

# 北京市地方计量技术规范

JJF (京) XXXX-XXXX

## 气溶胶浓缩采样器测试规范 粒径谱仪法

Test Specification for Aerosol Concentration Sampler

Particle Size Spectrometer Method

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布

# 气溶胶浓缩采样器测试规范 粒径谱仪法

Test Specification for Aerosol Concentration  
Sampler Particle Size Spectrometer Method

JJF(京) xx-xxxx

归口单位：北京市市场监督管理局

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

本规程委托 XXX 负责解释

# 目 录

1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 概述.....	1
5 计量性能.....	2
6 测试条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 测量标准及其设备.....	2
7 测试项目和测试方法.....	2
7.1 校准前准备.....	2
7.2 流量示值误差.....	2
7.3 浓缩比.....	3
7.4 曲线拟合法.....	4
8 测试报告.....	4
附录 A.....	5
附录 B.....	6
附录 C.....	9
附录 D.....	10

# 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》的规定而制定，参考了 JJF 2066-2023《气溶胶稀释器校准规范》的相关内容。

本规范为首次发布。

# 气溶胶浓缩器浓缩比测试规范 粒径谱仪法

## 1 范围

本规范适用于流量范围为(1~1000) L/min的气溶胶浓缩器的校准。

## 2 引用文件

JJF 2066-2023 《气溶胶稀释器校准规范》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

## 3 术语

### 3.1 颗粒物数量浓度 particle number concentration

单位体积气体中的颗粒物数量，单位为  $L^{-1}$ 。

### 3.2 浓缩比 concentration ratio

进气口单位体积内的颗粒数与出气口单位体积内的颗粒数之比，无量纲。

## 4 概述

气溶胶浓缩器基于虚拟撞击原理，用于低浓度气溶胶样品的采集。仪器通过惯性分离机制，将气溶胶中大于设定切割粒径的粒子从主气流中分离，并富集于次流气体中，实现颗粒物的浓缩收集。如图 1 所示，采样气流经加速喷嘴加速后进入分离腔。在气流运动过程中，大粒径粒子因惯性较大，其运动轨迹不易随气流偏转，保持原有方向直接进入接收喷嘴，并随次流气体输出；小于切割粒径的粒子则因惯性较小，随主气流偏转约  $90^\circ$  后，沿主流道排出系统。通过上述过程，气溶胶中大于切割粒径的粒子得以从大量气体中被有效分离并浓缩进入较小流量的次流气体中，从而实现对目标粒径气溶胶的富集采集。

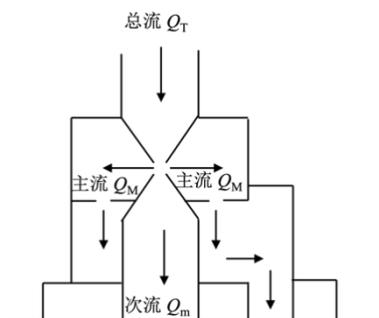


图 1 仪器原理示意图

## 5 计量性能

流量示值误差、浓缩比（技术指标）。

## 6 测试条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（15~30）℃。

6.1.2 相对湿度：（20~80）%。

6.1.3 大气压力：（86~106）kPa。

6.1.4 供电电源：电压（220±22）V 或（380±38）V，频率（50±1）Hz。

### 6.2 测量标准及其设备

6.2.1 粒度标准物质：应使用聚苯乙烯粒度有证标准物质，平均粒径的范围（0.5~5） $\mu\text{m}$  且相对扩展不确定度不超过 5%（ $k=2$ ）。

6.2.2 容量瓶：（0~25）mL，A 级。

6.2.3 移液器：（100~1000） $\mu\text{L}$ ，MPE：±2.0%；（20~200） $\mu\text{L}$ ，MPE：±4.0%。

6.2.4 气溶胶粒径谱仪：粒径测量范围应能覆盖目标粒径，如（0.3~20） $\mu\text{m}$ ，粒径示值误差不超过±15%，颗粒计数效率（100±20）%。

6.2.5 流量校准装置：测量范围（1~200）L/min，示值误差：±1.0%。

6.2.6 发生混匀装置：可发生（0.5~5） $\mu\text{m}$  的颗粒物，浓度在（10000~20000）个/L 可调节，且 10min 内的颗粒浓度稳定性≤5%，均匀性≤5%。

## 7 测试项目和测试方法

### 7.1 校准前准备

7.1.1 采用目视及手动检查，各零部件应齐全并且连接可靠，不应有影响使用的损伤和变形，能正常工作。

7.1.2 校准装置与被校仪器连接正确，气路连接正确保证无漏气现象，数显部位显示清晰完整。

### 7.2 流量示值误差

对于流量比固定的浓缩器，应选取其相应工作流量值作为校准点。将流量校准装置和仪器进气口相连，连续读取 3 次流量实测值，根据公式（1）计算仪器主流量或者次流量的示值误差。

$$\Delta Q = \frac{Q_0 - \bar{Q}}{\bar{Q}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$\Delta Q$ ——流量示值误差, %;

$Q_0$ ——浓缩器主流量或者次流量的设定值, L/min;

