

# 工业建筑超大跨度空间结构体系选型与稳定性分析

王天胜

浙江建科工程项目管理有限公司 浙江 温州 325000

**摘要:** 本文围绕工业建筑超大跨度空间结构体系选型与稳定性展开研究,明确网格、张拉、杂交三类结构体系的力学、材料及施工特性,阐述工业建筑对结构功能、安全、经济运维的特殊要求。构建科学选型指标体系与流程,结合实例分析不同工业场景选型适配性,探究稳定性分析理论与方法,明确结构稳定性重点及优化措施,为相关结构的合理选型、稳定设计及工程应用提供可靠理论与实践参考。

**关键词:** 工业建筑; 超大跨度空间; 结构体系; 选型; 稳定性

**引言:** 随着工业生产规模化发展,大型厂房、工业场馆等建筑对超大跨度、无柱化空间需求日益迫切,超大跨度空间结构成为工业建筑核心组成。当前各类结构体系应用广泛,但选型不合理、稳定性不足等问题易影响生产安全与效益。基于此,本文聚焦工业建筑场景,分析结构体系分类与特性,研究选型方法,探索稳定性分析路径及优化策略,解决工程痛点,助力结构设计科学化发展。

## 1 工业建筑超大跨度空间结构体系分类及特性分析

### 1.1 常见超大跨度空间结构体系分类

(1) 网格结构体系: 包括网架结构、网壳结构。平板网架多为双层或多层网格,呈平面布置,适用于大型厂房、仓库等对空间平整度要求高的场景; 曲面网壳为曲面造型,分为球面、柱面等,适配需特殊造型的工业建筑,如大型会展式生产车间。(2) 张拉结构体系: 涵盖悬索结构、膜结构。悬索结构由索网、塔架和锚碇组成,以拉力为主; 膜结构以高强度膜材为主体,依托索网支撑,二者均具有轻量化特点,适合大跨度无柱工业空间,且施工便捷、适配复杂场地。(3) 杂交结构体系: 结合两种及以上结构形式,如网架-悬索杂交可兼顾网架的刚度与悬索的跨越能力,网壳-膜结构杂交能发挥网壳的承载性和膜结构的轻量化优势,适配荷载复杂、跨度极大的重型工业建筑。

### 1.2 各类结构体系核心特性分析

(1) 力学特性: 网格结构以轴力为主,刚度和承载力较强,跨越能力中等; 张拉结构以拉力为主,刚度较弱但跨越能力突出,适配大跨度需求; 杂交结构兼顾各类优势,受力合理,能适配工业动荷载、集中荷载。(2) 材料特性: 网格结构主流材料为钢材,要求高强度、耐腐蚀; 张拉结构中悬索用高强度钢索,膜结构用耐候性膜材; 杂交结构根据组合形式选用钢材与膜材等,材料性能需与

结构受力特点匹配,满足工业使用耐久性要求。(3) 施工特性: 网格结构施工工艺成熟,难度中等,工期适中,成本可控; 张拉结构施工便捷,工期较短,成本较低,但对施工精度要求高; 杂交结构施工复杂,难度大,工期较长,成本较高,适配场地开阔的工业建筑<sup>[1]</sup>。

### 1.3 工业建筑对超大跨度空间结构的特殊要求

(1) 功能要求: 需满足工业生产大空间、无柱化需求,适配大型生产设备布置、吊车运行等场景,确保生产操作空间充足,不影响生产流程。(2) 安全要求: 需具备较强的抗工业动荷载、集中荷载能力,能抵御风、地震等极端天气,保障结构长期稳定运行,避免影响工业生产安全。(3) 经济与运维要求: 兼顾建设成本与后期运维便捷性,选用性价比高、维护简便的结构与材料,降低工业生产过程中的结构维护成本,提升生产效益。

## 2 工业建筑超大跨度空间结构体系选型研究

### 2.1 选型原则与核心影响因素

(1) 选型原则: 核心遵循安全可靠、经济合理、适用可行、技术先进四大原则,结合工业建筑生产特性细化要求。安全可靠是首要前提,需确保结构能长期承受工业荷载、极端天气等作用,保障生产安全; 经济合理要求兼顾建设成本与后期运维成本,避免过度设计; 适用可行需适配工业生产的功能需求,满足无柱化、设备布置等特殊要求; 技术先进则强调选用成熟且适配工业场景的施工技术与结构形式,提升结构实用性与耐久性。(2) 核心影响因素: 涵盖多方面关键内容,其中建筑功能直接决定结构形式,如重型厂房需侧重承载力,展厅类建筑需兼顾造型与跨度; 跨度尺寸是选型核心依据,跨度越大,对结构跨越能力、刚度要求越高; 荷载条件需重点考虑工业动荷载、集中荷载等特殊特性; 场地地质影响基础设计与施工工艺选择; 材料供应需结合当地钢材、膜材等资源,确保供应稳定且符合性能要求; 施工技术需适配

