

多级悬浮填料生物反应器处理石化废水

夏四清, 高廷耀, 周增炎

(同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要: 采用多级悬浮填料生物反应器处理石化废水,在填料投加率为 50%、水力停留时间为 8 h 的工况条件下,当进水 BOD_5 为 108 ~ 234 mg/L, COD_{Cr} 为 253.4 ~ 444.6 mg/L, $NH_3 - N$ 为 20.8 ~ 26.2 mg/L 时,二级反应器对其平均去除率分别为 90.7%、74% 和 53.2%;三级反应器对其平均去除率分别为 93.7%、77.7% 和 84.6%。这说明采用多级反应器在保证有效去除 BOD 、 COD 等有机污染物的同时,可以大大提高对 $NH_3 - N$ 的去除效果。

关键词: 多级悬浮填料; 生物反应器; 石化废水; 分级处理

中图分类号: X505 文献标识码: A 文章编号: 1000-460X(2002)01-0009-04

Use of Multistage Suspended Carrier Bioreactor for Treatment of Petrochemical Wastewater

XIA Si-qing, GAO Ting-yao, ZHOU Zeng-yan

(School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The multistage suspended carrier bioreactor was used to treat petrochemical wastewater. The treatment effect was studied at the carrier dosage rate of 50% and hydraulic retention time of 8 h. For the influent concentration of BOD_5 108 ~ 234 mg/L, COD_{Cr} 253 ~ 444.6 mg/L, and $NH_3 - N$ 20.8 ~ 26.2 mg/L, the average removal rate of these pollutants is respectively 90.7%, 74%, and 53.2% in the second stage reactor, and 93.7%, 77.6% and 84.6% in the third stage reactor. It means that use of multistage reactor can greatly improve $NH_3 - N$ removal efficiency, while achieving the effective removal of BOD and COD .

Keywords: multistage suspended carrier; bioreactor; petrochemical wastewater; staged treatment

悬浮填料生物反应器是近几年国内外研究的一种新型附着生长型生物膜反应器^[1,2],其核心部分是一种特殊填料(能在反应器中保持悬浮状态)。微生物在填料表面生长的过程中,填料在水中充分流化以保持微生物得以充分利用溶解氧和良好的传质条件。

20 世纪 80 年代国内曾开展了悬浮填料生物接触氧化法处理城市污水的研究,但由于当时采用的是活性炭、石英砂、无烟煤等填料^[3](其密度在 1.5

~ 2.5 g/cm³ 之间),故需要较大的动力消耗才能使填料流化,而同济大学经过多年研究开发的新型实用专利产品悬浮填料^[4],使该反应器的各项性能有了很大提高。本研究是在大量小试成功的基础上,在上海石油化工股份有限公司水质净化厂进行的。

上海石油化工股份有限公司水质净化厂的废水来源于上海石化乙烯厂、化工一厂、化工二厂、维纶厂、腈纶厂等的工业废水和该地区的生活污水(其比例约为 3:1),一般情况下原水水质如表 1 所示。

表1 原水水质

pH	COD_{Cr} (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	$NH_3 - N$ (mg/L)	浊度 (NTU)	SS (mg/L)
6~9	200~700	100~350	15~35	30~200	50~400

目前该厂采用的工艺流程见图1。

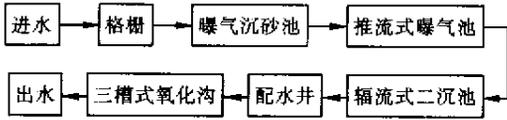


图1 水质净化厂工艺流程

该厂处理水量为 $138\ 800\ m^3/d$ ，总水力停留时间为 23 h，其中推流曝气池的水力停留时间为 8 h。在运行过程中发现，该工艺对 BOD_5 、 COD 的处理效果良好，但出水中氨氮浓度常超过 $15\ mg/L$ 。在此背景下开展的悬浮填料生物反应器应用于石化废水处理的研究，以探索在不改变其构筑物结构的情况下仅靠投加填料使其实现生物硝化从而达到提高氨氮去除率的可能性。

