JJFXXXX－2024

《称重式泥沙监测仪器校准规范》

**不确定度评定报告**

山东省水文计量检定中心

2024年1月

目 录

[一、校准原理 1](#_Toc1608)

[二、校准程序 1](#_Toc11304)

[（一）校准条件 1](#_Toc31200)

[（二）校准项目和校准方法 2](#_Toc2973)

[三、校准结果及不确定度计算 7](#_Toc31467)

[（一）便携式监测仪器容积示值误差校准结果的不确定度评定 7](#_Toc16354)

[（二）非便携式监测仪器容积示值误差校准结果的不确定度评定 11](#_Toc30476)

[（三）非便携式监测仪器含沙量示值误差校准结果的不确定度评定 16](#_Toc17229)

[（四）便携式监测仪器含沙量示值误差校准结果的不确定度评定 20](#_Toc15739)

# **一、校准原理**

称重式泥沙监测仪器主要用于检测水体中的泥沙含量，实验室校准用装置以电子秤、电子天平、标准金属量器组、量筒、温度计作为主要标准器，辅助工具包括烘干箱、搅拌装置、土壤筛、秒表等，通过准确测量取泥沙的质量和水的体积，计算得到含沙量的标准值，然后与被检仪器示值作比较，计算两者之间的误差，实现对称重式泥沙监测仪器的量值传递。

# **二、校准程序**

## （一）校准条件

1.环境条件

宜在下列室内环境条件下进行校准：

（1）温度：5℃～35℃；

（2）湿度：不大于95%RH。

2.标准器及其他设备

表1标准器及其他设备

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 技术要求 | 用途 |
| 1 | 电子秤 | 测量范围通常为（0～100）kg，准确度等级不低于级。 | 测量泥沙样品质量、容积校准 |
| 2 | 电子天平 | 测量范围通常为（0.5～6000）g，准确度等级不低于级。 | 测量泥沙样品密度、容积校准 |
| 3 | 标准金属量器组 | 量程（10～100）L、准确度等级不低于二等。 | 容积校准、配置标准泥沙样品 |
| 4 | 量筒 | 500mL，量入式，MPE：±5mL。 | 测量泥沙样品密度 |
| 5 | 玻璃液体温度计 | 量程为（0～50）℃，分度值为0.1℃。 | 测量液体介质温度 |
| 6 | 搅拌装置 | 能够匀速、均匀搅拌 | 搅拌样品 |
| 7 | 土壤筛 | 孔目尺寸：（2～5）mm。 | 泥沙样品取样 |
| 8 | 干燥箱 | 温控范围：（10～200）℃，MPE：±2℃。 | 烘干泥沙样品 |
| 9 | 电子秒表 | 分辨力0.01s。 | 测量滴流时间 |

## （二）校准项目和校准方法

1.校准项目

表2校准项目

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 校准项目 |
| 1 | 容积示值误差 |
| 2 | 容积重复性 |
| 3 | 含沙量示值误差 |
| 4 | 含沙量重复性 |

2.校准方法

2.1容积示值误差

2.1.1便携式泥沙监测仪

泥沙监测仪按照标称容积进行校准。将纯水加至取样瓶的标称容积标线处，称量得纯水质量*m*水，用玻璃液体温度计测量纯水的温度，按（1）式计算实际容积。重复测量3次，取平均值作为泥沙监测仪的容积值，根据（2）式计算容积误差。

