

文章编号:1673-9981(2020)01-0051-07

半导体器件生产车间通风洁净空调系统节能分析

卓平欢

广东省半导体产业技术研究院,广东 广州 510650



摘要:随着国内半导体器件技术不断发展和广泛应用,使得洁净车间空调系统的节能成为关注和研究的焦点问题.通过对半导体器件生产车间空调系统的特点进行了分析,并以某工程为例,说明该类空调系统能耗大的现状.在此分析基础上,从将室外新风与室内回风分离、调节减小系统送风量,利用变频技术优化控制系统及运行管理等方面,提出解决洁净系统运行节能的思路及措施.

关键词:半导体器件生产生间;洁净空调系统;风量;节能

中图分类号:TU83

文献标识码:A

半导体器件生产车间能耗比其它的建筑大很多.在空调冷负荷方面,一般办公大楼约 116 W/m^2 ,而大规模半导体器件生产车间可达约 1160 W/m^2 ;送风量方面,一般办公大楼换气次数约 10 h^{-1} ,而大规模半导体器件生产车间,不同洁净度等级的车间对换气次数要求都不一样,100级洁净室的换气次数可达约 400 h^{-1} ,10 000级洁净室的换气次数可达约 40 h^{-1} ,100 000级洁净室的换气次数可达约 30 h^{-1} ,因此空调制冷系统与空调送风系统的用电能耗比其它建筑物都要大.基于洁净空调系统的运行特点,节能工作对于降低半导体器件生产成本意义重大.

1 空调送风系统

由于半导体器件生产工艺的特点,对生产车间洁净度的要求极高,在硅衬底上只要受到电路宽 $1/10$ 大小的尘埃污染,均会损坏芯片成品,造成电路短路.半导体器件在工艺生产过程中会使用大量酸、碱及有机溶剂,同时会产生各种有毒有害气体,需要通过抽风系统将气体排出室外,因此需要同时对洁净室系统进行补风.由于室外新风量为排风量和维持正压风量之和,因此系统排风量大,新风量和

新风负荷相应就大.半导体器件生产需要保持洁净室内全天(24 h)一定的洁净度,所以送风系统、排风系统、冷冻机组、输送泵系统必须全天 24 h 不间断运行.

2 洁净室能耗

2.1 洁净空调部分

现有一半导体器件生产车间,洁净室车间总面积为 405 m^2 ,其中 1000 级洁净室面积为 56.5 m^2 ,相对湿度近控制范围为 $55 \pm 5\%$,温度控制范围为 $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$,换气次数 60 h^{-1} ,室内正压 20 Pa ;10 000 级洁净室面积为 348.5 m^2 ,相对湿度近控制范围为 $55 \pm 5\%$,温度控制范围为 $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$,换气次数 40 h^{-1} ,室内正压 15 Pa .空调系统采用回流组合送风处理方式,总新风量 $3710 \text{ m}^3/\text{h}$,总送风量 $44100 \text{ m}^3/\text{h}$,加湿量 84 kg/h ,送风机总耗电量 93 kW .

2.2 排风系统及空调冷冻系统

该生产车间工序各类复杂、生产线多,根据各工艺分区,共设计 5 套排风系统,总排风量 $16635 \text{ m}^3/\text{h}$,占总送风量的 37.7% ,排风系统总功率 18.5 kW .

收稿日期:2019-09-05

作者简介:卓平欢(1990-),男,广西来宾人,本科,助理工程师,主要从事超洁净系统节能方面的研究.

本项目空调总耗冷量约为 352 kW, 工艺冷却系统冷量为 115 kW, 考虑到白天和晚上生产的要求, 系统采用节能型主机, 配板管蒸发式冷凝螺杆冷水机组 2 台, 单台额定制冷量 240 kW, 主机耗电量为 110 kW, 水泵电机总功率 11 kW。

3 空调能耗状况及原因分析

以雨季计算, 该车间通风空调耗电额定总功率 232.5 kW, 空调系统每日运行 24 h, 每天将耗电 5580 kWh。

3.1 系统送风量分析

洁净空调系统的送风量主要保证室内温湿度、洁净度, 以及补充排风量损耗后维持洁净室内正压。由于洁净系统的特性, 送风量主要用于维持室内洁净底要求。以 10 000 级为例对该车间洁净室的送风量进行分析。

