

工业建筑结构设计选型发展趋势

胡 林

中煤科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

摘 要: 工业建筑结构设计选型是衔接建筑功能与工程实施的核心环节, 直接决定建筑的安全性、经济性与可持续性。随着智能制造升级、“双碳”政策推进及技术革新, 传统结构选型模式已难以满足现代工业需求。本文从理论基础、核心原则与影响因素出发, 系统分析工业建筑结构设计选型的绿色低碳化、模块化装配化等核心发展趋势。通过梳理各趋势的技术特征与应用路径, 为工程设计提供科学指引, 助力工业建筑结构选型向更高效、环保、适配的方向发展, 推动工业建筑行业高质量转型。

关键词: 工业建筑; 结构设计; 发展趋势

1 工业建筑结构设计选型的理论基础

1.1 结构设计选型的核心内涵

工业建筑结构设计选型是基于多维度需求的系统性决策过程, 核心内涵在于通过对结构体系、材料类型及构造形式的科学筛选, 实现建筑功能与工程条件的精准匹配。这一过程并非简单的方案罗列, 而是融合功能分析、性能验算、经济评估的综合实践, 需贯穿设计、施工、运维全生命周期。在智能制造背景下, 选型内涵进一步拓展, 不仅要满足当前生产需求, 还需预留未来工艺调整的柔性空间。其核心价值体现在通过合理选型, 平衡安全、成本与效率三者关系, 例如在重荷载厂房设计中, 通过对比钢结构与钢筋混凝土结构的受力特性, 选择最适配的体系以降低长期运维成本, 同时保障生产安全。选型决策需依托专业理论与工程经验, 结合数字化工具实现量化分析, 提升决策科学性。

1.2 工业建筑结构的核心理念

工业建筑结构核心理念按材料与受力特征可分为传统结构与新型结构两大类, 各类结构具有明确的适用场景与性能优势。传统结构中, 钢筋混凝土结构刚度大、成本可控, 适用于荷载稳定的通用厂房, 如机械加工车间, 但其自重大、施工周期长的缺陷较为明显; 钢结构则以轻质高强、装配性好为特点, 适合大跨度、重荷载工业建筑, 如冶金厂房与仓储中心, 能有效减少地基荷载, 且回收利用率高。新型结构类型中, 钢-混凝土组合结构融合两者优势, 通过钢板与混凝土的协同受力, 在提升承载能力的同时降低结构自重, 适用于精密制造车间; 模块化结构以标准化单元为核心, 通过工厂预制、现场拼装实现快速建设, 适配工期紧张的产业园区项目; 预应力结构则通过预加应力抵消部分荷载, 在大空间工业建筑中应用广泛, 如飞机装配厂房, 能有效控制

结构变形^[1]。

2 工业建筑结构设计选型的核心原则

2.1 功能适配原则

功能适配原则是工业建筑结构选型的首要准则, 要求结构体系与工业生产的工艺需求、设备布置及运营模式高度契合。不同行业的工业建筑对结构功能需求差异显著, 例如化工车间需考虑设备振动隔离与防腐防护, 结构选型需优先采用抗振性能好的钢结构, 并配合防腐涂层处理; 食品加工厂房对洁净度要求高, 选型时应采用便于清洁的围护结构与大跨度框架, 减少结构构件对空间的分割。功能适配还体现在对柔性生产的支撑上, 现代工业生产布局调整频繁, 结构选型需预留足够的柱网间距与荷载余量, 如采用大跨度门式钢架结构, 方便生产线重组与大型设备吊装。同时, 需兼顾运营维护需求, 结构构件布置应便于设备检修与管线铺设, 避免因结构限制影响生产效率, 实现结构功能与生产需求的无缝衔接。

2.2 安全可靠原则

安全可靠原则是工业建筑结构选型的底线要求, 核心在于确保结构在各类荷载与环境作用下保持稳定, 避免安全事故发生。工业建筑面临的荷载类型复杂, 包括设备重荷载、物料堆放荷载、机械振动荷载等, 选型时需通过精准计算确定结构承载能力, 例如重型机械厂房需采用桩基础配合钢框架结构, 确保承载力与抗振性能达标。对于地震高发区的工业建筑, 选型需优先考虑抗震性能优越的结构体系, 如钢结构框架-支撑体系, 通过合理的节点设计提升结构延性; 在台风频发的沿海地区, 厂房结构则需强化抗风性能, 选用流线型屋面与稳固的刚接节点。此外, 安全可靠还体现在结构耐久性上, 需结合工业环境特点选择耐腐蚀、抗老化的结构材

