JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—201X

在线尘埃粒子计数器校准规范

Calibration Specification for Online Airborne Particle Counters

（送审稿）

201×-××-××发布 **201×-××-××实施**

国家质量监督检验检疫总局 发 布

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

在线尘埃粒子计数器

Calibration Specification
for Online Airborne Particle Counters

JJFXXXX-201X

归口单位：全国物理化学计量技术委员会在线理化分析仪器分技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：

广西壮族自治区计量检测研究院

苏州苏净仪器自控设备有限公司

沈阳加野科学仪器有限公司

本规范委托全国物理化学计量技术委员会在线理化分析仪器分技术委员会负责解释

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

本规范主要起草人：

刘俊杰（中国计量科学研究院）

张文阁（中国计量科学研究院）

丁臻敏（上海市计量测试技术研究院）

参加起草人：

修宏宇（中国计量科学研究院）

冯可荣（广西壮族自治区计量检测研究院）

陈建（苏州苏净仪器自控设备有限公司）

李赫峰（沈阳加野科学仪器有限公司）

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

目　　录

引　言 II
1 范围 3
2 引用文件 3
3 术语 3
3.1 零点 3
3.2 最低粒径挡 3
4 概述 3
5 计量特性 4
6 校准条件 4
6.1 环境条件 4
6.2 校准用标准及其他设备 5
7 校准项目和校准方法 5
7.1 零点 5
7.2 流量示值误差 5
7.3 流量稳定性 6
7.4 颗粒计数效率和计数重复性 6
7.5 粒径分布误差 7
8 校准结果表达 8
9 复校时间间隔 9
附录 A 在线尘埃粒子计数器校准装置 10
附录 B 流量计刻度状态下的换算方法 13
附录 C 水的饱和蒸汽压表 14
附录 D 颗粒计数效率校准的不确定度评定实例 15
附录 E 校准记录格式 19
附录 F：校准证书（内页）格式 21

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

引 言

本规范以 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》 、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》为基础性规范进行制订。

在本规范的制订中，参照了 ISO 21501-4:2007 《粒度分析 单颗粒光学测量法第 4 部分 洁净间光散射尘埃粒子计数器》（Determination of particle size distribution-Single particle light interaction method- Part 4: Light scattering airborne particle counter for clean spaces）、GB/T 6167-2007 尘埃粒子计数器性能试验方法、JJF1190-2008《尘埃粒子计数器校准规范》、JIS B9921-2010《洁净间光散射尘埃粒子计数器》（light scattering airborne particle counter for clean spaces）中的部分内容。

本规范为首次发布。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

在线尘埃粒子计数器

1 范围

本规范适用测量范围为（0.1~10）μm 的在线尘埃粒子计数器和粒子计数传感器（本规范中简称仪器或 OPC）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1562-2016 凝结核粒子计数器校准规范

GB/T 6167-2007 尘埃粒子计数器性能试验方法

JJF1190-2008 尘埃粒子计数器校准规范

ISO 21501-4:2007 粒度分析 单颗粒光学测量法第 4 部分 洁净间光散射尘埃粒子计数器（Determination of particle size distribution- Single particle light interaction method- Part 4: Light scattering airborne particle counter for clean spaces）

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

3.1 零点 zero

仪器测量经超高效过滤器过滤的空气时产生的计数响应。也称假计数或伪计数。

3.2 最低粒径挡 minimum particle size division

仪器粒径测量下限处的计数通道。

4 概述

在线尘埃粒子计数器和粒子计数传感器（Online Airborne Particle Counters /Sensors）主要用于测量洁净间或洁净区域的洁净度。其工作原理为：当被测气溶胶经仪器进样系统并以恒定流速通过光敏感区时，会发生颗粒的光散射现象并产生散射

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

信号，且该光散射信号的强弱及数量与气溶胶中颗粒粒径和数量密切相关。通过对该信号的光电转化、放大及检测，再利用软件及显示单元可得到单位体积中的粒子数量，即粒子数量浓度。该仪器一般由激光光源、光学透镜、进样系统、光电检测器、软件及显示单元等部分组成。

