JJF

中华人民共和国国家计量校准规范

JJF xxxx-202x

环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准规范

On-site Calibration Specification of Continuous automated monitoring system for ambient air particulate matter ($PM_{2.5}$)

（征求意见稿）

202x-xx-xx 发布　　202x-xx-xx 实施

国 家 市 场 监 督 管 理 总 局 发布

环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准规范

JJF 202x -xxxx

On-site Calibration Specification of Continuous automated monitoring system for ambient air particulate matter（$PM_{2.5}$）

归 口 单 位：全国生态环境监管专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

中国环境监测总站

青岛市计量技术研究院

本规范委托全国生态环境监管专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

张文阁（中国计量科学研究院）

王 瑜(中国环境监测总站)

刘巍（青岛市计量技术研究院）

参加起草人：

目　　录

目　　录.....I
引　　言.....II
1　范围.....1
2　引用文件.....1
3　概述.....1
4　计量特性.....2
5　校准条件.....2
6　校准项目和校准方法.....3
7　校准结果.....7
8　复校时间间隔.....7
附录 A 盐溶液单分散颗粒物发生器.....8
附录 B 示值误差的测量不确定度评定示例.....10

引　　言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等共同构成本规范制定的基础性系列规范。

本规范的术语与技术指标参考了 GB/T 31159-2014《大气气溶胶观测术语》、HJ 653-2021 《环境空气颗粒物（PM_{10} 和 $PM_{2.5}$）连续自动监测系统技术要求及检测方法》和 JJF 1659-2017《$PM_{2.5}$ 质量浓度测量仪校准规范》等技术法规、标准。

本规范为首次发布。

环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准规范

1　范围

本规范适用于环境质量考核评价时的环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统的现场校准。~~其它应用场合的质量浓度测量仪可参照本规范进行校准。~~

2　引用文件

GB/T 31159　《大气气溶胶观测术语》

JJF 1659　《$PM_{2.5}$质量浓度测量仪校准规范》

HJ 653　《环境空气颗粒物（PM_{10}和$PM_{2.5}$）连续自动监测系统系统要求及检测方法》

凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

3　概述

环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统（以下简称系统）用于连续自动测量环境空气中的空气动力学直径≤2.5μm的颗粒物质量浓度的系统。系统根据样品测量原理的不同，分为光散射法、β射线法和振荡天平法等。系统主要由$PM_{2.5}$样品采集单元、样品测量单元、数据处理单元、显示单元及其他辅助设备（包括所需要的机柜或平台、安装固定装置、采样泵、流量校准适配器、气密性检查适配器和其他质控装置）组成。系统的工作原理为：样品采集单元将环境空气颗粒物进行切割分离并输送到样品测量单元，样品测量单元对$PM_{2.5}$颗粒物样品进行测量，数据处理单元将测量结果进行分析、计算、存储和传输，最后由显示单元输出和显示测量结果，其他辅助设备用于对设备进行质控和辅助测试，保障数据和系统的稳定可靠。工作原理见图1。

