

压力曝气生物滤池处理生活污水的中试研究

张 滢, 张玉先

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘 要: 为避免新兴城市小区、小城镇、度假村等分散污水的直接排放而污染环境, 研制出一种小型生活污水处理设备, 并以某污水厂的沉砂池出水为原水进行中试研究, 考察了其处理效能。结果表明, 这是一种经济实用的分散式处理工艺, 对生活污水中的污染物具有较好的去除效果, 出水水质良好; 该设备启动较快, 当水温 > 20 时自然挂膜大约需要 28 d, 可采用对氨氮和亚硝酸盐氮的去除效果达到稳定作为设备启动成功的判定标准; 该工艺较适宜的进水 COD 负荷为 $5 \sim 30 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 进水 SS 浓度宜控制在 80 mg/L 以下, 适宜的运行温度为 $15 \sim 30$, 当温度 < 10 时可通过延长水力停留时间来提高处理效果。

关键词: 压力曝气生物滤池; 生活污水; 氨氮; 生物沸石; 水力停留时间

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2008)07-0016-05

Pilot-scale Study on Pressure Biological Aerated Filter for Domestic Sewage Treatment

ZHANG Ying, ZHANG Yu-xian

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to avoid the water environment pollution caused by direct discharge of decentralized domestic sewage from residential areas in new cities, small towns, holiday villages and so on, a small-sized domestic sewage treatment facility was developed. A pilot-scale study was carried out using effluent of grit chamber in a sewage treatment plant as raw water, and the treatment efficiency of the facility was investigated. The results show that it is an economic and practical decentralized treatment facility that can effectively remove pollutants from domestic sewage. The effluent quality is better. This facility starts up quickly. When the sewage temperature is more than 20 , the time of the biofilm formation is about 28 days. The relative stable and high removal rates of ammonia nitrogen and nitrite nitrogen can be taken as a criterion indicating whether the facility starts up successfully. The suitable influent COD loading ranges from 5 to $30 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ and the concentration of SS should be less than 80 mg/L . The suitable operation temperature is between 15 to 30 . When the temperature is less than 10 , the hydraulic retention time (HRT) should be prolonged to maintain the good removal effect.

Key words: pressure biological aerated filter; domestic sewage; ammonia nitrogen; biozoo-lite; HRT

目前,研发集预处理、二级处理与深度处理于一体的小型污水净化装置已成为国内外分散处理污水

的一种趋势^[1,2]。这种小型生活污水处理设备要求:安装简单;采用粗放型工艺^[3],非专业人员经过

简单培训即可维护管理;运行稳定可靠、高效低耗、费用低^[4~6]。根据以上要求,在借鉴了压力溶气^[7]和曝气生物滤池工艺的原理后,自行研制出压力曝气生物滤池,并在上海某污水厂进行中试,考察了对 COD、氨氮和 SS 的去除效果,以期为该设备的工程应用提供技术支持。

1 试验装置和方法

1.1 试验装置

压力曝气生物滤池如图 1 所示。

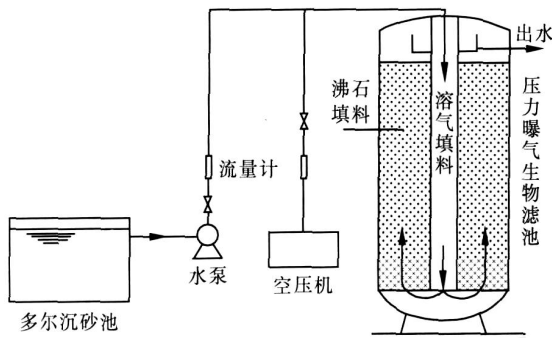


图 1 压力曝气生物滤池工艺流程

Fig 1 Flow chart of pressure biological aerated filter

钢制滤池的总高度约为 1.90 m,直径为 500 mm,中心是直径为 100 mm 的溶气管道,内装溶气填料。采用缙云天然斜发沸石作为填料,密度为 2.16 g/cm³,含水率为 7%~14%,孔径为 35~40 nm,比表面积为 230~320 m²/g。滤料层总高度约为 1 m,膨胀度为 40%。

