磁通门经纬仪校准测量不确定度评定报告

1. 引言

磁通门经纬仪的校准项目有7项，见表0

表0 磁通门经纬仪校准项目一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 评定过程序号 |
| 1 | 仪器偏移 | 1 |
| 2 | 测量精密度 | 2 |
| 3 | 修正系数 | 3 |
| 4 | 线性度 | 4 |
| 5 | 水平夹角 | 5 |
| 6 | 垂直夹角 | 6 |
| 7 | 零点偏移 | 7 |

所有项目在地磁台实验室进行，以实验室磁通门经纬仪为标准仪器。

校准环境：温度：27.0℃；相对湿度：45%RH ；干扰磁场小于0.5nT。

1. 仪器偏移测量不确定度评定

1.1测量方法

采用“近零法”对参考仪器及被校准仪器进行绝对观测，对被校准仪器的仪器偏移校准结果进行不确定度的分析。

1.2数学模型

由测量原理和方法，分别得到计算磁偏角*D*的仪器偏移、磁倾角*I*的仪器偏移的数学模型：

 (1.2.1)

 (1.2.2)

 、—参考仪器测得*D*、*I*基线值的均值；

 、—被校准仪器测得*D*、*I*基线值的均值；

、—相对记录仪器日变化对磁偏角及磁倾角的影响量，′。

、—被校准仪器及参考仪器修正系数，无量纲。

、—被校准仪器及参考仪器修正系数的偏差，无量纲。

、—被校准仪器及参考仪器磁通门探头温度系数，nT/℃。

、—被校准仪器及参考仪器测量开始与结束时的环境温度差，℃。

、—观测时被校准仪器及参考仪器在某位置的修正值，为所有四个位置修正值之和，nT。

、—观测时被校准仪器及参考仪器在第三、第四位置的修正值与第一、第二位置修正值相反数的和，nT。

*N—*重复测量的次数。

*T*=3438 ′/rad，弧度转换为角度制分的参数。

*H*—测量点位磁场水平分量强度概值，测量时段内可认为常量，nT。

*F*—测量点位在测量时段磁场总强度均值，测量时段内可认为常量，nT。

1.3 不确定度传播率和灵敏系数

比测模型为非线性，依不确定度传播率：



由式（1.2.1）（1.2.2）得：

(1.3.1)

 (1.3.2)

式中：

 、—参考仪器测得*D*、*I*基线值均值的不确定度分量；

 、—被校准仪器测得*D*、*I*基线值均值的不确定度分量；

、—相对记录仪的*D*、*I*日变化引入的不确定度分量；

、—参考仪器及被校准仪器修正系数偏差引入的不确定度分量；

、—参考仪器及被校准仪器温度系数引入的不确定度分量。

式(1.3.1)中的灵敏系数分别为  

  

 



偏导数表示式中的各个输入量均取其数学期望，故。同理，在式(C.3.2)中      

1.4标准不确定度分量

表1给出某次测量的各项原始参数。

表1 ***D***、***I***测量原始参数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测磁偏角*D* | | | | | | | | | | |
|  | —401.9 nT |  |  | —1453.5 nT |  |  | 0.01 ′ |  |  | 0.01 ′ |
|  | ±0.005 ′ |  |  | 0.0024 |  |  | ±0.002 |  |  | 0.000839 |
|  | ±0.2 nT/℃ |  |  | ±0.2 nT/℃ |  |  | 0.1 ℃ |  |  | 0.1 ℃ |
|  | 0.9888 |  |  | -0.9690 |  | *H* | 31470 nT |  | *T* | 3438 ′/rad |
| *N* | 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 测磁倾角*I* | | | | | | | | | | |
|  | 128.9 nT |  |  | —662.0 nT |  |  | 0.01 ′ |  |  | 0.01 ′ |
|  | ±0.005 ′ |  |  | 0.0024 |  |  | ±0.002 |  |  | 0.000839 |
|  | ±0.2 nT/℃ |  |  | ±0.2 nT/℃ |  |  | 0.1 ℃ |  |  | 0.1 ℃ |
|  | 0.9888 |  |  | -0.9690 |  | *F* | 52850 nT |  | *T* | 3438 ′/rad |
| *N* | 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

其中、、、为被校准仪器及参考仪器单次测量的标准偏差，取*N*次测量的均值为估计值；、为被校准仪器及参考仪器上次标定的单次标准偏差，重复测量6次。

（1.4.1）被校准仪器及参考仪器测得*D*、*I*的基线值均值、、、 ：对于参考仪器的、，仅考虑溯源至国内基准，对D、I各进行*N=*6次重复测量，单次测量的标准偏差为、、、，则由测量重复性引入的不确定度









