

工业厂房结构优化驱动成本管控的深度剖析与实践

孟祥海 朱顺田

山东海化集团有限公司 山东 潍坊 262737

摘要：工业厂房作为工业生产的重要载体，其结构设计优化与建设成本管控紧密关联。本文结合工程实例，系统剖析了工业厂房结构优化在成本管控中的应用价值，分析了结构设计优化与成本管控的内在联系，并从结构布置、材料选择、施工技术等方面探讨了具体优化路径研究结果可为工业厂房建设领域的成本管控提供理论指导和实践参考。

关键词：工业厂房；结构优化；成本管控；全生命周期

引言

研究表明，可在保证安全性、功能性的前提下，通过科学合理的结构优化，可显著降低建设与运营全周期成本，提升工业厂房的经济价值。要实现工业厂房结构优化与成本管控的有机结合，需要从多个技术路径入手，系统考虑结构设计的各个方面。结合工程实践，以下几个技术路径已被证明在工业厂房结构优化中具有显著效果。

1 结构设计优化与成本管控的关联性

结构与成本管控之间存在深度耦合关系。据统计，项目前期 5%~10%的投入，可影响整体成本控制的 80%。其中勘察设计费用占项目总投资的3%左右，却能左右75%以上的工程造价，而结构成本在土建成本中占比高达40%~60%，其优化空间直接决定成本管控成效。

结构设计优化与成本管控的协同需要综合多方面因素。不同设计因素对成本的影响呈现差异化特征，具体如下表（1）所示：

表（1）设计因素-成本影响表

设计因素	对建造成本的影响	对运营成本的影响
柱网布局	柱距增大导致单位用钢量增加	影响空间利用率及物流效率
结构选型	不同结构体系造价差异显著	影响维护改造难易度及成本
材料选择	高强度材料可减少用量但单价高	影响维护周期及更换成本
预制装配率	减少现场作业时间但增加运输成本	降低后期改造难度

综上，结构设计优化与成本管控之间存在高度关联性。工业厂房建设过程，需要立足全生命周期视角，将成本管控理念融入结构设计全过程，实现安全功能与经济的协调统一^[1]。

2 工业厂房结构优化的关键技术路径

实现工业厂房结构优化与成本管控的有机结合，需从多维度构建技术体系。结合工程实践，以下技术路径

在工业厂房结构优化中具有显著效果。

2.1 结构布置与体系优化

结构布置是工业厂房设计的基础环节，合理方案可降低材料消耗并提高空间利用率。优化需优先考虑生产工艺流程和设备布局，确定合理的结构轴网尺寸。这里需特别注意柱距对整体用钢量的影响--柱距越大，单位用钢量越高，需根据工艺需求平衡经济性与功能性。

结构体系应根据厂房的跨度、高度和荷载要求选择。大跨度厂房采用实腹式变截面梁做屋面受力构件可以获得良好的经济效益；有重型吊车的厂房则需要加强吊车梁和支撑系统的设计，确保结构安全。同时结构布置还应充分考虑地震、风荷载等自然，此类荷载对柱顶位移影响显著，需确保荷载传递与抵抗设计的合理性。

2.2 材料选择与高性能材料应用

在材料选择优化中需要综合考量力学性能、可获得性以及环境影响等因素。新型建材的应用可进一步优化成本。不同材料的优化方向如下表（2）所示：

表（2）材料类型优化方向表

材料类型	经济性考量	性能要求	优化方向
结构钢材	价格波动、运输成本	强度、韧性、可焊性	按应力状态选用合适强度等级
围护材料	初始投资与维护成本	耐久性、保温性能	综合评估全生命周期成本
防火材料	施工便捷性与成本	耐火极限、环保性	根据不同区域的防火需求选择
隔热材料	材料成本与节能效益	导热系数、使用寿命	结合当地气候条件选择

2.3 基础结构优化的应用分析

基础结构优化需在保障安全的前提下，通过精细计算与方案比选，实现技术可行性与经济合理性的统一。重点从基础选型、荷载分析、抗震与整体性设计、材料选择与成本控制、与生产工艺的协调等维度进行优化^[2]。

工程案例：某工业项目1F仓库，建筑面积为3060m²，基础荷载3000kN，原设计根据地勘报告，采用DN600泥

浆护壁灌注桩基础，以5层粉砂层作为持力层，基础设计等级丙级，设计桩长17m，桩数量148根，单桩竖向承载力特征值700kN，桩顶标高-2.500m。

根据地勘报告，采用天然地基需以二层粉细砂为基础持力层，基础埋深2m（基底标高约2.5m）时，基底位于①层素填土上。如采用独立基础，应将基础下沉至②层粉细砂（基底标高0.5m），以②层粉细砂（承载力特征值130kPa）为基础持力层，按基础尺寸2.8m*2.8m估算，基底压力为127.6kPa。经计算天然地基满足设计要求。

独立基础基底绝对标高约为1.000m需开挖3.5m深基坑，比原基础多开挖1m深度且地下水位较高需换填深度为0.5m，通过结构验算，需排布独立基础50个，采用连梁进行连接。具体方案①与方案②对比如下：

