

活性炭吸附对生化出水中不同种类有机物的去除效果*

刘 通 孙贤波 刘勇弟**

(华东理工大学资源与环境工程学院, 上海, 200237)

摘 要 研究活性炭吸附对城市污水生化出水中疏水酸、非酸疏水物质、弱疏水物质及亲水物质的去除效果. 在静态吸附实验中, 当活性炭投加量为 $0.3\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 达到吸附平衡后, 对 DOC 和 UV_{254} 的去除率可分别达到 54% 和 76%, 同时能够完全消除生化出水的生物毒性. 活性炭吸附对疏水酸和亲水物质均有良好的去除效果, 其 DOC 去除率分别达到 50% 和 80%, 对非酸疏水物质和弱疏水物质去除率相对稍低, DOC 去除率分别为 29% 和 28%, 活性炭吸附对有机物的亲疏水性没有明显偏好.

关键词 生化出水、活性炭、吸附、有机物.

活性炭吸附法是一种中水回用前对废水进行深度处理的有效方法. 目前, 关于活性炭吸附法的研究主要针对的是有机物总量或不同分子量有机物的去除效果的研究^[1], 涉及废水中具有不同物化性质的分类有机物(疏水酸、非酸疏水物质、弱疏水物质及亲水物质)的处理则不多^[2-4].

本文以生化出水中的溶解性有机物为研究对象, 通过树脂分离技术将生化出水中的有机物进行分类, 研究活性炭吸附对城市污水生化出水中有机物的去除效果.

1 实验部分

1.1 活性炭吸附实验

水样取自上海市某城市污水处理厂二沉池出水, 主要水质指标如下: $\text{DOC} = 9\text{--}13\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{UV}_{254} = 0.18\text{--}0.28\text{cm}^{-1}$, $\text{SUVA} = 1.4\text{--}2.4\text{L}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$, $\text{COD} = 30\text{--}80\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{BOD}_5 = 13\text{--}20\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 7\text{--}7.8$

活性炭选用上海活性炭厂的煤质炭, 粒状活性炭用球磨机研磨, 取 120—300 目的粉末炭经高纯水洗涤, 使前后水质 UV_{254} 相同, 在 105°C 下烘干 3h 备用.

水样首先经 $0.45\mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤, 再进行活性炭吸附实验(静态吸附容量实验), 活性炭投加量为 $0.3\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. 在恒温振荡器上振荡直到吸附平衡, 吸附平衡时间 18h, 平衡温度 $20\pm0.5^\circ\text{C}$. 吸附出水用 $0.45\mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤, 取滤液分析.

1.2 二级出水中有机物的分离和分析

采用 XAD-8(罗门哈斯公司)和 XAD-4(上海华震科技有限公司)吸附树脂联用技术将水中溶解性有机物分为疏水酸、非酸疏水物质、弱疏水物质及亲水物质四类物质.

分析方法: 水样经 $0.45\mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后测定 DOC; 调节 pH 值为 2.0 ± 0.1 , 用 1cm 光程石英比色皿测定 254nm 波长下的紫外吸光度 (UV_{254}), 生物毒性采用发光细菌法, 菌种为明亮发光杆菌 T_3 小种, ZnSO_4 作为参比毒物, 调解水样的 pH 值至 7.0 ± 0.2

2 结果与讨论

2.1 活性炭吸附处理后生化出水水质分析

活性炭吸附处理后 DOC 从 $12.39\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降至 $5.69\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, UV_{254} 从 0.198cm^{-1} 降至 0.048cm^{-1} . 在达到吸附平衡后, 活性炭吸附对城市污水厂生化出水中 DOC 和 UV_{254} 的去除率分别达到 54% 和

2008 年 6 月 23 日收稿.

