

SBR式流化床船用生活污水处理设备 及其处理效果

单立志¹ 陈孟林^{1,2} 施汉昌¹ 王锐¹

(1. 清华大学环境科学与工程系,环境模拟与污染控制国家重点联合实验室,北京 100084;
2. 广西师范大学环境与资源学院,桂林 541004)

摘要 介绍了 SBR 式流化床船用生活污水处理设备的组成结构,对该设备进行了启动试验和污水处理效果试验,结果表明该设备具有启动方便、反应时间短的特点。当处理周期为 2 h 时,处理设备的出水水质完全满足《船用生活污水处理系统技术条件》(GB10833-89)的要求。

关键词 SBR 生物流化床 船用 生活污水 设备

中图分类号 X703.3 **文献标识码** A **文章编号** 1008-9241(2006)10-0128-04

The equipment and efficiency of SBR biological fluidized bed reactor for ship sewage treatment

Shan Lizhi¹ Chen Menglin^{1,2} Shi Hanchang¹ Wang Rui¹

(1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084;
2. College of Environmental Science and Resources, Guangxi Normal University, Guilin 541004)

Abstract The paper presents the structure of the equipment of SBR biological fluidized bed for ship sewage treatment. The experiments of the startup and treatment efficiency of sewage were performed, which showed that the set of equipment was featured with easy start-up and short retention time. When the treatment period is 2 h, the quality of effluent completely meets to the requirements of the technological standard of the treatment system of ship domestic wastewater (GB10833-89).

Key words SBR; biological fluidized bed; ship-used; domestic wastewater; equipment

好氧生物流化床废水处理技术是以生物膜法为基础,吸取化工操作中的流态化技术而形成的一种高效的废水处理工艺,是生物膜法的重要突破。其以砂、陶粒、活性炭和橡胶等颗粒状物质作为载体,流化的载体粒子具有很大的比表面积,一般可达 2000~3000 m²/m³。生物栖息于载体表面,形成由薄薄的生物膜所覆盖的生物粒子,生物固体浓度可达普通活性污泥法的 5~10 倍。生物载体在床层中被上升的废水和空气流化,不仅可防止生物滤池中的生物膜堵塞,而且由于生物载体、废水、空气三者之间的密切接触,可大大改善传质状况,使有机物去除速率增快,所需反应器容积减小。

在传统三相生物流化床的基础上发展起来的循环式三相生物流化床(包括内、外循环式流化床)在保持了反应器内混合性能好、传质速率快、污泥浓度大和有机负荷高等优点外,还具有可控制生物膜的

过度生长、载体流失量少、载体流化性能好、氧转移效率高、易于放大等特点。与外循环流化床相比,内循环流化床^[1,2]由于取消了升流区和降流区之间的过渡管段,故流动阻力小,反应器起始流化也较容易,从而降低了运行费用和操作运行的复杂性。

我国从 20 世纪 70 年代末开始进行生化法和物化法船用生活污水处理装置的研究^[3],90 年代后期,从美国引进了电解法处理装置。传统的生化法和物化法运行不稳定,操作复杂;电解法投资费用大,且污水中须维持一定的盐水浓度。对此,清华大学采用内循环生物流化床和电化学消毒技术研究开发了 SBR 式流化床船用生活污水处理设备,其集

收稿日期:2006-02-02;修订日期:2006-04-25

作者简介:单立志(1949~),男,高级工程师,主要研究方向:自动化在环境工程中的应用。

E-mail: shanlizhi@mail.tsinghua.edu.cn

SBR 工艺、生物流化床和电化学消毒的优点于一体，较好地解决了上述问题，本文对该设备的组成结构、启动与污水处理效果作一介绍。

1 SBR 式流化床船用生活污水处理设备简介

1.1 工艺流程

图 1 为 SBR 式流化床船用生活污水处理设备的流程框图。船用生活污水主要是餐饮用水及洗漱厕所排水，由于生活污水来水距污水处理设备比较近，因此污水首先经过格栅去除漂浮物、大颗粒物，进入调节池，停留一段时间，调节水量和水质后再用