1 试验材料、主要设备和方法

1.1 填料

本研究所采用的填料是 $\varnothing 50\ mm \times 50\ mm$ 圆柱型，由不同面积的翼板、底板构成（见图2）。

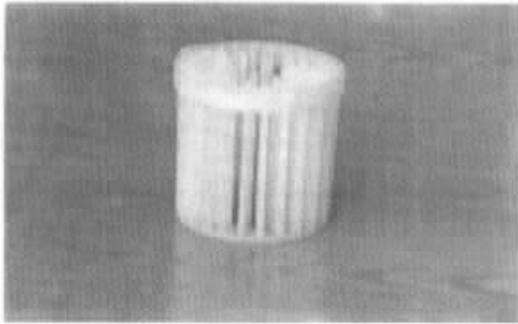


图2 填料外形

填料的比表面积为 $278\ m^2/m^3$ ，密度 < 1 。该生物载体若直接放于曝气池中，不曝气时浮于水面，曝气时则仅需与一般曝气池相同的曝气量即可流化于整个曝气池。由于翼板表面利于生物膜的生长和自然脱膜，因此不会结团，翼板间的空隙也不会堵塞。由于该填料具有良好的通气性、过水性，所以对曝气池的布气、布水设备没有特殊要求，可省去专门用于捆绑载体的支架。

1.2 主要设备

试验工艺流程如图3所示。

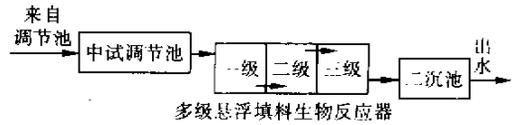


图3 试验工艺流程图

进水取自水质净化厂调节池，经中试调节池后用阀门控制反应器进水量。悬浮填料生物反应器有效体积为 $3.6\ m^3$ （长 \times 宽 \times 高为 $3\ m \times 1\ m \times 1.2\ m$ ），分为相等的3格（前一级的出水为后一级的进水），反应器内设有穿孔曝气管，空气来自厂方进气管气源，反应器内以悬浮填料作生物载体，气水比控制在 $(6 \sim 15):1$ 范围内。由于反应器的每一级均呈正方形，曝气均匀、填料流化状态良好，故均可将其视作完全混合反应器，即在每一级的任何一点取水沉淀后均可作为该级反应器的出水，而考察多级悬浮填料生物反应器去除污染物的效果就是按照这种思路进行的。

1.3 水质分析

水样：为全天混合样，其中进水是沉淀 10 min 后的上清液，反应器前两级出水是取相应的反应器内任何位置的混合水沉淀 2 h 后的上清液，三级出水为最终出水。每天定时取水混合后放入冰箱内进行分析。

分析方法： COD_{Cr} 采用快速铬法， $NH_3 - N$ 采用纳氏试剂光度法， DO 采用 YSI MODEL58 型溶氧仪测定，浊度采用浊度仪法，SS 采用重量法，还需定期进行微生物镜检。

2 结果与讨论

2.1 充氧能力试验和生物膜的形成

前期在该厂进行的充氧能力试验结果表明，由于存在碰撞和切割气泡等作用，在生物反应器中投加悬浮填料使氧的总传递系数、传递速率、曝气设备的充氧能力、氧利用率等均有显著提高，可见对氧的传递起着促进作用，且当填料投加率为 50% 时的效果最好（氧的利用率为 9.7%），约是无填料生物反应器的 2.26 倍，故中试的生物反应器中填料投加率均为 50%。

悬浮填料生物反应器中生物膜的培养和形成是该工艺能否运行的关键。在气水比为 $(6 \sim 15):1$ 条件下连续进水培养 1 个月左右，发现有轮虫和线虫等后生动物产生，标志着生物膜已逐渐成熟，此时生

