

无纺布填料处理污水试验及机理

金冬霞¹, 田刚¹, 施汉昌² (1. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037, E-mail: jdx0718@sina.com; 2. 清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

摘要: 采用无纺布作为一种新型悬浮填料, 探索无纺布填料处理污水的适用条件、运行参数及降解机理。研究认为不同容积负荷应采取不同的填料投配率: 当 COD_{Cr} 容积负荷低于 $1.2 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 取填料投配率为 20%; 当 COD_{Cr} 容积负荷在 $1.2 \sim 2.0 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 之间时, 取填料投配率为 38%; 当 COD_{Cr} 容积负荷达 $2.0 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以上时, 取填料投配率为 29%。模型结果表明, 附着微生物降解有机物的规律可用 Monod 方程的形式描述。

关键词: 悬浮填料; 无纺布; 污水处理; 机理

中图分类号: X703.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)03-05-0063

Non Woven Fabric Media for Wastewater Treatment and Mechanism

Jin Dongxia¹, Tian Gang¹, Shi Hanchang² (1. Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, Beijing 100037, China E-mail: jdx0718@sina.com; 2. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Non-woven fabric was adopted as a new kind of suspended media. Adapting condition and operation parameters and biodegradation mechanism using non-woven fabric media in wastewater treatment were studied. The result of experiment shows that different COD_{Cr} volumetric load should take different media volume. When COD_{Cr} volume load was lower than $1.2 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$, the volume ratio of media to reactor should be 20%; the COD_{Cr} volume load between $1.2 \sim 2.0 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$, the volume ratio of media to reactor 38%; the COD_{Cr} volume load was larger $2.0 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$, the volume ratio of media to reactor 29%. The result of the model shows that the biodegradation rule of pollutant can be described by the format of Monod Equation.

Keywords: suspended media; non-woven fabric; wastewater treatment; mechanism

悬浮型填料的开发是当前国内外针对以往填料的不足, 由生物流化床工艺引发而来的热点研究项目。此类填料比重接近于水, 直接投加于池中, 在曝气时悬浮于水中并全池均匀流化, 使膜、液、气三相充分接触, 有机污染物被快速降解^[1~4]。根据污水处理工程中对悬浮填料的要求, 本研究选择了比重为 $0.90 \sim 0.91 \text{ g} / \text{cm}^3$ 、重量为 $90 \text{ g} / \text{m}^2$ 的聚丙烯无纺布做成直径为 11 mm 、高 11 mm 的中空圆筒状填料, 并对这种新型填料处理污水的适用条件和运行参数进行了试验研究及机理探讨。

1 无纺布填料处理污水试验

1.1 试验装置及试验参数

试验反应器由有机玻璃筒制成, 直径 15.5 cm , 高度 100 cm , 有效水深 92.5 cm , 有效容

积为 17.4 L 。试验装置如图 1 所示。

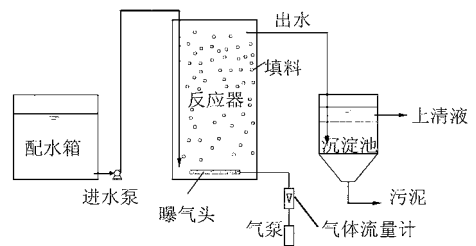


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Pattern of experimental equipment

在本试验设计及实际运行时, 曝气池容积负荷 (包括水力停留时间及底物浓度) 和填料投配率是影响系统处理污水效果的 2 个重要参

作者简介: 金冬霞 (1962~), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事生态及水污染控制研究。

收稿日期: 2001-06-16; 修订日期: 2001-08-02

数.现将试验运行条件及有关参数列于表 1. 1.2 不同填料投配率对污水处理效果的影响

表 1 试验运行条件及参数

Table 1 The operational conditions and parameters of experiment

比表面积 / $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$	投配率 / %	污水成分	COD _进 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	进水量 / $\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$	停留时间 / h	水温 / $^{\circ}\text{C}$	pH	溶解氧 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
156	38	糖水	500 ~ 1400	35	12	14 ~ 17	6.5 ~ 7.5	2 ~ 4
120	29	糖水	500 ~ 1400	35	12	18 ~ 27	6.5 ~ 7.5	2 ~ 4
80	19.5	糖水	500 ~ 1400	35	12	22 ~ 27	6.5 ~ 7.5	2 ~ 4
120	29	生活污水	100 ~ 400	70 ~ 280	6 ~ 1.5	27	6.5 ~ 7.5	2 ~ 4

填料的多少直接关系着曝气池的生物膜量.处理效果.能源消耗及基建投资等.大量的研究认为^[5~7],填料的投配率应在 10% ~ 40%.本试验曾在清水充氧试验中对不同填料投配率的充氧性能进行了研究,发现当填料投配率分别为 20%、30%及 40%时其流化状态及充氧性能均较好,尤以 30%为最佳.因而在此基础上进行了上述填料投配率处理污水的性能试验,探讨在不同填料投配率情况下系统的处理效果.