泵输送至 SBR 生物流化床反应器进行曝气处理，污水处理实验设备以时间作为控制参数间歇运行，污水处理能力为 $1 \sim 3 \text{ m}^3/\text{d}$ (按每人每天 0.06 m^3 用水计算，30 人的污水量为 $1.8 \text{ m}^3/\text{d}$)，对每天产生的生活污水进行处理。曝气结束后进行沉淀，污水处理实验设备分别在 2 套生物流化系统的降流区下面各有一个污泥排放口，污泥的沉降比为 $0.3 \sim 0.5$ ，设备运行一段时间后可对污泥进行排放，排放后的污泥按要求送到岸上指定地点进行集中处理。上清液排至电化学消毒器，经消毒后直接外排。

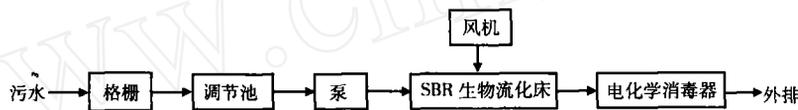


图 1 SBR 式流化床船用生活污水处理设备的流程框图

Fig 1 Flow chart of the equipment of SBR biological fluidized bed for ship sewage treatment

1.2 主要设备

1.2.1 SBR 生物流化床反应器

SBR 生物流化床反应器的形状为矩形体，内有 3 块隔板，中间隔板将反应器分成 2 个循环流化床单元，另 2 块隔板则将每个单元分为升流区和降流区，如图 2 所示。中间隔板上若有若干个孔，使在排水和进水时 2 个单元的水可互相流动。在升流区通过底部穿孔管曝气带动载体上升至一定高度后自动流向降流区，在降流区内底部有一向升流区倾斜 60° 板，使进入降流区的载体自动滑入升流区，不断往复此过程，使其保持流化状态。

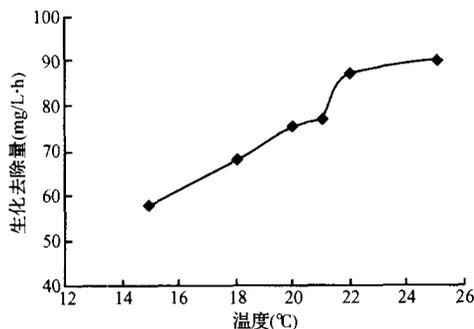


图 2 SBR 生物流化床反应器结构示意图

Fig 2 Structure chart of the SBR biological fluidized bed reactor

SBR 生物流化床反应器是本套污水处理设备中最重要的设备，用来去除 COD、BOD 和悬浮物，器内填充有约反应器容积 15% 的橡胶颗粒填料，运行时

生物栖息于橡胶颗粒表面形成生物膜，并随着水流不断在升流区和降流区循环流动，与污水充分接触，从而有效去除 BOD。同时，选择合适的沉降时间，可使生物粒子和污泥充分沉降，保证出水的悬浮物浓度达到要求。很明显，SBR 生物流化床反应器集 SBR 工艺和生物流化床的优点于一身，具有生物浓度高、传质速度快、出水悬浮物浓度低、耐冲击负荷和操作弹性大等特点。

1.2.2 电化学消毒器

如图 3 所示，电化学消毒器的形状也为矩形体，内有 4 块隔板，将消毒器分成 5 格。由于通电消毒时电极板产生气体而使水体有向上流动的升力，所以消毒器内也形成循环流动而提高了消毒的总体效果。其中，有电极板的 2 格为升流区，其余 3 格为降流区。

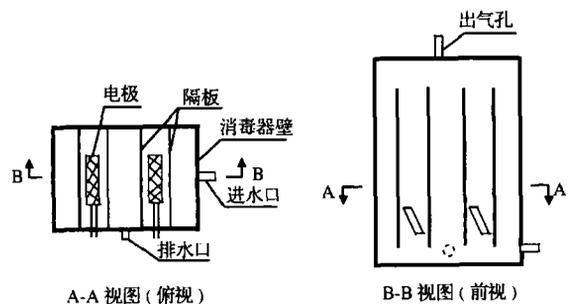


图 3 电化学消毒器结构示意图

Fig 3 Structure chart of the electrochemical disinfection device

电化学消毒器主要用于去除水中的细菌。电化学消毒具有广泛的杀菌能力,其消毒机理是^[4,5]: 电化学过程产生氯气、臭氧、羟基自由基等氧化剂将细菌氧化致死; 外加电场对细菌细胞膜的不可逆渗透作用对细菌的代谢功能产生破坏; 细菌暴露在电流中或者受到电场作用,重要的细胞组织受到化学氧化破坏,如细胞膜的电击穿、细胞的电灼烧等。

