

生物活性炭法处理钢铁企业排水的微生物分析

唐文伟¹, 郝西平¹, 王祯贞¹, 曾新平², 徐竟成³, 黄翔峰³

(1. 同济大学 化学系, 上海 200092; 2. 同济大学 生命科学与技术学院, 上海 200092;

3. 同济大学 环境科学与工程学院长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 为实现水资源的循环利用,采用生物活性炭(BAC)工艺对某钢铁企业的排水进行深度处理。在获得良好除污效果的基础上对BAC上的生物量及铁细菌进行了研究,以期为优化设计提供依据。结果表明,在显微镜下可清楚地观察到生物活性炭上成熟的生物膜,沿水流方向随着深度的增加,生物量由上层 10^5 cfu/g的数量级减少至下层 10^3 cfu/g的数量级;在一个反冲洗周期内,上层生物量每2 d增加一个数量级;反冲洗后的生物量仍可保持在 10^3 cfu/g的数量级,保证了BAC滤柱在下阶段的稳定运行。对铁细菌的分离、纯化和鉴定表明,在近一年的运行中,已培养出高效除铁菌,上、下层的铁细菌数量分别为 7.60×10^3 和 3.73×10^2 cfu/g,比细菌总数平均低两个数量级,根据形貌特征和生长环境判别其为嘉氏铁柄杆菌。

关键词: 生物活性炭; 钢铁企业排水; 生物量; 分布规律; 铁细菌

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2010)03-0065-04

Analysis of Microorganisms in Treatment of Iron and Steel Industry Wastewater by Biological Activated Carbon Process

TANG Wen-wei¹, HAO Xi-ping¹, WANG Zhen-zhen¹, ZENG Xin-ping²,
XU Jing-cheng³, HUANG Xiang-feng³

(1. Department of Chemistry, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Life Science and Technology, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment <Ministry of Education>, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: To achieve recycling of water resources, biological activated carbon (BAC) process was used for advanced treatment of wastewater from an iron and steel enterprise. Based on good pollutant removal efficiency, the biomass and iron bacteria on BAC were investigated to optimize the design. The mature biofilm on BAC can be distinctly observed by microscope. Along with increase of depth of filter, the biomass is reduced from 10^5 cfu/g at the top of filter to 10^3 cfu/g at the bottom. The biomass at the top is increased by one order of magnitude every two days during the backwash period. The biomass can remain at the order of magnitude of 10^3 cfu/g after backwash, ensuring the stable operation of BAC filter column in the next period. The separation, purification and identification of iron bacteria indicate that high-efficiency iron bacteria are cultured after a year of BAC operation. The numbers of iron bacteria at the top and bottom are 7.60×10^3 cfu/g and 3.73×10^2 cfu/g, two orders of magnitude lower than the total bac-

teria count. According to the characteristics and growth environment, the bacteria are identified as *Gallionella ferruginea*.

Key words: biological activated carbon; iron and steel industry wastewater; biomass; distribution regularity; iron bacteria

生物活性炭(BAC)技术是20世纪70年代发展起来的一项新型水处理工艺,目前已在许多国家成功地应用于微污染源水净化、工业废水处理和深度净化等^[1]。目前,对BAC技术的应用、运行参数以及运行效果的研究和报道比较深入^[2,3],关于BAC的微生物研究也已经展开^[4,5],但还有待进一步深入。

