

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

烟尘浓度测试仪校准规范

Calibration Specification for Stack Dust Tester

(征求意见稿)

201x—xx—xx 发布

201x—xx—xx 实施

国家市场监督管理总局 发布

烟尘浓度测试仪校准规范

Calibration Specification for

Stack Dust Tester

JJF 201x-xxxx

归口单位：全国环境化学计量技术委员会

主要起草单位：青岛市计量技术研究院

中国计量科学研究院

青岛众瑞智能仪器股份有限公司

参加起草单位：河北省计量监督检测研究院

青岛海纳光电环保有限公司

青岛明华电子仪器有限公司

本规范委托全国环境化学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

夏 春（青岛市计量技术研究院）

张文阁（中国计量科学研究院）

宋述古（青岛市计量技术研究院）

何春雷（青岛众瑞智能仪器股份有限公司）

参加起草人：

王 龙（河北省计量监督检测研究院）

陈仲辉（青岛崂应海纳光电环保集团有限公司）

窦 灏（青岛明华电子仪器有限公司）

目 录

引言	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 烟尘浓度示值误差.....	(2)
5.2 流速测量示值误差.....	(2)
5.3 等速跟踪响应时间.....	(2)
5.4 烟气温度示值误差.....	(2)
5.5 计时误差.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 计量标准器.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果表达.....	(6)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 标准烟尘浓度值的测量方法.....	(8)
附录 B 烟尘浓度测试仪浓度示值误差的不确定度评定实例.....	(10)
附录 C 烟尘浓度测试仪流速示值误差的不确定度评定实例.....	(17)
附录 D 校准原始记录格式.....	(21)
附录 E 计校准证书(内页)格式.....	(23)

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范的主要校准方法参考了 GB13223-2011《火电厂大气污染物排放标准》、GB13271-2014《锅炉大气污染物排放标准》、GB/T16157-1996《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》、DB13T 2376-2016《固定污染源废气 颗粒物的测定 β 射线法》、DB37T 3785-2019《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 β 射线法》、DB21T 3270-2020《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 β 射线法》、DB63T 1873-2020《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 β 射线法》、DB36T 1386-2021《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 β 射线法》和 HJ 836-2017《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》、HJ/T 48-1999《烟尘采样器 技术条件》、JJG 680-2021《烟尘采样器检定规程》、JJG 846-2015《粉尘浓度测量仪检定规程》、JJF 1659-2017《PM_{2.5} 质量浓度检测仪校准规范》等标准和技术法规。

本规范为首次制定。

烟尘浓度测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于基于 β 射线法测量原理的测量范围为(0~50) mg/m^3 的便携式烟尘浓度测试仪的校准。

2 引用文件

HJ/T 48-1999 烟尘采样器技术条件

HJ 836-2017 固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法

JJG 680-2021 烟尘采样器

JJG 846-2015 粉尘浓度测量仪

JJG 1036-2008 电子天平检定规程

JJF 1101-2003 环境试验设备温度、湿度校准规范

凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本方法;凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本方法。

3 术语

3.1 β 射线 β -ray

放射性元素核衰变过程中发出的电子流(注: β 射线源可以使用 ^{147}Pm 、 ^{14}C 或 ^{85}Kr 等放射源)。

3.2 等速跟踪 Isokinetic Tracking

将采样嘴正对排气气流,使进入采样嘴的气流速度与测定点的排气流速相等。

4 概述

β 射线法烟尘浓度测试仪(以下简称被校仪器)用于固定污染源废气中低浓度烟尘颗粒物的测定。仪器利用等速采样原理抽取一定量的含颗粒物的废气,烟尘被捕集在滤纸上, β 射线在穿透物质时,与物质内的电子发生作用而被吸收,其吸收量决定于物质单位面积的电子数,而每一原子的电子数与其质量成正比,根据采样前后单位面积的滤纸上 β 射线吸收量之差衰减量得到采集颗粒物的质量,结合采样的气体体积,计算得到烟尘的质量浓度。仪器一般由取样单元、测量单元、数据处理单元和显示单元组成。取样单元主要是采样器采集样品,测量单元通过 β 射线测量系统对采集的样品进行测量,

