拖曳倾斜式海流计校准规范

（征求意见稿）

测量结果不确定度评定报告

自然资源部南海海域海岛中心

（自然资源部南海标准计量与信息中心）

二〇二三年十二月

目 录

[A.1 流向概述 1](#_Toc2121746066)

[A.2 建立测量模型和分析不确定度来源 1](#_Toc442782528)

[A.3 不确定度分量评定 2](#_Toc1571466946)

[A.4 合成标准不确定度 4](#_Toc1891070616)

[A.5 扩展不确定度 5](#_Toc465867512)

[B.1 流速概述 6](#_Toc109897222)

[B.2 建立测量模型和分析不确定度来源 6](#_Toc206673734)

[B.3 不确定度分量评定 7](#_Toc1084390139)

[B.4 合成标准不确定度 8](#_Toc790962451)

**测量结果不确定度评定报告**

A.1 流向概述

A.1.1 评定依据

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示。

A.1.2 标准设备和被测对象

A.1.2.1 测量标准器及配套设备

标准器及配套设备主要技术指标见表A.1。

表A.1 标准器及配套设备主要技术指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分类 | 名称 | 主要技术指标 |
| 标准器 | 测地型GPS接收机 | MPE:±(10.0mm+1.0×10-6×D)  （D单位为km） |
| 方位盘 | MPB: ±0.5° |
| 配套设备 | 全站仪 | Ⅱ级 |

A.1.2.2 被测对象

表A.2 被测对象信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 器具名称 | 生产厂家 | 型号 | 编号 |
| 拖曳倾斜式海流计 | 澳大利亚  詹姆斯库克大学 | Marotte HS | B1574 |

A.1.3 主要测量方法

使用测地型GPS接收机确定真北方向，将方位盘0°刻度指向真北方向，将海流计安装于方位盘上，转动方位盘，方位盘转动经过的角度即为流向标准值，海流计流向示值减去流向标准值即为流向示值误差。逐点分析校准点0°（360°）、30°、60°、90°、120°、150°、180°、210°、240°、270°、300°、330°的测量结果不确定度。

A.2 建立测量模型和分析不确定度来源

A.2.1 测量模型

在校准过程中，测量结果为示值误差，计算公式见（A.1）。

 （A.1）

式中：

——被校海流计流向示值误差，°；

——被校海流计流向示值平均值，°；

——流向标准器方位盘的示值，°。

A.2.2 不确定度来源分析

（1）海流计流向测量重复性或分辨力引入的标准不确定度分量，其标准不确定度分别设为和，两者间较大者设为；

（2）测地型GPS接收机引入的不确定度分量，其标准不确定度设为；

（3）方位盘引入的不确定度分量，其标准不确定度设为。

A.3 不确定度分量评定

A.3.1 海流计流向测量重复性或分辨力引入的标准不确定度

A.3.1.1 海流计流向测量重复性引入的标准不确定度

海流计正转、反转时在不同校准点分别进行6次重复测量，测得值的实验标准差按公式（A.2）计算：

 （A.2）

式中：——第*i*次测量的测得值；

*n*——重复测量次数，此处*n*=6。

对海流计进行正转、反转测量共2次核查，合并样本标准偏差按公式（A.3）计算：

（A.3）

式中：——第*i*次核查时测得值的实验标准差；

*m*——核查次数，此处*m*=2。

在上述规范化常规测量过程中，测量结果的标准不确定度按公式（A.4）计算：

 （A.4）

式中：——规范化常规测量过程中的重复测量次数，此处=6。

则流向测量重复性引入的标准不确定度见表A.3。

表A.3 海流计流向测量重复性引入标准不确定度

单位：°

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 0(360) | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 |
|  | 0.58 | 0.66 | 0.82 | 0.81 | 0.69 | 0.72 | 0.76 | 0.59 | 0.69 | 0.52 | 0.52 | 0.43 |

A.3.1.2 流向分辨力引入标准不确定度

海流计流向示值分辨力为0.1°，每个读数值的区间半宽度为分辨力的一半，即为0.05°，按均匀分布处理，所引入的标准不确定度按公式（A.5）计算：

 （A.5）

由表A.2和公式（A.4）的计算结果可知，海流计各校准点的流向测量重复性引入的不确定度皆比分辨力引入的不确定度更大，可不考虑分辨力所引入的不确定度分量，的值表示。

A.3.2 测地型GPS接收机引入的标准不确定度

测地型GPS接收机的实时动态测量示值误差满足(10+1×10-6×A)mm（A为测量距离，单位为km）。由于方位盘0刻度指向的真北方向由通过室外两点的坐标差计算得出的坐标方位角反演求得，而用以计算坐标方位角的室外两点之间的距离不超过10.00 m，可认为由测地型GPS接收机的实时动态测量误差所导致的室外两点坐标差的测量误差最大约为40mm（当所测量的两点向相反方向偏离时）。测地型GPS接收机的实时动态测量误差导致的坐标方位角测量误差的最大值（即真北方向的测量误差最大值）按公式（A.6）计算：

 （A.6）

由于坐标测量的概率分布为正态分布（*k*=2），所引入的标准不确定度按（A.7）计算：

 （A.7）

A.3.3 方位盘引入标准不确定度

各校准点的最大误差满足优于±0.5°，由于使用方位盘测量海流计正、反转经过角度的概率分布为三角分布（*k*=），所引入的准不确定度按公式（A.8）计算：

 （A.8）

A.4 合成标准不确定度

海流计流向测量结果的标准不确定度分量汇总见表A.4。

表A.4 标准不确定度一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准不确定度来源 | 灵敏度系数 | 系数值 |
| 海流计流向测量重复性或分辨力引入的不确定度 |  | 1 |
| 测地型GPS接收机引入的标准不确定度 |  | -1 |
| 方位盘引入标准不确定度 |  | -1 |