笔者采用BAC对钢铁企业排水进行深度处理,

运行一年来对污染物的去除效果良好,在此基础上进行了微生物研究,以期为BAC处理钢铁企业排水的优化设计提供理论依据。

1 试验装置与方法

1.1 原水水质

原水取自某钢铁企业的围厂河,水量充足,但水质变化较大,有机物含量低,且多为难降解有机物,金属离子含量较高。试验期间的原水水质见表1。

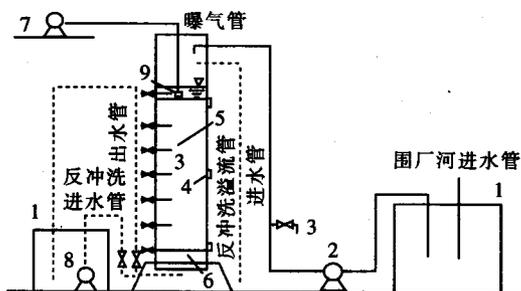
表1 原水水质

Tab.1 Raw wastewater quality

项目	pH	浊度/ NTU	COD/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	总铁/ (mg·L ⁻¹)	Mn/ (mg·L ⁻¹)
范围	7.0~8.8	4.56~50.3	8.28~21.7	0.26~2.86	0.10~0.50	0.25~1.32	0.09~1.66
均值	7.5	17.6	13.6	1.21	0.20	0.69	0.64

1.2 试验装置

试验采用有机玻璃滤柱,直径为150 mm,柱高为2 400 mm。底层装填100 mm的砾石作为承托层,炭层装填高度为1 200 mm,沿程每隔20 cm设置一个取样口。活性炭采用柱状煤质活性炭,规格为 $\varnothing 2\text{ mm} \times 4\text{ mm}$,比表面积 $\geq 900\text{ m}^2/\text{g}$,孔容积 $\geq 0.65\text{ cm}^3/\text{g}$ 。试验装置见图1。



1.储水桶 2.水泵 3.水取样口 4.炭取样口 5.生物滤层 6.承托层
7.曝气器 8.反冲洗泵 9.曝气头

图1 BAC试验装置

Fig.1 Schematic diagram of BAC equipment

1.3 试验方法

1.3.1 滤料取样及处理

待滤柱内BAC成熟后,分别于滤层深度为(0~10)、(55~65)和(110~120) cm处取得滤料。将10 g湿炭加入100 mL无菌水、适量玻璃珠后,置于

混合器上快速振荡15 min以洗脱生物膜,以该样做系列倍比稀释用于测定微生物。

1.3.2 生物量的测定

用炭表面附着的细菌总数来表示生物量。采用平板菌落计数法进行细菌总数测定,使用营养琼脂培养基,于恒温培养箱内(37℃)培养24~48 h。计数以每克干炭计量。

1.3.3 铁细菌的分离与纯化

采用铁细菌选择性培养基以MPN法进行铁细菌计数。每支试管加8 mL培养基后高温(121℃)灭菌30 min,冷却后倍比稀释进行接种,于恒温培养箱内(28℃)培养5~7 d。采用PYCM固体培养基和平板划线法进行铁细菌的分离及纯化,直至单一菌落。

铁细菌选择性培养基^[6]: NH₄NO₃ 为0.5 g, NaNO₃ 为0.5 g, K₂HPO₄ 为0.5 g, MgSO₄·7H₂O 为0.5 g, CaCl₂·6H₂O 为0.2 g, 柠檬酸铁铵为10 g, 蒸馏水为1 000 mL。

PYCM培养基^[7]: 蛋白胨为0.8 g, 酵母浸膏为0.2 g, MnSO₄·H₂O 为0.2 g, K₂HPO₄ 为0.1 g, CaCl₂ 为0.1 g, MgSO₄·H₂O 为0.2 g, NaNO₃ 为0.2 g, (NH₄)₂CO₃ 为0.1 g, 蒸馏水为1 000 mL, pH值为6.8~7.0。固体培养基则加入1.5%~2%的琼

脂。

1.3.4 铁细菌的鉴定

挑取菌丝或黏液制成水浸片,加入10%盐酸和2%的 $K_3Fe(CN)_5$ 各1小滴,吸取多余水分,置于显微镜下观察,若变为蓝色则证明有铁的沉淀物,即三价铁与黄血盐形成普鲁士蓝,所镜检的细菌为铁细菌。

1.3.5 分析项目与方法

温度、pH、溶解氧、电导率和浊度采用仪器测定,COD采用重铬酸钾法测定^[8], NH_3-N 、TP、总铁、 Fe^{2+} 和Mn采用分光光度法测定。

2 结果与讨论

2.1 对污染物的去除效果

钢铁企业排水成分复杂,还含铁、锰等金属污染物,采用混凝沉淀法处理时对铁、锰的去除效果不理想。笔者采用BAC对其进行深度处理,在近一年的稳定运行中除污效果较好^[9],对浊度、COD、氨氮、铁、锰的平均去除率分别为77.8%、46.5%、71.9%、71.9%和75.4%,出水水质可达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)的要求。

