

一般通风用空气过滤器 ——
过滤性能的测定

**Particulate air filters for general ventilation —
Determination of the filtration performances**

CEN 于 2002 年 9 月 14 日批准本欧洲标准。

CEN 成员有义务遵守 CEN/CENELEC 的内部规则，不加任何修改地将本欧洲标准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，可以从管理中心或从 CEN 成员处获得。

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，并通报管理中心，通报的译本与官方文本具有同等效力。

CEN 成员为下列国家的标准化机构：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、马耳他、荷兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、英国。

根据 BSI 英文版翻译

刘迪林 译，蔡杰 校，2005 年 8 月



Comité Européen de Normalisation
欧洲标准化委员会

管理中心：rue de Strassart 36, B-1050 Brussels

目 录

目 录.....	2
前 言.....	5
介 绍.....	6
1 范围.....	7
2 规范性引用文件.....	7
3 术语和定义.....	7
4 符号和缩略语.....	10
5 要求.....	11
6 分级.....	12
7 试验台和相关设备.....	12
7.1 试验条件.....	12
7.2 试验台.....	12
7.3 气溶胶发生.....	15
7.3.1 DEHS 试验气溶胶.....	15
7.3.2 气溶胶的中和（调节）.....	16
7.3.3 气溶胶采样系统.....	16
7.5 风量测量.....	17
7.6 粒子计数器.....	17
7.7 差压测量设备.....	17
7.8 负荷尘发尘器.....	17
8 试验台和设备的验证.....	20
8.1 试验风道中风速的均匀性.....	20
8.2 试验风道中气溶胶的均匀性.....	20
8.3 粒子计数器的粒径精确度.....	21
8.4 粒子计数器零试验.....	21
8.5 粒子计数器过载试验.....	21
8.6 100%效率试验.....	22
8.7 零效率试验.....	22
8.8 气溶胶发生器响应时间.....	22
8.9 压力测量设备的标定.....	22
8.10 压降检查.....	22
8.11 喂尘器风量.....	23
8.12 中和器.....	23

8.13	合格鉴定要求汇总	24
8.14	设备维护	24
9	试验材料	25
9.1	试验空气 — 洁净度、温度、湿度	25
9.2	试验气溶胶	25
9.3	负荷尘	25
9.4	末级过滤器	26
10	试验过程	26
10.1	被试过滤器的准备	26
10.2	初阻力	26
10.3	初始效率	26
10.3.1	消除滤材静电后的效率	26
10.3.2	效率测定	26
10.4	容尘	28
10.4.1	容尘过程	28
10.4.2	计重效率	28
10.4.3	计数效率	29
10.4.4	平均效率	29
10.4.5	容尘量	30
11	试验结果的不确定度计算	30
12	报告	31
12.1	一般要求	31
12.2	汇总	32
12.3	效率	33
12.4	压降和风量	34
12.5	计重效率和容尘量	34
12.6	标识	34
附录 A (规范性附录)	静电消除过程	43
A.1	概述	43
A.2	消除滤材静电的试验方法	43
A.2.1	设备	43
A.2.2	试验样品的准备	44
A.2.3	过滤效率的测定	44
A.2.4	异丙醇试验	44
A.2	试验结果表述	44
附件 B (资料性附录)	过滤器的脱尘	45

B.1	概述	45
B.2	脱尘	45
B.2.1	粒子反弹	45
B.2.2	滤材本身纤维与颗粒物的脱落	45
B.2.3	再飞散	45
B.3	试验	46
B.4	参考文献	46
附录 C (资料性附录) 注解		47
C.1	概述	47
C.2	分级	47
C.3	试验	47
C.3.2	试验气溶胶	47
C.3.2	负荷尘	47
C.3.3	气溶胶的分布和采样	48
C.3.4	粒子计数器特征	48
C.3.5	片状滤材试验	48
C.4	过滤特征	48
C.4.1	概述	48
C.4.2	阻力	48
C.4.3	静电对效率的影响	48
附录 D (资料性附录) 阻力计算		49
附录 D (资料性附录) 阻力计算		50
附录 E (资料性附录) 完整的试验报告实例		51
E.1	试验报告实例	51
E.2	计算实例	58
E.3	450 PA 时的最终结果	61
参考文献		62

前 言

本文件（EN 779:2002）由 CEN/TC 195 “一般空气洁净用过滤器”技术委员会起草，其秘书处设在德国标准化委员会 DIN。

本欧洲标准成为各国国家标准的最迟时间为 2003 年 5 月，国家标准可以是与原文本意思完全一致的文本，或含有附加说明的文本。与本标准相抵触的国家标准最迟于 2003 年 5 月废除。

本欧洲标准涉及一般通风用空气过滤器的性能试验。本标准取代 EN 779:1993，因为其采用的试验方法已经过时。

EN 779 以 Eurovent 4/9:1997 的试验方法为基础。此外，本标准对试验台的验证过程做了详细规定，并规定了揭示空气过滤器实际使用过程中某些表现的试验过程（见“介绍”）。

附录 A 为规范性附录。附录 B-E 为资料性附录。

根据 CEN/CENELEC 内部规定，以下国家的标准化组织有义务采用本欧洲标准：奥地利、比利时、捷克共和国、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、冰岛、意大利、卢森堡、马耳他、荷兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、英国。

介 绍

概述

本标准规定的试验过程由 EN 779:1993 和 Eurovent 4/9:1997 发展而来。本标准保留了 EN 779:1993 中试验台的基本设计，但摒弃了测量大气气溶胶不透明度的“比色法”试验装置。本标准采用 DEHS 气溶胶（或等效物质），气溶胶在被试过滤器上游风道均匀分散，利用光学粒子计数器（OPC）分析上、下游有代表性的气样，得出过滤器粒径效率数据。

分级

本标准保留了 EN 779:1993 的分级体系（包括 F 和 G 类过滤器）；过滤器的分级改为采用 0.4 μm 液态 DEHS 粒子的平均过滤效率来确定。采用 0.4 μm 粒子过滤性能对 F 类过滤器分级的原因在于，实际证据表明，采用 0.4 μm 粒子过滤性能对 F 类过滤器分级，其结果与采用比色法的 EN 779:1993 分级结果极其吻合。平均效率值低于 40% 的过滤器划为 G 类，效率报告为“<40%”。G 类过滤器的分级依据负荷尘的平均计重效率。

试验气溶胶

基于以下原因，选用 DEHS 气溶胶进行效率试验：

- 采用 Eurovent 4/9 试验方法的用户已经具备经验，而且配备有许多合适的设备；
- 液态气溶胶的发生容易，可以满足浓度、粒径范围和连续性要求；
- 不经任何处理，DEHS 气溶胶本身就是中和的，也可经过静电处理使其达到玻尔兹曼平衡。本标准使用的气溶胶应达到玻尔兹曼电荷分布。
- 粒子计数器的标定采用 Latex 乳胶球。就光学粒子计数器测定粒径而言，测定球状液体粒子比测定非球状盐粒或其它固体试验粉尘更准确。

应使气溶胶具有玻尔兹曼电荷分布水平，以代表长期的环境大气气溶胶的电荷分布。

过滤特性

附录 A 和附录 B 介绍了一些潜在问题，包括被捕集粉尘的再飞散、滤材本身物质的脱落，以及使用中特定滤材的电中和。

依靠静电效应，某些滤材在低气流阻力下具有高效率。当滤材暴露于某种环境时，如燃烧生成的粒子或油雾，滤材上的电荷可能被中和，致使过滤性能下降。重要的是，要让过滤器用户意识到，使用期间有可能因滤材电荷丧失导致性能下降。同样重要的是，要具有鉴别这种潜在问题存在的手段。附录 A 给出鉴别这类现象的技术。该方法用于判定过滤效率是否依赖于静电机理，并将静电机理对过滤的贡献进行量化。

在理想的过滤过程中，粒子一旦与过滤纤维接触就会永久滞留。但是，新到来的粒子可能将滞留的粒子撞飞。由于机械力的作用，过滤器自身的纤维或微粒也可能释放。对用户来说，知道这种现象很重要，而本标准的粒子计数系统无法检测这种现象。

1 范围

本欧洲标准涉及一般通风用空气过滤器。这些过滤器按本试验过程测定的性能进行分类。

本欧洲标准规定空气过滤器需满足的要求。本标准规定测定过滤器性能的试验方法和试验台。

为获得用于比较和分级的结果，空气过滤器试验中使用两种人工气溶胶，细气溶胶用于测量 $0.2\ \mu\text{m}\sim 3.0\ \mu\text{m}$ 范围内过滤效率依粒径的变化规律，粗气溶胶用于获得容尘量信息，此外，粗气溶胶是测量粗效过滤器过滤效率的负荷尘（计重效率）。

本欧洲标准适用于对 $0.4\ \mu\text{m}$ 粒子初始过滤效率低于 98% 的空气过滤器。过滤器的试验风量为 $0.24\ \text{m}^3/\text{s}\sim 1.5\ \text{m}^3/\text{s}$ （ $850\ \text{m}^3/\text{h}\sim 5400\ \text{m}^3/\text{h}$ ）。

按本标准获得的性能试验结果，不能用于定量地预测过滤器的使用性能，例如，使用中的过滤效率和使用寿命。附录 A（规范性）和附录 B（资料性）介绍了需考虑的其它影响过滤器性能的因素。

2 规范性引用文件

本欧洲标准引用了标明日期和未标明日期的规范性文件。对于标明日期的文件，若有增补或修订，只有当本标准增补或修订时再引用新文件。对于未标明日期的文献，本标准引用最新版本（包括增补内容）。

EN 1822-1 高效空气过滤器（HEPA 和 ULPA）——

第 1 部分：分级、性能试验、标识

EN ISO 5167-1:1995 使用压差装置测量流体流量 ——

第 1 部分：圆形管道中插入的孔板、喷头、文丘里管（ISO 5167-1:1991）

ISO 2854 数据的统计解释——

平均值与误差的估计和检验技术

ISO 12103-1 道路车辆：用于过滤器评价的试验粉尘——

第 1 部分：亚利桑那试验尘

3 术语和定义

本欧洲标准采用如下术语和定义。

3.1 计重效率 **arrestance**

清除负荷尘的重量（质量）（以 % 表示）。

3.2 平均计重效率 **average arrestance**

过滤器上滞留的负荷尘总量与到达终阻力时发生总量的比值。平均计重效率（以 % 表示）用于 G 类过滤器的分级。

3.3 平均效率 — E_m average efficiency - E_m

达到终阻力前各容尘阶段过滤效率的加权平均值。平均效率（以%表示）用于 F 类过滤器的分类。

3.4 平均效率 — $E_{i,j}$ average efficiency - $E_{i,j}$

容尘阶段“j”、粒径档“i”的平均效率（以%表示）。

3.5 带静电过滤器 charged filter

带静电或被极化的过滤器。

3.6 粗效过滤器 course filter

分级上属于 G1~G4 级别的过滤器。

3.7 计数率 counting rate

单位时间内计数事件的数量。

3.8 DEHS

一种用于产生试验气溶胶的液体（癸二酸二辛酯，DiEthylHexylSebacate）。

3.9 容尘量 dust holding capacity

达到终阻力时过滤器截流负荷尘的总量（以 g 表示）。

3.10 迎风面积 face area

紧靠被试过滤器上游试验风道的内截面面积（名义尺寸为 $0.61\text{ m} \times 0.61\text{ m} = 0.37\text{ m}^2$ ）。

3.11 面风速 face velocity

风量与迎风面积之比（以 m/s 表示）。

3.12 末级过滤器 final filter

用于收集穿过被试过滤器的负荷尘的过滤器。

3.13 终阻力——建议值 final pressure drop - recommended

额定风量下，制造商建议的过滤器最大运行阻力（以 Pa 表示）。

3.14 终阻力 final pressure drop

以分级为目的，测定过滤性能过程中达到的阻力（以 Pa 表示）。

3.15 中效过滤器 fine filter

分级上属于 F5~F9 级别的过滤器。

3.16 HEPA 过滤器 HEPA filter

按 EN 1822-1 的分级，属于 H10~H14 的高效空气过滤器。此处特指用于净化试验气路上游空气的过滤器。

3.17 ULPA 过滤器 ULPA filter

按 EN 1822-1 的分级，属于 U15~U17 的超高效空气过滤器。

3.18 初始计重效率 initial arrestance

对最初 30g 负荷尘发尘增量的计重效率（以%表示）。

3.19 初始效率 initial efficiency

试验风量下干净过滤器的效率（各选定粒径档的过滤效率，以%表示）。

3.20 初阻力 initial pressure drop

试验风量下干净过滤器的阻力（以 Pa 表示）。

3.21 等动力采样 isokinetic sampling

风道中的空气采样方式，探头入口处风速与风道中采样处的风速相等。

3.22 负荷尘 loading dust

专门制备的、用于测定过滤器容尘量和计重效率的人工试验尘。

3.23 平均粒径 mean diameter

某粒径档粒子直径的几何平均值（以 μm 表示）。

3.24 滤速 media velocity

风量与净有效过滤面积的比值（以 m/s 表示，精确到三位有效数字）。

3.25 净有效过滤面积 net effective filtering area

过滤器中收集粉尘的滤材面积。

3.26 中和 neutralisation

使气溶胶达到波尔兹曼电荷分布（气溶胶中正、负离子数量相等）。

3.27 粒子反弹 particle bounce

粒子撞击过滤器但未被过滤器捕获的行为。

3.28 粒径 particle size

粒子的光学等效直径。

3.29 粒子计数浓度 particle number concentration

单位体积试验空气所含的粒子个数。

3.30 透过率 penetration

过滤器下游与上游粒子浓度之比（以%表示）。

3.31 再飞散 re-entrainment

已被过滤器捕获的粒子重新释放到气流中的行为。

3.32 脱尘 shedding

由于粒子反弹和二次逃逸效应，以及过滤器或滤材本身的纤维与颗粒物的释放，引起的粒子向气流中的释放。

3.33 人工试验尘 synthetic test dust

专门制备的、用于测定过滤器容尘量和计重效率的粉尘。

3.34 试验风量 test air flow rate

通过被试过滤器的体积风量（以 m^3/s 表示，基准空气密度为 $1.20 \text{ kg}/\text{m}^3$ ）。

3.35 试验气溶胶 test aerosol

用于测定过滤器计数效率的气溶胶。

3.36 试验空气 test air

用于试验目的的空气。

4 符号和缩略语

本欧洲标准采用以下符号和缩略语:

A	计重效率
A_j	容尘阶段“j”的计重效率, %
A_m	试验到达终阻力时的平均计重效率, %
CL	粒子计数器的浓度极限
CV	偏差系数
CV_i	粒径档“i”的偏差系数
DHC	容尘量, g
d_i	粒径档的代表粒径或平均粒径, μm
d_l	粒径档的下界, μm
d_u	粒径档的上界, μm
E_i	初始效率, %
$E_{i,j}$	容尘阶段“j”之后粒径档“i”的平均效率, %
$E_{m,i}$	试验至终阻力过程中粒径档“i”的平均效率, %
E_m	试验至终阻力过程中, $0.4 \mu\text{m}$ 粒子的平均效率 (用于分级), %
\bar{E}	平均效率, %
F5~F9	中效过滤器的分级
G1~G4	粗效过滤器的分级
M_j	容尘阶段“j”中向过滤器的发尘质量, g
<i>mean</i>	平均值
$mean_i$	粒径档“i”的平均值
m_d	过滤器之后的风道积尘, g
m_j	容尘阶段“j”穿过过滤器的粉尘质量, g
m_{tot}	向过滤器的累计发尘量, g
m_1	发尘增量前末级过滤器的质量, g
m_2	发尘增量后末级过滤器的质量, g
N_i	过滤器上游粒径档“i”的粒子计数
n	测点数量
n_i	过滤器下游粒径档“i”的粒子计数
OPC	光学粒子计数器
p	压力, Pa
p_a	过滤器上游绝对压力, kPa
p_{sf}	流量计静压, kPa
q_m	流量计的质量流量, kg/s
q_v	过滤风量, m^3/s

q_{vf}	流量计的体积风量, m^3/s
t	过滤器上游温度, $^{\circ}C$
t_f	流量计处温度, $^{\circ}C$
$t_{(1-\alpha/2)}$	分布偏差
U	不确定度, %单位
δ	标准差
ν	自由度
ρ	空气密度, kg/m^3
φ	过滤器上游相对湿度, %
Δm	粉尘增量, g
Δm_{ff}	末级过滤器的质量增量, g
Δp	过滤器压降, 过滤器阻力, Pa
Δp_f	流量计差压, Pa
$\Delta p_{1.20}$	空气密度为 $1.20 kg/m^3$ 时的过滤器压降, Pa

