

# 组合工艺处理黄河微污染水的研究<sup>\*</sup>

谢曙光

张湛军 刘好笑 施东文

(北京大学环境学院环境科学系,北京 100871) (郑州市自来水总公司,河南 450013)

王占生

(清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

**摘要** 组合工艺处理黄河微污染水研究表明,生物预处理和常规处理能有效去除  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和  $\text{UV}_{254}$ ,而臭氧的投加能有效提高深度处理工艺对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和  $\text{UV}_{254}$  的去除效果。组合工艺各单元都能有效地去除藻类、Chla 和三氯甲烷前体物。陶粒生物滤池对氨氮有较高的去除率。投加臭氧时深度处理工艺对氨氮的处理效果会变差。在整个试验期间,组合工艺最终出水亚硝酸盐氮浓度低于 0.003 mg/L,有时甚至低于检测限。

**关键词** 组合工艺 黄河 生物预处理 深度处理 臭氧氧化

## 1 引言

黄河水水源的污染日益严重,采用常规工艺处理虽然可以去除水中许多有毒有害物质,但对水体中有机的去除效果却不太理想,以致于过滤后的出水作为饮用水时有时含有一定的气味,尤其是黄河中下游汾河、涑水河、渭河和伊洛河等入黄支流污染物排放量大,直接影响黄河中下游郑州等大中城市饮用水水源水质。然而目前国内对于以黄河为水源的自来水厂改善出厂水水质的研究报道很少,针对这一状况,本研究采用生物预处理、常规处理及深度处理组合工艺进行处理黄河水的研究,为将来可能兴建的以黄河为水源的安全供水工程或已有自来水厂的改造提供一定参考。

## 2 试验装置和运行条件

采用中试规模的生物预处理、常规处理及深度处理组合工艺在郑州市柿园水厂内现场进行处理入厂水(黄河水经过 2 次沉砂和泵提升后引入,在此称为原水),试验工艺流程和工艺运行参数分别见图 1 和表 1。整个试验时水温为 5~15℃,pH 约为 8。在本研究之前生物陶粒滤池内和活性炭滤池内生物膜已经挂膜成熟并经历了约 5 个月的连续运行。本试验研究时期为 2004 年 2 月 23 日~2004 年 5 月 17 日,其中 2004 年 2 月 23 日~2004 年 4 月 14 日没有投加臭氧,因而深度处理仅是活性炭过滤工艺,2004 年 4 月

15 日~2004 年 5 月 17 日,臭氧投加量约为 1 mg/L。整个试验研究期间,混凝剂(聚合铝)投加量较低,仅为 5 mg/L。组合工艺进水流量为 1 m<sup>3</sup>/h。各生物处理单元出水溶解氧浓度高于 5 mg/L。

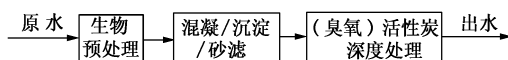


图 1 处理黄河水的组合工艺

表 1 组合工艺各单元运行参数

项目	尺寸 $\phi \times H$ mm $\times$ mm	填料高度/ mm	填料粒径/ mm	停留时间/ min	滤速/ $\text{m h}^{-1}$	气水比
生物陶粒柱	500 $\times$ 3 000	2 000	2~5	23.6	5.1	0.25 1
混凝池	300 $\times$ 670	-	-	3.6	-	-
斜管沉淀池	400 $\times$ 2 000	-	-	19.2	-	-
砂滤池	350 $\times$ 3 000	700	1~1.5	4.7	10.4	-
臭氧氧化柱	350 $\times$ 3 000	-	-	17.3	10.4	-
活性炭柱	350 $\times$ 3 000	1 200	1~2	6.9	10.4	-

