



中华人民共和国国家环境保护标准

HJ□□□-201□

环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续监测系统技术要求 及检测方法（试行）

Specifications and Test Procedures for Ambient Air Quality Continuous
Monitoring System for PM₁₀ and PM_{2.5} (on trial)

（征求意见稿）

201□-□□-□□发布

201□-□□-□□实施

环 境 保 护 部 发布

目 次

前 言.....	II
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 系统组成与原理.....	3
5 技术要求.....	3
6 性能指标.....	4
7 检测方法.....	6
8 检测项目.....	17

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》和《环境空气质量标准》(GB 3095-2012),规范环境空气中颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})连续监测系统的性能、质量,制定本标准。

本标准规定了环境空气质量颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})连续监测系统(以下简称PM₁₀和PM_{2.5}系统)的技术要求、性能指标和检测方法。

本标准为首次发布。

本标准由环境保护部科技标准司组织制订。

本标准主要起草单位:中国环境监测总站。

本标准环境保护部201□年□□月□□日批准。

本标准自201□年□□月□□日起实施。

本标准由环境保护部解释。

环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续监测系统技术要求及检测方法（试行）

1 适用范围

本标准规定了PM₁₀和PM_{2.5}系统的技术要求、性能指标和检测方法。

本标准适用于环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续监测系统的设计、生产和检测。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB 3095-2012	环境空气质量标准
GB 5080.6	设备可靠性实验室 恒定失效率假设的有效性检验(IEC 605-6:1989)
GB/T 17214.1	工业过程测量和控制装置工作条件 第1部分：气候条件
HJ/T 93-2003	PM ₁₀ 采样器技术要求及检测方法
HJ/T 193-2005	环境空气质量自动监测技术规范
HJ 618-2011	环境空气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的测定 重量法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

空气动力学直径 aerodynamic diameter

指单位密度（ $\rho_0=1\text{g/cm}^3$ ）的球体，在静止空气中作低雷诺数运动时，达到与实际粒子相同的最终沉降速度时的直径。

3.2

切割器 particle separate device

指具有将不同粒径粒子分离功能的装置。

3.3

50% 切割粒径 (Da_{50}) 50% cutpoint

指切割器对颗粒物的捕集效率为50%时所对应的粒子空气动力学当量直径。

3.4

颗粒物（粒径小于等于10 μm ） particulate matter (PM₁₀)

指环境空气中空气动力学当量直径小于等于10 μm 的颗粒物，也称可吸入颗粒物。

3.5

颗粒物（粒径小于等于2.5 μm ） particulate matter (PM_{2.5})

指环境空气中空气动力学当量直径小于等于2.5 μm 的颗粒物，也称细颗粒物。

3.6

标准状态 standard state

指温度为 273K，压力为 101.325kPa 时的状态。本标准污染物浓度值均为标准状态下浓度。

3.7

工作点流量 air flow rate

指系统在工作环境条件下，采气流量保持定值，该流量值称为系统的工作点流量。

3.8

参比方法 reference method

国家发布的标准方法。

3.9

捕集效率的几何标准差 (σ_g) geometric standard deviation of sampling efficiency

切割器对颗粒物的捕集效率有以下两种表述方法：

(1) 捕集效率为 16%时对应的粒子空气动力学直径 Da_{16} 与捕集效率为 50%时对应的粒子空气动力学直径 Da_{50} 的比值；

(2) 捕集效率为 50%时对应的粒子空气动力学直径 Da_{50} 与捕集效率为 84%时对应的粒子空气动力学直径 Da_{84} 的比值。

上述两个比值均应满足 $\sigma_g = 1.2 \pm 0.1$ 的要求。计算公式见 (1)、(2) 式：

$$\sigma_g = \frac{D_{a16}}{D_{a50}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_g = \frac{D_{a50}}{D_{a84}} \dots\dots\dots (2)$$

式中： σ_g -----捕集效率的几何标准差；

Da_{16} -----切割器对颗粒物的捕集效率为 16%时对应的粒子空气动力学直径， μm ；

Da_{50} -----切割器对颗粒物的捕集效率为 50%时对应的粒子空气动力学直径， μm ；

Da_{84} -----切割器对颗粒物的捕集效率为 84%时对应的粒子空气动力学直径， μm 。

3.10

参比数据有效性 data validation

指至少 3 台相同类型的采样器在相同环境条件下，同时测量同一样品，获得至少 3 个测试数据的标准偏差或相对标准偏差。

3.11

仪器平行性 precision of monitors

指每一批次数据结果的均方根。

3.12

气溶胶传输效率 aerosol transport efficiency

指通过采样管进入监测仪的气溶胶量与进入采样管前气溶胶总量的百分比。

4 系统组成与原理

4.1 系统的组成

PM₁₀ 或 PM_{2.5} 系统包括样品采集单元、样品分析单元、数据采集和传输单元以及其他辅助设备。

4.1.1 样品采集单元

样品采集单元由采样入口、切割器和采样管等组成。将环境空气颗粒物进行切割分离，并将目标颗粒物输送到样品分析单元。

4.1.2 样品分析单元

样品分析单元对采集的环境空气 PM₁₀ 或 PM_{2.5} 样品进行分析。

4.1.3 数据采集和传输单元

数据采集和传输单元采集、处理和存储监测数据，并能按中心计算机指令传输监测数据和设备工作状态信息。

4.1.4 其他辅助设备

其他辅助设备包括安装仪器设备所需要的机柜或平台、安装固定装置、采样泵等。

4.2 方法原理

PM₁₀ 和 PM_{2.5} 系统所配置监测仪器的分析方法为 β 射线吸收法和微量振荡天平法。

5 技术要求

5.1 外观要求

5.1.1 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 系统应有产品铭牌，铭牌上应标有仪器名称、型号、生产单位、出厂编号、制造日期。

