

半导体厂房洁净室空调系统施工技术与管理

文 / 朱佳富 中国电子系统工程第二建设有限公司
 高传博 中国电子系统工程第二建设有限公司
 黄 泽 中国电子系统工程第二建设有限公司

摘要: 半导体厂房洁净室空调系统的施工技术与管理是确保生产环境符合严格工艺要求的关键因素。本论文从系统设计、施工技术、质量控制和管理策略等方面展开,探讨了如何优化洁净室空调系统的建设,以提高半导体生产效率和产品质量。通过分析实际案例和施工过程中的常见问题,提出了一系列改进措施和管理方法,期望可以为同行提供参考和借鉴。

关键词: 半导体厂房; 洁净室; 空调系统; 施工技术; 管理策略

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.102

引言

半导体产业作为现代科技的重要支柱,对生产环境有着极高的洁净度要求。洁净室空调系统作为维持洁净环境的重要组成部分,其施工技术与管理直接影响到生产的稳定性和产品的质量。本论文旨在通过系统性地探讨洁净室空调系统的施工技术与管理方法,解决施工过程中常见的问题,优化施工流程,提高施工效率和质量,从而为半导体厂房提供一个高效、稳定的洁净生产环境。本文不仅分析了当前的技术现状,还结合实际案例,提出了具有实践意义的改进措施和管理策略,希望能为相关领域的研究和实践提供有价值的参考。

一、半导体厂房洁净室空调系统概述

(一) 洁净室空调系统的关键功能

半导体厂房的洁净室空调系统是维持生产环境稳定性和洁净度的核心设施。半导体制造过程对环境有极高的要求,包括严格的温湿度控制、洁净度等级、气流模式等。这些要求的实现依赖于设计精良且施工规范的洁

净室空调系统。洁净室的空气处理单元(AHU)和高效微粒空气过滤器(HEPA)是其关键组件,通过合理布局和配置,可以有效过滤和处理空气中的微粒和污染物,保证生产区域的洁净度^[1]。洁净室空调系统必须能够提供高效的空气过滤和处理能力,以防止污染物进入生产环境,从而保证半导体生产过程中的产品良率。

(二) 重要组件与气流组织

此类系统通常采用多级过滤,包括初效、中效和高效过滤器,逐层净化空气。空气处理单元还需配备湿度控制装置,以维持生产所需的相对湿度范围,防止静电和产品损坏,空调系统通常包括冷水机组、热泵、加湿器和除湿器等设备。

气流组织和分布是影响洁净室性能的重要因素,为了防止空气中的微粒沉积在生产设备和产品表面,洁净室内需要设计合理的气流模式(见下图1),通常采用层流和乱流相结合的方式,在技术上夹层区域形成洁净气流,以带走和隔离污染物。层流系统通过设置在天花板上的过滤

