JJF

陕 西 省 地 方 计 量 技 术 规 范

JJF（陕）XXX－2021

矿用风速传感器校准规范

Calibration Specification for Mine Wind Speed Sensor

（报批稿）

2021－XX－XX 发布　　2021－XX－XX 实施

陕 西 省 市 场 监 督 管 理 局　发布

矿用风速传感器校准规范

Calibration Specification for Mine Wind Speed Sensor

JJF（陕）XXX－2021

归 口 单 位：陕西省市场监督管理局

主要起草单位：铜川市计量测试所

榆林市计量技术研究院

本规范由陕西省市场监督管理局负责解释

本规范主要起草人：

茹　强（铜川市计量测试所）

赵晓玲（榆林市计量技术研究院）

张　明（铜川市计量测试所）

参加起草人：

赵　哲（铜川市计量测试所）

程占东（榆林市计量技术研究院）

张娟蓉（榆林市计量技术研究院）

杨　洋（榆林市计量技术研究院）

目　　录

引　言.....II
1　范围.....1
2　引用文件.....1
3　术语.....1
3.1　超声波旋涡式风速传感器.....2
3.2　压差式风速传感器.....2
3.3　基本误差.....2
3.4　信号传输误差.....2
4　概述.....1
5　计量特性.....2
5.1　基本误差.....2
5.2　信号传输误差.....2
5.3　绝缘电阻.....3
6　校准条件.....2
6.1　环境条件.....2
6.2　测量标准及其他设备.....2
7　校准项目和校准方法.....4
7.1　基本误差.....4
7.2　信号传输误差.....6
7.3　绝缘电阻.....6
8　校准结果表达.....6
9　复校时间间隔.....7
附录 A　矿用风速传感器校准原始记录格式（参考）.....6
附录 B　校准证书内容及内页格式（参考）.....7
附录 C　矿用风速传感器基本误差的测量不确定度评定（示例）.....12

引　言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等基础性系列规范文件进行制定。

本规范为首次发布。

矿用风速传感器校准规范

1　范围

本规范适用于矿用风速传感器（以下简称传感器）的校准。

2　引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG（煤炭）01-1996　矿用风速表

MT 448-2008　矿用风速传感器

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

3.1　超声波旋涡式风速传感器

根据卡曼涡街原理利用超声波束被漩涡调制量的变化来测量风速的传感器。

3.2　压差式风速传感器

根据压差原理利用微压差变化来测量风速的传感器。

3.3　基本误差

在正常校准条件下确定的传感器测量误差值。

3.4　信号传输误差

在正常校准条件下确定的传感器输出信号测量误差值。

4　概述

传感器是利用卡曼涡街原理或压差式原理进行风速测量的计量器具，是矿用井下监测监控系统的重要组成部分之一。能够连续监测矿井通风巷道中风速的大小，并将井下的通风状况实时传送给监测监控系统。传感器主要由转换部分、电子部件和显示部分等组成。

5　计量特性

5.1　基本误差

传感器基本误差应符合表1的规定。

5.2　信号传输误差

传感器信号传输误差应不超过表1基本误差限。

表 1 基本误差 m/s

测量原理	测量范围	基本误差
卡曼涡街原理	0.4～15	±0.3
	0.5～25	±0.4
压差原理	0.4～15	±0.2
	0.5～25	±0.3

5.3 绝缘电阻

传感器的本安端与外壳之间，常态下绝缘电阻应不低于50MΩ。

注：以上计量特性不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（15～35）℃； 相对湿度：（45～75）%。