5.1.2 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 系统应完好无损，无明显缺陷，各零、部件连接可靠，各操作键、按钮灵活有效。

5.2 环境条件

5.2.1 切割器在以下环境条件中应能正常工作：

环境温度：(-30~50)℃；

相对湿度：(0~100)%；

大气压：(50~106)kPa。

5.2.2 监测仪在以下环境条件中应能正常工作：

环境温度：(15~35)℃；

相对湿度：≤85%；

大气压：(50~106)kPa。

5.2.3 供电电压

(220±22)V, (50±1)Hz。

5.3 安全要求

5.3.1 绝缘电阻

在环境温度为(15~35)℃，相对湿度≤85%条件下，监测仪电源端子对地或机壳的绝缘电阻不小于 20MΩ。

5.3.2 绝缘强度

在环境温度为(15~35)℃,相对湿度≤85%条件下,自动监测仪在1500V(有效值)、50Hz正弦波实验电压下持续1min,不应出现击穿或飞弧现象。

5.4 功能要求

5.4.1 滤膜要求

在规定膜面流速下,PM₁₀采样滤膜要求对0.3μm颗粒物的截留效率≥99%,PM_{2.5}采样滤膜要求对0.3μm颗粒物的截留效率≥99.7%;

5.4.2 具备显示和设置系统时间的功能及时间标签功能,数据为相应时段的平均值;

5.4.3 具备记录或输出工作过程中的大气压、环境温度、流量和浓度等数据的功能;

5.4.4 具备模拟信号和数字信号输出功能,可输出和记录标准状态质量浓度的功能。

6 性能指标

6.1 PM₁₀系统的主要性能指标

6.1.1 浓度测量范围

0~1,000μg/m³或0~10,000μg/m³(可选),最小显示单位1μg/m³。

6.1.2 PM₁₀切割器性能指标

50%切割粒径: $Da_{50} = (10 \pm 0.5) \mu\text{m}$;

捕集效率的几何标准差: $\sigma_g = 1.5 \pm 0.1$ 。

6.1.3 时钟误差

(1) 在监测仪正常工作状态下测试6h,时钟误差±20s。

(2) 断开监测仪的供电总计5次(各次断电的持续时间分别为20s、40s、2min、7min和20min,且在每次断电之间应保证不少于10min正常电力供应),测试6h,时钟误差±2min。

6.1.4 温度准确度

在(-30~50)℃范围内,温度测量准确度±2℃。

6.1.5 大气压准确度

在(80~106)kPa范围内,大气压测量准确度≤1kPa。

6.1.6 流量稳定性

24h内,每一次测试时间点流量变化±10%设定流量,24h平均流量变化±5%设定流量。

6.1.7 校准膜重现性

监测仪校准膜重现性±2%(标称值)。

6.1.8 电压稳定性

供电电压变化±10%,监测仪标准膜测量值的变化±2%满量程。

6.1.9 仪器平行性

仪器平行性≤10%。

6.1.10 参比方法比对测试

使用参比方法进行至少10组有效数据的比对测试,测试结果进行线性回归分析,符合以下要求:

斜率: 1 ± 0.15 ;

截距： $(0\pm 10)\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

相关系数 ≥ 0.95 。

6.1.11 无人值守工作时间

系统连续运行 90 天，有效数据率不低于 90%，最小维护时间间隔不小于 7 天。

6.2 $\text{PM}_{2.5}$ 系统的主要性能指标

6.2.1 浓度测量范围

$0\sim 1,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 或 $0\sim 10,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ （可选），最小显示单位 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

6.2.2 $\text{PM}_{2.5}$ 切割器性能指标

50% 切割粒径： $Da_{50}=(2.5\pm 0.2)\mu\text{m}$ ；

捕集效率的几何标准差： $\sigma_g=1.2\pm 0.1$ 。

6.2.3 时钟误差

(1) 在监测仪正常工作状态下测试 6h，时钟误差 $\pm 20\text{s}$ 。

(2) 断开监测仪的供电总计 5 次（各次断电的持续时间分别为 20s、40s、2min、7min 和 20min，且在每次断电之间应保证不少于 10min 正常电力供应），测试 6h，时钟误差 $\pm 2\text{min}$ 。

6.2.4 温度准确度

在 $(-30\sim 50)\text{°C}$ 范围内，温度测量准确度 $\pm 2\text{°C}$ 。

6.2.5 大气压准确度

在 $(80\sim 106)\text{kPa}$ 范围内，大气压测量准确度 $\leq 1\text{kPa}$ 。

6.2.6 流量

在监测仪正常工作条件下，使用标准流量计在采样入口处检测流量，符合以下指标：

(1) 标准流量计平均流量偏差 $\pm 5\%$ 设定流量；

(2) 标准流量计流量稳定性（相对标准偏差） $\leq 2\%$ ；

(3) 仪器显示的平均流量准确度 $\leq 2\%$ 。

6.2.7 校准膜重现性

监测仪校准膜重现性 $\pm 2\%$ （标准值）。

6.2.8 环境大气压、环境温度及供电电压变化的影响

监测仪分别在不同的大气压、温度和供电电压等 6 种环境条件下进行测试，其流量性能指标应符合 6.2.6 要求。

6.2.9 气溶胶传输效率

$\text{PM}_{2.5}$ 系统正常工作条件下，传输系统气溶胶传输效率 $\geq 97\%$ 。

6.2.10 $\text{PM}_{2.5}$ 切割器加载测试

在一个维护周期内， $\text{PM}_{2.5}$ 切割器加载后，切割器的切割性能指标符合 6.2.2 条要求。

6.2.11 仪器平行性

仪器平行性 $\leq 15\%$ 。

6.2.12 参比方法比对测试

使用参比方法进行至少 23 组有效数据的比对测试，测试结果进行线性回归分析，符合以下要求：

斜率： 1 ± 0.15 ；

截距：(0±10) μg/m³；

相关系数≥0.93。

6.2.13 无人值守工作时间

系统连续运行 90 天，有效数据率不低于 90%，最小维护时间间隔不小于 7 天。

7 检测方法

7.1 PM₁₀ 系统技术指标检测方法

7.1.1 切割性能

切割性能测试可使用分流测试法或静态箱测试法。

7.1.1.1 分流测试法

在混合室内发生单一粒径，均匀、稳定的气溶胶粒子，首先通过测试被测切割器上游的气溶胶浓度与切割器下游的气溶胶浓度的比值计算不同粒径气溶胶的捕集效率；拟合捕集效率与粒径的关系得到 50%切割粒径和捕集效率的标准偏差。

