

Semiconductor clean room combined fresh air unit control scheme

Ni Wang

China Electronic System Engineering Third Construction Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610031, China

Abstract

The combined fresh air unit MAU provides fresh air for the semiconductor clean room, ensures the positive pressure of the clean room, maintains the temperature and humidity requirements of the clean room, and plays a vital role in maintaining the clean room environment. Because the semiconductor clean room has high requirements on air quality and temperature and humidity, MAU needs to carry out three-stage filtration, multi-stage cooling (or heating), dehumidification (or humidification) and other treatments. At the same time, high-precision control is accompanied by greater energy consumption requirements, while clean rooms usually need to operate continuously all year round, MAU also needs to work continuously, and a long time of large amount of fresh air treatment leads to significant accumulation of energy consumption. Therefore, a reasonable control scheme is not only the key to ensure the temperature and humidity and cleanliness of the clean room, but also can effectively reduce energy consumption and operating costs. In this paper, corresponding control schemes for different groups of MAU are proposed from two aspects of reliability and energy saving in different seasons, so as to meet the temperature and humidity requirements of clean room in different outdoor fresh air state points, and ensure the efficient and energy-saving operation of MAU.

Keywords

clean room; combined fresh air unit; MAU; temperature and humidity control with high precision and energy; saving control

半导体洁净室组合式新风机组控制方案

王妮

中国电子系统工程第三建设有限公司, 中国·四川成都 610031

摘要

组合式新风机组MAU为半导体洁净室提供新鲜空气、保证洁净室正压、维持洁净室对温湿度的要求,在洁净室环境维持上起着至关重要的作用。由于半导体洁净室对空气质量及温湿度要求较高,因此MAU需要对新风进行三级过滤、多级降温(或升温)、除湿(或加湿)等处理。与此同时,高精度的控制伴随着更大的能耗需求,而洁净室通常需要全年不间断运行,MAU也需持续工作,长时间大量的新风处理导致能耗累积显著。因此,合理的控制方案不仅是保证洁净室温湿度、洁净度的关键,同时能有效降低能耗和运营成本。本文分别就不同季节从可靠性及节能性两个方面对MAU不同组段提出相应的控制方案,确保在不同的室外新风状态点均能满足洁净室温湿度要求、保证MAU高效节能的运行。

关键词

洁净室; 组合式新风机组; MAU; 温湿度高精度控制; 节能控制

1 引言

半导体洁净室中的空气经过多级过滤使空气中的颗粒物及污染物数量达到相应洁净等级的要求。为了避免洁净室外的空气通过房间缝隙渗透到洁净室内对洁净室造成污染,需保证洁净室的相对正压。洁净室的正压需通过新风来维持,当进入洁净室的新风量大于洁净室的排风量与渗透风量之和,则可使洁净室内维持正压环境。新风需要在组合式新风机组 MAU 中分别经过初中高效三级过滤,以使室外新风达到洁净度需求。在半导体行业往往存在着较大的排风量,

因此也需要大量的新风来维持正压。大量的新风及三级过滤的高阻力,也伴随着大量的能耗需求。

除了洁净度的需求,温湿度的波动也会直接对半导体的生产良率造成影响,因此半导体行业对室内空气的温湿度精度也有较高要求。夏季室外空气的含湿量较大,MAU 对新风处理过程中进行制冷的同时还需要除湿。为了将湿度降到需求的范围,通常采用冷凝除湿的方式。为了控制空气中的含湿量,需将空气处理到更低的温度。但同时为了满足洁净室中温度精度的要求,还需将空气再热至环境要求温度。这些处理过程都需要消耗更多的能源,特别是当需要处理大量新风时,能耗会更加显著。

半导体生产对环境要求极高,微小的污染和温湿度变化都可能影响产品质量。新风机组是维持洁净室内环境稳定

【作者简介】王妮(1992-),女,中国四川成都人,硕士,工程师,从事暖通空调研究。

的关键。与此同时,半导体厂房通常需要24小时不间断生产,MAU也相应需要持续为洁净室提供满足环境需求的新风。长时间的运行及更高能耗的处理过程,让如何更加精准控制MAU各组段的处理过程、保证洁净室高效节能运行变得尤为重要。

2 洁净室组合式新风机组温湿度常见控制方案

组合式新风机组的空气处理组段主要包含新风段、初效过滤段、中效过滤段、预热段/一级冷段、一级加热段、加湿段、二级表冷段、二级加热段、风机段、高效过滤段、出风段。

新风通过进风段进入机组内部,再经初效及中效过滤段依次对新风进行两级过滤,防止新风中的杂质造成冷热盘管的堵塞,再经过冷热盘管进行温度处理、加湿段进行湿度处理、风机段提供所需的动力并克服管路及过滤器的阻力,最终经高效过滤器过滤后送至新风主管路中。其中除二级加热段冬夏季均开启,冬季升温、夏季除湿后再热。其他冷热盘管组段在冬夏季切换开闭状态,冬季加热、夏季降温。

