

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2066—2023

气溶胶稀释器校准规范

Calibration Specification for Aerosol Diluters



2023-10-12 发布

2024-04-12 实施

国家市场监督管理总局 发布

气溶胶稀释器校准规范

Calibration Specification for Aerosol Diluters

JJF 2066—2023

归口单位：全国新材料与纳米计量技术委员会

主要起草单位：福建省计量科学研究院

中国计量科学研究院

福州市产品质量检验所

参加起草单位：河南省计量科学研究院

本规范委托全国新材料与纳米计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

黄志煌（福建省计量科学研究院）

刘俊杰（中国计量科学研究院）

吴忠兴（福州市产品质量检验所）

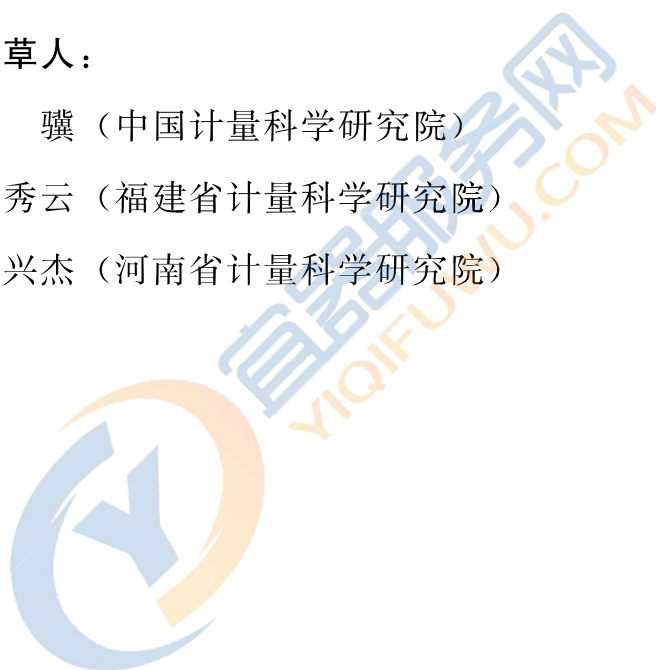
李 杰（福建省计量科学研究院）

参加起草人：

肖 骥（中国计量科学研究院）

林秀云（福建省计量科学研究院）

路兴杰（河南省计量科学研究院）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
8 校准结果表达	(4)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 气溶胶稀释器校准装置	(6)
附录 B 流量计刻度状态下的换算方法	(7)
附录 C 气溶胶稀释器稀释比示值误差的不确定度评定示例	(8)
附录 D 气溶胶稀释器校准记录格式 (参考)	(11)
附录 E 气溶胶稀释器校准证书 (内页) 格式 (参考)	(13)

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》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》为基础性规范进行制定。

本规范的编制参考了 JJG 956—2013《大气采样器》、JJF 1190—2008《尘埃粒子计数器校准规范》和 JJF 1562—2016《凝结核粒子计数器校准规范》。

本规范为首次发布。



气溶胶稀释器校准规范

1 范围

本规范适用于流量范围为（1~30）L/min、稀释比为 1~300 的限流式气溶胶稀释器和流量式气溶胶稀释器的校准，其他气溶胶稀释器可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 956—2013 大气采样器

JJF 1190—2008 尘埃粒子计数器校准规范

JJF 1562—2016 凝结核粒子计数器校准规范

GB/T 6682—2008 分析实验室用水规格和试验方法

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

3 术语和计量单位

3.1 颗粒数量浓度 particle number concentration

单位体积气体中的颗粒物数量，单位为 L^{-1} 。

3.2 稀释比 dilution 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

气溶胶稀释器（以下简称稀释器）用于对含颗粒物的气溶胶样品进行定量稀释，从而使得样品中的颗粒物浓度等比例减少，按照工作原理稀释器可分为限流式稀释器和流量式稀释器。

限流式稀释器的工作原理如图 1 所示，当含颗粒物的气溶胶样品进入稀释器入口后分成了两路，两路样品按一定比例分别流经毛细管气路和含有高效过滤器的气路，之后两路样品混合得到稀释后的样品。

流量式稀释器的工作原理如图 2 所示，含颗粒物的气溶胶样品与洁净的气体样品按一定比例由稀释器入口进入到仪器的稀释腔体，并在腔体内混合均匀。混合后的样品由稀释器的气溶胶出口被定量输出，多余的气体样品则通过其他口排出。

