

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放	何吉成(1)
北京上甸子站气相色谱法大气CH ₄ 和CO在线观测方法研究	汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)
2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子	朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)
广东东江流域多氯萘的大气沉降研究	王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)
塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征	段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)
紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究	王灿,席劲瑛,胡洪营,姚远(32)
春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征	丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)
春季胶州湾海水汞的形态研究	许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)
丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素	蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)
塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化	陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)
某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟	马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)
北京市城市降雨径流水质评价研究	侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)
重庆市路面降雨径流特征及污染源解析	张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)
沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究	陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)
Pd/TiO ₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究	张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)
pH值对纳米零价铁吸附降解2,4-二氯苯酚的影响	冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)
给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究	陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)
安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价	宋大平,庄大方,陈巍(110)
染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析	曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)
间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究	谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)
pH及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响	庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)
硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究	吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)
农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用	徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)
高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究	廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)
活性污泥对四环素的吸附性能研究	陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)
加油站油类污染物自然衰减现场试验研究	贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)
生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法	宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)
利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为MUCT工艺运行控制参数	王晓玲,尹军,高尚(175)
数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响	董峰,张捍民,杨凤林(181)
不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响	刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)
间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究	曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)
鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究	陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)
北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估	陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)
外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究	杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)
赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建	朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究	别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)
纳米TiO ₂ 对短裸甲藻的毒性效应	李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)
苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险	李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)
电子废物拆解区农业土壤中PCNs的污染水平、分布特征与来源解析	王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)
洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险	刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)
湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价	刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)
广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律	项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)
缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究	吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)
可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复	付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)
胡敏酸对汞还原能力的测定和表征	江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)
Zn(II)对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响	黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)
油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究	张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)
利用PCR-DGGE分析未开发油气田地表微生物群落结构	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)
黄土高原六道沟流域8种植物根际细菌与AMF群落多样性研究	封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)
鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析	张健,关连珠,颜丽(323)
杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响	赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究

谢志刚¹, 邱雪敏², 赵燕玲¹

(1. 重庆文理学院, 重庆 402160; 2. 重庆市江津区水务局, 重庆 402260)

摘要: 为合理控制生物炭池的反冲洗过程, 改善其整体运行性能, 试验以反冲洗出水浊度、反冲洗前后有机物的去除率和炭池的生物量、生物活性的变化等为评价指标, 比较分析3种不同的气水联合反冲洗方式对生物炭池运行效果的影响。结果表明, 间歇式气水联合反冲洗更适合于生物炭池, 反冲洗后生物活性明显升高, 比反冲洗前增加了62.5%; 而气+水的反冲洗方式和气水混合+水冲的反冲洗方式的生物活性增加率为55.6%、38.5%。间歇式反冲洗308h后, 反应器能恢复运行性能, UV₂₅₄去除率达60.0%。反冲洗出水的类富里酸荧光峰很弱, 而以低激发波长类色氨酸(峰S)和高激发波长类色氨酸(峰T)为主, 这来源于被冲刷下来的微生物残片。三维荧光光谱也表明, 间歇式气水联合反冲洗容易将微生物残片冲刷干净。

关键词: 生物炭; 反冲洗; 气水联合; 间歇式; 荧光

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0124-05

Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon

XIE Zhi-gang¹, QIU Xue-min², ZHAO Yan-ling¹

(1. Chongqing University of Arts & Sciences, Chongqing 402160, China; 2. Water Affairs Bureau of Chongqing Jiangjin District, Chongqing 402260, China)

Abstract: To proper control the backwashing process of biological activated carbon (BAC) reactor and improve the overall operation performance, the evaluative indexes such as backwashing wastewater turbidity, organic pollutants removal rate of pre and post-backwashing, and the variation of biomass and biological activity in carbon column are used to compare and analyze the effect of three different combined water and air backwashing methods on the operation of BAC reactor. The result shows that intermittent combined water and air backwashing method is most suitable to BAC reactor. The biological activity obviously increases by 62.5% after intermittent combined water and air backwashing process. While, the biological activity using the backwashing method of air plus water and the backwashing method of water and air compounded plus water washing increases by 55.6%, 38.5%, respectively. After backwashing 308h, the reactor recovered to its normal function after intermittent combined water and air backwashing process with the removal rate of UV₂₅₄ reaching to 60.0%. The fulvic-like fluorescence peak of backwashing water are very weak, and are characterized by low-excitation wavelength tryptophan like (peak S) and high excitation wavelength of tryptophan (peak T), which are caused by the microbial debris washed down. The three-dimensional fluorescence spectra also show that microbial fragments are easy to be washed clean with intermittent combined water and air backwashing.

