

新形势下电子洁净厂房建筑设计的探讨分析

田小虎

中国电子系统工程第三建设有限公司 四川成都 610000

摘要：随着半导体、显示面板、新能源等电子制造业的快速发展，电子洁净厂房的设计要求日益提高。先进制程工艺对洁净环境、温湿度控制、防微振等参数提出了更严格的标准，同时全球产业链重构与“双碳”目标也对厂房设计带来新的挑战。传统厂房设计模式已难以满足新形势下对生产环境、能源效率、智能化管理等方面的综合需求。在此背景下，如何通过创新设计实现工艺适配、节能降耗和智能管控的有机统一，成为电子洁净厂房建筑设计领域亟待解决的关键问题。

关键词：新形势；电子洁净厂房；建筑设计

引言

电子洁净厂房作为高端电子制造的核心载体，其设计水平直接影响产品性能和生产效率。随着半导体、显示面板等产业向更精密化、智能化方向发展，洁净厂房的设计理念和标准正经历重要变革。科学合理的厂房设计不仅能保障生产工艺的稳定性，还能显著提升能源利用效率，降低运营成本。探讨新形势下的洁净厂房建筑设计，对推动电子制造业高质量发展、实现绿色低碳转型具有重要的实践价值。

一、新形势下电子洁净厂房建筑设计原则

1. 功能性与工艺适配优先

电子洁净厂房的核心使命是满足精密制造工艺的环境需求。设计必须从生产工艺出发，确保洁净度、温湿度、微振动等关键参数严格达标。工艺流程应最短化，避免交叉污染，人员、物料、废弃物的动线需物理隔离。洁净等级分区需动态调整，适应不同生产环节的差异化要求。同时，厂房布局需预留技术升级空间，避免因工艺迭代导致大规模改造。结构设计需考虑大型精密设备的特殊荷载及防微振需求，地基处理、楼板刚度等细节直接影响设备运行稳定性。建筑空间需高效利用，既要满足生产需求，又要兼顾未来产线扩展的可能性。

2. 全生命周期可持续性与成本优化

电子洁净厂房的建设与运营成本极高，设计需平衡初期投资与长期运维费用。节能降耗是关键，空调系统、照明、纯水供应等均需采用高效技术，如FFU动态调节、废热回收、光伏一体化等。模块化设计可降低改造成本，

提高厂房适应性。绿色建筑标准应贯穿始终，减少碳排放并符合环保法规。同时，需考虑极端情况下的系统冗余，如双回路供电、备用废气处理设施，确保生产连续性。风险管理同样重要，抗震、防火、防污染等设计需符合最高安全标准，避免因意外事故导致重大损失。可持续性不仅体现在环保层面，更需确保厂房在未来数十年内保持技术竞争力。

二、新形势下电子洁净厂房建筑设计面临的挑战

1. 工艺技术快速迭代带来的适应性难题

电子制造业技术更新迅猛，半导体制程从7nm向3nm甚至更先进节点演进，Micro LED、量子计算等新兴领域对洁净环境提出更高要求。现有厂房设计往往难以适应未来工艺升级，导致改造或重建成本激增。同时，不同技术路线对洁净度、温湿度、防微振等参数的标准差异显著，设计时需兼顾多种可能的技术需求，增加了方案的不确定性。此外，设备尺寸和重量持续变化，如光刻机等关键设备的安装空间、荷载要求、运维通道等需提前预留，否则可能限制未来产线调整。

2. 极端环境控制与能耗压力的矛盾

电子洁净厂房面临环境控制与能耗管理的突出矛盾。超高标准的环境参数要求与节能目标之间存在显著冲突，严格的温湿度控制与微粒浓度管理必然带来巨大能耗负担。环保政策持续收紧使得传统高能耗运行模式难以为继，但过度节能又可能造成环境参数不稳定，直接影响产品良率。气态分子污染物控制等特殊需求进一步加剧了系统复杂性，增加了能耗控制的难度。如何在确保环境参数稳定的前提下实现绿色低碳运行，成为当前洁净

