

# 城市景观水体的净化及增氧

李海燕, 鲁 敏, 施银桃, 曾庆福

(武汉科技学院 环境科学研究所, 湖北 武汉 430073)

摘要: 以太阳能为动力, 对受污染的景观水体直接进行催化臭氧化及增氧, 由于催化氧化反应剩余气体中氧气含量大于 90%, 故大大提高了水体曝气增氧过程中氧的传输速率。处理后水体苯环类有机污染物的浓度明显下降, 灭藻效果明显, 可生化性显著增强。

关键词: 景观水; 净化; 增氧

中图分类号: X832

文献标识码: A

文章编号: 1009 - 5160 (2004) - 0056 - 05

城市景观水体多为静止或流动性差的封闭缓流水体, 一般具有水域面积小、易污染、水环境容量小、水体自净能力低等特点。小区水景很容易成为居民生活污水、雨水及垃圾的受纳体, 而天然湖泊则可能成为工业废水的排放地, 从而导致不同程度的污染, 甚至发生水体富营养化, 严重影响周围的自然环境和居民的生活环境。城市景观水质量控制包括重污染时的高效快速治理和微污染期的低成本控制技术, 就水污染其共性而言, 景观水污染控制可采用多种城市污水治理技术, 但由于景观水多为微污染, 发生期短、流动性极差、且美学要求高等特点, 使其不能直接使用城市污水处理技术来治理和控制。研究开发适合景观水污染控制技术对提高城市环境质量和减少城市生态用水具有重要的现实意义<sup>[1-2]</sup>。

本文选用臭氧为化学氧化剂, 改性天然矿物为催化剂, 以太阳能为动力, 对受污染的景观水体直接进行净化及增氧处理。

## 1 实验部分

### 1.1 试剂与仪器

高锰酸钾: 分析纯

草酸钠: 分析纯

紫外分光光度计: UV/1100 (北京瑞丽)

臭氧发生器: 12g/l (杭州甬兴)

太阳能动力系统: 1000 w

### 1.2 实验室中试实验装置及流程

#### 1.2.1 实验室中试装置

自制处理量为 0.3 T/h 的中试水处理设备对水样进行处理, 确定设备运行条件。设备装置如图 1:

以太阳能为动力, 用气水混合泵将臭氧与湖水混合后, 直接打入填有催化剂的氧化接触柱中 (六根柱子的总容积为 52 升, 柱高 1.6 米)。臭氧投加量和水流量均可控制, 通过一定时间的接触氧化及曝气增氧后, 处理后出水进行 CODMn、色度、紫外吸收等测试分析。

### 1.3 样品的采集

目前我国地面水普遍受到污染, 以 V 类水 (CODMn 值大于地面水环境质量标准 GB3838-2002 之规定) 为处理对象较有代表性。采集南湖民院校区段湖水为处理水样。

