

# 某微电子厂房洁净室暖通空调设计原理及方法探讨

秦卓欢

(同济大学建筑设计研究院 上海 200092)

**【摘要】** 本文结合了某微电子厂房洁净室空调系统的实例,分析了洁净室的净化空调设计原理,并对气流组织方式、空气处理过程、排风排烟系统进行了阐述和讨论。

**【关键词】** 洁净室 空调设计 风机过滤单元机组 (FFU) 干式冷盘管

## Discussion on principals and methods of HVAC design for micro electronic clean - room

**【Abstract】** Based on a Microelectronic cleanroom HVAC system, describes the principles of cleanroom HVAC design and introduce air supply method, air treatment, exhaust and desmokes air supply method, air treatment, exhaust and desmokes system.

**【Keywords】** cleanroom; air conditioning design; fan filter unit; dry

### 1 工程概况

该微电子工厂主要从事芯片的设计、开发、制造、销售和技术服务。新主厂房建成投产后,集成电路生产技术水平从现在的 1.2 微米提升到 0.8 微米。厂区包括主厂房、化学品库、动力厂房、行政办公楼等。主厂房为三层建筑,从下至上依次为动力下技术夹层、洁净下技术夹层、洁净室,其中洁净室面积约为 5000m<sup>2</sup>,洁净等级分为 ISO 6 级(1000 级)和 ISO 7 级(10000 级),其主要室内设计参数详见表 1。

表 1 室内设计参数

设计参数	主生产区	光刻区	支持区
温度/℃	23 ± 1.5	23 ± 1	23 ± 3
相对湿度(%)	43 ± 3	43 ± 3	45 ± 5
高效过滤效率	99.9995% @ 0.3 μm	99.9995% @ 0.3 μm	99.9995% @ 0.3 μm
噪声/dB(A)	≤ 60	≤ 60	≤ 60

### 2 空调系统设计

#### 2.1 空调负荷

实际设计中洁净室内冷负荷的计算一般采用估算的方法,根据其生产工艺情况、围护结构、操作人员数量等确定估算指标。该洁净室的主生产区冷负荷估算指标为 450W/m<sup>2</sup>,光刻区为 400W/m<sup>2</sup>,其它区域根据功能为 250W/m<sup>2</sup> ~ 350W/m<sup>2</sup>。设计总冷负荷(包含新风冷负荷)为 13400kW,单位冷负荷指标为

2500W/m<sup>2</sup>,远远大于一般建筑的冷负荷指标。这是由于:1. 微电子工业洁净室的生产设备发热量大,消耗冷量大;2. 为补充大量工艺排风(排除酸性、碱性、有机溶剂等气体),及为维持洁净室正压而造成新风量大,处理新风所需冷量大。以上两项负荷之和一般占到总冷负荷的 80% 以上。由于洁净室处于内区,围护结构的冷热负荷影响可以忽略不计。设计发热量大,冬季仍为制冷工况,其室内冷负荷与夏季基本相同。洁净室内散湿量较少,故洁净室室内负荷以显热负荷(设备负荷、照明负荷)为主。

#### 2.2 气流组织方式

洁净室内的气流流型为垂直单向流,即空气由吊顶上的风机过滤单元机组(FFU)所带的高效过滤器进行过滤处理达到洁净要求后送入室内,再经过地面带孔高架地板和华夫楼板,通过两侧回风竖井与新风机组处理过的新风混合后,经安装在竖井与吊顶静压箱之间的干式冷盘管冷却回到吊顶静压箱(见图 1)

虽然风机过滤单元机组(FFU)的送风模式未必对每个洁净厂房和生产工艺都最为适合,但近年来它以其本身的优越特性正被越来越多的广泛采用。首先,如图 1 所示,洁净室内压力高于静压箱内的压力,不存在尘粒由静压箱渗透到室内的可能性,即所谓“负压密封”,而其它送风模式例如分散式循环风机组、风机竖井等必须采用接触填料密封或液槽刀口密

封等较为复杂的方法来保证洁净室顶棚的密封性;其次,由于微电子工业洁净室工艺的频繁更新和调整,可以通过增减局部区域的风机过滤单元机组 (FFU) 的数量来改变洁净度以适应生产工艺流程的需要。如今生产线上大量采用微环境装置,高效过滤器满布率降低到 30% 以下,风机过滤单元机组 (FFU) 因其

布置的灵活性具有更强的竞争力(见图 2)。另外,由于对层高和空间需求较少,降低了建筑成本和施工周期,也很适合用于改建项目。但大量风机过滤单元机组安装在吊顶上所带来的缺点也是显而易见的,噪声和振动对洁净室的影响不容忽视,设备和自控成本的增加也必须要考虑。

