

BACF 处理高浓度尿素废水的效能研究

闫立龙¹, 张颖¹, 李伟光², 任源²

(1 东北农业大学 资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2 哈尔滨工业大学 市政
环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 采用生物活性炭滤池 (BACF) 处理某石化厂高浓度尿素废水, 考察了 BACF 对尿素、COD、SS、氨氮等指标的去除效果, 分析了 BACF 出水 pH 和电导率的变化。结果表明, BACF 的除污效能良好, 其出水 COD 和 SS 浓度可满足低压锅炉进水水质要求; BACF 具有很高的去除尿素效能和抗尿素负荷冲击能力, 当进水尿素浓度为 94.45~1118.5 mg/L 时, 出水尿素浓度 < 10 mg/L; BACF 对氨氮的去除效果不佳, 平均去除率仅为 20.42%; 尿素水解产物的存在使 BACF 出水 pH 值和电导率分别在 (9.0±0.2) 和 (400~1600) $\mu\text{S}/\text{cm}$ 范围内波动。

关键词: 生物活性炭滤池; 尿素废水; 高浓度

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2010)09-0108-04

Treatment Efficiency of High-concentration Urea Wastewater by BACF

YAN Li-long¹, ZHANG Ying¹, LIW ei-guang², REN Yuan²

(1 School of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030
China; 2 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology,
Harbin 150090 China)

Abstract Biological activated carbon filter (BACF) was utilized to treat wastewater with high concentration urea from a petrochemical plant. The removal efficiencies of urea, COD, SS, ammonia nitrogen and other pollutants were investigated, and the variations of pH and conductivity of the effluent were also analyzed. The results show that BACF has excellent pollutant removal efficiency. The COD and SS concentrations in the effluent can meet the water quality requirements for low-pressure boilers. BACF has high urea removal efficiency and a stronger resistance to urea shock load. The urea concentration in the effluent is less than 10 mg/L when the urea concentration in the influent is 94.45 to 1118.5 mg/L. BACF has poor removal efficiency of ammonia removal with the average removal rate of 20.42%. The existence of urea hydrolysis product makes the pH and conductivity of the effluent fluctuate in the range of 9.0±0.2 and 400 to 1600 $\mu\text{S}/\text{m}$ respectively.

Key words biological activated carbon filter; urea wastewater; high concentration

与活性污泥法相比,生物膜法具有处理效率高、运行管理方便、出水水质好等特点,其对污水的高效

净化能力已成为人们关注的热点。发展至今,生物膜法的应用领域不断扩大,其不仅用于生活污水的

基金项目: 黑龙江省科技攻关重点项目 (GB08C203); 东北农业大学博士启动基金资助项目; 黑龙江省博士后基金资助项目 (LBH-Z08262)

处理^[1], 还广泛用于工业废水的处理^[2,3], 但采用生物膜法处理高浓度尿素废水却鲜有报道。某石化厂欲将其冷凝液经离子交换处理后作为低压锅炉补给水, 因冷凝液中含有高浓度尿素等污染物, 需经预处理才能进入离子交换系统。笔者尝试采用生物活性炭滤池 (BACF) 处理该石化厂高浓度尿素废水, 考察 BACF 对尿素、COD 等污染物的去除效能, 以期高浓度尿素废水的处理提供新思路。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验装置见图 1。BACF 是内径为 150 mm, 高为 3 700 mm 的有机玻璃柱, 柱内装有 2 250 mm 高的 ZJ-15 型颗粒活性炭。沿 BACF 高度每 250 mm 设一个取样口, 采用穿孔管在 BACF 底部进行曝气, 采用气水联合反冲洗和上向流运行方式, 水和气的流量由转子流量计控制, 处理水量为 25 L/h, 对应水力负荷为 1.4 m³ / (m² · h), 水温为 28~30 ℃, 气水比为 3:1。