数据处理单元将测量结果进行分析计算，最后由显示单元输出测量结果。

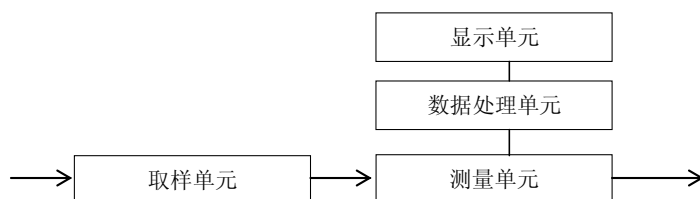


图1 仪器结构组成示意图

5 计量特性

- 5.1 烟尘浓度示值误差：±15%
- 5.2 流速测量示值误差：不大于5%。
- 5.3 等速跟踪响应时间：不大于20 s。
- 5.4 烟气温度示值误差：±3 °C。
- 5.5 计时误差：±2 s。

6 校准条件

6.1 环境条件

- 6.1.1 环境温度：(15~35) °C，
- 6.1.2 相对湿度不大于 80%。
- 6.1.3 供电电压：AC (220 ± 22) V，频率：(50 ± 1) Hz。

6.2 计量标准器

6.2.1 烟尘浓度发生装置

烟尘浓度发生应覆盖 (0~50) mg/m³ 浓度范围，工作段最大流速应不低于 20m/s。使用的烟尘为 ISO 细粉尘、干燥煤尘、滑石粉或其他适宜的烟尘颗粒物。覆盖浓度范围内工作段中标准采样装置采样点和被校烟尘测试仪采样点四次相同浓度测量平均值的相对误差应不大于 5%，流速测量平均值的相对误差不大于 2%。

6.2.2 烟尘浓度标准装置：标准装置分为采样装置和称重装置。采样装置采样流量最大允许误差优于±2.5%。称重装置具备恒温恒湿控制系统，温度范围：(25~50) °C，温度偏差：±2 °C，温度均匀度：1 °C；湿度范围：(30~40) %RH，湿度偏差：±3%RH，湿度均匀度：3%RH。称重装置：电子天平：①级，最大称量大于 20g，实际分度值 d=0.01mg。

6.2.3 标准流速计：在 (5~20) m/s 测量范围内，测量扩展不确定度不大于 1.5%，k=2。

6.2.4 标准温度计：(0~100) °C，分度值 0.1 °C，最大允许误差为±0.3 °C；(0~400) °C，分度值 0.5 °C，最大允许误差为±1 °C。

6.2.5 温箱：(25~250) °C。

6.2.6 秒表：分度值 0.01 s。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

表 1 校准项目一览表

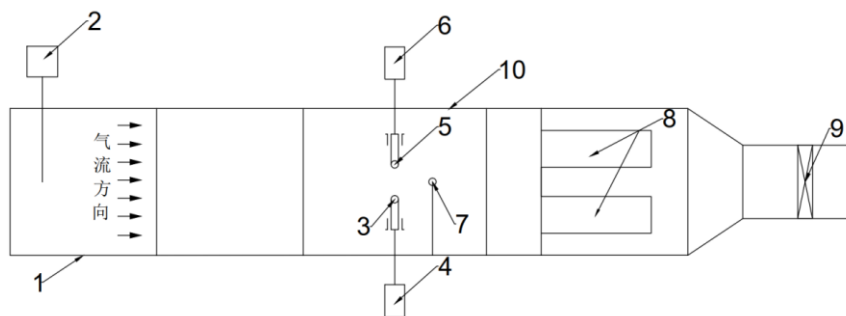
项目	备注
烟尘浓度示值误差	+
流速测量示值误差	+
等速跟踪响应时间	+
烟气温度示值误差	+
计时误差	+

注：“+”为需要校准项目

7.2 校准方法

7.2.1 烟尘浓度示值误差及校准

按照图 2 所示连接各系统装置。



- 1.风洞设备；2.给尘烟尘发生装置；3.标准器烟尘采样口；4.标准采样器；5.被校仪器烟尘采样口；
6.被校烟尘测试仪；7.风洞风速监测点；8.粉尘过滤装置；9.动力风机；10.风洞实验段。

图 2 烟尘浓度发生装置

如图所示，将烟尘浓度标准装置的采样端和被校仪器的采样端放入烟尘浓度发生装置工作段的同一工作截面，标准器采样点和被校仪器采样点应位于工作截面中心附近，两个点相对中心点对称分布，相距 10 cm 左右，固定并记录放置的准确位置，根据各设

