



改进曝气生物滤池技术研究

回燕斌¹, 王英刚²

(沈阳大学 a. 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110041; b. 生物与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110044)

摘 要: 提出化学混凝与曝气生物滤池结合, 通过混凝处理和生物膜过滤的双重作用, 对城市二级处理出水进行深度处理, 以实现污水的回用。结果表明: 在原水水质 $\text{COD}_{\text{Cr}} = 672 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} = 200 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 = 576 \text{ mg/L}$ 、 $\text{pH} = 6.1$ 时, 出水 $\text{COD}_{\text{Cr}} = 52 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} = 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 = 24 \text{ mg/L}$ 、 $\text{pH} = 8.6$ 。相对于单独使用 BAF, 组合工艺对 COD_{Cr} 、 SS 、 BOD_5 、 pH 值的去除率均有所提高。系统综合地给出了混凝-曝气生物滤池工艺流程和最佳工艺条件, 为混凝-曝气生物滤池应用提供了技术参数。

关键词: 生物膜过滤; 混凝剂; 曝气生物滤池; 化学混凝

中图分类号: X 505

文献标识码: A

国内外对曝气生物滤池已经做了一定研究, 但对曝气生物滤池应用于深度处理污水进行回用的研究较少, 为解决工程实际问题, 通过动态试验, 将 BAF 同化学混凝工艺结合起来, 验证此种组合工艺在再生水回用中的实际效果和意义。选择出适合混凝-曝气生物滤池的填料, 化学混凝和 BAF 组合工艺结果同只用 BAF 工艺试验结果对比, 通过对比结果判断新工艺的性能以及实用性。

1 研究现状及意义

1.1 国内外研究现状

作为 20 世纪 80 年代末在欧美发展起来的一种新型污水处理技术, 国外学者在 BAF 工艺处理方面做了大量的工作。R. Moore 等^[1]研究了尺寸范围分别为 $1.5 \sim 3.5 \text{ mm}$ 和 $2.5 \sim 4.5 \text{ mm}$ 的轻质陶粒对 BAF 处理效果的影响。国外有人参照 BEWA 的标准对 BAF 常用的 7 种滤料进行了对比研究, 认为石英粒和膨胀页岩最适合用作 BAF 的滤料^[2]。R. Pujol^[3]在近期的中试结果表明, 在温度为 22°C , 氨氮负荷 $2.5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 条件下, 出水中 BOD 和 SS 分别降至 10 mg/L 和 16 mg/L 以下。S. Wijeyekoon 和他的合作者^[4]研究了滤速与硝化细菌活性的关系, 发现硝化细菌活性分布与滤速有关。在 BAF 的除磷功效方面, Koln^[5]的同步硝化除磷 BAF 除磷可达 70%, 总磷可降至

0.5 mg/L 。

国内在污水的 BAF 工艺处理方面也做了大量工作, 清华大学的王占生、齐兵强等^[6]对 BAF 在污水处理中的应用、填料的选择、工作性能与填料高度的关系等方面都进行了相当的研究工作。徐丽花等^[7]以陶粒为填料进行了 BAF 处理生活污水的试验研究。李汝琪等^[8]指出 BAF 去除污染物机理主要有过滤、吸附和生物代谢, 并指出污染物去除率同填料高度呈正相关。郑俊等^[9]运用 BAF 工艺对生活污水处理进行研究, 结果表明上流式曝气生物滤池工艺是一种新型、经济和可靠的污水处理方法。肖文胜等^[10]在上流式曝气生物滤池中, 使用球形陶粒作填料, 对城市生活污水进行处理。

1.2 研究的意义

资金和技术已成为制约我国污水处理发展的“瓶颈”, 开展经济有效的污水处理新工艺的研究与开发, 研究一种适合我国国情的污水处理新工艺, 从而降低污水处理投资和运行费用, 节省用地, 管理方便, 能达到城市一般回用水质标准, 将对我国国民经济和社会发展及环境保护具有十分重要的意义, 而且也将有巨大的应用范围和市场。

1.3 目前存在的问题

(1) 曝气生物滤池的进水 SS 不能过高。如果进水 SS 较高, 会使滤池在短时间内达到设计的

水头损失,发生堵塞,这样就必然导致频繁的反冲洗,增加了运行费用与管理的不便.尤其滤池在二级处理情况下,往往要投加药剂才能达到降低SS的要求.而药剂的使用不仅增加了运行费用,还会降低水的碱度,进而影响反硝化.