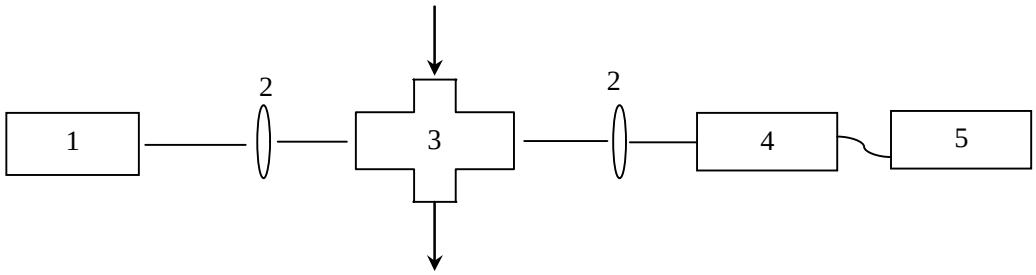

图 1　仪器的结构简图

5　　激光光源；2—光学透镜；3—进样系统；4—光电检测器；5—软件及显示单元

5 计量特性

仪器的计量特性见表 1，性能指标供校准时参考。

表 1 仪器的计量特性

计量性能	性能指标	备注
零点	≤**1** 个	/
流量示值误差	不超过±5%	/
流量稳定性	≤**1**5%	内置采样泵的仪器做此项目
颗粒计数效率	（100±20）%	/
颗粒计数重复性	≤5%	/
粒径分布误差	不超过±30%	/

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（18~30）℃；

6.1.2 相对湿度：20%~80%；

6.1.3 实验室洁净度：优于 ISO7 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。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

6.2 校准用标准及其他设备

6.2.1 在线尘埃粒子计数器校准装置：在（3000~30000）/28.3L 的颗粒浓度范围内，颗粒计数效率的不确定度应优于 6.5%（k=2）；校准装置原理、组成及技术要求参见附录 A。

6.2.2 粒度标准物质：应使用国家有证标准物质，如表 2 所示：

表 2 校准所需的粒度标准物质

序号	粒径标称值	粒径分布	不确定度
1#	(0.15~0.20) μm	优于 10%	5%（k=2）
2#*	(0.30~0.40) μm		
3#**	(0.45~0.60) μm		
4#	(0.75~1.00) μm		
5#**	(0.50±0.01) μm		
6#*	(0.40±0.02) μm		
7#	(0.60±0.02) μm		

*2#和 6#可以是同一种标准物质，**3#和 5#可以是同一种标准物质

6.2.3 流量校准装置：在 2.83L/min 和 28.3L/min 点，不确定度优于 1.5%（k=2），压损低于 3hPa。

6.2.4 温度计：范围（0~50）℃，最大允许误差不超过±0.5℃。

6.2.5 空盒气压表：量程范围（800~1060）hPa，最大允许误差±2.0hPa。

7 校准项目和校准方法

校准项目可根据被校仪器的预期用途选择使用。对校准规范的偏离，应在校准证书中注明。

7.1 零点

将超高效过滤器连接到仪器的入口处，并连续运行 10min 以上。之后将仪器调节到累积计数模式，记录 5min 内仪器在最低粒径挡处的颗粒计数测量值 C_0，并以 C_0 作为仪器的零点。

7.2 流量示值误差

开启仪器，并将流量调节至正常工作范围；将流量校准装置连接到仪器的入口处，

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

读取 3 次流量测量值 Q_{Ri}，按照附录 B 的方法将 Q_{Ri} 换算成仪器流量计刻度状态下的流量 Q_{Ci}，并计算其平均值 $\overline{Q}_C$。根据公式（1）计算仪器的采样流量示值误差 Δ_Q。

$$\Delta_Q = \frac{Q_s - \overline{Q}_C}{\overline{Q}_C} \times 100\% \qquad (1)$$

式中：Q_s—流量设定值，L/min；

$\overline{Q}_C$—仪器流量计刻度状态下的 **3** 次测量平均值，L/min。

7.3 流量稳定性

将流量校准装置连接到仪器的入口处，仪器稳定后记录流量校准装置读数，然后在不调节流量的情况下连续运行 30 min，每 6min 记录流量校准装置或流量计读数，共 6 次，按照公式（2）计算流量稳定性 δ_Q。

$$\delta_Q = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{\overline{Q}_2} \times 100\% \qquad (2)$$