ANSI	美国国家标准化协会
ASHRAE	美国采暖、制冷及空调工程师协会
ASTM	美国试验与材料协会
CAS	化学文摘
CEN	欧洲标准化委员会
EN	欧洲标准
EUROVENT	欧洲空气处理与制冷设备制造商委员会
ISO	国际标准化组织
NORDTEST	北欧国家常规试验组织
VTT	芬兰技术研究中心

5 要求

过滤器的设计和标识应能防止不正确的安装。在通风管道中正确安装过滤器时, 应保证其密封边缘无渗漏。

采用适当的材料制造过滤器(滤芯和边框), 材料能承受正常使用中可能遇到的温度、湿度及腐蚀性环境。

过滤器应能承受正常使用中可能遇到的机械胁迫。气流通过过滤器时, 滤材自身释放的粉尘和纤维不应暴露于已过滤空气中的人员(或设备)造成危害或影响。

6 分级

按效率（或计重效率）对过滤器分级的试验条件为：

- 若制造商未注明额定风量，试验风量为 $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3400 \text{ m}^3/\text{h}$)；
- 粗效（G）过滤器最大终阻力为 250 Pa ；
- 中效（F）过滤器最大终阻力为 450 Pa 。

若过滤器试验风量为 $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ ，且达到终阻力，根据表 1 对其进行分级，如 G3，F7。

若过滤器的试验风量和终阻力与上述要求不同，也可按表 1 分级。此分级后用括号注明试验条件，如 G4 ($0.7 \text{ m}^3/\text{s}$, 200 Pa)，F7 ($1.25 \text{ m}^3/\text{s}$)。

表 1 按 EN 779 对空气过滤器分级

级别	终阻力 Pa	人工尘平均计重效率 (A_m) %	对 $0.4 \mu\text{m}$ 粒子的 平均效率 (E_m) %
G1	250	$50 \leq A_m < 65$	-
G2	250	$65 \leq A_m < 80$	-
G3	250	$80 \leq A_m < 90$	-
G4	250	$90 \leq A_m$	-
F5	450	-	$40 \leq E_m < 60$
F6	450	-	$60 \leq E_m < 80$
F7	450	-	$80 \leq E_m < 90$
F8	450	-	$90 \leq E_m < 95$
F9	450	-	$95 \leq E_m$

注：大气粉尘的性质与本试验所用人工负荷尘有很大差异，因此，试验结果不能用于预测过滤器的运行性能和使用寿命。滤材电荷的丧失及粒子或纤维的松脱对过滤效率也有副作用（见附录 A 和附录 B）。

7 试验台和相关设备

7.1 试验条件

室内、外空气均可用做试验空气源。相对湿度应小于 75%。排风可排放至室内、室外，也可循环使用。某些测量设备可能对试验空气的温度有限制。

当排风中存在试验气溶胶和负荷尘时，建议对排风进行过滤。

7.2 试验台

试验装置（见图 1）包括几截方形风道管段，除安装过滤器的管段外，其它管段的名义内径均为 $610 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}$ 。安装过滤器的管段名义内径在 $616 \text{ mm} \sim 622 \text{ mm}$ 之间。该管段的最小长度为 1 m ，且至少为过滤器长的 1.1 倍。

风道材料应导电并接地，应具有光滑的内表面，且具有足够的刚度，以保证在工作压力下不变形。试验风道中的个别部位可采用玻璃和塑料材料，以便观察过滤器或设备。有必要设置监视试验过程的观察窗。

效率试验的气溶胶在管段 1 中均匀分散和混合，在过滤器上游形成均匀的浓度场，管段

1 的上游设置 HEPA 过滤器。

管段 2 包括上游区混合孔板（10），其中心为发尘器的粉尘喷嘴。发尘器下游筛板的作用是使粉尘均匀分散。该管段的末端为上游气溶胶采样头。进行计重效率试验时，应封堵或移出该采样头。

为避免湍流，进行效率试验时应移出混合孔板和筛板。为避免系统误差，建议测量过滤器阻力时也将这些部件移出。

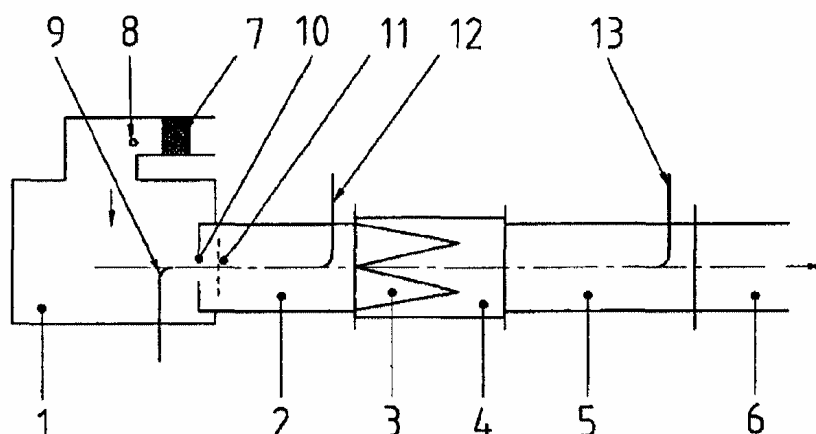
管段 5 用于过滤效率和计重效率两者的测定，计重效率试验时在管段中安装末级过滤器；效率试验时安装下游采样头。也可以制作两个管段 5，一个用于计重效率试验，另一个用于计数效率试验。

试验台可以在正压或负压下运行。正压运行时（风机在试验台上游），试验气溶胶及负荷尘可能会渗出至试验室，而负压时粒子可能会渗入试验系统而干扰计数测量。

图 2 给出试验台的尺寸及压力采样口的位置。

被试过滤器的压降测量采用静压采样口，位置如图 2 所示。在风道周边引出四个测点，用环形管连通。

管段 6 配有标准风量测量装置。若采用其它风量测量装置，该段或可缩短。



- | | |
|----------------------|--------------|
| 1 试验台管段 | 8 DEHS 粒子注入点 |
| 2 试验台管段 | 9 负荷尘注入口 |
| 3 被试过滤器 | 10 混合孔板 |
| 4 含被试过滤器的管段 | 11 筛板 |
| 5 试验台管段 | 12 上游采样头 |
| 6 试验台管段 | 13 下游采样头 |
| 7 HEPA 过滤器（至少 H13 级） | |

图 1. 试验台简图

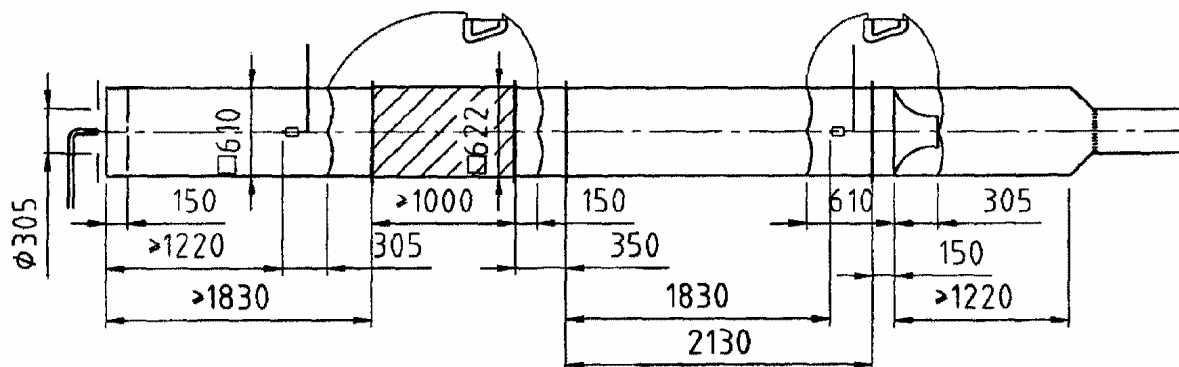
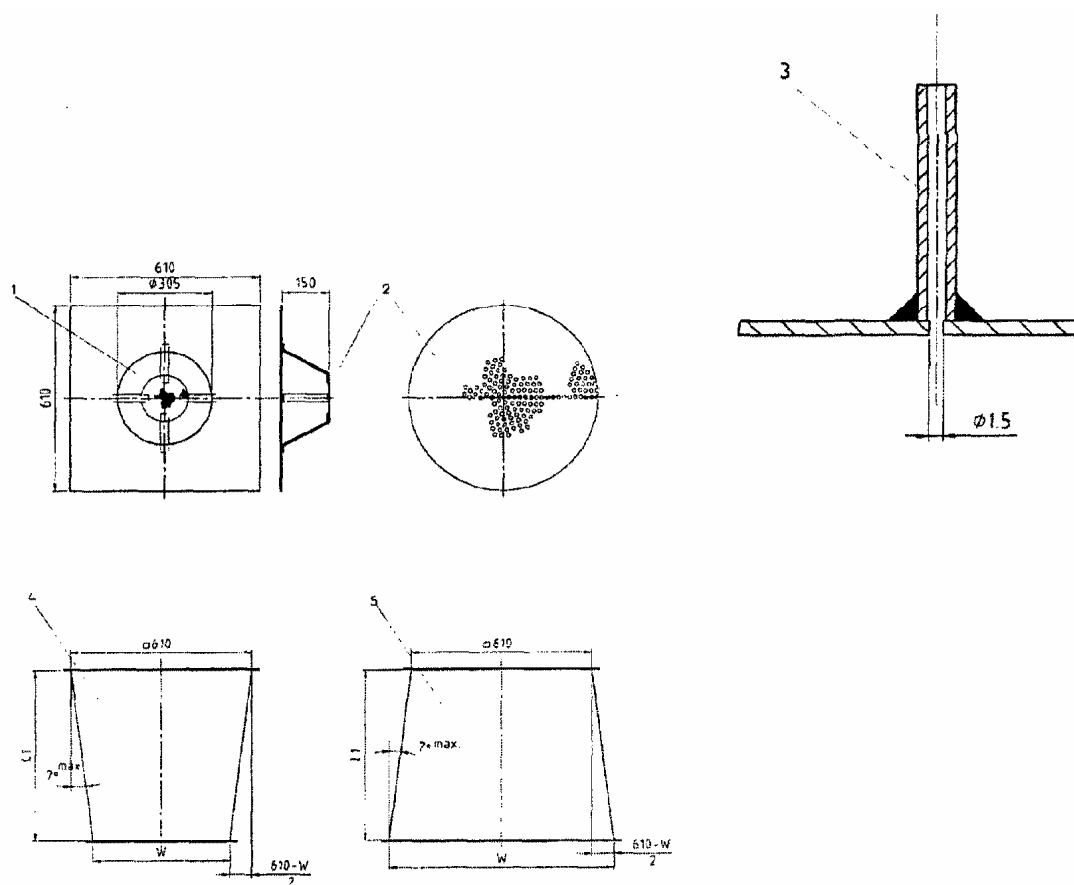


图 2. 试验台尺寸 单位: mm



- 1 混合孔板
- 2 筛板, 外径 $\phi 152 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, 开孔面积 40%
- 3 取压口
- 4 变径管 — 被试过滤器尺寸小于风道时
- 5 变径管 — 被试过滤器尺寸大于风道时

图 3 试验管段元件详图

7.3 气溶胶发生

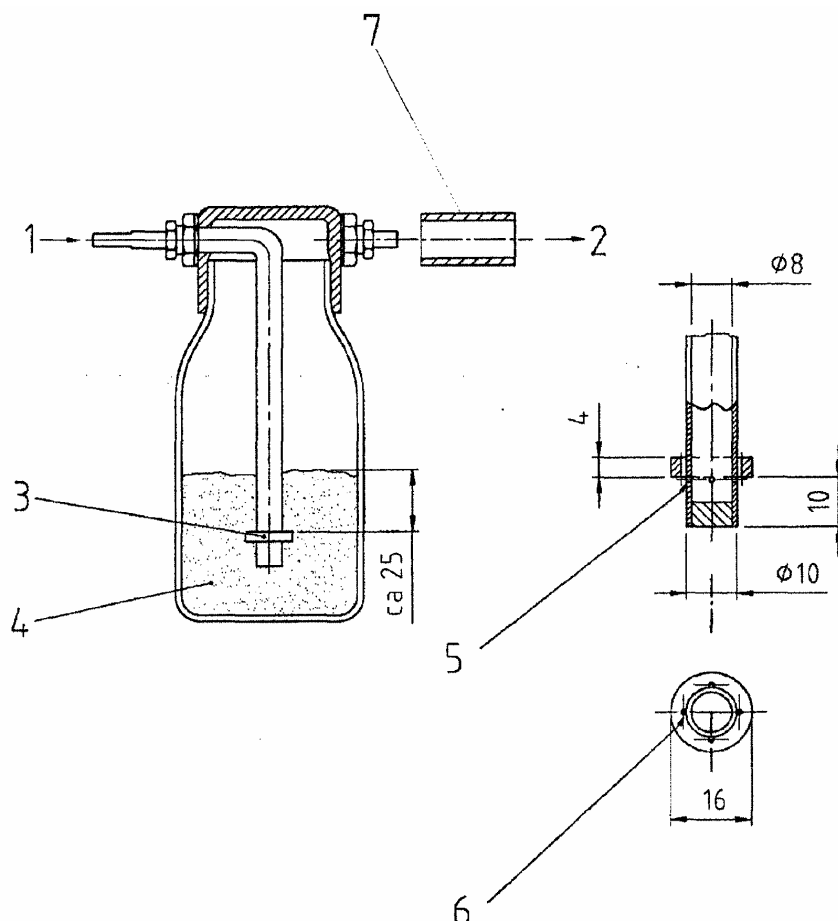
7.3.1 DEHS 试验气溶胶

规定使用的试验气溶胶为未经稀释或处理的 DEHS。试验也可采用其它被证实具备同等性能的气溶胶。由 Laskin 喷嘴产生的 DEHS (DiEthylHexylSebacate) 试验气溶胶广泛用于 HEPA 和 ULPA 过滤器的性能试验。

图 4 给出一个气溶胶发生系统的实例。系统包括盛装 DEHS 的小容器和 Laskin 喷嘴。注入的无尘压缩空气通过 Laskin 喷嘴产生气溶胶，然后将雾化的液滴直接注入试验台。根据试验风量和所需的气溶胶浓度调整喷嘴的气压和风量。例如，试验风量为 $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，气压约为 17 kPa ，喷嘴风量约为 $0.39 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($1.4 \text{ m}^3/\text{h}$)。

也可以采用能产生 $0.2 \mu\text{m} \sim 3.0 \mu\text{m}$ 的足够浓度粒子的任何其它发生器。法国标准 NF X 44-060 中规定了一种发生器，包括两个压力容器和一个利用压缩空气的声学雾化器。

试验前应调整上游粒子浓度，使之稳态，并使粒子浓度低于粒子计数器的允许重叠误差水平。



- | | |
|--|---------------------|
| 1 无尘空气 (压强约 17 kPa) | 2 供给试验台的气溶胶 |
| 3 Laskin 喷嘴 | 4 试验气溶胶物质 (例如 DEHS) |
| 5 四个 $\text{Ø}1.0 \text{ mm}$ 的孔, 孔的上部边缘成刚好接触环套的底部 | |
| 6 四个 $\text{Ø}2.0 \text{ mm}$ 的孔, 紧靠管壁, 中心线与径向孔相交 | |
| 7 中和器 | |

图 4. DEHS 粒子发生系统

7.3.2 气溶胶的中和（调节）

通过接触放射性至少为 185 MBq (5mCi) 的 β 射线或 γ 射线发生器，或通过离子发生器电晕放电，使试验气溶胶达到波尔兹曼电荷分布。电晕放电离子发生器最小电晕电流为 3 μA ，产生等量的正、负离子。

