

移动床生物反应器处理染料化工废水工艺研究

孙 华 高廷耀 洪 英

(同济大学环境工程学院,上海 200092)

摘要 鉴于生物膜对降解有毒难降解废水有重要作用,故采用移动床生物反应器处理染料化工废水。试验结果表明,采用该工艺处理染料废水具有较好的处理效果,停留时间为 16 h,其处理结果相当于活性污泥法 32 h 的处理效果,而且出水比较稳定。在进水 COD_Cr 低于 700 mg/L 条件下,出水 COD_Cr 低于 200 mg/L。

关键词 悬浮填料 移动床生物反应器 染料废水

1 引言

移动床生物反应器(Moving Bed Biological Reactor, 简称 MBBR)是 80 年代末期出现的一种新型生物膜处理方法。它利用新型的悬浮填料,吸收了传统的流化床和生物接触氧化法两者的优点,成为一种高效的污水处理方法。新型悬浮填料的使用是该工艺的技术核心。填料由经过特殊处理的聚丙烯材料做成,具有较大的比表面积($160\sim 450\text{ m}^2/\text{m}^3$),表面易于生物膜生长,而且巧妙的结构设计使填料在使用时不结团、不堵塞。

德国 LINDE 公司开发的悬浮填料 LINPOR 工艺把悬浮生长的活性污泥和附着生长的生物膜结合在一起,多用于污水厂的改造^[1,2]。挪威的 B. Rusten 等人开发了一种适用性较广的移动床生物膜反应器^[3,4]。国内关于悬浮填料的研究虽然起步较晚,但发展迅速,目前已有技术应用于一些污水厂的改造和小型的污水处理设备。

本实验采用的高效悬浮填料在苏州河支流——木渎港的河水就地净化、上海金山石化水质净化厂的石化废水处理以及上海桃浦污水处理厂污水治理上均取得很好的效果^[5]。

2 试验装置及工艺

2.1 试验流程及装置

试验工艺流程见图 1。

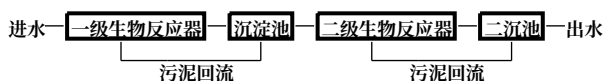


图1 工艺流程

小试装置为塑料焊接而成,2 个好氧反应器结构相同,均呈圆柱形,高 400 mm,直径 150 mm,有效容积 5.0 L。好氧池中的溶解氧保持在 2 mg/L 以上。1 号小试为两级生物活性污泥工艺,停留时间为 16 + 16 共 32 h;2 号小试则在 2 个反应器内分别投加 50% (体积比)填料。

2.2 悬浮填料

悬浮填料外观为空心圆柱状,内部有多块不同面积的翼板,可依要求增减。底板中部开有圆孔,上端敞口,填料特性如表 1。

表1 填料特性参数

填料材质	堆积系数/ 个/ m^3	规格/ mm	密度/ g cm^{-3}	比表面 积/ $\text{m}^2 \text{m}^{-3}$	空隙率 %
改性聚丙烯	8000	450×50	≈1.0	278	90

效果。本次试验采用超声波洗膜,结果表明用超声波洗膜代替人工洗膜是可行的,但具体试验条件需作进一步的研究。

参考文献

- 1 S. Kimura, Japan's aqua renaissance '90 project. Wat. Sci. Tech. . 1991. 23:1573~1582.
- 2 Brindle K. and Stephenson T. , "The application of membrane biological reactors for the treatment of wastewater", Biotechnology and Bioengineering ,

1996, 49(6) :601~610.

- 3 T. Sato and Y. Ishii, effects of activated sludge properties on water flux of ultrafiltration membrane used for human excrement treatment. Wat. Sci. Tech. ,1991. 23:1601~1608.