$\bar{Q}$ ——3次主流量或者次流量测量值的平均值, L/min。

### 7.3 浓缩比

在每次雾化产生颗粒物气溶胶开始之前, 需要清理模拟舱, 将舱内残留的颗粒物排出舱外, 保证舱内的颗粒物数浓度不超过 5 个/cm<sup>3</sup>。

选择粒径范围为 (0.3~5)  $\mu\text{m}$  的单分散粒子, 按一定比例混合分散到合适的液体溶剂中, 配制成颗粒物悬浊液, 用雾化装置产生气溶胶, 通过稀释或加热除湿后, 通入模拟舱并进行充分混合, 使得气溶胶湿度不大于 50%RH。

测量静态箱中三个以上点位抽取的气溶胶样品粒径和浓度, 确保各个位点的气溶胶浓度相对标准偏差 $\leq 10\%$ 。

将气溶胶浓缩采样器置于模拟舱内, 先通过参比管路, 利用气溶胶粒径谱仪检测某个粒径气溶胶模拟舱颗粒物浓度 (上游), 取 1min 内测量结果平均值, 记录为  $C_i$ 。再使气路从被检的浓缩采样器通过, 利用气溶胶粒径谱仪检测经过采样器之后的某个粒径颗粒物浓度 (下游), 待浓度稳定后, 取 1min 内测量结果平均值, 记录为  $C_m$ 。根据公式 (2), 计算采样器在某一粒径时的浓缩比。

$$\eta = \frac{C_m}{C_i} \quad (2)$$

式中:

$\eta$  ——气溶胶浓缩采样器的浓缩比;

$C_m$  ——气溶胶浓缩采样器次流量中的粒子浓度, 个/L;

$C_i$  ——气溶胶浓缩采样器总流量中的粒子浓度, 个/L。

## 7.4 曲线拟合法

选取多种粒径的微球标准物质，每种微球参照 7.3 的方法进行检测，得到气溶胶浓缩采样器在特定粒径时的浓缩比。以微球标准物质的粒径为横坐标，以不同粒径对应的浓缩比为纵坐标，通过曲线拟合，可得到采样器的浓缩比曲线。

根据曲线形状的不同，可选用合适的拟合算法，例如常见的保形拟合、样条拟合、反向非对称 S 方程拟合等。在完成曲线拟合后，计算拟合的曲线与原始数据的相关系数，选择最优的拟合算法，使相关系数满足  $r \geq 0.99$ ，得到浓缩比的曲线图。

## 8 测试报告

测试报告应包含以下内容：

- a) 外观检查；
- b) 试样名称；
- c) 试样编号；
- d) 所使用的仪器；
- e) 测量的温度；
- f) 所测得的浓缩比；
- g) 测试日期；
- h) 测试员、核验员签字。

## 附录 A

## 气溶胶混匀模拟舱

图 A.1 是气溶胶混匀模拟舱（6.2.6 中描述为“发生混匀装置”）结构示意图。本规范使用粒径谱仪法评价气溶胶浓缩采样器的浓缩比。

该装置通过形成稳定的气溶胶环境，使用气溶胶粒径谱仪分别测量采样器上、下游的颗粒物浓度，检测采样器在多个粒径点对应的浓缩比，得出浓缩比曲线，从而实现对气溶胶浓缩采样器的检测。其中，电磁阀切换到参比管路时，得到浓缩采样器上游的颗粒物浓度，切换到被检采样器时，得到浓缩采样器（名称）下游的颗粒物浓度。

