

工业洁净厂房装修设计技术要点 与投标报价风险控制研究

杨爱明

广州致卓洁净技术有限公司, 广东 广州 510530

DOI:10.61369/UAID.2026030045

摘 要 : 工业洁净厂房的装修设计应围绕洁净度级别、建筑密封状况、气流组织形式、系统整合等技术主要要点来开展,要针对投标报价里的设计变更、供应链波动等风险,通过定性定量评估(例如风险矩阵、蒙特卡洛模拟)以及预防性策略(设计复核、合同优化)、应急预案等实现控制。技术要点和风险管控协同,确保项目技术稳定性与经济可行性均衡。

关 键 词 : 工业洁净厂房装修设计; 技术要点; 投标报价风险控制

Research on the Technical Points of Industrial Cleanroom Decoration Design and Risk Control of Bidding Quotation

Yang Aiming

Guangzhou Zhizhuo Clean Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510530

Abstract : The decoration design of industrial clean workshops should be carried out based on the main technical points such as cleanliness level, building sealing conditions, air flow organization form, and system integration. To address risks such as design changes in the tender quotation and supply chain fluctuations, control measures should be implemented through qualitative and quantitative evaluations (such as risk matrices, Monte Carlo simulations) as well as preventive strategies (design review, contract optimization), and emergency plans. The coordination of technical points and risk control ensures the balance between project technical stability and economic feasibility.

Keywords : industrial cleanroom decoration design; technical key points; risk control of bidding quotation

引言

工业洁净厂房作为半导体、制药等高端制造行业的主要基础设施,其装修设计要在确保洁净环境稳定性的情况下,应对投标报价里的多种风险。2023年新版的《洁净厂房设计规范》(GB50073-2023)更清晰地界定洁净度等级划分、气流组织优化以及材料选型等技术准则,为设计和报价提供政策支撑。在设计阶段,建筑布局的洁净区域划分、密封结构的气密性能把控、工艺与水电系统的协同集成等技术主要,直接作用于工程量核算与成本组成;而在投标报价时期,要通过风险识别(像设计变更、供应链变动)、评估(例如蒙特卡洛模拟)以及控制策略(比如设计复查、应急预案),实现技术要求与经济成本的动态均衡。此项研究对技术要点和风险控制的关联进行梳理,为工业洁净厂房项目的高效开展提供理论根据与实践指引。

一、工业洁净厂房装修设计概述

(一) 工业洁净厂房基础与特性

在工业洁净厂房装修设计的概述里,工业洁净厂房的基础和特性构成核心理论根据。其分类准则一般按照洁净度级别、行业用途以及气流组织样式来划分,比如根据 ISO 14644-1 标准,洁净度从 ISO 1 至 ISO 9 级逐步降低,不同级别对应半导体、制药、食品等不同行业的生产要求^[1]。洁净度标准直接关系到生产环境的微粒管控,例如半导体领域要管控 0.1 μm 以下的微粒浓度,食品行业则更注重微生物方面的污染。工业洁净厂房于生产里的主

要作用显示为保障产品质量的稳定性和工艺的精准度。比如在芯片制造时,细微尘埃或许会造成电路短路,洁净的环境能够降低次品率;制药领域通过管控微生物和微粒,保证药品符合 GMP 规范。这些基本特性表明,装修设计要围绕洁净度保持、气流调控、材料挑选等技术主要来开展,为后续设计技术分析提供理论方案。

(二) 装修设计的总体框架与技术原则

工业洁净厂房装修设计概述的整体方案和技术准则要围绕科学程序、规范要求以及质量管控来开展,以确保洁净环境的稳定性和生产需求的适配性。它的基本流程包含前期需求分析、方案

规划、施工图细化、施工协作以及验收评定等步骤，各个步骤要衔接紧凑，防止出现偏差。在技术规范方面，要严格根据 ISO 14644 系列标准关于洁净度等级的划分规定，同时结合 GB 50073 等国内规范针对空气洁净度、气流组织、材料选择等的详细要求^[2]，保证设计参数和生产工艺的适配性。质量把控原则注重全流程管控，从设计环节的参数模拟校验，到施工环节的材料入场检验、隐蔽工程查验，再到竣工后的洁净度测试，均要建立量化指标与责任体系。另外设计要兼顾功能性和经济性，在实现洁净要求的基础上优化空间布局与系统设置，为后续招标投标提供合理的技术支撑，防止因设计漏洞造成的成本风险。

