悬浮填料活性污泥法影响因素初探

Preliminary Approach on Affected Factors of Activated-Sludge by Adding Suspended Media

何国富 周增炎 高廷耀 (同济大学环境科学与工程学院,上海 200092)
He Guofu Zhou Zengyan Gao Tingyao (School of Environmental Science and Environmental Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

摘要 针对传统活性污泥法生物脱氮除磷功能较差,前期试验和中试试验采用投加悬浮填料强化其脱氮能力,进而研究了曝气方式对生物膜量的影响,及低温、填料投配比和生物膜量等因素对系统脱氮效果的影响。结果表明,采用微孔曝气能显著提高填料的生物膜量,而在一定范围内降低填料投配比对系统硝化效果影响不大,冬季通过提高系统的曝气量,可以保证系统的硝化效果基本不变,使出水氨氮较低,出水完全可以达标排放,表明试验投加悬浮填料强化传统活性污泥法的脱氮功能是经济、简便和可行的。

关键词: 生物脱氮除磷 活性污泥法 悬浮填料 影响因素

X7 A

1 前言

常见的脱氮除磷工艺,如 A/O 系列(如 A/O、A^2/O、UCT、JLS 等)、SBR 系列(如 SBR、MSBR、CASS 等)等[1],其工艺比较复杂、设计水力停留时间较长、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、高效的脱氮除磷处理手段,同济大学研究提出了倒置 A^2/O 工艺[2]、同步 A^2/O 工艺、时序 A^2/O 工艺等。其中悬浮填料活性污泥法是在传统活性污泥法工艺的曝气池中投加悬浮填料的一种改进型工艺,该法兼有活性污泥法和生物膜法 2 种处理方法的特点和优点,具有脱氮除磷的功能。

本文主要针对悬浮填料活性污泥法运行的影响因素进行探讨。

2 试验部分

2.1 试验装置

中试试验采用传统活性污泥法工艺在上海天山水质净化厂进行。试验装置完全模仿该厂生产工艺,曝气池也分 4 格,所不同的主要有:

一是中试系统每格曝气池为完全混合式,而生产工艺为推流式;

二是中试系统曝气池中投加悬浮填料,其投配比、投配方式和投配点可以灵活选定;

三是曝气池设计 2 套曝气系统,穿孔管曝气或微孔曝气盘曝气,每格曝气量由球阀控制,空气总量由转子流量计计量,试验装置如图 1 所示。

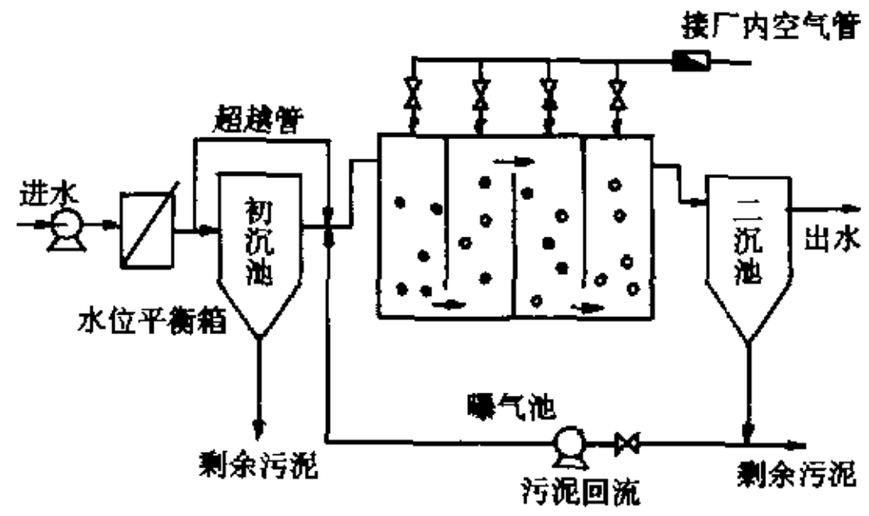


图1 中试流程
Figure 1 Experimental flow process

2.2 处理水质

进水取自天山水质净化厂曝气沉沙池出水,污泥由该厂生产工艺的回流污泥接种,试验采用连续流进水,流量为 $1m^3/h$,曝气池水力停留时间为 6.2h。

经过约 30d 的挂膜,系统运行效果比较稳定,开始实验。

2.3 主要运行参数(见表 1)

