

# 基于检定环境对风速表标准值影响的研究

刘宇 武春爱 张佳佳 蒋涛 于平  
(河北省气象技术装备中心 石家庄 050021)

**摘要:**为明确风速传感器在检定过程中受到检定环境如温度、湿度和气压所带来的影响,依据《JJG431-2014 轻便三杯风向风速表检定规程》对轻便三杯风向风速传感器进行检定,通过标准风速计算公式分析空气温度、湿度和气压检定前后的变化对检定结果的影响,运用加权计算方法计算出检定过程中温度、湿度和气压各自所占权重,经过实验验证对比,结果表明通过分析研究温、湿度和气压对于标准风速值的影响,使风速传感器检定的准确性得到显著提高,减小了测量不确定度。

**关键词:**轻便三杯风向风速表;检定;标准风速

**中图分类号:** TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

## Study on verification environment based on the influence of anemometer standard value

Liu Yu Wu Chun'ai Zhang Jiajia Jiang Tao Yu Ping

(Meteorological Technology and Equipment Center in Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** In order to clarify the influence of temperature, humidity and air pressure on the verification environment for the wind speed sensor, According to "JJG431-2014 Portable 3-cup anemometers" verification the speed sensors, through the formula for computing the standard wind speed analysis of air temperature, humidity and air pressure changes before and after verification on the result of test, the calculated by weighted calculation method verification of temperature, humidity and air pressure in the process of their weight, through experiment, the experimental results show that through the analysis and research on the influence of temperature, humidity and air pressure values on the wind speed standard, the wind speed sensor calibration accuracy is increased significantly, reduce the uncertainty of measurement.

**Keywords:** portable 3-cup anemometers; certification; standard wind speed

### 1 引言

国家计量检定规程<sup>[1]</sup>中明确了轻便三杯风向风速传感器的检定条件、检定方法以及数据处理的方法,只有在检定过程中严格遵守检定规程,才能保证所检定的项目具有法定依据。在检定过程中标准器的读数直接决定了被检点标准值的取舍<sup>[2]</sup>。检定前后检定环境中温、湿度的变化<sup>[3]</sup>直接影响风速标准值的计算,进而影响到检定结果的测量不确定度<sup>[4]</sup>。党选发等<sup>[5]</sup>等也对标准风速测量值的影响量进行过分析,但是其方法没有明确指出各影响要素之间的关系。虽然目前国外有许多风速的检定方法,但是对于检定环境各要素之间的影响关系没有明确说明。因此研究风速标准值的影响因素对检定工作有重要意义。

### 2 工作原理

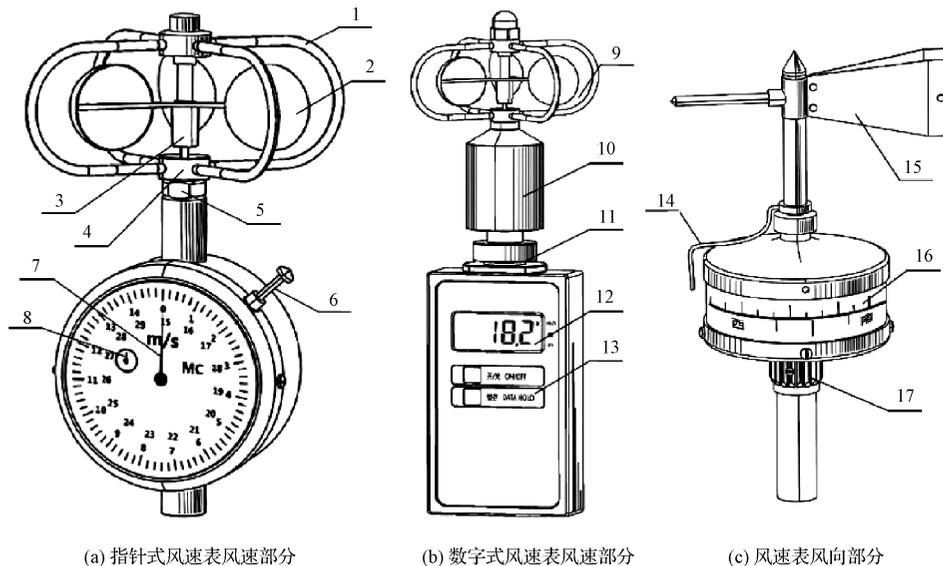
轻便三杯风向风速表(简称风速表)是用于测量风速和指示风向的便携式手持仪表<sup>[6]</sup>,主要由风杯组、风速指示系统、风向系统和手柄等组成。风杯组的3个风杯在风力的作用下转动,其角速度与风速成正比,风杯的转动通过机械传动或光电感应等方式进行转换输出风速值。当风的来向与风向标成某一交角时,风对风向标产生压力,该风压力矩使风向标旋转,直至风向标正对风的来向而停止转动,并指示出风向。