二、建筑与工艺设计关键技术

（一）建筑设计的核心要点

建筑设计的核心要点

工业洁净厂房的建筑设计要以保障洁净环境作为核心要点，其布局应遵循工艺流程和洁净等级分区的准则，通过科学划分洁净区域、准洁净区域与非洁净区域，降低交叉污染的可能性，同时保证人流、物流以及气流路径相互独立，防止不同洁净等级区域之间出现空气串扰情况。密封构造设计是保障洁净度的要点，要运用连续密封工艺处理墙体缝隙、门窗框架以及管线穿越墙板的部位，例如采用硅酮密封胶和不锈钢压条相结合的办法，保证静态密封泄漏率 $\leq 0.01\%$ ^[3]。材料挑选要兼顾洁净度与耐用性，围护结构优先选取不锈钢、彩钢板这类不易产生灰尘、便于清洁的材料。高效过滤器作为空气净化主要组件，要根据洁净等级来选择 HEPA 或 ULPA 过滤器，其过滤效率应当符合 ISO 14644-1 标准规定，并且要配备压差监测系统实时监测过滤器性能。节能设计要结合洁净厂房能耗高的特性，运用热回收系统回收排风的余热，对空调系统的送风量和换气次数进行优化，通过智能控制系统根据生产工况动态调整参数，在确保洁净环境的情况下降低能源的消耗，实现技术性能和经济效益的平衡。

（二）工艺与水电系统设计整合

工艺和水电系统设计整合要以工艺流程的优化作为核心，保证设备配置、接口标准和环境控制具备协同性。在设备配置方面，洁净厂房里工艺设备的布局要和暖通空调系统的气流组织相适配，比如洁净区的 FFU（风机过滤单元）设置应根据工艺设备的产尘量以及操作区域的洁净度等级进行调整，水电系统的管线走向需躲开工艺设备的操作半径，防止对生产流程产生干扰^[4]。在接口标准领域，工艺设备和水电系统的连接要遵循统一的技术准则，例如工艺管道和暖通系统的接口应选用不锈钢材料且设置止回阀，避免交叉污染，电气系统的接线端子需具备防尘防水级别，以符合洁净环境的特殊需求。环境管控难点在于确保洁净区的温湿度、压差以及微粒浓度的稳定，这需要通过工艺和暖通系统的联合控制实现。举例来说当工艺设备运转产生热量时，暖通系统要自动调整送风量和冷量，水电系统要保证设备稳定的供电以及给排水需求，防止因系统波动对产品质量造成影响。另外在设计环节要通过 BIM 技术对各系统的协同运作进行模拟，预先

识别管线碰撞、设备干涉等状况，保障施工阶段能够顺利开展。

三、洁净厂房设计技术要点详细分析

（一）建筑设计的细节实现

1. 空间与气流组织设计

空间与气流组织规划是洁净厂房设计技术主要的核心部分，直接关系到空气洁净度的稳定合格。研究要结合洁净室气流动力学的模型，通过计算流体动力学（CFD）开展模拟，分析气流的速度、方向以及污染物的扩散路径，对送风口和回风口的布局参数加以优化，保证洁净区气流均匀性满足 ISO 14644-3 标准要求^[5]。分区方案要按照生产工艺对洁净程度的不同要求，划分核心洁净区域、辅助洁净区域以及非洁净区域，运用压差控制技术来保持各区域的压力梯度，避免交叉污染。气流组织优化方法要结合单向流、非单向流等不同气流形态的适用情形，比如对高洁净度有要求的工艺区域运用垂直单向流体系，通过高效微粒空气过滤器（HEPA）实现层流送风，减少微粒沉降的可能性；而辅助区域能够采用乱流组织方式，兼顾洁净效果与能耗成本。设计期间还应考量设备布局给气流带来的影响，防止出现气流死角，通过模拟以及现场测试来验证气流组织的有效性，保证洁净厂房于动态生产进程中仍然能够维持稳定的洁净环境。

2. 密封与防尘措施

密封和防尘措施是工业洁净厂房建筑设计细节实现的主要部分，直接关乎洁净度保持与环境稳定性。墙体体系要运用气密性面板材质，像彩钢夹芯板，在接缝之处通过双道密封胶进行处理，保证静态泄漏率 $\leq 0.01\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，且通过正压测试来验证整体的气密性^[6]。门窗设计要选用高气密性的框架结构，在门框和墙体之间填充弹性的密封材料，玻璃采用双层的中空构造并做好边缘密封处理，开启扇配备自动压紧的装置，在关闭状态时将缝隙宽度控制在 0.1mm 以内。接缝密封工艺要针对不同位置采用有差异的方案，像墙体和地面相接处设置弧形过渡密封带，吊顶跟墙体之间运用可伸缩密封胶条，管道穿过墙板处安装专门密封套管，所有密封材料应具备耐温、耐老化特性，使用年限不少于 10 年。维护策略对于密封系统的长期稳定性非常主要，每半年开展一次气密性检测，及时替换老化的密封件，并且制定清洁操作规范，防止密封部位因机械摩擦或者化学腐蚀而受到损坏，保证密封性能始终符合 ISO 14644-1 标准规定。