第一作者 周建仁,男,1977 年 9 月生,河海大学环境工程专业在读硕士。

2.3 试验期间进水水质

上海某染料厂以生产偶氮、酞菁等有机颜料和助剂等产品为主,废水主要来源于各产品工艺的母液水和冲洗水,废水水质随染料产品变化波动大。生产废水与生活废水混合后进入调节池,混合废水呈强酸性,并含有一定量的 Cu^{2+} 、 SO_4^{2-} 等,采用 10 % 的石灰乳中和, pH 调节至 8~9。然后加入 Na_2S 除 Cu^{2+} , 经过中和除铜处理后水质情况见表 2。

表 2 中和处理后废水水质特征

pH	$\text{COD}_{\text{Cr}}/$ mg L^{-1}	$\text{BOD}_5/$ mg L^{-1}	$\text{NH}_3\text{-N}/$ mg L^{-1}	$\text{Cu}^{2+}/$ mg L^{-1}	苯胺/ mg L^{-1}	色度/ 倍
8~9	850	260	138	0.29	7.4	500

3 实验结果及分析

2 套装置的好氧污泥均取自废水站曝气池中,1、2 号装置的曝气池及硝化池,污泥浓度均为 4~4.5 g/L。2 号按经验最佳值 50 % 填充率投加悬浮填料,运行 2 周时填料上出现水膜,3 周时膜呈褐色,有一定厚度,约 1 个月时填料上附着生长棕褐色薄膜镜检可见大量钟虫及轮虫,十分活跃,此时回流污泥含泥量大大降低,同时出水水质稳定,说明 MBBR 法挂膜成功且膜已成熟。试验结果见表 3 及图 2。

3.1 有机物处理效果

表 3 活性污泥法与 MBBR 法有机物处理效果

项目	活性污泥法/ mg L^{-1}		MBBR/ mg L^{-1}	
	COD_{Cr}	BOD_5	COD_{Cr}	BOD_5
反应 时间/h	0	853.5	226	853.5
	16	308.1	26	252.5
	32	272.5	14	226.3
16 h 去除率 %	63.9	88.5	70.4	90.3
32 h 去除率 %	68.1	93.8	73.5	96.0

2 套装置运行期间,1 号装置活性污泥法曝气池平均 MLSS 浓度为 4.2 g/L,平均污泥负荷为 0.30 kg/kg $\cdot$ d;2 号装置曝气池中单个柱状填料上生物膜干重平均为 0.85 g,生物膜量 3.5 g/L,再加上曝气池中还有 1.1 g/L 的悬浮生物量,合计曝气池中平均 MLSS 浓度为 4.6 g/L,平均污泥负荷为 0.28 kg/kg $\cdot$ d。图 2 为连续运行期间,活性污泥法 32 h 与 MBBR 法 16 h 有机物处理效果趋势对比。

从表 3 数据和图 2 可得出以下结论:

(1) 由表 3 得出,在同样的进水条件下,经 16 h 曝气后,MBBR 法的 COD_{Cr} 去除效率高于活性污泥法 6.5 %,而当活性污泥法停留时间再延长 16 h,即悬浮

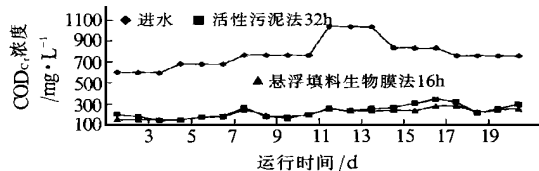


图 2 活性污泥法 32 h 与 MBBR 法 16 h COD_{Cr} 处理效果

填料生物膜法的容积负荷为活性污泥法的 2 倍时,两者有机物去除效率类似,约 70 %。造成这种差别的主要原因是 2 种方法的污泥量虽然接近,但悬浮填料上生物膜的 MLVSS/MLSS 为 64.3 %,活性污泥法的悬浮污泥的 MLVSS/MLSS 仅为 44.7 %,说明填料上生物膜的活性比悬浮的活性污泥高。本试验所用的悬浮填料结构巧妙合理,传质效果好,也有利于微生物对污染物的吸附和降解,从而加快了生化反应速率。