物膜呈黄褐色,膜厚在 1~2 mm 之间,同时也获得了较稳定的出水。装置经近一年的运行,效果稳定。

2.2 运行结果分析

该试验分别考察了在不同条件下多级悬浮填料生物反应器去除污染物的效果,水力停留时间分别为 10、8 和 6 h 工况条件下各级对不同污染物的去除情况,而每一个工况根据实际情况运行 15~30 d 不等。在从一种工况调到另一种工况的第 2 天开始进行水质分析,为使之与水质净化厂的曝气池水力停留时间具有可比性,以水力停留时间为 8 h 工况下的运行结果为主进行讨论。

① 对 BOD 的去除

水力停留时间为 8 h 工况下反应器的第二、三级出水的 BOD₅ 值及去除效果见表 2。

表 2 对 BOD₅ 的去除效果

测定次数	1	2	3	4	5	6	7	8
进水(mg/L)	223	115	199	158	108	155	234	158
二级出水(mg/L)	18.9	13.0	15.0	16.7	9.7	17.6	15.5	14.4
二级去除率(%)	91.5	88.7	92.5	89.4	91.0	88.7	93.4	90.1
三级出水(mg/L)	13.8	9.6	6.9	11.4	8.2	9.7	7.1	12.0
总去除率(%)	93.8	91.7	96.5	92.8	92.4	93.7	97.0	92.4

从表 2 可见,在与一般曝气池相同的水力停留时间条件下,进水 BOD₅ 浓度为 108~234 mg/L 时,二级反应器出水浓度均在 20 mg/L 以下, BOD₅ 平均去除率已达 90.7%,三级出水均在 15 mg/L 以下,平均去除率为 93.7%,可见从第二级到第三级进一步去除 BOD₅ 的幅度已不大,说明该厂废水的可生化性较好,该生物反应器对 BOD 的去除率很高。

② 对 COD 的去除

反应器每级出水的 COD_{Cr} 值及其分级去除效果见表 3。

表 3 对 COD_{Cr} 的去除效果

测定次数	进水(mg/L)	一级出水(mg/L)	去除率(%)	二级出水(mg/L)	去除率(%)	三级出水(mg/L)	总去除率(%)
1	397.0	186.6	53.0	105.2	73.5	87.3	78.0
2	412.3	172.7	58.1	103.2	75.0	87.3	78.8
3	325.5	144.9	55.5	95.2	70.8	67.5	79.3
4	397.0	129.0	67.5	99.3	75.0	85.4	78.5
5	365.2	186.6	48.9	99.3	72.8	83.4	77.2
6	325.5	154.8	52.4	91.3	72.0	83.4	74.4
7	444.6	176.7	60.3	95.3	78.6	91.3	79.5
8	253.4	150.5	40.6	65.3	74.2	61.4	75.8

从表 3 可以明显看出,在最初两天内由于微生

物还没有完全适应,二级出水 COD_{Cr} 浓度偏高,已超过城市污水厂的二级排放标准(100 mg/L);经过适应之后在进水 COD_{Cr} 浓度为 253.4~444.6 mg/L 时,反应器的二级出水 COD_{Cr} 浓度均低于 100 mg/L,且出水水质非常稳定,其平均去除率与三级出水的平均去除率相比,已经完成第三级去除率的 95% 左右。从去除 COD 的要求来看,该反应器的二级出水已经达到要求,采用三级反应器是为了在较低负荷条件下达到去除 NH₃-N 的目的。

③ 对 NH₃-N 的去除

多级填料生物反应器对石化废水中 NH₃-N 的去除远远高于水质净化厂的推流式曝气池,其运行结果见表 4。

表 4 对 NH₃-N 的去除效果

测定次数	进水(mg/L)	一级出水(mg/L)	去除率(%)	二级出水(mg/L)	去除率(%)	三级出水(mg/L)	总去除率(%)
1	23.5	21.1	10.2	10.0	57.5	2.1	91.1
2	24.0	22.0	8.3	16.6	30.8	7.0	70.8
3	20.8	18.2	12.5	9.8	52.9	3.9	81.3
4	26.2	20.8	20.6	8.7	66.8	1.2	95.4
5	23.5	20.4	13.2	11.1	52.8	4.2	82.1
6	23.3	20.5	12.0	8.7	62.7	0.2	99.1
7	22.6	22.0	2.7	12.8	43.4	4.9	78.3
8	22.3	18.5	17.0	9.3	58.3	4.7	78.9

