# 探空仪测量误差校准结果的不确定度评定

1 概述

1.1 测量依据：JJFXXXX-XXXX 《数字式电子探空仪校准规范》。

1.2 测量环境条件：环境温度:（20±5）℃，相对湿度: 不大于85％。

1.3 计量标准：

表 1 主要标准器

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 要素 | 标准器 | 主要技术指标 |
| 温度 | 标准铂电阻测温仪 | 测量范围：（-90～+50）℃  准确度等级：二等以上 |
| 湿度 | 精密露点仪 | 测量范围：（10～95）%RH  准确度等级：二级以上 |
| 气压 | 数字气压计 | 测量范围：（0～1600）hPa  准确度等级：0.01级 |

1.4 被测对象：GTH3型卫星导航探空仪

1.5 测量参数：探空仪温度测量误差、探空仪相对湿度测量误差、探空仪气压测量误差。

2 温度误差的不确定度评定

2.1 不确定度计算公式

被校探空仪的温度误差的计算见式（1）

（1）

式中：

----- 探空仪温度传感器示值，℃；

-------标准器温度示值，℃；

对式（1）各分量求偏导，各分量灵敏度系数如下：

， （2）

则根据不确定度传播律，温度误差的合成标准不确定度可由下式计算：

（3）

式中：

----- 探空仪温度误差的合成标准不确定度，℃；

----- 探空仪温度示值的合成标准不确定度，℃；

----- 温度标准值的合成标准不确定度，℃；

2.2 不确定度分量的评定

2.2.1探空仪温度示值引入的标准不确定度分量

探空仪示值重复性和分辨力引入的标准不确定度，二者取大者作为。

采用A类评定方法计算示值重复性引入的不确定度分量，按规范要求，以n次测量平均值作为测得值，得到：

选取各校准点中的最大测量值，℃

探空仪温度示值分辨力为0.01℃，取均匀分布，由此引入的标准不确定度为0.0029℃，小于重复性标准偏差。

则取探空仪示值重复性引入的标准不确定度作为，

即℃

2.2.2 标准值引入的不确定度分量

（1）标准器量值溯源引入的不确定度分量

一等标准铂电阻温度计相邻检定周期检定结果的差值不超过10mK，按均匀分布，取包含因子为，其标准不确定度为：

（2）温场不均匀性引入的标准不确定度

校准使用的恒温槽，技术指标规定的最大垂直温差不大于0.02℃（20mK），按均匀分布，取包含因子为，其标准不确定度为：

(3) 标准值引入的不确定度分量

==0.0128

2.3 合成标准不确定度

按式（3）计算合成标准不确定度：

2.4扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则探空仪温度校准的扩展不确定度为：

℃，=2

各不确定度分量汇总于表2：

表2 温度误差校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度来源 | | 概率分布 |  | （） |
| 温度示值引入的标准不确定度 | | 正态 | 1 | 0.0061 |
| 标准值引入的  不确定度分量 | 标准器量值溯源 | 均匀 |  | 0.0057 |
| 温场不均匀性 | 均匀 | 1 | 0.0115 |
| 合成标准不确定度 | |  | | |
| 扩展不确定度 | | ℃，=2 | | |