滤池进水采用上向流,气、水经中心溶气通道充分混合后自下而上经过滤层,使沸石处于半流化状态,出水经顶部的溢流堰排出,以避免下向流滤池易堵塞的缺陷。

1.2 试验水质

原水为上海某污水厂多尔沉砂池的出水,其水质见表 1。

表 1 原水水质

Tab 1 Quality of raw wastewater

项 目	COD / (mg · L ⁻¹)	NH ₃ - N / (mg · L ⁻¹)	SS / (mg · L ⁻¹)	水温 /	pH
启动期	266 ~ 1 498 (568)	15.0 ~ 42.7 (25.6)	115 ~ 783 (365)	20.9 ~ 26.2	6.2 ~ 7.7
低温 运行期	377 ~ 1 680 (692)	17.2 ~ 31.6 (24.8)	117 ~ 1 359 (479)	11.8 ~ 19.1	6.1 ~ 7.9

注: 括号内为水质平均值。

1.3 分析项目和方法

试验装置 24 h 连续运行,每天上午 8 点取样分析。检测项目包括: COD、BOD₅、SS、氨氮、NO₃⁻ - N、NO₂⁻ - N、总磷,均采用国家标准方法进行测定。

2 结果与分析

2.1 装置的启动

压力曝气生物滤池于 2006 年 10 月 25 日采用自然挂膜法启动,初始进水流量为 0.2 m³/h,水力停留时间为 56 min,气水比为 2:1,水温为 21~26

。挂膜期间对 COD 和氨氮的去除效果分别见图 2、3。

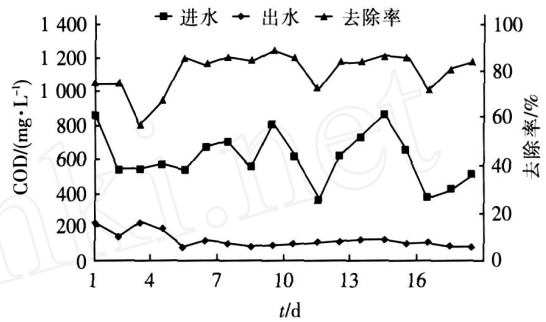


图 2 启动期间对 COD 的去除效果

Fig 2 Removal effect of COD during formation of biofilm

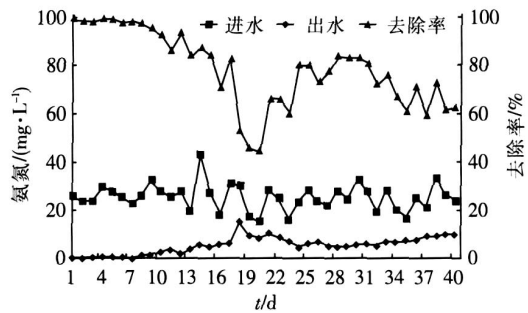


图 3 启动期间对氨氮的去除效果

Fig 3 Removal effect of ammonia nitrogen during formation of biofilm

由图 2 可以看出,反应器对 COD 的去除率较高,平均去除率可达 79% 左右。就去除 COD 而言,该装置的挂膜时间较短,当水温为 21~26 时只需 10 d 左右出水 COD 便能达到较低值且保持稳定。在启动初期主要靠沸石填料的截留过滤和吸附作用去除 COD,当沸石表面的异养生物膜成熟之后,则依靠沸石填料的物理截留和生物氧化联合作用去除有机物。

由图 3 可见,挂膜启动的初始一周内,进水氨氮平均浓度为 25.8 mg/L,出水氨氮平均浓度为 0.3

mg/L,对氨氮的去除率达 90%以上。由于此时沸石表面尚未形成硝化生物膜,故对氨氮的高去除率主要依靠沸石本身较强的离子交换和吸附能力。当沸石逐渐吸附饱和后,由于其生物作用仍然较弱,因此出水氨氮浓度逐渐上升,对氨氮的去除率不断下降。第 17~21 天沸石的吸附、交换能力趋于饱和,出水氨氮浓度较高(峰值浓度为 14.6 mg/L),然而对氨氮的去除率仍达 44%左右,这说明沸石表面已经形成了硝化生物膜。第 22~30 天出水氨氮浓度开始逐渐降低,对氨氮的去除率不断上升并趋于稳定,此时的出水氨氮平均浓度为 5.3 mg/L,达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》的一级标准,同时也达到了城市杂用水水质标准(GB/T 18920—2002)。

