

杯式风速传感器检定量值线性延伸方法探讨

陈涛^{1,2} 杨涛^{1,2}

(1. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室 成都 610072;

2. 四川省气象探测数据中心 成都 610072)

摘要: 现阶段由于多数地区的风洞硬件和软件条件有限,无法对自动气象站风速传感器进行 30、40 以及 70 m/s 等高风速段的检定,从而导致这些地区高风速段数据的准确性和可靠性得不到保证。为了解决这一问题,提出低风速段的检定数据线性延伸至高风速段的方法,并从三杯式风速传感器的物理原理出发,通过理论分析和实验验证两方面证明该方法的可行性,从而解决了这一实际问题,为新的自动气象站风速检定规范制定提供有力的理论依据。

关键词: 三杯式风速传感器; 风速检定; 高风速段; 低风速段; 自动气象站

中图分类号: TN606 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

Discuss of the method of linearly extending the calibrated value of cup anemometer

Chen Tao^{1,2} Yang Tao^{1,2}

(1. Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China;

2. Sichuan Meteorological Observation and Data Centre, Chengdu 610072, China)

Abstract: At this stage because most areas of the wind tunnel hardware and software conditions are limited, accuracy of 30, 40 and 70 m/s wind speeds for AWS wind speed sensors can not be verified, so that the accuracy and reliability of high wind speed data can not be guaranteed in these areas. In order to solve this problem, In this paper, the method of linearly extending the test data of low wind speed section to high wind speed section is proposed. Based on the physical principle of the three-cup wind speed sensor, the feasibility of the method is proved by theoretical analysis and experimental verification, So as to solve this practical problems. The method provides a strong theoretical basis for making new test specification of the wind speed of Automatic meteorological station.

Keywords: three cup wind speed sensor; wind speed test; high wind speed section; low wind speed section; AWS

0 引言

风速是重要的气象参数^[1],风速的数据对工业、农业等领域了解气候的变化都具有十分重要的意义。目前全国布设了大量的自动气象站^[2],大多数使用的都是三杯式风速传感器^[3]。为了保证这些风速数据的准确性和可信性,需要对三杯式风速传感器进行定期的计量^[4]。由于受风速传感器使用领域和地方的不同,对最高风速点的检定要求也有所不同,某些地方的风速最高检定点甚至需要达到 70 m/s^[5]。这样就需要对计量设备的硬件、软件设施进行改造升级。目前,在沿海一些地区的气象仪器检定机构已完成了相应的风洞改造工作,但全国范围内大多数地区最高风速检定点只能达到 30、20 m/s,甚至某些风洞只能达到 10 m/s 的检定条件,这些地区根本无法完成高风速段的

检定工作^[6]。针对这一现状,文中提出了三杯式风速传感器低风速段检定量值线性延伸至高风速段的方法^[7],并对该方法的可行性进行理论分析和实验验证。

1 可行性理论分析

1.1 风杯组件结构

风杯一般由 3 个或 4 个半球形或抛物锥形的空心杯壳所组成,杯壳固定在互成 120° 的三叉支架上星形或十字形横臂上,杯的凹面顺着一个方向排列,整个横臂架则固定在一根垂直的旋转轴上。风杯外形如图 1 所示。

1.2 三杯式风速传感器的感应原理

三杯式风速传感器在稳定的风力作用下,受到扭力矩而开始旋转,它的转速与风速成一定的关系。这里从 Ramachandran^[8]的结果入手,推导风杯的转速和风速的

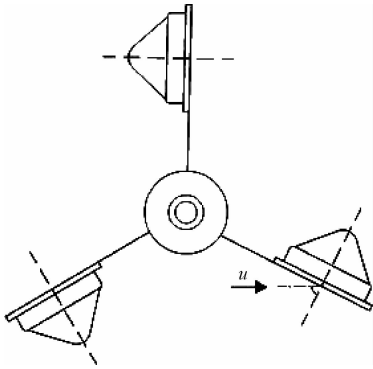


图1 风杯组件的外形

关系。

假设外界风速 u 恒定不变,第 i 个风杯和空气的相对运动速度 u_{ri} 为:

$$u_{ri} = u - 2\pi nR \cos\theta_i$$

式中: n 为风杯的转速, R 为杯架的旋转半径, θ_i 为气流与风杯内法线方向的交角。

因此,单位时间气流对风杯作用的有效质量为 $Ac_n(\theta_i)\rho u_{ri}$,其中 A 为风杯口缘的横截面积, $c_n(\theta_i)$ 为风杯位于 θ_i 迎角时的正向压力系数。

