



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

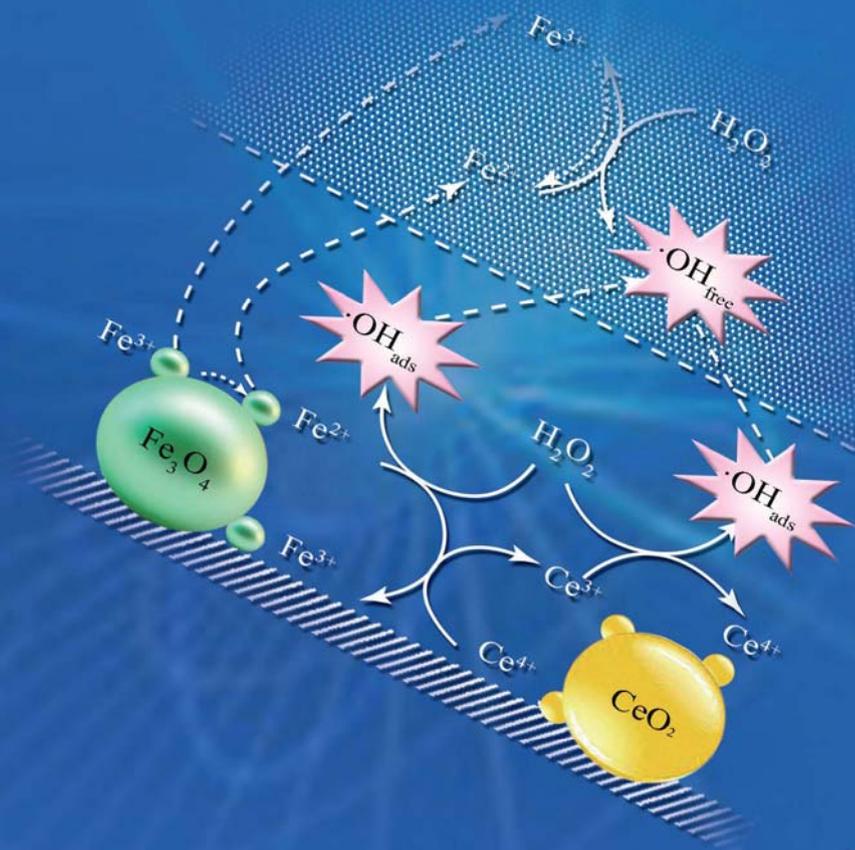
环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering

封面文章

磁性 Fe_3O_4 纳米颗粒的制备及在水处理中的应用

展思辉, 张宇, 朱丹丹, 等, 2016, 10(1): 1-11



中国科学院
生态环境研究中心

主办



科学出版社

出版

Vol. 10 No. 1

2016.1

目次

综 述

磁性 Fe₃O₄ 纳米颗粒的制备及在水处理中的应用 展思辉 张宇 朱丹丹 邱明英 于雯超 史强 (1)

水 污 染 防 治

人工湿地对水产养殖废水典型污染物的去除 黄翔峰 王坤 陈国鑫 陆丽君 刘佳 (12)

选矿废水中黄药的生化处理 夏丽娟 胡学伟 张雅琳 靳松望 王亚冰 (21)

增强型中空纤维膜生物反应器处理污水 赵微 肖长发 权全 胡晓宇 环国兰 (27)

TEMPO 氧化微晶纤维素和马来酸酐接枝微晶纤维素的制备及对 Cu²⁺ 的吸附 杨阳 王一宁 潘远凤 肖惠宁 (33)

利用活性氧分子消除污水中的 COD 白敏蔚 毛首蕾 李超群 周建纲 (38)

污水颗粒尺寸分布对深度过滤中雌激素去除的影响 胡碧波 阳春 刘达 (43)

于桥水库溶解性有机碳分布特征及三卤甲烷的生成势 牛志广 魏晓婷 张颖 (48)

不同 pH 下纳米级天然黄铁矿对水中 ReO₄⁻ 的去除规律 丁峰 钱天伟 丁庆伟 赵东叶 崔晋艳 王莉霄 (55)

聚酰胺小球负载 *Comamonas* sp. (bdq06) 生物降解水中的喹啉 蔺烧 陈瑜 郭树君 邵德武 耿直 霍明昕 刘志强 朱遂一 (60)

草酸改性柚子皮对废水中镉离子的吸附性能 毛艳丽 康海彦 吴俊峰 (65)

合肥城郊典型排水沟渠沉积物磷形态及其释放风险 唐文坤 李如忠 钱靖 金菊良 常笑 (73)

新型缓释碳源的制备及其性能 王润众 郝瑞霞 赵文莉 (81)

乳液电纺纤维膜固定化漆酶及其对水中酚类污染物的降解 袁钰 代云容 宋永会 于彩虹 (88)

螺蚌和沉水植物搭配对微污染水体的净化作用 李雪娟 和树庄 常学秀 谭福广 申意 陆福田 侯文通 (95)

HRT 和 SRT 对 AO 工艺去除四环素及耐药菌的影响 郑宇 黄满红 陈亮 徐奇 (103)

对乙酰氨基磺酰氯生产废水的 UASB 处理及硫酸盐的影响 李伟成 张红 戚伟康 牛启桂 刘宇宇 李玉友 高迎新 (110)

炼化污水的厌氧生物预处理技术 王宇 许双双 阎光绪 王庆宏 李敏 马文峰 马静园 郭绍辉 (115)