在此期间还对亚硝酸盐氮进行了不定期监测,结果表明:在启动初期出水亚硝酸盐氮浓度极低,多次未检出;至启动中期亚硝酸盐氮浓度逐渐升高,说明氨氮开始被微生物氧化成亚硝酸盐氮,但由于硝化菌的增殖速度较缓慢,此时会出现亚硝酸盐氮的积累;后期的出水亚硝酸盐氮浓度不断降低,说明硝化菌开始成熟,能及时地将亚硝酸盐氮氧化。第 28 天后,出水亚硝酸盐氮浓度一直保持在较低水平,可以认为硝化生物膜已经成熟,可以正常发挥其生物降解作用。

2.2 温度和进水有机负荷对除污效果的影响

2.2.1 温度的影响

不同温度下对 COD 和氨氮的去除率见图 4。

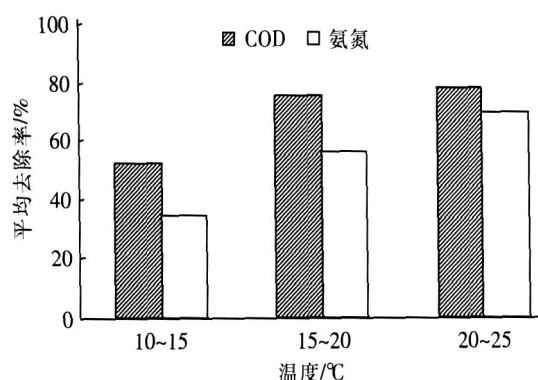


图 4 不同温度下对 COD 和氨氮的去除率

Fig 4 Removal effect of COD and ammonia nitrogen under different temperatures

根据 Arrhenius 公式,温度每下降 10℃ 则生化反应速率将降低 50%。由图 4 可知,当水温 > 15℃ 时对 COD 的去除率基本保持不变。这主要是因为原水中的大部分 COD 是通过沸石填料的物理截留

和过滤作用去除的,基本不受温度下降的影响。但由于出水中的 COD 主要来自沸石表面脱落下来的生物膜,当水温 < 15℃ 时水流粘滞力增大,水力剪切作用增强,同时低温条件下部分硝化菌的死亡也会导致生物膜脱落,所以在低温条件下对 COD 的去除率会明显下降。

硝化菌对环境的变化很敏感,硝化反应的适宜温度是 20~30℃,低温会明显抑制硝化菌的活性,甚至导致部分硝化菌死亡,因此水温变化对氨氮的去除效果影响较大。当反应器在水温 < 15℃ 下运行时,对氨氮的平均去除率显著下降,比启动中后期的低约 25%~40%,平均去除率在 35%左右;当水温 < 10℃ 时对氨氮的去除效果较差。

2.2.2 进水有机负荷的影响

进水有机负荷对 COD 和氨氮去除率的影响见图 5。

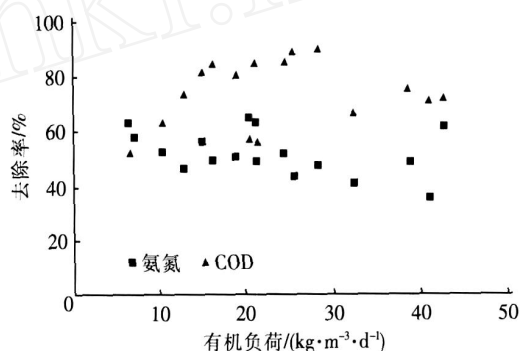


图 5 进水有机负荷对 COD 和氨氮去除率的影响

Fig 5 Effect of influent COD loading on COD and ammonia nitrogen removal

在水温为 23.4~15.4℃、进水 COD 平均浓度为 579 mg/L 的条件下,当进水 COD 负荷较低时对 COD 的去除率也较低。当水力负荷在 2~3 m³/h 之间变化、进水 COD 负荷介于 15~30 kg/(m³·d) 时,尽管出水水质有所下降,但是对 COD 的去除率比较稳定,平均去除率为 73.8%。

试验中温度的变化对氨氮的去除率影响较大,所以出现了部分离散数据,但总体上是随着进水 COD 负荷的增加而呈下降的趋势,说明 COD 负荷的增加对反应器的硝化能力有明显的抑制作用。原因是含碳有机物浓度太高会促使异养菌迅速增殖,而使自养型的硝化菌受到抑制,不能成为优势菌种,硝化作用受到影响。由图 5 可见,当进水 COD 负荷为 10~25 kg/(m³·d) 时,对氨氮的去除率为 43%

