

文章编号: 1001-1609(2007)02-0097-03

气液混合两相体中脉冲放电现象的研究

覃世勋, 叶齐政, 程虎, 李劲

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

Research on Phenomena of Pulse Corona Discharge in Gas-liquid Mixture

QIN Shi-xun, YE Qi-zheng, CHENG Hu, LI Jing

(School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

摘要: 研究了气液混合两相体中线线电极脉冲放电现象。观测表明两相体的起晕电压降低, 电晕区域明显加大, 并且较为稳定, 电极背侧也有较大区域的放电现象。分析表明上述现象的出现和空间水滴有很大关系, 其作用为形成大体积两相体放电提供了依据。

关键词: 气液混合体; 脉冲放电; 大体积放电

中图分类号: TM213

文献标识码: A

Abstract: The pulse discharge phenomena of gas-liquid mixture in wire-wire gap are studied. The observation indicates that the corona initial voltage is reduced, the corona region is enlarged obviously and stably, there also has discharge phenomena at the back of electrode. Study results show that the water-drops over the gap are the major factor in pulse discharge, thus provides the foundation for forming the volume discharge by plasma in gas-liquid mixture.

Key words: gas-liquid mixture; pulse discharge; volume discharge

0 前言

近年来, 因环境污染治理、材料表面处理和制备、医疗卫生消毒、臭氧制备等需求, 研究在大气压条件下产生大范围均匀分布的等离子体技术成为一大趋势, 特别是研究在混合两相体中形成大体积放电倍受关注。文[1-8]已经对不同形式的放电进行过很多研究, 文[9-13]也有提到水蒸汽中放电形态, 但在气液两相体(气中喷水)中研究很少。笔者将对混合两相体(空气与水滴)的放电现象和电晕形态进行观测, 研究在大气压下两相体实现大体积放电的基础依据。

1 实验装置

实验系统见图1, 放电室横截面见图2(为清楚起见, 没有按比例画)。放电室内垂直悬挂两根长度为600 mm的星形不锈钢线电极, 两电极的棱角相对, 间距为60 mm, 外加重复频率为50 Hz的纳秒正极性脉冲电压, 自来水通过水泵从喷头喷出, 在装置内形成气液两相体。喷头型号为BETE-001725, 照相机为尼康D50数码照相机, 曝光时间均为30 s。

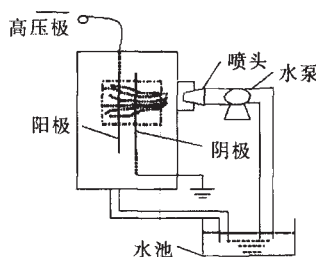


图1 实验装置

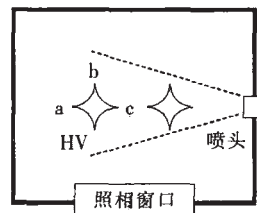


图2 放电室俯视图

2 实验结果

2.1 喷水对起晕电压的影响

干电极条件下, 电压为35 kV时, 电晕开始出现, 随着电压的升高, 电晕越来越强, 见图3(a); 喷水条件下, 电压为31 kV时, 电晕就出现, 电压增加到35 kV时, 电晕已经扩散到整个区域, 见图3(b)。

