

净化厂房 MAU+RCU+HEPA 空调系统设计

程 康

(信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司, 江苏 无锡 214071)

摘要: 阐述了洁净室空调的特点,介绍了目前光伏电子行业常采用的 MAU+RCU+HEPA 对系统的空气处理过程。分析计算表明由于电子行业洁净室空调冷负荷巨大,使得空调系统的换气次数很多,甚至大于室内允许含尘浓度计算得出的换气次数。对江阴地区某电池厂房的空调系统设计进行了举例计算。

关键词: 新风空调机组; 循环空调箱; 组合式空调箱; 高效送风口; 净化等级; 静压箱

中图分类号: TU831 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-7237(2013)05-0032-04

AHU+RCU+HEPA Air-Conditioning System Design in Purification Plant

CHENG Kang

(EDRI, Wuxi 214000, Jiangsu, China)

Abstract: The characteristic of air-conditioning for clean room is expounded, as well as the air processing of MAU+RCU+HEPA system which is most popular used in photovoltaic and electronic industry. Both of the analysis and result of calculation show large amount of cooling load in clean room of electronic industry causing huge number of air ventilation even more than that of purification. The air-conditioning system design of solar cells factory in Jiangyin is studied.

Key words: Make-up Air Unit(MAU); Recycled Air Handling Unit(RCU); Air Handler Units(AHU); High Efficiency Particulate Air Filter(HEPA); purification grade; plenum chamber

0 引言

随着科学技术与工业技术的发展,为了保证生产产品的高精度、高纯度和高成品率,对空气的洁净度有了很高的要求。洁净室在新兴的光伏、电子行业,在传统的医药、精密机械、化工、食品等诸多行业都得到了广泛的应用。电子工业洁净厂房生产环境根据其生产工艺的特点和要求对房间内的微粒数量有严格要求,本文仅对空气洁净技术在电子行业中的特点及应用加以阐述。

1 洁净室空调系统的特点及风系统的形式

电子行业洁净室在围护结构和空调系统气流组织上都有它独有的特点:

(1)气流分布要求很均匀。目前洁净室洁净度等级共划分为 9 个级别(见表 1), 1~5 级的气流组织为单向流或混合流,气流平均风速为 0.20~0.45 m/s, 6~9 级则采用非单向流^[1-2]。

表 1 洁净送风量(静态)和气流流型^[3]

空气洁净度等级	气流流型	平均风速/(m/s)	换气次数/h ⁻¹
1~5	单向流或混合流	0.20~0.45	50~60
6	非单向流	—	50~60
7	非单向流	—	15~25
8~9	非单向流	—	10~15

收稿日期:2013-02-26; 修回日期:2013-04-06

(2)温湿度要求精度高并且恒定。由于电子产品的制造工艺对温、湿度的变化极为敏感,所以空气参数的波动要控制在极小的范围内,因此,自控系统如 DDC、PLC 等在洁净系统控制中有着不可忽视的作用^[4];

(3)洁净室内新风量大、换气次数高。光伏、电子行业的洁净室内有诸如烘箱之类的工艺设备,产热极大,这些热量主要依靠工艺冷却水和工艺热排风带走,工艺设备同时还会产生酸、碱、有机废气,需要排走,房间内的各种大风量排风意味着需要补充大量经热湿处理过的新风来维持室内正压。同时,为了维持房间高洁净度就需要较多的换气次数来过滤尘埃粒子;

(4)空调风系统的形式。因洁净室不仅需要温湿度满足要求,更重要的是使洁净区悬浮粒子颗粒数满足要求,目前电子行业厂房内的洁净度要求根据工艺的不同,一般设置成 ISO 5~ISO 9 级之间,对应于传统分级的百级至十万级^[5]。风系统则由组合式净化空调机组和高效送风口共同来满足温度、湿度和洁净度的要求。空调的送风形式一般有一次回风系统、二次回风系统、新风加干盘管系统。

2 MAU+RCU+HEPA 洁净空调系统

图 1 为光伏行业洁净室目前最常用的 MAU+RCU+HEPA 空调系统示意图。夏季室外新风经新风空调机组(简称 MAU, Make-up Air Unit)粗效过滤、降