Key words: biological activated carbon (BAC); backwashing; water and air combination; intermittent; fluorescence

生物炭(BAC)法是有效的污水深度处理技术之一^[1], 与常规生物膜工艺相比, 其在低浓度、难降解有机废水的处理方面有较大优势^[2, 3]。目前, 国内外有关生物炭池运行工艺方面的研究较多, 但对炭池反冲洗方面的研究却较少^[4, 5]。有关反冲洗方面的研究多集中于单独水冲、水冲加表面助冲和气水联合等反冲洗方法的研究, 研究发现气水联合反冲洗效果较好^[6]。张朝晖等^[7]的研究也表明气水联合反冲洗更适合于生物炭池。气水联合冲洗一般有3种方式: ①气+水的反冲方式; ②气水混合+水冲的冲方式; ③先气冲, 然后气水同时冲洗, 再单独水漂洗, 这种方式又叫三段冲洗法。比较而言, 三段冲洗法的反冲洗效果较好, 但操作繁琐、气水用量高^[8]。选取合适的反冲洗方式, 以实现操作简便、效果理想

的生物炭池反冲洗是至关重要的。本研究在三段冲洗法的基础上, 开发间歇式气水联合反冲洗法, 对比3种气水反冲洗方式, 系统地研究了生物炭池的间歇式气水联合反冲洗方式的性能。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验采用柱式生物活性炭池, 炭柱内径10 cm, 柱内炭层高120 cm, 活性炭为课题组自制的柑橘皮

收稿日期: 2011-02-27; 修订日期: 2011-04-19

基金项目: 教育部科技创新工程重大项目培育基金项目(N02008071); 重庆市城乡建设委员会科技项目(2011第115号)

作者简介: 谢志刚(1970~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境化学和光谱分析, E-mail: xinghu2200@163.com

中孔活性炭^[9], 承托层高 40 cm. 承托层自下而上分别是粒径不同的卵石和石英砂. 模拟实际滤池的小阻力配水系统. 整个装置如图 1 所示.

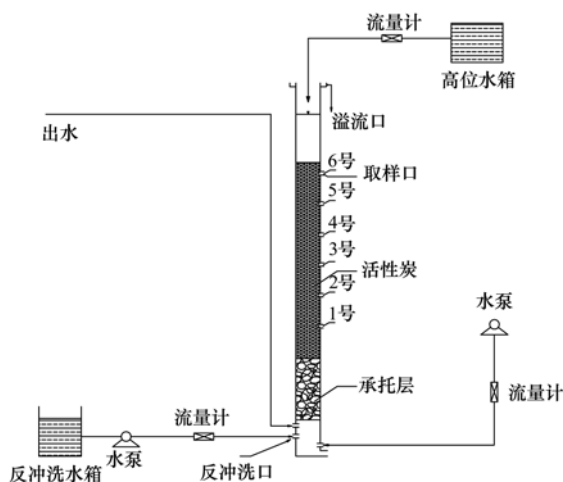


图 1 生物活性炭反应器示意

Fig. 1 Biological activated carbon reactor

试验采用三峡库区某大型垃圾焚烧厂渗滤液二级生物处理出水作为生物炭池的进水, 水质如下: 化学需氧量 COD $1\,300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 总有机碳 TOC $247.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 光密度值 UV_{254} 为 3.30.

1.2 试验方法

气冲和水冲的强度应保证可以把杂质带出滤床, 又不致使滤床产生较大的膨胀, 最大冲洗强度一般控制在滤床膨胀度 $<10\%$ ^[10]. 单独水漂洗时一般控制滤床膨胀度在 25% 左右^[7]. 参照这些控制条件, 确定反冲洗试验的试验参数, 反冲洗历时 20 min.

1.2.1 气 + 水的反冲洗参数

先用强度为 $14.1\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 的气冲洗 3 min, 再用强度为 $3.3\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 的水冲洗 17 min.