2.2 喷水对电晕形态的影响

(1) 电极沾水状态与电晕形态

收稿日期: 2006-06-20; 修回日期: 2006-07-18

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50237010)。

作者简介: 覃世勋(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为放电等离子体技术。

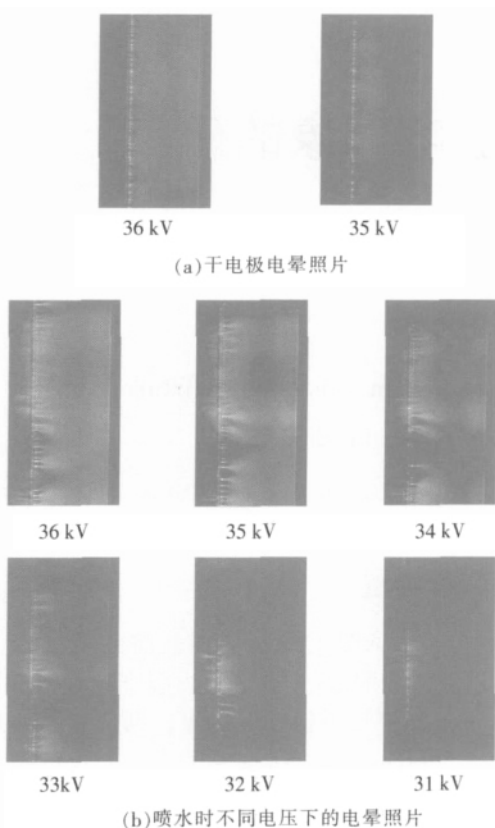


图 3 喷水电晕放电

电极沾水状态与相应的电晕形态见图 4。电晕形态照片是在暗背景下曝光 30 s 拍摄的, 电极沾水状态照片是喷水放电时采用曝光时间 1/125 s 加闪光灯拍摄的。通过观察大量照片, 水滴在电极上的主要分布状态见图 4(b) 和 4(c)。放电过程中, 电极上水滴的分布基本保持一种平衡稳定状态 (在持续放电时, 连续拍到多组电极状态照片显示电极上的水滴是始终存在且位置几乎保持不动)。其中图 4(b) 电极槽及棱上无明显水滴, 电极表面很光滑; 而图 4(c) 电极上 (面对阴极一侧) 布满了小水滴, 特别是在电极棱上的小水滴呈锯齿状排列。喷水时和不喷水时相比, 电晕区较明亮, 电晕体积较大, 也要稳定一些; 如果电极沾水明显, 则放电从棱上水滴开始。

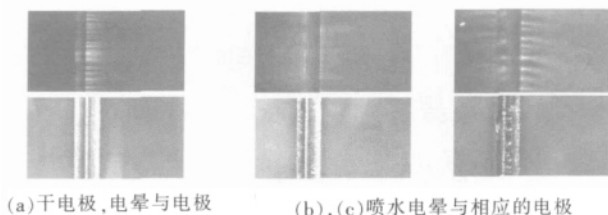


图 4 电极局部电晕照片 (电压为 36 kV)

(2) 电极背侧起晕现象

当连续向放电室内喷水时, 放电所形成的电晕形态见图 5(a), 阳极背对阴极的一侧也能起晕; 而干电极电晕 (见图 5(c)) 和喷水停止后的电晕 (见图 5(b)) 均无此现象。

