



# 中华人民共和国工业和信息化部 建材计量技术规范

JJF（建材）XXXX—2024

---

## 建材行业二氧化碳在线监测系统校 准规范

Calibration Specification for Carbon Dioxide Continuous Emission  
Monitoring Systems in Building Materials Industry

××××-××-××发布××××-××-××实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 建材行业二氧化碳 在线监测系统校准规范

Calibration Specification for Carbon  
Dioxide Continuous Emission Monitoring  
Systems in Building Materials Industry

JJF(建材)XXXX—202X

归口单位：中国建筑材料联合会

主要起草单位：

北京国建联信认证中心有限公司、

参加起草单位：

北京雪迪龙科技股份有限公司

中碳（安徽）环境科技有限公司

武汉敢为科技有限公司

本规范委托全国建材工业计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

方群（北京国建联信认证中心有限公司）

李晋梅（北京国建联信认证中心有限公司）

安建晔（北京国建联信认证中心有限公司）

**参加起草人：**

谢涛（北京雪迪龙科技股份有限公司）

陈永波 [中碳（安徽）环境科技有限公司]

洪波 [中碳（安徽）环境科技有限公司]

胡志颖（北京国建联信认证中心有限公司）

张俊龙（武汉敢为科技有限公司）

张倩暄（北京雪迪龙科技股份有限公司）

朱湘飞（武汉敢为科技有限公司）

# 目录

引言 .....	(I)
1 范围 .....	(1)
2 引用文件 .....	(1)
3 概述 .....	(1)
4 计量特性 .....	(1)
5 校准条件 .....	(2)
5.1 环境条件 .....	(2)
5.2 测量标准及其他设备 .....	(2)
6 校准项目和校准方法 .....	(3)
6.1 外观检查 .....	(3)
6.2 二氧化碳监测单元 .....	(3)
6.3 烟气参数监测单元 .....	(5)
7 校准结果表达 .....	(6)
8 复校时间间隔 .....	(7)
附录 A 校准记录格式示例 .....	(8)
附录 B 校准证书内页格式示例 .....	(11)
附录 C 二氧化碳浓度示值误差测量结果扩展不确定度评定示例 .....	(12)
附录 D 烟气流速示值误差测量结果扩展不确定度评定示例 .....	(15)
附录 E 烟气温度示值误差测量结果扩展不确定度评定示例 .....	(17)
附录 F 烟气湿度示值误差测量结果扩展不确定度评定示例 .....	(19)

## 引言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范的编写主要参考了 HJ75 《固定污染源烟气（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物）排放连续监测技术规范》、HJ76 《固定污染源烟气（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法》、JJG 635 《一氧化碳、二氧化碳红外气体分析器》。

本规范为首次发布。

# 建材行业二氧化碳在线监测系统校准规范

## 1 范围

本规范适用于建材行业二氧化碳在线监测系统的校准。

## 2 引用文件

本规范没有引用文件。

## 3 概述

建材行业二氧化碳排放连续监测系统主要用于监测水泥、平板玻璃、石灰等建材企业固定污染源的二氧化碳排放量。该系统组件包括二氧化碳浓度监测单元、烟气参数监测单元、数据采集与控制系统及其他辅助设备等，系统结构示意图见图 1。二氧化碳浓度的检测原理为非分散红外吸收法或傅立叶变换红外光谱法。