多胺改性 PGMA-DAAM 树脂的合成及对 Pb²⁺ 的吸附性能 杨迎霞 宋明超 陶子元 刘春萍 (121)

光催化剂磷酸钾的制备及结构表征 刘天成 黄家卫 王天丽 唐光阳 贾丽娟 王博涛 王红斌 (127)

重庆市加油站周边浅层地下水中石油烃污染调查与特征分析 赵丽 张韵 郭劲松 张丹 邓春光 (131)

太湖地区典型降雨水稻田径流污染物输出特点及相关性分析 陈育超 李阳 于海明 乔斌 孙井梅 (137)

铁屑耦合生物麦饭石的 PRB 系统修复含铬酸根与硝酸根地下水 狄军贞 朱志涛 戴男男 江富 (145)

山核桃加工废水的成分测定与分析 张贝贝 刘文洪 李俊峰 叶志青 (150)

煤基活性炭的改性及其对含铜废水的吸附性能 吕游 刘树根 谢容生 宁平 谷俊杰 (157)

以养殖固体废弃物发酵产物为碳源的 SND 系统的脱氮除磷效果 成小婷 罗国芝 李丽 谭洪新 (163)

石墨烯/TiO₂ 复合物的制备及其光催化性能 张宏忠 秦小青 王明花 (169)

剩余污泥对活性黑和酸性大红混合染料的吸附 王春英 黄平清 黄晓霞 刘茹 (175)

狭叶香蒲活性炭对 Cd²⁺ 与 Pb²⁺ 的吸附及机理分析 舒艳 李科林 宋金凤 李冰 汤春芳 (181)

催化湿式氧化法处理垃圾渗滤液 蔡先明 秦侠 张丽 崔红蕊 (189)

印染废水中氮硫形态转化和去除效率 王学华 李蕾 刁新星 王浩 (194)

反硝化生物滤池用于再生水脱氮效能及动力学研究 高建锋 杨碧印 赵建树 张金松 (199)

TiO₂ 光催化耦合 SO₄²⁻ 体系对硝基苯酚的降解性能及动力学 唐海 沙俊鹏 颜酉斌 蔡昌凤 王军刚 (205)

铁碳微电解/H₂O₂ 耦合类 Fenton 法预处理高浓度焦化废水 殷旭东 李德豪 毛玉凤 朱越平 刘正辉 (212)

生化-Fenton 氧化联合工艺处理石化净化水的回用 王永超 李玉平 陈娟 (217)

模拟优化模型在地下水监测布井中的应用 熊锋 苏婧 翟秋敏 孙源媛 吴超 姜永海 席北斗 (223)

活性炭负载 CuO 催化过硫酸盐去除活性艳红 X-3B 染料 王宇轩 王应军 方明珠 (230)

生物接触氧化法应急处理原水突发性藻类污染 许骆 罗建中 邓俊强 刘敏强 (237)

次氯酸钠降解水中萘普生的效果 纪夏玲 吕文英 李富华 陈平 李若白 范斯娜 姚琨 张祥丹 刘国光 (243)

大 气 污 染 防 治

活性炭纤维负载功能化离子液体的脱硫性能 王建英 张丽喆 穆惠英 陈莹 胡永琪 (248)

滤袋式膜生物反应器净化二甲苯 徐孟孟 陈效 蒋轶锋 吴成强 (257)

电极配置对多针-板脉冲等离子体反应器放电特性的影响 董冰岩 周海金 施志勇 黄芸伟 丁奇岷 王晖 (262)

油茶果壳炭对油烟的吸附性能	刘超 廖雷 覃爱苗	周江喜 彭娟(267)
防止中小型锅炉脱硫除尘一体化系统中引风机积灰振动的研究		吕太 贺培叶(272)
程序升温脱附法测定活性炭上酯类有机物的脱附活化能	任爱玲 孟少左 田森	张丁超 韩梦非(277)
大流量低浓度 VOCs 气体二次吸附浓缩净化技术开发		
.....	苟志萌 李照海 何娇 羌宁 覃兰雪	徐素玮 曹熠(283)
挥发性有机物生物增溶性能及效果		王国惠 许亚楠 李慧敏(289)
制备条件对锰氧化物 SCR 脱硝性能的影响	刘育松 高凤雨 唐晓龙 易红宏	赵顺征 曹雨萌(295)

