

# 水力空化与臭氧联合降解罗丹明 B

冯中营<sup>1,2</sup>, 赵婷婷<sup>1,2</sup>

(1 太原工业学院理学系, 山西 太原 030008; 2 陕西师范大学应用声学研究所, 陕西 西安 710062)

**摘要:**针对超声空化处理量小、水力空化处理效果不够理想及臭氧虽然有较好的水处理效果,但臭氧容易从液体中冒出,造成臭氧的浪费的问题,探讨了增强水力空化的方法并采用水力空化与臭氧联合以提高臭氧利用率。首先研究不同通气量的臭氧单独作用时,对罗丹明 B 的降解率;其次研究臭氧与水力空化先后参与对罗丹明 B 降解时的降解率;最后将臭氧与水力空化进行联合,详细分析了 1 mm 孔径与 2 mm 孔径的两个穿孔板在固定条件下产生的水力空化与臭氧联合的降解效果,并改变孔径、孔数、进口压强等参数进行实验,研究不同条件下的降解效果。结果显示,臭氧对罗丹明 B 具有很强的降解作用,水力空化与臭氧先后降解对降解率提高不大,不同的穿孔板在不同的条件下产生的水力空化都可以大大提高臭氧的降解效果,水力空化使臭氧能够基本全部利用,避免了臭氧的浪费,同时臭氧分解成的微小气泡也增强了水力空化效应。

**关键词:**声化学;穿孔板;臭氧;罗丹明 B

中图分类号:O426

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.08.009

## 0 引言

声化学的主动力是空化,而最终的、直接的转换目标是产生大量、强“活性”的空化气泡。因此,对于大流量的液体的处理,使用流体动力式空化发生器引起了众多声化学应用研究者的考虑。水力空化容易产生,空化的操作参数更容易实现控制,使用更加方便,效率更高;但是单独水力空化的降解效果也是有限的,通过与其他方法结合可以获得更好的降解效果<sup>[1-6]</sup>。臭氧长期以来就被认为是一种有效的氧化剂和消毒剂,并对有机染料具有较好的降解效果,但将臭氧通入反应器后,会有大量的臭氧立即逃逸出反应液,从而不能参与反应而造成大量的臭氧被浪费。环境中臭氧浓度过高还会对人造成一定的危害。将水力空化与臭氧联合,不但可以减少臭氧的使用量,避免臭氧浪费,而且获得更好的降解结果。本研究选用罗丹明 B(Rhodamine B)作为降解的物质,它又称玫瑰红 B,或碱性玫瑰精,俗称花粉红,是一种具有鲜桃红色的人工合成的染料。经老鼠试验发现,罗丹明 B 会引致皮下组织生肉瘤,被怀疑是致癌物质,因此降解水中的罗丹明 B 可以减少污染从而减少癌症发病率。

本研究采用相同穿孔面积,两种不同孔径和孔数的孔板,研究探讨水力空化、臭氧与水力空化联合

降解罗丹明 B 的效果,使得臭氧利用率达到最高。

## 1 实验部分

### 1.1 试剂

Rhodamine B,分析纯,分子式  $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$ ,分子量 479.02。实验中用蒸馏水配制罗丹明 B 质量浓度为 2 mg/L。

### 1.2 分析方法

本研究通过不同实验条件下的不同降解方式对罗丹明 B 的降解率来评测降解效果。通过测定罗丹明 B 反应前后的浓度来求得水力空化对罗丹明 B 的降解率。浓度测定采用紫外可见分光光度计,通过测量罗丹明 B 溶液的吸光度(Abs.)后由仪器自动计算其浓度,其原理是朗伯-比尔(Lambert-Beer)定律,物质在一定波长的吸光度与它的吸收介质的厚度和吸光物质的浓度成正比。

## 2 结果与讨论

本研究首先进行了单独臭氧降解实验,臭氧、水力空化依次降解实验;最后进行两种穿孔板在通入不同通气量臭氧时的联合降解实验,研究通入臭氧对降解效果的影响。

### 2.1 臭氧降解实验

在不同的臭氧通气量条件下,罗丹明 B 降解率随时间的变化关系如图 1 所示。

收稿日期:2012-04-23

作者简介:冯中营(1981-),男,山东临沂人,讲师,硕士。研究方向:声学。

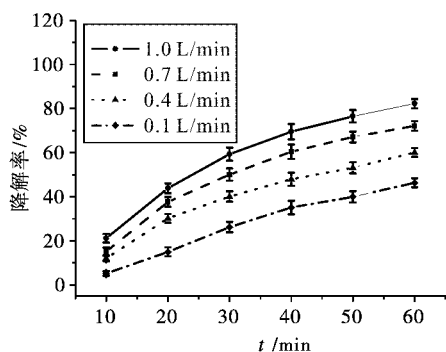


图1 降解率随时间的变化关系

Fig. 1 Effect of time on the degradation

臭氧单独作用时降解率随时间的延长而增加,随通气量的增加而增加.在通气量为 1 L/min 时,经过 10 min,罗丹明 B 的降解率为 21.17%,经过 20 min,罗丹明 B 的降解率就达 43.87%,经过 60 min,降解率可达 82.23%.

