

洁净室设计及运行管理

培训教材——空气洁净技术及洁净设计

一、 空气洁净技术的发展和它的重要性

1、产生时间

空气洁净技术最早发展产生在第二次世界大战期间的美国，当时主要是应用于军事领域，为了适应战争的需要（1939 年发现了轴核的裂变，1945 年投向日本广岛）；空气净化化的核心——高效过滤器在当时研制成功。

我国在 60 年代初期对高效过滤器及层流洁净室研制成功，在 1975 年以后得到迅猛的发展，产品生产厂家及品种、数量逐步系列配套，一般洁净室所用的材料、配件、设备均实现国产化。

2、应用领域

军事：飞机、军舰、导弹、核武器

工业部门：光学、机械、化工、宇航、半导体、电子

其他：医疗、制药、生物工程、动物饲养

总之随着经济与科学技术的发展，空气洁净技术在各行各业的应用在加大，占据重要的地位。空气洁净技术的水平与应用已成为衡量一个国家和一个地区现代化经济和科技的重要标志。

二、 空气洁净度等级标准及规范

空气洁净标准和规范在经济和科技发达的国家和地区都有自己的标准，都规定了有关的洁净度等级。例如：美国、日本、西欧、北欧、俄罗斯等。我国于 1984 年颁布《洁净厂房设计规范》（GBJ73-84），后经修改完善，当前使用 2013 版本（GB50073-2013），1990 年颁布《洁净室施工及验收规范》（JGJ71-90）以指导施工和验收的重要文件。目前，该规范重新修订为（GB50591-2010）。

GBJ73-84 规定的洁净度等级

等级	每立方米（升）空气中》0.5μm 尘粒数	每立方米（升）空气中》5μm 尘粒数
100	《35*100（〈3.5）	
1000	《35*1000（〈35）	《250（〈0.25）
10000	《35*10000（〈350）	《2500（〈2.5）
100000	《35*100000（〈3500）	《25000（〈25）

美国联邦标准 FS209E 中的洁净等级

等级名称		等级限值									
		0.1μm		0.2μm		0.3μm		0.5μm		5μm	
		容积单位		容积单位		容积单位		容积单位		容积单位	
国际单位	英制单位	m3	Ft3	m3	Ft3	m3	Ft3	m3	Ft3	m3	Ft3
M1.0		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10	0.283	/	/
M1.5	1	1240	35.0	265.0	7.5	106	3	35.3	1	/	/
M2.0		3500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	/	/
M2.5	10	12400	350.0	2650	75	1060	30	353	10	/	/
M3.0		35000	991.0	7570	214	3090	87.5	1000	28.3	/	/
M3.5	100	/	/	26500	750	10600	300	3530	100	/	/
M4.0		/	/	75700	2140	30900	875	10000	283	/	/
M4.5	1000	/	/	/	/	/	/	35300	1000	247	7
M5.0		/	/	/	/	/	/	100000	2830	618	17.5
M5.5	10000	/	/	/	/	/	/	353000	10000	2470	70
M6.0		/	/	/	/	/	/	1000000	28300	6180	175
M6.5	100000	/	/	/	/	/	/	3530000	100000	24700	700
M7.0		/	/	/	/	/	/	10000000	283000	61800	1750

美国宇航局标准 NHB5340.2 中的洁净等级

生物	尘埃		生物粒子		压力	温度	湿度	气流	照度
洁净室标准	粒径 (μm)	个/L	浮游量 (个/L)	浮沉量 (个/m²周)	mm H2O	℃	%	换气 次数	Lx
100	≥0.5	≤3.5	≤0.0035	12900	≥1.25				
10000	≥0.5	≤350	≤0.0176	64600	≥1.25				
	≥5.0	≤2.3				指定数	40~45		1000~1620
100000	≥0.5	≤3500	≤0.0884	323000	≥1.25				
	≥5.0	≤23							

日本工业标准 JISB-9920-1989 中的洁净度等级

粒径(μm)	洁净度等级(个/m3)							
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级
0.1	101	102	103	104	105	106	107	108
0.2	2	24	236	2360	23600			
0.3	1	10	101	1010	10100	101000	1010000	10100000
0.5	0.35	3.5	35	350	3500	35000	350000	3500000
5.0	/	/	/	/	29	290	2900	29000

三、 洁净室污染源:

1、大气尘（新风）

室外大气的含尘浓度

地区	计重浓度	计数浓度(≥0.5μm)	
	mg/m3	个/L	个/ m3
市区	0.1~0.35	5x104~23.3x104	15x105~70x105
郊区	0.05~0.3	2x104~10x104	10x105~30x105
农村	0.01~0.1	1x104~3.3x105	3x105~10x105

2、作业人员发尘（主要尘源）

作业人员发尘量(一) {粒/（人·min）≥0.5μm}

序号	人员动作	普通工作服	洁净工作服	
			分套型	全套型
1	立	339000	113000	5580
2	坐	302000	112000	7420
3	臂上下运动	2980000	298000	18600
4	上体前屈	2240000	538000	24200
5	臂自由运动	2240000	298000	20600
6	头部运动	631000	151000	11000
7	上体转动	850000	266000	14900
8	屈身	3120000	605000	37400
9	踏步	2800000	861000	44600
10	步行	2920000	1010000	56000

作业人员发尘量(二) {粒/（人·min）≥0.5μm}

序号	工作服型式及材料	动作	
		坐(四肢、头部自由活动)	走动
1	全套型粗织尼龙工作服	38.3x104	322x104
2	分套型密织尼龙工作服	18.1x104	128x104
3	分套型密织尼龙工作服 内衬的确良工作服	7.2x104	73.8x104
4	棉的确良工作服	20.5x104	108x104
5	电力纺工作服	101x104	677x104
6	普通服装	210x104	300x104

