

# 高压外绝缘试验环境修正及其程序化

郝建成, 王新掌, 杨嘉祥

(哈尔滨理工大学电气与电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

Atmosphere Correction and Programming During High Voltage External Insulation Test

HAO Jian-cheng, WANG Xin-zhang, YANG Jia-xiang

(Electrical & Electronic Engineering College, Harbin University of Scientific Technology, Harbin 150040, China)

**摘要:** 介绍了海拔高度和大气条件对高压产品外绝缘试验电压的影响及影响机理。针对在环境修正过程中繁琐的手工计算过程, 为了减少试验误差, 提高工作效率, 根据试验校正原理, 利用 VISUAL BASIC 6.0 可视化程序平台开发出一种应用软件。实际应用证明, 该软件在实用性以及可操作性方面都非常有效。

**关键词:** 大气校正; 海拔高度; 高压绝缘试验;

VISUAL BASIC 6.0

中图分类号: TM802

文献标识码: A

**Abstract:** In the paper the influences of altitude and atmosphere condition on external insulation test voltage are introduced, and the effect mechanisms are analyzed respectively. In order to reduce test error and improve efficiency, an internet application program is designed by visual basic6.0 based on test correction principle. Practical application proves that the software is effective in practicability.

**Key words:** Environment correction; altitude

high voltage insulation test;

VISUAL BASIC 6.0

## 0 引言

对于很多高压产品, 如果要进行外部绝缘考察, 就必须考虑试验时的大气条件以及产品使用地的海拔高度, 因为空气间隙及设备固体绝缘外露表面的放电电压受大气条件和海拔高度的影响, 大气条件的不同以及海拔高度不同, 外绝缘破坏性放电电压也会随之变化, 所以在产品外绝缘试验时, 就要对标准绝缘试验电压进行修正<sup>[1-2]</sup>。以往实验人员进行校正因数计算时, 是根据当时的大气条件, 查找 GB/T 1627-1 中与空气密度和环境温度有关的曲线, 最终得出修正结果。工作费时费力, 而且将测量

误差带入计算中, 导致计算结果精度不高。开发的新软件采用最小二乘法拟合曲线的原理, 利用 VB 的编程手段, 把 GB/T 1627-1 中有关的曲线拟合成相关函数后, 输入环境参数, 就可以直接得到所需的修正结果。因最小二乘法拟合曲线的精确度很高, 其误差远远小于每次查表所引起的视觉误差, 使计算结果更加准确可靠。

## 1 环境影响机理

外绝缘破坏性放电电压与试验时的大气条件有关。实验表明, 空气中放电电压随其密度增大而升高。这是由于随着密度的增加, 空气中电子的平均自由行程缩短, 电离过程减弱。空气密度对放电电压的影响比较简单, 但是湿度的影响就比较复杂。试验表明, 均匀电场中空气的放电电压随湿度的加大而升高, 但上升程度甚微, 几乎不受湿度变化的影响。但在极不均匀电场中, 空气中的水分增多对间隙击穿电压的影响效果就明显得多。放电电压和湿度有关是因为水分子容易吸引电子而形成负离子。电子形成负离子后, 自由行程大减, 在电场中引起电离的能力也大减。随着湿度的增加, 电子被水分子吸引而形成负离子的比例增大, 间隙中的电离过程削弱, 从而放电电压增大了。电场强度越高, 电子运动速度越大, 就越不易形成负离子。均匀电场中, 平均放电场强很高, 所以湿度的影响小; 而极不均匀电场中, 平均放电场强较低, 所以湿度的影响就比较明显。因此, 均匀和稍不均匀电场中, 湿度的影响可忽略不计。极不均匀电场中, 无论是空气间隙或绝缘子, 其放电电压通常将随湿度的增加而升高。但当相对湿度超过 80% 时, 放电电压会变得不规则, 特别是发生在绝缘表面的闪络电压, 分散性更大, 试验中应予以注意<sup>[3-4]</sup>。对高压产品而言, 由于试验场所与使用场

收稿日期: 2006-04-13

作者简介: 郝建成(1979-), 男, 硕士研究生, 从事高电压绝缘测试方法的研究。

所的海拔高度不同,所以必须进行海拔修正。当海拔高度增大时,相应的空气密度减小,所以其对试验电压的影响与空气密度对试验电压的影响机理相同。

## 2 环境修正因素计算

利用校正因数可将标准大气条件下规定的试验电压值换算到试验条件下的电压值,反之,也可将测得的闪络电压值换算到标准参考大气条件下的电压值。在高压产品外绝缘试验中,通常是考察产品在实验条件下承受电压的能力,一般都是将标准试验电压换算到实验条件下的电压值。实际加于试品外绝缘的电压值  $U$  由规定的标准参考大气条件下的试验电压  $U_0$  乘以  $K$  求得:  $U=U_0 \cdot K$ , 其中  $K$  由两部分组成,即大气条件校正因数  $K_1$  和海拔校正因数  $K_a$ :  $K=K_1 \cdot K_a$ 。

