

建筑工程设计中的结构优化设计分析

文 / 丁李萍 黄山市齐云建筑设计院有限公司

摘要：随着建筑行业对结构安全性、功能性和经济性的要求日益提高，建筑工程设计的重要性也在逐渐提升。为优化建筑工程结构，满足使用需求，提高工程项目的经济效益，本文首先分析了建筑工程设计中结构优化的必要性，提出了优化设计不仅需要保证建筑的安全和功能，还要注重资源的合理利用。其次阐述了建筑工程结构优化的基本原则，最后分析了建筑工程结构设计优化的具体方法，实现了在保证安全和功能的基础上，最大限度地减少了材料使用和施工成本，同时提高了设计的实施可行性，以此为相关人员提供实践参考。

关键词：建筑工程；结构设计；材料选择；结构尺寸；荷载

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.12.110

引言

建筑结构优化设计是在满足建筑功能和使用要求的前提下，通过合理的方法和手段，提高建筑结构的效率、稳定性、安全性和经济性。随着现代建筑形式的多样化和对建筑功能要求的日益复杂，如何在保证建筑安全性、稳定性和使用功能的前提下，减少材料浪费、降低施工成本、缩短施工周期，是建筑设计领域的核心。目前建筑工程的结构优化设计已不再局限于传统的力学分析，而是融入了更为复杂的多学科、多目标优化思想，因此，探讨如何对建筑工程设计进行结构优化具有较强的理论价值和现实意义。

一、建筑工程设计中结构优化的必要性

随着社会对于建筑要求的不断提高和技术的发展，建筑项目的规模和复杂性日益增加，传统设计方法无法满足现代建筑对于安全、功能、经济性及可持续性等多方面的要求^[1]。

传统设计理念主要依赖于经验，忽视现代工程中对于节能、环境保护和材料高效利用的迫切需求。但当前在可持续发展和绿色建筑的大背景下，建筑工程不仅应具备基本的结构安全性和耐久性，还应最大限度地减少对环境的负面影响。而结构优化设计的核心目标就是通过科学的计算和分析，合理配置建筑材料和构件尺寸，优化受力和荷载分布，降低材料消耗和施工难度，达到资源节约、环保和成本控制的目的^[2]。

二、建筑工程设计中的结构优化设计策略

（一）工程概况

某高层住宅项目位于城市中心，建筑总面积约为50,000m²，包含两栋20层的住宅楼，整体采用钢筋混凝土框架结构，预计容纳800户居民。周边配套设施齐全，包括学校、商场和公共交通站点，使得居民生活便利。设计阶段考虑到区域内土地资源紧张及施工难度大等因素，结构优化成为项目的重要目标。初步预算显示，整个工程造价约为1.5亿元人民币，其中材料费用占比达到60%。

（二）材料选择与材料优化

建筑材料不仅影响结构的强度和刚度，还直接决定了施工难度、维护成本以及建筑的长期表现^[3]。

材料选择主要考虑材料性能、生命周期成本以及环境影响等多个因素。如果是高层建筑，钢材的使用和选

择比较关键。例如，项目需要承受风荷载和地震作用。对比不同类型钢材的抗拉强度，选用屈服强度达到355 MPa的Q345B型钢，Q345B钢材在相同截面下能承受更大的荷载，这便在一定程度上减少了整体结构自重（相关性能及化学成分参数如表1）。相较于普通建筑用钢（如Q235，其屈服强度为235 MPa），使用Q345B型钢可以使得柱子截面减小约20%，降低了材料消耗和施工难度。住宅项目多为混凝土与钢筋组合应用，以C30混凝土为例（其抗压强度为30 MPa），与HRB400级钢筋（屈服强度400 MPa）搭配，不仅能够有效提升结构的承载能力，还能实现成本降低。同时为避免过度设计应逐一分析各构件，确保每个构件都能在安全系数范围内满足设计要求。

表1 Q345B型钢力学性能及化学成分

参数	值
抗拉强度	490-600MPa
屈服强度	345MPa
延伸率	≤ 21%
硬度 (HB)	≤ 210HB
密度	7.85g/cm ³
化学成分 (C)	≤ 0.20%
化学成分 (Si)	≤ 0.55%
化学成分 (Mn)	1.00-1.60%
化学成分 (S)	≤ 0.035%
化学成分 (P)	≤ 0.035%

