

# Study on dynamic ozone oxidation of wastewater in the service area

Qing Yang Xiaming Lu Wei Wei

Guangxi College of Communications, Nanning, Guangxi, 530023, China

## Abstract

Ozone oxidation is an efficient method with a fast reaction rate in wastewater treatment. This paper explores the dynamic ozone oxidation technology for wastewater treatment in open service areas. Hydroxyl radicals (OH) produced from the decomposition of ozone in alkaline solutions are highly efficient intermediates that can effectively oxidize organic pollutants. The dynamic curves of ozone generators were measured, and the optimal process conditions for dynamic ozone oxidation of organic wastewater in service areas were studied. As the oxygen flow rate increases, the concentration of ozone generated decreases while efficiency increases. For the model compound phenol with an initial concentration of 600 mg/L, the optimal process conditions for dynamic treatment were selected as a pH value of 11.3 and a retention time of 22 minutes. For the model compound phenol with initial concentrations of 800 mg/L and 1000 mg/L, the optimal pH value was 10.3.

## Keywords

wastewater in service area; ozone oxidation; optimal process conditions; dynamic experiment

## 服务区废水的臭氧氧化动态处理研究

杨青 陆夏铭 韦玮

广西交通职业技术学院, 中国·广西南宁 530023

## 摘要

污水处理中臭氧氧化法是一种反应速率快的高效方法。本文探讨了开放式服务区废水处理的臭氧氧化动态处理技术。碱性溶液中臭氧分解产生的中间产物羟基自由基(OH·)是一种具高效氧化作用的中间产物,它能有效氧化有机污染物。本文对臭氧发生器动态曲线进行了测定,并研究臭氧氧化服务区有机废水动态处理的最佳工艺条件。随着氧气流量的增大,臭氧发生的浓度减小,效率增加。废水模型化合物苯酚初始浓度为600 mg/L时,动态处理过程的最佳工艺条件选取pH值为11.3,停留时间22分钟。废水模型化合物苯酚初始浓度为800mg/L和1000mg/L时,最佳pH值均为10.3。

## 关键词

服务区废水; 臭氧氧化; 最佳工艺条件; 动态实验

## 1 引言

服务区废水主要来源包括服务区卫生间冲洗水、餐厅废水、加油站废水、洗修车废水、生活废水等,具有有机污染物浓度高、含油、悬浮物含量高、水质不稳定、水量波动大等特点<sup>[1]</sup>。开放式服务区使用人数多,经济活动类型多,废水中污染物成分复杂。其中,含油废水及生活废水中有机污染物是服务区废水的主要成分。选择高效的有机污染物处理方法是解决开放式服务区废水处理的有效途径。

**【基金项目】**2021年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目《绿色交通背景下高速公路开放式服务区环保综合设计研究》(项目编号:2021KY1134)。

**【作者简介】**杨青(1982-),女,中国广西南宁人,硕士,副教授,从事环境监测与污染治理研究。

臭氧通过直接氧化或生成羟基自由基(OH·),可无选择性地破坏大分子有机物如多环芳烃、杂环化合物等<sup>[2]</sup>。臭氧是强氧化剂,可高效分解有机物为CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O,尤其对含双键、芳香环结构的污染物如偶氮染料、酚类物质等具有显著降解效果<sup>[3]</sup>。同时,臭氧具有杀菌协同作用。本文选择苯酚作为服务区原水模型化合物进行臭氧氧化动态处理研究。

## 2 实验方法

### 2.1 仪器设备

UV1800-PC-DS2型紫外可见分光光度计、DHX-SS-001型臭氧发生器、AL-204型电子天平、JJ-1型定时电动搅拌器、PHS-2C型精密酸度计

### 2.2 测定流程

测定流程如下:利用氧气瓶输送纯度较高的氧气作为臭氧发生器的气源,氧气经过干燥塔的干燥净化后进入臭氧发生器,臭氧发生器通过高压放电技术将氧气转化为臭氧,

臭氧通过安全瓶进入测定或反应装置，经测定或反应后的剩余臭氧通过标口特氏洗气瓶进行洗涤。

在臭氧动态曲线测定中臭氧发生器制备的臭氧采用吸收瓶中装硼酸 - 碘化钾吸收液的方式对臭氧进行吸收并进行测定。在臭氧氧化苯酚动态实验中臭氧发生器制备的臭氧进入臭氧氧化分解池，对从高位槽流出的模型化合物苯酚配制的服务区原水进行处理，处理后的水用磨口锥形瓶取样进行分析。