## 3 试验结果与讨论

### 3.1 组合工艺对有机物的去除

图 2 反映了组合工艺对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除情况。由图 2 中数据计算得知:整个试验研究期间原水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  为 3.20~4.93 mg/L(平均值为 4.22 mg/L);陶粒生物滤池预处理率为 4.8%~22.7%(平均值为 9.1%);常规工艺去除率为 2%~20.6%(平均值为 11%);未投加臭氧时深度处理工艺去除率 5.7%~19.9%(平均值为 12%),而投加臭氧时深度处理工艺去除率 15.6%~29.5%(平均值为 21.4%)。由此可以看出,臭氧的投加能有效提高深度处理工艺对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去

<sup>\*</sup> 建设部研究开发项目(04-02-166),中国博士后科学基金(2003034076),环境模拟与污染控制国家重点实验室开放基金

除效果。此外,由图2中数据还可知,未投加臭氧时组合工艺对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的总去除率为20.4%~35.6%(平均值为27.2%),投加臭氧时组合工艺对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的总去除率为34.4%~53.3%(平均值为41.3%)且组合工艺最终出水都能满足 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  3 mg/L。

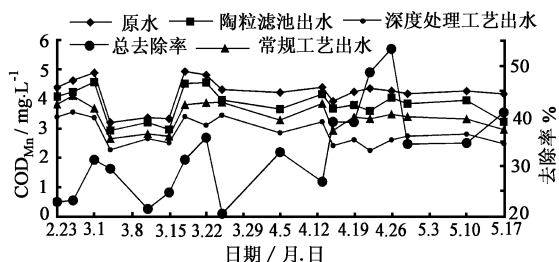


图2 组合工艺对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的去除(2004年)

图3反映了组合工艺对 $\text{UV}_{254}$ 的去除情况。在波长254 nm下存在吸光度的物质主要为大分子的芳香族化合物,其分子结构复杂,生物降解性很差,因而微生物主要是通过吸附作用去除它们,而生物氧化作用不高。由图3中数据计算得知,整个试验研究期间原水 $\text{UV}_{254}$ 为0.069 2~0.159 2(平均值为0.112 8)时,陶粒生物滤池对 $\text{UV}_{254}$ 有较高的去除率(7.3%~30.4%,平均值为17%),这是由于陶粒上附着生物量及陶粒间隙之间的生物絮体能发挥一定的吸附、絮凝作用,能达到良好的截留悬浮物的效果。常规工艺对 $\text{UV}_{254}$ 的去除率为0.5%~28.9%(平均值为10.3%)。未投加臭氧时深度处理工艺对 $\text{UV}_{254}$ 的去除率15.7%~39.2%(平均值为24.3%),而投加臭氧时深度处理工艺对 $\text{UV}_{254}$ 的去除率37%~63%(平均值为53.2%)。由此可知,臭氧的投加能大大提高深度处理工艺对 $\text{UV}_{254}$ 的去除效果。

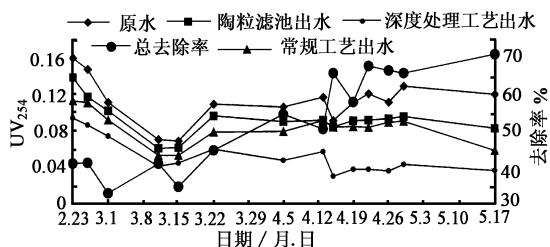


图3 组合工艺对 $\text{UV}_{254}$ 的去除(2004年)

表2和表3反映了组合工艺对藻类和叶绿素a(Chla,常用作藻类个数的代用参数)的去除情况。组合工艺各单元都能有效地去除藻类和Chla,而组合工艺对藻类和Chla的总去除率的平均值分别是76.9%和91.7%。

表2 组合工艺对藻类的去除

原水/ 万个 $\text{L}^{-1}$	陶粒滤池 出水/万个 $\text{L}^{-1}$	常规工艺 出水/万个 $\text{L}^{-1}$	深度处理工艺 出水/万个 $\text{L}^{-1}$	总去 除率 %
341	221	111	47	86.2
221	167	114	69	68.7
158	92	54	38	75.9

