

厌氧—生物接触氧化—滤布滤池深度处理校园污水

刘小倩¹, 王西峰¹, 胡晓莲¹, 陈杨涛¹, 班云霄²

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 兰州交通大学 环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 西北干旱地区某校园污水先采用水解酸化阶段—产甲烷阶段分离的厌氧生物处理及两级生物接触氧化处理,出水再进行滤布滤池深度处理。结果表明,该工艺有效地将高有机物浓度、高氨氮的校园生活污水处理后达到城市污水再生利用杂用水的水质标准。该工程利用厌氧污泥回流到产甲烷阶段前,腐殖污泥回流到水解酸化池并加大污泥回流率的方法,基本无剩余污泥排放。

关键词: 校园污水; 再生水利用; 两阶段厌氧生物处理; 生物接触氧化; 滤布滤池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)02-0093-05

Anaerobic/Biological Contact Oxidation/Filter Cloth Filtration for Advanced Treatment of Campus Sewage

LIU Xiao-qian¹, WANG Xi-feng¹, HU Xiao-lian¹, CHEN Yang-tao¹, BAN Yun-xiao²

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The combined process of hydrolytic acidification, methane production phase separation, two-stage biological contact oxidation and filter cloth filtration was used to treat campus sewage in the northwest arid region. The results showed that the process could efficiently treat the campus sewage with high concentration of organic matter and ammonia nitrogen to meet *The Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Urban Miscellaneous Water Consumption* (GB/T 18920-2002). In this project, anaerobic sludge was refluxed to methane production stage, humus sludge was refluxed to hydrolytic acidification tank, and the sludge reflux rate was increased, so that almost no residual activated sludge was discharged.

Key words: campus sewage; reclaimed water utilization; two-stage anaerobic biological treatment; biological contact oxidation; filter cloth filtration

1 项目概况

随着农村偏远地区越来越多大中型学校的出现,校园污水的污染问题也逐渐突显出来^[1]。甘肃省西部地区某乡镇小学、中学一贯制寄宿性学校,学生约为2 000人,教职工约为100人,学校地处西北偏远干旱地区,水资源短缺,校园卫生条件较差,生

活污水由洗衣废水、食堂废水、冲厕及淋浴废水等组成,污水处理规模为60~100 m³/d。要求污水经深度处理后达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)标准后回用于冲洗厕所、道路和校园绿化,同时不产生剩余污泥。

由于该学校地处西北地区,冬季寒冷干燥,夏季

炎热,因此用水量、污水水质月际变化较大。校园污水经化粪池处理后的实际水质如表1所示。

表1 原水水质

Tab.1 Campus sewage quality

项目	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₄ ⁺ - N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
数值	800 ~ 2 000	450 ~ 1 400	120 ~ 200	160 ~ 650	100 ~ 450	14 ~ 19	7.1 ~ 7.4

从表1可见,该污水有机物及氨氮浓度均较高,水质水量的变化又较大,而处理水还要求达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920 - 2002)标准后回用,以及无剩余污泥排放等。综合上述情况,最终采用的工艺流程如图1所示。