处理水质按 BOD₅: N: P: Fe = 100: 5: 1: 0.1 的比例配制成不同浓度的糖水.

固定水力停留时间为 12h,通过改变底物浓度来提高容积负荷,观察不同填料投配率在不同容积负荷情况下的有机物去除效果.图 2 是填料投配率分别为 38%、29%及 19.5%时的污水处理试验结果.

试验结果表明: ①当污水 COD_{Cr}容积负荷低于 1.2 kg/($\text{m}^3 \cdot \text{d}$),取填料投配率为 20%左右为宜,因为它在达到同样出水水质的情况下(出水 COD_{Cr}均低于 30 mg/L),可节省基建投资和能源消耗,经济上可行; ②当污水 COD_{Cr}容积负荷提高为 1.2 ~ 2.0 kg/($\text{m}^3 \cdot \text{d}$),而要求出水水质低于 60 mg/L 时,可选择填料投配率为 38%,因为填料上大量的微生物量可使 COD_{Cr}处理率达 95%以上; ③当污水 COD_{Cr}容积负荷达到 2.0 kg/($\text{m}^3 \cdot \text{d}$)以上时,应选取 30%左右填料投配率,因为此工况既能达到一定的处理效果(COD_{Cr}去除率为 80% ~ 90%),又能节约基建投资和运行费用,投入产出比高.

1.3 无纺布填料处理生活污水的效果
试验对无纺布填料处理北京市环境保护科学研究所的生活污水进行了考察,水温为 27 $^{\circ}\text{C}$ 左右.

试验在填料投配率为 29%(即比表面积为 120 m^2/m^3) 情况下进行.采用连续式进水方式.通过不断改变水力停留时间来增加容积负荷.每一种状态维持 2 ~ 3d.试验条件及结果列于表 2.

(1)从表 2 可以看出,随着水力停留时间的缩短,容积负荷不断增加,若进水浓度保持不变,则容积负荷应在 HRT 为 1.5h 时达到最大.但由于生活污水进水浓度在不断变化,当 HRT 为 2 ~ 1.5h 时,进水浓度恰好降低,故此时的容积负荷并未达到最大,而是在 HRT 为 2.5h 时达到最大[2.45kg/($\text{m}^3 \cdot \text{d}$)].

(2) 当 HRT 为 6 h 及 4 h 时,其 COD_{Cr}、

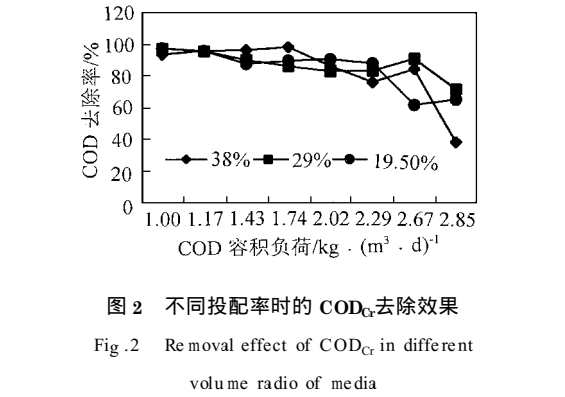


图 2 不同投配率时的 COD_{Cr}去除效果

Fig. 2 Removal effect of COD_{Cr} in different volume ratio of media

试验发现,填料投配率小水流流态好,但投配率太小则微生物量不够,处理效果较差;如果投配率过大,曝气池内填料拥挤,不仅影响氧的传递和利用,而且影响系统的处理效果,所以填

