

新型生物反应器对微污染水预处理的试验研究

王沛芳 陈鸣钊 王 超

(河海大学环境科学与工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 综合当前生物技术优势 ,设计开发了一种新型旋转式生物填料反应器 ,对微污染原水进行了预处理的试验研究 .结果表明 ,当原水 DO 为 4.1 ~ 4.7 mg/L ,COD_{Mn}浓度为 7 ~ 10 mg/L ,NH₃-N 浓度为 1.2 ~ 3.5 mg/L 时 ,经过预处理 ,DO 增加到 6.20 ~ 6.89 mg/L ,复氧率平均为 48.1% ,COD_{Mn} ,NH₃-N 的去除率分别为 36.5% ,53.1% .由此表明此种填料的生物反应器对微污染原水有良好的处理效果 .

关键词 微污染原水 ;旋转式生物填料反应器 ;预处理

中图分类号 :X52 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2003)03-0246-05

随着江河湖库水环境的恶化 ,水体中有机物不断增加 ,传统的净水工艺 ,如混凝、沉淀、过滤、氯消毒常规处理工艺只能有效地去除水中悬浮物、胶体物质、大肠杆菌等 ,而对大量有机污染物 ,特别是溶解性有机污染物却无能为力 .近年来 ,国内外针对这些问题开展了大量研究 ,结果表明将生物处理工艺用于给水领域不仅可以降低原水中的浊度、色度、氨氮、藻类、酚、铁及锰等 ,还可以去除部分水中三卤甲烷的前体——紫外吸收物质 ,并降低 EUV 值^[1] .加之生物处理技术投资较低 ,操作简便 ,从而成为当前给水研究的重点 .

在净水工艺领域中 ,生物膜处理技术大体分为两类 ,一类是靠大气自然复氧的生物转盘法 ,另一类是需要人工充氧的生物接触氧化法 .生物转盘法是靠盘片转动使生长于其上的微生物直接从大气中充氧 ,具有良好的复氧效率^[2] .但因为转片的生物膜比表面积小 ,造成污水与生物膜的接触面积小 ,从而降低了净水效率 .生物接触氧化法在理论上可以有较大的生物膜量 ,但随着填料粒径的减小 ,填料的空隙度越小 ,越容易发生堵塞 ,所以实际上生物接触氧化法的生物膜与污水接触面积也受到一定限制 ,而且由于生物膜上的微生物复氧来自于污水中的溶解氧 ,复氧效率较低 ,这两方面影响了接触氧化法对污水的处理效率 .

本文在综合上述两种生物技术优点的基础上 ,研制了一种新型的旋转式生物填料反应器 ,对微污染原水进行了试验研究 ,得到的一系列技术成果表明 ,其对微污染水有良好的处理效果 .

1 试验设置

1.1 原水水质

考虑南京市地表水体水质状况和微污染水的性质 ,选用南京市内湖水作为试验原水 ,分别来自于玄武湖、莫愁湖和乌龙潭 .其水质指标符合微污染水范围 ,具体参数见表 1 .

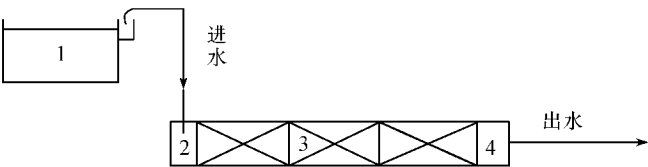
表 1 原水水质状况

Table 1 Quality of water source

指标	pH 值	COD _{Mn} /(mg · L ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	浊度/度	色度/倍
数值	6.80 ~ 7.10	5.13 ~ 9.22	0.523 ~ 3.270	18 ~ 48.5	32 ~ 104

1.2 工艺流程

试验工艺流程见图 1 .微污染原水从高位水槽进入反应器 ,先经过调节部分简单调节后 ,到反应器的核心部分进行生物处理 ,然后由出水部分稍做沉淀后出水 .



1. 高位水槽 2. 调节池 3. 反应器 4. 简易二沉池

图 1 试验流程示意

Fig.1 Flow chart of experiment

1.3 反应器设计

生物反应器组成包括进水部分、填料部分、出水部分及动力和传动 5 部分 ,参见图 2 .其进水及出水部分分别起到进水调节和出水沉淀的作用 .全部生物填料分装在反应器 3 个网笼中 ,每个网笼中设有数片

分隔板.电动机带动反应器轴和网笼共同旋转,生物填料在网笼中转动,出入水体.由此,填料上生物膜中的微生物不断在大气中复氧,然后进入水体降解污染物,从而达到净化水质的目的.