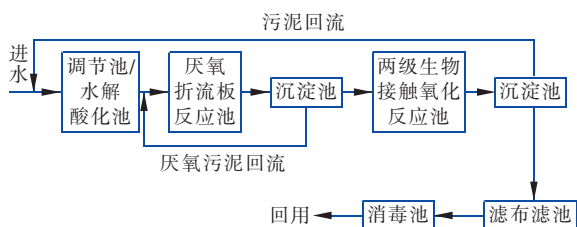


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

2 主要处理单元及其参数

2.1 调节池/水解酸化池

冬季进水有机物浓度高,污水的可生化性好,有机物水解酸化速度快,导致pH值快速下降,干扰厌氧产甲烷阶段的运行。该工程将厌氧生物处理的产酸发酵阶段和产甲烷阶段分别放在不同的反应池完成。调节池同时用作产酸发酵池,使进水中的有机物在发酵菌及产酸菌的作用下快速水解,完成产酸发酵阶段。一般产酸发酵阶段会导致反应池内的pH值下降,但是由于进水氨氮含量较高,氨氮产生的碱度物质会中和有机酸,使水解酸化池出水pH值不至于过量下降,一般能维持产酸发酵池出水pH值为6.6~6.8,对产甲烷阶段不会产生较大的影响^[2-3]。同时,将好氧沉淀池污泥也回流到本处理单元,回流污泥中的硝酸盐氮在此进行反硝化脱氮,反硝化不彻底产生的亚硝酸盐氮还能继续进入厌氧折流板反应池,与原污水中的氨氮进行厌氧氨氧化,进一步降低出水中的氮源污染物。

调节池/水解酸化池采用钢筋混凝土结构矩形水池,平面尺寸为2.0 m×4.0 m,池深为4.3 m,有效水深为3.8 m,HRT=7~12 h,VSS=30 g/L,池内设潜水泵2台(1用1备),在池底设多孔搅拌管3

根,管径为48 mm,管底向下设45°斜孔用于对池内水流进行搅拌混合。潜水泵出水一部分提升至后续处理构筑物,另一部分回流至池内多孔管用于循环搅拌,从而满足水解酸化过程中有机物与发酵菌的接触要求。调节池/水解酸化池进口设格栅槽,槽宽为1.0 m,栅条间隙为10 mm,安装倾角为60°,采用人工定期清除栅渣。

2.2 改良式厌氧折流板反应池

常规的厌氧折流板反应池利用隔板将反应池进行分割,池内上向水流和下向水流间隔出现,由于污泥的密度大,因此下向流部分厌氧污泥聚集在池底,难以发挥应有的生物活性,反应器容积利用率下降。为了克服这种缺陷,设计中往往将下向流部分容积缩小,扩大上向流部分反应器的容积,但是这样带来的负面作用是升流区水流速度降低,污泥同样易于聚集在反应器底部。本工程采用同时从厌氧沉淀池和生物接触氧化沉淀池回流污泥,提高回流污泥率来增加反应器内水流流速,使升流区流速达到0.8~1.25 m/h,升流区污泥处于膨胀状态,反应器的运行方式类似于厌氧膨胀床工艺,提高了容积利用率^[3]。而升流区较高的上升流速也有助于对反应器内的污泥颗粒进行筛选,小颗粒污泥随水流排出,升流区仅保留大颗粒污泥。而在降流区,由于高速水流的剪切作用,使流失的小颗粒污泥破碎后重新被升流区颗粒污泥吸附,进一步加大了升流区污泥颗粒的直径,最终留存反应器内的只有大颗粒的厌氧污泥,污泥颗粒越大,越有利于提高反应区污泥浓度,增加厌氧反应速度,也有利于后续泥水分离。通过一段时间的运行观察,反应器内的污泥颗粒直径保持在2~3 mm,远高于普通的厌氧折流板反应器。本工艺由于采用产酸阶段和产甲烷阶段分离的工程措施,保证了产甲烷菌最佳的生存环境,提高了厌氧反应速度。

改良式厌氧折流板反应池采用钢筋混凝土结构矩形水池,平面尺寸为2.0 m×8.0 m,池深为4.3 m,有效水深为3.8 m,HRT为15~24 h,VSS为25

g/L,污泥回流比夏季为300%、冬季为400%,其中回流的厌氧污泥占总回流的50%,厌氧污泥回流至产甲烷阶段,而生物膜法后污泥回流至产酸发酵池^[4]。反应池内采用钢板分隔为8个反应室,最后1个反应室兼作沉淀池,在沉淀池内设2台潜水泵(1用1备,配套电机功率为1.1 kW)进行厌氧污泥回流。