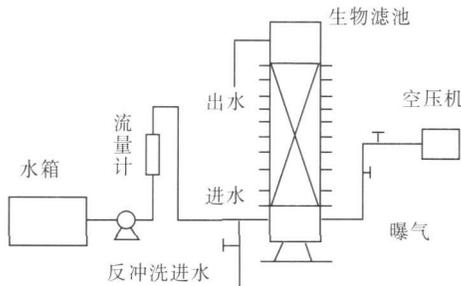


图 1 试验装置

Fig 1 Schematic diagram of experimental setup

1.2 原水水质

试验在石化厂冷凝液泵房中进行, 原水为该厂冷凝液。正常运行期间的原水水质见表 1。可知, 该厂冷凝液具有尿素浓度高、COD 和氨氮浓度低的特点。

表 1 原水水质

Tah 1 Quality of raw wastewater

项目	COD / (mg · L ⁻¹)	尿素 / (mg · L ⁻¹)	氨氮 / (mg · L ⁻¹)	pH
最大值	85.00	1 118.5	1.53	8.52
最小值	23.62	94.45	0.06	7.20
平均值	43.57	449.47	0.54	8.26

1.3 分析方法

尿素: 二乙酰-肟法; 氨氮: 纳氏试剂分光光度法; COD: 重铬酸钾法; pH: pH S-3C 精密 pH 计。

2 结果与讨论

2.1 对尿素的去除效果

尿素是石化厂冷凝液中的主要污染物, BACF 对尿素的去除效果见图 2。

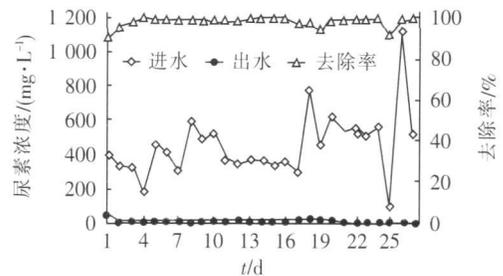


图 2 BACF 对尿素的去除效果

Fig 2 Removal effect of urea by BACF

由图 2 可知, 当进水尿素浓度平均为 449.47 mg/L 时, BACF 对尿素的去除率为 97.82%, 对应的出水尿素浓度平均为 9.80 mg/L, BACF 对尿素的去除效果较好。从图 2 还可知, 进水尿素浓度波动很大 (94.45~1 118.5 mg/L), BACF 的出水尿素浓度却很稳定 (<10 mg/L), 且去除率较高, 说明 BACF 具有很强的抗尿素负荷冲击的能力。

2.2 对 COD 的去除效果

由试验可知, 当进水 COD 平均为 43.57 mg/L 时, 测得出水 COD 平均为 25.32 mg/L, 出水 COD 浓度有时甚至出现高于进水的现象, 这可能是因为存在某些还原产物的缘故。例如, 在试验条件下, NH₄⁺-N 主要转化为 NO₂⁻-N, 后者很容易被重铬酸钾氧化, 导致 COD 测定结果偏高。1 g NO₂⁻-N 相当于 1.14 g COD, 为此测定了 BACF 出水的 NO₂⁻-N 浓度, 为 15~36.41 mg/L, 即相当于有 17.1~41.5 mg/L COD 生成, 减去因 NO₂⁻-N 存在而引起的 COD 测定误差, 真正表征有机物浓度的 COD 基本在 10 mg/L 以下, 能够满足工业锅炉进水水质要求。

2.3 对 SS 的去除效果

全部试验期间, 反应器进水 SS 浓度较低, 当进水 SS 平均为 16.46 mg/L 时, BACF 出水 SS 平均为 4.24 mg/L。根据浊度与 SS 的换算公式: SS = 3.4143 × 浊度 - 2.0559^[4], 折算得出水浊度为 1.84 NTU, 能够满足工业锅炉进水水质要求。

BACF 采用粒径较小的颗粒作为载体, 使 BACF 本身具有很好的过滤截留作用; 同时在曝气条件下, BACF 内呈好氧状态, 促进了好氧微生物的大量繁殖, 这些好氧微生物能够附着在载体表面形成生物

膜,而生物膜对水中悬浮物具有附聚作用,即在物理作用下,悬浮物向生物膜表面移动,从而被去除,BACF 内活性炭颗粒间的孔隙很小,且活性炭表面较强的生物量使原本很小的孔隙变得更加狭窄,加之活性炭本身具有较高的吸附作用,从而为 BACF 高效去除 SS 创造了条件。