1.3.1 反应器规格

反应器容积 $V = 13.55\text{ L}$,平面尺寸 $0.44\text{ m} \times 0.14\text{ m}$,高度 0.22 m .电动机功率 $N = 7.5\text{ kW}$.

1.3.2 填料

考虑生物转盘的大气复氧原理,为增加生物膜与污水的接触面积,试验选用比表面积较大的涤纶纤维球作为反应器的生物填料.填料球由大量的纤维丝组成,并且表面粗糙,故而具有较大的比表面积.试验使用纤维球平均直径为 19.5 mm ,理论的比表面积为 $1\,184.4\text{ m}^2/\text{m}^3$.

1.4 水质分析项目

试验中水质分析项目有 pH 值、水温、DO、 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、浊度、色度.

2 试验方案

2.1 生物膜培养

生物膜培养采用自然挂膜方式.正式的生物膜培养从 6 月 2 日开始至 7 月 2 日结束.因试验条件限制,本次试验生物膜培养采用间歇方式,每天培养 8 h.累积培养持续 240 h,合 10 d.培养期水温在 $22 \sim 28.5^\circ\text{C}$ 内.此阶段每天在水力停留时间 $0 \sim 3\text{ h}$,隔 0.5 h 取样一次,主要监测 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 指标,并观察生物相.

从培养的第 60 h 起, COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在水力停留时间(HRT)为 $1 \sim 2\text{ h}$ 内去除率分别稳定在 26% 和 40% 左右,镜检生物相,发现大量纤毛虫及少量后生轮虫,至此认为生物膜培养成熟,总计 2.5 d.

由于生物膜培养期每天间歇 16 h,此间生物膜处于内源呼吸阶段,消耗水体中的溶解氧,从而影响第二天生物膜的恢复和反应器的起动力.如果采用连续运行,生物膜培养期还可缩短^[3].

2.2 最优水力停留时间的确定

由生物膜培养试验对 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的监测结果可知,水力停留时间在 2 h 左右, COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率增长已非常缓慢,故试验选取在 2 h 内进行.

最优水力停留时间的确定试验针对 3 种水源(玄武湖、莫愁湖、乌龙潭),分 3 d 测试.试验结果见表 2.

表 2 最优水力停留时间确定的试验结果
Table 2 Experimental data of HRT in reactor

水力停留 时间/h	莫愁湖				玄武湖				乌龙潭			
	COD_{Mn}		$\text{NH}_3\text{-N}$		COD_{Mn}		$\text{NH}_3\text{-N}$		COD_{Mn}		$\text{NH}_3\text{-N}$	
	浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	η /%	浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	η /%	浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	η /%	浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	η /%	浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	η /%	浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	η /%
0.0	9.22		1.910		7.37		1.250		8.87		3.270	
0.5	6.18	33.0	1.150	39.8	5.71	22.5	0.771	38.4	6.45	27.3	1.860	43.1
1.0	5.66	38.6	0.965	49.5	4.95	32.8	0.683	45.6	5.98	32.6	1.531	53.2
1.5	5.48	40.6	0.905	52.6	4.88	33.9	0.625	50.1	5.76	35.1	1.422	56.5
2.0	5.42	41.2	0.890	53.4	4.86	34.2	0.620	50.4	5.74	35.3	1.405	57.2

由表 2 可知,在水力停留时间 2 h 内, COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率 η 是不断增长的趋势,但各时段增幅不同.3 处水源的 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率在水力停留时间为 0.5 h 内增长迅速,水力停留时间为 1.5 h 后增长已经相当缓慢,故认为反应器的最优水力停留时间为 1.5 h.

3 试验结果与讨论

3.1 反应器内增氧(DO)效果

反应器设计中保留了生物转盘法大气复氧的优势,并将盘片改进为纤维球,以增加生物膜的比表面积.

