

悬浮填料优化试验研究

何国富¹, 徐和胜², 周增炎³, 高廷耀³, 黄民生¹, 徐亚同¹

(1. 华东师范大学资源与环境学院环境科学系, 上海 200092; 2. 上海现代建筑设计集团申都工程咨询有限公司, 上海 200041; 3. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200062)

摘要: 试验系统利用某城市污水厂生产工艺回流污泥为系统悬浮污泥, 探讨了悬浮填料投配比、投配方式和中试硝化效果之间的关系。试验结果表明, 悬浮填料最小投配比为 15% 即可满足系统硝化功能的要求; 悬浮填料的投配方式宜采用集中投配并布置于曝气池的末端, 这样既可提高系统的生物膜量, 又有利于硝化反应的实现。而且, 控制适当的溶解氧浓度, 悬浮填料的投加有助于同步硝化反硝化更充分的进行。

关键词: 悬浮填料; 投配比; 投配方式; 硝化; 同步反硝化

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1003-6504(2005)04-0036-03

我国水体富营养化越来越严重, 国家相应也制定了越来越严格的氮磷排放标准。因此生物脱氮除磷成为城市污水处理厂的难点和焦点。常见的脱氮除磷工艺, 如 A/O 系列(如 A/O、A²/O、UCT、JLS 等)、SBR 系列(如 SBR、MSBR、CASS 等)等^[1], 其工艺比较复杂、或设计水力停留时间较长或操作管理和自控程度要求较高, 多为经济较发达地区采用。考虑到目前我国经济发展的现状, 必须寻找经济、简便、高效、可行的脱氮除磷处理手段, 在这种背景下, 产生了悬浮填料活性污泥法, 它具有较好的脱氮效果^[2], 对悬浮填料生物反应器的研究已经达到具体应用阶段。该法的核心是悬浮填料, 而悬浮填料的投配比和投配方式则直接关系到它具体应用的经济性和可行性。

前期研究认为填料的投配比为 50% 效果比较好, 是比较理想的投配率^[2-3]。然而考虑到经济方面的因素, 可否降低填料的投配比和改变投配方式, 取得比较理想的脱氮效果呢? 本实验对悬浮填料活性污泥法填料投配方式和投配比进行了有益的探讨。

1 试验装置和处理水质

试验在采用传统活性污泥法工艺的上海市某污水厂进行, 规模是中试, 试验装置如图 1 所示, 采用悬浮填料活性污泥法。

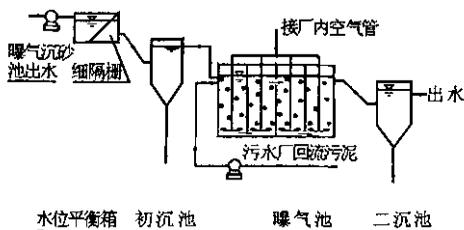


图1 中试流程简图

曝气池分四格, 采用微孔盘曝气系统进行曝气。每格曝气量由球阀控制, 空气总量由转子流量计计量。试验进水取自污水厂曝气沉砂池出水, 试验进水为连续流, 流量为 1m³/h, 曝气池水力停留时间为 6h。经过挂膜, 系统运行稳定后, 开始正式实验。

2 试验结果与讨论

本试验共进行了四个工况的研究, 试验主要是围绕悬浮填料的投配方式和降低悬浮填料投配比展开。工况一、二填料投配比为 25%, 投配方式为工况一填料在四格曝气池中均匀分布, 每格投加其容积 25% 悬浮填料。工况二在第二、四两格曝气池中各投加其容积 50% 的填料, 而一、三两格曝气池中不投加填料。在此试验结果的基础上, 进行了工况三、四的试验。这两个工况的填料投配比为 15%, 投配方式是工况三在曝气池的第二、四两格中各投加其容积 30% 的填料, 第一、三两格不投加填料; 工况四在曝气池的第四格投加其容积的 60% 的填料, 其它三格曝气池不投加填料。填料的投配方式如图 2 所示, 各工况运行参数见表 1, 结果见表 2、表 3 和图 2~图 5。