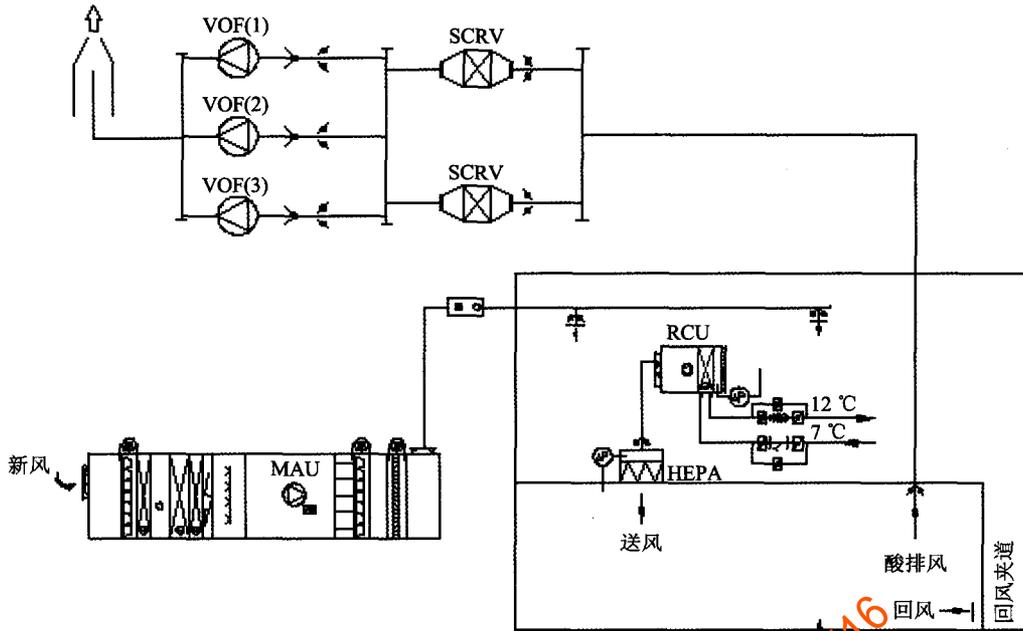


图1 MAU+RCU+HEPA 空调系统示意图

焓、减湿、再热、中效过滤、高效过滤后送入房间吊顶内,室内回风从回风夹道的下部侧回进入回风夹道由下至上进入吊顶,并和新风混合后送入小循环空调箱(简称 RCU, Recycled Air Handling Unit),空气经 RCU 冷、热处理后通过高效送风口(简称 HEPA, High Efficiency Particulate Air Filter)送入房间。

MAU+RCU+HEPA 系统具有以下几个特点:

(1)房间内的温湿度分别控制。电子厂房的特点是产湿很少,所以控制房间的湿度主要是控制带入房间内新风的湿度,因此,该系统中房间的湿度由 MAU 控制,温度则由 RCU 控制。如果室内回风和新风直接混合后再经热湿处理则很难同时达到房间的温、湿度要求。当房间内湿度偏高时,表冷盘管出力增加使送风温度过低,导致房间温度偏低,当房间湿度合适但温度偏低时,如果使表冷盘管出力减少,则有可能使送风湿度偏高。遇到这种情况时,往往会在空调箱的盘管后面加一个再加热段,由于电子厂房尤其是电池线的送风量很大,能源浪费也必将很大。

(2)末端 RCU 的布置比较灵活。该系统其实是由 MAU 和 RCU 串联而成,设计时往往将某个功能区域的多台 RCU 组合成 1 台组合式空调箱(简称 AHU, Air Handler Units)放置在空调机房内,但前提条件是空调机房面积够大、吊顶内空间足够,因为 AHU 将占用很大的机房空间,而房间的大送、回风量必将使 AHU 的送、回风管尺寸很大。

(3)送风温度均匀,调试简单。该系统中吊顶上其实是设计成 1 个静压箱,新风和室内回风在静压箱内充分混合后依靠 RCU 内的风机风压送入房间内,送风温度均匀可控,MAU 和 RCU 风机的出风压力较容易调试。

3 MAU+RCU+HEPA 空调系统工程设计

在整个洁净空调系统设计过程中,最核心的两个参数是冷热量和风量。系统的冷热量是由房间负荷决定的,而风量则是由空调冷热负荷计算得出的送风量和室内空气洁净度等级计算得出的送风量之间取大值。在一些发热量较小的房间,由室内允许含尘浓度计算得出的送风量对于空调冷热负荷来说往往有较大的富裕量,这时可以通过控制进出 RCU 冷冻水量和出风参数来使房间内的温、湿度稳定。

