

Experiment on Nanosecond-Pulse Discharge in Two Phase Mixture of Gas and Solid

Yu-hang Xu, Zheng-hao He, He-ming Deng, Zhao-liang Zhang, Jun-xiang Liu

College of Electrical and Electronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China

Abstract: In order to study nanosecond-pulse discharge in two-phase mixture, the experiment use two kinds of typical solid to make the gas-solid mixture, which includes quartz sand and industrial salt, and study the pulse discharge characteristics in two-phase mixture. Through the two-phase discharge device and measurement system observed that discharge is more obvious in gas-solid mixture rather than in air, discharge channel is minor and the distribution of which is significantly more uniform and intensive. In gas-solid mixture, the greater size of solid particle is, the more serious distortion of the local electric field will be made, and that enhance on the pulse discharge.

Keywords: Two phase mixture of gas and solid; Pulse voltage; Discharge

气固两相体纳秒级脉冲放电特性研究

许宇航, 何正浩, 邓鹤鸣, 张召亮, 刘俊翔

华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北武汉, 430074

摘 要: 为了研究两相体在纳秒级脉冲电压下的放电特点, 实验以石英砂、工业盐两种典型固体颗粒的气固两相体, 研究了两相体内不同脉冲电压下的放电特性。通过两相体放电装置和测量系统观察发现, 气固两相体比起单一气体相放电更为明显, 放电通道较细微且分布具有更为显著的均匀、密集特征。气固两相体中, 固体颗粒粒径越大, 对局部电场畸变较严重, 对脉冲放电有增强的作用。

关键词: 气固两相体; 脉冲电压; 放电

1 引言

直流、工频交流和冲击电压下气体、液体和固体电介质的击穿特性已充分研究多年^[1], 纳秒级脉冲电压下的气体电介质放电特性也有了较多的理论研究^[2]。多相体放电与气体放电的共同特点是具有随机性, 但多相体的引入使得这种随机性更为复杂。多相体击穿放电的统计规律如何, 既是放电研究的基础问题, 也具有很强的应用性。比如雨雾、沙尘等恶劣天气下的输电线与雷云及输电线路间是一种多相体介质; 又如高压输电绝缘子污秽放电, 也可谓是一种工程应用性的沿面多相体放电^[2-4]。迄今为止, 还很少见国内外有以气固两相体为对象进行脉冲放电研究。为研究两相体脉冲放电, 选取了石英砂、工业盐等固相颗粒为多相体, 开展了不同电压等级的纳秒脉冲下的两相体放电特性实验, 比较与空气中放电现象的不同。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50237010)。

2 试验装置

图 1 为重复频率脉冲发生器及其测量系统的原理图, 其中低压稳压管和气体放电管在采样电阻发生断路时可起到保护设备和人身安全的作用, 示波器的型号为泰克公司生产的 TDS2024B。整个系统可通过调整放电球隙的间距来改变脉冲电压的等级, 变压器首先通过整流硅堆和波头电阻对电容器充电, 当电容器上的电压达到球隙间空气的击穿电压时, 球隙被击穿导电, 主电容对后面的电路放电。

脉冲放电装置的外电极为圆筒结构, 如图 2 所示。圆筒为直径 50mm 的不锈钢管, 位于其内中的是尖电极, 尖电极尾部为圆形棒, 其直径为 8mm, 电极上端装置一个套管以防止电极对管发生沿面放电。图中左部漏斗为固体相 (石英砂、工业盐等) 的进料斗, 漏斗与管的连接处设置一个挡板可以调节多相体流量的大小。抽风机可以把多相体抽入放电管, 并最终进入

与风机出口相连接的回收布袋。实验中采用高灵敏紫外-可见光成像仪观测记录脉冲放电图像,通过放电管的顶端密封的石英玻璃窗口拍摄。

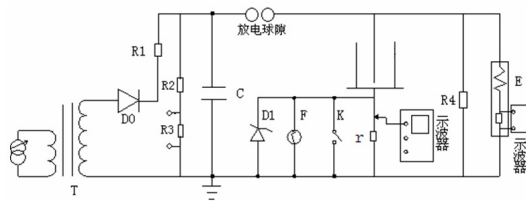


Fig.1. Loop of repetitive frequency pulse-generator and measure system

图 1. 重复频率脉冲发生器及测量系统

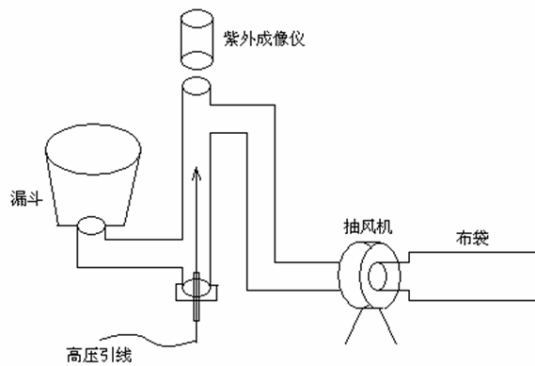


Fig.2. Discharge electrodes and related devices
图 2. 放电电极及相关装置

3 实验方法

实验使用石英砂和工业盐作为固体相,其密度等参数见表 1 所示。实验中分别将石英砂和工业盐放入漏斗中,打开风机将多相体抽入放电管中,用脉冲电源对高压电极施加脉冲电压。每次实验前,通过改变球隙距离来改变所加脉冲电压的大小,电压波形通过高压探头和数字示波器来记录,用紫外成像仪在黑暗中观测放电时的现象,并通过视频采集卡传入计算机保存和处理。

