

洁净厂房空调节能设计有关问题的分析

吴鲁元 瞿慧玲

山东同创设计咨询集团有限公司

摘要:在社会经济的不断进步下,工业生产与医疗等随之飞速发展,洁净厂房的应用越来越广泛。洁净厂房空调是使厂房内保持科学、合理的温度、湿度以及洁净度的重要设备,不同的厂房对于空调洁净度提出了不同的要求。受到送风量、新风符合等各种因素的影响,洁净厂房内空调能耗较大,为了使其更加符合现阶段绿色可持续发展目标,需要强化空调节能设计工作。

关键词: 洁净厂房; 洁净空调; 空调节能设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.10.104

引言

在世界制造业向我国战略性转移的背景下,洁净厂房在我国各行各业的应用越来越广泛,其中最具代表性的就是IC生产厂房,该类厂房对洁净度提出了非常高的要求。为了提升企业生产成品的品质,各个企业对于洁净厂房洁净度要求越来越高,这也就导致洁净厂房能耗不断增大,逐渐出现能源短缺问题,不利于我国制造业的快速发展。为此,需要加大对洁净厂房空调节能设计的研究,在保障室内洁净度达标的同时,降低能源消耗,促进我国制造业的发展。基于此,本文将对洁净厂房空调节能设计有关问题进行深入分析,旨在为相关行业人员提供参考价值。

一、洁净厂房空调系统特点以及设计原则

(一) 洁净厂房空调系统特点

受到多种因素的影响,洁净厂房空调系统与普通的民用建筑空调系统对于控制区域内的洁净程度要求大不相同,洁净厂房内更加注重区域内的洁净程度。在导体器件厂房中的硅衬底上如果出现十分之一至三分之一电路宽度大小的尘埃便会直接导致芯片出现电路短路问题。由此可见,洁净厂房内生产环境洁净度问题属于现阶段需要解决的重点问题,另外,洁净厂房除了对空调洁净度高要求之外,还十分注重空调系统的温湿度以及震动、噪音等情况。由于其要求的特殊性,导致洁净室与洁净厂房的正常运转需要消耗更多的能源,大大超出其他类型建筑能源消耗量,再加上部分特殊的生产工艺要求洁净厂房需要24小时均保持其良好的洁净度。为了达到这一目标,洁净空调系统中包含的各类运行设备均需要保持24小时不间断的运行,例如排风系统、冷热源以及其他输送系统等,这些系统的不间断运转也将大大增加能源消耗量,为了响应国家绿色可持续发展战略,相关设计人员需要格外注重空调节能设计。解决洁净厂房内空调能耗高问题的第一步就是要深入研究其耗能的特性。

1. 送风量大

为了维持半导体器件厂房空调系统的设计的科学性以及运行的稳定性,最为重要的一点就是要提升其洁净度,而洁净度的提升离不开高送风量,这也就意味着需要消耗更多的能源。以送风量为例,现阶段常见的办公楼换气次数约为 10h^{-1} ,但大规模的半导体器件厂房为了使厂房内洁净度满足标准需求,其需要增加换气次数,其循环风量也将会大大增加。假如洁净室为100级,那么其换气次数高达 400h^{-1} ,若洁净室为10000级,那么换气次数则可能会达到 40h^{-1} 。循环风量将会随着换气次数的增加而增大,其所消耗的能源也将会随之不断提升。

2. 新风负荷大

以电子厂房为例,部分厂房内车间会散发有害气体,而为了能够利用最少的时间排放并消除有害气体,车间内往往会选择加大空调系统新风量,以提升排放效率。新风、风机升温以及工艺设备散热属于洁净室内最重要的三项冷负荷,在这三项之中能源消耗量最大的是新风。通过数据资料收集来看,新风负荷能够的区间为百分之二十至七十,二风机温升则为百分之八至百分之二十左右,工艺设备散热为百分之十六至百分之五十左右。洁净室内对于新风量的需求平均为 $45\text{--}60\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$,这就意味着,室内显热冷负荷要低于新风冷负荷一倍,甚至更多。