表 1 降低填料投配比四工况主要运行参数

工况	水温 (°C)	DO(mg/L)				MLSS(mg/L)		气水比	回流比	泥龄
		1#	2#	3#	4#	泥	膜			
工况一	27	0.7	1.3	3.0	2.8	3608	1895			
工况二	27.3	0.3	1.3	2.9	3.7	3153	2210	7:1	100%	6(d)
工况三	28	0.5	1.8	2.1	2.1	3800	1565			
工况四	29	0.4	1.4	2.2	1.7	4338	2010			

从表 2、表 3 可以看出, 污水厂和中试试验系统对 COD 都有很好的去除效果。对于中试系统, 尽管进水波动较大, 但经过初沉池沉淀后, 进入曝气池的 COD 比较稳定, 系统对 COD 的去除率平均在 90% 以上, 出水完全可以达标。

结合表 2 和图 3 看, 系统在填料投配比为 25% 的

作者简介: 何国富(1975—), 男, 在读博士后, 研究方向为水污染控制和生态修复, (电话)021-62232617(电子信箱)goaljugfh@163.com。

表 2 降低填料投配比四工况主要运行结果

指标	工况一		工况二		工况三		工况四		
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	
COD (mg/L)	进水	141~1115	416	261~1379	561	200~1783	640.7	303~983	459
	初沉出水	105~244	185	164~310	222	130~312	199	199~217	206
	出水	16~39	25.5	21~48	35	20.1~44	34.9	26~39	32.8
	去除率(%)	89~96.5	91.6	88~96	92	79.5~98	90.5	87~97	91.1
NH ₃ -N (mg/L)	进水	20~36.3	28.1	35.3~42.4	39	23~38.7	30.3	28.8~37	31.8
	初沉出水	15.5~35	25.8	23.6~37.7	30	19.6~36	28	26.5~33.2	30.8
	出水	0.3~7.5	2.45	0.4~1.4	0.8	0.5~12.8	4.9	0.6~6.1	3.4
	去除率(%)	74~98	91.6	96~99	97	54.8~98.6	84.0	80~98	89.2
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	进水	2.3~10.3	5.0	3.8~9.1	5.3	3.5~10.1	5.7	2~7.1	4.1
	初沉出水	2.0~8.1	3.9	3.4~8.8	4.8	3.4~5.4	4.1	1.6~5.5	3.6
	出水	0.7~2.2	1.5	1.0~3.7	2.1	0.1~2.9	0.8	0~0.4	0.12
	去除率(%)	43~91	64.8	47~76.8	62	32.4~98.4	84.1	86.7~99.9	96.2
出水 NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	0.1~0.5	0.4	0.1~1.8	0.7	0.2~1.0	0.5	0.2~1.8	0.9	
出水 NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	10.4~15.4	12.5	9.5~12.9	11	7.9~13.4	11.2	4.7~11.4	8.7	

表 3 同期污水厂生产工艺主要运行结果

COD(mg/L)			NH ₃ -N(mg/L)			PO ₄ ³⁻ -P(mg/L)			NO ₃ ⁻ -N
进水	出水	去除率(%)	进水	出水	去除率(%)	进水	出水	去除率(%)	出水
756	34.6	95.4	28.8	22.9	21.5	5.6	1.9	66.6	0.8

说明:表中所列数据为试验期间污水厂生产运行指标四个月(5~8月)监测的平均值。

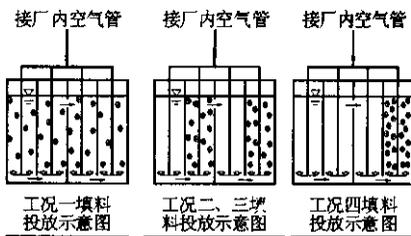
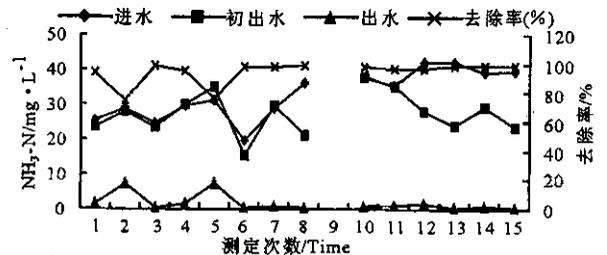