上海市重点学科资助项目。

第一作者何国富,男,1975 年生,1998 年毕业于青岛建筑工程学院,现为在读博士研究生。

万方数据

表1 各工况运行参数[1)]
Table 1 Main parameters of the experiment

工况	温度(℃)	流量(m^3/d)	投配比(%)	DO[2)](mg/L)				回流比(%)	$MLSS_{泥}$(mg/L)	$MLSS_{膜}$(mg/L)	泥龄(d)
				1	2	3	4				
1	28.5	24	20	0.5	1.8	2.1	2.2	100~150	3485	2050	10
2	11.5	24	20	0.5	1.0	3.1	3.2	100~150	2899	2301	15
3	11.3	24	20	1.3	1.6	3.5	3.2	100~150	3931	2261	15

1）工况 1 为低投配比试验；工况 2、3 为低温试验；2）表中所示溶解氧 1、2、3、4 分别表示曝气池的一、二、三、四格反应器中溶解氧。

3 结果与讨论

本试验先进行不同曝气方式下的挂膜试验，然后进行了 3 个工况的研究，主要对悬浮填料活性污泥法的挂膜、填料投配比和冬季低温等影响系统脱氮功能的因素进行试验。其工况运行参数见表 1，结果见表 2。

表2 各工况运行结果[1)](mg/L)
Table 2 Main results of the experiment

工况		COD			NH_3-N		
		进水	出水	去除率(%)	进水	出水	去除率(%)
1	范围	200~805	27~44	80~94.7	23.0~38.7	0.5~12.8	65.5~97.3
	平均值	393.7	34.9	90.5	30.3	4.92	84.0
2	范围	309~809	24~56	83.3~96.5	26.7~38.2	4.3~18.5	40.2~96.6
	平均值	494	37.6	92.4	32.2	11.4	64.3
3	范围	331~632	25~45	88.7~96.1	29.2~39.3	3.8~11.1	63.2~90.1
	平均值	434	34	92.2	33.3	7.2	77.7

1）工况 1 为低填料投配比试验；工况 2、3 为低温试验。

3.1 曝气强度、曝气方式对生物膜量的影响

前期试验[3]氨氮进水平均值为 33.2mg/L，出水平均值为 8.9mg/L，去除率为 73%。表明悬浮填料活性污泥法可提高系统氨氮和总氮的去除率，用该工艺改进传统活性污泥法是简便、高效和可行的。但试验过程中也存在一些问题，比如试验系统中生物膜量较少，经测定仅为 1.062g/L，而我们曾用同种类型的填料处理城市污水，在投配率为 75%、水力停留时间为 1h、BOD_5容积负荷为 5.5kg/(m^3·d)的条件下，填料上的生物膜量达到 8.4~10g/L。本试验装置中生物膜主要集中在填料球体的中间部分，外围明显被水力剪切。由此推测生物膜量少的主要原因是装置中水流剪切力过大造成的。由于该悬浮填料易于流化，在曝气池中随水流一起上下翻动，中试系统用穿孔管曝气，池浅、气泡大，氧的利用率较低，所需的空气量较大；又由于系统中同时发生碳化、硝化反应，需氧量大，因此中试的气水比为 20~30:1，强度为 10.7m^3/(m^2·h)，而同期生产上曝气池强度为 6.75 m^3/(m^2·h)。针对上述情况，采取以下 2 种措施：(1)填料集中到第 2 和第 4 格中，使这 2 格的投配率达 90% 以上，填料处于拥挤状态，单个填料流化空间显著降低。(2)将曝气系统由穿孔管曝气改为微孔曝气盘曝气。改造后，总空气量由原来的 20~30m^3/h 降至 7m^3/h 即可满足试验所需溶解氧的要求。填料上生物膜量的增长情况见表 3。

