

气溶胶粒径计数法检测空气过滤器效率的探讨

1.王智超 2.安爱明

(1 中国建筑科学研究院空调所 2 北京工业大学建筑工程学院)

摘要:

介绍了国内现行空气过滤器效率的标准检测方法—大气尘计数法,指出了该效率检测方法的优缺点。详细介绍了当前欧、美等国家空气过滤器效率的标准检测方法—气溶胶粒径计数法,并从试验用气溶胶、检测仪器和效率标识三个方面对欧、美的效率检测方法进行了详细的分析比较。列出了气溶胶粒径计数法较大气尘计数法的优越性,进而提出了用气溶胶粒径计数法来检测空气过滤器效率的观点。并详细说明了用气溶胶粒径计数法检测空气过滤器效率的操作方法。

关键词:大气尘计数法空气过滤器过滤效率

前言

我国在 20 世纪 60 年代就已经开始从事空气洁净技术的研究,并可以制造空气过滤器。随着现代工业和公共安全意识的提高,洁净技术的应用越来越广泛,过滤器等净化设备的检测标准也在不断发展。但是目前国内检测体系还不完善,国标中空气过滤器的检测方法—大气尘计数法没有得到修订,存在一定缺陷,无法满足目前过滤器行业生产发展的需要。因此,在空气过滤器标准的修订工作中,寻找更可靠、更合理的空气过滤器检测方法是一项很重要的工作。

1 大气尘计数法

1.1 大气尘计数法的原理

20 世纪 80 年代初,国内科研工作者提出了采用大气尘粒径计数法作为一般通风用空气过滤器检测方法的思想,并列入国家标准即 GB 12218-89(《一般通风用空气过滤器性能试验方法》)。1993 年对该标准进行了修订并沿用至今。

用大气尘计数法检测空气过滤器的效率,所用尘源为大气尘。国内现行检测空气过滤器的标准(GB 12218-89)对试验用大气尘作了具体规定:室外或与室外相同的室内空气;大气中粒径)0.5 μm 粒子的计数浓度)20000 粒/升;空气相对湿度蕊 75%,温度)5℃

具体方法为:在额定风量下,一般用两台粒子计数器同时测出受试过滤器上、下风侧空气中粒径)0.5μm, >- 1.0μm, }-> 2.0μm, 3.5.0FLm 粒子的计数浓度。受试过滤器的大气尘计数效率计算公式如下:

$$E_i = \left(1 - \frac{N_{2i}}{N_{1i}}\right) \times 100\% \quad (1)$$

其中, E_i 为粒径分组效率(0.5 μm,) 1 μm,) 2 μm, }-> 5 μm,)%, N_{1i} 为上风侧大于或等于某粒径粒子计数浓度的平均值, 粒/升; N_{2i} 为下风侧大于或等于某粒径粒子计数浓度的平均值, 粒/升。

1.2 大气尘计数法的优缺点

中国计数法的应用比欧、美国家早十几年,就当时来说,大气尘计数法比比色法、计重法等全效率测试方法更准确:由于净化行业中净化的对象主要是室外空气,以大气尘为尘源测得的过滤器效率与实际情况比较一致;由于洁净室的洁净级别是依据计数浓度划分的,因此可以直接使用大气尘计数法的效率检测结果,而比色法、计重法测试的结果则不行。

但是大气尘计数法是建立在二十多年前国内过滤器的制造水平基础上的,存在一定的不足:大气尘具有不稳定性,大气尘的计数浓度并不是在扫封可时间任何地区都能满足粒径)0.5 μm 粒子的计数浓度) 20000 粒/升的要求,检测人员只能根据天气情况来检测,给检测工作带来了很大的不便;由于大气尘随时随地都在变化,造成效率检测试验的不可重复性以及检测结果的不确定性;再者,在试验中,不能对粒子浓度和分散度加以控制,这一点对于检测和实验研究是很不利的。由于大气尘计数法的上述缺点,寻找新的检测方法是很有必要的。