表 2 无纺布填料处理生活污水的试验条件及试验结果

Table 2 Test conditions and results of nonr woven fabric media for sewage treat ment							
HRT/ h		6	4	3	2.5	2	1.5
进水流量/ L· d ⁻¹		69.6	104.4	139.2	167.0	208.8	278.4
COD _{Cr}	进水 / mg· L ⁻¹	318.6	227.4	270.8	254.8	123.5	143.4
	出水 / mg· L ⁻¹	35.5	46.4	76.0	111.5	47.7	71.6
	去除率 / %	88.9	79.6	71.9	56.2	61.4	50.1
BOD ₅	进水 / mg· L ⁻¹	147.0	113.3	116.7	115.7	66.9	75.1
	出水 / mg· L ⁻¹	7.7	12.5	25.2	45.8	16.5	34.9
	去除率 / %	94.8	89.0	78.4	60.4	75.3	53.5
SS	进水 / mg· L ⁻¹	65	30	54	39	22	32
	出水 / mg· L ⁻¹	23	20	11	20	15	14
	去除率 / %	64.6	33.3	79.6	48.7	31.8	56.3
NH ₃ - N	进水 / mg· L ⁻¹	45.0	36.5	43.7	42.5	40.1	37.6
	出水 / mg· L ⁻¹	15.0	18.2	28.2	32.8	27.9	27.9
	去除率 / %	66.7	50.1	35.5	22.8	30.4	25.8
t / °C		27	28	26	26	26	27
DO / mg· L ⁻¹		4.2	4.2	3	2	1.5	1.5
曝气量 / mL· min ⁻¹		1200	1200	1600	1600	1800	1800
生物膜量/ mg· 个 ⁻¹		33.75	34.12	35.90	36.47	34.75	35.97
COD 容积负荷/ kg· (m ³ · d) ⁻¹		1.27	1.36	2.17	2.45	1.48	2.29

BOD₅ 出水水质均低于《排入地表水体及其汇水范围的水污染物排放标准》中新建单位二级排放标准(COD_{Cr}、BOD₅ 排放标准分别为 60 mg/ L 及 20 mg/ L) , COD_{Cr}、BOD₅ 去除率分别达到 80 %及 90 %以上;当 HRT 为 3 ~ 1.5 h 时,其 COD_{Cr}、BOD₅ 出水水质基本低于新建单位三级排放标准 (COD_{Cr}、BOD₅ 排放标准分别为 100 mg/ L 及 60 mg/ L) ;SS 出水均低于新建单位二级排放标准(SS 排放标准为 50 mg/ L) .

(3) 从表 2 可以看出,生活污水 NH₃- N 进水均在 35 ~ 45 mg/ L 之间,当 HRT 为 6 ~ 4 h 时,NH₃- N 出水基本符合 15 mg/ L 的排放标准,其去除率达到 50 % ~ 70 % .因此可以认为只有延长水力停留时间,才能使出水氨氮浓度符合国家规定的排放标准.

1.4 悬浮微生物与附着微生物的作用

本工艺虽为生物膜法,但由于悬浮填料在不断运动中经常有生物膜脱落,使得混合液中有大量悬浮微生物存在,因而在考察本试验中填料所起的作用时,不能排除悬浮微生物对处理效果的影响.为此进行了悬浮微生物与附着微生物生物降解能力的测定.

从反应器中取混合液 3 L,用离心机将悬浮微生物分离出来(生物量为 410 mg/ L) ,倒入同体积 COD_{Cr} 为 175 mg/ L 的糖水中,连续曝气,其糖水 COD_{Cr} 的去除效果见表 3 .

从反应器中取出相应填料个数(比表面积为 120 m²/ m³) ,用清水轻轻淋洗至不含悬浮微生物,投入同样浓度的糖水中,连续曝气,其处理结果见表 3 .

表 3 悬浮微生物及附着微生物的有机物去除能力

Table 3 The removal capability of organism by suspended and fixed microorganism							
时间 / h		0	0.5	1	2	3	4
COD _{Cr} 浓度/ mg· L ⁻¹	悬浮微生物	175.3	145.8	101.6	42.1	29.0	28.9
	附着微生物	175.3	126.3	105.3	57.9	21.0	5.3
去除率 / %	悬浮微生物	175.3	16.8	42.0	76.0	83.4	83.5
	附着微生物	175.3	28.0	40.0	67.0	88.0	97.0

