



JG/T 388—2012《风机过滤器机组》解读

中国建筑科学研究院 张彦国[☆]

摘要 介绍了该标准的编制过程和具体内容,包括编制背景、主要内容、应用范围、分类和标记等,重点介绍了术语和定义、要求、试验方法。

关键词 风机过滤器 机组 标准 术语 定义 试验方法

Interpretation of the *Standard of fan filter unit*

by Zhang Yanguo[★]

Abstract Presents the compiling process and content of the standard, including the background, main content, scope of application, classification and naming, and focuses on the terms and definitions, requirement and test method.

Keywords fan filter, unit, standard, term, definition, test method

★ China Academy of Building Research, Beijing, China

①

1 编制背景

风机过滤器机组(fan filter unit, FFU)是一种常用的净化设备,早在 20 世纪 60 年代,就已经在单向流洁净室中应用,主要用以解决部分单向流洁净室机房面积不足,吊顶层高不够的问题,在 20 世纪 80 年代随着电子工业的发展,开始大面积使用。

FFU 有很多优点,最大的优势在于使用灵活、施工简单、负压无泄漏等,广泛地应用于电子、医药等行业洁净室中,尤其是高级别洁净室,最多几千台同时使用。随着电子、生物医药产业的飞速发展,FFU 的应用越来越广。FFU 应用广泛,但在国内,除了一些生产厂家自编的企业内部标准,一直缺少统一的标准规范,对于 FFU 的产品质量和性能,缺乏统一、科学、准确、方便的检测评价方法,各厂家的产品质量、技术参数等,缺乏可比性。随着节能环保重视程度的提高,客户越来越倾向于选择高能效低能耗的机组,迫切需要相关标准的出台。在这种背景下,中国建筑科学研究院会同国内科研机构以及十几家生产厂家,充分吸取国际先进理念,听取不同意见,通过研究、总结和试验,共同编制了该标准。

编制过程中,编制组参考了国内外洁净、通风领域的相关标准,以及一些企业的内部标准。美国

的 IEST(Institute of Environmental Sciences and Technology,环境科学与技术研究所)组织工作组进行了 FFU 性能检测方面的研究工作,但截至目前,尚无相关文件出版。

2 主要内容

该标准共分 8 个章节和 1 个附录,包括:1 范围;2 规范性引用文件;3 术语和定义;4 分类与标记;5 要求;6 试验方法;7 检验规则;8 标志、包装、运输和贮存。附录为风机过滤器机组实验室内风量、压力和功率试验方法。

3 应用范围

在该标准中,FFU 定义为:由风机、高效(或超高效)空气过滤器、箱体及控制单元等组成的,具有一定的模数尺寸和标准规格,采用标准龙骨安装的空气净化处理设备。其最大的特点是标准化,即标准的模数化尺寸和安装龙骨,各厂家的产品虽然在尺寸上会略有区别,但是可以互换使用。由于模数规整,可以方便地组合使用,而且与之配套的盲板、

①☆ 张彦国,男,1972 年 9 月生,大学,教授级高级工程师
100013 北京北三环东路 30 号中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院
(010) 84278377
E-mail: zhyg2010@126.com
收稿日期:2013-11-15

灯具等具有同样的标准规格。而对于尺寸、规格、形式随机的,带风机和高效过滤器的局部净化设备,通常称之为局百(即相对于单向流百级而言的局部百级)、自净器、层流罩等,这些都有别于 FFU,并不适用于本标准。常规机组的样式和组成如图 1 所示。

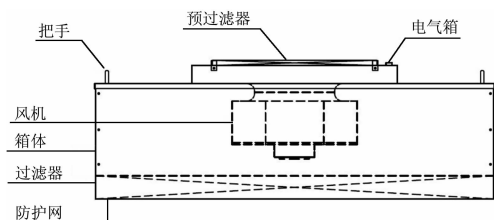


图 1 常规 FFU 机组的样式和组成

4 术语和定义

4.1 风机过滤器机组(FFU)

FFU 起源于国外,中文称谓并不统一,如“风机过滤器组合”、“风机过滤单元”等,最终命名为“风机过滤器机组”主要考虑以下几个原因:unit 翻译为“机组”比“单元”更能突出 FFU 自带风机的特性,另外,在国家标准 GB/T 14294—2008 中,central-station air handling units 定义为组合式空调机组(AHU),在 GB/T 19232—2003 中,fan-coil unit 定义为风机盘管机组(FCU),因此将 FFU 定义为“风机过滤器机组”比较统一。

