

# Partial Electricity Parameters of Simply Dielectric Barrier Discharge Equipment at Atmospheric Pressure

Xiaoliang TANG<sup>1,2,3</sup>, Baotong CHEN<sup>1</sup>, Manli CHENG<sup>4,5</sup>, Gao QIU<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> College of Science, Donghua University, Shanghai 201620, China

<sup>2</sup> National Engineering Research Centre for Dyeing and Finishing of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China

<sup>3</sup> College of Material Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China

<sup>4</sup> College of Chemistry, Chemical Engineering and Bio-technology, Donghua University, Shanghai 201620, China

<sup>5</sup> Jiangsu Tangwear Industrial Co., Ltd, Nantong 226007, China

Email: xltang@dhu.edu.cn

**Abstract:** The relationships among those electricity parameters, such as discharge voltage and discharge power measured by Lissajous figure of the oscilloscope, were analyzed by using simply dielectric barrier discharge (DBD) equipment. The experimental results indicate that discharge gap and the rate of flow all have influence on these electricity parameters. The result is of great importance to dielectric barrier discharge at atmospheric pressure and its application to surface modification of materials.

**Keywords:** dielectric barrier discharge; plasma diagnostics; electricity parameters

## 常压介质阻挡放电简易装置部分电学参量研究

唐晓亮<sup>1,2,3</sup>, 陈宝同<sup>1</sup>, 程曼丽<sup>4,5</sup>, 邱高<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> 东华大学 理学院, 上海, 中国, 201620

<sup>2</sup> 国家染整工程技术研究中心 东华大学, 上海, 中国, 201620

<sup>3</sup> 东华大学 材料科学与工程学院, 上海, 中国, 201620

<sup>4</sup> 东华大学 化学化工与生物工程学院, 上海, 中国, 201620

<sup>5</sup> 江苏唐工纺有限公司, 南通, 中国, 226007

Email: xltang@dhu.edu.cn

**摘要:** 用自制简易常压介质阻挡放电装置, 采用示波器李萨如图形测量放电功率, 分析了常压等离子体放电的极板充电电压和放电功率等电学参量之间的变化关系, 研究表明: 放电间隙和流量均会影响这些电学参量。相应的工作对于材料表面改性研究具有重要意义。

**关键词:** 介质阻挡放电 等离子体诊断 电学参量

### 1. 引言

两个平行的平面电极间至少存在一个独立的介质层, 并施加交流电压的介质阻挡放电的优点是可在大气压气体中产生非平衡态等离子, 比真空条件下的方法经济且适于工业化生产, 现已广泛用于工业臭氧发生器、聚合物表面改性、等离子体化学气相沉积、污染控制、CO<sub>2</sub> 激光、准分子灯和大屏幕平面等离子体彩电等方面<sup>[1-6]</sup>, 用等离子体进行材料改性的研究最近亦取得可喜成果。介质阻挡放电电压和电流、放电功率、放电间隙、气体成分和流量等是该研究领域的重

要参量, 在放电过程中它们相互作用, 共同影响着放电的产生、效果、等离子体的性质和强度, 对等离子体反应的方向和速度以及生成物的性质有决定性的作用。

常压介质阻挡放电装置通常未加控制, 容易产生不稳定的局部丝状放电, 导致局部电流过大、极板温度过高, 对于一些耐热性较差的材料, 如羊毛织物和丙纶织物, 在处理过程中很容易受热焦化或穿孔。

### 2. 实验装置

自行设计大气压平板型介质阻挡放电等离子体简易装置(图 1), 两个被绝缘介质所覆盖的矩形铜电极(4.1cm×1.3cm)上下平行正对放置, 高压正弦交流

**资助信息:** 国家染整工程技术研究中心开放基金项目(RZ0702); 中央高校基本科研业务费专项资金(DHU10-A09-3)资助。

电加在两极间，频率调节范围 1 ~ 20 kHz，气体经流量计均匀导入放电间隙，用聚四氟乙烯垫圈材料将介质周围封闭，并预留进气口和出气口。当输入电压超过击穿电压时，气体被击穿而生成介质阻挡放电等离子体。放电室置于透明塑料罩内，用 1000: 1 的高压探头和 Tektronics TDS2000 示波器对介质阻挡放电功率等电学参量（图 2）。