试验过程中，需注意在电磁阀切换前后，经过阀门的采样流量须保持不变，且该流量不能超过被检仪器（统一叫“被检仪器”或者“被检浓缩采样器”？）的采样流量。

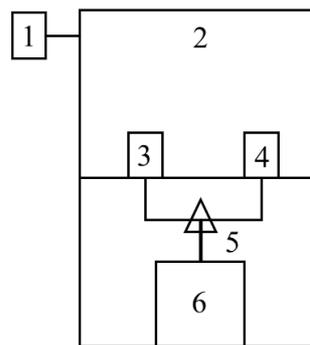


图 A.1 气溶胶混匀模拟舱示意图

1-气溶胶发生装置，2-模拟舱，3-被检浓缩采样器，4-参比管路，5-电磁阀，6-气溶胶粒径谱仪

## 附录 B

## 气溶胶浓缩采样器浓缩比的不确定度评定示例

## B.1 概述

B.1.1 环境条件：符合本规范规定的环境条件。

B.1.2 测量标准器具：

流量校准装置最大允许误差不超过 $\pm 1.0\%$ ，

单标线容量瓶：A 级，国家有证的聚苯乙烯粒度标准物质，相对扩展不确定度不大于 5% ( $k=2$ )。

B.1.3 被校仪器：待测气溶胶浓缩采样器（名称统一）。

B.1.4 测量方法：见“7 测试项目和测试方法”。

## B.2 测量模型

$$\eta = \frac{C_m}{C_i} \quad (2.1)$$

式中：

$\eta$  ——气溶胶浓缩采样器的浓缩比；

$C_m$  ——气溶胶浓缩采样器次流量中的粒子浓度；

$C_i$  ——气溶胶浓缩采样器总流量中的粒子浓度。

根据测量模型得到：

$$u_r(\eta) = \sqrt{u_r^2(C_i) + u_r^2(C_m)} \quad (2.2)$$

其中， $C_m$  和  $C_i$  的不确定来源相同，因此，公式 (2.2) 可简化为：

$$u_r(\eta) = \sqrt{2} \times \sqrt{u_r^2(C)} \quad (2.3)$$

## B.3 浓缩比不确定度来源分析

浓缩比的不确定度来源以下几个方面：

- (1) 测量重复性引入的不确定度；
- (2) 颗粒物气溶胶浓度稳定性引入的不确定度；

- (3) 颗粒物气溶胶浓度均匀性引入的不确定度；  
 (4) 气溶胶粒径谱仪引入的不确定度；  
 (5) 颗粒物标准物质引入的不确定度。

### B.3.1 测量重复性引入的不确定度 $u_r(C)_1$

测量重复性引入的标准不确定度采用 A 类评定的方法。由采样器在  $0.8\mu\text{m}$  粒径处的 6 次浓缩比测量数据计算测量重复性引入的不确定度，6 次测量结果分别为 2.40, 2.42, 2.43, 2.44, 2.45, 2.42，相对标准偏差为 0.72%，由于实际测试中选择 3 次的测量结果平均值作为最终结果，故测量重复性引入的不确定度为：

$$u_r(C)_1 = \frac{0.72\%}{\sqrt{3}} = 0.42\%$$

### B.3.2 颗粒物气溶胶浓度稳定性引入的不确定度 $u_r(C)_2$

根据颗粒物气溶胶模拟舱的校准证书，发生浓度在  $5.0\text{mg}/\text{m}^3$  左右，在检测截面中心位的浓度稳定性为 1.4%，假设为矩形分布，则稳定性引入的不确定度为：

$$u_r(C)_2 = \frac{1.4\%}{\sqrt{3}} = 0.81\%$$

### B.3.3 颗粒物气溶胶浓度均匀性引入的不确定度 $u_r(C)_3$

根据颗粒物气溶胶模拟舱的校准证书，发生浓度在  $5.0\text{mg}/\text{m}^3$  左右，在测试段中标准采样装置采样口和受检粉尘仪采样口，得到的均匀性偏差为 3.2%，假设为矩形分布，则均匀性引入的不确定度为：

$$u_r(C)_3 = \frac{3.2\%}{\sqrt{3}} = 1.85\%$$

### B.3.4 气溶胶粒径谱仪引入的不确定度 $u_r(C)_4$

由气溶胶粒径谱仪的校准证书可知其在粒径  $0.8\mu\text{m}$  处示值误差为 0.3%，则引入的相对不确定度为：

$$u_r(C)_4 = \frac{0.3\%}{\sqrt{3}} = 0.17\%$$

### B.3.5 标准物质引入的不确定度 $u_r(C)_5$

以粒径为  $0.8\mu\text{m}$  的单分散聚苯乙烯标准物质为例，由标准物质证书得知  $0.8\mu\text{m}$  的单分散聚苯乙烯微粒标准物质的不确定度为  $U=4.2\text{nm}$  ( $k=2$ )，则相对不确定度为：

$$u_r(C)_5 = \frac{0.004}{2 \times 0.8} = 0.3\%$$

### B.3.6 合成不确定度

根据公式

$$u_r(C) = \sqrt{u_r^2(C)_1 + u_r^2(C)_2 + u_r^2(C)_3 + u_r^2(C)_4 + u_r^2(C)_5} = 2.1\%$$

得到

$$u_r(\eta) = \sqrt{2} \times \sqrt{u_r^2(C)} = 2.97\%$$

代入气溶胶浓缩采样器在 0.8 $\mu\text{m}$  粒径处的浓缩比测量数据 2.40，得出：

$$u(\eta) = 2.40 \times 2.97\% = 0.07$$

### B.3.7 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U(\eta) = k \times u(\eta) = 0.14 \quad (k=2)$$

## 附录 C

## 测试记录格式（推荐）

记录编号:		委托单位:			
仪器名称:		外观检查:			
制造厂:		出厂编号:			
环境温度:	相对湿度:	测试日期:			
测试依据:					
使用的标准器:					
名称	型号规格	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	仪器编号	证书编号及 溯源单位	有效期

## 一、流量示值误差

设定值 (L/min)	测量值 (L/min)			平均值 (L/min)	示值误差 (%)
	1	2	3		

## 二、浓缩比

序号	粒径 ( $\mu\text{m}$ )	浓缩比
1		
2		
3		
4		
5		

检测员: \_\_\_\_\_ 核验员: \_\_\_\_\_ 检测日期: \_\_\_\_\_

## 附录 D

### 测试报告内页格式（推荐）

测试项目	测试结果		
流量示值误差			
浓缩比	序号	粒径 ( $\mu\text{m}$ )	浓缩比 (%)
	1		
	2		
	3		
	4		