1.2.2 气水混合 + 水冲的反冲洗参数

先气水混合冲洗 17 min, 其中气冲强度 $9\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$, 水冲强度 $2.8\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$; 最后用 $3.3\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 的水冲洗 3 min.

1.2.3 间歇式气水联合反冲洗参数

将三段冲洗法改为间歇式气水联合反冲洗, 强化炭床的松动程度, 反冲洗过程为: 气冲 3 min, 强度为 $14.1\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$; 气水混合冲 7 min, 其中水强度 $2.1\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 、气强度 $6.4\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$, 间歇 1 min 后, 再气水混合冲 7 min, 水强度 $1.9\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 、气强度 $6.2\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$; 漂洗 3 min, 强度为 $3.3\text{ L}\cdot(\text{s}\cdot\text{m}^2)^{-1}$.

1.3 分析方法

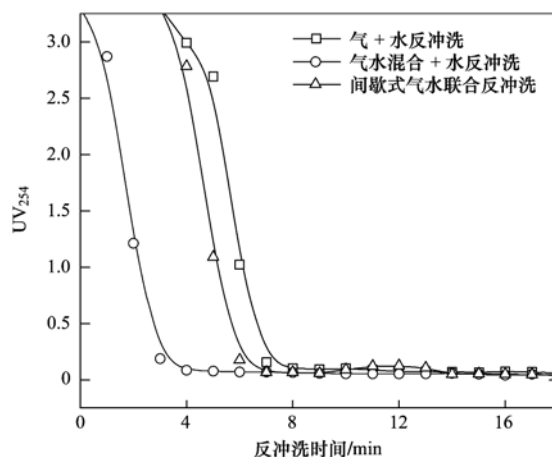
生物量测试采用脂磷法^[11], 测定结果以 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 表示, 含有 1 nmol P 的生物膜中约相当于含有大肠杆菌 (*E. coli*) 大小的细胞 10^6 个. 以 TTC-脱氢酶活性表征生物活性, 用无色的氯化三苯基四氮唑 (TTC) 作为受氢体, 受氢后生成深浅不同的红色三苯基甲替 (TF), TF 的量即表示 TTC-脱氢酶活性的大小^[12], TF 值 (μg) 与生物量 ($\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$) 比值可以得到单位生物量的生物活性值, 以反映生物膜的基质去除能力^[13].

反冲洗出水的三维荧光光谱利用 F-7000 荧光分光光度计 (Hitachi) 获得. 仪器参数: 激发光源 150 W 氙弧灯; PMT 电压 700 V; 信噪比 >110 ; 激发光带宽 2.5 nm , 发射光带宽 5 nm ; 响应时间为自动; 扫描速度 $2\,400\text{ nm}\cdot\text{min}^{-1}$; 激发光波长 $220\sim450\text{ nm}$, 发射光波长 $250\sim550\text{ nm}$, 步长均为 5 nm .

2 结果与讨论

2.1 反冲洗出水中 UV_{254} 的变化

UV_{254} 反映了水中芳香族化合物和具有共轭双键化合物的含量, 可以间接表征反冲洗出水中的有机物含量. 图 2 是反冲洗出水 UV_{254} 的逐时变化曲线, 气 + 水反冲洗与间歇式气水联合反冲洗是先进行 3 min 的气冲再通入反冲洗水, 所以反冲洗 3 min 后 UV_{254} 才开始下降. 图 2 表明, 3 种反冲洗方式在通入水后的最初 2 min, 反冲废水 UV_{254} 值仍较大, 原因在于反冲洗初始阶段出水中含有原水. 通入水反冲洗 2 min 后, UV_{254} 迅速下降, 4 min 后 UV_{254} 几乎降到 0.05 以下, 表明反冲废水中有机物甚少. 需要指出



试验用水 $\text{UV}_{254} = 3.30$, 自来水 $\text{UV}_{254} = 0.03$

图 2 反冲废水 UV_{254} 随时间的变化

Fig. 2 UV_{254} variation of backwashing wastewater with time

的是,间歇式气水联合反冲洗 10 min 后,反冲洗暂停 1 min,随后再进行气水混合反冲洗,与另外 2 种方式相比,反冲洗废水的 UV_{254} 略有升高. 这说明,这种反冲洗方式可能导致微生物残片被进一步冲刷出来,反冲洗更彻底.

