

# MBR 出水的紫外线消毒试验研究

于丹丹, 张光辉, 张凤, 顾平  
(天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 考察了紫外线 (UV) 对 MBR 出水中微生物的灭活情况, 以及光活化和暗修复对细菌灭活效果的影响。结果表明: UV 对 MBR 出水中的微生物具有良好的灭活效果, 当 UV 剂量为  $16 \text{ mJ}/\text{cm}^2$  时, 对细菌的对数灭活率为  $3\text{-lg}$ ; 在相同的 UV 剂量下, 不同 UV 强度对细菌的灭活效果无显著影响; 经 UV 消毒后的细菌在 3 h 内未出现明显的暗修复现象, 但在日光灯和太阳光辐射下可发生明显的光活化现象, 且不同光源下的光活化速率和达到饱和的时间有所不同。

**关键词:** 紫外线消毒; MBR 出水; UV 剂量; 光活化; 暗修复

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2007)05-0047-03

## Study on Disinfection of MBR Effluent by Ultraviolet

YU Dan-dan, ZHANG Guang-hui, ZHANG Feng, GU Ping

(School of Environment Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Inactivation of microorganisms in MBR effluent by ultraviolet (UV) and the influence of photoreactivation and dark repair on it were studied. The results show that UV has good inactivation effect on microorganisms. The inactivation rate of  $3\text{-lg}$  can be achieved with UV dose of  $16 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ . Different UV intensity has little influence on inactivation of bacteria at the same UV dose. No dark repair is observed in the samples irradiated by UV after three hours, however, photoreactivation occurs at the exposure of general fluorescent light and sunlight. The photoreactivation rate and saturation time are different from each other.

**Key words:** UV disinfection; MBR effluent; UV dose; photoreactivation; dark repair

UV 消毒因不产生消毒副产物, 也不会增加污染物的遗传毒性而日益受到广泛关注<sup>[1]</sup>, 并已开始用于对污水厂二级出水的消毒。膜生物反应器 (MBR) 出水水质稳定、浊度低、悬浮物浓度几乎为零, 若用 UV 对其出水进行消毒, 则可增强 UV 的透射能力、延长石英套管的清洗周期、削弱颗粒物对微生物的屏蔽保护, 从而使消毒 MBR 出水所需的 UV 剂量大为减少, 然而关于这方面的研究尚未见报道。

### 1 试验部分

#### 1.1 试验装置

试验装置如图 1 所示。

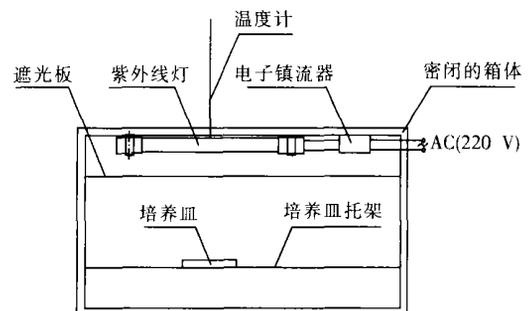


图 1 试验装置示意图

Fig 1 Schematic diagram of test device

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2003AA601130)

紫外线灯和盛放水样的培养皿均放置在一个密闭的箱子内,培养皿托架的高度可以调节,以改变 UV 的辐射强度。水样和紫外线灯之间通过遮光板隔开,试验时迅速抽去遮光板,同时以秒表计时。温度计用以测量紫外线灯管的温度,每次试验前先将紫外线灯预热一段时间(约 30 min),待灯管温度上升到设定值时开始试验,以保证 UV 辐射强度稳定。水样经消毒后立即进行微生物指标分析。试验所用紫外线灯的功率为 11 W,试验中 UV 强度为 0.12 ~ 0.80 mW/cm<sup>2</sup>。

1.2 分析方法

pH: Sartorius PP - 15 精密 pH 计;浊度: HACH 2100P 浊度仪;UV<sub>254</sub>、UV<sub>410</sub>: TU - 1801 紫外/可见分光光度计;COD: 重铬酸钾法;可见光强度: TES 1332A 照度计;UV 强度: 草酸铁钾化学露光计法。

细菌总数: 平板计数法, 37 °C 下恒温培养 24 h 后计数;大肠菌群: 滤膜法, 37 °C 下恒温培养 24 h 后计数;粪大肠菌群: 滤膜法, 45 °C 下恒温培养 24 h 后计数。

