**气象用风向标准**

**不确定度评定报告**

**1 概述**

根据本规范的校准方法，分别对三孔方向探针和角度编码器示值误差进行校准。其中对三孔方向探针进行校准时，选取-5°、0°、5°共3个校准点；角度编码器示值误差进行校准时，选取0°、90°、180°、270°共4个校准点；并依据JJF1059.1-2012测量不确定度评定与表示，对其示值误差的不确定度进行评定。所用标准器及被校风向标准装置技术指标如表1所示。

表1 标准器及配套设备

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分 类 | 名 称 | 主要技术指标 | 备注 |
| 标准器 | 光纤陀螺测角仪  （简称测角仪） | 最大允许误差不大于0.005° | 标准器 |
| 气流来向角度修正系统 | 三孔方向探针 | 最大允许误差不大于0.2° | 被校风向标准装置 |
| 风向角度测量系统 | 角度编码器 | 最大允许误差不大于0.1° |

**1.1 校准数据**

**实验环境：**温度为20℃，气压为1010hPa，湿度为55%RH，三孔方向探针示值误差校准有关数据参见表2，角度编码器示值误差校准有关数据参见表3。

表2 三孔方向探针示值误差校准数据（°）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 三孔方向探针示值 | | | | 测角仪示值 | | | | 示值误差 |
| 1 | 2 | 3 | 平均值 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| -5 | -4.94 | -4.96 | -4.98 | -4.96 | -4.990 | -5.010 | -5.000 | -5.000 | 0.04 |
| 0 | -0.01 | -0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.000 | 0.010 | 0.020 | 0.010 | -0.01 |
| 5 | 5.02 | 5.01 | 4.97 | 5.00 | 5.000 | 5.010 | 4.990 | 5.000 | 0.00 |

表3 角度编码器示值误差校准数据（°）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 角度编码器示值 | | | | 测角仪示值 | | | | 示值误差 |
| 1 | 2 | 3 | 平均值 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 0 | 0.180 | 0.216 | 0.180 | 0.192 | 0.120 | 0.130 | 0.140 | 0.130 | 0.062 |
| 90 | 90.036 | 90.054 | 90.054 | 90.048 | 90.010 | 89.990 | 90.000 | 90.000 | 0.048 |
| 180 | 180.018 | 180.036 | 180.018 | 180.024 | 180.010 | 180.020 | 180.030 | 180.020 | 0.004 |
| 270 | 270.036 | 270.036 | 270.018 | 270.030 | 269.990 | 269.990 | 270.020 | 270.000 | 0.030 |

**2 测量模型及不确定度来源**

**2.1 测量模型**

**2.1.1 三孔方向探针示值误差**

测量模型如公式（B.1）所示。

 （B.1）

式中：

——三孔方向探针示值误差，°；

——三孔方向探针读数的算术平均值，°；

——测角仪读数的算术平均值，°；

r——测角仪的误差值°。

**2.1.2 角度编码器示值误差**

测量模型如公式（B.2）所示。

 （B.2）

式中：

——角度编码器示值误差，°；

——角度编码器读数的算术平均值，°；

‾——测角仪读数的算数平均值，°；

——测角仪的误差值°。

**2.2 各不确定度来源**

不确定度来源如表4所示。

表4不确定度来源

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 输入量 | 不确定度 | 不确定度来源 |
| 三孔方向探针示值误差 |  |  | 被检三孔方向探针读数的算术平均值的重复性 |
|  |  | 测角仪读数的算术平均值的重复性 |
|  |  | 测角仪测量误差 |
| 角度编码器示值误差 |  |  | 被检角度编码器读数的算术平均值的重复性 |
|  |  | 测角仪读数的算术平均值的重复性 |
|  |  | 测角仪测量误差 |

**3 标准不确定度评定**

**3.1 三孔方向探针示值误差的标准不确定度**

**3.1.1三孔方向探针引入的标准不确定度**

由测量重复性引入，根据每个校准点进行的3次重复风速测量值（参见表2），用极差法求出实验标准差（n=3时，C=1.69），测量值为3次测量结果的平均值，因此引入的标准不确定度如表5所示。

表5三孔方向探针引入的标准不确定度（°）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | -5 | 0 | 5 |
| 极差 | 0.04 | 0.05 | 0.05 |
| 实验标准差 | 0.024 | 0.030 | 0.030 |
| 标准不确定度 | 0.014 | 0.017 | 0.017 |

