悬挂式动态单轨衡校准规范

测量不确定度评定报告

《悬挂式动态单轨衡校准规范》起草小组

2025年03月

1 概述

1.1 测量依据：JJF XXXX-20XX 悬挂式动态单轨衡校准规范。

1.2 测量标准：M1等级标准砝码，规格1g～20kg，最大允许误差±（1mg～1g）。

1.3 测量环境：温度-10 ℃～40 ℃。

1.4 被测对象：悬挂式动态单轨衡，最大秤量500kg，分度值0.2kg。

1.5 测量过程：包括单次称量和累计称量。

a）单次称量：在额定运行速度下，在承载器前施加相应秤量点的砝码*L*，使砝码匀速通过承载器，记录每次测量示值*I*，计算*I*和*L*之差，即为单次称量误差。

b）累计称量：在额定运行速度下，使用相应秤量点的砝码进行10次单次称量，计算累计示值和累计砝码质量值之差，并按规范中公式（2）计算累计称量误差。

C2 单次称量测量结果的不确定度评定

2.1 测量模型

（2.1）

式中：

*E*——单次称量示值误差；

*I*——示值；

*L*——砝码质量值。

2.2 方差和灵敏系数

对式2.1求偏导得方差传播公式：

（2.2）

式中：

*u*(*E*)——单次称量示值误差的测量不确定度；

*u*(*I*)——由示值引入的不确定度分量；

*u*(*L*)——由标准砝码引入的不确定度分量。

灵敏系数：

，

得到合成标准不确定度的计算公式：

（2.3）

2.3 各输入量的不确定度来源

2.3.1 由示值引入的不确定度分量*u*(*I*)

*u*(*I*)不确定度主要由动态单轨衡测量重复性和分辨力引入。

2.3.1.1 由测量重复性引入的不确定度分量*u*1(*I*)

采用A类评定方法，在重复性条件下，用标准砝码对动态单轨衡的某个选定秤量点进行10次连续测量，采用贝塞尔公式得到实验标准差：

式中：

*s*——单次测量结果的实验标准差；

——第*i*次测量；

——10次测量的平均值。

实际测量中，只进行一次测量，故

（2.4）

2.3.2.2 由动态单轨衡分辨力引入的不确定度分量*u*2(*I*)

采用B类评定方法，动态单轨衡的实际分度值为*d*，动态单轨衡半宽度α=*d*/2，则：

（2.5）

2.3.2.3标准不确定度*u*(*I*)

由于分辨力导致的不确定度已包含在重复性引入的不确定度分量中，因此在*u1*(*I*)和*u2*(*I*)中取其大者。

或

2.3.2 由标准砝码引入的不确定度分量*u*(*L*)

采用B类方法评定，校准过程中使用砝码的标称值作为约定真值，服从均匀分布，每个砝码引入的不确定度分量为：

如果某个秤量点校准使用了多个标准砝码，则标准砝码引入的不确定度分量为：

（2.6）

式中：

MPE——砝码的最大允许误差；

——序号为*i*的砝码的最大允许误差；

*n*——砝码的个数。

2.4 合成标准不确定度

不确定度分量*u*(*I*)和不确定度分量*u*(*L*)，合成标准不确定度*uc*(*E*)：

（2.7）

或

（2.8）

不确定度分量汇总表如表1所示。

表1 不确定度来源汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定度 | 灵敏系数 |
|  | 重复性 |  | 1 |
|  | 分辨力 |  | 1 |
|  | 标准砝码 |  | -1 |

2.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*为：

（2.9）

3 累计称量测量结果的不确定度评定

3.1 测量模型

（3.1）

式中：

*E*T——累计称量误差；

*I*T——10次测量的示值累计值；

*L*T——10次测量的标准砝码累计值。

3.2 方差和灵敏系数

对式3.1求偏导得方差传播公式：

（3.2）

式中：

*u*(*E*T)——累计称量示值误差的测量不确定度；

*u*(*I*T)——由示值引入的不确定度分量；

*u*(*L*T)——由标准砝码引入的不确定度分量。

灵敏系数：

，

得到合成标准不确定度的计算公式：

（3.3）

3.3 各输入量的不确定度来源

3.3.1 由示值引入的不确定度分量*u*(*IT*)