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20060251014). ** 通讯联系人, E-mail ydliu@ecust.edu.cn

76%。活性炭吸附对以 UV_{254} 表征的有机物去除效果明显好于 DOC，这是由于活性炭主要吸附的是小分子有机物，对复杂的大分子有机物吸附效果不好^[5-6]。虽然生化出水的 UV_{254} 中小分子有机物比例较高，但 DOC 则相反，分子量 10000 以上的大分子有机物占总 DOC 的一半左右^[17]。活性炭吸附不能去除的这部分大分子有机物反映在吸附出水的 DOC 值上。

图 1 为城市污水生化出水中不同种类有机物组分的 DOC 和 UV_{254} 的分布。由图 1 可以看出，城市污水生化出水中的溶解性有机物，以 DOC 表征时，疏水酸比例最高，占 48%；亲水物质其次，占 29%；弱疏水物质占 16%，非酸疏水物质占 7%，比例最低；而以 UV_{254} 表征时，疏水酸比例也为 48%，其它三种有机物比例接近。生化出水经过活性炭吸附深度处理后，吸附出水以 DOC 表征时，亲水物质比例减少至 12%，非酸疏水物质和弱疏水物质比例分别增加至 1% 和 25%，疏水酸比例略微增加至 52%；以 UV_{254} 表征时，亲水物质被全部去除，吸附出水中疏水酸和弱疏水物质所占比例略有减少，非酸疏水物质比例增加。

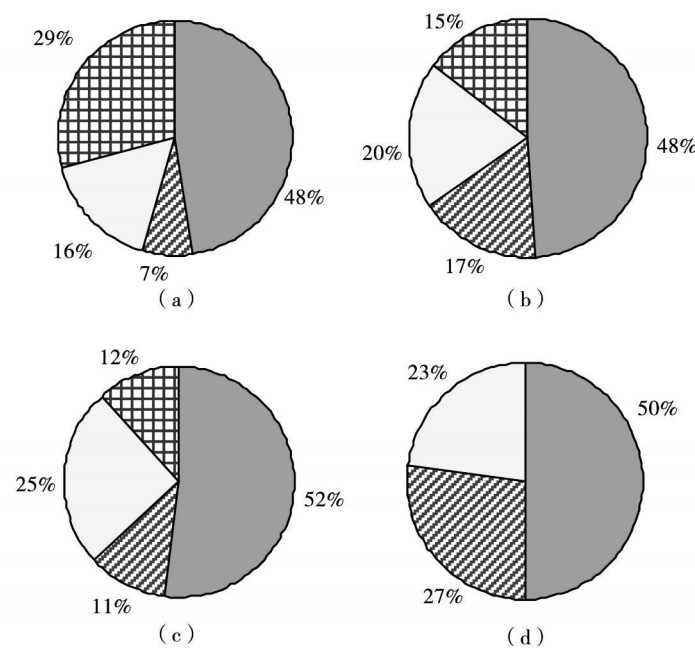


图 1 生化出水经活性炭吸附处理后溶解性有机物各组分分布变化

■疏水酸 ■非酸疏水 □弱疏水 □亲水

(a) 生化出水中有机物各组分 DOC, (b) 生化出水中有机物各组分 UV_{254} ,
(c) 吸附出水中有机物各组分 DOC, (d) 吸附出水中有机物各组分 UV_{254}

Fig 1 The change of different DOM fractions percentages after activated carbon adsorption

生化出水经活性炭吸附处理前后，疏水酸比例变化不大，均在 50% 左右，亲水物质在吸附处理后的 DOC 和 UV_{254} 比例均有减小，非酸疏水物质比例则增加明显。

总体而言，活性炭吸附对生化出水中四类有机物的构成影响不大。因此，活性炭吸附有可能与其它深度处理方法 (如混凝、臭氧氧化等) 相结合，组成组合处理工艺。

2.2 活性炭吸附对不同种类有机物的去除效果

图 2 是活性炭吸附对四类有机物的 DOC 和 UV_{254} 的去除效果。以 DOC 为指标时，活性炭吸附对疏水酸和亲水有机物均有较高的去除效果，其中疏水酸的 DOC 去除率为 50%，亲水物质则高达 80%，而非酸疏水物质和弱疏水物质浓度小幅下降，二者的 DOC 去除率稍低，分别为 29% 和 28%。以 UV_{254} 为指标时，四类有机物均有明显的去除效果，疏水酸、非酸疏水物质、弱疏水物质和亲水物质的去除率分别达到了 75%，60%，72% 和 100%。