料与构造形式,如化工园区建筑采用耐候钢与防腐混凝土,确保结构在恶劣环境下长期安全运行。

2.3 绿色可持续原则

绿色可持续原则是当前工业建筑结构选型的核心导向,要求在结构全生命周期内实现资源节约、能耗降低与环境友好。选型过程中需从材料、工艺、运维多维度践行绿色理念,材料选择上优先采用可再生、可回收的环保材料,如高强度钢材替代传统钢材,减少钢材用量与碳排放;采用再生骨料混凝土,提高工业废渣利用率。工艺层面应选择低碳施工技术,如装配式结构减少现场浇筑带来的扬尘与噪声污染,降低施工阶段能耗^[2]。同时,结构选型需考虑建筑节能需求,如采用保温一体化围护结构,减少厂房采暖与制冷能耗;通过优化结构形式提升自然采光与通风效率,降低人工照明与通风系统的能源消耗。绿色可持续还体现在结构可循环性上,选型时应考虑未来建筑拆除后的材料回收利用,如模块化结构的构件可重复使用,减少建筑垃圾产生。

3 工业建筑结构设计选型的关键影响因素分析

3.1 功能与工艺因素

功能与工艺因素是影响工业建筑结构选型的核心变量,直接决定结构的核心性能指标。工业生产工艺的差异对结构提出多样化需求,例如冶金工业的高温车间,结构选型需优先考虑耐高温材料与通风散热性能,采用钢结构配合耐热涂层,避免高温对结构强度的影响;电子工业的洁净车间则要求结构密封性好、不易产尘,选型时多采用钢筋混凝土框架配合彩钢板围护,减少结构构件的积尘死角。生产设备的特性也直接影响选型决策,重型设备需结构提供高承载力,选型时需强化基础与主体结构刚度;精密设备则对振动控制要求严格,需采用隔振基础与柔性结构节点,减少外界振动对设备精度的影响。随着柔性生产模式普及,结构选型还需预留工艺调整空间,如采用大柱网结构与可拆改围护体系,方便生产线重组。

3.2 环境与政策因素

环境与政策因素对工业建筑结构选型具有强制性与引导性作用,直接规范选型方向。自然环境方面,不同区域的气候与地质条件差异显著,寒冷地区工业建筑需采用保温性能好的结构围护体系,如复合墙体与保温屋面,减少采暖能耗;软土地基区域则需选择轻量化结构,如钢结构,降低地基处理成本。政策因素的影响日益凸显,“双碳”目标推动下,各地出台绿色建筑标准,要求工业建筑结构选型优先采用低碳技术与环保材料,如部分地区明确装配式建筑占比要求,直接推动模

块化与钢结构的应用。另外,环保政策对工业建筑的污染控制提出要求,如化工企业需采用防腐、防渗结构,避免污染物渗透影响土壤与地下水;安全法规对危险品仓库等特殊工业建筑的结构抗爆、防火性能作出明确规定,直接决定结构选型方向。

3.3 技术与经济因素

技术与经济因素是工业建筑结构选型的现实约束,两者的平衡是选型决策的关键。技术可行性方面,结构选型需与当前施工技术水平、材料供应能力相匹配,新型结构体系如模块化结构,需依托成熟的预制加工技术与吊装设备,若项目所在地缺乏相关技术支持,则需谨慎选用。技术创新则为选型提供更多可能,BIM技术的普及使结构性能模拟更精准,可通过参数化分析优化结构形式;新型复合材料的研发则提升了结构的耐腐蚀性与强度,拓展了选型范围^[3]。经济因素需考虑全生命周期成本,而非仅关注初期建设成本,例如钢结构初期投资较高,但施工周期短、回收利用率高,长期综合成本更具优势;钢筋混凝土结构初期成本低,但运维成本与拆除成本较高。选型时需通过成本测算,选择性价比最优的结构体系。

3.4 社会与发展因素

社会与发展因素从长远视角影响工业建筑结构选型,体现结构的时代适应性。社会需求方面,工业建筑的人性化设计需求日益提升,结构选型需考虑员工工作环境,如通过优化结构布置提升厂房采光与通风,减少人工照明与机械通风的使用;在噪声较大的工业车间,采用隔声性能好的结构围护,降低噪声对员工健康的影响。产业发展趋势则引导选型方向,智能制造与工业4.0推动下,工业建筑需融入智能化系统,结构选型需预留管线与设备安装空间,如采用空心楼板与预留孔洞,方便智能监测设备与自动化生产线的布置。此外,城市发展规划也影响选型决策,位于产业园区的工业建筑,结构风格与选型需与园区整体规划协调;临近居民区的工业建筑,则需通过结构选型控制噪声与视觉污染,实现与周边环境的和谐共生。

4 工业建筑结构设计选型的核心发展趋势

4.1 绿色低碳化趋势

绿色低碳化已成为工业建筑结构设计选型的核心趋势,通过材料、体系与工艺的全方位革新实现碳减排目标。材料选型上,高强度低碳钢材的应用日益广泛,其强度比传统钢材提升30%以上,可减少钢材用量20%-30%,显著降低生产阶段碳排放;再生骨料混凝土、固废基胶凝材料等环保建材的推广,实现工业废渣的资源