(1) 气溶胶的生成

通过单分散固态气溶胶发生器发生单分散固态的气溶胶颗粒。通过实时气溶胶检测仪器（例如气溶胶粒径谱仪）测量单分散固态气溶胶的粒径和浓度。实验粒子的粒径要求见表 1。

表 1 PM₁₀ 实验粒子的粒径要求

实验粒子的空气动力学当量直径 Da (μm)							
3±0.5	5±0.5	7±0.5	9±0.5	11±1.0	13±1.0	15±1.0	17±1.0

(2) 分流法测试

a) 将待测试切割器去除进气部件，通过分流管连接流量适配器、待测切割器和气溶胶检测仪器，切割器应竖直放置。

b) 通过单分散固态气溶胶发生器依次生成表 1 中所述的 8 种粒径的 PM₁₀ 雾化单分散固态气溶胶颗粒。

c) 通过实时气溶胶检测仪器测量单分散固态气溶胶的粒径，确认其稳定、均匀符合要求。

d) 通过实时气溶胶检测仪器测定切割器上、下游的气溶胶浓度。记录为 C_{1i} 和 C_{2i} 。

e) 重复以上 a) ~d) 的操作，直至 8 种粒径的 PM₁₀ 雾化单分散固态气溶胶颗粒测试完毕得到 C_{1ij} 和 C_{2ij} 。

f) 重复 e) 的操作三次，按公式 (3) 计算得到 8 组 24 个捕集效率的数据。

$$\eta_{ij} = \frac{C_{2ij}}{C_{1ij}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中： i -----发生的气溶胶粒径点 ($i=1, 2 \dots 8$)；

j -----每个粒径点测量的次数 ($j=1, 2, 3$)；

C_{1ij} -----切割器上游的固态单分散颗粒物浓度；

C_{2ij} -----切割器下游的固态单分散颗粒物浓度；

η_{ij} -----每个粒径点单次测量的捕集效率 ($j=1, 2, 3$)。

g) 按公式 (4) 分别计算得到 8 个粒径点捕集效率的平均值。

$$\bar{\eta}_i = \frac{\sum_{j=1}^3 \eta_{ij}}{3} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中： $\bar{\eta}_i$ -----每个粒径点捕集效率的平均值（ $i=1, 2\dots 8$ ）。

h) 按公式（5）计算每个空气动力学粒径点的捕集效率平均标准偏差 C_{vi} ，如果 C_{vi} 超过 10%，则该粒径点的捕集效率测试应重做。

$$C_{vi} = \frac{1}{\bar{\eta}_i} \times \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^3 (\eta_{ij} - \bar{\eta}_i)^2}{2}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中： C_{vi} -----每个粒径点捕集效率的平均标准偏差（ $i=1, 2\dots 8$ ）。

（3）数据处理

将得到的 8 组捕集效率平均值 与对应的气溶胶空气动力学粒径进行多项式拟合($n=3$)，得出捕集效率与气溶胶空气动力学粒径的回归方程。通过回归曲线得出切割器捕集效率为 16%、50%、84%时对应的空气动力学当量直径 Da_{16} 、 Da_{50} 、 Da_{84} ，按照公式（1）、（2）计算切割器捕集效率的几何标准偏差 σ_g 、 Da_{50} 和 σ_g 应满足 6.1.2 要求。

7.1.1.2 静态箱测试法

将待测试切割器安装到静态箱中，在静态箱中发生单一粒径，均匀、稳定的气溶胶粒子，用气溶胶检测仪器测量气溶胶浓度和均匀性；确保箱内的气溶胶浓度稳定，分布均匀。用气溶胶检测仪器测量经待测切割器切割后的气溶胶浓度。计算不同粒径颗粒物的捕集效率，拟合捕集效率与粒径的关系得到 50%切割粒径和捕集效率的几何标准偏差。

（1）安装待测切割器

将至少一台待测切割器安装到静态箱中，保证箱体密闭。

（2）气溶胶的生成

通过单分散固态气溶胶发生器发生单分散固态的气溶胶颗粒。通过实时气溶胶检测仪器（例如气溶胶粒径谱仪）测量单分散固态气溶胶的粒径和浓度。实验粒子的粒径要求见表 1。

（3）静态箱法测试

a) 将生成的气溶胶通入静态箱并充分混合，使用实时气溶胶检测仪器测试静态箱中三个以上点位抽取的气溶胶样品的颗粒物粒径和浓度，确保静态箱内气溶胶浓度均匀。三个点的气溶胶浓度相对标准偏差 $\leq 10\%$ 。

b) 启动待测仪器，使用气溶胶检测仪器分别测量读取并记录箱体内存气溶胶浓度 C_{1i} 和待测切割器出口气溶胶浓度 C_{2i} ，按公式（3）计算该粒径下气溶胶捕集效率 η_i 。

c) 重复以上 a) ~b) 的操作，直至 8 种粒径的 PM_{10} 雾化单分散固态气溶胶颗粒测试完毕得到 C_{1ij} 和 C_{2ij} 。

d) 按公式（4）分别计算得到 8 个粒径点捕集效率的平均值。

e) 按公式（5）计算每个空气动力学粒径点的捕集效率平均标准偏差 C_{vi} ，如果 C_{vi} 超过 10%，则该粒径点的捕集效率测试应重做。

（4）数据处理

将得到的 8 组捕集效率平均值与对应的气溶胶空气动力学粒径进行多项式拟合 (n=3), 得出捕集效率与气溶胶空气动力学粒径的回归方程。通过回归曲线得出切割器捕集效率为 16%、50%、84% 时对应的空气动力学当量直径 Da_{16} 、 Da_{50} 、 Da_{84} , 按照公式 (1)、(2) 计算切割器捕集效率的几何标准偏差 σ_g , Da_{50} 和 σ_g 应满足 6.1.2 要求。

