

洁净室技术应用中当前的几个热点问题

对当前较被关心的问题，如洁净室的气流速度的确定，FFU 系统的应用及悬浮分子污染控制，进行情况归纳和分析。

一.前言

洁净室的气流速度/换气次数，一直是洁净室设计中受到关注的问题，随着洁净室污染源的控制效果增加及末级过滤器效率的提高等，对有关规范、导则等提出的推荐或参考值是否偏于保守，已有不少讨论；FFU 在应用中人们担心的噪音、损坏维修等问题已在实践中得到解决，随着 FFU 的不断改进，对是否采用 FFU 回风系统也是个热点：悬浮分子污染（AMC）的控制微电子及 IC 工业中已日益提到日程上来，受到关注。以下对这些问题的情况分别作归纳和分析。

二.气流速度

2.1 有关推荐或参考值的应用

洁净室内一定洁净度下气流速度的确定，随洁净室用途等具体情况而异，它不仅受室内发尘量及过滤器效率还受其他因素影响，就工业洁净室而言，影响洁净度及选择气流速度的因素主要是：

- (1)室内污染源：建筑物组件、人员数量及操作活动、工艺设备、工艺材料及工艺加工本身等都是尘粒释放源，根据具体情况而异，变化很大；
- (2)室内气流流型及分布：单向流要求均匀、平等的流线，但会受到工艺设备布置和位置变动及人员活动情况等的干扰形成局部涡流；而非单向流要求充混合，避免死角及温度分层；
- (3)自净时间（恢复时间）的控制要求：洁净室中事故释放或带入污染物或空气气流的中断或正常操作时的间歇性对流气流或人及设备的移动等都会造成洁净度的恶化，恢复到原来洁净度的自净时间决定于气流速度；对自净时间的控制要求取决于此时间框架内（恶化的洁净度下），对产品生产的质量及成品率影响的承受能力；
- (4)末级过滤器的效率：在一定的室内发尘量下，可采用较高效率的过滤器以降低气流速度；为节能应考虑采用较高效率的过滤器，并降低气流速度，或采用较低效率的过滤器并采用较高的气流速度，以求流量与阻力的乘积最小；
- (5)经济性考虑：过大的气流速度造成投资及运行费用的增加，合适的气流速度为以上诸因素合理的综合，过大往往不必要，亦不一定有效果；
- (6)对洁净度要求低的洁净室，有时换气次数决定于室内排热的要求。

以上因素，皆很难量化，只能分析对比并估计。因此在工程应用中，对洁净室的气流速度往往参照有关规范、导则等的推荐或参考值，再按具体情况估计以上各影响因素进行综合考虑后确定。

气流速度用于单向流洁净室；非单向流洁净室宜用换气次数，因为其气流速度难于测准；亦有用末级过滤满布率来反映的，可用于各种气流流型的洁净室，一般满布率 100%相对于流速 0.5m/s（100fpm），25%相对于 0.125m/s（25fpm）。当前有关规范、导则等的推荐或参考值见表 1。

此主题相关图片如下：

洁净度级别	ISO/DIS 14664-4 参考值	我国规范 GB50073-2001 推荐值	IEST.RP-012 推荐值	国外某洁净室设计制造工程公司对过滤器满有的推荐值	医药洁净厂房设计规范 (1997)
ISO1					
ISO2	0.3~0.5m/s	0.3~0.5m/s	0.3~0.5m/s	80~100% (ULPA)	
ISO3	0.3~0.5m/s	0.3~0.5m/s	0.3~0.5m/s	60~100% (ULPA)	
ISO4	0.3~0.5m/s	0.3~0.5m/s	0.25~0.4(m/s)	50~90% (ULPA)	
ISO5	0.2~0.5 m/s	0.2~0.5 m/s	0.13~0.2 m/s	30~70% (HEPA)	
ISO6	0.1~0.3 m/s	50~60 次/h	150~240 次/h	25~40% (HEPA)	
	*70~160 次/h (M 或 N)				
ISO7	36~70 次/h	15~25 次/h	60~90 次/h	15~20% (HEPA)	≥25
ISO8	10~20 次/h	10~15 次/h (8~9 级)	5~48 次/h	5~15% (HEPA)	≥15
ISO9					≥12