2.2 反冲洗废水浊度的变化

常规生物炭池的进水浊度较高,易于堵塞,而造成炭床堵塞的主要是无机颗粒. 炭床反冲洗过程,废水的浊度主要是无机颗粒引起的^[7]. 图 3 为不同冲洗方式的反冲洗出水浊度随时间的变化曲线.

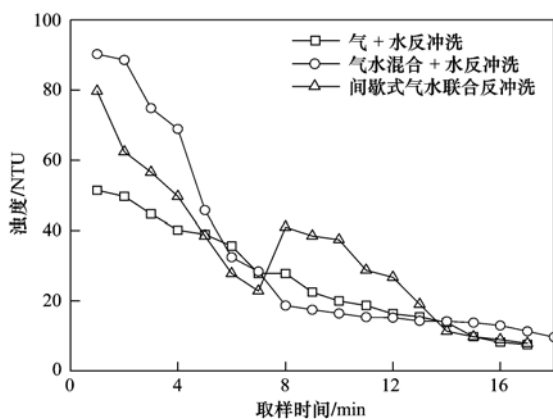


图 3 反冲洗方式对反冲洗废水浊度的影响

Fig. 3 Influence of backwashing strategies to turbidity of backwashing wastewater

炭层在强大的水流冲击下发生了膨胀,但由于有丝状菌的存在,导致结块比较严重,炭层松散程度不高,所以先气冲再水冲的反冲效果并不好. 先气水混合再水冲时,炭层下段 70 ~ 80 cm 剧烈窜动,上段炭层不断翻滚,所以其清洁程度较高,但是由于其气水强度都比较高,容易造成炭的破碎和流失. 间歇式反冲,不仅使反应器下段 70 ~ 80 cm 炭层剧烈窜动,而且炭层出现缝隙并跌落,小气泡在缝隙处汇成了大气泡,实现了对炭层的层层漂洗,使整个炭层得到较为彻底的清洗. 因而,间歇式反冲洗对炭层的清洁程度最高,气水混合+水冲的反冲洗方式清洁程度其次,气+水的反冲洗方式的清洁程度最差.

反冲滤层的运动状态可分解为 3 个阶段:反冲开始的滤层变速膨胀阶段、滤层悬浮平衡阶段和后期的悬浮滤层沉降阶段^[14],而反冲效果主要取决于第一阶段. 第一阶段滤层变速膨胀,颗粒拥挤上升,碰撞摩擦剧烈,滤料净化效率最高;而在第 2 和第 3 阶段滤层处于相对平衡状态,反冲洗气、水对滤料的剪切和摩擦强度较低,且颗粒碰撞摩擦的机会极少,对反冲洗效果的贡献不明显. 间歇式气水联合反冲

正是通过间歇通水通气强化滤床变速膨胀-跌落,强化了反冲洗效果.

2.3 生物活性炭池对有机物的去除效率

反冲洗不仅要求释放截留的悬浮物还要求对生物膜进行更新和恢复,其效果应采用反冲洗效率和炭层性能恢复速度的双重尺度. 本试验以反应器出水 UV_{254} 为有机物去除效果的评价指标,研究不同方式反冲洗后炭层性能的恢复速度,见图 4.

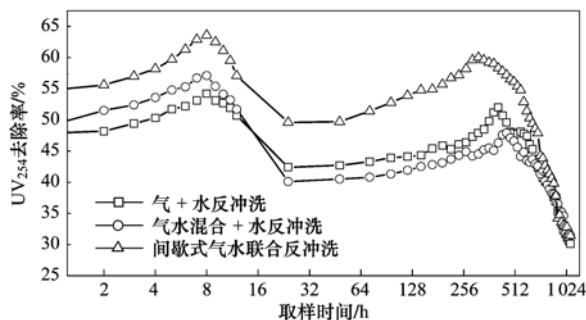


图 4 反冲洗后有机物去除率的变化

Fig. 4 Organic pollutant removal variation of BAC after backwashing

由图 4 可知,反冲洗 1 h 后生物炭对 UV_{254} 的去除率均明显上升,表明气水冲刷有效地将沉积在炭表面的小颗粒和老化的生物膜冲刷掉,恢复活性炭上的部分吸附孔位,活性炭对有机物的吸附能力增加,提高 UV_{254} 去除率. 但 8 h 后去除率缓慢下降,表明活性炭吸附位逐渐饱和. 24 h 后,对 UV_{254} 的去除率又开始缓慢上升,微生物的降解能力逐渐恢复,表明经反冲洗后微生物的活性得以增强. 相关研究表明^[6],这可能是反冲后由于气水冲刷有效地剥落了炭粒上老化的生物膜,使微生物得到了更新.

