

医药类工业建筑规划布局的模块化设计研究

郭建东

中国航空规划设计研究总院有限公司 北京 100120

摘要：本文聚焦医药类工业建筑规划布局的模块化设计研究。先阐述医药生产功能需求与传统布局痛点，分析模块化设计的适配性。接着构建理论框架，涵盖定义、主要内容及全生命周期视角。随后提出功能模块、空间组织、技术支撑优化策略，并强调政策与标准保障的重要性。旨在为医药工业建筑模块化设计提供理论支持与实践指导，推动行业绿色、高效、可持续发展。

关键词：医药工业建筑；模块化设计；生产流程；空间效率

引言：医药行业快速发展，对工业建筑规划布局提出更高要求。传统医药工业建筑布局因灵活性不足、交叉污染风险管控薄弱、建设周期长、全生命周期成本偏高等问题，难以适应行业变革。模块化设计凭借其功能适配、灵活调整、建设高效等优势，成为解决传统布局痛点的有效途径。深入研究医药工业建筑模块化设计，对提升建筑性能、满足医药生产需求、推动行业高质量发展具有重要意义。

1 医药类工业建筑的功能需求与布局特性

1.1 医药生产流程的核心需求

医药生产对工业建筑功能需求专业且严苛，核心在于合规、洁净、安全及流程连贯。合规是前提，建筑要符合GMP认证标准，划分明确洁净等级区域，设独立净化空调与污染物处理设施。生产流程连贯要求精准功能分区，从原料到成品各环节形成闭环动线，防交叉污染与流程折返。安全性贯穿全程，不同品类需专项设施，配备应急与污染物处理系统。另外，医药生产对环境参数控制精度要求高，建筑要预留设备安装与参数调节空间，兼顾生产灵活性与环境稳定，为药品质量管控提供基础保障。

1.2 传统布局模式的痛点分析

传统医药工业建筑布局多为整体现浇结构与固定功能分区，存在诸多痛点。灵活性差，基于特定工艺设计，结构固化，生产线升级、品类迭代时，建筑空间难快速调整，改造耗时费力成本高。交叉污染风险管控弱，部分未实现人流、物流、废物流完全分离，洁净区与非洁净区衔接不合理，易致气流紊乱、污染物扩散^[1]。建设周期长，整体浇筑流程复杂，从设计到投用需18-24个月。全生命周期成本高，后期维护、改造难，能源管控粗放，废弃时资源回收利用率低，不符绿色低碳与高质量发展要求。

1.3 模块化设计的适配性分析

模块化设计与医药工业建筑的功能需求高度适配，能精准破解传统布局痛点，契合行业发展特性。从功能适配性来看，模块化设计可依据医药生产的洁净等级、工艺需求，将建筑拆解为独立功能模块，如生产模块、检验模块、仓储模块、辅助设施模块等，每个模块可单独实现洁净管控、参数调节，既满足分区合规要求，又能避免交叉污染。从灵活性适配来看，模块间通过标准化接口连接，可根据生产线升级、品类拓展需求，实现模块的增减、替换与重组，无需大规模改造主体结构，大幅缩短工艺调整周期。从建设效率适配来看，模块可在工厂预制生产，现场仅需进行组装拼接，施工周期较传统模式缩短40%以上，能快速响应企业投产需求。模块化设计可兼顾全生命周期管理，各模块可单独维护、更新，报废时可实现资源回收再利用，降低运维成本与环境影响，同时适配医药行业智能化、绿色化转型趋势，具备极强的实践适配价值。

2 医药工业建筑模块化设计的理论框架

2.1 模块化设计的定义

医药工业建筑模块化设计是基于系统工程理论，结合医药生产工艺特性与建筑功能需求，将建筑整体拆解为若干个具有独立功能、标准化接口、可重复利用的单元模块，通过模块的组合、拼接、重组实现建筑整体功能的设计方法。其核心要义在于“标准化单元+柔性组合”，打破传统建筑“整体固化”的设计逻辑，以模块为核心载体，实现功能、空间与技术的协同适配。与通用建筑模块化设计相比，医药工业建筑模块化设计更强调合规性导向，需严格遵循医药行业GMP、环保、安全等标准，确保每个模块的功能设计、环境控制均符合行业规范。同时，其兼具系统性与灵活性，模块不仅是独立的功能单元，更需融入建筑整体系统，通过标准化接口