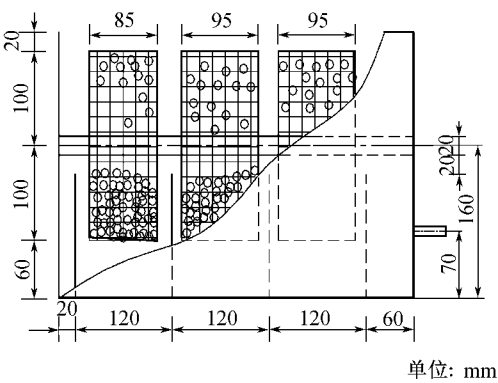


图 2 反应器主视图
Fig.2 Main view of the reactor

当填料暴露在大气中时,填料上生物膜中大量的微生物从大气中复氧,当填料进入水体时,微生物分解水体中的污染物,并将水膜中的溶解氧通过浓度差扩散到污染水体.

生物膜复氧过程可以用气体传输过程的双膜理论进行描述.首先,大气中的氧气向生物膜表层的水膜经过扩散作用输送氧,然后微生物从水膜中进行复氧.由于大气中的氧浓度远大于水膜中氧的浓度,所以经这种对流扩散后,生物复氧效率很高.具体分析如下:水膜中溶解氧变化率^[4]:

$$\frac{dO}{dt} = K_L \frac{A}{V} (O_s - O)$$

(1)

式中: O_s ——水膜中溶解氧的饱和浓度 $[M][L]^{-3}$; O ——水膜中溶解氧的浓度 $[M][L]^{-3}$; A ——水膜的表面积 $[L]^2$; K_L ——氧的传输系数 $[L][T]^{-1}$; V ——水膜的体积 $[L]^3$.

由式(1)可知,当氧的传输系数一定时,水膜的表面积 A 越大,水膜的体积 V 越小(即生物膜的比表面积越大),水膜内外两侧溶解氧浓度差越大时,其溶解氧的增加率 $\frac{dO}{dt}$ 越大,复氧效率越好.

旋转式生物反应器正是按照这种理论进行设计的,大量试验结果也证实了这种设想的正确.溶解氧(DO)的测定采用电子DO仪,在线监测.水源采用3种微污染原水.在大量试验结果的基础上,任选一组数据进行分析.记录结果如表3.

表3 溶解氧变化情况

Table 3 Changes of DO concentration in micro-polluted water

水源	原水		0.5 h		1.0 h		1.5 h	
	DO/(mg·L ⁻¹)	水温/℃	DO/(mg·L ⁻¹)	水温/℃	DO/(mg·L ⁻¹)	水温/℃	DO/(mg·L ⁻¹)	水温/℃
莫愁湖	4.14	26.2	5.36	26.2	5.91	26.0	6.20	25.9
玄武湖	4.55	25.6	6.20	25.6	6.71	25.5	6.89	25.5
乌龙潭	4.70	26.6	5.91	26.6	6.34	26.7	6.48	26.7

根据表3中的试验数据,绘制水体中DO随水力停留时间变化曲线,如图3.由图3可知,DO在反应的前0.5 h内增加迅速,之后增加较缓慢.经生物反应器预处理1.5 h后,微污染原水DO值从4.14~4.70 mg/L升高到6.20~6.89 mg/L,溶解氧平均提高48.1%,其复氧能力为1.18 kg/m³.这个结果对微污染原水的水质净化起到了非常有效的作用.

在净水领域中,生物膜法去除污染物的关键影响因素之一是污染水中的溶解氧含量.溶解氧含量高,有利于膜上好氧微生物的生长、繁殖及分解有机污染物.原水经反应器预处理后增加的大量溶解氧,除了可满足微生物降解有机污染物外,还可以增加污染水中的溶解氧含量,从而提高对其它污染物的去除效率.

3.2 净水效果

3.2.1 有机物的去除(以COD_{Mn}表示)

根据试验数据绘制3种原水COD_{Mn}随水力停留时间变化的曲线,如图4.由图4可知,COD_{Mn}在预处理的前1.0 h内,降解速度快,去除率增加迅速,在1.5 h左右达到较高的去除率后,去除率随时间的变化增加非常缓慢.这种结果适用于3种水源.