式中：Q_{max}—流量测量值中的最大值，mL/min；

Q_{mim}—流量测量值中的最小值，mL/min；

$\overline{Q}_2$—流量测量平均值，mL/min；

7.4 颗粒计数效率和计数重复性

按照附录 A.1 或 A.2 连接在线尘埃粒子计数器校准装置，并将标准仪器和被校仪器的延迟采样时间设置在 5s 以上。按照 6.2.2 的要求选择一种粒度标准物质，其粒径应是被检仪器最低粒径挡的（1.5~2.0）倍。使用在线尘埃粒子计数器校准装置将标准物质雾化，并将被校仪器入口处的颗粒浓度控制在（3000~30000）/28.3L 范围内，在此范围内选择高、低两个浓度点进行测量。在每个浓度点下，记录标准仪器和被检仪器 1min 的测量结果，共计 10 次，计算 10 次测量结果的平均值。

按照公式（3）和公式（4）计算仪器在不同浓度下的颗粒计数效率。依据 7.4.3 中高浓度点下的测量数据，按照公式（5）计算得到颗粒计数重复性。

$$\eta_{OPC1} = \frac{\overline{C}_{OPC1}}{\overline{C}_{S1}} \times \eta_S \times f_1 \qquad (3)$$

$$\eta_{OPC2} = \frac{\overline{C}_{OPC2}}{\overline{C}_{S2}} \times \eta_S \times f_2 \qquad (4)$$

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

$$\delta_C = \frac{\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}(C_{OPC1_i} - \overline{C}_{OPC1})^2}{n-1}}}{\overline{C}_{OPC1}} \times 100\% \qquad (5)$$

式中：η_{OPC1}，η_{OPC2}—仪器在高、低浓度点的颗粒计数效率；

$\overline{C}_{OPC1}$，$\overline{C}_{OPC2}$—仪器在高、低浓度点的 10 次测量结果平均值，/ 28.3L；

$\overline{C}_{S1}$，$\overline{C}_{S2}$—标准仪器在高、低浓度点的 10 次测量结果平均值，/ 28.3L；

f_1，f_2—在高、低浓度点校准时的稀释倍数，无量纲量；

η_S—标准仪器的计数效率，无量纲量；

δ_C—仪器的颗粒计数重复性；

C_{OPC1_i}—高浓度点下仪器的第 i 次测量结果，/ 28.3L；

n—测量次数，n=10

注：η_S 为在线尘埃粒子计数器校准装置中标准仪器的技术参数，量值应在其校准证书中给出。

7.5 粒径分布误差

根据仪器测量范围选择（1~2）个粒径挡作为校准点，通常选择 0.5μm 粒径挡作为校准点。按照附录 A.1 的方式连接校准装置。分别选择 6#和 7#粒度标准物质。使用在线尘埃粒子计数器校准装置将 6#标准物质雾化，并将被校仪器入口处的颗粒浓度控制在（3000~30000）/28.3L 范围内，记录 1min 内被校仪器和标准尘埃粒子计数器的测量结果，重复测量 3 次，按照公式（6）~（8）计算粒径分布误差 Δh_1。

$$h_{1i} = \frac{C_{0.5i}}{C_{0.3i}} \times \frac{\eta_S}{\eta_{opc}} \times 100\% \qquad (6)$$

$$\overline{h}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{3} h_{1i}}{3} \qquad (7)$$

$$\Delta h_1 = \overline{h}_1 - h_{s1} \qquad (8)$$

式中：h_{1i}---第 i 次测量 6#标准物质的粒径分布值，用百分数表示；

$c_{0.5i}$---被检仪器大于等于 0.5μm 的粒子浓度的第 i 次测量值，/ 28.3L；

$c_{0.3i}$---标准仪器大于等于 0.3μm 的粒子浓度的第 i 次测量值，/ 28.3L；

η_{OPC}—被检仪器的颗粒计数效率，用百分数表示；

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

η_S —标准仪器的计数效率，用百分数表示；

$\bar{h}_1$ ---测量 6#标准物质的粒径分布平均值，用百分数表示；

h_{s1} ---理论值，量值为 0

使用在线尘埃粒子计数器校准装置将 7#标准物质雾化，按照上述方法，根据公式（9）~（11）计算粒径分布误差 Δh_2 。

$$h_{2i} = \frac{C_{0.5i}}{C_{0.3i}} \times \frac{\eta_S}{\eta_{opc}} \times 100\% \qquad (9)$$

