

格力空调培训教材

*利群

二〇一一年三月

格力空调培训教材

目 录

一. 空气调节和空气净化的根底知识

〔一〕 空气调节的根本概念

- A. 空气调节及其分类
- B. 湿空气的焓湿图及其应用
 - 1. 湿空气的焓湿图
 - 2. 焓湿图中的名词定义
 - 3. 焓湿图的应用
 - 4. 焓湿图应用的举例
- C. 空调送回风的气流组织

〔二〕 空气净化的根底知识

- A. 干净室及其四大要素
- B. 干净室的应用及其分类
- C. 干净室与一般空调的差异
- D. 工业干净室与生物干净室的差异
- E. 干净室干净度的等级标准

二. 干净室的设计

〔一〕 干净室设计前的准备工作及应收集的有关数据和资料

- A. 收集国家和地方有关干净室建立的政策, 标准, 规*
- B. 研读该工程的〔可行性研究报告〕和〔设计任务书〕
- C. 收集建厂地区的气象, 水文, 地质和周围环境的资料
- D. 收集生产工艺对环境的要求和生产工艺的有关资料
- E. 收集干净室的建筑和构造的有关资料
- F. 了解有关能源〔冷源, 热源, 电源〕的情况及其供给
- G. 了解当地有关消防和环保部门的要求
- H. 了解相关专业的情况和要求
- I...收集有关的设备, 材料等资料

〔二〕 净化空调系统的负荷计算

- A. 干净室的热负荷〔Q〕计算〔热平衡计算〕
干净室的热负荷包括以下各项
 - 1. 围护构造的热负荷

2. 室内人员热负荷
 3. 室内照明热负荷
 4. 室内设备热负荷
 5. FFU 的热负荷
 6. 干净室的总热负荷计算
- B. 干净室的湿负荷〔W〕计算〔湿平衡计算〕
- 干净室的总湿负荷包括以下各项
1. 室内人员湿负荷
 2. 室内设备湿负荷
 3. 干净室的总湿负荷计算
- C. 干净室的湿热比〔 ϵ 〕计算
- D. 干净室的发尘源及其发尘量
1. 人员发尘
 2. 工艺设备和工艺过程的发尘
 3. 建筑材料的发尘
- E. 干净室的风量〔L〕计算〔风平衡计算〕
1. 干净室的送风量〔L_送〕计算
 - (1). 消除余热的送风量〔L_{送1}〕
 - (2). 消除余湿的送风量〔L_{送2}〕
 - (3). 净化送风量〔L_{送3}〕
 2. 干净室的新风量〔L_新〕计算
 - (1) 干净室的排风量〔L_排〕
 - (2) 干净室的正压漏风量〔L_正〕
 - (3) 干净室内人员新风量〔L_人〕
 - (4) 干净室的新风量〔L_新〕
- F. 净化空调系统的总冷量〔Q_冷〕、总加热量〔Q_热〕、总加湿量〔W〕的计算
1. 一次回风的空气处理方案
 2. 一、二次回风的空气处理方案
 3. 新风机组〔MAU〕加风机过滤器单元〔FFU〕加干冷盘管〔DC〕的空气处理方案
- G. 净化空调系统的水利计算〔阻力平衡计算〕
1. 摩擦阻力计算
 2. 局部阻力计
 3. 总阻力
- 〔三〕干净室净化空调系统的划分
- A. 排风系统划分的原则
 - B. 净化空调系统划分的原则
- 〔四〕干净室净化空调系统送风型式的比拟和选择
- A. 净化送风与空调送风合一的型式

1. AHU 全新风的净化空调送风型式
2. AHU 一次回风净化空调送风型式
3. AHU 一、二次回风净化空调送风型式
4. MAU+RAU 的净化空调送风型式

B. 净化送风与空调送风别离的型式

1. AHU(MAU)+FFU 的净化空调送风型式
2. MAU+RAU+FFU 的净化空调送风型式
3. MAU+DC+FFU 的净化空调送风型式

(五) 干净室净化空调系统的冷、热源

- A. 净化空调系统冷源的选择
- B. 净化空调系统热源的选择

[六] 干净室净化空调系统的节能

- A. 干净室的空调负荷
- B. 干净室空调的负荷特点
- C. 干净室空调的节能措施

三. 净化空调设备

[一] 空气的过滤的根本知识及空气过滤的选择应用

- A. 过滤机理和过滤器的分类
- B. 过滤效率的测试方法
- C. 过滤器的功能及作用

[二] 空气处理机组〔空调器〕的选择

- A. 工业干净室用空调机组
- B. 生物干净室用空调机组
- C. 表冷器, 加热器, 加湿器的选择
- D. 淋水室和化学过滤器的选择

E. 消声器和消声弯头的选择

F. 净化空调机组送风机的选择

G. FFU 和干冷盘管的选择

1. FFU
2. 干冷盘管

[三] 局部净化设备

- A. 吹淋室
- B. 自净器
- C. 净化工作台
- D. 生物平安柜
- E. 层流罩

四. 干净室的建造特点

- (一) 建造的干净室必须保证生产工艺所要求的各项参数
- (二) 建造的干净室要具有一定的灵活性

- (三) 建造干净室需要较大的投资
 - (四) 干净室运行耗电量大运行费用高
- 五. 干净室的竣工验收调试, 性能测试和干净室的综合评价
- 〔一〕 调试前的准备工作
 - 〔二〕 单机试车
 - 〔三〕 联动调试
 - 〔四〕 干净室的性能测试和综合评价
- 六. 干净室的性能测试
- 〔一〕 干净室性能测试的目的
 - 〔二〕 干净室性能测试的内容
 - 〔三〕 干净室性能测试的主要仪器和仪表
 - 〔四〕 干净室性能测试的方法
- 七. 干净室维护管理的一问题
- (一) 过滤器的根本知识及其维护管理
 - (二) 干净室的发尘源和干净室的清埽
 - (三) 干净室的空气品质
 - (四) 干净工作服及其清洗
 - (五) 干净区厕所的设置
 - (六) 值班风机的设置
 - (七) 吹淋室的设置及吹淋效果
 - (八) 干净室的正压维持
 - (九) 干净室的消毒和灭菌
 - (十) 干净室的颜色处理
 - 〔十一〕 干净室的静电和静电的消除
 - 〔十二〕 干净室的防火和防爆
 - 〔十三〕 干净室的能耗和节能
 - 〔十四〕 干净室的竣工验收调试和在线测试
 - 〔十五〕 净化空调系统的家湿问题
 - 〔十六〕 净化空调系统的管道保温和防结露问题
 - 〔十七〕 净化空调系统的加热问题
- 八. 三个净化工程的典型案例
- 〔一〕 大面积 ISO 6 级顶送顶回非单向流干净室工程案例
 - 〔二〕 **清溢精细光电**的一级干净厂房
 - 〔三〕 航天光学遥感特殊交大实验室矢流干净室设计案例

格力空调培训教材

一. 空气调节和空气净化的根底知识

- 〔一〕 空气调节的根本概念
 - A. 空气调节及其分类

空气调节就是使房间或封闭空间的温度，相对湿度，干净度，和气流速度等参数均到达给定要求的技术。也就是说，在人们的生活和工作以及生产和科研的一个特定的空间内其环境空气的温度，湿度，干净度，和气流速度等构成了该空间的空气环境。采取必要的技术手段来创造和保持该空间内要求的空气环境就是空气调节的任务。在空气调节系统中，空气处理设备即空调器是实现空气热，湿交换和空气过滤净化的核心局部。一个房间或一个空间，在一般情况下除了有来自该房间内部的围护构造，人员，照明灯具及设备产生的热，湿，粒子，微生物或其他有害物的干扰外，同时还有来自房间外部的大气，太阳辐射等的干扰。为了消除上述来自室内外的干扰，就必须采取必要的技术手段，用在空气处理设备中经热，湿和过滤处理过的空气来转移，置换，稀释和冲淡来自各方面面对房间空气的干扰，来保证房间内一定要求的空气环境。空气调节的原例图见图一和图二。

图一 空气调节原理图

图二 净化空调原理图

空气调节按使用对象的不同又可划分为舒适性空气调节和工艺性空气调节。

舒适性空气调节就是为了满足人们的舒适要求而设置的空气调节。

工艺性空气调节就是为了满足生产工艺对环境空气参数的要求而设置的空气调节。环境空气的温湿度等参数均由生产工艺来决定。不同的生产工艺对环境空气参数的要求也不一样。

B, 湿空气焓湿图及其应用

1. 湿空气的焓湿

湿空气就是我们生活和工作环境空气，就是生产和科学研究的环境空气。其主要成份是干空气和水蒸汽。所谓干空气就是不含水蒸汽的空气，其中有 78% 的氮气，21% 的氧气和缺乏 1% 的氩气，氖气等惰性气体和少量的二氧化碳。在湿空气中虽然水蒸汽的含量非常少，但是它的作用却非常大。从某种意义上说调节湿空气中水蒸汽的含量就是空气调节的重要任务之一。

湿空气的焓湿图是用来表示湿空气的温度、相对湿度、含湿量和焓值等空气状态参数及其相互关系的线算图。是在一定的大气压力的条件下，以焓值为纵坐标含湿量为横坐标，其夹角为 135° 的线算图。图中有等温度线、等相对湿度线、等含湿量线和等焓值线。利用焓湿图可以表示空气调节处理过程中所发生的混合、加热、冷却、加湿、去湿等所有空气处理过程，并且利用焓湿图可以计算出空气处理过程中所需要的冷量、加热量、加湿量等各种用量。焓湿图见图三。

图三 湿空气的焓湿图

2, 焓湿图中的名词定义:

a. 干球温度：就是用干球温度计测出的空气温度。

b. 湿球温度：就是用湿球温度计测出的空气温度。也就是说将温度计的水银球用浸水的纱

布包裹起来，所测得的稳定的空气温度。从理论来说，湿球温度就是室内放置一盆水，水吸收空气中的热量后局部水蒸发成水蒸汽释放到空气中，增加空气的潜热，而空气失去了热量，温度降低失去了空气的显热。当这一热湿交换到达平衡以后，

空气所得的潜热〔水蒸汽〕和所失的显热〔温度降低〕到达平衡后，其空气的总热量〔焓值〕不变时，此时的水面空气的温度就是空气的湿球温度<即增加的潜热等于失去的显热时>。湿球温度也就是相对湿度 100%时的饱和温度。

c. 相对湿度：空气中实际的水蒸汽的分压力与同温度下饱和状态空气的水蒸汽的分压力之比。饱和水蒸汽的分压力为 100%。

d. 饱和水蒸汽的分压力：空气中的水蒸汽不断增加到达饱和时，空气中的水蒸汽就会凝结成水由空气中别离出来，此时的温度为饱和温度，其相对湿度到达 100%。

e. 露点温度：是在一定大气压力的条件下，*含湿量下的未饱和空气因温度不断地降低，相对湿度不断增加，到达饱和状态空气中的水蒸汽凝结成水珠，从空气中别离出来时的温度叫露点温度。也就是空气中的水蒸汽分压力随空气温度降低不断升高，到达饱和状态〔100%〕时的温度叫露点温度。

f. 含湿量：即环境空气中 1 公斤干空气所含有水蒸汽的质量〔g〕。

g. 热湿比 ϵ 线：空调房间内的全热负荷与全湿负荷之比。

在电子工业产热量大、产湿量小的干净厂房一般的热湿比 8000~10000 大卡/kg 趋近正无穷大。

对于医院的干净手术部的干净手术室的热湿比大约在 1800~2400 大卡/kg。因为人多，人的产湿量大，但热负荷较小。

3, 焓湿图的应用

在焓湿图上可以划出空气调节系统中各种空气处理的过程线，并且可以在线算图上查出各种空气处理过程的空气参数和各种所需用量。

a. 等湿加热：空气含湿量不变条件下的加热。环境空气的干球温度升高，相对湿度降低。如：空气处理中用热水和蒸汽为热源的热交换器加热、电加热器的加热。 ϵ 为正的无穷大过程图线。见图四。

b. 等湿降温：空气含湿量不变条件下的降温。环境空气的干球温度降低，相对湿度增加但并未到露点，没有水凝结出来。如：空气处理中的干表冷。即送入表冷器中的冷冻水的初温高于空气露点。此时 ϵ 为负无穷大的过程线。见图五。