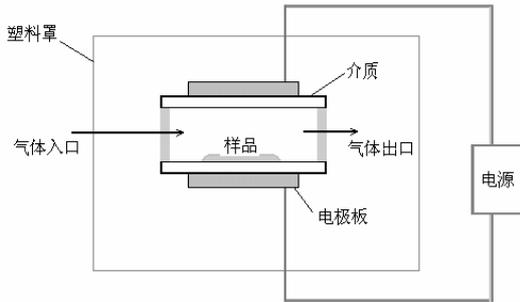


Figure 1. Simply equipment of DBD at atmospheric pressure

图 1. 常压介质阻挡放电简易装置

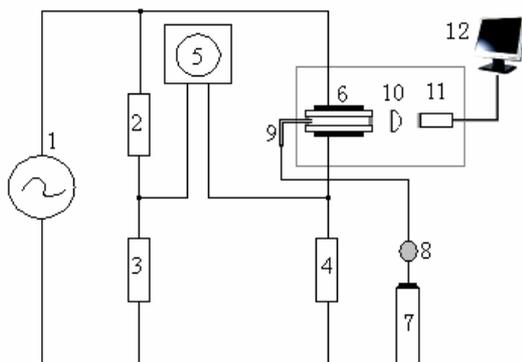


Figure 2. Experimental arrangement of diagnostics of DBD

图 2. 介质阻挡放电等离子体诊断装置图

1. 电源; 2, 3. 电阻( $R_2/R_3=1000$ ); 4. 采样电阻( $R=100\Omega$ ); 5. 数字示波器; 6. 平行电极; 7. 气瓶; 8. 流量计; 9. 进气管; 10. 透镜; 11. 光纤; 12. 电脑

### 3. 实验结果与讨论

#### 3.1 等离子体放电形貌

开始放电时，首先产生黯淡的紫色辉光等离子体，和低气压下放电是一样的，等离子体充满整个电极之间的区域，这个过程就是正常辉光放电。随着放电功率进一步增加，辉光放电从暗紫色变为明亮的白色，整体放电很均匀。图 3a 和 b 分别是该装置在空气和氩气气氛（氩气流量 1 l/min）中的放电形貌图。明显可以看到空气等离子体存在微放电丝，氩气等离子体则为均匀、弥散、稳定、明亮、无明显的丝状放电。



Figure 3. Photograph of DBD at atmospheric pressure

图 3. 常压介质阻挡放电形貌图 (a)空气放电; (b)氩气放电

#### 3.2 电压电流波形

通常认为，可从电压—电流曲线和 Lissajous 图来判断放电是辉光放电、还是丝状放电。图 4 分别是上述实验装置在空气气氛和氩气气氛中的放电电压—电流波形图，图中位于上方的是电压波形，下方为电流波形。当放电为“丝状”时（图 4a），电压—电流波形显示为每半个周期放电电流为不规则的若干放电峰，每个脉冲宽度为几十纳秒。当每个半周期内仅有一个电流脉冲，并且脉冲宽度大于微秒，则放电属于大气压辉光放电（图 4b）。图 4c、d 的电压—电流波形特征是在每半个周期内有数个持续时间长，约微秒级的放电峰，而且放电峰在数个周期内准确地出现在相同位置，重复性好。