7.1.2 时钟误差

7.1.2.1 监测仪正常工作过程条件下时钟误差

在监测仪正常工作过程中, 读取并记录显示时间 (时-分-秒) 记为开始时间 t_0 , 同时启动电子秒表开始计时, 当运行 $6h \pm 60s$ 时, 分别读取和记录仪器显示时间 t_1 和秒表显示时间 t_2 。按公式 (6) 计算时钟误差。检测结果 Δt 应符合 6.1.3 中的第 (1) 条要求。

$$\Delta t = t_1 - t_0 - t_2 \dots\dots\dots (6)$$

式中: Δt -----计时误差, s;

t_0 -----监测仪初始时间, (时-分-秒);

t_1 -----监测仪结束时间, (时-分-秒);

t_2 -----秒表显示时间, (时-分-秒)。

7.1.2.2 监测仪断电条件下时钟误差

在监测仪正常工作过程中, 读取并记录显示的时间 (时-分-秒) 记为开始时间 t_0 , 同时启动电子秒表开始计时。进行断电条件测试, 测试总时长为 6h, 在这期间要求断电总计 5 次: 各次断电的持续时间分别为 20s、40s、2min、7min 和 20min 左右, 且在每次断电之间应保证不少于 10min 正常供电。当运行 $6h \pm 60s$ 时, 分别读取和记录仪器显示时间 t_1 和秒表显示时间 t_2 。按公式 (6) 计算时钟误差。检测结果 应符合 6.1.3 中的第 (2) 条要求。

7.1.3 温度准确度

将待测仪器或温度检测单元放入恒温环境中, 在 (-30~50) °C 温度范围内分别设置 4 个温度测试点: (-20, 0, 20, 50) °C, 恒温装置的实际控制温度与上述设定温度允许偏差 ± 2 °C。待恒温装置温度稳定后, 分别读取并记录恒温装置显示温度值 t_{si} 和待测仪器显示温度值 t_{pi} 。按公式 (7) 计算待检仪器的温度准确度 Δt_i 。重复测量 3 次, 每个测试点的平均值应符合 6.1.4 的要求。

$$\Delta t_i = t_{pi} - t_{si} \dots\dots\dots (7)$$

式中: Δt_i -----第 i 个测试点环境温度测量准确度, °C;

t_{pi} -----第 i 个测试点监测仪的环境温度示值, °C;

t_{si} -----第 i 个测试点温度值, °C;

i -----测试点序号, $i=1 \sim 4$ 。

7.1.4 大气压准确度

将待测仪器或压力检测单元放入气压舱中, 在大气压测量的范围 (80~106) kPa 内, 选取以下 5 个检测点: 80kPa, 90kPa, 100kPa, 106kPa 和当前环境气压, 各检测点的实际稳定值与上述规定值允许偏差 ± 0.5 kPa。待气压舱的压力稳定后, 分别读取并记录气压舱显示压力值 B_i 和待测仪器显示压力值 P_i 。按公式 (8) 计算待检仪器的大气压准确度。重复测量 3 次, 每个检测点的平均值应符合 6.1.5 的要求。

$$\delta_{pi} = |B_i - P_i| \dots\dots\dots (8)$$

式中： δ_{pi} -----监测仪大气压力测量示值误差，%；

P_i -----检定点的标准压力值，kPa；

B_i -----检定点监测仪压力测量值，kPa；

i -----检定点序号， $i=1, 2, 3, 4, 5$ 。

7.1.5 流量稳定性

监测仪预热校准稳定后，调整系统初始进样流量为设定流量值 $F_{(i)(0)}$ ，仪器连续运行，分别在仪器运行 6、12、18 和 24hr 时记录采样流量值，将每天记录的 4 个采样流量值进行算术平均计算仪器 24hr 采样流量的平均值，按式（9）计算仪器 24h 采样流量偏差 ΔF_i ，按式（10）计算仪器当天每个测试时间点的采样流量偏差 $\Delta F_{(i)(t)}$ 。每天测试结束后可对仪器采样流量进行重新调整，测试 7 天，重复上述操作，每天的 ΔF_i 和 $\Delta F_{(i)(t)}$ 应满足第 6.1.6 要求。

$$\Delta F_i = \frac{\overline{F}_i - F_{(i)(0)}}{F_{(i)(0)}} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中： ΔF_i -----仪器 24h 采样流量偏差；

\overline{F}_i -----仪器 24h 采样流量平均值；

$F_{(i)(0)}$ -----仪器每天采样流量初始设定值；

i -----测试天数。

$$\Delta F_{(i)(t)} = \frac{F_{(i)(t)} - F_{(i)(0)}}{F_{(i)(0)}} \dots\dots\dots (10)$$

式中： $\Delta F_{(i)(t)}$ -----仪器每个测试时间点采样流量偏差；

$F_{(i)(t)}$ -----仪器每天每个测试时间点的采样流量值；

$F_{(i)(0)}$ -----仪器每天采样流量初始设定值；

i -----测试天数。

7.1.6 校准膜重现性

仪器预热校准稳定后，按照操作规程插入校准膜片，待读数稳定后记录显示值，重复上述操作两次（每天共 3 次），计算标准膜读数的平均值；第 2 天重复上述操作，测试 3 天，按式（11）计算每天的标准膜重现性 S_{Ci} ，每天的 S_{Ci} 应符合 6.1.7 的要求。

$$S_{Ci} = \frac{\overline{C}_i - C_0}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中： S_{Ci} -----仪器第 i 天测量的标准膜重现性；

