

# ASHRAE 标准 241-2023 简介 (三)

## ——传染风险管理模式 (下)

同济大学 沈晋明 刘燕敏

本期将续上期公众号“ASHRAE 标准 241-2023 简介 (二) ——传染风险管理模式 (上)”讲述传染风险管理模式 (下)，重点阐述空气净化系统性能的确证，并讨论该标准提出“控制传染性气溶胶在于保证不同场所使用空间内的人均洁净风量”的新思路，以及提出“传染风险管理”的新措施。

### 5. 空气净化系统性能确证

#### 5.1 空气净化系统安全性与有效性

空气净化系统的应根据该标准第 7 节的规定，通过测试空气净化系统或同等系统来确定其有效性和安全性。由有管辖权的当局(AHU)指定的责任方，应能证明空气净化装置的操作、性能和安全等性能。责任方可以是空气净化系统的制造商。制造商应审查最终的测试报告，以确保有效性和安全性的准确记录。制造商应证明空气净化系统符合 ASHRAE 标准 241 有效和安全的性能要求。

#### 5.2 空气净化系统的计算效率

用于净化空气处理机组、管道系统或静压箱内空气的风道内净化系统。位于空气处理单元(AHU)、管道系统或静压箱内的每个空气净化系统，用于净化 AHU、管道系统或静压箱内的空气，其有效性应报告为传染性气溶胶去除效率( $\epsilon_{PR}$ )。按照该规范第 7 节和规范附录 A 的规定。等效洁净风量按下式 (3) 计算。

$$V_{ACS} = \left[ \frac{\epsilon_{PR}}{100} \right] \times V_{RC} \quad (3)$$

其中  $V_{ACS}$  =空气净化系统由风道内空气净化系统产生的等效洁净风量，L/s；

$\epsilon_{PR}$  =传染性气溶胶减少的效率，根据规范附录 A 确定，%；

$V_{RC}$  =空气净化系统净化的再循环风量，L/s

在同一通风空调气流通路内串联安装多个一次通过气溶胶降低效率的管内空气净化系统时，其传染性气溶胶降低效率( $\epsilon_{PR}$ )按下式确定：

$$\text{单个系统} \quad \varepsilon_{PR} = \varepsilon_{PR,1} \quad (4)$$

$$\text{两个系统} \quad \varepsilon_{PR} = \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{\varepsilon_{PR,1}}{100} \right) \right] \times \left[ 1 - \left( \frac{\varepsilon_{PR,2}}{100} \right) \right] \right\} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{三个系统} \quad \varepsilon_{PR} = \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{\varepsilon_{PR,1}}{100} \right) \right] \times \left[ 1 - \left( \frac{\varepsilon_{PR,2}}{100} \right) \right] \times \left[ 1 - \left( \frac{\varepsilon_{PR,3}}{100} \right) \right] \right\} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{N个系统} \quad \varepsilon_{PR} = \left\{ 1 - \prod_{j=1}^N \left[ 1 - \left( \frac{\varepsilon_{PR,j}}{100} \right) \right] \right\} \times 100 \quad (7)$$

式中，第  $j$  个空气净化系统根据该标准第 7 节或规范附录 A 确定的传染性气溶胶降低效率。

在使用区域内净化空气用的管内安装空气净化系统。位于每个空气处理机组、管道系统或静压箱内的空气净化系统，用于清洁使用区域内的空气，而不是空气处理机组、管道系统或静压箱内的空气，其有效性应直接报告为等效洁净风量（ $V_{ACS}$ , L/s）。 $V_{ACS}$  应根据规范附录 A 确定。

安装空气净化系统的空气处理机组、管道系统或静压箱内的气流状态应与管道系统中的气流状态相等，以进行有效性测试。如果没有在送风通路上安装空气净化系统的空气处理机组、管道系统或静压箱，则  $V_{ACS}$  应为零。

### 5.3 空气净化装置效率的确定

#### 5.3.1 仅使用机械纤维过滤器的空气净化系统

安装在空气处理机组、管道系统或静压箱内的机械纤维过滤器的传染性气溶胶去除效率应根据式（8）或表 5 确定。

$$\varepsilon_{PR} = W_{E1}\varepsilon_{E1} + W_{E2}\varepsilon_{E2} + W_{E3}\varepsilon_{E3} \quad (8)$$

