

风速仪在风洞检定中的阻塞修正

李国森 敖振浪

(广东省气象计量检定所, 广州 510080)

提 要: 文章讨论风速表在风洞中检定(测试)时, 其阻塞效应引起的计量误差。根据国家计量量值传递规定, 将二元风洞里正圆柱的固体阻塞修正方法扩展为风速传感器阻塞系数的计算方法, 建立数学计算模式。

关键词: 低速风洞 固体阻塞 风速仪检定

Blocking Correction of Anemometer Test in the Wind Tunnel

Li Guosen Ao Zhenlang

(The Institute of Meteorological Measurement of Guangdong Province, Guangzhou 510080)

Abstract: The measurement error due to the blocking effect is discussed when the anemometer is tested in the wind-tunnel experiment, whose purpose is to explore an arithmetic of blocking correction coefficient with universal significance. Taking the book named as "test in the wind-tunnel of low-speed" as a basis, according to the country's measuring amount value, the solid cylindrical blocking revision method in the wind-tunnel of two dimension is transplanted, derived, and became a method with the wind speed transducer blocking coefficient, so mathematical measurement model is set up, and then, the mathematical measurement model is verified to the wind speed transducer of the automatic weather stations in Guangdong Province, and the ideal result is obtained.

Key Words: wind tunnel blocking revision

引言

随着气象现代化进程的快速发展,全国已超过 2000 个台站使用自动气象站设备,各省中尺度自动气象站也大量投入使用。根据有关规定和自动气象站的管理要求,必须对自动气象站进行周期性的检定。为了解决利用 500 型风洞(其实验段的直径为 500mm)检定自动气象站测风传感器问题,作者对风速表在风洞检定(测试)中的阻塞修正进行了分析研究,探索阻塞修正系数的计算方法,建立了数学计算模式,并通过实

验得以验证。

1 实验过程

我们把两套经国家气象计量站风洞(下称气象标准风洞)检定合格的自动站测风部分——EC9-1 型风速传感器(表号分别为:1[#]、3[#]),用 500 型风洞进行检定,风速表在实验段中安装于皮托管的下游(对气流而言),其最近点到皮托管的距离大于 100mm,其指示风速明显比国家气象计量站检定结果偏大,结果见表 1、表 2。

表 1 1[#] 风速表在标准风洞和 500 型风洞检定数据 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

检定点	气象标准风洞 检定数据	500 型风洞 检定数据	差值
2	1.84	2.38	0.54
5	4.87	5.52	0.65
10	9.93	10.72	0.79
15	14.98	15.94	0.96
20	20.04	21.15	1.11
25	25.10	26.37	1.27
30	30.15	31.58	1.43

表 2 3[#] 风速表在标准风洞和 500 型风洞检定数据 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

检定点	气象标准风洞 检定数据	500 型风洞 检定数据	差值
2	1.80	2.38	0.58
5	4.85	5.54	0.69
10	9.94	10.81	0.87
15	15.03	16.08	1.05
20	20.11	21.35	1.24
25	25.20	26.62	1.42
30	30.28	31.87	1.59

从上述检定数据分析可知:利用 500 型风洞检定自动气象站测风部分,检定时产生的误差是被检风速表在风洞中的阻塞效应引起,因此,应以气象标准风洞的检定数据为标准对其检定数据进行修正。

2 关于阻塞面积

国产自动气象站配套的风速传感器,EC9-1 型风速传感器和 EL15-1A 型风速传感器,总阻塞面积分别为 185.99cm^2 、 510.94cm^2 (阻塞面积均系厂家提供),500 型风洞试验段截面积为 1963.5cm^2 ,风速传感器和风洞试验段面积比分别为 9.47% 和 26.02%、阻塞面积比超 5%,应对检定数据进行阻塞修正^[1,2]

3 阻塞系数修正

3.1 阻塞修正系数的确定方法

阻塞系数修正方法,应选两个(最好选多个)性能稳定的同一型号风速传感器,送拥有大风洞的上级法定计量检定机构(如:国家气象计量站)检定。也可用本单位风洞对这两个(多个)风速传感器进行检定。通过比对,确定阻塞修正系数^[3]。

3.2 阻塞修正系数 E

根据每个风速传感器自检给出的线性回归方程及上一级检定机构检定给出的线性回归方程,分别求出指示风速为 $30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 对应的实际风速值,分别将这些值代入下式求

出每个风速传感器的阻塞修正系数 E 。

$$E = \frac{V_0}{V_b} \quad (1)$$

式(1)中： V_0 为从标准风洞检定给出的指示风速为 $30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 对应的实际风速值； V_b 为从自检给出的指示风速为 $30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 对应的实际风速值。

两个(多个)风速传感器计算出来的 E 值相差不得超过 2%。两个(多个) E 值的平均值即为该种型号风速传感器的阻塞修正系数，取三位小数。

4 阻塞修正系数数学模型

各种自动气象站配套的风速传感器种类、型号比较多，要对每一种类、型号的风速传感器都通过测试来求得其阻塞修正系数，比较烦杂。因此，确定一种适用范围较广的普适计算方法取代测试方法是本文的主要研究方向，以文献[4]关于低速风洞试验提供的二元风洞正圆柱体的固体阻塞修正方法移植，扩展为风速传感器阻塞系数的计算方法^[4]。

4.1 阻塞修正系数计算公式确定

参考二元风洞里正圆柱体的固体阻塞修正方法，其计算公式^[1]如下：

$$\frac{\Delta V_f}{V_b} = \frac{\pi}{3} \cdot \frac{\pi a^2}{\pi R^2} \quad (2)$$