图四 等湿加热过程

图五 等湿降温过程

c. 等焓加湿：空气的焓值不变条件下的加湿。即空气和水直接并充分地进展热交换的过程。水吸收空气中的热量后局部水被蒸发成水蒸汽进入空气，空气失去热量温度下降。最终到达空气失去的热量等于空气中增加的水蒸汽的含热量。其空气的总热量〔焓值〕不变。过程线是 135°线， $\epsilon = 0$ ，过程线见图六。空气处理过程中淋水室〔淋循环水〕湿膜加湿、高压喷雾加湿、超声波加湿等加湿的过程线。

d. 生温去湿：空气的温度不断升高含湿量不断降低的过程。固体化学去湿的过程就是生温去湿的过程。即：固体吸湿剂吸收空气中的水分发生化学反响放热使空气温度升高，绝对含湿量降低，相对湿度也降低。过程线近似等焓线。常见的分子筛、氯化锂、硅胶等固体吸湿就是生温去湿过程。过程线见图七。

图六 等焓加湿过程

图七 升温去湿过程

e. 等温加湿：空气干球温度不变条件下的加湿。向空气中喷入水蒸汽的过程就是等温加湿过程。空气的温度维持不变，直接将水蒸汽喷入空气变成空气中的水蒸汽。

空气处理中常用的喷蒸汽、喷干蒸汽电极式、电热式的加湿器。过程线见图八。

f. 降温去湿〔降温枯燥〕：空气的温度降低同时含湿量也减低的空气处理过程。向空气中喷淋低于空气露点的冷冻水，或将低于空气露点的冷冻水〔冷媒〕通入外表冷却器，与空气接触后，使空气温度降低而且还使空气中的水蒸汽遇冷凝结成水滴从空气中别离出来，使空气的温度降低，绝对含湿量减少。这是空气处理中最常用的降温去湿的方法，也是冷冻去湿的方法。过程线见图九。向空气中喷淋液体吸湿剂的处理过程也是降温去湿减焓过程，但工程中很少应用。

图八 等温加湿过程

图九 降温去湿过程

g. 升温加湿：向空气中喷热水的处理过程，是升温加湿的过程。在工程中很少应用。过程线见图十。

h. 空气的混合过程：两种不同状态的空气混合时，其空气的混合状态点在两种空气状态点的连线上。线段长度之比则为两空气质量之比。其过程线见图十一。

图十 升温加湿过程

图十一 混合过程

焓湿图上几种典型的空气处理过程见图十二。

湿空气状态的各种参数，如：干球温度，湿球温度，露点温度，相对湿度，含湿量和焓值等之间都是相互关连的，只要知道其中的两、三个参数在焓湿图上就可以确定湿空气的状态点。见图十三。

图十二 典型的空气处理过程

图十三 空气状态点参数确实定

定

4. 焓湿图的应用举例

一个干净室的室内参数为 N，送风参数为 S，热湿比为 ϵ ，送风温差为 Δt 。全新风系统。夏季室外计算参数为 W_s ，冬季室外计算参数为 W_d 。现需将室外空气处理到送风参数点 S 后，用风管送到干净室内就能满足干净室的温、湿度要求。可以采取下面多种方法，对空气进展热，湿处理都能到达同一个目的。见图十四。

图十四 焓湿图上的空气处理过程

如：夏季空调空气处理过程可以有如下途径来实现：

- a. $W_s \rightarrow L \rightarrow S$ 用表冷器或淋水室将室外空气降温去湿减焓处理后再等湿再热。
- b. $W_s \rightarrow a \rightarrow S$ 用固体化学去湿将室外空气生温去湿再干冷降温。
- c. $W_s \rightarrow S$ 用喷淋液体吸湿剂做降温、去湿、减焓处理。

又如：冬季空调空气处理过程可以有如下途径来实现：

a. $W_d \rightarrow b \rightarrow L \rightarrow S$ 先用加热器对室外空气预热再等温加湿〔喷蒸汽〕然后用加热器再热。

b. $W_d \rightarrow c \rightarrow L \rightarrow S$ 先用加热器对室外空气预热再等焓加湿〔湿膜等〕然后用加热器再热。

c. $W_d \rightarrow d \rightarrow S$ 先用加热器对室外空气加热再等温加湿〔喷蒸汽〕。

d. $W_d \rightarrow L \rightarrow S$ 先用喷热水对室外空气升温加湿然后再热。

e. $W_d \rightarrow e \rightarrow L_1 \rightarrow S$ 用加热器加热+局部空气进展等焓加湿〔用湿膜等方法〕
+再与未加湿局部空气混合

C, 空气调节的气流

空气调节气流组织设计的任务就是要合理地组织室内空气的气流流动，使工作区的温度，湿度，气流速度和干净度能很好地满足生产和科学研究以及人们舒适感的要求。气流组织不合理不仅直接影响空调房间的空调参数和空调效果，而且还要空调系统的能耗。

空调系统送风口射出空气射流是影响室内气流组织的主要因素，而空调回风口，从流体力学角度是空气的汇流，起回风速度衰减很快，与其距离的平方成反比。因此回风口的位置对室内气流组织的影响比拟小。

空气调节系统的气流组织形式主要有：上送下回，上送下侧回，上送上回，侧上送侧下回等形式。见图十五。

图十五 空气调节的气流组织

〔二〕 空气净化的根底知识

A. 干净室及其四大技术要素

根据生产和科研的要求对室内空气环境的干净度、温度、相对湿度以及压力、噪声、振动、静电等参数都进展控制的房间叫干净室或干净厂房。

干净室的四大技术要素就是：粗效，中效和高效三级过滤，足够的净化送风量，室内正压的建立和维持，以及终端高效或超高效过滤器的设置。

B. 干净室的应用和分类

当今干净室已广泛地应用在电子、航天、机械、化工、制药、食品、医疗、生物工程……各行各业。而且，随着国民经济和科研事业的飞速开展，干净室的应用将越来越广泛，越来越重要，

干净室可按气流流型和使用用途以及控制的主要对象来分类。

1. 干净室按气流流型来划分

- ① 单向流〔层流〕干净室，其中又分垂直单向流干净室和水平单向流干净室。

图十六 单向流气流流型

- ② 非单向流〔乱流〕干净室

图十七 非单向流气流流型

- ③ 混合流干净室

图十八 混合流气流流型

- ④ 矢流〔对角流〕干净室

图十九 矢流气流流型

- ⑤ 各种气流的特点、创造的干净度、应用*围和投资运行费。

▲ 单向流气流的净化原理是活塞和挤压原理，把灰尘从一端向另一端挤压出去，用干净气流置换污染气流。包括有垂直单向流和水平单向流。

垂直单向流是气流以一定的速度〔0.25m/s~0.5m/s〕从顶棚流向地坪的气流流型。这种气流能创造 100 级、10 级、1 级或更高干净级别。但其初投资很高、运行费很高，工程中尽量将其面积压缩到最小，用到必须用的部位。

水平单向流是气流以一定的速度〔0.3m/s~0.5m/s〕从一面墙流向对面的墙的气流流型。该气流可创造 100 级的净化级别。其初投资和运行费低于垂直单向流流型。

▲ 非单向流气流的净化原理是稀释原理。一般型式为高效过滤器送风口顶部送风；回风的型式有下部回风、侧下部回风和顶部回风等。依不同送风换气次数，实现不同的净化级别，其初投资和运行费用也不同。

▲ 混合流气流是将垂直单向流和非单向流两种气流组合在一起构成的气流流型。这种

气流的特点是将垂直单向流面积压缩到最小,用大面积非单向流替代大面积单向流以利节省初投资和运行费。

▲ 举例给出不同气流流型的送风量、耗冷量、初投资和运行耗电的具体指标见表一,此指标是以电子工业干净厂房为代表,具体数据有参考价值,但不能随便套用。

表一 不同干净级别干净厂房的送风量、冷量投资耗电的指标

气流流型	干净级别 〔级〕		送风量 〔m/s〕〔次/h〕	耗冷指标 〔W/m ² 〕	投资指标 〔元/ m ² 〕	耗电指标 〔W/m ² 〕
单向流	垂直	10 100	>0.25m/s	1300~1500	10000~13000	1.25~1.35
	水平	100	>0.3m/s	800~1000	5000~6000	0.9~1.0
非单向流	1000		50~60 次/h	600~700	2800~3000	0.25~0.33
	10000		25~30 次/h	500~600	2000~2200	0.22~0.26
	100000		15~20 次/h	350~400	1400~1600	0.13~0.16

注:表中的送风量、单向流以断面风速表示,非单向流以换气次数表示。

表中冷量指标一般指电子工业干净厂房。

表中的初投资包括干净厂房的围护、冷冻供给系统、空调净化系统,不含土建构造和自动控制的投资。

表中的耗电量系指制冷系统和空调送风系统耗电,不含电加热和电加湿的耗电量。

2. 按使用的用途或控制的主要对象划分

① 工业用干净室 以控制灰尘为主要对象。用于电子、航天、机械、化工、化学制药……。

② 生物干净室: 以控制细菌〔微生物〕为主要对象。用于生物制药、医疗、食品、生物工程、动物饲养、生物平安等……。

C. 干净室与一般空调的差异见表二

表二 干净室与一般空调的差异

比拟工程	一般空调	净化空调
原理	送风和室内空气充分混合以到达室内温湿度均匀	乱流为稀释原理,层流为活塞原理,送出的干净室空气先达工作区,罩笼干净工作区
目的	为了控制温度、湿度、风速和空气成份的目的	除了一般空调的目的之外,更重要的是控制粒子的浓度
手段	粗、中效过滤加热湿交换	除空调手段外还要加高效、超高效过滤器,对微生物还要有灭菌措施
送风量 〔次/h〕	一般降温空调 8~10 次/h 一般恒温空调 10~15 次/h	单向流 400~600 次/h 非单向流 15~60 次/h
初投资 〔元/m ² 〕	一般降温 500 元/m ² 一般恒温 800 元~1000 元/m ²	单向流 5000~15000 元/m ² 非单向流 1500~3000 元/m ²
运行耗电 〔Kw/m ² 〕	一般降温 0.04~0.06 Kw/m ² 一般恒温 0.08~0.10 Kw/m ²	单向流 0.9~1.35 Kw/m ² 非单向流 0.13~0.33 Kw/m ²
冷量指标 〔W/m ² 〕	一般降温 150~200 W/m ² 一般恒温 200~250 W/m ²	单向流 800~1500 W/m ² 非单向流 350~700 W/m ²

D. 工业干净室与生物干净室的差异见表三

表三 工业干净室与生物干净室的差异表

比拟工程	工业干净室	生物干净室
------	-------	-------

研究对象 〔主要〕	灰尘、粒子只有一次污染。	微生物、病菌等活的粒子不断生长繁殖，会诱发二次污染〔代谢物、粪便〕。
控制方法 净化措施	主要是采取过滤方法。粗、中、高三级过滤，粗、中、高、超高四级过滤和化学过滤器等。	主要是采取：铲除微生物生长的条件，控制微生物的孳生、繁殖和切断微生物的传播途径。过滤和灭菌等。
控制目标	控制有害粒径粒子浓度。	控制微生物的产生、繁殖和传播，同时控制其代谢物。
对生产工艺的危害	关键部位只要一颗灰尘就能造成产品的极大危害。	有害的微生物到达一定的浓度以后才能够成危害。
对干净室建筑材料的要求	所有材料〔墙、顶、地等〕不产尘、不积尘、耐磨擦	所有材料应耐水、耐腐且不能提供微生物孳生繁殖条件。
对人和物进入的控制	人进入要换鞋、更衣、吹淋。物进入要清洗、擦拭。人和物要分流，洁污要分流。	人进入要换鞋、更衣、淋浴、灭菌；物进入要擦拭、清洗、灭菌 空气送入要过滤、灭菌，人物分流，洁污分流。
检测	灰尘粒子可用粒子计数器检测瞬时粒子浓度并显示和打印。	微生物检测不能测瞬时值，须经 48 小时培养才能读出菌落数量。

E . 干净度的等级标准 ISO-14644

ISO-14644 是国际标准，现在美国、欧洲、日本、俄罗斯和我国都采用此标准，美国原来应用的是美国联邦标准 209A、B、C、D、E，现在美国也不用了。原来我们熟悉的 100 级、1000 级、10000 级和 100000 级都是源自美国联邦标准 FS 209B，现在它们分别被国际标准 ISO-14644 标准中的 5 级、6 级、7 级和 8 级所替代。

