

高浓度絮状颗粒污泥体系的形成及其降解效果

湛含辉¹, 钟乐¹, 彭春来¹, 易诚²

(1. 湖南工业大学 环境保护研究所, 湖南 株洲 412008; 2. 湖南环境生物职业技术学院, 湖南 衡阳 421005)

摘要: 以AA/O (Anaerobic-Anoxic-Oxic) 氧化沟曝气池中的活性污泥为接种污泥, 利用二次流高效混凝技术包裹固定微生物培养高浓度絮状颗粒污泥, 使整个污泥体系形成悬浮的流化态, 最后对其进行生物降解效果验证。实验表明: 对比常规活性污泥法, 高浓度絮状颗粒污泥质量浓度达到20 g/L, 水力停留时间 (HRT, hydraulic retention time) 仅为45 min, 平均COD (Chemical Oxygen Demand) 去除率达到96%。

关键词: 高浓度; 絮状颗粒污泥; 絮凝; 悬浮体系

中图分类号: X131.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)04-0085-04

The Formation of the System for High Concentration Flocculent Granule and Its Degradation Efficiency

Zhan Hanhui¹, Zhong Le¹, Peng Chunlai¹, Yi Cheng²

(1. Environmental Protection Research Institute, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China;

2. Hunan Environment and Biology Profession Technology College, Hengyang Hunan 421005, China)

Abstract: Considering AA/O Oxidation Ditch aeration tank as seed sludge, the secondary flow high efficiency coagulating technology could be utilized to enwrap the immobilization of microbe as the high concentration flocculent granule sludge. The result shows that it makes the whole sludge system form as the condition of suspend sulfiding, while the last step of the experiment is to verificate the decomposing effects. Through the experiment, we could conclude that high concentration flocculent granule sludge (20 g/L) has a higher rate of biodegradation when comparing with the conventional activated sludge (3~5 g/L) while the HRT is 30 min in the system.

Key words: high concentration; flocculent granule; flocculate; suspend system

0 引言

随着现代工业的迅速发展, 城市和工业废水排放量日益加大, 水质水量的不稳定性不断加剧, 废水中难降解的有机物种类和数量不断增加^[1], 采用传统的活性污泥法处理污水的不足日益暴露。如活性污泥结构松散, 沉降性能差, 曝气池中生物浓度低, 处理效率低; 沉池体积庞大, 污泥含水率高, 污泥处理难度大。为适应废水处理的要求, 人们不断改进传统的活性污泥处理法, 开发出了许多新的处理污水工艺, 如氧化沟工艺、A-B法、A-A-O法等^[2], 使活性污泥处

理法工艺流程长、占地面积大的现状得到了改善。但这些方法仅仅只是针对传统活性污泥工艺的某一些不足进行了改进, 并没有从根本上对工艺进行改革^[3]。

附着型处理系统的代表是生物膜法。由于微生物附着于固体滤料表面生长, 污水在流经载体表面过程中, 通过有机营养物的吸附、溶解氧向生物膜内部的扩散, 以及在膜中所发生的生物氧化等作用, 对污染物进行分解。生物膜法的特点是微生物相当丰富, 生物的食物链长, 微生物存活的时间较长, 且具有较高的硝化和反硝化能力; 反应器净化效率高, 能够承受冲击负荷等优点^[4]。但也存在滤料比表面积小、BOD

收稿日期: 2008-06-05

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (07JJ3088)

作者简介: 湛含辉 (1961-), 男, 湖南汨罗人, 湖南工业大学教授, 博士, 主要从事水处理技术及设备的研究和开发工作。

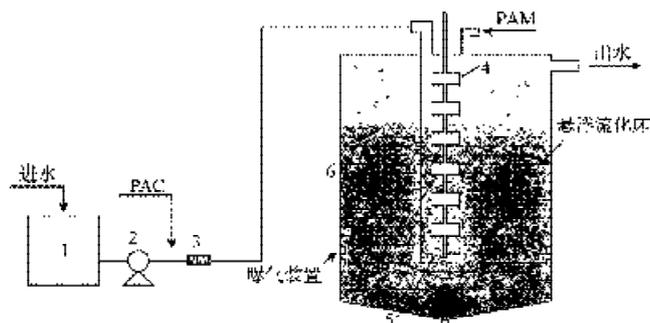
(Biochemical Oxygen Demand) 容积负荷小、附着于固体表面的微生物量较难控制、容易造成污泥堵塞、靠自然通风供氧而导致传质效果不佳等不足^[5]。