常见冬季控制方案为:冬季湿度控制根据加湿段后的新风含湿量相应调整预热段及一级加热段热水阀门的开度

大小,若加湿至饱和状态后的新风含湿量偏低则调大前段加热段热水阀开度、若加湿段后含湿量偏高则调小前端加热段热水阀开度。最终送风温度通过调整二级加热段热水开度大小实现控制。

常见夏季湿度控制方案为:夏季通过干球温度控制一级表冷段,承担约一半的冷负荷,进行降温除湿的处理,通常控制点温度设定为18℃。二级表冷盘需要以室内湿度信号来控制表冷段的电动二通阀开度,通常表冷段降温除湿过程可将空气处理至相对湿度为95%的状态点,新风承担室内湿负荷(洁净室热负荷由干盘管承担),根据洁净室需求计算送风含湿量,该含湿量与95%饱和线交点的温度即为二级表冷段需处理的露点温度,以此进行送风湿度控制。

常见夏季温度控制方案:由于洁净室露点要求较低,通过冷凝除湿的方法将新风处理至洁净室内需求的露点温度时,该露点温度低于洁净室要求的工作温度。同时洁净室对温度的波动要求较高,为保证温度控制精度,新风需要经过再热段加热洁净室内环境温度,该处理过程为等湿加热过程。根据室内温度要求确定送风温度,通过再热盘管的电动二通阀开度控制新风的送风温度。

图1为洁净室常见组合式新风机组各组段的控制图:

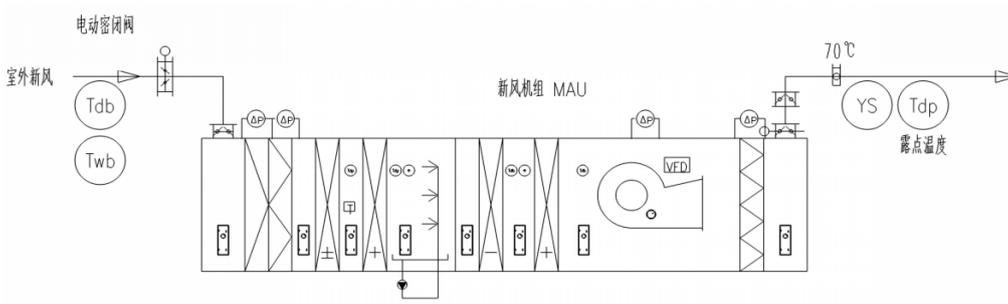


图1 组合式新风机组 MAU 各组段控制图

室外新风参数取值按照 GB50019-2015《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》附录 A 取冬夏季室外空气调节计算参数。以北京为例,夏季空气调节室外计算干球温度为33.5℃、夏季空气调节室外计算湿球温度26.4℃;冬季空气调节室外计算温度为-9.9℃、冬季空气调节室外计算相对湿度为44%^[1]。净室室内空气参数取半导体行业常用数据:温度要求为22±1℃,相对湿度要求为45±5%。

3 洁净室组合式新风机组温湿度控制可靠性建议

冬季新风处理过程先经预热段、一级加热段加热,再经过加湿段加湿,加湿后经过二级加热后送入房间。加湿段的加湿量难以精准控制,若第一段盘管的出风状态点只控制温度,等焓加湿后无法保证湿度的控制精度。且通过加湿后的参数反复调节前端加热量直至达到要求的露点,该方式的调整时间及波动较大,若室外天气变化或遇强冷空气等环境因素,易造成新风湿度波动范围超过控制精度,对厂房中的

半导体生产造成影响。建议将冬季温湿度分开控制,具体控制方式调整为:

3.1 冬季湿度控制优化方案

洁净室 MAU 加湿段通常采用湿膜加湿或高压喷雾加湿的方式,两种加湿过程均为等焓加湿。因此建议预热段及一级加热段通过处理后出风焓值进行加热量的控制,加湿段加湿量无需精准控制,只需保证足够的加湿量等焓加湿至饱和点。控制加热段的出风焓值,在加湿段沿等焓线与相对湿度95%的交点即为加湿后的状态点,则可使处理后的参数稳定维持在该状态点。即使室外空气参数存在波动或在不同的状态点,经以上处理过程,加湿后的空气含湿量均为所需状态点。

3.2 冬季温度控制优化方案

经加湿段后的新风,湿度已满足要求,再经二级加热段等温加湿至洁净室内需求温度即可达到温度需求。再热量的控制通过送风温度信号调节热水管道的电动二通阀开度实现。

3.3 温湿度控制方案对应空气处理过程

结合新风机组 MAU 各组段控制参数，根据以上控制方案及室内外状态点参数，绘制冬夏季新风处理过程的焓湿图，如图 2 所示。其中夏季处理过程为 $W1 \rightarrow W2 \rightarrow L \rightarrow S \rightarrow N$ 。其中 $W1$ 为夏季室外状态点， $W2$ 为一级表冷段处理后的状态点， L 为二级表冷段处理后的状态点， N 为