7.3.3 气溶胶采样系统

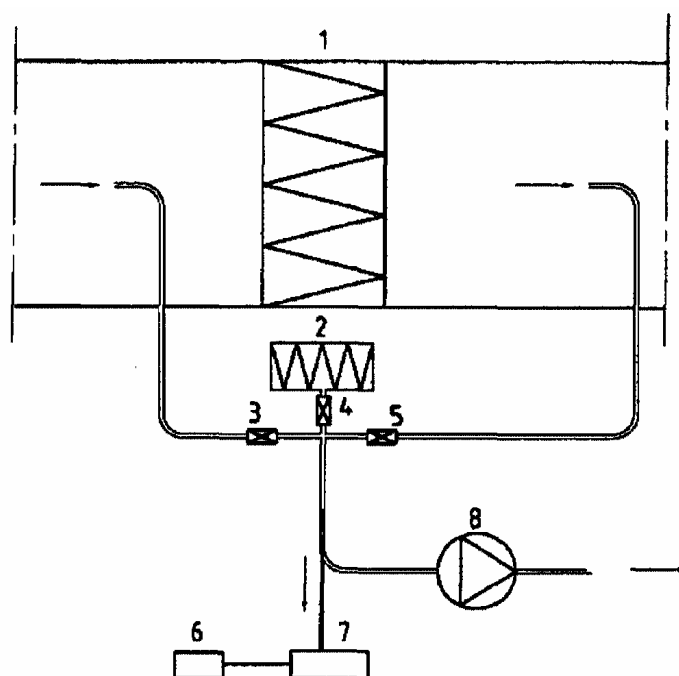
两根等长、同样结构（弯曲和直线长度）的刚性采样管分别连接上、下游采样头与粒子计数器。该采样管应导电，或具有高介电常数，内表面平滑（钢，聚乙烯，等）。

采样探头为锥形，位于上、下游测量段的中心位置，采样头入口端正对试验台入口，与气流方向平行。试验风量为 0.944 m^3/s 时，等动力采样偏差不超过 10%。建议在其它试验风量时也采用等动力采样。

被试气溶胶的上、下游采样需要三只单向阀，其中一只为接通 HEPA 过滤器的“空白”吸口。阀门为直通式。采样系统中可能有粒子损失，因此阀门动作后的第一次测量不计。

大流量（例如：0.47 dm^3/s ）计数器可使用计数器的内置泵控制采样量；小流量计数器可采用辅助泵控制采样量。采用辅助泵时，排气管线上与粒子计数器相通的线路应配有等动力采样喷嘴，其等动力采样误差不超过 $\pm 10\%$ 。

试验管道、气溶胶运输管道和粒子计数器中会出现粒子损失。较小的粒子计数会导致较大的统计误差，导致精确度降低，因此要将粒子损失降到最低。若上、下游采样损失近似相等，可减少粒子损失对结果的影响。



- | | |
|------------------|---------|
| 1 过滤器 | 5 下游阀门 |
| 2 HEPA 过滤器（洁净空气） | 6 计算机 |
| 3 上游阀门 | 7 粒子计数器 |
| 4 洁净空气阀门 | 8 辅助泵 |

图 5. 气溶胶采样系统示意图

7.5 风量测量

利用 EN ISO 5167-1 规定的标准流量测量装置进行风量测量，具体形式有孔板、喷嘴、文丘里管等。

在 95% 置信水平下，不确定度不应超过测量值的 5%。

7.6 粒子计数器

本方法使用光学粒子计数器 (OPC)，其粒径测量范围至少为 $0.2\ \mu\text{m}$ ~ $3.0\ \mu\text{m}$ 。OPC 对 $0.2\ \mu\text{m}$ 粒子的计数效率不应低于 50%。计数器在该粒径范围至少含 5 个粒径档，各粒径档边界应近似对数等距。

第 8 章介绍本试验所需 OPC 的补充信息，以及标定和操作的详细资料。

7.7 差压测量设备

压降测点位于风道管壁，如图 2。每个测点带有 4 个沿风道周边均匀分布的并联静压测口。

测量 $0\ \text{Pa}$ ~ $70\ \text{Pa}$ 范围的压差时，压差测量装置的准确度为 $\pm 2\ \text{Pa}$ ；压差大于 $70\ \text{Pa}$ 时，准确度为测量值的 $\pm 3\%$ 。

7.8 负荷尘发尘器

可以选用任何与下述负荷尘发尘器相同试验效果的发尘器。发尘器的目的是在试验期间匀速向被试过滤器提供人工粉尘。事先称量好一定质量的粉尘，将其装到一个活动粉尘盘中。粉尘盘匀速移动，滚轮将粉尘带到注尘器的吸尘管所在位置。

注尘器利用压缩空气将粉尘吹散，通过喂尘管将粉尘直接注入试验台。粉尘注入喷嘴位于管段 2 的入口处，喷嘴中心线与风道中心线重合。

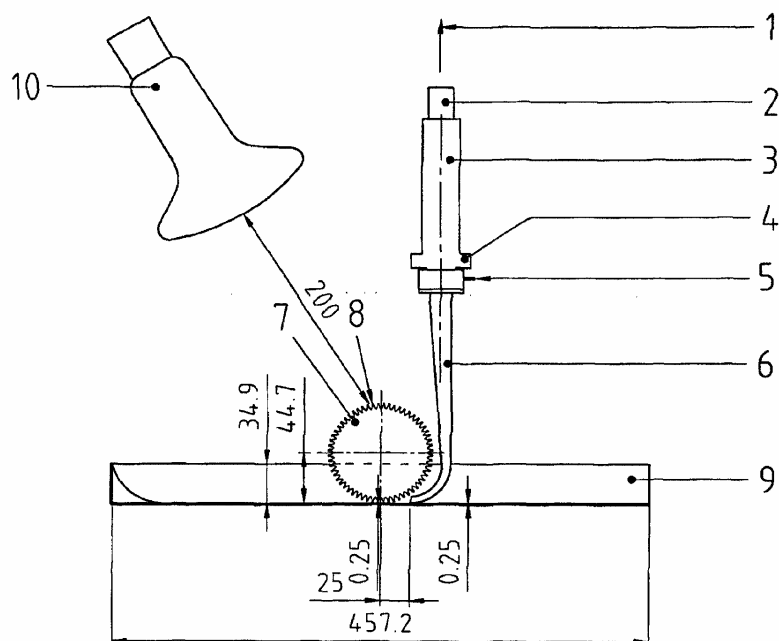
压缩空气应该干燥、洁净、无油。

图 6、图 7 中给出负荷尘发尘器的一般设计和关键尺寸。图中吸尘管与喂尘槽之间夹角为 90° ，但实际应用时可略小些。

发尘器不用时，应该防止因风道正压造成的通过吸尘管的空气回流。

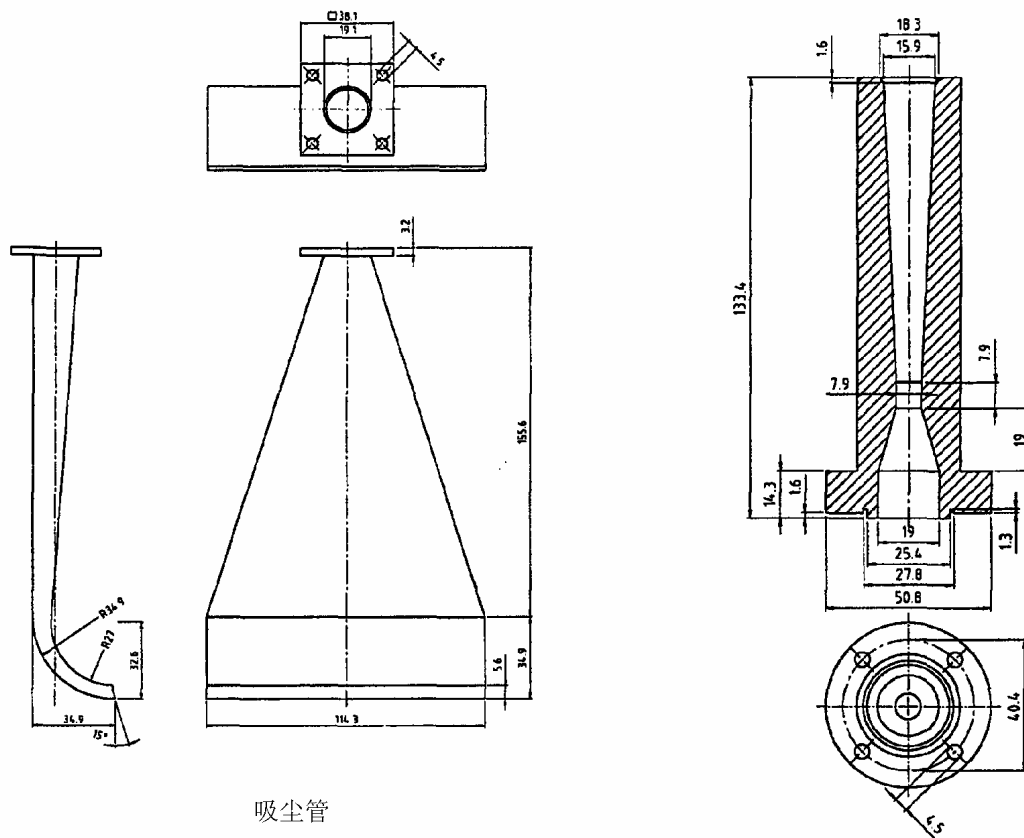
发尘器发生粉尘的分散程度取决于压缩空气的性质、吸入器套件的几何结构、通过吸入器的气流量。吸入器的文丘里管在吸收粉尘的过程中会因磨损而逐渐变大。应定期进行检查，以确保其公差在图 7 给出的允许范围内。

在各种风道压降下，定期测量 $6.8 \text{ l/s} \pm 0.2 \text{ l/s}$ 风量时的文丘里管气路上的表压。参见发生器的验收。



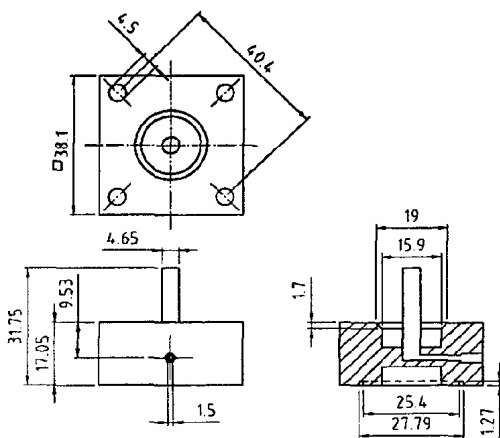
- | | |
|-----------------|---|
| 1 喂尘管（通往试验风道入口） | 7 喂尘滚轮（距粉尘盘 0.25 mm） |
| 2 镀锌薄壁导管 | 8 喂尘轮的齿， $\text{Ø}88.9 \text{ mm}$ （外径） |
| 3 文丘里喷射器 | 轮宽 114.3 mm，60 齿，齿深 5 mm |
| 4 注射器 | 9 粉尘盘 |
| 5 干燥压缩空气供给 | 10 150W 红外反射灯 |
| 6 吸尘管 | |

图 6. 发生器的关键尺寸



吸尘管

注射器



文丘里注射器

公差
 对于整数: 0.8 mm
 对于小数: 0.03 mm

图 7. 发尘器的喷嘴、文丘里注射器及吸尘管详图

8 试验台和设备的验证

8.1 试验风道中风速的均匀性

试验风道中风速的均匀性通过测定图 8 所示 9 个点的风速来确定,这 9 个点位于被试过滤器上游端,紧靠被试过滤器的位置,测量时无过滤器和混合装置。测量仪器的准确度为 $\pm 10\%$,最小分辨率为 0.05 m/s。

在 $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 风速下进行测量,特别重要的是,在进行风速测量时,气流不应受到明显干扰(来自仪器、操作者等的干扰)。

每次测量的采样时间不少于 15 秒。对 9 个测点中的每点各测 3 次,取平均值,根据 9 个点的测量值计算平均值和标准差。

偏差系数 CV 的计算如下:

$$CV = \delta / \text{mean} \quad (1)$$

式中: δ 9 个测点的标准差;

mean 9 个测点的平均值。

各种风量下的 CV 值均应小于 10%。

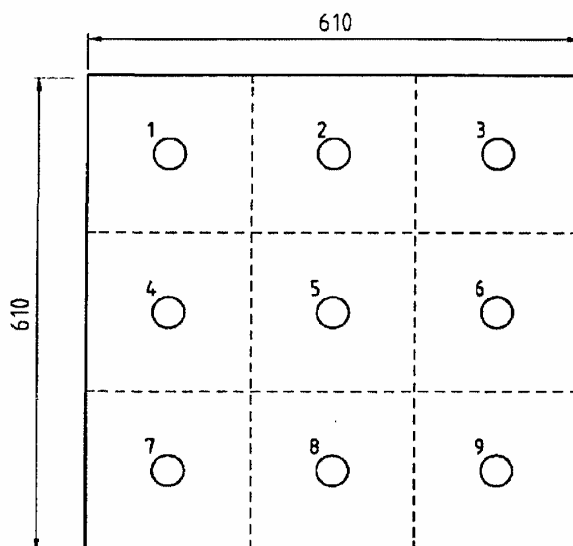


图 8 风速和气溶胶的均匀性
测量风速和气溶胶分散性的采样点

8.2 试验风道中气溶胶的均匀性

试验风道中气溶胶的均匀性通过测定图 8 所示 9 个点的风速来确定,这 9 个点位于被试过滤器上游端、紧靠被试过滤器的位置。验收试验时,应移出混合装置。验收试验所用采样探头就是实际效率试验所用探头,探头具有合适的入口直径,在 $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ 风量下的等动力采样偏差不超过 10%。风量为 $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 时使用相同探头和采样气流,采样管应尽量短以降低采样损失,采样管直径与效率试验所用采样管的直径相同。

采用符合本标准规定的粒子计数器测量气溶胶浓度。为减少统计误差，每次测量时特定粒径档的粒子计数应大于 500。

依次在各测点采样，重复采样过程，直到每个测点获得 5 份样品。对粒子计数器各粒径档的 5 个测值求平均值，计算各粒径档 "i" 的偏差系数 CV_i 。

$$CV_i = \delta_i / \text{mean}_i \quad (2)$$

式中， δ_i 粒径档 "i" 的标准差 (9 个测点)

mean_i 9 个测点上粒径档 "i" 的平均值

8.3 粒子计数器的粒径精确度

光学粒子计数器 (OPC) 测量粒子浓度和光学等效粒径，所显示的粒径与计数器的标定有很大关系。

为避免不同计数器之间的空气动力学、光学及电子系统差异的影响，过滤器的上、下游的测量应使用同一仪器。

应在初始系统启动前标定计数器，之后定期标定，每年至少一次。计数器应有有效的标定证书。计数器的标定由 OPC 制造商或其它任何具备类似资质的组织进行，标定活动按照已有的标准方法 (例如，IEST-RP-CC013; ASTM-F328; ASTM-F649)，采用单分散、各向同性、折射率为 1.59 的聚苯乙烯 Latex (PLS) 乳胶球。至少对计数器上分布于 $0.2 \mu\text{m} \sim 3.0 \mu\text{m}$ 的 3 个通道进行标定，其中包括含有 $0.2 \mu\text{m}$ 和 $3.0 \mu\text{m}$ 的两个通道。

每次试验时，检查上游试验气溶胶的分布，可以显示计数器是否需要标定。有一种快速检查标定状况的方法：根据计数器制造商的建议，采用不同粒径的 PLS，观察计数器上对应粒径通道的表现。观察时，特别要注意计数器的最小和最大粒径通道。本标准特别建议采用此方法。

光学粒子计数器采样风量的标定应按已有的标准方法 (如：IEST-RP-CC013)，将风量标定到计数器额定风量 $\pm 5\%$ 的范围内。

8.4 粒子计数器零试验

将 HEPA 或 ULPA 过滤器直接连接到仪器的吸入口时，每分钟对 $0.2 \mu\text{m} \sim 3.0 \mu\text{m}$ 范围的粒子计数应少于 10，其中包括采样系统的影响。

