

**大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求
和检测方法技术指南（试行）
（征求意见稿）**

目 次

| | |
|--------------------------------|---------|
| 前 言 | - 122 - |
| 1 适用范围 | - 123 - |
| 2 规范性引用文件 | - 123 - |
| 3 术语和定义 | - 123 - |
| 4 系统组成和原理 | - 124 - |
| 5 技术要求 | - 124 - |
| 6 技术指标 | - 126 - |
| 7 检测方法 | - 126 - |
| 8 检测项目 | - 130 - |
| 附录 A（规范性附录）网格化监测设备数据格式要求 | - 132 - |

前 言

为贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》，防治大气颗粒物污染，改善大气质量，规范城市利用新技术开展大气 PM_{2.5} 网格化监测技术工作，特制定本指南。

本指南规定了城市大气 PM_{2.5} 网格化监测系统的网格化监测设备的原理、技术要求、技术指标和检测方法等内容。

本指南的附录 A 为规范性附录。

本指南由环境保护部环境监测司组织制订。

本指南主要编写单位：北京市环境保护监测中心、中国环境科学研究院。

大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南

1 适用范围

本指南规定了大气 PM_{2.5} 网格化监测系统的小型监测设备（以下简称网格化监测设备）的原理、技术要求、技术指标和检测方法。

本指南适用于城市大气 PM_{2.5} 网格监测系统网格化监测设备的设计、生产、检测和比对评估。

2 规范性引用文件

本指南内容引用了下列文件或其中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本指南。

| | |
|--------------|--|
| GB 3095 | 环境空气质量标准 |
| 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 55 | 大气污染物无组织排放监测技术导则 |
| HJ/T 393 | 防治城市扬尘污染技术规范 |
| HJ 618 | 环境空气PM ₁₀ 和PM _{2.5} 的测定重量法 |
| HJ 633 | 环境空气质量指数（AQI）技术规定（试行） |
| HJ 653 | 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监测方法 |
| HJ 663 | 环境空气质量评价技术规范（试行） |

