

# 贵州省地方计量技术规范

JJF (黔) 63-2022

## 矿用粉尘浓度传感器校准规范

Calibration Specification for Dust Concentration Sensor of Mine

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

贵州省市场监督管理局 发布



# 矿用粉尘浓度传感器 校准规范

Calibration Specification for Dust

Concentration sensor of Mine

JJF(黔) 63—2022

归口单位：遵义市市场监督管理局

主要起草单位：遵义市产品质量检验检测院

参加起草单位：天地（常州）自动化股份有限公司

盘州市检验检测中心

贵州矿安科技有限公司

本规范由遵义市产品质量检验检测院负责解释

**本规范主要起草人：**

万金笔（遵义市产品质量检验检测院）

刘 勇（遵义市产品质量检验检测院）

周 海（遵义市产品质量检验检测院）

朱麟凯（遵义市产品质量检验检测院）

**参加起草人：**

万 江（遵义市产品质量检验检测院）

尹昌园（遵义市产品质量检验检测院）

刘国强（遵义市产品质量检验检测院）

杨亚玉（遵义市产品质量检验检测院）

蒋志龙（天地（常州）自动化股份有限公司）

王 玎（盘州市检验检测中心）

陈思洋（贵州矿安科技有限公司）

# 目 录

引言 .....	(II)
1 范围 .....	(1)
2 引用文件 .....	(1)
3 概述 .....	(1)
4 计量特性 .....	(1)
4.1 示值误差 .....	(1)
4.2 零位稳定性 .....	(2)
4.3 信号传输误差 .....	(2)
5 校准条件 .....	(2)
5.1 环境条件 .....	(2)
5.2 测量标准及配套设备 .....	(2)
6 校准项目和校准方法 .....	(3)
6.1 校准项目 .....	(3)
6.2 校准方法 .....	(3)
7 校准结果表达与处理 .....	(5)
7.1 校准记录 .....	(5)
7.2 校准结果的处理 .....	(5)
8 复校时间间隔 .....	(6)
附录 A 校准记录格式 .....	(7)
附录 B 校准证书内页格式 .....	(8)
附录 C 测量结果不确定度评定示例 .....	(9)

# 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》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》，并参考了 JJG 846-2015《粉尘浓度测量仪》、MT/T 1102-2009《煤矿用粉尘浓度传感器》进行编制。

# 矿用粉尘浓度传感器校准规范

## 1 范围

本规范适用于矿用粉尘浓度传感器（以下简称传感器）的校准。其它用途类传感器可参照执行。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 846-2015 粉尘浓度测量仪

MT/T 1102-2009 煤矿用粉尘浓度传感器

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 概述

传感器的测量原理一般有电荷感应式、激光散射式等。电荷感应式原理：当粉尘颗粒流经电极时，在电极上感应出交变信号，交变信号与粉尘浓度成比例关系。激光散射式原理：光波在耗散介质传播过程中，光强由于被吸收而减弱，光通量的变化与粉尘质量满足比尔定律。

传感器主要由采样头、检测装置、单片机系统、抽气系统以及显示装置等组成。常用于煤矿及其它有爆炸危险性的作业环境中。

## 4 计量特性

### 4.1 示值误差

传感器示值误差应符合表 1 的规定。

表 1 传感器示值误差

测量范围/ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	示值误差/%
0~1000	$\pm 15$

## 4.2 零位稳定性

在清洁空气环境中，传感器的显示值或输出信号值（换算成粉尘浓度值）应不超过 5 mg/m<sup>3</sup>。

## 4.3 信号传输误差

传感器模拟信号传输误差不超过示值的最大允许误差；数字信号传输误差不做要求。

注：以上技术指标不用于合格性判定，仅供参考。

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：（15~35）℃。

5.1.2 环境相对湿度：不大于 75%。

5.1.3 大气压力：（86~106）kPa。

### 5.2 测量标准及配套设备

测量标准及配套设备应符合表 2 要求。

表 2 测量标准及配套设备

序号	名称	技术要求
1	流量标准采样装置	流量范围大于被检传感器流量的 30%，最大允许误差：±1%。
2	粉尘试验风洞	粉尘试验风洞包含粉尘采样装置，粉尘浓度测量范围（10~1000）mg/m <sup>3</sup> ，风速测量范围（0.5~4）m/s。用流量标准采样装置对粉尘试验风洞测试段的中心点进行 6 次重复性测量，其实验标准偏差不大于 5%。标准采样装置采样点与被检采样点三次相同测量平均值的相对误差不大于 5%。
3	天平	分辨力：0.01 mg。
4	频率计	测量范围：（0~3000）Hz，准确度等级：0.1 级及以上。
5	试验用粉尘	试验用粉尘采用煤粉，粒径分布满足：小于 10 μm 的占（12~15）%，小于 30 μm 的占（47~50）%。