$$\bar{h}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{3} h_{2i}}{3} \qquad (10)$$

$$\Delta h_2 = \bar{h}_2 - h_{s2} \qquad (11)$$

式中：h_{2i}---第 i 次测量 7#标准物质的粒径分布值，用百分数表示；

$c_{0.5i}$ ---被检仪器大于等于 0.5μm 的粒子浓度的第 i 次测量值，/ 28.3L；

$c_{0.3i}$ ---标准仪器大于等于 0.3μm 的粒子浓度的第 i 次测量值，/ 28.3L；

η_{OPC} —被检仪器的颗粒计数效率，用百分数表示；

η_S —标准仪器的计数效率，用百分数表示；

$\bar{h}_2$ ---测量 7#标准物质的粒径分布平均值，用百分数表示；

h_{s2} ---理论值，量值为 100%

取 Δh_1 和 Δh_2 绝对值最大为仪器的粒径分布误差 Δh 。

选择相应的粒度标准物质，按照上述方法，对仪器其他粒径挡的分布误差进行校准。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应包括以下信息：

a) 标题:“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点；

d) 校准证书编号、页码及总页数的标识；

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

e) 客户名称和地址；

f) 被校仪器的制造单位、名称、型号及编号；

g) 校准单位校准专用章；

h) 校准日期；

i) 校准所依据的技术规范名称及代号；

j) 本次校准所用有证标准物质和主要测量设备名称、型号、准确度等级或不确定度或最大允许误差、仪器编号、证书编号及有效期；

k) 校准时的环境温度、相对湿度；

l) 校准结果及其测量不确定度；

m) 对校准规范偏离的说明（若有）；

n) 复校时间间隔的建议；

o) “校准证书”的校准人、核验人、批准人签名及签发日期；

p) 校准结果仅对被校仪器本次测量有效的声明；

q) 未经实验室书面批准，部分复制证书或报告无效的声明。

9 复校时间间隔

仪器的复校时间间隔建议为 1 年。由于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的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

附录 A　在线尘埃粒子计数器校准装置

本规范中，可使用已校准的标准尘埃粒子计数器或凝结核粒子计数器作为标准仪器，通过比较法完成对仪器颗粒计数效率的校准。

A.1 标准尘埃粒子计数器作为标准仪器的校准装置

校准装置的工作原理为（如图 A.1 所示）：经高效过滤器过滤的洁净压缩空气进入气溶胶发生器后，将装置中的粒度标准物质雾化，经混匀稀释后得到浓度适当且稳定的气溶胶颗粒，并分别以特定流速流经标准尘埃粒子计数器和被校准的仪器。将仪器的测量值与标准尘埃粒子计数器测量值进行比较（7.4 中的公式 3 和 4），从而实现对仪器计数效率的校准。

