质子矢量磁力仪校准规范

测量不确定度评定报告

《质子矢量磁力仪》编写组

2023年5月

目 录

[（一）总强度示值误差测量不确定度评定示例 1](#_Toc173677147)

[（二）总强度温度稳定性校准结果不确定度评定示例 3](#_Toc173677148)

[（三）分量线圈装置转台轴回转误差校准结果不确定度评定示例 7](#_Toc173677149)

[（四）分量线圈装置转台角位置定位误差校准结果不确定度评定示例 9](#_Toc173677150)

[（五）水平仪分度值误差校准结果不确定度评定示例 12](#_Toc173677151)

[（六）恒定电流源补偿电流温漂相对偏差校准结果不确定度评定示例 14](#_Toc173677152)

[（七）恒定电流源偏置电流正反向电流输出相对偏差校准结果不确定度评定示例 17](#_Toc173677153)

[（八）水平分量示值误差测量不确定度评定示例 19](#_Toc173677154)

[（九）相对磁偏角示值误差测量不确定度评定示例 23](#_Toc173677155)

# （一）总强度示值误差测量不确定度评定示例

将标准磁力仪探头置于标准磁场系统均匀区，采用替换法，校准被校质子矢量磁力仪总强度。以某一个型号质子矢量磁力仪在20000nT校准点为例进行总强度示值误差测量不确定度评定。

1.1测量模型

（1.1）

式中：

——被校质子矢量磁力仪在校准点总强度示值误差，nT；

——被校质子矢量磁力仪在校准点总强度示值的均值，nT；

——标准质子磁强计在校准点示值平均值，nT。

1.2测量不确定度的主要来源

测量不确定度的主要来源包括：

1. 测量重复性引入的不确定度；
2. 标准磁力仪引入的不确定度；
3. 标准磁场波动度引入的不确定度。

1.3标准不确定度评定

1.3.1测量重复性引入的标准不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。 多次重复测量结果如表1.1所示。

表1.1 总强度重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/nT | 20001.1 | 20001.4 | 20001.2 | 20000.9 | 20000.8 |
| 第次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/nT | 20001.3 | 20001.2 | 20001.0 | 20001.2 | 20000.9 |

用贝塞尔公式 （1.2）计算实验标准差：

 (1.2)

式中：

——总强度测量重复性实验标准偏差，nT；

——第次测量的总强度示值，nT；

——次测量的总强度示值的算术平均值，nT；

——测量次数。

计算得=0.194nT，则=0.19nT。

1.3.2 标准磁力仪引入的标准不确定度

标准磁力仪经校准符合使用要求，其最大允许误差为±0.2nT，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



1.3.3 标准磁场波动度引入的标准不确定度分量

根据零磁空间和均匀磁场生成装置的技术手册，在校准点产生的标准磁场波动范围为±0.2nT，假设为均匀分布，则由标准磁场波动度引入的不确定度为：



1.4合成不确定度

标准不确定度分量见表1.2。

表1.2 总强度示值误差测量不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.194nT |
|  | 标准磁力仪引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.115nT |
|  | 标准磁场波动度引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.115nT |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



1.5扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.5nT。

# （二）总强度温度稳定性校准结果不确定度评定示例

以某一个型号质子矢量磁力，采用磁场总强度温度稳定性模拟旋进信号频率校准方法，信号发生器输出频率为2000Hz，各温度区间总强度差值绝对值最大值对应的温度区间为初始温度20℃至30℃为例，进行总强度温度稳定性校准结果不确定度评定。

2.1测量模型

 （2.1）

式中:

——总强度温度稳定性，nT/℃；

——30℃温度点磁场总强度示值的平均值，nT；

——20℃温度点磁场总强度示值的平均值，nT。

对公式2.1求偏导数，得灵敏系数：

 ，

2.2测量不确定度的主要来源

由于的值远小于10，忽略高低温系统温度误差引入的不确定度。测量不确定度的主要来源包括：

输入量引入的不确定度：

1. 测量重复性引入的不确定度；
2. 测量分辨力引入的不确定度；

注：当，不重复计入。

输入量引入的不确定度：

1. 测量重复性引入的不确定度；
2. 测量分辨力引入的不确定度。

注：当，不重复计入。

2.3标准不确定度评定

2.3.1 输入量引入的不确定度

2.3.1.1测量重复性引入的不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。30℃温度点多次重复测量结果如表2.1所示。

