

有机绝缘材料电晕老化测试系统的研制

王高勇 丁立健 梁英 屠幼萍

华北电力大学

摘要 参照美国 ASTM D2275-01 固体电绝缘材料表面对电晕的耐压性标准试验方法中的试验装置, 本文自行研制了一套先进的有机绝缘材料电晕老化测试系统。该系统能在不同的试验条件下同时对多组试样进行电晕老化试验, 主要包括电晕发生装置、测量装置、保护系统、环境控制及监测装置等, 并以 LabView 为软件平台实现了对电流、电压、累积电荷量的实时采集计算和存储。利用该系统对高温硫化 (HTV) 硅橡胶进行了初步的电晕老化试验, 结果表明, 该系统能够按照设定的试验条件可靠稳定运行。本试验系统的成功研制有望为国内研究有机绝缘材料的耐电晕老化问题提供一个标准的试验平台, 进而有助于相关试验方法等标准的制定。

关键词 有机绝缘材料; 电晕; 老化; 测试系统

1 引言

由于有机绝缘材料具有电绝缘性好、重量轻、机械强度大等优点, 在电力系统中得到了日益广泛的应用^[2]。但当以其为外绝缘的电力设备长期运行在和大气环境相接触的带电条件下, 受到温差变化、风吹雨淋等各种环境因素的影响, 有机材料将不可避免地发生电老化。电力设备的老化程度决定了其运行的稳定, 因此非常有必要对其外绝缘材料的老化问题进行研究。针对现场中运行的电力设备来说, 电晕放电对其老化的影响又是十分重要的。

然而, 对于有机绝缘材料而言, 国内还没有评价其耐电晕老化的试验方法和相关标准, 使得得到的试验结果缺乏可对比性。我们知道, 对有机绝缘材料的老化分析必须以试验为基础, 而对于材料电晕老化试验装置目前很少有人进行研究, 这给有机绝缘材料的电晕老化试验带来了不便。因此, 本文参考美国的 ASTM D2275-01 固体电绝缘材料表面对电晕的耐电压性标准试验方法中的试验装置, 自行研制开发了一套先进的有机绝缘材料电晕老化测试分析系统, 并对 HTV 硅橡胶试样进行了电晕老化试验。

2 电晕老化测试系统硬件部分的设计

整个试验系统示于图 1, 其硬件主要包括四部分: 电晕发生装置, 测量装置, 保护装置, 环境控制及监测部分。

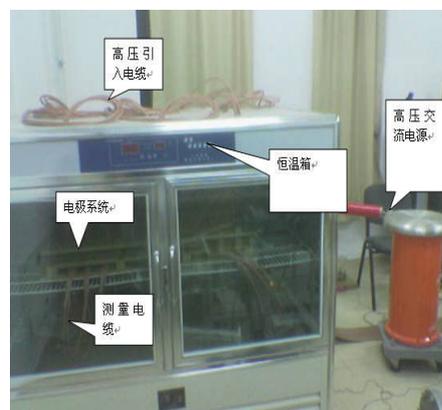


图 1 试验装置系统图

1) 电晕发生装置由加压装置和电极系统两部分组成, 示意图见图 2。加压装置选用了江都华宇高压电气有限公司的 YDT-5/50 型实验变压器。经过高压继电器引入高压。高压继电器选择了无锡普天科技有限公司生产的 JT-5 真空高压继电器, 继电器触点间和触点与底板之间耐电压为 50HZ, 25KV。电极系统采用针-板模式以模拟现场中的尖端

电晕放电。针电极为上电极，曲率半径为 0.2mm，板电极是下电极，半径为 30mm 的圆板^{[4][5][6][7]}。采用电缆将高电压引到恒温箱中的针电极上，将试品放在板电极上，进行加压试验。整个电极系统包含 54 组针-板电极，针电极、板电极分别布置在上下两个由绝缘杆连接的正对的环氧玻璃布材料的绝缘板上，且每组针-板电极中心相对，绝缘板上的针-针/板-板距离为 (90mm)，利用 *analys* 软件对此进行建模计算，表明在所加电压等级下^[8]，各组电极间电场强度的影响很小；而针-板电极间的距离可通过上极板在绝缘杆上的移动来调节。

2) 测量装置主要由取样电阻和采集卡组成。测量原理是采用取样电阻将绝缘子电晕电流转化为电压信号，通过电缆送到采集卡的输入通道，采集之后传入计算机通过软件转化为电流信号，进行分析和处理。