表3 生物膜量随时间变化
Table 3 Changes of quality of biofilm with the changes of time

天数(d)	生物膜量(g/L)	
	第 2 格	第 4 格
0	0.8870	0.4860
10	1.7465	0.8147
20	2.1722	0.9184
30	3.6960	1.4189

结果分析：系统由穿孔管改为微孔曝气后，由于进入的空气量大为减少，平均曝气强度减少到 2.5m^3/(m^2·h)，曝气气泡显著变小，并且将填料集中在 2 格曝气池中，使填料处于拥挤状态，导致填料在曝气池中的流化程度大为降低。由表 3 可见，生物膜量的增长随时间变化非常明显，经 30d 后，填料上生物膜量相当稳定，是改造前穿孔管曝气时的 3.5 倍左

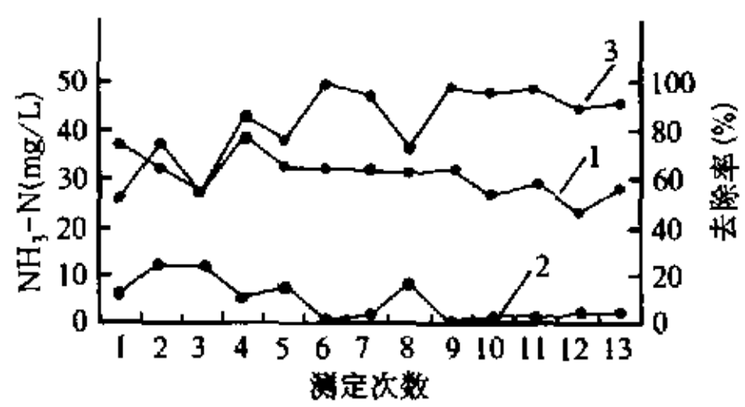
万方数据

右，达到3.696g/L。另外，第2格中填料上的生物膜量明显比第4格中的多，产生这种现象的主要原因是，试验装置中4格曝气池各格为完全混合式，但每格之间为串联连接，第2格中有机污染物浓度较第4格的高。可见有机负荷对填料上的生物膜量有相当影响。且系统具有很好的硝化能力。

该试验表明：曝气强度对生物膜量有明显的影响，采用微孔曝气较穿孔管有利于试验系统填料的挂膜和提高膜量。

3.2 降低填料投配比试验

前期实验采用的填料投配率为50%，工况1试验的主要目的是探讨降低填料投配率的情况下，试验系统的脱氮效果，以确定经济合理的填料投配率。氨氮的处理效果见图2。



1-进水；2-出水；3-去除率。

图2 工况1氨氮去除效果

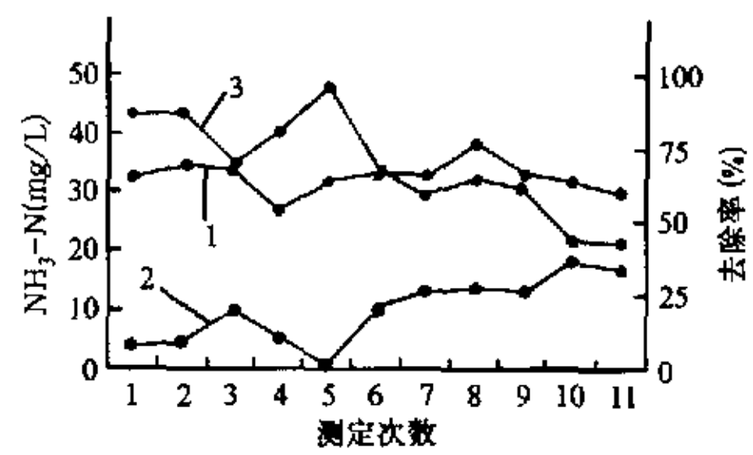
Figure2 Effect of NH_3-N removal rate

结果分析：系统对COD的平均去除率达90.5%。表明系统对有机物等常规指标有很好的去除效果；系统对氨氮的去除率达84.0%，进水氨氮平均值为30.3mg/L，出水仅为4.92mg/L。同期天山厂对氨氮的去除率仅为30%左右。另一面，系统出水硝酸盐浓度偏高，平均值为11.2mg/L，分析认为不能实现反硝化的主要原因是：(1)缺氧水力停留时间太短，活性污泥还没有充分进行反硝化反应就进入对反硝化有抑制作用的好氧环境；(2)后续各格溶解氧量控制太低；(3)与试验进水水质变化有关系；(4)可能是填料的投配率降低到20%，使各格反应器中的有效生物量减少，导致系统不能反硝化。

