



广西壮族自治区地方计量技术规范

JJF (桂) 64—2018

叶轮式风速表校准规范

Calibration Specification for Vane Anemometer

2018—09—10 发布

2018—11—01 实施

广西壮族自治区质量技术监督局 发布

叶轮式风速表校准规范

Calibration Specification for
Vane Anemometer

JJF (桂) 64-2018

本规范经广西壮族自治区质量技术监督局于 2018 年 09 月 10 日批准，并
自 2018 年 11 月 01 日起实施。

归口单位：广西壮族自治区质量技术监督局

主要起草单位：广西壮族自治区计量检测研究院

本规范由广西壮族自治区质量技术监督局负责解释

本规范主要起草人：

吴 宇（广西壮族自治区计量检测研究院）

周 波（广西壮族自治区计量检测研究院）

李 铭（广西壮族自治区计量检测研究院）

廖植敏（广西壮族自治区计量检测研究院）

罗远芳（广西壮族自治区计量检测研究院）

参加起草人：

梁 琦（广西壮族自治区计量检测研究院）

银菊秋（广西壮族自治区计量检测研究院）

张 淞（广西壮族自治区计量检测研究院）

李学良（广西壮族自治区计量检测研究院）

张罗石（广西壮族自治区计量检测研究院）

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 术语	1
3.2 计量单位	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 叶轮启动风速	2
5.2 最大允许误差	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 校准用介质	2
6.3 测量标准及其他设备	2
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 校准方法	3
7.3 数据处理	4
8 校准结果表达	5
9 复校时间间隔	5
附录 A 标准风速计算方法	7
附录 B 叶轮式风速表校准原始记录参考格式	8
附录 C 叶轮式风速表校准证书内页参考格式	9
附录 D 示值误差不确定度评定示例	10

引言

本规范以 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性规范进行编写。

在本规范的编制中，参考了 JJG431-2014《轻便三杯风向风速表》和 JJF 1431-2013《风电场用磁电式风速传感器校准规范》。

本规范为首次制定。

广西市场监管局

叶轮式风速表校准规范

1 范围

本规范适用于测量上限不超过45m/s的叶轮式风速表（以下简称风速表）的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJG 431-2014 轻便三杯风向风速表

JJF 1431-2013 风电场用磁电式风速传感器校准规范

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 叶轮启动风速 starting wind velocity of vane

叶轮由静止开始变为能够连续转动，风速表能指示或显示速度变化的最低风速。

3.1.2 阻塞比 blockage ratio

风洞试验段内风速表（包括安装支架）迎风面积与试验段流场均匀区横截面之比。

3.1.3 流场均匀区 uniform space of velocity

风洞试验段内符合流速均匀性等技术指标的区域。

3.2 计量单位

风速表使用的法定计量单位为米每秒，符号为m/s。

4 概述

叶轮式风速表是以围绕水平轴旋转的叶轮为风速感应器的风速表,主要由叶轮、水平轴、光电组件或磁电组件和风速显示系统等组成。

风速表叶轮在风力的作用下转动,其角速度与风速成正比,叶轮的转动通过光电组件或磁电组件等进行转换输出风速值。

5 计量特性

5.1 叶轮启动风速

叶轮启动风速应不大于0.8m/s。

5.2 最大允许误差

最大允许误差为 $\pm (0.5\text{m/s}+0.05\times v)$ (v 为标准风速)。

注: 以上指标不用于合格性判别,仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度: (15~30) °C;

环境湿度: 小于等于90%RH。

6.2 校准用介质

校准用介质一般为常压洁净的空气。

6.3 测量标准及其他设备

6.3.1 测量标准

测量标准可选用标准皮托静压管(以下简称皮托管)和微差压计。皮托管应选用L型标准皮托静压管,校准系数为0.998~1.004;微差压计的测量上限不低于2200Pa,最大允许误差为 $\pm 0.5\text{Pa}$ 。

