

文章编号: 1671-6612 (2019) 01-025-5

微电子洁净厂房的设计分析

林喜云

(上海现代建筑设计集团工程建设咨询有限公司 上海 200041)

【摘要】 针对某微电子工业厂房项目工程, 分析电子工业洁净厂房的净化空调系统设计, 以及防排烟系统的设计。同时根据电子洁净厂房工艺设备的参数, 简述气体动力系统的设计。

【关键词】 洁净厂房; 微电子工业

中图分类号 TU83 文献标识码 B

Analysis of the Design of Microelectronic Clean Plant

Lin Xiyun

(Shanghai Xian Dai Architecture, Engineering Consulting Co., Ltd, Shanghai, 200041)

【Abstract】 Aiming at a microelectronics industrial plant project, the design of clean air conditioning system in the clean workshop of electronics industry is analyzed, and the design of gas power system is briefly described according to the parameters of the process equipment of the electronic clean workshop.

【Keywords】 clean workshop; microelectronics industry

0 引言

随着国家科技的进步, 微电子行业在国内异军突起, 为满足各个电子洁净厂房对室内空气温湿度精密控制的要求, 对洁净室的空气处理设计提出了更高的要求。同时为配合车间内设备及生产线的运转, 厂房防火空间高度及跨度均给防火安全设计带来的一定的难度, 该工程所存在消防问题的解决办法和措施。

1 工程概况

本工程地处上海, 为改造项目, 原厂房已与2010年建成, 为普通单层厂房, 建筑平面尺寸为85m×35m, 层高为13.5m高, 现根据业主需求改造为洁净厂房(以光刻机为主设备), 洁净度: ISO Class6(1000级), 设计洁净车间区域为82m×30m, 其余为设备用房。此次改造为满足洁净室密闭的要求, 在原厂房内四周增设一层库板, 库板防火性能要求为耐火极限1.5小时。换鞋, 更衣, 风淋等辅

助房间设置在紧贴厂房南边的新建建筑内; 洁净车间内部的温度、湿度要求见主要设计参数。

2 室内外主要设计参数

洁净车间室内空调设计参数:

全年室内设计干球温度: 22℃±1℃;

全年室内设计相对湿度: 50±5%。

表1 室外设计主要参数

Table 1 Main parameters of interior design

	夏季		冬季
空调计算干球温度	34.4℃	空调计算干球温度	-2.2℃
空调计算湿球温度	27.9℃	供暖室外计算温度	-0.3℃
通风室外计算相对湿度	69%	空调计算相对湿度	75%
空调计算干球温度	34.4℃	通风计算干球温度	4.2℃
空调计算湿球温度	27.9℃	冬季室外平均风速	2.6m/s
通风计算干球温度	31.2℃	大气压力	102.54kPa
夏季室外平均风速	3.1m/s		
大气压力	100.54kPa		

3 空调冷热源、水系统设计及项目负荷参数

3.1 工程冷热源及水系统设计参数

本工程夏季冷源采用的是设置在动力中心的离心式冷水机组供冷，供回水温度为 7/12℃。

冬季采用的是设置在锅炉房的燃气锅炉供热，燃气锅炉出水温度为 90℃，回水温度为 60℃，通过板式换热器提供空调热水，供回水温度为 60/45℃。

车间内干盘管水系统冷源由离心式冷水机组提供，经水—水板式换热器，提供 14℃ 冷冻水，回水温度为 18℃。

车间工艺水系统冷源由离心式冷水机组提供，经水—水板式换热器，提供 18℃ 冷冻水，回水温度为 28℃。

3.2 洁净车间冬、夏季节负荷

洁净车间的负荷主要以满足工艺设备生产为主，工人工作环境舒适为辅准则设计，在计算统计负荷量时以业主和设备厂家提供的参数为主。

3.2.1 夏季负荷

洁净车间干盘管冷负荷 415kW；空调箱新风系统冷负荷 2353kW；空压机冷负荷：350kW（业主提供）；纯水机房冷负荷 350kW（业主提供）。

3.2.2 冬季负荷

冬季负荷：空调箱新风系统负荷 1598kW。

4 空调系统形式

微电子厂房的净化主要是厂房内的生产区域。根据生产工艺的要求，净化等级为 1000 级，设计单向流的空调系统形式，本工程采用的是组合式空调机组（MAU 处理新风）+干盘管（DCC 处理回风）+FFU（高效送风口）空调系统形式；考虑设备高度及行车高度后，在整个生产区域上方 7.95m 的高度设置一个洁净空腔，洁净空腔高度为 2m。在洁净空腔上部设置设备平台（原土建设有，现新增），新风机组、排风风机、臭氧处理及其他设备均放置在设备平台上。夏季：室外的新风经过过滤及降温除湿处理后，送入洁净空腔。冬季：室内的热排风通过板式热交换机组，预热室外新风，经过滤，加热加湿处理后，送入洁净空腔。送入洁净空腔内的新风与洁净车间内经过干盘管处理的回风混合，由 FFU 送入洁净车间。FFU 的吸入口端设