式(2)中： ΔV_f 为风速修正值； V_b 为修正前的风速； πa^2 为阻塞柱体的截面积； πR^2 为风洞工作段的截面积。

由于转动部分(风杯或风叶等)随风洞中的气流转动，使其阻塞效应大幅下降，既然影响不大，而且不容易计算出阻塞效应下降的幅度，为此把转动部分引起的阻塞效应忽略不计，从而在计算过程中省去风速传感器转动部分的面积。

令 $\pi a^2 = S_m$ ， $\pi R^2 = S_w$ ，由式(2)得到：

$$\frac{\Delta V_f}{V_b} = 1.0472 \times \frac{S_m}{S_w} \quad (3)$$

即

$$\Delta V_f = 1.0472 \times \frac{S_m}{S_w} \times V_b \quad (4)$$

式(4)中： S_m 为不动部分阻塞截面积，包括风速传感器安装夹具的阻塞截面积； S_w 为风洞工作段截面积。

按下式求出风速传感器阻塞系数 E ，取到小数第三位：

$$E = \frac{V_b + \Delta V_f}{V_b} \quad (5)$$

将式(4)代入式(5)，得到：

$$E = 1 + 1.0472 \times \frac{S_m}{S_w} \quad (6)$$

依据国家计量量值传递体系，省、市级气象计量检定部门的上一级量值传递机构是国家气象计量站，即省、市级气象计量检定部门要以上一级计量检定机构的检定结果为标准，计算被检风速传感器在 500 型风洞检定时的阻塞修正系数。

风速传感器在上一级计量检定机构的风洞(下称标准风洞)检定时同样存在阻塞效应，据此，设标准风洞的工作段截面积为 S_{w0} ，按式(4)求出标准风洞的阻塞修正值：

$$\Delta V_{f1} = 1.0472 \times \frac{S_m}{S_{w0}} \times V_b \quad (7)$$

再按式(4)求出风速传感器在本单位风洞(下称二级风洞)检定时的阻塞修正值：

$$\Delta V_{f2} = 1.0472 \times \frac{S_m}{S_{w1}} \times V_b \quad (8)$$

式中： S_{w1} 为检定单位风洞的工作段截面积。

用式(8)减式(7)代入式(5)，得到以上一级法定计量检定机构的检定结果为准的阻塞修正系数的计算公式，

$$E' = 1 + 1.0472 \times \left(\frac{S_{m1}}{S_{w1}} - \frac{S_{m0}}{S_{w0}} \right) \quad (9)$$

式中： S_{m0} 为被检风速仪在标准风洞的不动部分阻塞截面积，包括风速传感器安装夹具

的阻塞截面积； S_{m1} 为被检风速仪在二级风洞的不动部分阻塞截面积。式（9）就是阻塞修正系数的计算公式。

4.2 风速传感器安装夹具之阻塞截面积的计算

在二级风洞中，夹具之阻塞截面积为 H_1 （高） $\times L$ （宽）；则在标准风洞中，夹具之阻塞截面积为 H_0 （高） $\times L$ （宽）。

H_0 （高）为标准风洞试验段高度减去二级风洞试验段高度的一半加上二级风洞中所用夹具之高度。

5 实验比对验证

用实验验证上面提到的两种风洞里阻塞修正方法，验证实验采用不同厂家生产的三个型号的风速表，分别是 EC9-1 型风速传感器，EL15-1A 型风速传感器，AVM-03 型风速表。分别在标准风洞和二级风洞中作了 22 次实验，进行比对验证。它们不动部分的阻塞面积分别为 97.86cm^2 、 114.50cm^2 、 34.98cm^2 ，500 型风洞试验段截面积为 1963.5cm^2 。试验数据见表 3。

表 3 用测定法和计算法得出的阻塞修正系数

仪器型号	测试法的 K 值	计算法得出的 K 值	差值
EC9-1	1.029	1.034	0.005
EL15-1A	1.037	1.035	0.002
AVM-03	1.028	1.023	0.005

实验数据表明，用两种方法求出阻塞系数很接近，差值小于 1%。

（1）用测定法求出的阻塞修正系数对

500 型风洞检定数据修正后，结果与标准风洞的检定数据基本一致。

（2）用计算法算出的阻塞修正系数对 500 型风洞检定数据修正后，结果接近标准风洞的检定数据。

（3）计算法计算阻塞修正系数比实验法更合理、更方便、操作性更强，适用各种低速风洞。

（4）被检风速传感器的迎风面积与风洞工作段截面积之比大于 5% 时，检定数据需要进行阻塞修正。

6 结束语

风速表在风洞检定中，被检风速传感器的迎风面积与风洞工作段截面积之比大于 5% 时，检定数据需要进行阻塞修正；换言之，只要对自动气象站测风传感器在风洞中检定，检定数据都要进行阻塞修正，并可以利用 500 型风洞检定自动气象站测风传感器。

参考文献

- 1 国家质量技术监督局. 国家计量检定规程 JJG613-89 《电接风向风速仪检定规程》[M]. 北京：中国计量出版社，1989.
- 2 国家质量技术监督局. 国家计量检定规程 JJG0001-92 《热球式风速仪计量检定规程》[M]. 北京：中国计量出版社，1992.
- 3 国家质量技术监督局. 国家计量检定规程 JJG 431-86 《DEM6 型轻便三杯风向风速表检定规程》[M]. 北京：中国计量出版社，1986.
- 4 艾伦·波普，约翰丁·哈伯著. 低速风洞试验 [M]. 彭锡铭，严俊仁，石佑伦译. 北京：国防工业出版社，1977.