6.3.2 配套设备

a) 风洞

风洞试验段的调速范围为(0.4~45) m/s,均匀性为不大于1%,稳定性为不大于0.5%。

b) 温度计

温度计测量范围为 (0~50) °C, 最大允许误差: ± 0.5 °C。

c) 湿度计

湿度计测量范围 (10~95) %RH, 最大允许误差: ± 7 %。

d) 气压计

气压计测量范围 (500~1050) hPa, 最大允许误差: ± 1.0 hPa。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

风速表校准项目及对应的校准方法条款见表1。

表1 校准项目一览表

校准项目	校准方法对应条款
外观检查	检查内容见7.2.1
机械性能检查	检查方法见7.2.2
叶轮启动风速	校准方法见7.2.4
示值误差	校准方法见7.2.5
注: 可根据实际应用需要, 选择要校准的计量特性项目。	

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

对风速表的外观进行检查, 记录产品名称、型号、出厂编号、量程、制造厂名等。目测风速表的叶轮几何形状应相同, 无明显变形。风速表显示的数字应清晰完整。叶轮静止时, 其显示值应为“0.0”或“0.00”。

7.2.2 机械性能检查

将叶轮转轴分别处于垂直和水平状态, 吹动叶轮转动, 观察叶轮转动是否有轴向跳动或径向摆动。当风速降至零后, 观察叶轮是否能缓慢减速并自然地停止在任意位置。

7.2.3 校准前的准备工作

7.2.3.1 标准器的安装

将皮托管牢固安装在风洞试验段流场均匀区内，其测头轴线与风洞试验段轴线平行，并对准风的来向。将皮托管的总压接头、静压接头分别与微差压计测试端、参考端通过管路相连。

7.2.3.2 风速表的安装

将被校风速表牢固安装在风洞试验段流场均匀区内。被校风速表距离标准风速测量点后端（相对气流来向）不小于150mm。

7.2.3.3 计算阻塞比

将被校风速表（包括安装支架）在迎风方向上的投影面积除以风洞试验段流场均匀区面积，其比值不大于0.05时，方可进行校准。

7.2.4 叶轮启动风速

缓慢增加风洞流场风速直到叶轮由静止开始变为连续转动。此时，测出的标准风速值（计算方法见附录A）就是风速表的叶轮启动风速。

7.2.5 风速表的校准

a) 校准点的选择。在风速表的测量范围内均匀地选取至少7个校准点，其中应包含测量范围上限点和下限点。各校准点可调在该校准点 $\pm 1\text{m/s}$ 范围内，但校准点上限可调低（1~2） m/s 。也可根据用户要求选择校准点。

b) 调整风速至校准点，稳定1min后，先读取微差压计示值，再读取被校表风速示值，重复三次。期间读取试验段内温度、相对湿度及气压值。取三次微差压计示值和被校表风速示值的算术平均值作为该校准点的微差压计示值和被校表风速示值。

7.3 数据处理

7.3.1 标准风速计算

根据风速表校准时测得的空气温度、相对湿度、气压和微差压计示值计算出各校准点的标准风速（计算方法见附录A）。

7.3.2 示值误差计算

各校准点示值误差计算见式（1）。

$$\Delta v = v' - v \quad (1)$$

式中：

Δv ——示值误差， m/s ；

v' ——被校表风速示值, m/s;

v ——标准风速, m/s;

8 校准结果表达

按本规范进行校准, 出具校准证书, 并给出校准结果的测量不确定度, 校准原始记录参考格式见附录 B, 校准证书内页参考格式见附录 C。校准证书应至少包括以下信息:

- a) 标题“校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点 (如果与实验室的地址不同);
- d) 证书的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期。如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称以及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的量值溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明;

9 复校时间间隔

建议风速表的复校时间间隔最长不超过1年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

广西市场监管局

附录 A

标准风速计算方法

A.1 用风洞试验段内的空气温度按式(A.1)计算出饱和水汽压:

$$e_w = k \times e^{(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T})} \quad (A.1)$$

式中:

e_w —— T 温度下的饱和水汽压, Pa;

T ——试验段内空气温度, K;

$k=1$ Pa;