3. 风机全压高

由于洁净厂房对于洁净度要求非常高,为此安装过滤器成为厂房保持洁净度的首选,而高效的过滤器初阻力就大于 200Pa ,其终阻力甚至能够超出 400Pa ,如果车间对于洁净度要求更高,其所用过滤器所产生的阻力将会更大。除此之外,为了使厂房内洁净度保持标准要求,部分要求新风进行三级过滤,在此基础上还要加上化学过滤,这些操作都将会增加能源的消耗量,新风组的风压需要达到 2500Pa 。

4. 其他消耗

除了上述几种消耗之外,洁净厂房能源消耗量大的原因还有许多。例如,受到不同的生产工艺影响,不同工艺设备的发热情况也不尽相同,一些工艺设备属于高发热设备,通常这类设备需要对应的冷负荷抵消才能够保持正常的运行状态。总而言之,排风以及松风量大、工艺设备发热量大、阻力大以及风机静压高等等均属于洁净厂房空调系统中最为突出的特性,正是因为这些特性,也就证实了洁净厂房空调系统的运行需要消耗更高的能效。

(二) 洁净厂房空调系统设计原则

洁净厂房空调系统不同于普通的舒适型空调系统，两者在设计阶段就有诸多不同，具体如下：

1. 控制主要参数。一般舒适型的空调系统更加注重对空调噪音、温度、湿度以及空气量的新鲜程度的控制，但是洁净厂房内的空调系统除了要控制房间内的温湿度之外，还需要对其他各项指标就进行严格控制，如换气次数、风速以及空气中的灰尘量等等，以保障空调设计符合洁净厂房的使用的标准要求。

2. 空气过滤措施。一般的舒适型空调并不会对过滤系统提出更高的要求，其具备的过滤系统通常为简单的一级过滤，一些对空气过滤有更高要求的建筑可能会需要设置粗、中两效的过滤系统。但是由于洁净厂房的特殊性，其在空调过滤措施设计阶段，需要其具备三级过滤系统，也就是高效、中效和粗效兼具的过滤系统，以保障厂房的洁净度。

3. 材料选择。洁净厂房内安装的空调与一般舒适型空调的设备材料选择之间也有许多差异，洁净厂房内的净化空调在材料选择过程中需要进行多方面考量，包括安装的现实环境、加工工艺以及设备部件储存环境等等，确保其不会被外界环境因素所污染。

4. 气密性控制。通常情况下，普通舒适型空调系统中并不会对气密性有非常难严格的要求，另外，由于普通空调系统在施工和测试阶段不够严格，就容易导致出现透风问题。但洁净厂房内空调系统对于其管道和机组气密性要求较高，并且对于空调的检测以及施工等环节也采取了更为严格的把控，以保障净化空调的各项环节都能够依照标准要求进行，从而提升净化空调的密闭性，使室内洁净度保持在标准范围内。

二、洁净厂房空调节能设计方案

洁净厂房空调节能设计主要是针对空调系统进行节能处理，为此，普通的空调系统所应用的节能措施同样能够应用在洁净厂房空调节能设计与优化中，例如围护结构的保温、系统变流量以及排风热回收等等。除此之外，洁净厂房空调与其他空调之间存在一定差异，其节能设计特点和方式也会有所不同。

（一）分离洁净风量和空调风量

洁净厂房中洁净室内的送风功能主要分为两部分，一部分为空调，该部分主要负责对空气湿度、温度的处理，使其满足洁净室温湿度标准要求；另一部分则是净化，其主要指的是对空气进行过滤，以满足洁净室对于洁净度的要求。一般而言，净化风量远远超出空调风量，也就是净化风量需要消耗更高的能耗。若使空调在送风的同时发挥出温湿度调节以及净化的作用，也就是所谓的空调风量与净化风量不分离，那么所有回风都需要由空调箱进行集中处理。在此过程中，空气处理设备需要经历非常大的风量经过，其阻力也将会因此提升，风机所消耗的能源也会更多。除此之外，为了实现除湿效果，需要将全部的回风处理至零点的状态中，在后续作业阶段为了保障室内温度不会持续降低，还需要将送

风进行加热处理，在这种冷热抵消的状态下，会出现不必要的能源消耗。但是如果将空调和净化这两个部分进行分开处理，也就是净化风量只需要进行过滤处理即可，由此一来便能够使净化风量输送管道长度有效减小；此时的空调风量将会变小，从而节省对于空气的冷热处理，使输送断面不断减小，从而降低能源消耗量。