工况1表明，在将填料投配量从总曝气池容积的50%降低到20%，在合理选择运行参数和填料投配方式、投配率的情况下，系统仍然可以实现较理想的氨氮去除率。

3.3 低温影响试验

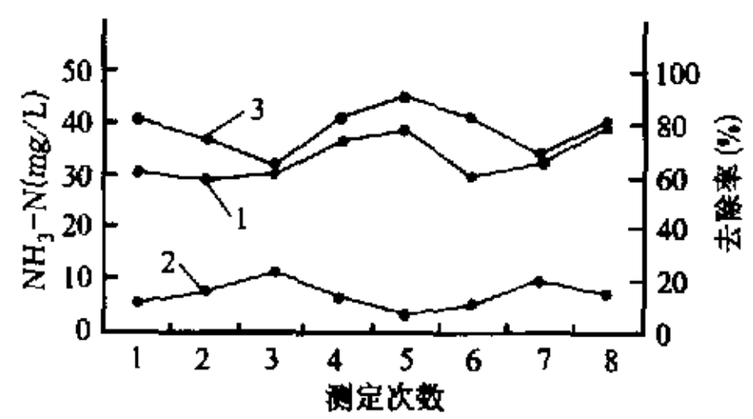
进行了低温条件下的试验研究，以探讨悬浮填料活性污泥法工艺能否保证在冬季低温条件下仍具有良好的硝化效果，使出水氨氮达标排放。试验参数、结果见表1、2，去除效果如图3、4所示。



1-进水；2-出水；3-去除率。

图3 工况2氨氮去除效果

Figure 3 Effect of NH_3-N removal at No.2 experiment



1-进水；2-出水；3-去除率。

图4 工况3氨氮去除效果

Figure 4 Effect of NH_3-N removal at No.3 experiment

工况2运行结果表明：在其它运行参数未作变动的情况下，COD去除率为91%，可见水温在11℃左右时对COD的去除无明显影响。而氨氮的出水平均值为11.4mg/L，小于15mg/L，但较工况1出水的8.9mg/L有明显的升高，且其中有几天试验出水氨氮超过了排放标准所规定的15mg/L。与单纯的活性污泥法相比，悬浮填料反应器已经大大减小了温度对硝化的影响。

工况3将曝气池前3格溶解氧提高，使4格均为好氧，其中第1格提高约1mg/L，后面3格每格大约提高0.5mg/L，以期强化系统的硝化效果。运行结果显示，氨氮的出水平均值为7.2mg/L，去除率为78%，并且在进行此工况期间每天出水氨氮都能达标排放。可见，在温度较低条件下，如5~10℃时，可通过适当加大曝气量，提高好氧段时间，来强化硝化作用，以降低温度的不利影响。

4 结论

4.1 悬浮填料活性污泥法工艺用于强化城市二级处

（下转第1012页）

万方数据

下，要经常性地报道有奖举报的事迹；推行环境违法公示制度，定期公布违法单位的“黑名单”。

3.3.4.2 加强市、区环保执法队伍能力建设

市、区环保部门要有效地开展环境执法，必须有一支高素质的环保执法队伍。因此，市、区环保部门应加强执法能力建设，提高执法人员素质，建议做好以下几点工作：

（1）根据环境执法的实际需要，吸收一批环保专业、法律专业人才，充实环保执法队伍。

（2）强化执法培训，提高全员素质。结合“四五”普法，认真组织环境保护法律法规、执法技能培训和考核，开展执法人员学法用法活动。加强执法人员责任感和使命感的教育，要经常性的贯彻“环保不执法，等于自己在违法”的理念。