收稿日期: 2004-01-15

作者简介: 李海燕 (1963-), 女, 高工, 研究方向: 分析化学和水处理。

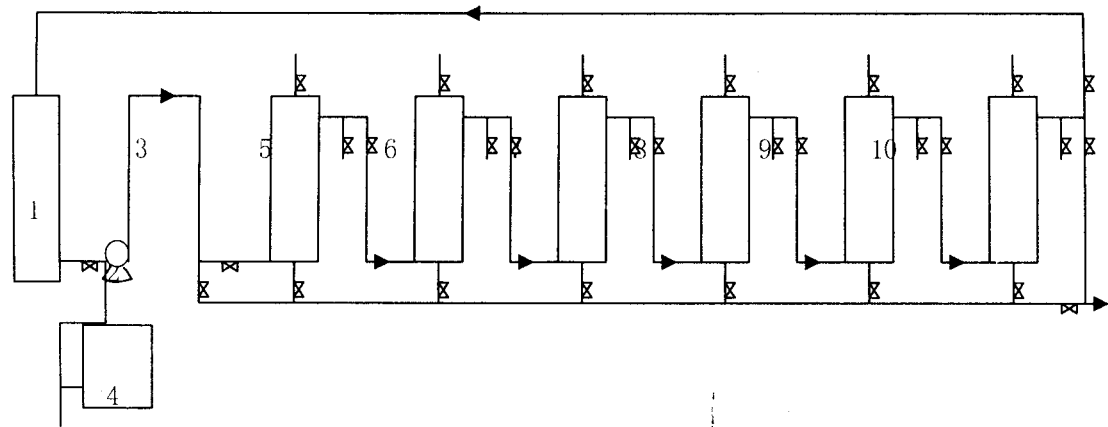


图 1 实验室中试装置及工艺流程示意图

1. 原水箱 2. 水气混合泵 3. 水流量计 4. 臭氧发生器 5-10. 氧化接触柱

1.2.2 中试实验流程

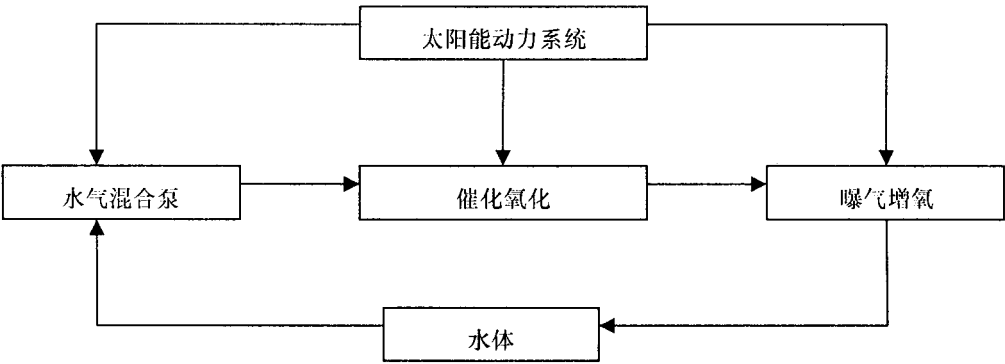


图 2 中试实验流程图

2 结果与讨论

2.1 反应时间的选择

实验条件：臭氧投加量为 15mg/L，水流量为 0.3T/h，被处理水为地面水 V 类水质。

2.1.1 反应时间对 COD<sub>Mn</sub> 去除率的影响

表 1 反应时间与 COD<sub>Mn</sub> 去除率的关系

| 反应时间 ( min )                | 2    | 4    | 6     | 8     | 10    | 12   |
|-----------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|
| COD <sub>Mn</sub> 去除率 ( % ) | 25.6 | 26.5 | 28.66 | 28.95 | 30.95 | 32.4 |

由表 1 可见 ,在使用设备处理湖水时 ,接触氧化所需的反应时间较短 ,2min 内反应基本完成。反应 2min 至 12min , COD<sub>Mn</sub> 去除率在 25.6%-32.4% 之间 , 延长反应时间 COD<sub>Mn</sub> 去除率增加值较小。

2.1.2 反应时间对色度去除率的影响

表 2 反应时间与色度去除率的关系

| 反应时间 ( min ) | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| 色度去除率 ( % )  | 58.3 | 58.3 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 62.5 |

由表 2 可见 ,该设备处理湖水时 ,色度去除率在短时间内则可达 60% 左右。反应的色度去除规律与 COD

去除规律较接近。

### 2.1.3 反应时间对难降解有机污染物去除率的影响

表 3 反应时间与  $A_{254}$  去除率的关系

| 反应时间 (min)        | 2    | 4    | 6    | 12   |
|-------------------|------|------|------|------|
| $A_{254}$ 去除率 (%) | 33.9 | 37.8 | 35.9 | 38.4 |

由表 3 可知, 反应时间在 2-12min 内, 对含有芳香环结构或共轭双键结构的难降有机污染物的氧化程度相近, 约在 35% 左右。

综合 2.1.1-2.1.3 部分, 在使用该设备处理湖水时, 接触氧化 2min 后, 反应基本已进行至终点。这一特性对于应用该设备处理水体非常有利, 短的反应时间在实际应用中可以大大提高设备的处理能力。

## 2.2 臭氧投加量的选择

实验条件: 水流量为 0.3T/h, 反应时间 12min, 处理对象为 V 类水质。

### 2.2.1 臭氧投加量对 $COD_{Mn}$ 去除率的影响

表 4 不同臭氧投加量与  $COD_{Mn}$  去除率的关系

| 臭氧投加量 (mg/L)       | 10   | 12   | 15   | 18   | 23   |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| $COD_{Mn}$ 去除率 (%) | 17.0 | 23.9 | 25.9 | 27.2 | 27.6 |

由表 4 知, 随臭氧投加量增加,  $COD_{Mn}$  去除率不断增大, 当臭氧投加量为 15 mg/L 时,  $COD_{Mn}$  去除率变化趋于稳定。

### 2.2.2 臭氧投加量对色度去除率的影响

表 5 不同臭氧投加量与色度去除率的关系

| 臭氧投加量 (mg/L) | 10   | 12   | 15    | 18    | 23    |
|--------------|------|------|-------|-------|-------|
| 色度去除率 (%)    | 37.6 | 48.5 | 51.66 | 59.95 | 68.95 |