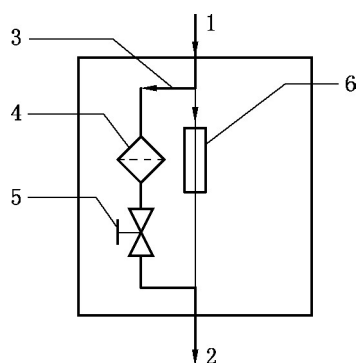


图1 限流式稀释器的原理图

1—气溶胶入口；2—气溶胶出口；3—旁路；4—高效过滤器；5—微调阀；6—毛细管

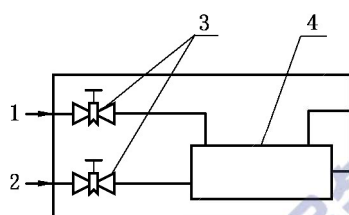


图2 流量式稀释器的原理图

1—稀释气体入口；2—气溶胶入口；3—流量控制单元；4—稀释腔体；
5—排空口；6—气溶胶出口

5 计量特性

5.1 稀释比误差

稀释器的稀释比示值误差不超过 $\pm 10\%$ 。

5.2 流量误差

对于有流量测量单元的稀释器，流量示值误差不超过 $\pm 5\% \text{FS}$ 。

注：以上指标不是用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(15 \sim 30)^\circ\text{C}$ ，相对湿度： $(20 \sim 80)\%$ 。

6.1.2 供电电压：AC $(220 \pm 22) \text{V}$ ， $(50 \pm 1) \text{Hz}$ 。

6.1.3 洁净度：洁净度不低于10 000级的洁净室或洁净区。

6.1.4 其他：远离振动、电磁干扰，避免阳光直射。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 粒度标准物质：应使用聚苯乙烯粒度国家有证标准物质，平均粒径的范围 $(0.5 \sim 1) \mu\text{m}$ 且不确定度不超过 10% ($k=2$)。

6.2.2 移液器： $(100 \sim 1\,000) \mu\text{L}$ ，检定合格。

6.2.3 单刻线容量瓶：10 mL和100 mL，A级。

6.2.4 稀释器发生混匀装置：可发生 $(0.5 \sim 1) \mu\text{m}$ 的颗粒物，颗粒浓度在 $(10\,000 \sim$

20 000) 个/L 可调节, 且 10 min 内的颗粒浓度稳定性优于 $\pm 3\%$ 。校准装置工作原理参见附录 A。

6.2.5 粒子计数器: 可测量 $\geq 0.3 \mu\text{m}$ 的颗粒数量浓度, 颗粒浓度校准结果不确定度优于 6.5% ($k=2$), 重复性优于 3% 。

6.2.6 流量标准装置: 测量范围 (1~30) L/min, 示值误差不超过 $\pm 1.5\%$ 。

6.2.7 超纯水: 采用反渗透法制得, 满足 GB/T 6682—2008 《分析实验室用水规格和试验方法》。

6.2.8 温度计: 分度值为 0.1°C 。

6.2.9 空盒气压表: 范围 (800~1 060) hPa, 最大允许误差 $\pm 0.2 \text{ hPa}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前准备

7.1.1 采用目视检查和手感检查方法, 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, 各旋转开关无损伤和卡死现象, 能正常工作。

7.1.2 校准装置与被校仪器连接正确, 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, 根据各设备使用要求开机预热时间不低于 5 min。

7.2 稀释比示值误差

7.2.1 对于稀释比可调的仪器, 在稀释比范围内选择上、中、下 3 点作为校准点; 对于固定稀释比的仪器, 则选用该稀释比作为校准点。按照图 A.1 的方式将被校准仪器接入到校准装置内, 并根据被校准仪器流量设定补气或采样泵流量。

7.2.2 调节或选取被检仪器的稀释比 f_D 。移取少量粒度标准物质并将其用超纯水稀释, 得到 1# 颗粒悬浮液样品。

7.2.3 用稀释器发生混匀装置雾化 1# 颗粒悬浮液样品, 并通过调节雾化发生流量等措施, 使得粒子校准装置发生颗粒计数浓度在 (10 000~20 000) 个/L 范围内。待系统稳定后, 记录粒子计数器 1 min 内的颗粒计数值 N_{1i} , 重复 6 次, 按公式 (1) 计算平均值 $\overline{N}_1$ 。