3、建筑围护结构产生（屋顶、墙、地板）

洁净室建筑表面发尘量 {粒/（min·m²地面）≥0.5μm}

序号	建筑表面发尘量	资料来源
1	(0.8~1) *104	电子部十一院《设计通讯》1975 年
2	(0.3~0.9) *104	电子部十一院《苏州半导体器件一厂洁净室测定》1978 年
3	0.77*104	电子部十一院《北京西城半导体材料厂水平层流洁净室测定报告》1975
4	4.5*104	电子部十一院《出国考察报告》(74)013 1974 年

洁净室建筑表面发尘量与作业人员发尘量的比较

项目 粒径	洁净室建筑表面发尘量 {粒/（min·m²地面）}	人员发尘量 {粒/(人·min)}	
		静止(基本静止)	人员正常操作
≥0.5μm	1.25*104	10*104	50*104

4、工艺生产过程产生（与生产设备、生产工艺、生产过程有关，不同的生产过程、工艺产尘量不同）。

四、 关于洁净室方面的几个名词

1、 空气洁净度—

指洁净空气环境中空气所含尘埃量多少的程度。在一般情况下，指单位体积的空气中所含大于等于某一粒径粒子的数量。含尘量高则洁净度低。

2、洁净室——

指对空气洁净度、温度、湿度、流速、压力、噪声等参数根据需要都进行控制的密闭性较好的空间。

五、洁净室的分类

- 1、按气流形式：乱流、对角流、层流（垂直、水平）；
- 2、按受控粒子的性质：尘埃（工业洁净）、生物（生物洁净）。

生物洁净必须用高温、药物、紫外线等方法灭菌。

六、洁净室的负荷特点与节能

一般情况下，洁净空调系统的能耗大于普通舒适性空调，产生的原因：

- 1、由于生产线的排风量比较大，故补充的新风量比较大，从而冷负荷比较大；
- 2、洁净室的换气次数大于普通空调，故风机的送风量比较大，输送的动力消耗大，风机管道温升高；
- 3、室内的设备发热量大，消耗的冷量大。

以上三项负荷占总冷量对 70~95%。

节能控制的着眼点：

- 1、减少新风量；
- 2、控制送风量（换气次数）；
- 3、充分利用回风量；
- 4、选用高效低阻的过滤器。

七、洁净室设计对生产工艺的要求

- 1、必须满足生产工艺环境的要求；

需要了解：建筑层高，洁净区域建筑面积，室内温、湿度、洁净度的要求；

- 2、尽可能将相同级别的洁净室布置在一起，处理排风与正常生产之间的差异。

八、洁净室设计对建筑的要求

- 1、围护结构应选用在温度、湿度变化和振动作用下变形小和气密性能好的建筑结构和材料；
- 2、隔墙采用轻质材料制作；

3、人流、物流要绝对分开，人流方向应由低级别洁净室到高级别洁净室；

4、建筑设计要注意防火，人员疏散线路要清楚，通畅；

九、洁净室设计基础原始资料

1、建设地区室外大气的气象资料和室外大气的含尘浓度；

2、洁净室的设计参数；

3、生产工艺资料（生产设备产热、产湿量；排风量；排放有害物的品种、性质、浓度和排放量）；

4、建筑原始资料；

5、所需要的冷源、热源、电源的性质。

十、净化空调系统方案

1、气流分布

（1）送风气流应以最短的距离，不受污染的直接送到工作区，尽量覆盖工作区，使污染物在扩散之前就被携带到回风口；

（2）尽量减少涡流，避免把工作区以外的污染物携带入工作区；

（3）尽量控制上升气流的产生，防止灰尘的二次飞扬，减少灰尘对工件的污染；

（4）工作区的气流力求均匀，工作区的气流速度应满足生产工艺和卫生的要求。

2、气流分布方式

（1）乱流：稀释原理

1000级：n≥50次/h；10000级：n≥25次/h；100000级：n≥15次/h

（2）对角流

（3）层流：置换原理

垂直流断面风速：v≥0.25m/s；水平流断面风速：v≥0.35m/s

3、送风方案

（1）集中式送风

空气处理设备和风机均集中设置在空调机房内，高效过滤器布置在末端。

（2）分散式送风

一般空调环境或低级别净化环境中，

4、集中式送风的净化空调系统方案

1）新风集中处理和新风分散处理

2）单风机系统和双风机系统

3）风机并联系统和风机串联系统

净化空调的运行管理

一、净化空调系统对维护管理的要求

洁净室的净化空气、直接表 10-6 的规定进么监测。在下列任何一种情况下，应更换高效空气过滤器：

表 10-6 洁净室的净化空气监测频数

洁净度等级	1~3	4~6	7	8、9
检测项目				
温度	循环监测	每班 2 次		
湿度	循环监测	每班 2 次		
压差值	循环监测	每周 1 次	每月 1 次	
洁净度	循环监测	每周 1 次	每 3 个月 1 次	每 6 个月 1 次

- 1、气流速度降到最低限度。即使更换初效、中效空气过滤器后，气流速度仍不能增加。
- 2、高效空气过滤器的阻力达到初阻力的 1.5 倍~2 倍。
- 3、高效空气过滤器出现无法修补的渗漏。

