

电线电缆绝缘平均厚度测量结果的不确定度评定

1、概述

1.1 评定依据

《测量不确定度评定与表示》(JJF1059.1-2012)

1.2 目的

评定电缆在环境温度下绝缘平均厚度测量结果的不确定度。

1.3 检测依据的标准

《电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 11 部分：通用试验方法——厚度和外形尺寸测量——机械性能试验》(GB/T 2951.11-2008)。

1.4 检测使用的仪器设备

投影仪，型号为 JT12A-B，编号为 M07W00024，测量范围为横向(0~50)mm，分辨力为 0.0014mm。经佛山市质量计量监督检测中心校准合格，在校准有效期内使用；示值扩展不确定度为 $U=0.0014\text{mm}$ ， $k=2$ 。

2、检测样品

型号规格 BVR 2.5 的聚氯乙烯绝缘电线。

3、测量程序

一次完整的测量是在至少相隔 1m 的 3 处各取一段绝缘试样，抽出导体，用锋利的刀片沿着与导体轴线相垂直的平面在 3 段试样上分别切取 3 个绝缘薄片，将薄片置于投影仪的工作面上，按标准规定每个薄片测量 6 点，测得 3 个薄片的 18 个测量值的平均值作为绝缘平均厚度的最终结果，读数精确至 0.001mm。

4、测量模型

$$\bar{d} = \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{18} d_i$$

5、不确定来源

电线绝缘平均厚度的测量结果的不确定来源主要有：

- (1) 测量结果重复性引入的不确定度 u_A ，采用 A 类方法评定；
- (2) 投影仪的示值最大允许误差引入的标准不确定度 u_{B1} ，采用 B 类方法评定；
- (3) 投影仪的分辨力引入的标准不确定度 u_{B2} ，采用 B 类方法评定；
- (4) 检测结果数据修约引入的标准不确定度 u_{B3} ，采用 B 类方法评定；
- (5) 环境温度波动引入的标准不确定度 u_{B4} ，采用 B 类方法评定。

6、标准不确定度的评定

6.1 测量结果重复性引入的标准不确定度 u_A

预评定时，在重复条件下对 BVR 2.5 的电线绝缘平均厚度进行 10 次独立测量，其测量结果如下表所

示:

表 1 BVR 2.5 绝缘平均厚度 10 次独立测量结果

序号	平均厚度(mm)	序号	平均厚度(mm)
1	0.84	6	0.83
2	0.83	7	0.82
3	0.83	8	0.83
4	0.84	9	0.83
5	0.82	10	0.84
平均值 \bar{d} (mm)	0.831		

应用贝塞尔公式计算单次测量实验标准差为:

$$s(\bar{d}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{d}_i - \bar{d})^2} = 0.00738 \text{ (mm)}$$

日常检测中, 按标准规定, 通常测量 1 次, 故由测量结果重复性引入的标准不确定度 u_A 为:

$$u_A = s(\bar{d}) = 0.00738 \text{ (mm)}$$

6.2 投影仪的示值最大允许误差引入的标准不确定度 u_{B1}

根据投影仪校准证书, 其示值扩展不确定度为 $U=0.0014\text{mm}$, $k_1=2$, 故投影仪的示值最大允许误差引入的标准不确定度 u_{B1} 为:

$$u_{B1} = \frac{U}{k_1} = \frac{0.0014}{2} = 0.0007 \text{ (mm)}$$

6.3 投影仪的分辨力引入的标准不确定度 u_{B2}

根据投影仪说明书, 投影仪分辨力为 0.001mm , 区间半宽 $a_2=0.0005\text{mm}$, 服从均匀分布, 包含因子为 $k_2=\sqrt{3}$, 故投影仪的分辨力引入的标准不确定度 u_{B2} 为:

$$u_{B2} = \frac{a_2}{k_2} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.000289 \approx 0.0003 \text{ (mm)}$$

6.4 数据修约引入的相对标准不确定度分量 u_{B3} :

根据 GB/T 2951.11-2008 《电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 11 部分: 通用试验方法——厚度和外形尺寸测量——机械性能试验》规定, 读数应测量到小数点后两位 (以 mm 计), 也即测量结果应修约到 0.01mm , 修约的区间半宽 $a_3=0.005\text{mm}$, 服从均匀分布, 包含因子为 $k_3=\sqrt{3}$, 故测试结果修约引入的标准不确定度 u_{B3} 为:

$$u_{B3} = \frac{a_3}{k_3} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.00289 \approx 0.003 \text{ (mm)}$$

6.5 环境温度波动引入的标准不确定度 u_{B4}

BVR 2.5 电线绝缘材料为 PVC，其热膨胀系数 $\beta=80\times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，在测量过程中，实验室环境温度在 $(20\pm 1) \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内波动，符合均匀分布，包含因子为 $k_4=\sqrt{3}$ ，故由实验室环境温度波动到来的试样变形引起的标准不确定度 u_{B4} 为：

$$u_{B4} = \frac{a_4}{k_4} = \frac{80 \times 10^{-6} \times 1 \times 0.831}{\sqrt{3}} = 0.00004 \text{ (mm)}$$

7、合成标准不确定度

对于直接测量，各不确定度分量互不相关，采用方和根方法合成，求得合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2} = 0.012 \text{ (mm)}$$

8、扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则电线 BVR 2.5 绝缘平均厚度测量结果的扩展不确定度 U 为：

$$U = k u_c = 2 \times 0.012 = 0.024 \text{ (mm)}$$

9、不确定度汇总

不确定度汇总如表 2：

表 2 BVR 2.5 绝缘平均厚度测量不确定度汇总表

序号	不确定度来源	评定方法	分布	包含因子 (k_i)	符号	数值 (mm)
1	测量重复性	A	正态	1	u_A	0.00738
2	投影仪的示值最大允许误差	B	均匀	2	u_{B1}	0.0007
3	投影仪的分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_{B2}	0.0003
4	测量结果数值修约	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_{B3}	0.003
5	环境温度波动	B	均匀	$\sqrt{3}$	u_{B4}	0.00004
6	合成标准不确定度	$u_c = 0.012 \text{ (mm)}$				
7	扩展不确定度	$U = 0.024 \text{ (mm)} \quad k=2$				

10、报告检测结果

BVR 2.5 的绝缘平均厚度的测量结果为 0.84mm，其扩展不确定度为 $U = 0.024\text{mm}$ ， $k=2$ 。即：

$$\bar{d} = (0.84 \pm 0.024) \text{ mm}; k=2。$$

编制：龙波 2022.9.12 审核：王乐 2022.9.12 批准：何明 2022.9.12