《雨量器和雨量量筒》测量结果

不确定度分析报告

编写组

2024年3月

雨量量筒示值误差测量不确定度评定

1. 评定依据：JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》。
2. 测量方法：

将标称容量分别为3.14mL、12.57mL、15.71mL、 31.42mL、94.25mL和157.08mL的标准容量瓶作为标准器，按照雨量器标称承水口径为200mm，换算标准雨量值分别为0.1mm、0.4mm、0.5mm、1mm、2mm和5mm，采用容量比较法进行测试。由于试验方法为将标准瓶中水累计添加到被检雨量量筒的方式，所以对应检定点分别为0.1mm、0.5mm、1mm、2mm、5mm和10mm，将雨量量筒测量值与标准值进行比较，计算雨量量筒在各检定点的测量误差。

1. 测量模型

 （1）

 （2）

式中：

——第*i*个检定点降雨量测量误差，mm；

——被检雨量量筒第*i*个检定点两次测量值的平均值，mm；

——第*i*个检定点降雨量标准值，mm；

——第*i*个标准玻璃量器的标称容积，mL；

——被检雨量器承雨口径测量值，mm；

1. 测量不确定度来源

4.1 对被检雨量量筒示值进行多次重复测量引入的不确定度分量

4.2 被检雨量量筒分辨力引入的不确定度分量

4.3 标准装置引入的不确定度分量

1. 输入量的标准不确定度评定

5.1被检雨量量筒示值误差的重复性

被检雨量量筒误差的重复性是在每个测试点上分别计算的。因为在每个检定点上分别读取了2次数据，因此采用极差法计算单次测量的标准差，计算方法按式（3）计算。

 （3）

式中：

：在第个检定点上雨量量筒示值最大值；

：在第个检定点上雨量量筒示值最大值；

：系数。当测量次数为2时取1.13。

由于被检雨量量筒在每个检定点上测量结果是用平均值表示的，因此，应将平均值的标准差作为该次测量结果的重复性。平均值的标准差按式（4）计算。

 （4）

式中：

：雨量量筒第个检定点测量的次数，取2；

：雨量量筒第个检定点两次测量值的平均值的重复性。

5.1.1被检雨量量筒的检定数据

QXYL-05、QXYL-06和QXYL-07三支被检雨量量筒的检定数据见表1。

表1 被检雨量量筒的检定数据

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| 标准玻璃量器容积（mL） | 3.14 | 3.14+12.57 | 3.14+12.57+15.71 | 3.14+12.57+15.71+31.41 | 3.14+12.57+15.71+31.41+94.25 | 3.14+12.57+15.71+31.41+94.25+157.08 |
| QXYL-05示值（mm) | 0.12 | 0.52 | 1.02 | 2.02 | 5.02 | 10.02 |
| 0.12 | 0.51 | 1.02 | 2.02 | 5.01 | 10.03 |
| QXYL-06示值（mm) | 0.11 | 0.51 | 1.02 | 2.00 | 5.00 | 10.00 |
| 0.12 | 0.52 | 1.02 | 2.01 | 5.01 | 10.01 |
| QXYL-07示值（mm) | 0.12 | 0.52 | 1.02 | 2.01 | 5.01 | 10.01 |
| 0.11 | 0.51 | 1.01 | 2.02 | 5.00 | 10 |

5.1.2计算结果

根据公式（3）和公式（4）得QXYL-05的重复性计算结果见表2，QXYL-06重复性计算结果见表3，QXYL-07的重复性计算结果见表4。

表2 QXYL-05重复性计算结果 单位（mm）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
|  | 0.0000 | 0.0088 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0088 | 0.0088 |
|  | 0.0000 | 0.0063 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0063 | 0.0063 |

表3 QXYL-06重复性计算结果 单位（mm）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
|  | 0.0088 | 0.0088 | 0.0000 | 0.0088 | 0.0088 | 0.0088 |
|  | 0.0063 | 0.0063 | 0.0000 | 0.0063 | 0.0063 | 0.0063 |

表4 QXYL-07重复性计算结果 单位（mm）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
|  | 0.0088 | 0.0088 | 0.0088 | 0.0088 | 0.0088 | 0.0088 |
|  | 0.0063 | 0.0063 | 0.0063 | 0.0063 | 0.0063 | 0.0063 |