式中：传染性气溶胶去除效率，%

$W_{E1}$  = 传染性气溶胶在 0.3 ~ 1.0 $\mu\text{m}$  粒径范围内的分数，无量纲

$W_{E2}$  = 传染性气溶胶在 1.0 ~ 3.0 $\mu\text{m}$  粒径范围内的分数，无量纲

$W_{E3}$  = 传染性气溶胶在 3.0 ~ 10.0 $\mu\text{m}$  粒径范围内的分数，无量纲

公式 8 中使用的权重分数为: $W_{E1} = 0.30$ ,  $W_{E2} = 0.30$ ,  $W_{E3} = 0.40$ 。

表 5 机械纤维过滤器的传染性气溶胶去除效率( $\epsilon_{PR}$ )

ANSI/ASHRAE 标准 52.2 MERV(2025 年 1 月 1 日前) MERV-A(2025 年 1 月 1 日以后)	ISO 16890 ePM	$\epsilon_{PR}$ 加权
<11		0%
11	ePM2.5 50%	60%
12	ePM2.5 65%	71%
13	ePM1 50%	77%
14	ePM1 70%	88%
15	ePM1 85%	91%
16	ePM1 95%	95%
HEPA <sup>a</sup>	ISO 20E <sup>b</sup>	99%

a. 高效微粒空气(HEPA)过滤器不能按照 ANSI/ASHRAE 标准 52.2 5 或 ISO 16890-1 6 进行测试。然而, 为了完整起见, 这里包括了 HEPA 过滤器。

b. 按照 ISO 29463 进行测试。

仅使用机械纤维过滤器的住宅室内空气净化器应使用 ANSI/AHAM 标准 AC-1 或 ANSI/AHAM 标准 AC-5 进行测试。对于使用 ANSI/AHAM 标准 AC-5 测试的空气净化器, 报告的 m-CADR 应为等效洁净风量( $V_{ACS}$ )。采用 AHAM 标准 AC-1 测试的空气净化器, 等效洁净风量按式 (9) 确定。

$$V_{ACS} = (W_s \times CADR_s) + (W_d \times CADR_d) + (W_p \times CADR_p) \quad (9)$$

其中:

$V_{ACS}$  = 空气净化系统等效洁净风量, L/s

$W_s$  = 烟草烟雾加权系数, 无量纲

$W_d$  = 粉尘加权系数, 无量纲

$W_p$  = 花粉加权系数, 无量纲

$CADR_s$  = 烟草烟雾洁净空气量, L/s

$CADR_d$  = 粉尘洁净空气量, L/s

$CADR_p$  = 花粉的洁净空气量, L/s

公式（9）中使用的权重分数为： $W_s = 0.30$ ,  $W_d = 0.30$ ,  $W_p = 0.40$ 。对于使用 ANSI/AHAM 标准 AC-1 测试的住宅室内空气净化器，在烟草烟雾的洁净空气量为零或未报告的情况下，等效洁净风量( $V_{ACS}$ )应为零。

仅使用机械纤维过滤器的商业和工业室内空气净化装置的等效洁净风量( $V_{ACS}$ )应根据规范附录 A，使用类似于 ANSI/AHAM AC-18 中描述的定制测试方法，并根据附录 A1.2.2 中概述的测试室尺寸标准进行调整。

管道内安装的机械纤维过滤器。对在空气处理机组、管道系统或静压箱内使用的机械纤维过滤器，没有额外的安全测试要求，不受标准附录 A 中所有安全测试要求的约束。

### 5.3.2 使用灭活传染性气溶胶的空气净化系统

具有灭活传染性气溶胶技术的空气净化器的有效性和安全性应根据该标准第 7 节确定。这适用于所有提供微生物灭活或增强气流去除的空气净化技术，单独或与机械纤维过滤器结合使用，包括紫外线、静电、光催化和电离空气净化系统。

安装在通风空调系统、管道系统或通风室内的除机械纤维过滤器外还具有降低传染性气溶胶性能的空气净化器的有效性和安全性应根据该标准第 7 节进行确定。

用于空气处理机组和风管的紫外线灯的传染性气溶胶去除效率应按照 ANSI/ASHRAE 标准 185.1 10 方法确定，MS2 作为评估微生物。管道内紫外线杀菌辐照的安全性按照规范附录 A 的安全要求确定。

其他风管内安装空气净化系统。处理空气的所有其他管道空气净化器的有效性和安全性应根据规范附录 A 确定。

室内设置空气净化系统。除机械纤维过滤器外，还具有降低感染性气溶胶性能的室内空气净化器的有效性和安全性应根据第 7 节确定。房间上层紫外线杀菌照射系统的有效性和安全性应根据规范附录 A 确定。并应按照 ANSI/IES RP -44- 21 安装和操作。