2.3 生物接触氧化池

生物接触氧化池分为两级。采用斜饼柱状填料,该填料类似一个斜切的圆柱体,内部具有放射状支撑结构,这种结构使填料在内外水流的作用下,在池中沿柱轴方向运动,从而引起填料间的相互摩擦,加速填料表面生物膜的脱落更新;同时填料中心水流流速较高,在水力剪切力的作用下,引起填料内部生物膜的脱落更新;在这两种水流作用下,抑制了填料内外表面生物膜的厚度,使生物膜始终保持较高的活性,提高生物反应速度,有助于获得良好的出水水质^[5]。生物接触氧化池的另一个主要功能是对厌氧反应出水的氨氮进行硝化反应,使厌氧出水中剩余的氨氮被氧化为硝酸盐氮,进而随高比率回流污泥被回流至厌氧反应池,与进水中的氨氮进行厌氧氨氧化,最终消除废水中的氮源污染物。

生物接触氧化池两级串联,钢筋混凝土结构矩形水池,单池平面尺寸为2.0 m×4.0 m,池深为4.3 m,有效水深为3.8 m,两级生物接触氧化池的HRT均为7~12 h,第一级有机负荷率为0.3~0.5 kgBOD₅/(m³·d),第二级有机负荷率为0.1~0.2 kgBOD₅/(m³·d)。采用鼓风供氧,曝气量为15 m³/m³污水,设配套鼓风机2台(1用1备),配套电机功率为7.5 kW。

2.4 沉淀池

该工程的沉淀池分为厌氧沉淀池与好氧沉淀池,沉淀池兼有沉淀与回流污泥泵站的双重作用。采用竖流式沉淀池,其最大优点是占地面积小,但是沉淀区水流方向与颗粒物沉淀方向相反,导致粒径较小的颗粒物被上升水流带至出水区,沉淀效果较差。为了克服这一缺点,将沉淀池与污泥泵站合建,将沉淀池污泥斗改为污泥泵站,利用不间断的回流污泥加速沉淀区下向水流,通过污泥回流引起的下向水流与沉淀区上向水流之差,补偿了上升水流对小颗粒污泥沉淀的不利影响,从而提高了泥水分离效果。

该工程将好氧污泥回流率加大到夏季为300%、冬季为400%。提高好氧污泥的回流比有3个优势:首先,废水生物处理对氨氮的氧化主要在好氧反应池进行,这样回流污泥中就含有大量的硝酸盐氮,硝酸盐氮与进水中的氨氮在厌氧反应池中进行厌氧氨氧化,去除废水中氨氮污染物;其次,提高好氧污泥到厌氧反应器的回流率,能有效利用厌氧反应去除剩余污泥,从而省去专用的污泥处理系统;第三,将好氧污泥回流到厌氧反应器前端,能加大厌氧反应器的进水负荷,提高厌氧反应器颗粒污泥的产率,从而提高厌氧反应器的处理效率。

沉淀池为钢筋混凝土结构矩形池,平面尺寸为3.0 m×3.0 m,有效水深为3.5 m,HRT均为1.5~2.5 h,表面负荷为1.5~2.5 m³/(m²·h)。池内安装潜水泵2台(1用1备),配套电机功率为1.1 kW。

2.5 滤布滤池

滤布滤池采用小孔(<0.1 μm)纤维滤布,低压力重力过滤,过滤时滤布两侧的水位差仅为0.1~0.2 m,水流穿过滤布时的流速低,滤布对水中SS的截留效果好,在进水SS≤30 mg/L的条件下滤后出水SS≤10 mg/L,且出水效果稳定,水质清澈^[6]。该机配备有滤布自动冲洗水系统,利用滤后水进行冲洗,主要目的是冲洗滤布表面截留的SS和附着生长的微生物,恢复过滤孔隙,冲洗水用量为产水量的3%,定时自动反冲洗,每过滤运行2 h,依次冲洗滤布正面1 min、反面1 min。