*u*(*IT*)不确定度主要由动态单轨衡测量重复性和分辨力引入。

3.3.1.1 由测量重复性引入的不确定度分量*u*1(*IT*)

采用A类评定方法，在重复性条件下，使用相应秤量点的标准砝码对动态单轨衡进行10次连续测量，采用贝塞尔公式得到实验标准差：

式中：

*s*——单次测量结果的实验标准偏差；

——第*i*次测量；

——10次测量的平均值。

实际测量中，只进行一组测量，故

（3.4）

3.3.1.2 由动态单轨衡分辨力引入的不确定度分量*u*2(*IT*)

采用B类评定方法，动态单轨衡的实际分度值为*d*，动态单轨衡半宽度α=*d*/2，则：

（3.5）

3.3.1.3 标准不确定度*u*(*IT*)

由于分辨力导致的不确定度已包含在重复性引入的不确定度分量中，因此在*u*1(*I*T)和*u*2(*I*T)中取其大者。

或

3.3.2 由标准砝码引入的不确定度分量*u*(*LT*)

采用B类方法评定，校准过程中使用砝码的标称值作为约定真值，服从均匀分布，每个砝码引入的不确定度分量为：

如果某个秤量点校准使用了多个标准砝码，则标准砝码引入的不确定度分量为：

（3.6）

式中：

MPE——砝码的最大允许误差；

——序号为*i*的砝码的最大允许误差；

*n*——砝码的个数。

3.4 合成标准不确定度

不确定度分量*u*(*I*T)和不确定度分量*u*(*L*T)，合成标准不确定度*uc rel*(*E*T)：

（3.7）

或

（3.8）

不确定度分量汇总表如表2所示。

表2 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定度 | 灵敏系数 |
|  | 重复性 |  |  |
|  | 分辨力 |  |  |
|  | 标准砝码 |  |  |

3.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*为：

（3.9）

4 示例

被测悬挂式动态单轨衡，最大秤量*Max*=500kg，分度值*d*=0.2kg。

4.1 单次称量时的不确定度评定

单次称量时，使用标准砝码在最小秤量（4kg）、50%最大秤量（250kg）和最大秤量（500kg）3个秤量点处进行10次称量，其称量示值如表3～表5所示：

表3 4kg时的称量示值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 秤量点（kg） | 示值（kg） | | | | |
| 4 | 示值1 | 示值2 | 示值3 | 示值4 | 示值5 |
| 4.0 | 4.2 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| 示值6 | 示值7 | 示值8 | 示值9 | 示值10 |
| 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |

表4 250kg时的称量示值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 250 | 示值1 | 示值2 | 示值3 | 示值4 | 示值5 |
| 250.2 | 250.2 | 250.4 | 250.2 | 250.0 |
| 示值6 | 示值7 | 示值8 | 示值9 | 示值10 |
| 250.4 | 250.2 | 250.4 | 250.2 | 250.2 |

表5 500kg时的称量示值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 500 | 示值1 | 示值2 | 示值3 | 示值4 | 示值5 |
| 500.2 | 500.4 | 500.4 | 500.6 | 500.4 |
| 示值6 | 示值7 | 示值8 | 示值9 | 示值10 |
| 500.4 | 500.6 | 500.4 | 500.6 | 500.2 |

4.1.1 由动态单轨衡测量重复性引入的不确定度分量*u*1(*I*)

根据公式2.4计算出各秤量点的测量重复性引入的不确定度*u*1（*I*）为：

秤量点4kg时，*u*1（*I*）=0.00kg；

秤量点250kg时，*u*1（*I*）=0.13kg；

秤量点500kg时，*u*1（*I*）=0.15kg。

4.1.2 由动态单轨衡分辨率引入的不确定度分量*u*2(*I*)

根据公式2.5计算出*u*2（*I*）为0.058kg。

4.1.3 由标准砝码引入的不确定度分量*u* (*L*)