表 2 (续)

序号	名称	技术要求
6	2 km 仿真电路	直流电阻: 12.8 $\Omega$ /km, 分布电容: 0.06 $\mu$ F/km, 分布电感: 0.8 mH/km。
7	直流稳压电源	输出电压: (0~30) V, 输出电流: (0~3) A。
8	密闭箱	长 1.0 m、宽 0.5 m、高 0.4 m。
9	秒表	分辨力: 0.01 s。

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准项目

零位稳定性、示值误差、信号传输误差。

### 6.2 校准方法

#### 6.2.1 校准前准备

##### 6.2.1.1 外观及通电检查

传感器不应有影响其正常工作的外观损伤。通电后传感器的数据显示清晰、完整。

##### 6.2.1.2 标志与标识检查

传感器的名称、型号、制造厂、防爆标志及编号、煤矿安全标志及编号等应齐全、清楚。

#### 6.2.2 零位稳定性

将传感器放置在干净的密闭箱内, 接上电源, 运行 30 min 后 (如果显示值不为零, 用遥控器进行调零。), 调零后每隔 3 min 记录一次传感器显示值, 连续记录 5 次传感器显示值, 取最大值作为零位稳定性。

#### 6.2.3 示值误差

在粉尘试验风洞内进行校准, 如图 1 所示。

在粉尘浓度传感器测量范围内, 均匀分为五段, 以每段中点为校准点。将试验用粉尘放置于发尘器中, 启动发尘器, 待传感器示值稳定后记录其显示值, 每点测量三次, 取三次测量平均值作为该点粉尘浓度值。

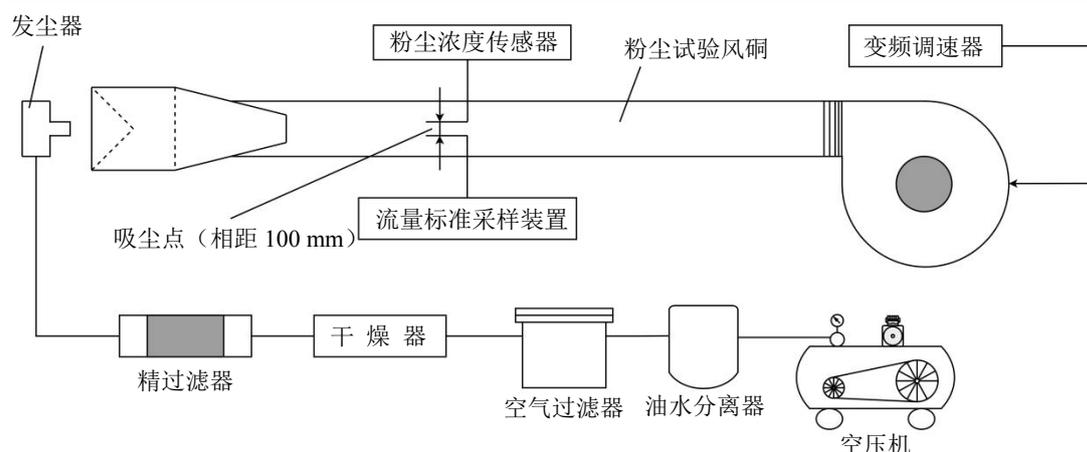


图1 粉尘试验风洞试验系统

传感器数据记录与滤膜采样应同步进行。滤膜采样方法，根据传感器使用说明书规定，确定适宜的采样流量和采样时间，用天平称量采集前滤膜质量和采集粉尘后的质量。用式（1）计算滤膜采样测得的粉尘浓度值，用式（2）计算每点示值误差。

$$C_1 = \frac{m_2 - m_1}{q_v t} \times 1000 \quad (1)$$

式中：

$C_1$ ——滤膜采样测得的粉尘浓度值， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$m_2$ ——滤膜采集粉尘后的质量， $\text{mg}$ ；

