

电流体直流放电降解水中硝基苯的研究

李劲, 叶齐政, 郭香会, 齐军(华中科技大学环境科学与工程系, 武汉 430074)

摘要: 电流体(Electrohydrodynamic)直流放电降解水中硝基苯, 电压为 40 kV, 一次降解率在 50% 左右, 二次总降解率为 80%。生成物中含丙酮, 说明苯环已经开环。实验研究了降解率与电压极性、溶液流量、溶液浓度的关系, 结果表明存在相应的最优值。为高压放电降解有机废水提供了一条新的途径。

关键词: 电流体放电; 降解; 硝基苯

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)05-03-0099

Degradation of Nitrobenzene in Water by Electrohydrodynamic DC Discharge

Li Jin, Ye Qizheng, Guo Xianghui, Qi Jun(Department of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this paper, the experimental results with respect to the degradation of nitrobenzene in water using electrohydrodynamic DC discharge were presented. The DC voltage was 40 kV, the degradation efficiency in the first discharge process reached 50%, the total degradation efficiency in the second discharge process reached 80%. The products contained acetone. At the same time, the degradation efficiency variation with the voltage polarity, flux, and concentration were studied. These studies will be helpful to the treatment of organic wastewater.

Key words: electrohydrodynamic discharge; degradation; nitrobenzene

非平衡等离子体技术在环境保护领域中的应用日益受到重视。电子束技术、电水锤技术、气液混合体脉冲电晕技术都展现了良好的应用前景; 目前存在的主要问题是成本与降解率如何协调。

本文在笔者过去的研究基础上^[1,2], 针对气液混合体放电提出一种全新的技术方案: 利用电流体(Electrohydrodynamic, EHD)直流放电降解水中硝基苯。电流体技术在静电喷雾中取得了成功的应用(农药喷射、漆料喷涂等), 放电是其副产物, 前期的工作观测到滴流起晕场强要低于雾化场强及相应阵列电极的放电^[3]。国外也有线流放电观测的研究^[4,5], 但未见用于水处理的研究。本方案在利用电流体雾化液体的同时, 有意识地加强放电过程, 扩大处理区域。由于液体的雾化与处理同时进行, 降低了气液混合体放电水处理技术的成本。

1 实验装置与实验方法

1.1 实验装置

实验装置如图 1。外加电源为直流电源。溶液通过针电极流出, 由于电场力的作用溶液发生雾化, 在这同时会产生直流电晕放电。

1.2 实验方法

硝基苯溶液先由无水乙醇加硝基苯配制, 再加水稀释到合适的浓度。处理前后的硝基苯浓度采用偶氮还原分光光度法测量。为扣除装置对硝基苯吸附的影响, 降解率的计算采用如下方法: 设原液浓度为 c , 加电处理后的溶液浓度为 c_2 , 不加电同样浓度、流速、同等量的溶液流过处理装置后的浓度为 c_1 , 一次降解率为:

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59877005)

作者简介: 李劲(1939~)男, 教授, 主要从事高电压新技术和环境工程的教学与研究。

收稿日期: 2000-11-24

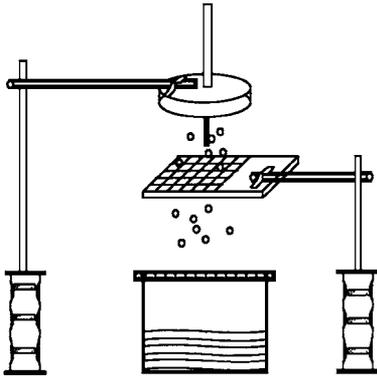


图 1 实验装置

Fig.1 Experimental equipment

$$M_1 = \{(c - c_1) - (c - c_2)\} / c = (c_2 - c_1) / c$$

将处理后溶液(浓度为 c_1)分为同等量 2 份,1 份加同样电压再处理一次,测得浓度 c_4 ; 另 1 份不加电同样浓度、流速、同等量的溶液流过处理装置,测得浓度为 c_3 ,二次降解率为:

$$M_2 = (c_3 - c_4) / c_1$$

总降解率为:

$$M = 1 - (1 - M_1)(1 - M_2)$$

生成物采用气相色谱-质谱联用测量.

2 生成物与降解率

将 200 ml,浓度为 50 mg/L,流速为 0.1 mg/s 的硝基苯水溶液流过放电装置(电压 ~ 40kV)1 次,降解率 M_1 已达 50%,生成物已含有丙酮 7%,乙醇 93%.将处理过的溶液再流过放电装置 1 次,总降解率 M 达 80%,丙酮含量进一步增大 32%,乙醇含量为 66%.图 2 为 2 次处理的色谱图.虽然乙醇在处理过程中可能挥发一部分,但这个数值也说明主要生成物是丙酮,苯环已经开环.

3 降解率与其它参量的关系

3.1 降解率(M_1)与电压极性的关系

由于直流电晕的形态和范围与电压极性有关,因此电压极性会影响降解率.图 3 为降解率与极性的关系.图 3 表明,对正极性而言,在较

低电压下,随着电压的增加降解率增加,超过一定电压时(35kV),降解率会随着电压的增加而降低,实验过程中发现电压超过 35kV 开始出现火花放电,以后逐渐加强,42kV 时出现连续的火花放电.对负极性而言,在较低电压下,降解率低于正极性,但在上述电压范围内,降解率一直是增加的趋势,在较高电压时降解率超过正极性,实验过程中也没有观测到火花放电.