ISO-14644 的干净度等级标准列表四如下。

表四 干净室及干净空气中悬浮粒子的干净度等级 ISO-14644

空气干净度等级 [N]	≥表中粒径的最大浓度限值 [个/m ³]					
	0.1μm	0.2μm	0.3μm	0.5μm	1μm	5μm
1	10	2	/	/	/	/
2	100	24	10	4	/	/
3	1000	237	102	35	8	/
4	10000	2370	1020	352	83	/
8	100000	23700	10200	3520	832	29
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7	/	/	/	352000	83200	2930
8	/	/	/	3520000	832000	29300
9	/	/	/	35200000	8320000	293000

注：① 每点应至少采样 3 次。

② 本标准不适用于表征悬浮粒子的物理、化学、放射及生命性。

③ 根据工艺要求可确定 1~2 粒径。

④ 根据要求粒径 D 的粒子最大允许浓度由下式确定〔粒径 0.1μm~5μm〕

$$C_n = 10^N \times (0.1/D)^{2.08} \quad [\text{个}/\text{m}^3]$$

式中 N 为干净度等级在 1~9 级中间可以 0.1 为最小单位递增量插入。

国标干净等级标准 ISO- 14644 与各国干净度等级标准的比拟见表五。

表五 国际标准 ISO-14644 与各国标准的比拟表

国际标准 ISO-14644	中国标准 GB 50073	美国标准 FS 209E	俄国标准 TOCT 50766	日本标准 TIS 9920	德国标准
/	/	/	P0	/	/
1	1	/	P1	1	1
2	2	/	P2	2	2
3	3	M1.5	P3	3	3
4	4	M2.5	P4	4	4
5	5	M3.5	P5	5	5
6	6	M4.5	P6	6	6
7	7	M5.5	P7	7	7
8	8	M6.5	P8	8	8
9	9	/	P9	/	9

注：美国联邦标准 FS 209E 已经停顿使用

二、干净室的设计

(一) 干净室设计前的准备工作及应收集的有关数据和资料

A. 收集国家和地方有关干净室建立的政策，标准，规*

- 1、干净度等级的国家标准和国际标准 ISO 14644
- 2、“干净厂房设计规* ” GB 50073-2001
- 3、“电子工业干净厂房设计规* ” GB50472-2021
- 4、“制药工业干净厂房设计规* ” GB50457-2021
- 5、“医院干净手术部建筑技术规* ” GB 50333-2002
- 6、“实验动物设施建筑技术规* ” GB50447-2021
- 7、“生物平安实验室建筑技术规* ” GB 50346-2004
- 8、“实验室 生物平安通用要求 ” GB19489 – 2021
- 9、“干净室施工验收规* ” JGJ 71-90
- 10、“电子工业干净厂房施工及验收规* ” [制订中]
- 11、“采暖通风与空气调节设计规* ” GB 50019-2003
- 12、“通风与空调工程施工质量验收规* ” GB 50243-2002
- 13、“建筑设计防火规* ” GB 50016-2021
- 14、“高层民用建筑设计防火规* ” GB 50045-2001 等。

B. 该工程的“可行性研究报告 ” 以及上级主管部门对报告的批复意见；该工程的“设计任务书 ” 和建立方对该工程建造的有关要求、意见和建议。

C. 该工程建厂地区的气象资料、水文地质资料和周围大气污染的环境状况。

D. 干净室内生产工艺对净化空调的要求和必须收集的生产工艺的技术条件和有关数据、资料：

1、干净厂房内的生产工艺设备平面布置图和设备清单，以及工艺对吊顶高度的要求。

2、工艺对干净室内的干净度、温度及精度、相对湿度及精度、正压、振动、噪声、照度、静电、屏蔽等要求，越具体越好。

3、干净室内生产工艺设备的产热量、产湿量、产尘量。各设备的安装功率、效率、热转化系数和同时使用系数等。

4、干净室内生产工艺设备的局部排风量、排放气体的性质、成份、浓度和废气排放量以及废气治理方法。

5、干净室内生产运行的班次、运行规律、生产的最大班人数。

E. 干净厂房的建筑和构造的情况和有关的数据

1、干净室建筑的平面布置图、立面图、剖面图。各房间的分割、面积、名称、层高。

2、干净室围护构造〔墙、地、顶、门、窗等〕的建筑材料以及其热工性能。

3、建筑构造状况、构造的承载能力，尤其是旧建筑的改造工程构造的平安十分重要。

F. 全厂冷源、热源、电源的情况及供给

1、冷热源的性质、参数和供给量。有无加湿用的蒸汽等。

2、电源的性质、参数和供给量。

G. 地方消防、环保部门对该工程建立的要求和意见。

H. 其他相关专业〔给水排水、气体动力、建筑构造、强弱电等〕的要求和意见。

I. 设计时所用的设备、材料、配件的性能、参数和价格的资料。

〔二〕净化空调系统的负荷计算

A. 干净室的热负荷计算〔热平衡计算〕

1、干净室的热负荷包括以下各项:

① 围护构造的传热负荷计算:

$$Q_{\text{传}} = \sum K_i F_i \Delta t \quad [\text{kW}]$$

式中: K_i ——围护构造的传热系数 $[\text{W}/\text{m}^2\text{°C}]$

F_i ——干净室围护构造的面积 $[\text{m}^2]$

Δt ——干净室内外温差 $[\text{°C}]$

② 室内人员的热负荷计算:

• 人员的显热负荷 $Q_{\text{人显}} = n \cdot q_{\text{人显}} [\text{kW}]$

• 人员的潜热负荷 $Q_{\text{人潜}} = n \cdot q_{\text{人潜}} [\text{kW}]$

• 人员的全热负荷 $Q_{\text{人全}} = Q_{\text{人显}} + Q_{\text{人潜}} [\text{kW}]$

式中: n ——室内的人数 [人]

$q_{\text{显}}$ ——每个人的显热负荷 $[\text{kW}/\text{人}]$

$q_{\text{潜}}$ ——每个人的潜热负荷 $[\text{kW}/\text{人}]$

③ 室内的照明负荷计算:

$$Q_{\text{灯}} = n_0 n_1 n_3 N \quad [\text{kW}]$$

式中: N ——照明设备的功率 $[\text{kW}]$

n_0 ——整流器消耗的功率系数 $[n_0=1.0\sim 1.2]$

n_1 ——安装系数 [明装 $n_1=1.0$, 暗装 $n_1=0.6\sim 0.8$]

n_3 ——照明设备的同时使用系数。

④ 室内设备的产热负荷计算:

- 电热设备热负荷 $Q_{\text{设热}} = n_1 n_3 n_4 N$ [kW]
- 电动设备热负荷 $Q_{\text{设动}} = n_1 n_2 n_3 N / \eta$ [kW]
- 电子设备热负荷 $Q_{\text{设电}} = n_1 n_2 n_3 N$ [kW]

式中：N —— 设备的功率

n_1 —— 安装系数 [$n_1 = 0.7 \sim 0.9$]

n_2 —— 负荷系数 [$n_2 = 0.3 \sim 0.7$]

n_3 —— 同时使用系数。

保温情况	排风情况	
	有局部排风时	无局部排风时
设备无保温	$n_4 = 0.4 \sim 0.6$	$n_4 = 0.8 \sim 1.0$
设备有保温	$n_4 = 0.3 \sim 0.4$	$n_4 = 0.6 \sim 0.7$

n_4 —— 通风保温系数。

⑤ FFU 的产热

2、干净室总的热负荷计算：

$$\text{总显热负荷 } Q_{\text{总}} = \sum Q_{\text{围}} + Q_{\text{窗}} + Q_{\text{门}} + Q_{\text{地}} + Q_{\text{FFU}}$$

$$\text{总全热负荷 } Q_{\text{总}} = \sum Q_{\text{围}} + Q_{\text{窗}} + Q_{\text{门}} + Q_{\text{地}} + Q_{\text{FFU}}$$

B. 干净室的湿负荷计算 [湿平衡计算]

1、干净室的湿负荷包括以下各项：

① 室内人员产湿计算：

$$W_{\text{人}} = n \cdot w_{\text{人}} \quad [\text{kg/h}]$$

式中： $w_{\text{人}}$ —— 每个人的湿负荷 [kg/h·人]

② 室内设备的产湿计算

$$W_{\text{设}} = F \cdot w_{\text{设}} \quad [\text{kg/h}]$$

式中：F —— 产湿设备的水蒸发面积 [m²]

$w_{\text{设}}$ —— 产湿设备单位面积的水蒸发量 [kg/m²·h]

2、干净室总的湿负荷计算

表六 不同温度条件下成年男子的散热 [W]、散湿 [g/h] 量表

劳动强度	热湿量 [W] [g/h]	温度 [°C]										
		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
极轻劳动	显热	100	97	90	85	79	75	70	65	61	57	51
	潜热	40	43	47	51	56	59	64	69	73	77	83
	全热	140	140	137	136	135	134	134	134	134	134	134
	散湿量	59	64	69	76	83	89	96	102	109	115	123
轻劳动	显热	106	99	93	87	81	76	70	64	58	51	47
	潜热	79	84	90	94	100	106	112	117	123	130	135

	全热	185	183	183	181	181	182	182	181	181	181	182
	散湿量	118	126	134	140	150	158	167	175	184	194	203
中度劳动	显热	134	126	117	112	104	97	88	83	74	67	61
	潜热	102	110	118	123	131	138	147	152	161	168	174
	全热	236	236	235	235	235	235	235	235	235	235	235
	散湿量	153	165	175	184	196	207	219	227	240	250	260

C. 干净室热湿负荷比 ε 的计算

$$\varepsilon = \frac{Q_d}{W} \quad [\text{kJ/kg}]$$

D. 干净厂房的发尘源和产尘量

1. 干净厂房内发尘源主要是人，是在厂房内操作的人员。人员的发尘量的大小与人员的动作状态和着装有关。下表是人员不同着装和不同动作的发尘量。

表七 人员不同着装和不同动作的发尘量 [个/分·人 $\geq 0.5\mu\text{m}$]

动作	着装	一般工作服	干净工作服
	坐不动		3.0×10^5
上身扭动		8.5×10^5	2.67×10^5
上身前屈		22.4×10^5	5.40×10^5
原地踏步		23.0×10^5	8.60×10^5
步行		29.2×10^5	10.10×10^5

一般情况下，穿干净工作服进展电子工业装配生产的工人的发尘量为 $3 \sim 5 \times 10^5$ 个/分·人 [$\geq 0.5\mu\text{m}$]。

2. 干净室的建筑产尘

资料介绍实测建筑产尘量 [包括墙、地、顶等围护的产尘] 0.8×10^4 个/分· m^2 。随着建筑材料的开展，建筑产尘量会越来越来少。

由上述数据可见一个人的发尘量相当于 $30 \sim 50 \text{ m}^2$ 的建筑产尘量。

3. 工艺设备和工艺生产过程的产尘

工艺设备和生产过程产尘与生产工艺本身有关，不同生产工艺产尘量差异很大。

据资料介绍微电动机的发尘量可为 $4.5 \sim 45 \times 10^4$ 个/分·台 [$\geq 0.5\mu\text{m}$]。

F. 干净室的风量计算 [风平衡计算]

1、干净室的送风量的计算

干净室的送风量不仅仅能消除干净室的总的余热，余湿以保证干净室的温度和相对湿度而且，干净室的送风量还应能消除室内产生的灰尘等粒子的污染，以保证干净室的干净度等级。因此，干净室的送风量应为消除余热的送风量，消除余湿的送风量和消除粒子污染的净化送风量三者之间最大的送风量为该干净室的送风量。

① 消除干净室内余热的送风量计算：

$$L_d = Q_d / c \cdot \gamma \cdot \Delta t = Q_d / \gamma \cdot \Delta t \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

式中: $Q_{显}$, $Q_{全}$ ——分别为干净室的显热和全热负荷 [kW]

c —— 空气的比热 [1.01 kJ/kg·°C]

γ —— 空气的密度 [1.2 kg/m³]

Δt —— 干净室的送风温差 [°C]

Δi —— 干净室的送风焓差 [kJ/kg]

② 消除干净室内余湿的送风量计算:

$$L_{\text{湿}} = 1000W / \gamma \Delta d \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

式中: W —— 干净室的湿负荷 [g/h]

γ —— 空气的密度 [1.2 kg/m³]

Δd —— 送风的绝对含湿量差 [g/kg]

③ 消除干净室内粒子污染的净化送风量计算:

$$L_{\text{净}} = \frac{60G \times V \times 10^3}{C[I - S \square 1 - \eta_H \square] - M \square 1 - S \square (1 - \eta_X)} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

式中: G —— 干净室内单位容积产尘量 [个/升·分]

V —— 干净室的容积 [m³]

C —— 干净室稳定的含尘浓度 [个/升 $\geq 0.5\mu\text{m}$]

