



国内外通风用空气过滤器的测试、分级及比照

天津大学 涂 有[☆] 涂光备

天津市洁净室空气净化技术工程中心 张 鑫

摘要 简述了近些年国内外通风用空气过滤器主要测试方法的发展和相关标准的演变,介绍了作者提出的通风用空气过滤器分类曲线及国内外通风用空气过滤器的主要分级方法,给出了国内外通风用空气过滤器级别间的比照,供设计选用参考。

关键词 一般通风用空气过滤器 试验气溶胶 计重法 粒子计数计径法 计径过滤效率 最低效率报告值 分级

Test, classification and comparison of foreign and domestic ventilating air filters

By Tu You[☆], Tu Guangbei and Zhang Xin

Abstract Introduces in briefly the development of testing methods of the air filter and the evaluation of related standards at home and abroad in recent years. Presents the classification curve proposed by the authors and the main classification methods for foreign and domestic ventilating air filters. Performs the comparison of different classifications at home and abroad, providing references for the design and selection of ventilating air filters.

Keywords air filter for general ventilation, test aerosol, weight arrestance method, particle counting and sizing method, particle size removal efficiency, minimum efficiency reporting value (MERV), classification

★ Tianjin University, Tianjin, China

0 引言

城市中多数人处于室内环境的时间占其生命时长的 90%,人们对室内空气质量(IAQ)的关注不言而喻^[1]。尤其是近些年来国内一些城市雾霾天气增多,大气环境堪忧^[2],PM_{2.5}更成了热门话题。设置空调通风系统的各类公共建筑纷纷改善或增添空气过滤器,以期优化室内环境。因此设计选用满足需求、性能可靠且能耗较低、维护方便的空气过滤器,成了暖通行业的一个关注点。

由于对国内外通风用空气过滤器的测试方法、分级依据,以及对不同空气过滤器级别间的比照关系等方面知识的缺失,特别是比照关系的相关研究资料较少,因此在设计或采购中,往往难以确定与所需某个级别空气过滤器性能相当的替代品。本文意图依据国内外空气过滤器和滤材的测试资料及经验,给出国内外通风用空气过滤器各主要标准

分级之间的比照关系,为此需要从源头,也就是从国内外通风用空气过滤器的相关标准及测试方法谈起。

20 世纪末以来,世界各主要国家通风用空气过滤器测试标准趋于统一,其中粗效空气过滤器采用人工尘计重效率法(synthetic dust weight arrestance method)测试,中效至亚高效空气过滤器采用人工尘粒子计数计径法(synthetic dust particle counting and sizing method)测试。通常粗效空气过滤器在通风系统中的主要功能是减小后置主过滤器的荷载,对系统的总过滤效率影响有

☆ 涂有,男,1972 年 4 月生,博士,副教授
300072 天津市南开区卫津路 92 号天津大学第 21 教学楼
(022) 27404510
E-mail:ecstu@tju.edu.cn
收稿日期:2015-04-30
修回日期:2015-06-07

限;而且近年国内外计重效率法都采用 ISO 12103-1 标准尘(即 ASHRAE 标准尘)作为试验尘,测试方法也相近^[3-9],限于篇幅本文不讨论这部分内容。

1 计数计径法

现行欧盟、美国和中国国家标准等都规定,通风用空气过滤器的基本测试方法为计数计径法,即采用离散粒子计数器(discrete particle counter, DPC)测量空气过滤器前后空气中所关注粒径挡的粒子浓度,以确定过滤效率的方法。值得一提的是世界上最先将此方法列入国家标准的是中国^[10]。

1.1 大气尘计数计径效率法

大气尘计数计径效率法曾是中国法定的测试方法^[11],在国内沿用了 20 多年。该方法具有以下特点:1) 空气净化主要对象是室内外空气,以大气尘作为尘源,测定其过滤效率符合实际应用;2) 采用过滤器前、后不同粒径挡的计数浓度确定的计

数效率值,恰好是洁净室计数含尘浓度理论计算与分析所需要的数据,其他测试方法,如计重效率法、比色效率法的测试值都不能直接应用;3) 计数计径法可用于大部分空气过滤器^[12]。预过滤器或粗效过滤器主要是阻留大粒径尘粒,可以依据其对 $\geq 5 \mu\text{m}$ 粒径挡的过滤效率判别其性能优劣;一般中效空气过滤器主要是阻留中等粒径的颗粒,可以用 $\geq 2 \mu\text{m}$ 粒径挡的过滤效率判断其性能优劣;高中效过滤器或高性能过滤器^[13]的主要处理对象是较小粒径的粒子,可用 $\geq 1 \mu\text{m}$ 粒径挡的过滤效率判别其性能差异;至于用以阻留更小粒子的亚高效空气过滤器,可用 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 粒径挡的计数效率来判别其性能。根据 20 世纪 70 年代对百余种不同工艺、不同材质的空气滤材、过滤器的测试,结合对国外一些产品技术性能资料的分析,涂光备提出了大气尘计数计径效率的测试方法和空气过滤器分类方法(如表 1 所示)^[12]。

表 1 文献[12]中给出的空气过滤器分类方法

过滤器类别	大气尘计数计径过滤效率/%					
	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$	$\geq 10.0 \mu\text{m}$
粗效				<40	<80	<97
中效			<70	$40\sim90$	$80\sim99$	
高中效		<95	$70\sim99$	>90		
亚高效	>90	>95	>99			

