国家计量技术规范制修订

降水水质自动监测系统校准规范

不确定度评定报告

宁波市计量测试研究院

2025年9月

一、降水监测系统降雨量示值误差的测量不确定度的评定

1.1概述

1.1.1 环境条件：环境温度（5~40）℃，环境湿度≤85%RH。

1.1.2 计量标准：量筒。

1.1.3 测量方法

启动降水监测系统，预热稳定后，依次将250 mL（降雨量≤10mm）和500mL（降雨量＞10mm）的实验用水缓慢注入采样口，重复测量3次，计算降雨量示值误差并对示值误差校准结果的不确定度进行评定。

1.2测量模型及不确定度计算公式

1.2.1 建立测量模型

根据降水水质自动监测系统校准规范，降雨量示值误差（250 mL注入）按式（1.1）计算，降雨量示值误差（500 mL注入）按式（1.2）计算。

  （1.1）

 （1.2）

式中：

——降雨量绝对示值误差，mm；

——降雨量相对示值误差，%；$∆h=\frac{\sum\_{i=1}^{n}∆h\_{i}}{n}$

$h\_{i}$——降雨量3次测量的算术平均值，mm；

$∆h\_{i}$——理论降雨量，mm。

  （1.3）

式中：

——注入的实验用水体积，mL；

——接雨漏斗半径，cm；

——3.14。

1.2.2不确定度传播律

输入量与彼此不相关，由式（1.1）可推导出式（1.4）。

 （1.4）

灵敏系数为： 

由式（1.2）可推导出式（1.5）。

 （1.5）

灵敏系数为： 

1.2.3不确定度计算公式

降雨量示值误差测量不确定度来源于测量重复性引入的标准不确定度分量和标准器引入的不确定度分量，因各输入量彼此独立不相关，则由式（1.4）得出不确定度计算式（1.6）。

 （1.6）

由式（1.5）得出不确定度计算式（1.7）：

 （1.7）

将代入式（1.7），式（1.7）简化为式（1.8）。

 （1.8）

1.3标准不确定度分析与评定

1.3.1 测量重复性引入的标准不确定度和

选取一台稳定的降水监测系统，依次对250mL、500mL的降雨量连续测量10次。

250mL（理论降雨量H为8.0mm）校准点所测量数据飞别为（单位：mm）：8.0、8.1、8.1、8.2、8.1、8.1、8.2、8.1、8.1、8.2，计算得到的平均值为8.12mm，实验标准偏差为0.063mm。

500mL（理论降雨量H为15.9mm）校准点所测量数据飞别为（单位：mm）：16.2、16.1、16.2、16.1、16.0、16.2、16.2、16.1、16.1、16.2，计算得到的平均值为16.14mm，实验标准偏差为0.070mm。

实际测量中，以3次测量算术平均值作为测量结果，则

降雨量≤10mm ：mm

降雨量＞10mm ：

1.3.2 标准器引入的不确定度和

标准器引入的不确定度来源有两个：一是量筒引入的不确定度分量，二是游标卡尺引入的不确定度分量。

1.3.2.1 量筒引入的不确定度

250mL量筒最大允许误差为±2.0mL，假设其为均匀分布，取，则



500mL量筒最大允许误差为±5.0mL，假设其为均匀分布，取，则



1.3.2.2 游标卡尺引入的不确定度

游标卡尺最大允许误差为±0.05mm，假设其为均匀分布，取，则



则标准器引入的不确定度和为

 降雨量≤10mm ：

降雨量＞10mm ：

1.4合成标准不确定度

按式（1.6）计算250mL校准点合成标准不确定度：

mm

按式（1.7）计算500mL校准点合成标准不确定度：



1.5扩展不确定度

取包含因子*k*=2，降雨量示值误差（250mL注入）测量结果的扩展不确定度为：

降雨量≤10mm ：

取包含因子*k*=2，降雨量示值误差（500mL注入）测量结果的扩展不确定度为：

降雨量＞10mm ：

二、降水监测系统pH示值误差的测量不确定度的评定

2.1概述

2.1.1 环境条件：环境温度（5~40）℃，环境湿度≤85%RH。

2.1.2 计量标准：国家有证pH标准物质。

2.1.3 测量方法

待降水监测系统稳定后，选用pH标准物质（pH约为7），放至25℃恒温水槽，，重复测量3次，计算pH示值误差并对示值误差校准结果的不确定度进行评定。

2.2测量模型及不确定度计算公式

2.2.1 建立测量模型

根据降水水质自动监测系统校准规范，pH误差按公式（2.1）计算。

 （2.1）

式中：

——pH示值误差；

——3次pH测量的算术平均值；

——pH标准值。

2.2.2不确定度传播律

 输入量与彼此不相关，由式（2.1）可推导出式（2.2）。

 （2.2）

灵敏系数为： 

2.2.3不确定度计算公式

pH示值误差测量不确定度来源于测量结果引入的标准不确定度分量和标准器引入的不确定度分量，因各输入量彼此独立不相关，则由式（2.2）得出不确定度计算式（2.3）

 （2.3）

2.3标准不确定度评定

2.3.1 pH测量结果引入的标准不确定度

测量结果的标准不确定度来源有两个：一是测量重复性引入的不确定度分量，二是读数分辨力引入的不确定度分量。

2.3.1.1 pH测量重复性引入的标准不确定度

选用GBW（E）130071型pH标准物质（25℃时，pH为6.86）对降水监测系统的pH进行重复测量10次，得到的测量结果见表3.1。

  表3.1 pH测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 6.87 | 6.88 | 6.86 | 6.87 | 6.89 | 6.87 | 6.89 | 6.88 | 6.86 | 6.86 |