其他室内设置的空气净化系统。处理空气的所有其他室内空气净化器的有效性和安全性应按照规范附录 A 确定。

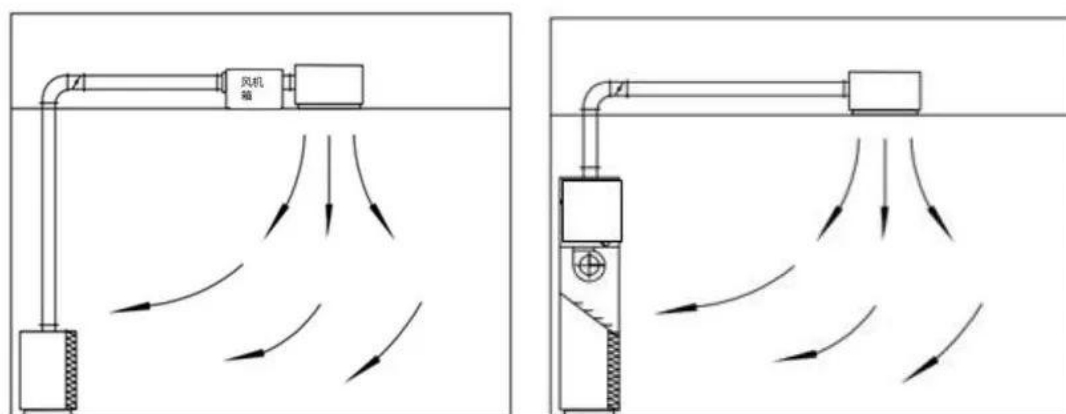
## 6. 结语

每年进入冬季，呼吸道疾病进入高发季节，甚至出现多种呼吸道疾病交织叠加，成为常态。近期急性呼吸道感染（ARI）备受关注。今年 11 月以来，奥密克戎 JN.1 变异株在全球流行毒株中的占比迅速增加，仅从 11 月初的约 4%增长至 12 月初的 30%左右。其传染性与免疫逃逸能力可能比其他毒株更强，使得过去产生的抗体无法起到太大的保护作用。从分布看，欧洲占比最高，美洲等大洲的 JN.1 变异株所占比例亦呈快速增长趋势，被世卫组织认定为“需要关注的变异株”。尽管没有发现 JN.1 变异株的致病力有明显增加，但因此而放松警惕，也许引发今冬明春防控形势紧迫。

防控呼吸道疾病传染个人防护最有效，但不是唯一措施。特别是人员聚集的公共场所或医疗护理场所，当病菌气溶胶浓度增大，单靠普通的个人防护措施（如戴口罩）难以防范。长期

佩戴口罩也无益。在人员聚集的公共场所或医疗护理场所被感染人数居高不下，必须要重视人员聚集场所的环境控制，尽力消除病菌气溶胶，这是降低传染风险的有效措施。

综上所述，ASHRAE 标准 241-2023 提出了“控制传染性气溶胶在于保证不同场所使用空间内的人均洁净风量”的新思路，提出“传染风险管理”的新措施，是一项便捷、实用、有效的运行模式，设计计算明了、系统建造或改建简便。在疫情、或流感高发季节、或短时人流高峰时段等时期中启动该运行模式，可以在保持原系统设计的新风量不变的前提下，开启内置有效过滤或经认证消毒的自循环净化装置，就能在所控空间达到所需的人均洁净风量，缓解呼吸道疾病传播风险，十分有效。这自循环净化装置可以根据所控空间的特点设置在集中通风空调系统、或该空间的管道系统或静压箱内、或直接在空间内。也可同时设置，根据管控要求分别先后启用。由于可灵活与建筑机械通风、自然通风、混合模式结合，十分简便。相对于平疫结合或平急结合来说是一项十分实用的措施。对于工业、医疗、公共场所应设置较大风量的自循环净化装置，而住宅可以直接购买室内净化器商品。我国已有市售的不同形式的自循环净化装置，有立式、卧式、管道安装或室内设置的（图 1 和图 2），这些产品经过了新冠疫情的考验，取得了良好的效果。而且价格不高、建造或改建费用不大。即使没有条件安装管道系统，就地设置立式机组，利用气流对壁面的吸附效应完成了上送下回气流自循环净化（见图 3），效果也不错。



