文章编号: 1673-9868(2010)09-0072-05

曝气强度对活性污泥-生物膜共生系统的影响研究*

王　升[1],　方　芳[1],　杨运平[2],　郭劲松[1]

1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 重庆远达水处理工程有限公司, 重庆 400039

摘要: 活性污泥-生物膜共生系统结合了活性污泥法和生物膜法的优点, 强化了系统的去污能力, 而曝气强度是活性污泥-生物膜共生系统的关键控制参数, 曝气强度的优化对共生系统的研究和应用具有重要意义. 为此, 考察了曝气强度对共生系统生物量、DO、去污能力以及剩余污泥产率的影响. 结果表明, 随曝气强度的升高, DO 相应增加并逐渐趋于平稳; 当曝气强度为 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 时, 系统生物量达到最大, 去污能力达到最高, COD、TN、TP 去除率分别为: 93.26%, 65.35% 和 77.37%; 受生物膜的影响, 系统的剩余污泥产率均较低, 为 0.06~0.25 gMLSS/gCOD, 随曝气强度的增加污泥产率呈先增后降的趋势.

关　键　词: 曝气强度; 活性污泥; 生物膜; 共生系统

中图分类号: **X703.1**　　文献标识码: **A**

活性污泥-生物膜共生系统工艺是近年来颇受关注的新型污水处理工艺. 它结合了活性污泥法和生物膜法的优点, 系统中存在附着相和悬浮相微生物, 它们共同作用去除污水中有机污染物, 受限填料同时作为多相流体中水力半径的控制因素, 以增加水力剪切, 提高传质效率. 它一方面具有生物膜法负荷高的特点, 因而减少了构筑物体积, 降低了投资; 另一方面也具有活性污泥法固液接触充分的特点, 有机污染物去除效率高, 出水水质稳定良好; 三是活性污泥系统中加入生物膜, 能充分满足硝化细菌的需要, 降低脱氮效果与泥龄的高度关联性, 从而提高系统的脱氮除磷功效[1-2].

曝气强度是活性污泥-生物膜共生系统的一个至关重要的参数. 在活性污泥-生物膜共生系统中进行曝气, 不但可以向微生物提供生物降解所必须的氧气, 而且可以使混合液呈紊流状态, 干扰生物膜对活性污泥的拦截、粘附, 确保系统活性污泥和生物膜的共存. 李怀正等[3] 人认为, 在确保曝气强度和供气量的情况下, 可适当降低气水比, 从而降低运行成本, 因而, 最终决定气水比的因素不是生化需氧量, 而是曝气强度. 曝气强度是一个经验值, 大致在 4.0~5.5 $m^3/(m^2 \cdot h)$, 一般不宜小于 4.0 $m^3/(m^2 \cdot h)$. 目前, 报道曝气强度对活性污泥-生物膜共生系统的影响研究鲜为少见. 本文较详细的研究了 4 种不同曝气强度[2.8, 3.6, 4.4, 5.2 $m^3/(m^2 \cdot h)$]对活性污泥-生物膜共生系统中的生物量、DO、有机物及氮、磷的去除效果、剩余污泥产率等因素的影响, 将工程上可操控的曝气强度与废水处理系统中的微观参数间建立了关联, 为实际工程优化提供了理论依据和实际指导.

* 收稿日期: 2010-01-19
基金项目: 国家重大水专项(2009ZX07104-002); 教育部重大项目(308020); 重庆市重点科技攻关项目(CSTC2008AB7133).
作者简介: 王　升(19-), 男, 山东荷泽人, 硕士研究生, 主要从事废水处理理论与技术的研究.
通讯作者: 方　芳, 副教授.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1　试验装置与方法

1.1　试验装置

试验装置如图 1 所示.

该装置主要由缺氧区、活性污泥-生物膜复合式曝气区、沉淀区和污泥回流系统构成, 有效容积为 200 L. 曝气区采用盾形填料, 填充密度为 25%. 进水、曝气均采用玻璃转子流量计调节流量, 污泥回流(r = 80%)采用计量药液泵完成.