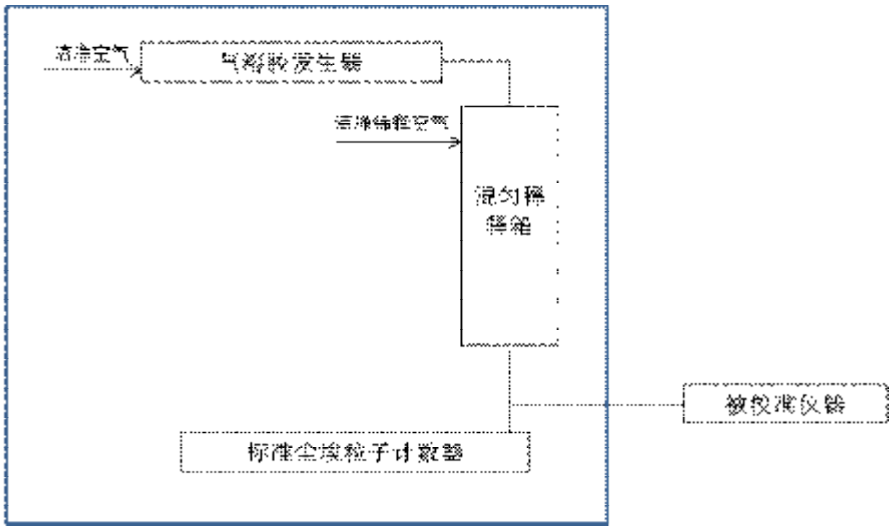

图 A.1 标准尘埃粒子计数器作为标准器的校准装置

校准装置主要包括气溶胶发生器、混匀稀释箱、标准尘埃粒子计数器等，其中：

1）气溶胶发生器

可将粒径在（0.1~5）μm 范围内的标准颗粒雾化。

2）混匀稀释箱

10min 内的气溶胶浓度的稳定性应优于 1%

3）标准尘埃粒子计数器

应具有 0.1μm、0.2μm、0.3μm、0.5μm 的粒径挡，可测量（3000~30000）/28.3L 范围内的颗粒数量浓度，重复性优于 3%；颗粒计数效率应经国家法定计量检定机构

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

校准，量值溯源至凝结核粒子计数器，校准不确定度优于 6%（*k*=2）。

A.2 凝结核粒子计数器作为标准仪器的校准装置

校准装置的工作原理为（如图 A.2 所示）：经高效过滤器过滤的洁净压缩空气进入气溶胶发生器后，将装置中的粒度标准物质雾化。产生的气溶胶粒子经粒子中和器后达到波尔兹曼电荷平衡，再经过差分电迁移分离器，最终产生单分散气溶胶粒子。通过稀释、补充洁净空气、抽气等技术手段使得气溶胶分流器各通道内的颗粒浓度达到动态平衡，并分别以特定流速流经 CPC 和被校准仪器。将仪器的测量值与凝结核粒子计数器的测量值进行比较（7.4.3 中的公式 4），从而实现对仪器计数效率的校准。

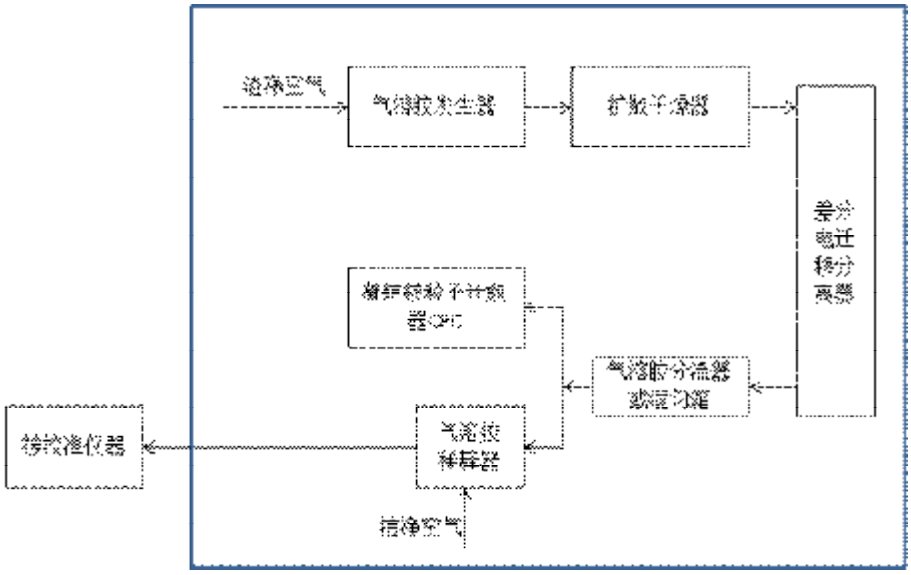

图 A.2 凝结核粒子计数器作为标准器的校准装置

校准装置主要包括气溶胶发生器、差分电迁移分离器、气溶胶分流器或混匀箱、气溶胶稀释器、凝结核粒子计数器（CPC）、标准尘埃粒子计数器等，其中：

1）气溶胶发生器

可将粒径在（0.1~5）μm 范围内的标准颗粒雾化。

2）差分电迁移分离器

在（100~1000）nm 范围内可根据气溶胶颗粒电迁移率对其选择和分离，并得到几何标准偏差（GSD）小于 1.1 的单分散样品。

3）气溶胶分流器或混匀箱

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

10min 内的气溶胶浓度的稳定性应优于 1%。

4）气溶胶稀释器

稀释比在（20~400）倍范围内可调。出口流量大于等于 28.3L/min，稀释因子的校准不确定度优于 3%（*k*=2）。

5）凝结核粒子计数器

可测量（50~400）/cm^3 范围内的颗粒数量浓度，重复性优于 3%。应按照 JJF1562-2016 《凝结核粒子计数器校准规范》对仪器的颗粒计数效率进行校准，不确定度优于 5%（*k*=2）。