（1）

式中：

*m*水——称得纯水的质量，g；

*ρ*水——水的密度（水的密度与温度对照表见附录A），g/cm³；

*V*——取样瓶实际容积，mL。

*ΔV*=*V*0-*V*测 （2）

式中：

*ΔV*——容积误差，mL；

*V*测——泥沙监测仪容积值3次测量的平均值，mL；

*V*0 ——泥沙监测仪标称容积值，mL。

2.1.2在线安装式泥沙监测仪

2.1.2.1泥沙监测仪按照标称容积及标称容积50%左右的点进行校准。

2.1.2.2根据校准点，选择合适的标准金属量器，将标准金属量器置于集流桶上方，并调平。

2.1.2.3用排液管将标准金属量器的排液口与被校集流桶的入水口相连，连接处不得有渗漏现象。

2.1.2.4注水至标准金属量器标称容量刻线位置，测量并记录量器中的介质温度

*t*，由式（3）计算得到标准容积值*V*。

（3）

式中：

*V*20——标准金属量器20℃的容积值，L；

*β*——标准金属量器的体胀系数，℃-1；

*t*——量器中水的温度，℃。

2.1.2.5打开标准金属量器的放液阀门，将水排入到集流桶内，在滴流状态下等待 2min 后，关闭放液阀门。

2.1.2.6每个校准点重复测量3次，读取并记录集流桶的容积示值*V*示。重复以上步骤，依次测量每个校准点的示值。取平均值作为泥沙监测仪的容积值，标称容积示值误差按公式（4）计算：

×100% （4）

2.2容积重复性

容积的重复性按公式（5）计算：

*sV*= （5）

式中：

*sV*——容积重复性，%；

——容积示值误差最大值，%；

——容积示值误差最小值，%；

*C*——极差系数值见表3。

表3 *C*数值表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| *C* | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 | 2.53 |

2.3含沙量校准点的选择

校准实验中包含的含沙量校准点应不低于5个，在泥沙监测仪测量范围内均匀布设，建议为含沙量满量程的10%、30%、50%、70%、90%。

2.4标准泥沙样品准备

2.4.1校准用泥沙样品可由客户提供，也可实验室自备。

2.4.2泥沙样品需按要求烘干过筛，烘箱温度约（105±2）℃，持续时间（4~6）h，筛网孔目尺寸为（2~5）mm。

2.4.3泥沙样品应干燥后密封，用于含沙量分级。

2.4.4泥沙样品密度计算

向量筒内注水至300mL，记作*V*水，将量筒放置在电子天平上称重，得到量筒和水的总质量*M*水；取一定量泥沙样品加入量筒中，并确保混合液体液位高度不超过500mL容量线，搅拌均匀后静置10min，读取混合液体积*V*混，再将量筒放置在电子天平上称重，得到量筒和混合液的总质量*M*混。

泥沙样品质量：

*M*沙=*M*混-*M*水； （6）

泥沙样品体积：

*V*沙*=V*混-*V*水； （7）

泥沙样品密度：

*ρ*沙=*M*沙/*V*沙。 （8）

重复试验 3 次，取平均值作为泥沙样品的密度。

2.5含沙量示值误差

2.5.1便携式泥沙监测仪

含沙量示值误差的实验室及现场校准在泥沙监测仪的标称容积下进行。将取样瓶放置在天平上，称取标称容积相应质量的水。

按照2.3确定的含沙量校准点，根据公式（9）计算10%含沙量所需泥沙样品的质量*m*，将称重后的泥沙样品倒入取样瓶中，并进行搅拌，使混合液体充分混合析出气泡，并静止5min，读取泥沙监测仪含沙量示值并记录。

*W*= （9）

式中：

*W*——标准含沙量，kg/m3

*m*——泥沙样品质量，kg；

*ρ*沙——泥沙样品密度，kg/m³；

*V*水——所加水的标准体积，m³。

完成10%含沙量校准点后，根据所选择的校准点，持续添加定量质量的泥沙样品，将取样瓶中泥沙混合液体的标准含沙量值分别依次调整到各含沙量校准点附近。记录每次添加的泥沙样品质量*m*，并通过上式（9）计算实际标准含沙量值。

