

机械式风速表检定曲线截距为负的原因分析

陈媛媛

内蒙古安科安全生产检测检验有限公司

[摘要] 风速仪表分机械式、机械电子式和电子式风表三类。其中机械式风速表是煤矿井下应用最广的一类测风仪表，属于安全防护、环境监测类计量仪表，是计量法规定按检定周期进行强制性检定的计量器具。

[关键词] 机械式风速表；截距；偏差

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2020.02.139

对机械式风速表的检定及计算过程中，导致其检定曲线截距为负的原因逐项进行了分析并提出了相应的解决方法。

一、风速表测量误差因素分析

1. 装置错误。因为风速表属于现场运用仪器，运用时的环境条件与实验室相比相差较远。由仪器的工作原理可知，实行校准前，风速传感器的转动轴与风速表的连轴器需用软管相接，并且要求传感器的转动轴与仪器的转动轴严格同心，假如装置后，存在上下左右偏心，连轴器的转动力矩就不能所有传递给风速传感器的转动轴，容易造成转动不灵巧，从而给测量结果带来误差。所以，在装置时要重复调整其同心度，调好后再进行校准。

2. 风速不稳固导致的误差。由电路原理引起，假如在风速表显示屏显示数据还不稳固时，就将数据记录下，会给测量结果带来误差。为克制此项误差影响，必须在风速值调好后，待校验器显示屏显示的数据稳固后再实行记录，稳固时间不少于2min。

3. 校准参数引起的误差。同风速传感器有不同的风速方程，从而也就有不同的校准参数，用一个规范校准不同型号的风速传感器，必须对不同风速传感器实行参数修正。在实行校准时应注意用风速表相关的校准参数，并查看校准参数对应的校验器显示值是不是正确，若显示值正确无误，才可以开展校准，否则会发生测量误差。

二、测量方法

1. 测量的依据。JJG(煤炭)01-1996《矿用风速表检定规程》。

2. 环境条件。试验室初始温度 $t=20^{\circ}\text{C}$ ，在检定风表过程中环境温度变化不超过 1°C ，大气压力 $P=97.263\text{kPa}$ ，皮托管校准系数为 $\xi=1.003$ 。

3. 测量方法。测量时选用一块中速风表安装于矿用风速表检定装置中，通过风洞提供一个均匀、稳定的风场。分别读取风速表读数与矿用风速表检定装置提供的标准风速，其差值作为被检风速表的示值误差。

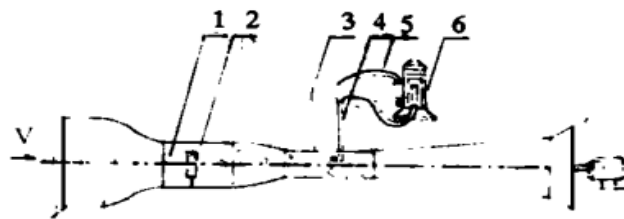
三、风速相关性分析

通常把风的作用分为平均风和脉动风两部分。平均风周期远高于一般结构的自振周期，作用性质相当于静力，脉动风反映了大气边界层的紊乱性和随机性，其强度随机变化。在实践中一般将脉动风近似为各态历经过程，这样可以方便地得到其概率特性参数，如风速谱和空间相关性等。脉动风是一种随机过程，具有紊乱性和随机性的特点，其大小和强

度随机变化。在紊流风场中，各点的风速和风向不可能是完全同步，甚至是可能完全不相关，这也就是脉动风的空间相关性。脉动风在不同时空点上的相关程度可以分别在时域中用相关函数和频域中用相干函数进行描述。分别给出了某地区不同高度处实测的纵向脉动风速的自相关系数和互相关系数。纵向脉动风速的自相关系数随时间滞后的增加而呈指数衰减。纵向脉动风速的竖向互相关系数随着竖向间距的增大而逐渐减小。一般而言，脉动风速的自相关性和互相关性均与平均风速大小、空间两点间距、离地高度、地表面粗糙长度和风结构等因素有关，平均风速越大，离地高度越高，自相关性越好，地表面粗糙长度越大，自相关性越差。随着空间两点间距的增大，互相关性变差。风速相关性系数随测点距离的增加而减小。特别是在台风气候中，相关性系数随测点距离的增加减小迅速。风速具有空间相关性，其相关性随测点距离的增加而减小，即两风速计的装置距离越大，测量结果偏差也越大。因此，缩短两风速计间的装置间距，可使两风速计能以较快速度同时处于相同的流体运动状态中，降低不同流体状态对测量结果的影响，同时可提高两测点间风速的空间相关性，从而降低测量结果间的偏差。