6.1.2 大气压力：（86～106）kPa。

6.2 测量标准及其他设备

表 2 测量标准及其他设备

序号	设备名称	技术要求
1	标准风洞	风洞风速范围：（0.2～25）m/s； 风洞工作段气流均匀性不大于 1.5%； 风洞工作段气流稳定性不大于 0.5%； 风洞工作段直径大于 300mm，同时风速传感器在风洞工作段内的阻塞比不大于 5%。
2	皮托管	L 型标准皮托管校准系数：0.997～1.003。
3	微压计	测量上限不低于 700Pa；最大允许误差为±0.5Pa。
4	气压计	准确度等级为 0.2 级及以上。
5	温度计	测量范围 (0～50)℃；分度值不大于 0.2℃。
6	频率计	测量范围为（0～2000）Hz；分辨力 1Hz；稳定度≤1×10^{-6}。
7	直流电流表	测量范围为（0～30）mA；准确度等级不低于 0.5 级。
8	绝缘电阻表	输出电压 100V；准确度等级不低于 10 级。
9	仿真电路 （不小于 2km）	直流电阻：12.8Ω/km； 分布电容：0.06μF/km； 分布电感：0.8mH/km。
10	直流稳压电源	输出电压为（0～30）V。

注：允许使用满足要求的其他测量标准器具。

7　校准项目和校准方法

7.1　基本误差

7.1.1　仪器的调整

连接好微压计与皮托管的接头，调整微压计的水平状态和零位。皮托管安装在距离风洞内壁大于1/8工作段直径的风速均匀区。把传感器的转换部分固定在风洞工作段中部，使其风流通道轴线与风洞轴线平行，其平行度不大于5度，应保证在仪器校准期间，环境温度波动不大于±1℃。

7.1.2　基本误差校准

接通传感器电源，按照传感器使用说明书要求进行预热，一般预热时间不少于15min。传感器的校准按如图1 所示连接。

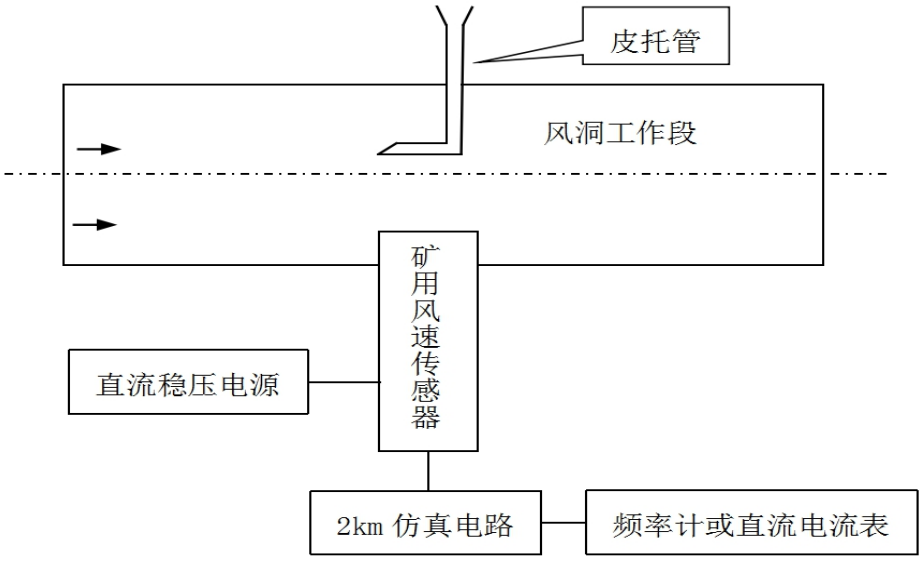


图1　传感器校准连接示意图

在无风的环境下对传感器进行零点标校。按表3选择校准点，风洞风速应由低向高逐渐增大，待风流稳定在校准点规定的风速后，读取微压计数值和传感器显示值，连续读取3次，取3次传感器显示值的算术平均值作为测量结果。传感器各校准点的示值与各测点的实际风速之差即为传感器的基本误差。