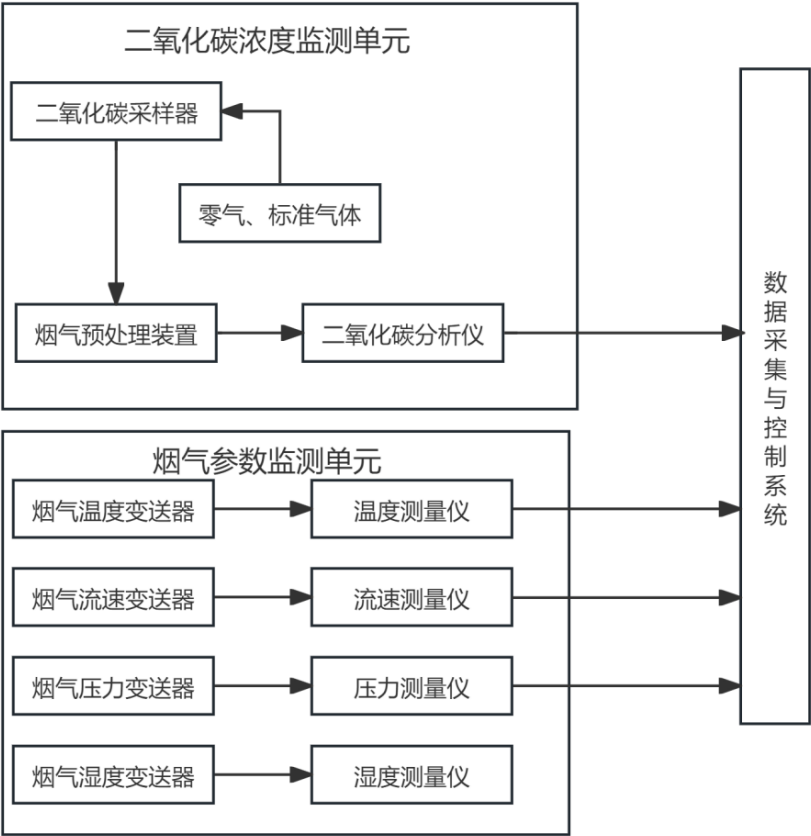


图 1 系统结构示意图

## 4 计量特性

建材行业二氧化碳排放连续监测系统的计量特性见表 1。

表 1 计量特性

校准参数	项目	计量特性
二氧化碳浓度	示值误差	相对误差不超过 $\pm 5\%$
	重复性	$\leq 2\%$
	响应时间	$\leq 200\text{s}$
	零点漂移	不超过满量程的 $\pm 2.5\%$
	量程漂移	不超过满量程的 $\pm 2.5\%$
烟气流速	示值误差	1) 新建固定源：相对误差不应超过 $\pm 6\%$ ； 2) 原有固定源： a) 近三年年均 $\text{CO}_2$ 排放量 $M$ ： $M \leq 250000\text{t}$ ： 流速大于 $10\text{m/s}$ 时，相对误差不超过 $\pm 10\%$ ； 流速不大于 $10\text{m/s}$ 时，相对误差不超过 $\pm 12\%$ 。 b) 近三年年均 $\text{CO}_2$ 排放量 $M$ ： $250000\text{t} < M \leq 2000000\text{t}$ ： 相对误差不超过 $\pm 8\%$ ； c) 近三年年均 $\text{CO}_2$ 排放量 $M$ ： $2000000\text{t} < M$ ： 相对误差不超过 $\pm 6\%$ 。
烟气温度	示值误差	不超过 $\pm 3^\circ\text{C}$
烟气湿度	示值误差	烟气绝对湿度 $> 5.0\%$ 时，相对误差不超过 $\pm 25\%$ ； 烟气绝对湿度 $\leq 5.0\%$ 时，绝对误差不超过 $\pm 1.5\%$ 。

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

5.1.1 室内环境温度（ $15\sim 30$ ） $^\circ\text{C}$ ；室外环境温度（ $0\sim 40$ ） $^\circ\text{C}$ 。

5.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ 。

5.1.3 大气压：（ $80\sim 106$ ） $\text{kPa}$ 。

5.1.4 供电电源：电压（ $220 \pm 22$ ） $\text{V}$ ，频率（ $50 \pm 0.5$ ） $\text{Hz}$ 。

### 5.2 测量标准及其他设备

#### 5.2.1 二氧化碳标准气体

由国家计量主管部门批准的国家一、二级标准气体，其不确定度不超过  $1.0\%$ （ $k=2$ ）。量程校准气体指浓度在（ $80\%\sim 100\%$ ）满量程范围内的标准气体。较低浓度的标准气体如不能满足不确定度要求，可以使用满足要求的高浓度标准气体采用等比例稀释的方式获得，稀释后标气的相对扩展不确定度应满足上述要求。