1.3 试验水样

试验水样为处理某医院污水的 MBR 装置的出水,其主要水质参数见表 1。

表 1 MBR 出水的水质参数

Tab 1 Quality parameters of MBR effluent

指标	范围
pH	7.10 ~ 8.10
浊度 /NTU	0.07 ~ 0.26
UV <sub>254</sub> /cm <sup>-1</sup>	0.115 ~ 0.213
UV <sub>410</sub> /cm <sup>-1</sup>	0.007 ~ 0.012
COD / (mg · L <sup>-1</sup> )	13.08 ~ 29.9
细菌总数 / (CFU · mL <sup>-1</sup> )	44 ~ 13 200
大肠菌群 / (CFU · 100 mL <sup>-1</sup> )	< 100
粪大肠菌群 / (CFU · 100 mL <sup>-1</sup> )	< 100

1.4 试验方法

向直径为 90 mm 的培养皿中加入 25 mL 水样,在一定强度的紫外线灯下辐射一定时间后将水样取出,摇匀后进行微生物试验。UV 剂量为 UV 强度和辐射时间的乘积,UV 消毒效果用对数灭活率来衡量,分别用公式表示如下:

$$D = I \cdot t \tag{1}$$

$$\lg = \lg \frac{N_0}{N_t} \tag{2}$$

式中 D——UV 剂量, mJ/cm<sup>2</sup>

I——UV 强度, mW/cm<sup>2</sup>

t——UV 辐射时间, s

lg——对数灭活率

N<sub>0</sub>——UV 辐射前水样中的微生物浓度

N<sub>t</sub>——UV 辐射后水样中的微生物浓度

2 试验结果与分析

2.1 UV 对细菌的灭活情况

图 2 是 UV 对 MBR 出水中细菌的灭活情况。

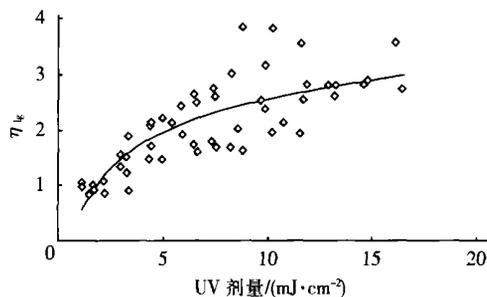


图 2 UV 剂量与细菌灭活率的关系

Fig 2 UV dose-response curve of bacteria

由图 2 可以看出,UV 对细菌有良好的灭活效果,1 mJ/cm<sup>2</sup> 的 UV 剂量可实现 1-lg 的灭活率(即 90% 的细菌被灭活),5 mJ/cm<sup>2</sup> 的剂量可达到 2-lg 的灭活率。对试验数据进行回归分析,则细菌的对数灭活率与 UV 剂量的关系为:

$$\lg \frac{N_0}{N_t} = 2.0505 \lg D + 0.5042 \quad R^2 = 0.65 \tag{3}$$

依据式(3),可计算出当 UV 剂量为 16 mJ/cm<sup>2</sup> 时,细菌的对数灭活率可达到 3-lg。由于受试验水样中细菌总数的限制,故试验中未能找出灭活率 > 3-lg 时其与 UV 剂量的对应关系。

试验期间,鉴于 MBR 出水中大肠菌群和粪大肠菌群数量较少(均小于 100 CFU/100 mL),UV 剂量为 5 mJ/cm<sup>2</sup> 时即可全部灭活这些微生物,因而未考察 UV 剂量与它们各自对数灭活率的关系。

2.2 UV 强度对灭活效果的影响

由式(1)可知,同一 UV 剂量可以采用不同的 UV 强度和对应的辐射时间来实现,而辐射时间在很大程度上影响着 UV 消毒器的外形尺寸和污水在其中的设计流速,因此研究 UV 强度对灭活效果的影响具有重要意义。图 3 为 4 种 UV 剂量下,不同 UV 强度对细菌的灭活效果。

由图 3 可知,在研究范围内,相同 UV 剂量下不

同强度的 UV 对细菌的灭活效果没有显著差别;经计算,各 UV 剂量下对数灭活率的相对误差均小于  $\pm 7\%$ 。因此,在污水消毒系统的设计中,可根据实际情况确定 UV 消毒剂量后选择合适的 UV 辐射强度和辐射时间,从而优化消毒器的设计参数。