2.2 生物膜观察

滤柱挂膜成功后稳定运行了约一年,活性炭(AC)表面已经形成生物膜。取未使用过的AC和滤层上部的BAC分别在光学显微镜和扫描电镜下观察。结果显示,AC表面光滑干净,而BAC表面形成了黄褐色絮体。在扫描电镜下可清楚地看到AC的微观结构,其孔隙发达且表面不规则;BAC表面已经被生物膜覆盖,看不到孔状结构。

2.3 反冲洗对生物量的影响及其分布规律

滤层内不同高度处的附着生物量及其在一个反冲洗周期内随时间的变化情况如图2所示。

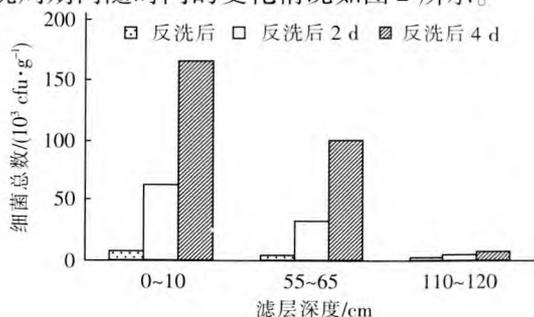


图2 反冲洗周期内不同滤层深度处的生物量

Fig. 2 Biomass at different depths of filter bed in a backwash period

从空间分布上看,沿水流方向随着深度的增加,生物量不断减小。当反冲洗刚刚结束时,上部(0~10 cm)、中部(55~65 cm)和下部(110~120 cm)滤层的细菌总数分别为(6.3×10^3)、(3.1×10^3)和(1.7×10^3) cfu/g,沿程减小,但三者处于同一个数量级;在反冲洗后的第4天,上、中、下层的细菌总数分别为(1.63×10^5)、(9.9×10^4)、(5.2×10^3) cfu/g,沿程每部分均降低了一个数量级。

从反冲洗后的运行来看,不同深度滤层处的细菌总数均随着运行时间的延长而增加,以上部增加得最多,每2 d就增加一个数量级;下部增加得最少,在一个反冲洗周期内其数量级没有变化。

反冲洗是保证BAC滤池正常运行的关键工序,不仅可以使滤层截留的颗粒物冲出滤层,还可以使老化的生物膜脱落,恢复其活性。从图2可知,在25%的膨胀率下反冲洗6 min后,BAC表面生物量的数量级仍在 10^3 cfu/g左右,说明生物膜与活性炭有较好的亲和力,在一定水力作用下不易脱落,这为BAC滤柱在下阶段生物量的恢复和稳定运行提供了保障。

2.4 铁细菌的分离、纯化及鉴定

BAC滤柱对铁的去除效果较好,且比AC具有更好的除铁能力。因此推断BAC上具有能够高效除铁的微生物。

经测定,上、中、下层的铁细菌数量分别为(7.60×10^3)、(6.75×10^3)、(3.73×10^2) cfu/g,均比细菌总数低两个数量级。

对试管中的黏液进行除铁活性鉴定,发现褐色黏液变为蓝色,证明试管菌液中确有除铁细菌存在。将菌液分离纯化三次,得到一株纯菌。该菌在PY-CM固体培养基上能形成灰褐色菌落,呈圆形隆起,无光泽,直径为1~3 mm;在铁细菌液体培养基中形成了带金属光泽的红褐色薄膜,摇动时不易破裂,培养基由褐色透明逐渐变浑浊、不透明。该菌为革兰氏阴性、杆状,经判断为嘉氏铁柄杆菌。