备使用要求，开机预热达到稳定工作状态。

7.2.1.1 开启烟尘浓度发生装置，设置装置风速为 5.6 m/s，调整装置发尘量，使风洞工作段采样口处的烟尘浓度为被校仪器量程的 20% 浓度值，标准与被校采样口采用直径为 12 mm 的采样嘴，根据上述流速和采样嘴条件，使用公式(1)计算出采样流量为 38.0 L/min。

$$Q = v \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times 60 \times 1000 \quad (1)$$

式中：Q — 采样流量，L/min；

v — 采样嘴处流速，m/s；

d — 采样嘴直径，mm。

如果采样嘴处流速为其它流速，可以根据公式（1）计算出采样流量。

待设备运行稳定后，将装有滤膜夹的标准采样头和被校仪器采样头分别连接到装置的标准器采样点和被校仪器采样点位置上。调整标准采样器和被校仪器采样参数，设置采样流量均为 38.0 L/min，采样时间均为 6 min，同时启动标准采样器和被校仪器。如果烟尘浓度发生装置条件设置发生变化，推荐流速设置范围：(5-8) m/s，则相应采样流量设置范围为：(34.0~54.3) L/min；推荐每个样品的增重为 (2~12) mg，最小增重不小于 1 mg。待采样结束后，将标准采样器中的采样滤膜取出，按照附录 A，得到标准值 ρ_{s1} 。观察并记录被校仪器示值，得到被校值 ρ_{m1} 。记录标准值 ρ_{s1} 和被校值 ρ_{m1} 。将标准采样探头与被校仪器采样探头位置互换，重复上述步骤，得到 ρ_{s2} 和 ρ_{m2} 。

将上述步骤重复一遍，得到 ρ_{s3} 、 ρ_{m3} 和 ρ_{s4} 、 ρ_{m4} 。用公式（2）和公式（3）分别计算标准值和被校值。

$$\rho_s = \frac{\rho_{s1} + \rho_{s2} + \rho_{s3} + \rho_{s4}}{4} \quad (2)$$

式中： ρ_s —标准值，mg/m³。

$$\rho_m = \frac{\rho_{m1} + \rho_{m2} + \rho_{m3} + \rho_{m4}}{4} \quad (3)$$

式中： ρ_m — 被校值，mg/m³。

按公式（4）计算仪器在该浓度点的浓度示值误差。

$$\Delta\rho_{20} = \frac{(\rho_m - \rho_s)}{\rho_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中： $\Delta\rho_{20}$ —低浓度点示值误差，%；

ρ_s —标准值， mg/m^3 ；

ρ_m —被校值， mg/m^3 。

7.2.1.2 将烟尘浓度发生装置浓度值分别设为被校仪器量程的 50% 和 80% 点，重复 7.2.1.1 的步骤，得到 $\Delta\rho_{50}$ 和 $\Delta\rho_{80}$ 。 $\Delta\rho_{20}$ 、 $\Delta\rho_{50}$ 和 $\Delta\rho_{80}$ 分别为被校准仪器在校准赋值前量程 20%、50% 和 80% 点的示值误差。

7.2.1.3 通过修改倍率或者生产厂家推荐的方法，分别将三个校准点的标准浓度值 ρ_s 赋值给被校准仪器。

7.2.1.4 在对被校仪器赋值后，重复 7.2.1.1 和 7.2.1.2 条款，得到 $\Delta'_{\rho_{20}}$ 、 $\Delta'_{\rho_{50}}$ 和 $\Delta'_{\rho_{80}}$ 分别为被校准仪器在校准赋值后量程 20%、50% 和 80% 点的示值误差。

7.2.2 流速测量示值误差

关闭烟尘浓度发生装置的浓度发生器，将标准风速仪的测量探头和被校仪器的测量探头置于工作段的同一工作截面，分别放置在标准器采样点和被校仪器采样点位置，确定标准流速和被校仪器的流速测量点，固定并记录放置的准确位置。开启烟尘浓度发生装置的风速部分，开启标准风速仪和被校准仪器。

7.2.2.1 调整装置的风速为 5 m/s，待稳定后读取标准风速仪的示值 v_{s1} 被校准仪器的示值 v_{m1} ，将标准端位置与被校端位置交换，得到 v_{s2} 和 v_{m2} 。重复上述步骤，取四次测量的平均值，用公式（5）计算流速示值误差。

$$\Delta v_5 = \frac{(\bar{v}_m - \bar{v}_s)}{\bar{v}_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中： Δv_5 —5m/s 流速点相对示值误差，%；