注:加边框数据为推荐分类数值。

该方法被作为国家标准的基础,反映在 GB 12218—89《一般通风用空气过滤器性能试验方法》中。GB 14295—1993《空气过滤器》中过滤器的分类如表 2 所示^[14]。

表 2 GB 14295—1993 中一般空气过滤器分类

过滤器分类	额定风量下的效率 η	额定风量下的初阻力/Pa
粗效	粒径 $\geq 5 \mu\text{m}$, $80\% > \eta \geq 20\%$	≤ 50
中效	粒径 $\geq 1 \mu\text{m}$, $70\% > \eta \geq 20\%$	≤ 80
高中效	粒径 $\geq 1 \mu\text{m}$, $99\% > \eta \geq 70\%$	≤ 100
亚高效	粒径 $\geq 0.5 \mu\text{m}$, $99.9\% > \eta \geq 95\%$	≤ 120

图 1 给出了涂光备提出的空气过滤器按计数计径过滤效率分类的曲线及国内外一些产品的性能曲线^[3]。图 1 中的粗实线是依据 20 世纪 70—80 年代在天津大学暖通实验室所取得的大量实测数据、所收集的国外一些测试数据以及一些理论计算结果^[15-16]①,归纳整理得到的粒径-大气尘计数过滤效率分级曲线。3 条分级曲线分隔出了粗效、中效、高中效和亚高效空气过滤器的大气尘计数过滤效率范围。以图 1 居中的那条粗实线为例,其 \geq

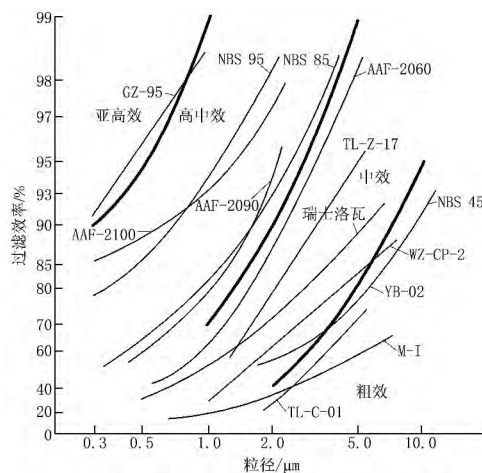


图 1 过滤器分类曲线及一些过滤器产品的性能曲线

$1.0 \mu\text{m}$ 粒径挡的过滤效率 η_1 约为 70%, $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒径挡的过滤效率 η_2 约为 90%, $\geq 5.0 \mu\text{m}$ 粒径挡的过滤效率 η_5 约为 99%;靠下的那条粗实线

① 涂光备. 纤维型滤料及空气过滤器. 天津大学科技情报资料室, 1980

对应的 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒径挡的过滤效率 η_2 为40%, $\geq 5.0 \mu\text{m}$ 粒径挡的过滤效率 η_5 为80%,与表1中的空气过滤器中效、粗效分级指标相对应。

大气尘计数计径法试验系统虽然相对比较简单,便于实施,但也存在试验过程中室内空气含尘浓度变化时影响试验结果的问题。特别是粗效空气过滤器,因其对大气尘的过滤效率偏低,如果上游含尘浓度变化大,则有可能出现效率为负值的不合理情况。20世纪70年代末之所以提出大气尘计数计径法,也确实局限于国内一时解决不了人工尘计重法所需人工尘源的问题,也没有稳定可靠的比色计供应的特定情况。

1.2 美国的计数计径法

20世纪90年代末,美国标准 ANSI/ASHRAE 52.2-1999^[17]提出以人工尘计数计径法取代大气尘比色法,而粗效空气过滤器仍沿用 ANSI/ASHRAE 52.1-1992 标准中的人工尘计重法。

ANSI/ASHRAE 52.2-1999 标准规定采用由化学纯氯化钾(KCl)水溶液生成的固体 KCl 颗粒作为试验人工尘,将生成的氯化钾粒子均匀分散到试验风道系统的上风向气流中,并采用对 $0.3 \mu\text{m}$ 聚苯乙烯乳球胶(polystyrene latex spheres, PSL)的计数效率至少为50%、且在 $0.3 \sim 10 \mu\text{m}$ 范围内可测量12个粒径挡的粒子计数器,在上游和下游进行测量与计数,以确定效率。

ANSI/ASHRAE 52.2-1999 标准还规定采用人工发尘对空气净化器件进行荷载试验时应测定不同荷载情况下的计数计径效率,用以模拟现场条件。相对于各个ASHRAE人工尘的负荷增量,可得出—组计径过滤效率(particle size removal efficiency, PSE)曲线。根据干净状态、每个容尘增量(一般增量4次)以及容尘终止状态共6条PSE曲线,找出对应于12个粒径挡的PSE最低值,用这些最低值合成一条最低效率曲线(minimum efficiency curve)。然后按规定将12个粒径挡分为3组: $0.3 \sim 1.0 \mu\text{m}$, $1.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$ 和 $3.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$,将合成曲线上每组4个数据取平均值,得出3个平均最低PSE值 E_1 , E_2 及 E_3 ,称为最低效率报告值MERV(minimum efficiency reporting value)。ANSI/ASHRAE标准以MERV作为过滤器过滤性能及分级的依据。例如,某型空气过滤

器的试验风量为 $0.93 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,其计数计径效率值如表3所示。

