

Analysis of High Precision HVAC System in Semiconductor Factory Building

Mingzhong Liu

Sichuan Aide Zhongchuang Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

With the rapid development of the semiconductor industry, the demand for the construction of semiconductor factories continues to increase. In high-precision semiconductor factories, temperature and humidity control and air cleanliness requirements are extremely strict, especially the design and operation of HVAC systems, which have a crucial impact on the semiconductor production environment. The paper first analyzes the basic requirements and design characteristics of HVAC systems in high-precision semiconductor factories, explores the application of HVAC systems in semiconductor production, and proposes some optimization measures for the technical challenges it faces. Finally, improvement directions for future HVAC systems were proposed to enhance their reliability, energy efficiency, and environmental adaptability.

Keywords

semiconductor factory building; hvac system; temperature and humidity control; air cleanliness; energy saving optimization

高精度半导体厂房暖通空调系统浅析

刘明众

四川爱德中创建设工程有限公司, 中国 · 四川成都 610000

摘 要

随着半导体行业的迅速发展, 半导体厂房的建设需求不断增加。在高精度半导体厂房中, 温湿度控制与空气洁净度要求极为严格, 尤其是暖通空调系统 (HVAC 系统) 的设计与运维对半导体生产环境的影响至关重要。论文首先分析了高精度半导体厂房中暖通空调系统的基本要求与设计特点, 探讨了 HVAC 系统在半导体生产中的应用, 并针对其面临的技术挑战提出了一些优化措施。最后, 提出了未来暖通空调系统的改进方向, 以提高系统的可靠性、节能性和环境适应性。

关键词

半导体厂房; 暖通空调系统; 温湿度控制; 空气洁净度; 节能优化

1 引言

随着半导体技术的不断进步, 全球对高精度半导体产品的需求逐年增加, 尤其是在集成电路、微电子产品等领域。高精度半导体厂房作为半导体生产的核心场所, 其环境控制要求极为严格。尤其是在暖通空调系统的设计与运维过程中, 必须保证温度、湿度、洁净度等关键环境参数的稳定, 以确保半导体生产的高质量和高精度。因此, 研究和优化半导体厂房中的暖通空调系统, 已成为当前半导体产业持续发展的一个重要课题。

高精度半导体厂房不仅对温湿度的控制有极高的要求, 还需要应对大量生产过程中产生的热负荷与气体排放, 这就要求暖通空调系统不仅具备高效的温控与湿控功能, 还需要确保厂房内空气质量的洁净度。当前, 传统暖通空调系统在

处理这些需求时, 往往存在能效较低、系统冗余、维护困难等问题。因此, 在半导体厂房的 HVAC 系统设计中, 如何平衡温湿度控制、空气质量、能源利用率及设备投资, 是一个急需解决的关键问题。

论文旨在分析高精度半导体厂房暖通空调系统的设计要求与应用特点, 提出系统优化建议, 并展望未来技术的创新性发展方向。

2 半导体厂房暖通空调系统的基本要求

2.1 温湿度控制要求

半导体厂房的生产环境对温湿度有着极高的要求, 温度波动过大或湿度过高都可能导致生产中出现静电、产品损坏或质量不稳定等问题。特别是在微电子产品的生产过程中, 温度和湿度的精确控制对于保证产品的性能与精度至关重要。一般而言, 半导体厂房的温度控制要求通常在 18°C ~ 24°C 之间, 湿度控制要求在 45% ~ 60% 之间。为了确保这一环境条件的稳定, HVAC 系统需要具备精确的温湿度

【作者简介】刘明众 (1989-), 男, 中国江苏灌云人, 硕士, 工程师, 从事供热通风及空调工程研究。

调节能力。

2.2 洁净度控制要求

洁净度是半导体厂房中另一个关键的环境控制指标。由于半导体生产过程对微粒污染极为敏感，任何微小的灰尘颗粒或污染物都可能影响产品的质量。根据不同的生产工艺和产品要求，半导体厂房需要达到不同级别的洁净环境。HVAC 系统在此过程中需要通过高效的空气过滤与循环系统，确保空气中的悬浮颗粒物达到 ISO 5、ISO 6 等洁净级别标准。

2.3 空气流动与气流控制

高精度的半导体厂房要求空气流动具有较高的精度。在设计 HVAC 系统时，必须考虑到空气的流向、流速与气流分布，确保每个生产区域的空气流动均匀、稳定。有效的气流控制可以防止空气中的污染物积聚或流动不均，从而影响生产质量。HVAC 系统的设计必须在保证洁净度的基础上，优化气流布局，避免气流交叉和污染区域的扩展。

