

延时曝气淹没式生物膜法同时去除 有机物和氮的工艺研究

王宝贞 王琳 时双喜 马放 杨铨大[√] 刘润芬

(哈尔滨建筑大学)

(苏州城建环保学院)

摘要 本文通过小试,研究了利用淹没式生物膜法同时去除有机物和氮的工艺的可能性,通过在不同条件下的对比试验,确定了最佳操作条件和参数。发现淹没式生物膜法同时去除以 BOD_5 和 COD 为代表的有机物及总 NH_3-N 是十分有效的,剩余污泥量仅是利用具有相同处理能力的 AS 过程的剩余污泥量的 $1/20 \sim 1/10$,因而节省了污泥处理及处置的投资、运行费用和管理费用。由于和 AS 过程相比没有污泥回流,使其操作运行方便。

关键词 废水处理;有机污染物;氮;生物量;淹没式生物膜法

分类号 X703

1 试验方法及其效果

1.1 试验装置图

图1为小试示意图,池内装有软性填料,曝气系统采用穿孔管,按着进出水顺序池内划分四个区。

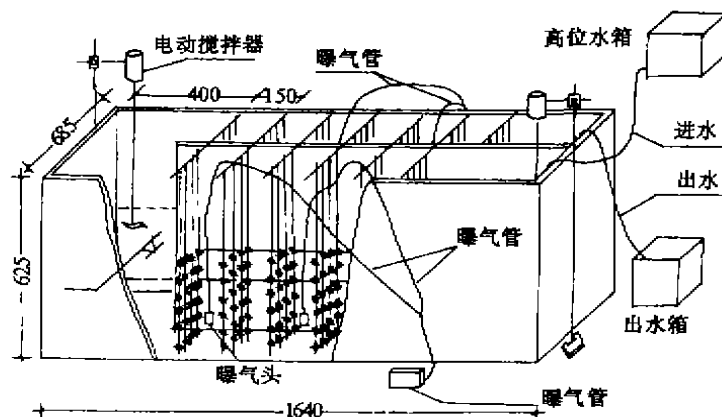


图1 淹没式生物膜系统小试装置示意图

1.2 污水水质

因为试验在实验室内进行,原水按污水性质情况,进行人工配水,其水质指标如下:

收稿日期:1996-07-03

王宝贞 男 教授/哈尔滨建筑大学市政环境工程学院 (150008)

BOD ₅	100 ~ 200 mg/L
SS	100 ~ 200 mg/L
TN	40 ~ 50 mg/L
NH ₃ -N	30 ~ 40 mg/L

1.3 在不同的水力停留时间(HRT)、水力负荷率(HLR)和有机负荷率(OLR)下的处理效率

图2表示当试验的水力负荷为0.6、1.1、1.5、3和6 m³/m²d, 相应的有机负荷为0.04、0.067、0.08、0.2和0.4 kgBOD₅/m³d, HRT为5、3、2、1和0.5d 相应的处理效率。从图2可以看出, 当HRT从5d变为0.5d, 水力负荷从0.6增至6 m³/m²d, 有机负荷从0.04至0.4 kgBOD₅/m³d, SS和BOD₅的去除率仍高达90%, COD达80%, 出水BOD₅和SS的浓度低于20mg/L。同样, 在上述变化过程中, 除HRT=0.5d, HLR=6 m³/m²d, OLR=0.4 kgBOD₅/m³d外, TH和NH₃-N去除率分别稳定在70%和80%~90%, 它们平均出水浓度低于5mg/L。但当HRT=0.5d, HLR=6.0 m³/m²d, OLR=0.4 kgBOD₅/m³d时, 由于供氧不足, NH₃-N去除率明显下降。如在HRT<0.5d时仍能提供充足的氧以维持正常的好氧状态, NH₃-N的去除率将高达70%~80%。事实上大量的NH₃-N、TN、SS和BOD₅的去除, 主要是靠纤维填料上附着的生物膜的作用, 曝气促进了膜的生长和代谢作用, 而在HRT=0.5d时, 大量的SS及含碳和氮的物质被吸收, 由此形成的膜应比延长水力停留时间, 降低水力负荷及有机物负荷的膜更好, 这种膜拥有更大量的生物量及更强的生物活性。