清洗取样瓶，重复以上实验，每个含沙量校准点完成三次测量。

2.5.2在线安装式泥沙监测仪

含沙量示值误差的实验室及现场校准分别在泥沙监测仪的标称容积及标称容积50%左右下进行，校准所需的水通过标准金属量器量取之后加入到集流桶中。

校准过程同7.2.6.1，将称重后的的泥沙样品倒入集流桶中，依次按照各校准点进行校准，完毕后清洗集流桶，重复以上实验，每个含沙量校准点完成三次测量。

2.6数据分析

2.6.1含沙量示值误差

含沙量示值误差按如下公式计算：

 (10)

式中：

*Eij*——泥沙监测仪在第*i*校准点的第*j*次测量的示值误差，%；

*Wij*——第*i*校准点第*j*次测量的泥沙监测仪含沙量示值，kg/m3；

*Wsij*——第*i*校准点时第*j*次的标准含沙量，kg/m3。

其中：*Wsij*按公式（9）计算。

2.6.2 含沙量重复性

各校准点示值重复性采用极差法计算：

*W*= (11)

式中：

*S*w――泥沙监测仪在*i*含沙量校准点的重复性，%；

*Ei*max――泥沙监测仪在*i*含沙量校准点的误差最大值，%；

*Ei*min――泥沙监测仪在*i*含沙量校准点的误差最小值，%；

*C*――极差系数见表3。

# **三、校准结果及不确定度计算**

## （一）便携式监测仪器容积示值误差校准结果的不确定度评定

1. 校准方法概述

以校准标称容积误差为例。将纯水加至取样瓶的标称容积标线处，称量得纯水质量，用玻璃液体温度计测量纯水的温度，计算其实际容积，计算标称容积与实际容积之差。

1. 测量模型

*ΔV*=*V -*

式中：

*ΔV*——取样瓶标称容积示值误差，L；

*V*——取样瓶标称容积，L；

*m*水——电子天平称取的水的质量，g；

*ρ*水——水的密度，g/L。

假设各输入量互不相关，则不确定度传播律公式为：



式中：

*c*1、*c*2、*c*3—灵敏系数。

其中：

*c*1 = 1；

*c*2 =-；

*c*3 =。

1. 不确定度来源和不确定度分量评定

3.1被校仪器的测量结果引入的标准不确定度分量*u*(*V*)

被校仪器的测量结果引入的标准不确定度应取重复性测量引入的标准不确定度和仪器分辨力引入的标准不确定度的二者的较大值。

3.1.1重复性引入的标准不确定度分量*u*1(*V*)

采用A类方法评定。选择一台标称容积为1L的便携式称重式泥沙监测仪，用电子天平量取水，加入至取样瓶中，读取容积值，在重复性条件下测量10次，得到的测量结果如下表所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 水温（℃） | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 |
| 标准值（L） | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 测量值  （L） | 0.98 | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.95 | 0.99 | 0.95 | 0.97 | 0.99 |

由上表数据得，平均值为：=0.97 L,

按照贝塞尔公式计算得：



则*u*1(*V*)=*s*=0.017 L。

3.1.2被校仪器分辨力引入的标准不确定度分量*u*2(*V*)

本次所用的被校仪器的分辨力为0.01 L,按照均匀分布，其引入的标准不确定度分量为：

*u*2(*V*)= L =0.003 L。

由于*u*2(*V*)＜*u*1(*V*)，所以*u*(*V*)=*u*1(*V*)=0.017 L。

3.2电子天平称量引入的标准不确定度分量*u*(*m*水)

本次所用电子天平分辨力为0.01g，量程为6200g，由《电子天平检定规程》可得，天平在称量1000g质量时，其最大允许误差为：±0.01g，按照均匀分布，其标准不确定度分量为：

*u*(*m*水)= g =0.006 g。

3.3水的密度引入的标准不确定度分量*u*(*ρ*水)

水的密度主要受温度影响，在校准过程中，水温位于18℃和19℃之间，其密度范围为：969.81g/L～967.96g/L，差值为：1.85g/L，按照均匀分布，其标准不确定度分量为：