该 10 000 级车间人员密度 $\rho = 0.17$ 人/ m^2 , 采用板式初效过滤器、袋式中效过滤器、高效过滤器送风方式, 新风比 30%, 查《单位容积发尘量 G 图》, 在正常操作状态下, 单位容积发尘量 $G = 3.9 \times 10^4$ 粒/ $(m^3 \cdot \min)$, 求需要的换气次数 n_v 。

根据均匀分布理论, 稳定含尘浓度公式:

$$N = \frac{60G \times 10^{-3} + M(1-S)(1-\eta_n)}{n[1-2(1-\eta_r)]} \quad (1)$$

式(1)中: N —已知的正常操作状态下的室内含尘浓度, 10 000 级取 350 粒/L; M —大气含尘浓度, 广州城区取 3×10^5 粒/L; G —正常操作状态下室内单位容积发尘量 3.9×10^4 粒/ $(m^3 \cdot \min)$; N —换气次数, h^{-1} ; η_n —新风通路上过滤器对 $\geq 0.5 \mu m$ 尘粒的计算总数效率, $\eta_n = 1 - (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \cdot (1 - \eta_3)$; η_r —回风通路上过滤器对 $\geq 0.5 \mu m$ 尘粒的计算总数效率, $\eta_r = 1 - (1 - \eta_2) \cdot (1 - \eta_3)$; η_1 —粗效过滤器效率, 取 0.2; η_2 —中效过滤器效率, 取 0.5; η_3 —高效过滤器效率取 0.999 99; S —回风量对送风量的比值, 取 0.7。

将上述数据代入式(1)中, 求得 $n = 22.28 h^{-1}$, 查不均匀系统 ϕ 值选用表, 取 $\phi = 1.22$, 则 $n_v = \phi n \approx 1.22 \times 22.28 = 27.1816 h^{-1}$ 。因此, 在人员密度 0.17 人/ m^2 的情况下, 要建立一个洁净度为 10 000 级的洁净室, 其换气次数不得小于 $27.1816 h^{-1}$ 。就车间而言, 10 000 级总面积 $348.5 m^2$, 车间高度 3.2 m, 用

于维持洁净度的送风量应该为 $L_1 = 27.1816 \times 348.5 \times 3 \approx 28428 m^3/h$ 。以上送风量值通过理论计算所得, 而实际情况该车间 10 000 级的设计送风量为 $33100 m^3/h$, 是理论计算值的 1.16 倍, 车间实际运行测试送风量为 $36000 m^3/h$, 是理论计算值的 1.27 倍。

空调系统实际运行过程中, 空气处理机组的粗、中、高效三级过滤处理装置, 随着工作时间, 尘埃不断积累导致过滤器的阻力不断增大, 因此系统送风量减小, 设计上加大送风量是保证高效过滤器更换时的终阻力且保持一定的充裕度做法, 但这样却大大增加了系统电能消耗。

3.2 温湿度控制及系统运作管理分析

保持洁净室内恒定的温湿度是半导体器件生产车间的基本要求, 尤其在春夏雨季, 该地区室外空气湿度非常大, 为控制送风湿度, 冷冻系统工作出水温度必须设为 $7^\circ C$ 以保证除湿效果, 经过表冷器除湿完成后, 送风温度下降, 加热系统必须开启供热, 以保持室内温度。因此, 造成大量的电量消耗。

洁净空调系统只有一个工作运行模式, 无论洁净车间处理生产或不生产状态, 基于洁净半导体器件生产车间的特点, 洁净空调系统都必须一直保持工作运行模式。这种单一的运行模式在无生产状态下, 不仅造成多余的能源消耗, 而且系统处理长期工作状态, 也会对设备机械造成较大磨损, 严重影响整个系统设备的使用寿命。

4 系统节能方案

综合以上分析可知, 结合洁净室的使用情况控制系统送风量以实现节能目的, 风量控制可以采用风机转速控制、节流控制。

4.1 二次回风处理

为降低电能损耗, 采用二次回风处理, 将系统回风与新风段分开, 避免回风与室外新风交叉污染的情况下, 否则大量的新风和系统回风进入空气处理设备时, 阻力会增大, 风机耗能亦会急剧上升。同时, 所有回风与室外新风混合后, 为了除湿, 需经二次表冷处理达到露点状态后, 为了保证室内温度, 还需对送风进行再加热。先降温再加热, 对于回风量再处理, 不仅加大机组负荷, 还造成不必要的能源消耗。采用二次回风处理方式, 既能满足温湿度及洁净度

的要求,由于机组处理风量减少了,又可以节省风量冷热处理,对空调系统的冷、热能源消耗也随之降低,预计可节省系统运行费用约2/3左右.一次回风系统对比,采用二次回风系统,既节省了前期设备的投资成本,又降低了后期系统运行成本.