室内状态点。冬季处理过程为 $W \rightarrow W' \rightarrow L \rightarrow S \rightarrow N$ 。其中 W 为冬季室外状态点， W' 为一级加热段处理后的状态点， L 为加湿后的状态点， N 为室内状态点。 S 到 N 预留 1°C 的管道温升，也可根据室内温度控制精度的情况，在满足温度波动要求的条件下，新风承担一小部分的室内冷负荷，节省冷热抵消的能源浪费。

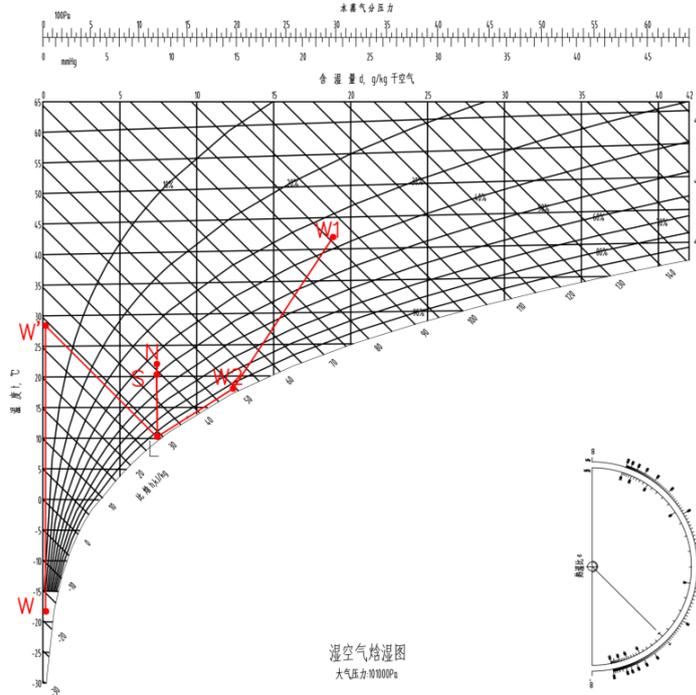


图 2 新风冬夏季处理过程焓湿图

4 洁净室新风机组预冷段节能运行建议

4.1 一级表冷段出风温度优化建议

多数半导体厂房对空气中微小有机分子污染物 AMC 有控制要求，因此夏季也会开启加湿段对空气进行水洗，以去除空气中的 AMC。常见控制方案中一级表冷段出风干球温度为 18°C 、湿球温度为 17.5°C 。半导体厂房中设有 RO 系统，RO 水温约为 22°C ，加湿水通常采用 RO 水，可避免水垢造成喷淋头堵塞。加湿段设置在一级表冷段后，夏季空气先经过一级表冷段处理至 18°C ，再经过加湿段进行水洗，但由于 RO 水水温为 22°C ，在经过水洗时空气会被加热，造成水洗后出风温度的上升。因此建议将一级表冷段的出风温度调整为 22°C 即与 RO 水相同的温度，以避免空气通过水洗段时造成冷热抵消的能源浪费现象。

4.2 一级表冷段冷源优化建议

通常情况下，在其他参数相同的条件下，冷冻水出水温度每提高 1°C ，冷水机组的 COP 提高约 2~3%。常规控制方案中新风机组一级及二级表冷段采用的冷源均为供水为 6°C 、回水为 12°C 低温冷冻水。洁净厂房中会设置中温冷冻水系统，供承担洁净室内显热负荷的干盘管 DCC 使用。中温冷冻水的供水为 12°C 、回水为 18°C 。按 3.1 中所述，一级表冷段需将新风处理至 22°C ，若一级表冷段采用中温

冷冻水同样可满足降温除湿的要求，同时中温冷水机组的 COP 比低温冷水机组的 COP 高出约 12%~18%，因此在达到相同处理能力的同时，将中温水作为一级表冷段的冷源相对于采用低温冷冻水可有效节能。

5 结语

半导体制造对生产环境要求极高，洁净室需要持续供应大量经过过滤、温湿度控制的新风。新风的处理过程不仅关系着洁净空气质量、温湿度稳定、正压环境等洁净厂房的可靠性需求，也伴随着风机、制冷制热大量的能耗需求。因此，在设计、控制组合式新风机组 (MAU) 时需要综合考虑生产可靠性及能耗问题。通过合理的选型、优化控制策略等措施，可在保证环境要求的前提下，有效降低能耗、提高能源利用效率、降低半导体生产成本、减少环境影响，实现经济效益及生产质量的双赢。

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].中国计划出版社
- [2] 王海桥,李锐.空气洁净技术[M].北京:机械工业出版社,2017.
- [3] GB50073-2013 洁净厂房设计规范[S].中国计划出版社
- [4] GB50472-2008 电子工业洁净厂房设计规范[S].中国计划出版社