工业场地条件，兼顾施工难度与安全性；经济性则贯穿选型全过程，平衡建设与运维成本。

## 2.2 选型指标体系构建

(1) 定量指标：选取可精准量化的核心指标，包括结构自重、单位面积用钢量，直接影响造价与施工难度；跨度比反映结构跨越合理性；承载力、刚度需满足工业荷载与使用要求，确保结构稳定；施工工期直接关系工业投产进度；造价涵盖材料、施工、运输等全流程费用，是经济评价的核心指标，各指标需结合工业建筑标准设定合理阈值。(2) 定性指标：聚焦难以量化但影响选型的关键因素，结构适应性需适配工业生产流程与设备布置；施工难度结合工业场地狭窄、设备进场不便等特点评价；运维便利性关系后期维护成本与生产效率；建筑造型适配性需兼顾工业建筑实用性与整体风貌；抗灾害能力重点考量抗风、抗震及抵御工业意外荷载的能力<sup>[2]</sup>。(3) 指标权重确定：采用层次分析法(AHP)构建评价模型，将选型目标、指标体系、备选方案分层拆解，通过专家打分、pairwise比较确定各指标权重。突出工业建筑核心需求，如重型厂房侧重承载力、刚度等安全类指标，降低造型类指标权重；展厅类建筑则适当提升造型适配性权重，确保权重分配贴合实际场景需求。

## 2.3 选型方法与流程

(1) 选型方法：常用三种核心方法，对比分析法通过对比不同结构体系的力学、材料、施工特性及经济性，结合工业案例筛选最优方案，如对比网架与悬索结构在大跨度厂房中的应用差异；模糊综合评价法针对定性指标量化评分，结合定量指标，全面评价备选方案适配性；多目标优化法以安全、经济、适用为目标，通过数学模型优化结构参数，如某大型工业厂房采用该方法优化网架结构用钢量与工期。(2) 选型流程：遵循“需求分析—方案初选—指标评价—优化决策—方案确定”的完整流程，确保选型科学合理。需求分析明确工业建筑功能、跨度、荷载等核心要求；方案初选结合影响因素，筛选3-5种适配的结构体系；指标评价采用定量与定性结合的方式，结合权重打分；优化决策针对评价中存在的短板，调整结构参数或替换方案；最终确定最优选型方案，为施工设计提供依据<sup>[3]</sup>。

## 2.4 不同工业场景下的选型实例分析

(1) 大型工业厂房选型实例：针对跨度60m以上的重型机械生产厂房，对比网架与桁架结构选型合理性。该厂房需承受大型设备集中荷载与吊车动荷载，网架结构以轴力为主，刚度大、承载力强，整体稳定性好，适配无柱化需求，且施工工艺成熟，虽用钢量略高，但运维

便捷；桁架结构跨越能力较强，但刚度不足，需增设支撑，影响设备布置，最终选型为网架结构，既满足生产需求，又保障结构安全。(2) 工业场馆选型实例：某重型设备展厅跨度80m，需满足大型设备展示、车辆通行及造型美观需求，选用悬索-膜结构杂交体系。该体系结合悬索结构的大跨越能力与膜结构的轻量化、造型灵活优势，无柱空间充足，可适配大型设备摆放与展示，且膜材透光性好，降低室内照明成本，施工工期短，适配展厅快速投用需求，其抗风性能经优化设计后，可抵御极端大风，充分体现选型的适配性与经济性。

## 3 工业建筑超大跨度空间结构稳定性分析方法

### 3.1 稳定性分析核心理论基础

(1) 屈曲理论：核心分为线性屈曲与非线性屈曲。线性屈曲基于小变形假设，忽略结构屈曲后的几何形状变化，仅计算临界荷载，适用于结构初始缺陷小、荷载作用平缓的工业场景，如中小型工业厂房网格结构初步分析，但局限性在于未考虑屈曲后的承载能力，无法反映结构实际失稳过程。非线性屈曲考虑大变形、材料塑性及几何形状变化，能精准模拟结构从受力到失稳的全过程，适用于跨度大、荷载复杂的工业建筑，如重型厂房杂交结构，但计算难度大、耗时较长。(2) 非线性分析理论：主要包括几何非线性、材料非线性及双重非线性。几何非线性由结构大变形导致，如张拉结构膜面变形、网格结构杆件弯曲；材料非线性指材料进入塑性阶段后力学性能变化，如钢材屈服后的强度衰减；双重非线性是二者的叠加，为工业建筑超大跨度结构的主要分析重点。结合工业动荷载、集中荷载的特点，需重点分析非线性效应对结构临界荷载、稳定性储备的影响，避免因荷载突变导致结构失稳。

