

主题词：空气过滤器，气体净化设备，通风，空调，定义，分级，计数要求，测量仪器，粒子计数器，气溶胶，试验条件，效力，标识。

高效空气过滤器（EPA、HEPA与ULPA）
第2部分：气溶胶的发生、测量装置、粒子计数统计
High efficiency air filters（EPA、HEPA与ULPA）
Part2: Aerosol production, measuring equipment, particle
counting statistics

CEN于2009年10月17日批准本欧洲标准。

CEN成员必须遵守CEN/CENELEC的内部规则，不加任何修改地将本欧标作为各自的国家标准。有关各国国家标准的最新目录和参考文献，可以从CEN中央秘书处或从CEN成员处获是。

本欧洲标准有三种语言的官方文本（英语、法语、德语）。CEN成员有责任将其译成母语，并通报中央秘书处，通报的译本与官方文本具有同等效力。

CEN成员国包括：奥地利、比利时、捷克共和国、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、冰岛、爱尔兰、意大利、卢森堡、荷兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、英国。

CEN
Comite Europeen de Normalisation
欧洲标准化委员会
中央秘书处：rue de Strassart36,B-1050 Brussels

目 录

前言	4
1、范围	5
2、规范性引用文件	5
3、定义、符号与缩略语	5
4、气溶胶发生	6
4.1 气溶胶物质	6
4.2 单分散气溶胶的发生	7
4.3 多分散气溶胶的发生	10
4.4 气溶胶的中和	10
4.5 气溶胶发生器最低性能参数	11
4.6 误差来源	11
4.7 维护与检查	11
5、测量装置	11
5.1 光学粒子计数器	11
5.2 凝结核计数器	13
5.3 微分迁移分析仪	15
5.4 以微分迁移分析仪为基础的尘径分析系统	16
5.5 稀释系统	17
5.6 差压测量设备	18
5.7 绝对压力测量设备	18
5.8 温度计	18
5.9 湿度计	18
6、维护与检查周期	18
7、粒子计数统计学问题	20
参考文献	21

前 言

本欧洲标准（EN 1822-2:2009）由 CEN/TC195 “一般空气净化用空气过滤器”技术委员会起草，UNI 担任该技术委员会秘书。

本欧洲标准成为各国国家标准的最迟时间为 2010 年 5 月，国家标准可以是与原文本意思完全一致的文本，或附有说明的文本。与本标准相抵触的国家标准最迟于 2010 年 5 月废除。

有人会注意到该标准中的一些要点可能涉及到专利的权限。CEN 组织将不负责识别这些专利的权限。

该标准取代了 EN 1822-2: 1998。

本标准包含效率空气过滤器（EPA）、高效空气过滤器（HEPA）与超高效空气过滤器（ULPA）的性能要求、试验基本原理和标识。

高效空气过滤器（EPA、HEPA 与 ULPA）的全套欧洲标准包括下列部分：

- 第 1 部分：分级、性能试验、标识
- 第 2 部分：气溶胶的发生、测量装置、粒子计数统计
- 第 3 部分：单张滤料试验
- 第 4 部分：过滤元件渗漏的测定（扫描法）
- 第 5 部分：过滤元件效率的确定

该标准是以应用广泛的粒子计数法为基础，该新版本标准与旧版本的主要区别是添加了以下几部分的内容：

- 介绍了另外一种测试方法，主要用固态气溶胶 PSL，而不是液态气溶胶；
- 介绍了膜过滤介质的测试和分类方法；
- 介绍合成纤维过滤材料的测试及分类方法；
- 介绍了另外一种针对 H 级过滤器（除平板过滤器）可替代的检漏方法。

除此以外，还有部分文字编辑出现了变动。

根据 CEN/CENELEC 内部规定，下列国家的标准化组织有义务执行本欧洲标准：奥地利、比利时、捷克共和国、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、冰岛、爱尔兰、意大利、卢森堡、荷兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、英国。

概述

根据 CEN/TC195 的决定，本标准的基础是粒子计数法，该方法实际上满足了各类应用中大部分场合的需要。本标准与早期各国家标准的不同之处在于确定总效率的方法，现在的新技术基于最易透过粒径（MPPS 范围：**0.12 μm~0.25 μm**）的粒子计数，而不再是粒子总质量。**针对膜过滤材料，EN1822-5:2009 附录 A 中有相应的应用规范。**此外，计数法可以测量超高效过滤器，过去的试验方法受灵敏度限制无法测量那种过滤器。

1、范围

本欧洲标准适用于通风与空调领域，以及洁净室、核工业、制药工业等场所使用的高效与超高效空气过滤器（EPA、HEPA 与 ULPA）

本标准确立一套确定过滤器效率的方法，其基础是粒子计数，尘源为液态气溶胶（或可替代的固态气溶胶），并按全效率和局部效率对过滤器进行标准化的分级。

2、规范性引用文件

本欧标引用了标明日期与未标明日期的文件。对于标明日期的文件，若有增补和修订，只有当本标准增补或修订时再正式引用新文件。对于未标明日期的文件，本标准引用最新版本。下列文件出现在本标准相关章节中。

EN 1822-1: 2009 高效空气过滤器（EPA、HEPA 和 ULPA）

第 1 部分：分级、性能试验、标识

EN 1822-3: 2009 高效空气过滤器（EPA、HEPA 和 ULPA）

第 3 部分：单张滤料试验

EN 14799: 2007 一般清洁空气用的空气过滤器——术语

3、定义、符号与缩写

EN 14799:2007 中的术语和定义适用于本标准。

4、气溶胶发生

4.1 概述

试验过滤器时，应使用 EN 1822-1 中规定的流体试验气溶胶。**另外，PSL 气溶胶也可用于局部效率（检漏）测试（见 EN 1822-4:2009 附录 D）。**

试验高性能过滤器（U16 和 U17）时，为保证过滤器下游测量的有效性，需要高发生率的发生方法（ $10^{10}\text{S}^{-1}\sim 10^{11}\text{S}^{-1}$ ）。

通过调整气溶胶发生器的运行参数，应能将气溶胶的平均粒径调整到 MPPS 直径。试验期间，气溶胶的发生浓度和粒径分布应保持稳定。

4.2 气溶胶物质

合适的气溶胶物质为常温下具有很低蒸汽分压力的液体，试验过程中（**最长持续 5 秒**）

不因蒸发造成液滴尺寸的明显改变。可用（但不限于）的物质包括：

- DEHS；
- PAO；
- 石蜡油（低粘度）。

气溶胶物质的最关键参数为：

- 折射系数；
- 蒸汽分压；
- 密度。

气溶胶物质的这些参数应与表 1 所列三种物质的参数相差不大。

注：使用这些物质时应注意实验室安全规程。应使用适当的排风系统以及封闭的气溶胶管道系统，以确保试验气溶胶不被人所吸入。对物质的安全性产生怀疑时，应进行相关咨询。

表 1 20℃下 DEHS、PAO 和石蜡油的重要数据

	DEHS	PAO	石蜡油（低黏度）
化学名称	Sebacic acid-bis (2-ethylhexyl)ester	Poly-Alpha-Olephin (e.g.CAS No. 68649-12-7)	混合物
通用名	癸二酸二辛酯 Diethylhexylsebacate	合成烃 Polyalphaolefin	石蜡油 Paraffin oil
密度 (kg/m ³)	912	800~820	843
熔点 (K)	225	~280	259
沸点 (K)	529	650~780	
闪点 (K)	>473	445~500	453
293K 时的蒸汽分压 (μPa)	1.9	100~130	
动力粘度 (kg/m.s)	0.022 至 0.024	373K 条件下 0.031 至 0.004	0.026
折射系数/波长 (mm)	1.450 /650 1.452 /650 1.4535 550 1.4585/450 1.475 /400	1.4556 /589	