现阶段洁净空调送风方式中，常见的有两种，第一是集中送风方式，第二是隧道送风方式，但通过实践证明，这两种方式均不能完美实现空调风量与洁净风量的分开。为了进一步将空调与净化的功能分离开来，可以房间结构就近实现这一目标。如图1所示，在房间夹层的作用下，绝大部分的洁净风量将直接被输送到顶部的高效过滤位置中，其不需要离开洁净室便能够完成过滤工作，使洁净风量所需的输送能耗得到有效降低。图中所示的回风口位置的风阀能够对洁净风量以及空调风量的比例进行调节，进一步降低送风的能源消耗，实现节能的目的。

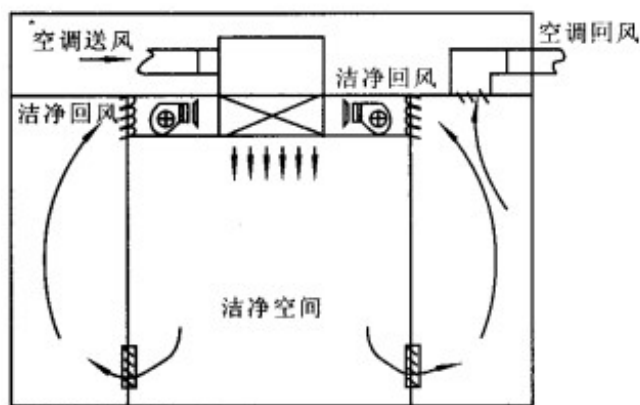


图1 分离洁净风量和空调风量例图

（二）降低空调条系统风量

与普通厂房不同的是，洁净厂房对于洁净度要求更加严格，为了满足这一目标，其需要利用风量更大的空调系统。以空气动力学知识为基础分析可知，动力设备能源消耗与其风量的三次方之间形成正比，这也就意味着，为了进一步达成洁净厂房空调节能设计目标，就需要使空调系统风量得到切实降低。通过实践经验可以得出，净化空调系统的换气次数以及房间体积将直接影响到空调系统的实际送风量，为此，为了使空调系统风量降低，需要着手于空调系统换气次数以及洁净空间面积，使这两部分减少则能够有效降低空调的风量。其中空调系统换气次数的多少受到洁净级别与气流组织的影响，为此降低换气次数需要深入研究这两方面内容，具体研究如下：

1. 气流组织

气流流型主要指的是，对于洁净室内的空气流动形态和分布的科学化、合理化设计。非单向流、单向流以及混合流这三种属于洁净室内最为常见的气流类型。单

向流顾名思义，指的就是送风一侧的气流平稳的向回风的一侧运动，在此方式的运作下，洁净室内的洁净度将大幅提升，但是这种方式通常需要更大的风量支撑，因此其将会消耗更多的能源。在洁净室中非单向流气流会受到各种因素的影响，在不同的区域内表现出不同的速度、方向等，该方式的主要方法是，借助经过高效过滤器过滤后的洁净空气，将洁净室内存在的污染物冲淡，使室内的洁净度保持在标准的范围之内。最后是混合洁净室，其属于非单向流型与单向流型的组合，将这两种气流流型应用在同一洁净室内，其具体的应用方法为，需要严格保持洁净度的区域内使用单向流型，其余的区域则使用非单向流型即可，两种方式的混合运用不但能够使洁净室内保持良好的洁净程度，还能节省设备运行费用。为了进一步提升空调的节能性，在设计过程中，可以对厂房具体洁净度要求进行深入研究，对不同标准的厂房进行划分，选择与之相对应的气流分组方式。除此之外，还可以灵活运用现代科学技术，如利用CFD模拟等方式，通过对气流组合进行科学化、合理化的分配，以此来降低室内的气流速度或是换气速度，进一步减小送风量，实现节能目标。