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

3.1 网格化监测 grid monitoring

为达到区域大气污染防治精细化管理的目的，根据不同监控需求及环境特征，将目标区域分为网格化的网格进行点位布设，对各网格中相关污染物浓度进行实时监测。

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

指环境空气中空气动力学当量直径小于等于2.5μm 的颗粒物，也称细颗粒物。

3.3 标准监测设备 standard monitoring equipment

指符合HJ 653标准技术要求的空气质量连续自动监测设备。

3.4 网格化监测设备 grid monitoring equipment

指采用光散射的检测方法，设备体积小、重量轻，用于连续自动监测环境空气中PM_{2.5}的污染状况。

3.5 质控设备 quality control equipment

指安装在标准监测设备附近，通过与标准监测设备比对并对其周边网格化监测设备进行

传递的大气PM_{2.5}网格化监测设备。

3.6 比对方法 treatment methods about antitheses test

指符合GB 3095-2012 5.3规定的自动分析方法。

3.7 仪器平行性 parallelism of monitors

指每一批次测量结果的仪器间一致水平。

4 系统组成和原理

4.1 系统组成

大气PM_{2.5}网格化监测系统包括监测单元、数据传输及存储单元、数据处理分析单元以及其他辅助单元。

4.1.1 监测单元

监测单元是指网格化监测设备，由采样入口、测量装置和辅助模块等组成，将环境空气中PM_{2.5}输送到测量装置并进行测量。

4.1.2 数据传输及存储单元

数据传输及存储单元能够实时无线传输监测单元产生的数据、设备工作状态信息等，并安全存储。

4.1.3 数据处理分析单元

数据处理分析单元是整个系统运行的中心，一般由计算机、数据处理模块及系统管理模块组成，用于监测单元产生数据的换算、判别及网格化监测系统的管理等。

4.1.4 其他辅助单元

其他辅助单元包括安装仪器设备所需要的安装固定装置等。

4.2 测量原理

大气PM_{2.5}网格化监测系统网格化监测设备的测量方法为光散射法。

5 技术要求

5.1 外观要求

5.1.1 设备应具有产品铭牌，铭牌上应标有仪器名称、型号、标示码（条码/二维码）、生产单位、出厂编号、制造日期等信息。

5.1.2 设备表面应完好无损，无明显缺陷，各零部件连接可靠，各操作键、按钮灵活有效。

5.1.3 为便于运输、携带、安装和动态调整位置，设备需要采用小型化、一体化设计。总体积小于0.02 m³，重量小于10千克。

5.2 工作条件

5.2.1 工作温度

-20℃~+60℃。

5.2.2 工作相对湿度

小于等于 80%RH。

5.3 安全要求

5.3.1 一般要求

设备及其附件必须避免在装配、安装、使用和维护过程中可能造成的人身安全隐患，诸如锋边、毛刺等。

5.3.2 接地保护

设备采用市电供电时应连接地线，具有防雷保护设施。

5.3.3 绝缘电阻

使用交流电源时，设备的电源相、中联线对地的绝缘电阻应不小于 20MΩ。

5.3.4 绝缘强度

使用交流电源时，设备电源相、中联线对地的绝缘强度，应能承受交流电压 1.5kV、50Hz 泄露电流 5mA，历时 1min 实验，无飞弧和击穿现象。

5.3.5 防护等级

在满足性能要求的前提下，设备防护等级应满足 GB4208-2008 IP44 的规定。

5.3.6 防盐雾腐蚀

经盐雾试验后，设备外壳应无腐蚀现象。

5.4 功能要求

5.4.1 整机功耗

不大于 10W。

5.4.2 供电方式

可采取市政供电、太阳能供电或两者结合供电。若设备内含备用电池，支持断电后工作时间需大于 8 小时。

5.4.3 监测频次

数据检测周期≤5min，每小时监测时间≥12min。

5.4.4 GPS 定位

具有 GPS 定位功能，定位偏差≤50m。

5.5 通信要求

采用消息“订阅/发布”机制的物联网传输协议。

5.6 质控要求

以质控设备为标准传递节点，通过网络化算法对周边监测单元监测数据进行审核与校验。

6 技术指标

6.1 浓度测量范围

0~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最小显示单位 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

6.2 测量误差

测量范围 0~100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的测量误差不大于 $\pm 20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，测量范围 100~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的测量误差不大于满量程 $\pm 20\%$ 。

6.3 时钟误差

在网格化监测设备正常工作状态下测试 6h，时钟误差 $\pm 20\text{s}$ 。断开网格化监测设备的供电总计 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 正常供电），测试 6h，时钟误差 $\pm 2\text{min}$ 。

6.4 温度测量示值误差

在-20~60 $^{\circ}\text{C}$ 范围内，温度测量示值误差 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

6.5 湿度测量示值误差

通风干湿计，在 5~45 $^{\circ}\text{C}$ 范围内，湿度测量示值误差 $\pm 10\%\text{RH}$ 。

6.6 大气压测量示值误差

在 80~106kPa 范围内，大气压测量示值误差 $\leq 1\text{kPa}$ 。

6.7 网格化监测设备平行性

50 台网格化监测设备 $\leq 15\%$ 。

6.8 标准监测方法比对测试

使用标准监测设备与网格化监测设备进行至少 336 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 ± 0.20 ；

截距： $(0\pm 20)\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

相关系数 ≥ 0.85 。

6.9 通信可靠性

监测单元数据到存储单元丢包率小于 1%。若设备因网络信号差导致丢包，通信模块具备连接恢复后数据重发的功能。

6.10 质控模型

质控模型具有地理信息数据、气象数据的融合和处理能力，且包含针对特殊气象条件的模型，不同季节、高湿度、沙尘、春节烟花爆竹影响等模型。

7 检测方法

7.1 测量误差

在同一环境条件下，将待测网格化监测设备与符合 HJ 653 的标准设备 PM_{2.5} 自动检测

仪进行比对测试。两种设备的采样口置于同一高度，待测网格化监测设备与标准设备的采样口相距 2~3m。运行一小时后，记录显示值。重复测量 3 次。当细颗粒物浓度不大于 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时，按公式（1）计算待测网格化监测设备的示值误差 L_d 。取绝对值最大值为网格化监测设备示值误差。当细颗粒物浓度大于 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时，按公式（2）计算待测网格化监测设备的示值误差 L_e 。取绝对值最大值为网格化监测设备示值误差。