4.3 单分散气溶胶的发生

4.3.1 凝结法

4.3.1.1 概述

单分散相气溶胶的生成常采用凝结法，即由气相物质凝结成颗粒物。应区分异物凝结与自凝结。

4.3.1.2 异凝结

4.3.1.2.2 概述

异凝结时，较低过饱和度的蒸汽凝结在已有非常小的颗粒物上，那些微小颗粒物称凝结核。异凝结形成气溶胶的粒径几何标准差介于 $\sigma_g=1.05$ 至 $\sigma_g=1.15$ 之间。

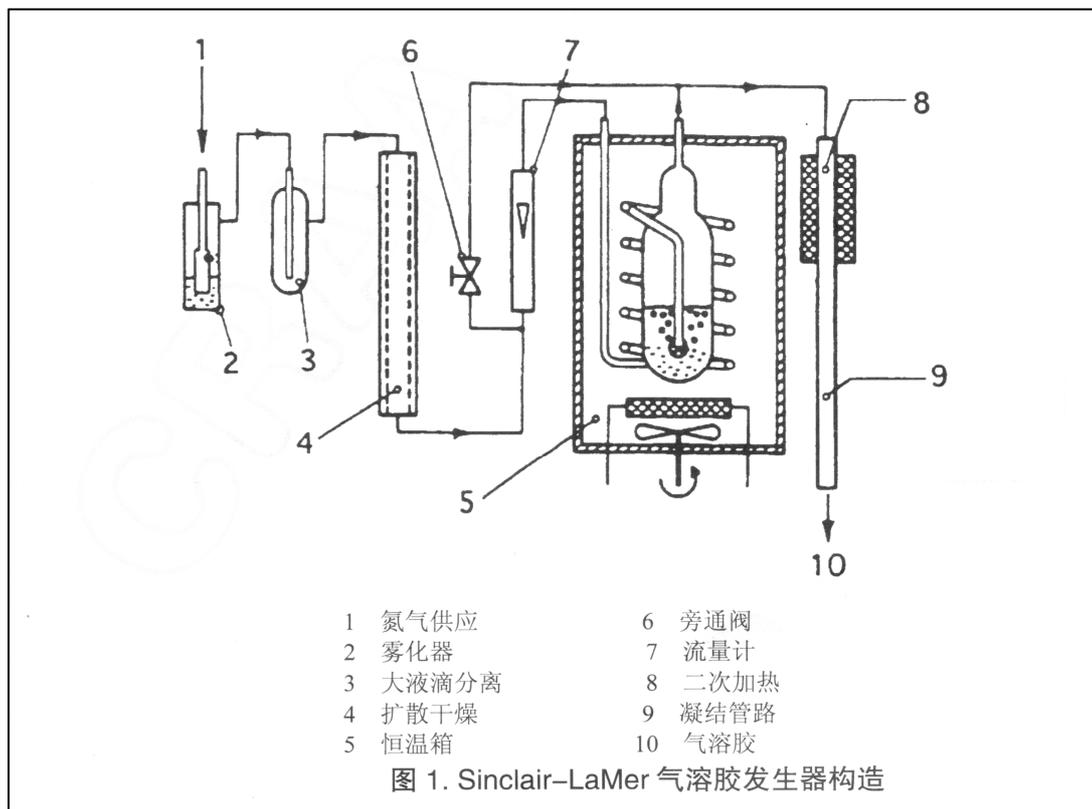
采用异凝结原理的气溶胶发生器有 Sinclair-LaMer 发生器(见图 1)和 Rapaport-Weinstork 发生器(见图 2)。

4.3.1.2.2 Sinclair-LaMer 气溶胶发生器 (图 1)

采用氮气的简易雾化装置将稀氯化钠水溶液雾化。大水滴被除水器清除，小雾滴进入扩散干燥器，水蒸发后形成的氯化钠颗粒进入含有饱和气溶胶物质的腔体。气溶胶蒸汽混合物进入二次加热器，然后进入冷却通道，蒸汽在盐粒上凝结，形成单分散液滴气溶胶(见参考文献 [1])。

容纳气溶胶的腔体设在温度可调的恒温箱内，通过调温来控制蒸汽量和粒子直径。可以用旁通阀将一部分氯化钠气溶胶分流，再注入二次加热器前的气流，这样做可以使二次加热器的蒸汽浓度比较快地降低，以减小颗粒物的尺寸。

这类发生器产生粒子的速率在 10^8S^{-1} 数量级范围，粒径调整范围约为 $0.1\ \mu\text{m}$ 至 $4\ \mu\text{m}$ 。



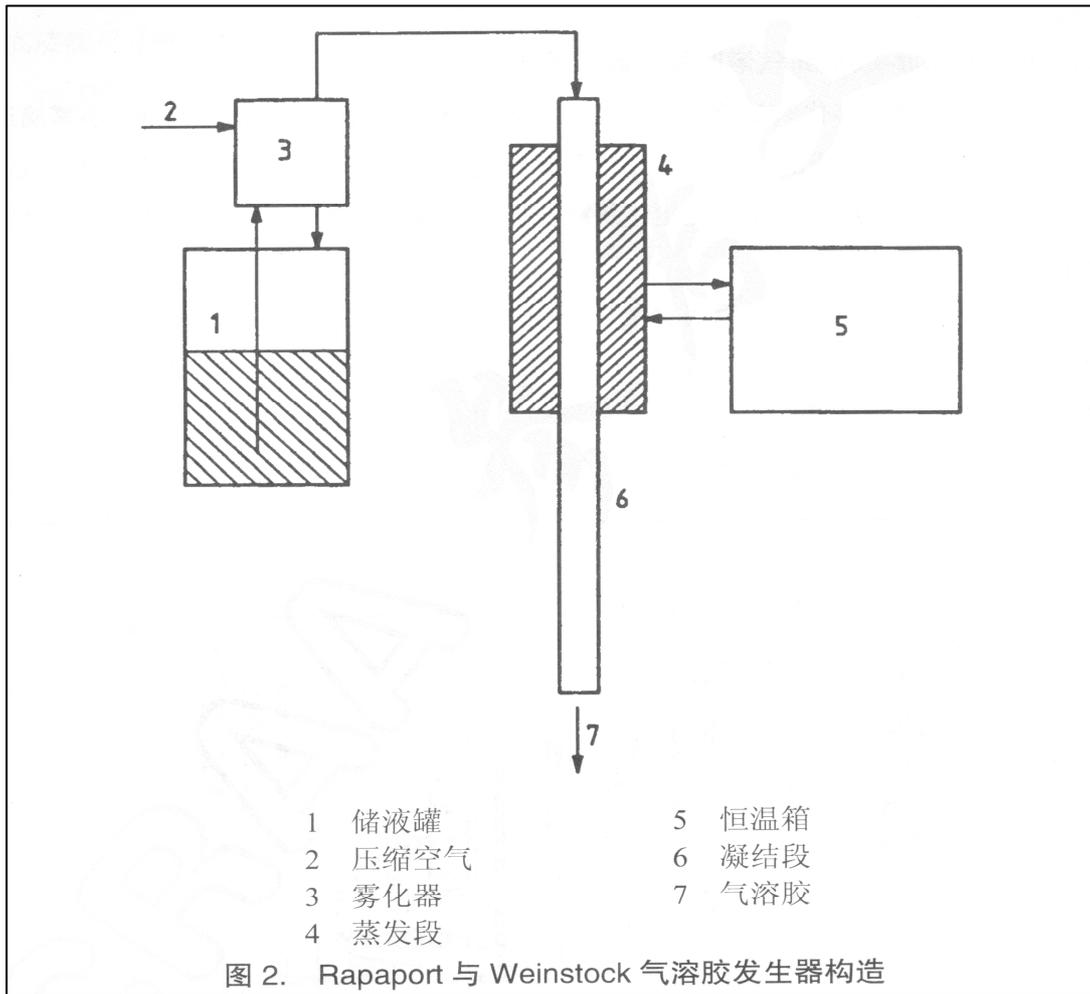
4.3.1.2.3 Rapaport-Weinstork 发生器 (图 2)