3 结论

① BAC滤柱对钢铁企业排水的处理效果良好,在显微镜下可明显观察到成熟的生物膜。

② 沿水流方向随着深度的增加,生物量由 10^5 cfu/g的数量级逐渐减小至 10^3 cfu/g的数量级。

③ 在一个反冲洗周期内,随运行时间的延长则生物量增加,但上、中、下层的增加量不同,以上部

的生物量增加得最多,每2 d就增加一个数量级。

④ 反冲洗后滤层的生物量仍可保持在 10^3 cfu/g的数量级,为BAC滤柱在下阶段的稳定运行提供了保障。

⑤ 在BAC滤柱的长期运行中,已培养出能够除铁的高效菌群,铁细菌数量为373~7 600 cfu/g,比细菌总数低两个数量级。经分离、纯化得到一株纯菌,判断其为嘉氏铁柄杆菌。

参考文献:

- [1] 张宝安,张宏伟,张雪花,等. 生物活性炭技术在水处理中的应用进展[J]. 工业水处理,2008,28(7): 6-8.
- [2] 秦永生,孙长虹,武江津. 生物活性炭工艺用于废水深度处理的设计[J]. 中国给水排水,2003,19(9): 88-91.
- [3] 张朝晖,吕锡武. 生物活性炭滤池去除水中溶解性有机碳的研究[J]. 中国给水排水,2008,24(1): 105-

108.

- [4] 刘丽君,李小伟,张金松,等. 环境因子对BAC滤池中无脊椎动物生长的影响研究[J]. 中国给水排水,2009,25(3): 58-61.
- [5] 王振宇,张昱,刘新春,等. O_3 -BAC工艺的微生物群落结构解析[J]. 中国给水排水,2006,22(1): 1-4.
- [6] 马放,任南琪. 污染控制微生物学试验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社,2002.
- [7] 鲍志戎,孙书菊,王国彦,等. 自来水厂除锰滤砂的催化活性分析[J]. 环境科学,1997,18(1): 38-43.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社,2002.
- [9] 唐文伟,王祯贞,徐竟成,等. 温度和溶解氧对生物活性炭处理钢铁工业排水的影响[J]. 工业用水与废水,2008,39(2): 32-35.

E-mail: zengxp@tongji.edu.cn

通讯作者: 曾新平

收稿日期: 2009-08-26

(上接第64页)

要采用滤柱中部充气、上部进水下部排水的方式排除脱落的生物膜。

3 结论

① 接触氧化/生物过滤工艺对氧的利用率不如BAF工艺的高,但在处理微污染源水时,基本可满足好氧菌对氧的需求。接触氧化/生物过滤工艺对 COD_{Mn} 和 UV_{254} 的去除率高于BAF工艺的,但对氨氮和亚硝态氮的去除效果则不如BAF工艺的。为提高接触氧化/生物过滤工艺对氨氮和亚硝态氮的去除效果,需增大接触氧化柱的容积,以延长源水在其中的停留时间。

② 接触氧化/生物过滤工艺对浊度的去除效果较好,平均去除率可达到70%以上,而BAF对浊度的平均去除率仅为40.3%;与无预处理工艺相比,接触氧化/生物过滤工艺可使后续的混凝处理平均节省23.1%的投药量,优于传统BAF工艺。

③ 对接触氧化/生物过滤工艺中的生物滤柱,不适合采用气水联合反冲洗方式,宜采用排泥法,其

周期比传统BAF的反冲洗周期要长。

参考文献:

- [1] 符敬东. 白银市乡镇供水工程高浊度黄河水处理经验[J]. 中国农村水利水电,2006,(10): 56-58.
- [2] 周云,何义亮. 微污染源净水技术及工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社,2003.
- [3] 刘辉. 全流程生物氧化技术处理微污染原水[M]. 北京: 化学工业出版社,2003.
- [4] 李思敏,张胜,孙广垠,等. 生物砂滤池除氨氮效果及影响因素分析[J]. 中国给水排水,2006,22(1): 74-76.
- [5] 严煦世,范瑾初. 给水工程(第4版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,1999.
- [6] 孙傅,陈吉宁,曾思育. HACCP体系用于给水处理厂浊度控制的研究[J]. 中国给水排水,2007,23(13): 1-6.

电话: 13945053572

E-mail: upder@163.com

收稿日期: 2009-08-12