~65%。

2.3 水力停留时间对除污效果的影响

2.3.1 对 COD 去除效果的影响

图 6显示了水温为 15~20 时,水力停留时间(HRT)对 COD去除效果的影响。

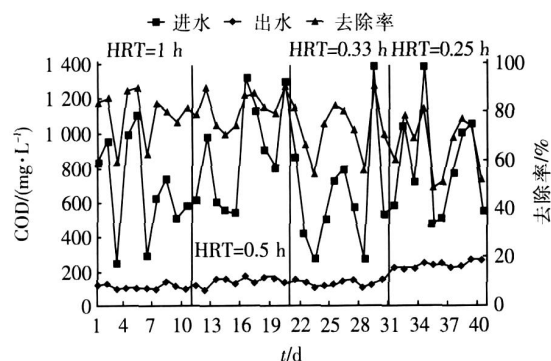


图 6 HRT对 COD去除效果的影响

Fig 6 Effect of HRT on COD removal

由图 6可以看出 HRT对 COD的去除效果有一定的影响,随着 HRT的减少则对 COD的平均去除率呈逐渐降低的趋势,当 HRT减少为 0.25 h时出水水质开始恶化,出水 COD的平均值为 239 mg/L。这是因为水力停留时间减少会使有机负荷增加,并增大了水流的剪切力,加快了沸石表面生物膜的脱落,造成出水 COD浓度上升。

2.3.2 对氨氮去除效果的影响

水温为 15~20 时,水力停留时间对氨氮去除效果的影响见图 7。

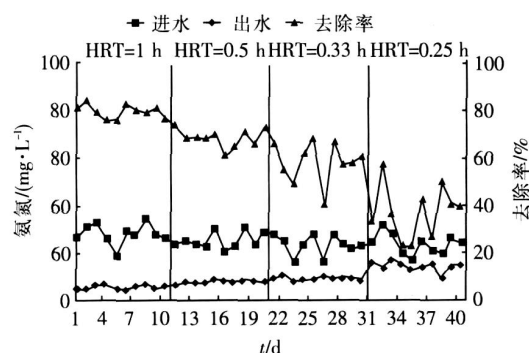


图 7 HRT对氨氮去除效果的影响

Fig 7 Effect of HRT on ammonia nitrogen removal

由图 7可知,延长水力停留时间能明显提高对氨氮的去除效果。当 HRT从 0.25 h延长至 1 h后,对氨氮的平均去除率提高了近 50%。这是因为延长水力停留时间后,水中的有机物可以和生物沸石充分接触,增加了生化作用的时间,同时延长水力停

留时间还降低了水力负荷,从而降低了对沸石表面的水力扰动和气流剪切作用。在同一工况条件下,当进水氨氮浓度发生较大变化时出水氨氮浓度变化不明显,表明该工艺抗冲击负荷能力强。

3 工艺运行讨论

3.1 进水水质及预处理

根据中试结果可知,本工艺进水 COD负荷的适用范围为 5~30 kg/(m³·d),当要求同步去除有机物和氨氮时,必须考虑进水有机负荷对硝化过程的影响,否则将影响对氨氮去除能力的发挥。一般而言,控制进水 COD负荷为 15~25 kg/(m³·d)时能够取得较为不错的 COD和氨氮去除效果。

虽然进水悬浮物浓度对氨氮的去除影响不大,但是如果进水 SS过高,则所截留的杂质覆盖在沸石表面后,将使得生物沸石与污水中的有机物无法充分接触,同时还会缩短滤池的运行周期,增加反冲洗次数,甚至导致反应器堵塞。结合曝气生物滤池的运行经验,本工艺进水 SS最好控制在 80 mg/L以下,以减轻反应器的负荷,减少其发生堵塞的可能性。为此,可考虑在处理工艺前采用高效固液分离技术进行预处理,如沉淀池、气浮池等。

3.2 挂膜成功的判断

异养菌的培养速度较快,而硝化菌的培养速度较慢,如果只以出水氨氮浓度降低并最终稳定作为启动成功与否的判断指标,则会存在一定的滞后性^[8,9]。因此在启动期间,以出水氨氮和亚硝酸盐氮浓度降低并稳定于较低水平作为启动成功的标志,同时辅以出水 COD浓度来确定。如果条件不允许,则以对 COD的去除率达到稳定作为判断依据,而在试验条件非常简陋的情况下还可用 pH值的变化情况进行简单判断^[10]。