3 当前半导体厂房 HVAC 系统设计面临的技术挑战

3.1 能效问题

随着全球节能减排政策的日益严格，HVAC 系统的能效成为半导体厂房设计与运营中的核心问题。半导体厂房对环境的精确控制需求极高，尤其在温湿度、洁净度和气流分布等方面，需要全天候稳定运行，这就导致了 HVAC 系统的能源消耗较为巨大。为了在保障精确环境控制的同时实现能源消耗的最小化，现代 HVAC 系统必须采用高效能设备，并采取优化能源使用策略。例如，采用变频调速技术来调节设备负荷，避免因负荷波动带来的能源浪费。通过智能控制系统的实时调节，可以根据厂房内外的实际需求，精准控制能源的投入，确保在提供最佳环境条件的同时，减少能源消耗。此外，废热回收系统在现代 HVAC 系统中的应用也是节能的重要举措。

3.2 系统冗余与高可靠性需求

在半导体生产过程中，任何环境参数的波动都可能对产品质量和生产进度造成重大影响，因此 HVAC 系统的可靠性至关重要。为了确保生产的连续性和环境的精确控制，HVAC 系统通常需要具备较高的可靠性，且需要配置冗余设备应对突发状况。例如，备份的冷水机组、备用的空气处理单元、冗余的传感器和控制系统等，能够在主要设备出现故障时，迅速接管运行，防止系统中断。冗余设备配置能够提高系统的稳定性和容错能力，但这也带来了设计的复杂性和成本的增加。如何平衡冗余设备的数量、系统的可靠性与投资成本，成为 HVAC 系统设计中的一大挑战。在考虑冗余配置时，不仅要确保系统的高可用性，还要避免因冗余设备过多而造成的不必要的设备占用空间、运营成本和维护负担。因此，在实际设计中，需要根据厂房的具体需求，进行

合理的冗余设计，确保系统的可靠性和效率最大化，同时也能够控制成本，避免过度冗余的投入。

3.3 智能化控制技术的应用

智能化控制技术的应用是提升半导体厂房 HVAC 系统性能的重要方向。随着物联网、大数据和人工智能技术的快速发展，智能化控制系统能够通过传感器实时监控厂房内的各项环境参数，如温湿度、洁净度、空气流速等，并通过集中的数据平台进行分析和优化调节。这种智能化的管理方式不仅能够提高 HVAC 系统的运行效率，还能根据实时数据反馈自动调节系统运行状态，以满足生产环境的严格要求。当前，尽管很多半导体厂房已实现了部分自动化和数字化，但仍有许多厂房的 HVAC 系统依赖人工调节，导致系统运行不够精准和高效。例如，空调系统的温度调节往往依据预设的标准，而不是实时的厂房环境数据，这导致了能源的浪费和系统的运行不稳定。因此，推动智能化控制技术的普及和应用，成为提升 HVAC 系统能效和稳定性的重要手段。

4 未来发展方向与优化建议

4.1 高效能设备与节能技术的引入

随着全球能源紧张和环境保护的要求日益提高，半导体厂房的 HVAC 系统在未来的设计中将更加注重高效能设备和节能技术的应用。传统的空调和制冷系统往往存在能效低、能源浪费严重等问题，而高效能设备和节能技术的引入，将有助于提高系统的整体能效，降低运营成本。比如，变频调速技术作为一种能够根据负荷变化自动调节空调运行速度的技术，在半导体厂房中应用时，不仅可以减少能源消耗，还能延长设备的使用寿命。通过调整运行模式，变频技术能够根据实际需求提供精确的能量供应，从而减少不必要的电力浪费。

另外，智能温湿度调控技术也是未来 HVAC 系统中的重要应用。这种技术可以根据环境的变化智能调节空调系统的运行，确保设备始终处于最佳运行状态，避免了能源的无效浪费。节能型冷凝水回收系统的引入也是未来半导体厂房 HVAC 系统设计中的趋势。冷凝水是空调系统运作过程中产生的废水，传统的处理方式是直接排放，而通过冷凝水回收系统，不仅可以节约水资源，还能降低厂房内水处理的能耗，为厂房提供可持续发展的绿色技术解决方案。

在设备优化方面，采用新型低能耗空调设备，改进空气循环系统，优化空气过滤系统，所有这些都将有助于降低能源消耗，提高能源使用效率。通过采用上述节能技术，半导体厂房的 HVAC 系统将进一步减少碳排放，实现绿色低碳目标，为企业的长远发展提供助力。