表2.1 30℃温度点总强度重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/nT | 46974.4 | 46974.4 | 46974.4 | 46974.4 | 46974.4 |
| 第次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/nT | 46974.4 | 46974.5 | 46974.4 | 46974.4 | 46974.4 |

用贝塞尔公式 （2.2）计算实验标准差：

 (2.2)

式中：

——30℃温度点总强度测量重复性实验标准偏差，nT；

——30℃温度点第次测量的总强度示值，nT；

——30℃温度点次测量的总强度示值的算术平均值，nT；

——测量次数。

计算得=0.032nT，则=0.032nT。

2.3.1.2 测量分辨力引入的不确定度

根据技术手册可得，总强度测量分辨力为0.1nT，那么其区间半宽度为0.05nT，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



2.3.1.3 测量引入的不确定度

为了避免重复计算，测量结果的重复性和分辨力引入的不确定度取其中最大值作为测量引入的不确定度。

=0.032nT。

2.3.2 输入量引入的不确定度

2.3.2.1 测量重复性引入的不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。20℃温度点多次重复测量结果如表2.3所示。

表**2.3**  **40℃**温度点总强度重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/nT | 46974.4 | 46974.4 | 46974.5 | 46974.4 | 46974.4 |
| 第次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/nT | 46974.4 | 46974.4 | 46974.4 | 46974.4 | 46974.4 |

用贝塞尔公式 （2.3）计算实验标准差：

 (2.3)

式中：

——20℃温度点总强度测量重复性实验标准偏差，nT；

——40℃温度点第次测量的总强度示值，nT；

——40℃温度点次测量的总强度示值的算术平均值，nT；

——测量次数。

计算得=0.032nT，则=0.032nT。

2.3.1.2 测量分辨力引入的不确定度

根据技术手册可得，总强度测量分辨力为0.1nT，那么其区间半宽度为0.05nT，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



2.3.1.3 测量引入的不确定度

为了避免重复计算，测量结果的重复性和分辨力引入的不确定度取其中最大值作为测量引入的不确定度。

=0.032nT。

2.4合成不确定度

标准不确定度分量见表2.4。

表2.4 总强度温度稳定性校准结果不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.032nT |
|  | 测量分辨力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.028nT |
|  | 输入量引入的不确定度 | 0.032nT | | |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.032nT |
|  | 测量分辨力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.028nT |
|  | 输入量引入的不确定度 | 0.032nT | | |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



2.5扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.006nT/℃。

# （三）分量线圈装置转台轴回转误差校准结果不确定度评定示例

参考JJF 1210《低速转台校准规范》中7.1.1条校准方法（两台电子水平仪为例）。以某一个型号质子矢量磁力仪转台轴回转误差校准结果对应的测量位置为例，开展分量线圈装置转台轴回转误差校准结果不确定度评定。

3.1测量模型

假设轴回转误差结果取正值，则有

 （3.1）

式中:

——轴回转误差，″；

——在轴回转误差校准结果对应的位置，电子水平仪1示值去除台面安装与回转轴不垂直造成的分量，″；

——在轴回转误差校准结果对应的位置，电子水平仪2示值去除台面安装与回转轴不垂直造成的分量，″。

对公式3.1求偏导数，得灵敏系数：

，

3.2测量不确定度的主要来源

测量不确定度的主要来源包括：

a）水平仪1测量分辨力引入的不确定度；

b）水平仪2测量分辨力引入的不确定度。

3.3.1电子水平仪1测量分辨力引入的不确定度

根据技术手册可得，电子水平仪的分辨力约为1″，那么其区间半宽度为0. 5″，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



3.3.2电子水平仪2测量分辨力引入的不确定度

根据技术手册可得，电子水平仪的分辨力约为1″，那么其区间半宽度为0. 5″，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



3.4合成不确定度

标准不确定度分量见表3.4。

表3.1 分量线圈装置转台轴回转误差校准结果不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 电子水平仪1分辨力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.3″ |
|  | 电子水平仪2分辨力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.3″ |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



E.5扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.6″。

# （四）分量线圈装置转台角位置定位误差校准结果不确定度评定示例

参考JJF 1210《低速转台校准规范》中7.3条校准方法。以某一个型号质子矢量磁力仪转台为例，开展分量线圈装置转台轴回转误差校准结果不确定度评定。

4.1测量模型

假设转台角位置定位误差结果取正值，则有

 （4.1）

其中：  （4.2）

化简得：  （4.3）

式中:

——转台角位置定位误差，″；

——在所有测点中第个测点，得到的角位置定位误差最大值″；

——在所有测点中第个测点，得到的角位置定位误差最小值″；

——转台第个测点的误差值，″；

——自准值仪第个测点的读数，″；

——棱体第面与第1面的夹角，″；

——转台测角系统第个测点的读数，″；

；

——棱体面数，″；

——棱体第面与第面的夹角，″。

对公式4.3求偏导数，得灵敏系数：

，，

4.2测量不确定度的主要来源

测量不确定度的主要来源包括：

输入量引入的不确定度，包括：

a）转台测角系统第个测点的测量人员估读能力引入的不确定度；

b）转台测角系统第个测点的测量人员估读能力引入的不确定度。

输入量引入的不确定度，包括：

a）自准值仪第个测点测量分辨力引入的不确定度；

b）自准值仪第个测点测量分辨力引入的不确定度。

输入量引入的不确定度，主要包括棱体第面与第面的夹角误差引入的不确定度。

4.3标准不确定度评定

4.3.1输入量引入的不确定度

4.3.1.1转台测角系统第个测点的测量人员估读能力引入的不确定度

根据技术手册可得，分度值为1′，假设观测人员分辨能力为格，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



4.3.1.3转台测角系统第个测点的测量人员估读能力引入的不确定度

根据技术手册可得，分度值为1′，假设观测人员分辨能力为格，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



4.3.2输入量引入的不确定度

4.3.2.1自准值仪第个测点测量分辨力引入的不确定度

根据技术手册可得，分辨力为1″，那么其区间半宽度为0.5″，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



4.3.2.2自准值仪第个测点测量分辨力引入的不确定度

根据技术手册可得，分辨力为1″，那么其区间半宽度为0.5″，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



4.3. 3输入量引入的不确定度

输入量引入的不确定度，主要包括棱体第面与第面的夹角误差引入的不确定度。根据技术手册可得，四等棱体误差范围为″，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



4.4合成不确定度

标准不确定度分量见表4.1。

表4.1 分量线圈装置转台角位置定位误差校准结果不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 转台测角系统第个测点的测量人员估读能力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.12′ |
|  | 转台测角系统第个测点的测量人员估读能力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.12′ |
|  | 自准值仪第个测点测量分辨力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.005′ |
|  | 自准值仪第个测点测量分辨力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.005′ |
|  | 棱体第面与第面的夹角误差引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.05′ |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



5.5扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.34′。

# （五）水平仪分度值误差校准结果不确定度评定示例

以某一个型号质子矢量磁力仪水平仪，采用水平仪分度值误差台站现场校准方法，以第次测量的水平仪分度值误差校准为例，进行水平仪分度值误差校准结果不确定度评定。

5.1测量模型

假设水平仪标称分度值与实测平均分度值之差的绝对值未超过标称分度值的10%，则

 （5）

式中:

——被校水平仪分度值误差，格

——被校水平仪第次读数，格

5.2测量不确定度的主要来源

测量不确定度的主要来源包括：

a）第次测量的测量人员估读能力引入的不确定度；

b）第次测量的测量人员估读能力引入的不确定度；

c）电子水平仪示值误差引入的不确定度。

5.3标准不确定度评定

5.3.1第次测量的测量人员估读能力引入的不确定度

根据技术手册可得，标称分度值为0.15mm/m，假设观测人员分辨能力为±0.1格，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



5.3.2第次测量的测量人员估读能力引入的不确定度

根据技术手册可得，标称分度值为0.15mm/m，假设观测人员分辨能力为±0.1格，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



5.3.3电子水平仪示值误差引入的不确定度

根据技术手册可得，电子水平仪标称分度值为0.05mm/m，示值误差为，假设为均匀分布，引入的不确定度为：



4.4合成不确定度

标准不确定度分量见表4.1。

表4.1 分量线圈装置转台角位置定位误差校准结果不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 第次测量的测量人员估读能力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.06格 |
|  | 第次测量的测量人员估读能力引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.06格 |
|  | 电子水平仪示值误差引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.01格 |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