（三）结构尺寸与形态优化

建筑的结构尺寸与形态优化是实现高效、经济和可持续建筑的重点^[4]。合理调整构件的尺寸和整体形态，能够满足强度和稳定性要求，同时最大程度减少材料使用。

多数项目主要承受竖向荷载与风荷载，那么初步设计阶段则应计算各层的荷载。初步计算发现本项目最上层的梁跨度为6m，厚度设定为300mm，但重新评估实际荷载，使用有限元分析软件（如ANSYS），得出该梁在此条件下可以安全缩减至250mm厚。调整后每根梁的混凝土用量从0.54m³降至0.45m³，整个楼层共计节省了约2.7m³混凝土，每立方米500元计算，该部分便能够节省

成本达 1350 元。同时还可以对比不同截面形式，如将部分梁体的原先矩形截面改为 T 型截面后抗弯刚度显著提升（如图 1），进一步减小了梁的高度。采用 ANSYS 软件对 T 型截面建模分析后发现符合设计标准，未因减少混凝土用量降低其称重能力（T 型截面有限元模型如图 2）。

在形态优化与受力分析主要采用核心筒结构增强高层建筑抗侧力能力，集中垂直荷载，使得建筑物在风荷载作用下具有更好的稳定性。依据经验，模拟测试中的这种结构形式相比传统框架结构能够减少约 30% 的横向位移，同时总材料消耗降低 15%。可以引入公式描述风荷载对建筑物横向位移的影响：

$$\Delta x = \frac{F_w}{k} \quad (1)$$

公式 (1) 中 Δ 表示建筑物因风荷载造成的横向位移（单位：m）， F_w 表示作用在建筑物上的风荷载（单位：N）， k 则是建筑物的刚度（单位：N/m）。通过此公式，可以发现随着风荷载 F_w 的增加，若刚度 k 不变，则横向位移 Δx 将会增大。而核心筒结构由于其较高的刚度特性，相同风荷载下所产生的横向位移明显低于传统框架结构。而且根据模拟的模型分析各个支撑节点上的受力情况能够确定最佳的柱子数量及位置，避免冗余设置。

为满足本项目的大跨度空间需求，采用拓扑优化算法深入主梁，初始设计的主梁宽度设定为 0.6m，高度为 0.5m，高度为 0.5m。根据公式主梁的重量计算如下：

$$W = V \times \rho = b \times h \times L \times \rho \quad (2)$$

公式 (2) 中的梁的长度为 L （单位：m），高度为 h （单位：m），材料密度为 ρ （单位： kg/m^3 ），主梁的体积 V ，主梁的重量为 W （单位：kg）。材料密度取值约为 $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，将相关数据代入公式则有 $W=0.6 \times 0.5 \times 10 \times 2500 \text{ kg}/\text{m}^3=7500 \text{ kg}=7.5 \text{ t}$ 。经过拓扑优化后，将宽度缩减至 450mm，即 0.45m，重新计算此时的重量： $W=0.45 \times 0.5 \times 10 \times 2500 \text{ kg}/\text{m}^3=5625 \text{ kg}=5.625 \text{ t}$ ，从上述计算可以发现每根主梁在优化后的重量从 7.5t 降低到 5.625t，差值为 1.875t，总体重量下降约 25%（ $1.875/7.5$ ）。相应地减轻了基础设施负担。这一过程减少了施工成本，为实现大跨度空间需求提供了一种高效且经济的解决方案。确保结构既满足功能性要求，又能在资源利用上做到最优配置。