活性炭吸附对生化出水 UV_{254} 的去除率略高于 DOC 去除率，这表明活性炭吸附对 UV_{254} 表征的有机物 (如含不饱和键物质) 更易去除。DOC 和 UV_{254} 的实验结果显示，活性炭吸附对亲水性有机物的

去除率略高于疏水酸，但对疏水酸和亲水性有机物的各自去除总量相差不多，因此活性炭对疏水性和亲水性有机物均有明显的吸附效果。

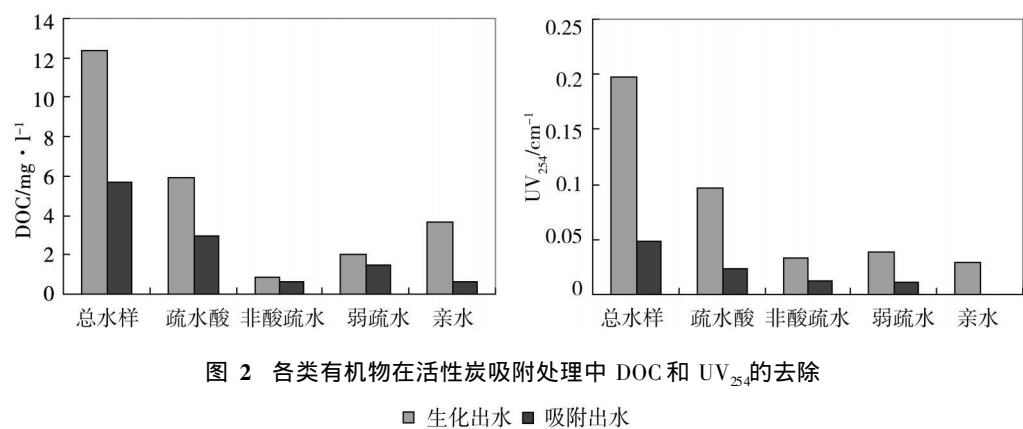


图 2 各类有机物在活性炭吸附处理中 DOC 和 UV₂₅₄ 的去除

■ 生化出水 ■ 吸附出水

Fig 2 DOC and UV₂₅₄ removal efficiency in secondary effluent through activated carbon adsorption

Carb 等人的研究结果表明，活性炭对脂肪族类的吸附效果略好于芳香族类^[7]，而脂肪族属于亲水性有机物。水中疏水亲水性有机物的比例对活性炭吸附处理生化出水的影响不大。

2.3 活性炭吸附对生化出水生物毒性的去除

考察活性炭吸附对生化出水生物毒性的去除效果，结果见表 1。由表 1 可见，生化出水的抑光率为 24.5%，对应的 Zn²⁺ 浓度为 0.36mg·L⁻¹，其中疏水酸的抑光率是 15.1%，对应的 Zn²⁺ 浓度为 0.21mg·L⁻¹；亲水有机物的抑光率是 13.2%，对应的 Zn²⁺ 浓度为 0.18mg·L⁻¹。亲水性有机物和疏水酸具有基本相同的生物毒性。活性炭吸附处理出水的抑光率为负值，表明已没有生物毒性。结果说明活性炭吸附能显著去除生化出水的生物毒性^[8]，这与活性炭对 UV₂₅₄ 的高去除率有关。

表 1 活性炭吸附对生化出水生物毒性的去除效果

Table 1 The efficiency of activated carbon adsorption on bio-treated municipal wastewater