四、机械式风速表检定曲线截距为负的原因

根据我们对截距为负的风表检定结果进行的描点分析来看， $b<0$ 的关键因素是实际风速 V_s 与风表示值 V_z 的测值偏差不一致： n 组检定数据中低速点 V_{si} 偏小、 V_{zi} 偏大或高速点 V_{si} 偏大、 V_{zi} 偏小，或某一点两种情况同时出现时，都会出现截距 b 为负。而造成 V_{si} 与 V_{zi} 测值偏差不一致的原因是综合性多方面的。由式可知： V_s 与 $P^{1/2}$ ， $\rho^{-1/2}$ 成正比，因此， P （ ρ ）与 V_s 不是简单的正（反）比例关系，其测值偏差均会导致 V_s 不成正（反）比例变化。风表在风速仪表检定装置中进行检定，布置如图1



1. 风洞第一工作段 2. 风表 3. 风洞第二工作段 4. 皮托管 5. 胶皮管 6. 补偿式微压计

下面对风表的检定及计算过程中影响 V_s 与 V_z 测值的因素逐个进行简单分析。

1. 实际风速偏差。引起实际风速 V_s 偏差的因素有动压 P 测值偏差、空气压缩性影响和空气密度 ρ 测定误差。(1) 动压偏差。动压 P 测值偏差是由标准检定装置中的各影响因素引起的。流场稳定性偏差：规程规定流场稳定性相对偏差 $\delta_s \leq 0.5\%$ ，由于各种外界因素引起流场流速缓慢波动，人工采样时 V_{zi} 与 P_i 读数不同步造成二者不一致。因此采样时应力求同步，消除流场稳定性偏差的影响。流场均匀性偏差：规程规定流场均匀性偏差 $\delta_v \leq 1.5\%$ ，由于流场存在速度梯度，从而作用在风表感压部分与皮托管测压孔上的动压不同，且每一种流速时流场均匀性是变化的，从而影响风表检定结果。风速比偏差：规程规定双工作段风洞两个工作段风速比最大偏差 $\delta_N \leq 1.2\%$ 。检定低速风表时，由于风表安设于第一工作段而皮托管安设在第二工作段（如图1），测得动压由于风速比偏差 δ_N 的存在，引起动压换算偏差。皮托管方向角偏差：标准皮托管测压头轴线与气流方向不完全平行时存在一偏角 ψ ，此时测得的动压存在偏差 e_ψ ， e_ψ 与皮托管类型有关，一般随皮托管安装偏斜角增大而增大，当 ψ 角保持在规定的 $\pm 3^\circ$ 以内时， e_ψ 始终是正值。故安装皮托管时应保证测压头轴线与气流方向完全平行并对皮托管予以适当固定，以免皮托管在检定中偏转。皮托管系数偏差：动压 P 按下式计算：

$$P = P_0 \xi$$

式中 P_0 ——微压计示值，Pa；

ξ ——皮托管系数

标准皮托管系数偏差 $e_\xi \leq 0.5\%$ ，皮托管校

准系数对测定的动压有系统的影响，会产生一个误差 e_ξ 。(2) 空气压缩性影响。流速计算公式是假设空气为不可压缩情况下得到的，实际计算公式为：

$$V_{si} = (1 - \xi) \sqrt{\frac{2P_i}{\rho}} \quad (\text{m/s})$$

其中 $(1 - \xi)$ 称为压缩性修正系数。对于空气流动来说，随着流速增高气体压缩性的影响就会增高。如 $V_s = 25\text{m/s}$ 时， $1 - \xi \approx 1.001$ ，故用公式计算流速时始终有一负系统误差 e_ξ 。(3) 空气密度测定误差。由于环境温度、大气压力和温度测定不准确以及空气的洁净度影响，在空气密度测定中要产生一个误差 δ_ρ 。