8.5 粒子计数器过载试验

若粒子浓度超出计数器的浓度限值 CL ，实际浓度可能被低估。因此，有必要了解所用计数器的 CL 限值。试验中使用的最大气溶胶浓度应明显低于 CL 值，以使重叠误差不超过 5%。计数器在 CL 值以上运行导致所测效率偏低。

若无法降低试验风道的上游浓度，可采用稀释系统将气溶胶浓度降到计数器的 CL 值之下。此时，上、下游采样都应经过稀释系统，以减少因稀释比的不确定性而引起的误差。

以下两种过程均可判断测量结果是否受到了重叠误差影响。其中，过程 2 更可靠些。

- 1) 在不同的气溶胶浓度下测量参照过滤器的效率。浓度高于计数器 CL 值时, 效率开始下降;
- 2) 测量上游粒子浓度分布, 然后, 将粒子浓度均匀下调或稀释 (确定的稀释比或任意稀释比), 重复测定粒子浓度分布。若后者粒径分布曲线的形状向小粒子方向偏移, 表明上游粒子浓度高于计数器的浓度限值。若知道粒子浓度的减少比例或稀释比, 对比两次测量结果, 正常情况下计数器上每个粒径档的浓度比都应相同。
增加过滤器风量或减少气溶胶发生量, 均可降低气溶胶浓度。
在计数器的采样管上串联稀释系统可稀释进入计数器的气溶胶浓度。

8.6 100%效率试验

本试验的目的是确保试验风道和采样系统能满足 100%效率的测定。试验时使用 HEPA 或 ULPA 过滤器, 执行效率测定的常规试验过程。试验风量为 $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ 。所有粒径通道的测量效率均应大于 99%。

8.7 零效率试验

零效率试验检验整个风道、采样系统、测量和气溶胶发生系统的准确度。在未安装被试过滤器的情况下, 执行效率测定的常规试验过程。试验风量为 $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ 。根据标准, 试验进行两次, 所计算的零效率应满足以下条件:

- 对不大于 $1.0 \mu\text{m}$ 的粒子, 效率为 $0\% \pm 3\%$;
- 对大于 $1.0 \mu\text{m}$ 的粒子, 效率为 $0\% \pm 7\%$

为减少统计误差, 每个粒径档的粒子总计数都应大于 500。

8.8 气溶胶发生器响应时间

应测量气溶胶浓度从背景水平达到稳定的试验水平所需的时间。此项试验的目的是, 在开始任何试验之前, 留出足够的等待时间使粒子浓度稳定。

开启气溶胶发生器, 记录气溶胶浓度达到稳定状态所消耗的时间。依据本标准, 该时间为开始一项测量之前的最少等待时间。

8.9 压力测量设备的标定

所有获取压降读数的设备均应根据表 2 进行标定。

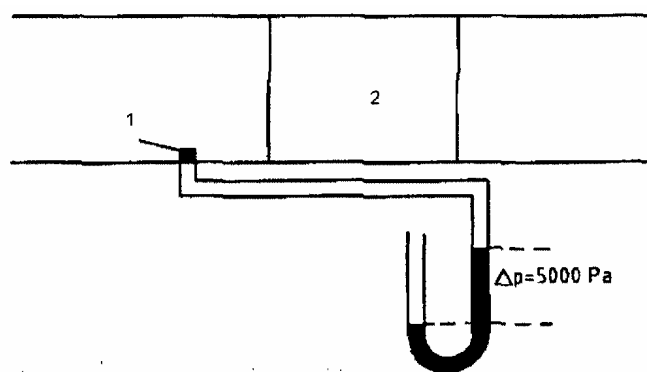
8.10 压降检查

本试验确保压降读数设备、仪器管路等的渗漏对风量或压降测量的准确度无明显影响。本试验使用已标定的装置, 或采用下述系统。

仔细密封试验风道中的压力采样点, 断开测量压降的仪表, 使管路承受持续的 5000 Pa 负压。用这种方式检查所有采样管 (见图 9), 试验期间不允许出现任何压力变化。

根据仪器的技术要求, 在所允许的压力下对压降测量设备进行最大压力试验。相继进行正压和负压试验, 两种试验中均不允许出现任何压力变化。

此外, 可在 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 风量下采用阻力已知的多孔板 (或其它参照物) 定期检查压降测量系统。



1. 密封的取压口 2. 试验装置段

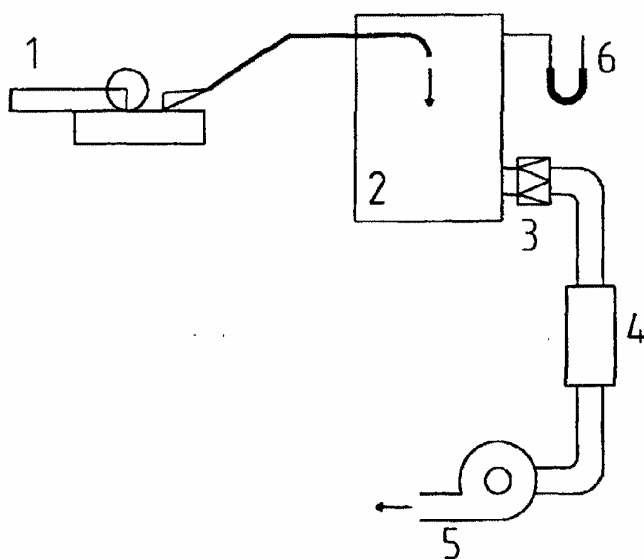
图 9. 压力管路试验

8.11 喂尘器风量

本试验的目的是验证喂尘器风量的正确。

由于粉尘和压缩空气的磨损，吸气器的文丘里管会变大。因此，定期监测喂尘器风量十分重要。此风量应为 $6.8 \text{ l/s} \pm 0.2 \text{ l/s}$ 。风量测量见图 10。

8.12 中和器



1 喂尘器
2 体积不小于 0.25m^3 的容器
3 HEPA 过滤器
4 流量测量装置
5 风机
6 压降测量装置（压差应为零）

图 10. 喂尘器气流量测量

采用适当的装置确认放射源的放射性。测量可能是相对的，若中和器的放射性低于厂商的建议值，应及时更换。电晕放电应足够高，以满足 7.3.2 款的要求。

8.13 合格鉴定要求汇总

表 2. 合格鉴定要求汇总

参数	条款	要求
风速均匀性	8.1	$CV^* < 10\%$
气溶胶均匀性	8.2	$CV < 15\%$
粒子计数器粒径准确	8.3	制造商提供的有效标定证书
粒子计数器过载试验	8.5	无过载
粒子计数器零试验	8.4	对 $0.2 \mu\text{m} \sim 0.3 \mu\text{m}$ 粒子, 计数 < 10 粒/min
100%效率试验	8.6	$> 99\%$
零效率试验	8.7	粒径 $\leq 1.0 \mu\text{m}$: $\pm 3\%$ 粒径 $> 1.0 \mu\text{m}$: $\pm 7\%$
气溶胶发生器响应时间	8.8	取测量值
压力计标定	8.9	粒径范围: ($0 \text{ Pa} \sim 70 \text{ Pa}$) $\pm 2 \text{ Pa}$ $> 70 \text{ Pa}$ 时, 测量值的 $\pm 3\%$
压降试验	8.10	未检出渗漏
喂尘器气流量	8.11	$6.8 \text{ l/s} \pm 0.2 \text{ l/s}$
*注: 偏差系数		

8.14 设备维护

表 3. 维护频率

维护项目	条款	每次 试验	每月	一年 两次	每年	在每次可能改变 性能的变动时
试验风道						
风速均匀性	8.1					×
气溶胶均匀性	8.2					×
100%效率试验	8.6		×			×
零效率试验	8.7		×			×
压降试验	8.10			×		×
设备						
气溶胶发生器响应时间	8.8			×		×
压力表标定	8.9				×	×
粒子计数器粒径准确	8.3				×	×
粒子计数器过载试验	8.5					×
粒子计数器零试验	8.4	×				×
喂尘器气流量	8.11			×		×
中和器	8.12			×		×, 见注
注: 所有设备都要定期清洁, 以维持试验系统的性能。每使用 100 小时清洗放射性中和器内部。根据制造商的说明, 每月检查电晕放电离子发生器的平衡。						

9 试验材料

9.1 试验空气 — 洁净度、温度、湿度

室内、外空气均可用作试验空气源。在效率试验中，采用 HEPA 过滤器清除试验空气的背景粒子。试验条件应满足第 7 章要求。排风可释放到室外或室内，也可循环使用。当存在试验气溶胶和负荷尘时，建议对排气进行过滤。

9.2 试验气溶胶

用 Laskin 喷嘴产生的 DEHS 试验气溶胶广泛用于 HEPA 和 ULPA 过滤器的试验。DEHS 为 DES Di- (2-乙基) 癸二酸或 Bis- (2-乙基) 癸二酸的总称。

除 Laskin 喷嘴外，可采用任何能够产生足够浓度 0.2 μm~3.0 μm 粒子的发生器。法国标准 NF X 44-010 规定了这样一种发生器，它包括 2 个压力罐和一个利用压缩空气的超声波雾化器。

DEHS/DES/DOS — 化学分子式



DEHS 的性质:

密度	912 kg/m ³
熔点	225K
沸点	529K
闪点	>473K
蒸汽压	1.9 μPa (273K)
折射率	600 nm 波长下为 1.450
动力黏度	0.022 kg/ms~0.024 kg/ms
CAS 编号	122-62-3

9.3 负荷尘

负荷尘采用 ASHRAE52.1 规定的人工试验尘，组分如下：

72% (按质量) ISO12103-1 (亚利桑那道路尘) “细” 试验尘

23% (按质量) 炭黑

5% (按质量) 棉绒

ISO12103-1 “细” 试验尘主要由硅粒组成，粒径分布见表 4。

表 4. ISO12103-1 (亚利桑那道路尘) “细” 试验尘的粒径分布

粒径, μm	大于该粒径的粒子的体积分数, %
1	96.5 ~ 97.5
2	87.5 ~ 89.5
3	78.0 ~ 81.5
4	70.5 ~ 74.5
5	64 ~ 69
7	54 ~ 59
10	46 ~ 50
20	26 ~ 30
40	9 ~ 12
80	0 ~ 0.5

9.4 末级过滤器

末级过滤器捕获容尘过程中穿过被试过滤器的所有负荷尘。末级过滤器应能留住至少 98% 的负荷尘, 在一个试验循环中, 过滤器因湿度等因素的影响造成的重量增加或减少不超过 1 克。

对末级过滤器的类型没有特殊规定, 但要满足集尘效率 (计重效率) >98% 的要求, 对 $0.4 \mu\text{m}$ DEHS 粒子的初始过滤效率应大于 75%。

10 试验过程

10.1 被试过滤器的准备

按制造商的建议安装过滤器, 在与试验空气平衡后, 称重精确到克。若过滤器的安装需要额外的安装附件, 试验时应使用与现场应用性能相同的附件。过滤器及各种正常安装的框架应与风道良好密封, 以防止粉尘渗漏。目测密封情况, 不允许出现可见渗漏。若因某种原因, 标准试验条件下无法试验单只过滤器, 可将两只或更多的同型号或同类型过滤器拼装在一起, 拼装成的过滤器不允许出现因拼装产生的渗漏。对附件使用情况应作记录。

10.2 初阻力

记录 50%、75%、100% 和 125% 额定风量下的初阻力值, 绘制阻力依风量变化的曲线。按空气密度 1.20 kg/m^3 的情况对阻力读数进行修正 (见附录 D)。

10.3 初始效率

10.3.1 消除滤材静电后的效率

根据附录 A “静电消除过程”, 对被试过滤器的滤材, 或取自另一只相同过滤器的滤材进行试验。

10.3.2 效率测定

对于某给定粒径档 (处于两个粒径界之间的所有粒子), 按下式计算效率 E :

$$E = \left(1 - \frac{n_i}{N_i} \right) 100 \quad (3)$$

式中： n_i 过滤器下游粒径档“i”的粒子数；
 N_i 过滤器上游粒径档“i”的粒子数。

绘制对应各粒径档的初始效率曲线图，粒径档的代表粒径 d_i 取粒径档“i”的上、下界粒径的几何平均值：

$$d_i = \sqrt{d_l + d_u} \quad (4)$$

式中： d_l 粒径档下界粒子直径；
 d_u 粒径档上界粒子直径。

在试验风量下，调节气溶胶发生器的发生量至产生稳定浓度的气溶胶，其浓度低于计数器重叠误差水平限度，在可接受的时间内获得具有统计意义的下游计数结果，然后测定初始效率。

测量过滤效率时，在被试过滤器的上、下游切换采样，总共需要至少 13 次计数，每次最少 20 秒。每次计数前都要清吹，或放弃上、下游切换后的第一次周期的采样，待传输管中的粒子浓度稳定后再读数。

粒径档“i”的切换计数循环见表 5。

表 5. 粒径档“i”的计数循环

计数序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
上游	$N_{1,i}$		$N_{2,i}$		$N_{3,i}$		$N_{4,i}$		$N_{5,i}$		$N_{6,i}$		$N_{7,i}$
下游		$n_{1,i}$		$n_{2,i}$		$n_{3,i}$		$n_{4,i}$		$n_{5,i}$		$n_{6,i}$	

粒径档“i”的第一个子效率计算如下：

$$E_{1,i} = \left(1 - \frac{n_{1,i}}{\frac{N_{1,i} + N_{2,i}}{2}} \right) 100 \quad (5)$$

13 次测量给出 6 个子效率 ($E_{1,i}$, ..., $E_{6,i}$)，粒径档“i”的初始平均效率 E_i 的计算如下：

$$E_i = (E_{1,i} + K + E_{6,i}) / 6 \quad (6)$$

式中： E_i 为粒径档“i”的初始平均效率。

10.4 容尘

10.4.1 容尘过程

伴随着标准粉尘在过滤器上逐渐积累，测量由此导致的阻力和效率变化。对每次粉尘增量称重，称重精确到 ± 0.1 g，然后置于粉尘盘中，粉尘以 70 mg/m^3 的浓度送往过滤器，直到过滤器阻力达到预定的阶段终阻力值。每次阶段发尘后都要测量计重效率和计数效率。对那些已知平均效率低于 40% 的过滤器，只须测量计重效率。

停止喂尘前，将喂尘器盘上的所有残留粉尘刷入吸尘管，吸尘管将粉尘送入风道气流。振荡或轻敲喂尘器管道 30 秒。若在喂尘器行走一半时停止发尘，通过对滞留粉尘称重，也可估计出向过滤器的喂尘量。当风机仍在运转时，使用压缩空气吹扫上游风道积存的人工尘，喷射气流不应正对被试过滤器。

停止试验，对末级过滤器重新称重（至少精确到 0.5 g），以确定所收集的人工尘重量，计算计重效率。用细毛刷收集被试过滤器与末级过滤器之间风道中的所有积尘，将其计入末级过滤器的重量。

容尘试验前测定初始效率和初阻力，初次 30 g 发尘后，以及而后直到终阻力的至少 4 次大致相等的发尘后，测定效率、阻力和计重效率。通过最初的 30 g 发尘计算初始计重效率，而后的发尘试验给出自初始至终阻力的平滑的计数效率和计重效率曲线。表 6 给出容尘试验需要测定的参数。

表 6. 各容尘阶段后要测量或计算的性能值

阶 段	要测定的参数			
	计数效率	计重效率	容尘量	阻力
初始，发尘之前	是	否	否	是
发尘 30g 后（首次发尘得出初始计重效率）	是	是	否	是
每次中间发尘之后	是	是	否	是
最后一次发尘之后（达到终阻力）	是	是	是	是

在靠近 100 Pa、150 Pa、250 Pa、450 Pa 的阻力点测量效率和阻力数值，可以给出平滑曲线，但很难预估刚好达到那些点的发尘量。对于初阻力低或阻力随容尘增加缓慢的过滤器，容尘的初期阶段需要增加一个或多个测点，其它过滤器在容尘的最后阶段需要一个额外测点，以便使测点平均分布。