卧式自循环净化系统

立式自循环净化系统

图 1 由自循环净化装置构建的净化系统

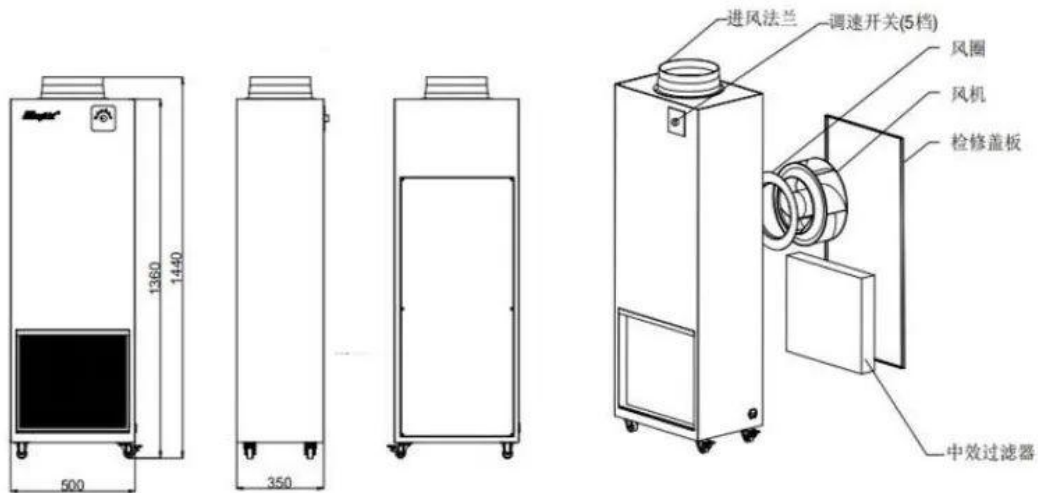


图2 立式自循环净化机组（美埃环境科技有限公司提供）

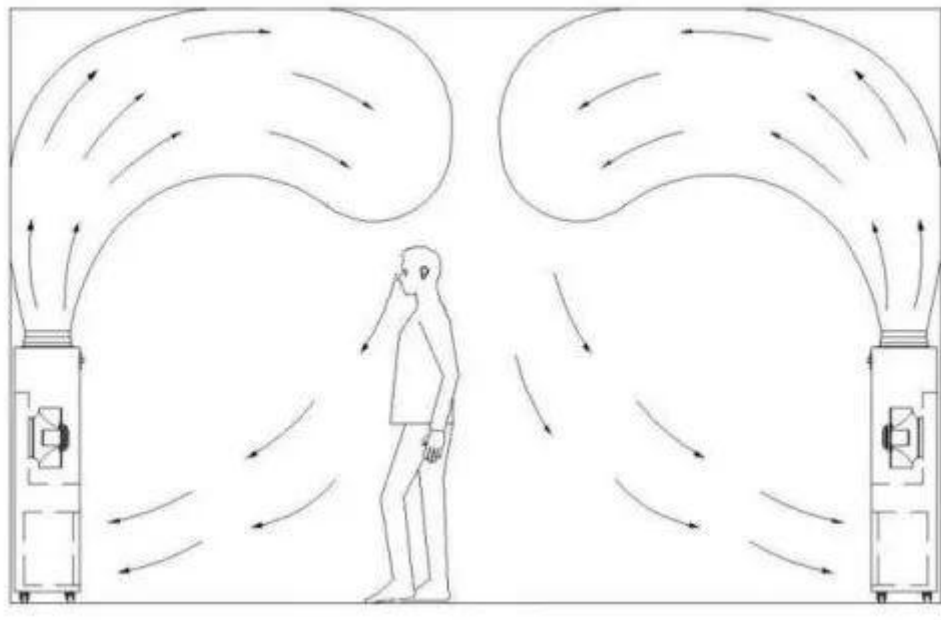


图3 利用气流吸附效应完成自循环净化（美埃环境科技有限公司提供）

希望 ASHRAE 标准 241-2023 的传染风险管理模式能被我国广泛认识与应用，相对于我国平疫结合或平急结合模式，不是侧重于医疗重点感染科室，重在隔离、负压控制，而是针对量大面广的一般医疗环境以及人员密度高的公共场所，重在保障人均洁净风量，抓住了控制传染性气溶胶的关键；不仅在疫情中实施，也可在流感高发季节、短时人流高峰时段等时期灵活启用，有助于及时减少空气传播疾病的传染风险，有助于降低被感染人数。而且投资成本、建设周期与运行费用既经济、合理又有效，这是利国利民的大好事！