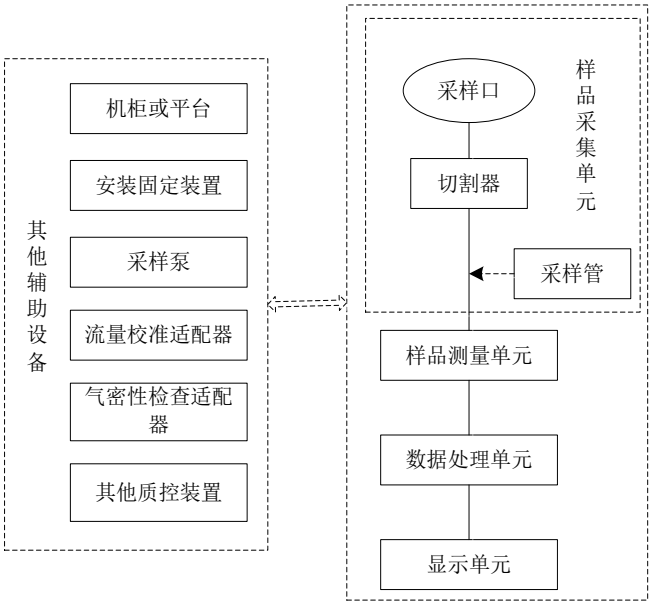

图 1　仪器测量原理

4　计量特性

4.1　流量示值误差：± 5%。

4.2　流量重复性：2%。

4.3　计时示值误差：最大允许误差± 3 s。

4.4　浓度示值误差：≤50μg/m^3 时，±15μg/m^3。

>50μg/m^3 时，±15%。

4.5　气路温度示值误差：± 2 ℃。

4.6　气路湿度示值误差：±4%RH。

4.7　大气压示值误差：± 1 kPa。

以上指标不适用于仪器设备的合格性判定，仅供参考。

5　校准条件

5.1　校准环境条件

5.1.1 环境温度：样品采集单元工作环境温度（-30~ 50）℃，样品测量单元、数据处理单元和显示单元的工作环境温度（15 ~ 35）℃。

5.1.2 环境湿度：≤85%RH。

5.1.3 大气压：80kPa~106kPa。

5.1.4 供电电压：AC（220 ± 22）V，频率：（50 ± 1）Hz。

注：低温、低压等特殊环境下，系统配置应满足当地环境条件的使用要求。

5.2　系统要求

系统运行与测量功能正常；仪器必须配套符合出厂基本要求的 $PM_{2.5}$ 切割器，50%切割粒径 Da_{50} = 2.5μm±0.2μm，捕集效率的几何标准偏差σ_g=1.2±0.1。

5.3 测量标准及其他设备

5.3.1　流量标准装置：准确度级别不低于 1.5 级。

5.3.2　秒表：分度值 0.01 s。

5.3.3　气压计：最大允许误差为±2.5hPa。

5.3.4　温度计：范围（-10 ~ 100）℃，最大允许误差为±0.2 ℃。

湿度计：范围（0~99）%RH，最大允许误差±2%RH。

5.3.5 颗粒物发生装置

可发生浓度高低可控、混合均匀的颗粒物设备，其浓度发生范围为（10~1000）μg/m^3，校准采样口的质量浓度的最大允许误差不超过±7ug/m^3（≤50 ug/m^3）或±7%(＞50ug/m^3)颗粒物发生装置可选用盐性物质、粉尘或者其他合适材料的混合物；能够满足（0~20）L/min 的采样流量要求。

以盐溶液单分散颗粒物发生器为例：其可发生浓度高低可控、混合均匀的单分散颗粒物设备，其浓度发生范围为（10~1000）μg/m^3，最大允许误差不超过±7ug/m^3（≤50 ug/m^3）或±7%(＞50ug/m^3)；使用的标准物质为氯化钠标准物质（纯度 99.995%，U_{rel}≤0.005%，k=2）、氯化钠标准溶液（U_{rel}≤0.2%，k=2）或其他适宜的标准物质。盐溶液单分散颗粒物发生器的溯源周期不得超过 1 年，溯源方法应符合附录 A 的规定。

6　校准项目和校准方法

6.1 校准前准备

系统所有紧固件均应安装牢固，连接件应连接良好，各调节旋钮、按键和开关均能正常工作，无松动现象，电缆线的接插件应接触良好，气路连接正确保证

无漏气现象，数显部位显示清晰完整。系统通电后应按厂家操作手册通电预热稳定。

6.2 流量示值误差

除去被校系统采样雨帽及PM_{10}切割器，保留$PM_{2.5}$切割器，将流量标准装置与被校系统采样口相连，开启系统进行正常采样，待系统显示的流量稳定后，分别读取标准流量值和被校系统流量示值（均为工况）3次，按公式（1）计算瞬时流量示值误差。

$$\Delta Q = \frac{\bar{Q}_{\mathrm{m}} - \bar{Q}_{\mathrm{s}}}{\bar{Q}_{\mathrm{s}}} \times 100\% \tag{1}$$

式中：ΔQ——流量示值误差；

$\bar{Q}_{\mathrm{m}}$——被校系统流量示值的算术平均值，L/min；

$\bar{Q}_{\mathrm{s}}$——流量标准装置测量值的算术平均值，L/min；

6.3 流量重复性

使用流量标准装置测量被校系统工况流量，重复测量 6 次，按公式（2）计算流量重复性。

$$s_r = \frac{1}{\bar{Q}_{\mathrm{R}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{R,i} - \bar{Q}_{\mathrm{R}})^2}{n-1}} \times 100\% \tag{2}$$

式中：s_r——系统的流量重复性；

$Q_{R,\mathrm{i}}$——第i次的测量结果，L/min；

$\bar{Q}_{\mathrm{R}}$——系统流量的算术平均值，L/min；

n ——测量次数；

6.4 浓度示值误差

6.4.1 首次校准

被校系统安装、调试、试运行后，或维修后，未连接到国家/地方环境监测网前，进行首次校准。使用盐溶液单分散颗粒物发生器分别发生质量浓度为 50μg/m^3、100μg/m^3、200μg/m^3 的颗粒物气体或者被测浓度范围 20%、50%、80%的颗粒物气体。产生的颗粒物气体沿采样口通入被校系统，保持校准状态与日常使用状态一致，在每个浓度点分别测量 2 次并记每个浓度点被校系统 $PM_{2.5}$ 质量浓度测量