### 2.1 大气条件校正因数 $K_1$

外绝缘的破坏性放电取决于大气条件,通常空气中某一给定路径的破坏性放电电压随着空气密度以及空气湿度的改变而改变。因此,外绝缘在进行高电压试验时,应当考虑实际大气条件与标准大气条件之间的差异,用大气条件校正因数  $K_1$  对标准耐受电压进行校正。大气条件校正因素  $K_1$  由两部分组成,即空气密度校正因素  $K_1$  和湿度校正因素  $K_2$ :  $K_1=K_1 \cdot K_2$ 。

空气密度校正因数  $K_1$  取决于相对空气的相对密度,其表达式为:  $K_1 = \rho / \rho_0$ 。指数  $m$  在 2.2 节中给出。当温度为  $t$  ( ) 和大气压力为  $b$  (kPa) 时,相对空气密度:  $\rho = b(273+t_0) / [b_0(273+t)]$ 。

湿度校正因数  $K_2$  的表达式为:  $K_2 = K^w$ 。这里的  $K$  不是环境修正因数,  $K$  取决于试验电压类型,并为绝对湿度  $h$  与相对空气密度  $\rho$  的比率  $h/\rho$  的函数,可采用图 3 的曲线来近似求取。对  $h/\rho$  值超过  $15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$  的湿度校正仍在研究中。指数  $w$  在 2.2 节中给出。

### 2.2 关于指数 $m$ 和 $w$

指数  $m$  和  $w$  与另一特征参数  $g$  有关:  $g=U_0/500L \cdot K$ 。其中:  $U_0$  是指实际大气条件下的 50%破坏性放电电压值(测量或估算),在耐受试验时,可假定为 1.1 倍试验电压值;相对空气密度  $\rho$  和参数  $K$  均为实际值;  $L$  为指试验品绝缘最短放电路径;  $m$ ;  $w$  值与特征参数  $g$  的关系曲线由图 4 中求得。

### 2.3 海拔校正因素 $K_a$

高压产品的外绝缘破坏性放电也与试验场所所处的海拔高度有关。根据经验数据,对于海拔高于 1000 m,不超过 4000 m 的设备的外绝缘,海拔每升高 100 m,绝缘强度约降低 1%,海拔修正因数  $K_a$  的表达式为:  $K_a = e^{m((H-1000)/8150)}$ 。这里的  $m$  同大气因素中的  $m$  是两个完全独立的参数,式中相对于工频,雷电冲击和相间操作冲击电压,  $m=1$ ; 相对于纵绝缘操

作冲击电压,  $m=0.9$ ; 相对于相对地操作冲击电压,  $m=0.75$ 。

## 3 校正软件编程分析

校正软件的关键在于数据  $k, m, w$  以及  $h$  的获得,在该程序中,  $k, m, w$  都是通过对图表进行拟合而得到。该程序是利用最小二乘法对曲线进行拟合。 $h$  的获得比较麻烦,可通过已知的相对湿度以及温度,然后利用戈夫(coff)公式、相对湿度公式以及水蒸气密度计算公式求出绝对湿度。

### 3.1 软件结构及功能

软件设计时本着试验人员操作简单的原则,在 WINXP 平台上用 VB6.0 制作了简单明了的界面。它主要包括以下 3 部分:

#### (1) 初始化部分

软件初始化由环境参数输入和试验参数输入两部分组成,采用对话框形式的图形画面,直观且操作简单,见图 1 和图 2。

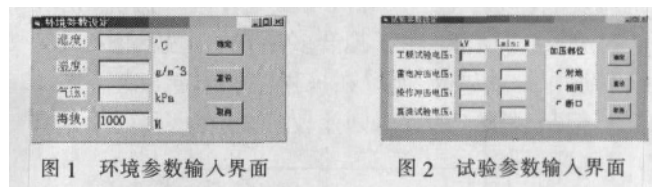


图1 环境参数输入界面

图2 试验参数输入界面

#### (2) 数据处理及计算

将输入的环境、试验数据赋予对应的变量,然后利用最小二乘法拟合出计算修正因素所需要曲线的表达式,按照高电压试验技术第一部分一般试验要求的计算原则,通过 VB 编程计算出修正因数的最后结果,并显示在界面的文本框中。

#### (3) 文件的处理 (计算结果处理)

可以对主界面文本中的计算结果进行存取、打印、修改、编辑等,并可以按显示需要改变设置。

### 3.2 程序执行流程框图

程序框图包括 3 个层次:程序的初始化、数据处理和后处理。对于初始化部分,主要是输入试验时的温度、湿度、气压、海拔高度以及标准大气条件下的试验电压,然后经数据处理部分得到环境修正因数以及所需试验电压数据,最后经打印等后处理得到书面结果,程序流程框图见图 3。

### 3.3 曲线拟合原理(最小二乘法)

最小二乘法是一种数学优化技术,它通过最小化误差的平方和,找到一组数据的最佳函数匹配。其基本原理是给定数据点  $\{(x_i, y_i)\} (i=1, 2, \dots, m)$  和一组函数  $g_k(x) (k=1, 2, \dots, n)$  求数  $a_1, a_2, \dots, a_n$  (假定  $m>n$ ),使函数  $p(x) = a_1 g_1(x) + a_2 g_2(x) + \dots + a_n g_n(x)$  与数据点误差的平方和的算术平方根最小。最小二乘法的优点是方法简单,计算迅速,无截断误差,不存在算法稳定性的问题,对误差具有平均作用,测量准确