Table 1. Physical character about discharge particle
表 1. 实验用两相体颗粒材料主要参数

颗粒种类	密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	粒径 d (mm)	相对介电 常数 ϵ_r	体积分数
石英砂	2.60	0.15	4.20	3%
工业盐	2.16	0.40	5.90	3%

4 实验结果及分析

4.1 实验所加脉冲电压波形

实验中通过改变球隙的距离,对脉冲实验装置分别施加 25kV、30kV、35kV 的纳秒级脉冲电压,数字示波器对脉冲电压波形采样。其中 35kV 的电压波形如图 3 所示,图中波形波前时间约为 40ns,半峰值时间约为 410ns。

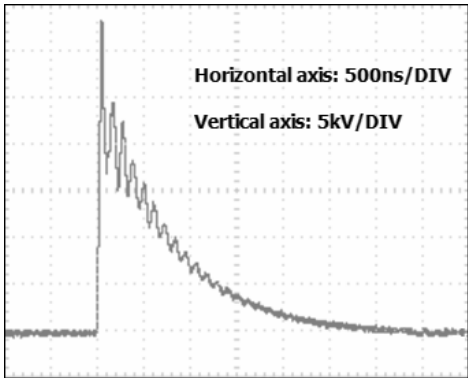


Fig.3. 35kV waveform of pulse voltage
图 3. 35kV 脉冲电压波形

4.2 脉冲电压下的放电现象

快脉冲放电有两个明显的放电区域:强放电区位于以线电极位中心的内圆区,弱放电区位于包围强放电区的外圆区。

4.2.1 单一空气脉冲放电

不同电压大小的单一空气放电图像如图 4 所示。从图中可见,具有边界分明的一强一弱两个梯级式放电区域,强放电区位于内圆区,弱放电区位于包围强放电区的外圆区。随脉冲电压增大,脉冲放电的强度成比例增强,但放电分支数目基本保持,约为 18 条;内圆放电区向外扩展,但内圆放电区的放电强度增加并不多。同时,由于内圆放电区的扩大使外圆放电区变窄,外圆区的放电强度增加同样并不多。

4.2.2 石英砂—空气两相体脉冲放电现象

不同电压大小的石英砂两相体脉冲放电图像如图 5 所示。从图中可见,随脉冲电压增大,脉冲放电强度的增加比相同电压下的单一空气更强,比单一空气脉冲放电分支数目多,但也基本保持不变,约为 24 条。

4.2.3 工业盐—空气两相体脉冲放电现象

不同电压大小的细盐两相体脉冲放电图像如图6所示。从图中可见,随脉冲电压增大,脉冲放电强度的增加比相同电压下的石英砂两相体更强,脉冲放电分支数目更多,且随电压增大而增加,放电分支细化,边界模糊,趋于均匀化。

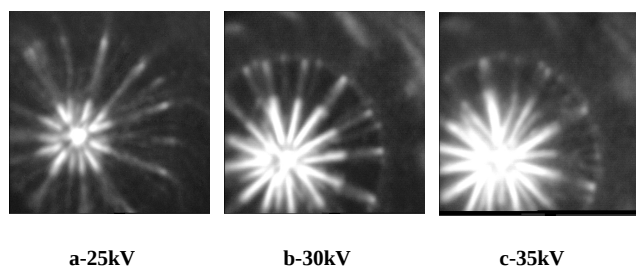


Fig.4. Pulse Discharge in Air
图 4. 脉冲电压下的空气放电现象

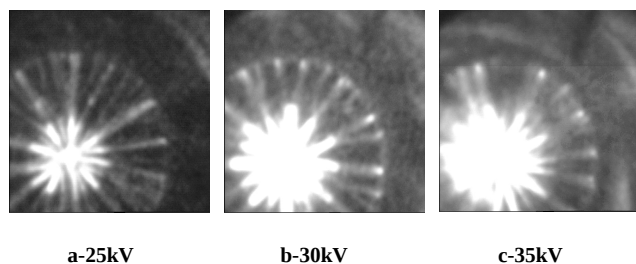


Fig.5. Pulse discharge in two phase mixture of gas and quartz sand
图 5. 石英砂—空气两相体脉冲放电现象