固体废物处置

水泥回转窑共处置含砷污泥	熊正为 朱雷 杨博豪 魏清伟 陆森(301)	
进出料频率对牛粪两相厌氧发酵特性的影响	王光远 李文哲 李 雷 蔡康妮 王忠江(306)	
城市污泥过热蒸汽薄层干燥初始段凝结特性	张绪坤 孙瑞晨 王学成 温祥东 吴起 邢普(311)	
家电报废量预测模型与安徽省实例分析	刘志峰 张雅堃 黄海涛 薛亚琼 王玲(317)	
药渣与煤共热解动力学模型及逸出气红外特性分析	刘宝宣 蒋旭光 吕国钧 王飞 池涌 严建华(323)	
温度对热水解预处理高含固污泥特性的影响	程瑶 韩芸 卓杨 代璐 彭党聪(330)	
疏浚底泥固化改性资源化利用技术		武博然 柴晓利(335)
利用旋转炉热解城市污泥的产物特性	王学涛 张兴宇 徐斌 兰维娟(343)	
次氯酸钠氧化废轮胎胶粉对改性沥青性能的影响		
.....	于凯 张琛 王欢 张楠 陆宇鹏 李彤彤 李沁宇 刘双喜(350)	
聚乙烯醇/超细羽绒粒子共混膜的制备及其染料吸附动力学		
.....	陈凤翔 谢文雅 董兵海 王世敏 赵丽 许祖勋 万丽(355)	
以粉煤灰为原料制备高纯度 NaP 型分子筛	周慧云 徐婷婷 陈彦广 解聪浩 宋华(360)	
核桃壳骨架构建剂对污泥脱水性能的影响	董凌霄 丁绍兰 谢林花 蔡丽 杨慧佳(365)	
巢湖蓝藻酸提取液提高玉米秸秆的酶解效率	吴玉杰 王进 崔康平 洪天求 岳正波(370)	
稻壳基高比表面积介孔活性炭的制备与表征	薛广钊 侯贵华 乔仁静 董鹏玉 张勤芳(375)	
改性油菜秸秆对 Co(II) 的吸附		汪洋 吴纛(379)
化工污泥轻质填料的制备及其应用	俞敏洁 胡俊 孙婧 李溪 徐炎华(385)	
不同碱剂对污泥与餐厨垃圾联合厌氧发酵产氢余物产甲烷的影响	郑育毅 林鸿 林志龙 罗鸿信 刘常青(393)	
废弃 LCD 面板金属钢的超声协同浸出	庄绪宁 李英顺 杨义晨 胡冰倩 赵颖璠(399)	
脉冲电场在污泥处理中的应用	姜俊杰 梁美生 李伟 裴旭倩(405)	

土壤污染防治

外源铅在不同类型土壤的形态转化		宋波 曾炜铨(410)
荧光假单胞菌产铁载体对油菜吸收砂基和水基中镉的影响	晋银佳 刘文 朱跃 王丰吉(415)	
再生水灌溉区土壤对头孢噻肟的吸附特征	虞敏达 张媛 张慧 檀文炳 高如泰 席北斗 杨津津(421)	
化学氧化法治理焦化厂 PAHs 污染土壤	杨勇 张蒋维 陈恺 李忠博 李洪旺 牛静 王瑜瑜(427)	
循环流化床燃煤固硫灰改良云南红粘土	李勇辉 王群英 邓庆德 景文斌 张石华(432)	

生态修复工程

不同沉水植物组配对北大港水库水体净化效果的影响	常素云 吴涛 赵静静(439)
生态修复工程对城市内河水体细菌多样性的影响	唐方园 张秋芳 周阳靖 陈力行 徐继荣 程军蕊(445)
组合型生态浮床处理农家乐污水	王郑 崔康平 许为义 孟蓉 孙鹏 陈鸿汉(455)
微宇宙法研究环境因子对南方典型梯级水库群藻类生长的影响	周利 朱嘉成 朱佳 高静思(461)

环境生物技术

水葫芦多环芳烃含量及其与脂肪含量的关系	杨海燕 郭金鹏 卢少勇 曲洁婷 贾九敏(467)
金鱼藻对不同扰动方式下悬浮物的生理响应	张翠英 王丽萍 万蕾 张后虎(473)
以不同底物和苯胺为燃料的微生物燃料电池的产电特性	佟海龙 黄力群 何燕 刘解答 刘承鸿 于荆(480)
含固率和电极间距对牛粪发酵产电性能的影响	王成显 张艺臻 吴淑娜 张小梅 沈建国 丁仕林 辛言君(485)

工程实例

城镇污水处理厂的综合绩效评价	魏亮 陈滢 刘敏 翟宇超(490)
膜工艺在电镀废水处理工程中的应用	夏仙兵 蔡邦肖 缪佳 林建平 倪政(495)

环境监测与评价

SPE-HPLC 法检测环境水样中的痕量三氯卡班	朱开杭 曾庆玲 沈春花 周真明 李飞(503)
--------------------------------	-------------------------

生物接触氧化法应急处理原水突发性藻类污染

许 骆¹ 罗建中¹ 邓俊强² 刘敏强³

(广东工业大学环境科学与工程学院, 广州 510006)

摘 要 突发性藻类污染常常伴随着藻类的肆意滋生,从而严重影响着水厂正常运行,更加威胁着居民用水的水质安全。采用弹性填料生物接触氧化工艺处理含藻原水,分析考察了不同水力停留时间、气水比和藻类浓度条件下反应器对藻类去除效果的影响。结果表明,最佳HRT为1.0 h,最佳气水比为1.2:1;采用最佳工艺条件处理叶绿素a(Chl-a)为70 mg/m³的高藻原水时,Chl-a、COD_{Mn}和NH₄⁺-N的去除率分别达到65.48%、47.81%和70.54%,且COD_{Mn}和NH₄⁺-N的出水浓度能够达到东深供水工程处理目标。说明在该最佳工艺条件下,原水中藻类能够被有效地控制和去除,出水水质稳定,工艺适应性强。

关键词 生物接触氧化 突发性藻污染 水力停留时间 气水比

中图分类号 X703.1 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2016)01-0237-06

Emergency treatment of sudden algae pollution in raw water by contact oxidation process

Xu Luo¹ Luo Jianzhong¹ Deng Junqiang² Liu Minqiang³

(School of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract The sudden algae pollution in eutrophic water can hardly be effectively removed by conventional process, thus can seriously affect the quality of drinking water. Biological contact oxidation process was used to treat algae-laden raw water and research the effects of algae removal under different HRTs, air-waters ratios and concentrations of algae. The results showed that the best removal efficiency could be achieved when the optimal retention time was 1 h and the air-water ratio was 1.2:1. When the reactor treated high concentration chl-a of 70 mg/m³ containing raw water under optimal conditions, average removal rates of chl-a, COD_{Mn} and NH₄⁺-N were 65.48%, 47.81% and 70.54%, respectively, and the COD_{Mn} and NH₄⁺-N concentration in effluent achieved established target of Dongshen Water Supply Engineering. The process had good effect on treating high concentration chl-a containing raw water under optimal conditions and the advantage of stable quality of output water as well as good technological adaptability.