## 2.2 臭氧、水力空化降解实验

2 mm 孔径、孔数为 9 的穿孔板与通气量为 1 L/min 的臭氧联合,臭氧通入实验容器中,而不通入实验管道,此时可以认为臭氧先参与降解反应,然后水力空化参与降解反应,两者之间无联合协同作用关系.当穿孔板的进口压强为 0.2 MPa 时,罗丹明 B 降解率随时间的变化关系如图 2 所示.

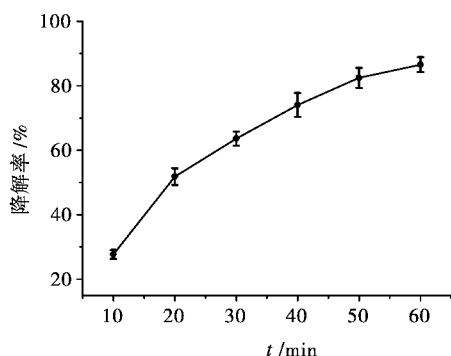


图2 降解率随时间的变化关系

Fig. 2 Effect of time on the degradation

随着时间的延长,罗丹明 B 的降解率增加,10 min 后,罗丹明 B 的降解率为 27.70%,经过 20 min,罗丹明 B 的降解率就达 51.81%,处理 60 min 时,降解率可达 86.55%.通过与前面的实验数据对比可以得出,用臭氧及水力空化降解罗丹明 B,其降解率仅比单独臭氧降解略有提高,其结果近似为单独臭氧降解与单独水力空化降解效果之和.

## 2.3 臭氧、水力空化联合降解罗丹明 B 的降解率随气体通气量的变化关系

a. 在孔径为 1 mm、孔数为 36 的穿孔板通入臭氧,在进口压强为 0.3 MPa 时,改变臭氧通气

量,罗丹明 B 降解率随臭氧通气量的变化关系如图 3 所示.

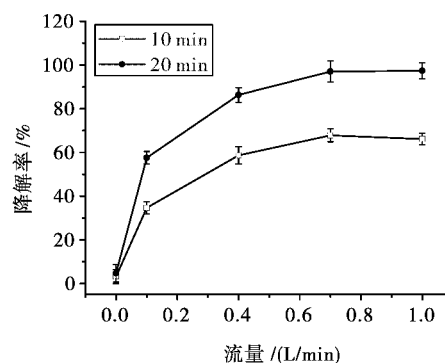


图3 降解率随臭氧流量的变化关系

Fig. 3 Effect of ozone flux on the degradation

图 3 表明,降解率随臭氧通气量的增大而增大,当通气量大于 0.7 L/min 后,由实验数据的变化趋势观察,通入过量的臭氧后降解率变化不明显.通入过多的气体还会抑制水力空化,所以存在一个最佳的臭氧通气量.

在 1 mm 孔径穿孔板,通气量都为 1 L/min 时的三种不同情况降解率列于表 1,对比看出:水力空化、臭氧联合作用大大提高罗丹明 B 的降解率.

表1 不同降解方式的降解率对比表

Table 1 Comparison table of degeneration rate of different degeneration methods

降解时间/ min	罗丹明 B 降解率/%		
	水力空化	臭氧	空化臭氧联合
10	2.83	21.17	66.17
20	5.52	43.87	97.40

b. 孔径为 2 mm、孔数为 9 的穿孔板与臭氧联合,在进口压强为 0.2 MPa 时,降解率随臭氧通气量的变化关系如图 4 所示.

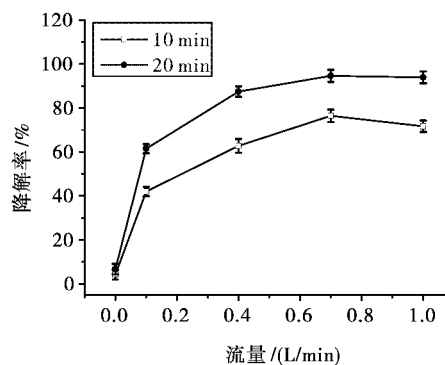


图4 降解率随臭氧流量的变化关系

Fig. 4 Effect of ozone flux on the degradation

由图 4 可知,降解率随臭氧通气量的增大而增大,通入过量的臭氧不仅不促进罗丹明的降解还会抑制水力空化的产生,最佳通气量为 0.7 L/min.