(2) 从图 2 还可看出,MBBR 法的抗冲击负荷能力高于活性污泥法,整个运行期间内,MBBR 法的出水曲线趋于平直,即使在遭受高冲击负荷后,不但出水 COD_{Cr} 值低,且波动范围也较活性污泥法小。膜法良好的抗冲击性原因是多方面的。生物量高,污泥负荷小固然是一个方面,但本实验中显然不仅是这个原因,膜法生物膜为固着生长,遭受冲击负荷时,内层的生物膜因有外层膜的缓冲,受到的毒害作用要小,恢复也快,且膜法生物相的多样性也使其抗冲击能力较活性污泥法相比有提高。

(3) 对 MBBR 法,停留时间为 16 时, COD_{Cr} 去除率为 70 %,延长停留时间至 32 h, COD_{Cr} 去除率仅提高 4 %,为 74 %。可见,延长停留时间并不能使 COD_{Cr} 的去除率增加许多。

3.2 $\text{NH}_3\text{-N}$ 处理效果

(1) 废水站活性污泥法完成硝化需分级生物处理,停留时间共 32 h 不同,悬浮填料法可在同一反应器内同时去除 COD_{Cr} 与 $\text{NH}_3\text{-N}$,反应 16 h 即可达到与活性污泥法同样效果。结果如表 4 所示。

(2) 氨氮的去除效率随氨氮和有机物负荷的增大而降低。特别当 COD_{Cr} 浓度上升到 1 000 mg/L 以上时,此时曝气池污泥负荷约 0.33 kg/kg $\cdot$ d 时,尽管此时氨氮的负荷仅 0.24 kg/m³ $\cdot$ d,但繁殖速率低、世代时间长的硝化菌受到大量繁殖的异养菌的抑制,在活性污泥中比例下降,导致去除效率的下降。

(3) 试验中进水的 pH 值范围为 7.49~8.51,2 套装置的出水 pH 均下降 1 个 pH 单位或更多,这是由于硝化过程中的产酸作用造成。关于生物膜反应中

硝化使 pH 值降低的现象已有人作了详细报导,大量数据证实,硝化是一个产酸过程,在附着型生物膜反应器工艺中,由于生物硝化可以引起 pH 的降低,降低幅度可以约 1 个 pH 单位或更多。本试验又一次证实了这个结论。当硝化作用旺盛时,pH 会下降到 6 以下,需及时加碱以维持进一步的硝化。

试验证明,对于该工厂的进水,在保证溶解氧充足的条件下,有机负荷应低于 0.33 kg/kg·d,NH₃-N 负荷为 0.089 kg/kg·d 才能保证出水的氨氮在 15 mg/L 以下。

表 4 活性污泥法与 MBBR 法氨氮处理效果

进水	活性污泥法(32 h)					MBBR 法(16 h)			
	出水		去除率	出水		去除率	出水		去除率
	pH	NH ₃ -N mg L ⁻¹		pH	NH ₃ -N mg L ⁻¹		pH	NH ₃ -N mg L ⁻¹	
8.38	604.41	48.82	90	7.57	4.95	90	7.53	2.80	95
7.49	685.72	90.00	97	7.25	2.38	97	7.15	6.16	93
8.51	775.99	133.07	94	7.00	7.36	94	6.90	17.30	87
8.14	1058.8	159.85	81	7.07	30.61	81	8.85	37.11	77

4 中试试验结果

将小试的工艺参数中试放大,考察运行效果。好氧装置采用分段推流式 MBBR 法试验装置。装置外形尺寸为长×宽×高 4 000 mm×1 000 mm×1 300 mm,有效容积 4 m³,沿长度方向用隔板等间距分为 4 格,每格内底部均设穿孔管曝气,这样每格内水流因曝气流化呈完全混合态,而整体沿池长方向为推流式直至出水,反应器各段都自然形成自己独特的微生物,以适应不同的有机负荷。内有悬浮填料,投配率 50%。出水进竖流式沉淀池沉淀 2 h,溢流水。