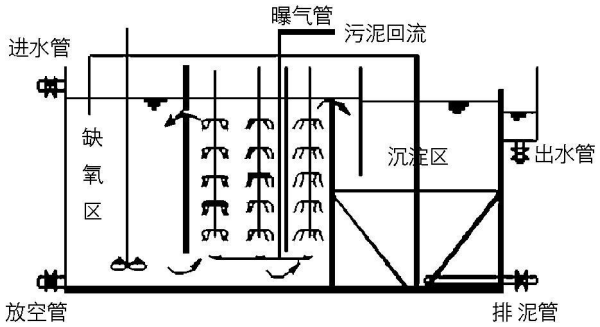

图 1　试验装置示意图

1.2　活性污泥和试验用水

试验在重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室进行. 接种污泥取自重庆市唐家桥污水处理厂. 试验用水来自学生宿舍的生活污水, 水质如表 1 所示.

表 1　试验进水水质　　mg·L^{-1}

指标	COD	TN	NH_4^+-N	TP
范围	228~425	52.5~102.8	44.6~80.8	3.5~8.4
均值	343	69.4	54.9	5.1

1.3　分析项目及方法

试验检测项目主要包括: MLSS、TN、NH_4^+-N、NO_2^--N、NO_3^--N、TP、COD 等, 均采用《水和废水监测分析方法》(第 4 版)中的标准方法进行测定[4]. 其中, SS: 103-105 ℃烘干重量法; TN: 紫外分光光度法; NH_4^+-N: 纳氏试剂分光光度法; NO_2^--N: N-(1-萘基)-乙二胺光度法; NO_3^--N: 紫外分光光度法; TP: 钼锑抗分光光度法. COD 采用 HACH COD 测定仪测定; DO 采用 HACH 溶解氧分析仪测定, 生物膜量用 MLSS 表征.

2　结果与讨论

2.1　对生物量的影响

考察了不同曝气强度对活性污泥-生物膜共生系统中活性污泥生物量、生物膜量及总生物量的影响. 结果见图 2.

从图 2 可以看出, 随着曝气强度的提升, 系统活性污泥生物量也随之逐渐增加, 当曝气强度达到 4.4 m^3/(m^2·h)后, 趋于稳定. 在曝气强度为 4.4 m^3/(m^2·h)时, 生物膜量达到峰值(3 200 mg/L).

在曝气强度过小时, 上升的空气对混合液扰动小, 大部分活性污泥被盾形填料拦截下来, 另外, 由于供氧不足, 生物增殖速率低下, 故此时, 系统的活性污泥生物量较少. 而填料上的生物膜, 由于供氧不足, 氧穿透能力低下, 除生物膜较薄的外表面处于好氧状态下, 内部绝大部分呈厌氧状态, 生物膜活性低, 黏度小, 导致生物膜大块脱落, 生物膜量小. 在曝气强度过大时, 较大的空气剪切干扰了生物在填料上的附着, "冲刷"作用过强, 以致生物膜脱落速率大于挂膜速率, 生物膜变薄, 生物膜量减少[5]. 此时, 由于供氧充分, 硝化效果好, 活性污泥絮体较松散, 故活性污泥生物量较恒定, 没有随脱落生物膜量增加而增加. 而总生物量受生物膜量影响较大, 因此, 总生物量随曝气强度提升的走势类似于生物膜量的变化.

2.2　对 DO 的影响

活性污泥-生物膜共生系统是一个需氧的代谢过程, 若使好氧微生物保持正常的生理活动, 其 DO 浓度一般应不低于 2 mg/L. 本反应器好氧区 DO 受曝气强度影响结果见图 3.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