6）标准尘埃粒子计数器

应具有 0.1μm、0.2μm、0.3μm、0.5μm 的粒径挡，可测量（3000~10000）/28.3L 范围内的颗粒数量浓度，重复性优于 3%；颗粒计数效率应经国家法定计量检定机构校准，量值溯源至凝结核粒子计数器，校准不确定度优于 6%（*k*=2）。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

附录 B 流量计刻度状态下的换算方法

B.1 仪器流量计为转子流量计

$$Q_{\mathrm{Ci}} = Q_{\mathrm{Si}} \times \sqrt{\frac{T_{\mathrm{S}} \times P}{P_{\mathrm{S}} \times T}} \qquad \text{（B.1）}$$

B.2 仪器流量计为其他类型流量计或流量传感器

$$Q_{\mathrm{Ci}} = Q_{\mathrm{Si}} \times \frac{P}{P_{\mathrm{S}}} \times \frac{T_{\mathrm{S}}}{T} \qquad \text{（B.2）}$$

若流量校准装置为皂膜流量计，则公式 B.2 用公式 B.3 替代

$$Q_{\mathrm{Ci}} = Q_{\mathrm{Si}} \times \frac{(P - P_{\mathrm{d}})}{P_{\mathrm{S}}} \times \frac{T_{\mathrm{S}}}{T} \qquad \text{（B.3）}$$

在公式 B.1，B.2 和 B.3 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。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

附录 C 水的饱和蒸汽压表

表 C.1 不同温度下水的饱和蒸气压

温度	.0 Pa	.1 Pa	.2 Pa	.3 Pa	.4 Pa	.5 Pa	.6 Pa	.7 Pa	.8 Pa	.9 Pa
16	1818.29	1829.94	1841.66	1853.44	1865.29	1877.20	1889.18	1901.23	1913.34	1925.53
17	1937.78	1950.10	1962.48	1974.94	1987.47	2000.06	2012.73	2025.46	2038.27	2051.14
18	2064.09	2077.11	2090.20	2103.37	2116.01	2129.92	2143.30	2156.75	2170.29	2183.89
19	2197.57	2211.32	2225.15	2239.06	2253.04	2267.10	2281.23	2295.44	2309.73	2324.10
20	2338.54	2353.07	2367.67	2382.35	2397.11	2411.95	2426.88	2441.88	2456.94	2472.13
21	2487.37	2502.70	2518.11	2533.61	2549.18	2564.85	2580.59	2596.42	2612.33	2628.33
22	2644.42	2660.59	2676.85	2693.19	2709.62	2726.14	2742.75	2759.45	2776.23	2793.10
23	2810.06	2827.12	2844.26	2861.49	2878.82	2896.23	2913.74	2931.34	2949.04	2966.82
24	2984.70	3002.68	3020.74	3038.91	3057.17	3075.52	3093.97	3112.52	3131.16	3149.90
25	3168.74	3187.68	3206.71	3225.85	3245.08	3264.41	3283.85	3303.88	3323.02	3342.76
26	3362.60	3382.54	3402.59	3422.73	3443.99	3463.34	3483.81	3504.37	3525.05	3545.83
27	3566.71	3587.71	3608.81	3630.62	3651.33	3672.76	3694.29	3715.94	3737.69	3759.56
28	3781.54	3803.63	3825.83	3848.14	3870.57	3893.11	3915.77	3938.54	3961.42	3984.42
29	4007.54	4030.77	4054.12	4077.59	4101.18	4124.88	4148.71	4172.65	4196.71	4220.90
30	4245.20	4269.63	4294.18	4318.85	4343.64	4368.56	4393.60	4418.77	4444.06	4469.48
31	4495.02	4520.69	4546.49	4572.42	4598.47	4624.65	4650.96	4677.41	4703.98	4730.68
32	4757.52	4784.48	4811.58	4838.81	4866.18	4893.68	4921.32	4949.09	4976.99	5005.04
33	5033.32	5061.53	5089.99	5118.58	5147.32	5176.19	5205.20	5234.36	5263.65	5293.09
34	5322.67	5352.39	5382.26	5412.27	5442.43	5472.73	5503.18	5533.78	5564.52	5595.41
35	5626.45	5657.64	5688.97	5720.46	5752.10	5783.89	5815.83	5847.93	5880.17	5912.58