因而作用到风杯上的气流总动量^[9]等于 $Ac_n(\theta_i)\rho u_{ri}u$ 。

风杯组件是3个互成 120° 的杯壳,则整个组件受到的风压如下:

$$p_u = \rho u \cdot (a_i u - 2\pi R b_i n) \quad (1)$$

其中

$$a_i = c_n(\theta_i) + c_n(\theta_i + 120) + c_n(\theta_i + 240)$$

$$b_i = c_n(\theta_i)\cos\theta_i + c_n(\theta_i + 120)\cos(\theta_i + 120) + c_n(\theta_i + 240)\cos(\theta_i + 240)$$

在风杯组件旋转时,它所受到的风压随风杯所处的 θ_i 角不同而变化,但每转过 120° 则恢复到 0° 时的状态。如果取在 120° 范围内风压的平均值,式(1)就可化简为:

$$p_u = \rho(a_m u^2 - 2\pi R b_m n u) \quad (2)$$

在风压的作用下,组件受到的扭力矩如下:

$$M = \rho A R (a_m u^2 - 2\pi R b_m n u) = 2Nu^2 - Dnu \quad (3)$$

当外界风速恒定,风杯组件的转速应为某个固定数值。此时组件所受到的合力矩为0,即扭力矩 M 正好与它的机械系统的动摩擦力 $B_1 n$ 以及静摩擦力矩 B_0 相抵消。

$$B_1 n + B_0 = 2Nu^2 - Dnu \quad (4)$$

$$n = \frac{2Nu^2 - B_0}{B_1 + Du} \quad (5)$$

当摩擦力矩很小,可以略去不计时,式(5)可以简化为:

$$n \approx 2N/D \cdot u$$

风杯的转速与风速成正比关系,因此可作如下的推论:

1) 当风杯处于小风速时,必须考虑两种摩擦力矩的影响。

2) 静摩擦力矩是常数,动摩擦力矩与转速成正比。但是空气动力矩中两项分别正比于 u^2 和 nu ,它们随风速的增加显然要快得多。因此,风速越大,摩擦力矩所占的比重越低。

图2给出1根典型的三杯风速传感器的检定曲线。

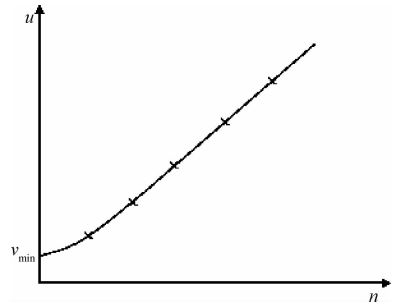


图2 三杯风速传感器的检定曲线

在接近零风速时,曲线明显弯曲,在转速 n 为0时,曲线与纵坐标轴相交于 v_{\min} 处, v_{\min} 称为起动风速。令式(4)中 $n=0$,则:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{B_0}{2N}}$$

从图2可看出,在风速较大时, n 与 u 就能保持较好的线性关系。

2 实验验证

从理论分析得出,风速达到一定值后,转速和风速呈现出很好的线性关系,如果忽略数据采集中的一些系统误差,本文认为被检定三杯风速传感器的指示值应该和风速实际值也是呈线性的。为了验证该推论的有效性,本文首先对多台三杯风速传感器(以中环天仪厂生产的三杯式风速传感器 EL15-1C 为例)在实验室大型风洞中进行低风速段^[10](1、2、3、5、8、10 m/s)检定,并根据风速标准值与被检传感器指示值之间建立线性方程,如表1所示。

利用表1中的线性方程进行反算后^[11],与大型风洞中的检定结果进行比较,观察其一致程度,如表2所示。

从表2比较结果发现,被校风速传感器通过线性方程延伸的方法计算出的高风速段值与传感器直接在大型风洞中检定得到的指示值^[12]保持一致,这样从实验的方式进一步验证了,三杯式风速传感器低风速段检定量值线性延伸到高风速段是可行的。它们之间存在的少量差异,这主要是由两种计量方式读取数据方式的不同^[13]、现场环境条件等不确定因素影响所带来的,它们之间存在系统性偏差所致,但是两种结果总体趋为一致。