由于各分量之间各不相关，合成标准不确定度的计算公式如下：

 （A.9）

海流计各校准点流向测量结果的合成标准不确定度计算结果见表A.5。

表A.5 海流计流向测量结果的合成标准不确定度

单位：°

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 0(360) | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 |
| 合成标准不确定 | 0.63 | 0.70 | 0.86 | 0.84 | 0.73 | 0.76 | 0.80 | 0.64 | 0.73 | 0.57 | 0.57 | 0.49 |

A.5 扩展不确定度

取*k*=2，则扩展不确定度*U*=，扩展不确定度计算结果见表A.6。

表A.6 海流计流向测量结果的扩展不确定度

单位：°

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0(360) | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 |
| 扩展不确定度 | 1.3 | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.3 | 1.5 | 1.1 | 1.1 | 1.0 |

B.1 流速概述

B.1.1 评定依据

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示。

B.1.2 标准设备和被测对象

B.1.2.1 标准设备

标准器主要技术指标见表B.1。

表B.1 标准器主要技术指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分类 | 名称 | 主要技术指标 |
| 标准器 | 车速测量系统 | MPB:±1.0 cm/s |
| 配套设备 | 流速校准水槽 | 深水区尺寸：60m×5m×6m  浅水区尺寸：140m×5m×1.5m |
| 流速校准拖车 | 车速变化率（σ）：  v≤0.1m/s，σ≤2.00%  0.1＜v≤0.5m/s，σ≤1.00%  v＞0.5m/s，σ≤0.60% |

B.1.2.2 被测对象

表B.2 被测对象信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 器具名称 | 生产厂家 | 型号 | 编号 |
| 拖曳倾斜式海流计 | 澳大利亚  詹姆斯库克大学 | MarottB HS | B1574 |

B.1.3 主要测量方法

由悬挂海流计的流速校准拖车提供稳定速度，使得海流计与水槽中的水处于一定速度的相对运动，车速测量系统测得的速度为流速标准值，将海流计流速示值减去流速标准值即为流速示值误差。逐点分析校准点5cm/s、15cm/s、25cm/s、55cm/s、65cm/s、115cm/s的测量结果不确定度。

B.2 建立测量模型和分析不确定度来源

B.2.1 测量模型

在校准过程中，测量结果为示值误差，计算公式见（B.1）。

 （B.1）

式中：

——流速示值误差，cm/s；

——被测流速平均值，cm/s；

——标准流速值，cm/s。

B.2.2 不确定度来源分析

（1）海流计流向测量重复性或分辨力引入的标准不确定度分量，其标准不确定度分别设为和，两者间较大者设为；

（2）车速测量系统引入的不确定度分量，其标准不确定度设为。

B.3 不确定度分量评定

B.3.1 海流计流速测量重复性或分辨力引入的标准不确定度

B.3.1.1海流计流速测量重复性引入的标准不确定度

当重复测量次数为6次时，测得值的实验标准差按贝塞尔公式（B.2）计算。

 （B.2）

式中：——第*i*次测量的测得值；

*n*——重复测量次数，此处*n*=6。

当重复测量次数小于6次时，测得值的实验标准差按极差法公式（B.3）计算。

 （B.3）

式中：R——极差；

C——极差系数；

，——测量组中最大值和最小值。

测量结果的标准不确定度按公式（B.4）计算。

 （B.4）

则测量重复性引入的标准不确定度见表B.3。

表B.3 海流计流速测量重复性引入标准不确定度

单位：cm/s

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 5 | 15 | 25 | 55 | 65 | 115 |
|  | 0.24 | 0.38 | 0.38 | 0.20 | 0.40 | 0.80 |

B.3.1.2 海流计分辨力引入标准不确定度

由海流计的说明书，可知其分辨力为0.1cm/s，每个读数值的区间半宽度为分辨力的一半，即为0.05cm/s，按均匀分布处理，所引入的标准不确定度按公式（B.5）计算如下。

 （B.5）

由表B.3和公式（B.5）的计算结果可知，海流计各校准点的流速测量重复性引入的不确定度皆比分辨力引入的不确定度更大，可不考虑分辨力引入的不确定度分量，使用表示。

B.3.2 流速拖车车速测量系统引入标准不确定度

流速拖车车速测量系统的最大允许误差满足优于±1.0cm/s，由于拖车车速测量的概率分布为正态分布(*k*=2)，所引入的标准不确定度按公式（B.6）计算如下。

 （B.6）

B.4 合成标准不确定度

海流计流向测量结果的标准不确定度分量汇总见表B.4。

表B.4 标准不确定度一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标准不确定度来源 | 灵敏度系数 | 系数值 |
| 海流计流向测量重复性或分辨力引入的不确定度 |  | 1 |
| 车速测量系统引入标准不确定度 |  | -1 |

由于各分量之间各不相关，合成标准不确定度的计算公式如下：

 （B.7）

海流计各校准点流速测量结果的合成标准不确定度计算结果见表B.5。

表B.5 海流计流速测量结果的合成标准不确定度

单位：cm/s

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 5 | 15 | 25 | 55 | 65 | 115 |
| 合成标准不确定度 | 0.55 | 0.63 | 0.63 | 0.54 | 0.64 | 0.94 |

B.5 扩展不确定度

取*k*=2，则扩展不确定度*U*=，则扩展不确定度计算结果见表B.6。

表B.6 海流计流速测量结果的扩展不确定度

单位：cm/s

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 5 | 15 | 25 | 55 | 65 | 115 |
| 扩展不确定度 | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 1.1 | 1.3 | 1.9 |