由表 5 可见, 随着臭氧投加量增大, 色度去除率不断增加, 臭氧量太低时脱色效果较差。

### 2.2.3 臭氧投加量对湖水中难降解有机物去除率的影响

表 6 不同臭氧投加量与  $A_{254}$  去除率的关系

| 臭氧投加量 (mg/L)      | 10   | 12   | 15   | 18   | 23   |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| $A_{254}$ 去除率 (%) | 18.4 | 27.5 | 30.0 | 31.8 | 31.9 |

表 7 不同臭氧投加量时 V 级水的处理结果

| 臭氧投加量 (mg/L) | 原水 $COD_{Mn}$ (mg/L) | 臭氧处理负荷 ( $COD_{Mn}/mgO_3$ ) | 出水 $COD_{Mn}$ (mg/L) | 去除率 (%) |
|--------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|---------|
| 15           | 11.41                | 0.76                        | 9.64                 | 15.51   |
| 10           | 12.55                | 1.26                        | 10.29                | 18.01   |
| 18           | 13.84                | 0.77                        | 10.63                | 23.19   |
| 18           | 11.93                | 0.66                        | 8.95                 | 24.98   |
| 18           | 13.8                 | 0.77                        | 10.19                | 26.16   |
| 23           | 11.93                | 0.52                        | 9.53                 | 20.12   |
| 15           | 11.50                | 0.77                        | 9.02                 | 21.57   |
| 15           | 14.1                 | 0.94                        | 10.86                | 22.98   |

由表 6 可知, 臭氧量在 15mg/L 至 23mg/L 之间, 对水中难降解有机物的去除率基本相同。表明过量的臭氧不足以使湖水中有有机物完全反应。

2.2.4 臭氧处理负荷的影响

以 V 级地表水为处理对象，对这类湖水投加不同量臭氧后的效果进行了实验，结果见表 7。

由表 7 可见，较高的去除率（大于 23%）出现在臭氧处理负荷为 0.7 附近时，臭氧处理负荷下降时去除率反而有所下降，最高的臭氧处理负荷时去除率较低。

综合 2.2.1-2.2.4 部分，该设备在处理湖水时，臭氧投加量在 15mg/L 较经济，可根据进水 CODMn 具体值，考虑臭氧处理负荷的影响。

2.3 实验室水体增氧实验

2.3.1 空气曝气与纯氧曝气实验室试验

由于纯氧的压力高于空气中氧的分压，纯氧曝气可显著提高氧的转移速率。曝气过程中氧的传输速率和氧亏值（所谓氧亏值是氧饱和浓度和实际达到的溶解氧浓度之差）成正比，如下式所示：

$$\frac{dc}{dt} = KL \frac{A}{V} (C_s - CT)$$

在空气曝气时氧的分压为 21kPa，而纯氧曝气时氧的压力可达 101kPa。故纯氧曝气时氧饱和浓度远远大于空气曝气时氧饱和浓度 [ 3-4 ]

在 15C0 水温下，取水样 2500ml，氧气流量为 20l/h，曝气结果见表 8：

表 8 空气曝气与纯氧曝气时氧饱和浓度比较

| 曝气时间 ( min )    | 0   | 12   | 30   | 60   | 90   |
|-----------------|-----|------|------|------|------|
| D.O.空气 ( mg/l ) | 8.0 | 9.0  | 9.5  | 9.5  | 9.5  |
| D.O.氧气 ( mg/l ) | 8.0 | 26.4 | 32.0 | 32.3 | 32.3 |

从表 8 中可见，空气曝气时，15C0 水温下其氧饱和浓度仅为 9.5 mg/l，而纯氧曝气时 15C0 水温下氧饱和浓度则是 32.3 mg/l，是空气曝气时的 3.4 倍，氧的转移速率显著提高。而这一值在实际应用中将随着所处理的水体的水深增加而增加 [ 5 ]

2.3.2 实验室中试设备的水体增氧实验

催化氧化反应器所用臭氧发生器每小时产生臭氧量约占氧气量的 3%-10%，经催化氧化反应后，反应剩余气体中氧气含量大于 90%。远远高于空气中的氧气含量。依据上述原理，我们进行了实验室中试设备水体增氧实验的研究，使水体增氧曝气过程中氧的传输速率大大提高。在水流量为 0.3T/h，反应时间 12min，臭氧投加量为 15mg/L 的催化氧化反应条件下进行增氧实验，连续两周（五月）测定设备出水溶解氧值，同时进行空气曝气对比试验，结果见图 3。