表3 组合工艺对Chla的去除

原水/ $\mu\text{g L}^{-1}$	陶粒滤池 出水/ $\mu\text{g L}^{-1}$	常规工艺 出水/ $\mu\text{g L}^{-1}$	深度处理工艺 出水/ $\mu\text{g L}^{-1}$	总去 除率 %
3.31	2.65	0.92	0.22	93.4
2.17	1.34	0.73	0.24	88.9
2.76	1.16	0.78	0.2	92.8

### 3.2 组合工艺对氮的去除

图4反映了组合工艺对氨氮的去除情况。由图4中数据计算得知,试验研究期间原水 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 为0.08~0.76 mg/L(平均值为0.34 mg/L)时,陶粒生物滤池对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 有较高的去除率(20%~77.6%,平均值为54.6%),而常规工艺对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 也有一定的去除作用(0~75%,平均值为22.3%)。

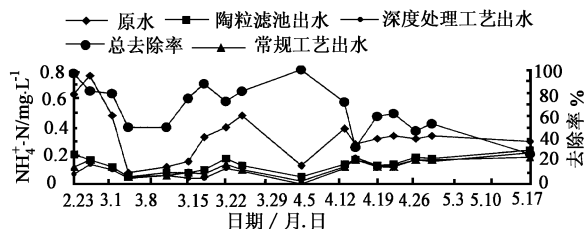


图4 组合工艺对氨氮的去除(2004年)

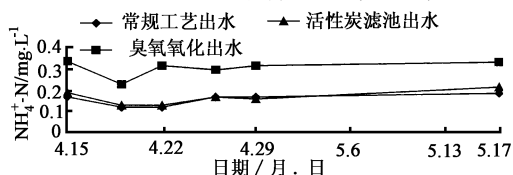


图5 投加臭氧时氨氮浓度在深度处理工艺各单元中变化(2004年)

一般认为,臭氧能通过氧化作用把氨氮转化成硝酸盐氮,从而臭氧氧化后水中氨氮浓度降低<sup>[1]</sup>。但由图5可知,臭氧氧化后氨氮浓度反而升高,这主要是由于有机氮在臭氧作用下转化成氨氮所致<sup>[2]</sup>。虽然后续活性炭滤池有一定生物硝化作用,但活性炭滤池出水氨氮浓度仍然较高。由图4中数据计算得知,未投加臭氧时深度处理工艺对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 去除率是0~100%(平均值为26.1%),而投加臭氧时深度处理工艺去除率是-15.6%~5.9%(平均值为-6.4%)。这说明在投加臭氧时深度处理工艺对氨氮的处理效果会变差。

# 水解酸化-二段式接触氧化处理生物制药废水

于宏兵

杜 军 李景新 田子夫

(吉林大学环境与资源学院, 长春 130026) (吉林省环境科学研究院, 长春 130012)

**摘要** 采用水解酸化-二段式接触氧化池( $H/O_2$ )处理某生物制药厂废水,处理设施已稳定运行 2 a,表明废水中有机质去除效果显著,运行稳定,抗冲击负荷强,无剩余污泥产生,一体化设施占地面积小,投资少,运行费用低等特点,当废水  $COD_{Cr}$  800 ~ 1 200 mg/L,  $BOD_5$  200 ~ 300 mg/L, SS 200 mg/L 时,其去除率分别为  $COD_{Cr}$  90.7%,  $BOD_5$  92.4%, SS 87.6%。出水水质(平均)分别为  $COD_{Cr}$  80.6 mg/L,  $BOD_5$  15.1 mg/L, SS 23.7 mg/L。

**关键词** 水解酸化 二段式 接触氧化 生化制药

## 1 概述

某生物制药厂以合成生长素为主。废水主要来源于发酵工序及离心工序,部分废水为清洗废水和生活污水。其中发酵废液、裂解废液含有大量高蛋白物质,  $COD_{Cr}$  浓度达到 13 328 mg/L,并且无定期排放。另外,该企业没有污水处理规划用地,仅有 200 m<sup>2</sup> 空地供污水处理使用。为此,设计的处理设施为一体化钢筋混凝土结构,工艺为水解酸化-二段接触氧化法( $H/O_2$ )以提高处理稳定性和抗冲击负荷能力。该设计的特点是在 O 段采用二段式生物接触氧化工艺,在好氧优势菌的作用下,将有机物分解成水和二氧化碳,达到降解有机物的目的。二段式生物接触氧化的前段和后段微生物群体特征差异明显,不同微生物群体被隔开,能够分别针对不同的有机污染物进行高效降解,取得更加稳定的处理效果。