在生物处理系统中, 处理效能的高低由微生物的特性所决定, 反应器内生物量越大, 活性越高, 单位体积反应器的处理效率也会越高。因此, 有不少专家对高浓度活性污泥处理法也进行了研究^[6,7], 研究表明: 高浓度活性污泥具有降解速度快、剩余污泥量少、有利于降解难分解物质的优点。研究还表明: 当污泥浓度达到某一值时, 膜表面形成了稳定的凝胶层, COD 去除率随之稳定; 过量地增加污泥浓度, 会使固液分离的时间加长, 出水悬浮物增加, 使水中的营养物质缺乏, 导致微生物之间争夺营养而趋向衰竭, 影响出水水质。在这些研究中, 污泥质量浓度一般在 6~12 g/L 之间。

介于以上污水处理技术所存在的问题, 笔者结合二次流混凝^[8]和生物处理技术的研究成果, 提出形成悬浮态高浓度絮状颗粒污泥体系, 用以降解污水中的有机物。本文即通过实验形成悬浮态高浓度絮状颗粒污泥体系, 并通过对污水的降解实验验证其处理的效果。

1 实验材料、仪器及工艺流程

本实验采用自主研发的高效二次流混凝实验室模型作为生物反应器, 模型装置见图 1, 反应器的有效容积为 5 L。



1-原水箱; 2-加压泵; 3-静态混合器; 4-搅拌机;
5-混凝反应器; 6-流化态反应器

图 1 高效二次流混凝简易实验室模型
Fig. 1 Laboratory model of high efficient
floculation by secondary flow

1.1 实验材料

试验用水取自龙泉污水处理厂经细栅格后的污水, 根据实验方案在污水中投放一定量的氯化铵和磷酸二氢钾, 以满足活性污泥生长繁殖所需要的碳、氮、磷配比的要求。同时, 调节废水 pH 值为 6~6.5, 水温控制在 20 °C 左右。初始活性污泥取自 AA/O 污水处理厂污泥泵房的污泥, 悬浮固体采用重量法, 化学需氧

量采用重铬酸钾法 (COD_{Cr}) (GB11914-89)。

1.2 实验仪器

使用的仪器有浊度仪、DC-6 型六联搅拌机、1 000 ml 量筒、秒表。

1.3 工艺流程

原水经潜污泵提升进入原水箱, 通过离心泵加压原水进入实验管路系统, PAC (Polyaluminum Chloride) 从泵后约 50 cm 处用计量泵投加, 通过静态混合器充分混合之后混合液进入混凝反应器, 并同时用计量泵投加 PAM (Polyacrylamide), 流化态反应器顶部出水, 底部定期排泥。

2 确定反应器内流化态的控制方法

2.1 2 种药剂 (PAC、PAM) 的投加条件^[9,10]

通过静态混凝实验, 确定使活性污泥达到最佳混凝效果时 PAC 的投加量。根据混凝实验研究经验, 絮凝剂 PAM 投加量一般与 PAC 中 Al^{3+} 质量分数的 50% 成 1:1 的比例关系, 其中 PAC 中 Al^{3+} 的质量分数为 30%, 因此 PAM:PAC=1:0.15。

在实验室用浊度仪和 DC-6 型六联搅拌机进行烧杯静态实验。取活性污泥质量浓度为 20 g/L 的综合废水, 分别加入质量浓度为 30、40、50、60、70、80 mg/L 的 PAC, 用 120 r/min 的转速快搅 1 min, 再用 45 r/min 的转速慢搅 3 min, 观察絮体形成情况。实验结果如图 2 所示。