厂房设计中最具挑战性的技术难题。这一矛盾直接关系到生产质量与运营成本的平衡，是行业亟待解决的关键问题。

3. 供应链安全与地缘政治风险影响

全球半导体产业链重构，各国推动本土化生产，厂房设计需考虑供应链不稳定带来的影响。关键材料、设备的供应周期延长或中断，可能迫使设计阶段采用替代方案，影响整体性能。同时，国际局势变化导致安全要求升级，如防爆、防电磁干扰、数据安全等需额外考量。此外，区域性自然灾害或突发公共事件也对厂房的抗风险能力提出更高要求，传统设计可能无法满足极端情况下的持续运营需求。

三、新形势下电子洁净厂房建筑设计核心要素

1. 工艺适配与生产流程优化

电子洁净厂房设计必须以生产工艺需求为核心导向。不同制造环节对环境参数的要求存在显著差异，需要建立分级管控体系，关键工艺区域需达到ISO 1-3级超高洁净标准，辅助区域可适当降低要求。生产动线规划应当遵循最短路径原则，通过单向流动或环形通道设计实现人员、物料、废弃物的物理隔离。空间布局需要预留足够的调整弹性，采用大跨度钢结构体系确保设备安装和管线扩展的灵活性。针对光刻机等精密制造设备的特殊需求，必须重点构建完善的微振动控制体系，具体措施包括采用高刚度楼板设计、配置弹性支座系统以及集成主动减振技术等多重手段，确保设备运行环境的稳定性。

2. 能源管理与节能设计

能源管理与节能设计是电子洁净厂房设计的核心环节。空调净化系统作为主要能耗来源，其优化设计至关重要，采用高效风机过滤单元配合变频技术可实现风量的智能调节。热回收系统的应用能够将工艺排风中的余热转化为空调系统的再热能源，大幅提升能源利用效率。照明系统通过LED光源与智能控制技术的结合，实现分区域分时段的精细化管控。建筑围护结构采用双层金属板夹芯构造，显著提升保温隔热性能。水系统实施分级利用策略，将超纯水制备过程中产生的浓水用于冷却塔等辅助环节。建立完善的能源管理系统，对关键用能设备进行实时监控与能效评估，为持续优化运行策略提供

数据支持。这些措施共同构建了洁净厂房节能设计的完整体系。

3. 智能化与信息化建设

现代洁净厂房应当构建完善的智能化管理平台，实现全流程数字化管控。建议采用建筑信息模型技术，建立涵盖建筑结构、设备管线、洁净系统的三维数字孪生模型。环境监控系统需要集成温湿度、压差、洁净度等关键参数的实时采集与分析功能。生产设备宜配备物联网接口，实现运行状态远程监控和故障预警。建议部署人工智能算法，通过机器学习优化空调系统的运行策略。安防系统应采用人脸识别、电子围栏等智能技术，实现人员出入的精准管控。信息化平台应当具备大数据分析能力，为管理决策提供数据支撑。所有智能化系统需要预留标准接口，确保与未来新技术的兼容性。

结束语

在新形势背景下，电子洁净厂房建筑设计面临着前所未有的机遇与挑战。随着半导体、显示面板等电子制造技术的快速发展，洁净厂房设计必须兼顾工艺适配性、能源效率和智能化发展等多重要求。本文通过分析设计原则、挑战要素和关键技术，提出了以工艺需求为导向、全生命周期为考量、智能化为支撑的设计理念。未来，电子洁净厂房设计需要持续创新，在保证生产环境品质的同时，实现绿色低碳和智能高效的协同发展，为电子制造业的转型升级提供坚实的设施保障。

参考文献

- [1] 杨青梅. 电子洁净工业厂房建筑消防设计要点分析[J]. 房地产世界, 2024, (14): 43-45.
- [2] 吴臻. 电子洁净工业厂房建筑防火及消防设计分析[J]. 江西建材, 2021, (10): 219-220.
- [3] 赵护印. 简论电子洁净工业厂房的建筑节能设计[J]. 粘接, 2020, 41(04): 128-131.
- [4] 傅伟荣. 新形势下电子洁净厂房建筑设计的探讨分析[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2018, (10): 175-176.
- [5] 李姗姗. 简论电子洁净工业厂房的建筑节能设计[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018, (21): 51.