当洁净厂房内采用高效真空吸尘器进行清扫时，必须定期检查吸尘器排气口含尘浓度。

二、净化空调的运行管理的日常工作

对净化空调系统、洁净室的运行管理主要应做好以下几项工作：保证洁净室内要求的空气温度和相对湿度；保证洁净室内洁净度；制定严格的管理规章制度。

1、保证洁净内要求的空气温度和相对湿度

在洁净室内，如果空气温度过低，不便于工作的正常进行；如果温度过高，则会使室内工作人员产生过多的汗液，汗液挥发成微小粒子进入空气中，从而增加了洁净室内空气中含尘粒子数，进而使其洁净度级别有所下降，无法保证工艺条件的要求。

因此，保证洁净室内要求的空气温度和相对湿度是空调系统进行的必要条件。

2、保证洁净室内洁净度的措施

要保证洁净室内要求的洁净度，对正常运行的净化空调系统、洁净室，必须做到进入洁净室内的空气是清洁的，进入洁净室内的人和物品就应该经过必要的净化处理，尽量减少人和物带入洁净室内的灰尘量。要保证洁净室内的洁净度应采取以下主要措施：保证人净的措施；保证进入洁净室物料的净化；保证进入洁净室内的空气是洁净的；保证净化空调系统的送风量；按要求保证洁净室内的正静压值；尽量减少洁净室的产尘量；保证对洁净室内的定期清扫。

1) 保证人净的措施

人体散发的污染物质主要有自身产生的污染物和携带物。人净措施主要包括水洗、换鞋和衣服及空气吹淋 3 个方面：

(1) 水洗。用水洗去手、脸甚至全身体表皮临时附着物和积存的体表排出物。

(2) 换衣、鞋。为了减少从室外带入洁净室的污染物，进入洁净室内的人员一般都在经过换鞋和衣服。至少应将外出鞋、衣服以及多毛的内衣脱掉，对无菌行业还要脱掉全部外出服和内衣、而后换用适合洁净室或无菌室工作的服装。外出鞋携带污染物最多，须在入口处采取水洗、吸尘和粘着等方式进行处理，以免严重污染入口门厅。

(3) 空气吹淋。空气吹淋是用高速洁净空气吹扫全身服装及裸体表面的临时附着物，采用水洗、换衣和空气吹淋 3 个方面的措施，可以在一定程度上减少人体服装携带的外界污染物，减少因直接接触而造成的污染，把身体的大部分及内衣与室内空气隔离开。使头发与皮肤的脱落物以及内衣的纤维子不容易播散出来、以减少人体在洁净室内尘粒的散发量。

2) 保证进入洁净室物料的净化

进入洁净室内的物料应在运入洁净室之前进行清洗和必要的净化处理，以减少物料在洁净室内的发尘量。进入洁净室的小件物品一般由洁净室与外走廊或洁净室之间（洁净度级别不同的相邻房间）通过传递窗进入。

3) 保证进入洁净室的空气是洁净的

净化空调系统在运行中，所使用的各级空气过滤器必须是完好而无破损或泄漏。为防止送风系统将不应进入室内的尘粒带进室内，必须对系统中使用的初效、中效及末端空气过滤器进行定期的泄漏检查。

4) 保证净化空调系统的送风量

保证空调系统的送风量就是保证洁净室内的换气次数，以满足室内气流组织的需要。净化空调系统在正常运行时，应定期对系统的送风量进行测定，测点可选在送风机进（出）口处和送风口处。因为系统的送风

量在设计时是从能量的消耗量，室内应有的气流组织等诸方面来综合考虑的。如果系统送风量过低，则会使洁净内送风口处的气流速度降低，从而破坏室内的气流组织形式，使室内受到污染的空气无法排出，达不到室内要求的洁净度等级。

5) 按要求保证洁净室内的正静压值。

洁净室在运行中一般都要求其邻室、走廊（包括外走廊）之间保持一定的正静压差，即洁净室内的静压值高于邻室（不同洁净级别的房间）、走廊的静压，以避免邻室、走廊等含尘浓度较高的洁净室外部的空气对其造成污染。因此洁净室和净化空调系统在运行中，应注意经常检查、保养、调整和修理系统中的余压阀，以及压力传感器、变送器、调节器和执行器，使之处于正常运行状态，维持室内要求的正静压值。

6) 尽量减少洁净室的产生量。

仅仅从净化空调系统的运行和管理方面来考虑，解决影响洁净室内洁净度的外部条件是不够的，还应解决影响洁净室内洁净度的内部原因。在洁净室内，产生尘埃的因素有两个：一是设备的运转，二是操作人员的活动。因此，应从此两方面控制洁净室的产生量。

7) 保证对洁净室内的定期清扫

洁净室运行一段时间后，总免不了在一些死角、壁面、台面上会积存一些尘埃，如果不及时进行清扫，这些尘埃在较大气流的冲击或其他某种扰动下，会重新卷入室内空气中，从而增加了室内空气尘粒的浓度，使室内空气的洁净度等级下降，无法保证工艺的正常进行。因此对洁净室进行定期的清扫是必不可少的。对洁净室内部的清扫，可采用分散可集中式真空扫除的方法进行。

三、净化空调运行管理制度

为使净化空调系统能得以安全、高效、节能的运行，日常管理过程中制定严格及有效的运行管理制度，并严格认真的执行，是非常必要的。应规定不准进入洁净室内的人员、日常应注意的事项、对入室人员的状况的登记制度、不准带入洁净室的物品、人员出入须知、用具和设备的选择与管理制度、卫生和安全制度、洁净室用服装用其管理制度、教育训练制度及卫生措施等规章制度。