表3　校准点　　m/s

测量范围	测点					
0.4～15	0.4	3	6	9	12	15
0.5～20	0.5	4	8	12	16	20

7.1.3　基本误差计算

7.1.3.1　测取校准环境参数，并按式（1）计算空气密度：

$$\rho = 3.483\times10^{-3}\times P_0/(t+273) \tag{1}$$

式中 ρ —— 空气密度，kg/m^3；

P_0 —— 大气压力，Pa；

t —— 环境温度，℃。

7.1.3.2　实际风速按式（2）计算：

$$v_t = \sqrt{\frac{2\times P\times\xi}{\rho}} \tag{2}$$

式中 v_t —— 实际风速，m/s；

P —— 微压计读数，Pa；

ξ —— 皮托管校准系数；

ρ —— 空气密度，kg/m^3。

7.1.3.3　基本误差按式（3）计算：

$$\Delta v_1 = v_i - v_t \tag{3}$$

式中 Δv_1 —— 基本误差，m/s；

v_i —— 传感器的示值，m/s；

v_t —— 实际风速，m/s。

7.2　信号传输误差

用直流稳压电源按传感器说明书规定的电压为其供电，在传感器信号输出端接入仿真电路，仿真电路末端接上对应的信号测试设备。开启风洞装置，待风流稳定在测点规定的风速后，读取传感器显示值，同时读取直流电流表或频率计示值。连续读取 3 次，取 3 次读数的平均值作为该风速测定点传感器输出的电信号值，按式（4）换算成对应的风速值。传感器各测点的输出信号对应的风速值与传感器各测点的示值之差即为传感器的信号传输误差，信号传输误差按式（5）计算。

$$v = \left(\frac{v_m - v_0}{A_m - A_0}\right)(A_i - A_0) \tag{4}$$

式中 v —— 输出信号 A_i 对应的风速值，m/s；

v_m —— 输出信号上限对应的风速值，m/s（根据被检传感器说明书给出固定值）；

v_0 —— 输出信号下限对应的风速值，m/s（根据被检传感器说明书给出固定值）；

A_i —— 检测的输出信号，mA 或 Hz；

A_m —— 输出信号范围上限标称值，mA 或 Hz（根据被检传感器说明书给出固定值）；

A_0 —— 输出信号范围下限标称值，mA 或 Hz（根据被检传感器说明书给出固定值）。

$$\Delta v_2 = v - v_i \tag{5}$$

式中 Δv_2 —— 信号传输误差，m/s；

v —— 输出信号 A_i 对应的风速值，m/s；

v_i —— 传感器的示值，m/s。

7.3 绝缘电阻

用绝缘电阻表分别测量传感器电源正极、负极、信号端与其外壳裸露金属件之间的绝缘电阻，传感器的绝缘电阻值应满足 5.3 条规定。

8 校准结果表达

经校准的矿用风速传感器发给校准证书，校准结果应在校准证书上反映。校准证书内容及内页格式（参考）见附录 B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 6 个月。

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。

附录A

矿用风速传感器校准原始记录格式（参考）

记录编号：　　共 2 页　第 1 页

委托单位		型号规格	
仪器名称		测量范围	
生产厂家		出厂编号	
校准依据		校准地点	
校准环境	温度：　　℃　　相对湿度：　　%　　大气压：　　kPa		

测量标准	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	有效期至

校准结果

1、基本误差　　单位：m/s

校准点	标准风速值				风速传感器示值				示值误差
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值	

矿用风速传感器校准原始记录格式（续）

2、信号传输误差　　输出信号的单位：（　）mA 或（　）Hz，其余单位：m/s							
校准点	风速传感器示值及输出信号值					输出信号值转换成风速值	信号传输误差
	——	1	2	3	平均值		
	显示值					——	
	输出信号值						
	显示值					——	
	输出信号值						
	显示值					——	
	输出信号值						
	显示值					——	
	输出信号值						
	显示值					——	
	输出信号值						
	显示值					——	
	输出信号值						