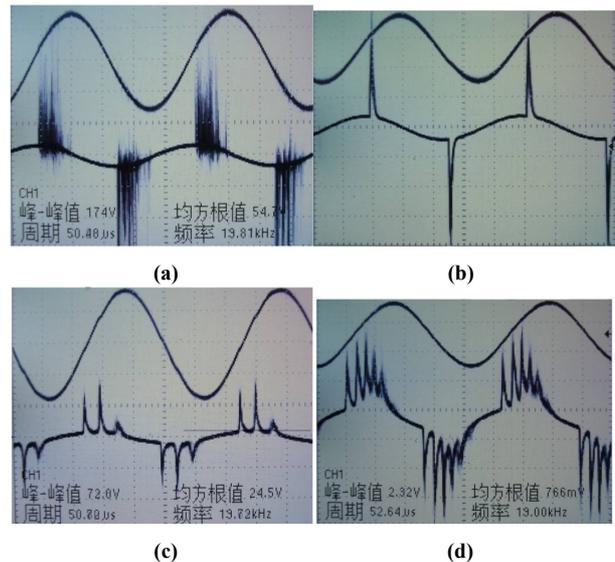


Figure 4. The relationship between discharge voltage and current

图 4. 放电电压—电流图 (a)空气气氛放电; (b)(c)(d)氩气气氛放电

#### 3.3 等离子体放电功率的测量结果

使用厚度 1 mm 的石英玻璃片作为阻挡介质，固定放电间距为 1 mm，氩气流量 1 l/min，分别在敞开式环境（图 5a）和半封闭式环境（图 5b 和 c）中测量了放电功率和放电电压的关系。放电功率通过示波器李萨如图形测量。

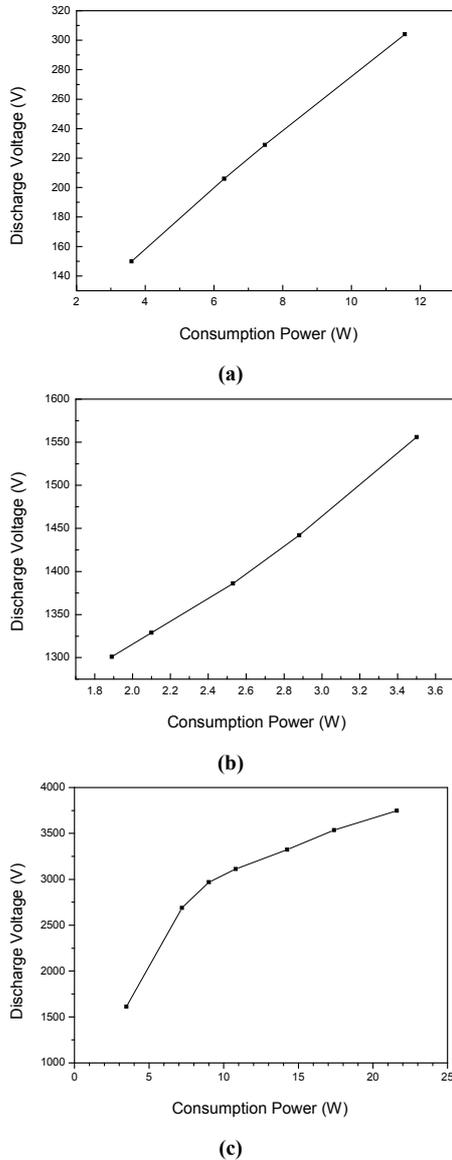


Figure 5. The relationship between discharge power and voltage (discharge gap  $d=1\text{mm}$ )

图 5. 放电功率—电压图(放电间隙  $d=1\text{mm}$ )

比较图 5a、b 可知，在相同功率下，敞开式环境放电电压远小于半封闭式环境的放电电压，根据功率与电压、电流关系，半封闭式环境的有效放电电流将远大于敞开式环境放电电流，从节约成本、提高产能效率的角度考虑，选择静态半封闭式放电装置优于敞开式放电装置。由于氩气气流不断被导入覆盖电极的两介质间，使得放电间隙与周围环境间产生了气体浓度梯度变化，同时氩气的导入形成了一定的气流，于是在放电空间中存在放电气体和环境气体的交换和流动。半封闭环境中气体的混合交换速率比敞开式环境