3.1 确定空气处理过程中的各状态点

状态点 W、W'、W'' 分别为夏季、过渡季节、冬季室外状态点,该状态点取决于工程所在地的气象条件,具体可参考工程设计手册或者暖通设计的相关规范^[6-7]。N 为室内状态点,1 点为送风状态点,送风温差 $\Delta t = t_N - t_1$ 。工程设计时, Δt 可预估一个初算值,一般为 6~8 °C,根据 Δt 就可得到 1 点的送风参数。L 为 MAU 的机器露点,由于洁净室冷负荷大、湿负荷小,所以热湿比线几乎是一条垂线^[8],L 点为 N 点垂直向下与 $\Phi=95\%$ 相对湿度线的交点(见图 2、3)。

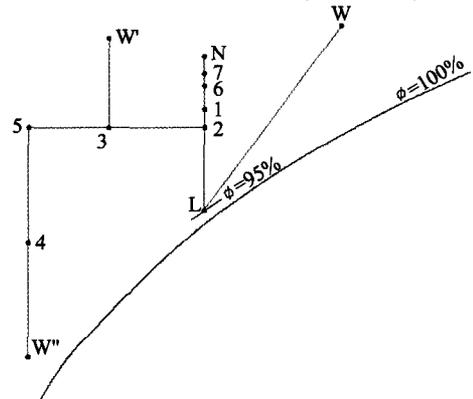


图2 MAU+RCU 系统的空气处理过程

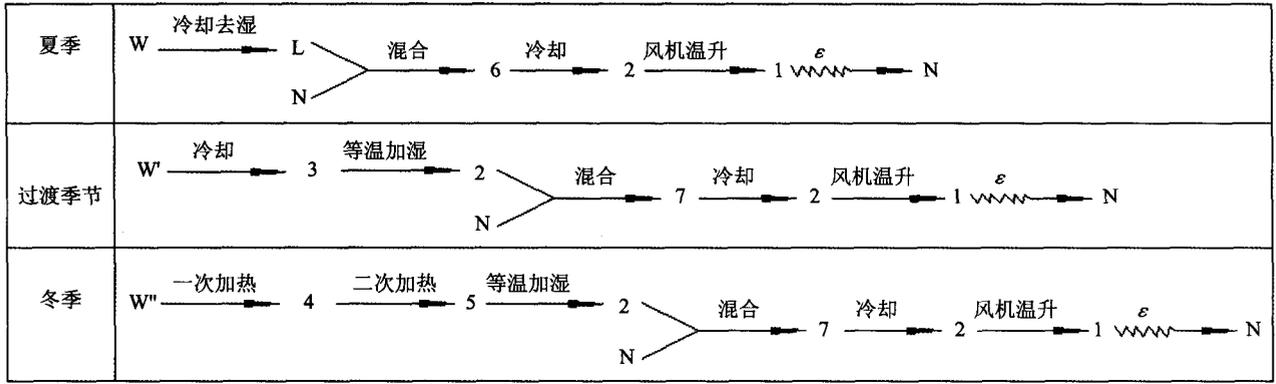


图3 MAU+RCU系统空气处理过程流程图

3.2 洁净室空调负荷、风量计算

洁净厂房的冷负荷除新风负荷外一般包括围护结构负荷、设备负荷、灯光负荷和人员负荷,其中设备负荷视工艺条件不同而不同,但一般为主要负荷。本文对洁净室冷负荷这一块不做详细分析说明。由洁净室空调冷负荷确定的送风量为:

$$L_{\text{冷}} = \frac{Q}{h_N - h_1} \times \frac{3600}{1.2} \text{ m}^3/\text{h} \quad (1)$$

式中:Q为房间内空调冷负荷,kW;

h_N 为室内空气焓值,kJ/kg;

h_1 为送风空气焓值,kJ/kg。

空调冷负荷要求的换气次数为:

$$n_{\text{冷}} = \frac{L_{\text{冷}}}{V} \text{ 次/h} \quad (2)$$

式中:V为房间体积, m^3 。

3.3 MAU风量和冷量计算

新风量的确定主要基于两方面考虑,首先是要满足人员卫生需求,其次是满足房间正压要求。由于电子洁净厂房内人员数量一般不会很多,所以新风主要是考虑满足房间正压。

$$L_{\text{新}} = (1 \sim 3)V + L_{\text{排}} \text{ m}^3/\text{h} \quad (3)$$

式中: $L_{\text{排}}$ 为设备排风量, m^3/h ;