3 相对湿度误差的不确定度评定

3.1 不确定度计算公式

被校探空仪的湿度误差的计算见式（1）

（4）

式中：

----- 探空仪湿度传感器示值，%RH；

-------标准器湿度示值，%RH；

对式（1）各分量求偏导，各分量灵敏度系数如下：

， （5）

则根据不确定度传播律，温度误差的合成标准不确定度可由下式计算：

（6）

式中：

----- 探空仪相对湿度误差的合成标准不确定度，%RH；

----- 探空仪示值的合成标准不确定度，%RH；

----- 湿度标准值的合成标准不确定度，%RH；

3.2 不确定度分量的评定

3.2.1探空仪示值引入的标准不确定度分量

探空仪示值重复性和分辨力引入的标准不确定度，二者取大者作为。

采用A类评定方法计算示值重复性引入的不确定度分量，按规范要求，以n次测量平均值作为测得值，得到：

选取各校准点中的最大测量值，%RH

探空仪相对湿度示值分辨力为0.1%RH，取均匀分布，由此引入的标准不确定度为0.029%RH，大于重复性标准偏差。

则取探空仪示值分辨力引入的标准不确定度作为，

即：。

3.2.2 标准值引入的不确定度分量

(1)相对湿度标准值计算公式：

作为标准器的露点仪，给出的相对湿度值是通过间接测量，其标准值如下式计算：

（7）

式中：---- 露点温度饱和水汽压力，Pa；

---- 环境温度的饱和水汽压力，Pa；

在气象应用及探空仪测湿中，对于式中饱和水汽压的计算采用如下的简化公式：

（对于水面） （8）

代入（3）式：

（9）

对式（1）各分量求偏导，各分量灵敏度系数如下：

，

进行偏导计算后，得出，在各设定校准点的灵敏度系数：

表2.1设定校准点的灵敏度系数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 设定校准点（1013.25hPa） | | | 各参数在校准点处的灵敏度系数 | |
|  |  |
| 相对湿度 |  |  |
| 10%RH | -8.7℃ | 25/℃ | 0.78%RH/℃ | 0.60%RH/℃ |
| 20%RH | 0.5℃ | 25/℃ | 1.45%RH/℃ | 1.19%RH/℃ |
| 30%RH | 6.24℃ | 25/℃ | 2.07%RH/℃ | 1.76%RH/℃ |
| 50%RH | 13.86℃ | 25/℃ | 3.25%RH/℃ | 2.98%RH/℃ |
| 70%RH | 19.15℃ | 25/℃ | 4.36%RH/℃ | 4.17%RH/℃ |
| 95%RH | 24.14℃ | 25/℃ | 5.70%RH/℃ | 5.66%RH/℃ |
| 10%RH | -51.9℃ | -30/℃ | 1.17%RH/℃ | 0.94%RH/℃ |
| 20%RH | -45.8℃ | -30/℃ | 2.20%RH/℃ | 1.88%RH/℃ |
| 30%RH | -42.04℃ | -30/℃ | 3.18%RH/℃ | 2.83%RH/℃ |
| 50%RH | -37.1℃ | -30/℃ | 5.05%RH/℃ | 4.72%RH/℃ |
| 70%RH | -33.7℃ | -30/℃ | 6.85%RH/℃ | 6.61%RH/℃ |

(2)露点测量引入的标准不确定度分量**()**

作为标准器的精密露点仪，露点温度测量的最大允许误差为0.2℃，按均匀分布考虑，包含因子，则露点温度 测量引入的标准不确定度分量为：

(3)环境温度测量引入的标准不确定度分量

与精密露点仪配套的温度计，其温度测量的最大允许误差为0.1℃，按均匀分布考虑，包含因子，则环境温度测量引入的标准不确定度分量为

(4) 湿度发生器测试室湿度均匀性

校准所采用的湿度发生器测试室内湿度均匀性不超过0.3%RH，按均匀分布考虑，包含因子，则此项不确定度分量：

（5）标准值引入的不确定度分量计算：

选取环境温度25、相对湿度95%RH的校准点，则

=

3.3 合成标准不确定度

按式（6）计算合成标准不确定度：

3.4扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则探空仪温度校准的扩展不确定度为：

=2

各不确定度分量汇总于表3：

表3 相对湿度误差校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度来源 | | 概率分布 |  |  |
| 温度示值引入的标准不确定度 | | 正态/均匀 | 1 |  |
| 标准值引入的  不确定度分量 | 露点测量 | 均匀 |  |  |
| 环境温度测量 | 均匀 |  |  |
| 湿度不均匀性 | 均匀 |  |  |
| 合成标准不确定度 | |  | | |
| 扩展不确定度 | | =2 | | |

**5 气压误差不确定度评定**

5.1 不确定度计算公式

被校探空仪的气压误差的计算见式（1）

（10）

式中：

----- 探空仪气压传感器示值，hPa；

-------标准器气压示值，hPa；

对式（1）各分量求偏导，各分量灵敏度系数如下：

，

则根据不确定度传播律，气压误差的合成标准不确定度可由下式计算：

（11）

式中：

----- 探空仪气压误差的合成标准不确定度，hPa；

----- 探空仪气压示值的合成标准不确定度，hPa；

----- 气压标准值的合成标准不确定度，hPa；

5.2 不确定度分量评定

5.2.1 探空仪气压示值引入的标准不确定度分量

探空仪示值重复性和分辨力引入的标准不确定度，二者取其大者作为。

采用A类评定方法计算示值重复性引入的不确定度分量，按规范要求，以n次测量平均值作为测得值，得到：

选取各校准点中的最大测量值，hPa

探空仪气压示值分辨力为0.1hPa，取均匀分布，由此引入的标准不确定度为0.029hPa，小于重复性标准偏差。

则取探空仪示值分辨力引入的标准不确定度作为，

即:

5.2.2 标准值引入的不确定度分量

(1)标准器量值溯源引入的不确定度分量

作为标准器的数字压力计，其最大允许误差的绝对值MPEV为0.10hPa，按均匀分布考虑，包含因子，则由标准压力计引入的标准不确定度分量为：

(2)测量用压力控制器引入的不确定度分量****

从测量用压力控制器技术资料中得到，压力控制稳定性为量程跨度的0.003%，其分布为反正弦分布，包含因子为，则其引入的标准不确定度为：

hPa

(3) 标准值引入的不确定度分量

==0.0617 hPa

5.3 合成标准不确定度

按式（11）计算合成标准不确定度：

hPa

5.4扩展不确定度

取包含因子*k*=2，则探空仪气压校准的扩展不确定度为：

14hPa，=2

各不确定度分量汇总于表2：

表3 气压校准标准不确定分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准不确定度来源 | | 概率分布 |  |  |
| 探空仪示值引入的标准不确定度 | | 正态/均匀 | 1 | 0.029 |
| 标准值引入的  不确定度分量 | 标准器量值溯源 | 均匀 | 1 | 0.057 |
| 压力控制器稳定性 | 均匀 | 1 | 0.022 |
| 合成标准不确定度 | | hPa | | |
| 扩展不确定度 | | 14hPa，=2 | | |