

电线电缆抗张强度检测结果的测量不确定度评定

The Uncertainty Evaluation for the Tensile Strength of Electric Cables

黄 荔

(成都市产品质量监督检验所,四川 成都 610041)

摘 要:本文分析了电线电缆绝缘材料抗张强度检测结果测量不确定度的主要来源,介绍了抗张强度测量不确定度的评定步骤和方法,给出了评定结果。

关键词:电线电缆;抗张强度;不确定度;评定

1 概述

电线电缆抗张强度是考核产品安全性的重要指标之一,检测结果的有效性与测量不确定度的应用密切相关。本文旨在通过分析电线电缆抗张强度检测结果的测量不确定度来源,建立评定方法与步骤,得到评定结果。

1.1 检测方法

GB/T2951.1-1997 电缆绝缘和护套通用试验方法 第1部分:通用试验方法 第1节:厚度和外形尺寸的测量—机械性能试验。

1.2 评定依据

JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示。

1.3 环境条件

标准规定温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$,本实验环境温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。

1.4 检测设备

电子万能试验机 CMT6104,测量范围 10kN(1级,示值误差 $\pm 1\%$)。

低倍投影仪型号 DTTA,测量范围 $(0 \sim 25)\text{mm}$,极限示值误差 $\pm 0.01\text{mm}$ 。

1.5 被测对象

电缆型号 227IEC 01(BV)35mm²,检测项目为绝缘老化前抗张强度。

1.6 检测过程

(1)将电缆的绝缘层制成哑铃试件,已测得哑铃试件宽度 4.00mm,厚度 1.24mm;

(2)按 GB/T2951.1-1997 规定在 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下存放 3 小时;试验在 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 温度下进行;

(3)将哑铃试件夹在电子万能试验机的上下夹头之间(夹头间距为 50mm),以移动速度为 250 mm/min 拉伸试件至断裂,测量并记录断裂时最大拉力 F_m ,计算抗张强度 R_m 。

2 数学模型

$$R_m = F_m/A = F_m/ab; \text{N/mm}^2$$

式中: R_m —试件的抗张强度, N/mm^2 ;

F_m —试件断裂时的拉力, N ;

A —试件截面积; $A = ab$; mm^2 ;

a —哑铃试件宽度, mm ;

b —哑铃试件厚度, mm 。

3 测量不确定度的主要来源分析

主要来源:试件尺寸测量所引起的不确定度分量;试验力值测量所引起的不确定度分量;分量中包括了重复性测量所带来的不确定度;检测设备误差带来的不确定度;试件材质不均匀性带来的不确定度;环境温度影响带来的不确定度等。

4 标准不确定度分量的评定

10 个试件的测量及计算结果见表 1。

表 1 抗张强度测量结果

测量次数 n	实测拉力(N)	抗张强度(N/mm^2)
1	74.54	15.03
2	75.99	15.32
3	75.44	15.21
4	75.36	15.19
5	75.12	15.15
6	75.60	15.24
7	74.82	15.08
8	75.09	15.14
9	76.04	15.33
10	75.78	15.28
平均值 \bar{F}_m	75.38 N	\bar{R}_m 15.20 N/mm^2

4.1 试验力值测量引入的不确定度

(1)测量重复性引入的不确定度 $\mu_1(f)$ (采用 A 类方法评定)

由表 1: $\bar{F} = 75.38 \text{ N}$;

根据贝塞尔公式:

$$S_F = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \frac{n}{k} (F_i - \bar{F})^2} = 0.493 \text{ N}$$

则拉力平均值的实验标准差为:

$$S_{\bar{F}} = S_F / \sqrt{n} = 0.493 / \sqrt{10} = 0.156 \text{ N};$$

$$\text{标准不确定度 } \mu_1(f) = S_{\bar{F}} = 0.1558 \text{ N};$$

(2) 电子万能试验机示值误差引入的不确定度 $\mu_2(f)$ (采用 B 类方法评定)

本次实验使用的试验机的示值误差限为 $\pm 1\%$, 误差分布满足均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则引入的相对不确定度 $\mu_{2,rel}(f) = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$; 换算为绝对不确定度 $\mu_2(f) = 75.38 \times 0.58\% = 0.437 \text{ N}$ 。

(3) 试验机分辨力引入的不确定度 $\mu_3(f)$ (采用 B 类方法评定)