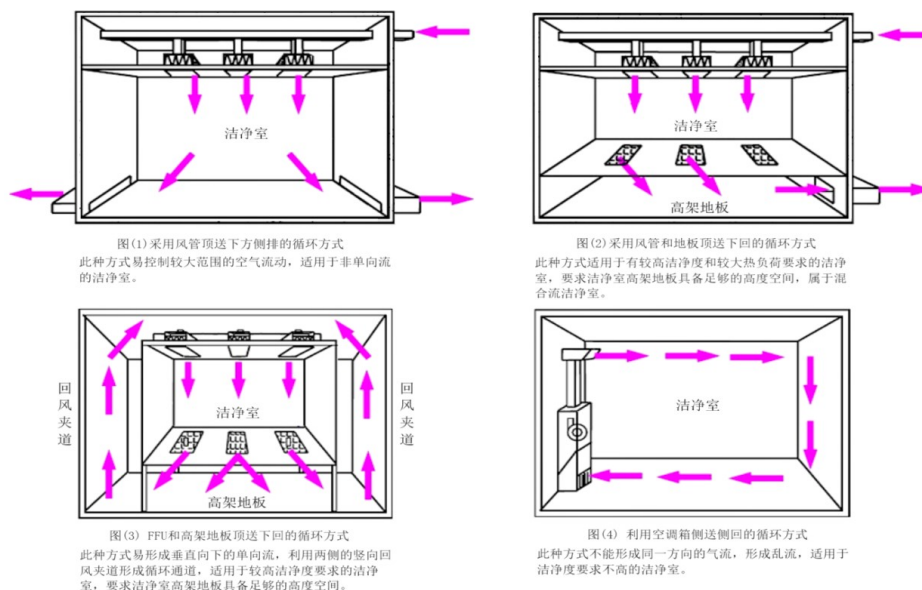


图1 洁净室常用的空调系统及气流组织形式示意图

器，以低速、均匀的方式将洁净空气送入室内，而乱流系统则通过多点送风和排风，形成整体空气循环，防止污染物积聚。以某12寸半导体芯片厂房空调循环系统为例，采用顶送下回的循环方式，在技术上夹层区域形成层流，通过天花板上的高效过滤器送入洁净空气，以低速垂直向下均匀流动的方式覆盖洁净室生产区域，然后经过高架地板从两侧回风夹道竖向回流（见下图1（3））。

（三）能耗管理与节能策略

洁净室空调系统的设计还需考虑能耗和运行成本。由于洁净室对空气处理和控制的严格要求，系统的能耗相对较高。为了降低运行成本，设计中需引入节能技术和设备。例如，采用高效能的空气处理单元和变频驱动的风机，可以显著降低能源消耗。同时，通过优化系统运行模式，如设置不同洁净度等级的区域，合理分配资源，也能有效减少能耗。

二、洁净室空调系统的设计原则与要求

（一）洁净度和气流设计

洁净室空调系统的设计在半导体厂房的建设中至关重要。其首要目标是确保生产环境达到严格的洁净度标准，这需要精确控制空气中的微粒、温度、湿度以及气流模式等因素。在设计过程中，需要全面考虑这些因素，以保障生产过程的稳定和产品质量的提升。洁净度是洁净室设计的核心指标。为了达到半导体生产所需的洁净度标准，空调系统必须配置多级过滤器，包括初效过滤器、中效过滤器和高效过滤器（HEPA）^[2]。这些过滤器能够有效捕捉空气中的微粒，防止污染物进入生产区域。尤其是高效过滤器，其对微粒的捕捉效率可达到99.97%以上，确保洁净空气的供应。

洁净室的气流设计也至关重要。通过层流和乱流的结合，层流系统以均匀低速的洁净空气流动形式覆盖洁净室生产区域，而乱流系统则通过多点送风和排风，形成整体的空气循环，气流的速度和方向也需精心设计，以避免气流死角和涡流进一步减少微粒沉积。

（二）温湿度控制

温湿度控制是洁净室空调系统设计的另一个关键因素。半导体制造过程对温度和湿度的变化极其敏感，任何细微的波动都可能导致工艺失败或产品缺陷。因此，设计中需配置高精度的传感器和控制系统，实时监测并调节环境参数。

（三）能耗与运行成本优化

能耗和运行成本是洁净室空调系统设计中的重要考虑因素。由于洁净室对空气处理和控制的严格要求，系统能耗相对较高。为了降低运行成本，设计中需引入节能技术和设备。

三、洁净室空调系统施工技术分析

（一）设备安装与振动噪声控制

洁净室空调系统的施工技术是确保其功能稳定和高效运行的关键环节。施工过程中需要严格按照设计图纸和技术规范进行，以保证系统在运行中的可靠性和性能。空调系统的施工涉及设备安装、管道铺设、过滤器安装、控制系统调试等多个方面，每一个环节都要求高精度和严密的质量控制。设备安装是洁净室空调系统施工的基础环节。空调机组、冷水机组、加湿器、除湿器

等主要设备的安装必须按照设计要求进行，确保设备的位置、连接方式和支撑结构符合标准。这些设备的安装需要使用专业工具和技术，确保水平和垂直度，避免安装过程中出现的应力和变形。

设备的振动和噪声控制也是安装中的重要考虑因素，通过安装减振装置和隔音材料，可以有效减少设备运行时对环境的影响。管道铺设是洁净室空调系统施工中的重要步骤。空气输送管道和空调水（冷媒）管道的铺设需要精确的定位和固定，以保证冷媒畅通和温度有效传递。管道的材质选择、接口连接和保温措施都是施工中的关键点。