4.2 机组模数尺寸(modular size)

用以安装机组的龙骨中心距。

机组模数尺寸的概念是首次提出,机组尺寸没有意义,因为对于各厂家生产的 FFU,几乎没有尺寸相同的,机箱的高度差别较大,长和宽上也会有几 mm 的差别。真正能将这些产品统一起来的是安装龙骨,其安装龙骨的中心距是统一的,最常用的尺寸是 1 200 mm 和 600 mm,统一的规格使得无论设计制图还是施工安装,都十分方便。

4.3 过滤器面风速(filter face velocity)和机组面风速(unit face velocity)

实现洁净级别的重要参数是风速,FFU 能提供的风速是最主要的参数之一。在 GB 50472—2008《电子工业洁净厂房设计规范》中,要求单向流的平均风速为 $0.2 \sim 0.45 \text{ m/s}$ ^[1],卫生部 2010 年颁布的《药品生产质量管理规范》中,对于单向流的风速规定为 $0.36 \sim 0.54 \text{ m/s}$ 。这些风速值都是指在工作区达到的实测值。每个产品的技术说明都会注明机组风速值,但这些风速所代表的实际意义

却各不相同,有的是在机组过滤器以下 15 cm 或 10 cm 位置的实测值,有的是根据实测风量计算而来的,所以无可比性。最能反映机组性能的应该是机组风量,由于实际使用中比较关心风速值,所以可通过风量计算出相应的风速。

如何计算风速? 机组下面距过滤器出风面 10~15 cm 位置处的实测风速,大致对应的是机组高效过滤器滤芯净面积,和机组实际应承担的模数尺寸面积有区别,以 $4' \times 2'$ 的 FFU 为例,安装模数,即吊顶龙骨的中心线是 $1\,200 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$,而实际机组机箱尺寸往往为 $1\,175 \text{ mm} \times 575 \text{ mm}$ 左右,过滤器的尺寸还要小一点,基本为 $1\,170 \text{ mm} \times 570 \text{ mm}$,滤芯的净尺寸一般为 $1\,160 \text{ mm} \times 560 \text{ mm}$ 左右。如果测出风量为 $910 \text{ m}^3/\text{h}$,那么按照 $1\,200 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ 来计算,风速为 0.35 m/s ;按照 $1\,160 \text{ mm} \times 560 \text{ mm}$ 来计算,风速为 0.39 m/s ,相差 10% 以上。由此,该标准首次引入过滤器面风速和机组面风速的概念:

过滤器面风速,标准状态空气下,机组风量与过滤器滤芯净截面积的商。

机组面风速,标准状态空气下,机组风量与机组模数尺寸截面积的商。

从实际使用考虑,机组的面风速更有实际意义。

4.4 额定风量(rated airflow)

额定风量是指机组通常能提供的风量值,为方便起见,将不同型号的机组风量值定义为整数,比如模数尺寸为 $600 \text{ mm} \times 1\,200 \text{ mm}$ 的机组,额定风量定义为 $1\,000 \text{ m}^3/\text{h}$; $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ 的机组额定风量定义为 $500 \text{ m}^3/\text{h}$; $1\,200 \text{ mm} \times 900 \text{ mm}$ 的机组额定风量定义为 $1\,500 \text{ m}^3/\text{h}$; $1\,200 \text{ mm} \times 1\,200 \text{ mm}$ 的机组额定风量定义为 $2\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。因为对于 FFU 来讲,还有一些不同的规格,因此用相应的过滤器面风速来定义额定风量:在标准状态空气下,用机组过滤器滤芯净截面积与 0.45 m/s 相乘并取整,单位为 m^3/h 或 m^3/s 。这样不同规格,即便是非标准的机组,也能计算出相应的额定风量。

FFU 机组的额定风量比相应过滤器的额定风量要低大约 30%,例如在 GB/T 13554—2008《高效空气过滤器》规范中,无隔板高效空气过滤器 $570 \text{ mm} \times 1\,170 \text{ mm}$ (适用于 $600 \text{ mm} \times 1\,200 \text{ mm}$ 机组)的额定风量为 $1\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ ^[2]。

4.5 机外静压(external static pressure)

与空调机组近似,FFU 能够为用户提供的是机外余压,即扣除了机组自身内部阻力之后的机组可用压力,机外余压并不是一个专业术语,通常见于厂家样本。机外余压应该是机组机外全压,对于 FFU 来讲,由于出口风速非常低,出口动压非常小,可以忽略,因此,FFU 有用的参数是机外静压。即:机组克服过滤器、箱体结构等自身阻力后,可供机外通风系统使用的空气静压值。