#### 5.2.2 零点气体

零点气体采用纯度不小于  $99.999\%$  的氮气，其含二氧化碳浓度不超过  $400\mu\text{mol/mol}$ ，含有其他气体的浓度不得干扰仪器的读数。

#### 5.2.3 烟气流速测量装置

5.2.3.1 选用 S 型皮托管作为测量装置时，需满足以下要求：

- 1) 皮托管系数 (K) 范围：0.81~0.86；
- 2) 测量范围：(5~30) m/s；
- 3) 示值误差不超过±2.5%。

5.2.3.2 选用三维皮托管或超声波流量计作为测量装置时，需满足以下要求：

- 1) 测量范围：(5~30) m/s；
- 2) 扩展不确定度不大于 2% (k=2)。

5.2.4 测温仪：测量范围 (0~350) °C，最大允许误差不超过±1°C。

5.2.5 秒表：分度值不大于 0.1s，日差不超过±0.5s。

5.2.6 烟气湿度仪：分度值不大于 0.1%，最大允许误差不超过±4%。

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 外观检查

仪器的显示应清晰完整，各调节器部件应能正常工作，各紧固件应无松动。仪器不应有影响其正常工作的外观损伤，产品铭牌需清晰、完整、牢固，正确标示产品型号、出厂编号、生产厂家等。

### 6.2 二氧化碳浓度监测单元

#### 6.2.1 示值误差

系统通入零点气体，调节零点。然后通入满量程值 (90%±10%) 的标准气体，调整仪器显示浓度值与标气浓度值一致。按照零点气体、满量程值 (25%±5%) 的标准气体、零点气体、满量程值 (55%±5%) 的标准气体、零点气体、满量程值 (90%±10%) 标准气体的顺序通入系统，读数稳定后分别记录各浓度标准气体的显示值。重复测量 3 次，取 3 次示值的算术平均值作为系统各浓度点的示值，按公式 (1) 计算每种浓度标准气体的示值相对误差，测量结果记录格式见附录 A。

$$L_{ei} = \frac{\overline{C_{di}} - C_{si}}{C_{si}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$L_{ei}$ ——待测系统测量第 i 种浓度标准气体的示值相对误差，%；

$\overline{C_{di}}$ ——第 i 种浓度标准气体 3 次测量结果的算术平均值，%；

$C_{si}$ ——第 i 种浓度标准气体浓度标称值，%；

i——测量标准气体序号 (i=1~3)。

#### 6.2.2 重复性

按照 6.2.1 中的方法校正系统零点和示值后，通入满量程值 (55%±5%) 的标准气体，待读数稳定后，记录系统显示值  $A_i$ ，然后通入零点气体。重复上述测量 6 次。按公式 (2) 计算系统的重复性，测量结果记录格式见附录 A。

$$S_r = \frac{1}{\bar{A}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$S_r$ ——重复性，%；

$A_i$ ——各次测量的显示值，%；

$\bar{A}$ ——6次测量值的算术平均值，%；

$n$ ——测量次数， $n=6$ 。

### 6.2.3 响应时间

系统通入零点气体，待读数稳定后，通入满量程值（90%±10%）的标准气体，稳定后读取仪器初始值，撤去标准气体，通入零点气体，让仪器回零，仪器显示稳定后，再通入上述浓度的标准气体，同时用秒表记录仪器显示值上升至初始值 90%所用的时间。重复上述步骤 3 次，取算术平均值作为响应时间，测量结果记录格式见附录 A。