Key words biological contact oxidation; sudden pollution of algae; HRT; air-water ratio

由于水体的富营养化,水体藻类暴发事故频发,严重威胁水源地及饮用水的水质安全^[1-7];而且现有的供水厂缺乏有效的藻类防控措施,当藻类暴发时不能继续保证城镇居民饮用水健康需求。

深圳市东深供水公司担负着向香港和珠江三角洲地区的供水重任,日供水量4×10⁶ m³;为了消除氨氮等污染物对水质的污染,于2003年建成了“原水生物预处理工程”,保证了良好的供水水质^[8]。但是,随着社会经济的不断发展,水源富营养化污染问题也要提到议事日程,尤其是藻类污染技术亟待研究和开发。

本研究的目的是在东深供水原水生物预处理工程的基础上,进一步研究开发该工程的除藻新功能,以应对富营养化事件的发生,保障供水水质的安全。本研究结合东深供水原水生物预处理工程的实际情况,利用现有的弹性填料生物接触氧化工艺,考察工艺对藻类的去除效果;并通过优化接触氧化的曝气时间、曝气强度等技术参数,建立了有效去除水中藻

收稿日期:2014-09-26; 修订日期:2014-10-27

作者简介:许骆(1990—),女,硕士,主要从事水污染控制理论与技术研究。E-mail: xuluokonghao@163.com

* 通讯联系人, E-mail: xuluokonghao@163.com

类的处理工艺。

该技术对东深供水原水生物处理工程有效治理和控制突发富营养化问题给予了一定的技术指引和数据支持,可以在水体藻类突发,启动应急措施时参考使用。

1 实验部分

1.1 实验装置

实验采用由有机玻璃制成生物接触氧化反应装置如图1所示。该反应器呈圆柱状;高度350 mm,直径140 mm;接触氧化区有效水深为320 mm,有效容积为5.3 L。池内均匀布置YDT型弹性立体填料,填料高度为320 mm,单元直径为140 mm,丝条直径为0.35 mm。供氧通过曝气头底部曝气,原水由水泵提升至反应器。

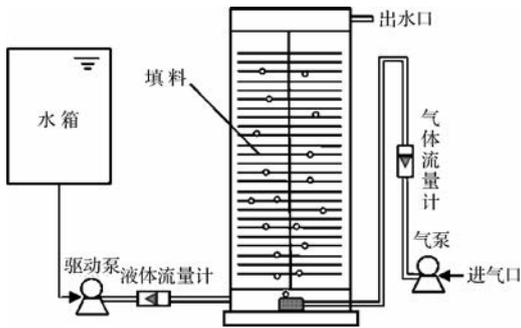


图1 实验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental equipment

1.2 实验水质

实验用水取自校区呈轻度富营养的人工湖泊。其中原水的chl-a浓度范围约25~43 mg/m³,均值与国内各地湖泊及水库的水华阈值相当;且COD_{Mn}含量约4.4~6.7 mg/L,与东深供水工程COD_{Mn}进水浓度的5 mg/L相近,完全符合实验目的及要求。

$$\text{chl-a}(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{[11.64 \times (D_{662} - D_{780}) - 2.16 \times (D_{448} - D_{780}) + 0.10 \times (D_{620} - D_{780})] \cdot V_1}{V \cdot \delta} \quad (1)$$

式中: V 为水样体积(L); D 为吸光度; V_1 为提取液定容后的体积(mL); δ 为比色皿光程(cm)。

NH₄⁺-N采用纳氏试剂光度法;COD_{Mn}采用酸性高锰酸钾法;TN采用过硫酸钾氧化紫外光度法;TP采用钼锑抗分光光度法;DO和温度采用HQ30d53便携式溶解氧仪测定;pH采用PHB-3便携式pH计测定^[11]。

实验用水取自校区呈轻度富营养的人工湖泊。其中原水的Chl-a浓度范围约25~43 mg/m³,均值与国内各地湖泊及水库的水华阈值相当;且COD_{Mn}含量约4.4~6.7 mg/L,与东深供水工程COD_{Mn}进水浓度的5 mg/L相近,完全符合实验目的及要求。其他实验原水水质参数的浓度范围如下:pH=7.7~8.2,NH₄⁺-N=0.13~0.33 mg/L,TP=0.06~0.15 mg/L,TN=0.26~0.43 mg/L。

此外,通过对被处理原水水质的监测,原水的NH₄⁺-N浓度大部分时间在0.2 mg/L上下波动,由于含量过低,NH₄⁺-N的监测方法为纳氏试剂光度法,考虑监测方法的监测极限,也为了符合东深供水工程NH₄⁺-N进水浓度的2 mg/L,在运行阶段,往原水中投加氯化铵(NH₄Cl),调节原水中NH₄⁺-N浓度在1.5~2 mg/L左右。