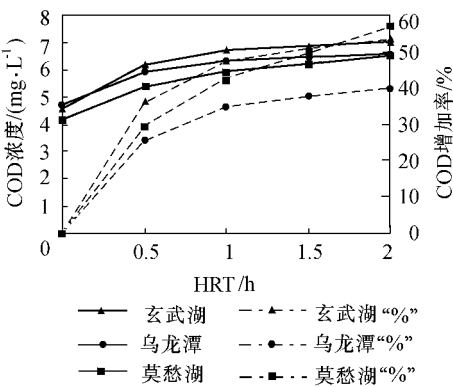


图3 DO随HRT变化曲线

Fig.3 Variation of DO concentration with HRT

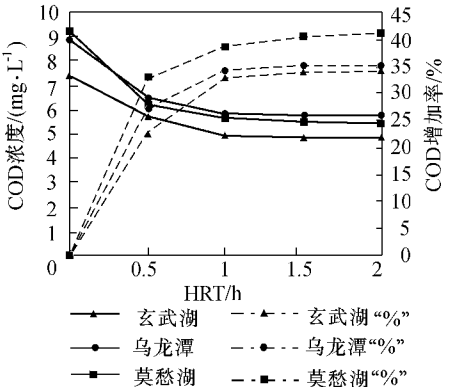


图4 COD随HRT变化曲线

Fig.4 Variation of COD concentration with HRT

原水水质在 7.33 ~ 9.22 mg/L 范围内,水力停留时间 1.5 h 时,反应器对 COD_{Mn} 的去除率为 33.8% ~ 40.6%。有机物去除率较当前的其它生物预处理高,得益于反应器良好的复氧效果。

在 3 种微污染原水中莫愁湖、乌龙潭和玄武湖的进水 COD_{Mn} 浓度是逐渐减小的趋势(分别为 9.22 mg/L, 8.87 mg/L, 7.37 mg/L),其去除率在 HRT 为 1.5 h 时分别为 40.6%、35.1% 和 33.9%,说明了反应器能适应有机污染负荷的变化。

3.2.2 氨氮的去除

根据试验数据绘制 3 种原水氨氮随水力停留时间变化的曲线,如图 5 可知,反应器对氨氮的去除特性与 COD_{Mn} 相似,在 0.5 ~ 1.0 h 时去除率增长迅速,之后保持较低的增长速度。而且 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率也随进水浓度的升高而增加,在进水范围 1.25 ~ 3.27 mg/L 时,处理率为 50% ~ 56.6%。

氨氮指标在地表水水质监测中可以替代其它形式的氮,原因在于氨氮不仅可以表征水体中的耗氧型污染物,还可以表征水体的富营养化程度^[5]。

本次试验中氨氮去除率较低的原因主要是由于试验原水来自城市内湖,其水体承担了市内部分企业废水和生活污水,所以 Fig.5 有机物浓度较高。含氮有机物在充分好氧条件下会发生氨化反应,故此表现出的氨氮去除率较低^[6](在水力停留时间 1.5 h 时,去除率仅为 56% 左右),但另一方面也说明了反应器良好的充氧效果。

3.2.3 浊度的去除

由浊度去除率曲线(图 6)可知,微污染原水的浊度去除率在进水浊度为 18 ~ 48.5 度,水力停留时间 1.5 h 时,基本保持在 50% ~ 72%,对于同一种水源水,浊度的去除率随 HRT 的增加而增长,最初的 0.5 h 内增长速率最大,之后保持缓慢的增长趋势。

本试验对微污染原水浊度的去除率较其它类型的填料对浊度的去除率高,原因可从生物膜法降低浊度的机理来分析。生物法主要靠生物吸附、生物絮凝等作用实现对浊度的有效去除,因此试验所用软性填料较大的生物膜比表面积表现出对浊度的良好去除作用。

3.2.4 色度的去除

色度的产生源于水中的有机物质的含量、浑浊颗粒的附着以及藻类和腐败物质的存在。生物法对色度的去除基于生物吸附和生物降解两种因素。一方面原水浊度的降低使得附着于悬浮颗粒上的“表色”被去除。另一方面,生物法对有机污染物及藻类的降解也降低了原水的色度。试验的 3 种水质,色度为 60 ~ 140 度,经生物反应器预处理 1.5 h 后,出水色度降为 46 ~ 68 度,去除率为 31.8% ~ 36.5%。

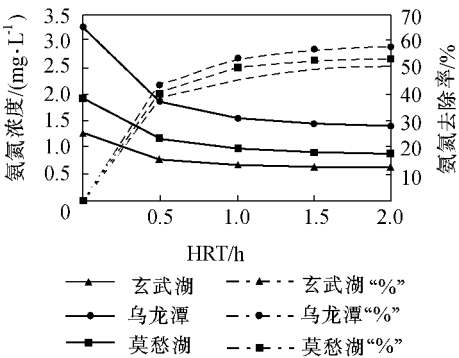


图 5 氨氮随 HRT 变化曲线

Fig.5 Variation of $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration with HRT