\bar{v}_s —标准流速仪四次测量平均值，m/s；

\bar{v}_m —被校流速仪四次测量平均值，m/s。

7.2.2.2 将烟尘浓度发生装置的风速部分调整到 20 m/s，重复 7.1.2.1 的步骤，得到 Δv_{20} 。

取两个结果中误差大的作为校准结果。

7.2.3 等速跟踪响应时间

关闭烟尘浓度发生装置的浓度发生器，将被校仪器的流速测量探头置于工作段的中心位置，开启被校仪器，开启并调节装置的流速，使流速达到 5 m/s 稳定后，迅速调节装

置流速至20 m/s，记录从调节装置流速时起到实际跟踪流速值显示到18.5 m/s时的时间；待实际跟踪值稳定后，迅速调节装置流速，使流速回到5m/s，记录从调节装置流速时起到实际跟踪流速值显示到6.5 m/s时的时间。上下行程重复测量三次，取六个测量结果的平均值作为被校仪器的等速跟踪响应时间。

7.2.4 烟气温度示值误差

将被校仪器的温度测量探头和标准温度计同时放入温箱，对 80 °C、120 °C、200 °C 三个温度点进行校准，示值稳定后，分别记录被检温度值和标准温度计的示值，按公式 (6) 计算出示值误差，取三个计算结果中最大的误差作为校准结果。

$$\Delta T = T_m - T_s \quad (6)$$

式中： ΔT —烟气温度示值误差，°C；

T_s —标准温度计显示值，°C；

T_m —被校仪器温度显示值，°C。

7.2.5 计时误差

设定被校准仪器的检测时间为30 min，启动仪器，同时用电子秒表进行计时，被校准仪器结束时同时停止秒表计时。连续重复测量三次，取其平均值进行计算。按公式(7) 计算计时误差。

$$\Delta t = t_m - \overline{t_s}$$

(7)

式中：

Δt —计时误差，s；

t_m —被校准仪器计时器设定的采样时间，s；

$\overline{t_s}$ —电子秒表3次测量时间的平均值，s。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准记录格式参考附录 D。

8.2 校准结果的处理

校准结果应在校准证书或校准报告上反映，校准证书或报告至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 证书或报告的惟一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，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受日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代码；
- 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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识、以及签发日期；
- 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。

9 复校时间间隔

仪器复校时间间隔由使用者根据仪器的使用情况、仪器本身性能等因素所决定，推荐复校时间间隔不超过 1 年。在相邻两次校准期间，如对仪器的检测数据有怀疑或仪器更换主要部件及修理后应对仪器重新校准。

附录 A

标准烟尘浓度值的测量方法

标准烟尘浓度值采用采样收集和称重得到。将采样滤膜在采样前和采样后分别经恒温恒湿条件后称重，根据重量差和采样体积，计算出标准烟尘浓度值。称重部分主要参考了 HJ 836-2017 固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法中 8.2 条款。具体方法如下：

- 1、确定采样体积。使用符合要求的标准烟尘采样器采样，将恒温恒湿平衡后的滤膜放在标准烟尘采样器采样端，将标准烟尘采样器的采样端放到烟尘发生装置的工作区域。按照文本规定的采样流量和时间等条件进行采样，采样结束后将滤膜取下，以备称重。
- 2、滤膜称重。
 - 2.1.实验环境：温度：（15~30）℃；相对湿度不大于 85%。
 - 2.2.滤膜材料：与采样头相适应的滤膜，推荐使用：圆形，直径为 47 mm 玻璃纤维或者石英材料。
 - 2.3 恒温恒湿系统：温度范围：（25~50）℃，温度偏差：±2℃，温度均匀度：1℃；湿度范围：（30~40）%RH，湿度偏差：±3%RH，湿度均匀度：3%RH。
 - 2.4 称重装置：电子天平：级，最大称量大于 20 g,实际分度值 d=0.01 mg。
 - 2.5 称重方法：
 - 2.5.1 滤膜外观检查：保证滤膜边缘平整，厚薄均匀，无毛刺，无污染，不得有针孔或任何破损。
 - 2.5.2 采样前滤膜平衡称量。在温度为（15~30）℃，湿度为（50±5）%RH 条件下，平衡 24 小时后进行称重，记录滤膜初始质量。
 - 2.5.3 采样后滤膜平衡称量。与采样前的温湿度相同条件下，平衡 24 小时后进行称重，记录滤膜采样后质量。
 - 2.5.4 采样前后称重质量之差，即为采样净质量。