1.2.3 调节池

船上的生活污水产生具有周期性,主要产生于早、中、晚 3 个时段,为了保证污水得到正常处理和稳定的水质和水量,设置了调节池,污水在调节池的平均停留时间为 6 h。

此外,处理设备配备了一套自动控制系统,曝气、沉降、消毒等各阶段的时间可根据具体情况调整设置,启动运行后可自动进水和排水,无需专人操作看管。

2 生物流化床反应器的启动

启动和处理效果试验所用废水为清华大学的生活污水,主要是餐饮用水及洗漱厕所排水,试验采用生活污水可以达到实际要求。其污染物平均浓度为: COD = 418 mg/L、BOD₅ = 175 mg/L、SS = 518 mg/L。

表 1 不同曝气时间下 SBR 生物流化床反应器的出水水质

Table 1 Quality of effluent of the SBR biological fluidized bed reactor in different aeration times

曝气时间 (h)	COD (mg/L)				BOD ₅ (mg/L)				SS (mg/L)			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	平均值	1 [#]	2 [#]	3 [#]	平均值	1 [#]	2 [#]	3 [#]	平均值
1	68	76	76	73	4	4	5	4	49	48	54	50
1.5	75	67	63	68	5	6	4	5	49	51	75	58
2	40	48	53	47	13	18	12	14	44	19	32	32

注: 每个曝气时间做了 3 次试验, 分别以 1[#]、2[#]、3[#]表示

试验结果表明,曝气 1 h 即可使污染物降到相当低的浓度,且达到了《船用生活污水处理系统技术条件》(GB10833-89)的要求 (SS < 100 mg/L, BOD₅ < 50 mg/L)。考虑到实际运行时的各种不利影响因素,可取 1.5 h 的曝气时间。

3.2 电化学消毒效果试验

消毒器的进水为 SBR 生物流化床反应器排放的上清液,其大肠杆菌数 > 10 000 个 /mL。试验程序为:加入上清液 通电消毒 30 min 静置 30 ~ 60 min 排放 取样分析。试验结果如表 2 所示。

从表 2 可知,当电压和电流分别达到 30 V 和 28 A 时,大肠杆菌基本被杀灭,而在 14 V 和 18.9 A

正式启动前要对填料进行清洗:在反应器中加入橡胶颗粒填料,充满清水,启动曝气设备进行清洗,每天换水 1 次,直至出水不浑浊为止。填料洗净后将好氧接种污泥投入反应器,并充入污水,调整曝气设备的输出气量使流化床处于充分流化状态并保证足够的溶解氧值 (3 mg/L 以上)。为了促进生物膜的生长,加入葡萄糖、尿素、磷酸盐作为补充碳源和营养素,碳源按 1 kg BOD₅ /m³ · d 投加,氮和磷以碳氮磷之重量比 100 5 1 加入。每天换一次污水及加入相应量的碳源和营养物质,并排除部分经沉降后的上清液。经过 5 d 的运行,污水的 COD 去除率达到 70% 以上,反应器内悬浮污泥的 30 min 沉降比大于 20%,用显微镜可观察到橡胶载体上已有薄层生物膜生长,至此可认为载体挂膜成功,启动工作完成。

3 污水处理试验

3.1 SBR 生物流化床反应器处理污水试验

试验程序为:往反应器中加入污水 进行曝气 沉降 排放上清液 取样分析。沉降时间取 30 min,曝气量为每立方废水 12 ~ 18 m³ /h,测定了曝气时间分别为 1 h、1.5 h 和 2 h 时的处理效果,如表 1 所示。

时,出水已远远超过《船用生活污水处理系统技术条件》(GB10833-89)中大肠杆菌数 < 250 个 /mL 的要求,考虑到实际中存在不可预测因素,以及电压 > 15 V 时电极的耐用性将变差等,可以 14 V 作为操作电压,相应的耗电量为 0.368 kWh/m³。由于船舶污水处理设备运行后要满足污水处理运行成本在 1 元 /m³ 以内,因此采用电化学消毒方法满足使用要求。