4.6 工作状态点(duty point)

FFU 类似于风机,描述 FFU 性能的最佳方法是性能曲线,但不同性能曲线之间的比较并不是非常直观、清楚,往往还需要一定的专业知识,因此在某一相同状态点进行不同机组之间的参数比对,虽有些片面,但对用户来讲,仍不失一种简单、快速的方法。

为了能在某点比对不同机组性能,该标准引入了工作状态点的概念。工作状态点应该是机组最常保持的状态点,这时机组通常在额定风量下,为了克服系统阻力,此时机组还应具有一定的机外静压,因此将工作状态点定义为机组在机外静压为 50 Pa(标准型)或 120 Pa(高静压型)、额定风量下的状态点。

虽说工作状态点应是机组最常保持的状态,但并不是所有机组都能达到,通过实测以及查阅资料,有的机组甚至在机外余压为 0,即空载状态下,过滤器面风速仍达不到 0.45 m/s,这些机组可用场合非常有限,性能有待提高。

4.7 机组空气功率(unit air power)

使用 FFU 机组的目的是通过电能的转换,形成具有一定流量和压头的洁净空气,在 GB/T 1236—2000《工业通风机 用标准化风道进行性能试验》中,这部分有用的功率定义为通风机空气功率 P_u (fan air power)^[3],为质量流量与通风机单位质量功的乘积或进口容积流量、压缩性修正系数 k_p 和通风机压力的乘积。在一些相关国外资料中,被称作机组空气压力功率(unit airflow pressure power)或空气动力功率(airflow dynamic power)。标准采用 GB/T 1236—2000 中的定义,即“在一定工况下,用以使机组空气流动的功率,为机组风量与机外静压的乘积。”当风量的单位为 m^3/s ,机外静压的单位为 Pa 时,机组空气功率的

单位为 W,例如,某 1 200 mm×600 mm 机组,风量 1 000 m^3/h ,机外静压 50 Pa,则机组空气功率为 13.9 W。

4.8 机组效率(unit efficiency)

机组效率定义为“机组空气功率和输入机组的全部功率的百分比”。对于 FFU 来讲,由于其自身特点,机组效率都不会很高,最高能达到 40% 左右,很多都达不到 20%,而且机组效率曲线近似于一条抛物线,在有效使用段(工作状态点附近,过滤器面风速 0.3~0.5 m/s 之间),效率在 30% 左右。

4.9 送风均匀性(airflow uniformity)

对于单向流洁净室,送风风速均匀性是一项重要参数,因此,FFU 的出风速度均匀性是 FFU 的另一项重要指标。通常机组的箱体都不会很大,因此生产家在 FFU 机箱内部结构上下了很大功夫。在风速均匀性评价方法上,该标准参考了 IEST,NEBB,ISO 14644,GB 50591—2010 等国内外相关标准。风速检测的位置通常距离过滤器表面 150~300 mm^[4-5],一般越靠近过滤器出风面,风速越不均匀,气流行进一段距离后即会扩散为均匀状态,因此衡量送风均匀度的风速测试断面不应距出风面太远,该标准中以机组出风断面下 150 mm 处各点风速均匀程度来衡量。评价风速均匀性有两种方法:第一种是相对标准偏差,比如在 IEST-RP-CC002.3《Unidirectional flow clean-air devices》(单向流空气洁净设备)中,规定对风速的测量断面一般距离过滤器表面 300 mm,最大风速相对标准偏差为 15%^[6]。第二种是偏差,如一些厂家用 150~300 mm 断面各点风速与平均风速的偏离程度来衡量风速均匀度,要求偏差在±20% 以内。通过计算可知,第二种方法更加严格,不允许有任何偏离过大的风速点,通过数据比较,很多采用最大偏差衡量不合格的数据,采用风速相对标准偏差衡量是合格的,在各点风速比较接近的时候,两者的评价是基本一致的。FFU 送风均匀性的目的是为了保证洁净室工作面风速均匀度,通常单向流洁净室工作面风速均匀度的验收,也以相对标准偏差不大于 15% 作为标准,因此在该标准编制过程中,不宜过于严格,首先应该允许个别测点有较大偏离,如果在 FFU 边角上的风速稍高一些,可通过扩散,弥补 FFU 间的风速盲区。再者,如果对送风均匀度要求太严格的话,会使厂家在箱体上增加