另一个可能的因素是气水剧烈扰动刺激了微生物的新陈代谢作用,强化了对微生物的生物降解. 3 种反冲方式相比,间歇式反冲洗后 308 h, UV_{254} 的去除率达到 60.0%. 而气+水的反冲洗方式和气水混合+水冲的反冲洗方式实现的去除率为 52.0% 和 47.9%,说明间歇式反冲后生物炭池的性能恢复更快且对有机物的去除率更高.

2.4 反冲洗前后生物量和生物活性的变化

从微生物角度考虑,BAC 反应器对有机物的去除效果取决于滤床内的生物量和生物活性^[15~17]. 对于生物炭池,保持一定的优势菌种类及数量是至关重要的. 炭床内微生物以炭粒上的生物膜和炭床空隙内少量活性污泥的形式存在. 反冲洗时,炭床内的污泥被反冲洗水带出滤柱,反冲洗使炭床内悬浮的生物量大量减少. Kasuga 等^[16]研究发现反冲洗后炭

床面顶部生物量减少了 64.0%。

试验分别从炭床不同深度取相同数量的炭粒混合后测试生物量和生物活性,生物量和生物活性的取样时间为反冲洗后 1 h. 先用蒸馏水冲洗炭样表面的杂质,然后置于蒸馏水中,利用超声波冲击剥落生物膜,得到的微生物膜悬浮液作生物量和生物活性分析用,结果见表 1. 由表 1 可知,气水联合反冲洗均使炭上的生物量减少,气水混合 + 水冲与间歇式反冲洗对炭床附着生物

量的影响程度比较接近,两者对生物量损失均小于 $3.5\text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$; 气 + 水冲方式使炭床附着生物量减少 $4.8\text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$. 反冲洗效果主要依靠炭颗粒之间的碰撞摩擦,炭表面一部分生物膜在碰撞摩擦作用下脱落,使生物量在反冲洗后都有不同程度的下降. 先气冲再水冲时,气冲能够产生更大的速度梯度^[18],使炭粒之间的相互碰撞摩擦作用加强,炭床附着的更多微生物脱落下来,反冲洗后生物量会明显减少.

表 1 反冲洗对活性炭上生物量和生物活性的影响

反冲洗方式	生物量/ $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$				单位生物量的脱氢酶活性/ $\mu\text{g}\cdot\text{nmol}^{-1}$			
	反冲前	反冲后	损失量	损失率/%	反冲前	反冲后	增加量	增加率/%
气 + 水的反冲	34.6	29.8	-4.8	-32.9	0.37	0.37	0.58	55.6
气水混合 + 水的反冲	37.2	34.1	-3.1	-18.0	0.43	0.60	0.17	38.5
间歇式气水联合反冲	35.6	32.2	-3.4	-21.8	0.40	0.65	0.25	62.5

3 种气水联合反冲洗均使单位生物量的脱氢酶活性增加. 反冲洗后生物膜变薄,有利于氧的扩散^[19],微生物可利用有机质和溶解氧的接触面积增加,传质作用得到加强,微生物活性提高. 同时,反冲洗时衰老的、活性不高的微生物在反冲洗过程中更容易从炭粒表面脱离,因而反冲洗后炭粒附着的微生物活性相对增加. 间歇式反冲洗对单位生物量的脱氢酶活性增加最为明显,达到 62.5%,这是间歇式反冲洗后生物炭池纳污能力提高的重要原因.

2.5 反冲洗的能量耗用

由表 2 可知,间歇式反冲洗与另外 2 种反冲洗方式相比较,用水量节约了 31.1% ~ 34.7%; 用气量比气水混合 + 水冲的反冲方式节约 14.2%,但比气 + 水的反冲方式多 67.6%. 值得注意的是,间歇式反冲洗的用气量尽管不是最少的,但反冲洗的效果更好,能尽快地恢复生物炭池的运行性能,反冲洗后 UV_{254} 去除率能恢复到 60.0% 以上. 间歇式气水联合反冲洗是一种比较经济的反冲洗方式.