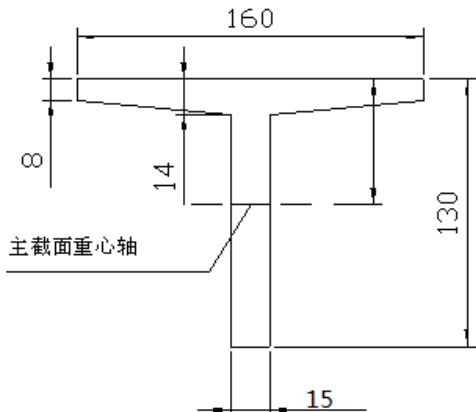


图 1 部分 T 形梁截面

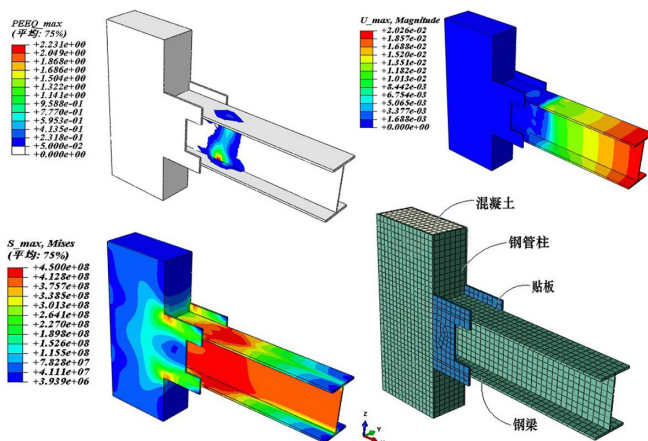


图 2 T 形截面模型

(四) 荷载与受力优化

建筑物在其使用过程中将承受竖向荷载、风荷载、雪荷载及地震荷载等多种荷载，精确的荷载分析和合理的受力分配，能够提高结构的安全性和稳定性并降低材料成本。

本项目建筑位于风速较大的地区，基本风压为 $0.45 \text{ kN}/\text{m}^2$ ，结合建筑高度（50m），利用公式动态计算：

$$q = 0.5 \rho v^2 \quad (4)$$

公式 (3) 中的 q 为荷载，单位为 kN ； ρ 为空气密度，取值为 $1.225 \text{ kg}/\text{m}^3$ ； v 为风速，取值为 $30 \text{ m}/\text{s}$ 。经过计算可得到每层楼面所承受的风力，以确定支撑点和梁柱位置。同时使用有限元分析软件（如 SAP2000）建立模型，模拟整个结构进行模拟（框架模型如图 3），并设置不同构件的材料属性及几何参数，施加已知的静态和动态荷载来观察各个构件上的应力变化。某特定节点上发现当最大竖向集中荷载达到 200 kN 时，某根主梁上的最大弯矩可达 30 kNm ，而其抗弯强度为 40 kNm ，表明该梁能够安全承受此负载，但进一步优化可以减少材料浪费。将该主梁厚度从 300 mm 调整至 250 mm 后，再次进行应力测试，结果显示其仍能满足强度要求。

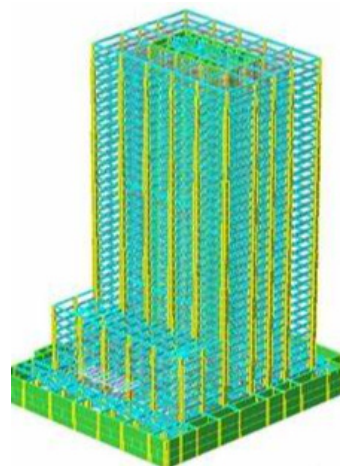


图 3 建筑有限元模拟模型

(五) 节能设计优化

设计优化是应对能源消耗和环境影响的核心^[5]。建筑物的运营阶段往往占据了其生命周期内能耗的绝大部

分，所以合理的结构设计，能够降低建筑物能耗，减少对自然资源的依赖。

本项目为提高外墙的保温性能选用厚度为100mm的聚苯乙烯泡沫（EPS）作为外墙保温材料（整体结构如图4）。根据《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015，EPS材料具有导热系数约为0.035 W/(m·K)。本项目住宅外墙面积为2000m²，冬季室内温度设定为20℃，而室外最低温度为-5℃，根据热传导公式计算出热损失Q：

$$Q = \frac{A \cdot k \cdot \Delta T}{d} \quad (2)$$

公式（2）中的A为外墙面积，k为导热系数，ΔT为温差，d为保温层厚度。代入数据后得到：

$$Q = \frac{2000\text{m}^2 \times 0.035\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \times (20 - (-5))}{0.1\text{m}} = 21000\text{W}$$

说明没有保温层时，每小时将有21kW的热量通过外墙流失。采用100mm保温层后Q显著降低，说明保温系统能够减少供暖系统所提供的能量。

窗户设计则采用低辐射（Low-E）玻璃提高窗户的隔热性能。以某部分为例，共设有500m²的大型窗户，其U值（传热系数）从普通双玻璃窗（约3.0 W/(m²·K)）降低到低辐射玻璃（约1.2W/(m²·K)）。如果冬季室内与室外存在15℃的温差，则每平方米窗户每小时产生的热损失可计算为9000W（1.2×500×15），由此可见采用低辐射玻璃能够提升采光效果，降低空调及供暖系统负荷，实现节能。