3、结果计算。

标准烟尘测试仪测量值由数学公式 $\rho_s = \frac{m}{v}$ 得到。

式中： ρ_s —标准烟尘测量值，mg/m³；

m —采样净质量，mg；

v —标准采样体积，m³。

经上述公式计算得到标准烟尘测试仪测量值。

附录 B

烟尘浓度测试仪浓度示值误差的不确定度评定实例

B.1 概述

烟尘浓度测试仪校准结果的不确定度评定主要是对质量浓度示值误差的不确定度评定，主要包括：标准器引入的不确定度及校准过程引入的不确定度。标准器引入的不确定度主要包括烟尘浓度标准装置引入的不确定度和烟尘浓度发生装置不均匀性引入的不确定度；校准过程引入的不确定度主要表现在测量重复性。

B.2 测量方法

选择 10 mg/m^3 、 25 mg/m^3 、 40 mg/m^3 的校准点分别评定不确定度。使烟尘浓度发生装置发生质量浓度分别为 10 mg/m^3 、 25 mg/m^3 、 40 mg/m^3 的烟尘。按照 7.2.1 的校准方法进行校准，记录并计算烟尘质量浓度标准值 ρ_s 和被校仪器烟尘质量浓度测量值 ρ_m ，计算烟尘浓度测试仪烟尘浓度示值误差 $\Delta\rho$ 。

B.3 测量模型

$$\Delta\rho = \rho_m - \rho_s + \rho_e \quad (\text{B.1})$$

式中：

$\Delta\rho$ —烟尘浓度示值误差， mg/m^3 ；

ρ_s —标准烟尘浓度值， mg/m^3 ；

ρ_m —被校烟尘浓度值， mg/m^3 ；

ρ_e —烟尘浓度发生装置引入修正值， mg/m^3 。

B.4 不确定度来源分析

- a) 被校烟尘测试仪烟尘浓度测量随机误差引入的不确定度；
- b) 标准烟尘测试仪引入的不确定度。

B.5 各不确定度分量评定

B.5.1 被校烟尘测试仪烟尘浓度的测量随机误差引入的不确定度 u_1

选择 1 台烟尘测试仪，分别在 10 mg/m^3 、 25 mg/m^3 、 40 mg/m^3 的条件下测量 10 次，得到 10 组被校仪器烟尘浓度测量值 ρ_m 和 10 组烟尘浓度标准值 ρ_s ，按照公式 $\Delta\rho = \rho_m - \rho_s$ 计算得到 10 个 $\Delta\rho$ 值，记为 $\Delta\rho$ ($k=1,2,3,\dots,10$)。数据列于下表。

表 B.1 10 mg/m^3 校准点烟尘浓度校准数据表

测量次数 (第 i 次)	被校烟尘浓度值(ρ_m) mg/m^3	标准烟尘浓度值(ρ_s) mg/m^3	烟尘浓度示值误差($\Delta\rho$) mg/m^3
1	9.017	10.622	-1.605
2	8.678	9.989	-1.311
3	9.324	11.419	-2.095
4	8.784	10.035	-1.251
5	8.045	9.284	-1.239
6	10.986	12.402	-1.416
7	9.593	11.121	-1.528
8	9.216	10.521	-1.305
9	9.021	10.782	-1.761
10	8.754	9.996	-1.242

表 B.2 25 mg/m^3 校准点烟尘浓度校准数据表

测量次数 (第 i 次)	被校烟尘浓度值(ρ_m) mg/m^3	标准烟尘浓度值(ρ_s) mg/m^3	烟尘浓度示值误差($\Delta\rho$) mg/m^3
1	22.354	25.268	-2.914
2	22.845	25.051	-2.206
3	22.916	25.539	-2.623
4	22.115	25.398	-3.283
5	22.016	24.973	-2.957
6	23.615	25.006	-1.391
7	22.156	24.931	-2.775
8	22.983	25.035	-2.052

JJF XXX-XXXX

9	21.954	24.772	-2.818
10	22.014	24.839	-2.825

表 B.3 40 mg/m³ 校准点烟尘浓度校准数据表

测量次数 (第 <i>i</i> 次)	被校烟尘浓度值(ρ_m) mg/m ³	标准烟尘浓度值(ρ_m) mg/m ³	烟尘浓度示值误差($\Delta\rho$) mg/m ³
1	37.554	39.826	-2.272
2	38.624	41.186	-2.562
3	37.965	41.174	-3.209
4	36.549	38.272	-1.723
5	36.158	39.424	-3.266
6	38.963	39.221	-0.258
7	40.113	42.451	-2.338
8	36.142	39.203	-3.061
9	38.569	41.289	-2.72
10	38.214	39.902	-1.688