7.2.4 将 1# 颗粒悬浮液样品用超纯水稀释 f_D 倍, 得到 2# 颗粒悬浮液样品。将被校准仪器从校准装置内移除, 并保持校准装置其他设置不变。

7.2.5 用稀释器雾化 2# 颗粒悬浮液样品, 待系统稳定后, 记录粒子计数器 1 min 内的颗粒计数值 N_{2i} , 重复 6 次, 按公式 (2) 计算平均值 $\overline{N}_2$ 。

7.2.6 分别根据公式 (3) 和公式 (4) 计算标准稀释比 f_s 和稀释比的示值误差 Δ 。

7.2.7 当稀释比可调时, 重复步骤 7.2.2~7.2.6, 计算得到仪器不同稀释比的示值误差。

$$\overline{N}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{1i} \quad (1)$$

$$\overline{N}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{2i} \quad (2)$$

$$f_s = \frac{f_D \times \overline{N}_2}{\overline{N}_1} \quad (3)$$

$$\Delta = \frac{f_D - f_s}{f_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\overline{N}_1$ ——雾化 1# 颗粒悬浮液后，粒子计数器颗粒计数的 6 次测量平均值，个/min；

$\overline{N}_2$ ——雾化 2# 颗粒悬浮液后，粒子计数器颗粒计数的 6 次测量平均值，个/min；

f_D ——被校仪器的稀释倍数设定值，无量纲；

f_s ——标准装置稀释倍数的标准值，无量纲；

Δ ——稀释器的示值误差。

7.3 流量示值误差

对于流量值可调的稀释器，在流量范围的上、中、下选取 3 个流量值作为校准点；对于流量值固定的稀释器，选取该流量值作为校准点。

将流量标准装置和仪器进气口相连，读取 3 次流量测量值，按照附录 B 的方法，将测量值换算刻度状态下的流量值，根据公式 (5) 计算仪器流量的示值误差。

$$\Delta Q = \frac{\overline{Q}_m - \overline{Q}_s}{Q_{\max}} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

ΔQ ——流量相对示值误差；

$\overline{Q}_m$ ——被校仪器流量示值的算术平均值，L/min；

$\overline{Q}_s$ ——流量标准装置 3 次测量值的算术平均值，L/min；

$Q_{\max}$ ——被校仪器最大流量值，L/min。

8 校准结果表达

校准结果应该在校准证书或者校准报告上反映。校准证书或校准报告至少包括以下信息：

- 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点；
- 校准证书或校准报告的唯一标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 对校准规范的偏离的说明；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 校准日期，需要时应说明被校对象的接收日期；
- 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- 校准环境的描述；
- 校准结果及测量不确定度的说明；
- 校准证书或校准报告签发人的有效标识以及签发日期；

- m) 校准结果仅对被校准对象有效的声明；
- n) 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

稀释器的复校时间间隔建议为不超过 1 年。复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定。送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。



附录 A

气溶胶稀释器校准装置

气溶胶稀释器校准装置主要由气溶胶发生器、干燥器、气溶胶中和器、混匀腔、补气装置、抽样泵、粒子计数器等组成，参见图 A.1 和图 A.2。其中，经过高效过滤器过滤的洁净压缩空气进入气溶胶发生器后，将装置中粒度标准物质样品雾化，并经过干燥器和气溶胶中和器后得含有颗粒物的干燥不含静电的气溶胶样品。样品经混匀腔后与洁净空气混合均匀，并被抽入到被校准的气溶胶稀释器内。为满足对不同流量气溶胶稀释器的校准，并与粒子计数器流量相匹配，在粒子计数器入口处需通过补气或采样泵抽气的方式使得系统内的气溶胶样品达到动态平衡。校准装置的工作原理可概述如下：对于稀释倍数为 f 的被校准仪器，首先选用一定浓度的粒度标准样品 1# 并将其雾化，待系统内颗粒浓度达到动态平衡后记录粒子计数器的测量值 N_1 。之后将被校准仪器从系统移除，并将粒度标准样品 1 用超纯水稀释 f 倍得到 2# 样品，待系统内颗粒浓度达到动态平衡后记录粒子计数器的测量值 N_2 。最后按照公式 (4) 计算得到被校准仪器的稀释倍数示值误差。