\overline{C}_i -----仪器第 i 天插入标准膜后的读数平均值；

C_0 -----校准膜的标称值。

7.1.7 电压稳定性

仪器预热校准稳定后，在正常电压条件下，放入校准膜，稳定后记录仪器读数 W ；调节仪器电压为高于原初始电压值+10%，放入同一校准膜，稳定后记录仪器读数 X ；同样调节仪器电压为低于原初始电压值-10%，放入同一校准膜，稳定后记录仪器读数 Y 。按式（12）

计算电压变化的稳定性 V，应符合 6.1.8 的要求。

$$V = \frac{X - W}{R} \times 100\% \text{ 或 } \frac{Y - W}{R} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中：V-----电压变化的稳定性；

W-----初始电压条件下量程标准气体读数值；

X-----调节电压为高于初始电压+10%时，量程标准气体读数值；

Y-----调节电压为低于初始电压-10%时，量程标准气体读数值。

7.1.8 仪器平行性

在同一试验环境条件下，将三台仪器的采样器入口调整到同一高度，仪器之间的距离为 2m~4m，采样方向一致，分别进行采样流量校准和设置后，进行仪器平行性测试。测试环境大气中的 PM₁₀，每组样品连续测试 24h，共测试 7 组样品；记录每台仪器测得每个 PM₁₀ 样品浓度值 C_{ij}，i 为仪器的编号 (i=1,2,3)，j 为检测样品的序号 (j=1,2,3,...7)，三台仪器每个样品测得 PM₁₀ 浓度平均值为 \bar{C}_j 。当 <30μg/m³ 时，测试结果无效，本项测试应重新进行。按公式 (13) 计算 3 台仪器测试结果的相对标准偏差为仪器平行性结果 P_j。按公式 (14) 计算 3 台仪器平行性，应符合 6.1.9 的要求。

$$P_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^3 (C_{ij} - \bar{C}_j)^2}}{\bar{C}_j} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

式中：P_j-----3 台仪器第 j 个样品测量的平行性；

C_{ij}-----第 i 台仪器第 j 个样品测量的 PM₁₀ 的浓度值；

\bar{C}_j -----3 台仪器第 j 个样品测量的 PM₁₀ 的浓度的平均值。

$$P = \sqrt{\frac{1}{7} \times \sum_{j=1}^7 (P_j)^2} \dots\dots\dots (14)$$

式中：P-----3 台仪器平行性。

7.1.9 参比方法比对测试

手工参比方法测试参照《环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的测定 重量法》(HJ 618-2011) 和《环境空气手工监测技术规范》(HJ/T 194-2005)。参比手工测试方法使用的采样器至少 3 台，被检测仪器与手工参比测试同步进行，参比采样仪器与被检测自动监测仪器安放位置应相距 2m~4m 之间 (当采样流量低于 200L/min 时，距离应在 1m 左右)，采样入口位于同一高度，采样方向一致；取相同采样时间段内的自动监测数据 C_{i,j} 和手工参比测试数据 R_{i,j} 作为一个数据对，这里的 i 是采样器的序号 (i=1,2,3)，j 是比对样品的个数 (j=1,2,3,...10)，每个样品的采样时间为 24h (±1h)。

(1) 按公式 (15) 计算 3 台参比采样器手工参比方法测试每个 PM₁₀ 样品的平均值 \bar{R}_j ，应尽量选择在 15~300μg/m³。

$$\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^3 R_{i,j}}{3} \dots\dots\dots (15)$$

式中： \overline{R}_j -----3 台手工参比采样器第 j 个样品测量浓度的平均值；

R_{ij} -----第 i 台手工参比采样器第 j 个测量样品的浓度值。

(2) 分别计算每组数据参比采样器测试结果的标准偏差或相对标准偏差,应符合 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 或 7% 的要求, 则该组参比测试数据有效。

(3) 按公式 (16) 计算 3 台被检测自动监测仪器测试的对应时间段内的自动监测数据的平均值。同时按 7.1.8 条方法计算 10 组自动监测仪器测试结果的平行性,符合 6.1.9 要求, 自动监测数据有效。

$$\overline{C}_j = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{i,j}}{3} \dots\dots\dots (16)$$

式中： \overline{C}_j -----3 台自动监测仪第 j 个样品测量浓度的平均值；

C_{ij} -----第 i 台自动监测仪第 j 个测量样品的浓度值。

(4) 当参比测试数据和自动监测数据都有效时, 组成一个有效数据对。每一批次比对至少取得 10 组有效数据对, $\leq 60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $> 60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的有效数据对数均 ≥ 3 。按公式 (17) 计算其线性回归分析的斜率。

$$\text{斜率} = \frac{\sum_{j=1}^{10} (\overline{R}_j - \overline{R}) \times (\overline{C}_j - \overline{C})}{\sum_{j=1}^{10} (\overline{R}_j - \overline{R})^2} \dots\dots\dots (17)$$

式中： \overline{C} -----10 组监测仪测量浓度数据的平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

\overline{C}_j -----第 j 组 3 台监测仪测量的平均浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

\overline{R} -----10 组参比采样器测量浓度数据的平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

\overline{R}_j -----第 j 组 3 台参比采样器测量的平均浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(5) 按公式 (18) 计算其线性回归分析的截距。

$$\text{截距} = \overline{C} - \text{斜率} \times \overline{R} \dots\dots\dots (18)$$

式中： \overline{C} -----10 组监测仪测量浓度数据的平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

