**国家计量技术规范**

**砂土相对密度仪校准规范**

**（征求意见稿）**

**测量不确定度评定报告**

**规范起草组**

**2024年09月**

**目 录**

[一、量筒容积测量模型及不确定度评定 1](#_Toc16797)

[二、锤座底边直径测量模型及不确定度评定 3](#_Toc13034)

[三、击锤落高测量模型及不确定度评定 4](#_Toc28181)

[四、击锤质量测量模型及不确定度评定 5](#_Toc26956)

[五、长颈漏斗径管内径测量模型及不确定度评定 6](#_Toc2356)

[六、金属容器尺寸测量模型及不确定度评定 7](#_Toc17198)

**砂土相对密度仪校准不确定度评定**

分别对砂土相对密度仪的量筒容积、锤座底边直径、击锤落高、击锤质量进行不确定度评定。

# 一、量筒容积测量模型及不确定度评定

1测量模型

量筒容积：

 (1)

式中：

——第i次量筒容积，mL；

——第i次加水后量筒质量，g；

——水的密度，g/mL。

根据公式(1)和不确定度传播律，得到量筒容积的合成标准不确定度：

** (2)

其中：，本试验中m=500g，ρ=0.99820g/mL，计算灵敏系数为：



则合成标准不确定度为：。

2不确定度来源分析

影响测量不确定度的来源主要有：

1. 测量重复性引入的测量不确定度；
2. 计量标准器引入的测量不确定度；
3. 不同温度水的密度引入的测量不确定度。

3测量不确定度的评定

3.1测量重复性引入的标准不确定度分量：

在重复性测量条件下，用电子天平分别对两种容积量筒重复装水10次前后质量进行重复测量，用温度计测量每次装水后水温约为20 ℃，计算出量筒容积，测量结果见表1。

表1 量筒容积重复性测量结果 容积单位：mL

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量  次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 标准差 |
| 实测值 | 500.11 | 500.08 | 500.09 | 500.11 | 500.11 | 500.12 | 500.09 | 500.08 | 500.09 | 500.09 | 0.014 |
| 实测值 | 1000.18 | 1000.16 | 1000.18 | 1000.18 | 1000.17 | 1000.16 | 1000.17 | 1000.14 | 1000.19 | 1000.17 | 0.014 |

在实际测量时，重复测量3次，取3次测量值的算术平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：



3.2标准器引入的标准不确定度分量：

该项目校准标准器为测量范围（0～2000）g，分度值0.02g的级电子天平，电子天平由上一级标准检定，根据检定规程，在测量范围（400～2000）g时，其最大允许误差为 ± 0.3 g，作均匀分布，取包含因子，则其引入的标准不确定度分量为：



则：



3.3不同温度水的密度引入的标准不确定度分量：

测量水的密度随温度变化的标准器为温度计，温度计由上一级标准检定，根据本检定规程选取最大允许误差为 ± 0.4 ℃的温度计进行水温测量，本次试验水温约为20℃，温度计最大允许误差为 ± 0.4 ℃，则温度实际范围在（20±0.4）℃，根据附录A常用温度点试验用水的密度可查出相应密度区间为（0.99812～0.99829）g/mL，则其不确定度区间半宽为0.000085g/mL，按均匀分布计算，取包含因子，则其引入的标准不确定度分量为：



则：

4合成标准不确定度和扩展不确定度

由于合成标准不确定度：





取包含因子*k*=2，扩展不确定度：





根据同样的试验方法和不确定度分析，对不同温度点的砂土相对密度仪量筒容积测量不确定度进行评定，其主要影响不确定度的因素皆为标准器引入的标准不确定度分量，测量重复性引入的标准不确定度分量和不同温度水的密度引入的标准不确定度分量影响很小，通过扩展不确定度修约后，不同温度点的砂土相对密度仪量筒容积的扩展不确定度皆为，*k*=2。

# 二、锤座底边直径测量模型及不确定度评定

1测量模型

 (3)

式中：

——游标卡尺测量值，mm；

——锤座底边直径值，mm。

根据公式（3）和不确定度传播律，得到锤座底边直径的合成标准不确定度：

 (4)

其中：，则合成标准不确定度为：。

2不确定度来源分析

影响测量不确定度的来源主要有：

1. 测量重复性引入的测量不确定度；
2. 计量标准器引入的测量不确定度。

3测量不确定度的评定

3.1测量重复性引入的标准不确定度分量：

在重复性测量条件下，用游标卡尺对锤座底边直径进行10次重复测量，测量结果见表2。

表2 锤座底边直径重复性测量结果 长度单位：mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量  次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 标准差 |
| 实测值 | 49.98 | 49.97 | 49.99 | 49.95 | 49.96 | 49.97 | 49.98 | 49.97 | 49.96 | 49.97 | 0.012 |

在实际测量时，取3次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：



3.2标准器引入的标准不确定度分量：

该标准器为游标卡尺，最大允许误差 ± 0.03 mm，区间半宽为0.03 mm，估计为均匀分布，取包含因子。



4合成标准不确定度和扩展不确定度

由于合成标准不确定度：



取包含因子*k*=2，扩展不确定度：



# 三、击锤落高测量模型及不确定度评定

1测量模型

 (5)