1、不准进入洁净室的人员：

具有下列情况者应不能进入洁净室：

皮肤有晒焦、剥离、外伤和炎症、搔痒症者；对化学纤维，化学溶剂有异常反应的人员；手汗严重者；鼻子排出物过多者；感冒、咳嗽和打喷嚏者；过多掉头皮及头发者。

2、日常应注意的事项：

争取每天冲澡、换衣，经常洗头，保持身体的清洁；男子尽量每天刮胡须；在洁净室内不要拖足行走，不要振臂，转动，不做不必要的动作或走动；在洁净室内不许吸烟和饮食。

3、对入室人员状况的登记：

进入洁净室的人要限制在最少数量：**5级**和更高级别的洁净室人员密度不大于**0.1**，低于**5级**的洁净室，人员密度不大于**0.25**为好；对上、下午进入洁净室的人数、时间要分别登记；对正式工作人员以外的人员进入洁净室的救员和时间进行登记。

4、不准带入洁净室的物品

除按规定经常洁净值班室可带入的所有物品外，纸（包括匝纸和笔记用纸）和笔（铅笔、钢笔、以及橡皮等）；一切个人物品包括钥匙、手表、手帕、笔记本等。

5、人员出入须知

一切人员进入洁净区和洁净室必须遵循规定的净化路线和程序，不得私自改变；必须换上专用拖鞋方可进入洁净区，必须换上专用帆布鞋才能进入洁净室；外装和洁净工作服分地分柜存放，入室人员不得未脱外装即进入洁净室更衣间；进入洁净区前，应将拖鞋在净洁器（垫）上或湿的垫子上擦拭；洁净区入口，如有空气吹淋室，进入人员一定要通过吹淋室；进入洁净区后，必须根据需要随时洗手，洗手后再换上工作服；洗过的手在用洁净烘干机吹干，或用发尘量少的纸巾擦干；换穿工作服后还要洗手，不能赤手操作已被净化过的零件、产品和包装材料；戴上洁净手套或指套才能进入洁净室操作；洗手后，穿帆布鞋在净鞋器（垫）上通过；不能穿洁净工作服上厕所（洁净厕所除外）等。

6、用具、设备的选择与管理

必须定期清除清洁器中积存的污物，在雨天或湿度大的天气尤其在注意；粘性垫必须定期更换或再生，或者定期除去表面上沾污的薄层，湿垫子必须每日清洗；洗手器的水龙头要用脚踏式，不用手扭式；在备有洁净室用的液体洗涤剂，护肤膏、手吹干器或发生量少的用完即丢弃的纸；要用发尘量少的材料如适当表面处理过的铝或质量好的塑料制作工作台和椅子。如有可能，最好用不锈钢制作；洁净室工作台和格子结构要尽量简单；家具的棱角部分要做成圆角，腿脚部分要加橡皮或塑料做的套子；器材柜的高度要便于用手清扫顶面，抽屉要安磨损少的滚珠；搬运车要用不锈钢、硬塑料或以适当表面处理的钢、铝合金制作；对各级过滤器按照规定的内容和周期进行检查、更换和记录。

7、卫生和安全制度

洁净室的清扫应在每天下班前工艺操作结束后进行；清扫要在洁净室净化空调系统运行中进行；当采用集中式真空吸尘系统来完成洁净室清扫工作时，要限制真空系统的排气量，以免使洁净室正压降低太多甚至成为负压；对于生物洁净室，吸尘器中的集尘袋和过滤器，在取出之前要用气体灭菌，取出后装入聚乙烯稀袋中封好，然后烧掉；清扫用拖布、抹布，不要用易掉纤维的织物材料；洁净室清扫用的洗涤剂可按每升水加入**30g**中性的残留物量低的液体洗涤剂配制而成的；大的物件进洁净室时，先要在一般环境中用真空吸尘器初步吸尘净化，然后在洁净室内，用洁净室真空吸尘器擦拭方法进一步处理；需要拿入洁净室的小物件，先要在准洁净室内擦拭清洁，然后装入搬运箱内再送进去；净化空调系统启动时，禁止先开回风机；系统关闭时，禁止先停送风机；系统未运行时，不应单独开启局部排风系统；进入洁净室应随手关门，最好设有自动关门装置；对自动关闭门和正压控制装置，应经常检查以免失灵；对洁净室的消防器材、安全门、安全通道都要有醒目的指示；安全门必须保证随时可以开启，安全通道上不准堆放杂物；应经常检查洁净区中的安全防火设施；洁净室发生火警时，应立即发出警报，关闭风机和洁净工作台等设备，切断电源及易燃气体的通路。

8、洁净室用服装及其管理：

洁净服的衣料要选用不产生静电或经过防静电处理的材料；洁净服以衣、裤分离式为好，但上衣必须放在裤子内。高级洁净室使用披肩帽时，其下摆应放在上衣之内，帽子不允许只戴人头的后半部，一定要把前额上部头发和头发梢全罩起来；对有滑石粉的皮手套，拿进洁净室前必须把滑石粉除掉；新做的洁净服装，在使用前必须经过洗涤；洗洁净服最好用无尘水，洁净服装的洗耳恭听涤、晾干、包装必须在洁净环境中进行，以免重新附着尘粒。

9、教育训练：

工作人员特别是有关技术人员进行教育训练应掌握的内容：

灰尘对产品的危害；洁净室内的产品所要求的洁净度；洁净室尘源及其控制；工艺操作及其对洁净度的影响；对洁净室、产品、工作服的洁净度测定方法；净化设备和系统的使用规程，故障排除方法；本洁净室的构造和性能；安全措施；测定方法和评价方法的细则。

10、卫生措施：

对洁净室的方法练习脱去个人服装并保管设备；按规定的方法练习穿洁净工作服；按规定的方法练习洗手、烘干、使用洁净室专用纸；做不拖足行走的练习；做带进洁净室器材的清洁净化练习；练习使用洁净室的消防器材；做从洁净室内紧急疏散的练习。