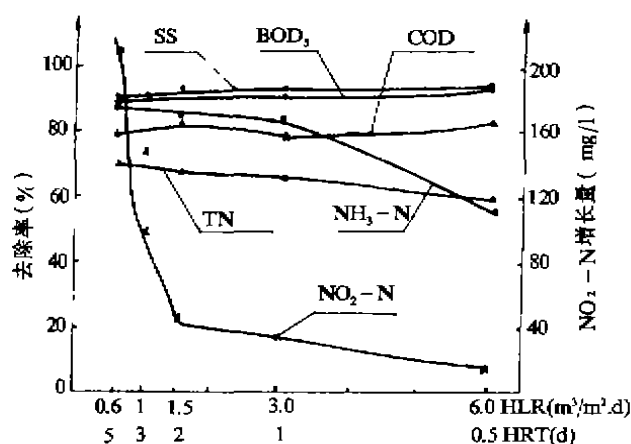


图2 各种污染物的去除率与NO₂-N的增长量与HRT和HLR的关系

2 生物膜特性研究

决定设备处理效率的最重要的因素是生物膜, 为此对其相关特性进行了大量的研究, 包括: 它的生长代谢规律, 生物体的构成以及环境对其活性的影响。我们主要进行了表面观察、沉淀性能、生物量和生物相的研究。

2.1 生物膜表面观察

1. 在HRT=2d和3d时生物膜的观察。如果供氧充足, DO≥3mg/L, 膜呈红棕色或褐黄色, 生长密实, 没有恶臭气味, 具有很强的处理能力。图3表示池内四个区域内填料上生物膜的不同特性, 在I区生物膜最密实, 呈棕黄色, 在膜的表面上长有5~6cm的丝状絮体。每根纤维填料上的生物膜重2g(干重), 在该区尤其是底部, DO最低, 甚至低于2mg/L, 故应加大该区的曝气量, 在底部的填料上有黑色的生物膜出现, 并且其中一些开始脱落。通过从每个区底部取样分析发现, 80%~90%BOD₅是在该区段内去除

的,该区的优势种属为杆菌属,假单胞菌属,动胶菌属,放线菌属。同时也存在大量氨化和硝化细菌。 N_2 的去除是通过从 NH_3-N 到 NO_2-N 到 N_2 的逐步转化,最终产物以气体的形式从水中释放出来,进而达到除氮的目的。此外,大部分的 NH_3-N 参与生物膜中细菌和藻类新细胞的合成。

第II区的膜也呈棕黄色、密实,但其生物量比I区的小,每根绳上填料的膜重为1.5~1.8g,通过在第II区的终端取样和在池出口取样,它们的水质参数测定值接近,表明剩余的 BOD_5 , TN, NH_3-N 的大部分在该段去除。HRT=2和3d时,在第I区和第II区,即在第一廊道,原生污水中大约有90%的 BOD_5 , NH_3-N 和TN被去除。

第III区的膜密实,呈深黄色,比第I、II区的膜薄,生物量也较少,每绳填料在1.2~1.5g。第IV区的膜密实,呈乳黄色、更薄,每根绳填料的生物量为1g。第III、IV区内存在大量的硝化细菌,除了去除剩余的 BOD_5 和SS外,还进行硝化与反硝化去除氮。

但如果供氧不足,生物膜会变暗→变黑→变灰白至脱落,脱落的膜沉淀性能差,浮在水面极易被打碎成细小的颗粒而造成出水水质差。这种膜停留在填料上活性也很差,因此供氧足是保持膜高活性的重要因素。

2. 在HRT=1和0.5d时的观察。在HRT=1和0.5d时,由于接受了高水力和高有机负荷,膜的代谢作用加速了,每个区填料上的膜是循环变化的。在第I区内,膜先变暗,变黑,从密实变得松散甚至很快脱落,随后新的淡黄色的膜开始生长。在第II区,最初两天膜的情况与第I区类似,膜变暗,并有部分是黑色,这是典型的好氧-厌氧双层膜,该膜表面呈黄棕色内部呈黑色。第III区的膜紧贴在填料的表面,生长良好。第IV区的膜较薄,表面附着一些脱落的膜。

通常,不同的部位都有循环变化,有新膜、成熟的膜、老化脱落的膜和脱落膜的吸附区,在高水力负荷和高有机负荷条件下,污水流经曝气槽时,它们协同工作,能有效地处理污水。

经观察发现,在膜中有原生动物和后生动物象草履虫,轮虫、线虫、水蚤等,它们建立起较长的食物链,他们的捕食形成菌类和藻类数量的动态平衡,剩余污泥的数量,远小于活性污泥法系统的剩余污泥量。

2.2 关于生物膜沉淀性能的试验

从填料上洗脱膜的沉淀试验:在HRT=3和2d,在正常运行时,从曝气槽的起端、末端及中部取出有代表性的填料绳,放入桶中用自来水冲洗后,经半小时沉淀排出上清液,将底部的混合液倒入1000mL量筒内,加入自来水到1000mL刻度,然后开始沉淀试验。随着沉淀时间的延长,沉淀污泥体积逐渐减小。沉淀时,从填料上洗脱的细小颗