过多的均流结构,造成阻力增加,可能造成不必要的能源浪费和噪声增加。

最终采用在空载状态、额定风量下,机组出风断面下 150 mm 处各点风速的相对标准偏差 β_v 来衡量,规定 $\beta_v \leq 15\%$,其值越小,风速越均匀,公式如下:

$$\beta_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(v_i - \bar{v})^2}{n-1}}{\bar{v}}} \quad (1)$$

式中 β_v 为风速相对标准偏差; v_i 为任一点实测风速; $\bar{v}$ 为平均风速; n 为测点数。

4.10 能效指数(energy performance index)

能效指数指机组输入功率与风量的比值,即机组送出单位风量所需的电功率。用 EPI 表示,单位是 $W/(m^3/s)$ 或 $W/(m^3/h)$ 。对于 FFU 机组,机组效率是综合考虑了风量、风压与功率三者的性能指标,但并不一定效率高的机组就是最适用的,某些场合,对于机组的压头要求不高,例如有些用在层流罩上的 FFU 机组,入口和出口都是开敞状态,系统阻力为零,这时需要用能效指数来比较机组性能,只需比较送出相同风量时机组的耗电量,而效率高的机组并不合适,因为压头没有用。需要注意的是采用能效指数比较机组性能时,必须是机组压头相同时才有意义。其实 EPI 应称作“能耗指数”更贴切些,在规范修订时宜作修改。

5 分类和标记

FFU 的型式类别有很多,该标准中分别按照机组模数尺寸、机箱材质、电动机供电方式、机组控制方式、机组静压、过滤器效率等对机组进行了分类,并规定了相应的代号。对于机组标记的规定,参考了若干厂家的方法,力求简洁而又概括,通过标记能了解机组主要性能特征。示例:

FFU0612G-ECU-S-H 表示机箱模数 600 mm×1 200 mm、涂层钢板机箱、无刷直流无级调速控制电动机、标准静压风机、采用高效过滤器的机组。

6 要求

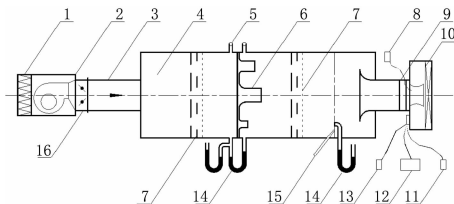
从机组材料、部件以及结构上对机组作了一些基本规定。其中比较重要的有:对于因为消声需要,在机组内部贴附的吸声材料,强调应“不产生,在机组使用期限内,不会老化脱落,其耐火性能不得低于 GB 8624—1997《建筑材料燃烧性能分级方

法》中 B1 级的规定。”实践中发现,一些在消声室中常用的泡沫吸声材料,会老化,脱落,在洁净领域并不适用。

7 试验方法

7.1 关于风量、机外静压、功率试验

风量、机外静压和功率是机组最重要的几个参数,而且几个参数是相互关联的,该标准以规范性附录的形式给出了测试装置要求和方法,如图 2 所示。



1 空气过滤器 2 变频辅助风机 3 过渡风管 4 试验风室 5 静压孔
6 多喷嘴流量计 7 稳流装置 8 转速表 9 连接装置 10 被测机组
11 控制器 12 稳压电源 13 功率表 14 微压计 15 温度计 16 节流装置

图2 标准中给出的FFU性能试验装置——
采用多喷嘴风室C型试验装置

多喷嘴风室并不是唯一适用的装置形式,但这种装置的形式、精度、范围等非常适合 FFU 的测试,用户也可根据实际情况选用其他形式,但必须符合 GB/T 1236—2000《工业通风机 用标准化风道进行性能试验》的要求。另外对于喷嘴下游部分装置的严密性,需要严格控制,否则会因漏风影响风量测量的准确性。

中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院按照标准的要求,建成 FFU 的通用试验台,如图 3 所示。图 4 为实测某型号 FFU 风量-机外静压和功率的性能曲线,其中风量和静压的数据都应换算为标准空气状态下的值。