净化空调系统中的过滤器

为了保证洁净室（厂房）内的尘粒控制在洁净室（厂房）洁净等级所要求的尘粒数以内，一般在净化空调系统中使用三级或四级空气过滤器，来拦截进入洁净室（厂房）气流中的尘埃粒子。

净化空调系统所使用的空气过滤器，按其空气过滤的效率分为四种，即初效过滤器、中效不定期滤器、亚高效过滤器和高效过滤器（有些房间的洁净度记于 100 级，如 10 级洁净室，其净化空调房间还要使用超高效过滤器）。

初效空气过滤器的滤尘对象主要是大于 10 μ m 尘粒，其计数效率（对于 0.3 μ m 的尘粒）小于 20%，空气阻力小于 30Pa。

中效过滤器的滤除对象是 1~10 μ m 的尘尘粒，其计数效率（对于 0.3 μ m 粒径的尘粒）为 20%~90%，空气阻力小于 100Pa。

亚高效空气过滤器的滤除对象主要是小于 5 μ m 的尘粒，其计数效率（对于 0.3 μ m 粒径的尘粒）为 90%~99.9%，其空气阻力小于 150pa。

高效空气过滤器具滤除对象主要是小于 1.0 μ m 的尘粒，其计数效率（对于 0.3 μ m 粒径的尘粒）大于 99.97%，空气阻力小于 250Pa。

净化空调系统中，所使用的空气过滤器是在系统设计时，按照各级过滤器的额定风量，空气阻力和过滤效率进行组合选型的。同时初效过滤器和中效过滤是根据过滤的风量和过滤的滤料的滤速来确定过滤器的尺寸。初效空气过滤器空气通过滤料的滤速为 0.4~1.2m/s，中效空气过滤器空气通过滤料的滤速为 0.2~0.4m/s，高效空气过滤器空气通过滤料的滤速为 0.01~0.03m/s。

在空气过滤器的组合方面，以初、中、高三级空气过滤器相组合的方式，一般用于 10 万级到 100 万级的洁净室，对于 1 万级到 100 级的洁净室，其净化空调系统也有使用初、中、中、高四级空气过滤器的组合方式，或使用初、中、亚高效、高效四级过滤器的组合方式。在四级空气过滤器的组合中，增加的第三级中效或亚高效空气过滤器的目的是为了提高净化空调系统的送风洁净度，延长末端空气过滤器的使用寿命，减少其更换的次数。

净化空调系统、洁净室的运行管理

一、保证洁净室内要求的空气温度和相对湿度

在洁净室内，如果空气温度过低，不便于工作的正常进行；如果温度过高，则会使室内工作人员产生过多的汗液，汗液挥发成微小粒子进入空气中，从而增加了洁净室内空气中含尘粒数，进而使其洁净度级别的所下降，无法保证工艺条件的要求。

洁净室内相对湿度的过低，由于室内空气的过分干燥而使室内设备、用具、以及洁净室的结构表面的覆盖层更容易脱落，变成粒子状进入洁净室的空气中，增加空气的含尘量。如果洁净室的相对湿度过高，则会使室内空气中的一些微细粒子在运动中发生碰撞而粘着，凝聚成稍大一些的尘埃粒子，从而使室内计数尘埃粒子数增加而破坏原有的洁净度级别。室内相对湿度的过高，一些零件会生锈并产生一系列问题。

二、保证洁净室内洁净度的措施

要保证洁净室内要求的洁净度，对正常运行的净化空调系统、洁净室，则必须做到进入洁净室内的空气是洁净的，进入洁净室内的人和物品应经过必要的净化处理，尽量减少人和物带入洁净室内的灰尘量。

1、人净

人净措施主要包括水洗、换鞋和衣服及空气吹淋三个方面。

人体散发的污染物主要有自身产生的污染物和携带的污染物两种。

人体携带的尘粒有三种：一种是随机附着在头发上、衣服和鞋上的外界环境污染物质；以及衣服和鞋上残留的污染物。另一种是人身涂抹物，如头油、香水、唇膏、脂粉等物。第三种是服装的磨损脱落物。

人体又是洁净室内主要的菌源之一。

鉴于以上情况，进入洁净室内的人员应采取一些必要的清净措施。人净措施包括：

1) 水洗

用水洗去手、脸甚至全身表皮临时附着物和积存的体表排出物。

2) 换衣、鞋

为了减少从室外带入洁净室内的污染物，进入洁净室内的人员一般都经过换鞋和衣服。对于工作服的要求一般是不仅表面洁净度高而且易除去污染物，还能像过滤器那样将人体大部分遮盖后使人体发散的尘菌被

滤留在人体一侧，同时还应不易产生静电。外出鞋携带污物最多，须在入口处采取水洗、吸尘和粘着等方式进行预处理，以免过多的沾污入口门厅。

3) 空气吹淋

空气吹淋是用高速洁净空气吹扫全身服装及裸体表的临时附着物。采用水洗、换衣服和空气吹淋三个方面的措施，可以在一定程度上减少人体与服装携带的外界污染物，减少因直接接触而造成的污染，把身体的大部分及内衣与室内空气隔离开。

人体在空气吹淋室内的吹淋时间与吹淋风速有关，吹淋时间越短需要吹淋风速就大一些。相反则可以小一些。一般吹淋时间在 20~60s 之间。

空气吹淋室一般包括吹淋风机，初、中效空气过滤器、高效过滤器、静压箱、喷嘴等组成。

4) 气幕与气闸

由于吹淋小室往往就设在洁净区的入口处，同洁净区直接毗邻，而且两端的门往往相互连锁启闭，因此它不仅用于人员净化，而且还有气闸的作用，防止来自室外的污染。对人员净化要求不高的洁净室门口，有时用气闸带有风幕，在洁净室入口处顶板设置带有中、高效过滤器的机组，通过条缝向下喷射气流，形成遮挡污染的气幕。