(2) 填料密度的选择不慎或运行时参数不适,会造成填料随出水或反冲洗出水损失.通过采用改性处理的新型吸附型填料,可以大大强化曝气生物滤池对某些难降解污染物的去除能力,从而在污水的高级处理和给水处理中发挥更大的作用.

表 1 酸洗废水的主要污染物含量及相应的国家排放标准

废 水	$\rho(\text{SS})/(\text{mg L}^{-1})$	浊度/ (mg L^{-1})	pH 值	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})/(\text{mg L}^{-1})$	$\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg L}^{-1})$
生活废水	200	20	6.11	672	548
国家排放标准 ^[11] (GB 13456-92)	<150	<10	6~9	≤200	≤80

3 工艺流程及方法

具体实验流程见图 1.

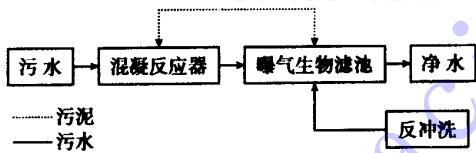


图 1 工艺实验流程

化学混凝法是传统的水处理方法,也是应用很广泛的方法,在处理 SS 含量较高的污水中比较常用,其处理效果也是最稳定的.化学混凝法是在污水中加入混凝剂,使污水中的悬浮物絮凝起来,形成体积大、易沉淀的悬浮物,最后沉淀下来,达到净化污水的作用.在曝气生物滤池前加入化学混凝的工艺是为了除去污水中大量的悬浮物,防止在曝气池中堵塞曝气头,减少反冲洗的频率,提高处理污水的效率. BAF 装置启动时,采用外加碳源小负荷进水挂膜方法,在生物膜培养驯化成熟后,逐渐提高进水负荷,使微生物适应原水水质;试验装置按照实际的工况,动态连续运行,同时监测出水水质,观测其出水能否达到回用的水质要求.在运行过程中不断的调整工艺参数,包括曝气量、反应器水流滤速等,考察在不同工艺条件下,出水水质指标的变化情况,从而筛选出最优的工艺运行参数.启动混凝沉淀过滤装置,在特定的工艺条件下运行,同时监测出水水质,验证工艺的处理效果.

(3) 采用合适的预处理技术与曝气生物滤池组成新型一体化反应器,将成为今后模块化组合大规模应用曝气生物滤池处理污水的基础.

2 废水的来源和水质指标

2.1 废水的来源

该实验废水来自于沈阳某小区的城市生活污水.

2.2 废水的水质指标

水质及相应的国家标准见表 1.

4 工艺实验

4.1 实验装置材料工艺参数^[12]

BAF 实验装置工艺尺寸、参数如下.

滤柱几何尺寸:100 mm ×100 mm ×600 mm 立方体有机玻璃柱(壁厚 10 mm);填料总高 $H=345$ mm;配水装置由多孔管直接进水;工艺曝气装置为微孔曝气器;反洗进气装置为穿孔管,开孔率保证足够的反洗强度;反洗进水装置为管路直接进水;反洗水泵流量为 $0\sim15\text{ m}^3/\text{h}$;反洗空气泵流量为 $0\sim30\text{ m}^3/\text{h}$;计量泵流量为 $0\sim150\text{ m}^3/\text{h}$ (尺寸见图 2).