**3.1.2测角仪引入的标准不确定度**

由测量重复性引入，根据每个校准点进行的3次重复测量值（参见2），与三孔方向探针测量重复性引入的不确定度计算方法类似，用极差法求出标准不确定度如表6所示。

表6 测角仪测量重复性引入的标准不确定度（°）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | -5 | 0 | 5 |
| 极差 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 实验标准差 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 标准不确定度 | 0.0068 | 0.0068 | 0.0068 |

**3.1.3测角仪误差引入的标准不确定度**

测角仪的MPE为±0.005°，属均匀分布，其引入的标准不确定度：



**3.2 角度编码器示值误差的标准不确定度**

**3.2.1角度编码器引入的标准不确定度**

由测量重复性引入，根据每个校准点进行的3次重复测量值（参见表3），同理，用极差法求出标准不确定度如表7所示。

表7角度编码器测量重复性引入的标准不确定度（°）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 0 | 90 | 180 | 270 |
| 极差 | 0.036 | 0.018 | 0.018 | 0.018 |
| 实验标准差 | 0.021 | 0.011 | 0.011 | 0.021 |
| 标准不确定度 | 0.012 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |

**3.2.2测角仪引入的标准不确定度**

由测量重复性引入，根据每个校准点进行的3次重复测量值（参见表3），与三孔方向探针测量重复性引入的不确定度计算方法类似，用极差法求出标准不确定度如表8所示。

表8 测角仪测量重复性引入的标准不确定度（°）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 0 | 90 | 180 | 270 |
| 极差 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| 实验标准差 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.018 |
| 标准不确定度 | 0.0068 | 0.0068 | 0.0068 | 0.0102 |

**3.2.3测角仪误差引入的标准不确定度**

测角仪的MPE为±0.005°，属均匀分布，其引入的标准不确定度：



**4 合成标准不确定度**

**4.1 三孔方向探针示值误差的合成标准不确定度**

各标准不确定度如表9所示。

表9 各标准标准不确定度信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 符号 | 标准不确定度来源 | 灵敏度系数符号 |
| 1 |  | 三孔方向探针引入的标准不确定度 |  |
| 2 |  | 测角仪引入的标准不确定度 |  |
| 3 |  | 测角仪误差引入的标准不确定度 |  |

将测量模型（B.1）中输出量对各输入量求偏导得对应的灵敏度系数为、、。由于各不确定度分量之间彼此不相关，因此合成标准不确定度的计算公式如B.3所示。

 （B.3）

计算结果如表10所示。

表10 合成标准不确定度 （°）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | -5 | 0 | 5 |
|  | 0.0155 | 0.186 | 0.186 |

**4.2 角度编码器示值误差的合成标准不确定度**

各标准不确定度如表11所示。

表11 各标准标准不确定度信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 符号 | 标准不确定度来源 | 灵敏度系数符号 |
| 1 |  | 角度编码器引入的标准不确定度 |  |
| 2 |  | 测角仪引入的标准不确定度 |  |
| 3 |  | 测角仪误差引入的标准不确定度 |  |

将测量模型（B.2）中输出量对各输入量求偏导得对应的灵敏度系数为、、。由于各不确定度分量之间彼此不相关，因此合成标准不确定度的计算公式如B.4所示。

 （B.4）

计算结果如表12所示。

表12 合成标准不确定度 （°）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 0 | 90 | 180 | 270 |
|  | 0.0144 | 0.0096 | 0.0096 | 0.0123 |

**5 扩展不确定度U**

取k=2，则扩展不确定度，三孔方向探针示值误差校准结果（含示值误差及扩展不确定度）如表13。

表13 三孔方向探针示值误差校准结果 （°）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | -5 | 0 | 5 |
| 示值误差 | -0.04 | 0.01 | 0.00 |
| *U*（*k*=2） | 0.04 | 0.04 | 0.04 |

角度编码器示值误差校准结果（含示值误差及扩展不确定度）如表14所示。

表14 角度编码器示值误差校准结果 （°）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准点 | 0 | 90 | 180 | 270 |
| 示值误差 | 0.062 | 0.048 | 0.004 | 0.030 |
| *U*（*k*=2） | 0.029 | 0.019 | 0.019 | 0.025 |