1.3 分析方法

叶绿素(chlorophyll, chl-a)可代表水体的初级生产力情况,当chl-a含量高时,藻类等浮游植物生物量就大,chl-a与藻类存在明显的相关关系,故通常可把它作为藻类生物量的参考指标^[9]。实验期间以chl-a作为水体藻类浓度的评价指标。

chl-a测定采用改进丙酮萃取分光光度法,以离心或过滤浓缩水样,在抽滤器上装好乙酸纤维滤膜,倒入定量体积的水样进行抽滤。取出带有浮游植物的滤膜,加入10 mL 90%的丙酮萃取,在冰箱内低温干燥6 h,充分提取chl-a。用离心机(4 000 r/min)离心10 min,将上清液倒入10 mL容量瓶中。再加入2~3 mL丙酮继续提取并离心10 min,将上清液再转入容量瓶中,用丙酮定容至10 mL并摇匀。将上清液在分光光度计上,用2 cm光程的比色皿,分别读取750、663、645和630 nm波长的吸光度,并以丙酮做空白吸光度测定,对样品吸光度进行校正^[10]。chl-a的含量按如下公式计算:

1.4 实验方法

实验分为两个阶段,首先分析了解YDT弹性填料的挂膜特性,并以此为基础进行生物接触氧化的启动挂膜实验;其次挂膜成功后,在实验室室温条件下,改变水力停留时间(HRT)、气水比及进水藻浓度,考察不同工艺条件反应器对藻类及相关指标的处理效果,从而确定最佳的工艺条件。

2 结果与讨论

2.1 挂膜实验与结果

采用接种污泥培养法对生物接触氧化池进行挂膜^[12]。接种污泥取自某生活污水处理厂的剩余污泥(MLSS = 13 900 mg/L)。在开始接种污泥之前先用自来水对填料进行漫流浸泡,以利于填料适应液相环境并为生物膜的形成奠定基础。第 2 天开始将含有大量活性污泥的悬浮液倒入反应器,闷曝 24 h,使污泥恢复活性。然后再注入 1/3 的新鲜原水并闷曝,如此循环 3 次。此后间歇进水及曝气,并逐渐加大进水量,间歇曝气与停曝时间分别为 12 h 和 12 h。5 d 后填料表面出现一层较薄黄色生物膜,但并没有完全覆盖全部填料。反应器虽有一定的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD_{Mn} 去除率,但出水水质不稳定。为了加快生物膜驯化过程,再次向反应器内投加 1 000 mL 接种污泥,并将排出的剩余污泥经沉淀后再投入反应器内。再次投入接种污泥 10 d 后,填料表面生物膜明显加厚,呈黑褐色絮状胶团, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD_{Mn} 去除率分别达到 78.77% 和 32.45%,出水水质较为稳定,同时通过镜检发现生物膜中含有大量的钟虫、线虫及轮虫等微型动物,可认为反应器启动成功。

2.2 除藻实验

2.2.1 HRT 对除藻效果的影响

微生物生化降解污染物的效率,与两者的有效接触时间密切相关^[13]。不论是有机物的分解氧化,还是无机物的合成,都需要一定的时间作为保证,HRT 越长,水处理效果越好,但相应的投资规模也就越大。为考察 HRT 对藻类去除效果的影响,在平均气水比为 1:1 的条件下,将 HRT 分别控制在 0.5、0.8、1.0、1.5 和 2.0 h 运行,实验期间水温为 26.1 ~ 30.5 °C,DO 为 3 ~ 4 mg/L,结果如图 2 所示。

从图 2 可知,随着 HRT 的延长,chl-a、 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率呈逐渐上升趋势。HRT 为 1.0 h 的藻类平均去除率 51.93% 与 HRT 为 0.5 h 的 38.68% 相比增幅为 34.26%,再延长 HRT 至 1.5 h,增幅减小到 19.56%,这是因为不同的藻类具有的理化性质及细胞特性不同,这些环境因素又影响生物膜对藻类的生物絮凝和吸附,继而影响到整个氧化分解过程,也限制了藻类去除率的提高。

对于 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 而言伴随反应时间的加长,水流速度缓缓降低,生物膜上的微生物能够充分发挥效用,有利于原水中的有机物质和含氮

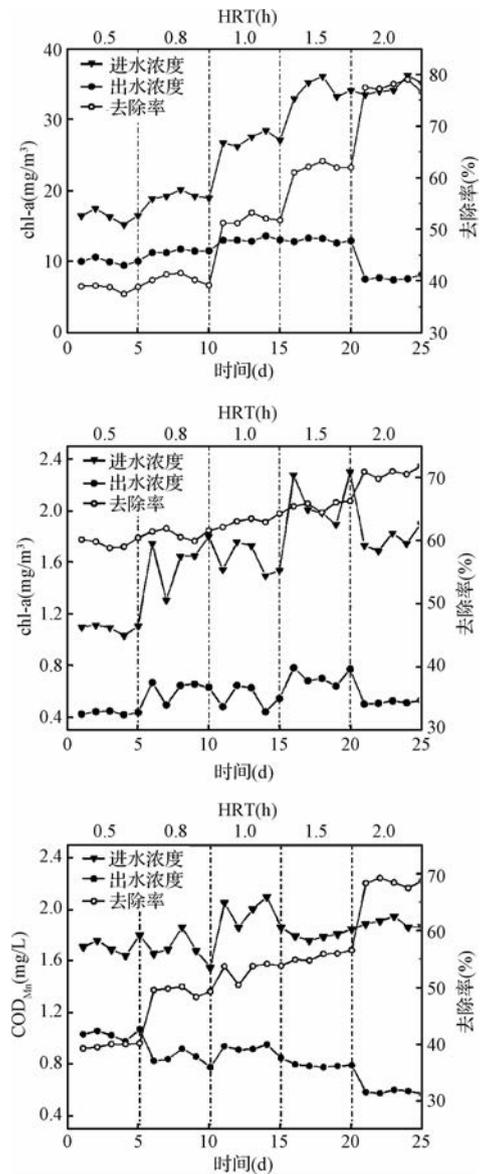


图 2 HRT 对 chl-a、 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

Fig. 2 Influence of HRT on removal efficiency of chl-a, COD_{Mn} and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