（二）过滤器安装与控制系统调试

初效、中效和高效过滤器的安装位置和顺序必须严格按照设计要求进行，确保空气逐级过滤达到洁净标准。高效过滤器（HEPA）的安装尤其需要注意，其框架和密封条的连接必须严密（见下图2），防止未经过滤的空气泄漏进入洁净区域。在安装过程中，还需进行泄漏检测，确保过滤器和管道连接处的密封性^[3]。在厂房建造后期的洁净管制三阶段以及FFU更换过滤器时，需要用颗粒度检测仪对洁净室及FFU出风口进行悬浮颗粒度检测。控制系统的调试是洁净室空调系统施工的最后一步，也是确保系统正常运行的关键环节。通过安装各种传感器和控制器，对空气温湿度、气流速度和洁净度进行实时监测和调节。控制系统的调试包括硬件连接、软件编程和参数设置等多个步骤，每一个步骤都需要严格按照技术规范进行。调试过程中，通过模拟运行，检测各个控制点的响应和调整情况，确保系统能够根据设定参数进行准确的调节。

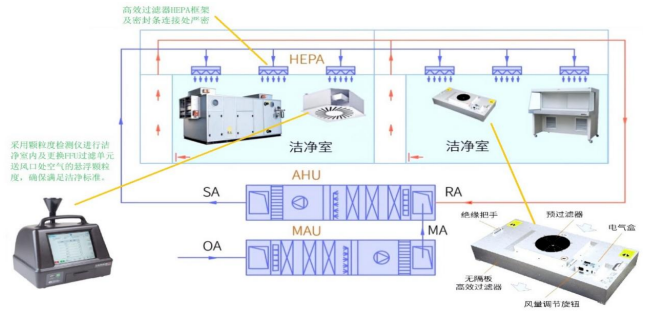


图2 高效过滤单元构造及安装示意图

四、洁净室空调系统施工过程中的质量控制

（一）设备安装与管道铺设的质量控制

在洁净室空调系统的施工过程中，质量控制是确保系统性能和可靠性的关键。每一个施工环节都必须严格按照设计图纸和施工规范进行，以防止任何可能影响系统功能的隐患。质量控制贯穿于施工的每一个步骤，包括设备安装、管道铺设、过滤器安装和系统调试等。设备安装环节是质量控制的第一道关卡。空调设备如空调机组、冷水机组、加湿器和除湿器等的安装，需要严格按照设计要求进行校准和固定。设备的安装位置、水平度和垂直度必须符合标准，以防止在运行过程中出现不稳定或性能下降。安装过程中，应使用专业的测量工具进行精确定位，并采用合适的减振和隔音措施，以减少设备运行时的振动和噪声对系统的影响。

管道铺设的质量控制也至关重要。空气输送管道和冷媒管道的安装质量直接影响系统的气流和温度传递效果。管道材料的选择、接口的连接和保温措施都是控制重点。所有接口处必须进行严格的密封处理，防止漏风和冷媒泄漏。保温材料的包裹需均匀且无空隙，以确保热量传递的效率和稳定性。在管道安装完成后，需要进行气密性测试和压力测试，以确认没有任何泄漏或损坏。

（二）系统调试与施工环节监控

系统调试是质量控制的最后一个关键环节。通过安装各种传感器和控制器，对空气的温湿度、气流速度和洁净度进行实时监测和调节。调试过程中，应对控制系统的硬件连接、软件编程和参数设置进行详细检查和校准。通过模拟运行，检测各个控制点的响应速度和调节精度，确保系统能够根据设定参数进行准确调节。任何调试过程中发现的问题都必须立即进行调整和修正，以确保系统的正常运行。质量控制还包括对施工环境的监控^[4]。在施工过程中，应保持施工现场的洁净，防止外部污染物进入系统。施工人员应穿戴洁净服，并遵循严格的施工操作规程。施工过程中使用的工具和材料也要进行检查，以确保符合洁净室施工要求。

五、洁净室空调系统施工管理策略

（一）施工计划与现场管理

洁净室空调系统的施工管理策略是确保项目顺利进行和最终成功的关键。为了实现高效管理，项目必须在规划、执行、监督和调整等方面采取系统化的措施。详细的施工计划是管理的基础。在项目启动前，应制定详细的施工进度表，明确各施工阶段的任务和时间节点。施工计划应包括设备的采购和运输、材料的准备、人员的安排等内容，并设定清晰的里程碑，以便于进度跟踪和管理。在执行过程中，严格的现场管理是保证施工质量的重要手段。施工现场应实行封闭管理，防止外部污染物进入。所有施工人员必须经过专业培训，熟悉洁净室施工的特殊要求，并穿戴洁净服进入现场。