### 6.2.4 零点漂移和量程漂移

通入零点气体，待系统稳定后记录零点读数初始值  $Z_0$ 。然后通入满量程值（90%±10%）的标准气体，待系统稳定后记录量程读数初始值  $S_0$ 。每隔 10 分钟通入零气，记录零点读数值  $Z_i$ ，再通入上述浓度标准气体，记录量程读数值  $S_i$ （ $i=1, 2, 3, 4$ ），连续重复操作 4 次，测量结果记录格式见附录 A。

按公式（3）计算零点漂移。

$$Z_d = \frac{\max |Z_i - Z_0|}{R} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$Z_d$ ——零点漂移，%；

$Z_0$ ——第  $i$  次零点读数初始值，%；

$Z_i$ ——第  $i$  次零点读数值，%；

$R$ ——系统满量程值，%。

按公式（4）计算量程漂移。

$$S_d = \frac{\max |S_i - S_0|}{R} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$S_d$ ——量程漂移，%；

$S_i$ ——第  $i$  次量程读数值，%；

$S_0$ ——第  $i$  次量程读数初始值，%；

R——待测系统满量程值，%。

### 6.3 烟气参数监测单元

#### 6.3.1 烟气流速示值误差

将烟气流速测量装置按照说明书的要求放置在现场操作平台，将测速装置放入系统测试断面，设置采样间隔为 1min，采样时间为 5min，进行烟气流速测量，记录采样时间内的平均流速值作为测量值，重复测量 6 次。被校烟气流速 CMS 和流速测量装置同时进行流速测量，取对应时间段内烟气流速 CMS 所测量的流速平均值作为被校系统的测量值，得到 6 组烟气流速测量装置和烟气流速 CMS 的测量值。按照公式（5）计算流速示值误差，测量结果记录格式见附录 A。

$$\Delta v = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \left( \frac{v_i - v_{si}}{v_{si}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$\Delta v$ ——流速示值误差，%；

$v_i$ ——第 i 次烟气流速 CMS 测量的烟气流速平均值，m/s；

$v_{si}$ ——第 i 次烟气流速测量装置测量的烟气流速平均值，m/s。

#### 6.3.2 烟气温度示值误差

将测温仪放入系统测试断面，与被校烟气温度 CMS 温度探头安装位置一致。被校烟气温度 CMS 和测温仪同时进行烟气温度的测量，每 3 分钟读取一次示值，连续读取 6 组烟气温度 CMS 和测温仪的示值，按照公式（6）计算烟气温度示值误差，测量结果记录格式见附录 A。

$$\Delta T = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (T_i - T_{si}) \quad \text{公式 (6)}$$

式中：

$\Delta T$ ——烟气温度示值误差，℃；

$T_i$ ——第 i 次烟气温度 CMS 测量的烟气温度值，℃；

$T_{si}$ ——第 i 次测温仪测量的烟气温度值，℃。

#### 6.3.3 烟气湿度示值误差

将烟气湿度仪放入系统测试断面，与被校烟气湿度 CMS 湿度探头安装位置一致。被校烟气湿度 CMS 和烟气湿度仪同时进行烟气湿度的测量，每 3 分钟读取一次示值，连续读取 6 组烟气湿度 CMS 和烟气湿度仪的示值，分别按照公式（7）和公式（8）计算烟气湿度示值绝对误差和相对误差，测量结果记录格式见附录 A。

$$\Delta X = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (X_i - X_{si}) \quad \text{公式 (7)}$$

$$R_{es} = \frac{\Delta X}{\overline{X_{si}}} \times 100\% \quad \text{公式 (8)}$$

式中：

$\Delta X$ ——烟气湿度示值绝对误差，%；

$R_{es}$ ——烟气湿度示值相对误差，%；

$X_i$ ——第  $i$  次烟气湿度 CMS 测量的烟气湿度值，%；

$X_{si}$ ——第  $i$  次烟气湿度仪测量的烟气湿度值，%；

$\overline{X_{si}}$ ——6 次烟气湿度仪测量的烟气湿度算术平均值，%。

## 7 校准结果表达

经校准的实验室出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书或报告的唯一性标识（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；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范偏离的说明；
- m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准人和核验人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