E.5扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.17格。

# （六）恒定电流源补偿电流温漂相对偏差校准结果不确定度评定示例

以某一个型号质子矢量磁力仪恒定电流源补偿电流在106.4mA校准点，温度点为40℃为例，进行恒定电流源补偿电流温漂相对偏差校准结果不确定度评定。

6.1测量模型

 （3.1）

式中:

——恒定电流源补偿电流温度为40℃时温漂相对偏差；

——恒定电流源补偿电流在温度为40℃时标准电流表示值的平均值，mA；

——恒定电流源补偿电流在起始温度时标准电流表示值的平均值，mA

——恒定电流源补偿电流校准点电流值，mA。

对公式3.1求偏导数，得灵敏系数：

，

6.2测量不确定度的主要来源

测量不确定度的主要来源包括：

a）测量重复性引入的不确定度；

b）测量重复性引入的不确定度。

6.3标准不确定度评定

6.3.1测量重复性引入的不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。40℃温度点多次重复测量结果如表6.1所示。

表**6.1 40℃**温度点补偿电流测量重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mA | 106.438 | 106.437 | 106.437 | 106.438 | 106.438 |
| 第次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/mA | 106.438 | 106.436 | 106.438 | 106.436 | 106.438 |

用贝塞尔公式 （6.2）计算实验标准差：

 (6.2)

式中：

——40℃温度点补偿电流测量重复性实验标准偏差，mA；

——40℃温度点第次测量的标准电流表示值，mA；

——40℃温度点次测量的标准电流表示值的算术平均值，mA；

——测量次数。

计算得=0.00014mA，则=0.00014mA。

6.3.2测量重复性引入的不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。20℃温度点多次重复测量结果如表6.3所示。

表**2.2 20℃**温度点补偿电流测量重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mA | 106.435 | 106.435 | 106.434 | 106.435 | 106.435 |
| 第次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/mA | 106.435 | 106.434 | 106.436 | 106.436 | 106.435 |

用贝塞尔公式 （6.3）计算实验标准差：

 (6.2)

式中：

——20℃温度点补偿电流测量重复性实验标准偏差，mA；

——20℃温度点第次测量的标准电流表示值，mA；

——20℃温度点次测量的标准电流表示值的算术平均值，mA；

——测量次数。

计算得=0.0008mA，则=0.0007mA。

6.4合成不确定度

标准不确定度分量见表6.3。

表6.3 恒定电流源补偿电流温漂相对偏差校准结果不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.00084mA |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.00067mA |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



6.5扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.002%。

# （七）恒定电流源偏置电流正反向电流输出相对偏差校准结果不确定度评定示例

以某一个型号质子矢量磁力仪恒定电流源偏置电流在120mA校准点为例，进行恒定电流源偏置电流正反向电流输出相对偏差校准结果不确定度评定。

7.1测量模型

 （7.1）

式中：

——恒定电流源偏置电流正反向输出相对偏差；

——恒定电流源偏置电流正向偏置时标准电流表示值的平均值，mA；

——恒定电流源偏置电流反向偏置时标准电流表示值的平均值，mA；

——校准点电流值，mA。

对公式7.1求偏导数，得灵敏系数：

，

7.2测量不确定度的主要来源

测量不确定度的主要来源包括：

a）测量重复性引入的不确定度；

b）测量重复性引入的不确定度。

7.3标准不确定度评定

7.3.1 测量重复性引入的不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。恒定电流源偏置电流正向偏置时标准电流表多次重复测量结果如表7.1所示。

表**7.1** 正向偏置时重复性测量标准电流表示值数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mA | 120.424 | 120.425 | 120.426 | 120.426 | 120.426 |
| 第次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/mA | 120.426 | 120.425 | 120.424 | 120.425 | 120.424 |

用贝塞尔公式 （7.2）计算实验标准差：

 (7.2)

式中：

——校准点正向偏置时偏置电流测量重复性实验标准偏差，mA；

——校准点正向偏置时第次测量的标准电流表示值，mA；

——校准点正向偏置时次测量的标准电流表示值的算术平均值，mA；

——测量次数。

计算得=0.00088mA，则=0.00088mA。

7.3.2 测量重复性引入的不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。恒定电流源偏置电流反向偏置时标准电流表多次重复测量结果如表7.2所示。