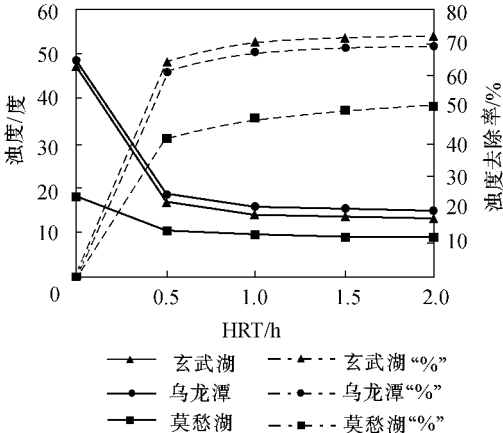


图 6 浊度随 HRT 变化曲线

Fig.6 Variation of turbidity with HRT

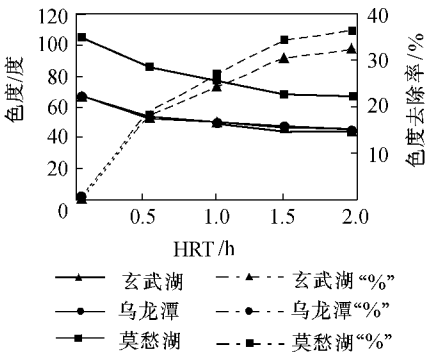


图 7 色度随 HRT 变化曲线

Fig.7 Variation of chroma with HRT

4 结论与展望

- a. 试验设计的新型旋转式填料生物反应器在挂膜培养中虽采用间歇方式,但并不影响生物膜的正常生长.
- b. 反应器对污染负荷适应能力强. 试验中采用不同微污染原水,但其对水体中污染物的去除能力均呈现良好及稳定的性态.
- c. 反应器具有相当好的复氧效率,DO在反应的前0.5 h内增加率平均为42.2%,为提高生物膜的活性和净化水质提供了可靠的保证.
- d. 试验结果表明,利用旋转式填料生物反应器对微污染原水的预处理效果是显著的:COD_{Mn}的去除率平均高达36.5%,NH₃-N、浊度和色度的去除率分别为53.1%、63.4%和31.0%.经预处理后,原水中的有机污染物已被大量去除,从而大大减轻了后继净水工艺处理的压力.
- e. 本次试验持续时间较短,纤维球填料未出现明显结团现象,如果反应器大范围推广,需进一步试验.

参考文献:

- [1] 岳舜琳.生物氧化处理黄浦江原水的研究[J].上海环境科学,1990,(6):15—18.
- [2] 张东,许建华.微污染原水的生物接触氧化预处理研究[J].中国给水排水,2000,16(12):6—12.
- [3] 徐亚同.生物膜系统的微生物特征和运行管理[J].上海环境科学,1997,16(3):20—23.
- [4] 傅国伟,程声通.水污染控制系统规划[M].北京:清华大学出版社,1985.98—103.
- [5] CUDE C G. Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness[J]. JAWRA, 2001, 137(1):125—137.
- [6] CHELLAM S, JACANGELO J G. Effect of pretreatment on surface water nanofiltration[J]. JAWWA, 1997, 89(10):77—89.

Experimental study on pretreatment of micro-polluted water by new biological reactor

WANG Pei-fang, CHEN Ming-zhao, WANG Chao

(College of Environmental Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: A new type of rotating biological-filling reactor was developed based on current biological technologies. Experiments indicated that pretreatment of micro-polluted water by the new biological reactor increased DO concentration by 6.20 ~ 6.89 mg/L, the average rate of oxygen recovery reached 48.1%, and the removal rates of COD_{Mn} and NH₃-N reached 36.5% and 53.1% respectively when the DO concentration of micro-polluted water was 4.1 ~ 4.7 mg/L and the concentrations of COD_{Mn} and NH₃-N were 7 ~ 10 mg/L and 1.2 ~ 3.5 mg/L respectively, showing that the present reactor is effective on pretreatment of micro-polluted water.

Key words: micro-polluted water; rotating biological-filling reactor; pretreatment