2 欧美国家检测空气过滤器的方法

目前, 欧美国家检测空气过滤器的方法均为粒径计数法, 所用尘源为气溶胶。具体方法是: 气溶胶在被测过滤器的上游风道均匀分散, 利用光学粒子计数器检测上下游有代表性的气样, 得出过滤器粒径效率数据。粒径计数法给出的效率值不再是一个单一的效率值, 而是一条沿不同粒径分布的效率曲线, 能够更全面的反应过滤器的性能。

然而欧、美国家的检测方法中, 所用的气溶胶, 检测用粒子计数器, 过滤器效率的标识等方面有较大的差别。对二者的试验尘源、检测仪器以及效率标识进行比较, 比较内容列入表 1。

表 1 欧美空气过滤器检测方法的比较

项目	美标 ASHRAE52.2	欧标 EN779
适用范围	能够过滤 10 μm 微粒的空气过滤器	对 0.4 μm 粒子的初始过滤效率 ≥40%, <98% 的过滤器
气溶胶发生	压缩空气雾化器	压缩空气雾化器
粒度特点	多分散固相粒子	单分散雾化液滴
所用气溶胶	KCL	DEHS
粒径范围	0.3 μm ~ 10 μm	0.2 μm ~ 3.0 μm
光学粒子计数器	能对 0.3 μm ~ 10 μm 的不同粒径通道进行计数和分级	粒径测试范围至少为 0.2 μm ~ 3.0 μm, 涵盖 0.4 μm 和 3.0 μm 的粒子
效率的标识 E	三个粒径范围的效率 E ₁ : 0.3 μm ~ 1.0 μm; E ₂ : 1.0 μm ~ 3.0 μm; E ₃ : 3.0 μm ~ 10 μm	0.4 μm 初始效率和平均效率

2.1 试验用气溶胶的比较

由表 1 可以看出, 欧美空气过滤器的效率检测中制备气溶胶的方法相同, 均为压缩空气雾化器的方法。但是二者所用的气溶胶并不相同: 美国选用的气溶胶为非球形多分散固相干燥氯化钾, 欧洲所用气溶胶为球形单分散雾化 DEHS(DOS /DES)液滴。

气溶胶制备系统都包括盛装溶液的容器和喷嘴。高速的无尘压缩空气将溶液喷射进入喷嘴, 溶液被雾化生成气溶胶。通过调整喷嘴的气压和流量来控制气溶胶浓度。这样就实现了试验尘源颗粒分散度及浓度的灵活控制, 测试结果重复性好。欧洲所用溶液为未经稀释或处理的 DEHS(DOS /DES)溶液, 并将直接雾化的 DEHS 液滴注入实验台[31]。而美国所用溶液为氯化钾溶液, 生成的雾化液滴通过一个 1300 mm 的高塔, 大尺寸粒子沉降脱离出来。并在高塔中用洁净干空气对盐液小滴进行干燥, 再将固相干燥的氯化钾逆流送入试验管道中, 使其与气流充分混合。

此外, 欧美所用气溶胶的粒径分布也不同。美国选用的氯化钾粒径为 0.3 μm-10 μm, 欧洲所用 DEHS(DOS /DES)液滴粒径范围为 0.2 μm-3.0 μm。可以看出, 美国所用气溶胶粒径较大。空气过滤器效率检测中粒径范围的确定与过滤器的应用场合、卫生要求及检测设备的现状密切相关。空气过滤器净化的主要对象是工业粉尘或大气尘, 其粒径范围一般为 10-3 μm ~ 102 μm。在湍流的情况下, 小于等于 10 μm 的粒子可以悬浮于大气中, 而大于 10 μm 的粒子由于其沉降速度较大很难发生稳定悬浮, 也就很少被气流携带到过滤器[31]。所以, 试验气溶胶的粒径范围的上限取 10 μm 就可以满足空气过滤器应用场合的要求。