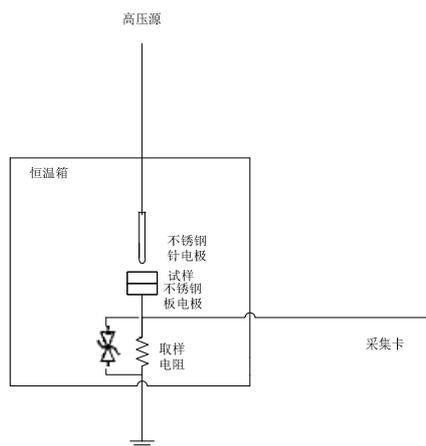


图 2 电晕发生装置示意图

取样电阻的选择：在搭建试验系统时，经过事先搭建的简单电路进行试验，发现在设定的实验条件下电晕电流在 1mA 以下，为了得到较好的采集卡分辨率，拟采用 $\pm 5V$ 的电压输入范围，这样采样电阻值为 $R < V/1mA = 5K$ ，如果电阻值过小，将无法反映微电流的变化，因此选用了接近 5K 的 4.2K 的精密电阻。

从采集通道、采样率、位数和数字 I/O 口性价比等几方面综合衡量，选用了凌华公司的 DAQ2204 的采集卡，该卡是 PCI 总线 12 位的采集卡，采样率可达到 3M，64 个采集通道。采集卡的分辨率为 2mV，并可通过数

字 I/O 口控制高压继电器。

3) 保护装置由高压端保护和低压端保护组成。高压端的保护由导电纸完成，保护原理为：电晕试验中当某路试品发生击穿时，将会有一个大电流流过导电纸，引起导电纸的发热燃烧断开。前期试验结果表明当导电纸流过 10mA 电流时立刻燃断，完全满足保护要求。低压测量端采用瞬态抑制二极管、压敏电阻和放电管组成的三级保护，如图 3，经过试验取样电阻两端电压始终钳制在 5.2V 以内，由于采集卡的耐受电压高于 5.2V，因此完全能够实现采集卡的保护，使采集卡不受到过电压的损坏。

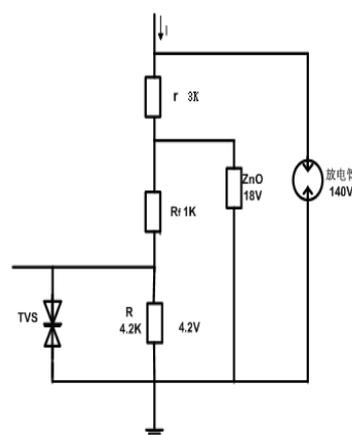


图 3 测量系统保护电路示意图

4) 环境的控制和监测由恒温恒湿箱提供，温度的范围可达到 $-5^{\circ}C \sim 80^{\circ}C$ ，相对湿度范围为 30%~95%。

3 电晕老化测试系统软件部分的设计

LabView 是基于图形化语言 G 的开发环境，以 NI 公司的 LabView 为平台，开发了电晕老化测试系统的程序，其主程序流程图见图 4。图 5 是基于 LabView 的电晕老化测试系统的前面板，实现了电流的测量和记录的自动化。整个程序主要包括参数设置、实时采集、累积电荷量和波形回放等子程序。

程序的参数设置部分主要包括采集卡的量程、极性、采样率和采集通道，I/O 输出的选择，以及电流、电压和累积电荷量的保存

路径等的选择。数据采集部分主要包括对多路电流波形的保存和选择显示、试验电压波形的保存和显示、试验进度和各路的击穿显示，继电器的跳开的显示。累积电荷部分主要包括多路累积电荷的计算及存储，还可选择显示某一路的累积随时间的变化趋势图。