按风速指示系统的不同,风速表可分为用指针指示风速值的指针式风速表和用数字显示风速值的数字式风速表两种。指针式风速表具有定时机构,控制测量风速的采样时间为1 min,指示风速值为1 min的平均风速;数字式

收稿日期:2016-08

风速表测量瞬时风速。常见的指针式风速表风速部分外形结构如图 1(a)所示,数字式风速表风速部分外形结构如

图 1(b)所示,风速表风向部分外形结构图 1(c)所示。



1—护杯环; 2—风杯; 3—风杯转动轴; 4—风杯组; 5—风杯组固定螺丝; 6—启动杆; 7—风速指针; 8—秒针; 9—风杯组; 10—信号转换器; 11—固定螺丝; 12—显示屏; 13—功能键; 14—风向指针; 15—风向标; 16—方向罗盘; 17—罗盘制动部件。

图 1 风向风速表外形结构示意图

### 3 检定条件

检定环境要求温度:  $15 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 相对湿度: 不大于  $85\%$ <sup>[7]</sup>。检定选用的标准器为皮托管和微压计。皮托管选用 L 型标准皮托静压管, 校准系数为  $0.998 \sim 1.004$ ; 微压计选用最大允许误差不大于  $\pm 0.5 \text{ Pa}$ 。

检定所需的配套设备采用昆山市三维热换器有限公司生产的 DZS-II 型低速风洞<sup>[8]</sup>, 风洞截面为圆形的闭口直路, 直径为  $500 \text{ mm}$ , 截面积为  $1963.5 \text{ cm}^2$ , 其主试验段的流速范围<sup>[9]</sup>为  $0.1 \sim 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。气压计用于风洞流场气压测量, 准确度等级为 0.2 级及以上; 温度计用于风洞流场温度测量, 最大允许误差:  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 湿度计用于风洞流场相对湿度测量, 最大允许误差:  $\pm 8\%$ 。

### 4 检定方法

风速传感器风杯形状和尺寸要求相等, 相邻两臂夹角相等, 转动平面与机身的轴线相互垂直, 风杯转动灵活平稳、无明显轴向或径向跳动。风速传感器不得短路断路, 保护管完整无损。封装引线采集器连接, 无松动现象。风速传感器各部位安装牢固, 有其型号、出厂编号等明显标志。经外观检定合格的风速传感器, 才可进行示值误差检定<sup>[10]</sup>, 并分别检定风速的示值误差<sup>[11]</sup>。

#### 4.1 起动风速检定

##### 4.1.1 风向标起动风速检定

静风时将风向标分别转动至与风洞试验段轴线成  $20^\circ$  及  $340^\circ$  的位置, 缓慢增加风洞流场风速并测出标准风速

值, 当标准风速为  $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时停止增加风速, 观察风向标是否转动至气流方向相一致并保持平衡。

##### 4.1.2 风杯起动风速检定

缓慢增加风洞流场风速并测出标准风速值, 当标准风速为  $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  时停止增加风速, 观察风杯是否由静止开始变为连续转动并能指示或显示速度变化。

#### 4.2 示值误差检定

##### 4.2.1 风向示值检定

检定前首先按标准度盘使用说明, 将风向传感器和标准度盘安装在一起并固定于平坦的工作台(工作桌)面上。风向传感器和采集器牢固连接并加电预热  $5 \text{ min}$  后开始风向示值检定<sup>[12]</sup>。

风向检定点在  $0^\circ$  至  $360^\circ$  内均匀选取 8 个检定点, 用标准度盘的刻度值作为标准值, 使风向标、指北线与标准度盘上的  $0^\circ$  点对齐, 读取风向示值, 一个风向检定点结束, 按顺序检定其余检定点。

##### 4.2.2 风速示值检定

在风速表的测量范围内均匀地选取至少 7 个检定点, 其中应包含测量范围上限点和下限点。各检定点可调在该检定点  $\pm 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内, 但检定点上限可调低  $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。调整风速至检定点, 稳定  $1 \text{ min}$  后起动风速表计数<sup>[13]</sup>。指针式风速表计数期间, 等时距读取微压计示值 3 次, 取其算术平均值作为该检定点的微压计示值, 时间指针停止转动后, 读取被检表风速示值和试验段内温度、相对湿度及气压值; 检定数字式风速表时, 先读取微压计示值, 再读取被检表风速示值, 重复二次, 期间读取试验