（3）应坚持定期考评、择优录用原则，采取轮岗、待岗、下岗等有效措施，杜绝因用人不当而影响执法质量的现象，环保执法系统可借签法院系统“末位淘汰制”的经验，制订规范和标准，加大力度，对一些不适宜在环保岗位上的执法人员，应实行末位淘汰。

3.3.4.3 加大投人，确保执法系统硬件建设

首先要按照市政府有关“行使具体行为事业单位过度为行政事务执行机构的实施意见”的要求，对现行委托机构进行职能委托执法机构的职能梳理和结构调整，扩大现场执法人员编制、经费问题；其二是加强环境监察机构的规范化建设，建立、健全内部规章制度，加大现场执法装备的投入，提高现代化管理水平；其三，要通过多种途径解决环境监测投人不足的问题，以增加环境执法的科学性。要加强对排污大户或主要污染源的监控设施建设，尽快完善在线监测系统，做到随时掌握各主要污染源的排放动态，督促其治污设施正常运行，切实减轻对环境的污染，做到真正达标排放。

责任编辑 唐东雄 （收到修改稿日期：2003—11—10）

（上接第994页）

2 陈国璋，陈惠晓．谈谈生物电磁学研究热点——非热效应．物理，1998，27(3)：151～155．
3 汪和睦，谢廷栋．细胞电穿孔电融和电刺激原理技术及应用．天津：天津科学技术出版社，2000．
4 R Ian Freshney. Culture of Animal Cells—a manual of basic technique Author. Edition IV. 2000.
5 司徒镇强，吴军正．细胞培养．世界图书出版社，2000．
6 林克椿，聂松青．用荧光探剂DPH研究腹水癌细胞膜脂流动性．生物化学与生物物理学进展，1981，(6)：32～35．
7 Rosanna Beraldi, Ilaria Sciamanna, Rosamaria Mangiacasal. Mouse early embryos obtained by natural breeding or in vitro fertilization display *a differential sensitivity to extremely low-frequency* electromagnetic fields. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2003，538(1～2)：163－170．
8 张睿，钟季康，李学礼．电磁场对DNA的影响．中华物理医学与康复杂志，2000，22(4)：250－251．
9 Jorissen RN, Walker F, Pouliot N, et al. Epidermal growth factor receptor: mechanisms of activation and signalling. Exp Cell Res, 2003，284(1)：31～53．
10 孙大业，郭艳林．细胞信号转导．北京：科学出版社，2001．
11 丁荔萍，张红锋．低频脉冲电场对胰岛素介导的细胞增殖影响及其作用机制研究．细胞生物学杂志，2002，24(5)：303～306．
12 陈树德，陈家森，王丽英．低频电磁场与细胞信号系统．基础医学与临床，2000(20)：16～19．

责任编辑 翟霁月 （收稿日期：2003—09—03）

（上接第997页）

理厂的脱氮除磷功能是简便、高效和可行的。在填料投配率为20%条件下，中试系统能够对氨氮保持较高的去除水平，出水氨氮可以达标排放，但填料的最佳投配率有待进一步试验优化。

4.2 曝气强度和有机负荷是影响生物膜量的重要因素之一，有机负荷愈高，填料生物膜量越多；但曝气强度太大，会影响生物膜的附着生长，进而影响生物膜量，本试验采用微孔曝气效果更佳。

4.3 冬季低温对氨氮的去除率有影响，但与单纯的活性污泥法相比，影响程度大为降低，并且可以通过适当提高好氧段的溶解氧，来减弱甚至消除低温的不利影响，每格所需提高的溶解氧量大约为1mg/L。

4.4 适当的控制曝气池的溶解氧浓度，有利于该处理系统中发生同步硝化反硝化反应。

5 参考文献

1 何国富，张波．强化AB法的脱氮除磷功能研究．中国给水排水，2002，18(9)：12～15．
2 张波，高廷耀．倒置A^2/O工艺的原理与特点研究．中国给水排水，2000，14(7)：11～15．
3 何国富，周增炎，高廷耀．投加悬浮填料强化传统活性污泥法的脱氮除磷功能试验研究．环境工程，2003，21(4)：15－17．

责任编辑 蒋瑶琴 （收到修改稿日期：2003 09—30）

万方数据