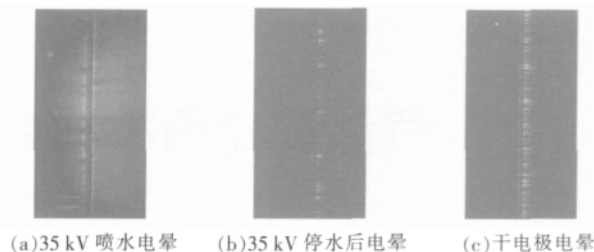


图 5 放电阳极背侧起晕现象

3 计算与讨论

3.1 电场计算

影响起晕电压的一个主要因素是电场, 利用近似解析法和有限元法 (Flexpde 软件) 相结合的方法计算了不喷水 (干) 时和喷水 (湿) 时电极周围的电场分布, 以及电极沾水后的电场强度。所谓不喷水时的状况是指电极及放电室器壁干燥绝缘良好 (器壁为悬浮电位), 以无穷远为零电位, 通过解析方法近似计算器壁的电位分布 (假设星形电极等效为圆柱), 然后以此电位分布作为计算场域 (器壁内, 见图 2) 的边界电位, 再采用有限元计算电场分布。干燥时 (未喷水) 阳极和阴极附近电场一样, 喷水时有异。所谓喷水时的状况是指放电室器壁下部沾水潮湿, 而自来水电导率为 193 ~ 207 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 导致器壁绝缘破坏, 又因接地线是在下部且排水系统也是接地的, 所以对应的器壁边界电位为零, 此时由于阴极接地, 因而其附近电场较阳极附近要小很多, 因此下面主要分析阳极附近电场。不考虑空间及电极上水滴的影响, 干、湿 (喷水) 条件下, 高压电极 (阳) a, b 和 c 棱上的电场强度分布见图 6; 考虑空间及电极上水滴的影响, 其沾水类型示意图见图 7, 计算结果见表 1, 图中 E_0 为平均电场 (电压除以电极间距)。

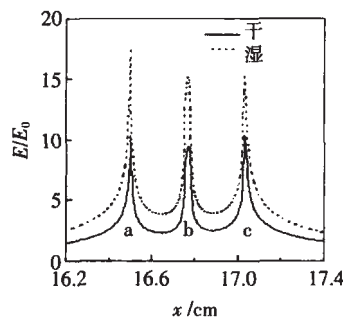


图 6 高压电极 (阳) 棱上电场强度分布

3.2 分析与讨论

计算结果表明喷水时由于器壁沾水导致接地, 加强了棱附近电场 (提高 50%)。考虑到电极上沾水时, 当水滴位于电极凹槽时, 对电场影响很小, 而一旦电极表面形成水膜, 则电极 c 点的场强下降了 1/3, 见表 1。考虑到空间水滴的畸变作用, 使得 c 点电场

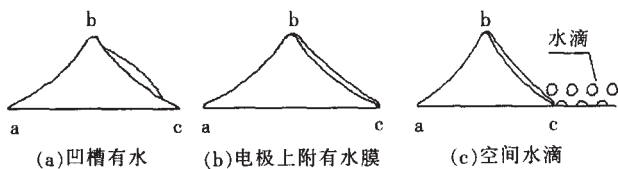


图7 阳极(部分)沾水类型示意图

表1 不同沾水类型阳极棱上最大 E/E_0 值

位置点	场强比 E/E_0				
	干	湿	凹槽有水	电极上附有水膜	空间水滴
a点	10.502 4	17.389 5	17.381 5	17.383 5	16.857 8
b点	9.470 2	15.339 7	15.107 1	15.816 5	14.939 3
c点	10.310 2	15.311 1	15.319 3	9.100 6	25.859 3

注: 通过有限元方法(Flexpde软件)对阳极电极电场分布进行计算,表中为计算后阳极上棱点处的最大 E/E_0 值。

提高近70%, 总体来看, 电场得到了极大的加强, 因而起晕电压降低是合理的。至于实际起晕电压没有降低这么多的原因, 可能是因为器壁沾水也导致泄漏电流产生, 实际需要较高的电压才能起晕。

不喷水时阳极 a 和 c 两棱附近电场强度差异不大, 而喷水时 a 棱附近电场强度明显要加强, 这可能是导致阳极背侧也能起晕的一个原因。另外图 5(b) 显示, 即使器壁沾水导致接地, 停止喷水后阳极背侧也不会起晕, 显然仅从计算的电场的结果无法解释, 可能也是泄露电流的原因。而图 3 和 5(a) 出现的大体积电晕, 笔者认为空间水滴的影响已经超过了泄露电流的影响。实际上空中的水滴有畸变电场、吸附电子和高热容率 3 个效应, 局部畸变的电场加强了局部电离, 也使得流注速度变快^[14-16], 但整体平均电场降低和水滴吸附电子又使得放电不易向火花放电发展, 这一正一反的作用使得形成大体积放电成为可能。另一方面, 高热容率的水滴也降低了脉冲放电的热不稳定性, 使得放电区域变得较为稳定。