2. 缩小洁净面积

通过缩小洁净面积除了能够使净化系统送风量减小之外，还能够使人员发尘对洁净区域的影响现象得到控制和减少。利用物理分割的方式划分出重点、高要求洁净区以及要求不严格的洁净区，以“点”或“线”的方式保护重点洁净区，此区域无须利用“面”的保护形式，从而使单向流的洁净面积减小，以此来降低空调能源消耗。例如在安全实验室以及制药厂等小规模洁净厂房中，应用单向流进行局部洁净。而针对洁净控制面积较大的区域，如IC厂等，则可以利用物理分割的方式划分工艺设备核心加工区域以及维修区域，将重点清洁区域放置于层流罩之下，利用单向流方式保持区域内的高洁净度，其他区域内洁净度则可以适当降低，以节省能源消耗。

（三）降低新风量

在洁净厂房空调运作过程中，其中负荷较大的为新风，为此，为了进一步减少洁净厂房的空调能源消耗量，就需要降低新风量。一般情况下，在夏冬两季时，普通空调系统在运转过程中会选择最小的新风量，但是当处于过渡季节时，往往会选择使用全新的运行模式。洁净厂房为了在过渡季节中达到良好的洁净度，通常会增加新风量，这种方式随能够降低空调系统冷热处理所需能源，但却会大大增加空调过滤系统的负担，因此这种方式并不符合现阶段节能经济的企业目标。另外，过渡季增大新风的方式还需要对相对应的阀门进行调节，若管理不善则还会引发控制方面的问题。为了使空调系统新风量减少，关键就是降低空调系统的排风量。部分工厂在生产过程中会利用酸、碱等化学物质，这些物质的应用势必会散发出有毒有害气体，此时就需要进行局

部排风，将有毒气体排放至室外，提升室内空气洁净度，此外，在不妨碍工艺操作的基础下，可以依照有害气体的具体散发场所结构和性质，设置相对应的排气罩，进一步减少有害气体的扩散，提升厂房洁净度，保障作业安全性，在此过程中，排风口的设置尽可能要贴近有害气体的散发源头位置。

（四）控制空调风量

为了提升洁净厂房空调节能性，洁净室内的送风量需要在满足洁净室温度、湿度以及洁净度的基础上，选择最小的送风量，但是受到多种因素的影响，洁净室内空调送风量往往不尽相同。在空调运行过程中，随着时间的推移，其所使用的初、中、高效过滤器的阻力会出现变化，若此时不进行科学化、合理化的调整和优化，那么系统送风量也将会随之出现变动。为了进一步提高洁净厂房空调设计的节能性，首先就需要调节其送风量，使其维持在上文中提及的最小送风量中，从而提升洁净厂房的经济性、节能性。一般情况下，洁净厂房设计运行方式仅有一种，其并不会区分值班保持正压以及生产状况间的区别，再加上洁净厂房对于洁净度要求高等特性，其在非工作状态时同样需要使室内保持标准洁净度，这就表明，厂房内的风机系统即使是在非生产时间也需要保持正常的运行状态，而这种方式势必会增加能源的消耗，同时增大机械设备的磨损，严重影响机械设备的正常使用年限。除此之外，在生产状态下的排风系统使用情况之间也会存在一定差异，为此，相关技术人员需要以实际排风系统实时状况为基础，对送风量进行科学合理的调整，从而使通风系统能耗有效降低，提升洁净厂房经济性，提高洁净厂房空调节能性。

结束语

综上所述，在我国信息产业的飞速发展下，洁净厂房的应用越来越广泛，其能源消耗问题也愈发突出，为了能够进一步降低洁净厂房空调能源消耗，提升其经济性、节能性，就需要分离洁净风量和空调风量、降低空调系统风量、降低新风量以及控制空调风量等措施，降低洁净厂房空调能源消耗，进一步提高其经济性。

参考文献

- [1] 梁福生. 洁净厂房空调系统的特点与节能应用研究[J]. 建材发展导向, 2023, 21(22): 190-192.
- [2] 张树启, 李焕. 洁净厂房空调系统的特点与节能探讨[J]. 名城绘, 2018(11): 1.
- [3] 刘翠雯. 洁净厂房空调节能设计有关问题的分析探讨[J]. 建筑工程技术与设计, 2016(25).
- [4] 刁爱兵. 试论洁净厂房空调节能设计[J]. 建筑与装饰, 2016(12): 4.
- [5] 梁明. 洁净厂房空调设计浅析[J]. 中国高新技术企业, 2015(21): 2.

作者简介：吴鲁元（1987.4.16），男，汉，山东菏泽，本科，中级工程师，建筑环境与设备工程。