对于不同洁净度等级的房间,房间正压要求不同,一般为5~15 Pa,折合成房间换气次数可以估算为1~3次/h。

新风机组的制冷量为:

$$Q_{\text{冷}} = L_{\text{新}} \times (h_w - h_L) \times \frac{1.2}{3600} \text{ kW} \quad (4)$$

式中: h_w 为室外空气焓值,kJ/kg;

h_L 为MAU的机器露点焓值,kJ/kg。

可以根据冷量和风量为新风机组选型(新风机组的热量计算方法同冷量相似,这里不做赘述),并根据实际情况确定初效、中效、高效过滤段的过滤效率以及加入电加热段等功能段。

3.4 RCU风量和冷量计算

新风和室内回风在静压箱内混合后进入RCU,

混合空气焓值:

$$h_2 = \frac{h_N \times L_{\text{回}} + h_L \times L_{\text{新}}}{L} \text{ kJ/kg} \quad (5)$$

式中:空调送风量L为空调负荷计算得到风量和室内空气洁净度等级计算得出的送风量之间取大值, $L_{\text{回}} = L - L_{\text{新}}$, m^3/h 。

RCU处理的负荷为:

$$Q_{\text{RCU}} = 2 \times (h_2 - h_1) \times \frac{1.2}{3600} \text{ kW} \quad (6)$$

4 工程设计实例

江苏某光伏企业ISO 7级电池片厂房,车间面积4440 m^2 ,吊顶高度3.5 m。采用MAU+RCU空调系统,HEPA上送风,百叶侧下回风,新风经MAU处理后送入静压箱。设计计算的主要数据如下。

4.1 各空气状态点参数

各空气状态点参数如下:夏季室外干球温度34.8 $^{\circ}\text{C}$,湿球温度28.1 $^{\circ}\text{C}$,焓值91.7 kJ/kg;室内温度25 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\phi=50\%$,焓值50.4 kJ/kg;新风机露点温度14.6 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\phi=95\%$,焓值40 kJ/kg。在清楚了房间内温、湿度要求后往往会涉及冷源的选择问题。某些洁净室要求室内温度较低,比如要求室内温度为22 $^{\circ}\text{C}$, $\phi=50\%$,这时室内空气的露点温度为11 $^{\circ}\text{C}$ 左右,而考虑到盘管的热交换能力,冷冻水的进水温度应至少比空气出口温度低3.5 $^{\circ}\text{C}$ 左右,这时冷冻水如果采用7 $^{\circ}\text{C}$ 的供水温度则显得偏高了。

4.2 根据空调冷负荷计算的总风量和换气次数

室内空调的冷负荷为1240 kW,循环风量为465000 m^3/h ,由负荷产生的换气次数为30次/h,而根据室内空气洁净度等级计算得出的送风量约25次(不同房间的洁净度等级要求不同,这里只考虑总量),实际送风温差为 $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 MAU的参数

新风量的要求是163000 m^3/h ,新风机组的负荷为2814 kW。MAU设置3段过滤器,分别为初效G4,中效F8,亚高效H11。

4.4 RCU的负荷

回风量为302000 m^3/h ,新、回风混(下转第64页)

散材料,种植各类植物。不仅有效地保护了防水层和屋盖结构层,而且对建筑物有很好的保温隔热效果,通常种植屋面钢筋混凝土屋面板温度控制在月平均温度左右。具有良好的夏季隔热、冬季保温特性和良好的热稳定性。

重庆市 DBJ50—071—2010《居住建筑节能 65% 设计标准》与 DBJ50—102—2010《居住建筑节能 50% 设计标准》中明确提出,建筑平屋面宜采用种植屋面(覆土面积不少于 70%,构造应符合重庆市 DBJ/T 50—076《种植屋面技术规程》的规定),且种植屋面当量热阻可取 $0.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 计入屋面传热系数计算。重庆地区已具备大面积推广种植屋面的技术条件和相应的标准支撑,由于种植屋面的隔热保温优良性能,已逐步在广东、四川、湖南等地被广泛应用。

4.3 其他隔热措施

除了上述两种主要的屋面隔热构造方式外,重庆地区屋面隔热措施仍有其他的选择,例如通过调整屋顶饰面材料颜色,采用对太阳辐射吸收较低,对低温长波辐射较高的浅色饰面材料,降低屋面太阳辐射吸收系数,实现建筑屋面更好的保温隔热效果。又如屋面饰面层采用隔热反射涂料,减少建筑屋面太阳辐射得热。