值，当颗粒物气体浓度≤50μg/m^{3}时，按公式（3）计算仪器在每个浓度点的浓度示值误差；当颗粒物气体浓度＞50μg/m^{3}时，按公式（4）计算仪器在每个浓度点的浓度示值误差。

$$\triangle\rho = \bar{\rho}_m - \rho_s \tag{3}$$

$$\triangle\rho = \frac{(\bar{\rho}_m - \rho_s)}{\rho_s} \times 100\% \tag{4}$$

式中：$\Delta\rho$ —浓度示值误差；

ρ_s—颗粒物气体标准质量浓度值，μg/m^3；

$\bar{\rho}_m$—被校系统质量浓度测量值的算术平均值，μg/m^3。

6.4.2 后续校准

被校系统在连接到国家/地方环境监测网时，进行后续校准。使用盐溶液单分散颗粒物发生器发生质量浓度为 100μg/m^3 的颗粒物气体或者被测浓度范围 50%的颗粒物气体。产生的颗粒物气体沿采样口通入被校系统，保持校准状态与日常使用状态一致，在每个浓度点分别测量 2 次并记录被校系统 $PM_{2.5}$ 质量浓度测量示值，当颗粒物气体浓度≤50μg/m^{3}时，按公式（3）计算仪器在每个浓度点的浓度示值误差；当颗粒物气体浓度＞50μg/m^{3}时，按公式（4）计算仪器在每个浓度点的浓度示值误差。。

6.5 计时示值误差

在被校系统正常工作过程中，读取并记录系统显示的时间为开始时间t_0，同时启动秒表开始计时，当运行1h时，分别读取并记录被校系统显示时间t_1和秒表显示时间t_2。按公式（4）计算计时示值误差。

$$\Delta t = t_1 - t_0 - t_2 \tag{4}$$

式中：Δt ——计时示值误差，s

t_0 ——被校系统开始时间，（时-分-秒）；

t_1 ——被校系统结束时间，（时-分-秒）；

t_2 ——秒表显示时间，（时-分-秒）。

6.6 气路温度示值误差

断开采样管与被校系统主机连接，保持待测监测仪正常运行（如采样管配备

动态加热系统，则在测试时将动态加热系统关闭），待采样管与室内温度平衡后，将标准温度计的探头插入样气入口(3-5)cm 处，待标准温度计读数稳定后分别读取并记录标准温度计温度值 T_s 和被校系统显示温度值 T_m，按公式（5）计算气路温度示值误差：

$$\Delta T = T_m - T_s \tag{5}$$

式中：ΔT——温度示值误差，℃；

T_m——被校系统显示温度示值，℃；

T_s——标准温度计温度示值，℃。

6.7 气路湿度示值误差

断开采样管与系统主机连接，保持待测监测仪正常运行（如采样管配备动态加热系统，则在测试时将动态加热系统关闭），待采样管与室内温度平衡后，将标准湿度计的探头插入样气入口(3-5)cm 处，待标准湿度计读数稳定后分别读取并记录标准湿度计湿度值 H_s 和被校系统显示湿度值 H_m，按公式（6）计算示值误差：