式中：

——钢直尺测量值，mm；

——击锤落高值，mm。

根据公式（5）和不确定度传播律，得到击锤落高的合成标准不确定度：

 (6)

其中：，则合成标准不确定度为：。

2不确定度来源分析

影响测量不确定度的来源主要有：

1. 测量重复性引入的测量不确定度；
2. 计量标准器引入的测量不确定度。

3测量不确定度的评定

3.1测量重复性引入的标准不确定度分量：

在重复性测量条件下，用钢直尺对击锤落高进行10次重复测量，测量结果见表3。

表3 击锤落高重复性测量结果 长度单位：mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量  次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 标准差 |
| 实测值 | 150.5 | 150.5 | 150.5 | 150.5 | 150.3 | 150.0 | 150.3 | 150.5 | 150.0 | 150.0 | 0.23 |

在实际测量时，取3次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：



3.2标准器引入的标准不确定度分量：

该标准器为钢直尺，钢直尺由上一级标准检定，根据检定规程，在测量范围内时，其最大允许误差为 ± 0.1 mm，作均匀分布，取包含因子。



4合成标准不确定度和扩展不确定度

由于合成标准不确定度：



取包含因子*k*=2，扩展不确定度：



# 四、击锤质量测量模型及不确定度评定

1测量模型

 (7)

式中：

——电子天平测量值，g；

——击锤质量，g。

根据公式（7）和不确定度传播律，得到击锤质量的合成标准不确定度：

 (8)

其中：，则合成标准不确定度为：。

2不确定度来源分析

影响测量不确定度的来源主要有：

1. 测量重复性引入的测量不确定度；
2. 计量标准器引入的测量不确定度。

3测量不确定度的评定

3.1测量重复性引入的标准不确定度分量：

在重复性测量条件下，用电子天平对击锤质量进行10次重复测量，测量结果见表4。

表4 击锤质量重复性测量结果 质量单位：g

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量  次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 标准差 |
| 实测值 | 1250.18 | 1250.16 | 1250.18 | 1250.18 | 1250.16 | 1250.16 | 1250.18 | 1250.14 | 1250.20 | 1250.18 | 0.017 |

在实际测量时，取3次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：



3.2标准器引入的标准不确定度分量：

该标准器为测量范围（0～2000）g，分度值0.02g的级电子天平，电子天平由上一级标准检定，根据检定规程，在测量范围（400～2000）g时，其最大允许误差为 ± 0.3 g，作均匀分布，取包含因子。



4合成标准不确定度和扩展不确定度

由于合成标准不确定度：



取包含因子*k*=2，扩展不确定度：



# 五、长颈漏斗径管内径测量模型及不确定度评定

1测量模型

 (9)

式中：

——游标卡尺测量值，mm；

——长颈漏斗径管内径值，mm。

根据公式（9）和不确定度传播律，得到长颈漏斗径管内径的合成标准不确定度：

 (10)

其中：，则合成标准不确定度为：。

2不确定度来源分析

影响测量不确定度的来源主要有：

1. 测量重复性引入的测量不确定度；
2. 计量标准器引入的测量不确定度。

3测量不确定度的评定

3.1测量重复性引入的标准不确定度分量：

在重复性测量条件下，用游标卡尺对长颈漏斗径管下口内径进行10次重复测量，测量结果见表5。

表5 长颈漏斗径管内径重复性测量结果 长度单位：mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量  次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 标准差 |
| 实测值 | 12.03 | 12.04 | 12.02 | 12.02 | 12.01 | 12.05 | 12.04 | 12.04 | 12.04 | 12.03 | 0.013 |

在实际测量时，取3次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：



3.2标准器引入的标准不确定度分量：

该标准器为游标卡尺，最大允许误差 ± 0.03 mm，区间半宽为0.03 mm，估计为均匀分布，取包含因子。



4合成标准不确定度和扩展不确定度

由于合成标准不确定度：



取包含因子*k*=2，扩展不确定度：



# 六、金属容器尺寸测量模型及不确定度评定

1测量模型

 (11)

式中：

——游标卡尺测量值，mm；

——金属容器尺寸值，mm。

根据公式（11）和不确定度传播律，得到金属容器尺寸的合成标准不确定度：

 (12)

其中：，则合成标准不确定度为：。

2不确定度来源分析

影响测量不确定度的来源主要有：

1. 测量重复性引入的测量不确定度；
2. 计量标准器引入的测量不确定度。

3测量不确定度的评定

3.1测量重复性引入的标准不确定度分量：

在重复性测量条件下，用游标卡尺对100mm规格的金属容器内径进行10次重复测量，测量结果见表6。

表6 金属容器内径重复性测量结果 长度单位：mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量  次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 标准差 |
| 实测值 | 100.05 | 100.04 | 100.04 | 100.02 | 100.01 | 100.04 | 100.04 | 100.04 | 100.04 | 100.02 | 0.013 |

在实际测量时，取3次测量值的平均值作为测量结果，则测量重复性引入的标准不确定度分量为：



3.2标准器引入的标准不确定度分量：

该标准器为游标卡尺，最大允许误差 ± 0.03 mm，区间半宽为0.03 mm，估计为均匀分布，取包含因子。



4合成标准不确定度和扩展不确定度

由于合成标准不确定度：



取包含因子*k*=2，扩展不确定度：