表3 某型空气过滤器计数计径效率值

粒子尺寸范围/ μm	最低效率/%	平均计径效率
0.3~0.4	74	84%(E_1)
0.4~0.55	82	
0.55~0.7	87	
0.7~1.0	92	
1.0~1.3	96	98%(E_2)
1.3~1.6	98	
1.6~2.2	99	
2.2~3.0	100	
3.0~4.0	100	100%(E_3)
4.0~5.5	100	
5.5~7.0	100	
7.0~10.0	100	

按照 ANSI/ASHRAE 标准对空气过滤器分类的规定, MERV 14 级的限值为 $75\% \leq E_1 < 85\%$, $90\% \leq E_2$, $90\% \leq E_3$ 。因此,表3过滤器的等级为 MERV 14 级,该过滤器性能的表示方法为“MERV 14@0.93”,表示该空气过滤器在风量为 $0.93 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1\,970 \text{ cfm}$) 时,其规格为 MERV 14 级。

1.3 欧盟的计数计径法

欧洲标准 EN 779:2002^[18]保留了 EN 779:1993 标准和欧洲通风标准 Eurovent 4/9:1997 中的人工尘计重效率部分,适用于欧盟过滤器分级标准的 G 类,即粗效空气过滤器;而以人工尘计数计径法取代上述2个标准中的大气尘比色法,适用于 F 类,即中效空气过滤器。

欧盟标准 EN 779:2002 中的人工尘计数计径法适用于对 $0.4 \mu\text{m}$ 粒子的初始过滤效率低于98%的空气过滤器。与美国标准不同,欧盟标准采用癸二酸二辛酯(Diethylhexy Sebacate, DEHS)作为试验尘源,用洁净压缩空气为动力源,通过拉斯金(LasKin)喷嘴使 DEHS 形成雾化液滴直接注入空气过滤器试验台的上游,可通过调整流经 LasKin 喷嘴的气流压力和压缩空气量来满足试验风量和气溶胶浓度要求。

EN 779:2002 标准的计数计径法的具体操作和数据整理与 ANSI/ASHRAE 52.2-1999 标准基本一致,也是采用 ASHRAE 人工尘作为负荷尘,测定容尘过程中各个阶段的计数过滤效率,最后确定被测过滤器的平均效率值。其具体做法是:测定过滤器对 DEHS 气溶胶的初始过滤效率值,在每

个容尘阶段完成时立即测量计数效率。在被测过滤器上、下游切换采样,共需要至少 13 次计数,每次最少 20 s。其数据整理方法如下:

每个容尘阶段 j 后粒径挡 i 的平均效率 E_{ij} 为

$$E_{ij} = \frac{E_{1i} + \dots + E_{6i}}{6} \quad (1)$$

式中 E_{1i}, \dots, E_{6i} 分别为粒径挡 i 的阶段效率。

整个容尘过程粒径挡 i 的效率加权平均值 E_{mi} 为

$$E_{mi} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n \left[\frac{E_{ij(j-1)} + E_{ij} M_j}{2} \right] \quad (2)$$

式中 M 为总发尘量, $M = \sum_{j=1}^n M_j$; n 为发尘次数; M_j 为容尘阶段 j 的发尘量。

EN 779:2002 标准规定使用光学粒子计数器(optical particle counter, OPC),其粒径测量范围至少为 $0.2 \sim 3.0 \mu\text{m}$,并要求 OPC 对 $0.2 \mu\text{m}$ 粒子的计数效率不低于 50%。

1.4 中国的计数计径法

GB/T 14295—2008《空气过滤器》标准采用以多分散固相氯化钾粒子为人工尘的计径计数法取代 GB/T 14295—1993 中的大气尘计径计数法,规定试验系统的气溶胶发生器使用质量分数为 10% 的 KCl 溶液,经雾化干燥后提供 $0.3 \sim 10 \mu\text{m}$ 粒径的稳定的 KCl 气溶胶。所采用的人工尘的化学成分与 ANSI/ASHRAE 52.2-1999 标准相同。所发生的气溶胶的粒径分布如表 4 所示。

表 4 GB/T 14295—2008 标准试验气溶胶粒径分布

	粒径/ μm			
	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	>2.0
比例/%	65±5	30±3	3±1	>1

相对于美国、欧洲标准,GB/T 14295—2008 标准规定的采样与数据整理方法较为简单,其具体操作方法及结果计算要点如下:

一般采用 2 台粒子计数器测量被测过滤器上、下风侧 $\geq 0.3 \mu\text{m}$, $\geq 0.5 \mu\text{m}$, $\geq 1.0 \mu\text{m}$ 和 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒子的浓度。若被测过滤器对 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 粒径挡粒子的计数效率 $< 90\%$ ^①,也可采用 1 台粒子计数器测量。

待发尘稳定时,上、下风侧用粒子计数器正式采样。下风侧采样时,粒子计数器的显示值应不低于 100。采用 2 台计数器试验时,对于试验的每一批过滤器,在试验开始前,2 台计数器应在下风侧