对于孔径为 2 mm 穿孔板,通气量为 1 L/min 时,三种不同情况降解率列于表 2,也表明了水力空化、臭氧联合作用大大提高罗丹明 B 的降解率.

表 2 不同降解方式的降解率对比表

Table 2 Comparison table of degeneration rate of different degeneration methods

降解时间/ min	罗丹明 B 降解率/%		
	水力空化	臭氧	空化臭氧联合
10	0.64	21.17	71.66
20	3.92	43.87	93.91

c. 换用不同的穿孔板在不同的条件下实验,结果见表 3,降解时间为 20 min,结果同样表明联合降解的效果非常好.

表 3 不同条件下联合降解率明细表

Table 3 Detailed list table of degeneration rate under the dissimilar condition

穿孔板参数		进口压强 /MPa	罗丹明 B 降 解率/%
孔径/mm	孔数/个		
1	36	0.2	96.30
1	36	0.3	97.40
1	36	0.4	96.80
2	9	0.2	93.91
2	9	0.3	94.45
2	9	0.4	92.60
3	1	0.2	93.50
3	1	0.3	94.00
3	1	0.4	93.00

在联合降解中无限增加臭氧通气量,造成臭氧的浪费.本实验中的通气量最佳值是根据实验结束后立即测得的数据而得出的,实践表明,臭氧通入量大于 1 L/min 时,反应溶液经过一段时间的静置后,降解率还会升高.

## 4 机理探讨

通入空气气体为水力空化提供了更多的空化气泡核,提高了水力空化效应;通气量过大,大量的气泡则会抑制水力空化的产生.

水力空化与臭氧联合,对罗丹明 B 的降解率大大提高,从降解的机理分析,水泵的机械作用将臭氧气泡粉碎成微气泡,极大地提高了臭氧的溶解速度,水中的罗丹明 B 受高浓度的臭氧作用迅

速被氧化降解;水力空化效应产生局域高温高压条件促使空化泡中  $O_3$  的直接快速的分解,在溶液中产生了更多的具有活性的  $HO \cdot$ .  $HO \cdot$  自由基氧化性极强,加速了罗丹明 B 的氧化降解;空化效应促使  $O_3$  分解产物由常温常压下氧化性弱的  $O_2$  转化成常温常压下氧化性强的  $H_2O_2$ ,使得罗丹明 B 降解的效果更好.

## 5 结 语

臭氧( $O_3$ )是一种强氧化气体,对罗丹明 B 有很好的降解作用,臭氧通气量越高,降解效果越好.

对于不同的穿孔板或者不同进口压强下的同一穿孔板,臭氧与水力空化联合后对罗丹明 B 的降解效果远高于单独臭氧的降解效果.臭氧与水力空化联合作为一种不会带来二次污染的水处理方式具有很好的应用前景,并为我国的声化学从实验室到实用化工作提供了一条思路<sup>[7-8]</sup>.

### 参考文献:

- [1] 刘东,余军霞,黄彪,等.  $TiO_2$  纳米管降解罗丹明 B [J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(1): 15-18.
- [2] 孙家寿,石眺霞,张蕾,等.  $Ti/Fe$  层柱累托石电催化降解硝基苯废水的研究[J]. 武汉工程大学学报, 2007, 29(3): 30-33.
- [3] Jyoti K K, Pandit A B. Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation [J]. Biochemical Engineering Journal, 2001 (7): 201-212.
- [4] Sivakumar M, Pandit A B. Water treatment: a novel energy efficient hydro- dynamic cavitation technique [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2002(9): 123-131.
- [5] 魏群,高孟理,学三祥,等. 水力空化降解若丹明 B 的实验研究[J]. 兰州理工大学学报, 2005, 31(4): 75-78.
- [6] Testud P, Moussou P, Hirschberg A, et al. Noise generated by cavitating single-hole and multi-hole orifices in a water pipe [J]. Journal of Fluids and Structures, 2007, 23: 163-189.
- [7] 应崇福. 我国的声化学应尽快大力开展实用化工作 [J]. 应用声学, 2005, 24(5): 265-268.
- [8] 应崇福. 液体中的声处理应用和声空化工程[J]. 应用声学, 2005, 25(5): 261-264.

(下转第 66 页)