3、绝缘电阻（MΩ）	正极-外壳	负极-外壳	信号极-外壳	结论

基本误差校准结果的扩展不确定度：U=　　m/s（k=2）

校准员：　　核验员：　　校准日期：　　年　月　日

附录 B

校准证书内容及内页格式（参考）

B.1　校准证书应至少包括以下信息：

a）标题：“校准证书”；

b）实验室的名称和地址；

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）送校单位的名称；

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和应用有关时，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，包括名称及代号；

j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k) 校准环境的描述；

l) 校准结果及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）校准结果仅对校准对象有效的声明；

p）未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

B.2　校准证书内容及内页格式（参考）

<table>
<tr><td colspan="3">证书编号：XXXX-XXXX
校准结果</td></tr>
<tr><td colspan="3">1.基本误差及信号传输误差（m/s）</td></tr>
<tr><td>校准点</td><td>示值误差</td><td>信号传输误差</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2.绝缘电阻（MΩ）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">基本误差校准结果的扩展不确定度：U=　　m/s（k=2）</td></tr>
<tr><td colspan="3">注：1、本证书校准结果仅对该计量器具有效；
2、本证书封面未加盖校准专用章无效；
3、未经本校准实验室书面授权，不得部分复制本证书。</td></tr>
</table>

附录 C

矿用风速传感器基本误差的测量不确定度评定（示例）

C.1 概述

C.1.1 测量时环境条件：实验室环境温度为（28.0～29.0）℃，环境相对湿度为（47～52）%；测量矿用风速传感器过程中环境温度变化不超过±1℃。

C.1.2 测量标准及其他设备

序号	设备名称	技术要求
1	标准风洞	风洞风速范围：（0.2～25）m/s； 风洞工作段气流均匀性不大于 1.5%； 风洞工作段气流稳定性不大于 0.5%； 风洞工作段直径大于 300mm，同时风速传感器在风洞工作段内的阻塞比不大于 5%。
2	皮托管	L 型标准皮托管校准系数：0.997～1.003。
3	微压计	测量上限不低于 700Pa；最大允许误差为±0.5Pa。
4	气压计	准确度等级为 0.2 级及以上。
5	温度计	测量范围（0～50)℃；分度值不大于 0.2℃。

C.1.3 被测对象：矿用风速传感器，测量范围为（0.4～15）m/s，GFW15 型，显示值的分辨力为 0.1m/s。

C.1.4 测量方法：依据本规范要求将矿用风速传感器放置于标准风洞中，启动风机，风洞风速由低向高逐渐增高，待风流稳定至测量点规定的风速后，这时记录被测风速传感器显示值和实际风速值，重复上述步骤 10 次。实际风速值是由微压计、气压计、温度计和皮托管根据公式（C.1）和（C.2）计算得出。

$$v_t = \sqrt{\frac{2 \times P \times \xi}{\rho}} \qquad (C.1)$$

$$\rho = 3.483 \times 10^{-3} \times P_0 / (t + 273) \qquad (C.2)$$

式中：v_t——实际风速，m/s；

P——微压计读数，Pa；

ξ——皮托管校准系数；

ρ——空气密度，kg/m^3；

P_0——大气压力，Pa；

t——环境温度，℃。

C.2 测量模型

C.2.1 测量模型可用公式（C.3）表示：

$$\Delta v_1 = v_i - v_t \qquad (C.3)$$

式中 Δv_1—— 基本误差，m/s；

v_i—— 传感器的示值，m/s；

v_t—— 实际风速，m/s。

C.2.2 灵敏系数

输入量v_t的灵敏系数：$c_1 = \frac{\partial \Delta v_1}{\partial v_i} = 1$

输入量v_i的灵敏系数：$c_2 = \frac{\partial \Delta v_1}{\partial v_t} = -1$

C.3 各不确定度分量来源分析

C.3.1 输入量v_i的标准不确定度$u(v_i)$的评定

输入量v_i的标准不确定度$u(v_i)$主要考虑被测风速传感器的测量重复性和被测风速传感器分辨力两个不确定度来源。

C.3.1.1 被测风速传感器的测量重复性引入的标准不确定度，采用A类方法进行评定。

表C.1 重复性测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
风速传感器显示值（m/s）	8.7	8.8	8.7	8.7	8.7	8.8	8.7	8.7	8.7	8.7