表**7.2** 反向偏置时重复性测量标准电流表示值数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mA | -120.428 | -120.429 | -120.427 | -120.427 | -120.428 |
| 第次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/mA | -120.428 | -120.428 | -120.427 | -120.428 | -120.429 |

用贝塞尔公式 （7.3）计算实验标准差：

 (4.3)

式中：

——校准点反向偏置时偏置电流测量重复性实验标准偏差，mA；

——校准点反向偏置时第次测量的标准电流表示值，mA；

——校准点反向偏置时次测量的标准电流表示值的算术平均值，mA；

——测量次数。

计算得=0.00074mA，则=0.00074mA。

7.4合成不确定度

标准不确定度分量见表7.3。

表7.3 恒定电流源偏置电流正反向电流输出相对偏差校准结果不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.00088mA |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.00074mA |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



7.5扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.002%。

# （八）水平分量示值误差测量不确定度评定示例

在地震地磁台站，采用被校质子矢量磁力仪包含的质子磁力仪、分量线圈装置转台、水平仪等开展水平分量示值误差校准工作。以某一个型号质子矢量磁力在某个地震台为例进行水平分量示值误差测量不确定度评定。

8.1测量模型

 （8.1）

式中：

——水平分量示值误差，nT；

——磁南北向水平线圈装置误差，nT；

——分量线圈装置转台失调角引入的水平分量误差，nT。

8.2测量不确定度的主要来源

测量不确定度的主要来源包括：

输入量引入的不确定度，主要包括：

a）测量重复性引入的不确定度；

b）短期磁场波动引入的不确定度。

输入量的引入的不确定度，主要包括：

a）测量装置误差时线圈装置转台回转定位引入的标准不确定度分量，

b）补偿电流引入的不确定度；

c）水平仪测量误差引入的不确定度。

输入量的引入的不确定度，主要包括分量线圈装置转台轴回转误差产生水平分量变化引入的不确定度。

8.3标准不确定度评定

8.3.1 输入量引入的不确定度

8.3.1.1 测量重复性引入的不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。磁南北向水平线圈装置误差重复测量结果如表8.1所示。

表**8.1** 磁南北向水平线圈装置误差重复测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/nT | 0.6 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 0.7 |

用贝塞尔公式 （8.2）计算实验标准差：

 (8.2)

式中：

——校准点反向偏置时偏置电流测量重复性实验标准偏差，mA；

——校准点反向偏置时第次测量的标准电流表示值，mA；

——校准点反向偏置时次测量的标准电流表示值的算术平均值，mA；

——测量次数。

计算得=0.06nT，则=0.06nT。

8.3.1.2短期磁场波动引入的不确定度

根据经验，短期磁场波动范围为±0.2nT，假设为均匀分布，则由标准磁场波动度引入的不确定度为：



8.3.2输入量的引入的不确定度

8.3.2.1测量装置误差时线圈装置转台回转定位引入的标准不确定度分量

根据测量原理和经验，转台回转定位影响最大范围（-0.1，0.1）nT，假设在区间为均匀分布，则



8.3.2.2补偿电流引入的标准不确定度分量

根据测量原理和经验，补偿电流影响范围（0，0.1）nT，假设在区间为均匀分布，则



8.3.2.3水平仪测量误差引入的标准不确定度分量

由于水平仪分度值误差和垂直分量计算值引入的不确度分量极小，可以忽略。水平仪水泡位移量读数误差中，水平仪分度值为0.15mm/m，垂直分量计算值为40660nT。根据经验，假设观测人员分辨能力为±0.1格，水平仪估读误差影响水平分量的范围为±0.6nT，假设在区间为均匀分布，则



8.3.3输入量的引入的不确定度

输入量的引入的不确定度，主要包括分量线圈装置转台轴回转误差产生水平分量变化引入的不确定度。假设分量线圈装置转台轴回转误差产生水平分量变化区间为0.5nT，假设在区间为均匀分布，则



8.5合成不确定度

标准不确定度分量见表8.2。

表8.2 水平分量示值误差测量不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.06nT |
|  | 短期磁场波动引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.12nT |
|  | 测量装置误差时线圈装置转台回转定位引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.06 nT |
|  | 补偿电流引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.03 nT |
|  | 水平仪测量误差引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.34nT |
|  | 转台轴回转误差产生水平分量变化引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.29nT |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