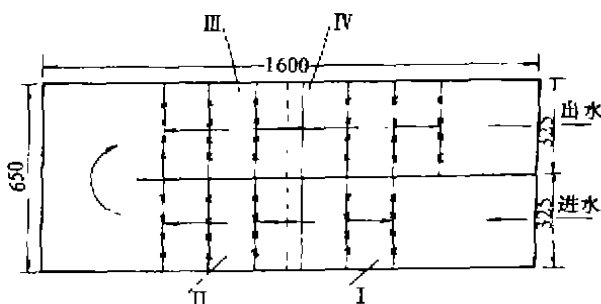


图3 生物膜特性分区观测示意图

粒具有很好的生物活性, 它们能迅速絮凝, 形成大的絮凝体, 使沉淀过程能在 1h 内完成。

在 HRT=2, 1 和 0.5d 时, 进行上述操作并将结果绘成曲线见图 4。(由于洗膜失败, 未能包括 HRT=0.5d 的结果)表 1 表示 2h 的沉淀生物膜的体积及其干膜的重。

从图 4 和表 1 来看, 在 HRT=2d 时, 从填料上洗脱的膜沉淀性能最好, 因为它密实具有极佳的絮凝能力, 沉淀迅速, 可以在 1h 内完成沉淀。此外, 沉淀膜的含水量少, 所以 SVI 值小。HRT=1 和 0.5d 的膜, 尽管不如 HRT=2d 的好, 但也不错。这主要是由于水力负荷和有机负荷增加时, 有些膜供氧不足, 如能充足供氧使所有的膜都工作在好氧条件下, 情况将有所改善。在 HRT=2, 1 和 0.5d 时, 膜的相应的 MLSS 分别为 560、410 和 256mg/L, 而延时曝气活性污泥法中 MLSS 值应保持 2000~3000mg/L, 但在进水 SS 和 BOD₅ 浓度较低时 ($\leq 100\text{mg/L}$), 是很难达到的。表 2 为 HRT=2, 1 和 0.5d 时延时曝气活性污泥法和该方法的负荷对比。从表中可以看出, 在 HRT=1 和 2d 的污泥负荷率是延时曝气活性污泥的 4 倍, 当 HRT=0.5d 时是 8 倍。

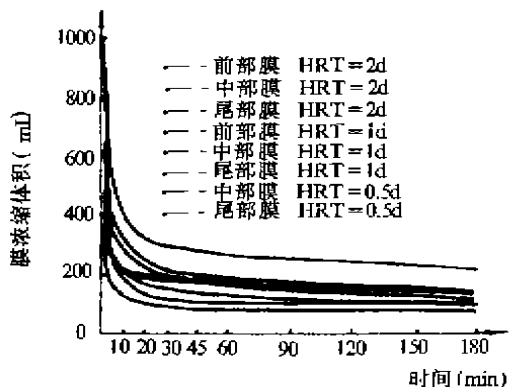


图 4 生物膜沉淀曲线

表 1 洗脱膜的沉淀性能参数

HRT(d)	填料位置	沉淀 30min/2h	后膜体积 (mL)	干重 (g)	含水率 (%)	SVI(L/g)	总生物量
2-3	前部	156/106		1.978	96.12	79.06	84(g) ⁽¹⁾
	中部	130/102		1.847	98.21	60.50	560mg/l
	后部	96/74		1.359	98.16	70.64	(MLSS)
1	前部	339/238		2.424	98.98	139.85	123g ⁽²⁾
	中部	197/157		1.942	98.76	101.44	410mg/l
	后部	188/141		1.506	98.93	93.62	(MLSS)
0.5	中部	225/145		2.556	98.23	88.02	154g ⁽²⁾
	后部	210/130		1.934	98.51	108.58	256mg/l
							(MLSS)

注: (1) 当池中有 48 根填料绳时 (2) 当池中有 63 根填料绳时

表 2 延时曝气活性污泥和淹没式生物膜法的有机负荷率对比

HRT(d)	(kg BOD ₅ /kg MLSS·d)			
	EAAS 过程		EASB 过程	
	进水 BOD ₅ (mg/L)	进水 BOD ₅ (mg/L)	进水 BOD ₅ (mg/L)	进水 BOD ₅ (mg/L)
2	100	100	100	100
1	0.025	0.025	0.025	0.025
0.5	0.05	0.05	0.05	0.05
	0.10	0.10	0.10	0.10