实际校准时，测量 4 次。根据表 B.1，表 B.2，和表 B.3，被校烟尘测试仪烟尘浓度的测量随机误差引入的不确定度通过以下方式计算：

校准点为 10 mg/m³ 时：

$$\bar{\Delta\rho} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta\rho_i}{10} = -1.4753 \text{ mg/m}^3$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\rho_i - \bar{\Delta\rho})^2}{10-1}} = 0.27994 \text{ mg/m}^3$$

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{4}} = 0.1400 \text{ mg/m}^3$$

校准点为 25 mg/m³ 时：

$$\overline{\Delta\rho} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta\rho_i}{10} = -2.5844\text{mg/m}^3$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\rho_i - \overline{\Delta\rho})^2}{10-1}} = 0.5515\text{mg/m}^3$$

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{4}} = 0.2758\text{mg/m}^3$$

校准点为 40 mg/m³ 时:

$$\overline{\Delta\rho} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta\rho_i}{10} = -2.3097\text{mg/m}^3$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\rho_i - \overline{\Delta\rho})^2}{10-1}} = 0.9106\text{mg/m}^3$$

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{4}} = 0.4553\text{mg/m}^3$$

B.5.2 标准烟尘测试仪引入的不确定度 u_2

标准烟尘测试仪测量值由数学公式 $\rho_s = \frac{m}{V}$ 得到。其标准不确定度 u_2 。

u_m 是称重部分的不确定度。称重电子天平使用 D 级，最大称量大于 20g, 实际分度值 $d=0.01 \text{ mg}$ ，根据规程要求，其合格产品在 (0-500) mg 范围最大允许误差为 0.05 mg。
 u_v 是采样累计体积的不确定度。采样器累计体积不确定度主要由采样流量不确定度贡献，采样流量最大允许误差为 $\pm 2.5\%$ ，最大允许误差假设均服从均匀分布。

$$u_2 = \sqrt{c_m^2 u_m^2 + c_v^2 u_v^2} \quad (1)$$

公示(1)中 u_m 是称重不确定度, u_v 是采样流量不确定度, c_m 是称重不确定度灵敏系数, c_v 是采样流量不确定度灵敏系数。

$$u_m = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.02887 \text{mg}$$

$$u'_v = \frac{2.5\%}{\sqrt{3}} = 1.4435\%$$

$$c_m = \frac{\partial \rho}{\partial m} = \frac{1}{m}$$

$$c_v = \frac{\partial \rho}{\partial v} = -\frac{m}{v^2}$$

将上述参量代入公式(1)得:

校准点为 10 mg/m^3 时: $u_2=0.1444 \text{ mg/m}^3$ 。

校准点为 25 mg/m^3 时: $u_2=0.3609 \text{ mg/m}^3$ 。

校准点为 40 mg/m^3 时: $u_2=0.5774 \text{ mg/m}^3$ 。

B.5.3 烟尘浓度发生装置修正值引入的不确定度 u_3

在校准浓度范围内工作段中标准采样装置采样点和被校烟尘测试仪采样点四次相同测量平均值的相对误差应不大于 5%。由于校准方法采用标准器采样测试点和被校准采样测试点瞬时交换的方式, 因此由于装置不均匀提供的最大允许误差为 2.5%。按照均匀分布, 因此有:

校准点为 10 mg/m^3 时: $u_3 = \frac{2.5\%}{\sqrt{3}} \times 10 = 0.1444 \text{ mg/m}^3$ 。

校准点为 25 mg/m^3 时: $u_3 = \frac{2.5\%}{\sqrt{3}} \times 25 = 0.3609 \text{ mg/m}^3$ 。

校准点为 40 mg/m^3 时: $u_3 = \frac{2.5\%}{\sqrt{3}} \times 40 = 0.5774 \text{ mg/m}^3$ 。