化利用,减少水泥用量带来的碳排放。结构体系优化方面,轻量化结构成为主流,如门式钢架与空间桁架结构,通过合理的受力设计减少结构自重,降低建材消耗与运输能耗。施工工艺上,干法施工替代湿法施工,装配式结构减少现场混凝土浇筑,降低施工阶段能耗与碳排放。同时,碳足迹核算纳入选型决策,通过量化不同结构体系的全生命周期碳排放,选择低碳方案,部分大型工业项目已实现结构碳排放降低40%以上的目标。

4.2 模块化与装配化趋势

模块化与装配化趋势通过标准化设计与工厂化生产,彻底改变传统工业建筑的建设模式,提升效率与质量。模块化结构以预制单元为核心,将厂房分解为若干标准化模块,如承重模块、围护模块、设备基础模块等,在工厂完成预制加工后,运输至现场进行拼装,施工周期比传统结构缩短50%以上,尤其适用于工期紧张的产业园区项目。装配化结构则通过预制构件的现场装配实现建设,如预制混凝土柱、钢梁、叠合楼板等,减少现场模板与脚手架用量,降低施工劳动强度。该趋势的优势还体现在质量控制上,工厂化生产环境稳定,构件精度误差可控制在毫米级,避免现场施工的质量波动;同时,模块化结构具有良好的可拆改性,模块可重复利用,适应工业生产工艺的调整需求^[4]。目前,模块化技术已从轻型厂房拓展至重型工业建筑,通过优化模块连接节点,实现对重荷载与振动的有效控制。

4.3 智能化与数字化趋势

智能化与数字化趋势依托技术赋能,实现工业建筑结构选型的精准化与全周期管控。数字化设计工具的应用是核心支撑,BIM技术构建的三维模型可实现多专业协同选型,通过结构性能模拟、碰撞检测等功能,提前发现选型方案中的问题,如在管线密集的化工车间,可通过BIM模型优化结构梁柱布置,避免与工艺管线冲突。智能化技术则提升选型的科学性,AI算法可基于海量工程数据,快速匹配最优结构方案,结合地质条件、荷载需求等参数生成多个选型方案并进行量化对比;结构健康监测系统与选型的融合设计成为新方向,在选型阶段预留传感器安装位置,通过实时监测结构应力、变形等数据,为运维与改造提供依据。数字化还实现了选型与施工、运维的全流程衔接,通过数字孪生技术构建结构虚

拟模型,实时映射实体结构状态,为全生命周期管理提供支撑。

4.4 高性能与适配化趋势

高性能与适配化趋势聚焦结构性能的精准提升,实现与工业建筑特殊需求的高度匹配,突破传统结构的性能瓶颈。高性能体现在材料与结构的双重升级,材料方面,耐候钢、耐腐蚀混凝土、纤维增强复合材料等高性能材料的应用,提升结构的耐久性与抗灾能力,如耐候钢在工业腐蚀环境下的使用寿命可达50年以上,无需频繁防腐维护;结构方面,通过优化结构形式提升性能,如采用预应力空间网格结构,实现大跨度厂房无柱化设计,提升空间利用率。适配化则强调结构与具体工业场景的精准匹配,针对不同行业需求定制结构方案,如精密电子厂房采用隔振结构体系,将振动控制在微米级;危险品仓库采用抗爆结构,通过特殊节点设计吸收爆炸能量;高温车间采用耐热结构与通风一体化设计,保障结构安全与生产需求。该趋势还体现在结构的长寿化设计上,通过性能提升延长建筑使用寿命,降低全周期成本。

结束语

工业建筑结构设计选型发展趋势,是技术创新、政策与产业需求共同推动,促使选型从传统经验向科学精准转型。绿色低碳化、模块化装配化、智能化数字化、高性能适配化四大趋势,分别从环保、效率、技术、性能维度提供新路径。其融合应用能达成工业建筑安全、高效、环保、经济的综合目标。未来,新型材料与智能技术发展下,选型会更注重全生命周期与产业需求适配。工程人员应拥抱趋势,融入新技术,坚守核心原则,推动选型高质量发展。

参考文献

- [1]杨凯.现代工业建筑设计及建筑结构的的发展趋势[J].建筑与装饰,2024(3):1-3.
- [2]王莎.关于工业建筑轻钢结构设计问题的研究[J].江苏建材,2022,(03):47-49.
- [3]贺星新,余露,朱金坤,刘斌.大跨度重载超长工业建筑结构设计与分析[J].四川水泥,2022,(02):108-110.
- [4]寇繁荣.工业厂房建筑结构设计优化探讨[J].住宅与房地产,2021,(16):77-78.