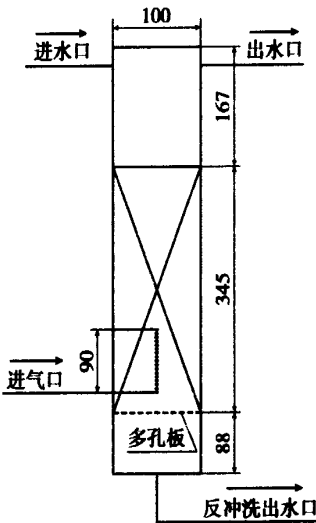


图 2 实验装置尺寸

4.2 絮凝剂最佳加入量的确定

为了达到最佳的絮凝效果和经济有效的目的,实验选取了有机絮凝剂 PAM 和无机絮凝剂

聚合氯化铝共同使用的办法,先投加聚合氯化铝,后投加 PAM,确定了其最佳用量.通过反复实验

确定了最佳用量为 2 (PAM) + 30 (聚合氯化铝) mg/L (见表 2) .

投样量	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L	6 mg/L
完全沉淀时间	5 min	5 min	效果不好	效果不好	不沉淀	不沉淀
静止后上浮情况	30 min	30 min	—	—	—	—

注:条件为 20 ,聚合氯化铝的量均为 30 mg/L .

虽然在 PAM 加入量为 1 mg/L 和 2 mg/L 时的效果一样,但是测定其水中的 COD 值,在 2 mg/L 时处理后的 COD 值为 372 mg/L 低于 PAM 为 1 mg/L 时的 496 mg/L ,故选择了后者 .

4.3 实验设备的启动

BAF 中生物膜的培养是生物方法处理污水必不可少的操作阶段.微生物生长是否良好,直接影响出水的水质.微生物培养和进水中的营养物质、驯化方式等有关^[13].本试验装置的进水是生活小区的初沉池出水,BOD 值比较高,平均 500 mg/L 左右.COD 中难降解的部分占很大的比例,可采用常规的培养微生物的方式.活性污泥接种法是取 BAF 池中的活性污泥,加入 BAF 内,进行微生物的接种^[14].

挂膜方法如下:

- (1) 安装好曝气生物滤池实验设备 .
- (2) 为了使微生物能在曝气生物滤池实验设备中生存并且大量的繁殖,所以要向 BAF 池中的活性污泥加入适量尿素,并搅拌均匀 .
- (3) 调整曝气量,控制曝气量的好坏将决定挂膜的成功与否.如果曝气量过小,将会导致活性污泥中大量的好氧生物死亡,致使实验失败;如果曝气量过大,则会使已经附着在填料上的微生物被气流冲下,导致实验失败 .
- (4) 以后的每天早晚,用烧杯把池底的污泥放出,加入半烧杯的欲处理污水,再加入适量尿素,并观察挂膜情况,如发现挂膜成功,就可以进行实验 .

4.4 填料的选择实验

选取了 3 种不同的填料进行实验^[15] (见表 3),测定其出水 COD 及 pH 值情况,2 号填料挂膜未成功,所以以下仅对 1 号和 3 号填料进行对比.经过混凝实验后,用装有 1 号及 3 号填料的曝气生物滤池实验,每 2 h 取一次水样,然后测量其

编号	粒径/mm	密度/(g cm ⁻³)	材 质
1	4~6	1.478	页岩生物陶粒
2	5~7	1.365	粘土生物陶粒
3	4~6	1.716	粘土生物陶粒

COD 值和 pH 值(实验结果见图 3 和图 4) .

