

文章编号:1001-1609(2003)01-0019-03

EHD气液混合两相体电晕特性的研究

叶齐政, 万辉, 李劲, 何正浩

(华中科技大学环境工程系, 湖北 武汉 430074)

STUDY OF THE CORONA CHARACTERISTICS OF GAS-LIQUID TWO-PHASE MIXTURE IN EHD

YE Qi-zheng, WAN Hui, LI Jin, HE Zheng-hao

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

摘要: 试验研究了氮气和氧气分别与水组成的气液混合两相体在 EHD 放电中的电晕特性,研究了气体、液体流量对放电电流、发射光谱及电晕形状的影响。由于氮气参与的放电能够产生更多的紫外线和自由基,氧气参与的放电可以产生臭氧,因而氮气和氧气混合气体参与的放电可能比单纯含氧更有利于处理有机废水。

关键词: 氧气; 氮气; 水; 电流体动力学放电

中图分类号: TM213 **文献标识码:** A

Abstract: An experimental study was carried out to investigate the effect of magnitude of O_2 , N_2 and water flow rate on discharge current, emission spectrum, and corona shape of EHD discharge. Because of more ultraviolet radiation and more free radicals produced in N_2 , and ozone produced in O_2 , the gas-liquid two-phase mixture discharge containing N_2 and O_2 may be more powerful than that containing only O_2 in waste-water treatment.

Key words: O_2 ; N_2 ; water; electrohydrodynamic(EHD) discharge

1 引言

电流体动力学现象在静电喷涂、换热、超细粉末制备等方面有广泛的应用,其中的放电现象一般认为对喷雾有不稳定的影响,过去研究得较少,也没有加以利用^[1]。最近,笔者提出利用电流体动力学中的放电过程降解有机废水的新方法,并在降解硝基苯废水方面取得成功^[2]。为了进一步提高降解效果,强化其中的放电过程,有必要加进供气装置,由此带来加何种气体,以及流量多大的问题;同时在这种混合两相体中,由于放电处于一个刻意加强的地位,其电晕特性也是一个新的研究内容。过去关于气体流量对放电影响的研究主要集中在电弧技术和静电除尘中^[3,4],而关于 EHD 中混合两相体对放电影响的研究

未见报道。前期的工作观测到该种装置滴流起晕场强低于雾化场强^[5]。为了了解气体、液体成分和流量对放电的影响,笔者试验研究了氮气和氧气分别与水组成的混合两相体在 EHD 直流放电中的电晕特性及气体、液体流量对放电电流、发射光谱和电晕形状的影响。

2 试验装置

试验装置见图 1。放电装置为尖对板系统,尖板间隙为 7 cm,其中高压极采用空心不锈钢管,一端接注射器针头,蒸馏水经另一端通过重力流入。不锈钢管置于一空心有机玻璃管中,气体经由有机玻璃管和钢管的间隙从针尖周围流出。蒸馏水在电场作用下喷雾,形成气液混合两相体 EHD 放电。接地极为铝制圆盘,并钻有导流孔,有利于水的排出。整个放电装置置于一个大的有机玻璃筒中。气量控制采用转子流量计,液体流量通过不加电时对单位时间内的液滴数计量得到。电流通过示波器测量 100 M Ω 电阻两端的电压得到。放电图形的拍摄采用弱光紫外成像仪经计算机采样得到,采样间隔时间为 1/25 s。

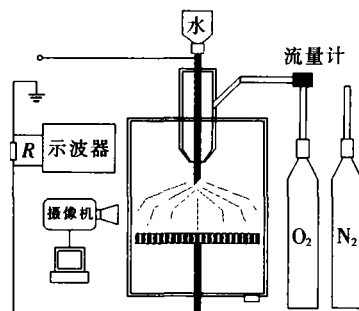


图1 试验装置

3 电晕电流

电流主要有水滴携带和电晕放电产生的电子、

收稿日期:2002-10-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59877005)

离子构成。水滴携带与电晕极相同极性的电荷(冲激电流)。总电流为:

$$I = \rho_1 b_1 E + \rho_+ (b_+ E \pm v) + \rho_- (b_- E \mp v) + \rho_e b_e E$$

其中: ρ_1 为水滴携带电荷密度, b_1 为水滴迁移率, ρ_+ 为正离子的密度, v 为离子迁移率, v 为气体流动速度, ρ_e 为电子密度, b_e 为电子迁移率, E 为局部电场强度。图 2 表示在不同液体流量下气体流量(Q)-电流的特性曲线, 可以得出以下结论。