4 结语

气液混合两相体的起晕电压降低, 电晕区域明显加大, 并且较为稳定, 电极背侧也有较大区域的放电现象。出现上述现象的原因是: ①和电场分布的改变有很大关系, 其中器壁沾水导致接地、降低器壁电位导致阳极附近电场加强、电极上水滴畸变电场、空间水滴畸变电场都会发生作用; ②和泄露电流有联系; ③和空间水滴吸附电子和水滴吸热也有很大关系。空间水滴的作用为形成大体积两相体放电提供了依据。

参考文献:

[1] 叶齐政, 顾国军, 齐军, 等. 运动水滴在尖-板式直流电场中的放电研究[J]. 高电压技术, 1999, 25(4): 7-10.

[2] 顾温国, 叶齐政, 齐军, 等. 稳态线板电场中水滴放电现象的研究[J]. 高电压技术, 2000, 26(2): 22-23.

[3] 齐军, 叶齐政, 顾国军, 等. 运动水滴在球-球直流电场中的放电研究[J]. 高压电器, 2000, 37(2): 12-14.

[4] 叶齐政, 齐军, 顾国军, 等. 气液混合体直流放电的初步研究[J]. 高电压技术, 2001, 27(2): 26-27.

[5] Ostyrya I D K, Skaun V S, Tarasenko V F, et al. Optical Characteristics of the Plasma of Atmospheric-pressure Volume in Nonuniform Electric Field[J]. Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, 2004, 74(8): 35-40.

[6] Tarasenko V F, Orlovskii S I, Shunailov S A. Forming of an Electron Beam and a Volume Discharge in Air at Atmospheric Pressure [J]. Izvestiya Vuzov. Fizika, 2003, 46(3): 94-95.

[7] Tarasenko V F, Alekseev S B, Gubanov V P, V, et al. Electron Beam and Volume Discharge Formation under Atmospheric Pressure in Gases [C]// Proceedings of SPIE-the International Society for Optical Engineering, V5448, Npart2, High-power Laser Ablation V, 2004: 1108-1113.

[8] Tarasenko V F, Alekseev S B, Orlovskii V M, et al. Shunailovultrashort Electron Beam and a Volume High-current Discharge in Air under Atmospheric Pressure [J]. Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, 2004, 74(8): 30-34.

[9] 林赫, 高翔, 骆仲决, 等. 直流电晕自由基簇射脱除烟气中的 NO_x [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(8): 150-155.

[10] Katsuki, Sunao, Akiyama, et al. Parallel Streamer Discharges Between Wire and Plane Electrodes in Water[J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical insulation, 2002, 9(4): 498-506.

[11] Akiyama H, Nomiya H, Katsuki H, et al. Large Volume Discharges in Water and Application to Sludge Treatment[C]// IEEE Conference Record-abstracts: The 27th IEEE international Conference on Plasma Science, 2000: 85.

[12] Moon Jae-duk, Kim, Jin-gyu, et al. Discharges of Point-to-plate Gaps in Pure Water, Conference Record-IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society) [C]// V3, Manufacturing Systems Development and Applications Department, 1993: 1611-1616.

[13] Boquslavsky L Z, Sherbak A N, Khauntsky S A. Experimental Study of Pulse Corona Discharge in Aqueous Electrolytes [C]// IEEE International Conference on Plasma Science, 2001: 3-5.

[14] 李劲, 姚宗干, 何正浩. 放电通道对离子背景的选择性[J]. 中国电机工程学报, 1994(5): 45-49.

[15] Baranov G A, Rodichkin V A, Tomashevch V P, et al. Screening Effect in Pulse-frequency Volume Discharge Initiated by Positive Corona [C]// Proceedings of SPIE-the International Society for Optical Engineering, 2000: 86-89.

[16] Zhu Y, Yamashita S, Anami N, et al. Corona Discharge Phenomenon and Behavior of Water Droplets on the Surface of Polymer in the AC Electric Field [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, 2003: 638-641.