4.2 降低系统新风量

由于新风负荷占系统运行的比重很大,因此,减少系统运行的新风量,对降低洁净空调系统运行能耗有显著效果.在洁净空调系统中,首先要保证进入洁净室内工作人员的卫生要求,其次要补充系统的排风量.同时,洁净室还要保持一定的正压,因此系统新风量主要取决于系统的排风量和维持正压风量.

要减少系统新风量,首先要减少系统的排风量.在半导体工艺生产车间,由于生产工艺过程中使用酸、碱及有机溶剂,会产生有毒有害废气.针对这点,在保障工艺操作的前提下,根据废气产生的情况,可以采用局部排风,加设通风橱设备,利用最少风量,控制废气的扩散,并将其排到室外.

另外,洁净系统的密封性完整情况是影响维持正压风量与洁净室的控制压差重要因素之一.因此,加强洁净系统的密封性,对减少维持正压风量的损耗,达到节能目的有重要意义.

4.3 洁净系统的自动控制

从节能的角度分析,利用洁净系统的最小风量达到维持洁净室内的温湿度和洁净度的控制要求,是洁净系统最佳的运行状态,而由于多种原因,系统运行过程中的风量是变化的.

利用PLC控制和电机变频调节,实现洁净系统的自动控制.洁净系统可分为两种工作模式,即有人生产时间和维护洁净时间.实际工作中,当洁净车间无生产任务时,车间内产生的污染物相应减少,在此状态下排风系统可调至允许最小排风量值,将残留于生产系统内的有害物排除即可.同时,相应减少洁净系统送风量,以维持洁净室内的允许最小正压值

即可.

洁净系统的风量是不断变化的,洁净系统设计前期加入相应的自动控制系统,对洁净室内重点生产区域加装风量传感器,实时监测并反馈过滤器阻力变化情况,并根据车间生产状态,与监测洁净室内正压值的微压差变送器配合,将检测信号反馈给系统的PLC等数据处理控制模块,然后结合变频技术,调节送风机的运转速度,实现洁净系统风量的最优化运行.

5 结论

随着我国信息产业的快速发展,对洁净生产车间的需求不断增加.通过对洁净系统运行过程的细致分析,现阶段洁净车间空调系统的节能已成为生产商降低生产成本,提升产品市场竞争力的重要手段.因此,洁净空调系统的节能也将成为研究设计的焦点与难点.

根据生产使用需求,通过优化洁净车间内气流组织,将系统回风量与室外新风分量分开,以及充分利用洁净室空间,车间内生产设备的合理布局以减少洁净面积,可大大减小系统的需求送风量;对洁净系统加设通风橱,减小系统排风量;使用自动控制系统、加强系统管理和提供人员节能意识,优化洁净空调系统以最佳风量运行.这些方法均能有效降低系统的能耗水平,实现节能目标.

参考文献:

- [1] 王国唯,王毅勃. 洁净级别预测[J]. 洁净与空调技术, 1996,3(1):13-21
- [2] 李杨. 某半导体生产车间温湿度控制系统设计[J]. 建筑热能通风空调, 2008,27(1):103-105.
- [3] 宋维阳,姜欢. 多联机空调技术及其设计探讨[J]. 工程技术研究, 2016,(6):63.
- [4] 严德隆. 洁净室 HVAC 系统节能及其发展[J]. 洁净与空调技术, 2004,(4).

Energy saving analysis of ventilation and clean air conditioning system in semiconductor production workshop

ZHUO Pinghuan

Guangdong Institute of Semiconductor Industrial Technology, Guangzhou 510650, China

Abstract: With the continuous development and widespread application of domestic semiconductor device technology, the energy saving of air-conditioning systems in clean workshops has become the focus of attention and research. Through the analysis of the characteristics of the air-conditioning system in the semiconductor device production workshop, and taking a certain project as an example, the current situation of large energy consumption of this type of air-conditioning system is illustrated. On the basis of this analysis, from the aspect of separating outdoor fresh air from the indoor return air, adjusting and reducing the air supply volume of the system, using frequency conversion technology to optimize the control system and operation management, the ideas and measures for solving the energy saving operation of the clean system are proposed.

Key words: semiconductor device production room; clean air conditioning system; air volume; energy saving