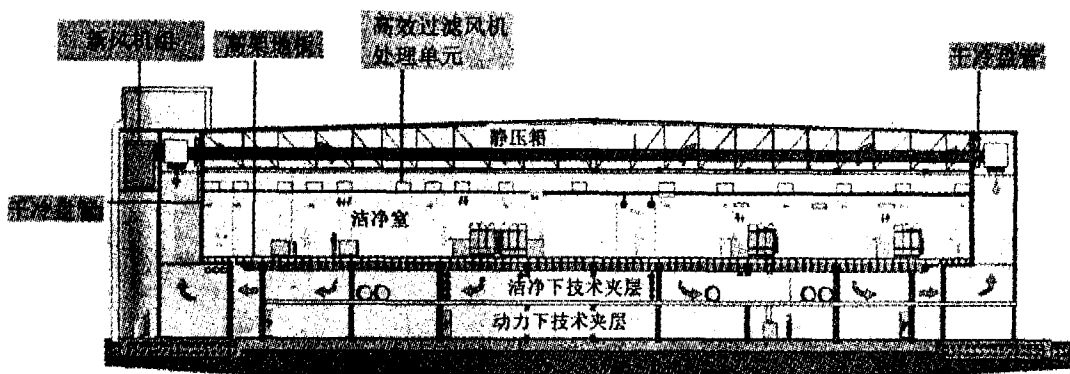


图 1 洁净室送风方式示意图

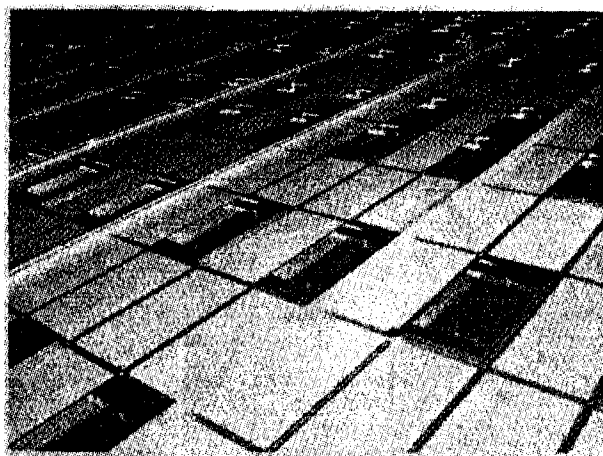


图 2 安装在吊顶上的风机过滤单元机组 (未安装高效过滤器)

### 2.3 空气处理

洁净室新风系统共配有四台新风机组,三用一备,每台新风处理机组新风量为  $130,000\text{m}^3/\text{h}$ 。新风全部在屋面上的新风小屋采集,接入新风机组处理后,再通过风管直接送到洁净室吊顶上的静压箱与洁

净室回风混合后再送入室内。

新风量确定主要依据以下几个因素:

- 1) 补充工艺过程上所需的排风量,包括一般排风、酸性排风、碱性排风、有机溶剂排风、特种气体排风等;
- 2) 保证洁净室内相对于外界为正压,以确保室外空气不会渗入污染洁净室;
- 3) 满足室内人员卫生要求所需的新风量,人均新风量不小于  $40\text{m}^3/\text{h}$ 。

设计新风量取补充室内排风及保持室内正压所需新风量之和与人员新风量两项中的最大值。

新风机组包含的组段有初效过滤段、中效过滤段、预热段、预冷段、加湿段、再冷段、再热段、风机段、预留段、高效过滤段和送风段等(见图 3)。其中预冷盘管的供回水温度为  $13^\circ\text{C}/19^\circ\text{C}$ ,再冷和盘管的供回水温度为  $5^\circ\text{C}/10.6^\circ\text{C}$ ,预热盘管的供回水温度为  $90^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$ ,再热盘管的供回水温度为  $90^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$ 。