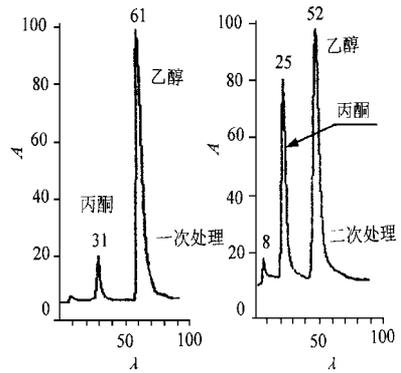


图 2 1 次处理和 2 次处理色谱图

Fig.2 Chromatographic pattern

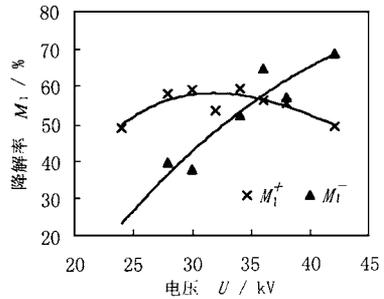


图 3 降解率与极性的关系

Fig.3 Dependence of degrading efficiency on voltage

上述现象的出现是因为正极性电晕放电比负极性电晕放电的范围要大,因而在较低电压时,正极性放电的降解率要高一些,但随着电压的增加先于负极性发生击穿(火花放电).由于火花放电的通道非常狭窄,能量都消耗在通道上,因而用于处理溶液的能量反而下降,所以降解率在正极性高电压下呈现下降的趋势.在上述电压范围内负极性没有出现火花放电,因而

降解率随着电压的增加而加大.以下的实验针对负极性进行.

3.2 降解率(M_1)与溶液浓度(c)的关系

同样电压、流速情况下,溶液的浓度也会影响降解率,图 4 表明,随着浓度的增加,降解率增加,超过一定值时,随着浓度的增加,降解率反而下降但较为平缓,电流呈现相反的趋势(整体较为平缓).上述现象说明一定电压下,随着浓度的增加,处理更为充分,但浓度过高,由于溶液介电常数和导电率的变化,可能会限制放电,降解率会有所下降,处理反而并不充分,关于此问题需作进一步的研究.至于电流,主要由没有参与反应的电子构成,因而当降解率最高时,电流反而最小.

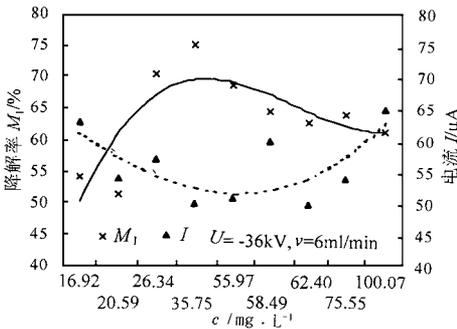


图 4 降解率与浓度的关系

Fig. 4 Dependence of degrading efficiency on concentration

3.3 降解率(M_1)与溶液流量(v)的关系

同样电压、浓度情况下,流量也会影响降解率.图 5 表明随着流量的增加降解率增加,超过一定范围降解率反而急速下降.其原因是多余的硝基苯得不到充分的处理,另外,太高的流量雾化并不充分,溶液水合了起晕形成的电子,电子一方面减少,另一方面也没有得到充分的加速,能量也就不大,因而降解率出现明显的下降.至于电流的增加是因为当流量较大时携带电荷的溶液更多地流向板电极,而不象较小流量时携带电荷的溶液因雾化有一部分飞向其它地方.

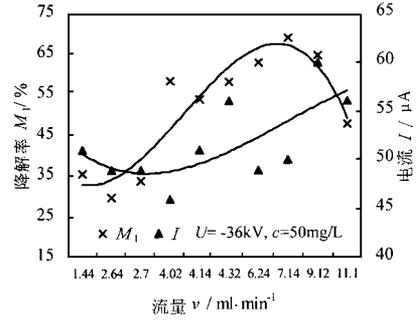


图 5 降解率与流量的关系

Fig. 5 Dependence of degrading efficiency on fluxes

4 结论

利用电流体放电降解硝基苯可以同时完成溶液的雾化与处理,一次处理降解率可达 50% 左右,降解生成物为丙酮,说明苯环已经开环.由于正极性时存在易于火花放电问题,在极性为负时可以获得较高的降解率.降解率与溶液浓度、流量都有关系,存在一个最优值.上述现象是符合电晕放电已有的一些规律.降解率最高时,电流最小,也就是说功耗最小,关于这个问题有必要从硝基苯和丙酮的结构和导电性方面进行进一步的研究.在整个反应中气相生成物也需要进行研究.进一步的工作还包括优化这些条件,并进行电流体阵列的放电研究,以期获得更大流量的处理.由于脉冲放电可以获得更高能量的电子,因而可以预期脉冲放电的效果会更好.

参考文献:

- 1 李劲,王泽文,高秋华等.放电等离子体水处理技术中的放电问题.高电压技术,1997,23(2):7~12.
- 2 李胜利,李劲等.脉冲电晕放电对印染废水脱色效果的实验研究.环境科学,1996,17(1):13~15.
- 3 叶齐政,李劲等.EHD 喷雾放电现象研究.高压电器,2000,36(5):13~16.
- 4 Asano K, Yatsuzuka K. Rotational motion of water ligament drawn by electrostatic force. Journal of Electrostatics, 1999, 46:69~77.
- 5 Jaworek A, Krupa A. Studies of the corona discharge in EHD spraying. Journal of Electrostatics, 1997, 40/41:173~178.