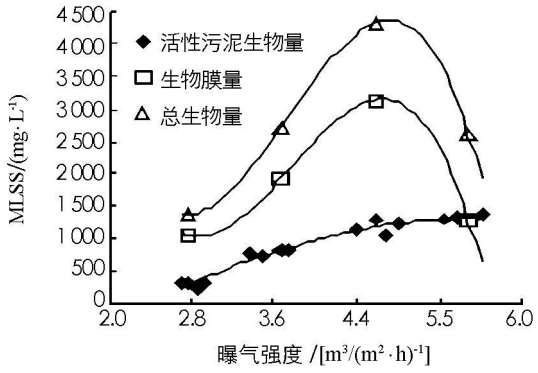

图 2 曝气强度对生物量的影响

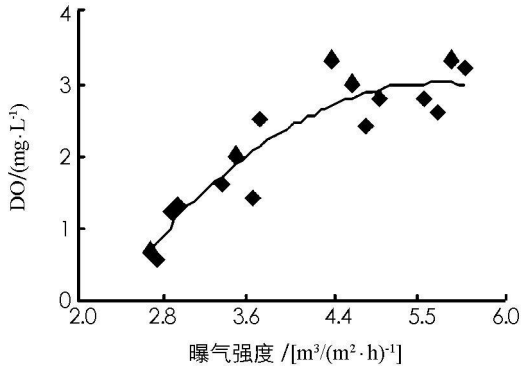

图 3 曝气强度对 DO 的影响

由图 3 可见, 随着曝气强度的增加, 好氧区 DO 呈上升趋势, 曝气强度到达 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 后, DO 上升趋势减缓. 当曝气强度从 2.8 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 提升到 5.2 $m^3/(m^2 \cdot h)$, 相应的 DO 则由 1 mg/L 左右增加到 3 mg/L 左右.

随着曝气强度的增加, 好氧区的充氧速率也相应增加, 但由前面分析可知, 曝气强度的增加导致生物量的相应增加[曝气强度在 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 以前], 以致微生物的耗氧速率增加, 此阶段充氧速率和耗氧速率均增加, 然而图 3 体现出 DO 也呈增长趋势, 说明此阶段系统充氧速率的增长大于耗氧速率的增长. 在曝气强度到达 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 时, 充氧达到饱和, 随曝气强度继续增加, 过剩气体呈大气泡直接排入大气, 故 DO 呈微弱增长[5]. 为此, 在保证充足 DO 的情况下, 采用较小的曝气强度有利于减少能耗, 节约运行成本.

2.3 对去除效果的影响

2.3.1 对有机物的去除效果

试验结果表明, 尽管受曝气强度的变化以及进水 COD 值较大波动的影响, 但系统保持了良好的 COD 去除率(81.4%~95.5%), 出水 COD< 60 mg/L, 达到了《污水综合排放标准》(GB8978-1996)的一级标准. 试验中受曝气强度的影响, 系统 DO 在 1~3 mg/L 之间, 保证了系统的有氧环境, 故曝气强度的变化对有机物的去除效果影响不明显.

2.3.2 对氮的去除效果

不同曝气强度条件下 TN 的去除情况见图 5.

图 5 表明, 随曝气强度的增加, TN 的去除率呈抛物线变化, 在曝气强度为 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 时, TN 去除率达到峰值(65.35%).

试验显示, 脱氮效果受曝气强度的影响较大. 低曝气强度时, 呈现的低 DO 浓度对硝化菌群的生长速率和活性有明显的抑制作用[6, 7], 致使系统硝化效果差. 曝气强度过高时, 系统生物膜变薄, 内部厌氧环境小, 生物膜内反硝化量减少, 另者, 曝气的过度扰动, 致使从好氧区与缺氧区间的回流缝回流的混合液增多, 使得缺氧区的缺氧环境受到影响, 降低反硝化效果. 故系统脱氮效果随曝气强度的增加呈先升后降的趋势.

