

文章编号: 1001-1609(2006)05-0335-02

气液混合体正极性电晕放电的实验研究

杨长河¹, 许怀丽^{1,2}, 李劲¹, 何正浩¹

(1. 华中科技大学, 湖北 武汉 430074; 2. 孝感学院, 湖北 孝感 432000)

Experiment Study on Positive Corona Discharge in Gas-liquid Mixture

YANG Chang-he¹, XU Huai-li^{1,2}, LI Jin¹, HE Zheng-hao¹

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Xiaogan College, Xiaogan 432000, China)

摘要: 通过实验研究了正棒-板电极间隙中气液混合体直流电晕放电的形态及其伏安特性, 结果表明, 不仅在棒电极头部有电晕放电现象发生, 而且棒电极上的水滴表面也会产生较强的电晕放电。在相同电压作用下, 自来水-空气混合体的放电电流最大, 纯净水-空气混合体的次之, 单纯空气的最小。电流的增大主要与液滴的电导率、运动液滴对局部电场的畸变及对空间电荷的破坏等作用有关。

关键词: 气液混合体; 电晕电流; 正极性

中图分类号: TM89

文献标识码: A

Abstract: Through the study of positive corona discharge phenomenon in gas-liquid mixture and the rule of voltage-current curve in DC voltage, it is found that corona discharge can occur both in the rod electrode and in the drops on the rod electrode. Under the same voltage, the tap water-air mixture can bring the strongest discharge current, the pure water-air is the second, and the pure air is the least. The increase of current mainly relates to the conductivity of liquid, the distortion of partial electric field and the destruction to space charge by the moving drops.

Key words: gas-liquid mixture; corona current; positive

题, 如文[2]研究了雾中绝缘破坏特性; 文[3]研究了雷暴中电碰并引起雨滴增长作用; 文[4]在理论上提出了能初步解决混合两相体局部电场分析的理论模型和解析计算方法(偏心偶极子模型), 并解决了粒径具有一定分布的混合体有效介电常数的计算问题。笔者主要通过实验研究了正棒-板电极间隙中气液混合体直流电晕放电的形态及其伏安特性, 并与单纯空气中的电晕放电现象进行了比较。

1 实验装置

实验中采用的高压直流回路及测量系统见图1, 可调变压器输出的电压经过高压试验变压器升压后, 通过半波整流加至棒-板电极间隙(Gap)。示波器为TEK TDS 754D数字示波器, 带宽为500 MHz。

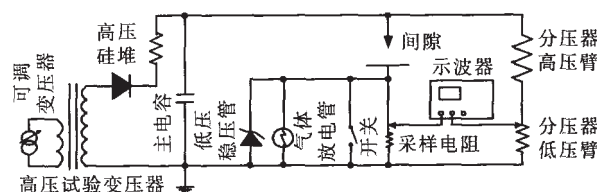


图1 高压直流回路及测量系统

放电室装置见图2, 整个放电室由非极性绝缘材料做成, 长、宽、高分别为1.8 m, 1.4 m, 2 m。棒电极为半圆头的黄铜棒, 直径10 mm, 板电极是直径45 cm的不锈钢圆盘。极距从0~50 cm连续可调。可通过对喷头阀门的开、关来控制水的流量, 从而获得不同体积分数的混合体。产生的水滴直径约为0.1 mm。放电室底部的水槽收集的水经过水泵的提升可作多次循环之用。本实验首次采用了两种不同电导率的水源: 一种是普通的自来水, 来自市政管网, 其电导率约为193~195 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 另一种是饮用纯净水, 其电导率约为3.3~3.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

0 引言

自然界及人们的生产生活中常常会观察到气液混合体放电的一些现象, 如雨中的雷放电、静电喷雾等。关于气液混合体放电, 在应用研究方面的工作虽然开展得较多, 但是却遇到许多的困难。在已有的一些应用研究中, 仅仅以气体放电或液中放电的理论来近似处理混合体中的问题, 而忽略了液相的物质给放电带来的影响^[1], 不能很好的解释现实中所遇到的问题。近年来, 有少数研究者注意到了这个问

收稿日期: 2006-02-05; 修回日期: 2006-03-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50237010)。