化合物被吸附分解并得以去除。同时我们也可以看出,虽然当 HRT 由 1.0 h 增加到 1.5 h 时, COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率变化幅度并不明显,但已达到东深供水工程处理目标: COD_{Mn} 的出水浓度 $3.05 < 4 \text{ mg/L}$,且 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的出水浓度 $0.48 < 0.5 \text{ mg/L}$,若再延长 HRT 则会增加处理成本,同时还会增加工艺的运行时间。

根据反应器对藻类及相应指标的去除效果,考虑实际应用和经济因素的基础上,选择最佳 HRT = 1.0 h。

2.2.2 气水比对除藻效果的影响

一定的气水比是保证生物接触氧化工艺正常进行的必要条件,但是气水比过高会对生物膜造成强烈的冲刷和流失,所以需要合适的气水比来保证原水藻类的高效去除。为考察曝气量和溶解氧对藻类去除效果的影响,在最佳 HRT = 1.0 h 的条件下,将平均气水比分别控制在 0.5:1、1.0:1、1.2:1、1.5:1 和 2.0:1 运行,实验期间水温为 31.3 ~ 33.2℃,结果如图 3 所示。

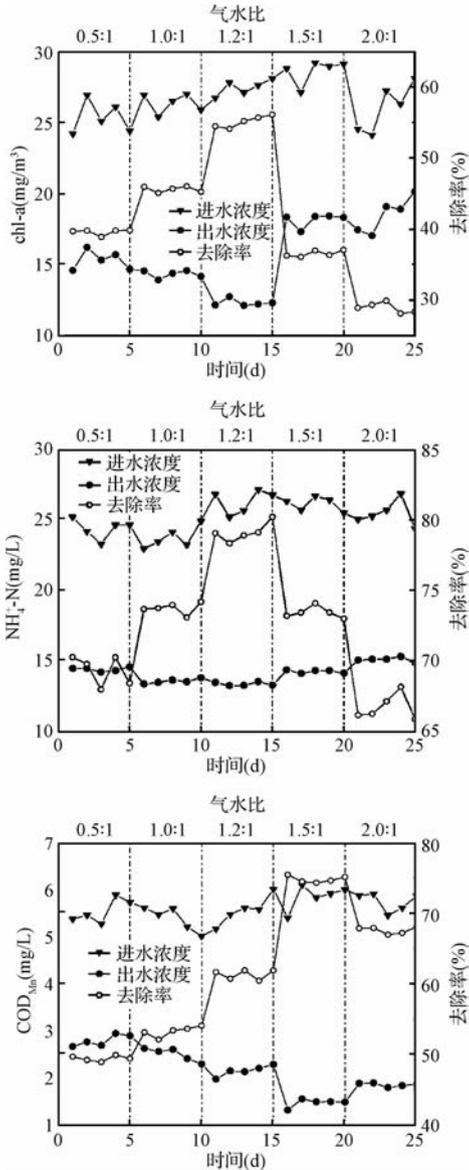


图3 气水比对 chl-a、COD_{Mn} 和 NH₄⁺-N 去除效果的影响
Fig.3 Influence of air-water ratio on removal efficiency of chl-a, COD_{Mn} and NH₄⁺-N

由图3可以看出,运行过程中 chl-a、COD_{Mn} 和

NH₄⁺-N 的去除率随着气水比变化整体呈现先升高再降低的变化趋势。由此可见,在一定范围内随着气水比的增加,藻类的去除效果也有所提高,在气水比为 1.2:1 时达到最大,这是因为曝气强度增大使反应器内水体的紊流变化,水体均匀混合,反应更加充分,从而提高了除藻效果^[14]。当气水比大于 1.2:1 时,藻类去除能力较差,可能是由于增大曝气量对填料生物膜的冲刷增强,使得生物膜的附着能力降低从而中和了加大搅拌的正向作用。

当气水比从 1.2:1 变化到 1.5:1 时, NH₄⁺-N 的去除率从 79.15% 降低至 73.47%, 这是由于气水比过高使得生物膜的粘附性能降低,且反应器中亚硝化菌和硝化菌的竞争关系可能会导致某些异养硝化微生物的自身氧化,因此降低了去除效果的稳定性。与 chl-a 和 NH₄⁺-N 不同, COD_{Mn} 的去除率在气水比为 1.5:1 达到最大值,去除率为 74.80%, 这可能是因为与硝化菌相比异养菌生长的世代周期较短,增值速度较快。但在气水比为 1.2:1 时, COD_{Mn} 出水浓度为 2.15 < 4 mg/L, 已达到东深供水工程处理目标。

当气水比为 1.2:1 时,反应器对藻类的去除效果最佳且 COD_{Mn} 和 NH₄⁺-N 的处理效果良好、出水浓度达标,因此本工艺的最佳气水比为 1.2:1。