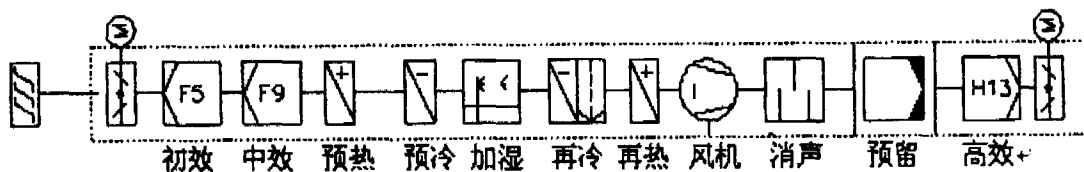


图 3 新风处理机组示意图

洁净室新风系统承担所有的室内湿负荷,而室内 显热负荷则由干式冷盘管承担。室外新风须处理到

机器露点后送入回风夹道与回风混合。在夏季高温高湿的地区,由于室外焓值较大,新风机组需进行大焓差处理。如只设一级冷盘管,那大量的冷量都将被冷凝水带走。故为了充分利用冷水能量,新风机组设置两级冷盘管。在夏季,室外空气被供 $13^{\circ}\text{C}$ 中温水的 $1^{\circ}$ 级预冷盘管处理到接近饱和状态点A,再由供 $5^{\circ}\text{C}$ 低温冷水的 $2^{\circ}$ 级冷盘管处理到露点B,最后通过再热盘管将其加热到送风状态点C。而在冬季,室外空气先通过预热盘管加热到D点后,再由水喷淋加湿到露点B后加热到送风状态点C。处理过程详见图。水喷淋加湿段位于两级冷盘管之间,除了加湿外还可起到清洁空气的作用。在夏季工况下空气经过一级冷盘管处理到A点后已达饱和状态,很难再被加湿,故水喷淋对夏季新风处理不会产生影响。

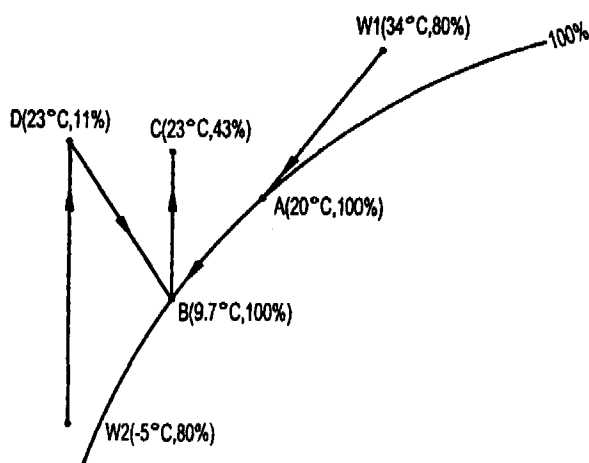


图4 新风处理焓湿图

安装在回风夹道和吊顶静压箱之间的干式冷盘管的作用是去除室内显热负荷,供回水温度为 $13^{\circ}\text{C}$ 和 $19^{\circ}\text{C}$ 。干式冷盘管包括钢制槽形镀锌框架、铜质管道及带传热涂层的铝质散热片。每个尺寸为 $2400\text{mm} \times 2165\text{mm}$ ,处理风量约为 $33000\text{m}^3/\text{h}$ ,面风速控制在 $2\text{m/s}$ 以下,冷量约为 $22.2\text{kW}$ 。干式冷盘管前设挠性软管及球阀与供回水管道连接。采用干式冷盘管的优点在于系统运行在干工况条件下,杜绝了水患。

## 2.4 自动控制

### 2.4.1 压差控制

洁净室与周围的空间必须维持一定的静压差,其目的是为了保证洁净室在正常工作或空气平衡暂时受到破坏时,洁净室的洁净度免受邻室污染或污染邻室。压差风量的确定一般采用房间换气次数估算,并与洁净室围护结构的气密性及维持的压差值有关。

本工程洁净室的维持正压的换气次数取 $1.5\text{h}^{-1}$ 。

在洁净室装有压差传感器,洁净室的压力根据压差传感器的数值来控制,它将测量洁净室和外界大气的压差。PLC使用压差传感器的值作为PID的过程值,它的输出将控制新风管道上的变风量控制(VAV Box)开度(见图5)。PLC同时计算在主新风管道上的压差传感器平均值,并用平均值作为PID的过程值,它的输出将控制新风机组的风机速度,以达到洁净室内的正压要求。



图5 变风量控制器(VAV Box)

### 2.4.2 温湿度控制

洁净室里的温度是由吊顶上的干冷盘管进行调节控制的,吊顶内共分为10个温度控制区域,每个温度控制区域都设有一个温度传感器,该区域的干冷盘管回水主管上装有一组电动调节阀,通过温度传感器所测的温度与直接数字温控器的设定值比较,用比例积分微分控制器输出电信号,控制回水管上电动调节阀的开度,改变水流量,使洁净室的温度保持在所需的范围。

洁净室内安装有温湿度传感器,从洁净室温湿度传感器传来的温度信号将被PLC用来监视和报警。新风机组送风温度信号作为温度PID控制的过程值(PV),PID输出将用来控制再热阀,维持新风机组恒定的出风温度。新风机组的加湿喷淋段水泵都有一液位开关,当低液位报警时,PLC将停止相关的泵。