经过半年的运行监测发现,该滤池产水量稳定。刮取滤布表面附着物进行检测,发现即使刚冲洗结束的滤布表面仍然附着一层生物膜,膜内的微生物主要为好氧微生物,通过与无污染滤布进行对比过滤试验,发现该生物膜的存在能有效地降低出水SS,获得良好的出水水质。

3 工艺特点

由于该工程地处西北干旱地区,冬季气候寒冷,因此构筑物全部地埋,利用地温进行保温;根据该校环境卫生要求,不能建设剩余污泥处理设施,需按无剩余活性污泥工艺进行设计,故选择生物接触氧化工艺。该工艺为生物膜法和普通活性污泥法的结合,利用生物膜法污泥量大、污泥龄长的特点来降低剩余污泥量,同时利用人工曝气来增加混合液中的含氧量,提高生物处理效率。同时,加大污泥回流

率,生物膜法产生的剩余污泥首先回流到产酸发酵池,经产酸发酵菌的水解发酵作用转化为易于被产甲烷菌所利用的有机物而后再在产甲烷阶段生成甲烷等物质后排放大气。厌氧折流板反应后的厌氧沉淀污泥回流到厌氧反应器进一步内循环分解。通过这两个污泥回流,使得污泥龄无限延长,从而实现基本无剩余污泥产生的效果。

在厌氧生物处理过程中,产酸发酵菌和产甲烷菌增殖所要求的环境截然不同,产甲烷菌要求绝对厌氧,而产酸发酵菌为兼性菌和厌氧菌;产酸菌要求较低的 pH 值,而产甲烷菌要求的 pH 值相对较高,因此,将产酸阶段和产甲烷阶段完全放置在不同的反应池内来完成,有利于为这两类细菌营造良好的环境、发挥最大的处理效率。

利用滤布滤池结构简单、自动化运行、效果稳定的特点进行深度处理以满足回用水的要求。

4 工艺运行及成本分析

4.1 工艺运行

该工程于 2015 年 6 月—8 月进行土建施工,2015 年 9 月初投入接种污泥进行启动调试运行。厌氧污泥来自本校和附近居住小区的化粪池,产酸发酵池污泥的接种量为 30 g/L,厌氧折流板反应池的接种量为 50 g/L。采用连续培养法,在调试期均按设计水量进水^[7]。调试期产酸发酵池反应速度较快,2 个星期即达到了设计运行条件。厌氧折流

板反应池的调试周期较长,为了弥补产酸发酵初期 pH 值下降过快的问题,在调试期向产酸发酵池出水中投加石灰粉以补充碱度,使厌氧折流板反应池进水的 pH 值 ≥ 7.0 以满足产甲烷菌属的要求。厌氧折流板反应池在培养启动期采用不连续式污泥回流,最初一个月内运行 2 h、污泥回流 10 min;第二个月厌氧池运行 1 h、污泥回流 10 min;第三个月厌氧池运行 1 h、污泥回流 30 min。通过这些方式保证以最快的速度累积产甲烷菌属厌氧污泥。生物接触氧化池微生物采用自然培养法:初始的第一个月每隔 1 h 曝气 20 min,第二个月每隔 1 h 曝气 30 min,第三个月曝气 30 min,停止曝气 30 min。在调试阶段滤布滤池停止运行,处理水直接排放。调试期结束的标志是生物处理构筑物出水 $BOD_5 \leq 20$ mg/L,同时满足绿化标准要求。调试期历时 3 个月。调试结束后开启滤布滤池进行深度处理,经检测出水满足设计要求。

该工程于 2016 年 4 月开始验收监测,其间平均处理水量为 $67 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质见表 2,各项指标均能稳定地满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)标准。该工艺从调试启动起,系统内没有排放剩余污泥,也没有发生污泥膨胀等异常现象,其中经历了两个寒假和一个暑假的中断运行,假期后系统能够自动恢复正常处理,出水水质也没有出现异常,说明整个工程达到了设计要求。