上述构造方式与技术手段均为有效的屋面隔热技术措施,能大幅度提高建筑的保温隔热性能,适宜在重庆范围内推广应用。

5 结论

重庆建筑节能工作起步较早,作为率先在全夏

(上接第 34 页)合后空气焓值 $46.8 \text{ kJ}/\text{kg}$,送风点焓值为 $42.2 \text{ kJ}/\text{kg}$,RCU 处理冷量为 713 kW 。值得注意的是,冬季 RCU 在某些负荷较大房间处理的冷量往往比夏季工况还高,这是因为夏季新风是处理到露点送入静压箱的,而冬季新风通常是经热盘管加热处理至高出露点 $3 \sim 4 \text{ }^\circ\text{C}$ 后送入静压箱,导致混合空气的焓值比夏季工况高,从而使 RCU 承担更多负荷。

5 结语

MAU+RCU+HEPA 系统是目前广泛应用于电子厂房的洁净空调系统。其系统形式还有很多延伸和变化,例如 MAU+AHU+HEPA 等,另外,某些洁净厂房不采用静压箱取而代之的是所有空调采用接管形式,新风也有接 RCU 回风管和直接接 HEPA 送风的不同形式,这些不同的空调形式各有自己的优点和不足,需要根据项目的实际情况比如初投资、后期运行费用、施工调试难度等综合考虑^[10]。本文采用的设计思路和步骤可应用于工程实际。

参考文献:

[1]陈霖新,秦学礼,等.GB 50472—2008,电子工业洁净厂房设计规范[S].

热冬冷地区编制发布并执行了建筑节能 50%和 65%设计标准的地区,重庆的建筑节能的理论和实际工作经验都较为丰富,相关的标准体系建立都比较完善,但在部分领域仍存在一定的缺憾,特别是在公共建筑屋面隔热设计要求方面,有待加强。同时,建筑屋面作为节能的一个重要方面,其隔热设计关系着整栋建筑的节能效果和顶层房间的舒适度。通过对目前屋面保温隔热措施的综合分析,研究适用于重庆地区的屋面保温隔热材料(系统)以及技术措施,探索出适合重庆地区的屋面建筑节能技术路线,以适应新形势下对建筑节能工作的新要求。

参考文献:

[1]彭先见,罗春燕,刘刚,等.对夏热冬暖地区居住建筑外墙隔热的探讨[J].制冷与空调 2009,12:77-82.

[2]邓艳芳.广东省建筑墙体和屋面保温隔热措施的探讨[J].广州建筑,2010,6:30-33.

[3]GB 50176—93,民用建筑热工设计规范[S].

[4]DBJ50—102—2010,居住建筑节能 50%设计标准[S].

[5]DBJ50—071—2010,居住建筑节能 65%设计标准[S].

[6]DBJ50—052—2006,公共建筑节能设计标准[S].

[7]吴波,董孟能,莫天柱,等.墙体自保温系统设计指南[M].重庆:重庆大学出版社,2010.

作者简介: 杨鑫(1986),男,重庆人,毕业于重庆大学,网络工程专业,从事建筑节能与绿色建筑等方向的研究(94583232@qq.com).

北京:中国计划出版社,2009.

[2]刘存宏,陈霖新,等.GB 50073—2001,洁净厂房设计规范[S].北京:中国计划出版社,2001.

[3]严德隆.洁净室技术应用中当前的几个热点问题[J].洁净与空调技术:2002,4:3.

[4]王争利,孙东亮,刘俊.西安某洁净室干盘管 -FFU 空调系统设计方案对比分析[J].建筑节能:暖通与设备版,2009,11:26-30.

[5]蔡杰.空气过滤 ABC[M].北京:中国建筑工业出版社,2002:74-75.

[6]徐伟,邹瑜,等.GB 50736-2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[7]陆耀庆,唐世杰,等.实用供热空调设计手册[K].北京:中国建筑工业出版社,2008:187-214.

[8]张昌.电子行业干盘管 -FFU 洁净空调系统[J].建筑热能通风空调,2005,24(1):65.

[9]周吕军,陆耀庆,等.GB 50019—2003,采暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国计划出版社,2004.

[10]陈霖新.洁净厂房的设计与施工[M].北京:化学工业出版社,2003.

作者简介: 程康(1984),男,江苏无锡人,暖通设计师,建筑环境与设备工程专业,从事暖通设计方向的研究(chengkang545@126.com).