虽然 BACF 内的微生物作用可促进对悬浮物的去除,但倘若曝气条件控制不好,则会对滤池的除浊效能产生负作用。一般来说,曝气对滤池产生一定的扰动,从而影响了胶体颗粒在载体表面的附着沉积;另外,曝气对滤料也有一定的冲刷作用,使已经沉积在滤料表面的颗粒重新回到水中。如果出现曝气不均匀现象,造成局部曝气量过大,则上述作用会更强烈,相应的滤池出水悬浮物浓度就会增加,有时甚至出现负去除率的情况。因此,确定适宜的运行参数是保证 BACF 效能的关键。

2.4 pH 的变化

由试验结果可知,当进水 pH 值为 7.20~8.26 时,BACF 出水的 pH 值均稳定在 9.0±0.2 说明 BACF 调节 pH 的能力较强。这是因为,尿素的水解产物(CO₂和 NH₃)对 BACF 内的酸碱度有一定的调节作用,当 pH<8.0 时,NH₃ 对酸碱度的调节作用是主要的,其会引起 pH 升高;当 pH>9.0 时,CO₂ 成为调节酸碱度的主要因素,生成的 CO₂ 和空气中的 CO₂ 进入反应器,造成 BACF 的 pH 下降。因此,尿素水解产物的调节作用使 BACF 出水的 pH 相对稳定。

2.5 对氨氮的去除效果

由于实际氨氮浓度为进水氨氮浓度与尿素水解产生的氨氮浓度之和,因此 BACF 对氨氮的去除率采用式(1)、(2)进行计算。

$$S_T = (S_{in\ urea} - S_{out\ urea}) \times 0.467 + S_{in\ A} \quad (1)$$

$$\text{氨氮去除率} = (S_T - S_{out\ A}) / S_T \times 100\% \quad (2)$$

式中 S_T——理论氨氮浓度,mg/L

S_{in urea}——进水尿素浓度,mg/L

S_{out urea}——出水尿素浓度,mg/L

S_{in A}——进水氨氮浓度,mg/L

S_{out A}——出水氨氮浓度,mg/L

0.467 为尿素态氮转化为氨态氮的折算系数,即尿素经微生物水解后会产生相当于原尿素浓度 46.7% 的氨氮浓度。

在水温为 28~30℃、水力负荷为 2.1 m³/(m²

·h)、DO>2 mg/L、尿素浓度平均为 449.47 mg/L 的条件下,考察了 BACF 对氨氮的去除效果。结果表明,BACF 对氨氮的去除率不高,平均为 20.42%。氨氮在滤池中的去除一般通过以下途径来实现:①空气吹脱作用^[5],氨氮将逸出反应器,这种情况仅限于反应器内氨氮浓度很高时;②生物硝化作用^[6],通过亚硝酸菌和硝酸菌的生物作用将氨氮转化成亚硝酸盐氮和硝酸盐氮;③微生物通过同化作用将氨氮转化成自身的一部分^[7]。因同化作用去除的氨氮量非常有限,故认为空气吹脱和生物硝化是去除氨氮的主要途径。从试验结果可知,BACF 出水亚硝酸盐氮为 15~36.41 mg/L、硝酸盐氮<5 mg/L。当尿素浓度为 449.47 mg/L 时,若按尿素去除率为 96%、氨氮去除率为 20.42% 计算,则氨氮至少损失 41.15 mg/L,可见在氨氮去除过程中空气吹脱作用也不容忽视。

由上述分析可知,采用 BACF 处理高浓度尿素废水时,尿素水解产物主要为氨氮,生成的氨氮仅有很少部分被转化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮,故 BACF 对氨氮的去除效果不佳。

2.6 电导率的变化

电导率是低压锅炉进水必须考虑的重要指标,其反映了水中离子的总浓度或含盐量的大小。BACF 的出水电导率和进水尿素浓度及尿素去除率有很大关系,为此测定了不同进水尿素浓度下,BACF 的出水电导率,结果见图 3。