根据公式2.6计算出各秤量点由砝码不稳定性带来的不确定度分别为：0.2g、12.5g、25g。

4.1.4 合成标准不确定度*u*(*E*)

单次称量时不确定度分量汇总表如表6所示：

表6 单次称量时不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | | 标准不确定度  （kg） | 灵敏系数*ci* | |*ci*|*u* （*xi*）  （kg） |
|  | 重复性 | 4kg时 | 0.00 | 1 | 0.00 |
| 250kg时 | 0.13 | 1 | 0.13 |
| 500kg时 | 0.15 | 1 | 0.15 |
|  | 分辨力 | | 0.058 | 1 | 0.058 |
|  | 标准  砝码 | 4kg | 0.0002 | -1 | 0.0002 |
| 250kg | 0.0125 | 0.0125 |
| 500kg | 0.025 | 0.025 |

根据不确定度分量*u*(*I*)和不确定度分量*u*(*L*)，对标准不确定度*u*(*E*)进行合成，得到各秤量点的标准不确定度为：

秤量点4kg时，由公式2.8得到：*u*c（*E*）=0.058kg；

秤量点250kg时，由公式2.7得到：*u*c（*E*）=0.13kg；

秤量点500kg时，由公式2.7得到：*u*c（*E*）=0.15kg。

C4.1.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，根据公式2.9得到各秤量点的扩展不确定度*U*为：

秤量点4kg，*U*=0.2kg；

秤量点250kg，*U*=0.3kg；

秤量点500kg，*U*=0.3kg。

C4.2 累计称量时的不确定度评定

累计称量时，使用标准砝码在最小秤量（4kg）、50%最大秤量（250kg）和最大秤量（500kg）3个秤量点处进行10次称量，其称量示值如表3～表5所示。

4.2.1 由动态单轨衡测量重复性引入的不确定度分量*u*1(*IT*)

根据公式C3.4计算出各秤量点的测量重复性引入的不确定度*u*1(*IT*)为：

秤量点4kg时，*u*1（*I*）=0.00kg；

秤量点250kg时，*u*1（*I*）=0.13kg；

秤量点500kg时，*u*1（*I*）=0.15kg。

4.2.2 由动态单轨衡分辨率引入的不确定度分量*u*2(*IT*)

根据公式3.5计算出*u*2（*I*）为0.058kg。

4.2.3 由标准砝码引入的不确定度分量*u*(*LT*)

根据公式2.6计算出各秤量点由砝码不稳定性带来的不确定度分别为：0.2g、12.5g、25g。

4.2.4 合成标准不确定度

累计称量时不确定各分量汇总表如表7所示：

根据不确定度分量*u*(*IT*)和不确定度分量*u*(*LT*)，对标准不确定度*u*(*E*T)进行合成，得到各秤量点的标准不确定度为：

秤量点4kg时，由公式3.8得到：*u*c rel（*ET*）=0.15%；

秤量点250kg时，由公式3.7得到：*u*c rel（*ET*）=0.0052%；

秤量点500kg时，由公式3.7得到：*u*c rel（*ET*）=0.0030%。

表7 累计称量时不确定各分量汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | | 标准不确定度  （kg） | 灵敏系数*ci* | |*ci*|*u* （*xi*） |
| *u*1(*IT*) | 重复性 | 4kg时 | 0.00 |  | 0.00 |
| 250kg时 | 0.13 |  | 5.2×10-5 |
| 500kg时 | 0.15 |  | 3.0×10-5 |
| *u*2(*IT*) | 分辨力 | 4kg时 | 0.058 |  | 1.5×10-3 |
| 250kg时 | 0.058 |  | 2.3×10-5 |
| 500kg时 | 0.058 |  | 1.2×10-5 |
| *u*(*LT*) | 标准  砝码 | 4kg | 0.0002 |  | 5.0×10-6 |
| 250kg | 0.0125 |  | 5.0×10-6 |
| 500kg | 0.025 |  | 5.0×10-6 |

4.2.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2，根据公式3.9得到累计称量时的扩展不确定度*U*rel为：

秤量点4kg，*U*rel=0.30%

秤量点250kg，*U*rel=0.01%

秤量点500kg，*U*rel=0.01%