*u*(*β*)= g/L =0.54 g/L。

1. 输入量的标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度*u*（*xi*） | 不确定度来源 | 标准不确定度 | *Ci* | | *Ci*| |
| *u*(*V*) | 被校仪器引入的标准不确定度 | 0.017 L | 1 | 0.017 L |
| *u*(*m*水) | 电子天平称量引入的标准不确定度 | 0.006 g | -0.001 L/g | 0.001L |
| *u*(*ρ*水) | 水的密度变化引入的标准不确定度 | 0.54 g/L | 0.001 L2/g | 0.001 L |

1. 合成标准不确定度

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式计算得



1. 扩展不确定度

在标称容积为1 L时，该仪器的容积测量结果为0.97 L。

取包含因子*k*=2，扩展不确定度为：

*U*=2×*u*c=0.04 L。

## （二）非便携式监测仪器容积示值误差校准结果的不确定度评定

1. 校准方法概述

以测量标称容积误差为例，用与集流桶标称容积相同的标准金属量器组往集流桶中加水，读取被校仪器体积示值，计算两者体积之差。

1. 测量模型

*ΔV*=*V*-*V*20[1+*β*(*t*-20)]

式中：

*ΔV*——集流桶标称容积示值误差，L；

*V*——集流桶标称容积，L；

*V*20——标准金属量器20℃时的容积，L；

*β*——标准金属量器的体胀系数，℃-1；

*t*——标准金属量器中水的温度，℃。

假设各输入量互不相关，则不确定度传播律公式为：



式中：

*c*1、*c*2、*c*3、*c*4—灵敏系数。

其中：

*c*1 = 1；

*c*2 = -[1+*β*(*t*-20)]；

*c*3 = -*V*20(*t*-20)；

*c*4 = -*V*20*β*。

1. 不确定度来源和不确定度分量评定

3.1被校仪器的测量结果引入的标准不确定度分量*u*(*V*)

被校仪器的测量结果引入的标准不确定度应取重复性测量引入的标准不确定度和仪器分辨力引入的标准不确定度的二者的较大值。

3.1.1重复性引入的标准不确定度分量*u*1(*V*)

采用A类方法评定。选择一台标称容积为50L的称重式泥沙监测仪，用50L的标准金属量器量取水，加入至集流桶中，读取容积值，在重复性条件下测量10次，得到的测量结果如下表所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 水温（℃） | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 |
| 标准值（L） | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| 测量值  （L） | 49.86 | 49.52 | 49.71 | 49.59 | 49.43 | 49.72 | 49.68 | 49.90 | 49.67 | 49.73 |

由上表数据得，平均值为：=49.68 L,

按照贝塞尔公式计算得：



则*u*1(*V*)=*s*=0.15 L。

3.1.2被校仪器分辨力引入的标准不确定度分量*u*2(*V*)

本次所用的被校仪器的分辨力为0.01 L,按照均匀分布，其引入的标准不确定度分量为：

*u*2(*V*)= L =0.003 L。

由于*u*2(*V*)＜*u*1(*V*)，所以*u*(*V*)=*u*1(*V*)=0.15 L。

3.2标准金属量器引入的标准不确定度分量*u*(*V*20)

由检定证书可得，二等标准金属量器的最大允许误差为：±0.025%，按照均匀分布，其标准不确定度分量为：

*u*(*V*20)= L =0.01 L。

3.3标准金属量器体胀系数引入的标准不确定度分量*u*(*β*)

标准金属量器体胀系数50×10-6 ℃-1，其最大允许误差为：±6×10-6 ℃-1，按照均匀分布，其标准不确定度分量为：

*u*(*β*)= ℃-1 =3.5×10-6 ℃-1。

3.4水温测量引入的标准不确定度分量*u*(*t*)