## 8 复校时间间隔

建议复校间隔时间为 1 年。凡在使用过程中分析仪器等重要器件经过修理、更换的一般需重新校准。

由于复校间隔时间的长短是由设备的使用情况、使用方及设备本身质量等因素所决定，因此用户可根据实际使用情况确定复校时间间隔。

## 附录 A

### 校准记录格式示例

送校单位：

设备名称：

设备型号：

制造厂商：

设备编号：

设备等级：

测量范围：

环境温度：

℃

环境湿度：

%

大气压力：

kPa

校准日期：

1. 外观检查：☐符合要求 ☐不符合要求

2. 二氧化碳浓度示值误差

标准气体		满量程值（25% ±5%）	满量程值（55% ±5%）	满量程值（90% ±10%）	备注
标称值/%					
实测值/%	1				
	2				
	3				
	平均值				
示值误差/%					

3. 二氧化碳浓度重复性

标准气体浓度标称值/%							
实测值/%	1	2	3	4	5	6	平均值
相对标准偏差/%							

4. 二氧化碳浓度响应时间

标准气体浓度 标称值/%	响应时间/s			
	1	2	3	平均值

5. 二氧化碳浓度零点漂移和量程漂移

系统满量程 值/%	
--------------	--

标准气体浓度标称值/%				
序号	零点/%		量程/%	
	零点读数初始值	零点读数值	量程读数初始值	量程读数值
1				
2				
3				
4				
零点漂移/%FS			量程漂移/%FS	

6. 烟气流速

项目	测量数据											
	系 统 1	参 比 1	系 统 2	参 比 2	系 统 3	参 比 3	系 统 4	参 比 4	系 统 5	参 比 5	系 统 6	参比 6
流 速 示 值 m/s												
示 值 误 差 /%												
示 值 误 差 平 均 值/%												

7. 烟气温度

项目	测量数据					
	1	2	3	4	5	6
烟 气 温 度 CMS 测量值 /℃						
测温仪测量 值/℃						
读数差值/℃						
示值误差/℃						

8. 烟气湿度

项目	测量数据					
	1	2	3	4	5	6
烟 气 湿 度 CMS 测量值						

/%						
烟气湿度仪 测量值 /%						
读数差值/%						
示值误差/%						

附录 B

校准证书内页格式示例

校准项目		校准结果	测量结果扩展不确定度
二氧化碳浓度	示值误差		
	重复性		/
	响应时间		/
	零点漂移		/
	量程漂移		/
烟气流速	示值误差		
烟气温度	示值误差		
烟气湿度	示值误差		

## 附录 C

### 二氧化碳浓度示值误差测量结果扩展不确定度评定示例

#### C.1 测量方法

待测系统运行稳定后，分别进行零点校准和满量程校准零，随后通入固定浓度的标准气体，稳定后记录仪器显示值，测试结束后，再次通入零气清洗气路，重复以上步骤，测量 3 次。按照公式 (C.1) 计算示值相对误差。

#### C.2 环境条件

- a) 环境温度：23℃；
- b) 相对湿度：50%；
- c) 大气压：101kPa；
- d) 供电电源：电压 220V，频率 50Hz。
- e) 烟气监测单元：流速：9 m/s；温度：120℃；湿度：9%。

#### C.3 测量标准及对象

标准物质：浓度为 25% 的二氧化碳标准气体，相对扩展不确定度  $U_r=1\%$ ,  $k=2$ 。

校准对象：设置校准点为体积浓度为 25%。

#### C.4 测量模型

##### C.4.1 二氧化碳浓度示值误差

$$L_e = \frac{\overline{c_d} - c_s}{c_s} \times 100\% \quad (C.1)$$

式中：

$L_e$ ——示值相对误差，%；

$\overline{c_d}$ ——3 次测量结果的算术平均值，%；

$c_s$ ——标准气体浓度标称值，%。

因为各分量互不相关，则：

$$u_c(\Delta I)^2 = c_1^2 u(\overline{c})^2 + c_2^2 u(c_s)^2$$

##### C.4.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta c}{\partial \overline{c}} = \frac{1}{c_s}$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta c}{\partial c_s} = -\frac{\overline{C_d}}{C_s^2}$$