B.6 合成标准不确定度的评定

B.6.1 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta \rho}{\partial \rho_m} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta \rho}{\partial \rho_s} = -1$$

$$c_3 = \frac{\partial \Delta \rho}{\partial \rho_e} = 1$$

A.6.2 标准不确定度汇总表

表 B.4 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i		不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u_i$
校准点: 10 mg/m ³	u_1	被校烟尘测试仪烟尘浓度的测量随机误差引入的不确定度	0.1400 mg/m ³	-1	0.1400 mg/m ³
校准点: 25mg/m ³			0.2758 mg/m ³		0.2758 mg/m ³
校准点: 40 mg/m ³			0.4553 mg/m ³		0.4553mg/m ³
校准点: 10 mg/m ³	u_2	烟尘浓度标准值的系统误差引入的不确定度	0.1444 mg/m ³	-1	0.1444 mg/m ³
校准点: 25mg/m ³			0.3609 mg/m ³		0.3609 mg/m ³
校准点: 40 mg/m ³			0.5774 mg/m ³		0.5774 mg/m ³
校准点: 10 mg/m ³	u_3	烟尘浓度发生装置修正值引入的不确定度	0.1444 mg/m ³	1	0.1444 mg/m ³
校准点: 25mg/m ³			0.3609 mg/m ³		0.3609 mg/m ³
校准点: 40 mg/m ³			0.5774 mg/m ³		0.5774 mg/m ³

B.6.3 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2}$$

代入表 A.4 中各数值，得：

校准点为 10 mg/m^3 时： $u_c=0.2475 \text{ mg/m}^3$

校准点为 25 mg/m^3 时： $u_c=0.5802 \text{ mg/m}^3$

校准点为 40 mg/m^3 时： $u_c=0.9350 \text{ mg/m}^3$

B.7 扩展不确定度

扩展不确定度： $U = k \times u_c$ ，取 $k = 2$ ，得：

校准点为 10 mg/m^3 时： $U=0.495 \text{ mg/m}^3$

校准点为 25 mg/m^3 时： $U=1.161 \text{ mg/m}^3$

校准点为 40 mg/m^3 时： $U=1.870 \text{ mg/m}^3$

附录 C

烟尘浓度测试仪流速示值误差的不确定度评定实例

C.1 概述

烟尘浓度测试仪流速示值误差的不确定度主要包括：标准器引入的不确定度及校准过程引入的不确定度。标准器引入的不确定度主要包括标准流速计引入的不确定度和烟尘流速装置不均匀性引入的不确定度；校准过程引入的不确定度主要表现在测量重复性。

C.2 测量方法

选择 5 m/s 和 20 m/s 的校准点分别评定不确定度。使烟尘浓度发生装置流速分别为 5 m/s 和 20 m/s。按照 7.2.2 的校准方法进行校准，记录并计算流速标准值 v_s 和被校仪器流速测量值 v_m ，计算烟尘浓度测试仪流速示值误差 Δv 。

C.3 测量模型

$$\Delta v = v_m - v_s \quad (\text{C.1})$$

式中：

Δv —流速示值误差，m/s；

v_m —被校烟尘测试仪流速测量平均值，m/s；

v_s —标准流速测量平均值，m/s。

C.4 不确定度来源分析

- a) 被校烟尘测试仪流速测量随机误差引入的不确定度；
- b) 标准流速测量的系统误差引入的不确定度。

C.5 各不确定度分量评定

C.5.1 被校烟尘测试仪流速测量随机误差引入的不确定度 u_1

C5.1.1 装置流速设定为 5 m/s,将被校烟尘测试仪在重复性条件下进行 10 次测量,得到 10 组被校仪器流速示值 v_m 和 10 组标准值 v_s 。按照公式 $\Delta v=v_m-v_s$ 计算得到 10 个 Δv 值,记为 Δv ($k=1,2,3,\dots,10$)。数据列于下表。

表 C.1 流量校准数据表

测量次数 (第 i 次)	被校烟尘测试仪流速值 (v_m) m/s	标准流速值(v_s) m/s	流速测量示值误差 (Δv)m/s
1	5.23	5.35	-0.12
2	5.39	5.44	-0.05
3	5.33	5.48	-0.15
4	5.31	5.28	0.03
5	5.22	5.12	0.1
6	5.28	5.34	-0.06
7	5.39	5.32	0.07
8	5.28	5.22	0.06
9	5.25	5.18	0.07
10	5.27	5.16	0.11

实际校准时,测量 4 次。根据表 C.1,被校烟尘测试仪流速测量随机误差引入的不确定度通过以下方式计算:

$$\overline{\Delta v} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta v_i}{10} = 0.06\text{m/s} \quad (\text{C1})$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta v_i - \overline{\Delta v})^2}{10-1}} = 0.0938 \text{ m/s}$$