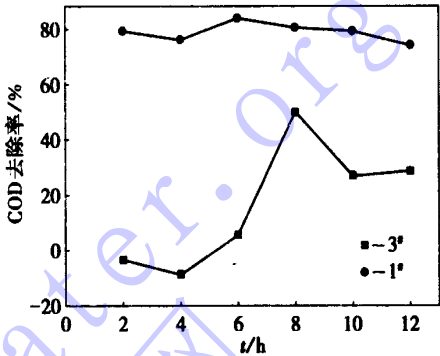


图 3 两种填料 COD 去除率比较

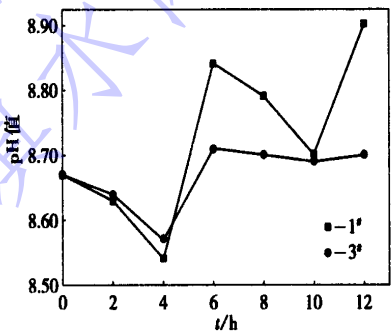


图 4 两种填料 pH 值对比曲线

通过以上的 COD 去除率对比图,很明显的看出 1 号填料的处理效果非常好.两种填料 pH 值变化区别不明显,但都在处理要求范围内,所以可以忽略不计.综上所述,1 号填料用于处理城市生活污水比较适合 .

4.5 改进前后处理效果比较

实验对直接经 BAF 处理后的废水和改进后的 BAF 工艺两种情况下的出水 COD 进行连续测定,结果见图 5 .

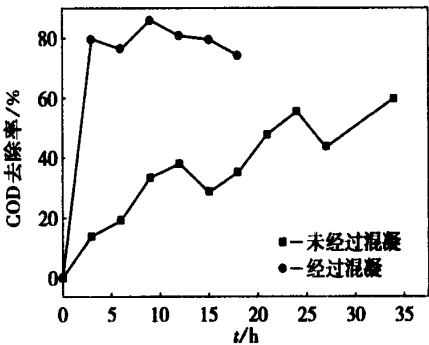


图 5 改进前后出水 COD 对比

从图 5 可见,通过混凝沉淀后的 COD 的去除率有显著的提高,所以可以肯定在曝气生物滤池处理之前加入混凝沉淀处理过程的可行性。

4.6 水力停留时间(HRT)的确定

将经过一级强化处理后的废水通入曝气生物滤池中,在出水处间隔 2 h 测定其 COD_{Cr} 值,连续监测 24 h,用以确定最佳的水力停留时间,其试验结果见图 6。

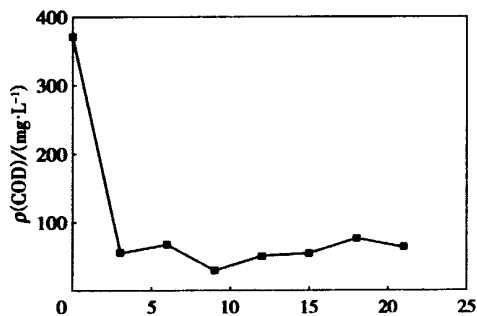


图 6 水力停留时间的确定
图 6 水力停留时间的确定

由图 6 可知,在 HRT 为 4 h 时,出水已经达到排放标准,因此选择此工艺的最佳水力停留时间为 4 h。

4.7 气水比的确定

在 HRT 为 24 h,进水 COD_{Cr} 质量浓度为 372 mg/L 的条件下,考察气水比对曝气生物滤池 COD_{Cr} 去除率的影响,试验结果见图 7。

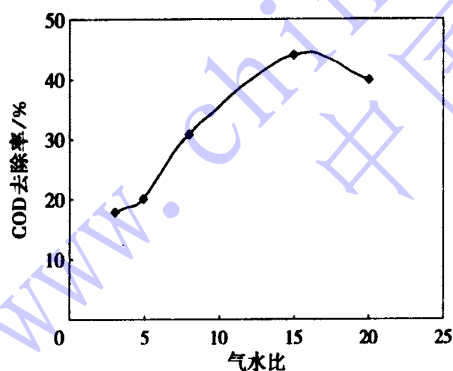


图 7 气水比对曝气生物滤池 COD_{Cr} 去除率的影响

由图 7 可知,在气水比为 3:1~15:1 的范围内, COD_{Cr} 去除率随气水比的增加而增加,但气水比超过 15:1 时, COD_{Cr} 去除率反而下降,表明气水比为 15:1 是最佳控制参数。