采用原桩基方案基础造价为：

桩基： $118*17m*800元/m = 160.48$ 万元；

连续梁桩承台： $118m^3*1100元/m^3 = 12.98$ 万元；

土方工程： $8235*10元/m^3 = 8.25$ 万元；合计181.71万元。

采用独立基础方案基础造价为：

独立基础 = $(291*0.6*0.4+50*3.5)*1200元/m^3 = 29.38$ 万元；

土方换填 = $3060*0.5*220元/m^3 = 33.66$ 万元；

土方工程 = $11529*10元/m^3 = 11.53$ 万元；合计74.57万元。

通过计算，基础结构优化后节约造价107.14万元，充分证明基础形式选择对造价的显著影响。

2.4 混凝土结构优化的应用分析

混凝土结构优化需从设计源头把控合理性、安全性与经济性，核心优化方向包括：

结构体系与布置选择：根据建筑功能、荷载条件和抗震要求，选择适配结构体系，合理布置构建能有效传递荷载，避免应力集中，并提高空间利用率。如对于大跨度工业厂房，采用实腹式变截面屋面梁可取得较好的经济效果。

构件尺寸与形状优化：基于精确荷载计算和结构分析（如有限元法），对梁板柱等构件的截面尺寸和形状进行优化。在满足承载力和变形要求前提下，通过拓扑优化技术实现材料高效分布，减少材料用量并降低结构自重。节点设计时使其满足“强节点、弱构件”的原则，是提升装配式结构安全性的核心。

材料选择与高性能应用：采用高强度混凝土可以减少构件截面尺寸，增加使用空间；纤维增强混凝土能显著提高混凝土抗裂性、韧性和抗冲击性能；高强度钢筋

可减少配筋量，在易开裂区域采用细直径、密间距的配筋方式，能有效控制裂缝宽度。

工程案例：某项目车间主体结构面积约2740.5m²，原设计梁布置方案存在优化空间。优化措施为：无开洞或特殊功能区处调整为单次梁布置，使受力更合理，减少钢材与混凝土用量。

优化费用核算如下：

① 梁板配筋：每平约减少2.75kg，钢筋价格5000元/吨，节省3.76万元；

② 梁板混凝土：每平约减少0.024m³，C40砼价格500元/m³，节省3.3万元；

③ 板配筋：双层双向Φ10@200优化为Φ8@200，每平节约2.22kg，钢筋5000元/吨，节省3.04万元。

通过计算，优化布置总计约节省10.10万元，单方造价降低36.8元/m²。

3 成本管控的结构优化实施策略

工业厂房结构优化的有效实施，需依托系统化策略与方法，以确保优化措施科学可行。基于成功的工程实践，以下策略在工业厂房结构优化的成本管控中具有重要价值。

3.1 全生命周期成本管控理念

结构优化应树立全生命周期成本管控理念，综合考虑从规划、设计、施工、运营到拆除的全生命周期总成本。这一理念要求在设计阶段就预见厂房未来可能的功能变更、设备更新和维护需求，并在设计中预留必要的灵活性和可扩展性。

在具体实践中，材料选择时不仅要考虑材料的初始价格，还要评估其耐久性、维护需求和更换周期。例如在结构设计中加入如保温隔热、自然采光等节能环保元素，虽可能增加少量初始投资但能够显著降低长期运营能耗成本。研究表明，工业厂房的运营和维护成本通常远高于初始建造成本^[3]。

3.2 数字化技术赋能设计优化

数字化技术是结构优化的重要工具，BIM、有限元分析、结构优化算法等技术的应用，使工程师能够更精确地预测结构性能与最优方案筛选。

BIM技术通过构建包含丰富参数信息的三维模型，实现了设计信息的集成化和可视化，有助于发现设计中冲突和不合理之处，减少设计变更和施工返工。设计中可通过模拟不同结构方案表现进行多方案对比。同时通过与成本数据库关联，实现设计阶段实时成本反馈，辅助设计师兼顾技术与成本决策。

有限元分析等结构计算软件则能精确模拟结构在各

种荷载条件下的响应，助力优化构件尺寸和布置，避免过度设计或设计不足。通过3D3S等软件校核优化，可获得经济合理的结构模型，最大限度减少材料用量、降低成本。此外基于大数据和人工智能的结构优化算法，可探索海量设计可能性，为优化提供新的思路。

3.3 价值工程分析的应用

价值工程分析是优化工业厂房结构成本效益的重要工具。通过系统分析建筑各部分的功能和成本，寻求以最低的全生命周期成本实现必要功能的方法。应用价值工程分析可精准识别必要功能与冗余功能，通过功能简化或替代实现成本合理配置。

价值工程分析通常包括：信息收集（明确主次功能）→功能分析（确定价值系数）→方案创新（提出替代方案）→方案评估（选择价值系数最高方案）。例如，在钢结构设计中通过价值工程分析可能会发现，在某些低风险区域可以适当降低结构的安全系数，而不影响整体安全性；或者在某些辅助区域可以采用更经济的围护材料。这些优化措施虽微小，但累积起来可产生显著的经济效益。

4 结语

工业厂房结构优化并非单纯追求成本削减，而是通过科学设计实现资源高效配置。从基础形式的方案比选到高性能材料的合理应用，从BIM技术的数字化模拟到全生命周期的成本考量，每一项优化措施都需建立在精准计算与工程实际基础上。未来，随着数字化技术深度应用与新型建材的持续创新，工业厂房结构优化将朝着更智能、更绿色、更经济的方向发展，为工业项目全生命周期价值提升注入持续动力。行业从业者需持续深化结构优化理念，将技术创新与成本管控深度融合，推动工业厂房建设向高质量、低成本、可持续的目标迈进。

参考文献

- [1]刘锡良.钢结构设计标准应用指南 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2021.[5]
- [2]张其林.建筑信息模型 (BIM) 在钢结构工程中的应用.《建筑结构学报》，2019, 40 (S1): 28-34.
- [3]俞国凤.工业厂房结构优化设计与成本控制研究.《工业建筑》，2022, 52 (03): 156-160.