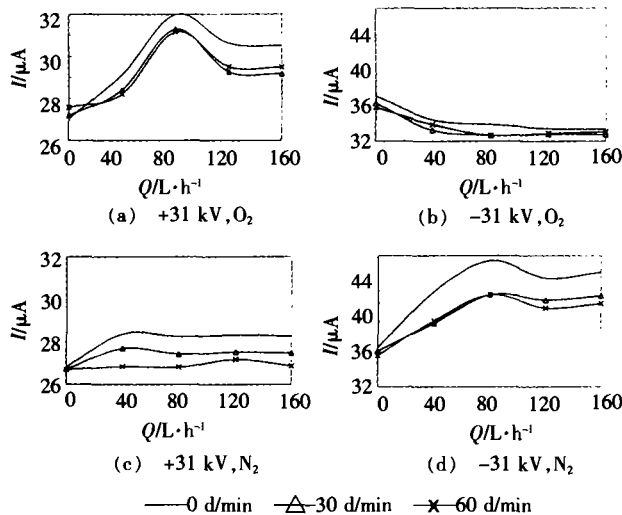


图 2 气体流量—电流特性曲线

(1) 水滴的影响

较无水时的总电流, 有水时, 水滴有降低总电流的作用, 但液体流量的大小对电流的影响无明显的区别。这是因为雾化后的水滴有畸变电场的作用, 液体流量较小时, 雾状水滴减弱针尖附近电场; 流量较大时有延长电极的效果。雾状水滴的另一个作用是因电子撞击水滴吸附电子, 这种吸附作用对电流的影响较大, 即减弱 ρ_e ; 液体流量越大, 这种吸附作用越大。实际上这种电子撞击作用可以产生羟基等自由基, 具有极强的氧化性, 在有机废水的处理中有重要意义。

在氮气中, 液体降低电流的作用明显比氧气中要强, 在氮气中有可能产生了更多的自由基。

(2) 气体流量的影响

气体流量对电流有明显影响。图 2 中 (a), (c) 表明, 在正极性电晕放电中, 随着氧气或氮气流量的增加, 电流增加, 继续增加气体流量, 电流开始下降或保持不变。图 2(d) 表明, 在负极性电晕放电中, 随着氮气流量的增加, 气体放电有所增强, 继续增加气体流量, 放电减弱, 这和有关气体放电的结论一致^[3,4]。显然从气体流量考虑, 合适的流量会产生相当强的放电。实际

上, 过大的气体流量对水处理的工业应用也不经济。

(3) 气体成分的影响

氮气的电离能 (15.6 eV) 高于氧气的电离能 (12.5 eV), 并不容易产生电离, 这表现为正极性氧气放电中, 电流明显大于氮气放电的电流。

在负极性电晕放电中, 随着氧气流量的增加, 电流降低, 继续增加氧气流量, 电流不再下降, 基本保持不变, 见图 2(b)。这是因为氧气是负电性气体, 在负极性放电中, 电子更容易附着在气体分子上, 形成负离子, 即减弱 ρ_e ; 同时负离子和正离子的结合也会产生比正极性时更多的臭氧(一般认为负极性电晕产生的臭氧浓度高于正极性产生的, 但较高的流量也会降低臭氧的产率), 因而减少离子总量 ρ_+ , ρ_- , 也会减弱电流。氮气放电中不会有负离子存在, 因而在负极性放电中其规律明显与氧气不同。

4 放电光谱及电晕形状

4.1 光谱

对有机废水的处理, 紫外照射的作用, 特别是和臭氧共同作用时有重要意义。为此, 通过紫外成像仪换用不同滤波片初步检测了光谱分布, 结果见表 1。

表 1 混合两相体直流电晕放电光谱分布

nm		214	254	340	365	380
N ₂	N ₂ +水			较强	较强	较强
	N ₂	较强	较弱	最强	较强	较强
O ₂	O ₂ +水			微弱		
	O ₂			微弱		
nm		400	420	440	480	600
N ₂	N ₂ +水	微弱			较弱	
	N ₂	较弱			较弱	
O ₂	O ₂ +水					
	O ₂					

显然氮气放电产生大量的紫外线, 其参与的混合两相放电, 在 214, 254, 340 nm 处水滴有明显的吸收作用, 而羟基自由基的发射光谱为 309 nm, 因而可以判断氮气参与的放电为产生羟基自由基提供了很好的条件。国外利用更精密的仪器在水中脉冲放电区域观测到羟基自由基的发射光谱^[6]。

氧气放电不在紫外区域产生发射光谱, 而在 800 nm 附近。表 1 中, 在 340 nm 处出现的微弱光强可能是受氧气的纯度和试验装置不是封闭而带来的空气的影响。

4.2 正极性电晕形状

由于负极性电晕形状一般较小, 不易区分变化, 这里只列出正极性放电时的全光谱电晕照片, 见图 3。无水时, 在静止的气体(氧气或氮气)中是一般

的小膜状圆形电晕;流动的氧气和氮气将会形成刷状电晕,其中氮气的刷状电晕强于氧气,形成大范围的刷状电晕,这和光谱分析是一致的;有水时,在静止的气体(氧气或氮气)中是一般的膜状有小尖电晕;流动的氧气刷状电晕没有明显改变,但流动的氮气将会较大改变放电形态,又再次形成膜状有小尖电晕(比静止的气体中的膜状电晕要大要强),显然在氮气放电中水分子吸收了较多的紫外线,这和前面电流分析和光谱分析是一致的。