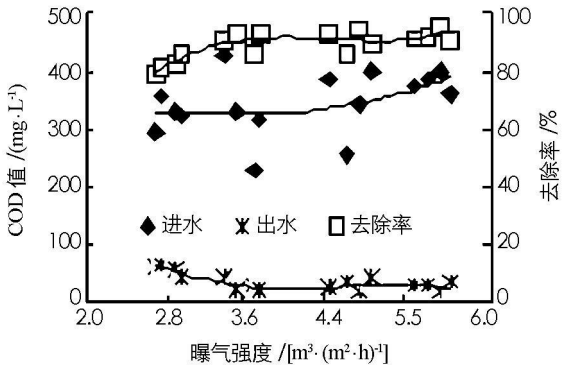

图 4 曝气强度对 COD 去除率的影响

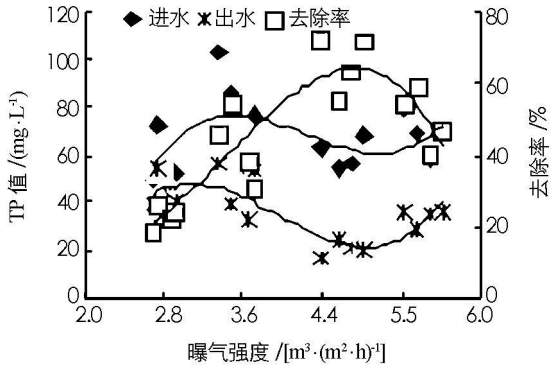

图 5 曝气强度对 TN 去除率的影响

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.3.3　对磷的去除效果

从图 6 可以看出，随曝气强度变化，系统除磷效果变化趋势类似于对氮去除效果的影响. 随着曝气强度的增加，系统剩余污泥产率相应增加[详见 2.4，曝气强度在 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 以前]，而磷的去除则是通过聚磷菌在好氧环境下吸磷，厌氧环境释磷，最后通过剩余污泥的形式排出系统，以达到除磷的目的. 可见，在确保系统的好氧环境和厌氧微环境的条件下，除磷效果随剩余污泥产率的增加而增加. 当曝气强度为 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 时，TP 去除率达到最大值(约 80%). 此后继续增加曝气强度，则对磷的去除效果呈现下降趋势，过度曝气减少了厌氧微环境，以致聚磷菌增殖速率低下，从而影响系统的除磷效果.

2.4　对剩余污泥产率的影响

现有的污泥处理技术成本都较高，剩余污泥处理、处置的运行费用往往占到污水处理厂总运行费用的 25%～65%[8]. 而目前大多数污水处理厂的剩余污泥产率为 0.3～0.6gMLSS/gBOD[9-10]. 可见，对剩余污泥产率的研究显得尤为重要. 本装置将生物膜的挂膜和脱膜视为一个动态平衡过程，仅考察曝气强度对系统剩余污泥产率的影响，见图 7.

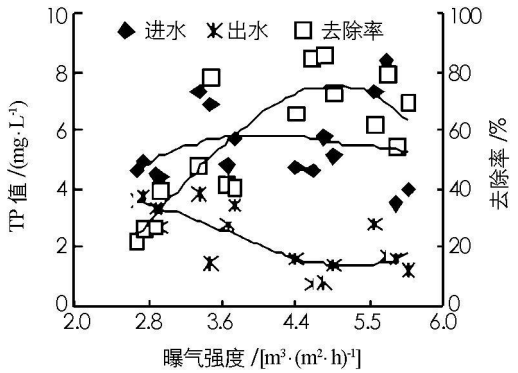

图 **6**　曝气强度对 **TP** 去除率的影响

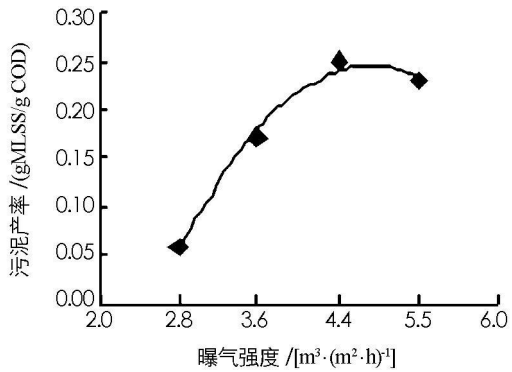

图 **7**　曝气强度对污泥产率的影响

试验结果表明，曝气强度影响下，系统的剩余污泥产率均较低，为 0.06～0.25 gMLSS/gCOD，主要受生物膜的影响[5]. 为维持系统中生物膜的正常代谢，将消耗部分有机物，真正用于活性污泥生长代谢及增殖的有机基质并不多，致使剩余污泥产率低.

Abbassi 等人[11]研究表明，在活性污泥系统中，高含量的 DO 强化了微生物自产底物的氧化分解，加速了含碳有机物质的循环利用和分解代谢，因此，随 DO 的增加，污泥产率呈现降低的趋势. 本试验中，随曝气强度的增加，DO 相应升高，而剩余污泥产率则呈先增后降趋势，主要是受生物膜的干扰. 在低曝气强度、低 DO 的条件下，溶液中的活性污泥会被生物膜拦截、吸附并转化成生物膜，致使活性污泥增殖不起来，呈现较低增长速率. 随曝气强度的提升，对混合液的扰动加强，使得生物膜拦截吸附能力减弱，活性污泥得以增殖. 但当曝气强度超过 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 后，生物膜对活性污泥的拦截作用几乎不存在，并且过度的空气冲刷，使得生物膜变薄，系统活性污泥占主导. 高浓度的 DO 可以穿透到菌胶团中一个更深的厚度，导致了菌胶团中好氧区域的增大，菌胶团中心区中死亡细菌通过水解作用产生的底物可以迅速向外扩散而得以生物降解，减少了死亡细菌在菌胶团中心区中的积累而使污泥产量降低.