注：1、ISO 14644.4 对于气流速度/换气次数是明确作为参考资料的，表中所列仅适用于微电子及 IC 工厂；对制药厂只列 ISO 5 级气流速度≥0.2m/s，对 ISO6~8 级皆未列出参考值。
2、(M) 指混合流，N 指非单向流；*指对污染源已采取有效的隔离措施的洁净区。

表 1 中有关气流速度和换气次数的推荐或参考值，应该说是经验的反映。如 ISO/DIS 14664-4 提出的数值皆明确适用于那类洁净室的；IEST 的推荐值亦是有一些权威机构认为仅适用于半导体工厂。由于具体情况变化较大，有的经验值可能已不适合当前的室内尘源控制措施及过滤器效率提高的情况。

2.2 对有关推荐或参考值的讨论

近年来不少人通过实验认为这些推荐或参考值过于保守，其论点可归纳为：

(1) 洁净室内气流的横向扩散只在甚低的流速下才有可能，单向流在合理的气流组织下，流速 0.05~0.1m/s 就足够带走污染物，在此流速下亚微米粒子的扩散性能远低于对流性能；而大于 0.36m/s 的气流速度反而易千百万涡流，引起污染物的再卷入。因此，洁净室的理想自净时间 $Tr = \text{体积} / \text{流率}$ ，到一定值后由于污染物的再卷入，再增大气流速度，实际的 Tr 并不再有明显的减少。

(2) 末级过滤器的效率对洁净度的影响是值得注意的。有的气流速度/换气次数推荐或参考值对末级过滤器效率提高的因素往往没作考虑。当前 HEPA/ULPA 的效率从 99.67%、99.99%、99.999%、99.9995% 直至 8 个 9 以上都可选择。其效率对气流速度的影响除以上已提及外，以下方面亦值得引起注意，在非单向流情况下，按衡释原理的洁净室内含尘浓度稳定公式可以得出：

(a) 室内发生尘量较高时，末级过滤器效率的变化对洁净度影响甚微，因此在这种情况下，过高的过滤效率是无必要的。

(b) 室内发生尘量较低的情况下，采用低的气流速度下，末级过滤器效率的变速器变化，对洁净度的影响增大。

以上情况可以引用的图 1a~1c 看出。

此主题相关图片如下：

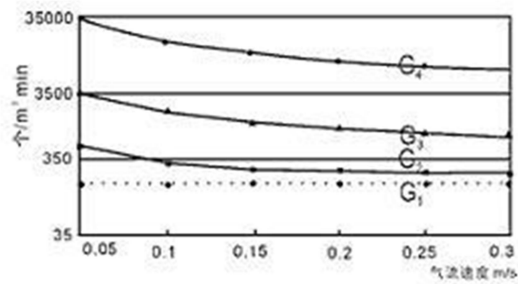


图 1a $\eta r=99.99\%(0.3 \mu m)$

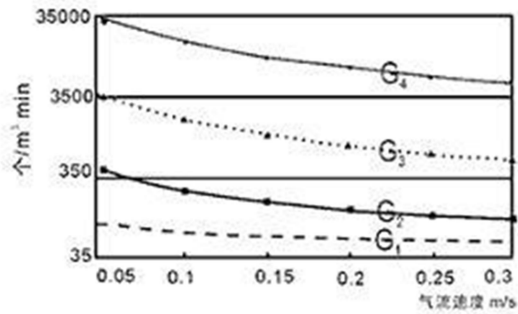


图 1b $\eta r=99.99\%(0.3 \mu m)$

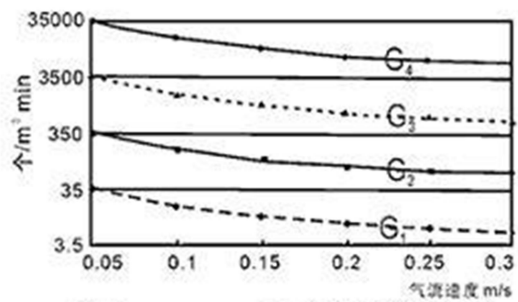


图 1c $\eta r=99.99\%(0.3 \mu m)$

作图有关数据:

新风进末过滤器前的含尘浓度 1.75×10^6 个/ m^3

室内发生量: $G_1=350$ 个/ $m^3 \cdot min$

$G_2=3500$ 个/ $m^3 \cdot min$

$G_3=35000$ 个/ $m^3 \cdot min$

$G_4=350000$ 个/ $m^3 \cdot min$

新风量对于全空气量的比率 0.03

当前有的 IC 工厂其 ISO5 级($0.3 \mu m$)的洁净室, 采用 FFU 系统, 带 ULPA(99.9995%, $0.12 \mu m$), 出口风速为 $0.38 m/s$, 其满布率为 25%, 这样室内平均气流速度为 $0.095 m/s$, 在各有关推荐或参考值的下限下。此洁净室的工艺加工在微环境内洁净室内的人员亦较少, 可以认为洁净室内发生较低, 这种情况下采用低的气流速度可能是可取的。

据报道, 目前 IEST 对洁净室内气流速度推荐值的下限有所降低, 如:

≤ISO5 级: 气流速度 $0.2 \sim 0.5 m/s$;

ISO6 级或 5 级 (非单向流): 换气次数 >200 次/h;

ISO7 级: 换气次数 $20 \sim 200$ 次/h;

ISO8 级：换气次数 2~20 次/h;

三.FFU 系统的应用

3.1 当前 FFU 的情况

FFU 在使用寿命及维护上已经实践证明无可担心。当前其改进主要是：

- (1)采取均流及减少噪音的措施，噪音可在 50db 以内；
- (2)电动机采用 DC/EC（电子整流电机），以耗较原交流电机节约近 50%，因为小风机所用小容量（功率 <1/2HP）的交流电机，一般皆为电容分相式或隐极式，其效率仅 40%左右，而 DC/EC 电机的效率可达 75~80%；在调速控制上可每台单独的以过滤器降压进行控制以节约能耗，但目前投资回收期尚长而未广泛采用，一般常用分组群控或全部群控。
- (3)但 FF 瓣出口静压不能过大，一般采用出口风速成 0.38m/s，此时其静压一般在 250Pa 以内。

3.2FFU 回风系统与其他方式相比的优点

3.2.1 一般评价

优点：

- (1)灵活性大，便于改造；
- (2)占用建筑物空间较少；
- (3)洁净室内空气压力大于回风静压室，排除静压室对洁净室污染的可能性。

缺点：

- (1)要求回风道全部阻力（包括多孔地板、格栅及风道）、干表冷器阻力及末级过滤器的阻力（在初阻力时），总共应控制在 165Pa 左右，以满足运行时最大阻力在 250Pa 以内。因此干表冷器的传热面积要较大，回风道尺寸亦要较大，多孔地板及格栅等的阻力要小，一般作法是：控制干表冷器阻力在 50Pa 左右，回风道阻力在 15Pa 以内，否则就需要再增设加压风机系统，这就是降低了 FFU 系统的综合优点。
- (2)采用 DC/EC 电机后，单位风量的能耗可能比当前一般大型离心风机的集中系统为低，但已有研究指出，比采用改进后的大型轴流风机的回风系统的能耗还是要高。因此需要注意大型轴流风机的效率提高及其系统的阻力降低的因素。
- (3)一般 FFU 系统由于单位风量的能耗较大，因此洁净室的冷负荷亦相应增加。

3.2.2 具体情况下的评价

- (1)FFU 用于老建筑物改造成洁净室时，其综合经济性一般往往可取。
- (2)洁净度要求严的洁净室，末级过滤器满布率 100%时，对大的系统采用 FFU，当前还是不经济的；对小系统有意义作具体比较。
- (3)对洁净度要求不甚严的洁净室，末级过滤器满布率≤40%时对大系统综合经济性往往相差不多，但对 IC 工厂而言 FFU 系统的灵活性是重要的，因此当前 IC 工厂对过滤器满布率≤40%时，采用 FFU 系统已经普遍。