采样点轮流采样各 10 次。2 台计数器各自测得的平均浓度 \bar{N}_1, \bar{N}_2 与其平均值 $(\bar{N}_1 + \bar{N}_2)/2$ 之差应在 $\pm 20\%$ 之内。符合条件时,以用于上风侧计数器的平均浓度 \bar{N}_1 与用于下风侧计数器的平均浓度 \bar{N}_2 的比值 \bar{N}_1/\bar{N}_2 作为下风侧测量值的修正系数。以上、下风侧连续多次采样的平均值计算各粒径挡的过滤效率 E_i ;重复上述测量步骤,再求得一组过滤效率值 E_2 。如果 2 次计数效率满足 GB/T 14295—2008 标准中的相关要求,则被测过滤器粒径分组计数效率为

$$E_i = \left(1 - \frac{N_{2i}}{N_{1i}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中 E_i 为粒径分组 ($\geq 0.3 \mu\text{m}$, $\geq 0.5 \mu\text{m}$, $\geq 1.0 \mu\text{m}$, $\geq 2.0 \mu\text{m}$) 计数效率,%; N_{1i} 为上风侧某粒径挡的计数浓度平均值,粒/L; N_{2i} 为下风侧符合计数器显示值不低于 100 的某粒径挡的计数浓度平均值,粒/L。

GB/T 14295—2008 标准规定采用 KCl 人工尘计数法测定 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 粒径挡效率 $\eta \leq 99.9\%$ 的空气过滤器。这与国际现行标准基本接轨,对促进中国空气过滤器产品质量的提高及国际化有重要作用。尽管目前国内受试验条件所限,检测的具体操作方法、仪器性能等方面与美国、欧洲标准还有差距,稍显粗略,但有此基础,将来再修订时,必将更趋完善。

2 空气过滤器的分级

空气过滤器分级的主要目的是识别和判定其性能,以使用户根据工程需要来选用。各国标准均以空气过滤器的主要性能——过滤效率作为其分级的依据。同时也辅以终阻力指标作为空气过滤器分挡的参数。

一般通风用空气过滤器主要涉及粗效、中效、高中效、亚高效等级别的空气过滤器,通常列为一类;而洁净室、洁净装置末端所用的高效、超高效空气过滤器,其效率值均接近 100%,往往需要以穿透率的量级来判别其性能,可归为另一类^[19],与上一类相衔接。

如前所述,欧美和中国标准所规定的空气过滤器过滤效率检测方法不同,其分级依据也不同。为

① 此值处于该标准所规定的高中效和中效空气过滤器额定风量下的过滤效率值之间,何以确定此值未查到相关说明。——笔者注

便于国际学术交流和商品流通,就需要了解国际、国内空气过滤器的主要分级方法,以及各种分级方法间客观存在的联系。

2.1 欧盟的粗效、中效空气过滤器分级

欧盟标准 EN 779:2002 维持 EN 779:1993 的计重效率法不变,同时保留了 EN 779:1993 标准中空气过滤性能测试台的基本设计,但废弃了大气尘比色法的试验方法,而以 DEHS 气溶胶和光学粒子计数器法替代。因此,其分级依据也相应变更,但依据试验数值,EN 779:2002 标准采用对 $0.4\ \mu\text{m}$ 粒子的过滤效率来分级,其结果与采用比色法的 EN 779:1993 分级结果极其吻合,所以其分级档次并未变动,只是改动了判定级别的依据。EN 779:2002 标准的具体分级方法如表 5 所示。

表 5 EN 779:2002 标准对一般通风用空气过滤器的分级

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		$95\% \leq E_m$

表 5 的分级是基于额定风量或试验风量 $0.944\ \text{m}^3/\text{s}$ ($3\ 400\ \text{m}^3/\text{h}$) 给出的。也就是说,属于粗效过滤器的 G 系列在额定风量下其最大终阻力为 250 Pa,属于中效过滤器的 F 系列在额定风量下其最大终阻力为 450 Pa。如果过滤器试验风量和上述要求不同,也可按表 5 分级,此时分级标识后用括号注明试验条件,如 G4 ($0.7\ \text{m}^3/\text{s}$, 250 Pa),表明在 $0.7\ \text{m}^3/\text{s}$ ($2\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$) 的试验风量下,计重过滤效率 $A_m \geq 90\%$,同时终阻力宜为 250 Pa。又如 F7 ($1.25\ \text{m}^3/\text{s}$, 450 Pa),表明该过滤器在 $1.25\ \text{m}^3/\text{s}$ ($4\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$) 的试验风量下,对 $0.4\ \mu\text{m}$ 粒子的平均效率为 $80\% \leq E_m \leq 90\%$,其终阻力为 450 Pa。

2.2 美国的粗效、中效空气过滤器分级

美国以往对一般通风用空气过滤器并未划分级别,ANSI/ASHRAE 52.2-1999 废弃了大气尘比色效率法,改用最低效率报告值 MERV 确定中效空气过滤器的过滤效率,并以 MERV 作为过滤器分级的依据。

ANSI/ASHRAE 52.2-1999 规定根据给定的一组可选试验风速(如未指定风速,则在对应于 $2.5\ \text{m/s}$ ($492\ \text{fpm}$) 的风量下)进行过滤效率测定;若未指定终阻力,则按 350 Pa ($1.4\ \text{in H}_2\text{O}$) 的终阻力进行试验。ANSI/ASHRAE 标准对粗效、中效空气过滤器的分级如表 6 所示。