图2 中试填料投配方式示意图



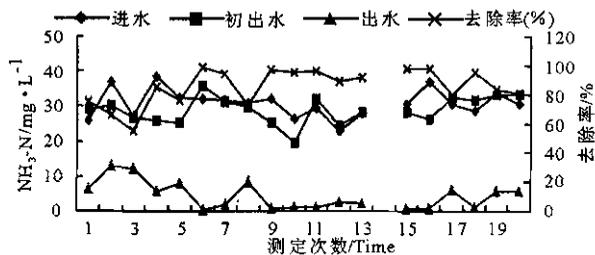
说明:图中1~8为工况一测定结果,10~15为工况四测定结果。
图3 工况一、工况二对NH₃-N的去除效果图

情况下,工况一、二对氨氮的去除率达到 90% 以上。其中工况一进水氨氮在 20~36.3mg/L 之间波动,平均值为 28.1mg/L,出水在 0.3~7.5mg/L 之间变化,平均值为 2.5mg/L,去除率达 91.6%;而工况二进水氨氮在 35.3~42.4mg/L 之间波动,平均值为 39.5 mg/L,出水在 0.4~1.4mg/L 之间变化,平均值为 0.8 mg/L,去除率更高达 97%,硝化反应进行非常完全。工况一对氨氮的去除率比工况二的去除率提高了 5% 左右,而且从图 3 可以看出,工况二对氨氮的去除效果更稳定,去除率波动范围更小。而两工况的差别主要表现在填料的投配方式上,工况二填料集中投配,工况一填料均匀投配。从分析的数据看,工况二填料上生物膜量比工况一的多出 16.7%,表明填料在单格池中投配比越高,填料越拥挤,填料活动范围越小,填料就越容易挂膜,生物膜量就越多,处理效果就越好。

在此基础上,进一步降低填料投配比,投配率降到

15%,同时再次改进填料投配方式,进行了工况三和四的试验。结合表 2 和图 4 可以看出,尽管系统对氨氮的平均去除率比工况一、工况二降低约 10%,但仍高达 80% 以上。其中工况三进水氨氮在 23~38.7mg/L 之间波动,平均值为 30.3mg/L,出水在 0.5~12.8 mg/L 之间变化,平均值为 4.9mg/L,去除率达 84%;而工况四进水氨氮在 28.8~37mg/L 之间波动,平均值为 31.8mg/L,出水在 0.6~6.1mg/L 之间变化,平均值为 3.4mg/L,去除率更高达 89.2%;两工况的对比试验和前两工况的非常相似。工况四比工况三去除率更高,去除效果更稳定,出水氨氮波动更小。那么能否进一步降低填料的投配率呢?从图 4 可以看出,在两种工况中,分析数据期间,尽管平均去除率较高,但出水中氨氮超过 10mg/L 的却在三次以上,如果运行管理不善,出水就有可能超出 15mg/L。据此认为,系

统填料投配比不应再降低,15%为其下限值。



说明: 图中1~13为工况三测定结果, 15~20为工况二测定结果。

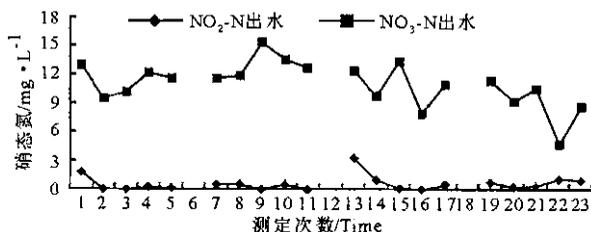
图4 工况三、工况四对NH₃-N的去除效果图

试验结果表明:在相同的投配比的条件下,悬浮填料投配点越靠后,系统的硝化效果越好。分析认为,这主要是因为系统曝气池分四格,每格的BOD负荷不一样,投加填料的目的是用来提供硝化菌群生长环境的载体,越靠后,其负荷越低,越有利于硝化菌群取得竞争优势,越易于成为优势菌群,因而也就越有利于硝化反应的进行。当然,硝化细菌要成为优势菌群,也必须达到一定的量,而硝化细菌的量又和投加的悬浮填料的量相关,所以存在悬浮填料最小投配比的问题。