在重复性条件下，在风速分别为0.4m/s、3m/s、6m/s、9m/s、12m/s和15m/s六个测量点上分别做10次重复性连续测量，基本误差单次测量值的实验标准偏差用贝塞尔公式计算，得

到该风速传感器在 9m/s 测量点上实验标准偏差最大。重复性测量数据见表 C.1。

$$s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}=0.042\text{m/s}$$

在实际测量中，取 3 次测量的算术平均值作为风速传感器在该测量点的测量结果，因此，被测风速传感器的测量重复性引入的标准不确定度 $\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_{\mathrm{i}})=s/\sqrt{3}=0.024\text{m/s}$。

C.3.1.2　被测风速传感器分辨力引入的标准不确定度，根据被测风速传感器的使用说明书可知，被测风速传感器分辨力为 0.1m/s，由被测风速传感器分辨力引入的标准不确定度采用 B 类方法进行评定。分辨力为 0.1 m/s，则区间半宽度 $\boldsymbol{a}=0.05$ m/s，假设其为均匀分布，即 $k=\sqrt{3}$，则被测风速传感器分辨力引入的标准不确定度 $\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_{\mathrm{i}})=0.05/\sqrt{3}=0.029$ m/s。

在不确定度评定中，比较由重复性引入的标准不确定度分量和由分辨力引入的标准不确定度分量，取两者中较大者作为输入量 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{i}}$ 的标准不确定度，由于重复性引入的标准不确定度分量小于分辨力引入的标准不确定度分量，因此输入量 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{i}}$ 的标准不确定度 $\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_{\mathrm{i}})=0.029\text{m/s}$。

C.3.2　输入量 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}$ 的标准不确定度 $\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}})$ 的评定

输入量 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}$ 的标准不确定度 $\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}})$ 主要由微压计、皮托管和空气密度引入，其中包括微压计引入的不确定度 $u_{\mathrm{r}}(P)$、皮托管引入的不确定度 $u_{\mathrm{r}}(\xi)$ 和空气密度引入的不确定度 $u_{\mathrm{r}}(\rho)$ 三个分量。

C.3.2.1　微压计引入的不确定度 $u_{\mathrm{r}}(P)$ 的评定

测量过程中使用的微压计，其最大允许误差±0.05%，区间半宽度 $\boldsymbol{a}=0.05\%$，属均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，因此微压计引入的不确定度 $u_{\mathrm{r}}(P)=0.05\%/\sqrt{3}=0.029\%$。

C.3.2.2　皮托管引入的不确定度 $u_{\mathrm{r}}(\xi)$

测量过程中使用的皮托管，皮托管校准系数 1.000，偏差不大于 0.5%，即区间半宽度 $\boldsymbol{a}=0.5\%$，属均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$，因此皮托管引入的不确定度 $u(\xi)=0.5\%/\sqrt{3}=0.29\%$。

C.3.2.3　空气密度引入的不确定度 $u_{\mathrm{r}}(\rho)$

根据公式（C.2）可知，空气密度引入的不确定度主要来源于温度计和气压计，包括温度

计引入的不确定度$u(t)$和气压计引入的不确定度$u(P_0)$两个分量。

测量过程中使用的温度计，其分度值为0.1℃，则区间半宽度$\boldsymbol{a}=0.05$℃，属均匀分布，取$k=\sqrt{3}$，因此温度计引入的不确定度$u(t)=\dfrac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{k}}=0.05/\sqrt{3}=0.029$℃。

测量过程中使用的气压计，其最大允许误差为±40Pa，区间半宽度$\boldsymbol{a}=40$Pa，属均匀分布，取$k=\sqrt{3}$，因此气压计引入的不确定度$u(P_0)=\dfrac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{k}}=40/\sqrt{3}=23.1$Pa。

温度计读数为28.12℃，大气压力为89333Pa，由公式（C.2），计算可得ρ=1.033kg/m^3。又根据公式$\rho=3.483\times10^{-3}\times P_0/(t+273)$，计算得到：