表 5 中试 MBBR 法与活性污泥工艺处理结果对比

项目	停留时间/h			
	MBBR 法		活性污泥法	
	8	16	16	32
进水/mg L ⁻¹	954	1009	1009	1009
COD _{Cr} 出水/mg L ⁻¹	370	308	462	331
去除率 %	61.2	69.5	54.2	67.4
进水/mg L ⁻¹	280	360	360	360
BOD ₅ 出水/mg L ⁻¹	48	32	45	22
去除率 %	82.9	91.1	87.5	93.9
进水/mg L ⁻¹	—	92	92	92
NH ₃ -N 出水/mg L ⁻¹	—	56	66	8.8
去除率 %	—	39.1	28.3	90.4

每格空气量由阀门控制,以填料的流化作为控制条件。表 5 是中试 MBBR 法与活性污泥工艺对比的处理结果。

从表 5 中数据看,中试好氧生物反应器对 COD_{Cr} 仍有 60%~70% 的去除率,BOD₅ 为 90%,NH₃-N 为 40%,有机物处理效果比活性污泥工艺 16 h 的出水效果好,相当于后者 32 h 的处理效果。而氨氮与生产工艺相差较大,主要是由于中试试验受条件所限,无法投加碱,因而好氧硝化碱度不够,硝化不完全,因此氨氮去除率不高。

5 结论

(1)运行数据表明,对于 MBBR,水力停留时间仅为 16 h,出水 BOD₅、氨氮和苯胺等可以达到排放标准,而 COD_{Cr} 去除率仅为 70%左右,当进水 COD_{Cr} 低于 700 mg/L,出水 COD_{Cr} 低于 200 mg/L,出水可以达到国家排放标准。

(2)同进水条件下,MBBR 法 16 h 处理后出水的 COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N 值、苯胺等与活性污泥法 32 h 处理后的出水水质接近。这样,在同样处理效果的前提下,投加悬浮填料可在现行工艺下将处理水量提高 1 倍。

(3)MBBR 法抗冲击性明显高于活性污泥法。而该工厂生产颜料及助剂过程虽然是连续的,但废水的排放却是间歇的,此外,由于生产品种安排时有增减,所以废水排放量及水质极不均匀。膜法这一特性使其特别适用于处理这类水质水量波动性大的工业废水。

参考文献

- 1 H. Reimann. The LINPOR-Process for Nitrification and Denitrification. Wat. Sci. Tech. 1990,2(7~8):297.
- 2 H. Φ degaard, etc. . A new Moving Bed Biofilm Reactor=Applications and Results. Wat. Sci. Tech. 1994. 29(10~11):157.
- 3 B. Rusten, etc. . Moving Bed Biofilm Reactors and Chemical Precipitation for High Efficiency Treatment of Wastewater from Small Communities. Wat. Sci. Tech. 1997. 35(6):71.
- 4 B. Rusten, etc. . Nitrification of Municipal Wastewater in Moving-Bed Biofilm Reactors. Wat. Environ. Research. 1995. 67(1):75.
- 5 李锋等. MBBR 法处理桃浦工业区废水的中试研究. 给水排水. 2001,27(4):47

第一作者 孙华,女,1973.7 月生,1996 年 7 月毕业于青岛建筑工程学院给排水专业,现为在读博士研究生,环境工程专业,研究方向为水污染控制。

ENGINEERING USE ANALYSIS OF INDUSTRIAL ORGANIC WASTEWATER TREATMENT BY COMBINED TECHNOLOGY OF NEWLY BIOLOGICAL FLUIDIZED BED Ren Yuan et al (7)