作者简介: 杨长河(1977-), 男, 江西赣州人, 博士研究生, 从事高电压与绝缘技术的研究。

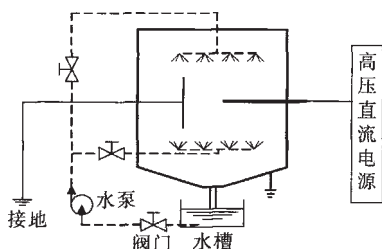


图2 气液混合体放电实验装置示意图

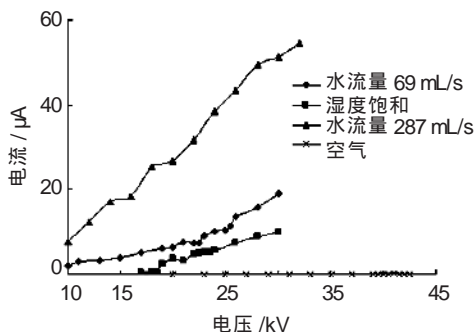


图5 自来水混合体的正极性伏安特性

2 实验结果与分析

2.1 波形比较

极距调整为 5 cm, 采用阻值为 1.005 M 的采样电阻 r, 示波器记录的电流典型波形见图 3。

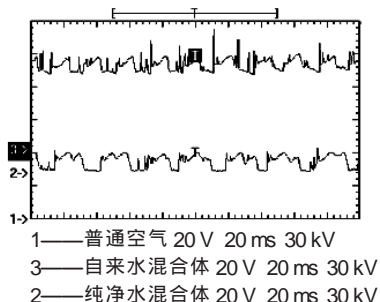
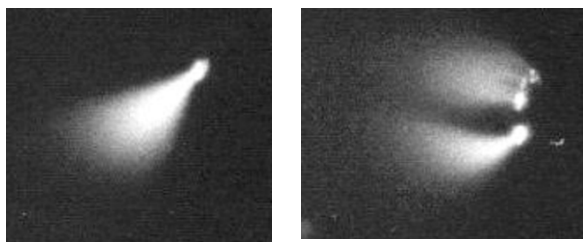


图3 电晕电流波形

可以看出, 随着电压的升高, 放电电流逐步升高。相同电压下, 自来水混合体的放电电流最大, 纯净水混合体的次之, 空气的最小。

2.2 电晕形态比较

用相机拍摄了正极性下从电晕到击穿的放电图像, 见图 4。



(a) 空气中 (b) 气液混合体中

图4 电晕放电图

空气中正极性棒难于起晕, 在电压接近击穿电压时才开始有微弱的扫帚状光芒产生。而在气液混合体中除了棒电极端部前方发生明显的电晕放电外, 在棒电极附近的水滴也都发生较强的电晕放电现象, 原因是水滴的存在畸变了电场, 在水滴表面最大场强点更容易发生电晕放电。

2.3 伏安特性比较

2.3.1 自来水混合体对伏安特性的影响

图 5 是电极间距为 5 cm 时自来水混合体对伏安特性的影响。这里的湿度饱和是指电极上被擦拭了, 电极没有积水, 湿度达到 100%的情况。

空气中, 电压为 39~42.5 kV 时的电流基本为

零, 电压升至 43 kV 时间隙击穿。湿度饱和时, 电压为 19 kV 时电流开始上升, 直至 31 kV 时击穿, 最大电流达到 10 μA。低体积分数(69 mL/s)的自来水混合体, 电晕电流大为增加, 其伏安特性曲线完全在湿度饱和时曲线的上面, 并且开始出现可观电流的电压也大为降低(低于 10 kV)。与湿度饱和的情况相比, 在相同的电压下电流值要大很多, 这说明了水滴对电流的影响。加大喷水量(287 mL/s), 发现电流大大增加, 击穿电压 32.5 kV 也较水流量(69 mL/s)时 31 kV 的击穿电压略高, 这个现象与负极性的情况不同。

分析认为造成这些现象的原因是, 空气中移动缓慢的空间正电荷使正极性棒难以起晕并形成稳定的电晕。在较低电压下, 气液混合体的存在或湿度的增加, 使空气中充满运动的细小水滴或水分子; 由于自来水电导率较高, 其吸附大量正离子并运动到阴极板, 形成可观的电流; 由于正离子的移动相对电子而言缓慢得多, 因此运动的水滴或水分子的携带作用是使电流增大的主要因素^[5]。另外, 水滴对电场的畸变也会导致电流的增加; 而运动的水滴对移动缓慢的正空间电荷的冲刷破坏作用会导致电流下降, 但这在气液混合体电晕放电过程中所产生的影响不大。

2.3.2 纯净水混合体对伏安特性的影响

改用纯净水进行实验。图 6(a), 图 6(b) 为电极间距为 5 cm, 3 cm 时纯净水混合体对正极性伏安特性的影响。

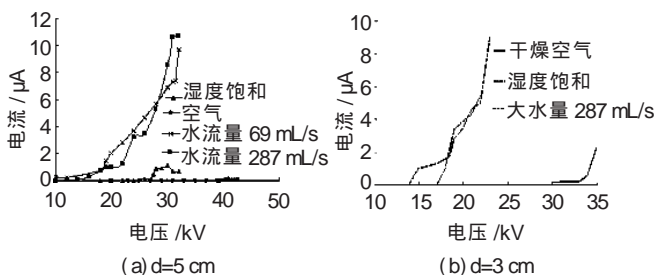


图6 纯净水混合体的正极性伏安特性

由图 6(a) 可知, 相同极距下纯净水混合体的小水量和大水量的伏安特性曲线比较一致, 这是由于纯净水的电导率很小, 水滴所能吸附的正离子也很少, 导致电流的变化不明显。随着极距的减小, 相同的电压下电晕电流逐渐增大。极 (下转第 339 页)