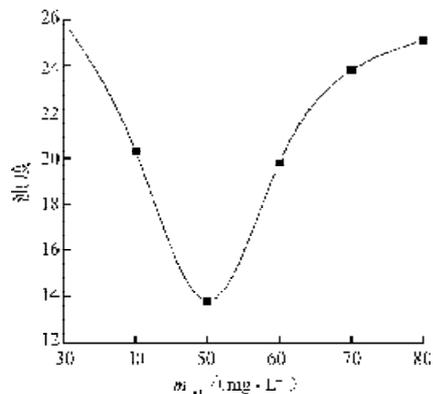


图 2 不同药剂剂量对絮体形成的影响

Fig. 2 Effect of floc formation by the dosages

根据图 2 所示的实验结果可以确定: 当污泥质量浓度为 20 g/L, 达到最佳混凝效果时, PAC 的投放量为 50 mg/L, PAM 的投放量为 7.5 mg/L。

2.2 液体上升流速的控制^[11]

液体上升流速是影响颗粒悬浮态程度的最主要因素, 合适的上升流速可以保持球形颗粒在反应器内呈悬浮状态, 使上下球形颗粒紧密相邻、发生滚动摩擦现象。

设颗粒在水中的沉速为 U , 水的上升速度为 V , 当

$V < U$ 时, 颗粒下沉; 当 $V > U$ 时, 颗粒被水带动上浮; 当 $V = U$ 时, 颗粒悬浮在流化床内。由于颗粒并不完全均匀, 要保持较大颗粒悬浮、同时保证较小颗粒不被水流带出, 需要确定水流最小上升速度 V_{min} , 水流最大上升速度 V_{max} , 确定方法如下。

取流化床内已形成的絮体颗粒 (最大粒径、最小粒径、比例最多的颗粒各不少于 10 颗), 进行沉速测定试验。沉降筒高度刻度为 1 000 mm, 读数计算最小颗粒沉降速度 U_{min} 、最大颗粒沉降速度 U_{max} 、比例最多的颗粒的沉降速度 U_{most} , 以此结果来确定流化床中水的最小上升速度 V_{min} 、最大上升速度 V_{max} 。

液体上升流速与水力停留时间是紧密联系的, 因此, 在实验设计中必须综合考虑到两者的关系, 使体系在保证悬浮流化态下具有最佳的去除效果。

2.3 水力搅拌强度的控制^[12]

增加颗粒间的碰撞机率、增大剪切力、破坏大颗粒相互之间结合, 使颗粒的结合和成长以微小颗粒在球状悬浮颗粒表面按逐一附着的方式进行。

预备实验时已形成的球形颗粒, 在不同水力剪切条件下, 观察颗粒的破碎状况, 确定合适的水力剪切范围, 再应用于试验装置中, 观察颗粒状态及床体流化态变化情况, 最终确定曝气量。

3 高浓度絮状颗粒污泥体系的处理效果

3.1 污泥浓度对 COD 的去除效果

进水 COD 的质量浓度为 500 mg/L, 水力停留时间为 45 min, 分别在曝气恒定 (1.6 L/h) 和曝气充分的条件下, 测量污泥质量浓度从 5~35 g/L 的去除效率。污泥质量浓度每增加 5 g/L, 测量一次出水 COD, 计算 COD 去除率, 如图 3。