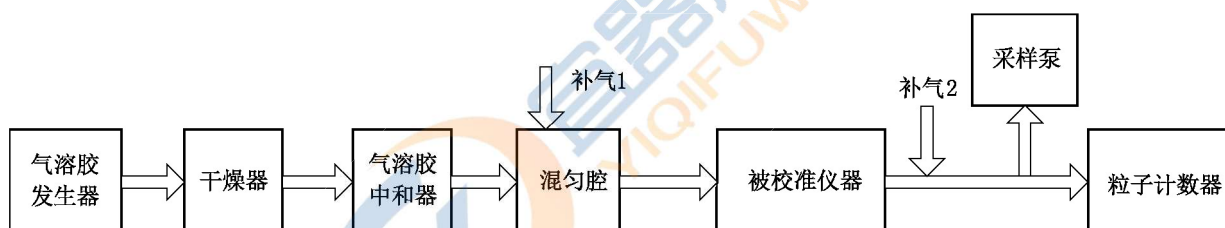


图 A.1 1# 样品气溶胶稀释器校准示意图

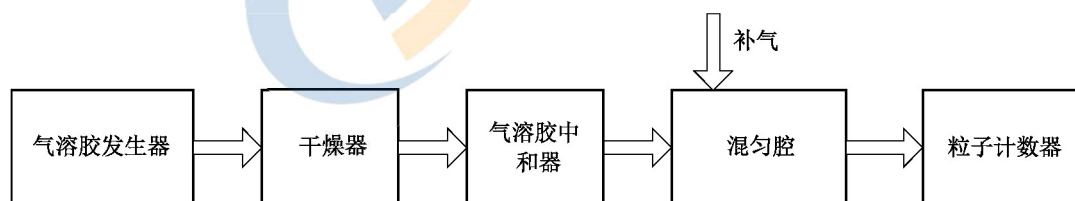


图 A.2 2# 气溶胶稀释器校准示意图

附录 B

流量计刻度状态下的换算方法

B.1 当流量计为转子流量计时，按公式（B.1）进行换算。

$$Q_{Ci} = Q_{Si} \times \frac{P}{P_s} \times \frac{T_s}{T} \quad (\text{B. 1})$$

B.2 当流量计为皂膜流量计时，按公式（B.2）进行换算。

$$Q_{Ci} = Q_{Si} \times \frac{P - P_d}{P_s} \times \frac{T_s}{T} \quad (\text{B. 2})$$

B.3 当流量计为其他类型流量计时，按公式（B.3）进行换算。

$$Q_{Ci} = Q_{Si} \times \sqrt{\frac{T_s \times P}{P_s \times T}} \quad (\text{B. 3})$$

式中：

Q_{Ci} ——仪器流量计刻度状态下的流量值，L/min；

Q_{Si} ——流量校准装置的测量值，L/min；

T_s ——仪器流量计刻度状态下的热力学温度，K；

P_s ——仪器流量计刻度状态下的大气压力，kPa；

P ——校准环境大气压，kPa；

T ——校准环境下的热力学温度，K；

P_d ——校准环境温度对应的水饱和蒸汽压，kPa。

附录 C

气溶胶稀释器稀释比示值误差的不确定度评定示例

C.1 校准方法简述及测量模型

按 7.2 进行气溶胶稀释器的校准。按公式 (C.1) 计算气溶胶稀释器稀释比的示值误差：

$$\Delta = \frac{f_D - f_s}{f_s} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

Δ ——气溶胶稀释器的示值误差；

f_D ——被校仪器的稀释倍数设定值，无量纲；

f_s ——被校仪器的稀释倍数校准值，无量纲，可用公式 (C.2) 计算：

$$f_s = \frac{f_{DW} \times \bar{N}_2}{\bar{N}_1} \quad (\text{C.2})$$

f_{DW} ——1# 颗粒样品的稀释倍数，无量纲；

$\bar{N}_1$ ——雾化 1# 颗粒悬浮液后，粒子计数器颗粒计数 6 次测量平均值，个/L；

$\bar{N}_2$ ——雾化 2# 颗粒悬浮液后，粒子计数器颗粒计数 6 次测量平均值，个/L。

因此，稀释器的稀释比的示值误差可表示为：

$$\Delta = \frac{f_D - f_s}{f_s} \times 100\% = \left(\frac{f_D \times \bar{N}_1}{f_{DW} \times \bar{N}_2} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{C.3})$$