2、进入洁净室物料的净化

进入洁净室的物料一般来讲应在运入洁净室之前进行清洗和必要的净化处理，以减少物料在洁净室内的发尘量。

进入洁净室的小件物品一般由洁净室与外走廊或洁净室也洁净室之间（洁净度级别不同的相邻房间）通过传递窗进入。传递窗一般有箱式型、回转式等。

3、进入洁净室内的空气是洁净的

净化空调系统在运行中，所使用的各级空气过滤器必须是完好而无损坏和泄漏现象。，净化空调系统在运行中，为防止送风系统将不应进入室内的尘粒带进室内，必须对系统中使用的初效、中效及末端空气过滤器进行定期的泄漏检查。

三、保证净化空调系统的送风量

即保证洁净室内的换气次数，以满足室内气流组织的需要。净化空调系统在正常运行时，应定期对系统的送风量进行测定，测定点可选在送风机进出风口处和送风口处。因为系统的送风量在设计时是从能量的消耗量，室内应有的气流组织等诸方面来综合考虑的。如果系统送风量过低，则会使洁净室内送风口处的气流速度降低，从而破坏室内的气流组织形式，使室内受到污染的空气无法排出，达不到室内要求的洁净度标准。

系统送风量的减少可能会有以下几个因素：

1) 皮带传动的风机在运行一段时间后由于皮带的拉长，而使风机转速下降，从而风机输送风量减少。

2) 空气过滤器容尘量达到最大值,从而使空气阻力加大,风送不出去。

因此,净化空调系统和洁净室在运行中应经常性地注意检查各级空气过滤器和空气阻力情况(空气过滤器前后装有压差计时)和容尘量,或者定期使用压差计进行检测(空气过滤器前后无压差计者);或者凭经验判断以决定各级空气过滤器是否应该更换,使系统的送风量基本保证不变。

四、按要求保证洁净室内的正静压值

洁净室在运行中一般都要求其与邻室、走廊(包括外走廊)之间保持一定的正静压差,即洁净室内的静压值高于邻室(不同洁净级别的房间)、走廊的静压,以避免邻室、走廊等含尘浓度较高的洁净室外部的空气对其造成污染。因此洁净室和净化空调系统在运行中,应注意经常检查、保养、维护、调整和修理系统中的余压阀(又称微压差调节阀),以及压力传感器、变送器、调节器和执行器,使之处于正常运行状态,维持室内要求的正静压值。

在国家标准 GBJ73-84《洁净厂房设计规范》中,要求不同等级的洁净室及洁净区与非洁净区之间的静压差,应不小于 $0.5\text{mmH}_2\text{O}$,洁净区与室外的静压差不应小于 $1.0\text{mmH}_2\text{O}$ 。但也不是静压差越大越好。如果静压差过大,有可能破坏洁净室的密封,造成过多的能量消耗,同时室内的工作人员会有一种压迫感。

五、尽量减少洁净室的产尘量

在洁净室内,产生尘埃的因素有两个:一是设备的运转,二是操作人员的活动。

在洁净室内,人员是最大的发生要素。因此,在洁净室内的工作人员必须穿戴特别规定的适于洁净室内的无尘工作服。至于洁净室内运转设备的发生则是不可避免的,但应从减小运转设备的振动和空动转的时间,使动转设备的发生量控制在最小限度。

六、洁净室内的定期清扫

洁净室在运行一段时间后,总免不了在一些死角、壁面、台面上会积存一些尘埃,如果不及时进行清扫,这些尘埃在较大气流的冲击或其它某种扰动下,会重新卷入室内空气中,从而增加了室内空气的洁净度等级下降,无法保证工艺的正常进行,因此对洁净室进行定期的清扫是必不可少的。

对洁净室内部的清扫,一般不允许使用扫帚和拖布进行,可采用分散或集中式真空扫除的方法进行。

七、洁净室内洁净度的检测及检测数据的评价

1、检测仪器的选用

尽管对洁净室内的洁净度的测量,可以采用光散射粒子计数器、凝结核粒子计数器、电子显微镜和光学显微镜,但目前用得最多的为光散射粒子计数器。由于此种粒子计数器在使用中可以对室内空气的含尘量进行自动、连续、及时地对应测量,并且可以直接显示瞬时的含尘浓度,也可以对不同粒径的含尘浓度进行测量,使用简单、方便、及时、灵活。计数器大体上可分这两种类型:一种是照射系统光轴与检测系统光轴交叉布置的侧向散射型;另一种是两光轴布置在同一直线上的前向散射型。

2、检测点的布置

根据中华人民共和国国家标准 GBJ73-84《洁净厂房设计规范》的规定：在对洁净室进行洁净度检测时，检测点应为距室内地坪 1.00m 的水平面内；对于单向流型洁净室测点总数应不小于 20 点，测点间距为 0.5-2.0m。水平单向流洁净室测点仅布置在第一洁净工作区内；非单向流洁净室按洁净面积小于或等于 50m² 布置 5 个测点。

3、 洁净室洁净度检测时，使用光散射粒子计数器的取样量

关于尘埃粒子计数器检测时的空气取样量，在国标 GBJ73-84 中规定：对于 100 级的洁净室，每次取样量应大于或等于 1L，对于 1000~10000 级的洁净室，每次取样量应大于或等于 0.3L，对于 10000 级的洁净室，每次取样量应大于或等于 0.1L。