\overline{R} -----10 组参比采样器测量浓度数据的平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(6) 按公式 (19) 计算相关系数 r 。

$$r = \frac{\sum_{j=1}^{10} (\overline{R}_j - \overline{R}) \times (\overline{C}_j - \overline{C})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{10} (\overline{R}_j - \overline{R})^2 \times \sum_{j=1}^{10} (\overline{C}_j - \overline{C})^2}} \dots\dots\dots (19)$$

式中： \overline{C} -----10 组监测仪测量浓度数据的平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

\overline{C}_j -----第 j 组 3 台监测仪测量的平均浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

\overline{R} -----10 组参比采样器测量浓度数据的平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

\overline{R}_j -----第 j 组 3 台参比采样器测量的平均浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(7) 每年选择在不同的季节进行两批次测试, 每批次比对测试线性回归曲线的斜率、

截距和相关系数均应符合 6.1.10 的要求。

7.1.10 无人值守工作时间

监测仪器在通过调试后，开始连续 90 天的运行，测试无人值守工作时间。期间要对每次维护时间及内容进行详细记录，并要求每两次维护时间间隔不小于 7 天。在完成 90 天的运行后，采集 PM₁₀ 系统的小时浓度数据，记录仪器故障时间的小时数 T₁、仪器维护时间的小时数 T₂、三台仪器数据明显异常时间的小时数 T₃，按公式（20）计算有效数据率。数据有效率 D 应符合 6.1.11 的要求。

$$D = (1 - \frac{T_1 + T_2 + T_3}{90 \times 24}) \times 100\% \dots\dots\dots (20)$$

式中：D-----90 天内的有效数据率，%；

T₁-----9 仪器故障时间的小时数；

T₂-----9 仪器维护时间的小时数；

T₃-----9 仪器数据明显异常的小时数。

7.2 PM_{2.5} 系统技术指标检测方法

7.2.1 切割性能

切割性能测试可使用分流测试法或静态箱测试法。通过单分散固态气溶胶发生器发生单分散固态的气溶胶颗粒。通过实时气溶胶检测仪器（例如气溶胶粒径谱仪）测量单分散固态气溶胶的粒径和浓度。实验粒子的粒径要求见表 2。

表 2 PM_{2.5} 实验粒子的粒径要求

实验粒子的空气动力学当量直径 <i>D_a</i> (μm)							
1.5±0.25	2.0±0.25	2.2±0.25	2.5±0.25	2.8±0.25	3.0±0.25	3.5±0.25	4.0±0.5

分流测试法的操作步骤见 7.1.1.1 中（2）、（3）。计算 50% 捕集效率对应的切割粒径 *D_{a50}* 和切割器捕集效率的几何标准偏差 σ_g ，*D_{a50}* 和 σ_g 均应满足 6.2.2 要求。

静态箱测试法的操作步骤见 7.1.1.2 中（1）、（3）、（4）。计算 50% 捕集效率对应的切割粒径 *D_{a50}* 和切割器捕集效率的几何标准偏差 σ_g ，*D_{a50}* 和 σ_g 均应满足 6.2.2 要求。

7.2.2 时钟误差

检测方法见 7.1.2，检测结果应符合 6.2.3 的要求。

7.2.3 温度准确度

检测方法见 7.1.3，检测结果应符合 6.2.4 的要求。

7.2.4 大气压准确度

检测方法见 7.1.4，检测结果应符合 6.2.5 的要求。

7.2.5 流量

取下采样入口，将标准流量计的出气口通过流量测量适配器接到的监测仪的进气口。开启监测仪，预热后进入流量检测界面，待监测仪显示的流量稳定后开始本次测试。测试连续进行 6 个小时，至少每隔 5 分钟记录一次标准流量计和监测仪的瞬时流量值（工况）。测试完成后，使用公式（21）、（22）、（23）、（24）、（25）计算流量的相关指标。测试结果应符合第 6.2.6 条的要求。

$$\bar{Q}_R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{Ri} \dots\dots\dots (21)$$

式中： \bar{Q}_R -----测试期间标准流量计显示的平均流量值，L/min；

Q_{Ri} -----测试期间标准流量计显示的瞬时流量值，L/min；

n -----测试期间记录标准流量计瞬时流量值的个数。

$$\bar{Q}_C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{Ci} \dots\dots\dots (22)$$

式中： \bar{Q}_C -----测试期间监测仪显示的平均流量值，L/min；

Q_{Ci} -----测试期间监测仪显示的瞬时流量值，L/min；

n -----测试期间记录监测仪瞬时流量值的个数。

$$\Delta Q_R = \frac{\bar{Q}_R - Q_s}{Q_s} \times 100\% \dots\dots\dots (23)$$

式中： ΔQ_R -----测试期间标准流量计测量的平均流量偏差，%；

\bar{Q}_R -----测试期间标准流量计显示的平均流量值，L/min；

Q_s -----与监测仪配套使用的切割器设定的采样入口工况流量，L/min。

$$CV_R = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Ri} - \bar{Q}_R)^2}{n-1}}}{\bar{Q}_R} \times 100\% \dots\dots\dots (24)$$

式中： CV_R -----测试期间监测仪的流量控制稳定度，%；

\bar{Q}_R -----测试期间标准流量计显示的平均流量值，L/min；

Q_{Ri} -----测试期间标准流量计显示的瞬时流量值，L/min；

n -----测试期间记录标准流量计瞬时流量值的次数。

$$Q_{diff} = \frac{|\bar{Q}_R - \bar{Q}_C|}{\bar{Q}_R} \times 100\% \dots\dots\dots (25)$$