表 6 ANSI/ASHRAE 标准对粗效、中效空气过滤器的分级

最低效率报告值 MERV	各粒径组平均粒径效率			平均计重效率 A_{avg}	试验终阻力/ Pa(in H_2O)
	$E_1(0.3 \sim 1.0\ \mu\text{m})$	$E_2(1.0 \sim 3.0\ \mu\text{m})$	$E_3(3.0 \sim 10.0\ \mu\text{m})$		
1			$E_3 < 20\%$	$A_{\text{avg}} < 65\%$	75(0.3)
2			$E_3 < 20\%$	$65\% \leq A_{\text{avg}} < 70\%$	75(0.3)
3			$E_3 < 20\%$	$70\% \leq A_{\text{avg}} < 75\%$	75(0.3)
4			$E_3 < 20\%$	$75\% \leq A_{\text{avg}}$	75(0.3)
5			$20\% \leq E_3 < 35\%$		150(0.6)
6			$35\% \leq E_3 < 50\%$		150(0.6)
7			$50\% \leq E_3 < 70\%$		150(0.6)
8			$70\% \leq E_3$		150(0.6)
9		$E_2 < 50\%$	$85\% \leq E_3$		250(1.0)
10		$50\% \leq E_2 < 65\%$	$85\% \leq E_3$		250(1.0)
11		$65\% \leq E_2 < 80\%$	$85\% \leq E_3$		250(1.0)
12		$80\% \leq E_2$	$90\% \leq E_3$		250(1.0)
13	$E_1 < 75\%$	$90\% \leq E_2$	$90\% \leq E_3$		350(1.4)
14	$75\% \leq E_1 < 85\%$	$90\% \leq E_2$	$90\% \leq E_3$		350(1.4)
15	$85\% \leq E_1 < 95\%$	$90\% \leq E_2$	$90\% \leq E_3$		350(1.4)
16	$95\% \leq E_1$	$90\% \leq E_2$	$90\% \leq E_3$		350(1.4)

与 EN 779 标准相比,ASHRAE 标准的分级显得过细,档次偏多。大体上来说 MERV 12 级以

下均属粗效与中效范围,MERV 13~16 级属于高中效范围,而欧盟标准的 F 系列基本上都在高中

效范围内。

2.3 中国的粗效、中效空气过滤器分级

GB/T 14295—2008《空气过滤器》给出的分级方法如表 7 所示。

表 7 GB/T 14295—2008《空气过滤器》的分级方法

性能类别	代号	迎面风速/(m/s)	额定风量下的效率(E)	额定风量下的初阻力(Δp_i)/Pa	额定风量下的终阻力(Δp_f)/Pa
亚高效	YG	1.0	$99.9\% > E \geq 95\%$	≤ 120	240
高中效	GZ	1.5	$95\% > E \geq 70\%$	≤ 100	200
中效 1	Z1	2.0	$70\% > E \geq 60\%$	≤ 80	160
中效 2	Z2	2.0	$60\% > E \geq 40\%$	≤ 80	160
中效 3	Z3	2.0	$40\% > E \geq 20\%$	≤ 80	160
粗效 1	C1	2.5	$E \geq 50\%$	≤ 50	100
粗效 2	C2	2.5	$50\% > E \geq 20\%$	≤ 50	100
粗效 3	C3	2.5	$E \geq 50\%$	≤ 50	100
粗效 4	C4	2.5	$50\% > E \geq 10\%$	≤ 50	100

注:当效率测量结果同时满足表中 2 个类别时,按较高类别评定;中效、高中效、亚高效的效率是 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 粒子的计数效率,粗效 1、粗效 2 的效率是 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒子的计数效率,粗效 3、粗效 4 的效率是标准人工尘计重效率。

与欧美标准相反,GB/T 14295—2008 的分级排序是由高至低的,并保留了 GB/T 14295—1993 标准中空气过滤器按效率范围分为 4 类的方法,即仍分为亚高效、高中效、中效、粗效几类,不同之处在于:

1) 将中效细分为 3 个级别——中效 1(Z1)、中效 2(Z2)、中效 3(Z3),将粗效细分为 4 个级别(C1~C4)。

2) 除 C3、C4 是以人工尘计重效率分级外,其余的 7 个级别均以人工尘计数计径效率来判定。中效至亚高效的 5 个级别均以 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 粒子的计数效率值来区分,粗效的 C1 和 C2 则以 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒子的计数效率值来划分。

这种分类方法较 GB/T 14295—1993 省略了一个粒径挡($1.0 \mu\text{m}$),替换了一个粒径挡(将 $\geq 5.0 \mu\text{m}$ 变更为 $\geq 2.0 \mu\text{m}$)。笔者认为可能存在以下一些缺陷:

1) 高中效仅列一挡,所涵盖范围偏宽。它介于欧盟分级 F6~F8 之间,而这个类别的空气过滤器经常作为一般清洁环境的末级过滤器,如门诊室选用 F7,专业护理室选用 F6;或作为洁净室高效过滤器出风口的前置过滤器,如洁净手术室等^[20-21]。其用途不仅广泛,也较为重要,笼统地归在一类,不便于选定。

2) EN 799 标准或 ASHRAE 52.2 标准中粗效空气过滤器都以计重效率分级,而 GB/T 14295—2008 标准中仅粗效 3、粗效 4 以计重效率区分,而粗效 1 和粗效 2 以 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒子的计数效率判定,粗效 2 与粗效 3 之间可能存在重叠的问题。以 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒子的过滤效率作为部分粗效空