$$\Delta H = H_m - H_s \tag{6}$$

式中：ΔH——湿度示值误差，℃；

H_m——被校系统显示湿度示值，℃；

H_s——标准湿度计温度示值，℃。

6.8 大气压示值误差

将标准气压计置于被校系统气压传感器旁同一高度处，分别读取并记录标准压力值p_s和被校仪器显示压力值p_m，按公式（7）计算被校仪器大气压示值误差。

$$\Delta p = p_m - p_s \tag{7}$$

式中：Δp——大气压示值误差，kPa；

p_m——被校仪器压力示值，kPa；

p_s——标准气压计压力示值，kPa。

7　校准结果

对校准后的环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统出具校准证书。校准证书格式见附录 C。

8　复校时间间隔

复校时间间隔由使用者根据仪器使用情况、仪器本身性能等因素决定，推荐复校时间间隔不超过 1 年。

附录 A

盐溶液单分散颗粒物发生器

本装置工作原理图如下：

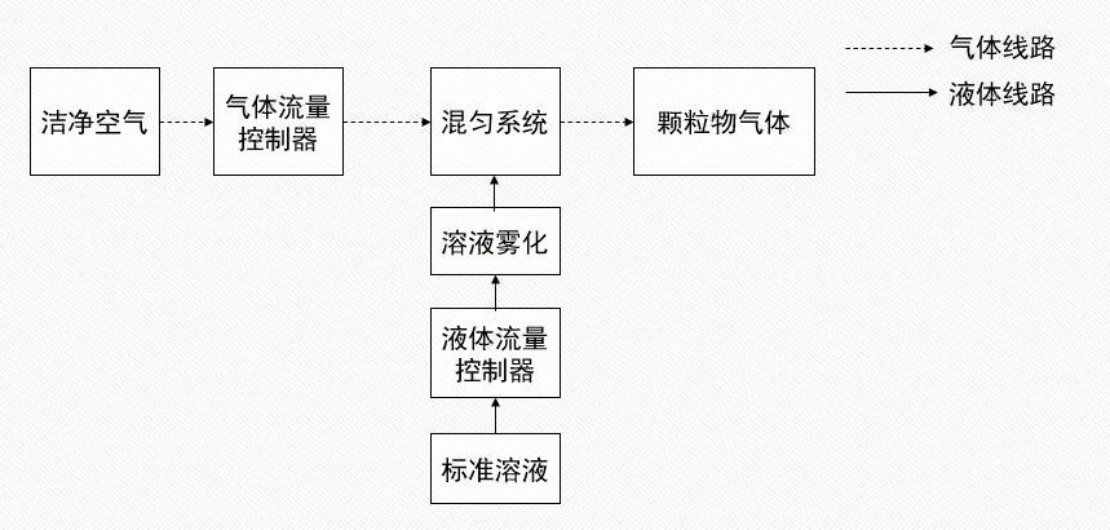

图 A.1 盐溶液单分散颗粒物发生器工作原理图

A.1 工作原理

标准溶液以恒定的流速流入到雾化系统，形成均匀的小液滴从雾化碰头喷出，洁净空气作为稀释气与液滴进入混匀管，混匀、干燥后形成单一粒径、质量浓度稳定的单分散颗粒物气体。

颗粒物气体的质量浓度可通过公式A.1进行计算：

$$\rho = \frac{10^6 cV}{60Q} \qquad \text{（公式 A.1）}$$

式中：

ρ——颗粒物气体的质量浓度，μg/m^3;

c——标准溶液浓度，g/L;

V——标准溶液的进液流量，mL/h;

Q——洁净稀释空气的气体流量，L/min。

A.2 技术要求

A.2.1 发生器质量浓度测量范围：（10~500）μg/m^3

A.2.2 发生器最大允许误差不超过±7ug/m^3（≤50 ug/m^3）或±7%(＞

50ug/m^3)。

A.3 发生器示值误差

使用盐溶液单分散颗粒物发生器发生质量浓度为 50 μg/m^3、100 μg /m^3、200 μg /m^3 或被测浓度范围 20%、50%、80%的颗粒物气体，通过滤膜采样称重、重量法标准装置或高精度的质量浓度测量仪，在每个浓度点分别测量 3 次并记录每个浓度点滤膜采样称重、重量法标准装置或高精度的质量浓度测量仪的测量值，当颗粒物气体浓度≤50μg/m^3 时，按公式（A.2）计算仪器在每个浓度点的浓度示值误差；当颗粒物气体浓度＞50μg/m^3 时，按公式（A.3）计算仪器在每个浓度点的浓度示值误差。

$$\triangle \rho = \rho - \overline{\rho_s} \qquad \text{公式（A.2）}$$

$$\triangle \rho = \frac{(\rho - \overline{\rho_s})}{\overline{\rho_s}} \times 100\% \qquad \text{公式（A.3）}$$

式中：$\Delta\rho$——浓度示值误差；

ρ——发生器设定的颗粒物气体质量浓度，μg/m^3；

$\overline{\rho_s}$——滤膜采样称重、重量法标准装置或高精度的质量浓度测量仪测量值的算术平均值，μg/m^3。

附录 B

示值误差的测量不确定度评定示例

B.1 概述

使用盐溶液单分散颗粒物发生器发生不同质量浓度的颗粒物气体后通入系统，待示值稳定后，读取被校系统示值，重复测量 2 次，并计算其平均值，与颗粒物气体标准质量浓度值进行比较，并计算得到质量浓度示值误差 Δc。

B.2 测量模型

$$\Delta c = \frac{c_m - c_s}{c_s} \times 100\% = \left(\frac{c_m}{c_s} - 1\right) \times 100\% \qquad (B.1)$$