4 结束语

SBR 式流化床船用生活污水处理设备集 SBR 工艺、生物流化床和电化学消毒技术的优点于一体,

表 2 电化学消毒器的消毒效果

Table 2 Disinfection efficacy of the electrochemical disinfection device

电流 (A)	电压 (V)	出水大肠杆菌数 (个/mL)			耗电量 (kWh/m ³)
		1 [#]	2 [#]	平均值	
18.9	14.0	76	53	65	0.368
24.0	25.1	50	6	28	0.837
26.0	27.3	20	5	13	0.986
28.0	30.0	2	0	1	1.167

注:每个电极电压做了 2 次试验,分别以 1[#]、2[#]表示

具有启动容易、停留时间短、耐冲击负荷、操作维护简单等特点。每个处理周期为 2 h (曝气 1.5 h, 沉降 0.5 h, 不计调节池的停留时间, 在生物流化床反应器处理污水的同时, 电化学消毒器对上次的上清液进行消毒, 其所耗时间不影响处理周期) 时, 处理设备的出水水质完全满足《船用生活污水处理系统技术条件》(GB10833-89) 的要求。

参考文献

[1] 周平, 钱易. 内循环生物流化床处理生活污水的实验研究. 给水排水, 1998, 24(10): 28~31

- [2] 张玉魁, 施汉昌. 新型生物流化复合反应器的设计及气含率测定. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(7): 74~78
- [3] 岳进堂. 船用生活污水处理装置实用分析. 船海工程, 2004, (3): 42~44
- [4] Kevin P. Drees, Morteza Abbaszadegan, Raina M. Mair. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage. Water Research, 2003, 37: 2291~2300
- [5] 屈计宁, 贾磊, 陈洪斌. 污水消毒技术评述. 北方环境, 2005, 30(2): 55~59

(上接第 108 页)

加, 在放电参数不变的情况下, 单位时间内向反应器输入的能量不变, 产生的活性粒子数保持动态恒定, 因此反应器能够处理掉的分子数相对减少, 造成净化率下降。而随着浓度的增大, 反应器中的活性粒子可以被最大限度地利用, 因此绝对净化量可以增加, 初始浓度低于 500 mg/m³ 时, 绝对净化量几乎直线增加, 而浓度大于 500 mg/m³ 后, 绝对净化量逐渐趋缓, 这在一定程度上反映了装置的处理能力。

3 产物的定性分析

采用离子色谱对反应尾气进行分析发现, 尾气的 NaOH 吸收液中含有 SO₃²⁻ 和 SO₄²⁻, 且 SO₄²⁻ 浓度是 SO₃²⁻ 的 5.1 倍, 表明 H₂S 经放电处理后主要产物为 SO₂ 和 SO₃, 且二者的比例为 1:5.1。

4 结论

通过上述反应条件与影响因素的探索研究发现, 脉冲电晕放电对 H₂S 有较好的净化效果, 具体结论如下:

(1) 脉冲峰压和脉冲频率对净化率的影响有相似规律, 净化率随脉冲峰压和频率的增加而提高, 随气体初始浓度和流量的增加而下降;

(2) 对于气体初始浓度 360 mg/m³、流量 1200 mL/min 时, 在脉冲峰压 30 kV、脉冲频率 80 Hz 的放电条件下, 反应器出口检测不到 H₂S, 因此根据色谱检测限计算的净化率 99.92%。但是炼油厂废气中的恶臭成分不仅仅含有 H₂S, 还有硫醇、有机胺等, 因此要使该装置在恶臭污染治理中得到应用, 需要做大量的研究工作;

(3) 采用离子色谱对反应产物进行了定性分析, 发现 H₂S 经放电处理后主要产物为 SO₂ 和 SO₃, 且二者比例为 1:5.1。

参考文献

- [1] Song Y. H., Shin W. H., Choi Y. S., et al. An industrial experiment of pulse corona process for removal of SO₂ and NO_x from combustion flue gas. J. Adv. Oxid. Technol., 1997, 2(2): 268~273
- [2] Kuniko Urashima, Jen-Shih Chang. Removal of volatile organic compounds from air streams and industrial flue gases by non-thermal plasma technology. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2000, 7(5): 602~614
- [3] 聂勇. 脉冲放电等离子体治理有机废气放大试验研究 [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2004