M —— 室外新风的含尘浓度 [个/升 $\geq 0.5\mu\text{m}$]

S —— 回风量与送风量之比。

η_H —— 回风通路上过滤器的总效率。

η_X —— 新风通路上过滤器的总效率。

在一般情况下, 由于室内产尘量 G 很难准确, 因此在工程中都不用上述公式计算送风量。而采用断面风速法 [单向流干净室] 和换气次数法 [非单向流干净室] 进展净化送风量的计算。

表八 气流流型和送风量 [静态]

空气干净度等级	气流流型	平均风速 [m/s]	换气次数 [次/时]
1~4	单向流	0.3~0.5	/
5	单向流	0.2~0.5	/
6	非单向流	/	50~60
7	非单向流	/	15~25
8~9	非单向流	/	10~15

注: ① 表中换气次数适应于层高小于 4.0m 的干净室。

② 室内人员少、热源少时, 宜采用下限值。

2、干净室的新风量计算

干净室的新风量不仅仅要补充干净室的排风量和维持干净室正压的泄漏风量, 同时还要保证干净室内工作人员每人每小时不小于 40m³ 的新鲜空气量的要求。因此

$$L_{\text{新}} = L_{\text{排}} + L_{\text{正}} \geq n \cdot 40 \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

式中: $L_{\text{排}}$ —— 干净室总的排风量 [m³/h]

$L_{\text{正}}$ —— 维持干净室正压的总泄漏风量 [m³/h]

n —— 干净室内人数

① 干净室内设备局部排风量计算

$$L_{排} = 3600 \times F \times V \quad [m^3/h]$$

式中: F—— 排风罩的开口面积 $[m^2]$

V—— 开口部的平均风速 $[m/s]$

- 伞形排气罩的开口排风速度宜按以下数据计算:

排无毒气体 $V = 0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$

排有毒气体 $V = 0.5 \sim 0.8 \text{ m/s}$ [有三面围挡]

$V = 0.8 \sim 0.9 \text{ m/s}$ [有二面围挡]

$V = 0.9 \sim 1.1 \text{ m/s}$ [有一面围挡]

$V = 1.1 \sim 1.3 \text{ m/s}$ [无围挡]

- 通风柜工作口的排风速度宜按以下数据计算:

排无毒气体 $V = 0.35 \sim 0.45 \text{ m/s}$

排有毒气体 $V = 0.55 \sim 0.70 \text{ m/s}$

排剧毒气体 $V = 0.80 \sim 1.0 \text{ m/s}$

② 干净室正压泄漏风量计算:

正压泄风量可用缝隙法和换气次数法进展计算:

- 缝隙法

式中: q —— 单位缝隙长度的漏风量可查表九 $[m^3/h \cdot m]$

l —— 缝隙长度 $[m]$

α —— 漏风系数

- 换气次数法可查表十得到。

表九 围护构造单位长度缝隙的渗漏风量表 $[m^3/h \cdot m]$

门窗形式 压差 [Pa]	非密闭门	密闭门	单层密闭 固定钢窗	单层密闭 开启钢窗	传递窗	壁板
5	17	4	0.7	3.5	2.0	0.3
10	24	6	1.0	4.5	3.0	0.6
15	30	8	1.3	6.0	4.0	0.8
20	36	9	1.5	7.0	5.0	1.0
25	40	10	1.7	8.0	5.5	1.2
30	44	11	1.9	8.5	6.0	1.4
35	48	12	2.1	9.0	7.0	1.5
40	52	13	2.3	10.0	7.5	1.7
45	55	15	2.5	10.5	8.0	1.9
50	60	16	2.6	11.0	9.0	2.0

表十 干净室的压差值与房间换气次数表 [次/时]

压差 [Pa]	有外窗密封较差	有外窗密封较差	无外窗土建式
5	0.9	0.7	0.6
10	1.5	1.2	1.0

15	2.2	1.8	1.5
20	3.0	2.5	2.1
25	3.6	3.0	2.5
30	4.0	3.3	2.7
35	4.5	3.8	3.0
40	5.0	4.2	3.2
45	5.7	4.7	3.4
50	6.5	5.3	3.6

G. 干净厂房空调净化系统的总冷量 $Q_{冷}$ 、加热量 [其中包括新风预热量 $Q_{预热}$ 和再热量 $Q_{再热}$]、加湿量 W 的计算。

空调净化系统的总冷量、总热量和加湿量随空调处理方案不同而不同。为了省电节能,设计时对空气处理方案必须进展技术经济比拟和优化,选择简单、实用、节能、维护管理方便,节省投资的空气处理方案。空气处理方案确定以后,净化空调系统的总冷量 $Q_{冷}$; 预热量 $Q_{预热}$; 再热量 $Q_{再热}$; 加湿量 W 均可在 $i-d$ 图上求得。下面我们举三个典型的空气处理方案进展说明。

1、一次回风的空气处理方案:

一次回风的空气处理方案示意图和空气处理过程的焓湿图, 见图二十。

示意图焓湿($i-d$)图

图二十 一次回风空气处理方案示意图及焓湿图

由 $i-d$ 图可计算:

① 净化空调系统的总冷量 [kW]

$$Q_{冷} = G_{送} \times \Delta i_1 \quad [kW]$$

式中: $G_{送}$ —— 系统送风量 [kg/s]

Δi_1 —— 降温去湿的焓差 [kJ/kg]。

② 夏季再热量 $Q_{再热}$ [kW]

$$Q_{再热} = G_{送} \times C \times \Delta t_4 \quad [kW]$$

式中: C —— 空气比热 [1.01kJ/kg°C]

Δt_4 —— 夏季再热温差 [°C]。

③ 冬季新风预热量 $Q_{预热}$ [kW]

$$Q_{预热} = G_{新} \times C \times \Delta t_1 \quad [kW]$$

式中: Δt_1 —— 冬季新风预热温差 [°C]

$G_{新}$ —— 新风量 [kg/s]。

④ 冬季加热量 $Q_{加热}$ [kW]

$$Q_{加热} = G_{送} \times C \times \Delta t_2 \quad [kW]$$

式中: Δt_2 —— 冬季再热温差 [°C]。

⑤ 冬季加湿量 W [kg/h]

$$W = 1000 \times G_{送} \times \Delta d_1 \quad [kg/s]$$

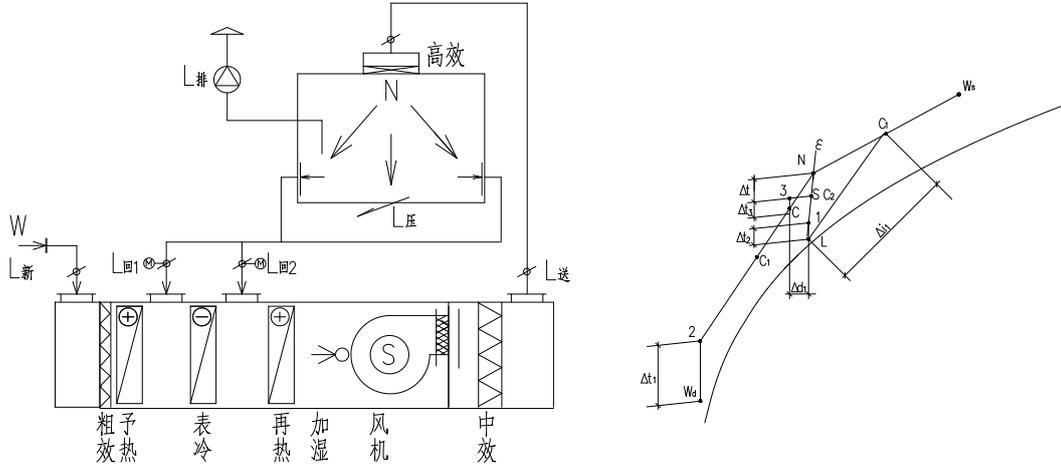
式中: W —— 冬季净化空调系统的加湿量 [kg/s]

Δd_1 —— 冬季加湿的含湿量之差 [g/kg]

$G_{送}$ —— 系统的送风量 [kg/s]。

2、一、二次回风的空气处理方案

一、二次回风的空气处理方案示意图和空气处理过程的 i-d 图见图二十一。



示意图焓湿(i-d)图

图二十一 一、二次回风空气处理方案示意图及(i-d)图

用 i-d 图可计算。

① 净化空调系统的冷量 [kW]

$$Q_{冷} = (G_{\square} + G_{\square 1}) \times \Delta i_1 \quad [kW]$$

式中: Δi_1 —— 空气处理焓差 [kJ/kg]

$G_{新}$ —— 系统新风量 [kg/s]

$G_{回1}$ —— 系统一次回风量 [kg/s]。

② 夏季再热量 $Q_{再热}$, 因二次回风的混合点设计在送风点上, 固理想状态的夏季再热量为 0。

③ 冬季新风预热量 $Q_{预热} = G_{\square} \times C \times \Delta t_1$ [kW] 与一次回风方案一样。

④ 冬季的加热量 $Q_{加热} = G_{送} \times C \times \Delta t_3$ [kW] 也与一次回风方案一样。

⑤ 冬季加湿量 $W = G_{\square} \times \Delta d_1 \times 1000$ [kg/s] 也与一次回风方案一样。

3、新风机组加干盘管加 FFU 的空气处理方案

该方案的示意图和空气处理过程的 i-d 图见图二十二。

示意图焓湿(i-d)图

图二十二 新风机组加干盘管加 FFU 方案示意图及(i-d)图

从 i-d 图计算可查:

① 夏季净化空调系统冷量 [kW]

$$Q_{冷} = G_{\square} (\Delta i_1 + \Delta i_2) + G_{回} \times C \times \Delta t_4 \quad [kW]$$

式中: Δi_1 —— 新风一级表冷处理焓差 [kJ/kg]

Δi_2 —— 新风二级表冷处理焓差 [kJ/kg]

$G_{新}$ —— 系统的新风量 [kg/s]

$G_{回}$ —— 循环的回风量 [kg/s]

Δt_4 ——循环风在干盘管的温降 [°C]。

② 冬季净化空调系统的冷量 [kW]。

$$Q_{\text{冷}} = G_{\square} \times C \times \Delta t_4 \quad [\text{kW}]$$

③ 冬季新风预热量 [kW]

$$Q_{\text{预热}} = G_{\text{新}} \times C \times \Delta t_1 \quad [\text{kW}]$$

式中： Δt_1 ——冬季新风预热温差 [°C]。

④ 冬季新风加热量 [kW]

$$Q_{\text{热}} = G_{\text{新}} \times C \times \Delta t_2 \quad [\text{kW}]$$

式中： Δt_2 ——新风加热温差 [°C]。

⑤ 冬季新风加湿量 [kg/s]

$$W = G_{\square} \times \Delta d_1 \times 1000 \quad [\text{kg/s}]$$

式中： Δd_1 ——新风加湿的含湿量差 [g/kg]

$G_{\text{新}}$ ——新风量 [kg/s]。

H. 净化空调系统的水力计算

净化空调系统的水力计算包括水系统和风系统的水力计算两大局部。水系统〔冷冻水和冷却水系统〕的水力计算，其目的是为了进展水系统的阻力平衡〔减少失调〕选择管径和水泵；风系统〔送风系统、回风系统、新风系统、排风系统〕的水力计算主要目的是为了确定风管的管径〔尺寸〕和选择风机〔送风机、排风机〕。

系统的水力计算其实就是系统的阻力计算。

$$\text{系统的总阻力 } H_{\text{总}} = \Sigma \Delta P_m + \Sigma Z \quad [\text{Pa}]$$

式中： ΔP_m ——各管段的磨擦阻力 [Pa]。

Z ——各部件的局部阻力 [Pa]。

$$1、\text{ 磨擦阻力 } \Delta P_m = \frac{\lambda}{D} \times \frac{v^2 \rho}{2} \times L \quad [\text{Pa}]$$

式中： λ ——磨擦阻力系数。

D ——管道的“直径” [m]

