**《电容工作基准检定规程》**

**测量不确定度评定**

电容工作基准检定规程修订小组

2024年06月

适用于电容工作基准检定规程的测量不确定度的评定与表示。依据JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行评定。

**一、温控型熔融石英标准电容器测量不确定度的评定**

1、测量原理

使用比较法，将标准电容与被测电容器接入电容电桥，调整电容电桥平衡，对被测电容器进行校准。

2、数学模型

被校准电容器容量值的计算公式为：



考虑到计算电容基准定值时所依据的长度的不确定度的影响，以及计算电容所处环境状态对测量结果的影响，数学模型为：

 （1-1）

式中：

— 计算电容基准量值；

— 由于计算电容长度带来的误差；

— 电容电桥的显示值；

— 计算电容所处环境引入的误差；

3、不确定度评定

（1）电容电桥的重复性 U1

在校准条件不变的情况下使用电容电桥对10pF电容标准器进行10次独立重复测量，得到的测量结果为：

×10-6pF

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果 | -0.97 | -0.93 | -0.96 | -0.95 | -0.95 | -0.96 | -0.94 | -0.94 | -0.95 | -0.96 |

则X的最佳估计值可以用10次独立测量结果的平均值来表示：



根据定义，用标准偏差表示的不确定度称为标准不确定度。于是单次测量结果的标准不确定度可用贝赛尔公式表示：



（2）计算电容轴向长度测量 U2

由于计算电容的特殊结构，其量值仅与其轴向长度有关，计算电容复现的不确定度为，于是引入的不确定度分量为：



（3）引线修正的残余量 U3

测量结果都已将引线的误差计算进去，但是还有少量残留误差可能对测量结果造成影响：



（4）温湿度变化 U4

温度变化对电容基准器长度的影响已经在得到计算电容的复现值时计算在内了，但是对温度测量结果的不确定度有可能对最后的测量结果产生影响。经计算，这个影响量引入的不确定度为



4、相关性

各输入量之间未发现相关性且灵敏系数为1。

5、不确定度概算

表1-1给出各不确定度分量的汇总表。

表1-1不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入量Ui | 估计值ui | 评定类型 | 标准不确定度u(xi) | 概率分布 | 灵敏度系数 | 不确定度分量 |
| U1 |  | A |  | 正态 | 1 | 0 |
| U2 |  | B |  | 矩形 | 1 |  |
| U3 |  | B |  | 矩形 | 1 |  |
| U4 |  | B |  | 矩形 | 1 |  |

6、合成标准不确定度



7、扩展不确定度

对合成标准不确定度，取其置信概率为p=99.7%，包含因子k99.7=3,故扩展不确定度为：



**二、标准电容电桥测量不确定度的评定**

1、测量原理

在1 kHz频率下，采用直接测量法，即用溯源的标准电容器接入高精密电容电桥，对被测电桥进行检定。

2、数学模型

被检电桥的电容示值误差计算公式为：



式中：

—标准电容器的电容实际值，F；

—被检电桥的电容示值，F；

—被检电桥的电容示值相对误差。

被检电桥的损耗因数示值误差计算公式为：



式中：

—电容电桥的损耗因数示值误差；

—电容电桥的损耗因数显示值；

—标准电容器或损耗标准器的损耗因数参考值。

1. 不确定度评定

3.1 电容的测量不确定度

（1）数据重复性

进行10次独立重复测量，得到的测量结果为：

表2-1 电容 （单位：pF）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果 | 9.9999892 | 9.9999892 | 9.9999892 | 9.9999892 | 9.9999892 | 9.9999892 | 9.9999892 | 9.9999892 | 9.9999892 | 9.9999892 |

则X的最佳估计值可以用10次独立测量结果的平均值来表示：





根据定义，用标准偏差表示的不确定度称为标准不确定度。于是单次测量结果的标准不确定度可用贝赛尔公式表示：



（2）标准电容器溯源

计算电容复现的不确定度为（*k*=3），按正态分布考虑，引入的不确定度分量为

（3）标准电容器稳定性

标准电容器年稳性为，按均匀分布考虑，引入的不确定度分量为

（4）温湿度变化等环境问题

标准电容器为密封温控型，温湿度变化等环境问题引入的不确定度可忽略不计，

3.2 损耗因数的测量不确定度

（1）数据重复性

进行10次独立重复测量，得到的测量结果为：

表2-2 10 pF损耗因数 （）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量结果 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 |

则X的最佳估计值可以用10次独立测量结果的平均值来表示：





根据定义，用标准偏差表示的不确定度称为标准不确定度。于是单次测量结果的标准不确定度可用贝赛尔公式表示：



（2）标准电容器溯源

电容器损耗因数复现的不确定度为（*k*=2），按正态分布考虑，引入的不确定度分量为

（3）标准电容器稳定性

标准电容器损耗因数年稳性为0.1，按均匀分布考虑，引入的不确定度分量为

（4）温湿度变化等环境问题

标准电容器为密封温控型，温湿度变化等环境问题引入的不确定度可忽略不计，

4、相关性

各输入量之间未发现相关性且灵敏系数为1。

5、不确定度概算

表2-4和表2-5给出各不确定度分量的汇总表。

表2-4电容不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 估计值 | 评定类型 | 标准不确定度 | 概率分布 | 灵敏度系数 | 不确定度分量 |
|  |  | A |  | 正态 | 1 |  |
|  |  | B |  | 均匀 | 1 |  |
|  |  | B |  | 均匀 | 1 |  |
|  |  | B |  | 均匀 | 1 |  |

表2-5损耗因数不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 估计值 | 评定类型 | 标准不确定度 | 概率分布 | 灵敏度系数 | 不确定度分量 |
|  |  | A |  | 正态 | 1 |  |
|  |  | B |  | 均匀 | 1 |  |
|  |  | B |  | 均匀 | 1 |  |
|  |  | B |  | 均匀 | 1 |  |

1. 合成标准不确定度

6.1 电容的合成标准不确定度



6.2 损耗因数的合成标准不确定度



7、扩展不确定度

对合成标准不确定度，包含因子*k*=2,故扩展不确定度为：

电容：

损耗因数：

8、测量结果

对于10 pF点，电容的，小于电桥在该的最大允许误差；损耗因数的，小于电桥在该的最大允许误差；经判定，合格。