（二）工艺与水电系统的详细要求

1. 工艺设备布局与接口设计

工艺装备布局应根据生产流程通顺、洁净级别适配以及交叉污染管控原则。装置排列按照工艺流程次序明确相对位置，A 级区装置要运用单向流布局来保持气流稳定。设备和水系统的接口运用卫生级快装接头，管路规避盲管死角，设立在线清洗（CIP）以及在线灭菌（SIP）接口，保证无菌性^[7]。和暖通系统衔接时要考量设备散热的作用，通过局部通风或分区分管来控制环境参数的稳定，设备排出的风经过高效过滤器处理后再排放。电气系统的接口选用防水防尘类插座，线路绕开气流通道，配备紧急断电

设备。各个接口要统一规范，保障安装精准度与密封性能，降低泄漏可能性，利于维护清理，实现高效运转与交叉污染管控。

2. 水电暖通系统的关键技术

纯水净化系统要运用反渗透、EDI等技术，保证水质电阻率达到 $18.2\text{M}\Omega \cdot \text{cm}@25^\circ\text{C}$ ，符合超纯水要求^[8]。暖通空调体系节能设计能够通过变频调控、热回收工艺实现，例如运用新风热交换装置回收排风热能，让能耗降低30%以上；根据洁净度级别（像ISO 5级）配备高效过滤设备（HEPA/ULPA），使室内正压维持在 $\geq 10\text{Pa}$ 。在噪声管控方面，针对空调机组、水泵实施隔振消声手段，保证室内噪声 $\leq 60\text{dB(A)}$ 。智能化监测技术通过BAS系统对温湿度（ $\pm 0.5^\circ\text{C} / \pm 5\%\text{RH}$ ）、洁净度、压差等参数开展实时监测，配合AI算法实现自适应调控，提高资源利用效能。这些技术的集成运用，既确保生产环境的稳定性，又通过能耗优化削减长期运营费用，为投标报价里的技术方案合理性提供支撑。

四、投标报价风险控制策略

（一）风险识别阶段

1. 设计与技术变更风险

设计及技术变更风险要重点识别设计改动与技术参数变动对报价所产生的影响。设计变更或许是由于洁净度级别、消防准则或环保需求等规范变动，使得原方案再度优化，增添材料选择与施工工艺费用。技术参数的波动关联高效过滤器过滤效率的提高或者空调系统风量的改变等情况，会直接对设备采购成本以及安装复杂程度产生影响。常见的触发因素包括业主提高洁净等级、国家规范更新以及设计阶段工艺布局的优化，这些因素或许会造成工程量清单和实际需求出现偏差，加大成本超支的风险。研究显示在洁净厂房装修项目里，由设计变更所引发的成本波动占比能够达到15%~25%^[9]，要建立动态风险识别体系，实时追踪设计文件以及技术参数的变动情况，保证报价的准确性和可控制度。

2. 外部环境及供应链风险

外部形势与供应链风险要关注市场起伏、政策规章以及供应链中断这三个方面。原材料价格起伏是首要风险，钢材、铝材、洁净板材等的价格受宏观经济、大宗商品市场以及供需关系的作用，或许会造成报价和实际成本出现偏差^[1]。政策法规方面的风险表现为环保标准的提高、安全生产规范的改变以及税收政策的变动，例如《洁净厂房设计规范》（GB 50073）的最新规定或许会增加合规的成本，在投标阶段若未充分预估，容易导致报价不充足^[2]。供应链中断的风险来自于供应商产能起伏、物流不畅或贸易冲突，主要设备（像高效过滤器、空调系统）供应滞后或许会造成工期延长以及成本超支^[3]。在搭建风险因子指标体系时，要把市场波动具体化为价格波动比率和预测准确程度；政策法规包含更新的频次以及合规成本所占比例；供应链中断涉及供应商履约比例和物流延误比例等量化指标，通过层次分析法或者德尔