该试验机的分辨力 δ_x 为 0.01 N , 根据经验公式, 引入的不确定度为

$$\mu_3(f) = 0.29 \delta_x = 0.29 \times 0.01 = 0.0029 \text{ N};$$

由于上述各个因素所引入的测量不确定度彼此不相关, 所以力值测量的标准不确定度可合成为:

$$\mu(f) = \sqrt{\mu_1^2(f) + \mu_2^2(f) + \mu_3^2(f)} = 0.464 \text{ N}$$

4.2.2 试样尺寸测量引入的不确定度

(1) 尺寸测量重复性引入的不确定度 μ_1

由于在实际中是按 GB/T2951.1 的规定测量 1 次 (从 1 个产品上按规定切取若干个试片测量为 1 次), 即 $k=1$, 测量结果服从正态分布。根据参考文献 2, 所引入的不确定度

$$\mu_2(a) = \mu_2(b) = 0.0051 \text{ mm};$$

(2) 低倍投影仪示值误差引入的测量不确定度 $\mu_2(a)$ $\mu_2(b)$

本次实验使用的低倍投影仪的示值误差为 $\pm 0.01 \text{ mm}$, 误差分布满足均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则: $\mu_2(a) = \mu_2(b) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ mm}$ 。

由于上述因素所引入的测量不确定度之间独立不相关, 所以试样尺寸测量的标准不确定度分量是:

$$\mu(a) = \sqrt{\mu_1^2(a) + \mu_2^2(a)} = 0.00772 \text{ mm}$$

$$\mu(b) = \sqrt{\mu_1^2(b) + \mu_2^2(b)} = 0.00772 \text{ mm}$$

4.2.3 环境温度变化引起的不确定度

在本实验中, 环境温度保持在 $23^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, 对样品的尺寸及拉力测量结果引起的不确定度很小, 这里忽略不计。

标准不确定度分量汇总表 2。

5 合成标准不确定度

因试样厚度和宽度、试验拉力的测量所引入的不确定度之间彼此独立不相关, 则可用方和根的公式及数学模型计算灵敏系数, 得出合成标准不确定度,

表 2 标准不确定度汇总

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值	灵敏系数
$\mu(f)$	拉力实验重复性 $\mu_1(f)$	$\mu(f) = 0.464$	$C_1 = 0.0202$
	试验机示值误差 $\mu_2(f)$	$\mu_1(f) = 0.1558$	
	试验机分辨力 $\mu_3(f)$	$\mu_2(f) = 0.0058$	
$\mu(a)$	尺寸测量重复性 $\mu_1(a)$	$\mu_3(f) = 0.0029$	$C_2 = -3.7993$
	低倍投影仪示值误差 $\mu_2(a)$	$\mu(a) = 0.0077$	
$\mu(b)$	尺寸测量重复性 $\mu_1(b)$	$\mu_1(a) = 0.0051$	$C_3 = -12.256$
	低倍投影仪示值误差 $\mu_2(b)$	$\mu_2(a) = 0.0058$	
		$\mu_1(b) = 0.0077$	
		$\mu_2(b) = 0.0058$	

$$\mu_c(R_m) = \sqrt{c_1^2 \mu^2(f) + c_2^2 \mu^2(a) + c_3^2 \mu^2(b)}$$

$$= 0.27 \text{ N/mm}^2$$

式中: c_1, c_2, c_3 为灵敏系数

$$C_1 = \frac{\partial R_m}{\partial F_m} = \frac{1}{ab} = 0.0202; C_2 = \frac{\partial R_m}{\partial a} = -\frac{F_m}{a^2 b} = -3.$$

$$7993; C_3 = -\frac{\partial R_m}{\partial b} = -\frac{F_m}{ab^2} = -12.256$$

6 扩展不确定度

由表 2 可知, 试验力值测量所引入的不确定度分量是占优势的分量, 满足正态分布。

取包含因子 $k=2$, 于是扩展不确定度为

$$U(R_m) = k \times \mu_c(R_m) = 2 \times 0.27 \approx 0.5 \text{ N/mm}^2$$

7 测量结果的报告

该电缆 (227IEC 01 (BV) 35 mm²) 绝缘老化前抗张强度测量结果为:

$R_m = 15.2 \text{ N/mm}^2$; $U = 0.5 \text{ N/mm}^2$; $k = 2$; 置信概率约为 95%。

参考文献

- [1] JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示.
- [2] CNAS—GL10:2006 材料理化检验测量不确定度评估指南及实例. 中国计量出版社, 2007.
- [3] GB/T2951.1—1997 电缆绝缘和护套通用试验方法 第 1 部分: 通用试验方法 第 1 节: 厚度和外形尺寸的测量—机械性能试验.

作者简介: 黄荔, 女, 高级工程师。工作单位: 成都市产品质量监督检验所。通讯地址: 610041 四川省成都市永丰路 16 号。

收稿时间: 2007-10-12