四.悬浮分子污染（AMC）

4.1AMC 的分类及控制要求情况

AMC 作为 IC 工厂所关心的问题于 20 年前最先由日本人提出，近年来，IC 生产园片直径已达 $\phi 300\text{mm}$ ，工艺加工尺寸（线宽）已小于 $0.15\mu\text{m}$ ，在某些加工工序及工序间园片的传送和存放环境中 AMC 已成为严重影响成品率的问题，已被清楚的认识到了，因此，AMC 的控制已由谈论转到需要实施。

对于 IC 生产，AMC 分为 A、B、C、D 四类，即：

A——酸性物质，如 HCl 等；

B——碱性物质，如 NH_3 等；

C——沸点高于室温能在光洁表面冷凝的物质，主要是碳氢化合物，某些工艺加工环境中的水蒸汽亦需要考虑；

D——掺杂物质，能为园片表面吸附或与表面相互反应的物质，如砷、硼、磷等。

AMC 对当前的 IC 生产其潜在的污染比粒子污染要广泛多，粒子污染控制只要确定粒径及个数，但对 AMC 控制而言，除了受芯片线宽的缩小而变化外，并受工艺、工艺设备、工艺材料及园片传送系统等的影响，更有甚者用于某一工序的各种工艺材料（化学品、特种气体等）在很多情况下其微量的分子对下一工序往往可能是污染物，而园片加工工序当前已多于 300 多个独立工序，对 AMC 控制指标的确定更是复杂。因此，IC 生产对 AMC 的控制，对不同的产品、不同的工艺、不同的工序及不同的工艺材料会有不同的要求，对各种污染物质的要求当前总的说法是控制在亚 pptm~1000pptm 间。

4.2 AMC 控制的实施情况

对线宽 0.25 μ m 的 IC 生产，一般已常在新风处理中设活性炭过滤器；有关关键工序以及工序间园片的传送及存放，有的生产厂采取了 AMC 控制，有的生产厂则并未进行控制，主要在于经济效果的衡量上，有关具体控制要求及措施报道甚少，可能是由于保密的原因，但一点可以肯定，只能在局部环境内进行控制。为满足 ϕ 300mm 园片，<0.15mm 线宽的加工要求，近年来对 AMC 控制，重点在以下三方面开展工作：

(1)精确的测量技术及标准测试方法的建立。因为这是掌握 AMC 控制的基础，必须先行；

(2)按今后 IC 的生产要求，生产线的设备采用微环境隔离，各设备间园片的传送采用前开式标准片盒（FOUPs）系统，对园片进行隔离。因此，早已对设备、FOUPs 系统及微环境所用的材料要求不释放及吸附有关悬浮分子污染物的问题以及对此污染物的去除措施进行研发，并不断改进中；

(3)控制 AMC 的过滤器。

近年来，对控制 AMC 过滤器的开发及推出有少进展：

A.不释放 AMC 物质的 HEPA/ULPA；

a.低硼超细玻璃纤维过滤器，现已在亚洲及欧洲的 IC 厂使用较多；

b.多孔聚四氟乙稀（ePTFE）过滤器，为薄膜结构，价格比 a 要高出十倍左右。目前使用尚不多，正在开发下一代的。

B.化学过滤器

目前已推出的化学过滤器主要是：

a.活性炭过滤器，大多数是晶粒状的，有盘片式、蜂窝式等；亦已有活性炭纤维过滤器，具有吸附速度快的特点，价格尚较高；还已有晶粒与纤维粘合的过滤器。

b 无纺合成织物上浸渍各种功能晶粒（如活性炭、活性铝，但主要是活性炭）以吸附 AMC 物质。

至今，据报道， ϕ 300mm 园片加工除二条试验生产线外，已有四条生产线（德国一条、美国一条、我国台湾二条）开始运转，对 AMC 的控制情况，当然不详，但洁净室环境为 ISO5~6 级，对洁净室设计较简单些。可以看到，今后 IC 生产，其生产环境的污染控制重点必然转到工艺设备及园片传、存放系统的研发及制造上。