式中：c_s——颗粒物气体标准质量浓度值，μg/m^3；

c_m——被校系统测量示值的算术平均值，μg/m^3；

Δc——被校系统浓度示值误差;

B.3 输入量的不确定度来源分析

由式 B.1 可以得到，质量浓度示值误差不确定度的来源主要包括：被校系统浓度测量值引入的不确定度分量和颗粒物发生器引入的不确定度分量。

1. 被校系统引入的不确定度分量$u_r(C_m)$，包括：

1) 被校系统测量重复性引入的标准不确定分量$u_r(C_{m1})$；

2) 被校系统分辨力引入的标准不确定度分量$u_r(C_{m2})$（可忽略）。

被校系统测量重复性引入的标准不确定度分量和系统分辨力引入的标准不确定度分量合成作为被校系统引入的标准不确定度分量。

2. 颗粒物发生器引入的标准不确定度分量$u_r(C_s)$，包括：

1) 颗粒物发生器引入的标准不确定度分量$u_{r1}(C_s)$；

A）发生器发生颗粒物气体理论质量浓度引入的不确定度$u_{r2}(c_{s1})$；

B）发生器稳定性引入的不确定度$u_{r2}(c_{s2})$；

2）颗粒物发生器溯源性引入的标准不确定度分量$u_{r2}(C_s)$。

颗粒物发生器引入的标准不确定度分量和装置溯源性引入的标准不确定度分量合成作为颗粒物发生器的标准不确定度分量。

B.4 不确定度分量的评定$u_{cr}(\Delta c)$

B.4.1 被校系统测量重复性引入的标准不确定分量$u_r(C_m)$

在重复测量条件下，颗粒物发生器发生一定浓度的颗粒物气体，连续测量 2 次，测得数据见表 B.1.

表 B.1 重复性测量结果

标准值（μg/m³）	被校准仪器示值（μg/m³）		极差（μg/m³）	测量重复性引入的标准不确定度（%）
	1	2		
50.0	48.5	47.3	1.2	1.51%

实际测量时，在重复条件下连续测量 2 次，以 2 次测量的平均值作为测量结果，依据极差法，测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u_r(C_m) = u_r(C_{m1}) = \frac{1.2\mu g/m^3}{1.13 \times 50\mu g/m^3 \times \sqrt{2}} \times 100\% = 1.51\%$$

B.4.2　颗粒物发生器引入的不确定度$u_r(C_s)$

B.4.2.1 装置发生重复性引入的不确定度$u_{r1}(C_s)$：

颗粒物发生器引入的不确定度主要包括发生器发生颗粒物气体理论质量浓度引入的不确定度$u_{r1}(c_{s1})$和发生器稳定性引入的不确定度$u_{r1}(c_{s2})$组成。

发生器发生颗粒物气体理论质量浓度主要由标准溶液氯化钠浓度引入的不确定度、标准溶液氯化钠的进液量引入的不确定度和稀释空气气体流量引入的不确定度，其不确定度为 3%（*k*=2），因此其相对标准不确定度$u_{r1}(c_{s1})$为：

$$u_{r1}(c_{s1}) = \frac{3\%}{2} = 1.5\%$$

发生器稳定性不大于 3%，假设其为均匀分布，因此发生器稳定性引入的不确定度$u_{r2}(c_{s2})$为

$$u_{r1}(c_{s2}) = \frac{3\%}{\sqrt{3}} = 1.8\%$$

故：颗粒物发生器引入的不确定度$u_{r1}(C_s)$

$$u_{r1}(C_s) = \sqrt{u_{r1}(c_{s2})^2 + u_{r1}(c_{s2})^2} = 2.3\%$$

B.4.2.2 装置溯源性引入的不确定度$u_{r2}(C_s)$：

滤膜采样装置或重量法标准装置得不确定度 5%（*k*=2），因此其相对标准不确定度为：

$$u_{r2}(C_s) = \frac{5\%}{2} = 2.5\%$$

因此，可以得到：

$$u_r(C_s) = \sqrt{u_{r1}^2(C_s) + u_{r2}^2(C_s)} = \sqrt{(2.3\%)^2 + (2.5\%)^2} = 3.4\%$$

B.5相对合成标准不确定度

计算得到相对合成标准不确定度：

$$u_{cr}(\triangle c) = \sqrt{u_r^2(C_m) + u_r^2(C_s)} = \sqrt{(1.51\%)^2 + (3.4\%)^2} = 3.72\%$$

B.6 扩展不确定度

取 *k*=2，则扩展不确定度为：

$$U(\Delta c) = k \times u_{cr}(\Delta c) = 2 \times 3.72\% = 8\%$$