（1.4.2）日变化引起的偏差、：磁偏角与磁倾角日变化幅度与相对记录仪器有关，在日常进行观测的时段内，其值在±0.005 ′以内，以均匀分布估计，得

 

（1.4.3）被校准仪器修正系数偏差：的标准偏差已经在仪器标定时得到，为0.002463，重复测量6次，则由重复性引入的标准不确定度为



（1.4.4）参考仪器修正系数偏差：影响该项不确定度的分量有两项：①上次校准以来修正系数的变化量的不确定度分量，变化量在±0.002范围内，以均匀分布估计，得



②修正系数在标定时由重复性导致的不确定度分量，重复测量6次，标准偏差为0.000839，得



上述两个分量不相关，故其合成标准不确定为



（1.4.5）被校准仪器温度系数、参考仪器温度系数：2项系数都在±0.2 nT/℃范围内，以均匀分布估计，得

 

表2、表3给出了某DI仪的*D*、*I*仪器偏移校准的不确定度分量汇总表。

表2 某DI仪磁偏角*D*的仪器偏移校准的不确定度分量汇总

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 估计值 | 标准不确定度 | 分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
|  | 21376.87 ′ | 0.00408 ′ | 正态 | 1.00 | 0.00408 ′ |
|  | 21376.84 ′ | 0.00408 ′ | 正态 | —1.00 | 0.00408 ′ |
|  | 0 | 0.00289 ′ | 均匀 | —1.00 | 0.00289 ′ |
|  | 0 | 0.00101 | 均匀 | 1.83 ′ | 0.00184 ′ |
|  | 0 | 0.115 nT/℃ | 均匀 | 0.000225 ℃′/nT | 0.0000259 ′ |
|  | 0 | 0.00120 | 均匀 | —6.62 ′ | 0.00794 ′ |
|  | 0 | 0.115 nT/℃ | 均匀 | 0.000221℃′/nT | 0.0000254 ′ |
|  | 0 | 0.000113 nT/℃ |  | 0.000228 ℃′/nT |  |
|  | 0 | 0.000138 nT/℃ |  | 0.000228 ℃′/nT |  |
|  | 0.03 ′ |  |  |  | 0.0104 ′ |

表3 某DI仪磁偏角*I*的仪器偏移校准的不确定度分量汇总

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入量 | 估计值 | 标准不确定度 | 分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
|  | 3204.01 ′ | 0.00408 ′ | 正态 | 1.00 | 0.00408 ′ |
|  | 3204.03 ′ | 0.00408 ′ | 正态 | —1.00 | 0.00408 ′ |
|  | 0 | 0.00289 ′ | 均匀 | —1.00 | 0.00289 ′ |
|  | 0 | 0.00101 | 均匀 | —0.349 ′ | 0.000352′ |
|  | 0 | 0.115 nT/℃ | 均匀 | 0.000134 ℃′/nT | 0.0000154 ′ |
|  | 0 | 0.00120 | 均匀 | —1.79 ′ | 0.00215′ |
|  | 0 | 0.115 nT/℃ | 均匀 | 0.000131℃′/nT | 0.0000151′ |
|  | 0 | 0.000113 nT/℃ |  | 0.000136 ℃′/nT |  |
|  | 0 | 0.000138 nT/℃ |  | 0.000136 ℃′/nT |  |
|  | —0.02 ′ |  |  |  | 0.00682′ |

1.5合成标准不确定度

根据方差合成公式得出、的标准不确定度

 

1.6扩展不确定度

、接近于正态分布，取*k*=2，则、的扩展不确定度

 

该仪器的仪器偏移为

 

1. 测量精密度测量不确定度评定

2.1测量方法

测量精密度即通过“近零法”对被校准仪器进行*n*次测量后，计算得到的磁偏角基线值、磁倾角基线值的实验标准差、。

2.2数学模型

按贝塞尔公式计算 *n* 次测量中某单个测得值 的实验标准偏差，即为测量精密度，即

 (2.2.1)

2.3 不确定度传播率和灵敏系数

各输入量互不相关，根据不确定度传播率得：

 (2.3.1)

其中灵敏系数=1。

2.4 标准不确定度分量及合成不确定度

由于测量精密度为实验标准差，则根据《JJF 1094-2002》，其标准不确定度为：

 (2.4.1)

对仪器重复测量6次，得到实验标准差，，由于输入量只有1个，则测量精密度的合成不确定度即为：





2.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2,则扩展不确定度为：





该仪器的测量精密度为，。

1. 修正系数测量不确定度评定

3.1测量方法

通过对磁通门经纬仪垂直度盘进行角度变化的方式测量。

3.2数学模型

磁通门经纬仪垂直度盘角度变化量为时被校准仪器的修正系数，重复测量后取平均值，则被校准仪器的修正系数可以表示为：

 (3.2.1)