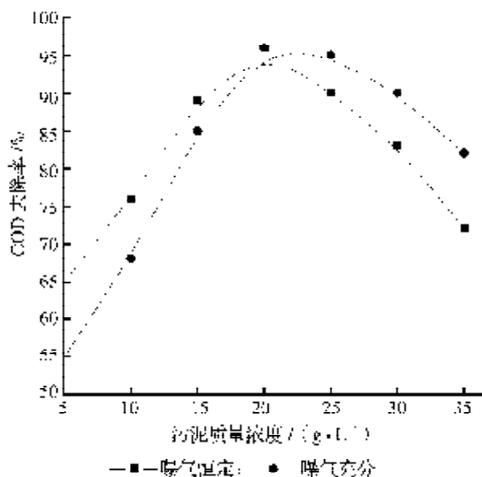


图3 污泥质量浓度与 COD 去除率的关系
Fig. 3 The relationship between MLSS and COD removal rate

由图 3 可以看出, 污泥质量浓度在 5~20 g/L 这一阶

段, 污泥质量浓度越高, COD 去除率就越高。这是由于活性污泥对悬浮性有机物的吸附能力高于对胶体和溶解性有机物的吸附能力, 活性污泥絮体具有一定的吸附架桥和网捕卷扫作用, 易将悬浮性有机物去除, 且吸附时间短。城市生活污水中悬浮 COD 占 COD 总量的 70% 左右, 当污泥浓度增加, 比表面积增加, 使其吸附性能更强。

污泥质量浓度为 20 g/L 时, 其降解有机物的效率最高; 污泥质量浓度超过 20 g/L 时, COD 去除率趋于稳定; 当污泥质量浓度达到 30 g/L 时, 其 COD 的去除率下降趋势明显。

初步分析: 曝气充分时, 悬浮体系能够保证流化状态, 但是紊动太大, 使得小絮体随着出水一起排出, 导致出水水质不佳; 曝气恒定时, 由于污泥浓度过高, 曝气引起的紊动不能使悬浮体系完全混合, 氧气和营养物质传递效率太低, 导致微生物之间争夺营养而趋向衰竭, 絮凝效果差, 使得很多小絮体颗粒随着出水一起流走, 影响出水水质。

3.2 不同污泥质量浓度在不同水力停留时间运行下的处理效果

进水 COD 的质量浓度为 500 mg/L、曝气量为 1.6 L/h 时, 取质量浓度分别为 5、10、20 和 30 g/L 的絮状颗粒污泥, 调整水力停留时间为 45、60、90、120、150 min, 并在系统稳定运行的条件下, 对每个测量点分别记录 5 个数据, 计算其平均值, 结果如图 4。

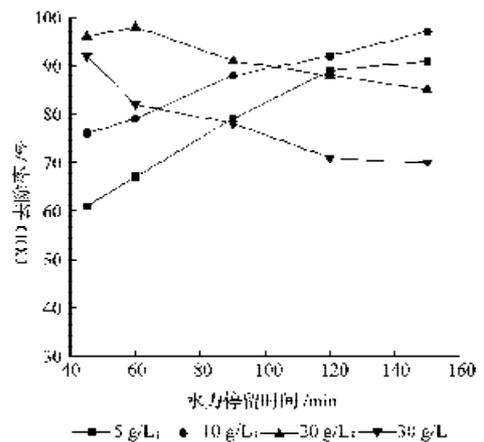


图4 水力停留时间对 COD 出除的影响
Fig. 4 Effects of HRT on COD removal

由图 4 可知, 当污泥质量浓度为 5 g/L 和 10 g/L 时, 平均 COD 去除率随水力停留时间的增加而增加, 并逐渐趋于平衡。水力停留时间越长, 微生物在反应器内对污水的降解时间越长, 降解效率越好; 低浓度污泥随着水力停留时间的增加, 其污泥浓度也有不同程度的增长。初步分析是由于水力停留时间长, 液体上流速度慢, 絮体颗粒污泥逐渐积累, 使反应器悬浮层浓度逐渐增加, 从而也提高了其降解效率。

而污泥质量浓度为 20 g/L 和 30 g/L 时, 平均 COD 去除率随着水力停留时间的增加而降低。在实验过程中观察到, 控制水力停留时间过大, 会使得上升流速减小, 导致系统中悬浮层破坏, 对微细颗粒没有了截留功能, 最终导致出水水质不佳。

综合以上分析可以得出: 在污泥质量浓度为 20 g/L、水力停留时间为 45 min 的条件下, 微生物降解废水中有机物的效率最佳。由此可见, 流化态高浓度絮状颗粒污泥悬浮层体系对 COD 能起到很好的降解效果。

3.3 高浓度絮状颗粒污泥体系降解机理初探

混凝对悬浮态或胶体态的 COD 有很好的去除效果, 去除率平均可达 98%, 而对溶解性 COD 的去除主要是依靠微生物的作用, 通过生长在絮状颗粒污泥上微生物的吸附、代谢、氧化等生化作用来达到降解的目的。