水温测量所用的标准器为分度值0.1℃，量程50℃玻璃液体温度计，按照检定规程可知，其最大允许误差为：±0.2 ℃，按照均匀分布，其标准不确定度分量为：

*u*(*t*)= ℃=0.12 ℃。

1. 输入量的标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度*u*（*xi*） | 不确定度来源 | 标准不确定度 | *Ci* | | *Ci*| |
| *u*(*V*) | 被校仪器引入的标准不确定度 | 0.15 L | 1 | 0.15 L |
| *u*(*V*20) | 标准金属量器引入的标准不确定度 | 0.01 L | -1 | 0.01 L |
| *u*(*β*) | 标准金属量器体胀系数引入的标准不确定度 | 3.5×10-6 ℃-1 | 75 L℃ | 0.0003 L |
| *u*(*t*) | 水温测量引入的标准不确定度 | 0.12 ℃ | -2.5×10-3 L℃-1 | 0.0003 L |

1. 合成标准不确定度

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式计算得



1. 扩展不确定度

在标称容积为50 L时，该仪器的容积测量结果为49.68 L。

取包含因子*k*=2，扩展不确定度为：

*U*=2×*u*c=0.32 L，

其相对扩展不确定度为：

*U*rel=0.7%。

## （三）非便携式监测仪器含沙量示值误差校准结果的不确定度评定

1. 校准方法概述

电子秤称取的泥沙样品与标准金属量器量取的水进行混合配置标准泥沙样，与被校仪器的示值作比较，计算两者之间的误差。

1. 测量模型

*Eij*=*Wij* - *Wsij*=*Wij* -

式中：

*Eij*——称重式泥沙监测仪器在第*i*校准点的第*j*次测量的示值误差；

*Wij*——第*i*校准点第*j*次测量的监测仪含沙量示值，kg/m3；

*Wsij*——第*i*校准点时第*j*次制备的标准含沙量，kg/m3；

*m*——土样质量，kg；

*ρ*土——土样密度，kg/m³；

*V*水——标准金属量器的标称容量，m³。

假设各输入量互不相关，则不确定度传播律公式为：



式中：

*c*1、*c*2、*c*3、*c*4—灵敏系数。

其中：

*c*1 = 1；

*c*2 = -；

*c*3 = -；

*c*4 = 。

1. 不确定度来源和不确定度分量评定

3.1被校仪器的测量结果引入的标准不确定度分量*u*(*Wij*)

被校仪器的测量结果引入的标准不确定度应取重复性测量引入的标准不确定度和仪器分辨力引入的标准不确定度的二者的较大值。

3.1.1重复性引入的标准不确定度分量*u*1(*Wij*)

采用A类方法评定。选择一台称重式泥沙监测仪，选择含沙量为50kg/m³为测量点，在短时间内重复测量10次，得到的测量结果如下表所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值  （kg/m³） | 50.6 | 51.1 | 50.9 | 50.5 | 51.0 | 50.8 | 50.7 | 50.3 | 51.6 | 51.3 |

由上表数据得，平均值为：=50.9 kg/m³,

按照贝塞尔公式计算得：



则*u*1(*Wij*)=*s*=0.39 kg/m3。

3.1.2被校仪器分辨力引入的标准不确定度分量*u*2(*Wij*)

本次所用的被校仪器的分辨力为0.1 kg/m³,按照均匀分布，其引入的标准不确定度分量为：

*u*2(*Wij*)= kg/m³ =0.03 kg/m³。

由于*u*2(*Wij*)＜*u*1(*Wij*)，所以*u*(*Wij*)=*u*1(*Wij*)=0.39 kg/m³。

3.2土的质量称量引入的标准不确定度分量*u*(*m*)

土的质量称量引入的不确定度主要是由电子秤的最大允许误差引入的，电子秤准确度等级为级，测量范围为（0～50）kg，其最大允许误差MPE：±15g，区间半宽为15g，按照均匀分布，则由土的质量的称量引入的标准不确定度为：

*u*(*m*)= g =8.6 g。

3.3水的体积引入的标准不确定度分量*u*(*V*水)

水的体积引入的标准不确定度主要是由标准金属量器的最大允许误差引入的，标准金属量器的准确度等级为二等，本次校准使用的标准金属量器为100L,则最大允许误差为MPE:±0.025L，区间半宽为0.025L，假设均匀分布，则由标准金属量器组引入的相对标准不确定度为