置中效过滤器，出口端设置高效过滤器。送入室内的风通过架空地板的开孔，回到洁净车间两侧的回风墙内。

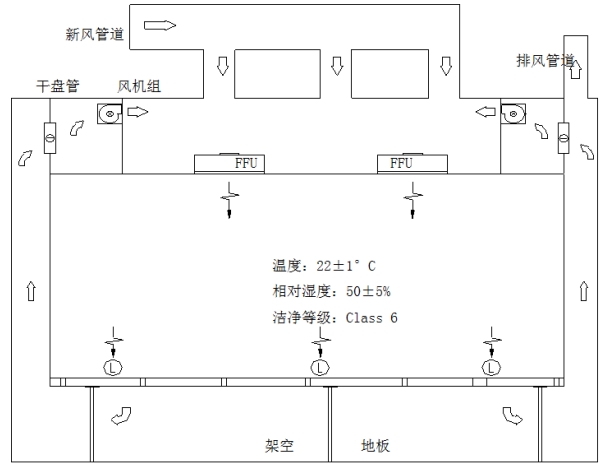


图 1 洁净车间空调通风系统图

Fig.1 Air conditioning ventilation system of clean workshop

5 空调系统设计

一般的空调系统设计时按空调精度选定送风温差，在根据余热余湿计算送风量，而在洁净空调系统中风量是根据压差控制来确定的。《洁净厂房设计规范》(GB 50073—2013)中规定“洁净室(区)与周围的空间必须维持一定的压差。并按工艺要求决定维持正压差或负压差。不同等级的洁净室之间的压差不宜小于 5Pa，洁净区与非洁净区之间的压差不应小于 5Pa，洁净区与室外的压差不应小于 10Pa。洁净室维持不同的压差值所需的压差风量，根据洁净室特点，宜采用缝隙法或换气次数法确定”。

5.1 缝隙法计算渗透风量^[2]

此方法既考虑了洁净室维护结构的气密性，又考虑了室内维持不同的压差值所需的正压风量，因此，缝隙法比按房间的换气次数估算较为合理和精确。

$$Q = a \sum (ql)$$

式中：Q 为维持洁净室压差值所需的压差风量，m³/h；根据维护结构气密性确定的安全系数。可取 1.1~1.2；q 为当洁净室为某一压差值时，其维护结构单位长度的渗透风量，m³/h；l 为维护结

构的隙缝长度，m。

单位长度缝隙渗透空气量用公式计算是比较困难的，一般是通过不同形式的门、窗进行多次的实验数据统计后得出的。

5.2 换气次数法，宜按下列数据选用^[2]

压差 5Pa 时，渗漏换气次数取 1 次~2 次/h；
压差 10Pa 时，渗漏换气次数取 2 次~4 次/h；
对于混凝土外墙无窗厂房，渗漏换气次数可取 0.5 次/h；

对于气密性好的大型洁净厂房，换气次数可取下限值。

5.3 本工程洁净室新风量的设计

洁净室内的新鲜空气量应取下列两项中的最大值：

- (1) 补偿室内排风量和保持室内正压值所需

新鲜空气量之和

- (2) 保证供给洁净室内每人每小时的新鲜空气量不于 40m³

本工程设备工艺排风按照业主提供的设备参数计算，业主提供洁净车间的设备为：5 台 6G-TFT 光刻机；一台 008 光配向设备；一条 G4.5 工艺线；生产设备人员约为 80 人。

5.3.1 6G—TFT 光刻机五台

根据业主提供的光刻机性能参数，每台末端热排风为 300m³/min（业主要求满负荷运行设计）；热排风温度≤60℃，5×300m³/min。

5.3.2 008光配向设备；

末端热排风：168m³/min；热排风温度≤100℃
臭氧排气：16m³/min

5.3.3 G4.5工艺线设备

表2 工艺设备通风参数

Table 2 Ventilation parameters of process equipment

排风设备	排风性质	单位m ³ /min	备注说明
COATER	有机排气	22	
VCD	有机排气	3	
	热排风	2	排风温度50℃
	臭氧排风	1	
CLEANER (EUV)	碱性排气	2	
	一般排风	6.1	RT、50C
DEVELOPER	碱性排气	2	
	一般排风	6.3	RT
HPCP	热排风	20	排风温度60℃