Abstract Using a newly three-phase fluidized bed to treat washing wastewater of a magnetoelectricity goods plant and dyeing wastewater of high concentration from a bleaching house ,the scales are 240 m³/d and 2 500 m³/d. The project combined A/O² fluidized bed ,when the COD_{Cr} load of influent of washing wastewater is 2.3~2.6 kg/m³·d ,BOD₅ load is 0.75~0.95 kg/m³·d ,the COD_{Cr} ,BOD₅ ,SS and oil of effluent will be 43.50 mg/L ,18.90 mg/L ,21.0 mg/L and 0.86 mg/L respectively. If COD_{Cr} and BOD₅ load of influent of dyeing wastewater are 3.8~5.8 kg/m³·d and 1.3~1.8 kg/m³ ,COD_{Cr} and BOD₅ of the effluent will be below 90 mg/L and 35 mg/L respectively. The new technology is very efficient and convenient to manage ,which does not produce sludge almost ,the treatment fee is 0.6~0.8 yuan per ton of water. This technology can be widely used and match the new concept of environmental protection.

Keywords three-phase fluidized bed ,washing wastewater ,printing and dyeing wastewater and biological treatment

PROCESS AND MECHANISM STUDIES ON REMOVAL OF PHOSPHORUS IN BIOFILM PROCESS Li Jun et al (10)

Abstract The result of this study showed that the sequencing batch reactor of submerged biofilm process with fibrous carriers is very effective in phosphorus removal by means of proper arrangements and operation of the reactor. The suitable applied carriers package percentage was 30 % ,and the hydraulic retention time was 9 h which included 3 h in anaerobic reaction section and 6 h in aerobic reaction section. When the influent COD_{Cr} loading rate increased from 0.27 kg COD_{Cr}/m³·d to 1.32 kg COD_{Cr}/m³·d ,the phosphorus removal efficiency reached over 90 % ,and this process can withstand higher increase of COD_{Cr} loading rates. The factors that affect the phosphorus removal are discussed in detail in the paper. The mechanism of biological phosphorus removal was confirmed by DNP inhibition experiment ,and it was also found that the phosphorus removal in the SBR of submerged biofilm process was completed by metabolism of microorganism.

Keywords biofilm ,biological phosphorus removal and mechanism

STUDY OF MUNICIPAL WASTEWATER REUSED TREATMENT USING THE UP BIOLOGICAL AERATED FILTER AND FIBER-BALL FILTER Guo Tianpeng et al (14)

Abstract The main objective of this experiment is to learn the properties and efficiency of using Up Biological Aerated Filter and Fiberball Filter treatments. The experiment result shows that the effluent water treated with these two combined treatments can reach the first order standard of sewage discharge and also meet the demands of urban general reused.

Keywords advanced treatment ,wastewater reuse ,biological aerated filter ,fiber ball filter and backwashing

PILOT STUDIES OF TREATING DOMESTIC WASTEWATER OF HIGH CONCENTRATION BY MEMBRANE BIOREACTOR Zhou Jianren et al (17)

Abstract The pilot studies of treating domestic wastewater of high concentration by a membrane bioreactor are researched systematically ,through which the membrane bioreactor's removal rates of all the contaminants in the domestic wastewater under the test conditions are also determined.

Keywords domestic wastewater ,membrane bioreactor and removal efficiency

STUDY ON TREATMENT OF DYE INDUSTRIAL WASTEWATER USING MOVING BED BIOLOGICAL REACTOR Sun Hua et al (19)

Abstract In view of important role of biofilm in degradation of toxic refractory wastewater ,The research uses a moving bed biological reactor to treat the dye industrial wastewater. The experiment result shows that the process has twice better treatment effect than the activated sludge process ,and can keep stable. When the influent COD_{Cr} is less than 700 mg/L ,the effluent COD_{Cr} is Less than 200 mg/L.

Keywords suspended filler ,MBBR and dye wastewater