注：应预先确定发尘增量，以求在容尘量与阻力关系曲线上得到至少 4 个平均分布的测点。若难以恰当估计发尘增量，应增加测点数量。

通过图表，利用线性插值，确定规定终阻力下的容尘量、平均效率和计重效率的数值。

10.4.2 计重效率

每次发尘阶段后都要测定计重效率。

达到下一阻力水平后,从试验台上拿出此前称过的末级过滤器,对过滤器重新称重。重量增量代表穿过被试过滤器的粉尘质量。容尘阶段“j”的计重效率 A_j 计算如下:

$$A_j = (1 - m_j / M_j) 100\% \quad (7)$$

式中: m_j 容尘阶段“j”期间穿过被试过滤器的粉尘质量(末级过滤器质量增量 Δm_{ff} 以及被试过滤器之后风道中的积尘 m_d);

M_j 容尘阶段“j”的发尘质量(发尘增量 Δm)。

当出现计重效率低于计重效率峰值的75%时,或出现两个低于峰值的85%的计重效率值时,停止试验。在首次30g发尘后,计算初始计重效率。

计算平均计重效率至少需要5个测点的计重效率值。平均计重效率 A_m 的计算如下:

$$A_m = (1/M) \times [M_1 \times A_1 + M_2 \times A_2 + K + M_n \times A_n] \quad (8)$$

式中: $M = M_1 + M_2 + \dots + M_n$, 发尘总质量;

M_1, M_2, \dots, M_n , 对应终阻力 $\Delta p_1, \Delta p_2, \dots, \Delta p_n$ 的各次发尘质量。

计重效率大于99%时报告为>99%。

绘制计重效率依发尘量变化的连续曲线时,发尘量的坐标值取重量增量的中点。

10.4.3 计数效率

测定过滤效率的初始值,而后,尽可能在每个容尘阶段完成时立即测量效率值。试验前应消除粉尘不经过过滤器而走旁路的所有渗漏源。

每个容尘阶段结束后,用空气清吹过滤器5分钟,以减少积尘过滤器和风道系统内粒子的“释放”。5分钟之后的粉尘释放、松脱和脱尘计入测量值,这些现象影响效率的测定。

各次效率的测定方法与初始效率的测定方法相同(见10.3.2),在被试过滤器的上、下游切换采样,总共需要至少13次计数,每次最少20秒。每次计数前都要清吹,或放弃上、下游切换后第一次周期的采样,待传输管中的粒子浓度稳定后再读数。

每个容尘阶段后,粒径档“i”平均效率的计算如下:

$$E_i = (E_{1,i} + \Lambda + E_{6,i}) / 6 \quad (9)$$

式中: $E_{1,i}; \dots; E_{6,i}$ 粒径档“i”容尘后的阶段效率;

$E_{i,j}$ 容尘阶段“j”后粒径档“i”的平均效率。

10.4.4 平均效率

平均效率是整个逐步容尘过程的效率平均值。

对于“n”个容尘阶段的试验,利用下式计算平均效率:

$$E_{m,i} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n \left(\frac{E_{i,(j-1)} + E_{i,j}}{2} \times M_j \right) \quad (10)$$

式中： $E_{m,i}$ 所有容尘阶段粒径档“i”的平均效率；
 $E_{i,j}$ 容尘阶段“j”之后粒径档“i”的平均效率；
 M_j 容尘阶段“j”的发尘量；

$$M = \sum_{j=1}^n M_j ;$$

n 发尘次数。

10.4.5 容尘量

用发尘总质量（对过滤器上游的损失量进行校正）乘以平均计重效率，得出给定终阻力的容尘量。

11 试验结果的不确定度计算

平均效率的不确定度对应 95% 置信度下平均值两侧的置信区间。对小于等于 1 μm 的粒径档，上游采样的粒子计数应不少于 500，根据 ISO 2854：

$$\bar{E} - U \leq E \leq \bar{E} + U \quad (11)$$

$$E = \frac{1}{n} \sum E_i \quad (12)$$

$$U = t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)} \times \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

$$v = n - 1 \quad (14)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{n - 1}} \quad (15)$$

式中： \bar{E} 平均效率；
 U 不确定度；
 E_i 瞬时效率值；
 v 自由度；
 $t_{(1-\alpha/2)}$ 学生氏分布，取决于自由度（见表 7）；
 n 计算瞬时效率 E_i 的次数；
 δ 标准差。

表 7. ISO 2854 给出的学生氏分布

样品 n	自由度 $\nu = n-1$	$U = t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)} \times \frac{1}{\sqrt{n}}$
4	3	1.591
5	4	1.242
6	5	1.049
7	6	0.925
8	7	0.836

注：95%置信度 ($\alpha = 0.05$)

对于过滤器分级，平均过滤效率总不确定度的计算如下：

$$U_i = \frac{1}{M} \times \sum_{j=1}^n \left(\frac{U_{i,(j-1)} + U_{i,j}}{2} \times M_j \right) \quad (16)$$

$$M = \sum_{j=1}^n M_j \quad (17)$$

式中：
 U_i 粒径档“i”平均效率的不确定度；
 $U_{i,j}$ 容尘阶段“j”后，粒径档“i”平均效率的不确定度；
 M_j 容尘阶段“j”的发尘量；
n 发尘次数。

12 报告

12.1 一般要求

试验报告中应包括对试验方法的介绍，以及由此产生的任何偏离。报告中应给出粒子计数器的类型和型号，并说明风量测量方法。报告中应包含以下内容：

- 结果汇总；
- 所测效率及不确定度；
- 计算效率；
- 风量与阻力测量数据和结果；
- 容尘试验测量数据和结果。

试验结果报告应采用本标准所用的试验报告格式。图 11~13 以及表 8~13 组成完整的试验报告，是报告式样的范例。没必要使用与本标准范例完全相同的报告格式，但报告应包含所示项目。表格与曲线图中最好包含以下内容：

- 过滤器类型；
- 本标准号；
- 试验编号；
- 试验气溶胶；
- 试验风量。

对于 G 类过滤器，应报告规定终阻力 150 Pa 和 250 Pa 下的实际容尘、计算容尘量和平均计重效率。对于 F 类过滤器，应报告规定终阻力 250Pa、350Pa 和 450Pa 下的实际容尘、计算容尘量和平均计数效率。采用线性内插或外推，可将最接近的测值转换为指定终阻力下的值。

12.2 汇总

性能报告（图 11）汇总部分应包含以下信息：

- 概要：
 - 1) 试验机构；
 - 2) 试验日期；
 - 3) 试验人姓名；
 - 4) 报告编号；
 - 5) 请求试验者；
 - 6) 试件提交者；
 - 7) 试件收到日期。
- 试件制造商数据：
 - 1) 试件说明；
 - 2) 类型、识别、标识；
 - 3) 制造商；
 - 4) 构造的物理描述（如：袋式过滤器，口袋数量等）；
 - 5) 尺寸（宽、高、深）；
 - 6) 滤材种类，若可能，应说明以下情况：
 - 识别代号（如玻璃纤维类 ABC123，无机纤维类 123ABC）；
 - 有效过滤面积；
 - 粉尘胶粘剂的类型和用量；
 - 7) 其它必要信息。
- 试验数据：
 - 1) 试验风量；
 - 2) 试验空气温度和相对湿度；
 - 3) 负荷尘和试验气溶胶的种类。

- 结果：
 - 1) 初阻力和终阻力；
 - 2) (0.4 μm) 初始效率和平均效率，包括平均效率的不确定度。
 - 3) 初始计重效率和平均计重效率；
 - 4) 容尘量；
 - 5) 未消除静电和消除静电后的效率；
 - 6) 过滤器分级，若试验风量或终阻力为非标准条件，应在括号中注明试验条件。
- 性能曲线：
 - 1) 干净过滤器阻力依风量变化曲线；
 - 2) 阻力依发尘量变化曲线；
 - 3) (0.4 μm) 效率依发尘量变化曲线；
 - 4) 计重效率依发尘量变化曲线。计重效率曲线的横坐标定位点取重量增量的中点。
- 声明：
 - 1) 试验结果只涉及所测项目；
 - 2) 所得性能试验结果本身不能用于定量地预测使用中的过滤器性能。

在汇总报告中：

- 结果应该圆整到最近的有效位数；
- 除 0.4 μm 的平均效率外，其它处效率的不确定度并非必须报告的项目。

12.3 效率

除了汇总报告之外，还应另外以表格和曲线图的形式表示效率试验结果。

- 表格：
 - 1) 不同容尘阶段后，各粒径粒子的效率和不确定度（表 8）；
 - 2) 不同终阻力下，各粒径粒子的平均效率（可包含容尘量和过滤器级别）（表 9）；
 - 3) 阻力、风量与发尘量的关系（表 10）；
 - 4) 计重效率、阻力与发尘量的关系（表 11）；
 - 5) 未消除静电与消除静电后的效率（表 12 与 13）。
- 曲线图：
 - 1) 不同容尘阶段后效率依粒径的变化曲线（图 12）；
 - 2) 不同终阻力下的平均效率曲线（图 13）；
 - 3) 初始效率（图 13）。

将最接近规定终阻力时所测效率值内插或外延，计算出规定终阻力下的效率。作为替代方法，也可将最接近规定终阻力的平均效率值内插或外延，计算出规定终阻力下的平均效率。

12.4 压降和风量

报告中，以表格形式罗列所需的风量和压降测量的所有数据与结果。在汇总报告中，给出干净过滤器和容尘后过滤器的阻力曲线。

报告中的阻力为按空气密度 1.20 kg/m^3 修正后的阻力。修正按附录 D 的说明进行。

12.5 计重效率和容尘量

报告中，以表格形式罗列全部所需的发尘和计重效率测量数据与结果。

在汇总报告中，应给出不同终阻力下的初始计重效率、平均计重效率和容尘量，并给出计重效率曲线。

12.6 标识

过滤器应带有识别标签，标签上需给出以下信息：

- 制造商名称，商标或其他识别制造商的标识；
- 过滤器类型和参考号；
- 本标准号；
- 依据本标准对过滤器的分组和分级；
- 过滤器分级采用的风量。

若无法辨别在通风管道中的正确安装方式，有必要增加正确安装方式的标识(如“朝上”、“气流方向”)。

标识应清晰可见，并尽可能持久。

EN 779:2002 — 空气过滤器试验结果				
试验机构:		报告编号:		
概况				
试验编号:		试验日期:		负责人:
请求试验者:			试件收到日期: 年、月、日	
试件提交者:				
试件				
型号:		制造商:		构造:
滤材类型:		净有效过滤面积: m ²		过滤器尺寸 (宽×高×深) mm × mm × mm
试验数据				
试验风量: m ³ /s	试验空气温度: ℃	试验空气相对湿度: %	试验气溶胶:	负荷尘:
结果				
初阻力: Pa	初始计重效率: %	初始效率 (0.4μm): %	容尘量: g/ g/ g	未消除静电 / 消除静电后滤材的效率 (0.4 μm, 见附录 A): % / %
终阻力: Pa/ Pa/ Pa	平均计重效率: %	平均效率 (0.4 μm): % / %/ %	过滤器级别 (Pa):	
备注				
			<p>曲线 4 试验风量下, 计重效率与发尘量的关系</p> <p>曲线 3 试验风量下, 效率与发尘量的关系</p> <p>曲线 2 试验风量下, 阻力与发尘量的关系</p> <p>曲线 1 阻力与风量的关系 (干净过滤器)</p>	
注: 性能试验结果只对被试项目有效, 试验结果本身不能用于定量预测使用中的过滤器性能。				

图 11. 性能报告的汇总部分

表 8. 各容尘阶段后的过滤效率与不确定度

EN 779:2002 — 各容尘阶段后的过滤效率与不确定度								
空气过滤器:								
试验编号:								
试验气溶胶:								
风量: m^3/s								
粒径, μm		过滤效率, %						
粒径段	平均	阻力与发尘量, Pa, g						
		Pa g	Pa g	Pa g	Pa g	Pa g	Pa g	Pa g
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±
-		±	±	±	±	±	±	±

注: 所测效率的不确定度为 95%置信度的情况。

表 9. 各终阻力下的平均效率

EN 779:2002 — 各终阻力下的平均效率				
空气过滤器:				
试验号:				
试验气溶胶:				
风量: m ³ /s				
粒径 μm		平均效率, %		
粒径段	平均	终阻力		
		Pa	Pa	Pa
-		±	±	±
-		±	±	±
-		±	±	±
-		±	±	±
-		±	±	±
-		±	±	±
-		±	±	±
-		±	±	±
-		±	±	±
-		±	±	±
容尘量		g	g	g
过滤级别		-	-	

图 12. 各容尘阶段后的效率

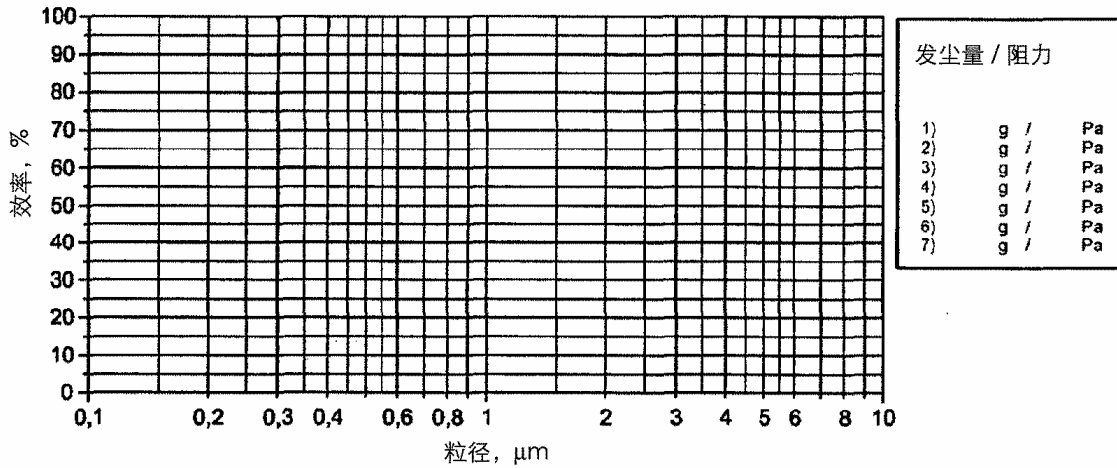
EN 779:2002 — 各容尘阶段后的效率

空气过滤器:

试验编号:

试验气溶胶:

风量: m^3/s



EN 779:2002 — 初始效率和各终阻力下的平均效率

空气过滤器:

试验编号:

试验气溶胶:

风量: m^3/s

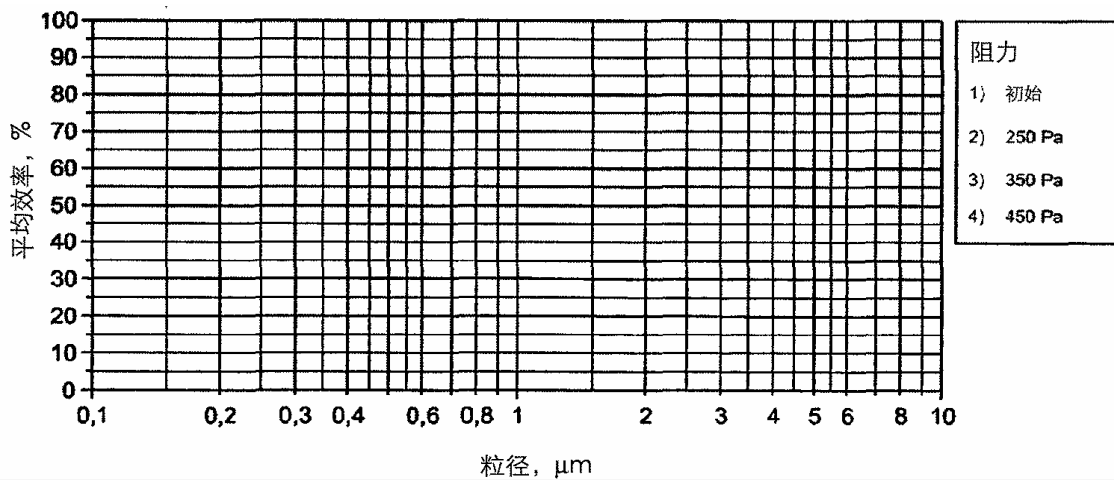


图 13. 初始效率和各终阻力下的平均效率

表 10. 各容尘阶段后的风量和阻力

EN 779:2002 — 各容尘阶段后的风量和阻力												
空气过滤器:												
试验编号:												
试验气溶胶:												
气流速度: m^3/s												
日期	发尘量 m_{tot} g	风量计				过滤器						
		t_f °C	p_{st} kPa	Δp_f Pa	q_m kg/m^3	t °C	φ %	p_a kPa	ρ kg/m^3	q_v m^3/s	Δp Pa	$\Delta p_{1.20}$ Pa
干净过滤器												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
干净过滤器的阻力正比于 $(q_v)^n$, 其中 $n =$												
容尘阶段												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
年、月、日												
符号和单位												
m_{tot}	累计发尘量, g					t_f	流量计处温度, °C					
p_a	过滤器上游空气绝对压力					ρ	过滤器上游空气密度, kg/m^3					
p_{st}	流量计静压, kPa					φ	过滤器上游相对湿度, %					
q_m	质量流量, kg/m^3					Δp	实测过滤器阻力, Pa					
q_v	过滤器体积风量, m^3/s					Δp_f	流量计压差, Pa					
t	过滤器上游温度, °C					$\Delta p_{1.20}$	空气密度为 $1.20 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时的过滤器阻力, Pa					

表 11. 各容尘阶段后的阻力和计重效率

EN 779:2002 — 各容尘阶段后的阻力和计重效率									
空气过滤器:									
试验编号:									
试验气溶胶:									
风量: m^3/s									
日期	Δp_1 Pa	Δm g	m_{tot} g	Δp_2 Pa	m_1 g	m_2 g	Δm_{ff} g	m_d g	A %
年、月、日									
年、月、日									
年、月、日									
年、月、日									
年、月、日									
年、月、日									
试件重量 试件初始质量: g 试件最终质量: g									
符号和单位 A 计重效率, % m_d 被试过滤器后风道中的粉尘量, g m_{tot} 向过滤器的累计发尘量, g m_1 发尘增量前末级过滤器的质量, g m_2 发尘增量后末级过滤器的质量, g Δm 发尘增量, g Δm_{ff} 末级过滤器捕获的粉尘量, g Δp_1 发尘增量前阻力, Pa Δp_2 发尘增量后阻力, Pa									

表 12. 未经消除静电处理滤材的效率和阻力

EN 779:2002 — 未经消除静电处理滤材的效率和阻力					
空气过滤器:					
试验编号:					
试验气溶胶:					
风量: m^3/s					
滤速: m/s					
样品尺寸: m^2					
粒径, μm		样品 1	样品 2	样品 3	平均
		效率%			
粒径档	平均	阻力			
		Pa	Pa	Pa	Pa
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	

注: 所测效率的不确定度为 95%置信度的情况。

表 13. 消除静电处理后滤材的效率和阻力

EN 779:2002 —消除静电处理后滤材的效率和阻力					
空气过滤器:					
试验编号:					
试验气溶胶:					
风量: m^3/s					
滤速: m/s					
样品尺寸: m^2					
粒径, μm		样品 1	样品 2	样品 3	平均
		效率%			
		阻力			
粒径档	平均	Pa	Pa	Pa	Pa
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	
-		±	±	±	

注: 所测效率的不确定度为 95%置信度的情况。

附录 A（规范性附录）静电消除过程

A.1 概述

依靠静电效应，某些滤材在低气流阻力下具有高效率。当滤材暴露于某些环境时，例如燃烧生成的粒子或油雾，滤材的电荷可能被中和，致使过滤性能下降。重要的是，要让过滤器用户意识到，过滤器使用期间有可能因滤材电荷丧失导致性能下降。

本试验用于判定过滤效率是否依赖于静电机理，并将静电机理对过滤的贡献进行量化。具体方法是，测定未经处理滤材的过滤效率，再测定消除静电后滤材的过滤效率。

A.2 消除滤材静电的试验方法

A.2.1 设备

本试验的核心是消除静电。试验中可采用任何使静电完全消除的措施处理材料（例如：异丙醇，柴油机油烟、清洁剂、含表面活性剂的水），也可以使用其它被证明能够完全消除静电的方法或试验设备（如 EN 1822-3 规定的方法）。

下面介绍异丙醇处理法。首先测定未经处理滤材样品的效率，然后将样品浸泡于 100% 的异丙醇液体中。待样品浸透后，将其置于通风橱中的防静电平板上晾干。经 24 小时干燥后，再次测量效率。

滤材试验设备原理见图 A.1。该系统包括试验风道、流量计、流量控制阀、（下游）采样管、压力计。被试样品夹在试验风道的法兰上，试验风道还包括混合段，以确保过滤器下游取样的代表性。采样管接通下游粒径分析仪。

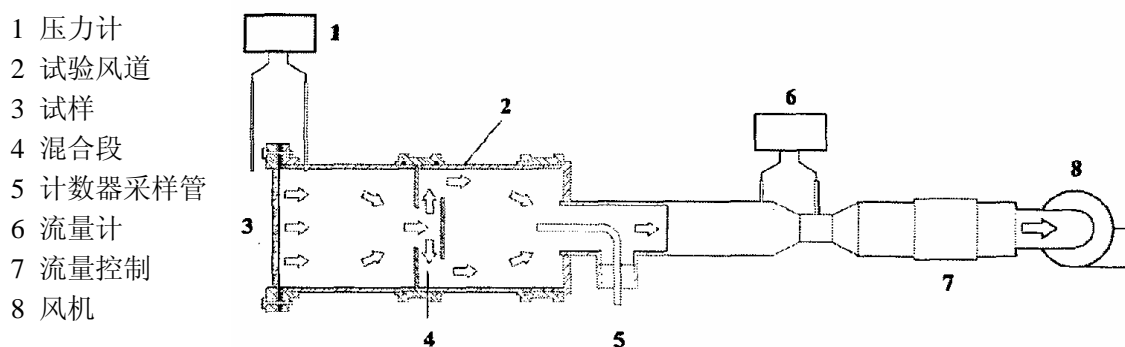


图 A.1 滤材试验设备

异丙醇处理系统见图 A.2。该系统包含盛装工业纯异丙醇的容器，以及用来放置并晾干被试样品的平板。

被试样品的干燥在实验室通风橱进行。异丙醇试验可采用化学纯或工业纯异丙醇。

- 1 效率测定
- 2 滤材样品
- 3 异丙醇处理
- 4 异丙醇容器
- 5 通风橱
- 6 干燥

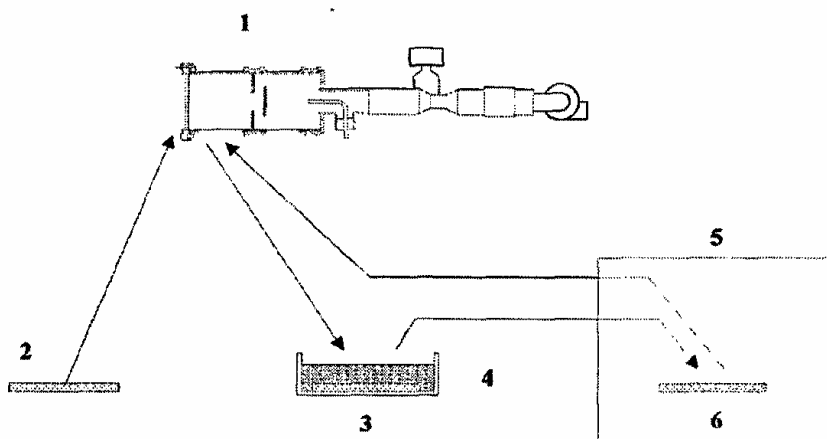


图 A.2 异丙醇试验系统的原理

A.2.2 试验样品的准备

至少对三件滤材或过滤器样品进行试验。选择样品（如切割）时应使其代表整个过滤器。应随机选取滤材样品的切割位置。样品的有效过滤面积应 $\geq 100 \text{ cm}^2$ 。本试验可采用更大的样品，或过滤器的一部分，乃至对整个过滤器进行试验。

A.2.3 过滤效率的测定

首先，将被试样品安装到试验设备中，再将通过被试样品风速调整到过滤器实际使用时垂直于滤材的风速。测定过滤器阻力。

通过测定样品上、下游粒子浓度来确定 $0.4 \mu\text{m}$ 粒径处的过滤效率。试验气溶胶、效率测量以及数据分析执行本标准正文中的规定。

A.2.4 异丙醇试验

异丙醇试验按下述步骤进行：

- 测定样品的初始效率和阻力；
- 将被试样品浸泡在工业纯异丙醇中；
- 将被试样品置于防静电平板上晾干（实验室通风橱内）；
- 经 24 小时干燥后，再次测定效率和阻力。

A.2 试验结果表述

计算并报告未经处理样品的平均效率和经过消除静电处理后样品的平均效率。

附件 B（资料性附录）过滤器的脱尘

B.1 概述

术语“脱尘”包括过滤行为的三个方面：粒子反弹、滤材本身纤维或微粒物质脱落、已捕集粉尘的再飞散。过滤器使用过程中，上述现象均可能在某种程度上出现。

B.2 脱尘

B.2.1 粒子反弹

在理想的过滤过程中，粒子一旦与过滤表面（如滤材中的纤维或已被捕获的粒子）发生碰撞，就会永久滞留。对于小粒子和低流速情况，附着能远远大于气流中运动粒子的动能，一旦被捕获，这些粒子不大可能从过滤器上逃脱。随着粒径和气流速度的增加，情形也逐渐改变；较大的粒子可能在纤维上反弹。反弹粒子的动能减小，在与随后的纤维碰撞时，仍会被捕获。但若反弹后未能与其它纤维有效接触，粒子就从过滤器上跑掉了。因此，对于该粒径范围的粒子，具体体现为过滤效率的明显降低。

美国 ASHRAE/ANSI 52.2:1999 标准中给出了一种定量测量这种脱尘的方法，该方法采用的是固体粒子。EN 779 规定的液体气溶胶不能用于测定粒子反弹的影响。

G 类过滤器的粒子反弹作用比 F 类显著。

有些研究者（见本章附件的参考文献 1 和 2）发现，4 μm ~8 μm 粒径粒子可能因粒子反弹作用导致过滤效率降低。本欧洲标准没有给出对大于 3.0 μm 固体粒子过滤效率的试验方法。

B.2.2 滤材本身纤维与颗粒物的脱落

有些过滤器，采用了含使用中可能脱落的疏松纤维滤材或含可能脱落的颗粒物质的滤材。过滤器运行时，这些疏松材料会被气流带走。纤维脱落的程度取决于滤材纤维结构的整体性，不同尘埃负荷下滤材的刚性和稳定性，以及过滤器运行期间的风速。但应指出，与典型环境下穿过过滤器的尘埃总量相比，上述的纤维脱落量通常可忽略不计。

F 类过滤器的滤材纤维和颗粒物的脱落现象比 G 类过滤器显著。

B.2.3 再飞散

随着过滤器捕获尘埃量的增多，下述原因引起不同的影响：

- 新来的粒子撞击已捕获的粒子，有可能将其击飞；
- 由于被捕获的粒子占据空间，通过滤材中气流通道的风速会增大。此外，增大的气流阻力压缩滤材，进一步增大了空气通道中的风速。由此增强了流体对积尘的拖拽作用，致使部分积尘逃逸。
- 使用过程中滤材的抖动可能造成积尘在滤材结构中的重新分布。这种重新分布导致积尘的快速逃逸。很多情况会造成滤材抖动：

- a) 过滤器在正常风量下运行，但伴有周期性的空调启动和停止（例如：每日）；
- b) 风量变化导致对滤材的加压和减压；
- c) 机械振动。

以上原因引起的积尘二次逃逸（也称“吹脱”或“卸载”）是可以测定和量化的（见本附录参考文献 3 和 4，以及本标准的 10.4.2 款）。

F 类和 G 类过滤器的积尘二次逃逸现象同样显著。

B.3 试验

按本标准给出的效率依粒径变化曲线（F 类）难以反映上述脱尘的影响。本标准给出的计重效率曲线（G 类）即使对此有所反映，但那也只是其中一部分影响。在发尘试验中，计重效率或阻力值的任何降低，都可视为脱尘现象发生的标志。

很难对粒子释放和脱落等脱尘现象进行有意义的测定。粒子计数器采样系统很难适应粒子的瞬时爆发和集合。

本标准的后续版本，将考虑开发并建立一些方法，对明显的粒子脱尘进行探测、量化和报告。如前所述，应指出，采用人工尘测得的过滤器性能难以定量预测实际使用中的过滤器性能。用户应意识到过滤器有可能脱尘。在运行现场，若怀疑有脱尘现象，现场操作人员应考虑对现场空气样品进行分析。

B.4 参考文献

1. Phillips B.A., Davis, W.T. and Dever, M., Investigation of the effect of a Topically Applied Tachifier in Reducing Particle Bounce in a Melt-Blown Air filter. (Filtration&Separation, 1996, page 933)
2. Qian Y., Willeke K., Ulevicius V. and Grinshpun S.A., Particle Re-entrainment from Fibrous Filters. (Aerosol Science and Technology, 27:3)
3. Kuehn T.H., Yang C.H. and Kulp R.H., Effects of Fan Cycling on the Performance of Particulate Air filters used for IAQ Control. (Indoor Air' 96, The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol.4, page 211)
4. Rivers R.D. and Murphy D.J., Determination of Air Filter Performance under Variable Air Volume (VAV) Conditions.(ASHRAE 675-RP:1996)

附录 C（资料性附录）注解

C.1 概述

本标准规定的试验过程是由 EN 779:1993 和 Eurovent 4/9:1997 发展而来的。本标准保留了 EN 779:1993 中试验台的基本设计，但摒弃了用“比色法”测量大气气溶胶不透明度的试验装置。本标准采用 DEHS（或等效物质）气溶胶，气溶胶在被试过滤器上游风道均匀分散，利用光学粒子计数器（OPC）分析上、下游有代表性的气样，给出过滤器的粒径效率数据。

本标准的总过程沿用了 EN 779:1993 的方法，旧标准规定，每次发尘增量后进行粒径效率试验（仅对 F 类过滤器）。新标准改为：不管初始效率值如何，在容尘与计重效率试验过程中，所有过滤器都应进行计数效率试验。平均效率值 < 40% 的过滤器划为 G 类，效率报告表示为“< 40%”。

新标准对试验台的设计未作详细规定；但新标准对试验台性能的严格要求将提高试验结果的准确性和可靠性。

C.2 分级

本标准保留 EN 779:1993 的分级体系（包括 F 类和 G 类过滤器）；但改用对 0.4 μm 液体粒子的平均过滤效率来确定过滤器所属类别。用 0.4 μm 粒子过滤性能对过滤器分级的原因在于：实际证据表明，这种方法获得的结果与采用“比色法”的 EN 779:1993 分级结果极其吻合。

C.3 试验

C.3.2 试验气溶胶

基于以下原因，选择 DEHS 粒子（或效果相同的其它粒子）进行效率试验：

- 采用 Eurovent 4/9 技术的用户已具备经验，拥有适用设备；
- 液态气溶胶的发生很容易满足试验活动中对浓度、粒径范围和连续性的要求；
- DEHS 粒子既可用作不带任何电荷的中性试验气溶胶，也可极化到玻尔兹曼平衡；
- 粒子计数器是用 Latex 乳胶球标定的。用光学粒子计数器测定球状液体粒子的粒径，比测定非球状的盐粒或其它固体试验粒子更准确。