5.4 厂房新风量计算

厂房内洁净区域层高 7.95m，面积为 2100m²。根据上面叙述要求，本次设计厂房内外压差为 10Pa 时，气密性好无外窗，渗漏换气次数取 1 次/h，计算厂房渗透量为：2100m²×7.95m×1 次/h=16695m³/h。所以计算洁净区域最小新风量为上述所有风量之和，计算约为 121600m³/h，按此风量选择新风处理机组。

5.4.1 新风机组的设计选择及冬季排风的热回收

根据上面计算，本次设计选择组合式新风机组三台放置在设备平台上，两用一备，每台风量为 65000m³/h，采用变频控制。由于设备机台排风温度较高，夏季排风均直接排至室外，冬季排风预热新风，采用两台全热交换器，全热交换器设置在设备平台上面，每台处理风量为 60000m³/h。

5.4.2 新风处理机组的装置由各功能段组成

新风入口→初级过滤器→中级过滤器→一次加热（冷却）盘管→干蒸汽加湿（纯水）→挡水板→二次加热盘管→风机段→高效过滤器（出口）。新风经处理后送至洁净空腔内。

5.5 洁净车间回风处理

本工程对于回风的方式前面已经提到，送入室内的风通过架空地板的开孔，回到洁净车间两侧的回风墙内。回风墙回至设备夹层，并在回风墙侧设置干盘管（DCC），使室内的回风全部经过干盘管处理后，由风机送回至洁净空腔内。干盘管仅承担室内的显热负荷，用于末端装置处理的空调水系统采用高温水（供回水水温为 14℃/18℃，由制冷机组提供的冷水通过板式换热器提供）。特别注意的是，由于生产设备本身重量偏重，结构专业设计了

很多的设备基础平台及出货通道, 车间地面剩余部分为高压开孔地板, 作为回风口, 为保证回风品质 (回风风量以及回风风速), 满足室内洁净度要求, 地板的开孔率不小于 25%。

5.6 洁净空调系统风量设计

根据上面叙述要求, 设计空调送风量如表 3 所示。

表3 洁净空调风量表

Table 3 Clean air conditioner wind scale

房间名称	洁净度等级	空调系统	洁净室面积 m ²	体积 m ³	换气次数 次/h	送风量 m ³ /h	新风量 m ³ /h	房间压力 Pa
洁净车间	ISO class 6	MAU+DCC+FFU	2100	16695	57	951615	130000	+10

6 消防系统的设计

本工程根据建筑火灾危险性定义为丙类厂房, 由《建筑防火设计规范》GB 50016—2014 中的 8.5.2 条规定, 丙类厂房设置排烟设施^[5]; 本工程地处上海市, 又根据上海的《建筑防排烟技术规程》DG J08—88—2006 中的 4.1.6 条“防烟分区不宜大于 2000m², 长边不应大于 60m。当室内高度超过 6m, 且具有对流条件时, 长边不应大于 75m”的规定, 设计洁净车间内部划分为 2 个防烟分区, 设置机械排烟系统。为不影响洁净车间内部的行车移动, 贴洁净空腔下部设置活动式电动档烟垂壁, 平时收起, 消防时电动档烟垂壁自动下降至档烟工作位置。

6.1 排烟系统设计

按照规范要求, 风机的风量应按各防烟分区中最大一个分区的排烟量、风管 (风道) 的漏风量及其他防烟分区的排烟口或排烟阀的漏风量之和计算。本洁净车间防烟分区划分后, 防烟分区一面积 1000m², 防烟分区二面积 1100m², 层高为 7.95m。

排烟量按 DG J08—88—2006 中公式 5.2.5 计算:

$$V = M \frac{\rho T}{\rho_0 T_0}$$

式中, V 为排烟量, m³/s; ρ_0 为环境温度下气体的密度, kg/m³, 通常 $T_0=20$, $\rho_0=1.2(\text{kg}/\text{m}^3)$; T_0 为环境的绝对温度, K; T 为烟气的绝对温度, K, $T=T_0+M$ 。

带入各个数字, 计算结果为 25821m³/s, 排烟风机风量按计算排烟量的 1.1 倍选择。排烟风机设置在洁净空腔上部的设备平台上面, 风机四周用耐火极限不下于 2 小时的防火板包裹。

6.2 消防补风系统设计

按照《建筑防火设计规范》和上海市《建筑防排烟技术规程》的要求, 消防补风量不应小于排烟量的 50%, 且补风口宜设置在消防区域储烟仓以下。本工程为洁净厂房, 消防补风不能从室外直接引入, 故采用新风空调机组处理后的洁净空气作为消防补风。经过空调处理机组处理后的室外新风, 在送至洁净空腔前分出一支, 直接经风管送至洁净空腔下部的车间内, 补风风口离地 4.0m。支风管上面设置电动阀, 平时关闭, 消防联动开启。