纯物质或溶液气溶胶物质经喷嘴雾化，形成的多分散气溶胶在玻璃管中被加热蒸发，材料中的不纯物质残留形成凝结核。

在而后的凝结段，气溶胶物质在凝结核上冷凝，形成单分散气溶胶(见文献 [2])。

这类气溶胶的颗粒物粒径取决于气溶胶物质与溶剂的混合比，最终的气溶胶中含有所用溶剂(如丙醇)的蒸汽。

这类发生器产生粒子的速率在 10^9s^{-1} 数量级范围，粒径调整范围约为 $0.1\ \mu\text{m}$ 至 $1.5\ \mu\text{m}$ 。



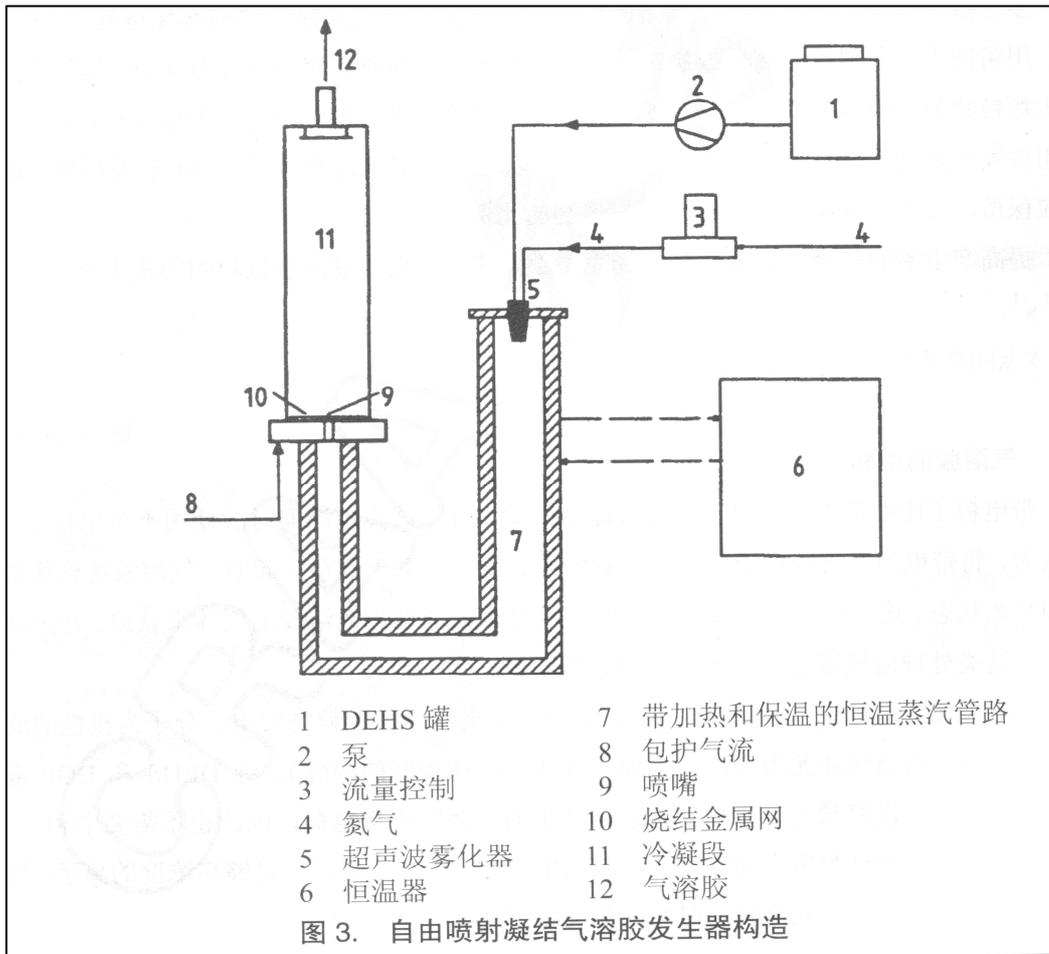
4.3.1.3 自凝结

在高度过饱和状态下，即使没有凝结核，蒸汽分子也会聚在一起，并长成纳米尺度的颗粒物（自凝结）。而后，它们相互碰撞凝并成大颗粒物。经这种凝结形成的气溶胶，粒径的几何标准偏差为 $\sigma_g=1.5$ ，而标准差与平均粒径的大小无关，对应的粒径分布为准单分散。自凝结产生的颗粒物数量比异物凝结高两个数量级 (10^{11}s^{-1})。

采用这一原理的自由喷射凝结式气溶胶发生器如图 3 所示。

泵将确定流量的气溶胶物质输送给超声波雾化器，较大液滴 ($>20\ \mu\text{m}$) 在热加的管路中被汽化，蒸发剩余的少量凝结核对而后的自凝结过程没多少影响。热氮气携带蒸发气体经喷嘴进入一股冷的、均匀流动的包护气流中。这股自由射流与冷空气混合，达到自凝结所需的过饱和状态。

可通过改变气溶胶物质 (DEHS) 流量、氮气流量和包护空气的流量来调整颗粒物的尺寸和浓度。



4.3.2 粒径分级

采用 5.3 节所述微分迁移分析仪，可以分离出一部分具有几乎相同电迁移率的气溶胶(见文献[12])。倘若这些颗粒物各自只带一个电荷，它们的单迁移特性也相同。有的大颗粒物具有多个电荷，可电迁移率与具有单电荷的小颗粒相同，若有必要，应使用适当手段从多分散气溶胶中清除那些大颗粒物。

