**电接风向风速仪**

**不确定度评定报告**

规程起草组

2023年3月24日

# 电接风向风速仪测量不确定度评定示例

1 评定依据

JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

2 标准设备和被测对象

2.1 标准设备

标准器及配套设备为风速检定装置，主要技术指标见表1。

表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 | 皮托静压管 | *k*取值范围（0.997～1.003），*Urel*不大于0.5% | |
| 微差压计 | 最大允许误差不大于0.5Pa | |
| 标准度盘 | 最大允许误差：±0.1° | |
| 配套设备 | 温度仪 | 最大允许误差不大于0.5℃ | |
| 湿度仪 | 最大允许误差不大于8.0%RH | |
| 气压计 | 最大允许误差不大于2hPa | |
| 风洞 | 稳定性≤0.5%  均匀性≤1.0% | |

2.2 被测对象

器具名称：电接风向风速仪

风速测量范围：（2~40）m/s

最大允许误差：±（0.5m/s+0.05v），v为标准风速值，单位为m/s

3 主要测量方法

由风洞产生稳定均匀的空气流场，标准器和电接风向风速仪置于其流场中。用标准皮托静压管感应风洞中流动空气的差压（总压和静压之差），并由微差压计测出压力值，通过该压力值及流场的空气密度，用伯努利方程得出风洞的流场风速，该风速作为流场的标准风速。电接风向风速仪风速示值减去标准风速即为风速示值误差。将校准点选择为： 2 m/s、5 m/s、10 m/s、15 m/s、20 m/s、30m/s、40m/s，并逐点分析不确定度。

4 建立测量模型和分析不确定度来源

4.1测量模型

在校准过程中， 测量结果为示值误差，计算如式（1）。

 （1）

式中：——风速示值误差，m/s；

 ——被测风速值，m/s；

 ——标准风速值，m/s。

将标准风速的计算公式带入（1），同时考虑到风洞均匀性对测量结果的影响，则：

 （2）

式（2）即为被校表风速测量结果不确定度评定的测量模型。

式中：

——微差压计示值，Pa；

——皮托静压管校准系数；

——试验段内温度，K；

——试验段内气压，Pa；

——试验段内空气相对湿度，用%RH表示；

——温度下的饱和水汽压，Pa；

——风洞均匀性对测量结果的影响，m/s。

4.2 不确定度来源分析

有7个主要的不确定度来源：测量重复性引入的不确定度分量；微差压计引入的不确定度分量；皮托静压管系数引入的不确定分量；流场温度测量不准确引入的不确定分量；流场湿度测量不准确引入的不确定分量；流场大气压力测量不准确引入的不确定度分量；风洞流场不均匀性引入的不确定度分量（见表2）。

表2 不确定度评估表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 类型 | 分布 | 包含因子 |
| 1 | 测量重复性 | A类 |  |  |
| 2 | 微差压计 | B类 | 均匀分布 | k= |
| 3 | 皮托静压管系数 | B类 | 均匀分布 | k= |
| 4 | 流场温度 | B类 | 均匀分布 | k= |
| 5 | 流场湿度 | B类 | 均匀分布 | k= |
| 6 | 流场大气压力 | B类 | 均匀分布 | k= |
| 7 | 流场不均匀性 | B类 | 均匀分布 | k= |

5 不确定度分量评定

5.1电接风向风速仪测量重复性引入的不确定度

根据不同的风速点进行的3次重复风速测量值，用极差法求出实验标准差（=3时，=1.69），标准不确定度****，电接风向风速仪测量值为三次测量结果的平均值，因此计算示值误差重复测量引入的标准不确定度见表3：

表3电接风向风速仪测量重复性引入的不确定度****

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 检定点(m/s) | | | | | | |
| 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| 极差 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 标准不确定度 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.068 | 0.068 | 0.068 |

5.2微差压计引入的标准不确定度

微差压计的最大允许误差为±0.5Pa，取均匀分布，则微差压计示值误差引入的标准不确定度：

****=0.5/=0.289 Pa

5.3皮托静压管系数引入的标准不确定度

试验使用的标准皮托静压管的校准系数为：=1.003，相对不确定度为0.1%(*k*=2)。

故由标准皮托静压管校准系数引入的绝对不确定度分量为



5.4 流场温度引入的标准不确定度

温度传感器的最大允许误差为±0.5℃，按均匀分布，则流场温度引入的标准不确定度：



5.5 流场湿度引入的标准不确定度

湿度传感器的最大允许误差为±8%RH，按均匀分布，则流场湿度引入的标准不确定度：

5.6 流场大气压力引入的标准不确定度

气压传感器的最大允许误差为±2hPa，按均匀分布，则流场大气压力引入的标准不确定度：



5.7流场不均匀性引入的不确定度

风洞的不均匀性最大为1.0%，因电接风向风速仪安装在风洞中，会对风场的均匀性产生影响。但由于皮托静压管和风速仪感应部分基本相近均匀区，按均匀分布，则有：



其标准不确定度见表4。

表4 流场不均匀性引入的标准不确定度

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| （m/s） | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| （m/s） | 0.012 | 0.029 | 0.058 | 0.087 | 0.116 | 0.174 | 0.232 |

6 合成标准不确定度

标准不确定度分量汇总见表5。

表5 标准不确定度一览表

|  |  |
| --- | --- |
| 标准不确定度来源 | 灵敏度系数 |
| 电接风向风速仪测量重复性引入的标准不确定度 |  |
| 微差压计引入的标准不确定度 |  |
| 皮托静压管校准系数引入的标准不确定度 |  |
| 温度仪引入的标准不确定度 |  |
| 气压计引入的标准不确定度 |  |
| 湿度仪引入的标准不确定度 |  |
| 风洞均匀性引入的标准不确定度 |  |

其中，灵敏度系数可由公式（2）求偏导得出，具体如下：













本次试验环境：温度为20.5℃，气压为1002.4hPa，相对湿度为60.1%。由于各分量之间相互不相关，合成标准不确定度的计算公式如下：

 其计算结果见表6。

表6 合成标准不确定度

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| （m/s） | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| （m/s） | 0.119 | 0.064 | 0.071 | 0.092 | 0.116 | 0.174 | 0.213 |

7 扩展不确定度

取****=2,则扩展不确定度**,**则扩展不确定度计算结果见表7。

表7 扩展不确定度

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 风速（m/s） | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| （m/s） | 0.238 | 0.128 | 0.142 | 0.184 | 0.232 | 0.348 | 0.426 |