2. 风表示值偏差。风表安装偏斜时未能使感压部分正对气流，由于涡流损失，作用在叶轮上的动压大大低于实际动压从而使风表示值偏小；同时由于涡流损失使作用在叶轮上的动压不随实际动压成线性变化。故安装风表时应确保其正对风流并固定，以防风表被风流吹偏。

3. 测量误差。测量误差受综合性因素影响，它与补偿式微压计以及微压计与皮托管之间的连接用胶皮管有关，同时还与检定人员的操作有关：当补偿式微压计丝杠存在系统误差或因其水室锈蚀等造成蒸馏水内含杂质影响密度，形成动压测量误差；皮托管与补偿式微压计间连接用胶皮管由于老化引起漏气或空气中水蒸气凝结形成积水都会对动压测值产生不同的影响。在风表检定过程中，由于检定人员操作经验

及分辨能力的限制、固有习惯的存在，致使动压 P 与风表示值 V_z 读不准。特别是读取低速点动压，判别水准针尖是否对准时由于视差造成动压相差 0.1Pa 都会使实际风速 V_s 产生很大偏差（如下例），读取每点动压时应使水准针尖与其像的尖端相对位置恢复到校零时的状态。因此，在相同测试条件下，测得动压标准值如较以往差别较大，应首先考虑皮托管是否偏转、补偿式微压计是否正常、胶皮管是否漏气或积水，必要时应对计量检定装置重新进行检定，以确保 δ_s 、 δ_v 、 δ_N 、 e_ξ 在规程允许范围内。

五、举例说明

某块DFA—3型低速风表在大气压力 $P_0 = 9.73 \times 104\text{Pa}$ 、环境温度 $t = 34.5^\circ\text{C}$ 、 $\xi = 1.001$ 时， $\rho = 1.10\text{kg/m}^3$ ，则 $K = 1.35$ ，此时正常检定结果如表1。

表 1

检定点号 n	1	2	3	4	5	6
动压 P(Pa)	0.11	0.64	2.22	4.87	8.05	12.59
V_{zi} (格/s)	1.40	3.53	6.63	9.87	12.70	15.90
V_{si} (m/s)	0.44	1.08	2.01	2.98	3.83	4.79

由上述检定数据回归的风表检定曲线方程为： $V_s = 0.30V_z + 0.02\text{m/s}$ ，截距 $b = 0.02\text{m/s} > 0$ ，当存在2中所述诸因素的影响使 V_s 与 V_z 的测值偏差不一致时，其检定结果为：

(1) 当动压 P_1 读取值偏小如 0.08Pa 时，

$V_{s1} = 0.38\text{m/s}$ ，方程为：

$V_s = 0.30V_z - 0.01\text{m/s}$ ， $b < 0$ ；

(2) 当 V_{zi} 测值偏大为 1.60m/s 时，方程：

$V_s = 0.30V_z - 0.01\text{m/s}$ ， $b < 0$ ；

(3) 当动压 P_6 读取值偏大如 13.18Pa 时，

$V_{s6} = 4.90\text{m/s}$ ，方程为：

$V_s = 0.31V_z - 0.01\text{m/s}$ ， $b < 0$ ；

(4) 当 V_z6 测值偏小为 15.60m/s 时，方程为：

$V_s = 0.30V_z - 0.001\text{m/s}$ ， $b < 0$

可见，以上四种情况均会导致风表检定曲线截距为负。

总之，当出现风表检定曲线截距为负时，应从多方面综合考虑，找出错误的真正原因，少走弯路，减少返工量。当风表检定曲线截距偶然为负时，先检查风表安装是否使迎风面正对风流轴线方向或风表读值是否准确；当风表检定曲线截距经常为负则应检查胶皮管是否漏气、积水，微压计读值是否有人为偏大（低风速时）或偏小（高风速时）现象，再察看皮托管测头轴线是否与风流方向平行。在上述原因均已排除的情况下，若还出现风表检定曲线截距为负，则应对风表计量检定装置进行计量检定，排除皮托管系数偏差、补偿式微压计的系统误差和风洞工作段流场稳定性偏差、流场均匀性偏差与风速比相对偏差。

参考文献

[1] 朱正宪. 机械式风速表检定曲线截距为负的原因分析[J]. 计量与测试技术, 1997, (5): 19-21.
 [2] 黄志勇. 浅谈液压式万能试验机示值误差递增偏差的校准方法[J]. 计量与测试技术, 2017, 44(5): 67-68.