$$L_d = C_s - C_d \dots\dots\dots (1)$$

式中：

L_d -----绝对误差；

C_s -----标准设备测量值；

C_d -----待测网格化监测设备的测量浓度值。

$$L_e = \frac{(C_d - C_s)}{C_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

L_e -----相对误差。

7.2 时钟误差

7.2.1 网格化监测设备正常工作过程条件下时钟误差

在待测网格化监测设备正常工作过程中，读取并记录显示时间（时-分-秒）记为开始时间 t_0 ，同时启动秒表开始计时，当运行 6h \pm 60s 时，分别读取和记录待测网格化监测设备显示时间 t_1 和秒表显示的时间 t_2 。按照公式（3）计算时钟误差。检测结果 Δt 应符合 6.3 中正常工作过程条件下时钟误差要求。

$$\Delta t = t_1 - t_0 - t_2 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Δt -----时钟误差，s；

t_0 -----待测网格化监测设备开始时间，（时-分-秒）；

t_1 -----待测网格化监测设备结束时间，（时-分-秒）；

t_2 -----秒表显示的时间，（时-分-秒）。

7.2.2 网格化监测设备断电条件下时钟误差

在待测网格化监测设备正常工作过程中，读取并记录显示时间（时-分-秒）记为开始时间 t_0 ，同时启动秒表开始计时。断电条件测试总时长为 6h，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 正常供电。当运行 6h \pm 60s 时，分别读取和记录待测网格化监测设备显示时间 t_1 和秒表显示的时间 t_2 。按照公式（3）计算

时钟误差。检测结果 Δt 应符合 6.3 中断电条件下时钟误差要求。

7.3 温度测量示值误差

将待测网格化监测设备或温度测量传感器放入恒温环境中，在 $-20\sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内分别设置 4 个温度测试点： -10°C 、 10°C 、 30°C 、 60°C ，恒温装置的实际控制温度与上述设定温度允许偏差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。待恒温装置温度稳定后，分别读取并记录标准温度值 t_{st} 和待测网格化监测设备显示温度值 t_{pi} 。按照公式（4）计算待测网格化监测设备的温度测量示值误差 Δt_i 。重复测量 3 次，每个测试点的平均值应符合 6.4 的要求

$$\Delta t_i = t_{pi} - t_{st} \dots \dots \dots (4)$$

式中：

Δt_i -----第 i 个测试点温度测量示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_{pi} -----第 i 个测试点待测网格化监测设备的环境温度示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_{st} -----第 i 个测试点标准温度值， $^{\circ}\text{C}$ ；

i -----测试点序号，($i = 1 \sim 4$)。

7.4 湿度测量示值误差

将待测网格化监测设备或湿度测量传感器放入恒湿环境中，在 $20\sim 80\%RH$ 范围内分别设置 3 个湿度测试点： $35\%RH$ 、 $45\%RH$ 、 $55\%RH$ ，恒湿装置的实际控制湿度与上述设定湿度允许偏差 $\pm 5\%RH$ 。待恒湿装置湿度稳定后，分别读取并记录标准湿度值 h_{st} 和待测网格化监测设备显示湿度值 h_{pi} 。按照公式（5）计算待测网格化监测设备的湿度测量示值误差 Δh_i 。重复测量 3 次，每个测试点的平均值应符合 6.5 的要求

$$\Delta h_i = h_{pi} - h_{st} \dots \dots \dots (5)$$

式中：

Δh_i -----第 i 个测试点湿度测量示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

h_{pi} -----第 i 个测试点待测网格化监测设备的环境湿度示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