气过滤器分级的判定依据是否贴切,缘由何来,有待论证。

2.4 各国粗效、中效空气过滤器现行分级的比照

采用不同成分、不同颗粒分散度的人工尘源,应用不同的测试方法和不同的数据处理方法得到的空气过滤器的效率值,原则上是不可比较的。从实用的角度来说,最可靠的方法就是采用同一种尘源,用同样的试验方法和相同的数据处理方法,对各种过滤器统一进行测试,才便于依据测试结果来比较和对照各个不同标准分级间的实际关系。如果空气过滤器供应商具备不同标准的测试条件,可提供空气过滤器按不同标准测试所得的过滤效率和相应级别,那么不仅容易对比各个不同标准分级间的关系,也便于选择替代产品。但现实情况下很难做到,不得已只能参照某些过滤器的试验数据,给出不同标准分级的对应范围。例如美国某公司给出了欧、美标准的一个分级对照表^①,如表 8 所示。

如前所述,欧盟标准的 F5~F9 级别是以对 $0.4 \mu\text{m}$ 粒子的平均效率值来划分的。美国标准的 MERV 5~8 是以 $3.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$ 粒子的平均效率来划分的, MERV 9~12 是以 $1.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$ 粒子的平均效率来划分的, MERV 13~16 则是以 $0.3 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 粒子的平均效率来划分的。而中国标准 GB/T 14295—2008 以额定风量下 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 粒子的人工尘计数效率来划分亚高效、高中效及中效 1~3,以 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒子的计数效率来划分粗效 C1 和 C2。

① Filter Efficiency Selection Air Guard Co., Louisville, Kentucky U. S. A. www. Airguard. com, 2010

表 8 欧、美标准的分级对照

计重效率/%	比色效率/%	MERV 额定值	欧盟效率分级	过滤器型式举例
60~80	<20	1~4	G1,G2	纸框板式过滤器、自动卷绕过滤器
80~90	<20	5	G3	纸框板式过滤器、环形板式过滤器、自动卷绕过滤器
90~95	20~30	6	G4	立方体过滤器、无支撑袋式过滤器
90~95	25~30	6~7	G4	板式多折过滤器、立方体过滤器
95	30~40	7~8	G4	无支撑袋式过滤器、板式多折过滤器
95~98	40~50	8~9	F5	密折面袋形过滤器、密折面硬网过滤器
98	50~60	9~10	F5	密折面袋形过滤器、密折面硬网过滤器
99	60~70	10~11	F6	密折面袋形过滤器、密折面硬网过滤器
99	70~80	12~13	F6	密折面袋形过滤器、密折面硬网过滤器
99	80~90	13~14	F7	密折面袋形过滤器、密折面硬网过滤器
99	90~95	14~15	F8	密折面袋形过滤器、密折面硬网过滤器

注:1) 计重和比色效率基于 ASHRAE 52.1-1992 的测试方法;2) MERV 额定值基于 ASHRAE 52.2-1999 的测试方法;3) 欧盟效率分级基于欧盟标准 EN 779:2002 和 EN 1882:1998;4) 过滤器型式举例仅限于该公司的产品。

笔者依据过滤器试验数值绘制了一组过滤器分类曲线,如图 2 中的粗实线所示。3 条粗实线按大气尘计数效率把过滤器按表 1 所列数值划分为粗效、中效、高中效和亚高效几个区域,粗实线的走向大体反映了过滤器计数效率随粒径的变化趋势。

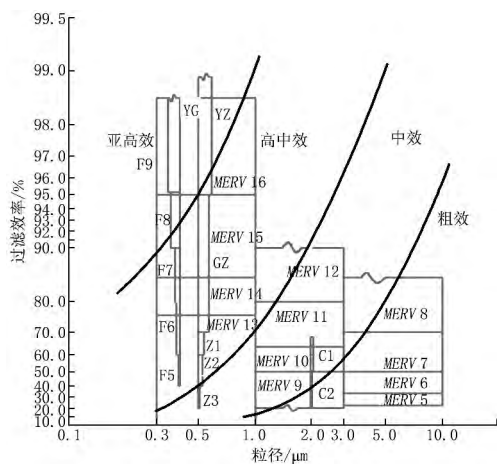


图 2 各种过滤器分级的对照

例如 MERV 14 的平均计径效率($0.3 \sim 1.0 \mu\text{m}$) E_1 为 75%~85%,在图 2 中对应的效率范围正处于高中效过滤器类别区域, MERV 13($E_1 < 75\%$)和 MERV 15($85\% \leq E_1 < 95\%$)的过滤效率范围主体部分也在高中效类别区域;以平均计径效率($1.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$) E_2 为标志的 MERV 10($50\% \leq E_2 < 65\%$)和 MERV 11($65\% \leq E_2 < 80\%$)在图 2 中处于中效类别区域, MERV 9 介于粗效与中效交错区域, MERV 12 则介于中效与高中效交错区域;以平均计径效率($3.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$) E_3 为标志的 MERV 5~7 在图 2 中处于粗效类别区域, MERV 8 则介于粗效与中效交错区域。

欧盟的分级以对 $0.4 \mu\text{m}$ 粒子的平均效率(E_m)为依据,从图 2 可以看到 F5~F7 都处于高中效类别区域,大体与 MERV 13~15 相当。