实现模块间人流、物流、气流、管线的顺畅衔接,既保障生产流程连贯性,又为后期调整优化预留空间,实现建筑功能与生产需求的动态适配。

2.2 模块化设计的主要内容

2.2.1 功能模块划分

功能模块划分是医药工业建筑模块化设计的核心环节,需遵循“工艺主导、合规优先、分类管控”原则,结合医药生产流程与功能需求科学划分。首先,核心生产模块依据洁净等级与工艺类型划分,包括A级洁净生产模块(如无菌制剂灌装)、B/C/D级洁净生产模块(如制剂配制、原料药加工),每个模块配备专属净化、空调、消毒设施,实现环境参数独立管控^[2]。其次,辅助功能模块涵盖检验检测模块、仓储模块、公用工程模块,检验检测模块需划分理化检测、微生物检测分区,配备独立实验室设备与防护设施;仓储模块按物料特性分为原料库、成品库、危化品库,实现分区存储与管控;公用工程模块整合给排水、供电、供气、污水处理等设施,为核心模块提供保障。此外,还需划分办公、应急、后勤等配套模块,各模块边界清晰、功能独立。

2.2.2 空间组织模式

医药工业建筑模块化设计的空间组织模式以“层级清晰、动线合理、柔性适配”为核心,构建模块化空间体系。基于功能模块划分,采用“核心集聚+周边辐射”的空间布局,将核心生产模块集中布置在建筑中部,保障洁净区的集中管控与气流稳定性;辅助功能模块与配套模块沿核心模块周边布局,通过连廊、通道实现衔接,减少对洁净区的干扰。动线设计采用“三流分离”原则,设置独立的人流、物流、废物流通道,人流从办公模块经更衣净化后进入生产模块,物流通过专用输送通道与仓储模块、生产模块衔接,废物流经密闭通道送至处理模块,避免交叉污染。同时,空间组织预留模块化拓展接口,建筑主体结构采用框架式设计,预留模块拼接的结构节点与管线接口,可根据生产需求横向拓展或纵向叠加模块,实现空间规模与功能布局的动态调整,兼顾当前生产需求与未来发展空间。

2.2.3 接口设计技术

接口设计技术是保障医药工业建筑模块协同运行的关键,需实现结构、管线、功能三大维度的标准化衔接,兼顾密封性、兼容性与可维护性。结构接口采用标准化连接件设计,模块间通过预制钢结构节点、螺栓连接等方式拼接,确保连接强度与稳定性,同时满足密封要求,防止洁净区气流泄漏与污染物渗入。管线接口遵循“统一规格、分类对接”原则,针对给排水、空调、电气、通

风等管线,设计标准化接口组件,实现模块间管线的快速对接与密封,避免渗漏、气流紊乱等问题;对于洁净区管线,采用暗藏式布置与快速接头设计,便于后期维护与更换。功能接口聚焦流程衔接,设计标准化的人员通道、物料传递窗口、设备对接端口,确保模块间人流、物流顺畅流转,同时满足洁净等级过渡要求。

2.3 全生命周期视角下的模块化设计

全生命周期视角下的医药工业建筑模块化设计,贯穿建筑规划、设计、施工、运营、改造、报废全阶段,实现各环节的协同优化与价值最大化。规划阶段需结合企业生产战略、行业发展趋势,明确模块的功能定位、拓展需求与合规标准,避免后期改造浪费。设计阶段兼顾施工便捷性与运营实用性,采用标准化模块设计,确保模块预制精度与现场组装效率,同时融入绿色设计理念,选用环保材料与节能设备,降低全生命周期能耗^[3]。施工阶段依托模块预制与现场组装结合模式,缩短施工周期,减少现场作业污染,建立模块质量追溯体系,保障施工质量符合行业标准。运营阶段通过模块独立管控特性,优化能源消耗与维护流程,降低运维成本;改造阶段利用模块柔性优势,快速实现功能调整与工艺升级。

3 医药工业建筑模块化设计的优化策略

3.1 功能模块优化

功能模块优化需以“精准适配工艺、提升合规性、强化灵活性”为目标,结合医药生产特性持续迭代。一方面,细化模块功能分类,针对生物制剂、化学原料药、中药制剂等不同品类的生产需求,优化模块内部布局与设施配置,如生物制剂模块增设生物安全柜、负压隔离设施,中药制剂模块强化提取、浓缩环节的工艺适配性,确保模块功能与工艺需求精准匹配。另一方面,推进模块标准化与定制化融合,核心功能模块采用行业统一标准设计,保障通用性与可替换性;针对企业个性化工艺需求,预留定制化改造空间,实现“标准基础+个性拓展”的模块设计模式。同时,优化模块功能冗余设计,结合医药行业技术更新周期,预留设备升级、工艺调整的空间与荷载,避免功能滞后;强化模块间功能协同,通过优化接口设计,实现不同模块的功能互补与高效衔接,提升整体生产效率。