表1 被检风速传感器低风速段示值及线性方程

 $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$

传感器编号:13110740273		传感器编号:13110740339		传感器编号:13110740144	
大型风洞	被检传感器	大型风洞	被检传感器	大型风洞	被检传感器
标准值	指示值	标准值	指示值	标准值	指示值
0.71	0.6	0.81	0.7	0.95	1.2
1.78	1.7	1.90	1.8	1.91	2.1
2.78	2.8	2.97	2.9	3.03	3.1
4.85	4.9	4.93	4.9	4.90	4.9
7.93	8.0	7.91	7.9	8.00	8.1
10.00	10.1	10.00	10.0	10.03	10.1
线性方程 $\hat{v} = 1.021 v' - 0.09$		线性方程 $\hat{v} = 1.012 v' - 0.113$		线性方程 $\hat{v} = 0.985 v' + 0.185$	

注： \hat{v} 表示被检风速传感器指示值； v' 表示所对应的大型风洞实测值

表2 三杯风速传感器两种方式检定效果比较

 $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$

传感器编号	线性方程	校准点	大型风洞		线性方程计算所得
			实测值 v'	指示值	
13110740273	$\hat{v} = 1.021 \times v' - 0.09$	2	1.93	1.9	1.9
		5	4.80	4.7	4.8
		10	9.81	9.9	9.9
		20	19.80	20.2	20.1
		30	29.81	30.4	30.3
13110740339	$\hat{v} = 1.012 \times v' - 0.113$	2	1.88	1.8	1.8
		5	4.86	4.9	4.8
		10	9.90	10.0	9.9
		20	19.89	20.2	20.0
		30	29.93	30.3	30.2
13110740144	$\hat{v} = 0.985 \times v' + 0.185$	2	1.86	1.9	2.0
		5	4.88	5.0	5.0
		10	9.83	10.0	9.9
		20	19.88	19.9	19.8
		30	29.90	29.7	29.6
40	39.86	39.6	39.4		

注： \hat{v} 表示被检风速传感器指示值； v' 表示所对应的大型风洞实测值

3 结 论

全国很多地区由于实验室条件所限,还无法对风速传感器进行高风速段的检定,该文主要从三杯式风速传感器的物理原理出发进行分析,发现风杯的转速和风速具有较好的线性关系,根据这一线性关系进一步提出了三杯式风速传感器低风速段的检定数据线性延伸至高风速段的方法,并通过一组实验验证了该方法的有效性和可行性,这就为检定条件有限的地方提供了一个检定高风速段的有效方法。它也将为以后合理有效的制定三杯式风速传感器风速检定规范提供有力的参考依据和实验论证。在今后的研究中,对延伸后的数据与直接实验室检定数据之间

存在的一些差异原因和解决办法需要进行进一步的探讨。

参考文献

- [1] 中国计量测试学会计量名词专业委员会. JJF1001-2011. 通用计量术语及定义[S]. 2011.
- [2] 国家气象计量站. 自动气象站现场校准方法(试行)[S]. 2011.
- [3] 国家气象计量站. JJG(气象)006-2011. 自动气象站风速传感器检定规程[S]. 2011.
- [4] 郭金良,白景双,冯杰. 煤矿用涡街原理风速传感器校准方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(S1): 125-127.
- [5] 刘昕,边泽强,李松奎. 自动气象站风向风速仪现场校准方法研究[J]. 计量与测试技术, 2015, 42(8): 7-9.
- [6] 张建敏. 气象计量测试指南[M]. 北京:中国计量出版社, 2011: 109-123.
- [7] 何波,李荣冰,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.
- [8] 行鸿彦,于祥,邹水平,等. 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.
- [9] 顾龙芳. 计量学基础[M]. 北京:中国计量出版社, 2006: 225-247.
- [10] 党选发,李晓峰,袁志鹏. 自动气象站现场校准和传感器调整方法探讨[J]. 气象科技, 2007, 35(3): 432-434.
- [11] 敖振浪,李国森. 自动气象站风速传感器自动化检定系统设计与实现[J]. 气象科技, 2007, 35(3): 429-431.
- [12] 闫选利,王保强,卢会国,等. 风速传感器检定与校准方法研究[J]. 成都信息工程学院学报, 2012, 27(4): 344-348.
- [13] 刘宇,武春爱,张佳佳,等. 基于检定环境对风速表标准值影响的研究[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(10): 72-75.

作者简介

陈涛, 1979年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为气象仪器测量与计量。

E-mail: 82828968@qq.com