在所涉及粒径范围，单电荷颗粒物不足 10%，从这一粒径范围再选出一个窄小粒径区间，所以，输出的颗粒物数量不足输入数量的 1%。因此，这种生成单分散气溶胶的方法仅适用于对滤料过滤效率的测量 (见 EN 1822-3)。

采用这种方法获得的单分散程度可以用几何标准为 $\sigma_g < 1.1$ 来描述。但在实际操作中，经常要变动运行参数以提高颗粒物浓度，其代价是标准差的加大。

4.4 多分散气溶胶的发生

多分散系液体气溶胶通常上气溶胶物质通过有压缩空气通路的喷嘴雾化得到。

用带冲击靶的惯性分离器或旋风分离器，去除大颗粒物，使粒径分布变小。这种方式所产生颗粒物的几何标准差在 1.6~2.5 之间。改变喷嘴工作压力可以小范围地调整粒径。喷射前用挥发性溶剂（如丙醇）溶解气溶胶物质可以更大范围地调整粒径。溶剂蒸发后的气溶胶颗粒保留，其大小取决于气溶胶物质与溶剂的比例。

提高产尘率的较为简单方法是增加喷嘴数量来。一只喷嘴产生颗粒物的最大比率为 $5 \times 10^{10} \text{s}^{-1}$ 。

注：例子[13]介绍了一种喷射雾化器的实例。

4.5 气溶胶的中和

带电粒子比不带电粒子更容易被过滤器清除，所以试验过滤器时应使用不带电粒子。一般认为，将带电的气溶胶粒子与足够数量的正、负气体离子混在一起时，气溶胶达到稳定的中和平衡状态。这种状态通常通过放射性源或电晕处理携带气溶胶的气体来获得。在过滤过程中，这类处理后残留的低水平电荷可忽略不计。

气溶胶生成过程中（例如雾化），由于电荷分离作用使颗粒物带电。分子为极性的液体雾化时，这种带电现象尤为突出，例如水（或带电荷少些的丙醇）。纯 DEHS 和 DOP 雾化时带很少电荷。没有预先雾化的凝结过程产生的气溶胶不带电荷，因此也不需要中和。

为保证过滤器试验所需高浓度气溶胶的电中性，中和器要产生足够高浓度的离子，气溶胶应在离子环境中保持充分长的时间（见文献[14]）。

4.6 气溶胶发生器最低性能参数

a) 用于滤料试验的发生器：

颗粒物发生率： $10^6 \text{s}^{-1} \sim 10^8 \text{s}^{-1}$

粒径调整范围：0.04 μm ~1.0 μm

b) 用于过滤器试验的发生器：

颗粒物发生率： $10^8 \text{s}^{-1} \sim 10^{11} \text{s}^{-1}$

粒径调整范围：0.08 μm ~1.0 μm

4.7 误差来源

应特别注意保持气溶胶发生器供气（压缩空气，氮气）压力的稳定。供气中无尘粒。湿度足够低。

雾化喷嘴可能逐渐被堵塞，导致未被注意的雾化特性的改变。

凝结式发生器对凝结通道的温度变化十分敏感，例如干燥造成的温升。

注：长期暴露在高温下的气溶胶物质的性能会发生变化，因此应规定更换周期。

4.8 维护与检查

气溶胶发生器应按制造商说明书上的要求定期维护。

参照第 5 条中的规定，采用适当的测量系统检查粒径分布，并按第 6 条规定的周期检查粒径分布与发尘的稳定性。

5、测量装置

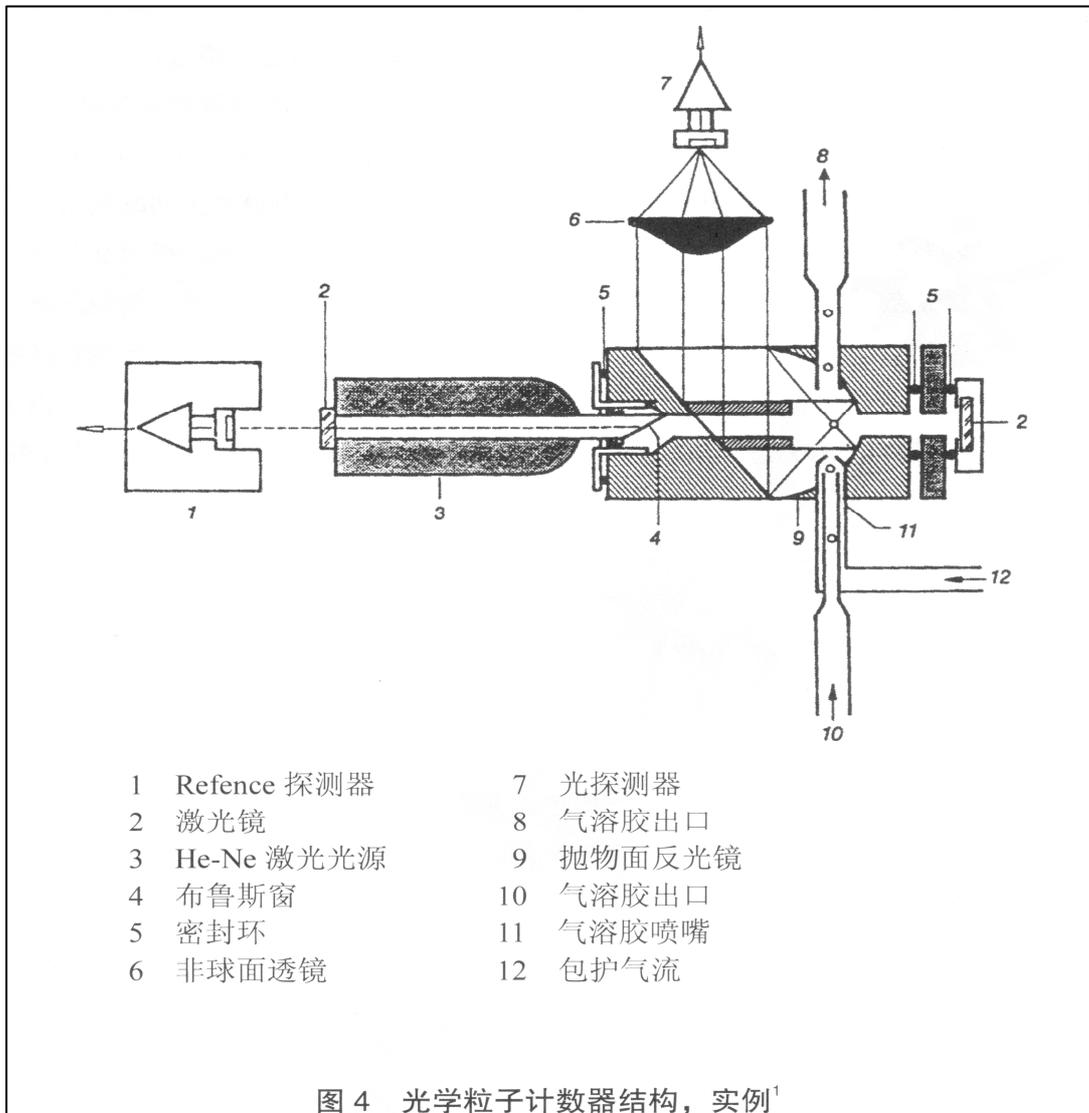
5.1 光学粒子计数器

5.1.1 操作

在光学粒子计数器中，颗粒物逐粒进入一个受到密集光照的测量空间。颗粒物穿越该光敏区时引起光散射，在特定空间角的光探测器感受散射光，并将其转变成电脉冲。脉冲高度代表颗粒物的尺寸，单位时间内的脉冲数量表明被测空气的颗粒物浓度。