5.2被检雨量量筒分辨力引入的不确定度分量

被检雨量量筒分度值为0.1mm，分辨力为0.01mm，不确定度按平均分布估计，包含因子取，此项不确定度分量为：

 （5）

5.3 标准装置引入的不确定度分量

5.3.1标准玻璃瓶引入相对标准不确定度

本次校准使用六种规格标准玻璃量器，标称容积分别为3.14mL、12.57mL、15.71mL、 31.42mL、94.25mL和157.08mL，且最大允许误差均为±0.314mL，按均匀分布估计，包含因子取，由于雨量检定时候采用容量累计法确定检定点和检定顺序，所以则标准容量瓶在各检定点引入的相对标准不确定度为：

 （6）

计算结果见表5。

表5 标准瓶在各检定点引入的相对标准不确定度

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
|  | 5.77% | 1.15% | 0.58% | 0.29% | 0.12% | 0.06% |

5.3.2 游标卡尺引入相对标准不确定度

校准过程中标准雨量值计算使用承水口径值，游标卡尺最大允许误差±0.08mm，标称承水口径200mm，服从均匀分布，包含因子取，由游标卡尺测量引入的相对标准不确定度为：

 （7）

5.3.3 标准装置引入相对标准不确定度

标准玻璃瓶与游标卡尺测量结果不相关，根据公式（2），标准容量指数为1，成水口径指数为2，计算标准装置的相对标准不确定度为：

 （8）

标准装置引入的标准不确定度为：

 （9）

计算结果见表6.

表6标准装置在各检定点引入的相对标准不确定度

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
|  | 5.77% | 1.15% | 0.58% | 0.29% | 0.12% | 0.06% |
| （mm) | 0.0058 | 0.0058 | 0.0058 | 0.0058 | 0.0062 | 0.0074 |

1. 合成标准不确定度的评定

6.1 灵敏系数

；

6.2 标准不确定度一览表见表7

表7 标准不确定度一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度来源 | 概率  分布 |  |  |
| 重复测量引入的标准不确定度 | 正态 | 1 | 见表2~表4 |
| 分辨力引入的标准不确定度 | 均匀 | 1 | 0.0029mm |
| 标准装置引入标准不确定度 | 均匀 | 1 | 表6 |

6.3 合成标准不确定度

标准不确定度分量中重复性和分辨力引入标准不确定度取较大值。

根据不确定度传播律：，对（1）式进行展开，有方差式：

 （10）

以灵敏系数表示：

 （11）

合成标准不确定度由下式计算:

 (12)

将见表2~表4和表6中各检定点标准不确定度带入公式（12），分别计算各检定点的合成标准不确定度。计算结果见表8。

表8 3支雨量量筒合成标准不确定度一览表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| 合成标准不确定度  （mm） | QXYL-05 | 0.0065 | 0.0085 | 0.0065 | 0.0065 | 0.0088 | 0.0097 |
| QXYL-06 | 0.0085 | 0.0085 | 0.0065 | 0.0086 | 0.0088 | 0.0097 |
| QXYL-07 | 0.0085 | 0.0085 | 0.0085 | 0.0086 | 0.0088 | 0.0097 |

1. 测量结果不确定度

7.1扩展不确定度

 k=2 （13）

将各检定点的扩展不确定度按式（13）计算。计算结果见表9。

表9 3支雨量量筒扩展不确定度一览表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| 扩展不确定度 (*k*=2)  （mm） | QXYL-05 | 0.013 | 0.017 | 0.013 | 0.013 | 0.018 | 0.019 |
| QXYL-06 | 0.017 | 0.017 | 0.013 | 0.017 | 0.018 | 0.019 |
| QXYL-07 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.018 | 0.019 |

7.2 示值误差的符合性评定

三支被检仪器在各检定点的示值误差、最大允许误差、扩展不确定度等数据汇总见表10~表12。

表10 QXYL-05雨量量筒数据汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| 示值误差平均值（mm) | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 扩展不确定度（*k*=2）（mm) | 0.013 | 0.017 | 0.013 | 0.013 | 0.018 | 0.019 |
| MPEV | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| MPEV/3 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 符合性 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 |

表11 QXYL-06雨量量筒数据汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| 示值误差平均值（mm) | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 扩展不确定度（*k*=2）（mm) | 0.017 | 0.017 | 0.013 | 0.017 | 0.018 | 0.019 |
| MPEV | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| MPEV/3 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 符合性 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 |

表12 QXYL-07雨量量筒数据汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检定点（mm) | 0.1 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 |
| 示值误差平均值（mm) | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 扩展不确定度（*k*=2）（mm) | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.018 | 0.019 |
| MPEV | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| MPEV/3 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 符合性 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 |

通过表10～表12可以看出，三支雨量量筒在各检定点的示值误差平均值均在其最大允许误差范围内，各检定点的(k=2)小于，因此判定三支雨量量筒的检定结果合格。