2.3 脱落膜的沉淀特性和生物量的测定试验

由于脱落膜中含有气泡而浮在水面, 随着气泡的逸出而逐渐沉淀。在一天的运行时

间内，及时收集脱落的污泥到一个1000mL量筒内，之后用自来水加至1000mL刻度，而后按照上面描述的相同过程进行沉淀性能的试验。HRT=2d时取3个样；HRT=1d和0.5d时分别取两个样，相应的脱落膜的沉淀曲线绘于图5中。它们的特性参数列于表3中，从表中数据可见，来自HRT=2d的运行过程的膜具有极好的沉淀性能，能在2hr甚至1hr内沉淀。而HRT=1d和0.5d时在水力负荷和有机负荷较高的条件下，去除1gBOD₅产生的膜脱落形成剩余污泥量是很低的，膜的比容值很小。这是由于原生动物和后生动物捕食消耗细菌和藻类，这样就消耗了大量的生物膜，只有少部分剩余的膜以脱落膜的形式去除。例如在HRT=0.5d时，污泥负荷为0.78kgBOD₅/kg·MLSS·d（进水BOD₅=100mg/L），处理1m³污水产生的污泥总量为0.95L，其含水率98.0%，每天产生的污泥总量仅为2m³（设备的处理能力为6000m³/d），相应的去除1kgBOD₅时仅产生0.08kg的污泥，而活性污泥过程则产生0.6~0.7kg/kgBOD₅的污泥。

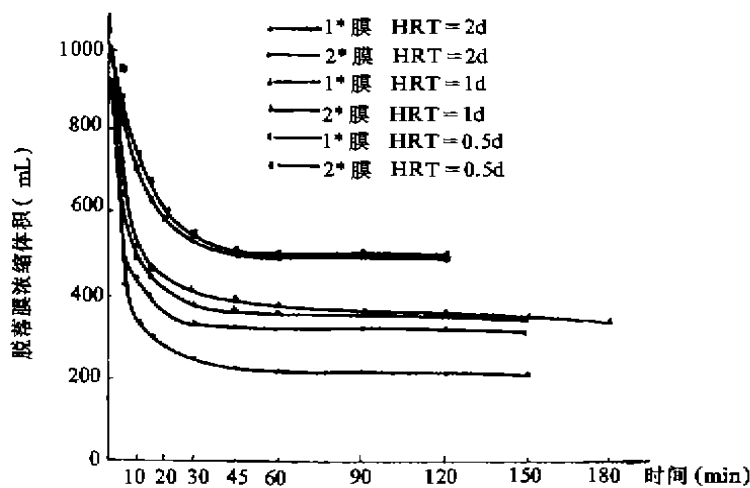


图 5 脱落膜的沉淀曲线

表 3 脱落膜的特性参数

HRT (d)	水样 编号	30min/2hr's 沉淀后膜体积 (mL)	干重 (g)	含水率 (%)	SVI (mL/g)	平均产量 (g)	膜平均产率 ⁽¹⁾ (g/gBOD ₅)	脱落膜比容 ⁽²⁾ (L/m ³ 污水)
2	1	320/290	3.690	98.7	86.7			
	2	348/315	3.746	98.8	92.8	3.69	0.16	2.0
	3	260/202	3.623	98.2	71.6			
1	1	495/514	4.654	98.9	106.4	4.68	0.11	1.36
	2	480/400	4.712	98.8	101.8			
0.5	1	585/495	5.694	98.8	102.7	5.76	0.08	0.95
	2	600/505	5.836	98.8	102.8			

注：(1)按 BOD₅ 浓度 150mg/L 计算 (2)按含水量 98.8% 计算

3 结论

从小试的试验发现, 延时曝气淹没式生物膜系统可以有效地处理低浓度污水和类似的有机废水, 它远优于延时曝气活性污泥法和氧化法。因为它可以在较短的水力停留时间、较高的水力负荷率和有机物负荷率下处理污水, 并获得高的 SS、 BOD_5 和 NH_4-N 的去除率。由于没有回流水及回流污泥, 使系统简单, 产生的污泥量少, 只是传统的活性污泥系统产泥体积的 1/20、重量的 1/10, 因此曝气池, 二沉池, 污泥浓缩池的建筑体积小, 从而极大地减少了运行费用和维护费用。

Experimental Studies on the Simultaneous Removal of Organic Substances and Nitrogen by Submerged Biofilm Process

Wang Baozhen Wang Lin Shi Shuangxi Ma Fang

Yan Quanda Liu Renfen

Abstract A bench-scale study was carried out to research the possibility and feasibility of the submerged biofilm process for the simultaneous removal of organic and nitrogen. The optimal operating conditions and parameters were determined by comparison study under different operating conditions. It has been found that the submerged biofilm process developed by the authors are very efficient in the simultaneous removal of organic substances in terms of COD and BOD_5 and total ammonia nitrogen with quite high efficiencies and the surplus biomass was only 1/20 ~ 1/10 of surplus of activated sludge from a treatment plant using AS process of the same treatment capacity, which will save the capital and O/M costs significantly in sludge treatment and disposal. Besides the process is also easier to operate because there is no need to return the biomass as that in AS process.

Key words waste water treatment; organic pollutants; nitrogen; biomass; submerged biofilm process