图 4 是个实例，展示以激光为光源的光学粒子计数器的一般结构。

¹ 经德国工程师协会同意，本图选自文献[6]。



5.1.2 最低性能参数

粒径测量范围（计数效率 100%时）：0.1 μm 至 2 μm

粒径在 0.1 μm 至 0.5 μm 之间最少分段：

滤料试验： 5 个尺寸段

过滤器试验： 2 个尺寸段

伪计数率： $<1 \text{ min}^{-1}$

5.1.3 误差来源与限制误差

光学粒子计数器给出的粒子尺寸是散射光等效直径（见文献[16]），它不仅依赖于颗粒物的几何尺寸，还取决于颗粒物的形状以及材料的光学特性。这种依赖性随粒子计数器的结构而不同。只有当两台计数器标定所用颗粒物材料与实测颗粒物一致时，两者的测量数据才有比较意义。

若颗粒物浓度过高，会产生所谓的重叠误差，即数个颗粒物同时进入光敏区，计数器将它们视为一个大颗粒物。为保证测量浓度不超出计数器制造商规定的最大浓度，应使用适当的稀释措施（见 5.5 条）。

大多数计数器仅配有不很准确的流量计，应使用更好的流量计来准确地确定颗粒物浓度。

5.1.4 维护与检查

应由有资质的人员定期维护和检查光学粒子计数器，包括用 Latex 气溶胶的标定计数器。

使用者正确操作方面的检查包括流量检查，以及在采样上游插入一个合适过滤器（H13 或更高的 HEPA 过滤器）来进行伪计数率检查。

若有数台计数器可利用，就有可能采用同一试验气溶胶对它们进行比对检查。

5.1.5 标定

光学粒子计数器通常采用聚苯乙烯乳胶球（Latex）标定（见文献[17]、[18]）。当采用振动孔板气溶胶发生器（见文献[19]），或独立的气溶胶粒度分析设备标定时，也可使用其它材料，通常为液体气溶胶材料（如 DEHS）。

标定计数效率时，需要已知浓度的单分散气溶胶（例如，借助于微分迁移分析仪与气溶胶静电计，或凝结核计数器，见文献[12]），这种标定只可能在装备齐全的气溶胶实验室进行。标定计数效率的替代方法是，采用 Latex 乳胶球作为标准粒子，与另一台光学计数器进行比对试验。做这种比对时，标准计数器的测量下限应小于被标定计数器的测量下限。

5.2 凝结核计数器

5.2.1 操作

在凝结核计数器（CNC）中，太小而无法直接采用光学测量的颗粒物，在进行光散射或消光测量之前，先经蒸汽凝结形成大颗粒。凝结后液滴的浓度再接受计数测量或光度测量。采用这种方法时，颗粒物的原始尺寸信息会丢失。

CNC 需要持续的过饱和气流以实现蒸汽凝结，产生这种过饱和气流的方法主要有两种。方法之一是，先在高于环境湿度的条件下达到饱和，然而接触冷管壁使之冷却（外冷却）（见文献[20]）。