另外, 对于粒径为 10 μm ~ 100 μm 的粒子主要通过高效过滤的方法去除。很多大气中的工业污染物诸如: 煤炭、混凝土的细粉, 大气尘中的一些能危害到肺部的灰尘、细菌, 粒径均大于 3.0 μm, 出于环境和人体健康的要求, 这些都需要由空气过滤器处理。而欧洲所选的气溶胶粒径范围为 0.2 μm-3.0 μm, 粒径过小, 不符合过滤器的实际应用环境。这样, 测出的过滤器的效率与实际情况差别较大, 测试结果实际应用意义不大。美国选用的气溶胶则更接近室外空气的粒径范围, 符合过滤器的实际应用情况。

2.2 采样仪器的比较

欧美标准中所用的采样仪器均为光学粒子计数器, 但二者对所用粒子计数器的要求却有很大的差别。美标要求, 采样用计数器能对 0.3 μm ~ 10 μm 粒径范围内的粒子进行计数, 并能将粒子分成 12 个粒径范围。欧标中要求, 粒子计数器的粒径测量范围至少为 0.2 μm-3.0 μm, 且在该范围内至少有五个粒径档。

可见, 美标中所用粒子计数器的粒径通道要求的更细, 而欧标中所用的粒子计数器测试粒径更小。欧美标准中粒子计数器的选用均与各自的试验用气溶胶密切相关。

2.3 效率标识的比较

欧美标准在效率标识上也不相同, 美国的实验报告中分别给出了 0.3 μm -1.0 μm , 1.0 μm ; 3.0 μm , 3.0 μm -10 μm 三个粒径范围的平均最低粒径效率, 欧洲则以对粒径 0.4 μm 粒子的初始捕集效率和平均捕集效率为依据。在空气过滤器的实际应用环境中, 般情况下, 重点关注过滤器对某一粒径范围粒子的过滤效率。美标中给出了过滤器对粒径范围在 0.3 μm -10 μm 粒子的分级效率, 全面的反映了过滤器在三个粒径范围内的效率。便于设计者和用户根据应用的实际环境, 选择效率合适的过滤器, 从而高效的除去环境中产生的粒子。欧标中, 所用气溶胶的粒径范围为 0.2 μm -3.0 μm , 给出的是空气过滤器对 0.4 μm 粒子的捕集效率。按照这种效率标识方法, 两台效率相同的空气过滤器, 在 0.4 μm -1.0 μm 或者 0.2 μm -3.0 μm 的粒径范围内, 过滤效率还是可能不同。可见, 欧标的这种效率标识, 不利于全面的反映过滤器的效率特性, 可能会影响过滤器的选用。

3 气溶胶粒径计数法的效率检测

与大气尘计数法相比, 气溶胶粒径计数法尘源稳定性好, 颗粒分散度及浓度易于控制; 检测结果准确性高, 重复性好。因此, 用气溶胶粒径计数法代替大气尘计数法检测空气过滤器的效率, 检测结果更可靠, 能够满足过滤器行业对检测工作提出的更高要求。国内空气过滤器主要用于去除大气中的工业污染物, 一般为粉尘。在气溶胶的选用上, 与雾化液滴相比固体粒子更接近过滤器的应用环境, 能够更准确地模拟过滤过程中粒子反弹, 再飞散以及粉尘与滤料之间的静电效应等因素对过滤效率产生的影响。