2.2.3 进水藻负荷对除藻效果的影响

水体富营养化常常伴随着藻类的过量繁殖和滋生,藻类暴发也给水处理设备带来了严峻的考验。为了考察不同程度的高藻水对藻类及相关指标去除效果的影响,在最佳 HRT = 1.0 h 和最佳气水比 = 1.2:1 的条件下,将取自校外某河涌呈富营养化的高藻原水稀释至平均 chl-a 浓度分别为 70、50、40、30 和 20 mg/m³ (原水 chl-a = 81.310 mg/m³), 研究各污染指标的去除效果,实验期间水温为 33.4 ~ 36.1℃,结果如图 4 所示。

结果表明,随藻浓度的降低, chl-a、COD_{Mn} 和 NH₄⁺-N 去除率也逐渐升高。其中 chl-a = 70 mg/m³ 时, chl-a 平均出水浓度高达 24.55 mg/m³, 但随着 chl-a 浓度逐渐降低到 20 ~ 50 mg/m³ 的范围时,藻类的平均去除率达到 77.23% ~ 81.51%, 出水浓度也下降到 3.68 ~ 12.76 mg/m³。这是因为进水藻浓度过高时加重了反应器对藻类的处理负荷,达到了生物膜对污染物快速吸附能力的上限,在有限的停留时间内不能得到及时的截留和降解便随水流一同进入出水口,从而导致去除率的下降。

当 chl-a 含量从 70 mg/m³ 降低到 50 mg/m³ 时,

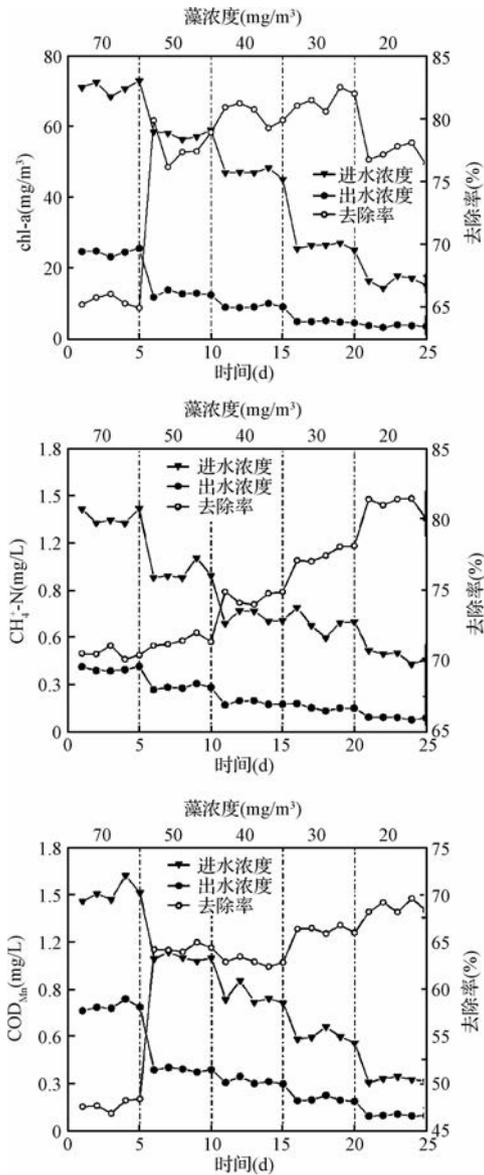


图 4 藻浓度对 chl-a、 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

Fig. 4 Influence of algae concentration on removal efficiency of chl-a, COD_{Mn} and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

COD_{Mn} 的去除率从 47.81% 提高到 64.37%，而后稳步升高。这是因为大量藻类存在对有机物的去除起到了一定的竞争作用，降低了有机物被生物膜截留附着的几率，而相比而言，有机物更易被填料上的微生物吸附降解，所以在藻负荷降低的同时， COD_{Mn} 的去除效果也得到了明显改善。

当藻浓度为 70 mg/m^3 时，chl-a 的去除率达到 65.48%， COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的出水浓度分别为 4.40 和 0.40 mg/L，基本达到东深供水处理目标。说明当处于最佳 HRT 和最佳气水比的条件下， COD_{Mn} 和

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果稳定，对于高浓度含藻原水也能够得到有效的治理。

3 结 论

(1) 采用接种污泥培养法对生物接触氧化池进行挂膜，32 d 后可以使反应器正常启动，挂膜成功后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD_{Mn} 去除率达到 78.77% 和 32.45%。在保障水体 DO 不小于 4.0 mg/L 的前提下，间歇曝气处理效果与连续运行处理效果相当，受环境因素影响小，有利于降低电能的消耗及节能工艺的开发。

(2) 根据反应器对藻类及相应指标的去除效果，在考虑实际应用和经济因素的基础上，选择最佳 HRT 为 1.0 h，此时藻类去除率的增幅最大且 COD_{Mn} 的出水浓度 $3.05 < 4 \text{ mg/L}$ ， $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的出水浓度 $0.48 < 0.5 \text{ mg/L}$ ，均已达到东深供水工程的处理目标。

(3) 在 HRT 为 1.0 h 的条件下，确定本工艺的最佳气水比为 1.2:1，此时反应器对藻类的去除效果最佳且 COD_{Mn} 的出水浓度为 $2.15 < 4 \text{ mg/L}$ ， $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的出水浓度 $0.31 < 0.5 \text{ mg/L}$ ，均已达到东深供水工程的处理目标。