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

附录 D 颗粒计数效率校准的不确定度评定实例

D.1 校准方法简述及数学模型

按本规范 7.3 部分进行仪器颗粒计数效率的校准。按公式（D.1）计算仪器的计数效率。

$$\eta_{\mathrm{OPC}} = \frac{\overline{C}_{\mathrm{OPC}}}{\overline{C}_{\mathrm{S}}} \times \eta_{\mathrm{S}} \times f \qquad \text{（D.1）}$$

式中：η_{OPC}—仪器的颗粒计数效率；

$\overline{C}_{\mathrm{OPC}}$—仪器的 10 次测量结果平均值，/ 28.3L；

$\overline{C}_{\mathrm{S}}$—标准仪器的 10 次测量结果平均值，/ 28.3L；

η_{S}—标准仪器的计数效率，无量纲量；

f-- 稀释倍数，无量纲量；

n---测量次数，n=10

注：η_{S} 为标准粒子计数器校准装置的技术参数，其量值在其校准证书中给出。

D.2 不确定度计算公式

从公式（D.1）可以看出，影响测量结果不确定度的因素主要有：仪器测量结果、标准仪器的测量结果、标准仪器的计数效率、稀释比例。不确定度计算公式可由公式（D.1）导出。

$$\mathrm{u}_r(\eta_{\mathrm{OPC}}) = \sqrt{\mathrm{u}_r^2(\overline{C}_{\mathrm{OPC}}) + \mathrm{u}_r^2(\mathrm{f}) + \mathrm{u}_r^2(\overline{C}_{\mathrm{S}}) + \mathrm{u}_r^2(\eta_{\mathrm{S}})} \qquad \text{（D.2）}$$

D.3 不确定度分量的评定与计算

D.3.1 仪器测量结果 C_{OPC} 引入的不确定度分量

由本规范 7.4.2 部分， 仪器的测量结果为 10 次测量结果的平均值，测量结果见表 D.1。

表 D.1 仪器的测量结果

测量次数	测量结果 /28.3L
1	9235

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

2	9016
3	9285
4	9076
5	9177
6	9230
7	9058
8	9194
9	9143
10	9201
平均值	9161.5
标准偏差	86.8

因此，仪器测量结果引入的不确定度为 $u_r(\overline{C}_{CPC}) = \frac{d_C}{\overline{C}_{CPC} \times \sqrt{n}}$ =0.3%。

D.3.2 稀释因子 f 引入的不确定度

采用标准尘埃粒子计数器作为标准器时，进入被检仪器和标准尘埃粒子计数器的样品为同一样品，没有被稀释。因此 $u_r(f)$=0。

采用凝结核粒子计数器作为标准器时，经国家法定计量检定机构校准，在（20~400）倍稀释比范围内，稀释因子的相对标准不确定度 $u_r(f)$=0.60%。

D.3.3 标准仪器测量结果 C_S 引入的不确定度

由本规范 7.3.2 部分，标准仪器的测量结果为 10 次测量结果的平均值，测量结果见表 D.2 和表 D.3。

表 D.2 标准尘埃粒子计数器的测量结果

测量次数	测量结果 /28.3L
1	9011
2	8956
3	9018
4	9110
5	9067
6	9006
7	8928
8	9055
9	9158

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

10	9022
平均值	9033.1
标准偏差	68.1

表 D.3 CPC 的测量结果

测量次数	测量结果 /cm^3
1	63.2
2	64.6
3	63.6
4	64.9
5	64.3
6	63.1
7	62.9
8	63.6
9	64.3
10	63.8
平均值	63.83
标准偏差	0.67