2.4 优化条件下的湖水净化实验

采用自制水体净化设备，以南湖民院段湖水为水样，在臭氧投加量为 15mg/L，水流量为 0.3T/h 时，接触反应 12min，连续一周（五月）测定设备进出水的 CODMn、色度及其去除率，见图 4，并测定第五天进出水的 BOD5、溶解氧、叶绿素并计算 B/C 值，见表 9。由表 9 和图 4 可知，处理后水质明显改善。

表 9 湖水处理前后水质的变化

| 实验内容      | COD <sub>Mn</sub> ( mg/L ) | 色 度 ( 倍 ) | Chl-a ( mg/L ) | BOD <sub>5</sub> ( mg/L ) | BOD <sub>5</sub> /COD <sub>Mn</sub> | D.O. |
|-----------|----------------------------|-----------|----------------|---------------------------|-------------------------------------|------|
| 原水        | 9.82                       | 64        | 0.050          | 6.39                      | 0.65                                | 4.6  |
| 处理出水      | 6.84                       | 24        | 0.022          | 5.14                      | 0.75                                | 17.5 |
| 去除率 ( % ) | 30.4                       | 62.5      | 56.0           | 19.6                      |                                     |      |

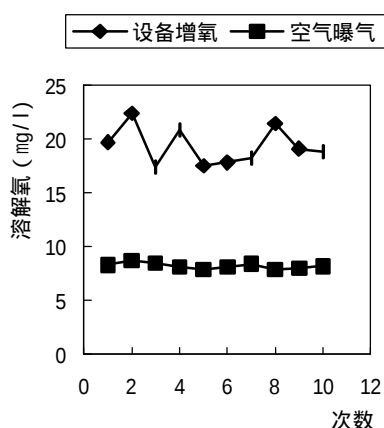


图3 设备增氧与空曝气增氧数据对比

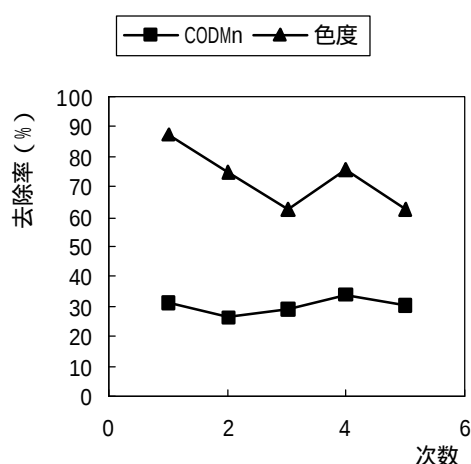


图4 一次性处理结果

### 3 结论

(1) 经该设备处理, 一次性 CODMn 去除率一般可达 20%-30% 左右, CODMn 的下降反映了水中有机负荷的下降。

(2) 经过该设备接触反应 12min 后, 水体中叶绿素去除率大于 50%, 对水体中藻类的杀灭作用明显。处理后水体色度明显降低。水体处理后苯环类有机污染物的浓度明显下降, 可生化性显著增强。

(3) 由于处理后水体的 BOD5/CODMn 明显增加, 水中溶解氧浓度大幅上升, 可生化性显著增强。

(4) 太阳能的应用不仅增加了设备的环境相容性, 且降低了其运行成本。

### 参考文献:

- [1] 朱亮, 蔡金榜, 陈艳. 城市缓流水体污染成因分析及维护对策[J]. 水科学进展, 2002, 13(3): 383~388.
- [2] 蔡昌凤, 徐建平. 景观水微污染控制[J]. 安徽工程科技学院学报, 2003, 18(1): 1~3.
- [3] 凌晖, 王诚信, 史可红. 纯氧曝气在污水处理和河道复氧中的应用[J]. 中国给水排水, 1999, 15(8): 49~51.
- [4] 黄勇华. 污染河涌生态恢复的可行性方法[J]. 污染防治技术, 2003, 16(2): 31~33.
- [5] 王诚信, 凌晖, 史可红. 污染河流的纯氧曝气复氧[J]. 上海环境科学, 1999, 18(9): 411~413.

## Purge and Oxygen aeration of Landscape water

LI Hai-yan , LU Min , SHI Yin-tao , ZENG Qing-fu

(The Research Centre of Environmental Science, Wuhan University of Science and Engineering, Wuhan Hubei 430073, China)

**Abstract:** Powered by solar energy, landscape water was treated by catalytic oxidation with manganese ore. The oxygen content is more than 90% in the gas which is generated by catalytic oxidation, therefore the oxygen transfer rate in oxygen aeration process is remarkable. The COD<sub>Mn</sub>, concentration of aromatic compounds and algal biomass decreased and the biodegradable quality was improved.

**Key Words:** landscape water ; purge ; oxygen aeration