C.5 不确定度来源分析

二氧化碳浓度示值误差的不确定度来源主要有以下几点：

- a) 仪器示值重复性引入的标准不确定度；
- b) 标准溶液引入的标准不确定度，本次测量用有证标准物质，无需稀释。

C.6 标准不确定度评定

C.6.1 仪器示值重复性引入的标准不确定度

选择 25%的标准气体，根据 6.3.1 的方法，用二氧化碳浓度单元连续测量 10 次，测量结果如下表 C.1 所示：

表 C.1 二氧化碳浓度测量值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值%	24.97	24.95	24.96	25.06	25.02	24.97	24.96	24.96	25.03	25.01

测量标准偏差为：

$$S(\overline{c}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (c_i - \overline{c})^2}{n-1}} = 0.038\%$$

实际测量中，以 3 次测量平均值作为测量结果，所以：

$$u(\overline{c}) = \frac{S(\overline{c})}{\sqrt{3}} = 0.022\%$$

C.6.2 标准气体引入的标准不确定度

有证标准气体的相对扩展不确定度  $U_r=1\%,k=2$ ，则相对标准不确定度为：

$$u_r(c_s) = \frac{1\%}{2} = 0.5\%$$

25%二氧化碳体积分浓度的标准气体的标准不确定度为：

$$u(c_s) = 25\% \times u_r(c_s) = 25\% \times 0.5\% = 0.125\%$$

C.7 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总见表 C.1。

表 C.1 相对误差标准不确定度汇总表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量（%）
--------	----	------	-----------

仪器示值重复性引入的标准不确定度	$u(\bar{c})$	0.04	0.022
有证标准气体引入的相对标准不确定度	$u(C_s)$	-0.04	0.125

#### C.8 合成标准不确定度

$$c_1 = \frac{\partial \Delta c}{\partial \bar{c}} = \frac{1}{C_s} = 0.04$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta c}{\partial c_s} = -\frac{\bar{c}_d}{C_s^2} = -0.04$$

以上各分量互不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta c) = \sqrt{c_1^2 u(\bar{c})^2 + c_2^2 u(c_s)^2} = 0.51\%$$

#### C.9 扩展不确定度

取  $k=2$ ，测量点为 25% 的二氧化碳体积浓度示值误差测量结果的扩展不确定度：

$$U = K \times u_c(\Delta c) = 2 \times 0.51\% = 1.01\%, \quad k=2$$

## 附录 D

### 烟气流速示值误差测量结果扩展不确定度评定示例

#### D.1 测量方法

将烟气流速测量装置按照说明书的要求放置在现场操作平台，将测速装置放入系统测试断面，设置采样间隔为 5s，采样时间为 5min，进行烟气流速测量，记录采样时间内的平均流速值作为测量值，重复测量 6 次。被校烟气流速 CMS 和流速测量装置同时进行流速测量，取对应时间段内烟气流速 CMS 所测量的流速平均值作为被校系统的测量值，得到 6 组烟气流速测量装置和烟气流速 CMS 的测量值，按公式 (D.1) 计算烟气流速示值误差。

#### D.2 测量模型

##### D.2.1 烟气流速示值误差

$$\Delta v = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \left( \frac{v_i - v_{si}}{v_{si}} \right) \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中:

$\Delta v$ ——流速示值误差，%；

$v_i$ ——第  $i$  次烟气流速 CMS 测量的烟气流速平均值，m/s；

$v_{si}$ ——第  $i$  次烟气流速测量装置测量的烟气流速平均值，m/s ( $i=1, 2, \dots, 6$ )。

因为各分量互不相关，则：

$$u^2(\Delta v) = c_1^2 u^2(v_i) + c_2^2 u^2(v_{si})$$

##### D.2.2 灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial \Delta v}{\partial v_i} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta v}{\partial v_{si}} = -1$$