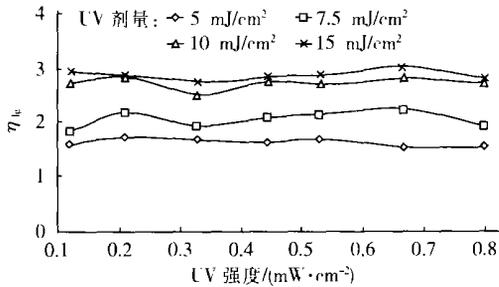


图 3 不同 UV 强度对细菌的灭活效果

Fig 3 Inactivation effect of bacteria at different UV intensity

### 2.3 光活化和暗修复对细菌灭活效果的影响

微生物对 UV 的损害具有修复能力,修复方式通常有两种:暗修复和光活化。微生物的修复能力直接影响消毒所需的 UV 剂量,因此是设计 UV 消毒器时需考虑的重要因素之一。试验考察了微生物的暗修复和光活化对细菌灭活效果的影响。鉴于日光灯的发射光谱与太阳光谱非常接近,故试验中采用日光灯和太阳光作为光活化研究的光源。

将 75 mL 水样等分后分别盛放于 3 个培养皿中,在  $8.8 \text{ mJ/cm}^2$  的 UV 剂量下消毒后,用培养皿盖盖上,分别置于黑暗处、日光灯和太阳光下,每隔一定时间取样测定细菌总数。日光灯和太阳光的照度分别为  $110 \sim 130 \text{ lx}$  和  $17\,000 \sim 81\,000 \text{ lx}$ ,气温为  $27^\circ\text{C}$ 。考虑到空气中的细菌有可能进入水样从而影响试验结果,因此取等体积的无菌水在相同条件下进行对比试验,3 h 后无菌水样中未检出细菌,由此推断空气中的细菌不会进入带盖的培养皿内。细菌的对数灭活率随时间的变化情况如图 4 所示。

由图 4 可知,试验水样中的细菌在黑暗处放置 3 h 后其对数灭活率变化不大,说明 MBR 出水中的细菌经 UV 消毒后没有明显的暗修复能力。置于日光灯和太阳光下的水样中的细菌则出现了明显的光活化现象,但不同光源下光活化的速率和达到饱和所需的时间有所不同。

和,细菌的对数灭活率降低了  $0.48\text{-lg}$ 。在太阳光辐射下,光活化现象主要集中在前 1 h 内,且速率并不均匀:前 15 min 内光活化完成约 80%,其速率很快,随后的 45 min 内,光活化速率比较缓慢;达到饱和时对细菌的对数灭活率降低了  $1\text{-lg}$ 。可见,光活化对 UV 消毒效果的影响不容忽视。经 UV 消毒的污水,无论是直接排放还是回用,均不可避免地会受到太阳光的辐射,故 UV 剂量的设计需考虑光活化的影响,对静态消毒试验的结果进行修正。

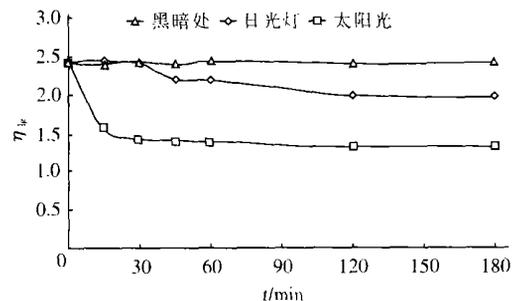


图 4 细菌经 UV 辐射后的修复情况

Fig 4 Dark repair and photoreactivation of bacteria after UV radiation

### 3 结论

UV 对 MBR 出水中的微生物具有良好的灭活效果,当 UV 剂量为  $16 \text{ mJ/cm}^2$  时,对细菌的灭活率可达  $3\text{-lg}$ ,并可完全杀灭大肠菌群和粪大肠菌群。

在相同的辐射剂量下,UV 强度不会对细菌的灭活效果产生显著影响。

经 UV 消毒后的细菌没有明显的暗修复能力,但在日光灯和太阳光辐射下出现了明显的光活化现象,且不同光源下光活化速率和达到饱和所需的时间有所不同。

### 参考文献:

- [1] Thomas Haider, Regina Sommer, Siegfried Knasmüller, et al. Genotoxic response of Austrian groundwater samples treated under standardized UV (254 nm) - disinfection conditions in a combination of three different bioassays [J]. Water Res, 2002, 36 (1): 25 - 32

电话: (022) 27405059

E-mail: yudandanyu@gmail.com

收稿日期: 2006 - 09 - 25