3　结　论

1) 本试验中，活性污泥-生物膜共生系统的最佳曝气强度为 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$，此时的生物量达到最大，DO 能满足微生物的需氧量，并能有效节省曝气能耗，降低经济成本.

2) 随曝气强度的增大，COD 去除效率变化不明显，TN 和 TP 的去除效率呈先增后降趋势. 在曝气强度为 4.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 时，COD、TN 和 TP 去除率分别达到 93.26%、65.35%和 77.37%.

3) 活性污泥-生物膜共生系统剩余污泥产率均较低，为 0.06～0.25 gMLSS/gCOD；剩余污泥产率受曝气强度的影响较大，随曝气强度的增加，剩余污泥产率呈先增后降的趋势.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献:
[1] 赫俊国, 李建政, 张金松, 等. 生物膜-活性污泥共生系统处理屠宰废水的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(4): 424-427.
[2] 郑育毅, 唐静珍, 吴延飞, 等. 生物膜/活性污泥工艺处理淀粉制糖废水[J]. 中国给水排水, 2003, 19(10): 90-91.
[3] 李怀正, 傅 威, 白月华, 等. 生物接触氧化预处理源水的设计参数[J]. 中国给水排水, 2001, 17(2): 43-45.
[4] 国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
[5] 杨运平. 活性污泥-接触氧化气提式内循环一体化反应器处理生活污水试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
[6] 傅金祥, 韩晋英, 齐建华, 等. 常温下低DO和高PH短程硝化过程研究[J]. 水处理技术, 2008, 34(12): 19-22.
[7] Stenstrom M K, Poduska R A. The Effect of Dissolved Oxygen Concentration on Nitrification[J]. Water Res. 1980, 14: 643-649.
[8] Low E W, Chase H A. Reducing Production of Excess Biomass during Wastewater Treatment[J]. Water Res, 1999, 33(5): 1119-1132.
[9] 李圭白, 张 杰. 水质工程学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
[10] 于丽昕, 王洪臣. 关于活性污泥工艺中剩余污泥量计算的讨论[J]. 给水排水, 2003, 29(8): 23-26.
[11] Abbassi B, Dillstein S, Rabiger N. Minimization of Excess Sludge Production by Increase of Oxygen Concentration Activated Sludge Flocs; Experimental and Theoretical Approach[J]. Water Res, 2000, 34(1): 139-146.

Study of the Effects of Aeration Intensity on the Symbiotic System of Biofilm-Activated Sludge

WANG Sheng[1], FANG Fang[1], YANG Yun-ping[2], GUO Jin-song[1]
1. Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment (Ministry of Education), Chongqing University, Chongqing 400045, China;
2. Chongqing Yuanda Water Treatment Engineering Co., Ltd, Chongqing 400039, China

Abstract: The symbiotic system of biofilm-activated sludge, which masters the merits of the sludge activation process and the biofilm process, can improve its decontamination ability. As aeration intensity is a key factor of biofilm-activated sludge symbiosis, optimization of its parameters is of great importance to the study and application of biofilm-activated sludge symbiosis. In the present study, the effects of aeration intensity on biomass, dissolved oxygen (DO), decontamination and sludge yield were studied. The results showed that with the increase of aeration intensity, dissolved oxygen increased correspondingly until it was almost stabilized. With an aeration intensity of 4.4 $m^3/m^2 \cdot h$, both biomass and decontamination ability reached their maximum, the removal rates of COD, TN and TP being 93.26%, 65.35%, 77.37%, respectively. Influenced by the biofilm, the sludge yield was relatively low in various treatments, ranging from 0.06 to 0.25 g MLSS/g COD. Furthermore, sludge yield increased first and decreased afterwards with the enhancement of aeration intensity.

Key words: aeration intensity; activated sludge; biofilm; symbiotic system

责任编辑 陈绍兰

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net