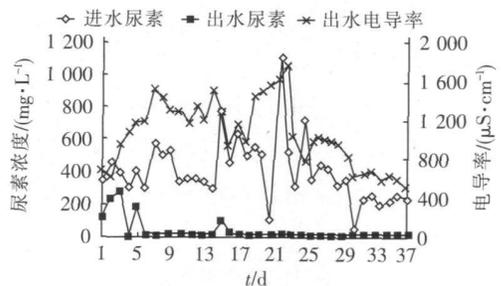


图 3 BACF 出水电导率的变化

Fig 3 Variation of conductivity of BACF effluent

从图 3 可知,BACF 的出水电导率很高,在 400~1600 μS/cm 之间波动。BACF 出水电导率升高主要是因为 1 分子尿素水解产生 2 分子 NH₃ 和 1 分子 CO₂,在 pH 值接近 9.0 左右的条件下,氨氮主要以离子态形式存在,系统内离子浓度增大,导致出水电导率升高;同时溶解的氨氮有部分转化为 NO₂⁻-N 和 NO₃⁻-N,进一步增加了系统出水的离子强度。在

尿素去除率在稳定的情况下, BACF 出水电导率和进水尿素浓度有很好的相关性, 即进水尿素浓度越高则出水电导率越大。

3 结 论

① BACF 具有很好的除污效能, BACF 出水 COD 和氨氮浓度在 10 mg/L 以下, 且其出水 pH 值在 9.0±0.5 范围内, 基本满足低压锅炉进水水质要求。

② BACF 具有很好的尿素去除效能和抗尿素负荷冲击能力, 当进水尿素浓度为 94.45~1118.5 mg/L 时, BACF 对尿素的平均去除率达到 97.82%, 出水尿素浓度在 10 mg/L 以下。

③ BACF 对氨氮的去除效果不佳, 平均去除率仅为 20%。

④ 在尿素去除效果稳定的情况下, BACF 出水电导率与进水尿素浓度有很好的相关性。尿素水解产物导致 BACF 出水电导率较高, 出水电导率为 400~1600 μS/cm。

参 考 文 献:

[1] 王杰, 曹柏生, 孟雪征. 曝气生物滤池的研究进展 [J]. 中国给水排水, 2002, 18(8): 26-29.

[2] Hanoda M F, A+Sharekh H A. Suggestive treatment with aerated fixed-film biological filter [J]. Sci Technol 1999, 40(1): 313-321.

[3] Westerman P W, Bicudo J R, Kantaedj J. Performance of biological aerated filters for the treatment of municipal sludge [J]. Biosour Technol 2000, 75(2): 115-120.

[4] 邱立平. 曝气生物滤池处理生活污水的生态学研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002.

[5] Bormati A, Fbtats X. Air stripping of ammonia from wastewater slurry: characterization and feasibility for its treatment to mesophilic anaerobic digestion [J]. Waste Manage 2003, 23(3): 261-272.

[6] Jittawatthanarat R, Kostarebs K, Khan E. Performance of augmented activated sludge process for ammonia removal from wastewater [J]. Water Environ Res 1999, 79(11): 2325-2335.

[7] 卢刚, 郑平. 内循环好氧颗粒污泥床的稳定性及性能研究 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2002, 34(2): 36-40.

电话: 13895714126

E-mail: yanl08@163.com

收稿日期: 2009-11-14

(第 10 页)

water treatment during the ninth and tenth years of operation [J]. Ecol Eng 2001, 18(2): 185-199.

Saito T, Masunaga T, Wakatsuki T. Characterization of treatment processes and mechanisms of COD, phosphorus and nitrogen removal in a multi-soil layering system [J]. Soil Sci Plant Nutr 2005, 51(2): 213-221.

[4] M... et al. Characteristics of wastewater treatment by a multi-layering system in a... [J]. ...

X... et al. ... [J]. ...

d... multi-soil layering system in soil mixture... selected contaminants [J]. ...

何... 等. 人工湿地氮转化与氧关系研究 [J]. ...

[5] 张... 等. ... 物沸石床污水脱氮效果 [J]. ...

及机理 [J]. 环境科学, 2003, 24(5): 75-79.

[7] Luamnee S, Boonsook P, Attanandana T. Organic components and aeration regimes of a multi-soil layering system for domestic wastewater treatment [J]. Soil Sci Plant Nutr 2002, 48(1): 134-140.

[8] Boonsook P, Luamnee S, Attanandana T. Comparative study of permeable layer material and aeration regime on efficiency of multi-soil layering system for domestic wastewater treatment in Thailand [J]. ...

[9] 曹志平. 土壤生态学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

电话: (010) 62759716

E-mail: wuweizhong@pku.edu.cn

通讯作者: 吴为中

收稿日期: 2009-11-14