菲法来确定各个因子的权重，从而为后续的风险评估和应对工作奠定基础^[4]。

（二）风险评估方法

1. 定性风险分析工具

投标报价的风险评估要结合洁净厂房的设计特点，精确识别潜在的风险^[10]。风险矩阵方法把风险发生的概率与影响程度划分成不同的等级，建立二维的矩阵直观展现优先级。比如针对洁净等级要求变更风险，根据历史数据判定其发生概率（像中等），并结合成本与工期的影响（如高），将其定位成高风险项目。专家访谈法会邀约设计、施工、造价方面的资深专家，就材料价格起伏、业主需求变更等不确定因素开展深入研讨。针对不锈钢板材、FFU设备等主要材料的价格风险，专家根据行业走向判断其潜在的影响程度，以弥补量化数据的不足。

2. 定量风险建模

定量风险建模可把不确定性转变为能够分析的概率分布。蒙特卡罗模拟针对装修材料费用、人工时长、施工期限等核心变量开展随机抽样，通过历史数据搭建概率模型，模拟数千个报价情形，输出成本偏差的概率分布曲线，清晰展现报价超出预算的概率。敏感性分析采用固定其余参数、单独调节目标变量（像洁净设备采购成本、洁净等级变动）的方式，算出各变量对总报价的影响系数，识别出对报价波动贡献最大的主要风险因素，例如洁净空调系统精度提高所引发的成本增量。

（三）风险应对措施

1. 预防性策略设计

在投标报价环节，预防性措施通过设计审核与合同完善从根源把控风险。设计复核要组建包括设计、造价、技术方面的专家团队，重点关注洁净等级适配性、气流组织合理性、材料选型合规性等主要要点，逐一验证招标文件的要求，重点审查压差控制参数、高效过滤器安装形式、地面防静电及耐腐蚀性能等容易导致成本偏差的细节，保证报价根据和技术要求相符。合同完善需着眼于技术主要点不清晰的变更隐患，在报价文档里清楚洁净度检测验收的根据、设备安装精准度等界定准则，同时增添风险分摊条款。针对因图纸存在歧义或者要求含混导致的工程量调整情况，约定好责任界限与计价方法，防止后期纠纷引发成本增加。通过设计复核与合同优化的协作，把技术不确定性转变为量化报价的凭据，切断技术风险向成本风险的传导渠道。

2. 响应与监控机制

对于供应链中断、材料价格起伏等突发风险，要建立应急预案以及实时成本监测系统。应急方案需明确风险分级准则，针对不同级别拟定缓解措施，例如建立备选供应商库来应对主供应商供应中断状况，提前储备高效过滤器、洁净板材等主要材料从而减小对工期的影响。实时成本监测系统通过整合项目管理软件和财务平台，动态跟踪材料采购花费、人工成本以及设计变更费用，保证成本偏差在可控范围。反馈体系搭建跨部门交流通道，

成本管控团队定时向决策层呈交监测报告，若实际成本超出预警界限，马上启动应急方案，采取和业主协商设计优化策略或与供应商谈判获取价格优惠等措施，实现风险迅速响应与有效管控，确保报价合理性与项目盈利范围。

五、总结

在工业洁净厂房的装修工作里，建筑、工艺、水暖电方面的技术要点和投标报价的风险控制存在紧密联系：建筑的气密性和

布局情况为工程量提供根据；工艺的洁净等级以及流程优化会对选材和施工的复杂程度产生影响，进一步决定报价的精准度；水暖电的节能设计和设备选型能够细化成本的构成。对各专业进行系统整合，建立风险预判体系，防止报价出现漏项与超支情况。需促进设计标准的统一以及技术创新，实现技术可靠性和经济合理性之间的平衡。

参考文献

[1] 李鹏飞. A 公司 EPC 项目投标报价的风险管理研究 [D]. 中国石油大学 (北京), 2022.

[2] 赵美玲. EPC 模式下 A 电子洁净厂房项成本控制研究 [D]. 北京交通大学, 2022.

[3] 刘佳辉. 多区域洁净厂房压差控制和节能研究 [D]. 东南大学, 2022.

[4] 姚刚华. 制药厂房洁净度分级设置与控制——以贵州某制药厂房为例 [D]. 贵州大学, 2022.

[5] 尹欣. 工业厂房污染物扩散规律与通风设计研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2023.

[6] 肖凯强, 王开星. 工业洁净厂房照明节能设计分析 [J]. 光源与照明, 2024, (01): 15-17.

[7] 史思岩. 工业洁净厂房照明节能设计分析 [J]. 光源与照明, 2024, (09): 26-28.

[8] 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.

[9] 王竟萱. 电子洁净工业厂房建筑消防设计分析 [J]. 工程建设与设计, 2023, (12): 43-45.

[10] 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.