4.8 反冲洗研究

BAF 反应器运行一定时间后,滤层需要通过反冲洗进行再生。反冲洗过程要求达到既释放截留的悬浮物又不损害并更新生物膜的多重目的。反应器运行 15 d 后需要进行反冲洗,采用气水联合反冲洗方式,气冲强度 $6 \sim 8 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水冲强度 $1 \sim 2 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,试验表明,冲洗时间为 2 min

时,滤料表层的有机活性生物膜层仍有适当保存,恢复到最高去除率的时间较短。

5 结 论

(1) 实验中证实了在生物曝气滤池工艺处理之前加入混凝工艺处理的可行性,而且应用混凝-曝气生物滤池来处理城市生活污水的处理效果是非常好的,其出水的 COD 质量浓度可达到 52 mg/L, BOD 质量浓度可达到 24 mg/L。

(2) 选择了 PAM 作为本实验的混凝工艺处理过程的助凝剂,聚合氯化铝为助凝剂,同时通过实验,求得了其最佳投药量为 2 mg/L PAM 和 30 mg/L 聚合氯化铝。

(3) 本实验对比了应用在曝气滤池工艺处理的三种不同的填料的处理效果,并得出了适用于该生活废水处理的填料。

参考文献:

- [1] Moore R, Quarmby J, Stephenson T. The effects of media size on the performance of biological aerated filters[J]. Wat Res, 2001, 35(10): 2514 - 2522.
- [2] 张杰. 曝气生物滤池的研究进展[J]. 中国给水排水, 2002, 18(8): 26 - 28.
- [3] Pujol R. Process improvements for upflow submerged biofilters[J]. Water, 2000, 32(1): 25 - 29.
- [4] Wijeyekoon S, Mino T, Satoh H, et al. Fixed bed biological aerated filtration for secondary effluent polishing-effect of filtration rate on nitrifying biological activity distribution[J]. Wat Sci Tech, 2000, 41(4/5): 187 - 195.
- [5] Melln E S, Bohne R A, Sjøvold F, et al. Treatment of ozonated water in biofilters containing different media[J]. Wat Sci Tech, 2000, 41(4/5): 57 - 60.
- [6] 齐兵强,王占生. 曝气生物滤池在污水中的应用[J]. 给水排水, 2000, 26(10): 4 - 8.
- [7] 徐丽花,李亚新. 一种好氧生物处理有机废水的新工艺设备——生物曝气滤池[J]. 给水排水, 1999, 25(11): 1 - 4.
- [8] 李汝琪. 污水处理新技术——BAFsR 曝气生物滤池[J]. 中国环保产业, 1999(12): 38 - 39.
- [9] 郑俊,程寒飞,王晓众. 上流式曝气生物滤池工艺处理生活污水[J]. 中国给水排水, 2001, 17(1): 51 - 53.
- [10] 肖文胜,徐文国,杨桔才. 曝气生物滤池中生物膜的活性研究[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(5): 655 - 664.
- [11] 国家环境保护总局科技标准司. 最新中国环境保护标准汇编(1979—2000)水环境分册[G]. 北京:中国环境科学出版社, 2001.
- [12] 齐兵强,王占生. 曝气生物滤池在污水中的应用[J]. 给水排水, 2000, 26(10): 4 - 8.
- [13] 郑俊,吴浩汀. 曝气生物滤池工艺的理论工程应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.
- [14] 谢曙光,张晓健,王占生. 曝气生物滤池的低温挂膜研究[J]. 中国给水排水, 2003, 19(13): 58 - 59.
- [15] 江萍,胡九成. 国产轻质球型陶粒用于曝气生物滤池的研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 459 - 464.