圆形管道 D 即是圆的直径。

矩形管道 D 为当量直径 $D = \frac{2ab}{a+b}$

a 和 b 均为矩形的边长 [m]。

v ——流体在管道中的平均流速 [m/s]。

ρ ——流体的密度 [kg/m³]。

L ——管道的长度 [m]。

$$\frac{v^2 \rho}{2} \text{——流体的动压头 [Pa]。}$$

$$2、\text{ 局部阻力 } Z = \xi \frac{v^2 \rho}{2} \quad [\text{Pa}]$$

式中： ξ ——空调净化系统中配件的局部阻力系数。

〔三〕干净室净化空调系统的划分

根据建筑专业提供的建筑平面图，工艺专业提供的工艺设备平面图和工艺对各干净室的干净度，温、湿度等环境的要求，即可进展净化空调系统的划分工作。

A. 净化空调系统的划分原则

1、干净度，温、湿度及其精度一样或相近的干净房间宜划为一个净化空调系统。便于干净度和温、湿度的控制。

2、距离较近的干净房间宜划为一个系统，可减少系统管道的长度和管道穿插。

3、有条件时可将4级、5级单向流和6级、7级、8级非单向流组成混合流净化空调系统。

4、干净室不宜与一般空调房间合为一个系统。

5、使用规律和使用时间不一样的干净室不宜合为一个净化空调系统。

6、产尘量大、发热量大、有害物多、噪声大的房间宜单独设计为一个系统。

7、混合后会产生剧毒、引起火灾和爆炸的房间不应合为一个净化空调系统。

8、有剧毒和易燃易爆的甲、乙类房间应单独设系统，而且应为不回风的直流系统。

9、一个净化空调系统不易过大。一般情况下，净化送风量不宜超过100,000 m³/h，否则空气处理设备过大、噪声大、送回风管道大、占空间和面积大，使用也不灵活。

10、净化空调系统划分时还应考虑到送风管、回风管、排风管以及水、电、气等管线的布置，尽量作到合理、短捷、使用管理方便，尽量减少穿插和重叠。

11、净化空调系统新风的热湿和净化处理可集中也可分散设置。

B. 工艺设备局部排风系统的划分原则

1、工艺设备的局部排风系统不宜过大，每个排风系统的排风点数不宜过多，这样排风管理调节方便，排风效果好。

2、一个排风系统不宜跨在两个或两个以上的净化空调系统。

3、混合后产生剧毒、爆炸、火灾、凝水、结晶和有害物的排风不应合为一个排风系统。

4、使用规律不同房间和设备的排风不应合为一个排风系统。

〔四〕干净室净化空调系统送风型式的比拟选择

A. 净化送风和空调送风合一的送风型式，通常也称作集中式送风型式。

此方案的净化空调机组〔空气处理机组 AHU〕集中设置在空调机房内，全部的净化空调送风均在净化空调机组内进展净化和热、湿处理，然后由庞大的送风管道将全部的送风输送到干净室的吊顶上部，再经过设在干净室吊顶上的终端高效过滤器或高效过滤器送风口过滤后送到干净室内，来实现干净室工艺生产所需要的温度、湿度、干净度和房间的压差，干净室的回风经回风口、回风管再接回到空调机房的净化空调机组内与新风混合后重复进展净化和热、湿处理。此方案又可分为全新风送风方案〔直流系统〕；一次回风方案；一、二次回风方案和(MAU)加(FFU)方案等四种不同的净化空调送风型式。

这种送风方案是当前干净室特别是非单向流干净室应用最广泛的净化空调送风方案。这种送风方案的系统划清楚确，风量和温、湿度控制调节都单一。但是干净度级别较高、送风量较大时，存在着空调机房占面积大，送、回风管体积大占面积和占空间大，送、回风管道长，送风机的余压高，噪音大，风量输送耗电量大等问题。因此，这种送风方案较适用在低级别的非单向流干净室的送风，对5级以上的单向流干净室送风就不太经济合理了。

1. AHU 全新风的净化空调送风方案〔直流系统〕

全新风净化空调送风方案是用于特殊的不允许回风的干净室的送风方案中。如：干净室内工艺生产类别为甲、乙类火灾危险等级或工艺过程产生有剧毒等有害物质不允许回风的干净送风系统中。其原理图和焓湿图如下。

示意图

焓湿(i-d)图

图二十三 空调机组〔AHU〕全新风空气处理方案示意图及焓湿图

2. AHU 一次回风的净化空调送风方案

一次回风的送风方案多用在干净室内的发热量或产湿量很大，消除室内余热或余湿的送风量大于、等于或近于净化送风量的低干净度等级的非单向流干净室中。此方案的原理图和焓湿图如下：

示意图

焓湿(i-d)图

图二十四 空调机组〔AHU〕一次回风空气处理方案示意图及焓湿图

3. AHU 一、二次回风的净化空调送风方案

为了节能、消除空气热湿处理过程中的冷热相互抵消，在干净室净化送风量大于其消除余热、余湿的空调送风量时，最好采用一、二次回风方案，将二次混合点设计在系统送风点上，该方是最节能、最经济的送风方案。其原理图和焓湿图如下：

示意图焓湿(i-d)图

图二十五 空调机组〔AHU〕一、二次回风空气处理方案示意图及焓湿图

4. MAU+RAU 的净化空调送风方案

此方案多用于多个干净室其干净度，温、湿度要求不同，室内的产热量和产湿量也不尽相近，为了确保每个干净室的干净度，温、湿度及其精度的要求，就要设置多个循环机组，循环机组的送风量是净化送风量，并且在机组内设置必要的热、湿处理设备，用来补充新风机组热、湿处理的缺乏和保证该干净室温、湿度精度的微调节。由于循环机组设在干净室的吊顶上面，循环机组的送风余压相对都较小，机组体积和机组噪声、振动也较小，送回风管也比拟短小；但是，要注意循环机组的凝结水排放问题，往往这种方案的问题都出在凝结水排放的处理上。此方案的新风机组设在空调机房内，这些干净室所需的新风全部由新风机组〔MAU〕进展净化和热湿的集中处理。然后分配到每一个循环机组内与其回风混合。新风机组的新风量不仅仅要补充各干净室的排风还要保证每个干净室的正压。新风机组的热湿处理最好到干净室空气的机械露点上，如果将新风热湿处理点低于干净室的机械露点作到新风不仅承当新风本身的湿负荷，而且还将干净室的湿负荷也消除掉，此时循环机组内的表冷器可为干式表冷器。此方案的原理图和焓湿图如下：

示意图焓湿(i-d)图

图二十六 MAU 加 RAU 空气处理方案示意图及(i-d)图

B. 净化送风和空调送风别离的方案，此方案通常被称作半集中式或分散式的送风方案。

为了大大地节省运行时的能耗，将消除干净室内余热、余湿的空调送风量〔通常大大地小于干净室的净化送风量〕，由设在空调机房内的新风机组(MAU)进展必要的净化和热湿处理，而将占总送风量 50~90%的保证干净室干净度的净化送风量由设在干净室附近的循环机组进展净化和补充的热、湿处理，或直接采用吊顶上的 FFU〔风机过滤器机组〕和干盘管来解决干净室的干净度等级和温度的微调节。此种净化送风与空调送风相别离的送风方案，不仅可节省运行的能耗，而且大大地减少了空调机房面积，省掉了庞大的送、回风管道，降低

了干净室的空间高度。此种净化空调送风方案又可分为：空调机组(AHU)加风机过滤器机组(FFU)方案,新风机组〔MAU〕加循环机组〔RAU〕加〔FFU〕方案；新风机组〔MAU〕加风机过滤器机组〔FFU〕加干冷盘管(DC)方案等三种送风方案。

1. 空调机组 AHU(MAU) 加风机过滤器机组〔FFU〕的净化空调送风方案

此方案中净化空调系统的全部热、湿负荷〔干净室内产生的热、湿负荷及新风的热、湿负荷〕全部由设在空调机房内的空调机组来负担。此时，空调机组的送风量是消除本系统余热、余湿的空调送风量〔其中包括全部新风和局部回风，但远远小于保证干净室干净度等级的净化送风量〕，它应能确保干净室内的温度和相对湿度的恒定。而该干净室的干净度由设在干净室吊顶上的风机过滤器机组〔FFU〕将净化送风量就地循环过滤来保证。此方案中应该注意的是，FFU 运行过程中所产生的热量也应由空调机组来承当。此方案更适合用于在大面积非单向流干净室内有局部的垂直单向流的混合流干净室中。其送风原理图和焓湿图如下：

示意图 焓湿(i-d)图

图二十七 AHU 加 FFU 空气处理方案示意图及焓湿图

2. 新风机组〔MAU〕加循环机组〔RAU〕加风机过滤器单元〔FFU〕净化空调送风方案

此方案多用于多个干净室其干净度，温、湿度要求不同，室内的产热量和产湿量也不尽相近，为了确保每个干净室的干净度，温、湿度及其精度的要求,就要设置多个循环机组,循环机组的送风量是净化送风量,并且在机组内设置必要的热、湿处理设备,用来补充新风机组热、湿处理的缺乏和保证该干净室温、湿度精度的微调节。由于循环机组设在干净室的吊顶上面，循环机组的送风余压相对都较小，机组体积和机组噪声、振动也较小，送回风管也比拟短小；但是，要注意循环机组的凝结水排放问题，往往这种方案的问题都出在凝结水排放的处理上。此方案的新风机组设在空调机房内，这些干净室所需的新风全部由新风机组〔MAU〕进展净化和热湿的集中处理。然后分配到每一个循环机组内与其回风混合。新风机组的新风量不仅仅要补充各干净室的排风还要保证每个干净室的正压。新风机组的热湿处理最好到干净室空气的机械露点上，如果将新风热湿处理点低于干净室的机械露点作到新风不仅承当新风本身的湿负荷，而且还将干净室的湿负荷也消除掉，此时循环机组内的表冷器可为干式表冷器。

当多个干净室中有假设干个 1 级、10 级、100 级等高净化级别的垂直单向流干净室时，为了减少循环机组〔RAU〕的负担和送、回风管道的断面，此时循环机组仅解决该单向流干净室的空调送风量，以保证干净室的温度、相对湿度和干净室的正压，而占 90% 以上的绝大局部送风量有设在干净室吊顶上的 FFU 来负担，以保证干净室的高干净度级别。此方案的原理图和焓湿图如下：

示意图焓湿(i-d)图

图二十八 MAU 加 RAU 加 FFU 空气处理方案示意图及(i-d)图

3. 新风机组〔MAU〕加风机过滤器机组〔FFU〕加干冷盘管(DC)的净化空调送风方案

此方案是新风机组将新风处理到干净室热湿比 ϵ 线与相对湿度 95% 线交点以下，新风机组不仅将本身的湿负荷去掉，而且还负担干净室内产生的湿负荷，新风机组要确保干净室所需要的相对湿度。而新风机组热处理缺乏局部的干冷负荷将由设在干净室吊顶上〔或夹道内〕的干表冷器来补充。因干表冷器是设在 FFU 循环空气通过的吊顶上或夹道内，因此，干表

冷所弥补的干冷负荷被循环空气带到干净室内。

由新风机组处理过的新风用管道以最能与 FFU 循环空气均匀混合的方式送到干净室的送风静压箱内。

FFU 布置在干净室的吊顶上，与新风混合的循环风经 FFU 被高效过滤器过滤后送到干净室内，以保证干净室的干净度。FFU 的规格以 1200mm×600mm 和 1200mm×1200mm 居多，其断面风速应为 $\geq 0.45\text{m/s}$ ，余压应 $\geq 120\text{Pa}$ ，噪声应 $\leq 50\text{dB(A)}$ 为好。FFU 的风机风量应可调，高效过滤器应可更换。干冷盘管一般由双排组成，为了减小阻力铝翅片间距 $\geq 3\text{mm}$ ，阻力损失应为 30~40Pa，循环风通过干盘管的面风速 $< 2\text{m/s}$ ，最好为 1.5m/s。进入干盘管冷水的进水温度应高于干净室露点温度 2℃，通常称为中温冷冻水。虽然叫干盘管，但在起始运行时还可能有凝结水产生，因此干盘管还应有凝结水滴水盘和排水措施。

此方案中，干净室的相对湿度由新风机组〔MAU〕来保证，干净室的温度由干冷盘管来保证，干净室的干净度由 FFU 来保证。

这种 MAU 加 FFU 加 DC 的净化空调送风方案，目前在我国和外国的微电子〔集成电路〕工业、光电子〔TFT-LCD、LCD、LED 等〕工业等大面积、高干净度等级的干净厂房中得以广泛应用，它具有调节方便，节能显著，适应工艺的更新换代，又大大地节省了非生产面积和非生产空间的优点。而且，随着干净技术和干净设备的不断开展和进步，FFU 风机的效率不断提高，耗电量不断降低，整体价格不断下降，其初投资也与其他类型的送风方案根本持平，但运行费却大大节省。MAU 加 FFU 加 DC 方案的原理图和焓湿图如下。