4.2 智能化系统与自动化管理

智能化与自动化管理是未来 HVAC 系统发展的关键方向，特别是在半导体厂房这种高要求的生产环境中，智能化的 HVAC 系统不仅可以实现精确的温湿度调控，还可以提

高系统的运维效率。智能化系统将通过集成物联网、云计算、大数据分析等前沿技术,优化空调、加湿、除湿、空气净化等各类设施的运行状态,最大限度减少能源浪费,提高环境控制精度。

随着技术的不断发展,未来的 HVAC 系统将能够实现远程监控和智能分析,确保设备运行状态始终处于最佳状态。通过在 HVAC 系统中嵌入传感器和实时数据采集模块,系统可以实时感知温湿度变化、洁净度变化及设备运行状态。一旦出现异常,系统能够自动报警,甚至根据预设的算法进行自我修复或通知运维人员进行干预,避免了系统中的停机时间。

此外,借助云计算和大数据技术,HVAC 系统可以根据厂内外环境的实时数据进行动态调节,确保空调系统根据不同生产环节的需求精确运行,避免能耗过大或设备过载的现象。自动化管理系统还可以整合设备的维修与保养数据,通过智能化的维护管理功能,减少人工干预,提高设备的使用效率。

智能化与自动化管理系统的应用,不仅能降低运营成本,还能提高设备的运行可靠性和工作效率,帮助厂房在高精度半导体生产过程中提供稳定的环境控制,减少故障发生和生产中断的风险,进一步增强企业的市场竞争力。

4.3 环境友好型技术的推广

随着社会对环境保护要求的提高,半导体厂房的 HVAC 系统也需要更多地考虑环境友好型技术的引入。环境友好型技术的推广,不仅能减少能源消耗,还能降低碳排放,对环境产生积极影响。低碳环保的 HVAC 系统能够帮助企业实现节能减排的目标,符合全球绿色发展的趋势。

例如,低碳环保制冷剂的应用在未来的 HVAC 系统中将发挥重要作用。传统的制冷剂由于对环境产生较大负面影响,正在逐渐被替代为对环境友好的新型制冷剂。新型制冷剂不仅对臭氧层破坏较小,而且具有更高的能效和更低的温室气体排放。未来,随着环境友好型制冷技术的不断发展,这些新型制冷剂将更加广泛地应用于半导体厂房 HVAC 系统中。

此外,绿色建筑技术的引入也是未来半导体厂房 HVAC

系统设计的方向之一。绿色建筑技术不仅能够改善建筑的整体节能性能,还能通过优化建筑设计、绿色材料的使用以及太阳能等可再生能源的利用,进一步降低 HVAC 系统的运行负荷。通过在建筑设计中考虑空调、采暖、照明、空气流通等多方面的协同优化,可以有效地减少 HVAC 系统的能耗,推动可持续建筑的发展。

在空气质量控制方面,采用高效能的空气过滤设备和空气净化技术,将进一步提高空气质量,减少污染物排放,对厂内外环境产生积极影响。结合节能和环保技术,未来半导体厂房的 HVAC 系统将朝着绿色、低碳、智能的方向发展,为社会可持续发展贡献力量。

5 结语

高精度半导体厂房的暖通空调系统(HVAC 系统)是保障生产环境稳定性和可靠性的核心组成部分。随着半导体生产要求的日益提高,HVAC 系统的设计和运维面临着更高的挑战和需求。通过精确的环境控制、智能化管理、节能技术和环境友好型技术的应用,半导体厂房的 HVAC 系统不仅能提高能效,降低运营成本,还能保证生产过程中环境的洁净度和温湿度的精准控制。

然而,在实际应用过程中,HVAC 系统仍面临诸如能效、系统冗余和智能化控制等方面的挑战。未来,随着技术的不断进步,特别是智能化、数字化技术的广泛应用,半导体厂房的暖通空调系统将朝着更高效、更绿色、更智能的方向发展。通过持续创新和技术优化,HVAC 系统将在半导体产业的持续发展中发挥更加关键的作用,为企业提供可靠的环境保障,同时为推动全球绿色低碳发展贡献力量。

参考文献

- [1] 魏巧兰,刘宁然,魏伟.某高能束加速器CT检测厂房暖通空调系统设计[J].暖通空调,2023,53(S1):335-338.
- [2] 申伏龙.集成电路制造中的厂房洁净室暖通设计[J].集成电路应用,2023,40(1):126-127.
- [3] 李华新,周瑞东.高精度半导体厂房暖通空调系统浅析[J].暖通空调,2022,52(S2):241-245.
- [4] 曹成功.电子工业厂房洁净空调系统施工监理的控制技术要点[J].质量与市场,2020(6):65-67.