实验标准偏差：



实际测量中，以3次测量平均值作为测量结果，则

0.007

2.3.1.2 分辨力引入的标准不确定度分量

已知降水监测系统的pH分辨力为0.01，假设其为均匀分布，取，则



测量重复性和分辨力引入的不确定度分量取较大值，由于小于，可以忽略分辨力引入的不确定度分量的影响。

2.3.2 标准物质引入的不确定度分量

查GBW（E）130071型pH标准物质证书，可得标准物质引入的不确定度为：

2.3.3恒温槽温度波动引入的不确定度

按恒温槽温度波动度不大于±0.2 ℃，查得（10～30）℃时pH标准值相差0.07，温度系数为0.004/℃，假设其为均匀分布，取，则：



2.4标准不确定度汇总

表3.2 标准不确定度一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定度 |
| -1 | pH测量重复性 | 0.007 |
|  | 标准物质定值 | 0.004 |
|  | 恒温槽温度波动 | 0.001 |

2.5合成标准不确定度

由于各不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为：



2.6扩展不确定度

取包含因子*k*=2，pH示值误差校准结果的扩展不确定度为：



**三、**降水监测系统电导率示值误差的测量不确定度的评定

3.1概述

3.1.1 环境条件：环境温度（5~40）℃，环境湿度≤85%RH。

3.1.2 计量标准：国家有证电导率溶液标准物质。

3.1.3 测量方法

待降水监测系统稳定后，选用电导率溶液标准物质（电导率约为147μs/cm），放至25℃恒温水槽，重复测量3次，计算电导率示值误差并对示值误差校准结果的不确定度进行评定。

3.2测量模型及不确定度计算公式

3.2.1 建立测量模型

根据降水水质自动监测系统校准规范，电导率示值误差按式（3.1）计算。

  （3.1）

式中：

——示值误差，%；

——3次电导率测量的算术平均值，μS/cm；

——电导率溶液标准值，μS /cm。

3.2.2不确定度传播律

 输入量与彼此不相关，由式（3.1）可推导出式（3.2）。

 （3.2）

灵敏系数为： 

3.2.3不确定度计算公式

电导率示值误差测量不确定度来源于测量结果引入的不确定度分量和标准物质的认定值引入的不确定度分量，因各输入量彼此独立不相关，则由式（3.2）得出不确定度计算式（3.3）

 （3.3）

将代入式（3.3），式（3.3）简化为式（3.4）。

 （3.4）

3.3标准不确定度评定

3.3.1测量结果引入的标准不确定度

电导率测量结果引入的标准不确定度来源有两个：一是测量重复性引入的不确定度分量，二是读数分辨力引入的不确定度分量。

3.3.1.1电导率测量重复性引入的不确定度。

选用GBW（E）130108型电导率溶液标准物质（25℃时，电导率为147.6μS/cm）对降水监测系统的电导率模块进行重复测量10次，得到的测量结果见表4.1。

  表4.1 电导率测量数据 单位：μS/cm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 147.4 | 147.7 | 147.2 | 147.1 | 146.8 | 147.3 | 147.1 | 147.6 | 148.0 | 147.4 |

实验标准偏差：

μS/cm

实际测量中，以3次测量算术平均值作为测量结果，则

μS/cm

3.3.1.2电导率分辨力引入的不确定度

已知电导率分辨力为0.1μS/cm，假设其为均匀分布，取*k*=,则

μS/cm

由于大于，因此取重复性引入的标准不确定度。测量结果引入的标准不确定度 为0.20μS/cm。

3.3.2标准物质引入的不确定度。

查GBW（E）130108型电导率溶液标准物质证书，可得标准物质引入的不确定度为：

μS/cm

3.3.3恒温槽温度波动引入的不确定度

按恒温槽温度波动度不大于±0.2 ℃，查得电导率标物的温度系数约为2%/℃，假设其为均匀分布，取*k*=,则：

μS/cm

3.4 标准不确定度汇总

表4.2 标准不确定度一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定度 |
|  | 电导率测量重复性 | 0.20 |
|  | 标准物质定值 | 0.19 |
|  | 恒温槽温度波动 | 0.34 |

3.5 合成标准不确定度

由于各不确定度分量互不相关，故合成标准不确定度为：

灵敏系数：cm/μS ，cm/μS



3.6 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，电导率示值误差校准结果的扩展不确定度为：