在图 2 中横坐标 $0.5 \mu\text{m}$ 处,按 GB/T 14295—2008 标准的分级指标相应给出了 Z1, Z2, Z3 和 GZ, YG 的参考位置。例如 Z1 与纵坐标 60%~70% 范围相对应, GZ 与 70%~95% 相对应。需要特别注意的是, GB/T 14295—2008 标准的分级指标是以 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 和 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 的人工尘计数效率来确定的。根据表 4 中的人工尘粒径分布, $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 的粒子约占 30%~40%。也就是说, GB/T 14295—2008 标准的分级标志不应在图 2 的 $0.5 \mu\text{m}$ 处,而应向右偏移至 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 之间的某处。

以过滤器分类曲线为依据^[22],从图 2 可以看到,美国的分级虽然数量偏多,但各类别界限相对明确,分类方法较科学。如 MERV 5~8 处于粗效范围, MERV 9~12 处于中效范围, MERV 13~16 处于高中效范围。

从图 2 也可以看到,欧盟标准的分类相对来说偏高。例如, F5~F8 处于高中效范围,与美国的 MERV 13~15 相当; F9 与 MERV 16 相当,已进入亚高效范围。依据表 8 的数值,如果欧盟标准的 G4 的比色效率范围为 20%~40%,则其近似与 MERV 10~12 相对应; G3 可能与 MERV 5~8 相对应, G2 与 MERV 2~4 相当, G1 与 MERV 1 相对应。由此看来,表 8 所列的 MERV 分级与欧盟分级的对应关系,估高了 MERV 的级别。

对比美国与欧盟标准的过滤器分级,笔者认为

美国标准分级偏多,工程应用中不需要这么细分,以免在生产管理上增添困难;而欧盟标准的 G1~G4 几乎涵盖了美国标准 *MERV* 1~12 的范围,特别是 G3 与 G4 覆盖了 *MERV* 5~12 的范围,又显得偏粗,宜在其间增加级数,以便区分性能,利于用户选用。

中国现行标准的粗效、中效分级与美、欧标准的分级大致对应关系为:按人工尘计重效率分级的 C3 与美国标准的 *MERV* 1 或欧盟标准的 G1 相当,即计重效率均 $\geq 50\%$,而 C4 则低于欧、美标准的最低挡。从工程应用来衡量,人工尘计重效率在 50% 以下的空气过滤价值不大,似乎无需设立 C4 这一级粗效。

从图 2 可以看到,中国标准的粗效 C2 大致与

MERV 6~8 对应,C1 相当于 *MERV* 9~10。中国标准的中效 Z1,Z2,Z3 大致与 *MERV* 12,*MERV* 11 及 *MERV* 10 相对应,其中 Z1 大致与欧盟的 F5 对应,Z2,Z3 则与 G4 相当。按笔者的分类曲线,Z1 在高中效范围,Z2 与 Z3 在中效范围,粗效 C1 也处在中效范围,而且 Z3 与 C1 虽以人工尘不同粒径挡的过滤效率为分级依据,但它们之间大致衔接,并无大的空缺。问题在于高中效 GZ 大致覆盖 *MERV* 13~15 级,与欧盟标准的 F6,F7 及 F8 的下半部性能相当,而 GZ 笼统划为一个级别,覆盖范围偏宽,宜增加分级,以便与欧美标准对应。

笔者借鉴文献[23]中空气过滤器效率规格比较的图示方法,将中国、美国及欧盟的过滤器分级对应关系绘制成图,如图 3 所示。

16	≥95%	≥90%	≥95%	F9	≥95%	YG	95%~99. 9%	业高效							
15	≥90%		85%~95%	F8	90%~95%	GZ	70%~95%								
14			75%~85%	F7	80%~90%										
13			<75%	F6	60%~80%										
12	≥80%	E_1		F5	40%~60%	Z1	60%~70%	中效							
11	≥85%	65%~80%	G4		≥90%	Z2	40%~60%								
10		50%~65%				Z3	20%~40%								
9		<50%				(≥0. 5 μm)									
8	≥70%	E_2		G3	80%~90%	C1	≥50%	粗效							
7	50%~70%	G2				65%~80%	C2		20%~50%						
6	35%~50%						(≥0. 2 μm)								
5	20%~35%						C3		≥50%						
<table><tr><td>≥75%</td><td>4</td><td rowspan="4"><20%</td></tr><tr><td>70%~75%</td><td>3</td></tr><tr><td>65%~70%</td><td>2</td></tr><tr><td><65%</td><td>1</td></tr></table>				≥75%	4					<20%	70%~75%	3	65%~70%	2	<65%
		≥75%	4	<20%											
		70%~75%	3												
65%~70%	2														
<65%	1														
		C4	10%~50%												

A_{avg}

MERV

ASHRAE 52. 2-2007

E_3

EN 779:2002

GB/T 14295—2008

GB/T 14295—1993

图 3 中、美、欧空气过滤器分级标准对照

美国标准以 *MERV* 值为标准的分级依据,虽然存在级数偏多,特别是在粗效过滤器范围内分级过多,工程应用价值不大,但总体来看,其分级间衔接较好,不存在过大的空挡。为此,笔者选择美国标准 ANSI/ASHRAE 52.2-2007 中以 *MERV* 排序的分级作为比较基准。

从图 3 可以看到,欧盟标准 EN 779:2002 的分级中,在 G4 与 F5 之间存在较宽的不确定区域,G3,G4 几乎和 *MERV* 5~12 相对应。一方面表明 *MERV* 在此区段可能分级偏多,另一方面也反映