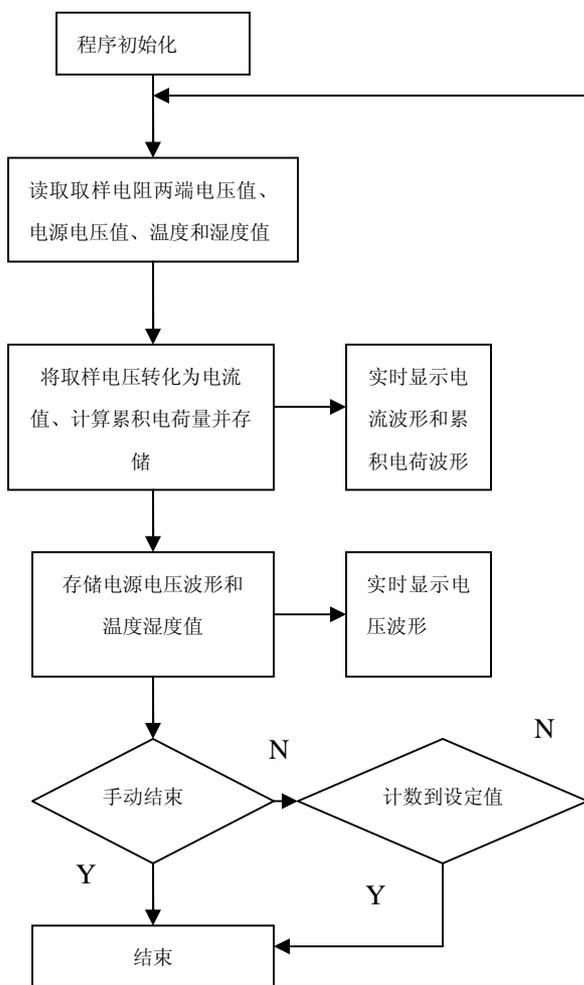


图 4 主程序流程图

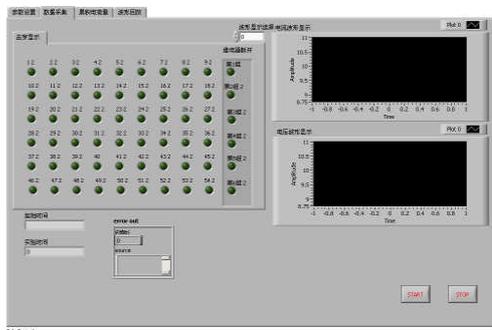


图 5 程序前面板

波形回放是可以在试验中或试验后随时查看和分析已存储的数据。

4 试验过程与结果

利用上述有机绝缘材料电晕老化测试系统对直径 30mm, 厚度 1mm 的高温硫化 (HTV) 硅橡胶进行了初步的电晕老化试验。

首先将试品布置在每个电极之间, 调整针电极与试品距离为 1mm^[5], 调整恒温箱环境为温度 25℃、湿度 50%; 然后开始逐步升高电压, 直到观测到稳定的电晕电流波形, 记录此电压为起晕电压值; 接着在此电压值下采集卡数字 I/O 口发出低电平断开高压继电器, 观察能否可靠断开, 再次发出高电平, 观察能否可靠闭合; 以上试验完毕后断开电源, 将其中一路的试品取出其余不动, 逐步提高电压, 这样这一路势必流过一个电流, 可以模仿击穿时产生的电流, 观察导电纸是否燃断, 并考验低压保护能否起到保护作用。

本试验结果如下: 采集卡准确地捕捉到了起晕电压值, 其大小约为 5kV; 高压继电器在此电压下能可靠地闭合、断开; 导电纸在流过 10mA 时候, 立刻燃断, 能起到可靠保护; 低压侧在流过大电流时候保护及时启动, 使取样电阻两端的电压值始终低于 5.2V。从而可以验证所研制的有机绝缘材料电晕老化测试系统能够按照设定的试验条件可靠运行。

5 结论

详细介绍了所研制的有机绝缘材料电晕老化测试系统。利用本系统对 HTV 硅橡胶进行初步的电晕老化试验, 试验结果验证了该系统能够按照设定的实验条件可靠稳定运行, 并且对信号的采集、传输、分析和显示处理均由计算机自动完成, 体现了较高的自动化程度和精确度。本试验系统的成功研制有望为国内研究有机绝缘材料的耐电晕老化问题提供一个标准的试验平台, 进而有助于相关试验方法等标准的制定。

参考文献

1. 王鹏, 罗承沐, 李成裕, 丁立健, 王景春. 新型离子迁移测量系统的研制. 高电压技术, 2002

- 年, 第 28 卷, 总 120 期
2. 毛海涛, 张锦龙, 闫平, 查鲲鹏. 合成绝缘子老化试验的测量和数据采集系统. 河南大学学报 (自然科学版), 2004 年, 第 34 卷, 第一期
 3. 殷禹, 梁曦东, 李庆峰, 宿志一. 复合绝缘子的人工加速老化试验. 电网技术, 2006 年, 第 30 卷, 第 12 期
 4. 王辉, 孙岩州, 方志, 曾正中. 不同电极结构下介质阻挡放电的特性研究. 2006 年, 第 42 卷, 第 1 期
 5. V.M.Moreno and R.S.Gorur. Effect of Long-term Corona on Non-ceramic Outdoor Insulator Housing Materials. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol.8No.1, February 2001
 6. EUGENE J.McMAHON. The Chemistry of Corona Degradation of Organic Insulating Materials in High-Voltage Fields and Under Mechanical Strain. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol.EI-3, No.1, February 1968
 7. Baozhuang Shi, George G.Karady, Monty W.Tuominen. Experimental Studies of the Characteristics of Dry Band Arcing on ADSS Fiber Optic Cables. IEEE Transactions on power delivery, Vol.19, No.4, October 2004
 8. 李延沐, 袁 鹏, 李 梅, 吴晓辉, 李彦明. 空气电晕在交流电压下的放电研究. 高电压技术, 2005 年, 第 31 卷, 第 4 期

作者简介

王高勇 1983 年生, 华北电力大学在读硕士研究生, 主要从事高电压技术方面的研究。电话: 13466359736
Email:wang10436-2000@163.com

丁立健 1970 年生, 博导, 华北电力大学教授, 主要研究方向为电介质材料介电特性放电理论及应用电气设备在线监测。