3.1 气溶胶计数法的工作原理

用气溶胶粒径计数法检测空气过滤器的效率, 一般测试装置主要包括: 风道系统、气溶胶发生装置和检测装置三部分。效率测试可以在如图 1 所示的试验风道上进行。

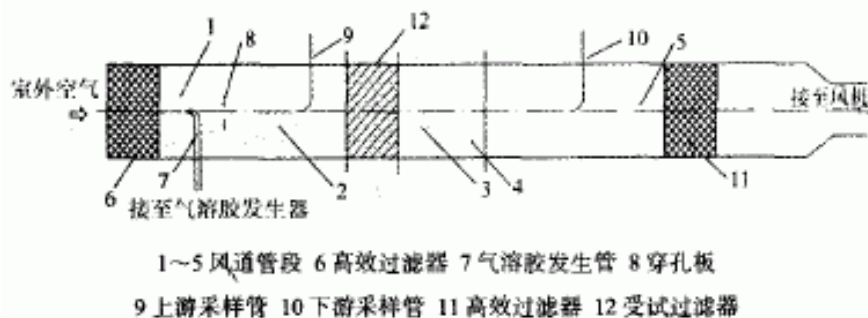


图 1 测试风道示意图

室外含尘空气经过高效过滤器 7, 去除空气中的粒子, 成为洁净空气。由气溶胶发生装置产生的气溶胶, 通过发生管 8 进入测试风道, 为了使气溶胶和洁净空气充分混合, 气溶胶逆流进入风道, 其方向与洁净空气气流方向相反。气溶胶和进入的洁净空气充分混和, 使气溶胶粒子在受试过滤器 3 上游均匀分布。气溶胶经过受试过滤器, 除去部分粒子, 用光学粒子计数器分别对受试过滤器上、下游采样, 测出某几个粒径范围内气溶胶的计数浓度, 从而得出受试过滤器的效率。透过受试过滤器的气溶胶粒子, 通过高效过滤器后大多数被去除, 干净空气通过风机排至室外, 避免了试验气溶胶进入大气, 对环境造成破坏。

3.2 两种方法的比较

用气溶胶粒径计数法与用大气尘计数法检测空气过滤器的效率, 二者的测试风道和检测装置基本上一致。只是气溶胶计数法中, 为了实现气溶胶与洁净空气的充分混合, 其混合段较大气尘计数法的试验风道更长些。检测装置都为光学粒子计数器, 气溶胶计数法要求可测粒径范围为 0.3 μm -10 μm ; 大气尘计数法要求粒子计数器至少应有 0.5 μm , 1.0 μm , 2.0 μm , 5.0 μm 四个粒径档。国内现有的光学粒子计数器大多数都可以同时满足两种检测方法的要求。

两种方法最主要的区别在于所用的试验尘源不同。气溶胶计数法中的试验尘源为固相干燥的气溶胶粒子，而大气尘计数法中的尘源为大气尘。这样，前者需要考虑气溶胶的制备，而后者直接引入满足要求的室外空气即可。前者的尘源稳定性好，检测结果准确性高。另外，由于试验尘源不同，气溶胶计数法与大气尘计数法的检测结果之间存在差异，为了方便用户，统一市场，应该通过试验建立两者之间的联系。

4 结论

①大气尘计数法检测空气过滤器的效率，由于大气尘的组成和分散度的不稳定性导致检测结果重复性和可比性差。随着过滤器行业的发展，对检测的要求越来越高，大气尘计数法已经不能满足过滤器发展的要求。研究更准确地空气过滤器检测方法代替大气尘计数法，成为《空气过滤器》标准修订中一项非常重要的任务。

②欧美国国家现行的检测空气过滤器效率的方法都是气溶胶粒径计数法，而两者在实验尘源，检测设备和效率标示方面有较大差别。美国选用的气溶胶为固相粒子，且粒径较大，而欧洲所用气溶胶为雾化液滴，粒径较小；美标中所用粒子计数器的粒径通道要求的更细，而欧标中的粒子计数器测试粒径更小；美国的效率标识比欧洲更全面。

③用气溶胶粒径计数法和大气尘计数法检测过滤器的效率，在试验风道和检测方法上基本一致。两种方法的主要区别在于所用试验尘源不同。

④与大气尘计数法相比，气溶胶粒径计数法的试验尘源稳定性好，浓度和粒径分布可以控制；试验具有可重复性，检测结果准确度更高，可靠性更强，符合国际空气过滤器检测方法的发展趋势。