#### D.3 不确定度来源分析

烟气流速示值误差的不确定来源主要有以下几点：

- a) 仪器示值重复性引入的标准不确定度；
- b) 烟气流速测量装置引入的标准不确定度。

#### D.4 标准不确定度的评定

D.4.1 测量重复性引入的标准不确定度

根据 6.3.1 的方法，用烟气流速 CMS 对系统流速重复测量 10 次，结果如下表 D.1 所示：

表 D.1 流速测量值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实 测 值 m/s	8.1	8.3	7.8	8.1	8.6	8.3	8	7.9	8.1	8.3

测量标准偏差为：

$$S(\overline{v_i}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (v_i - \overline{v})^2}{n-1}} = 0.23\text{m/s}$$

实际测量中，以 6 次测量的算术平均值作为测量结果，故由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(v_i) = \frac{S(\overline{v_i})}{\sqrt{6}} = 0.095\text{m/s}$$

D.4.2 烟气流速测量装置引入的标准不确定度

根据规范要求，对于流速为 6m/s 的情况，流速测量装置（S 型皮托管）最大允许误差±2.5%，按均匀分布计算，其引入的标准不确定度分量为：

$$u_r(v_{si}) = \frac{2.5\% \times 8}{\sqrt{3}} = 0.12\text{m/s}$$

D.5 标准不确定度汇总

表 D.2 标准不确定度汇总表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量（m/s）
测量重复性	$u(v_i)$	1	0.095
烟气流速测量装置	$u(v_{si})$	-1	0.12

D.6 合成标准不确定

以上各分量互不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta v) = \sqrt{c_1^2 u(v_i)^2 + c_2^2 u(v_{si})^2} = 0.15\text{m/s}$$

D.7 扩展不确定度

取 k=2，对于流速为 8m/s 的示值误差测量结果的扩展不确定度：

$$U = K \times u_c(\Delta v) = 2 \times 0.15 = 0.30\text{m/s} \quad k=2$$

## 附录 E

### 烟气温度示值误差测量结果扩展不确定度评定示例

#### E.1 测量方法

将测温仪放入系统测试断面，与被校烟气温度 CMS 温度探头安装位置一致。被校烟气温度 CMS 和测温仪同时进行烟气温度的测量，每 3 分钟读取一次示值，连续读取 6 组烟气温度 CMS 和测温仪的示值，按公式 (E.1) 计算烟气温度示值误差。

#### E.2 测量模型

##### E.2.1 示值误差

$$\Delta T = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (T_i - T_{si}) \quad (E.1)$$

式中：

$\Delta T$ ——烟气温度示值误差，℃；

$T_i$ ——第  $i$  次烟气温度 CMS 测量的烟气温度值，℃；

$T_{si}$ ——第  $i$  次测温仪测量的烟气温度值，℃。

因为各分量互不相关，则：

$$u^2(\Delta T) = c_1^2 u^2(T_i) + c_2^2 u^2(T_{si})$$

##### E.2.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_i} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_{si}} = -1$$

#### E.3 不确定度来源分析

烟气温度示值误差的不确定来源主要有以下几点：

- a) 仪器示值重复性引入的标准不确定度；
- b) 测温仪引入的标准不确定度。

#### E.4 标准不确定度的评定

##### E.4.1 测量重复性引入的标准不确定度

根据 6.3.2 的方法，用测温仪对系统温度重复测量 10 次，结果如下表 E.1 所示：

表 E.1 温度测量值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/℃	60.2	60.1	60	59.9	60	59.9	60.1	60.2	60.1	60.1

测量标准偏差为:

$$S(\bar{T}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} = 0.1^\circ\text{C}$$