3.3 不确定度传播率和灵敏系数

各输入量互不相关，根据不确定度传播率得：

 (3.3.1)

其中灵敏系数=1。

3.4 标准不确定度分量及合成不确定度

对仪器重复测量6次，结果如表3.4.1

表3.4.1 修正系数的6次测量结果

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 测得值 |
| 1 | 0.985288575 |
| 2 | 0.98892885 |
| 3 | 0.98341511 |
| 4 | 0.98341511 |
| 5 | 0.987690696 |
| 6 | 0.987579549 |
|  | 0.9870 |

6次测量平均值的实验标准差为，则



3.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2,则扩展不确定度为：



该仪器的修正系数为。

1. 线性度测量不确定度评定

4.1测量方法

磁通门磁强计输出的线性度可以用修正系数的非线性误差表示，一般与修正系数同时校准。

4.2数学模型

*n*次测量中某个单次测得线性度值为，重复测量后取平均值，则被校准仪器的线性度为：

 (4.2.1)

4.3 不确定度传播率和灵敏系数

各输入量互不相关，根据不确定度传播率得：

 (4.3.1)

其中灵敏系数=1。

4.4 标准不确定度分量及合成不确定度

对仪器重复测量4次，结果如表4.4.1

表4.4.1 线性度的6次测量结果

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 测得值(%) |
| 1 | 0.392 |
| 2 | 0.262 |
| 3 | 0.374 |
| 4 | 0.466 |
|  | 0.37 |

4次测量平均值的实验标准差为，则



4.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2,则扩展不确定度为：



该仪器磁通门磁强计的线性度为。

1. 水平夹角测量不确定度评定

5.1测量方法

被校准仪器通过“近零法”进行测量时，得到测量磁偏角4个观测位置的基值、、、，则水平夹角：

 (5.1.1)

5.2数学模型

*n*次测量中某个单次测得水平夹角值为，重复测量后取平均值，则被校准仪器的水平夹角为：

 (5.2.1)

5.3 不确定度传播率和灵敏系数

各输入量互不相关，根据不确定度传播率得：

 (5.3.1)

其中灵敏系数=1。

5.4 标准不确定度分量及合成不确定度

对仪器重复测量6次，结果如表5.4.1

表5.4.1 水平夹角的6次测量结果

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 测得值(′) |
| 1 | -0.63 |
| 2 | -0.60 |
| 3 | -0.59 |
| 4 | -0.58 |
| 5 | -0.58 |
| 6 | -0.60 |
|  | -0.60 |

6次测量平均值的实验标准差为，则



5.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2,则扩展不确定度为：



该仪器的水平夹角为。

1. 水平夹角测量不确定度评定

6.1测量方法

被校准仪器通过“近零法”进行测量时，得到测量磁偏角4个观测位置的基值、、、，则垂直夹角：

 (6.1.1)

式中*I*为磁倾角。

6.2数学模型

*n*次测量中某个单次测得水平夹角值为，重复测量后取平均值，则被校准仪器的垂直夹角为：

 (6.2.1)

6.3 不确定度传播率和灵敏系数

各输入量互不相关，根据不确定度传播率得：

 (6.3.1)

其中灵敏系数=1。

6.4 标准不确定度分量及合成不确定度

对仪器重复测量6次，结果如表6.4.1

表6.4.1 垂直夹角的6次测量结果

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 测得值(′) |
| 1 | -0.74 |
| 2 | -0.75 |
| 3 | -0.78 |
| 4 | -0.76 |
| 5 | -0.77 |
| 6 | -0.77 |
|  | -0.76 |

6次测量平均值的实验标准差为，则



6.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2,则扩展不确定度为：



该仪器的垂直夹角为。

1. 水平夹角测量不确定度评定

7.1测量方法

被校准仪器通过“近零法”进行测量时，得到测量磁偏角4个观测位置的基值、、、，则磁通门磁强计的零点偏移为：

 (7.1.1)

式中*H*为水平强度概值。

7.2数学模型

*n*次测量中某个单次测得水平夹角值为，重复测量后取平均值，则被校准仪器的零点偏移为：

 (7.2.1)

7.3 不确定度传播率和灵敏系数

各输入量互不相关，根据不确定度传播率得：

 (7.3.1)

其中灵敏系数=1。

7.4 标准不确定度分量及合成不确定度

对仪器重复测量6次，结果如表7.4.1

表7.4.1 零点偏移的6次测量结果

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 测得值(nT) |
| 1 | 8.68 |
| 2 | 8.80 |
| 3 | 8.53 |
| 4 | 8.14 |
| 5 | 8.62 |
| 6 | 8.68 |
|  | 8.58 |

6次测量平均值的实验标准差为，则



7.5 扩展不确定度

取包含因子*k*=2,则扩展不确定度为：



该仪器的零点偏移为。