变量t的灵敏系数：$c_3=\dfrac{\partial\rho}{\partial t}=3.483\times10^{-3}P_0\left[-\dfrac{1}{(t+273)^2}\right]$

$$=3.483\times10^{-3}\times89333\times\left[-\frac{1}{(28.12+273)^2}\right]=-0.0034\text{kg/m}^3\cdot\text{℃}^{-1};$$

变量P_0的灵敏系数：$c_4=\dfrac{\partial\rho}{\partial P_0}=\dfrac{3.483\times10^{-3}}{t+273}=\dfrac{3.483\times10^{-3}}{28.12+273}=0.000012\text{kg/m}^3\cdot\text{Pa}^{-1}$

影响量互不相关，空气密度引入的不确定度$u(\rho)$按公式（C.4）进行计算:

$$u(\rho)=\sqrt{[c_3u(t)]^2+[c_4u(P_0)]^2} \qquad \text{（C.4）}$$

$$u(\rho)=\sqrt{[c_3u(t)]^2+[c_4u(P_0)]^2}=\sqrt{(-0.0034\times0.029)^2+(0.000012\times23.1)^2}=0.00029\text{ kg/m}^3$$

$$u_{\mathrm{r}}(\rho)=\frac{u(\rho)}{\rho}\times100\%=\frac{0.00029}{1.033}\times100\%=0.029\%$$

C.3.3　输入量$\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}$的标准不确定度$\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}})$的计算

微压计读数为41.58.Pa,温度计读数为28.12℃，大气压力为89333Pa,皮托管校准系数为1.000，把相关数值代入（C.1），计算得测量点实际风速为$\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}$=8.97m/s。

根据公式$v_{\mathrm{t}}=\sqrt{\dfrac{2\times P\times\xi}{\rho}}$，输入量$\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}$的各影响量互不相关，输入量$\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}}$的标准不确定度$\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_{\mathrm{t}})$按公式（C.5）进行计算：

$$\frac{u(v_t)}{v_t}=\sqrt{[\frac{1}{2}\times u_r(P)]^2+[\frac{1}{2}\times u_r(\xi)]^2+[(-\frac{1}{2})\times u_r(\rho)]^2} \qquad (C.5)$$

把相关数值代入（C.5），计算得$\frac{u(v_t)}{v_t}$=0.15%，$u(v_t)=v_t\times 0.15\%=8.97\times 0.15\%$=0.013m/s。

C.4 合成标准不确定度的计算

C.4.1 标准不确定度分量一览表见表 C.2

C.4.2 合成标准不确定度计算

示值误差测量时，输入量各标准不确定度分量间不相关，则合成标准不确定度按公式（C.6）计算：

$$u_c=\sqrt{[c_1u(v_i)]^2+[c_2u(v_t)]^2} \qquad (C.6)$$

$$u_c=\sqrt{[c_1u(v_i)]^2+[c_2u(v_t)]^2}=\sqrt{(0.029)^2+(0.013)^2}=0.032\,\text{m/s}$$

表 C.2 标准不确定度分量一览表

序号	不确定度分量来源	符号	u_i 值	c_i	$\lvert c_i\rvert . u_i$
1	传感器分辨力引入	$\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_i)$	0.029 m/s	1	0.029 m/s
2	实际风速测量引入	$\boldsymbol{u}(\boldsymbol{v}_t)$	0.013m/s	−1	0.013m/s

C.5 扩展不确定度的确定

取包含因子 k=2，则各校准点基本误差的扩展不确定度按公式（C.7）计算。

$$U=k\cdot u_c \qquad (C.7)$$

在校准点 9m/s，u_c=0.032m/s，代入（C.7），可得：$U=k\cdot u_c$= 2×0.032m/s = 0.06m/s。

对于测量范围为（0.4～15）m/s，GFW15 型，分辨力为 0.1m/s 的矿用风速传感器：

校准点 9m/s：U = 0.06 m/s，k = 2。