$m_1$ ——滤膜采集粉尘前的质量， $\text{mg}$ ；

$q_v$ ——采样流量， $\text{L}/\text{min}$ ；

$t$ ——采样时间， $\text{min}$ 。

$$\delta = \frac{C_2 - C_1}{C_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\delta$ ——示值误差， $\%$ ；

$C_1$ ——滤膜采样测得的粉尘浓度值， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$C_2$ ——传感器示值的平均值， $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### 6.2.4 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 2 km 仿真电路，在仿真电路末端接上频率计，按 6.2.3 的要求进行，待读数稳定后，记录传感器示值。同时测量并读取对应浓度输出的电信号，每点重复测量 3 次，计算各点的示值平均值和输出信号平均值，按式（3）将输出信号平均值换算成粉尘浓度值，按式（4）计算传感器的信号传输误差。

$$G_i = \left( \frac{G_m - G_0}{P_m - P_0} \right) \times (\bar{P}_i - P_0) \quad (3)$$

式中：

$G_i$ ——输出信号平均值对应的粉尘浓度值， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$G_m$ ——输出信号上限对应的粉尘浓度值， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$G_0$ ——输出信号下限对应的粉尘浓度值， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$\bar{P}_i$ ——传感器输出信号平均值，Hz；

$P_m$ ——输出信号上限值，Hz；

$P_0$ ——输出信号下限值，Hz。

$$\Delta_x = \frac{|G_i - C_2|}{C_2} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\Delta_x$ ——各点的信号传输误差。

## 7 校准结果表达与处理

### 7.1 校准记录

校准记录格式参见附录 A。

### 7.2 校准结果的处理

校准证书内页格式参见附录 B，校准证书应至少包括以下内容：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如证书编号），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(如型号、产品编号等);
- g) 进行校准的日期或校准证书的生效日期;
- h) 校准所依据的技术规范的标识,包括名称和代号;
- i) 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) 校准结果及测量不确定度的说明;
- l) 校准员及核验员的签名;
- m) 校准证书批准人的签名;
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- o) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书或报告的声明。

## 8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的,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。建议复校时间间隔不超过 12 个月。

## 附录 A

## 校准记录格式

共 页 第 页

1、送校单位信息												
送校单位名称				地 址								
2、被校计量器具信息												
计量器具名称				制造厂								
规格型号				出厂编号								
其 它												
3、本次校准使用的计量标准器信息												
计量标准器名称			不确定度/准确度等级/最大允许误差			测量范围			标准器证书编号		有效期至	
4、校准环境条件及地点												
地点		温度/°C			相对湿度/%			其它				
5、校准技术依据												
6、校准项目												
序号	校准项目		校准结果									
6.1	零位稳定性											
6.2	示值误差	校准点	被校传感器示值				滤膜采样测得的粉尘浓度值					示值误差
			1	2	3	平均值	采样流量	采样时间	采集前滤膜质量	采集后滤膜质量	浓度值	
6.3	信号传输误差	校准点	被校传感器示值				被校传感器信号输出示值			信号输出平均值	输出信号转化为浓度值	信号传输误差
			1	2	3	平均值	1	2	3			

示值误差测量结果不确定度  $U=$  (  $k=$  )。

校准员:

核验员:

校准日期

## 附录 B

## 校准证书内页格式

证书编号：

校准结果

序号	校准项目	校准结果			
1	零位稳定性				
2	示值误差	校准点	示值平均值	滤膜采样测得的 粉尘浓度值	示值误差
3	信号传输 误差	校准点	示值平均值	输出信号平均值 转换为粉尘浓度 值	信号 传输误差