氧化苯酚实验测定及臭氧动态曲线测定流程见图 1。

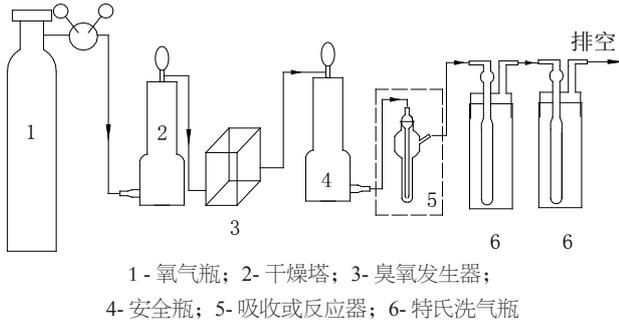


图 1 氧化苯酚实验测定及臭氧工作曲线测定流程图

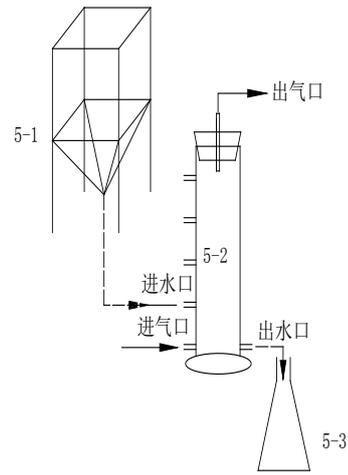
### 2.3 实验方案

在不同氧气流量下，测量臭氧发生器工作过程中产生臭氧的速率及浓度，绘制动态曲线。氧气流量选择 0.4 L/min、0.8 L/min、1.2 L/min、1.6L/min 四个流量。

臭氧氧化苯酚动态实验方案主要包括苯酚浓度、pH 值及反应停留时间三个因素。选择的苯酚初始浓度为 600mg/L、800mg/L、1000mg/L；选择的 pH 值水平为 9.3、10.3 和 11.3。动态实验要考虑废水在反应器中的停留时间，因此，增加停留时间作为第三个试验因素。根据苯酚完全反应所需的臭氧量是苯酚量三倍<sup>[4]</sup>（实际实验时，只有在苯酚初始浓度为 600 mg/L 时采用了此方案，也就是说苯酚初始浓度不同时通入的臭氧总量是一样的）及实验中所用动态苯酚溶液量（900mL），选定在一定氧气流量下处理不同浓度苯酚溶液所需的停留时间。得到的三个停留时间为 18.45min、30.67min 和 24.33min。氧化苯酚动态实验安排见表 1，氧化苯酚动态实验反应装置见图 2。

表 1 氧化苯酚动态实验安排

实验号	苯酚浓度 (mg/L)	pH 值	停留时间 (min)
1	1000	10.3	18.45
2	1000	9.3	24.33
3	1000	11.3	30.67
4	800	10.3	24.33
5	800	9.3	30.67
6	800	11.3	18.45
7	600	10.3	30.67
8	600	9.3	18.45
9	600	11.3	24.33



5-1 原水高位槽；5-2 臭氧氧化分解池；5-3 磨口锥形瓶

图 2 氧化苯酚动态实验反应装置

### 2.4 分析方法

臭氧浓度测定采用硼酸 - 碘化钾吸收紫外光度法<sup>[6]</sup>、苯酚浓度测定采用 4- 氨基安替比林分光光度法<sup>[5]</sup>。

## 3 实验结果及讨论

### 3.1 臭氧动态曲线

取三次平行实验的平均测量值得到图 3 臭氧速率曲线和图 4 臭氧浓度曲线。

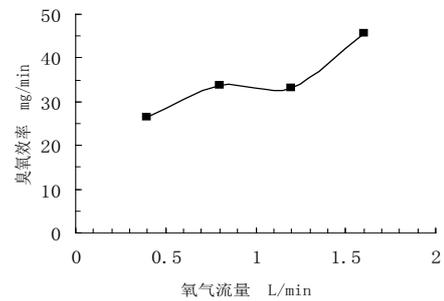


图 3 臭氧速率曲线

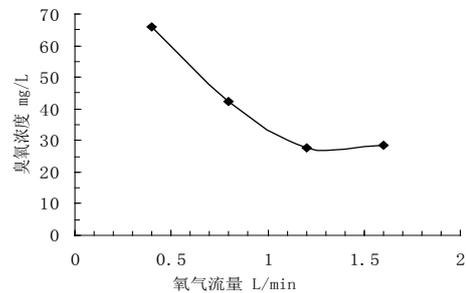


图 4 臭氧浓度曲线

从图 3 可以看到，臭氧发生效率随氧气流量的增大而提高。但是，从图 4 可以看出，臭氧的浓度却随着氧气流量的增大而降低。

氧气流量越大，单位时间内氧气瓶流出的氧气分子越

多,高压放电电晕中的自由高能电子离解的氧气分子也越多,在臭氧发生器中生成的O<sub>3</sub>分子也多,使臭氧发生效率增高。氧气流量越大,新鲜表面更新越快,生成的O<sub>3</sub>很快离开,进一步提高了臭氧的产生效率。因此,随着氧气流量增大,O<sub>3</sub>产生效率提高,曲线上升。但是,由于气体体积增加,O<sub>3</sub>浓度却降低了,导致曲线下降。