式中： Q_{diff} -----测试期间监测仪的流量准确度，%；

\bar{Q}_R -----测试期间标准流量计显示的平均流量值，L/min；

\bar{Q}_C -----测试期间监测仪显示的平均流量值，L/min。

7.2.6 校准膜重现性

检测方法见 7.1.3，检测结果应符合 6.2.7 的要求。

7.2.7 环境大气压、环境温度及供电电压变化的影响

7.2.7.1 环境大气压变化的影响

(1) 连接监测仪、采样泵和标准流量计，将其全部置于气压舱内。调整设置气压测试舱内大气压为 80kPa。在舱内气压达到 (80±1) kPa 后至少稳定 30min，保证监测仪内的压力达到均衡状态。

(2) 开始 6h 测试，测试期间至少每隔 5min 记录一次舱内气压值、标准流量计流量值

和监测仪瞬时流量值。

(3) 完成(2)的测试后,缓慢调节气压测试舱内的气压至 106kPa。在舱内气压达到 (106±1) kPa 后至少稳定 30min,保证监测仪内的压力达到均衡状态。重复进行(2)的测试步骤。

(4) 完成测试后,缓慢调节气压测试舱内气压至实验现场气压值,当舱内气压指示达到实验现场气压时,方可打开气压舱门取出监测仪。

(5) 按照公式(21)、(22)、(23)、(24)、(25)计算流量的相关指标。测试结果应符合 6.2.8 的要求。

7.2.7.2 环境温度和供电电压变化的影响

(1) 连接调压器、监测仪、采样泵和标准流量计将其置于恒温箱内,在如下 4 种条件下进行测试:

- a) 35°C±2°C, 交流电压为 198V±2V;
- b) 35°C±2°C, 交流电压为 242V±2V;
- c) 15°C±2°C, 交流电压为 198V±2V;
- d) 15°C±2°C, 交流电压为 242V±2V。

(2) 开启恒温箱,设置箱内温度为 35°C±2°C,设置调压器输出交流电压为 198V±2V。稳定至少 30min,保证监测仪内的温度达到均衡状态。

(3) 开始 6h 测试,测试期间至少每隔 5min 记录一次箱内温度值、标准流量计流量值和监测仪瞬时流量值。

(4) 完成(3)的测试后,依次缓慢调节恒温箱内的温度设定值和调压器供电电压值分别为 b)、c)、d) 三种条件。每种条件至少稳定 30min,保证监测仪内的温度达到均衡状态,重复进行(3)的测试步骤。

(5) 完成测试后,缓慢调节恒温箱内温度至实验现场温度值,打开恒温箱取出监测仪。

(6) 按照公式(21)、(22)、(23)、(24)、(25)计算流量的相关指标。测试结果应符合 6.2.8 的要求。

7.2.8 气溶胶传输效率

(1) 将待测采样管通过分流管连接流量适配器和气溶胶检测仪器,采样管应竖直放置。

(2) 采用单分散固态气溶胶发生器来生成空气动力学直径为 (3±0.25) μm 的雾化单分散固态气溶胶颗粒。通过实时气溶胶检测仪器测量单分散固态气溶胶的粒径,确认其符合要求。

(3) 通过实时气溶胶检测仪器分别测量箱体和采样管出口的气溶胶浓度。记录为 σ_{1i} 和 σ_{2i} 。

(4) 重复测量三次按照公式(26)计算每次的气溶胶传输率 T_i ,三次测试的平均值应符合 6.2.9 的要求。

$$T_i = \frac{\sigma_{2i}}{\sigma_{1i}} \times 100\% \dots\dots\dots (26)$$

式中: T_i -----气溶胶传输效率, %;
 σ_{1i} -----箱体内气溶胶浓度值, μg/m³;
 σ_{2i} -----采样管出口气溶胶浓度值, μg/m³。

7.2.9 切割器加载测试

切割器加载测试可采用静态箱加载测试法或实际样品加载测试法。

7.2.9.1 静态箱加载测试法

(1) 安装待测切割器

将至少一台待测切割器安装到静态箱中，保证箱体密闭。

(2) 气溶胶的生成

通过多分散灰尘发生器，发生浓度为 $(150 \pm 10) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的颗粒物。

(3) 加载测试

a) 将生成的颗粒物通入静态箱并充分混合，使用实时气溶胶检测仪器测试静态箱中三个以上点位抽取的颗粒物样品的浓度，确保静态箱内颗粒物浓度均匀。三个点的颗粒物浓度相对标准偏差 $\leq 10\%$ 。

b) 启动待测仪器，连续运行一个维护周期（运行时间 $\geq 7\text{d}$ ，每天 $\geq 20\text{h}$ ）。

c) 加载运行完成后，将切割器按 7.1.1.1 分流测试法或 7.1.1.2 静态箱测试法进行切割性能测试。切割器性能指标 Da_{50} 和 σ_g 均应满足 6.2.2 要求。

7.2.9.2 实际样品加载测试法

(1) 将被测 $\text{PM}_{2.5}$ 系统置于 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度为 $(100 \sim 150) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的环境中连续运行一个维护周期（运行时间 $\geq 7\text{d}$ ，每天 $\geq 20\text{h}$ ）。

(2) 加载运行完成后，将切割器按 7.1.1.1 分流测试法或 7.1.1.2 静态箱测试法进行切割性能测试。切割器性能指标 Da_{50} 和 σ_g 均应满足 6.2.2 要求。

7.2.10 仪器平行性

检测方法见 7.1.8，检测样品数为至少 23 组，检测结果应符合 6.2.11 的要求。

7.2.11 参比方法比对测试

手工参比方法测试参照《环境空气 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的测定 重量法》(HJ 618-2011)。参比手工测试方法使用的采样器至少 3 台，被检测仪器与手工参比测试同步进行，参比采样仪器与被检测自动监测仪器安放位置应相距 $2\text{m} \sim 4\text{m}$ 之间（当采样流量低于 $200\text{L}/\text{min}$ 时，距离应在 1m 左右），采样入口位于同一高度，采样方向一致；取相同采样时间段内的自动监测数据 $C_{i,j}$ 和手工参比测试数据 $R_{i,j}$ 作为一个数据对，这里的 i 是采样器的序号 ($i=1,2,3$)， j 是比对样品的个数 ($j=1,2,3,\dots,23$)，每个样品的采样时间为 $24\text{h} (\pm 1\text{h})$ 。