对比表 2 和表 3 可知,同期污水厂氨氮的平均去除率为 21.5%,出水平均值高达 22.9mg/L。表明污水厂活性污泥不具备生物强化脱氮效果,而中试系统悬浮污泥采用天山厂回流污泥,因而也不具备脱氮功能,它说明试验系统的脱氮功能只能是由投加到反应器中悬浮填料上附着生长的生物膜作用的结果。因而证明了试验系统中悬浮填料在创造脱氮效果方面的巨大作用。

由中试试验装置可知,系统取消了自己的污泥回流,所以其硝态氮不能随污泥回流到系统的首段而发生反硝化反应被去除。但中试在 DO 的控制方面,仍按进行前置反硝化的方式来控制。这种控制基于两方面的考虑,其一是留出反硝化的空间,这样如果系统按自己的回流方式运行,能非常顺利的发生反硝化反应^[4];其二是考察在原曝气池容积 3/4 的条件下,系统是否能够实现对 COD 等常规指标的去除并且能进行比较彻底的硝化反应。试验结果显示,系统能进行非常完全的硝化反应。那么各工况出水硝态氮如何变化呢?从表 2 和图 5 知,系统出水硝态氮前三个工况基本上在 10mg/L 以上,但平均值都没有超过 13mg/L。而工况四更低,平均值为 8.7mg/L。说明系统在运行中发生了反硝化反应,通过 N 的平衡计算,知其反硝化的比例达到 30%~45%。这与系统的控制条件关系很大,从表 1 可以看出,试验系统曝气池的第二、三两格溶解氧控制比较低,在 1.5~2.5mg/L 之间。污泥浓度比较大,在 4g/L 左右,而且系统中还有悬浮填

料,其生物膜量也在 2g/L 左右,在此种溶解氧条件下,很容易形成缺氧的微环境,发生同步反硝化反应。试验结果显示,由于投加悬浮填料,这种同步反硝化被加强,通常认为在活性污泥法中,发生同步反硝化的比例在 20~30%^[5],而中试试验中同步反硝化的比例达到了 40%左右。它表明,投加悬浮填料不仅创造了硝化反应条件,而且还可以强化系统发生同步反硝化的环境,提高系统的同步反硝化的能力。



说明: 图中1~5为工况一测定, 7~11为工况二测定, 13~17为工况三测定, 19~23为工况四测定。

图5 工况一~工况四出水硝态氮变化效果图

3 小结

(1) 利用污水厂回流污泥为试验系统悬浮污泥,直接证明了正是悬浮填料的投加使悬浮填料活性污泥法具备脱氮除磷功能;

(2) 悬浮填料最小投配率为 15%即可满足试验出水的要求,这比前期的结论^[3-4]50%要低得多。同时,填料宜集中投配,投配在曝气池的第二格和第四格,甚至只投加在第四格,能够取得较好的效果;

(3) 试验过程中曝气池的第一格控制为缺氧,为反硝化创造条件;第二、三两格溶解氧控制在 1.5~2.5mg/L 之间,有利用实现同步硝化反硝化的进行;第四格溶解氧控制在 2.0~3.0mg/L 之间,以减少二沉池污泥上浮的可能性。在 HRT 为 6.2h 下,如此控制,系统对 COD 等常规指标和氮磷的去除效果是令人满意的。

[参考文献]

[1] 何国富. 增加碳源改进 AB 法工艺氮磷脱除功能的试验研究[C]. 青岛建筑工程学院硕士论文, 2001.
 [2] 何国富, 周赠炎, 高廷耀. 悬浮填料活性污泥法的脱氮效果及影响因素[J]. 中国给水排水, 2003, 6.
 [3] 夏四清, 王学江, 高廷耀, 等. 悬浮填料生物反应器去除有机污染物和氨氮的中试研究[J]. 给水排水, 2000, 2.
 [4] 何国富, 周赠炎, 高廷耀. 投加悬浮填料强化传统活性污泥法的脱氮功能试验研究[J]. 环境工程, 2003, 4.
 [5] 高廷耀. 生物脱氮工艺中的同步硝化反硝化现象[J]. 给水排水, 1998, 24(12).

(收稿 2004-06-12; 修回 2004-12-15)