h_{st} -----第 i 个测试点标准湿度值， $^{\circ}\text{C}$ ；

i -----测试点序号，($i = 1 \sim 4$)。

7.5 大气压测量示值误差

将待测网格化监测设备或大气压测量传感器放入气压舱中，在大气压测量的范围（ $80\sim 106$ ）kPa 内分别设置 5 个测试点： 80kPa 、 90kPa 、 100kPa 、 106kPa 和当前环境压力，各检测点的实际稳定值与上述设定值允许偏差 $\pm 0.5\text{kPa}$ 。待气压舱的压力稳定后，分别读取并记录标准压力值 B_i 和待测网格化监测设备显示压力值 P_i 。按照公式（6）计算待测网格化监测设备的大气压测量示值误差 δ_{pi} 。重复测量 3 次，每个测试点的平均值应符合 6.6 的要求

$$\delta_{pi} = |B_i - P_i| \dots \dots \dots (6)$$

式中：

δ_{pi} -----第 i 个测试点大气压测量示值误差，kPa；

P_i -----第 i 个测试点待测网格化监测设备的环境大气压示值, kPa;

B_i -----第 i 个测试点标准大气压值, kPa;

i -----测试点序号, ($i = 1 \sim 5$)。

7.6 仪器平行性

在同一环境条件下, 将 50 台待网格化监测设备采样口置于同一高度, 待测网格化监测设备之间相距 1~2m, 进行仪器平行性测试。测试环境大气中的 $PM_{2.5}$ 浓度, 每组样品连续测试 24h, 检测样品数为至少 22 组。记录每台网格化监测设备测得每个 $PM_{2.5}$ 样品浓度值 C_{ij} , i 为网格化监测设备的编号 ($j=1-50$), j 为检测样品的序号 ($j=1-10$), 50 台网格化监测设备每个样品测量结果的平均值为 \bar{C}_j 。当 $\bar{C}_j < 30 \mu g/m^3$ 时, 测试结果无效。按公式 (7) 计算 50 台网格化监测设备测试结果的相对标准偏差 P_j , 按公式 (8) 计算 50 台待网格化监测设备平行性 P 。应符合 6.7 的要求。

$$P_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} (C_{ij} - \bar{C}_j)^2}{\bar{C}_j^2}} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

式中:

P_j -----网格化监测设备第 j 个样品测量结果的相对标准偏差, %;

C_{ij} -----第 i 台待测网格化监测设备测量第 j 个样品的 $PM_{2.5}$ 浓度值, $\mu g/m^3$;

\bar{C}_j -----网格化监测设备测量第 j 个样品的 $PM_{2.5}$ 浓度平均值, $\mu g/m^3$ 。

$$P = \sqrt{\frac{1}{22} \sum_{j=1}^{22} (P_j)^2} \dots \dots \dots (8)$$

式中:

P -----仪器平行性, %。

7.7 标准监测方法比对测试

参照 HJ 653 和 HJ 618, 每批次抽取 3 台网格化监测设备与符合 HJ 653 的标准设备的 $PM_{2.5}$ 自动监测仪器进行比对测试。在同一环境条件下, 待测网格化监测设备与标准设备之间相距 1~2m, 采样口位于同一高度。在同一时间段, 将标准设备的数据 $R_{i,j}$ 和网格化监测设备监测数据的数据 $C_{i,j}$ 作为一个数据对, i 为仪器的序号 ($j=1 \sim 3$), j 为有效样品的个数 ($j=1 \sim 336$), 每组样品的采集时间 $60 \pm 10 \text{min}$, 共测试 336 组样品。

(1) 按公式(9)计算 3 台标准设备测试每组 $PM_{2.5}$ 样品浓度的平均值 \bar{R}_j , \bar{R}_j 尽量选择在 $15 \sim 300 \mu g/m^3$ 。

$$\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^n R_{i,j}}{3} \dots \dots \dots (9)$$