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{4}} = 0.0469\text{m/s}。$$

C5.1.2 装置流速设定为 20 m/s,将被校烟尘测试仪在重复性条件下进行 10 次测量,得到

10组被校仪器流速示值 v_m 和 10组标准值 v_s 。代入公式 B.1，得到 10个 Δv 值，记为 Δv ($k=1,2,3,\dots,10$)。数据列于下表。

表 C.2 流量校准数据表

测量次数 (第 i 次)	被校烟尘测试仪流速值 (v_m) m/s	标准流速值(v_s) m/s	流速测量示值误差 (Δv)m/s
1	19.82	19.46	0.36
2	19.56	19.23	0.33
3	19.77	20.03	-0.26
4	19.21	19.64	-0.43
5	18.89	19.31	-0.42
6	19.67	18.97	0.7
7	18.69	18.98	-0.29
8	19.73	19.64	0.09
9	20.11	19.83	0.28
10	19.52	19.45	0.07

实际校准时，测量 4 次。根据表 C.2，被校烟尘测试仪流速测量随机误差引入的不确定度通过以下方式计算：

$$\bar{\Delta v} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta v_i}{10} = 0.43 \text{ m/s} \quad (\text{C2})$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta v_i - \bar{\Delta v})^2}{10-1}} = 0.3822 \text{ m/s}$$

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{4}} = 0.1911 \text{ m/s}。$$

C.5.2 标准流速测量的系统误差引入的不确定度 u_2

标准流速仪的流速测量扩展不确定度不大于 1.5%， $k=2$ 。因此：

$$u_2 = \frac{1.5\%}{2} = 0.75\%。$$

C.6 合成标准不确定度的评定

C.6.1 灵敏系数

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

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

C.6.2 标准不确定度汇总表

表 C.3 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i		不确定度来源	标准不确定度	c_i	$ c_i u_i$
校准点: 5m/s	u_1	被校烟尘测试仪流速测量随机误差引入的不确定度	0.0469 m/s	-1	0.0469 m/s
校准点: 20m/s			0.1911 m/s		0.1911 m/s
校准点: 5m/s	u_2	标准流速仪的系统误差引入的不确定度	0.0375 m/s	-1	0.0375 m/s
校准点: 20m/s			0.1500 m/s		0.1500 m/s

C.6.3 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2}$$

代入表 A.4 中各数值，得：

校准点为 5 m/s 时： $u_c=0.05$ m/s

校准点为 20 m/s 时： $u_c=0.20$ m/s

C.7 扩展不确定度

扩展不确定度： $U = k \times u_c$ ，取 $k=2$ ，得：

校准点为 5 m/s 时： $U=0.1$ m/s

校准点为 20 m/s 时： $U=0.4$ m/s

附录 D

批注 [XLMI]: 补充校准证书格式表格

烟尘测试仪校准原始记录格式 (参考)

送校单位: _____

仪器型号: _____ 仪器编号: _____ 制造厂商: _____

校准环境温度: _____ °C 湿度: _____ %RH

校准依据: _____ 校准用标准和装置: _____

一、校准前准备: _____

二、计量性能校准:

1. 初始烟尘浓度示值误差								
标准示值 ρ_s (mg/m ³)				被校仪器示值 ρ_m (mg/m ³)				示值误差 $\Delta\rho$ (%)
2. 赋值后烟尘浓度示值误差								
标准示值 ρ_s (mg/m ³)				被校仪器示值 ρ_m (mg/m ³)				示值误差 $\Delta\rho$ (%)
3. 流速示值误差								
标准流速值 v_s (m/s)			被校仪器流速值 v_s (m/s)			示值误差 Δv (%)		

JJF XXX-XXXX

4. 等速跟踪响应时间						
次数	1	2	3	4	5	6
时间/s						
等速跟踪响应时间 (s)						
5. 烟气温度示值误差						
标准温度计示值 T_s (°C)	标准温度计示值 T_m (°C)		示值误差 ΔT (°C)			
6. 计时误差						
电子秒表计时 t_s (s)	被校仪器计时器设定值 t_m (s)			计时误差 Δt (s)		

校准员：_____

核验员：_____

日期：_____

日期：_____

附录 E

烟尘测试仪校准证书(内页)格式（参考）

校准项目	校准结果		
烟尘浓度示值误差	标准浓度值	仪器浓度示值	示值误差
赋值后烟尘浓度示值误差	标准浓度值	仪器浓度示值	示值误差
流速示值误差			
等速跟踪响应时间			
烟气温度示值误差			
计时误差			
注：			

JJF XXX-XXXX

第×页 共×页