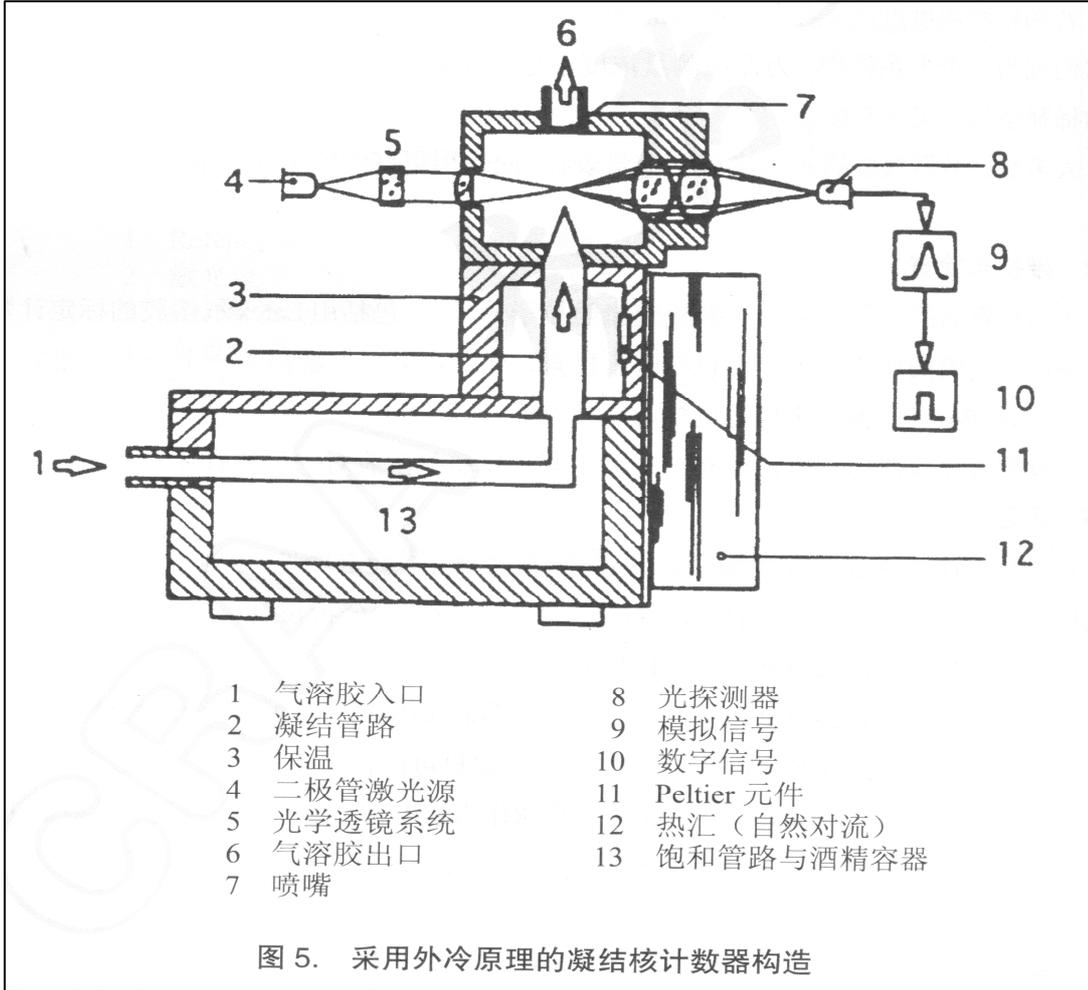


图 5. 采用外冷原理的凝结核计数器构造

这种装置的结构如图 5 所示。气溶胶通过充满饱和丁醇蒸汽的管道，再穿过一个被外部冷却的管子，在此形成液滴，然后由光散射传感器测量。

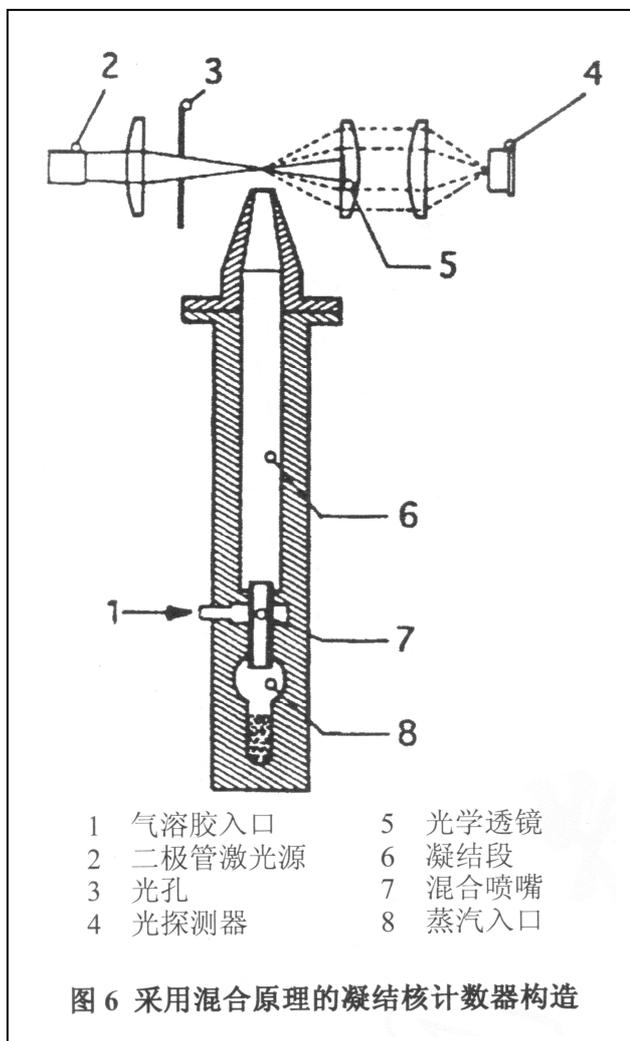


图 6 采用混合原理的凝结核计数器构造

另一种方法，与环境温度相同的气溶胶与含饱和蒸汽的无尘热空气混合，这种混合造成过饱和与凝结（见文献[21]）。其原理如图 6 所示。

气溶胶以最短路径直接进入混合喷嘴，在凝结段形成丙二醇液滴，然后由光散射传感器测量

5.2.2 最低性能参数

粒径测量范围（100%计数效率）：

50nm 到 0.8 μ m

伪计数率：<1 min⁻¹

5.2.3 误差来源及限制误差

对于 CNC 的计数模式，粒子浓度的准确主要依赖于采样流量的准确度，根据所采用的测量或控制方式，其误差为 2%~5%。

对于光度模式，数量浓度与输出信号的相互关系依赖于液滴尺寸。在极端情况下，光度测量的不准确度可能高达 100%（见文献[22]、[23]），因此，应避免采用光度测量模式。

5.2.4 维护与检查

应定期检查容器中蒸汽物质的存有量。由于水份的增加会改变蒸汽物质的热力学性能，所以应定期更换蒸汽物质。

使用者正确操作方面的检查包括流量检查，以及在采样上游插入一只合适过滤器（H13 或更高的 HEPA 过滤器）来进行伪计数率检查。

若有数台计数器可供使用，就有可能使用同一试验气溶胶对它们进行比对检查。

5.2.5 标定

采用计数模式的凝结核计数器可被认为是无需标定的绝对测量方法。只需经常用对比方式检查采样流量，例如用一个浮子流量计来对比。

采用光度模式时，测定计数效率需要已知的浓度单分散气溶胶（例如采用微分迁移分析仪与气溶胶静电仪，见文献[12]），这种标定只能在设备齐全的气溶胶实验室进行。

5.3 微分迁移分析仪

5.3.1 操作

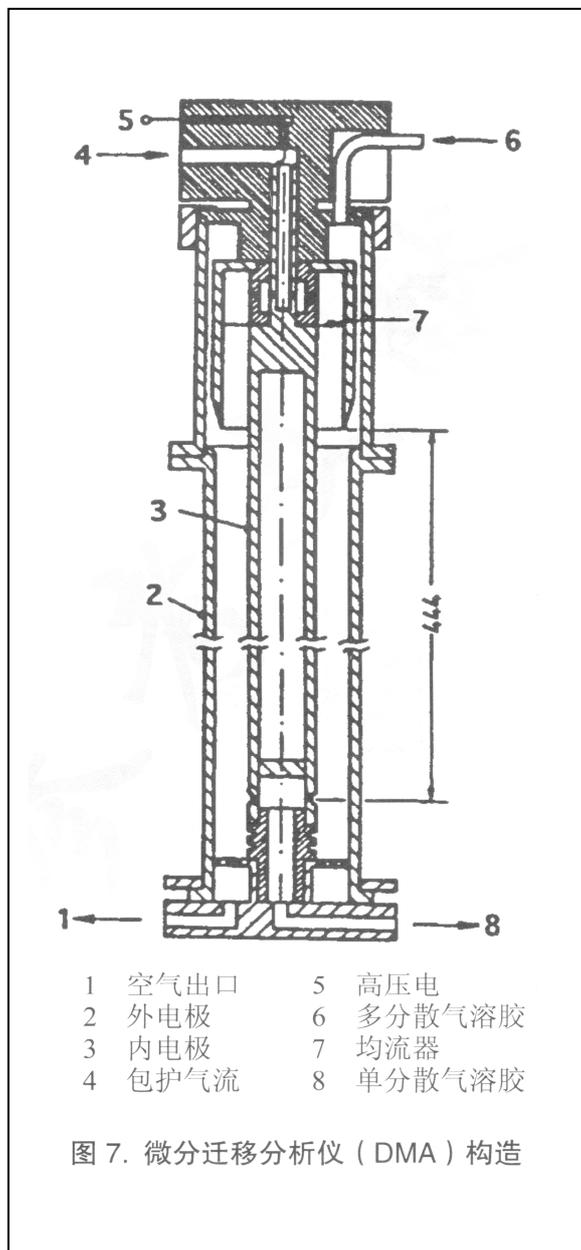
微分迁移分析仪（DMA）将颗粒物按其电迁移率来分级。颗粒物的电迁移率是粒径尺寸与该颗粒物上电荷数量的函数。