7 动力中心设计

整个厂区规划设计一个动力中心, 为整个厂区服务。动力中心内设有冷热源系统及空压站、纯水处理中心及氮气供给中心。本项目仅仅为工程规划第一期, 总共规划五期, 后续一期一期启用。本期涉及到的部分在此做一简述。

7.1 冷源

冷源来自动力中心的 2 台 500RT 离心式冷水机组为本车间服务, 制冷机组夏季提供 7℃ 冷冻水, 冷冻回水温度为 12℃。干盘管、空压机 (水冷式) 及工艺冷水所需冷量均经各自的板式换热器提供。水泵及板式换热器设置在机房内, 机房内设置通风系统。冷却塔直接设置在厂房外侧, 就近动力机房。冬季冷水机组不运行, 空压机所需的冷量有冷却塔提供的水经过板式换热器供给。

7.2 热源

热源采用的是燃气锅炉, 燃气由市政天然气提供, 厂区内设有燃气调压站, 经调压站的燃气直接供至锅炉房。燃气锅炉内的一台锅炉为本期服务。锅炉一次供回水温度为 90/60℃, 通过板式换热器

提供工程用 60/45℃ 的热水。板式换热器及输送水泵均设置在锅炉房内, 锅炉房屋顶上设有膨胀水箱, 补水来自纯水处理中心, 锅炉房均按规范要求设置平时通风及事故排风系统。

7.3 空气压缩系统

空压站产生的压缩空气提供给生产工艺, 按照车间内 6G—TFT 光刻机和 1 条工艺线的需求且同时使用系数为 1 考虑, 即总用气负荷为 27.61Nm³/min, 最大用气压力为 0.65MPa, 压力露点 ≤ -40℃, 无油, 含尘粒径 ≤ 0.01μm。根据业主提供的参数, 空压机房内两台水冷无油螺杆空压机为本期服务, 一台变频(排气量为: 24.4m³/min), 一台定频(排气量为: 24.6m³/min), 同时设置微热吸附式干燥机、过滤器及储气罐, 储气罐容积为 5m³。水冷式空压机需要的冷量由动力中心的制冷机组提供。空压机房采用自然通风换气, 在外墙上设置百叶窗。

7.4 真空系统

根据业主提供的工程需求, 按车间内 6G—TFT 光刻机和 1 条工艺线的需求且同时使用系数为 1 考虑, 即总用气负荷为 2m³/min, 极限压力为 20kPa, 真空泵房内设置 2 台油润滑旋片真空泵(一用一备) 和一个 2m³ 的真空罐, 以及相应阀门和控制装置附件。根据工程需求设计真空泵房最终抽气规模为: 总抽气速率 ≥ 2m³/min, 真空泵入口工作压力为 20kPa。

7.5 液氮站供气系统

根据业主提供的工程需求, 按车间内 6G—TFT 光刻机和 1 条工艺线的需求且同时使用系数为 1 考虑, 即总用气负荷为 0.47Nm³/min, 最大用气压力为 0.65MPa, 选用液氮储罐容积为 5m³, 且最大连

续供气时间为五天, 业主要求采用租赁一套移动式氮气供应装置, 并就近安装在车间绿化带内露天设置。

7.6 纯水系统

纯水系统由专业厂家设计, 此处不叙述。本工程的冬季加湿及锅炉补水均有纯水机房提供。

8 结论

通过对微电子洁净厂房的分析设计, 提醒设计工程人员只有对洁净室内工艺设备了解清楚, 积极配合工艺、建筑、结构、电气以及给排水等各专业, 才能做到设计合理, 做出优秀的、满足生产要求的项目工程。

参考文献:

- [1] GB50019—2015, 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [2] GB 50073—2013, 洁净厂房设计规范[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [3] GB 50073—2008, 电子工业洁净厂房设计规范[S].北京:中国计划出版社,2009.
- [4] GB 16297—1996, 大气污染物综合排放标准[S].北京:中国标准出版社,1997
- [5] GB 50016—2014, 建筑设计防火规范[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [6] DG J08—88—2006, 上海市工程建设规范-建筑防排烟技术规程[S].上海:上海市新闻出版局,2006.
- [7] 李婕璇. “干盘管”在电子洁净厂房中应用的分析[J]. 发电与空调,2013,32(2):58-62.
- [8] 马海龙. 洁净厂房空调系统的设计及特点[J]. 建筑工程技术与设计,2017,4(3).