### 3.2 臭氧氧化苯酚动态实验

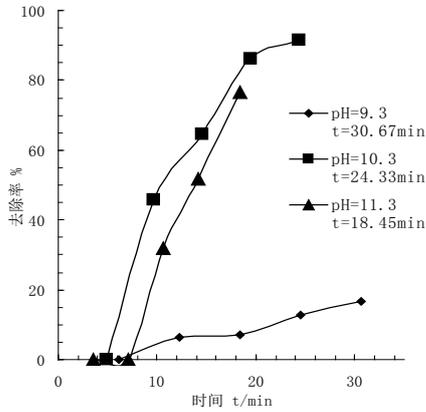


图5 600mg/L时不同停留时间下去除率随时间的变化

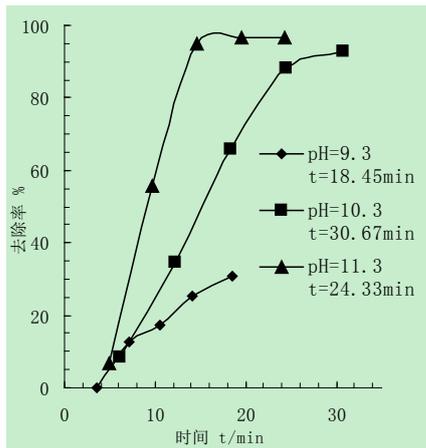


图6 800mg/L时不同停留时间下去除率随时间的变化

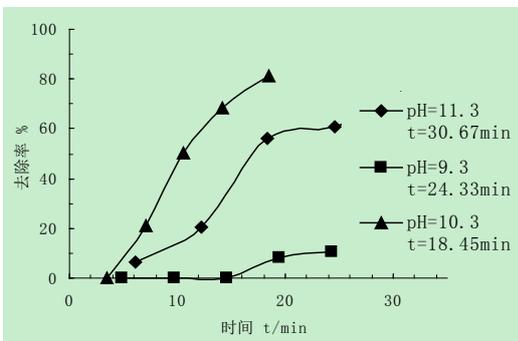


图7 1000mg/L时不同停留时间下去除率随时间的变化

根据完全氧化苯酚所需臭氧量为苯酚量3倍这个理论,根据动态实验选取的三因素组合实验方案,得到的图5中可以看出,苯酚初始浓度为600mg/L时,在pH值为11.3条件下去除率能最快达到平衡,且提前于既定的停留时间,在20分钟左右就达到了平衡。因此,在进水苯酚浓度为600mg/L时,选pH值为11.3和停留时间为20分钟为最佳工艺条件。

同时,比较三个不同的pH值下的去除率,发现pH值越高,苯酚去除率越高,且到达平衡所需的时间越短。苯酚初始浓度为600mg/L时采用的是臭氧量为苯酚量3倍的计量比,但为什么pH值为9.3时氧化苯酚的反应速率那么低呢?一个合理的解释为:pH值高,生成的羟基自由基就多,使反应加快;另外,由于液相中臭氧的快速分解,在气液相界面上臭氧浓度差增大,扩散速率增加,因此,氧化速率也显著增加。

从图6可以看到,pH值为10.3时的苯酚去除率最高,且已经达到91.64%,因此,苯酚初始浓度为800mg/L时可以选择pH值为10.3为最佳工艺条件,停留时间应比实验时间(24.33分钟)久。从图7可以看出,也是pH值为10.3时苯酚去除率最高。在实验时间内苯酚去除率为81.38%,还不够高,因此,苯酚浓度为1000mg/L时实验的最佳pH值是10.3。实验结果不是很理想,原因就是试验的时间太短,即通入臭氧量不足。这可以从反面证明完全氧化苯酚所需臭氧量为苯酚量3倍这个结论。

## 4 结论

臭氧氧化法对服务区苯酚模型实验废水有较好的处理效果。通过本实验得到如下结论:氧气流量增大时,臭氧发生器的臭氧发生效率增大,但气体中的臭氧浓度减小。苯酚初始浓度为600 mg/L时,动态处理过程的最佳工艺条件选取pH为11.3,停留时间为22分钟。苯酚初始浓度为800mg/L和1000mg/L时,最佳pH值均为10.3。

## 参考文献

- [1] 李国戡.生物倍增强化MBR工艺处理高速公路服务区废水的研究[D].重庆理工大学,2023
- [2] 马健伟,姚仲仲,张心宇.紫外/臭氧协同处理废水技术及应用[J].当代化工,2022,51(10)
- [3] 凌玉成.臭氧氧化法深度处理啤酒废水的研究[J].环境科学与管理,2012,37(12):98-101.
- [4] 陈英,李艳莉,钟理.苯酚液相臭氧氧化和复合氧化反应动力学[J].上海环境科学,2002,21(1):5-7,14
- [5] 水质挥发酚的测定4-氨基安替比林分光光度法HJ 503-2009
- [6] 国家环境保护总局.空气和废气监测分析方法[M].北京:环境科学出版社,2003:139-142