2.6扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.94nT。

# （九）相对磁偏角示值误差测量不确定度评定示例

在地震地磁台站，采用被校质子矢量磁力仪包含的质子磁力仪、分量线圈装置转台、水平仪等开展相对磁偏角示值误差校准工作。以某一个型号质子矢量磁力在某个地震台为例进行相对磁偏角示值误差测量不确定度评定。

9.1测量模型

 （9.1）

式中：

——质子矢量磁力仪磁偏角的示值误差，′；

——水平线圈的磁东西方向装置误差，nT；

——分量线圈转台磁东西向失调量，nT；

——水平分量测量值，nT；

由于，可以忽略水平分量测值引入的不确定度。对公式6.1求偏导数，得灵敏系数：

，，，

注：为转台初始角位置与校准后角位置的角度差，一般要求校准后应微调转台至角初始位置， 即。

假设=32000nT，有

，

6.2测量不确定度的主要来源

测量不确定度的主要来源包括：

输入量引入的不确定度，主要包括：

a）测量重复性引入的不确定度；

b）短期磁场波动引入的不确定度。

输入量的引入的不确定度，主要包括水平仪测量误差引入的不确定度。

输入量的引入的不确定度，主要包括恒定电流源偏置电流正反向电流输出相对偏差对相对磁偏角的影响引入的不确定度

输入量的引入的不确定度，主要有转台定位重复性引入的不确定度。

6.3标准不确定度评定

6.3.1输入量引入的不确定度

6.3.1.1测量重复性引入的不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度，通过多次重复测量进行评定。磁东西向水平线圈装置误差重复测量结果如表8.1所示。

表**9.1** 磁东西向水平线圈装置误差重复测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/nT | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.5 |

用贝塞尔公式 （9.2）计算实验标准差：

 (8.2)

式中：

——校准点反向偏置时偏置电流测量重复性实验标准偏差，mA；

——校准点反向偏置时第次测量的标准电流表示值，mA；

——校准点反向偏置时次测量的标准电流表示值的算术平均值，mA；

——测量次数。

计算得=0.06nT，则=0.04nT。

6.3.1.2短期磁场波动引入的不确定度

根据经验，短期磁场波动范围为±0.2nT，假设为均匀分布，则由标准磁场波动度引入的不确定度为：



6.3.2输入量的引入的不确定度

输入量的引入的不确定度，主要包括水平仪测量误差引入的标准不确定度分量。由于水平仪分度值误差和垂直分量计算值引入的不确度分量极小，可以忽略。水平仪水泡位移量读数误差中，水平仪分度值为0.15mm/m，垂直分量计算值为40660nT。根据经验，假设观测人员分辨能力为±0.1格，水平仪估读误差影响水平分量的范围为±0.6nT，假设在区间为均匀分布，则



8.3.3输入量的引入的不确定度

输入量的引入的不确定度，主要包括分量线圈装置转台轴回转误差产生水平分量变化引入的不确定度。假设分量线圈装置转台轴回转误差产生磁东西分量变化区间为0.5nT，假设在区间为均匀分布，则



8.3.4输入量的引入的不确定度

输入量的引入的不确定度，主要包括恒定电流源偏置电流正反向电流输出相对偏差对相对磁偏角的影响引入的不确定度。假设恒定电流源偏置电流正反向电流输出相对偏差对磁偏角的影响范围为（-0.1，0.1）′，假设区间成均匀分布，则



8.3.5输入量的引入的不确定度

输入量的引入的不确定度，主要包括转台定位重复性引入的不确定度。根据转台校准结果，假设转台重复性为0.2′，假设区间成均匀分布，则



8.5合成不确定度

标准不确定度分量见表6.2。

表8.2 水平分量示值误差测量不确定度分量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 分布类型 | 值 | 标准不确定度 |
|  | 测量重复性引入的不确定度 | 正态 | 1 | 0.04nT |
|  | 短期磁场波动引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.12nT |
|  | 水平仪测量误差引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.34nT |
|  | 分量线圈装置转台轴回转误差产生水平分量变化引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.29nT |
|  | 恒定电流源偏置电流正反向电流输出相对偏差对相对磁偏角的影响引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.057′ |
|  | 转台定位重复性引入的不确定度 | 均匀 |  | 0.2′ |

各个测量不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度为：



3.6扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则*U*=0.43′。