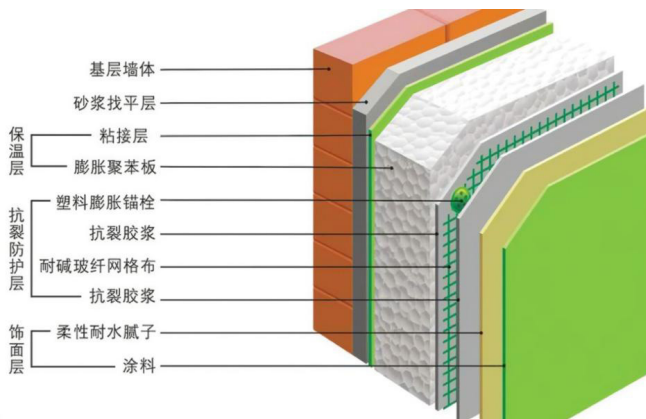


图4 保温层结构

（六）舒适性及美观性优化

舒适性和美观性优化是提升居住体验的重要环节。本项目舒适性优化采取了自然采光与通风的设计策略。根据建筑物朝向及周边环境，在南北方向设置大面积窗户，最大化引入自然光。南向窗户的面积占到墙面总面积的40%，而北向窗户则控制在20%以内，并在每层楼设置对流窗户，降低室内二氧化碳浓度。

噪声控制选用了高性能隔声材料。外墙和屋顶使用厚度为15cm的复合墙体，其阻挡外部交通噪声，使得室内环境更加宁静。在住宅内部采用双层玻璃窗，降低来自邻近房间或走廊的噪声干扰。

美观性的优化则主要体现在建筑外立面的设计。外

立面采用现代简约风格，合理搭配不同材质与色彩，使得整体视觉效果协调统一。外立面使用60%的玻璃幕墙与40%的铝板装饰相结合，并在每层楼设置深度为1.5m阳台，配备绿植，使整体立面呈现出层次分明、富有生机的效果。

为阻止地面水分向墙体渗透，避免后续居住中出现墙体返潮影响装修效果。具体而言，墙体底部设置一道厚度为2cm的防水砂浆防潮层，该层与各层地面平行，形成坚固的屏障，外立面使用水泥砂浆勾缝处理。并在外墙表面涂刷两道热沥青，形成连续且无缝隙的保护膜，抵御外部潮气及雨水的侵入（整体结构如图5）。

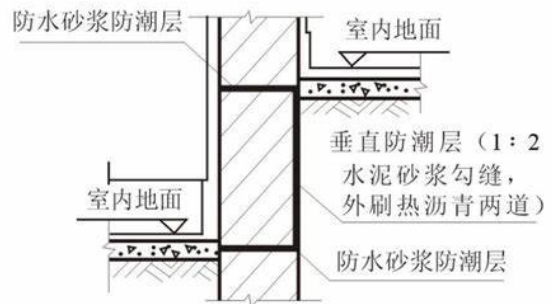


图3.12 墙身垂直防潮层

图5 防潮结构

结语

综上所述，本文系统性分析了建筑工程设计中的结构优化设计方法。以功能优先、最小材料消耗和施工可行性三大原则为基础，探讨了如何通过这些原则指导结构设计优化，通过采取以上技术与措施进行处理，取得了良好的效果，不仅能够提升建筑结构的经济性和安全性，还能够优化施工过程中的资源利用效率和时间管理。相关人员未来应不断推陈出新，积极探索新型建筑材料和先进的设计计算方法，并结合最新的工程技术优化建筑结构，推动建筑行业向更加智能化、绿色化的方向发展。

参考文献

- [1] 马晓映. 建筑结构设计优化方法在房屋结构设计中的应用[J]. 石材, 2024, (12): 28-30.
- [2] 王智. 基于房屋住宅建筑工程中钢结构设计的现状与优化措施[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (32): 202-204.
- [3] 陆少云. 基于工程造价控制的钢筋砼建筑结构优化设计[J]. 中国住宅设施, 2024, (10): 22-24.
- [4] 王波. 探究结构优化设计在建筑工程设计中的意义和应用[J]. 陶瓷, 2023, (12): 219-221.
- [5] 石建权. 建筑工程结构设计中工程造价的影响因素及优化措施[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (32): 28-30.

作者简介：丁李萍，1976年2月，男，汉族，安徽省休宁县，本科，工程师，研究方向：建筑工程方向。