从表 3 可以看出,很短时间内(0.5h)附着微生物对有机物的去除率为 28%,比悬浮微生物(去除率为 16.8%)高,这是因为生物膜上微生物量大且具有较强的吸附能力,从而能迅速降低有机物浓度;而在 1~2h 期间,悬浮微生物对有机物的去除率略高,这是因为悬浮微生物具有较大的比表面积,能与污水充分接触,去除废水中大量的胶体状态的有机物;曝气达 3~4h 时,填料的优越性充分显示出来,此时附着微生物比悬浮微生物具有更强的去除能力,附着微生物对有机物的去除达到 97%,而悬浮微生物去除率只达到 83.5%。

综上所述,在本试验中悬浮微生物虽然浓度不高,但在污水处理中与附着微生物共同承担了污染物的降解功能,起到了一定的作用,而悬浮填料在全池均匀流化,与污水接触时间长,所以填料在本工艺中仍起着主要作用。

2 有机物降解机理的探讨

2.1 机理

悬浮活性污泥法的活性微生物的量相对比较稳定,一般占总生物量的 0.7~0.8,波动不大,主要的影响因素是水质和污泥龄,而生物膜法活性微生物量的绝对值比较稳定,在一定时期内与生物的总量无关,决定性因素是水质和生物膜的生长阶段。在相同水质下,除了潜伏期和动力学指数增长期活性微生物量的变化比较大外,其余时期内变化均比较少。本试验表明在一定比表面积情况下随着进水浓度的不断增加,填料上生物膜量总量变化很小,基本在 3g/L 左右,因此稳定系统下附着生长微生物的总量是基本不变的。

有机物从外界环境中扩散到微生物细胞内部的速率是影响有机物降解速率的重要因素。悬浮生长的微生物细胞之间结合得比较松散,对有机物的扩散过程影响比较小,而附着生长的微生物之间结合的紧密,对有机物的扩散过程影响比较大。Liu 等人认为^[8],生物膜反应基本在其表层进行,这是由于组成生物膜的活性物质大都集中在生物膜表层,即使底物有能力扩散到生物膜层内,由于非活性物质的存在,其

所对应的生物膜也不能有效地进行生物化学反应,因而整个生物膜反应趋于表面反应机制。因此在本研究中,描述附着生长微生物降解有机物的速率用面积比体积更符合实际。

2.2 模型

有机物降解的模型主要是描述有机物浓度与有机物降解速率之间的关系。由于生物膜的面积对有机物的降解规律影响比较大,因此本研究中悬浮填料生物膜的降解速率用单位面积表示^[8]： $q = \frac{Q(S_0 - S)}{A}$ (1)

式中： q 为降解速率 [$g/(m^2 \cdot h)$]， Q 为流量 (m^3/h)， S_0 为进水 COD_{Cr} 浓度 (mg/L)， S 为出水 COD_{Cr} 浓度 (mg/L)。

在下面讨论过程中进行如下假设：①在比表面积相同的情况下,单位体积内微生物的总量不变。②反应器内,不同位置的膜,沿膜厚方向微生物的疏密分布状况基本相同。

图 3 是比表面积为 $156 m^2/m^3$ 时的悬浮填料在处理人工配制糖水时,其生物膜降解速率与系统中有机物浓度的关系。

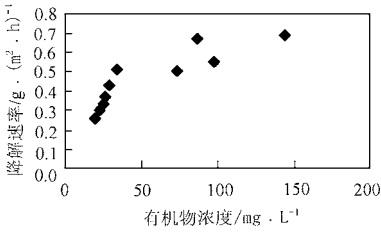


图 3 降解速率与有机物浓度的关系

Fig.3 Relationship between biodegradation rates and organism concentrations

从图 3 可以看出,有机物浓度与降解速率的关系与 Monod 方程的曲线比较相似,因此可以用 Monod 方程的形式描述降解速率与有机物浓度的关系^[9]：

$$q = \frac{\mu S}{K + S} \tag{2}$$

μ 为最大降解速率 [$g/(m^2 \cdot h)$]， K 为常数 (mg/L)。

把公式变成如下形式后, $1/S$ 与 $1/q$ 成线性关系,用线性回归求解常数,见图 4。

$$\frac{1}{q} = \frac{K}{\mu} \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu} \tag{3}$$

求解结果： μ 为 $0.94\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ， K 为 $53\text{mg}/\text{L}$ 。
当比表面积为 $120\text{m}^2/\text{m}^3$ 时， $1/S-1/q$ 的曲线见图 5。求解结果： μ 为 $0.7\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ， K 为 $85\text{mg}/\text{L}$ 。