因此，标准仪器测量结果引入的不确定度为：

若标准仪器为标准尘埃粒子计数器，则：

$$u_r(\overline{C}_S)=\frac{d_C}{\overline{C}_S\times\sqrt{n}}=0.3\%$$

若标准仪器为凝结核粒子计数器，则：

$$u_r(\overline{C}_S)=\frac{d_C}{\overline{C}_S\times\sqrt{n}}=0.3\%$$

D.3.4 标准仪器的计数效率 η_S 引入的不确定度

采用标准尘埃粒子计数器作为标准器时，经国家法定计量检定机构校准，标准尘埃粒子计数器在（3000~10000）/28.3L 范围的颗粒计数效率 η_S 为 98.40%，不确定度优于 6%（k=2），校准引入的相对标准不确定度 $u_r(\eta_s)$=3%。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

采用凝结核粒子计数器作为标准器时，经国家法定计量检定机构校准，凝结核粒子计数器在（50~100）/cm^3 范围的颗粒计数效率 η_S 为 99.23%，不确定度优于 5%（k=2），校准引入的相对标准不确定度 u_r（η_s）=2.5%。

D.4 标准不确定度

以标准尘埃粒子计数器作为标准器时，仪器计数效率的校准不确定度：

$$u_r(\eta_{OPC})=3.1\%。$$

以凝结核粒子计数器作为标准器时，仪器计数效率的校准不确定度：

$$u_r(\eta_{OPC})=2.7\%。$$

D.5 扩展不确定度

以标准尘埃粒子计数器作为标准器时，仪器计数效率的校准不确定度：U_r=6.2%，k=2。

以凝结核粒子计数器作为标准器时，仪器计数效率的校准不确定度：U_r=5.4%，k=2。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

附录 E 校准记录格式

在线尘埃粒子计数器校准原始记录

校准日期_____年____月____日　原始记录号：_____　校准证书号：_____

校准员：_____　核验员：_____

仪器型号		制造厂			
仪器编号		委托单位			
温度	℃	湿度	%RH	大气压	kPa

校准用主要标准及仪器设备	名称	生产厂家	仪器型号	仪器编号	证书编号	有效期至
	粒子计数器校准装置					
	粒度标准物质					
	流量校准装置					

1. 零点：_____

2. 流量示值误差

单位：　L/min

仪器流量设定值	测量值 Q_{Ri}	Q_{Ci}	平均值 $\overline{Q}_C$	示值误差

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

3. 流量稳定性

单位： L/min

仪器流量设定值	测量值						平均值	流量稳定性

4. 颗粒计数效率和重复性

样品粒径	稀释因子	仪器	测量值（/28.3L）				测量平均值(/28.3L)	OPC 的计数效率 OPC	重复性
		OPC							
					/	/			
		标准仪器							
					/	/			
		OPC							
					/	/			
		标准仪器							
					/	/			

标准仪器的计数效率 $_S$=_____

5. 粒径分布误差

$c_{0.5i}$				$c_{0.5i}$			
$c_{0.3i}$				$c_{0.3i}$			
h_{1i}				h_{2i}			
$\bar{h}_1$				$\bar{h}_2$			
$\bar{h}_1$				$\bar{h}_2$			

校准结果的不确定度：

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

附录 F：校准证书（内页）格式

F.1 校准证书第 2 页式样

证书编号：XXXX-XXXX

校准机构授权说明				
校准所依据的技术文件（代号、名称）				
校准环境条件及地点： 温度：　　℃　　地点： 相对湿度：　　%　　其他：				
校准使用的主要标准器/主要仪器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	有效期至

第 X 页共 X 页

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

F.2 校准证书第 3 页式样

证书编号：XXXX-XXXX

校准结果

1. 零点：
2. 流量示值误差：
3. 流量稳定性：
4. 颗粒计数效率：结果见表 1。

表 1 颗粒计数效率校准结果

校准项目	校准结果	相对不确定度 U_r (k=2)
颗粒计数效率(%)		

5. 颗粒计数重复性：
6. 粒径分布误差

以下空白

第 X 页共 X 页

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com