的交换速率慢，放电间隙中氩气的含量可以在相对长时间中维持在较高的浓度水平，使得相同间隙下的放电更易产生。

考虑放电间隙中氩气浓度对放电电学参量的影响，设计在半封闭的环境中对气流进行引导的实验方式，其实验结果见图 5b、c。两者区别在于(b)实验中没有启用抽气装置，(c)实验中在放电开始前先用气泵抽气（抽气电压为 24V）20 分钟，然后控制气泵电压 5V，充氩气放电。实验中使用德国 THOMAS D-82178 型无油式微型真空泵，其额定电压 24V，真空度 400—450mmHg。实验发现，在相同功率下，静态和动态的半封闭环境中实际放电电压的差异不大。但是，静态的半封闭环境中等离子体放电产生的热量不易导出，在放电功率较高的条件下，放电空间热量的积聚使得电极变热，从而易使辉光放电向“丝状”放电转化，甚至产生放电间隙外的“爬丝”现象；而动态的半封闭环境条件由于其气流导流性优于静态环境可以极大条件下减少和避免辉光放电向“丝状”放电的转变，保证了放电状态的延续性和稳定性，在放电功率较高时也不易向“丝状”放电转化，可以保证放电状态的稳定性，在用于材料表面改性时，可以保证改性效果的一致性和均匀性。

实验中分别增大放电间隙到 2mm 和 2.8mm，并对这两种情形下的放电状态的电学参量与放电间隙环境封闭性的关系进行了讨论。

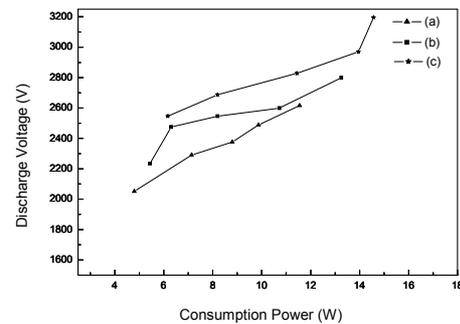


Figure 6. The relationship between discharge power and voltage (discharge gap  $d=2\text{mm}$ )

图 6. 放电功率—电压图(放电间隙  $d=2\text{mm}$ )

图 6 中图线实验条件分别为(a)静态半封闭；(b)半封闭环境且采用抽气泵电压 2V；(c)半封闭环境，在放电开始前先用气泵抽气 20 分钟（气泵电压 24V），然后控制气泵电压 5V，充氩气放电。在相同放电功率下，静态和动态的半封闭式环境中实际放电电压差异

性大于介质间距 1mm 时两者的差异度。当放电空间的气体流动性越小时，相同放电功率下，实际放电电压越小；而放电空间内气体流动性的提高，则可以在保证氩气浓度的同时，又可带走放电时产生的热量，减少甚至避免电极过热而产生“丝状”放电情况的出现。

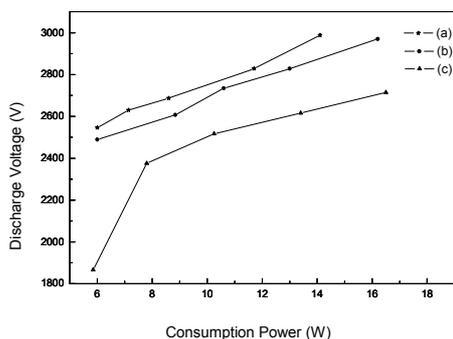


Figure 7. The relationship between discharge power and voltage (discharge gap  $d=2.8\text{mm}$ )

图 7. 放电功率—电压图(放电间隙  $d=2.8\text{mm}$ )