由表 4 可以看出,在反应器的第一级由于有机负荷和氨氮负荷均较高,对氨氮的平均去除率仅为 12.1%;在反应器的第二级由于负荷降低,使其对氨氮的去除率有所升高(平均去除率已达 53.2%);而第三级对氨氮的平均去除率高达 84.6%,由此可以说明多级悬浮填料生物反应器的优势在于能很大程度地提高对氨氮的去除率,这正是水质净化厂原推流式曝气池的不足之处。

从以上几种主要污染物的去除效果可以看出,悬浮填料生物反应器对石化废水的有机污染物有较好的去除效果,在反应器的前两级已经基本完成对有机污染物的去除,使其达到城市二级污水厂的二级排放标准;对于氨氮的去除更是多级悬浮填料生物反应器的优点,在与水质净化厂推流式曝气池相同的水力停留时间(8 h)时,其出水氨氮浓度远远低于二级排放标准(15 mg/L),说明采用该反应器分级处理石化废水是可行的。

④ 对其他污染物的去除

多级悬浮填料生物反应器除了对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、有机污染物有较好的去除效果外,对浊度和 SS 也有与此类似的去除效果。

3 结论

① 多级悬浮填料生物反应器由于填料具有比表面积大、易挂膜、可有效切割气泡的特点,故能使其对氧的利用率有较大提高。试验表明,当填料投加率为 50% 在保持与普通曝气池相同的气水比条件下,可使充氧能力和充氧速率提高至无填料时的 2 倍以上。

② 采用多级悬浮填料生物反应器处理石化废水在启动时无需接种污泥,可直接挂膜培养,操作方便、易于管理。

③ 多级悬浮填料生物反应器在填料投加率为 50% 与普通曝气池基本相同的水力停留时间和气水比条件下,对 BOD 、 COD 、 SS 、浊度有很高的去除率,由于前两级反应器大大降低了反应器内有机物的负荷,使得该分级反应器对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 有很好的去除效果。

④ 由于填料不需要支撑装置、不结团,在曝气池进、出口设置小于填料粒径的格栅即可防止填料流失,故本工艺将很容易在一般污水处理厂中推广

应用;只需将一般推流式曝气池稍作改动,使其形成前级出水为后级进水即可实现分级去除污染物的目的,在确保对 BOD 、 COD 等有机污染物去除率的同时,可以提高对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果。

参考文献:

- [1] H φ degaard, Rusten B, Westrum T. A new moving bed biofilm reactor applications and results[J]. Wat Sci Tech, 1994, 29(1):157-165.
- [2] Wwlander U, Henrysson T, Weldander T. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm process[J]. Wat Sci Tech, 1998, 38(5):1564-1570.
- [3] 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[J].重庆环境科学,1999,21(2):42-44.
- [4] 周增炎,高廷耀,刘霞.一种悬浮式生物载体[P].中国专利 972348557,1998-08.

作者简介 夏四清(1965-),男,河南汝南人,同济大学副教授,主要从事污水生物处理方面的研究。

电话(021)65983868 65982684

E-mail xqxia@online.sh.cn

收稿日期 2001-10-15

· 工程信息 ·

新疆伊宁市生活垃圾综合处理厂工程

该工程处理生活垃圾能力为 400 t/d,焚烧医疗垃圾能力为 10 t/d,总投资为 7 760 万元。工程设计由中国市政工程华北设计研究院三所承担,目前已完成可行性研究,即将进行初步设计。

重庆市万洲区长岭垃圾处理厂工程

该工程处理生活垃圾规模为 400 t/d。工程包括垃圾收运系统和卫生填埋场两部分,其中收运系统由 25 座处理能力为 15 t/d 的小型转运站和 3 座 150 t/d 的中型压缩转运站组成。

工程总投资为 14 879 万元,其中 11 903 万元来源于国家三峡环保基金,其余为地方自筹。

工程由中国市政工程华北设计研究院设计,目前已完成初步设计。

(中国市政工程华北设计研究院 刘峰 供稿)