示值误差测量结果不确定度  $U=$  (  $k=$  )。

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。

## 附录 C

## 测量结果不确定度评定示例

## C.1 概述

C.1.1 测量依据：JJF(黔) 63-2022 矿用粉尘浓度传感器。

C.1.2 环境条件：温度(15~35)℃，相对湿度不大于75%。

C.1.3 测量对象：矿用粉尘浓度传感器，测量范围为(0~1000)mg/m<sup>3</sup>，最大允许误差±15%。

C.1.4 测量标准：测量标准由天平、流量标准采样装置、粉尘试验风洞、频率计、秒表等组成。测量不确定度： $U_1=1.4\%$ ， $k=2$ 。

C.1.5 测量方法：在粉尘浓度传感器测量范围内，均匀分为五段，以每段中点为校准点。将试验用粉尘放置于发尘器中，启动发尘器，待传感器示值稳定后记录其显示值，每点测量三次，取三次测量平均值作为该点粉尘浓度值。传感器数据记录与滤膜采样应同步进行。滤膜采样方法，根据传感器使用说明书规定，确定适宜的采样流量和采样时间，用天平称量采集前滤膜质量和采集粉尘后的质量。用式(C.1)计算滤膜采样测得的粉尘浓度值，用式(C.2)计算每点示值误差。

$$C_1 = \frac{m_2 - m_1}{q_v t} \times 1000 \quad (\text{C.1})$$

式中：

$C_1$ ——滤膜采样测得的粉尘浓度值，mg/m<sup>3</sup>；

$m_2$ ——滤膜采集粉尘后的质量，mg；

$m_1$ ——滤膜采集粉尘前的质量，mg；

$q_v$ ——采样流量，L/min；

$t$ ——采样时间，min。

$$\delta = \frac{C_2 - C_1}{C_1} \times 100\% \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\delta$ ——示值误差，%；

$C_1$ ——滤膜采样测得的粉尘浓度平均值， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$C_2$ ——传感器示值的平均值， $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## C.2 测量模型

### C.2.1 模型建立

测量模型按式 (C.3) 建立。

$$\delta = C_2 - C_1 \quad (\text{C.3})$$

式中：

$\delta$ ——示值误差， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$C_1$ ——滤膜采样测得的粉尘浓度平均值， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；

$C_2$ ——传感器示值的平均值， $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

### C.2.2 不确定度传播公式和灵敏系数

考虑各分量彼此独立，不确定度传播律公式为式 (C.4)：

$$u_c^2 = c_1^2 u^2(C_2) + c_2^2 u^2(C_1) \quad (\text{C.4})$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial C_2} = 1;$$

$$c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial C_1} = -1。$$

### C.2.3 标准不确定度主要来源

标准不确定度主要来源，包括测量重复性引入的不确定度、数显分辨力引入的不确定度、频率计引入的不确定度、天平引入不确定度、粉尘试验风洞引入的不确定度、流量标准采样装置引入的不确定度、秒表引入的不确定度等。

## C.3 标准不确定度分量的评定

### C.3.1 输入量 $C_2$ 引入的标准不确定度 $u(C_2)$

#### C.3.1.1 重复性测量引入的不确定度 $u(C_{2-1})$ ，测量点为 $500 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，采用 A 类方法进行

评定。重复性试验测量结果见表 C.1。

表 C.1 重复性试验测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果/mg/m <sup>3</sup>	465	470	462	486	482	479	493	486	478	485

则单次实验标准差为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}} = 10.0 \text{ mg/m}^3$$

在实际测量中，连续测量 3 次，以平均值作为测量结果，则其平均值的标准不确定度为：

$$u(C_2) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 5.8 \text{ mg/m}^3$$

### C.3.1.2 数显分辨力引入的标准不确定度 $u(C_{2-2})$

由于分辨力为 1 mg/m<sup>3</sup>，则：

$$u(C_{2-2}) = 0.29 \text{ mg/m}^3$$

重复性引入的标准不确定度分量和分辨力引入的标准不确定度取其较大者作为不确定度分量，则：

$$u(C_2) = u(C_{2-1}) = 5.8 \text{ mg/m}^3$$

### C.3.2 输入量 $C_1$ 引入的标准不确定度 $u(C_1)$

C.3.2.1 频率计引入的不确定度  $u(C_{1-1})$ ，由频率计校准证书可知， $U=1 \text{ Hz}$ ， $k=2$ 。频率计测量范围（0~3000）Hz，则：