A 、 B 、 C 、 D 均为常数, 其值如下:

$$A=1.2378847 \times 10^{-5} \text{K}^{-2};$$

$$B=-1.9121316 \times 10^{-2} \text{K}^{-1};$$

$$C=33.93711047;$$

$$D=-6.3431645 \times 10^3 \text{K}.$$

A.2 用风洞试验段内空气温度、相对湿度和气压值按式(A.2)计算出空气密度。

$$\rho = 3.48353 \times 10^{-3} \times \frac{1}{T} (P_0 - 0.378 H e_w) \quad (A.2)$$

式中:

T ——试验段内空气温度, K;

P_0 ——试验段内气压, Pa;

H ——试验段内空气相对湿度, 用小数表示;

e_w —— T 温度下的饱和水汽压, Pa;

A.3 再将空气密度值和微差压计示值代入式(A.3)计算出标准风速值。

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} p \xi} \quad (A.3)$$

式中:

v ——标准风速, m/s;

ρ ——空气密度, kg/m^3 ;

p ——微差压计示值, Pa;

ξ ——皮托管校准系数;

附录 B

叶轮式风速表校准原始记录参考格式

共 页 第 页

记录编号: 证书编号:

委托单位					委托单位地址								
仪器名称				型号规格			出厂编号						
制造厂													
校准依据													
测量标准													
环境参数	气压: , 温度: , 相对湿度:												
校准地点													
校准点	微差压计读数 Pa				试验段内			标准风速 m/s	被校表示值 m/s			示值误差 m/s	相对扩展不确定度 U_r ($k=2$)
	1	2	3	平均	温度 °C	湿度 %RH	气压 hPa		ρ kg/m ³	1	2		
叶轮启动风速													
外观检查													
机械性能检查													
备注													

校准日期: 年 月 日

建议复校准日期: 年 月 日

校准员:

核验员:

附录 C

叶轮式风速表校准证书内页参考格式

校准结果如下：

序号	标准风速 (m/s)	被校表示值 (m/s)	示值误差 (m/s)	相对扩展不确定度 U_r ($k=2$)
叶轮启动风速				
外观检查				
机械性能检查				

附录 D

示值误差不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 校准方法

按本规范给出的校准方法,正确安装标准器及被校风速表,并完成校准前的准备工作。调整风速至校准点,稳定1min后,读取微差压计、气压计、温度计及湿度计的数值,经过公式计算得出该风压对应的标准风速值。被校风速表的示值与标准风速值之差即为被校风速表的示值误差。

D.1.2 测量标准

本示例中所用标准器及配套设备名称及技术指标见表 D.1。

表 D.1 标准器及配套设备

分类	名称	测量范围	技术指标
标准器	皮托管	(0.4~50) m/s	$\xi = 1.000$
	微差压计	(0~2200) Pa	最大允许误差: $\pm 0.1\%$
配套设备	风洞	(0.4~50) m/s	稳定性 $\leq 0.5\%$ 均匀性 $\leq 1\%$
	温度计	(0~50) °C	最大允许误差: $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$
	湿度计	(10~95) %RH	最大允许误差: $\pm 7\%RH$
	气压计	(500~1050) hPa	最大允许误差: $\pm 0.5\text{hPa}$

D.1.3 被校准对象

风速表,其风速测量范围为(0.4~45) m/s;

D.2 测量模型

示值误差的测量模型为:

$$\Delta v = v - v_s = v - 1.278 k_p \sqrt{\xi p} \quad (\text{D.1})$$

式中:

Δv ——示值误差, m/s;

v ——被测风速表示值, m/s;

v_s ——标准风速示值, m/s;

k_ρ ——测量温度下空气密度系数;

p ——微差压计显示的风压值, Pa;

ξ ——标准皮托静压管系数。

式中:

$$k_\rho = \sqrt{\frac{1013.25(273.15+t)}{288.15(P_0 - 0.378u \cdot e_w)}} \quad (D.2)$$

t ——环境温度, °C;

P_0 ——环境大气压力, hPa;

u ——环境空气的相对湿度, %RH;

e_w ——空气温度为 t °C 时的饱和水气压, hPa;