示意图焓湿(i-d)图

图二十九 MAU 加 FFU 加 DC 空气处理方案示意图及焓湿图

〔五〕干净室净化空调系统的冷、热源

A. 净化空调系统冷源的选择

1. 集中冷冻站和分散独立冷源的比拟和选择。

大型规模化的生产工厂集中设置冷冻站，对建造投资和运行管理都是比拟有利的。但是由于一些温、湿要求差异比拟大供冷参数不同，运行规律、运行时间不同的干净车间来说，在集中冷冻站根底上，就近设置分散、独立、专用的制冷机组，这对节省能源，保证参数和方便运行管理都有极大的好处。

2. 冷媒采用冷冻水还是氟立昂直接蒸发。

对于大型的工厂由集中的冷冻站供给冷冻水作为净化空调系统的冷媒较为有利。因冷冻水输送方便，输送过程冷损失较小，而且，冷冻水作冷媒对净化空调系统参数的控制、调节和维护管理也都比拟有利。但是小的独立分散的制冷机组可采用水冷冷水机组，也可采用风冷直接蒸发的制冷机组。这要根据具体工程的具体情况而定。

3. 采用压缩式制冷机还是采用直燃式溴化锂吸收式制冷机。

活塞式、离心式、螺杆式制冷机都是压缩式制冷机，在净化空调设计中最多采用的还是离心、螺杆等压缩制冷机。因为其投资低，运行管理方便，但其运行耗电很高。压缩式制冷机组的冷冻水供水温度可调，最低供水温度可为 4℃。但是，在供电紧张而燃气和煤供给较为方便的地区，尤其是有废热废蒸汽可以利用的场合，采用直燃式溴化锂吸收式制冷机更为经济，尤其是这种制冷机组在供冷的同时还可供热。

4. 净化空调系统冷冻水的温度确实定。

当以冷冻水作为净化空调系统的冷媒时，在一般的情况下，冷冻水的初温〔表冷器冷冻水的进口温度〕应比处理后空气的终温〔设计计算中确定〕至少要低 3.5℃；如果是以冷冻方式去湿降温为目的的空气处理系统，冷冻水的终温〔表冷器冷冻水的出口温度〕应比处理后空气的终温低 0.7℃；用作干式冷盘管的冷冻水的初温〔进口温度〕应比干净室内空气的露点温度至少高 2℃。

B. 净化空调系统的热源的选择

1. 以冬季防冻为目的新风预热加热器的热媒最好采用电加热或蒸汽加热，一般不宜采用热水作热媒，这样预热器本身可能有被冻坏的危险。

2. 空调机组内加热器的热媒可采用热水、蒸汽或电加热，其中电加热控制灵活方便，温度控制准确度高，但运行费昂贵，一般在没有热水和蒸汽供给的地方才用电加热；用热水作热媒时不仅调节和管理方便、而且控制精度也高是加热器最常用的热媒，当温度的精度要求不高〔如 $\Delta t \geq \pm 2^\circ\text{C}$ 〕也可采用蒸汽作加热器的热媒。

3. 当温度的精度要求很高的时候〔如 $\Delta t \leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ 〕宜在送入干净室的支管上设温度精度微调节的电加热器是一个可行的方法。

4. 净化空调系统的加湿比拟方便、可行、经济、可靠的方法是用过热蒸汽〔 $\geq 0.2\text{MPa}$ 〕作热媒采用干蒸汽加湿器进展加湿，或采用电热式或电极式加湿器。当相对湿度的精度要求不高且加湿量较大时，宜采用水来加湿，可采用淋水，湿膜或喷雾等形式。

〔六〕干净室净化空调系统的节能

A. 干净室的空调负荷

干净室的净化空调负荷由下面几局部组成：

1、室内负荷

主要包括：

- ① 室内作业人员的散热、散湿负荷。
- ② 室内照明灯具的散热负荷。
- ③ 干净室围护构造〔墙、顶、地、门、窗〕的传热、传湿负荷。
- ④ 生产设备和生产过程的散热、散湿负荷。

2、干净室新风处理的热、湿负荷。夏季是降温去湿；冬季是加热、加湿。

3、空气循环时风机〔或 FFU〕的温升和水泵的温升负荷。

B. 干净室的空调负荷特点

1、高级别干净室〔100 级，10 级，1 级〕是垂直单向流干净室，其送风机的风量非常大，高达 400~500 次/h 换气，而且风机的压头也很高，一般多在 1000~1500Pa，因此风机温升的负荷大。按理论计算：在集中送风方式的系统中，风机的温升为 1.5℃，仅此一项的负荷就是 500~700W/m²；如果采用 FFU 送风方式，风机温升的负荷也要 250~350 W/m²。因此，风机温升的负荷大是其一个负荷特点。

2、效劳于微电子和光电子的高级别干净室因工艺排风量大，所以新风量也很大，新风量一般在 10~20 次/h 换气；因此，处理如此多新风的负荷大约为 400~800 W/m²；个别工艺的排风量更大，固新风负荷也还会更大。因此新风负荷大是其第二个负荷特点。

3、生产设备和生产过程的散热、散湿负荷大，是高级别干净室的第三个负荷特点。生产负荷的大小是与工艺生产本身的性质、生产设备的密闭、保温、通风以及水冷却的情况

有关。

4、围护构造的传热、照明灯具的散热以及作业人员的发热这三项负荷相比照拟小，三项负荷之和还缺乏总空调负荷的 10% [其中：照明负荷大约 25~30 W/m²；围护构造负荷大约 20~30 W/m²；作业人员负荷大约 10~15 W/m²]，这是高级别干净室第四个负荷特点。

C. 干净室空调净化系统的节能措施

研究高级别干净室的空调净化系统节能，应首先从分析其空调负荷特点入手，抓住空调负荷中的主要矛盾，才能事半功倍。从前面可知，高级别干净室空调负荷中占 90%以上的负荷是：新风负荷、风机温升负荷和工艺设备和工艺过程负荷三项。这是它的主要矛盾。

1、降低新风空调负荷的节能措施

① 减少排风量。改良工艺和工艺设备，尽可能不排风，少排风。采取密闭式排风罩在同等的排风效果下尽量减少排风量。

② 减少正压漏风量。加强干净室围护构造的密封性，既能保持干净室必要的正压值，又可减少所需的正压漏风量。

③ 提高新风空气处理设备的效率。

2、降低风机温升负荷的节能措施

① 在确保干净室干净度的前提下，尽量减少送风量，尽量用局部高净化来替代全面高净化。

② 加强空调设备和空调系统的密闭性，减少漏风量。

③ 采取净化送风与空调送风别离的送风方案，使 90%的净化送风量就近循环以减少风机温升负荷。

④ 采用 FFU 加新风机组加干盘管的送风方式以减少风机温升负荷。

⑤ 提高风机效率，采取变频措施。

3、工艺设备和工艺过程的发热是工艺生产本身的问题，只能依靠工艺自己来解决。

4、除上述措施之外，还可采取如下措施

① 加强水管和风管保温。

② 减少冷热源的跑、冒、滴、漏。

③ 采取热回收，充分利用废热。

④ 尽量利用天然能源作空调系统的预冷和预热，如：太阳能、地下水、土壤能等。

⑤ 利用蓄冰和蓄热等优惠政策。

三．空调和净化设备的选择

〔一〕、过滤器的根本知识和过滤器的选择

A. 过滤器的分类：按过滤器的性能〔效率、阻力、容尘量〕进展分类，根据我国有关规*可将过滤器划分为粗效、中效、高效、亚高效、高效和超高效六大类。见表十一、表十二。

根据我国“空气过滤器” GB/T 14295-93 国家标准划分

表十一 空气过滤器的效率和阻力

性能类别 \ 性能指标	额定风量下的大气尘计数效率 [%]	额定风量下的初阻力 [Pa]
粗 效	20~80 [≥5.0μm]	≤50

中效	20~70 [$\geq 1.0\mu\text{m}$]	≤ 80
高中效	70~90 [$\geq 1.0\mu\text{m}$]	≤ 100
亚高效	95~99.9 [$\geq 0.5\mu\text{m}$]	≤ 120

根据我国“高效空气过滤器” GB 13554-92 国家标准划分。

表十二 高效过滤器和超高效过滤器的效率和阻力

性能指标 性能类别	额定风量下的大气尘计数效率 [%]	额定风量下的 初阻力 [Pa]
A 高效	额定风量下的钠焰效率 ≥ 99.9	≤ 190
B 高效	额定风量和 20%额定风量的钠焰效率 ≥ 99.99	≤ 220
C 高效	额定风量和 20%额定风量的钠焰效率 ≥ 99.999	≤ 250
D 超高效	额定风量和 20%额定风量的计数效率 [$\geq 0.1\mu\text{m}$] ≥ 99.999	≤ 280

我国过滤器分类与欧美国家分类的比拟表，见表十三。

B. 各类过滤器效率的测试方法

对于空气过滤器的效率而言，一样的过滤器其效率的测试方法不同它们的效率的值也不一样，因此使用过滤器时不仅仅要了解其过滤效率，而且还要知道它们效率的测试方法。

1. 一般通风用粗效、中效、高中效过滤器效率的测试方法

- 计重法：有人工尘计重法和大气尘计重法，此方法源于美国，国际流行，多用于粗效过滤器的效率测试。
- 比色法：源于美国，国际通行，用于中效过滤器的效率测试。
- 人工尘计数法：欧洲通行，将取代比色法，用于中效测试。
- 大气尘计数法：我国的标准。见表 9。

2. 高效过滤器测试方法

- 钠焰法：中国标准。
- DOP 法：源于美国，国际通行。
- 油雾法：俄国标准，在德国和我国也通行。
- MPSS 法：欧洲标准将取代上述各种方法〔最低透过率粒径法〕。

C. 各类空气过滤器的功能和作用

各种过滤器都具有一定的功能，都不是万能的。它的功能就决定了它的作用和使用*围。对其选用正确，使用合理，它们就能充分发挥功能，起到应起的作用；如果选用不当，使用不合理，不仅不能发挥其作用，有时还会产生相反的后果。它们的功能和作用如下：

- 粗效过滤器：其功能是去除 $\geq 5\mu\text{m}$ 的尘埃粒子，在空调净化系统中作为预过滤器。其作用是保护中效、高效过滤器和空调箱内的其他配件以延长它们的使用寿命。
- 中效过滤器：其功能是去除 $\geq 1.0\mu\text{m}$ 的尘埃粒子，在空调净化系统中作为中间过滤器。其作用是减少高效过滤器的负荷，延长高效和空调箱内配件的使用寿命。
- 高中效过滤器：其功能是去除 $\geq 1.0\mu\text{m}$ 的尘埃粒子，在空调净化系统中作为中间过滤器，在一般通风系统中可作为终端过滤器。

- 亚高效过滤器 其功能是去除 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的尘埃粒子，在空调净化系统中作中间过滤器，在低级净化系统中可做终端过滤器使用。

- 高效过滤器 是空调净化系统中的终端过滤器，它的功能是去除 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 的尘埃粒子，到达净化目的。是干净室必备的净化设备。

- 超高效过滤器：其功能是去除 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 的尘埃粒子，是建造高级别干净室〔 $0.1\mu\text{m}$ 干净室〕的必备净化设备，是该干净室的终端净化设备。

〔二〕、空气处理机组的选择

空气处理机组包括空调器〔AHU〕、新风机组〔MAU〕和循环机组〔RAU〕，都是空调净化系统常用的空气热湿交换和空气净化处理设备。

A. 工业干净室用空调机组

工业干净厂房的空气处理机组是效劳于净化空调系统的，因此空气处理机组也必须满足净化空调所需的特点。

1. 干净厂房的温、湿度和干净度要求严格，一般情况室内热负荷很大、空气处理的焓差很大、冷却后的空气的露点温度很低，因此空气处理机组的保温性能要好〔保温材料为聚苯乙烯或聚氨脂发泡时保温层厚度 $\sigma \geq 40\text{mm}$ 〕，防止外表结露，冷耗过大；同时还应防止冷桥现象的产生。

2. 因净化空调系统总阻力较大，故要求空调机组的风机压头很高〔 $\approx 1500\text{Pa}$ 〕，因此随之要求空调机组围护板壁的强度和刚度要好，不要产生负压段凹进去，正压段凸出来的变形。

3. 为了减少冷损失和漏风，则要求空调机组的密封性能好，特别是段与段的联接处和门开启处的密封。按标准要求空调机组的漏风率 $\leq 1\%$ 。

- 4 为了保证干净厂房的温、湿度和干净度，并且尽量节省能量，要求空调机组有较好的自动控制，如风机的变频等。又因为空气的冷、热、湿处理的功能较多，故空调机组体形较大、长度较长。