$$u = \frac{U}{k} = 0.5 \text{ Hz}$$

理论上频率变化 1 Hz 引起粉尘浓度变化 1.25 mg/m<sup>3</sup>，则：

$$u(C_{1-1}) = 0.63 \text{ mg/m}^3$$

C.3.2.2 天平引入的不确定度  $u(C_{1-2})$ ，由天平检定规程可知Ⅰ级天平，最大允许误差为

1.5e, e 为分度值,  $e=0.01 \text{ mg}$ 。假设流量为  $2 \text{ L/min}$ , 采样时间为  $1 \text{ min}$ , 天平每变化  $1 \text{ mg}$  约引起粉尘浓度变化  $500 \text{ mg/m}^3$ , 采用 B 类方法进行评定, 均匀分布取  $k = \sqrt{3}$ 。则:

$$u(C_{1-2}) = \frac{1.5e}{\sqrt{3}} \times 500 = 4.35 \text{ mg/m}^3$$

C.3.2.3 粉尘试验风洞引入的不确定度  $u(C_{1-3})$ , 由校准证书可知  $U=1.3 \text{ mg/m}^3$ ,  $k=2$ 。则:

$$u(C_{1-3}) = \frac{U}{k} = 0.65 \text{ mg/m}^3$$

C.3.2.4 流量标准采样装置引入的不确定度  $u(C_{1-4})$ , 由规范可知流量标准采样装置的最大允许误差为  $\pm 1\%$ 。假设采样前后滤膜质量变化  $1 \text{ mg}$ , 采样时间为  $1 \text{ min}$ , 流量标准采样装置每变化  $1 \text{ L/min}$  约引起粉尘浓度变化  $250 \text{ mg/m}^3$ , 采用 B 类方法进行评定, 均匀分布取  $k = \sqrt{3}$ 。则:

$$u(C_{1-4}) = \frac{1\%}{\sqrt{3}} \times 2 \times 250 = 2.9 \text{ mg/m}^3$$

C.3.2.5 秒表引入的不确定度  $u(C_{1-5})$ , 由秒表检定规程可知最大允许误差为  $\pm 0.10 \text{ s}$ 。假设采样前后滤膜质量变化  $1 \text{ mg}$ , 采样时间为  $1 \text{ min}$ , 秒表每变化  $1 \text{ s}$  约引起粉尘浓度变化  $4 \text{ mg/m}^3$ , 采用 B 类方法进行评定, 均匀分布取  $k = \sqrt{3}$ 。则:

$$u(C_{1-5}) = \frac{1\%}{\sqrt{3}} \times 60 \times 4 = 1.40 \text{ mg/m}^3$$

由于以上各量不相关, 则:

$$u(C_1) = \sqrt{u^2(C_{1-1}) + u^2(C_{1-2}) + u^2(C_{1-3}) + u^2(C_{1-4}) + u^2(C_{1-5})} = 3.5 \text{ mg/m}^3$$

## C.4 合成标准不确定度

### C.4.1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量汇总表见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度分量来源	评定方法	符号	$u_i$ 值	$c_i$	$ c_i  \cdot u_i$
1	输入量 $C_2$	A 类	$u(C_2)$	5.8 mg/m <sup>3</sup>	1	5.8 mg/m <sup>3</sup>
2	输入量 $C_1$	B 类	$u(C_1)$	3.5 mg/m <sup>3</sup>	-1	3.5 mg/m <sup>3</sup>
3	频率计	B 类	$u(C_{1-1})$	0.63 mg/m <sup>3</sup>	/	
4	天平	B 类	$u(C_{1-2})$	0.87 mg/m <sup>3</sup>		
5	粉尘试验 风洞	B 类	$u(C_{1-3})$	0.65 mg/m <sup>3</sup>		
6	流量标准 采样装置	B 类	$u(C_{1-4})$	2.9 mg/m <sup>3</sup>		
7	秒表	B 类	$u(C_{1-5})$	1.40 mg/m <sup>3</sup>		

## C.4.2 合成标准不确定度计算

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：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(C_2) + c_2^2 u^2(C_1)}$$

$$u_c = 6.8 \text{ mg/m}^3$$

## C.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则测量结果的扩展不确定度：

$$U = k \times u_c = 14 \text{ mg/m}^3$$