在实际测量过程中, 当湿度测量误差小于 5%RH 时, 水汽修正项 $0.378u \cdot e_w$ 较小, 可以忽略不计。同时, 空气密度修正系数及皮托管系数的误差影响可认为已经包括在测量传感器以及皮托管的测量误差内, 因此实际示值误差模型可以简化为

$$\Delta v = v - v_s = v - 1.278 \sqrt{\frac{1013.25 p (273.15 + t)}{288.15 P_0}} \quad (D.3)$$

D.3 测量不确定度分量的评定

D.3.1 风洞不均匀性引入的不确定度

根据证书可知, 风洞的不均匀性为 0.6%, 则不确定度区间半宽为 0.3%, 按均匀分布处理, $u_1 = 0.3\% / \sqrt{3} = 0.17\%$ 。

D.3.2 风洞波动性引入的不确定度

根据证书可知, 风洞的波动性为 $\pm 0.1\%$, 则不确定度区间半宽为 0.1%, 按均匀分布处理, $u_2 = 0.1\% / \sqrt{3} = 0.06\%$ 。

D.3.3 标准皮托管系数引入的不确定度

根据皮托管检定规程要求, 皮托管校准系数最大允许误差为 ± 0.01 , 则其半宽为 0.01, 按均匀分布处理, $u_3 = \frac{0.01 / \sqrt{3}}{1.000} \times 100\% = 0.6\%$ 。

D.3.4 气压计测量误差引入的不确定度

根据证书可知，气压计的测量误差为 $\pm 0.5\text{hPa}$ ，按均匀分布处理， $u(p_0) = 0.006\text{m/s}$ ，用相对不确定度表示， $u_4 = 0.03\%$ 。

D.3.5 温度测量误差引入的不确定度

根据证书可知，温度传感器的测量误差为 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ ，按均匀分布处理， $u(t) = 0.012\text{m/s}$ ，用相对不确定度表示， $u_5 = 0.06\%$ 。

D.3.6 微差压计测量误差引入的不确定度

根据证书可知，微差压计的允许误差为 $\pm 0.1\%$ ，按均匀分布处理， $u(p) = 0.012\text{m/s}$ ，用相对不确定度表示， $u_6 = 0.06\%$ 。

D.3.7 被校风速表测量重复性引入的不确定度

选取一台测量范围为 $(0.30\sim 45.00)\text{ m/s}$ 的风速表，牢固安装在风洞试验段流场均匀区，在 20m/s 风速点重复测量10次，所得数据如表D.2所示。

表 D.2 被校表示值

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
风速表 示值 (m/s)	19.50	19.38	19.48	19.36	19.56	19.61	19.62	19.58	19.38	19.46	19.49

根据贝塞尔公式计算可得标准偏差： $s = 0.098\text{m/s}$ 。在日常校准时，一般在同一校准点重复测量3次，取其平均值作为最终示值，因此被校风速表显示平均值引入的不确定度分量为 $u(v) = s / \sqrt{3} = 0.098 / \sqrt{3} = 0.057\text{m/s}$ 。用相对不确定度表示， $u_7 = 0.29\%$ 。

D.4 标准不确定度分量汇总

风速表 20m/s 风速校准点的标准不确定度分量汇总见表D.3。

表 D.3 标准不确定度分量汇总

不确定度来源	类别	标准不确定度
风洞的不均匀性	B	0.17%
风洞的波动性	B	0.06%
标准皮托管系数	B	0.60%

气压计测量误差	B	0.03%
温度测量误差	B	0.06%
微差压计测量误差	B	0.06%
被校表测量重复性	A	0.29%

D.5 合成标准不确定度

$$\begin{aligned}
 u_r(\Delta v) &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} \\
 &= \sqrt{(0.17)^2 + (0.06)^2 + (0.60)^2 + (0.03)^2 + (0.06)^2 + (0.06)^2 + (0.29)^2} \\
 &= 0.70\%
 \end{aligned}$$

D.6 相对扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则： $U_r=1.4\%$ ， $k=2$

广西市场监管局

JJF(桂)64-2018

广西壮族自治区
地方计量技术规范
叶轮式风速表校准规范

JJF(桂)64-2018

广西壮族自治区质量技术监督局颁布