段内温度、相对湿度及气压值,取二次微压计示值和被检表风速示值的算术平均值作为该检定点的微压计示值和被检表风速示值<sup>[14]</sup>。

## 5 标准风速计算

根据示值误差检定时测得的空气温度、湿度、气压和微压计示值计算出各检定点的标准风速。标准风速按照以下方法计算:

### 5.1 相当风速 $v_1$

将微压计在各检定点上的读数减去初始零位值,得出实测风压  $p_v$  (单位 Pa),按照公式求出标准状态下的相当风速  $v_1$ :

$$v_1 = 1.278 \sqrt{p_v} \quad (1)$$

该公式是在标准大气压 1 013.25 Pa 和标准温度 15℃ 的干空气状态下得出的。

### 5.2 空气密度修正系数

根据检定过程中的室内温度、气压和湿度的平均值,计算空气密度修正系数  $k_p$ ,计算方法如下:

$$k_p = \sqrt{\frac{1\,013.25(273.15+t)}{288.15(p-0.378u e_w)}} \quad (2)$$

式中: $t$ ——室内空气温度,℃; $p$ ——大气压力,hPa; $u$ ——室内空气相对湿度,%; $e_w$ ——空气温度为  $t$  时的饱和水汽压,hPa。其中  $e_w$  可以由下式计算得出:

$$e_w = 6.112\,13e^{17.563\,8/(241.824\,3+t)} \quad (3)$$

式中: $e=2.718\,28$ ;

### 5.3 总修正系数

求出总修正系数,计算公式如下:

$$k = k_p \sqrt{\gamma_i \xi k_0} \quad (4)$$

式中: $\gamma_i$ ——微压计工作液体的密度修正系数(工作液体为蒸馏水时,=1); $\xi$ ——皮托管系数; $k_0$ ——微压计系数(采用二等补偿式微压计时, $k_0=1$ )。

### 5.4 实测风速

计算实测风速,计算公式为:

$$v = kv_1 \quad (5)$$

式中: $k$ ——总修正系数; $v_1$ ——相当风速。

### 5.5 加权计算

经过数学加权计算公式分析可得知,影响实测风速的变量主要是室内空气温度  $t$ ,大气压力  $p$ ,室内空气相对湿度  $u$  这 3 个因素<sup>[15]</sup>。三者的关系可根据公式(2)得出,因此可以对公式(2)进行求偏导数,得出:

$$\frac{\partial k_p}{\partial p} = -\frac{15.92 \times \sqrt{(273.15+t)}}{(p-0.378u e_w) \sqrt{288.15 \times (p-0.378u e_w)}}$$

$$\frac{\partial k_p}{\partial u} = -\frac{0.354 \times \sqrt{(273.15+t)}}{(p-0.378u e_w) \sqrt{288.15 \times (p-0.378u e_w)}} \cdot e_w$$

$$\frac{\partial k_p}{\partial t} = \frac{0.938}{\sqrt{288.15(p-0.378u e_w)(273.15+t)}}$$

由上式分析表明室内温度、湿度和大气压力对于实测风速影响关系。系数  $k_p$  对温度的偏导数呈线性关系,占有一定权重,且风速越大时温度对其影响的越大,湿度和气压所占权重逐渐减小,即对实测风速影响呈一定函数关系,影响变化逐渐减弱<sup>[15]</sup>。

实验中选用同样一块轻便三杯风向风速传感器进行两次实验,风洞预热半小时后再开始实验,第一次将风洞实验室所有门窗关闭,形成封闭空间,操作人员远离风洞回路试验段,在操作间完成全部操作,实验结果如表 1 所示;第二次将风洞回路和操作间门打开,形成回路气流,实验结果如表 2 所示。两次实验结果表明同样一块被测风速传感器,在不同的外界实验环境下,测量结果均为合格,但是测量数据出现一定偏差,第一次实验中温度增加 2.8℃,湿度减小 2%,气压基本没有变化;而在第二次实验中温度增加 5.6℃,湿度减小 6%,气压减小 0.5 hPa。实验最终结果表明室内温度对风速影响最为直观,湿度<sup>[16-17]</sup>和气压对风速影响偏小,在第一次实验中测量的数据误差更小,测量结果的准确性更高。