### 3.2 常用稳定性分析方法

(1) 数值模拟分析方法：是目前工业建筑稳定性分析的主流方法，常用ANSYS、SAP2000等专业软件。通过构建与实际结构一致的有限元模型，模拟工业荷载、极端天气等作用下的结构响应，计算临界荷载、位移变形及应力分布，排查稳定性薄弱环节，可灵活调整结构参数进行优化分析，适配不同类型超大跨度结构的分析需求。(2) 试验分析方法：作为数值模拟的补充验证手段，主要包括缩尺模型试验与现场实测。缩尺模型试验按相似原理制作缩小比例模型，模拟实际荷载条件，观测结构失稳过程与临界荷载；现场实测通过在已建成结构上布置监测点，实时采集荷载、位移、应力数据，验证数值模拟结果的准确性，补充数值分析中未考虑的现场因素，提升分析可靠性<sup>[4]</sup>。(3) 理论计算方法：针对简

单结构体系,简化计算模型,通过力学推导得出临界荷载计算公式,为工程设计提供快速计算依据。该方法忽略次要影响因素,计算效率高,适用于结构初步设计阶段的稳定性估算,如网格结构局部杆件失稳的快速验算,但精度低于数值模拟与试验分析,需结合其他方法使用。

### 3.3 不同结构体系的稳定性分析重点

(1) 网格结构体系:稳定性分析重点为整体屈曲与局部杆件失稳风险。网格结构由大量杆件组成,易出现局部杆件受压失稳,进而引发整体屈曲,需重点验算杆件长细比、抗压承载力,同时优化节点连接方式,采用刚性节点替代柔性节点,增强节点刚度,减少节点位移,提升结构整体稳定性,适配工业厂房的集中荷载作用。(2) 张拉结构体系:核心聚焦索体松弛、膜面失稳、支座滑移三大问题。索体预张拉不足易导致松弛,膜面在风荷载作用下易出现颤振、失稳,支座滑移会直接影响结构受力平衡,因此分析需重点关注预张拉工艺参数对稳定性的影响,优化索体张力控制与膜面固定方式,加强支座约束,避免因局部失稳引发整体结构破坏。(3) 杂交结构体系:重点分析不同结构单元的协同工作特性,排查界面连接部位的稳定性薄弱环节。杂交结构由多种结构形式组合而成,不同单元的受力模式、刚度差异较大,界面连接部位易出现应力集中、位移不协调,需重点验算连接节点的承载力与刚度,确保各结构单元协同受力,避免因局部连接失效导致整体结构失稳<sup>[5]</sup>。

### 3.4 稳定性影响因素及优化措施

(1) 主要影响因素:几何缺陷会降低结构临界荷载,如杆件安装偏差、结构初始变形;材料性能不足,如钢材强度不达标、膜材老化,会削弱结构承载力;荷载分布不均、动荷载反复作用,会加剧结构非线性变形;节点

构造不合理、施工偏差过大,会导致结构受力失衡,均会不同程度影响结构稳定性,需重点分析各类因素的影响机制。(2) 优化措施:通过结构参数优化,调整杆件截面尺寸、索体张力等,提升结构刚度与承载力;加强节点构造设计,采用高强度连接节点,减少节点位移;严格控制预张拉工艺,确保索体、膜面张力均匀稳定;强化施工精度控制,减少几何缺陷与施工偏差,同时定期对结构进行维护检修,及时处理材料老化、节点松动等问题,全面提升结构整体稳定性。

### 结束语

本文全面完成工业建筑超大跨度空间结构体系选型与稳定性分析,明确了各类结构体系的适配场景,建立了兼顾安全、经济与适用的选型体系,提出了针对性的稳定性优化措施,结合工程实例验证了研究成果的实用性。研究虽取得一定成效,但在极端荷载下的结构响应的精细化分析仍有提升空间,后续可结合新型材料与数字化技术深化研究,为工业建筑超大跨度结构工程实践提供更全面的支撑。

### 参考文献

- [1]邢甲.综合体建筑中大跨度空间钢结构施工关键技术[J].中国建筑装饰装修,2023,18(10):162-164.
- [2]马雷.房屋建筑中大跨度空间钢结构的运用[J].新型工业化,2022,12(02):84-88.
- [3]陈东琳.大跨空间结构与基础协同优化设计方法[J].空间结构,2024,30(2):61-69.
- [4]刘松.大跨度钢结构厂房设计中节点连接方式的优化研究[J].工程建设与设计,2023,8(21):38-40.
- [5]王俊辉.大跨度网架钢结构设计方案与优化研究[J].建筑技术开发,2024,51(11):18-20.