3.3 水力停留时间

水力停留时间对设备大小、投资规模及运行费用都有重要的影响,需要结合实际情况综合考虑。延长水力停留时间可以提高处理效果,但会降低产水量,不够经济^[11,12]。在本试验条件下,当 HRT=0.33 h时反应器的运行较为经济,对 COD的平均去除率为 73.3%,对氨氮的平均去除率为 58.4%;当 HRT=0.5 h时,反应器的运行效果最佳,对 COD的平均去除率为 81.6%,对氨氮的平均去除率为 68.5%。在冬季低温条件下,可以通过适当延长水力停留时间来提高处理效果。

3.4 气水比

增大气水比有利于提高生物沸石对有机物和氨氮的去除能力,但当水中溶解氧浓度 $>4\text{ mg/L}$ 时,继续增加曝气量对提高去除效果的作用不大。本工艺采用压力溶气,氧的传输效率较高,溶气效果好,采用气水比为 1:1 就能使溶解氧浓度 $>2\text{ mg/L}$,因此将气水比控制在 $(1:1) \sim (2:1)$ 。

3.5 反冲洗

本工艺采用气、水平行上向流,和下向流相比其气、水能更好地均分,可有效避免沟流或短流现象发生,使滤池空间得到充分利用;同时沸石处于半流化状态也使得滤池不易堵塞,延长了反冲洗周期。根据中试结果,一般 2~4 d 反冲一次即可。

4 结论

在滤池启动期间,可以出水氨氮和亚硝酸盐氮浓度降低并稳定于较低水平作为启动成功的标志,同时辅以出水 COD 浓度进行判定。

本工艺适宜的进水 COD 负荷为 $5 \sim 30\text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,并应控制进水 $\text{SS} < 80\text{ mg/L}$;工艺运行的适宜温度是 $15 \sim 30^\circ\text{C}$,当水温 $< 10^\circ\text{C}$ 时可以通过延长水力停留时间来保证处理效果。

压力曝气生物滤池维护简单、运行稳定可靠、出水水质良好、抗冲击负荷能力强、反冲洗周期长,是一种经济可行的污水分散式处理工艺。

参考文献:

- [1] 王琳,王宝贞. 分散式污水处理与回用 [M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [2] 全向春,杨志峰,汤茜. 生活污水分散处理技术的应用现状 [J]. 中国给水排水,2005,21(4):24-27.
- [3] Lens P, Zeeman G, Lettinga G. 分散式污水处理和再利用——概念、系统和实施 [M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [4] 李彬,吕锡武,宁平,等. 自回流生物转盘 植物滤床工艺处理农村生活污水 [J]. 中国给水排水,2007,23(17):15-18.
- [5] 白永刚,吴浩汀. 滴滤池—人工湿地组合工艺处理农村生活污水 [J]. 中国给水排水,2007,23(17):55-57.
- [6] 侯立安,郭珍珍,左莉. 小型污水处理与回用技术及装置 [M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [7] 张玉先,李靖,李宪立,等. 臭氧生产装置和溶解氧化池设计 [J]. 中国给水排水,2003,19(1):76-78.
- [8] 田文华,文湘华,钱易. 沸石滤料曝气生物滤池去除 COD 和氨氮 [J]. 中国给水排水,2002,18(12):13-15.
- [9] 田文华,文湘华,钱易. 沸石滤料曝气生物滤池启动性能研究 [J]. 环境污染治理技术与设备,2002,3(12):38-42.
- [10] 陶婷婷,张玉先,汪胜. 沸石滤料生物滤池用于生活污水脱氮处理研究 [J]. 给水排水,2005,31(10):36-39.
- [11] 郑俊,吴浩汀,程寒飞. 曝气生物滤池污水处理工艺及其工程实例 [M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [12] 周云,戴婕,王占生,等. 曝气生物滤池在上海周家渡水厂的应用 [J]. 中国给水排水,2002,19(10):6-8.

作者简介:张滢(1983-),女,福建福清人,硕士研究生,研究方向为水处理理论与技术。

电话:(021)65985336 13916158863

E-mail:7baozi@gmail.com

通讯地址:200092 上海四平路 1239 号同济大学 0520 信箱

收稿日期:2007-10-20

以水资源的可持续利用

支持经济社会的可持续发展