应使 DEHS 气溶胶达到玻尔兹曼电荷分布，以代表长期的实际环境大气中气溶胶的电荷分布。

C.3.2 负荷尘

负荷尘（人工试验尘）与 ASHRAE 52.1 和 52.2 规定的负荷尘相同，其组成如下：

- 72%（按重量）空气净化器标准试验尘（ISO 12103-1）；
- 2%（按重量）碳粉（ASTM D3765 CTAB 比表面积 $(27 \pm 3) \text{ m}^2/\text{g}$ ，ASTM D2414 DBP 吸附量 $(0.68 \pm 0.07) \text{ m}^3/\text{g}$ ，ASTM D3265 染色强度 (43 ± 4) 单位）；
- 5%（按重量）的棉绒。取自棉籽的二次短切绒，经 Wiley 磨研磨，4 mm 筛子筛分。所有组分应由制造商预先混合好。

试验粉尘并不代表实际粉尘，但 20 多年来它一直被用来“模拟”过滤器的容尘。在开发出更具代表性的试验粉尘之前，仍将继续使用这种模拟粉尘。美国 ASHRAE 和芬兰 VVT 已经开展了有关新负荷尘的研究项目。

C.3.3 气溶胶的分布和采样

采用液态气溶胶进行效率测量时，必须有相应措施使其在到达过滤器前均匀分布。应采用适当的注入或混合装置，确保过滤器表面的气溶胶浓度偏差系数 $<10\%$ 。

为了对过滤器上、下游气溶胶样品进行浓度和粒径分析，采样点应能代表上、下游的全部情况，除此之外，还应对采样线路中的粒子损失进行补偿。

获取一个有代表性的采样点需要小心定位；这一问题对低效率过滤器（F5 级）的重要性不如高效率的过滤器（F9 级过滤器）。

C.3.4 粒子计数器特征

用于本试验的光学粒子计数器，应能提供 $0.2\ \mu\text{m}\sim 0.3\ \mu\text{m}$ 粒径范围的粒子信息，并适合大于 $100\ \text{粒}/\text{cm}^3$ 的浓度。测量通道应涵盖 $0.4\ \mu\text{m}$ 和 $3.0\ \mu\text{m}$ 粒径粒子。上、下游采样使用同一仪器。

C.3.5 片状滤材试验

本标准中最低风量为 $0.24\ \text{m}^3/\text{s}$ ，这意味着，不能对滤速低于 $0.62\ \text{m/s}$ 的片状滤材以平面形式直接进行试验。为进行低滤速试验，只好采用扩展面的形式。如果将材料放入 W 形支架，就可以按普通过滤器的方法进行试验。W 形放置的滤材与片状滤材的性能之间没有换算关系，但这种方法可以对不同材料进行比较和评价。

图 C.1 给出一种用于滤材评价的典型的 W 形支架。该 W 形支架给出的净有效过滤面积为 $1\ \text{m}^2$ ，此时的风量 (m^3/s) 与滤速 (m/s) 数值相同，风量为 $0.4\ \text{m}^3/\text{s}$ 时，滤速为 $0.4\ \text{m/s}$ 。

将被试滤材置于支架上，沿支架伸平，利用压框固定。

C.4 过滤特征

C.4.1 概述

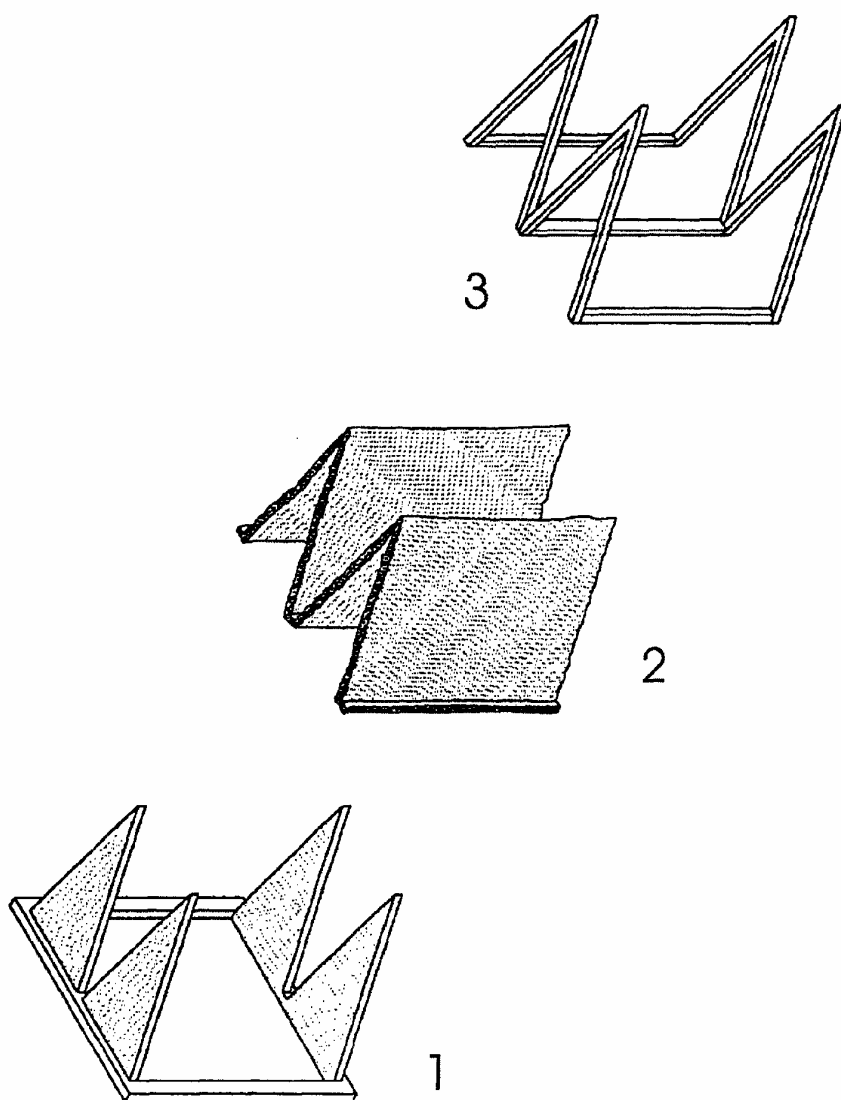
前面的附录 A 和附录 B 已经指出一些潜在问题，例如，固体粒子的二次逃逸、某些特定滤材使用中的电中和。

C.4.2 阻力

试验中所有测定的阻力都应修正到 $1.20\ \text{kg}/\text{m}^3$ 时标准空气密度下的阻力，对应的标准大气条件为：温度 20°C ，大气压力 $101.325\ \text{kPa}$ ，相对湿度 50% 。空气密度在 $1.16\ \text{kg}/\text{m}^3\sim 1.24\ \text{kg}/\text{m}^3$ 之间时没必要进行修正。

C.4.3 静电对效率的影响

本标准中，效率试验和过滤器分级使用了中和的试验气溶胶（达到波尔茨曼电荷分布）。为检查过滤效率是否依赖于静电机理，可采用 Laskin 喷管发生的 DEHS 试验气溶胶，测量气溶胶中和与未中和两种条件下的初始效率。使用被中和的气溶胶进行试验时，若小粒子的效率显著升高，表明过滤效率依赖于静电机理。风量减半时，若过滤效率依赖静电，同样会出现小粒子过滤效率显著增加的情形。



1. W形支架
2. 滤材 (1 m²)
3. W形压框

图 C.1 W形框架实例与滤材试验

附录 D (资料性附录) 阻力计算

试验所测所有压降数据都应按标准空气密度 $1.20 (1.1987) \text{ kg/m}^3$ 进行修正, 此密度对应的标准大气为: 温度 20°C 、大气压力 101.325kPa 、相对湿度 50% 。空气密度在 $1.16 \text{ kg/m}^3 \sim 1.24 \text{ kg/m}^3$ 之间时没必要进行修正。

过滤器阻力可表示为:

$$\Delta p = c(q_v)^n \quad (\text{D.1})$$

$$c = k \times \mu^{2-n} \times \rho^{n-1} \quad (\text{D.2})$$

式中: Δp 阻力, Pa;
 k 常数;
 q_v 风量, m^3/s ;
 μ 气体的动力黏度, Pa s;
 n 指数;
 ρ 空气密度, kg/m^3 。

应将风量测量系统的读数转换为被试过滤器入口处的体积风量。利用这些风量数值和阻力测量值, 采用最小二乘法确定式 D.1 中的指数 “n”。

利用已知的指数 n , 使用以下方程将实测阻力修正到标准大气条件下的阻力:

$$\Delta p_{1.20} = \Delta p \left(\frac{\mu_{1.20}}{\mu} \right)^{2-n} \times \left(\frac{\rho_{1.20}}{\rho} \right)^{n-1} \quad (\text{D.3})$$

其中, 无下标的量指实测值, 带下标的量指标准大气下的值:

$$\rho_{1.20} = 1.1987 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{1.20} = 18.097 \times 10^{-6} \text{ Pa s}$$

通常仅计算干净过滤器的指数 n 。在容尘试验进程中, 指数 n 会改变。由于没必要在每个容尘阶段结束后绘制阻力曲线, 因此过滤器试验过程中可一直使用指数 n 的初始值。利用公式 D.4, 可以得到空气密度 (kg/m^3)、温度 ($^\circ\text{C}$)、大气压 p (Pa) 和相对湿度 (%):

$$\rho = \frac{p - 0.378 p_w}{287.06(t + 273.15)} \quad (\text{D.4})$$

其中, P_w (Pa) 为空气中的水蒸汽分压, 由下式给出:

$$p_w = \frac{\varphi}{100} p_{ws} \quad (\text{D.5})$$

p_{ws} (Pa) 为空气温度 t ($^\circ\text{C}$) 时的饱和蒸汽压, 由式 D.6 给出:

$$p_{ws} = \exp \left[59.484085 - \frac{6790.4985}{t + 273.15} - 5.02802 \times \ln(t + 273.15) \right] \quad (\text{D.6})$$

温度 t ($^\circ\text{C}$) 下的动力黏度 μ (Pa s) 可由式 D.7 获得:

$$\mu = \frac{1.455 \cdot 10^{-6} (t + 273.15)^{0.5}}{1 + 110.4 / (t + 273.15)} \quad (\text{D.7})$$

附录 E (资料性附录) 完整的试验报告实例

E.1 试验报告实例

EN 779:2002 — 空气过滤器试验结果				
试验机构: Superlab Inc.		报告编号: 007-2002		
概要				
试验编号: 121345		试验日期: 2002-02-01		负责人: James Bond
请求试验者: World Best Filter Inc.		试件收到日期: 2002-01-26		
试件提供者: World Best Filter Inc.				
试件				
型号: WBF Leader 100		制造商: World Best Filter Inc.		构造: 密褶式过滤器 4个V形
滤材类型: 玻纤与化纤 WBF Mix G&F		净有效过滤面积: 19 m ²		过滤器尺寸: (宽×高×深) 592 mm × 592 mm × 292 mm
试验数据				
试验风量: 0.944 m ³ /s	试验空气温度: 20°C~24°C	试验空气相对湿度: 26%~61%	试验气溶胶: DEHS	负荷尘: ASHRAE
结果				
初阻力: 99Pa	初始计重效率: 98%	初始效率 (0.4μm): 70%	容尘量: 254g/369g/461g	未消除静电 / 消 静电处理后效率 (0.4 μm, 附录 A): 70.6% / 69.6%
终阻力: 250/350/450 Pa	平均计重效率: 99%	平均效率 (0.4μm): 93% /95% /96%	过滤器级别 (450Pa): F9	
备注:				
注: 性能试验结果只对被试项目有效, 试验结果本身不能用于定量预测使用中的过滤器性能。				

图 E.1 试验结果汇总

表 E.1 各容尘阶段后的效率与不确定度

EN 779:2002 — 各容尘阶段后的效率与不确定度								
空气过滤器: WBF Leader 100								
试验编号: 12345								
试验气溶胶: DEHS								
风量: 0.944 m ³ /s								
粒径, μm		效率, %						
		阻力 Pa			与 发尘量 g			
粒径段	平均	99 Pa 0 g	106 Pa 60 g	119 Pa 60 g	148 Pa 120 g	250 Pa 255 g	351 Pa 370 g	453 Pa 465 g
0.20-0.25	0.22	59.9±1.7	73.1±1.1	82.3±1.4	93.5±1.1	98.8±0.4	98.8±0.5	99.0±0.2
0.25-0.35	0.30	64.0±3.1	77.6±2.5	84.2±0.9	94.9±1.0	99.0±0.3	99.1±0.5	99.1±0.2
0.35-0.45	0.40	70.2±1.4	83.7±0.8	89.4±0.8	96.7±0.5	99.4±0.2	99.2±0.3	99.3±0.1
0.45-0.60	0.52	76.5±2.1	88.7±2.0	94.0±0.8	97.9±0.4	99.5±0.3	99.4±0.1	99.4±0.2
0.60-0.75	0.67	86.4±1.5	92.9±1.4	97.2±0.4	99.1±0.5	99.7±0.2	99.6±0.2	99.1±0.3
0.75-1.00	0.87	90.3±1.2	96.2±0.7	98.5±0.4	99.5±0.2	99.5±0.2	99.6±0.2	99.5±0.3
1.00-1.50	1.22	94.9±0.6	98.2±0.5	99.5±0.2	99.6±0.3	99.5±0.2	99.6±0.2	99.6±0.1
1.50-2.00	1.73	98.7±0.3	99.3±0.3	99.6±0.2	99.7±0.2	99.7±0.1	99.6±0.2	99.5±0.3
2.00-3.00	2.45	99.6±0.3	99.8±0.1	99.8±0.1	99.7±0.3	99.8±0.1	99.8±0.2	99.7±0.2
3.00-4.50	3.67	99.7±0.4	99.9±0.2	99.7±0.3	99.8±0.4	99.8±0.4	99.7±0.3	99.8±0.3

注: 所测效率的不确定度为 95% 置信度的情况。

表 E.2 各终阻力下的平均效率

EN 779:2002 — 各终阻力下的平均效率				
空气过滤器: WBF Leader 100				
试验编号: 12345				
试验气溶胶: DEHS				
风量: 0.944 m ³ /s				
粒径, μm		平均效率, %		
粒径段	平均	终阻力		
		250 Pa	350 Pa	450 Pa
0.20-0.25	0.22	88.6 \pm 1.0	91.7 \pm 0.8	93.2 \pm 0.7
0.25-0.35	0.30	90.2 \pm 1.1	93.0 \pm 0.9	94.2 \pm 0.8
0.35-0.45	0.40	93.1 \pm 0.6	95.0 \pm 0.5	95.8 \pm 0.4
0.45-0.60	0.52	95.5 \pm 0.7	96.7 \pm 0.6	97.3 \pm 0.5
0.60-0.75	0.67	97.3 \pm 0.6	98.0 \pm 0.5	98.3 \pm 0.4
0.75-1.00	0.87	98.4 \pm 0.4	98.8 \pm 0.3	98.9 \pm 0.3
1.00-1.50	1.22	99.1 \pm 0.3	99.2 \pm 0.3	99.3 \pm 0.2
1.50-2.00	1.73	99.6 \pm 0.2	99.6 \pm 0.2	99.6 \pm 0.2
2.00-3.00	2.45	99.8 \pm 0.2	99.8 \pm 0.2	99.8 \pm 0.2
3.00-4.50	3.67	99.8 \pm 0.4	99.8 \pm 0.4	99.8 \pm 0.3
容尘量		254 g	369 g	461 g
过滤级别		-	-	F9