实际测量中, 以 6 次测量的算术平均值作为测量结果, 故由测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u(T_i) = \frac{S(\bar{T}_i)}{\sqrt{6}} = 0.04^\circ\text{C}$$

#### E.4.2 测温仪引入的标准不确定度

根据规范要求, 测温仪最大允许误差不超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ , 按均匀分布计算, 其引入的标准不确定度分量为:

$$u(T_{si}) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12^\circ\text{C}$$

#### E.5 标准不确定度分量一览表

表 E.2 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量 (°C)
测量重复性	$u(T_i)$	1	0.04
测温仪	$u(T_{si})$	-1	0.12

#### E.6 合成标准不确定

以上各分量互不相关, 故合成标准不确定度为

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{c_1^2 u(T_i)^2 + c_2^2 u(T_{si})^2} = 0.13^\circ\text{C}$$

#### E.7 扩展不确定度

取  $k=2$ , 则  $U=0.26^\circ\text{C}$

## 附录 F

### 烟气湿度示值误差测量结果扩展不确定度评定示例

#### F.1 测量方法

将烟气湿度仪放入系统测试断面，与被校烟气湿度 CMS 湿度探头安装位置一致。被校烟气湿度 CMS 和烟气湿度仪同时进行烟气湿度的测量，每 3 分钟读取一次示值，连续读取 6 组烟气湿度 CMS 和烟气湿度仪的示值，按公式（F.1）和（F.2）计算烟气湿度示值误差。

#### F.2 测量模型

##### F.2.1 示值误差

$$\Delta X = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (X_i - X_{si}) \quad \text{公式 (F.1)}$$

$$R_{es} = \frac{\Delta X}{\overline{X_{si}}} \times 100\% \quad \text{公式 (F.2)}$$

式中：

$\Delta X$ ——烟气湿度示值绝对误差，%；

$R_{es}$ ——烟气湿度示值相对误差，%；

$X_i$ ——第  $i$  次烟气湿度 CMS 测量的烟气湿度值，%；

$X_{si}$ ——第  $i$  次烟气湿度仪测量的烟气湿度值，%；

$\overline{X_{si}}$ ——6 次烟气湿度仪测量的烟气湿度算术平均值，%。

因为各分量互不相关，则：

$$u^2(\Delta X) = c_1^2 u^2(X_i) + c_2^2 u^2(X_{si})$$

##### F.2.2 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta X}{\partial X_i} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta X}{\partial X_{si}} = -1$$

#### F.3 标准不确定度的评定

##### F.3.1 测量重复性引入的标准不确定度

根据 6.3.3 的方法，用烟气湿度仪对系统湿度重复测量 10 次，结果如下表 F.1 所示：

表 F.1 温度测量值

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/%	9.6	9.7	9.6	9.4	9.3	9.5	9.3	9.3	9.6	9.5

测量标准偏差为：

$$S(\overline{X_i}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (X_i - \overline{X})^2}{n-1}} = 0.15\%$$

实际测量中，以 6 次测量的算术平均值作为测量结果，故由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(X_i) = \frac{S(\overline{X_i})}{\sqrt{6}} = 0.06\%$$

### F.3.2 烟气湿度仪引入的标准不确定度

根据规范要求，烟气湿度仪最大允许误差不超过 $\pm 4\%$ ，按均匀分布计算，其引入的标准不确定度分量为：

$$u(X_{si}) = \frac{4\%}{\sqrt{3}} = 2.31\%$$

### F.4 标准不确定度分量一览表

表 F.2 标准不确定度分量一览表

不确定度来源	符号	灵敏系数	不确定度分量 (%)
测量重复性	$u(X_i)$	1	0.06
烟气湿度仪	$u(X_{si})$	-1	2.31

### F.5 合成标准不确定

以上各分量互不相关，故合成标准不确定度为

$$u_c(\Delta X) = \sqrt{c_1^2 u(X_i)^2 + c_2^2 u(X_{si})^2} = 2.31\%$$

### F.6 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则  $U=4.62\%$