	生化出水	生化出水		吸附出水	吸附出水	
		疏水酸	亲水物质		疏水酸	亲水物质
抑光率 %	24.5	15.1	13.2	0	0	0
对应的 Zn ²⁺ 浓度 /mg·L ⁻¹	0.36	0.21	0.18	0	0	0

3 结论

- (1) 活性炭吸附法对城市污水生化出水中的有机物有显著的去除效果，吸附平衡时对 DOC 和 UV₂₅₄ 的去除率可分别达到 54% 和 76%，是一种有效的污水深度处理方法。
- (2) 活性炭吸附法对疏水酸和亲水性有机物均有较好的去除效果，对非酸疏水物质和弱疏水物质去除率稍低，活性炭吸附对有机物的亲疏水性没有明显偏好。
- (3) 亲水性有机物和疏水酸表现出基本相同的生物毒性，活性炭吸附能显著去除生化出水的生物毒性，将生化出水的抑光率从 24.5% 降为 0。

参 考 文 献

[1] Anu M atilainen, Niina V ienq, Tuuka Tuhkanen. Efficiency of the Activated Carbon Filtration in the Natural Organic Matter Removal [J]. *Environment International*, 2006, 32 (3) : 324—331

[2] V igneswaran S, Shon H K, K andasamy J et al, Performance of Granular Activated Carbon (GAC) Adsorption and Biofiltration in the Treatment of Biologically Treated Sewage Effluent [J]. *Separation Science and Technology*, 2007, 42 (14) : 3101—3116

[3] 龚剑丽, 刘勇弟, 孙贤波等, 城市污水二级生化出水中有机污染物特性表征 [J]. *环境化学*, 2007, 26 (5) : 706—707

[4] 龚剑丽, 孙贤波, 刘勇弟等, 焦化废水二级生化出水中有机污染物的氧化特性 [J]. *环境化学*, 2008, 27 (2) : 193—196

- [5] Bernd Schreiber, Thomas Brinkmann, Viktor Schmalz et al., Adsorption of Dissolved Organic Matter onto Activated Carbon——the Influence of Temperature, Absorption Wavelength and Molecular Size [J]. *Water Research*, 2005, **39** (15) : 3449—3456
- [6] Wei Cheng, Seyed A. D. Tanju, Karanfil. Adsorption of Dissolved Natural Organic Matter by Modified Activated Carbons [J]. *Water Research*, 2005, **39** (11) : 2281—2290
- [7] Carlo Solisio, Alessandra Lodi, Marco Del Borghi. Treatment of Effluent Containing Micropollutants by Means of Activated Carbon [J]. *Waste Management*, 2001, **21** (1) : 33—40
- [8] Licia Guzzella, Donatella Feretti, Silvano Monarca. Advanced Oxidation and Adsorption Technologies for Organic Micropollutant Removal from Lake Water Used as Drinking Water Supply [J]. *Water Research*, 2002, **36** (17) : 4307—4318

REMOVAL EFFICIENCY OF DOM FRACTIONS IN BIOTREATED EFFLUENTS THROUGH ACTIVATED CARBON ADSORPTION

LIU Tong SUN Xian-bo LIU Yong-di

(School of Resources and Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

ABSTRACT

Activated carbon adsorption is a kind of useful wastewater advanced treatment method. Dissolved organic matter (DOM) in biotreated effluent were fractionated into hydrophobic acids, non-acid hydrophobics, transphilics and hydrophilics through XAD-8/XAD-4 resin. Removal efficiency of DOM fractions through activated carbon adsorption was investigated. When activated carbon dosage was $0.3\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, DOC and UV_{254} removals could reach 54% and 76%, respectively, and toxicity was totally removed. It was indicated that removal efficiencies of hydrophobic acids and hydrophilics were very high through activated carbon adsorption, its DOC removals were 50% and 80%, while non-acid hydrophobics and transphilics were lower, only 29% and 28%. Activated carbon didn't exhibit obvious preference between hydrophobic and hydrophilic DOM.

Keywords biotreated effluent; activated carbon; adsorption; dissolved organic matter