对于 100 级洁净室，宜采用大流量粒子计数器进行测试。如果不具备，也应采用每次采样量不小于 1L 的粒子计数器。

在对洁净室进行洁净度检测时，尽管规定了空气的最小采样量，但在实际工作中，我们应在保证最小采样量前提下，根据已有的检测设备，尽量采用大流量的尘埃粒子计数器。

4、 关于等动力采样的问题

所谓等动力采样就是在检测时，粒子的计数器的采样管的入口方向与被采样的单向气流方向相一致，而且空气进入取样管入口的平均速度与该位置单向气流的平均速度相同。

因为对洁净室的检测我们主要关心两种粒径，即 0.5 μ m 和 5 μ m。非等动力采样对于 $\leq 0.5\mu$ m 的粒子影响不大。如果取样空气用于计算大于或等于 0.5 μ m 的粒径浓度，如果这些粒子不受非等动力条件的影响，则计算结果也不受影响。因此，洁净区域内的非等动力取样仅对大于或等于 0.5 μ m 粒子才有意义。

5、 洁净室内洁净度的检测

按照上述方法在洁净室内布好测点，选择好所使用的、并已经过校正的尘埃粒子计数器，同时绘制洁净室内测点平面布置图，并进行测点编号，以备检测时做记录。

检测时对于单向流洁净室，其粒子计数器的采样口应对着气流方向；对于非单向流洁净室，采样口宜向上，使采样口处的气流速度尽可能接近室内的气流速度。

同时应注意采样管口必须干净，连接处不得有渗漏现象，采样管的长度应根据仪器的允许长度，如果无规定时，不宜大于 1.5m。

每个采样点的采样次数不少于 3 次，但各采样点的采样次数可以不同。在测试仪器稳定运行条件下，每次测定数据均应记录在记录表上。

八、 净化空调系统中送风机与循环风机、值班风机的作用

1、 净化空调系统中送风机与循环风机

为了满足洁净室内气流组织和工作区域气流速度的要求，洁净室内的送风量都比较大，换气次数较高，将这样大量的空气处理到洁净室内所要求的温度、湿度范围内，势必增加系统中空气处理设备的容量，使空

气处理设备的面积增加很多,增加了一次投资费用、运行费用和设备的维护、修理费用,同时增加了能量的消耗。因此,在净化空调系统中空气处理的设备一套空气处理器(即空调器,主要是热、湿处理),作为对室外补充新风和一部分回风的热、湿处理和净化预处理,而另一部分大量的回风则只以净化处理作为循环使用,以满足室内送风量的要求。因此,净化空调系统的送风机又称为热、湿处理风机,而循环风机则只是保证系统的送风量。

2、净化系统中值班风机的作用

对于间歇运行的净化空调系统,为了在空调系统停运时不使洁净室受到室外空气的污染,维持室内应有的洁净度,因此在系统停运时采用值班风机的运行的方法,一般值班室风机的风量是按维持室内正压值所需的换气数的确定。

九、净化空调系统中空气过滤器的更换

净化空调系统所使用的空气过滤器,在经过一段时间的运行后,其容尘量和空气阻力都会达到其允许的最大值。此时则必须进行更换,否则净化空调系统将无法正常运行,洁净室也将不会达到其使用效果。在更换净化空调系统中各级空气过滤器时应注意以下几个问题:

1、空气过滤器的更换周期

净化空调系统所使用的各级空气过滤器在什么情况下应该更换,应根据各自的具体条件。

1) 新风空气过滤器(又称预过滤器或初过滤器、粗效过滤器)和中间空气过滤器(又称中效空气过滤器)的更换,可以在空气阻力为初阻力值的 2 倍时进行。

2) 末端空气过滤器(一般为亚高效、高效、超高效空气过滤器)的更换。

国标 GBJ73-84 中是这样规定的,气流速度降到最低限度,即使更换初效、中效过滤器后,气流速度仍不能增大;高效空气过滤器的阻力达到初阻力的两倍;高效空气过滤器出现无法修补的渗漏时则应予以更换。

2、空气过滤器的选用

净化空调在运行一段时间后,系统所使用的空气过滤器则必须进行更换。过滤器的更换应注意以下几点:

1) 首先应尽量采用与原使用的过滤器型号、规格、性能(甚至包括生产厂)一致的空气过滤器。

2) 采用新型号、规格的空气过滤器时应考虑原安装框架的安装可能性,同时还应考虑其耐火的性能。

3、空气过滤器的拆除和净化空调系统送、回风管路的清扫

对于净化空调系统在原空气过滤器进行拆除之前(主要是指末端的高效或超高效空气过滤器),应对洁净室内的设备,地板等可采用塑料薄膜进行包裹和覆盖,以防在末端空气过滤器拆除中和拆除后,风道、静压箱等处积存的灰尘落下对设备和地板造成污染。