B. 生物干净室用空调机组

生物干净室是以微生物〔细菌、病毒等〕为主要研究对象的，微生物与尘埃粒子不同，它是活的、不断生长繁殖的粒子，因此效劳于生物干净室的空气处理机组应具备如下特点：

1. 为了方便灭菌、消毒、空调机组的内外表以及内部的零配件应耐消毒药品的腐蚀，外表要光洁。

2. 因为潮湿是微生物生长的最正确条件。因此，空调机组内部不能集水集尘，构造要方便排水；表冷器凝结水应设有自动防倒吸功能，并顺利排出凝结水；更不能采用淋水段。

3. 空调机组的加湿只能采用干蒸汽加湿器〔电极式或电热式蒸汽加湿器〕，而不能使用湿膜、超声波和高压喷雾等有水的加湿器。

4. 为了防止空气带水，空调器表冷器的断面风速 $V < 2.0\text{m/s}$ 。

5. 空调机组的密封要可靠，其漏风率 $\leq 1\%$ 。

6. 空调机组的强度和刚度要好，有一定的承压能力。

7. 各级〔粗效、中效、亚高效〕过滤器的过滤效率要高，而且最好采用一次性的

抛弃型过滤器。

C, 表冷器、加热器、加湿器的选择

1. 表冷器是空调机组降温去湿的关键设备, 一般表冷器由铜管和铝翅片构成。表冷器的换热面积〔排数〕要经计算求得, 在设计中, 设计人员要把空气经表冷器处理前后的参数〔温度、相对湿度或焓〕以及冷冻水的供回水温度提供给供货商, 由供货商计算和配置表冷器。表冷器后面要设挡水板, 表冷器下部设滴水盘, 凝结水排水要通畅, 排水管上要合理地设置水封。水封的高度要与空调器内的压力相匹配。

2. 加热器是空调机组中的加热设备。在空调机组中有一次加热〔预热〕和二次加热〔再热〕两组。加热的热媒有蒸汽、热水和电。

a. 一次加热〔预热〕器设置在新风进入空调机组处,其目的是为了防冻和防混合结霜、结雾。因此, 一次加热器一般用在北方〔长江以北〕较冷的地区。长江以南不会结冻的地区可不设一次加热器。一次加热后的新风温度一般为+5℃。用加热器后的温度探头来控加热量。一次加热的热媒最好是蒸汽和电, 如果用热水做热媒要考虑加热器本身的防冻问题。

b. 二次加热〔再热〕器设在表冷器之后, 设置目的是为了调节干净厂房内的温、湿度以到达设计参数。因为, 二次加热量越小就越节省空调的运行费用, 故在设计时要选择二次加热量较小的节能方案。二次加热的热媒最好用热水, 因为热水在温、湿调节时比拟稳定可靠。

c. 当干净厂房的温、湿度精度要求极高和非常严格时, 为了确保其参数有时在风管上还要设置微调的电加热器。

3. 加湿器是空调机组中的加湿设备, 在冬季时为了保证干净厂房内必要的相对湿度, 必须对空调送风进展必要的加湿。

加湿器一般有两种, 一种是以水为加湿源的等焓加湿。如湿膜、淋水、超声波、高压喷雾等加湿器。这种加湿方法简单、价格廉价, 加湿量也大, 但其加湿的精度较差。一般相对湿度要求在 >10%的情况下用得较多。水加湿的方法不应用在生物干净室。因为, 水加湿会给微生物提供良好生存繁殖条件。

另一种加湿方法是以蒸汽为加湿源的等温加湿。如蒸汽加湿器、干蒸汽加湿器、电极式〔电热式〕蒸汽加湿器等。这种加湿方法必须有蒸汽源, 如果没有蒸汽必须用电来产生蒸汽。此种加湿方法价格较高, 但加湿精度很高, 当相对湿度要求 $\leq \pm 5\%$ 时应采用等温加湿方法。它广泛应用在电子工业的干净厂房和生物干净室的加湿中。

4. 淋水室和化学过滤的应用

① 淋水室是空调热湿交换的空气与冷媒直接接触的方式。此种淋水形式不仅可用于热湿交换上, 还可以对新风进展品质上的处理。例如, 集成电路用的干净厂房其污染源不仅仅是尘埃粒子, 而且, 重金属离子和分子级低浓度的化学污染也成为超大规模集成电路生产的重要污染源, 当净化空调系统的新风采用淋水室的湿法处理时, 可以去除新风中的 NH_4 、 SO_4 、 NO_3 等分子级的化学污染, 当采用自来水和纯水两级淋水时其效果会更好。

② 活性炭过滤器和化学过滤器是空调机组中去除异味和分子级低浓度的化学污染的重要设备, 一般多用在新风机组中。

(三)、消声器和消声弯头的选择

干净厂房的噪声按国家规*“干净厂房设计规*”〔GB 50073-2001〕的规定, 单向流干净

室空态噪声 $\leq 65\text{dB(A)}$; 非单向流干净室空态噪声 $\leq 60\text{dB(A)}$ 。这就要求在净化空调系统的送风、回风管道上〔排风管道上〕都要设置必要的消声设备, 尤其在回风管道上。消声器的选择要进展计算。

式中: ΔL —— 消声器噪声的衰减量 [dB]
 L_w —— 声源的噪声的声功率级 [dB]
 $\Delta L_{\square\square}$ —— 管道系统噪声的自然衰减量 [dB]
 $\Delta L_{\square\square}$ —— 送风口噪声的衰减量 [dB]
 $\Delta L_{\square\square}$ —— 室内的噪声衰减量 [dB]
 L_N —— 室内允许的噪声值 [dBA]

干净厂房的净化空调系统的消声器和消声弯头不应给净化系统带来污染。最好采用微孔板式消声器和消声弯头, 也可选用其他干净空调系统专用的阻式或抗式消声设备。

(四) 净化空调机组送风机的选择

净化空调系统的送风机设在空调机组内, 其送风机应具有如下特点:

A, 有足够的余压。一般除克制机外管网系统的总阻力以外, 还要考虑克制高效过滤器的终阻力和一定的平安裕量。但风机压头选得过大不但能耗大, 而且还会产生较大的噪声。

B, 要有足够的送风量。即消除室内余热、余湿和净化的最大风量, 并且还应有 10% 的平安裕量。

C, 风机应为变频风机, 送风量依系统阻力变化可以自动调节, 即保证了干净厂房内的温、湿度和干净度又做到节省耗源。

D, 要高效率和低噪声。

〔四〕 FFU 及干冷盘管的选择

A. FFU [风机过滤器单元]。

FFU 是近年普通应用在单向流和混合流中的重要净化设备。它是有标准模数尺寸 [1200×600mm, 600×600mm, 1200×1200mm 等] 的风机和过滤器 [高效过滤器、超高效过滤器] 的组合体做为干净室的终端设备, 分散或集中地布置在干净厂房的吊顶上。为了保证干净厂房的室内参数, 它经常与干冷盘管和新风机组组合使。FFU 示意图见图三十。

图三十 FFU 示意图

其性能参数最好是:

1, 断面平均风速为 0.45m/s, 而出风速度的均匀性应为平均风速的 $\pm 20\%$ 。

2, FFU 的机外余压应 $\geq 100\text{Pa}$, 最好是 140Pa 以上。

3, FFU 的单体噪声应 $\leq 50\text{dB(A)}$ 。因在单向流干净厂房中往往成百上千台的 FFU 集中在吊顶上, 如果单体噪声太高, 则叠加噪声就不能被承受。

4, 断面风速可调。智能化调节, 变频调节都是可行的。

B、干冷盘管.

干冷盘管是新风机组加干冷盘管加 FFU 空调净化送风方案的干净厂房控制温度的关键换热设备, 设置在干净厂房回风夹道的下部或上部。对其性能要求如下:

1, 为了防止在系统正常运行时干冷盘管产生结露现象, 因此通过干冷盘管的进水水温要高于室内空气露点 2℃。

2, 为了导走干净厂房空调系统启动时产生的冷凝水, 干冷盘管系统还要设置滴水盘和

排水系统。

3, 干冷盘管的排数最好为双排, 而且空气通过时阻力不能太大, 因此盘管铝翅片的间距最好为 3mm。

4, 为了减少空气通过盘管的阻力, 通过盘管的风速应 $<2\text{m/s}$ 。

〔五〕局部净化设备的选择

1. 吹淋室。

吹淋室是净化进入干净厂房人和物的局部净化设备, 它是利用高速 $V \geq 25\text{m/s}$ 的干净气流〔经过中效和高效过滤器过滤的气流〕使人的衣服抖动, 将人身上附着的尘埃粒子或物品外表附着的尘埃粒吹落得到净化。吹淋室最重要的性能指标就是喷嘴的出口风速应 $\geq 25\text{m/s}$ 。其风机的风压最好是 800Pa。吹淋室有单人、双人、多人和通道式多种。吹淋室示意图见图三十一。

2. 自净器。

自净器是风机和过滤器组合的局部净化设备。将其设置在房间内, 它可以使室内的空气不断地通过它的过滤器过滤而得到净化, 这样往返不断地循环净化使室内的空气自净。自净器示意图见图三十二。

3. 干净工作台

干净工作台是设在空调房间或低级别的干净厂房内的局部净化设备, 它是风机和高效过滤器的组合体, 可在局部创造出 100 级、10 级等高级别干净度。其性能有: 风机的风压和噪声〔风压 $> 200\text{Pa}$, 噪声 $< 65\text{dB(A)}$ 〕、高效过滤器的效率和断面风速〔高效过滤器的效率〕 $\geq 99.99\%$ 〔 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 〕, 断面风速、 $V \geq 0.35\text{m/s}$ 〕。干净工作台示意图见图三十三。

4. 生物平安柜

生物平安柜是用于 P1~P4 生物平安实验室中的生物净化和生物平安设备。它按使用要求不同可划分为 I 级、II 级和 III 级生物平安柜。生物平安柜用于对人和环境有害的病菌和微生物的实验。为了平安要做到保护实验操作人员, 保护实验对象和保护周围环境的三保护。实验对象要在 100 级无菌环境实验; 为了保护操作人员和环境生物平安柜内必须有足够的负压度。生物平安柜示意图见图三十四。

5. 层流罩

层流罩也是风机与高效过滤器组合的局部净化设备, 在局部区域创造 100 级或更高的净化环境, 满足生产工艺的要求。其大小尺寸可随工艺设备的大小而定。它是设在低级别的干净厂房之中, 因此对其噪声有较高的要求, 其出风的断面风速应 $\geq 0.3\text{m/s}$, 风机的风压应 $>200\text{Pa}$ 。层流罩示意图见图三十五。

四. 干净室的建造特点

〔一〕建造投资费用高

高级别干净室的建造费用很高, 一般来说, 100 级垂直单向流的干净室, 其室内装修〔墙、顶、地、门、窗等〕和空调净化系统〔包括制冷空调设备和管道配件、净化设备和配件等〕的初投资大约为 10000 元人民币/ m^2 ; 如果加上纯水制备设备和系统管道, 纯气发生和系统管道, 废水治理设备和管道, 消防系统, 供配电和自控系统, 真空清扫系统等等, 其单位面积的建造投资费用要高达 25000~30000 元人民币/ m^2 。

就拿已投产的**华虹 NEC 超大规模集成电路芯片生产线干净室举例来说, 华虹 NEC 为

月投片 30000 片 8"硅片集成电路前工序生产线，有干净室面积约 12000m²，其中 10000 m² 是在中心部位，另 2000 m² 在边跨上。在中心部位的 10000 m² 干净室中有 4000 m² 的 1 级、10 级和 100 级的垂直单向流干净室，另外 6000 m² 分别为 1000 级和 10000 级的非单向流干净室，总送风量约 6,400,000 m³/h。于 1998 年底建成投产。

该工程总投资约 100 亿人民币，其中动力设备和土建投资为 20 亿人民币，占总投资的五分之一。单核心局部的 10000 m² 的干净室的建造费用就高达 6000 万美元〔约 5 亿人民币〕〔日本三机株式会社施工〕，折合每平方米建造费用约 50000 元人民币/m²。

〔二〕运行管理费用大

因为高级别干净室净化风量大，新风量也大，温湿度要求严格，所以空气热湿处理和空气输配的能量消耗大，耗电多，运行费用贵。

还拿上述华虹 NEC 为例，其核心局部 10000 m² 干净室总的送风量为 6,400,000 m³/h，输送净化空气的风机耗电量为 3840 Kw/h，全年电费为 1659 万元〔每度电按 0.6 元/设计〕，空气热湿处理的耗电量约 10000 Kw/h，全年电费为 6000 万人民币。全年空调净化系统本身的运行费用就高达 7659 万元人民币。折合每年单位面积的运行费用为 7659 元/m² 年。