出 EN 779:2002 在以人工尘计重效率 A_m 为准的 G 序列分级与以 $0.4 \mu\text{m}$ 人工尘计数效率的 F 序列分级之间存在衔接问题,在 G4 与 F5 之间宜增加分级档次。

中国空气过滤器标准的分级可能也存在类似的问题:

1) 以人工尘计重效率为分级标准的 C4,其效率值范围的下限定为 10%,不仅远低于欧美标准的下限值,而且也没有工程应用价值。

2) C2 与 C3 之间空挡较大。C2 是以人工尘

源 $\geq 2.0 \mu\text{m}$ 粒子的计数效率值来判定的,约相当于MERV 7~8级,处于EN 779的G4范围。而C3仅以人工尘计重效率 $\geq 50\%$ 来定义,并无上限。从图3可以看到其跨越的范围约为MERV 1~7或G1~G3。将这样宽的范围归为一个级别稍显粗略,也造成C2与C3之间的脱节。主要原因是二者虽都归属粗效过滤,却以不同测试方法的过滤效率为依据来分级,2种测试方法所得过滤效率间的对照关系又缺乏试验数据作参照,以致C3涵盖范围偏宽,不利于过滤器性能比较与选型。Z3与C1间也不同程度的存在类似的问题。以往空气过滤器只有类别之分,欧美标准提出粗效、中效空气过滤器按过滤性能分级的概念,不过是近十几年的事。而近些年来,一般通风用空气过滤器的欧美标准,又经历了过滤效率测试方法及结果处理方法上较大的变革,例如,美国标准ASHRAE 52.2-1999和欧盟标准EN 779:2002先后以人工尘计数计径法取代了沿用多年的大气尘或人工尘比色法。过滤效率测试方法改变,其级别划分的依据相应变化。但目前看来在这面积累的试验数据和资料尚不够充分,所划分的级别未必科学与合理,尚有待时间的检验。将来,相关标准可能会在适当的时机,依据较长阶段的经验作出更科学的调整。

3 结语

本文分析了国内外通风用空气过滤器的过滤效率的测试方法、分级依据及不同分级标准相应级别间的比照关系,研究的结果将有助于相关技术人员为空调通风系统科学地选择适用的空气过滤器,以利于保证所处环境的空气质量,并节约可观的能源。

参考文献:

- [1] 涂有,周志坤,John Burnett,等. 香港住宅室内环境及污染暴露量研究[J]. 环境科学学报,2003,23(4): 476-482
- [2] Tu E Y, Chau C K, Tu G B. Evaluating the effectiveness of air pollution abatement policy of Hong Kong[J]. Transactions of Tianjin University, 2007, 13(1): 70-78
- [3] 涂光备. 制药工业的洁净与空调[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社,2006
- [4] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 52. 1-1992 Gravimetric and dust-spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter[S]. Atlanta: ASHRAE Inc,1992
- [5] European Committee for Standardization. EN 779: 1993 Particulate air filters for general ventilation—determination of the filtration performance [S]. Brussels:Management Centre, rue de Stassart, 1993
- [6] International Organization for Standardization. ISO 12103-1 As fine test dust for filter evaluation, part A, Arizona test dust[S]. Geneva: ISO, 1999
- [7] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007 Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size [S]. Atlanta: ASHRAE Inc,2007
- [8] JACA JSA JIS B 9908—2001 换气用エアフィルタユニット・换气用电集じん器の性能試験方法 [S] 东京:日本规格协全,2001
- [9] 中国建筑科学研究院. GB/T 14295—2008 空气过滤器[S]. 北京:中国标准出版社,2008
- [10] 中国制冷空调工业协会(CRAA). CRAA/DS:2007 空气过滤器——分级与标识[S]. 北京:中国制冷空调工业协会,2007
- [11] 国家技术监督局. GB 12218—89 一般通风用空气过滤器性能试验方法[S]. 北京,1989
- [12] 涂光备. 对空气过滤器分类及对分类标准的一点浅识[J]. 洁净技术,1983,1(1):14-18
- [13] 涂光备. 关于空气过滤器的一些问题[J]. 制冷学报,1985,7(4):22-26
- [14] 中国建筑科学研究院. GB/T 14295—1993 空气过滤器[S]. 北京,1993
- [15] 涂光备. 关于纤维滤料的研究[J]. 天津大学学报,1981,14(2):94-109
- [16] 涂光备. 纤维型空气过滤器效率的理论曲线及其分析[J]. 暖通空调,1983,13(4)
- [17] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 52. 2-1999 Gravimetric and dust-spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter[S]. Atlanta: ASHRAE Inc, 1999
- [18] European Committee for Standardization. EN 779: 2002 Particulate air filters for general ventilation—determination of the filtration performance [S]. Brussels:Management Centre, rue de Stassart, 2002
- [19] International Organization for Standardization. ISO 29463-1:2011 High efficiency filter and filter media for removing particles in air—part 1: classification, performance and masking[S]. Geneva: ISO, 2011
- [20] 涂有,涂光备. 医院手术室洁净技术措施探讨[J]. 暖通空调,2010,40(5): 57-63
- [21] 涂有,涂光备. 美国医院手术室空调通风标准的演变[J]. 中国医用工程与装备,2011,3(1):24-29
- [22] 涂光备. 洁净室及相关受控环境——理论与实践[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2014
- [25] 蔡杰. 空气过滤 ABC[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002