系统中的空气过滤器拆除后,应对安装框架、空调器、送、回风管道进行认真彻底的清扫。

在系统中拆除空气过滤器时，建议按照初效（新风）过滤器、中效过滤器、亚高效过滤器、高效过滤器和超高效空气过滤器的顺序进行，这样可以减少进入洁净室的灰尘量。

由于净化空调系统末端空气过滤器更换一次并非易事，同时更换周期也较长，因此建议在更换末端空气过滤器的同时，对系统中的所有设备进行一次大修。

4、清除细小尘粒

在系统中空气过滤器拆除和全面清除后，可以启动系统中的风机对全部风管（主要是送风管）和末端过滤器安装框架及洁净室进行吹除，以清除粘附在各有关表面上的细小尘粒。

5、末端（亚高效、高效、超高效）空气过滤器的更换

在净化空调系统中，各级空气过滤器的安装，对保证洁净室的洁净度起关键作用的是末端过滤器。

洁净室的终端过滤器一般使用高效、超高效过滤或低渗透率的过滤器，这些过滤器的滤尘效率都非常高，因此有容易堵塞的缺点。一般在洁净室的运行中，往往由于室内工作的关系和为了保证洁净室的洁净度，不便在洁净室内和净化空调系统中的主送风道简单地拆卸和更换终端过滤器，因而在终端过滤器的上风侧为了把粒子浓度有效地降低到洁净室的洁净度所需要的浓度，同时为了延长终端过滤器的寿命，要在高效或超高效过滤器的前面设置中间过滤器。

6、末端过滤器更换后的综合性能检测

净化空调系统中热、湿处理设备、风机在与过滤器更换后，应启动系统风机使净化系统投入运行，并进行综合性能的检测，检测的主要内容有：

1）系统送、回风量、新风量、排风量的测定

系统送、回风量、新风量、排风量的测定，是在风机空气入口处或风管上有风量测定孔处进行测定，并调整有关调节机构。

测定时所使用的仪器仪表一般为：毕托管和微压计或叶轮风速仪、热球式风速仪等。

2）洁净室内气流速度及均匀性的测定

单向流洁净室，垂直单向流洁净室在高效过滤器下方 10cm 处（美国标准定为 30cm）和距地坪 80cm 工作区水平平面上进行测定，测点间距 $\geq 2m$ ，测点数不少于 10 个。

非单向流洁净室（即乱流洁净室）内气流速度，一般为测定送风口下方 10cm 处风速，测点数可根据送风口的大小适当布置即可（一般为 1~5 个测点）。

3）室内空气温度和相对湿度的检测

（1）室内空气温度和相对湿度测定之前，净化空调系统应已连续运行至少 24h，对于有恒温要求的场所，根据对温度和相对湿度波动范围的要求，测定宜连续进行 8h 以上。每次测定间隔不大于 30min。

(2) 根据温度和相对湿度的波动范围, 应选择相应的具有足够精度的仪表进行测定。

(3) 室内测点一般布置在以下各处:

a、送、回风口处

b、恒温工作区内具有代表性的地点

c、室中心

d、敏感元件处

所有测点宜在同一高度处, 离地坪 0.8m, 也可以根据恒温区的大小, 分别布置在离地不同高度的几个平面上, 测点距外表面应大于 0.5m。

4) 室内气流流型的检测

对于室内气流流型的检测, 实际是检查洁净室内的气流组织方式是否能满足洁净室洁净度的一个关键问题, 如果洁净室内的气流流型不能满足气流组织的要求, 则洁净室内的洁净度也不会或很难达到要求。

洁净室内气流组织一般为顶送下回形式。检测时需要解决以下两个问题:

(1) 测点布置方法

(2) 用发烟器或悬挂单丝线的方法逐点观察和记录气流的流向, 并在有测点布置的剖面图上标出气流流向。

(3) 将此次测定记录与上次测定记录进行对比, 发现有不相符或与室内气流组织方式相矛盾的现象, 则应分析其原因并加以处理。

5) 流线不行性的检测 (用于单向流洁净室内流线平行性的检测)

(1) 可以用单线线来观察送风平面的气流流向, 一般每台过滤器对应一个观察点。

(2) 用量角器测定气流流向偏离规定方向的角度: 试验的目的是为了验证整个工作区气流平行度以及洁净室限制内部产生污染的扩散性能。使用的器材有: 等动力烟雾发生器, 铅垂或水平仪, 卷尺, 指示器和机架。

6) 室内静压的测定和控制

7) 室内洁净度的检测

8) 室内浮游菌和沉降菌的检测

9) 室内噪声的检测

10) 室内微振的检测

洁净室、净化空调系统的节能运行

洁净室在运行中所消耗的能量主要为以下几部分：

1、新风热、湿处理所消耗的能量

根据国家规范的规定，由于卫生要求，洁净室内工作人员所需新风量，维持室内正压所需的新风量，系统的排风量，系统及洁净室的漏风量。这些新风量之和，对于 10 万级洁净室则大于等于 30%，1 万级洁净室不低于 20%，1000 级洁净室则不低于 10%，水平单向流洁净室为不低于 4%，垂直单向流洁净室内不低于 2%，相当于洁净室约 5~10 次换气，为同样一般空调面积送风量的 1~1.5 倍。

2、由系统中风机的温升所消耗的能量。

由于净化空调系统中送（回）风量都比较大，在运行中风机所消耗的电能将会有一部分变为输送空气的动能，而另一部分则转换为热能而散发于空气中。

3、由于洁净室的送风量比一般空调系统要大得多，所使用的风机风量大，而且为克服系统的空气阻力风机的压头要多出 500~700Pa，约占一般系统的压头一半左右。因此洁净室运行的动力负荷要比一般空调的动力负荷大 3-30 倍。

4、由于工艺设备运转所消耗的能量。

鉴于以上情况，洁净室、净化空调系统在运行听节能问题，可以从以下几个方面来解决。

1、减少系统的送风量

2、改变洁净室要求的温、湿度基数

3、减少排风量

4、适当降低洁净室内的静压值

5、采用低阻力空气过滤器

6、非工作时间采用值班风机运行，关闭系统中的送、回风机

7、在设置循环风机的净化空调系统中的节能

8、尽量减少由于风机、电动机的温升而消耗处理空气的能量

9、减少净化空调系统和空调器的漏风量