表 2 监测运行期间的进、出水水质

Tab. 2 Influent and effluent quality during monitoring operation

项目	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₄ ⁺ - N/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值	浊度/ NTU
进水	940	610	95	329	210	17	7.3	400
出水	36	7	5.4	13	9.3	11	7.1	3.4
标准	—	≤ 10	≤ 10	—	≤ 10	—	6~9	≤ 5

4.2 成本分析

该工程的建设成本为 41 万元,主要为曝气机、污泥回流及滤布冲洗等费用,总装机功率为 12.6 kW。根据一年多的运行经验,平均处理费为 2.26 元/ m^3 。其中,冬季平均运行成本为 2.73 元/ m^3 ,夏季平均运行成本为 1.81 元/ m^3 ,与多数正在运行的再生水处理工程成本相当。

5 结论

① 采用产酸发酵—厌氧折流板反应—两级生物接触氧化—滤布滤池工艺处理西北干旱地区高有

机物、高氨氮的校园生活污水,处理出水水质能稳定地满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)标准。

② 采用厌氧污泥和腐化污泥分别回流,同时加大污泥回流率的方式可以将剩余污泥在反应过程中厌氧消化,实现无剩余污泥排放。

③ 两阶段厌氧生物处理及两级生物接触氧化运行条件下,采取加大污泥回流率等措施,能有效地实现高有机物、高氨氮污水的处理。

④ 滤布滤池是一种简单有效的深度处理装

置,对再生水的水质具有较高的保障作用。

参考文献:

- [1] 郭可可,袁林江,陈光秀,等. 分格式 SBR 法处理冬季校园生活污水试验研究[J]. 水处理技术,2010,36(12):80-82,108.
Guo Keke, Yuan Linjiang, Chen Guangxiu, *et al.* Research on the treatment of schoolyard domestic sewage with the cellular SBR process in the winter [J]. Technology of Water Treatment, 2010, 36(12): 80-82, 108(in Chinese).
- [2] 任南琪,王爱杰. 厌氧生物技术原理与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
Ren Nanqi, Wang Aijie. Principle and Application of Anaerobic Biological Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004(in Chinese).
- [3] 李永峰,李巧燕,王兵,等. 环境生物技术:典型厌氧环境微生物过程[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2014.
Li Yongfeng, Li Qiaoyan, Wang Bing, *et al.* Environmental Biotechnology: Typical Environmental Microbial Anaerobic Process [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2014(in Chinese).
- [4] 崔玉川. 城市污水厂处理设施设计计算[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,2011.
Cui Yuchuan. Design and Calculation of Treatment Facilities for Municipal Wastewater Treatment Plant[M]. 2nd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2011 (in Chinese).
- [5] 刘智晓,崔福义,句立展,等. 多级生物膜过滤工艺处理生活污水的研究[J]. 中国给水排水,2008,24(13):9-13.
Liu Zhixiao, Cui Fuyi, Ju Lizhan, *et al.* Research on decentralized domestic sewage treatment using multi-stage biofilm process[J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(13): 9-13(in Chinese).
- [6] 蒋富海,安鹏. 高密度澄清池—滤布滤池在污水深度处理中的应用及控制[J]. 给水排水,2017,43(4):24-28.
Jiang Fuhai, An Peng. Application and control of high density clarifier - cloth filter in advanced wastewater treatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(4): 24-28(in Chinese).
- [7] 李激. 变水量动态培菌法在污水厂调试中的应用[J]. 中国给水排水,2004,20(4):99-100.
Li Ji. Application of dynamic bacteria culture method by varying flow rate in the commissioning of wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2004, 20(4): 99-100(in Chinese).



作者简介:刘小倩(1994-),女,湖南益阳人,硕士研究生,研究方向为废水污染控制技术。

E-mail:1368582900@qq.com

收稿日期:2019-08-22

节约用水强监管,保护资源补短板