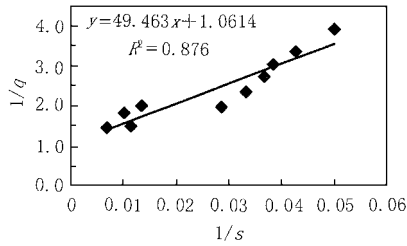


图 4 比表面积为 $156\text{m}^2/\text{m}^3$ 时的 $1/S-1/q$ 曲线
Fig. 4 $1/S-1/q$ curve with ratio surface of $156\text{m}^2/\text{m}^3$

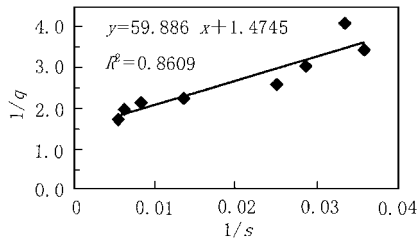


图 5 比表面积为 $120\text{m}^2/\text{m}^3$ 时的 $1/S-1/q$ 曲线
Fig. 5 $1/S-1/q$ curve with ratio surface of $120\text{m}^2/\text{m}^3$

2.3 结果讨论

(1) 从图 4 及图 5 可以看出，线性回归的平方差都达到了 0.85 以上，说明 $1/q-1/S$ 之间的线性关系较好，因此本研究的悬浮填料生物膜降解有机物的速率与有机物浓度之间的关系可用公式描述：

$$q = \frac{\mu S}{K + S}$$

(2) 模型的结果表明，附着生长的微生物降解有机物的规律可以用 Monod 方程的形式进行描述，说明研究生物膜的生长规律时可以借用描述悬浮生长微生物的公式概念，但需要进行一定的修正。

(3) 不同的比表面积对生物膜降解有机物的速率有较大的影响。当比表面积为 $156\text{m}^2/\text{m}^3$ 时，最大降解速率为 $0.94\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ；而比表面积为 $120\text{m}^2/\text{m}^3$ 时，最大降解速率仅为 0.7

$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，但 K 值却增加不少。因此，对悬浮填料生物膜来说，比表面积越大越有利于有机物的降解。

3 结论

(1) 综合不同填料投配率在不同有机物容积负荷条件下的污水处理效果得出：当 COD_{Cr} 容积负荷低于 $1.2\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 时，取填料投配率为 20%；当 COD_{Cr} 容积负荷在 $1.2\sim 2.0\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 时，取填料投配率为 38%；当 COD_{Cr} 容积负荷达 $2.0\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 以上时，取填料投配率为 29%。

(2) 悬浮微生物与附着微生物共同承担了污染物的降解功能，但由于附着微生物的总量大于悬浮微生物，因而填料在本工艺中仍起着主要作用。

(3) 附着微生物降解有机物的规律可用 Monod 方程的形式进行描述。

参考文献：

- 1 Morper M R. Upgrading of activated sludge systems for nitrogen removal by application of the LINPOR-CN process. Wat. Sci. Tech., 1994, 29(12): 167.
- 2 Golla P S et al. Three years of full-scale CAPTOR process operation at Moundsville WWTW. Wat. Sci. Tech., 1994, 29(10): 175 ~ 181.
- 3 Rusten B et al. Moving Bed Biofilm Reactors and Chemical Precipitation for high efficiency treatment of wastewater from small communities. Wat. Sci. Tech., 1997, 35(6): 71 ~ 79.
- 4 刘翔,高廷耀.生物接触氧化法处理污水的一种新型填料——悬浮填料.重庆环境科学,1999,21(2): 42 ~ 44.
- 5 Wanner J et al. Activated sludge process combined with biofilm cultivation. Wat. Sci. Tech., 1988, 22(2): 207 ~ 215.
- 6 Lazarova V et al. Advanced in biofilm aerobic reactors ensuring effective biofilm activity control. Wat. Sci. Tech., 1994, 29(10 ~ 11): 157 ~ 163.
- 7 Morper M, Wildmoser A. Improve ment of existing wastewater treatment plants, efficiencies without enlargement of tankage by application of the LINPOR-Process-case studies. Wat. Sci. Tech., 1990, 22(7): 207 ~ 215.
- 8 刘雨,赵庆良,郑兴灿.生物膜法污水处理技术.北京:中国建筑工业出版社,2000.34 ~ 48.
- 9 顾夏声.废水生物处理数学模式.北京:清华大学出版社,1993.55 ~ 75.