## 4 结论

本研究采用中试规模的生物预处理、常规处理及深度处理组合工艺处理黄河微污染水研究表明,生物预处理和常规处理能有效去除  $COD_{Mn}$  和  $UV_{254}$ ,而臭氧的投加能有效提高深度处理工艺对  $COD_{Mn}$  和  $UV_{254}$  的去除效果,且组合工艺最终出水都能满足  $COD_{Mn}$  3 mg/L。组合工艺各单元都能有效地去除藻类和 Chla,而组合工艺对藻类和 Chla 的总去除率的平均值分别是 76.9%和 91.7%。陶粒生物滤池对  $NH_4^+-N$  有较高的去除率,平均去除率为 54.6%。投加臭氧时深度处理工艺对氨氮的处理效果会变差,这是由于臭氧氧化过程中有机氮转化成氨氮,引起活性炭滤池进

## 2 废水水质、水量及排放标准

### 2.1 废水水质、水量

生物合成制药废水由工艺废水和生活污水组成,水质污染物浓度变化较大,水质见表 1。

表 1 废水水质 mg/L (除 pH)

项目	$COD_{Cr}$	$BOD_5$	SS	pH
发酵废液	13 328	3 479	139.6	7.39
裂解废液	2 360	96.5	80	8
总混合排水	800 ~ 1 200	200 ~ 300	200	7.4 ~ 7.6
排放标准	100	30	70	6 ~ 9

废水总水量为 100 m<sup>3</sup>/d,其中,发酵废液 3 m<sup>3</sup>/d、裂解废液 1.2 m<sup>3</sup>/d 无定期排出,为 2 ~ 3 次/周。高浓度有机废液的不连续排放对排水水质影响较大。因此,在设计方面应考虑水质水量的调节能力和耐冲击负荷工艺。

水氨氮浓度升高,即使活性炭滤池有一定生物硝化作用,但活性炭滤池出水氨氮浓度仍然较高。

### 参考文献

- 1 王占生,刘文君.微污染源饮用水处理.北京:中国建筑工业出版社,1999.
- 2 杨再高.太湖富营养化原水除污染研究.同济大学环境工程学院,1997.

作者通讯处 谢曙光 100871 北京大学环境学院环境科学系  
电话 (010) 62762534 (O)  
E-mail xiesg@pku.edu.cn

2004 - 06 - 02 收稿

RESEARCH ON TREATMENT OF SLIGHTLY POLLUTED YELLOW RIVER WATER USING A COMBINED PROCESS ..... Xie Shuguang *et al* ( 7 )

**Abstract** The treatment of slightly polluted Yellow River water was investigated using a combined process.  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  and  $\text{UV}_{254}$  could be effectively reduced by biological pretreatment unit and conventional treatment unit. Addition of ozone could greatly improve  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  and  $\text{UV}_{254}$  removal efficiency by advanced treatment unit. Moreover ,each unit of the combined process could effectively remove alga ,chlorophyll a (Chla) and chloroform precursors. Ammonia removal by bio-ceramic filter was high. During the period of ozone addition ammonia removal by advanced treatment unit became worse. The final effluent nitrite remained less than 0.003 mg/L ,sometimes even below detection limit.