然后对如图4所示的双断口800kV特高压交流

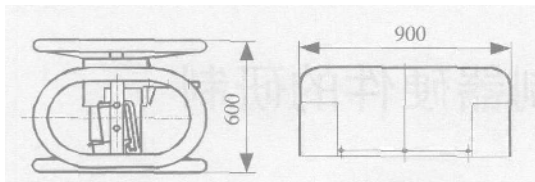


图3 带接地静触头的屏蔽环及中间屏蔽环

流隔离开关进行无线电干扰试验。

(2) 试验线路图

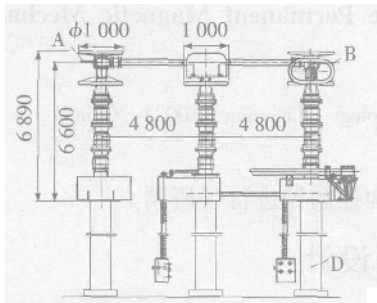
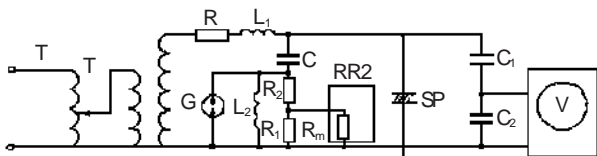


图4 800kV特高压双断口隔离开关示意图

无线电干扰试验示意图见图5。

(3) 试验程序



C——耦合电容 C₁——分压器高压臂 C₂——分压器低压臂
R——保护电阻 R₁——匹配电阻 R₂——串联电阻
L₁——阻塞阻抗 L₂——工频分流电感 R_m——干扰仪输入阻抗
SP——试品 V——工频峰值电压表 RR2——无线电干扰场强仪

图5 无线电干扰试验示意图

在此隔离开关上首先施加 $1.1U_r/\sqrt{3}$ 的试验电压并维持5min, U_r 是隔离开关的额定电压, 然后把

电压逐级下降至 $0.3(1.1U_r/\sqrt{3})$, 试验电压保持1min; 再逐级上升至 $1.1U_r/\sqrt{3}$ 的试验电压并维持1min, 进行无线电干扰的测试。然后逐级下降至 $0.3(1.1U_r/\sqrt{3})$, 以后试验电压每降低10%测量一次。

(4) 试验结果

在每极电压上, 进行无线电干扰的测试, 测试结果见表1。

表1 试验结果

试品状态	加压部位	接线部位	实验电压/kV	试验数据		结果
				dB	μ V	
合闸对地	A B	D	510	63	1500	合格
分闸	A	B	510	60	1000	合格
断口间	B	A	510	60	1000	合格

由表1测试结果知, 计算设计的屏蔽环可以满足要求。

3 结语

根据以上分析计算及试验可知: 对于电极而言, 影响其流注式电晕放电的因素是其表面的电场强度, 与施加其上的电压无关。根据这一机理设计的屏蔽环, 可以满足800kV特高压交流隔离开关无线电干扰试验。

参考文献:

- [1] 张纬铨, 何金良, 高玉明. 过电压防护及绝缘配合[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 刘 笙. 电气工程基础[M]. 北京: 科技出版社, 2002.
- [3] 马乃祥. 长间隙放电[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [4] H 阿列克山德洛夫. 超高压设备及其周围环境保护[M]. 顾乐观, 孙才新, 赵文麒, 译. 四川: 重庆大学出版社, 1982.

(上接第336页)

距3cm时混合体伏安特性曲线与湿度饱和时的伏安特性曲线逐渐靠近, 但混合体23.5kV的击穿电压低于湿度饱和时的击穿电压。

3 结语

气液混合体电晕特性实验表明:

(1) 空气中电晕放电, 棒电极端部有扫帚状光芒。而在混合体中除了棒电极端部前方发生明显的光芒外, 在棒电极附近的水滴也会产生较强的电晕放电光芒。

(2) 相同电压下, 自来水混合体的放电电流最大, 纯净水混合体的次之, 空气的最小。液体的电导率对放电有重要的影响, 电导率越大, 电晕电流越高。

参考文献:

- [1] 叶齐政. 混合体混合体放电及其在水处理中应用的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2001.
- [2] 黑田孝一, 稻川 敦, 北村岩雄, 等. 交流电压绝缘破坏实验[Z]. 富山: 富山大学工学部纪要, 1996.
- [3] 葛正谟, 董万胜, 雷暴云中闪电放电条件的雨滴增长[J]. 高原气象, 1996, 15(2): 212-215.
- [4] YE Qi-zheng, LI Jin. Effective Permittivity of Dielectric Mixture Based on the Electric-circuit Model[J]. Electromagnetics, 2001, 21(4): 341-350.
- [5] Kubuki M, Yoshimoto R, Tanoue K, et al. Breakdown Characteristic in Air Gaps with Artificial Floating Metals under DC Voltage[J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Electric Insulation, 1995, 2(1): 155-166.