〔三〕灵活适应性强

因为，科学技术的开展很快，高科技的产品不断出现，尤其是电子工业的开展更是日新月异，像集成电路的开展 2~3 年就更新一代，TFT-LCD 的开展速度更快 1~2 年就上一个台阶。这就要求为其效劳的高级别的干净室必须能适应其开展速度，有极好的灵活性和适应性。因为建造一个干净厂房是百年大计，不是一、二年就会拆掉重建。因此，在设计和建造干净厂房时，就要考虑到工艺的开展、变更，就要考虑到干净厂房的灵活性和适应性。从一个干净厂房的灵活适应角度，可将其分为三个层次，第一是不可变的局部。无论怎样改都不能改变的局部。如根底、梁、柱等构造局部 第二是可变但不容易变的局部。如干净室的围护、装修等 第三是可变而且容易改变的局部。如动力、空气、水、气体溶剂的供给局部和废气、废水、废料等排放局部。

〔四〕平安、可靠性好

从前面〔一〕、〔二〕两条特点可以得出建造和使用这样的干净室要付出何等的代价。但是为了生产出高可靠、高质量的高科技产品也必须具备这样的生产环境。因为，建造干净室的目的是为使用，是为了得到高成品率合格产品。为了达此目的，设计和建造干净室必须把平安可靠放在第一位。保证所建造的干净室在干净度、温湿度、风速、压力等所有参数必须满足生产工艺的要求，保证平安、可靠、不出事故。这一点绝不能马虎，更不能打折扣，要万无一失，只有这样才能有效益，才能到达建造干净室的目的。

五. 干净室的竣工验收调试，性能测试和干净室的综合评价

竣工验收的调试工作要分以下四个步骤进展。①调试前的准备工作。②单机试车。③联动调试。④干净室的性能测试和综合评价。

〔一〕调试前的准备工作

A, 调试的组织准备:

成立以建立单位〔业主〕为组长的有设计单位、施工单位、监理单位人员参加的调试小组。调试小组领导调试的全面工作，调试小组协调各方面的关系，调试小组为调试工作提供各种软硬条件。

B, 编制调试大纲

在调试小组领导和组织下, 编制调试大纲。调试大纲是调试工作的指导性文件。调试大纲的内容包括: 组织分工、人员安排、物资调动; 调试工程、调试方法、调试仪表; 调试程序、调试进度、调试方案安排等。调试大纲的编制使调试人员思想明确、认识统一、步调一致、行动整齐, 使调试工作顺利进展。

C, 施工现场质量的会检。

在调试小组的领导组织下, 有建立单位、设计单位、施工单位、监理单位的有关领导和技术人员参加, 对施工现场、施工质量进展全面会检。从冷冻站、换热站、锅炉房、变配电站、空调机房到供冷、供热、供电系统、空调净化系统和自动控制系统。从设备〔冷冻机、锅炉、水泵、冷却塔、空调器等〕、配件〔阀门、风口、消声器等〕、管道和管线到保温、设备根底、管道支吊架等的工程施工质量进展全面会检。看是否按图施工、查与设计图不符之处, 找施工质量不合格工程并查其原因。并对施工、加工、安装等质量问题逐一填写“缺陷明细表”, 提出整改意见, 限期〔正式调试之前〕整改完毕。

D, 空调设备、空调系统的清扫:

1, 调试之前对干净室进展全面、彻底的清扫是十分必要的。对干净室的地面、墙面、吊顶、门窗进展认真、全面、彻底的大扫除〔最好请专业的清洁公司〕; 对空调设备、空调管道〔送风管、回风管、新风管〕, 空调配件〔清声器、阀门、风口等〕进展检查、检漏和擦拭。到达干净要求为止。

2, 安装粗效、中效过滤器进展第一次空吹。在彻底清扫的根底上, 安装空调器内的粗效和中效过滤器。对整个净化空调系统进展空吹, 空吹时间为 24~36 小时, 使整个系统得到初步的净化。

3, 安装高效过滤器。系统空吹后可以安装高效过滤器。高效过滤器在安装之前, 要求对其逐一进展检漏, 对有泄漏者进展堵漏。检漏在临时检漏台上进展, 尘源利用大气尘。被检合格的高效过滤器方能进展安装, 安装完毕后对高效过滤器的安装密封再进展检漏〔利用尘埃粒子计数器扫描〕, 到达安装合格。

4, 高效过滤器安装检漏合格后再对净化空调系统进展第二次空吹。空吹时间 24 小时, 然后方可进展入调试程序。

E, 测试仪器、仪表、工具的准备

1, 调试前要对调试中所用的仪器仪表进展调试和标定〔超过使用时间还需重新进展标定〕。所用的仪表包括测量风速、风量、温度、相对湿度、压差、噪声、振动、转数、时间、大气压力和干净度的仪器仪表等。

2, 调试所用的器材、工具的准备。如: 电工工具、管工工具、扳金工工具、钳工工具以及爬高上下的梯子等。并且请施工单位配合电工、管工、扳金工和钳工。

3, 调试和测试工作所用的图纸和记录表格的准备。

〔二〕单机试车

单机试车是对工程中的所有的设备、配件等单体进展试车。单机试车的目的是对这些设备、配件的安装质量和产品出厂质量的检查和考核。单机试车的主要内容有:

水、电先行。即首先对供水供电的设备和系统进展检查和考核。如水泵、变压器、配电箱、开关等。要保证供水、供电的正常、可靠。

进而，对供冷设备〔冷冻机、冷却塔、冷冻水泵、冷却水等〕、供热设备〔锅炉、换热器、热水泵等〕、空调设备〔外表冷却器、加热器、加湿器、过滤器、风机等〕、自动控制设备、仪表、阀门以及各系统的配件进展单体考核。看是否能满足设计要求和正常运行。尤其对转动设备如风机、水泵要试转看是否运转平稳，有无杂音和碰撞和反转现象；用电设备接线是否正确；冷冻机和锅炉是否能到达设计要求；空调器中表冷器的降温去湿能力、加湿器的加湿能力等等进展单体检查、考核。如果出现故障和发现问题，应立即排除。

对于大型设备如冷冻机、锅炉、空调器等〔尤其是进口设备〕在单机试车时最好有生产厂家的调试人员现场指导或由生产厂家负责试车，待运转正常后再移交给使用单位。单机试车为联动调试做好各个单体设备的准备工作。

〔三〕联动调试

联动调试一般情况下分为两个阶段进展，即风量分配阶段和联动调试阶段。

A, 风量分配:

风量分配即将各个干净室的送风量、回风量、新风量、排风量全部按设计要求调整到设计风量。因为一个干净厂房可能有多个空调送风系统和排风系统，或一个空调送风系统要负担多个干净室的送风。因此，风量分配调试工作是一项工作量大、时间长、耐心细致的工作。风量分配调试工作也是整个调试工作的重点工作。常用的风量分配调试方法采用标准风口法。

标准风口法 一个干净室可能有几个、几十个空调送风口、回风口。因为它们之间都是相通的，当调整一个风口送风的风量时其他送风口的风量也会跟其变化。因此，采用标准风口法。

所谓标准风口法，就是在风量分配之前，将所有阀门都开到最大的情况下，在所有的送风口这中找到最不利的送风口〔送风量最小的送风口〕，将此风口作为标准风口。在标准风口上设一监测仪表，随时测试标准风口的风量变化。然后调整其它所有风口风量。因为调整任何一个风口风量时，都会影响已调整过的风口的风量的变化 因此，在调整任何一个风口风量时，都要以标准风口当时风量为参照风量，使所有被调风口的风量均随标准风口的风量变化而同步变化。

当一个净化空调系统负责多个干净室空调时，调试要以干净室为单位由末端向总干管方向进展，对各干净室首先调整其送风量的相对关系量，然后，再用系统的总阀门来将每个送风口，每个干净室的送风量都调整为真实的设计送风量。

B, 联动调试

联动调试在风量调整和单机试车后进展。联动调试就将净化空调系统和为净化空调系统效劳的所有系统即：供冷系统〔冷冻机、冷却塔、水泵以及供冷系统上所有的配件〕、供热系统〔锅炉、水泵以及供热系统上所有配件〕、供电系统〔配电箱、变频器……〕和自动控制系统全部投入运行，考核各系统的综合性能和联动性能。必要时，在干净室内人为的设置一定量的负荷，考核温、湿度探头、中间仪表和执行机构的联动是否敏感、协调 考核温、湿度探头是否准确，精度是否合格。

〔四〕干净室的性能测试和综合评价

在风量调整和联动调试的根底上，干净室空调净化系统以及为其效劳的所有系统，均处于正常运行状态。接着进展干净室的性能测试和综合评价。

A, 干净室的性能测试:

干净室性能测试内容包括:

干净度测试、风量测试、正压测试、风速测试〔单向流干净室〕温度、相对湿度测试、噪声测试等。

1, 干净度测试: 采样点布置在工作面上〔0.8~1.0m〕, 采样点数量 $N=A^{1/2}$ [A 是干净室面积 m^2]。尘埃粒子计数器的采样量要大于 1 升/分; 每个采样点连续有效采样三次。取其平均值做该点的测量值。全部测点的测量值的平均值作为干净室的干净度。

2, 风量或风速测试: 单向流洁室测量断面风速、非单向流干净室测其风量。

断面风速的测量: 距吊顶上送风高效过滤器〔HEPA〕300mm 处布置测点, 测点间距为 600mm, 用热球风速仪测其各点风速。

风量测试: 在送风管或送风口上测送风风量。方法是用比托管和微压差计, 测风管内各点的动压, 测点间距为 100mm。再计算送风量。

3, 正压测试: 在关门的状态下, 测干净室的正压。采用补偿式微压计测量。

B, 干净室的综合评价。

在对干净室性能测试的根底上, 根据对干净室干净度、温、湿度、正压、风量、噪声等测试结果, 对干净室的建立和性能进展竣工验收的综合评价。

六 . 干净室的性能测试

(一) 干净室性能测试的目的

干净室性能测试的目的主要有两项: 其一是为了干净室的竣工验收, 其二是为了检查干净室的运行是否正常。

1、净室竣工验收的性能测试

根据〔干净室施工及验收规*〕和〔干净厂房设计规*〕的要求, 干净室竣工验收分两步进展, 第一步是竣工调试和性能测试, 第二步是干净室性能的综合评价。干净室性能的综合评价是干净室工程竣工验收的重要环节, 而干净室性能测试又是干净室性能综合评价的根底。干净室性能测试所需要测试的工程以下:

- ①通风机的风量和转数;
- ②风量及其平衡;
- ③室内静压及其调整;
- ④自控系统的联动;
- ⑤高效过滤器的检漏;
- ⑥室内的干净度; 等六项。其中主要三项是, 干净度, 风量和室内静压。

2、干净室运行状态下的定期性能测试

根据〔干净厂房设计规*〕的要求, 因生产的复杂性和维护管理工作的主, 客观原因造成干净室性能的下降, 必须对干净室进展定期的性能测试, 检测的频数见下表。

表十四 干净室性能测试的内容和频数

干净度等级 工程	1~3	4、5、6	7	8、9
温度	循环监测	每班二次		
湿度	循环监测	每班二次		

压差值	循环监测	每周一次	每月一次	
干净度	循环监测	每周一次	每3个月一次	每6个月一次
风量	循环监测	不得超过12个月		

(二) 干净室性能测试的内容

表十五 干净室检测内容

序号	测试工程	JGJ71-90 规定			GB50073-2001 规定
		低于100级	100级	1000级及以下	
1	室内送风量, 系统总风量, 室内排风量,	检测			检测
2	静压差	检测			检测
3	风速和风量	检测		不测	检测
4	断面风速不均匀度	检测	必要时测	不测	未规定
5	干净度级别	检测			检测
6	浮游菌和沉降菌	必要时测			选测
7	室内温度和室内相对湿度	检测			选测
8	温湿度波动*围和区域温差	必要时测			未规定
9	室内噪声级	检测			选测
10	室内倍频程声压级	必要时测			选测
11	室内照度及其均匀度	检测			选测
12	室内微振	必要时测			必要时测
13	外表导静电性	必要时测			必要时测
14	室内气流流型	不测		必要时测	选测
15	流线平行度	检测	必要时测	不测	必要时测
16	自净时间	不测	必要时测	必要时测	选测

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/438037027037006071>