**Key words** combined process , the Yellow River , biological pretreatment , advanced treatment and ozonation

TREATING BIO-PHARMACEUTICAL WASTEWATER BY HYDROLYTIC-ACIDIFICATION AND TWO-STAGE CONTACT OXIDATION ..... Yu Hongbing *et al* ( 9 )

**Abstract** This paper presents exploratory results on the association of hydrolytic-acidification as a pre-treatment and two-stage contact oxidation for treatment of bio-pharmaceutical wastewater. The system has been operated for two years ,during which the mean removal efficiency in term of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  ,  $\text{BOD}_5$  and SS were respectively 90.7 % ,92.4 % and 87.6 % . The final effluent presents the following mean characteristics :  $\text{COD}_{\text{Cr}} = 80.6 \text{ mg/L}$  ,  $\text{BOD}_5 = 15.1 \text{ mg/L}$  ,  $\text{SS} = 23.7 \text{ mg/L}$  . The results demonstrate that hydrolytic-acidification and two-stage contact-oxidation can be a system of being operated for a longtime and stably.

**Key words** hydrolytic-acidification , two-stage , contact-oxidation and biopharmaceutical

APPLICATION OF TWO-STAGE BIOLOGICAL AERATED FILTER IN WASTEWATER TREATMENT PLANT OF SHENGYANG FAIRY RIVER ..... Liang Yanqiu *et al* (11)

**Abstract** The process of two-stage biological aerated filter is applied in wastewater treatment plant of Shenyang Fairy River ,which has many advantages ,such as small volume ,high treatment efficiency ,better quality of effluent ,simple technique ; biological oxidation and absorbing SS can be done in the same location. Not only can this process remove organic pollutants efficiently ,but also remove nitrogen. For this process needs no secondary settling pond ,so investment is lower ,and operation is autocontrol ,so running cost is lower too.

**Key words** biological aerated filter , wastewater treatment plant and denitrogenation

PROJECT EXAMPLE OF TREATING PRINTED CIRCUIT BOARD WASTEWATER BY ELECTROCHEMICAL-CONTACT OXIDATION PROCESS ..... Huang Debing *et al* (13)

**Abstract** It is introduced that a project example of treating the wastewater of printed circuit board (PCB) by electrochemical-biocontact oxidation. The running results show that the removal rates of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  are over 99 % and 87 % respectively after the wastewater is treated by this process. The process features simple operation and stable running ,whose effluent can meet the standard.

**Key words** electrochemical technique , biocontact oxidation , PCB wastewater , acidification treatment and coagulation by piping

## TREATMENT OF DYEING WASTEWATER BY PHYSICOCHEMICAL + THREE - STAGE BIOCHEMICAL + PHYSICOCHEMICAL PROCESS ..... Ji Jianhong (16)

**Abstract** The wastewater from a printery features high concentration ,high colority and high content of organics difficult to degrade. The use of only chemical method or biological method does not give good results of treatment. A physicochemical + threestage biochemical + physicochemical process was used in a printery in Jiangyin to treat the wastewater from the dyeing process with a design capacity of  $360 \text{ m}^3/\text{d}$  . If the  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  ,  $\text{BOD}_5$  ,SS and colourity of the influent were 2 000 ~ 3 000 mg/L ,600 ~ 700 mg/L ,350 ~ 500 mg/L and 500 ~ 1 000 times respectively , the effluent can steadily meet the first-class of wastewater discharge standard after treatment.

**Key words** wastewater from dyeing process , treatment of wastewater , chemical coagulation , hydrolytic acidification , activated sludge and contact oxidation

## STUDY ON TREATMENT OF MODIFIED-STARCH WASTEWATER BY HYDROLYTIC ACIDIFICATION-UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BED-SEQUENCING BATCH REACTOR PROCESS ..... Cheng Rixiang (18)

**Abstract** In this paper , the hydrolytic acidification-UASB-SBR process was used to treat three kinds of modified-starch wastewaters (oxidized starch ,esterified starch and etherified starch) . The feasibility of this process was researched from design ,debugging ,operation and technical analysis. The result showed that the process is feasible in modified-starch wastewater treatment and it has a high adaptability to different kinds of modified-starch wastewaters.

**Key words** modified-starch wastewater , hydrolytic acidification-UASB-SBR process and particulate sludge