表 2 反冲洗的能量耗用

Table 2 Energy consumption in backwashing		
反冲洗方式	耗水量/L	耗气量/L
气 + 水的反冲	102.0	79.2
气水混合 + 水冲	107.7	285.6
间歇式气水联合反冲	70.3	245.0

2.6 反冲洗出水三维荧光光谱的比较分析

本课组对垃圾堆场渗滤液生化尾水的三维荧光光谱进行了较系统的研究^[20]. 垃圾堆场渗滤液生化尾水的可溶性有机物(DOM)三维荧光光谱以紫外

区类富里酸荧光峰(峰 A)和可见光区富里酸荧光峰(峰 C)为主,属于类腐殖质. 经生物活性炭池降解处理后,出水也主要是紫外区类富里酸荧光峰(峰 A)和可见光区富里酸荧光峰(峰 C),见图 5(a).

采用不同方式反冲洗后,出水的紫外区类富里酸荧光峰和可见光区富里酸荧光峰明显减弱. 图 5(b) ~ 5(d) 是反冲洗 15 min 后出水的三维荧光光谱图. 由图 5 可知,反冲洗出水的荧光峰以低激发波长类色氨酸(峰 S)和高激发波长类色氨酸(峰 T)为主,属于类蛋白质. 显然,垃圾堆场渗滤液生化尾水不是这 2 种荧光峰的主要来源,微生物残片被冲刷下来使反冲洗废水中的类蛋白质增加,因而 2 种类色氨酸荧光峰明显增加. 本研究还发现,图 5(d) 中的低激发波长类色氨酸(峰 S)比图 5(b) 和图 5(c)的要弱,这说明间歇式气水联合反冲洗比另 2 种反冲洗方式的冲洗效果要好,微生物残片能够更快地被冲洗干净.

3 结论

(1) 间歇式气水联合反冲洗提高了反冲洗效率和反应器的纳污能力. 反冲洗出水的三维荧光光谱表明,间歇式气水联合反冲洗更容易将微生物残片冲刷干净.

(2) 间歇式反冲洗后生物炭池的性能恢复效果明显,生物活性增加了 62.5%,明显高于气 + 水的反冲洗和气水混合 + 水冲的反冲洗. 间歇式气水联合反冲洗后, UV_{254} 去除率能恢复到 60.0% 以上.

(3) 间歇式气水联合反冲洗更为节能,比气 +

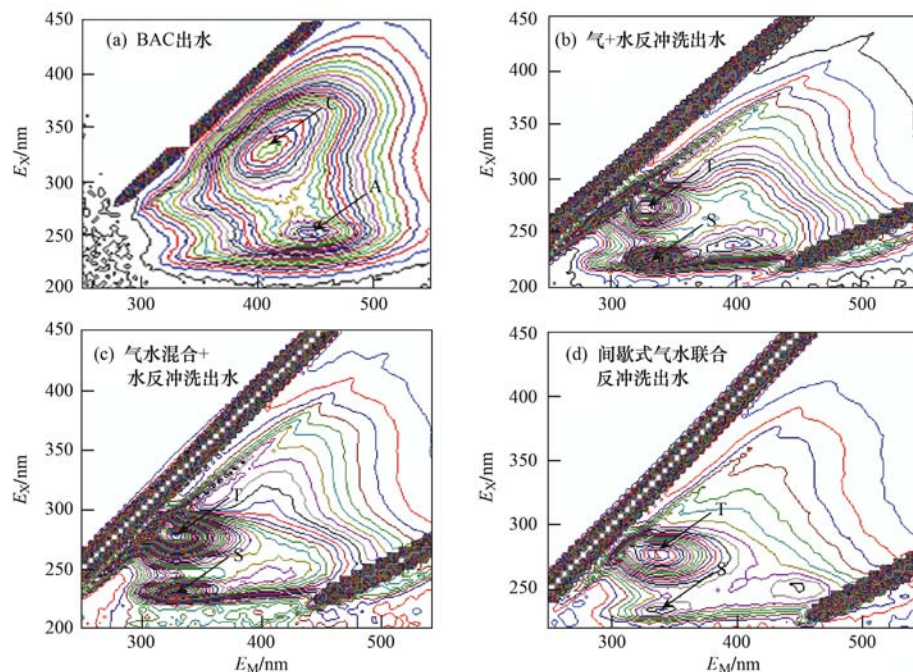


图5 反冲洗出水的三维荧光光谱

Fig. 5 Fluorescence spectrum of BAC backwashing wastewater

水的反冲洗方式节水 31.7 L, 比气水混合 + 水冲的反冲洗方式节水 37.4 L, 节气 40.6 L, 具有节能减排意义和实际运行参考价值。

参考文献:

- [1] Kong L Y, Zhang X J, Wang Z S. Pilot plant study on ozonation and biological activated carbon process for drinking water treatment [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, **18** (2): 232-235.
- [2] Scholz M, Martin R J. Ecological equilibrium on biological activated carbon [J]. *Water Science and Technology*, 1997, **31** (12): 2959-2968.
- [3] Choi Y C, Li X, Raskin L, *et al.* Effect of backwashing on perchlorate removal in fixed bed biofilm reactors [J]. *Water Research*, 2007, **41**(9): 1949-1959.
- [4] 张朝晖, 邵林, 王亮, 等. 炭池生物量在反冲洗前后的变化规律[J]. *环境工程*, 2008, **26**(3): 42-45.
- [5] Liu X L, Ren N Q, Ma F. Effect of powdered activated carbon on Chinese traditional medicine wastewater treatment in submerged membrane bioreactor with electronic control backwashing [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, **19** (9): 1037-1042.
- [6] 汪义强. 快速滤池气水反冲洗最佳运行参数研究[J]. *净水技术*, 2001, **20**(1): 9-13.
- [7] 张朝晖, 吕锡武, 乐林生, 等. 生物活性炭滤池反冲洗技术的优化[J]. *中国给水排水*, 2005, **21**(4): 51-53.
- [8] 张晓彦, 王广智, 李伟光, 等. 生物增强活性炭滤池的反冲洗方式研究[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2009, **25**(2): 147-149.
- [9] 谢志刚, 吉芳英, 邱雪敏, 等. 柑橘皮中孔活性炭的制备及性能表征[J]. *功能材料*, 2009, **40**(4): 645-649.
- [10] Ahmad R, Amirtharajah A, Al-Shawwa A, *et al.* Effects of backwashing on biological filters [J]. *Journal-American Water Works Association*, 1998, **90**(12): 62-73.
- [11] 魏谷, 于鑫, 叶林, 等. 脂磷生物量作为活性生物量指标的研究[J]. *中国给水排水*, 2007, **23**(9): 1-4.
- [12] 胡子斌. TTC-脱氢酶活性常温萃取测定法及应用[J]. *工业水处理*, 2001, **21**(10): 29-31.
- [13] Vollertsen J, Andreas J, Nielsen J L. Comparison of methods for determination of microbial in wastewater [J]. *Water Science and Technology*, 2001, **35**(7): 1649-1658.
- [14] 刘水, 李伟光, 郜玉楠, 等. 生物因子控制反冲洗对 BEAC 滤池优势菌稳定性影响研究[J]. *环境科学*, 2009, **30**(12): 3573-3578.
- [15] Liu X B, Huck P M, Slawson R M. Factors affecting drinking water biofiltration [J]. *American Water and Wastewater Association*, 2001, **90**(12): 90-101.
- [16] Kasuga I, Shimazaki D, Kunikane S. Influence of backwashing on the microbial community in a biofilm developed on biological activated carbon used in a drinking water treatment plant [J]. *Water Science and Technology*, 2007, **55**(8): 173-180.
- [17] 朱小彪, 许春华, 高宝玉, 等. 曝气生物滤池生物量和生物活性的试验研究[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(7): 1135-1140.
- [18] 邹伟国, 朱月海. 反应器气水反冲洗应用技术研究[J]. *中国给水排水*, 1996, **12**(1): 10-13.
- [19] Liu Y. Adhesion kinetics of nitrifying bacteria on various thermoplastic supports [J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 1995, **5**(5): 213-219.
- [20] 谢志刚, 吉芳英, 黄鹤, 等. 垃圾渗滤液处理工艺中有机污染物的三维荧光光谱[J]. *环境工程学报*, 2009, **3**(10): 1783-1788.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert ...	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene ...	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, JIN Yun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street , Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian) , P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行