C.2 不确定度计算公式

从公式 (C.3) 和校准过程可以看出，影响测量结果不确定度的因素主要有：被校准仪器示值 f_D 、1# 颗粒悬浮液样品的稀释倍数 f_{DW} 、粒子计数器测量结果 $\bar{N}_1$ 和粒子计数器测量结果 $\bar{N}_2$ 引入的不确定度，粒子发生装置稳定性引入的不确定度，其中， $\bar{N}_1$ 和 $\bar{N}_2$ 的测量结果相关。因此不确定度计算公式可导出为：

$$\begin{aligned} u(\Delta) = & \left[\left(\frac{\bar{N}_1}{f_{DW} \times \bar{N}_2} \right)^2 \times u^2(f_D) + \left(\frac{f_D}{f_{DW} \times \bar{N}_2} \right)^2 \times u^2(\bar{N}_1) + \left(\frac{f_D \times \bar{N}_1}{-f_{DW}^2 \times \bar{N}_2} \right)^2 \right. \\ & \times u^2(f_{DW}) + \left(\frac{f_D \times \bar{N}_1}{-\bar{N}_2^2 \times f_{DW}} \right)^2 \times u^2(\bar{N}_2) + 2 \left(\frac{f_D}{f_{DW} \times \bar{N}_2} \right) \left(\frac{f_D \times \bar{N}_1}{-\bar{N}_2^2 \times f_{DW}} \right) \\ & \left. r(\bar{N}_1, \bar{N}_2) u(\bar{N}_1) u(\bar{N}_2) + u_s^2(N) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{C.4}) \end{aligned}$$

式中：

$u(\Delta)$ ——稀释比示值误差的合成标准不确定度；

$u(f_D)$ ——气溶胶稀释器示值 f_D 引入的不确定度；

$u(\bar{N}_1)$ ——粒子计数器测量 1# 颗粒悬浮液结果 $\bar{N}_1$ 引入的不确定度；

$u(\bar{N}_2)$ ——粒子计数器测量 2# 颗粒悬浮液结果 $\bar{N}_2$ 引入的不确定度；

$u(f_{\text{DW}})$ ——将 1# 颗粒悬浮液稀释为 2# 颗粒悬浮液稀释倍数 f_{DW} 引入的不确定度；

$r(\overline{N}_1, \overline{N}_2)$ —— $\overline{N}_1$ 和 $\overline{N}_2$ 的相关系数；

$u_s(N)$ ——粒子发生装置稳定性引入的不确定度。

C.3 不确定度分量的评定与计算

C.3.1 稀释器示值 f_{D} 引入的不确定度

f_{D} 为稀释器的设定值或显示值。显示值引入的不确定度主要为示值分辨力引入的不确定度。被校准稀释器的稀释比 $f_{\text{D}}=100$ ，分辨力为 0.5，服从均匀分布，因此稀释器示值 f_{D} 引入的不确定度 $u(f_{\text{D}})=0.5$ 。

C.3.2 将 1# 颗粒悬浮液稀释为 2# 颗粒悬浮液稀释倍数 f_{DW} 引入的不确定度

使用容量瓶和移液器对 1# 颗粒悬浮液进行了稀释， $f_{\text{DW}}=100$ 。其中，所用使用的容量瓶为 100 mL，A 级，最大允许误差为不确定度为 ± 0.1 mL。所使用的移液器满量程为 1 mL，检定合格且最大允许误差为 $\pm 1\%$ 。因此稀释倍数 f_{DW} 引入的不确定度为：

$$u(f_{\text{DW}}) = \sqrt{\left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^2 + 100^2 \times \left(\frac{0.01}{\sqrt{3}}\right)^2} \approx 0.58$$

C.3.3 $\overline{N}_1$ 引入的不确定度

在 7.2.3 中对 1# 颗粒悬浮液雾化并使用粒子计数器对稀释器出口的浓度进行了测量，测量结果见表 C.1。因此 $\overline{N}_1$ 测量重复性引入的不确定度为 $u_1(\overline{N}_1) = \frac{s(N_1)}{\sqrt{6}} = 56.4$ 。

与此同时，所用粒子计数器的颗粒浓度校准结果不确定度优于 6.5% ($k=2$)，因此 $\overline{N}_1$ 测量准确性引入的不确定度为 $u_2(\overline{N}_1) = \frac{6.5\%}{2} \times 15\,781.7 \approx 512.9$ 。

$$u(\overline{N}_1) = \sqrt{u_1^2(\overline{N}_1) + u_2^2(\overline{N}_1)} = 516.0$$

C.3.4 $\overline{N}_2$ 引入的不确定度

在 7.2.5 中对 2# 颗粒悬浮液雾化并使用粒子计数器其浓度进行了测量，测量结果见表 C.1。因此 $\overline{N}_2$ 测量重复性引入的不确定度为 $u_1(\overline{N}_2) = \frac{s(N_2)}{\sqrt{6}} = 80.8$ 。