图 7 是放电间隙 2.8mm 时的实验结果，其中(a)抽气泵电压 2V；(b)实验中在放电开始前先用气泵抽气（气泵电压 24V）20 分钟，然后控制气泵电压 5V，充氩气放电；(c)抽气泵电压 10V。比较图 5 和图 7 可知，放电间隙增大，半封闭环境中气流交换的速率对放电状态的影响越显著。增大放电间隙，放电空间体积增大，要维持放电气体浓度相对稳定性，则气体流出的速度减小，气体交换的速率也减小。

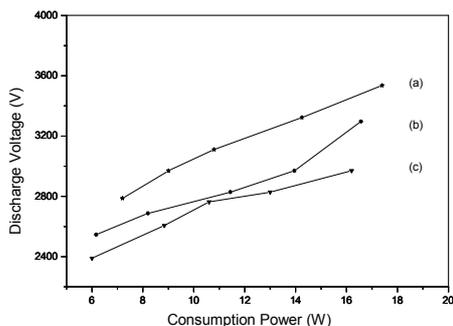


Figure 8. The relationship between discharge power and voltage with different discharge gap

图 8. 不同放电间隙的放电功率—电压图  
(a)  $d=1\text{mm}$ ; (b)  $d=2\text{mm}$ ; (c)  $d=2.8\text{mm}$

与前述实验相同，使用厚度 1mm 的石英玻璃片作为阻挡介质，介质四周用聚四氟乙烯垫圈材料封闭，预留进气口和出气口。为维持放电间隙内惰性气体的浓度，在放电开始前先用气泵抽气 20 分钟（抽气泵电压 24V），然后控制抽气泵电压 5V，充入流量为 1 l/min 氩气，提高两极间电压至大于击穿电压产生放电等离子体。图 9 是在上述实验条件测得的放电功率与放电电压的关系趋势图。由图中曲线可以看出，随着放电功率的增大，放电电压不断增大；在相同放电功率下，随着放电间隙增大，其放电电压不断减小。

#### 4. 结束语

常压介质阻挡放电等离子体已被广泛用于材料表面改性研究上，其优点在于它对材料表面处理属于干式工艺，不会因产生“三废”污染环境，与电子束、放射线处理等干式工艺相比，其表面处理的作用仅涉及表面极薄层，一般离表面几十 ~ 数百埃，能显著改善界面性质而不影响材料本体。研究表明，本简易装置放电间隙 1.0~2.8mm 时，可产生准辉光放电以利于材料表面改性处理。增大氩气的空间浓度有利于均匀放电的产生，选择合适的放电间隙将有助于改善材料表面性能。

#### References (参考文献)

- [1] U. Kogelschatz. Filamentary, patterned, and diffuse barrier discharge[J]. IEEE Trans. Plasma Sci., 2002, 30 (4) : 1400
- [2] B Eliasson, U Kogelschatz. Modeling and applications of silent discharge plasmas[J]. IEEE Trans. Plasma Sci., 1991, 19(2): 309
- [3] B Eliasson, M Hirth, U Kogelschatz. Ozone synthesis from oxygen in dielectric-barrier discharge[J]. J. Phys. D: Appl. Phys., 1987, 20 (11) : 1421
- [4] H. E. Wagner, R. Brandenburg, K. V. Kozlov, et al. The barrier discharge: basic properties and applications to surface treatment[J]. Vacuum, 2003, 71 (3) : 417
- [5] Tang Xiaoliang, Qiu Gao, Ren Zhongfu, et al. The investigation on measurement to partial electricity parameters of dielectric barrier discharge at atmospheric pressure, High Voltage Engineering, 2004(30), 9: 55  
唐晓亮, 邱高, 任忠夫, 等. 常压介质阻挡放电的部分电学参量研究. 高电压技术, 2004(30), 9: 55
- [6] Tang Xiaoliang, Feng Xianping, Qiu Gao, et al. Investigation of Atmospheric Pressure Plasma Discharge and Its Application to Surface Modification of Blood-Filtering Material. Plasma Science & Technology, 2004(6), 5: 2463.