图3 根据标准建造的FFU通用试验台

7.2 关于噪声试验

噪声是 FFU 另一个重要参数,当数目较多的

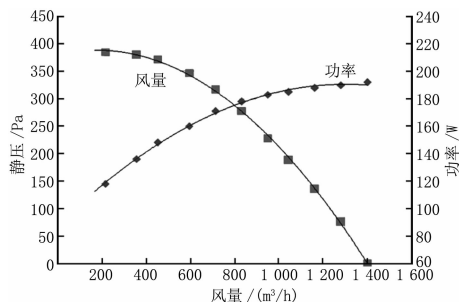


图4 实测某型号FFU风量-静压曲线和风量-功率曲线

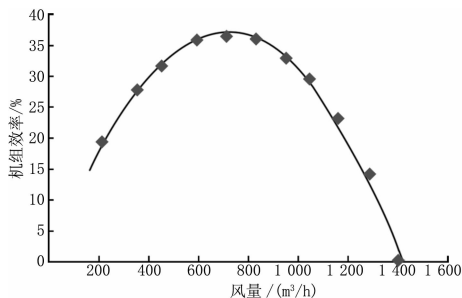


图5 实测某型号FFU风量-效率曲线

FFU一起使用,噪声叠加效应相当明显。表征噪声的大小有声功率级和声压级。声功率级衡量声源发生能力,且与声源的安装位置、环境等无关,特定声源在特定运行条件下,声功率级是恒定的,它能够客观地表征噪声源的特性,有利于产品间的比较,声功率级不能直接测量,需通过测量声压级或声强级后计算得出,而且和人的感觉无关。而通常在工程现场检测的是声压级,声压级的大小受测量环境、距离等影响,可直接测量,和人的感觉直接相关。声压级是常用的表征噪声的物理量。检测声压级是简单、有效的方法,前提是必须规定统一的检测要求,另外采用声压级的噪声值是客户熟悉的,有利于使用和比较。

在消声室里无法同时检测风量、静压和噪声,因此为了进行统一比较,标准规定只进行空载状态下的噪声声压级检测,但需要测试不同挡位或转速下的噪声值。

8 检验规则

这一部分标准规定了不同类型检验(出厂检验、抽样检验、型式检验)的各种要求,包括项目的选择、抽检方案、型式检验的条件、检验数量、合格判定的原则等。

9 标志、包装、运输和贮存

以前不同厂家产品说明书中,经常简单注明风量、功率和噪声值等,没有注明相应工况、试验方法等,无法进行产品间的比对。该标准中规定说明书中必须提供机组性能曲线,包括风量(风速)-机外静压曲线、风量(风速)-功率曲线;建议提供风量(风速)-机组效率曲线,如图5所示,风量(风速)-能效指数(EPI)曲线,如图6所示。

该标准中规定,对于分挡调节的机组,要检测出不同挡位下的性能曲线,对于无级调速的机组,应给出至少3组性能曲线,宜包括最高工况、4/5

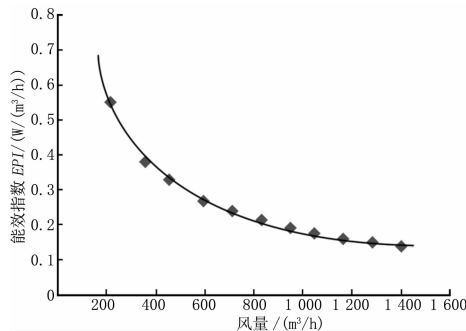


图6 实测某型号FFU风量-能效指数曲线

工况、3/5 工况。

10 结语

FFU在电子、医药等行业的节能潜力巨大,实际检测中发现,不同厂家型号的机组性能差别很大。新标准统一了FFU的性能要求和检测方法,有利于对FFU的性能作出科学、准确的评价,方便客户选择产品,有利于节能高效产品的推广。

参考文献:

- [1] 中国电子工程设计院. GB 50472—2008 电子工业洁净厂房设计规范[S]. 北京:中国标准出版社,2008
- [2] 中国建筑科学研究院. GB/T 3554—2008 高效空气过滤器[S]. 北京:中国标准出版社,2008
- [3] 沈阳鼓风机研究所. GB/T 1236—2000 工业通风机 用标准化风道进行性能试验[S]. 北京:中国标准出版社,2000
- [4] International Organization for Standardization (ISO). ISO 14644-3: 2002 Cleanrooms and associated controlled environments—part 3: metrology and test methods[S]. Switzerland: ISO,2002
- [5] 中国建筑科学研究院. GB 50591—2010 洁净室施工及验收规范[S]. 北京:中国标准出版社,2010
- [6] Institute of Environmental Sciences and Technology (IEST). IEST-RP-CC002. 3 Unidirectional flow clean-air devices[S]. Chicago: IEST,2009