DMA 的结构如图 7 所示。

迁移分析仪中有两个同心的圆柱体电极。多分散气溶胶先因与空气离子接触而带有确定的电荷，然后穿过沿外电极的环状缝隙进入 DMA，沿内电极注入等动力无尘空气。在两电极间电场的帮助下，具有一种极性的粒子偏离气流向中心电极移动，而具有相反极性的粒子被外电极吸引。从内电极的底部引出具有特定电迁移率的粒子。

要正确选用原始多分散气溶胶的粒径分布，只有保证每个颗粒物只带一个电荷，才能保证分离出的粒子大小相同。

5.3.2 最低性能参数



分离粒径范围：10nm 到 0.8 μ m

(准) 单分散气溶胶几何标准差：<1.3

5.3.3 误差来源与误差限制

若原始气溶胶的粒径分布不能准确地满足单分散气溶胶的分离要求，当输出 0.1 μ m 以上的粒子时，可能会混有大量含多个电荷的大粒子。

漏气和流量的误调整会造成所选粒径的漂移以及单分散的失真。

5.3.4 维护与检查

运行过程中电极吸附尘粒，因此应定期清洁电极。

每次清洁后，应按制造商说明书介绍的方法进行密封检测。应经常校验仪器内的质量流量计。正确调整流量对设备的正常运行至关重要。若在两电极间无电位差时仍在输出口检测至粒子，就应检查流量。

5.3.5 标定

通过对设备几何尺寸、流量、电位差的计算，可以得到输出单分散气溶胶粒子的直径，因此原则上没必要对设备进行标定。鉴于这个原因，这种设备经常被用作其它仪器的标定基准。若怀疑设备工作不正常，建议利用同样型号的另一台设备进行比对，或用 Latex 气溶胶进行比对（见[17]、[24]）。

5.4 以微分迁移分析仪为基础的尘径分析系统

5.4.1 操作

这里所说的微分迁移粒度仪（DMPS）是 DMA 与 CNC 的组合。改变 DMA 中心电极的电压，分别测量各种电压下出口处单分散气溶胶的计数浓度，若知道气溶胶粒子的电荷分布情况，就能计算出原始气溶胶的粒径分布。整个 DMPS 的测量过程由同一台计算机控制，测量数据的评估由那台计算机来完成。

5.4.2 最低性能参数

采样流量：>0.3 l/min

测量范围：

——粒径：10 nm 至 0.8 μ m

——计数浓度： 10^3cm^{-3} 至 10^6cm^{-3}

5.4.3 误差来源与误差限制

采用这种测试方法，就要知道气溶胶的电荷分布情况。携带颗粒物的气体（如乙醇分子）会干扰颗粒物上的电荷状况，颗粒物浓度过高也会改变电荷分布。

5.4.4 维护与检查

见 CNC (5.2.4) 与 DMA (5.3.4)。

5.4.5 标定

见 CNC (5.2.5) 与 DMA (5.3.5)。

5.5 稀释系统

5.5.1 操作

稀释系统通过加入无尘气体（通常为空气）将气溶胶浓度降至确定的水平。稀释性能不应受粒径范围的影响，不应随时间而漂移。

含气溶胶的一股分流经过滤成为洁净空气，未过滤的部分进入一根细管，用这根细管上的压降来确定体积流量（见文献[25]）。

另一种可能的方式是从外部注入无尘空气（例如，从压缩空气线路）。

有些系统采用喷射原理。纯净气流收缩时产生压降，利用这一压降来吸入气溶胶并将其稀释（见文献[26]）。这类系统的稀释取决于装置的几何尺寸，操作者无法对其进行调整。

不采用喷射原理的另一种稀释方法是，将纯净空气与含气溶胶气流混合。通过调整纯净空气流量与气溶胶空气流量来确定稀释比。这种方式的稀释比可以在给定范围内任意调节。

将数只稀释器串联可以获是高精确度的的高稀释比（高至 10000）（见文献[25]、[27]）。

5.5.2 最低性能参数

体积流量：在测量装置上可调

稀释比： 10~10000，取决于原始气体气溶胶浓度以及使用的测量装置

精度： （稀释比的）5%

伪计数率（在稀释系统的入口部位使用“绝对过滤器”时）：

$$< 10 \text{ min}^{-1}$$

5.5.3 误差来源与误差限制

细管与喷嘴上的沉积物会改变稀释比。

5.5.4 维护与检查

按照制造商给定的周期更换过滤器。若测量无尘空气时颗粒物读数不为零，就应清洁稀释系统。应经常检查稀释比，其方法例如，在设定稀释比的条件下测量稀释器进、出口粒子的浓度。

5.6 差压测量设备

测量过滤器的压降需要压力测量装置，该装置既可以是直接测量（例如：液体压力计，薄膜压力计），或间接测量（例如：电或气动测量变换器）。电变换器需定期标定。

最低性能参数：

精确度： <3%测量值

5.7 绝对压力测量设备

在试验台入口绝对压力的测量可采用水银压力计，无液气压计，或电动压力传感器。

最低性能参数：

测量范围： 90 kPa~120 kPa

精确度 $\pm 0.6 \text{ kPa}$

5.8 温度计

可采用液体温度计或具有电传感器/变换器的温度计进行温度测量（见文献[28]）。

最低性能参数：

测量范围：273K~313K

精确度： 2K

5.9 湿度计

相对湿度的测量可采用简易的发丝湿度计，也可使用复杂些的装置（电解湿度计，氯化锂露点湿度计，露点镜面湿度计，干湿球湿度计等，见文献[28]）。

最低性能参数：

测量范围：25%~95%相对湿度

精确度： 5%相对湿度

6、维护与检查周期

参照表 2 规定的程序，在规定时间内对各种仪器进行至少一次维护和检查。仪器的年度标定应与单项标定备忘录一并归档。

表 2 维护与检查周期汇总表

项 目	每只过滤器	每日	每周	每月	每年	更换后 ^D
压差						
调零						×
绝对压力					×	×
温度					×	×
相对湿度					×	×
激光粒子计数器						
伪计数率	×					×
尺寸确定					×	×
计数效率					×	×
重叠误差					×	×
体积流量					×	×
DMA						
零电压测试		×				×
体积流量					×	×
清洁				×		×
CNC						
伪计数率	×					×

计数效率					×	×
重叠误差					×	×
体积流量					×	×
填充水平		×				×
气溶胶发生器						
粒径分布						×
稳定性					×	×
电中性					×	×
稀释系统						
伪计数率		×				×
稀释系数					×	×
1) 因试验准备和具体仪器而异。						

7、粒子计数统计学问题

粒子计数涉及误差统计学误差，计数事件的数量越少，置信度越低。置信度可用泊松分布来估计。

下表给出泊松分布下给定事件数量 95% 置信区间的上、下极限。

表 3 符合泊松分布粒子数量 95% 置信区间的上、下限

粒子数量	下限	上限	粒子数量	下限	上限
0	0.0	3.7	35	24.4	48.7
1	0.1	5.6	40	28.6	54.5
2	0.2	7.2	45	32.8	60.2
3	0.6	8.8	50	37.1	65.9
4	1.0	10.2	55	41.4	71.6
5	1.6	11.7	60	45.8	77.2
6	2.2	13.1	65	50.2	82.9
8	3.4	15.8	70	54.6	88.4
10	4.7	18.4	75	59.0	94.0
12	6.2	21.0	80	63.4	99.6
14	7.7	23.5	85	67.9	105.1
16	9.4	26.0	90	72.4	110.6
18	10.7	28.4	95	76.9	116.1
20	12.2	30.8	100	81.4	121.6
25	16.2	36.8			
30	20.2	42.8			