表 1 第一次实验测量结果

检定前风场 环境参数	16.6℃ 25% 1 017.6 hPa	检定后风场 环境参数	19.4℃ 23% 1 017.5 hPa
微压表示值 /Pa	0.04	实测风速 $v$ 示值 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0.26
	1.85	指示风速 $v'$ 示值( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0.2
	14.07	示值误差 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	-0.06
	29.61		-0.44
	88.80		-0.31
	164.04		-0.58
			-0.39
			0.47

表 2 第二次实验测量结果

检定前风场 环境参数	17.8℃ 24% 1 017.6 hPa	检定后风场 环境参数	23.4℃ 19% 1 017.1 hPa
微压表示值 /Pa	0.06	实测风速 $v$ 示值 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0.23
	1.90	指示风速 $v'$ 示值( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0.1
	15.02	示值误差 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	-0.13
	28.77		-0.65
	83.26		0.33
	160.93		0.63
			-0.44
			0.78

党选发等提出“实验室空气温度的变化对标准风速值的影响最大,故检定 1 台风速表前后的实验室温度变化不

应超过 3℃”。而在本实验中,第二次试验温度变化为 5.6℃,显然超过了 3℃,但是依据规程要求所检定结果仍为合格。

## 6 结论

本文通过分析检定环境中温度、湿度和气压在检定过程中的变化,研究轻便三杯风向风速传感器在测量范围内标准值的计算,经过权重计算方法可得知温度影响因子所占比重大于湿度和气压所占比重。

实验中的检定数据印证了此结论,因此在风速检定时,要考虑到检定前后温湿度的变化,并将其变化部分综合到标准风速值的计算中,同时在实验时注意室内空气温度变化,可以使检定结果更加可信,进而提高检定结果的准确度。

## 参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. JJG431-2014 轻便三杯风向风速表检定规程[S]. 北京:中国质检出版社,2014.
- [2] 黄晓青. 风向风速传感器的校准方法[J]. 计量与测试技术,2009,36(1):26-28.
- [3] 王洋,王晓蕾,李萍,等. 温度和风速对湿度传感器动态特性的影响[J]. 气象科技,2012,40(6):910-913.
- [4] 杨波,颜平江,李文博. 风速传感器测量值的不确定度评定[J]. 计量与测试技术,2015,42(1):46-49.
- [5] 党选发,刘永强,张红英,等. 风速检定中对标准风速测量值的影响量分析[J]. 气象,2013,39(2):249-252.
- [6] 任志伟,朱兰. 轻便三杯风向风速表校准和测量能力(CMC)评定[J]. 计量与测试技术,2015,42(6):85-88.
- [7] 周海鸿,周嘉奉. 基于 ZigBee 技术的温湿度监测系统[J]. 国外电子测量技术,2015,34(7):75-76
- [8] 盛春芽,盛幼生,倪永胜. DZS-II 型低速风洞微风段测量[J]. 浙江气象,2003,25(1):42-44.
- [9] 周西华,孟乐,李诚玉,等. 圆形管道风速测定与校正方法实验[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2012,31(6):801-804.
- [10] 王国峰,赵永生,范云生. 风速风向测量误差补偿算法的研究[J]. 仪器仪表学报,2013,34(4):786-790.
- [11] DOBIGEON N, TOURNERET J Y. Joint segmentation of wind speed and direction using a hierarchical model[J]. Computational Statistics and Data Analysis,2007,51(12):5603-5621.
- [12] 何波,李莱冰,刘建业,等. 基于扩展卡尔曼滤波的风速估计算法研究[J]. 电子测量技术,2014,37(6):34-37.
- [13] 行鸿彦,于祥,邹水平. 风杯式风速传感器启动风速校准实验箱的分析与设计[J]. 仪器仪表学报,2015,36(9):1996-2004.
- [14] 何云武. 风向风速传感器的原理及其检测[J]. 四川气象,2004,24(1):40-42.
- [15] LYU W H. Editorial: Special issue on meteorological instruments [J]. Instrumentation, 2015, 3(2):1-2.
- [16] 崔学林,梁宝龙,黄斌,等. 湿度传感器测量不确定度评定[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(10):1544-1549.
- [17] 胡四海,李志华. 基于 STM32 和 LabVIEW 的无线温湿度检测系统[J]. 中国测试,2015(5):99-102.

## 作者简介

刘宇,2011年硕士毕业于中国计量学院测试计量技术及仪器专业,主要研究方向为测试计量技术。现工作于河北省气象技术装备中心,自参加工作以来一直从事计量检定和装备保障工作。  
E-mail:liuyubaodingshi@163.com