通水以来,一直运行正常,出水满足设计标准。工程运行稳定后持续对进、出水水质进行了一年(2018年9月—2019年8月)的月度抽样调查的连续监测,平均进、出水水质数据如图2所示。

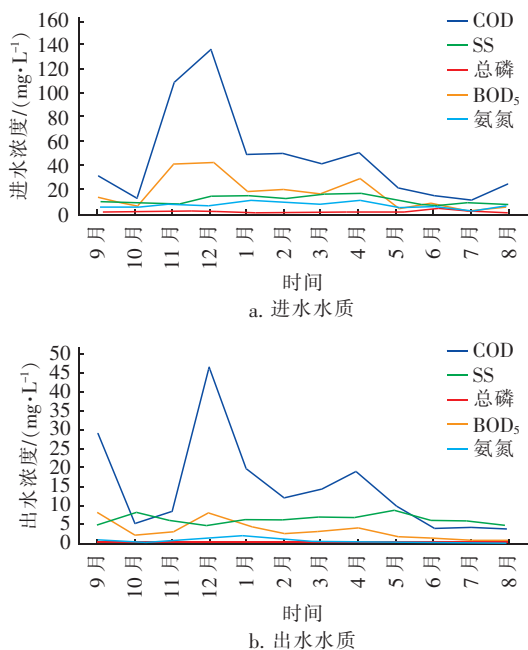


图2 实际进、出水水质

Fig. 2 Actual influent and effluent quality

由实际监测数据可知,在包含一次进水异常的

情况下,该溢流污水经系统处理后出水平均SS约6.3 mg/L,平均去除率38.7%;出水平均COD为14.7 mg/L,平均去除率达67.6%;出水平均总磷为0.16 mg/L,平均去除率达80.7%;平均氨氮为0.84 mg/L,平均去除率达87.0%;平均BOD₅为3.60 mg/L,平均去除率达77.0%。该工程实际运行效果良好,特别是除磷效果优异。整个处理站工艺布置合理、占地面积小、施工周期短,出水水质满足一级A标准,较好地解决了污水厂超负荷污水处理问题。

5 技术经济分析

① 技术分析

在主体工艺超磁净化系统中,由于加入磁种后形成的絮团更加紧实,处理后出泥含水率较低,可无需污泥浓缩直接脱水外运,节省了污泥浓缩投资费用。整个工艺流程不仅能在较短的时间内、较少的占地、较省的投资下完成溢流污水处理过程,出水指标还能稳定达到一级A标准,累计削减COD约224.2 t、SS约29.2 t、总磷约5 t、氨氮约41.8 t。

② 经济分析

该工程实施后,污水厂溢流污水可净化后直接排放,根据COD、SS、总磷、氨氮4项指标削减值测算,使用公式:应纳税额=污染当量数×具体适用税额;污染当量数=污染物的排放量÷该污染物的污染当量值(污染当量值依照《应税污染物和当量值表》执行,四川省二类水污染适用税额为2.8元每当量值),计算出节省环保税约88.06万元。

③ 生产运行经济分析

工程投资约2 345万元,运行成本约1.08元/m³(不含投建费用)。

6 结语

超磁分离技术和无堵塞曝气生物滤池工艺都具备占地面积小、施工周期短、运维难度小、容积负荷高的技术特点,但也具有出水指标覆盖能力不完整、或无生化处理能力、或无总磷和悬浮物处理能力等弱点。实际运用中,因为各自的运行工况的不同,工艺结合存在矛盾点,需要其他工艺手段来平衡,适当调整工艺组合方式。

值得关注的是,“超磁+”工艺组合不意味着就是只能在超磁后面加工艺,超磁工艺本身具备较强的技术延展性。其最大的优势在于SS和TP的去除,在本工程中超磁如果只作为预处理的核心,仅发挥了SS的去除作用,虽然该段总磷去除效果非常

好,但最终出水 TP 往往超过超磁出水,因此超磁除磷效果可能会因为出水 TP 超标而被弱化和忽略,需要加以改进。

在已经实施的同类型项目预处理段中,为了保证滤池运行效果,对 SS 去除的配置大同小异,但位置不同,效果也不同,因此超磁不建议直接放在滤池之前,可在滤池前增设内进流孔板格栅工艺解决毛发或纤维物缠绕堵塞问题,或置于最终出水端,弱化前端 SS 去除效果,强化末端 TP 去除能力,具体应根据实际情况与相关要求进一步调整。

参考文献:

- [1] 张小玲,李强,王靖楠,等. 曝气生物滤池技术研究进展及其工艺改良[J]. 化工进展,2015,34(7):2023 - 2030.
- ZHANG Xiaoling, LI Qiang, WANG Jingnan, *et al.* Research progress process improvement of biological aerated filter; a review [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2015, 34 (7) : 2023 - 2030 (in Chinese).
- [2] 唐纲,王吉白,杨平. 超磁分离在污水处理中的研究及应用现状[J]. 四川化工,2017,20(4):47 - 51.
- TANG Gang, WANG Jibai, YANG Ping. Magnetic separation in the research and application status of wastewater treatment [J]. Sichuan Chemical Industry, 2017,20(4):47 - 51 (in Chinese).
- [3] 龚起,顾平. 前置反硝化曝气生物滤池工艺的可行性分析[J]. 化学工程师,2015(9):39 - 44.
- GONG Qi, GU Ping. Pre-feasibility analysis denitrification BAF process [J]. Chemical Engineer, 2015 (9) : 39 - 44 (in Chinese).
- [4] 郑利兵,佟娟,魏源送,等. 磁分离技术在水处理中的研究与应用进展[J]. 环境科学学报,2016,36(9):3103 - 3117.
- ZHENG Libing, TONG Juan, WEI Yuansong, *et al.* The progress of magnetic separation technology in water treatment [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36 (9) : 3103 - 3117 (in Chinese).
- [5] 王哲晓,吕志国,张勤. 超磁分离水体净化技术在水环境领域的典型应用[J]. 中国给水排水,2016,32(12):34 - 37.
- WANG Zhexiao, LÜ Zhiguo, ZHANG Qin. Typical application of ReCoMag system in water environment [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32 (12) : 34 - 37 (in Chinese).

作者简介:龚宣亦(1991 -),女,四川成都人,硕士,工程师,主要研究方向为水污染防治技术及环境市场管理。

E-mail:gxuanyi@163.com

收稿日期:2020 - 03 - 10

修回日期:2020 - 03 - 17

(编辑:衣春敏)

强化水资源监管,

落实最严格水资源管理制度