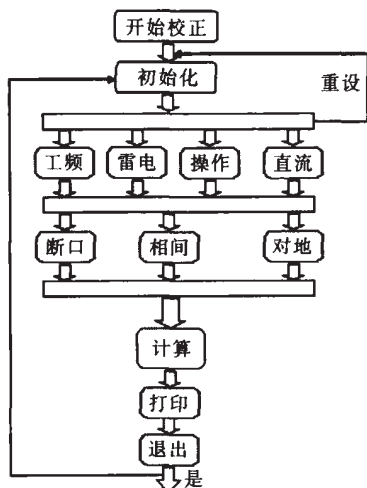


图 3 程序流程图

度也较高。最小二乘法通常用于曲线拟合,通过拟合,可以计算一些未知的中间点的值或者预测这些数据所在范围以外的值。考虑到最小二乘法的优点,在该软件中选用它来拟合图 4,图 5 中的曲线。根据所需的精度,在拟合中选用 6 次多项式:  $P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 + a_6x^6$ 。由于拟合多项式的次数越多,其拟合精度未必就越高,所以在该程序中选定 6 次。

但是对图 5 的拟合则比较麻烦,在该程序中是利

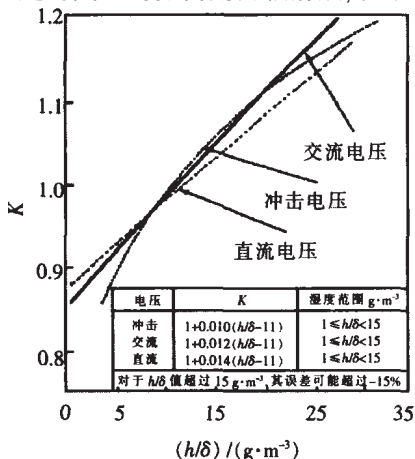


图 4  $K$  与  $h$  的关系曲线 ( $h$  为绝对湿度;  $\delta$  为相对空气密度)

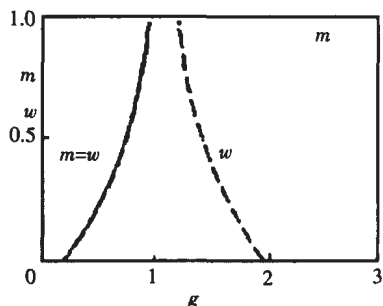


图 5 空气密度校正指数  $m$  值和湿度校正指数  $w$  与参数  $g$  的关系曲线

用已知的相对湿度以及温度,然后利用戈夫 (coff) 公式、相对湿度公式以及水蒸气密度计算公式求出绝对湿度。空气温度与干、湿球温度计读数的关系见图 6。

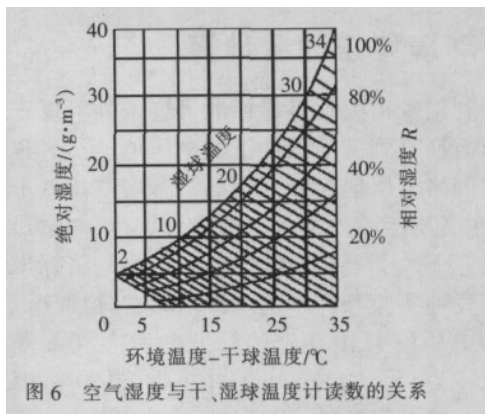


图 6 空气湿度与干、湿球温度计读数的关系

### 4 误差分析

以前,图 4,图 5 中的  $k, m, w$  须用查表的方式得到数据。现采用最小二乘法拟合曲线法,将视觉的误差大大减小。其误差比较见表 1。

表 1 误差比较值

	图表参数			平均误差
	k	m	w	
查表视觉误差	0.01	0.02	0.02	0.0167
程序化后的误差	0.001	0.001	0.001	0.001

### 5 结语

(1) 大气密度、湿度以及海拔高度对高压外绝缘试验电压有很大的影响,在高压外绝缘试验中都需要校正。对其影响,分别详细地给出了影响机理。

(2) 针对以往高压试验中计算校正因数时,涉及的参数繁多、查表误差大、计算结果不准的情况,基于可视化程序 VB 平台,采用最小二乘法拟合曲线处理数据,开发出一个实用的程序,通过该程序来完成校正任务,具有较高的精度,计算快捷,提高了工作效率。

### 参考文献:

- [1] 朱德恒, 严 璋. 高电压绝缘 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [2] GB/T 6927-1997. 高电压试验技术第 1 部分: 一般试验要求 [S].
- [3] 谭浩强. VISUAL BASIC 程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1990.
- [4] 刘连吉. 单片机对干湿球湿度侧值的湿度换算 [M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1993.