3.2 空间组织优化

空间组织优化聚焦“高效管控、流程顺畅、柔性拓展”,提升模块化建筑的空间利用率与适配能力。首先,优化洁净区空间布局,采用“集中管控+分区独立”模式,将同等级洁净模块集中布置,便于统一调控环境参数,减少能源消耗;通过缓冲间、传递窗等设施,实现不同

洁净等级模块的有序过渡，降低交叉污染风险。其次，优化动线空间设计，精简人流、物流通道长度，减少折返与交叉，采用智能化动线管控系统，实现人员、物料的精准分流与追溯；拓展垂直空间利用，针对用地紧张场景，采用模块化立体布局，通过垂直输送设备衔接各楼层模块，提升空间利用率。最后，强化拓展空间预留，建筑主体结构预留模块拼接的结构节点与管线接口，横向预留模块化拓展带，纵向预留楼层叠加条件，同时优化模块间距与排布方式，确保后期拓展不影响现有生产流程与洁净管控。

3.3 技术支撑优化

技术支撑优化是提升医药工业建筑模块化设计质量与实用性的核心，需整合建筑技术、智能化技术与医药工艺技术。在建筑技术方面，推广预制装配技术升级，采用高精度预制构件与模块化集成技术，提升模块预制精度与现场组装效率；应用绿色建筑技术，选用节能型保温、密封材料，优化空调通风系统设计，降低模块能耗与环境影响。在智能化技术方面，融入工业4.0理念，为各模块配备智能监控、传感检测设备，实现环境参数、设备运行状态的实时监测与自动调控；搭建模块化智能管理平台，整合人流、物流、能耗、质量等数据，实现全流程可视化管控。在工艺适配技术方面，加强模块与医药生产设备的协同设计，预留设备安装、调试与维护的空间，优化管线布局与设备对接接口；引入BIM技术，开展模块化设计、施工、运营全阶段的数字化模拟，提前规避布局冲突、接口不兼容等问题，提升设计与施工精度。

3.4 政策与标准保障

政策与标准保障是推动医药工业建筑模块化设计规范化、规模化应用的重要支撑，需构建完善的政策引导与标准体系。从政策层面，政府应出台针对性扶持政策，鼓励企业采用模块化设计建设医药工业建筑，对符合绿

色、智能标准的模块化项目给予资金补贴、税收减免；建立模块化建筑审批绿色通道，优化审批流程，缩短项目落地周期。同时，加强行业监管与引导，明确模块化建筑的合规性评估标准，确保模块设计、施工、运营符合GMP、环保、安全等行业要求^[4]。从标准体系层面，加快制定医药工业建筑模块化设计专项标准，明确模块的尺寸规格、接口标准、材料要求、洁净管控指标等，实现设计、生产、施工、验收的标准化；完善模块化建筑质量验收标准，针对模块预制、现场组装、管线对接等关键环节，制定严格的质量管控流程与检测方法。加强行业交流与技术推广，推动模块化设计技术与经验的共享，引导企业规范应用模块化设计，促进行业高质量发展。

结束语

医药类工业建筑规划布局的模块化设计研究，为行业发展带来新思路与新方法。通过理论探讨与实践策略提出，明确了模块化设计在功能适配、空间优化、技术支撑及政策标准保障等方面的要点。未来，随着技术进步与政策完善，模块化设计将在医药工业建筑领域广泛应用，助力企业提升生产效率、降低成本，推动医药行业向智能化、绿色化方向迈进，实现可持续发展。

参考文献

- [1]吕玲.工业建筑环保设计与绿色工业建筑理念[J].中国高新科技,2022(5):118-119.
- [2]李璠安.浅谈医药工业洁净厂房建筑设计[J].城市建设理论研究(电子版),2023(16):77-79.
- [3]宿子敬,曹丹阳.以绿色工业建筑理念为思路的医药洁净厂房暖通节能设计探讨[J].暖通空调,2023,53(S01):318-320.
- [4]肖运宁,刘敏.基于去工业化理念的工业危废处理建筑园区规划设计[J].城市建筑,2025,22(2):129-132.