式中:

\bar{R}_j -----3 台标准设备测量的第 j 组样品浓度平均值, $\mu g/m^3$;

$R_{i,j}$ -----第 i 台标准设备测量的第 j 组样品浓度值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(2) 分别计算每组标准设备测试结果的标准偏差或相对标准偏差, 应小于等于 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 或 7%, 则该组标准测试数据有效。

(3) 按公式(10)计算 3 台网格化监测设备测试对应时间段内每组 $\text{PM}_{2.5}$ 样品浓度的平均值 \bar{C}_j 。按 7.6 计算 336 组网格化监测设备测试结果的平行性, 应符合 6.7 的要求。

$$\bar{C}_j = \frac{\sum_{i=1}^n C_{i,j}}{3} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

\bar{C}_j -----3 台网格化监测设备测量的第 j 组样品浓度平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

$C_{i,j}$ -----第 i 台网格化监测设备测量的第 j 组样品浓度值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(4) 当标准设备测试数据和网格化监测设备数据都有效时, 组成一组有效数据对, 每一批次比对至少取得 336 组有效数据对, $\bar{R}_j \leq 100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $>100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的有效数据对数均应 ≥ 112 。将标准设备测试数据与相应的网格化监测设备数据进行线性回归分析, 以标准设备测试数据为横轴, 待测网格化监测设备数据为纵轴, 按公式 (11) 计算回归曲线斜率 k。

$$k = \frac{\sum_{j=1}^{10} (\bar{R}_j - \bar{R}) \times (\bar{C}_j - \bar{C})}{\sum_{j=1}^{10} (\bar{R}_j - \bar{R})^2} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

k-----比对测试回归曲线斜率;

\bar{C} -----336 组网格化监测设备测量浓度的平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

\bar{R} -----336 组标准自动监测仪器测量浓度的平均值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(5) 按公式 (12) 计算回归曲线截距 b

$$b = \bar{C} - k \times \bar{R} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

b-----比对测试回归曲线截距。

(6) 按公式(13)计算回归曲线的相关系数 r

$$r = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j - \bar{R}) \times (\bar{C}_j - \bar{C})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (R_j - \bar{R})^2 \times \sum_{j=1}^n (\bar{C}_j - \bar{C})^2}} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

r-----比对测试回归曲线相关系数。

(7) 比对测试回归曲线斜率 k、截距 b 和相关系数 r 都应符合 6.8 要求。

8 检测项目

网格化监测设备检测项目见表 1。

表 1 网格化监测设备检测项目

| 检测项目 | 网格化监测设备 |
|------------|--|
| 浓度测量范围 | 0~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| 最小显示单位 | 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| 测量误差 | $\pm 20\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0~100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); 不大于满量程 $\pm 20\%$ (100~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。 |
| 时钟误差 | 正常工作状态 $\pm 20\text{s}$; 断电状态 $\pm 2\text{min}$ 。 |
| 温度测量示值误差 | $\pm 5^\circ\text{C}$ |
| 湿度测量示值误差 | $\pm 10\%\text{RH}$ |
| 大气压测量示值误差 | $\leq 1\text{kPa}$ |
| 网格化监测设备平行性 | $\leq 15\%$ |
| 标准监测方法比对测试 | 斜率: 1 ± 0.20 ; 截距: $(0\pm 20)\mu\text{g}/\text{m}^3$; 相关系数 ≥ 0.85 。 |

附录 A

(规范性附录)

网格化监测设备数据格式要求

A.1 数据格式要求

网格化监测设备数据处理实时数据时，应采用的数据格式见下表。

表 A.1 数据格式一览表

| 序号 | 项目名称 | 单位 | 小数位 |
|----|---------|--------------------------|-----|
| 1 | 颗粒物质量浓度 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 1 |
| 2 | 环境温度 | $^{\circ}\text{C}$ | 1 |
| 3 | 环境大气压 | kPa | 1 |
| 4 | 环境湿度 | %RH | 0 |