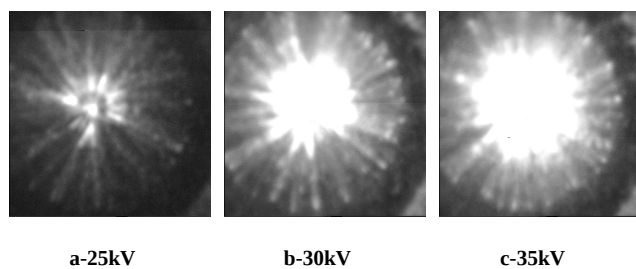


Fig.6. Pulse discharge in two phase mixture of gas and Industrial salt
图 6. 工业盐—空气两相体脉冲放电现象

4.3 实验结果分析

气固两相体在脉冲电压下的击穿现象为弥漫化、均匀化、密集化多分支放电通道,具有边界分明的一强一弱两个梯级式放电区域。由于实验电极为尖—筒电极结构,这两个区域便为同心圆形形状,即强放电区位于以尖电极为中心的内圆区,弱放电区位于包围强放电区的

外圆区。试验中电压越高,放电越强烈细丝也更均匀,由于内圆放电区的扩大使外圆放电区变窄,但外圆区的放电强度增加并不多。

同等电压条件下,石英砂和工业盐两相体对比单一空气脉冲放电,其放电都变更加强,中心的圆斑更加明亮,放电分支更多、放电的弥漫性更强。石英砂和工业盐对比中,工业盐对放电的增强效果更为明显。实验所用的石英砂和工业盐其密度、介电常数近似,因此推得工业盐放电更为明显的原因可能是,在相同的体积分数下,由于工业盐两相体的粒径较大,使局部电场畸变较严重,导致击穿电压显著降低,同电压下放电现象更为明显。

5. 结论

a) 空气和两相体在脉冲电压下的击穿现象为,具有弥漫化、均匀化、密集化多分支放电通道,且具有边界分明的一强一弱的两个梯级式放电区域。强放电区位于内圆区,弱放电区位于包围强放电区的外圆区。

b) 随着脉冲电压增加,内圆放电区向外扩展即强放电区半径增大,但内圆放电区的放电强度增加并不多。同时,由于内圆放电区的扩大使外圆放电区变窄,外圆区的放电强度增加同样并不多。

c) 加入固体相后,气固两相体的脉冲放电比单一空气脉冲放电分支更多、放电的弥漫性更强。对于实验中两种不同的固体相,工业盐对放电增强效果大于石英砂,其可能的原因为工业盐两相体的粒径较大,在相同的体积分数下,使局部电场畸变较严重,放电现象更为明显。

References (参考文献)

- [1] Yang jin-ji. Gaseous Discharge [M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [2] Shao Tao, Sun Guang-sheng, Yan Ping, Peng Yan-chang, Zhang Shi-chang. Overview of Nanosecond-Pulse Gas Breakdown Mechanics [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(7): 40-42.
- [3] Yashima M, Fujinami H and Takuma T. Breakdown characteristics of gases mixed with tetrachlorethylene mist under nearly uniform fields, IEEE Trans. on Electr. Insul. 1990, 25: 371-9.
- [4] Tardiveau P and Marode E. Point-to-plane discharge dynamics in the presence of dielectric droplets, Phys. D: Appl. Phys. 2003, 36: 1204-11.
- [5] Goshima H, Suzuki T, Hayakawa N, Hikita M and Okubo H Dielectric, Breakdown characteristics of cryogenic nitrogen gas above liquid nitrogen, IEEE Trans. on Dielectrics and Electr. Insul. 1994, 1: 538-44.
- [6] Kunhardt E. Electrical breakdown of gases: the prebreakdown stage [J]. IEEE Trans on Plasma Science, 1980, 8(3): 130-138.
- [7] Mesyats G A, Bychkoy Y I, Kremney V V. Pulsed nanosecond electric discharges in gases [J]. Soviet Phys Usp, 1972, 15 (3):

- 282-296.
- [8] Fletcher R C. Impulse breakdown in the 10 - 9sec range of air at atmospheric pressure [J]. Phys Rev, 1949, 76(10): 1501-1511.
 - [9] Babich L P, Stankevich Y L. Transition from streamers to continuous electron acceleration [J]. Soviet Phys Tech Phys, 1973, 17 (8): 1333-1336.
 - [10] Mankowski J, Dickens J, Kristiansen M. High voltage subnanosecond breakdown [J]. IEEE Trans on Plasma Science, 1998, 26(3): 874-881.
 - [11] Buttram M. Some future directions for repetitive pulsed power [J]. IEEE Trans on Plasma Science, 2002, 30(1): 262-266.
 - [12] Shao Ta, Sun Guang-shen, Yan Pin, Gao Wei, Peng Yan-chang, Wang Jue. Progress in the Experiment and Research of Gas Breakdown under HV Nanosecond Pulse [J]. High Voltage Apparatus, 2004, 40(4): 279-282.