例如，若记录了 5 只粒子，表 3 中显示 95% 次重复测量同一对象所得测量数应该在 1.6

至 11.7 之间。

小计数置信区间的极限值与期望值不对称。大计数的泊松分布变为对称的正态分布同，此时，可采用下式计算置信区间：

$$N_{95\%} = N \pm 1.96 \times N^{1/2}$$

计算过滤器效率时，透过率的计算中需要粒子的计数值，此时，应确定置信区间的最不利值并将其作为透过率计算的基础。这通常意味着，上游浓度取置信区间的下限值而不是测量平均值，下游浓度取上限值。

值得注意的是，极限值以原始计数为基础，而不是间接是到的数值（例如，包含了稀释比的颗粒浓度或粒子数量）。

泊松概率仅用于稀释小计数产生的误差。确定计数误差的同时，还必须采取措施减少其它随机误差和系统误差。

参考文献

- [1] EN 1822-5:2009, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) !a Part 5: Determining the efficiency of filter elements
- [2] EN 1822-4:2009, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) !a Part 4: Determining leakage of filter elements (scan method)
- [3] US Patent 5,059,349, Method of measuring the efficiency of gas mask filters using monodispersed aerosols
- [4] US Patent 5,059,352, Method for the generation of monodispersed aerosols for filter testing
- [5] JACA Standard No. 37-2001: Guideline of substitute materials for DOP
- [6] JIS Z Standard No. 8901:2006, Test powders and test particles
- [7] ISO 14644-3:2004, Cleanrooms and associated controlled environments !a Part 3: Test method
- [8] Chemical Abstracts, issued by American Chemical Society, <http://www.cas.org/>
- [9] Crosby, David W., Concentration produced by a Laskin nozzle generator, a comparison of substitutest materials and DOP, 21 DOE/NRC Nuclear Air Cleaning Conference.
- [10] VDI 3491, Messen von Partikeln, Herstellungsverfahren f"r Pr"lfaerosole, Blatt 4, Aerosolgenerato nach Sinclair und La Mer (Particulate matter measurement; aerosol generator according to Sinclair and La Mer).
- [11] VDI 3491, Messen von Partikeln, Herstellungsverfahren f"r Pr"lfaerosole, Blatt 7, Aerosolgenerato nach Rapaport und Weinstock (Particulate matter measurement; aerosol generator according to Rapaport and Weinstock).
- [12] Liu, B.Y.H. and D.Y.H. Pui (1974) A Submicron Aerosol Standard and the Primary Absolute Calibration of the Condensation Nucleus Counter, J. Coll. Int. Sci. 47, p. 155.
- [13]VDI 3491, Messen von Partikeln, Herstellungsverfahren f"r Pr"lfaerosole, Blatt 5, Herstellung voPr"lfaerosolen aus Farbstoff?sungen mit D"lsenzest?ubern (Particulate matter measurement generation of test aerosols by nebulisation with nozzle atomizers).
- [14] Liu, B.Y.H. and D.Y.H. Pui (1974) Electrical Neutralization of Aerosols, J. Aerosol Sci. 5, pp. 465-472.
- [15] VDI 3489, Messen von Partikeln, Methoden zur Charakterisierung und "lberwachung von P"lfaerosolen, Blatt 3: Optischer Partikelz?hler (Particulate matter measurements; methods for characterization and monitoring of test aerosols; optical particle counter).
- [16] VDI 3491, Messen von Partikeln, Blatt 1, Kennzeichnung von Partikeldispersionen in Gasen - Begriffe und Definitionen (Particulate matter measurement; characteristics of suspended particulate matter in gases; terms and definitions).
- [17] VDI 3491, Messen von Partikeln, Herstellungsverfahren f"r Pr"lfaerosole, Blatt 3, Herstellung vo Latexaerosolen unter Verwendung von D"lsenzest?ubern (Pariculate matter measurement; generation of latex aerosols using nozzle atomizers).
- [18] Peters, C., J. Gebhart, C. Roth and S. Sehrt (1991) Test of High Sensitive Laser Particle Counters with PSL-Aerosols and a CNC Reference, J. Aerosol SCI. 22, Suppl. 1, S 363-366.
- [19] VDI 3491, Messen von Partikeln, Herstellungsverfahren f"r Pr"lfaerosole, Blatt 13, Herstellung vo Pr"lfaerosolen mittels eines Schwingblenden-Aerosolgenerators (Particulate matter measurement; generation of test aerosols using a vibration orifice generator).
- [20] Bricard, J., Delattre, P., Madelaine, G., Pourprix, M. (1976) Detection of ultrafine particles by means of a continous flux condensation nuclei counter. In Fine Particles, B.Y.H. LIU Ed., Academic Press Inc., New York.
- [21] Kousaka, Y., T. Niida, K. Okuyama and H. Tanaka (1982) Development of a Mixing Type Condensation Nucleus Counter, J. Aerosol Sci. 13, pp. 231-240.
- [22] VDI 3489, Messen von Partikeln, Methoden zur Charakterisierung und "lberwachung von Pr"lfaerosolen, Blatt 2: Kondensationskernz?hler mit kontinuierlichem Durchflu? (Particulate matter measurement - Methods for characterizing and monitoring test aerosols - Continuous flow condensation nucleus counter).
- [23] Dreiling, V. P. Haller, C. Helsper, U. Kaminski, A. Plomp, F. Raes, C. Roth, J. Schier and G. Sch"lrmann

- (1986) Intercomparison of Eleven Condensation Nucleus Counters, *J. Aerosol Sci.* 17, pp. 565-570.
- [24] Gebhart, J., J. Heyder, C. Roth und W. Stahlhofen (1980) Herstellung und Eigenschaften von Latexaerosolen. *Staub-Reinh. Luft* 40, pp. 1-8.
- [25] Remiarz, R.J. and E.M. Johnson (1984) A New Diluter for High Concentration Measurements with the Aerodynamic Particle Sizer, *TSI Quarterly* 10, 1, pp. 7-12.
- [26] Koch, W., H. L?dding, W. M?lter und F. Munzinger (1988) Verd?nnungssystem f?r die Messung hochkonzentrierter Aerosole in optischen Partikelz?hlern, *Staub-Reinh. Luft* 48, pp. 341-344.
- [27] Helsper, C., W. M?lter und P. Haller (1990) Representative Dilution of Aerosols by a Factor of 10,000. *J. Aerosol Sci.* 21, Suppl. 1, S637-640.
- [28] VDI 2080, Me?verfahren und Me?ger?te f?r Raumluftechnische Anlagen (Measuring methods and measuring instruments for air conditioning systems).
- [29] EN ISO 5167-1:1995, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices !a Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full (ISO 5167-1:1991)