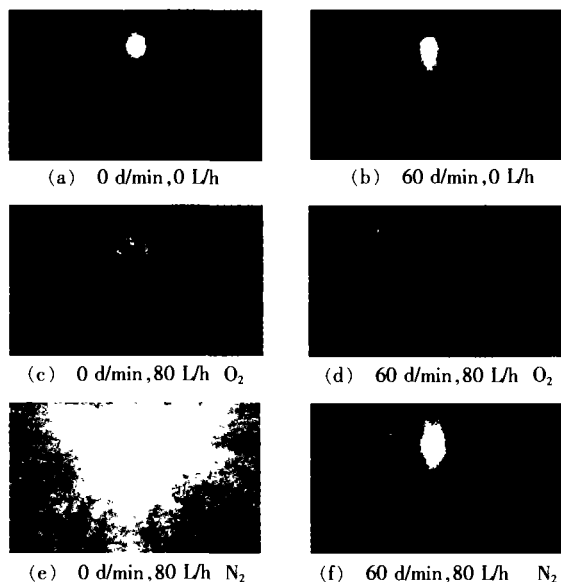


图3 正极性下电晕形状

5 讨论

从前面的试验结果可以看出,氧气参与的两相

放电虽然可以产生臭氧,但其发射光谱(800 nm附近)不在紫外区域;氮气参与放电时既产生紫外线(340 nm附近),也可能产生更多自由基;而臭氧和紫外线的合成作用可以产生更多的羟基自由基,它是活性最强的氧化剂,几乎可以氧化一切有机物。所以对废水处理比单纯使用臭氧要好。在氧气中添加适当的氮气可能效果更好,换句话说,使用空气,效果可能要好于单纯使用氧气(有文献报道使用电水锤技术,通入空气和氧气对降解苯乙酮效果一样^[7])。这对水处理降低成本是有利的。另外,气体流量控制在合适的范围内,即经济,又能提高放电强度。

参考文献:

- [1] Jaworek, A Krupa. Studies of the Corona Discharge in EHD Spraying[J]. Journal of Electrostatics, 1997, 40/41: 173-178.
- [2] 李劲, 叶齐政, 郭香会, 等. 电流体直流放电降解水中硝基苯的研究[J]. 环境科学, 2001(5): 99-101.
- [3] J S Chang, I Maezono. The Effects of Electrohydrodynamic Flow on a Corona Torch[J]. Journal of Electrostatics, 1989, 23: 323-330.
- [4] A Yehia, A Mizuno, K T Takashina. Corona Characteristics as Influenced by Magnitude and Direction of the Air Flow Rate in Wire-duct Reactor[A]. Industry Application Conference[C]. Conference Record of IEEE, 2000(2): 714-718.
- [5] 叶齐政, 齐军, 顾温国, 等. EHD喷雾放电现象研究[J]. 高压电器, 2000, 36(5): 13-16.
- [6] B Sun, M Sato, A Harano, J S Clements. Non-uniform Pulse Discharge-induced Radical Production in Distilled Water [J]. Journal of Electrostatics, 1998, 43: 115-126.
- [7] 文岳中, 姜玄珍, 吴墨. 高压脉冲放电降解水中苯乙酮的研究[J]. 中国环境科学, 1995, 19(5): 406-409.

作者简介:叶齐政(1965-),男,博士,副教授,从事电工与环境工程的教学与研究。

(上接第18页)

由于励磁涌流幅值最高的情况都发生在变压器存在剩磁时,而此时断路器合闸电阻对励磁涌流的削弱作用也最大,故在取消合闸电阻时,要结合实际,充分考虑到对变压器励磁涌流的影响。

4 结论

通过对断路器合闸电阻和励磁涌流之间的理论分析及大量的仿真计算,得出以下结论:①断路器合闸电阻对励磁涌流有明显的削弱作用,这种削弱作用随合闸电阻增大而增加。②在取消断路器合闸电阻时,不要仅仅考虑合闸电阻对操作过电压的影响,还要结合变电所实际情况,充分考虑到断路器合闸

电阻对变压器励磁涌流的影响。

参考文献:

- [1] 施围. 电力系统过电压[M]. 西安:西安交通大学出版社,1988.
- [2] 王维俭, 侯炳鑫. 大型机组继电保护基础[M]. 北京:水利电力出版社, 1988.
- [3] John H Brunks, Klaus J Frohlich. Elimination of Transformer Inrush Currents by Controlled Switching [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2001, 16(2): 281-285.

作者简介:李 琥(1979-),男,硕士生,研究方向为变压器励磁涌流的仿真分析。