*u*(*V*水)= L =0.02 L。

3.4土的密度引入的标准不确定度分量*u*(*ρ*土)

由7.2.6（4）可知，土壤密度的计算公式为：*ρ*土=*M*土/*V*土，因此，土的密度引入的标准不确定度主要由土的质量和土的体积引入，即由电子天平和量筒的最大允许误差引入。

3.4.1土的质量称量引入的标准不确定度分量*u*(*M*土)

土的质量称量引入的标准不确定度分量主要由电子天平的最大允许误差引入，本次校准所用的电子天平的量程为（0.01～6200）g，准确度等级为级，本次校准称量土的质量在500 g以下，由电子天平检定规程可得，其最大允许误差为±0.05 g，按照均匀分布，由于测量过程中电子天平使用了两次，则：

*u*(*M*土)= g =0.04 g。

3.4.2土的体积引入的标准不确定度分量*u*(*V*土)

土的体积引入的标准不确定度分量主要由所用量筒的最大允许误差引入，本次校准所用的量筒为500 mL，由检定规程可得，其最大允许误差为±5 mL,按照均匀分布，由于测量过程中量筒使用了两次，则：

*u*(*V*土)= mL =4.1 mL。

3.4.3土的密度引入的标准不确定度分量*u*(*ρ*土)



1. 输入量的标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度*u*（*xi*） | 不确定度来源 | 标准不确定度 | *Ci* | | *Ci*| |
| *u*(*Wij*) | 被校仪器引入的标准不确定度 | 0.39 kg/m3 | 1 | 0.39 kg/m3 |
| *u*(*m*) | 土的质量称量引入的标准不确定度 | 8.6 g | -0.01 L-1 | 0.09 kg/m3 |
| *u*(*V*水) | 水的体积引入的标准不确定度 | 0.02 L | -0.5 g/L2 | 0.01 kg/m3 |
| *u*(*ρ*土) | 土的密度引入的标准不确定度 | 20 kg/m3 | 0.0003 | 0.01 kg/m3 |

1. 合成标准不确定度

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式计算得



1. 扩展不确定度

在泥沙含量为50 kg/m3的校准点处，该仪器的测量结果为50.9 kg/m3。

取包含因子*k*=2，扩展不确定度为：

*U*=2×*u*c=0.8 kg/m3，

其相对扩展不确定度为：

*U*rel=1.6%。

## （四）便携式监测仪器含沙量示值误差校准结果的不确定度评定

1. 校准方法概述

用电子天平称取的泥沙样品与电子天平量取的水进行混合配置标准泥沙样品，与被校仪器的示值作比较，计算两者之间的误差。

1. 测量模型

同（三）.2。

1. 不确定的来源和不确定度分量评定

同（三）.3。

1. 输入量的标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度*u*（*xi*） | 不确定度来源 | 标准不确定度 | *Ci* | | *Ci*| |
| *u*(*Wij*) | 被校仪器引入的标准不确定度 | 0.35 kg/m3 | 1 | 0.35 kg/m3 |
| *u*(*m*) | 土的质量称量引入的标准不确定度 | 0.03 g | -1 L-1 | 0.03 kg/m3 |
| *u*(*V*水) | 水的体积引入的标准不确定度 | 0.01 L | -50 g/L2 | 0.50 kg/m3 |
| *u*(*ρ*土) | 土的密度引入的标准不确定度 | 20 kg/m3 | 0.0004 | 0.01 kg/m3 |

1. 合成标准不确定度

输入量彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式计算得：



1. 扩展不确定度

在泥沙含量为50 kg/m3的校准点处，该仪器的测量结果为49.5 kg/m3。

取包含因子*k*=2，扩展不确定度为：

*U*=2×*u*c=1.3 kg/m3，

其相对扩展不确定度为：

*U*rel=2.6%。