EN 779:2002 初始效率和各终阻力下的平均效率

空气过滤器: WBF Leader 100

试验编号: 12345

试验气溶胶: DEHS

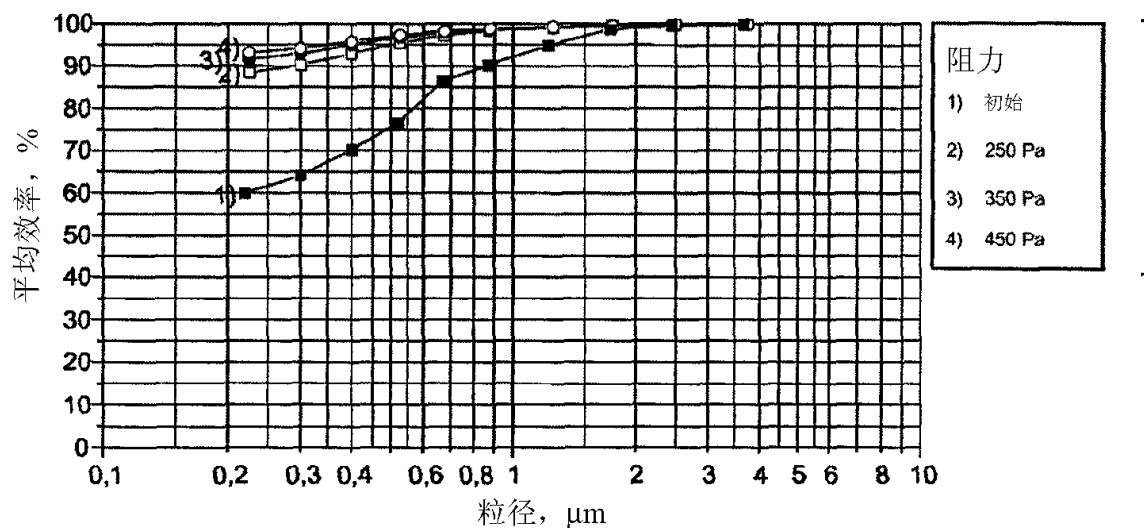
风量: $0.944 \text{ m}^3/\text{s}$ 

图 E.3 初始效率和各终阻力下的平均效率

表 E.3 各容尘阶段后的风量与压差

EN 779:2002 — 各容尘阶段后的风量与压差												
空气过滤器: WBF Leader 100												
试验编号: 12345												
试验气溶胶: DEHS												
风量: 0.944 m ³ /s												
日期	发尘量 m_{tot} g	流量孔板 191.5 mm / 234.8 mm				过滤器						
		t_f °C	p_{sf} kPa	Δp_f Pa	q_m kg/m ³	t °C	ϕ %	p_a kPa	ρ kg/m ³	q_v m ³ /s	Δp Pa	$\Delta p_{1.20}$ Pa
干净过滤器												
2002-02-01	0	20.1	-1.570	1695	1.415	20.3	26.2	101.2	1.199	1.180	139	139
2002-02-01	0	20.3	-1.027	1073	1.132	20.3	26.1	101.2	1.199	0.944	99	99
2002-02-01	0	20.2	-0.604	599	0.851	20.2	26.1	101.2	1.199	0.710	66	66
2002-02-01	0	20.1	-0.292	262	0.566	20.1	26.0	101.2	1.199	0.472	39	39
2002-02-01	0	20.3	-0.088	64	0.282	20.4	25.6	101.2	1.199	0.236	18	18
新过滤器的阻力与 $(q_v)n$ 成正比, 此处 $n = 1.12640$												
容尘阶段												
2002-02-01	0	23.4	-1.404	1067	1.126	24.1	36.5	102.2	1.193	0.944	99	98
2002-02-01	30	23.1	-1.416	1072	1.129	23.2	38.6	102.2	1.197	0.943	107	106
2002-02-01	30	23.2	-1.416	1070	1.127	23.6	39.9	102.2	1.194	0.944	107	106
2002-02-01	60	23.2	-1.416	1070	1.127	23.4	42.5	102.2	1.195	0.943	120	119
2002-02-01	60	23.2	-1.425	1069	1.127	23.4	42.5	102.2	1.195	0.943	120	119
2002-02-01	120	23.3	-1.464	1069	1.128	23.5	43.0	102.1	1.194	0.945	149	148
2002-02-01	120	23.1	-1.448	1073	1.125	23.5	57.3	102.1	1.192	0.945	149	148
2002-02-01	255	23.2	-1.561	1069	1.124	23.3	59.2	102.1	1.192	0.943	251	250
2002-02-01	255	23.7	-1.572	1069	1.125	24.0	57.8	102.1	1.190	0.945	249	248
2002-02-01	370	23.5	-1.664	1072	1.124	23.6	60.5	102.1	1.191	0.944	353	351
2002-02-01	370	23.8	-1.671	1071	1.124	24.3	58.2	102.1	1.188	0.946	349	347
2002-02-01	465	23.6	-1.123	1071	1.123	23.8	61.0	102.0	1.189	0.944	455	453
符号与单位												
m_{tot}	累计发尘量, g					t_f	流量计处温度, °C					
p_a	过滤器上游绝对气压					ρ	过滤器上游空气密度, kg/m ³					
p_{sf}	流量计静压, kPa					ϕ	过滤器上游相对湿度, %					
q_m	质量流量, kg/m ³					Δp	实测过滤器阻力, Pa					
q_v	过滤器体积风量, m ³ /s					Δp_f	流量计压差, Pa					
t	过滤器上游温度, °C					$\Delta p_{1.20}$	空气密度为 1.20 kg/m ³ 时的过滤器阻力, Pa					

表 E.4 各容尘阶段后的阻力和计重效率

EN 779:2002 — 各容尘阶段后的阻力和计重效率									
空气过滤器: WBF Leader 100									
试验编号: 12345									
试验气溶胶: DEHS									
风量: 0.944 m ³ /s									
日期	Δp_1 Pa	Δm g	m_{tot} g	Δp_2 Pa	m_1 g	m_2 g	Δm_{ff} g	m_d g	A %
2002-02-01	98	30	30	106	2291.8	2292.0	0.2	0.0	99.3
2002-02-01	106	30	60	119	2292.0	2292.3	0.3	0.0	99.0
2002-02-01	119	60	120	148	2292.4	2292.5	0.1	0.0	99.8
2002-02-01	148	135	255	250	2293.2	2293.6	0.4	0.0	99.7
2002-02-01	248	115	370	351	2293.6	2294.1	0.5	0.0	99.6
2002-02-01	347	95	465	453	2294.0	2294.2	0.2	0.0	99.8
试件的质量 试件初始质量: 5113.4g 试件最终质量: 5581.7g									
符号和单位 A 计重效率, % m_d 被试过滤器后风道中的粉尘量, g m_{tot} 向过滤器的累计发尘量, g m_1 发尘增量前末级过滤器的质量, g m_2 发尘增量后末级过滤器的质量, g Δm 发尘增量, g Δm_{ff} 末级过滤器捕获的粉尘量, g Δp_1 发尘增量前阻力, Pa Δp_2 发尘增量后阻力, Pa									

表 E.5 未经消除静电处理滤材的效率和阻力

EN 779:2002 — 未经消除静电处理滤材的效率和阻力					
空气过滤器: WBF Leader 100					
试验编号: 12345					
试验气溶胶: DEHS					
风量: 45 m ³ /h					
滤速: 0.05 m/s					
材料样品尺寸: 0.25 m ²					
粒径, μm		样品 1	样品 2	样品 3	平均
		效率, %			
粒径段	平均	阻力			
		100 Pa	98 Pa	102 Pa	100 Pa
0.20-0.25	0.22	59.9±1.5	66.0±1.8	60.2±1.6	60.0
0.25-0.35	0.30	63.5±2.8	63.0±2.7	63.5±2.5	63.3
0.35-0.45	0.40	70.5±1.6	70.3±1.8	71.0±1.6	70.6
0.45-0.60	0.52	76.2±1.8	75.9±2.0	76.5±1.9	76.2
0.60-0.75	0.67	86.0±1.9	85.2±1.7	86.3±1.8	85.8
0.75-1.00	0.87	90.5±1.0	90.4±0.8	91.0±1.0	90.6
1.00-1.50	1.22	94.7±0.5	94.1±0.5	95.0±0.6	94.6
1.50-2.00	1.73	99.0±0.3	98.8±0.2	99.2±0.2	99.0
2.00-3.00	2.45	99.8±0.3	98.8±0.2	99.9±0.3	99.8

注: 所测效率的不确定度为 95% 置信度的情况。

表 E.6 消除静电处理后滤材的效率和阻力

EN 779:2002 —消除静电处理后滤材的效率和阻力					
空气过滤器: WBF Leader 100					
试验编号: 12345					
试验气溶胶: DEHS					
风量: 45 m ³ /h					
滤速: 0.05 m/s					
材料样品尺寸: 0.25 m ²					
粒径, μm		样品 1	样品 2	样品 3	平均
		效率 %			
粒径段	平均	阻力			
		103 Pa	105 Pa	104 Pa	104 Pa
0.20-0.25	0.22	58.5±1.6	61.0±1.5	59.0±1.8	59.5
0.25-0.35	0.30	62.5±2.5	62.0±2.8	62.0±2.7	62.2
0.35-0.45	0.40	69.3±1.6	69.3±1.6	70.1±1.8	69.6
0.45-0.60	0.52	76.0±1.9	74.0±1.8	76.0±2.0	75.3
0.60-0.75	0.67	85.5±1.8	85.0±1.9	85.4±1.7	85.3
0.75-1.00	0.87	90.5±1.0	90.2±1.0	89.5±0.8	90.1
1.00-1.50	1.22	94.5±0.6	94.0±0.5	94.0±0.5	94.2
1.50-2.00	1.73	99.0±0.2	98.5±0.3	98.5±0.2	98.7
2.00-3.00	2.45	99.7±0.3	99.6±0.3	98.5±0.2	99.3

注: 所测效率的不确定度为 95%置信度的情况。

E.2 计算实例

计算中使用了表 E.4 中的数据和符号。

表 E.7 容尘量与平均计重效率

符号	发尘点						
	阻力, Pa						
$\Delta p_{1,20}$	99	106	119	148	250	351	453
	容尘, g						
m_{tot}	0	30	60	120	355	370	563
	传过过滤器的粉尘, g						
$\sum(\Delta m_{\text{ff}} + m_{\text{d}})$	-	0.2	0.5	0.6	1.0	1.5	1.7
	平均计重效率, %						
A_{m}	-	99.3	99.2	99.5	99.7	99.6	99.6
	容尘量, g						
DHC	-	30	60	119	354	369	463

453 Pa 时的平均计重效率

$$A_{m453} = (465 - 1.7)/465 \times 100 = 99.6\%$$

453 Pa 时的容尘量

$$DHC_{453} = m_{tot} - \sum(\Delta m_{ff} + m_d)$$

(E.1)

$$\begin{aligned} DHC_{453} &= 465 - [(0.2 + 0) + (0.3 + 0) + (0.1 + 0) + (0.4 + 0) + (0.5 + 0) + (0.2 + 0)] = \\ &= 465 - 1.7 = 463.3 \text{ g} \end{aligned}$$

内插值得到 450Pa 时的容尘量

$$DHC_{450} = (450 - 351)/(453 - 351) \times (463.3 - 368.5) + 368.5 = 92.0 + 368.5 = 460.5 \text{ g}$$

450Pa 时的平均计重效率

可以利用离 450Pa 最近的一个容尘点计算得到该值，本例中为 453Pa，

$$A_{m450} = 99.6\%$$

表 E.8 对 0.4 μm 粒子的效率计算

符号	发尘点						
	阻力 Pa						
$\Delta p_{1.20}$	99	106	119	148	250	351	453
	发尘量, g						
m_{tot}	0	30	60	120	355	370	465
	上游粒子数						
N_1	1412	1602	1936	1233	1476	1620	1754
N_2	1317	1581	1900	1125	1437	1568	1793
N_3	1414	1651	1862	1094	1412	1546	1734
N_4	1394	1612	1865	1101	1404	1646	1811
N_5	1389	1588	1921	1050	1408	1565	1698
N_6	1362	1532	1785	1079	1415	1599	1674
N_7	1360	1491	1801	1080	1377	1597	1770
	下游粒子数						
n_1	428	268	185	43	10	10	16
n_2	417	266	213	41	12	10	9
n_3	415	257	184	34	10	8	12
n_4	388	254	202	41	5	19	11
n_5	423	240	195	32	10	18	11
n_6	388	264	209	25	7	14	11

接下页

表 E.8 (续)

符号	发尘点						
	分效率, %						
E_1	68.63	83.16	90.35	96.35	99.31	99.37	99.10
E_2	69.46	83.54	88.68	96.30	99.16	99.36	99.46
E_3	70.44	84.25	90.13	96.90	99.29	99.50	99.32
E_4	72.12	84.13	89.33	96.19	99.64	98.82	99.37
E_5	69.25	84.62	89.48	96.99	99.29	98.86	99.35
E_6	71.49	82.53	88.34	97.68	99.50	99.12	99.36
	效率, %						
E_i	70.23	83.70	89.38	96.74	99.37	99.17	99.33
	效率的不确定度, % (原百分比单位)						
σ	1.36	0.77	0.79	0.57	0.17	0.29	0.13
n	6	6	6	6	6	6	6
$v = n - 1$	5	5	5	5	5	5	5
$t_{1-\alpha/2}/(n)^{0.5}$	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049
U_i	1.43	0.81	0.82	0.60	0.18	0.30	0.14
	平均效率, %						
E_m	-	-	-	-	93.07	95.00	95.86
	平均效率的不确定度, % (原百分比单位)						
U_m	-	-	-	-	0.60	0.49	0.43

阻力达 453 Pa 时的效率 E_1

453 Pa 时的第一个子效率计算如下:

$$E_1 = (1 - 16/[(1754 + 1793)/2]) \times 100 = 99.10\%$$

453 Pa 时的效率 E_i

453 Pa 时 6 个子效率的平均值 E_{i453} 计算如下:

$$E_{i453} = (99.10 + 99.49 + 99.32 + 99.37 + 99.35 + 99.36)/6 = 99.33\%$$

453 Pa 时效率 E_i 的不确定度

$$U_{i453} = 1.049 \times 0.13 = 0.14\% \text{ (原百分比单位)}$$

453 Pa 下, 发尘 465 g 时的平均效率

$$E_{m453} = 1/465 [30 \times (70.2 + 83.7)/2 + 30 \times (83.7 + 89.4)/2 + 60 \times (89.4 + 96.7)/2 + 135 \times (96.7 + 99.4)/2 + 115 \times (99.4 + 99.2)/2 + 95 \times (99.2 + 99.3)/2] = 95.86\%$$

内插值得到 450Pa 时的平均效率

$$E_{m450} = (450 - 351)/(453 - 351) \times (95.86 - 95.00) + 95.00 = 95.8\%$$

453 Pa 时平均效率的不确定度

$$U_{m453} = 1/465 [30 \times (1.43 + 0.81)/2 + 30 \times (0.81 + 0.82)/2 + 60 \times (0.82 + 0.60)/2 + 135 \times (0.60 + 0.18)/2 + 115 \times (0.18 + 0.30)/2 + 95 \times (0.30 + 0.14)/2] = 0.43\% \text{ (原百分比单位)}$$

450Pa 时平均效率的不确定度

可采用离 450 Pa 最近发尘点的计算值，本例中的最近点为 453 Pa，

$$U_{m450} = \pm 0.43\% \text{ (原百分比单位)}$$

E.3 450 Pa 时的最终结果

平均效率 (0.40 μm) $E_m = (95.8 \pm 0.4) \%$

过滤器等级 F9

平均计重效率 $A_m > 99\%$ (99.6%)

容尘量 $DHC = 461 \text{ g}$

参考文献

- ANSI/ASHRAE 52.1:1992, *Gravimetric and dust-spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter*
- ASHRAE 52.2:1999, *Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size*
- ASME Standard MFC-3M-1985, *Measurement of fluid flow in pipes using orifice nozzle and venturi¹⁾*
- EN 779:1993, *Particulate air filters for general ventilation; requirements, testing, marking*
- EN 1822-3, *High efficiency air filters (HEPA and ULPA)-Part 3: Testing flat sheet filter media*
- Eurovent 4/9:1997, *Method of testing air filters used in general ventilation for determination of fractional efficiency*
- NF X 44-060:1993, *Air cleaning equipment-Oil mist gas purifiers with integral fan for screw-cutting industry*
- Nordtest NT VVS 117:1998, *Test method for electret filters-determination of the electrostatic enhancement factor of filter media*
- IES-RP-CC013, *Equipment calibration or validation procedures*
- IEST-RP-CC013, *Equipment calibration or validation procedure*
- ASTM-F328-98, *Standard practice for calibration of an airborne particle counter using monodispersed spherical particles*
- ASTM-F649-80, *Standard practice for secondary calibration of airborne particle counter using comparison procedures*

¹⁾ 并非美国国家标准 ANSI。