与此同时，所用粒子计数器的颗粒浓度校准结果不确定度优于 6.5% ($k=2$)，因此 $\overline{N}_2$ 测量准确性引入的不确定度为 $u_2(\overline{N}_2) = \frac{6.5\%}{2} \times 15\,807.3 \approx 513.7$ 。

$$u(\overline{N}_2) = \sqrt{u_1^2(\overline{N}_2) + u_2^2(\overline{N}_2)} = 520.1$$

C.3.5 $\overline{N}_1$ 测量结果与 $\overline{N}_2$ 测量结果的相关分量

相关系数 $r(\overline{N}_1, \overline{N}_2)$ 可由如下公式计算得到：

$$r(\overline{N}_1, \overline{N}_2) = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{1i} - \overline{N}_1) \times (N_{2i} - \overline{N}_2)}{(n-1) \times s(N_1) \times s(N_2)} = 0.043$$

因此，可计算得到：

$$2 \times \left(\frac{f_D}{f_{DW} \times \overline{N}_2} \right) \times \left(\frac{f_D \times \overline{N}_1}{-\overline{N}_2^2 \times f_{DW}} \right) \times r(\overline{N}_1, \overline{N}_2) \times u(\overline{N}_1) \times u(\overline{N}_2) = -1.1 \times 10^{-4}。$$

表 C.1 N_{1i} 和 N_{2i} 的测量结果

测量次数	N_{1i}	N_{2i}
1	15 902	15 983
2	15 873	15 673
3	15 794	15 937
4	15 883	15 902
5	15 551	15 882
6	15 687	15 467
平均值 $\overline{N}$	15 781.7	15 807.3
标准偏差 s	138.1	198.0

C.3.6 粒子发生装置稳定性引入的不确定 $u_s(N)$

如前所述，粒子发生装置 10 min 的稳定性为 3%，服从均匀分布，因此稳定性引入的不确定度 $u_s(N) = \frac{3\%}{\sqrt{3}} \approx 1.7 \times 10^{-2}$ 。

C.4 合成标准不确定度

根据上述分析及计算，可得到各不确定度来源的灵敏系数及不确定度分量大小，如表 C.2 所示。

表 C.2 各不确定度来源的灵敏系数及不确定度分量大小

不确定度来源	灵敏系数	不确定度分量大小
稀释器示值 f_D 引入的不确定度	9.98×10^{-3}	5.0×10^{-1}
将 1 # 颗粒悬浮液稀释为 2 # 颗粒悬浮液稀释倍数 f_{DW} 引入的不确定度	9.98×10^{-3}	5.8×10^{-1}
$\overline{N}_1$ 引入的不确定度	6.326×10^{-5}	516.0
$\overline{N}_2$ 引入的不确定度	6.316×10^{-5}	520.1
$\overline{N}_1$ 测量结果与 $\overline{N}_2$ 测量结果的相关性分量	——	-1.1×10^{-4}
粒子发生装置稳定性引入的不确定度 $u_s(N)$	——	1.7

根据公式 (C.4)，稀释比示值误差的合成标准不确定度为：

$$u(\Delta) = 1.7\%$$

C.5 扩展不确定度

稀释比示值误差的扩展不确定度： $U_r = 3.4\%$ ($k=2$)。

附录 D

气溶胶稀释器校准记录格式 (参考)

原始记录号: _____ 校准日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

委托单位: _____

仪器名称: _____ 仪器型号: _____

生产厂家: _____ 仪器编号: _____

校准依据: _____

校准环境: 温度: _____ 相对湿度: _____ 大气压: _____

校准设备:

校准用 测量标 准及仪 器设备	名称	生产厂家	仪器型号	仪器编号	证书编号	有效期至
	气溶胶稀释器校准装置					
	粒度标准物质					
	流量标准装置					

1. 粒子计数器测量值

测量点	标准物质	测量值/个						平均值/个	比值
1	1 #								
	2 #								
2	1 #								
	2 #								
3	1 #								
	2 #								

2. 稀释器的示值误差

稀释器的示值 f_D	稀释倍数 f_s	结果	示值误差 $\Delta/\%$

3. 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 Δ /%

校准结果的不确定度：_____

校准员：_____ 核验员：_____



附录 E

气溶胶稀释器校准证书（内页）格式（参考）

校准结果

校准项目		校准结果			
稀释比的示 值误差	测量点	显示（标称） 值	校准值	示值误差/%	稀释比示值误 差扩展不确定度 $U_r(k=2)$
仪器流量值	_____ L/min				