## 3 排风系统

微电子洁净室中常常在产品生产过程中使用或产生各种酸性和碱性物质、有机溶剂和一般气体、特种气体。且根据GB50073-2001《洁净厂房设计规范》中的规定,排风系统应单独设置。故洁净室的工艺排风分别设有酸性排风系统、碱性排风系统和溶剂排风系统,其排风量(见表2)。(下转第38页)

况:

3) 在1h怠速阶段,系统高压压力保持非常好的稳定性,由1.8MPa上升到2.1MPa后,基本保持恒定,不随怠速时间的延长而上升,其所对应的系统的蒸发箱低压蒸发也稳定地保持在大致0.5MPa。

4) 由此而产生仪表板出风口平均温度基本保持在13℃左右,车内平均温度也保持在26℃左右:

## 6 结论

帕萨特轿车的空调系统在车辆行驶及短时间怠速中,能够满足用户的舒适性温度要求。但是,极端的偶然长时间怠速并使用空调的工况下,会出现空调暂时失去制冷效果的情况。

其根本性的解决方法就是只能通过改善车辆的散热系统,提高空调系统冷凝器的散热,以降低系统

的高压压力,相应的降低系统低压端的蒸发压力,来降低出风口的温度,提高车辆空调舒适性。

虽然从更改的成本上而言,用电子风扇取代硅油风扇是最贵的,单从改善散热的效果上比较而言,这是最好的解决方案。

但是,在实践要实施,还有考察其它很多相关的要求,比如电子风扇的固定,由于增加了电子风扇需要电来驱动;则涉及到整车的电平衡要求,风扇本身的耐久性要求等。本文就不再详细介绍和探讨。

如果在实践中,将上述多种方法同时实施,比如提高冷凝器的散热功率,提高压力开关的跳变值,改善车辆前端风扇与风扇罩之间的密封性等等,其效果将更加显著。

(上接第34页)

表2 洁净室排风量

	排风量/(m <sup>3</sup> /h)	台数	运行情况
酸性排风	82,000	4	三用一备
碱性排风	46,000	2	一用一备
溶剂排风	58,000	2	一用一备

酸碱排风气体必须分别经过玻璃钢淋洗塔处理后才能排至室外。淋洗塔以化学吸收为工作原理,其中有填料增加其有效吸收面积。淋洗液由喷嘴自上而下喷洒,并可循环使用。经过处理后的排放气体须满足GB16297-1996《国家废气排放标准》,见表3。洁净室内酸碱排风的风管材料为不锈钢,内涂特氟隆,以达到防腐的目的。风机采用玻璃钢离心变频风机。

表3 国家废气排放标准

废气	最大排放量/(kg/h)
SO <sub>2</sub>	4.3
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.6
HCL	0.43
Cl <sub>2</sub>	0.52
NH <sub>3</sub>	14

溶剂排风系统用于排除厂房内设备及化学气体等房间产生的溶剂气体。其风管材料为SUS304不锈钢,风机采用防爆型风机,并配有变频器调节马达转速以到达调节排风量的要求。

## 4 排烟系统

洁净室为无外窗的房间,房间密闭性较好,故设置机械排烟系统是保证人员安全疏散的必要方法。GB50073-2001《洁净厂房设计规范》规定:洁净厂房疏散走廊,应设置机械防排烟设施。而国家现行防火规范中对工业厂房的排烟设置未作出明文规定,故参考民用建筑的防排烟规范在洁净室内设置机械排烟系统。因主生产区面积达3000m<sup>2</sup>,故用挡烟垂壁(吊顶以下500mm高)将主生产区分隔为数个防烟分区,每个防烟分区最大面积不大于500m<sup>2</sup>。防烟分区的排烟量设计值以每个分区60m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>计算。排烟风机可同时负担两个防烟分区,风量选型按最大防烟分区面积每平方米120m<sup>3</sup>/h计算。防烟分区的排烟由支管上的280℃排烟阀控制。

## 5 结束语

经过一年的建设,该洁净室已于2004年建成投产。虽然其规模不是最大,但却是现今半导体工业洁净室设计的典型,从中有许多值得借鉴的地方。笔者对其空调通风设计的阐述和理解可能有许多欠妥之处,欢迎各位专家批评指导。

## 参考文献

- [1] 沈晋明. 微电子洁净厂房的送风模式. 上海制冷学会二〇〇一年学术年会论文集
- [2] 陈霖新等. 洁净厂房的设计与施工. 化学工业出版社