流化态高浓度絮状颗粒污泥悬浮层体系对 COD 的去除是通过混凝和微生物的共同作用实现的^[13]。通过投加絮凝药剂, 使污水中的悬浮固体和胶体颗粒脱稳, 在机械剪切力的作用下, 通过混凝过程, 形成了易于固液分离的絮体颗粒污泥, 达到去除悬浮的目的; 同时, 由于具有高浓度絮状颗粒污泥体系流化态的悬浮层, 对水中的微细悬浮颗粒也起到了吸附、截留的作用; 此外, 由于絮状颗粒污泥具有较大的比表面积, 它能对悬浮态和胶体态的有机污染物起到一定的吸附作用。

4 总结

本文通过对流化态高浓度絮状颗粒污泥悬浮体系的形成及控制条件的研究, 从化学药剂的投加条件、上升流速的控制、水力剪切条件的控制等 3 个方面, 确定了保证高浓度絮状颗粒污泥以悬浮层形式存在的运行条件; 通过对城市生活污水处理的实验, 验证了其生物降解的高效性, 得出了以下结论:

1) 通过强化絮凝过程, 加快流化态高浓度絮状颗粒污泥悬浮体系的形成, 并使其集吸附、过滤和生物降解于一体, 实现了在一个单元中同步去除悬浮物和有机物的目的;

2) 通过实验验证了流化态高浓度絮状颗粒污泥悬

浮体系的去除效果, 在悬浮体系中污泥质量浓度可达到 20 g/L, 在水力停留时间 (HRT)=45 min 的条件下, 平均 COD 去除率达到 95% 以上;

3) 高浓度活性污泥处理废水是可行的, 但是其系统中的传质机理还有待进一步深入分析。

参考文献:

- [1] Mosquera Corral A, Montras A, Heijnen J J, et al. Effects of oxygen concentration on N-removal in an aerobic granular sludge reactor[J]. *Water Research*, 2003, 37(3): 485-492.
- [2] 李喜梅. 关于城市污水处理方法的探讨[J]. *杭州师范学院学报: 医学版*, 2005(1): 71-73.
- [3] 王凯军. 小城镇水污染控制对策和生物处理技术现状及发展趋势[C]//小城镇污水处理技术研讨会论文集. 北京: 国家环境保护总局科技标准司, 2003.
- [4] 张胜华. *水处理微生物学*[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [5] 王建龙. *生物固定化技术与水污染控制*[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [6] Roey J. Amir and Doron Shabat. Self-immolative dendrimer biodegradability by multi-enzymatic triggering[J]. *The Royal Society of Chemistry Communications*, 2004, 14: 1614-1615.
- [7] Gutierrez A C, Pinheiro A L N, Iwasita T, et al. New mechanism of gas transport at the interface solid/liquid[J]. *Electrochimica Acta*, 2007, 52: 2317-2321.
- [8] 湛含辉, 戴财胜, 张晓琪. 二次流原理在水处理沉降设备中的应用研究[J]. *能源环境保护*, 2002(3): 36-37, 41.
- [9] 王晓昌, 袁宏林. 造粒型高效固液分离技术用于厂废水再生的试验研究[J]. *给水排水*, 2001, 27(8): 39-41.
- [10] 湛含辉, 张晓琪, 湛雪辉. 无机絮凝剂的混凝机理中的力化学因素[J]. *选煤技术*, 2005(1): 1-4.
- [11] 湛含辉, 张晓琪, 湛雪辉, 等. 混凝机理物理模型中混合剪切阶段的重要性研究[J]. *环境科学与技术*, 2005(6): 4-6.
- [12] 黄廷林. 结团体流化床的运动平衡[J]. *给水排水*, 1996, 22(3): 8-11.
- [13] Wang X C, Tambo N, Matsui Y. Kinetic study of fluidized pellet-bed processes characteristics of particle motions[J]. *Water SRT Aqua*, 1993, 42(3): 146-153.

(责任编辑: 张亦静)