(1) 按公式 (15) 计算 3 台参比采样器手工参比方法测试每个 $\text{PM}_{2.5}$ 样品的平均值，应尽量选择在 $3 \sim 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(2) 分别计算每组数据参比采样器测试结果的标准偏差或相对标准偏差，应符合 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 或 5% 的要求，则该组参比测试数据有效。

(3) 按公式 (16) 计算 3 台被检测自动监测仪器测试的对应时间段内的自动监测数据的平均值。

(4) 按公式 (27) 计算每组自动监测仪器测试结果的相对标准偏差 CP_j 。

$$CP_j = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (C_{i,j} - \bar{C}_j)^2}{3}}}{\bar{C}_j} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中： CP_j -----第 j 组 3 台监测仪测量浓度的相对标准偏差，%；
 $C_{i,j}$ -----第 j 组第 i 台监测仪测量的浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
 \bar{C}_j -----第 j 组 3 台监测仪测量的平均浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(5) 按公式 (28) 计算本批次自动监测仪平行性 CP ，符合 6.2.11，本批次自动监测数据有效。

$$CP = \sqrt{\frac{1}{23} \times \sum_{j=1}^{23} (CP_j)^2} \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中： CP -----监测仪测量浓度的平行性，%；
 CP_j -----第 j 组 3 台监测仪测量浓度的相对标准偏差，%。

(6) 当参比测试数据 和自动监测数据 都有效时，组成一个有效数据对。每一批次比对至少取得 23 组有效数据对，按公式 (29) 计算其线性回归分析的斜率。

$$\text{斜率} = \frac{\sum_{j=1}^{23} (\bar{R}_j - \bar{R}) \times (\bar{C}_j - \bar{C})}{\sum_{j=1}^{23} (\bar{R}_j - \bar{R})^2} \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中： \bar{C} -----3 组监测仪测量浓度数据的平均值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
 \bar{C}_j -----第 j 组 3 台监测仪测量的平均浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
 \bar{R} -----23 组参比采样器测量浓度数据的平均值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
 \bar{R}_j -----第 j 组 3 台参比采样器测量的平均浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(7) 按公式 (30) 计算其线性回归分析的截距。

$$\text{截距} = \bar{C} - \text{斜率} \times \bar{R} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中： \bar{C} -----23 组监测仪测量浓度数据的平均值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
 \bar{R} -----23 组参比采样器测量浓度数据的平均值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

(8) 按公式 (31) 计算相关系数 。

$$r = \frac{\sum_{j=1}^{23} (\bar{R}_j - \bar{R}) \times (\bar{C}_j - \bar{C})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{23} (\bar{R}_j - \bar{R})^2 \times \sum_{j=1}^{23} (\bar{C}_j - \bar{C})^2}} \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中： \bar{C} -----23 组监测仪测量浓度数据的平均值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
 \bar{C}_j -----第 j 组 3 台监测仪测量的平均浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
 \bar{R} -----23 组参比采样器测量浓度数据的平均值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
 \bar{R}_j -----第 j 组 3 台参比采样器测量的平均浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(9) 每年选择在不同的季节进行四批次测试，每批次比对测试线性回归曲线的斜率、

截距和相关系数均应符合 6.2.12 的要求。

7.2.12 无人值守工作时间

检测方法见 7.1.10，检测结果符合 6.2.13 的要求。

8 检测项目

PM₁₀ 和 PM_{2.5} 系统检测项目和方法见表 3。

表 3 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 系统检测项目和方法

检测项目	PM ₁₀ 系统	PM _{2.5} 系统
测量范围	0~1,000μg/m ³ 或 0~10,000μg/m ³ (可选)	0~1,000μg/m ³ 或 0~10,000μg/m ³ (可选)
最小显示单位	1μg/m ³	1μg/m ³
切割器性能	$D_{a50} = (10 \pm 0.5) \mu\text{m}$ $\sigma_g = 1.5 \pm 0.1$	$D_{a50} = (2.5 \pm 0.2) \mu\text{m}$ $\sigma_g = 1.2 \pm 0.1$
时钟误差	正常条件下±20s 断电条件下±2min	正常条件下±20s 断电条件下±2min
环境温度准确度	±2℃	±2℃
大气压准确度	≤1kPa	≤1kPa
流量要求	每一次测试时间点流量变化： ±10%设定流量；24h 平均流量变化： ±5%设定流量。	1) 标准流量计平均流量偏差：±5% 设定流量； 2) 标准流量计流量稳定性（相对 标准偏差）：≤2%； 3) 仪器显示的平均流量准确度： ±2%。
校准膜重现性	±2%（标称值）	±2%（标称值）
环境条件影响测试	供电电压变化±10%，监测仪标准 膜测量值的变化±2%满量程。	监测仪分别在不同的大气压、温度 和供电电压等 6 种环境条件下进 行测试，其流量性能指标应符合 6.2.6 要求。
平行性	≤10%	≤15%
参比方法比对测试	斜率：1±0.15	斜率：1±0.15
	截距：(0±10) μg/m ³	截距：(0±10) μg/m ³
	相关系数≥0.95	相关系数≥0.93
气溶胶传输效率	/	≥97%
加载测试	/	在一个维护周期内，PM _{2.5} 切割器 加载后，切割器的切割性能指标符 合 6.2.2 条要求
无人值守工作时间	系统连续运行 90 天，有效数据率 不低于 90%，最小维护时间间隔不 小于 7 天。	系统连续运行 90 天，有效数据率 不低于 90%，最小维护时间间隔不 小于 7 天。