(4) 采用最佳 HRT 和最佳气水比处理高浓度含藻原水 (chl-a = 70 mg/m^3) 时，chl-a、 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率分别达到 65.48%、47.81% 和 70.54%， COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的出水浓度分别为 4.40 和 0.40 mg/L，能够达到东深供水工程处理目标。说明将该最佳 HRT 和最佳气水比作为藻类浓度突变时的应急处理方案是可行的，处理指标稳定，工艺适应性强。

参 考 文 献

- [1] 刘广奇, 刘杰, 宋兰合. 给水处理除藻技术最新进展. 净水技术, 2008, 27(2): 27-31, 50
Liu Guangqi, Liu Jie, Song Lanhe. The latest improvement of treatment techniques for algae in drinking water treatment process. Water Purification Technology, 2008, 27(2): 27-31, 50 (in Chinese)
- [2] 陈小锋, 揣小明, 杨柳燕. 中国典型湖区湖泊富营养化现状、历史演变趋势及成因分析. 生态与农村环境学报, 2014, 30(4): 438-443
Chen Xiaofeng, Chuai Xiaoming, Yang Liuyan. Status quo, historical evolution and causes of eutrophication in lakes in typical lake regions of China. Journal of Ecology and Rural Environment, 2014, 30(4): 438-443 (in Chinese)

- [3] 彭祥捷,黄继国,赵勇胜,等. 长春南湖营养盐与叶绿素 a 的分布与富营养化评价. 环境污染与防治, **2010**, 32(9):50-54
Peng Xiangjie, Huang Jiguo, Zhao Yongsheng, et al. Distribution of nutrients and chlorophyll-a and eutrophication evaluation of South Lake, Changchun. Environmental Pollution & Control, **2010**, 32(9):50-54 (in Chinese)
- [4] 王博,梁志诚,任斐鹏,等. 东江干流富营养化评价及区域差异性研究. 环境污染与防治, **2011**, 33(6):15-18
Wang Bo, Liang Zhicheng, Ren Feipeng, et al. Eutrophication assessment for Dongjiang mainstream and its regional differences. Environmental Pollution & Control, **2011**, 33(6):15-18 (in Chinese)
- [5] 李大鹏,黄勇. 底泥扰动在水体富营养化发展进程中的作用. 中国给水排水, **2009**, 25(14):10-16
Li Dapeng, Huang Yong. Effect of sediment disturbance on development of water eutrophication. China Water & Wastewater, **2009**, 25(14):10-16 (in Chinese)
- [6] 张智,林艳,梁健. 水体富营养化及其治理措施. 重庆环境科学, **2002**, 24(3):52-54
Zhang Zhi, Lin Yan, Liang Jian. Water eutrophication and controls. Chongqing Environmental Science, **2002**, 24(3):52-54 (in Chinese)
- [7] 郑亚西,王关民. 湖(库)水体富营养化综合防治对策. 重庆环境科学, **2001**, 23(4):30-33
Zheng Yaxi, Wang Guanmin. Comprehensive prevention and control countermeasures of eutrophication in lake(or reservoir). Chongqing Environmental Science, **2001**, 23(4):30-33 (in Chinese)
- [8] 钟龙,孙国胜,李迎春,等. 东深供水源水生物预处理工程工艺设计探讨. 人民珠江, **2000**, (5):40-42
- [9] 范超文. 含藻水源水生物预处理水质净化技术研究. 南京:东南大学能源与环境学院硕士学位论文, **2009**
Fan Chaowen. Study oil biological pretreatment technology for purification of source water containing algae. Nanjing: Master Dissertation of School of Energy and Environment, Southeast University, **2009** (in Chinese)
- [10] 韩桂春,谷丰,张忠臣. 淡水中叶绿素 a 测定方法的探讨. 中国环境监测, **2005**, 21(1):55-57
Han Guichun, Gu Feng, Zhang Zhongchen. Discussing about chlorophyll a determination method in fresh water. Environmental Monitoring in China, **2005**, 21(1):55-57 (in Chinese)
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版). 北京:中国环境科学出版社, **2002**.
- [12] 陈俊芬,屈春香,郑海腾,等. 二段生物接触氧化法处理生活污水启动挂膜试验研究. 安徽农业科学, **2013**, 41(13):5901-5902
Chen Junfen, Qu Chunxiang, Zheng Haiteng, et al. Experimental study on start-up membrane hanging of the two-stage bio-contact oxidation process in domestic sewage treatment. Journal of Anhui Agricultural Sciences, **2013**, 41(13):5901-5902 (in Chinese)
- [13] 宋卫锋,唐铁柱,林梓河,等. 生物接触氧化法处理选矿废水的影响因素. 环境工程学报, **2013**, 7(2):603-607
Song Weifeng, Tang Tiezhu, Lin Zihé, et al. Some influencing factors of flotation wastewater treatment with bio-contact oxidation method. Chinese Journal of Environmental Engineering, **2013**, 7(2):603-607 (in Chinese)
- [14] 隋丽丽,梁文艳,吴立德,等. 混合填料生物接触氧化法处理生活污水的研究. 环境科学与技术, **2011**, 34(12):101-104, 184
Sui Lili, Liang Wenyan, Wu Lide, et al. Treatment of domestic wastewater using mixed submersed carrier biological contact oxidation. Environmental Science & Technology, **2011**, 34(12):101-104, 184 (in Chinese)
- [15] 季民,吴昌敏,贾霞珍,等. 生物接触氧化法对引滦水中藻类的去除. 中国给水排水, **2003**, 19(8):56-60