（二）监督检查与质量控制

现场管理人员应定期检查施工进度和质量，确保各项工作按照设计要求和施工规范进行。对于发现的问题，必须及时记录并采取纠正措施，以避免影响后续施工。监督和检查是施工管理中的关键环节。项目管理团队应建立严格的质量监督机制，对施工过程中的每一个环节进行全面检查。

（三）沟通与风险管理

项目经理应定期召开施工协调会议，与各专业施工队伍和供应商进行沟通，解决施工过程中出现的问题。通过建立畅通的沟通渠道，可以及时传递信息，协调各方工作，确保项目按计划推进。与业主和设计单位保持密切联系，及时反馈施工进展和遇到的问题，确保施工过程中的任何设计变更或调整都能得到迅速响应和落实。在施工过程中，风险管理也是不可忽视的重要部分。项目管理团队应识别和评估潜在风险，制定相应的应对预案。例如，针对施工设备故障、材料供应延误、天气变化等可能影响施工进度的风险，应预先制定解决方案，并在风险发生时迅速识别并及时采取措施，减少

对施工的影响。

六、施工技术与管理优化案例分析

（一）模块化施工与数字化管理

在某半导体厂房洁净室空调系统的施工过程中，项目部通过优化施工技术与管理策略，成功提高了项目的效率和质量。首先在技术优化方面，项目团队引入了模块化施工技术。空调系统的各个组件如空气处理单元、管道和过滤器等，都在工厂预先组装，然后运至现场进行模块化拼装。不仅减少了现场施工的复杂性，还显著缩短了安装时间，提高了施工效率。为了进一步优化管理，项目团队采用了数字化施工管理系统^[5]。通过该系统，所有施工进度、质量检测结果和物料使用情况都实现了实时监控。施工管理人员能够及时发现并解决施工中出现的各种问题，有效减少了施工延误和质量缺陷。数字化系统还提供了详尽的数据记录和分析功能，为后续的维护和管理提供了可靠的数据支持。

（二）进度控制和预案制定

项目团队还加强了与设计单位和设备供应商的沟通，确保施工过程中遇到的任何设计变更或设备问题都能得到迅速处理。项目团队重视风险管理，提前识别了可能影响施工的各类风险，并制定了详细的应对预案。例如，为了应对可能的材料供应延误，项目团队建立了备用供应渠道，确保施工材料的及时供应。通过提前准备和快速反应，减少了施工中断和延误的风险。这些施工技术与管理策略的优化，显著提高了项目的执行效率和施工质量，达到了预期的洁净度和温湿度控制要求，为半导体厂房的高效生产提供可靠保障。

结语

半导体厂房洁净室空调系统的施工技术与管理对确保生产环境的洁净度和稳定性至关重要。通过详细的设计原则和严格的施工技术，可以实现高效的空气过滤、温湿度控制和气流组织，从而满足半导体生产的高标准要求。质量控制贯穿于整个施工过程，确保每一个环节都达到设计规范和技术标准。优化施工管理策略，通过模块化施工、数字化管理和先进的检测方法，提高了施工效率和质量。通过具体的案例分析，可以看出，科学的施工技术与严格的管理策略不仅能确保项目按时、按质完成，还能提供稳定可靠的洁净生产环境。本文的研究和实践为洁净室空调系统的施工和管理提供了有价值的参考，希望能为未来的相关项目提供指导和借鉴。

参考文献

- [1] 刘志强, 陈伟. 洁净室空调系统设计与应用[J]. 建筑环境与能源, 2020, 39(3): 45-49.
- [2] 杨凯, 吴峰. 半导体厂房洁净室施工技术探讨[J]. 工程技术研究, 2019, 28(5): 112-116.
- [3] 林丽, 高鹏. 洁净室空气过滤系统的施工与管理[J]. 环境技术, 2021, 42(7): 88-92.
- [4] 陈晨, 李波. 模块化施工技术在洁净室建设中的应用[J]. 建筑科技, 2018, 37(6): 56-60.
- [5] 孙明, 王欣. 数字化管理在洁净室空调系统施工中的应用研究[J]. 信息与管理, 2022, 33(4): 70-74.