

基于土木工程建筑结构设计优化分析

汪春梅

宁夏天元锰业集团有限公司 宁夏 中卫 755000

摘要：随着土木工程向复杂化、智能化发展，传统结构设计方法在应对多目标需求时逐渐显现局限性。本文明确了优化核心目标，剖析了传统设计在经验依赖、单目标导向等方面的局限性。阐述了现代优化算法、BIM技术、新型材料与结构体系等优化创新手段，结合绿色建筑与灾害韧性需求提出多维优化策略。结构优化正朝着人工智能融合、多学科协同、全生命周期可持续化方向发展，为行业技术革新提供理论与实践参考。

关键词：土木工程；建筑结构设计；优化

引言：建筑结构设计优化作为提升工程综合效益的关键手段，需突破经验范式与单目标约束，整合数字化技术与新型材料体系。本文立足工程实践，从理论基础、技术优化创新、应用策略三个维度，系统探讨结构优化的目标体系、传统方法缺陷及创新解决方案，旨在为现代建筑结构设计提供科学的优化路径与发展思路。

1 土木工程建筑结构设计优化的目标

土木工程建筑结构设计优化旨在通过科学方法与技术手段，实现工程效益最大化。主要包含以下目标：

（1）保障结构安全性与可靠性。优化设计通过精准分析结构受力特性，合理配置材料与构件，提升建筑抵御自然灾害（如地震、台风）及意外荷载的能力。利用抗震优化设计，可调整建筑的刚度分布，避免薄弱层出现，降低灾害损失风险，确保建筑全生命周期内的安全可靠。（2）提升结构经济性。通过优化结构选型、材料用量和施工方案，降低工程成本。采用拓扑优化技术，可在满足力学性能前提下，减少冗余材料，实现轻量化设计；对比分析不同结构体系（如框架结构与剪力墙结构）的造价差异，选择最经济方案，从而有效控制工程造价，提升项目经济效益。（3）增强结构功能性与适用性。根据建筑使用需求优化空间布局与结构性能。大跨度建筑通过优化桁架、网架结构设计，实现无柱大空间，满足会展中心、体育馆等功能需求；高层结构通过优化核心筒与框架布置，提高空间利用率，增强建筑的实用性与舒适性。（4）推动绿色可持续发展。优化设计强调环保与资源节约。采用可再生、低碳材料（如再生混凝土、竹钢），优化结构耐久性设计，延长建筑使用寿命；结合节能设计理念，通过优化围护结构热工性能，降低建筑运营阶段能耗，助力实现“双碳”目标^[1]。

2 传统结构设计方法的局限性

2.1 依赖经验与规范

传统设计高度依赖工程师的经验积累和设计规范，多采用类比法与试算法。设计过程中，工程师常参照既有案例与规范参数，这种模式虽能保障基本安全性，但容易陷入定式思维，难以突破固有结构形式，限制新型结构体系与创新材料的应用。如在超高层建筑设计中，传统方法可能因经验局限，错过更优的结构选型，影响建筑性能。

2.2 单目标优化

传统设计通常以单一目标（如安全性或经济性）为导向，难以平衡多目标需求。如仅追求结构安全，可能导致材料过度使用，增加建造成本；单纯降低成本，则可能削弱结构耐久性与功能性。在复杂工程中，这种顾此失彼的设计方式，无法满足现代建筑对安全、经济、环保等多维度的要求。

2.3 分析手段有限

传统设计多采用简化计算模型，如手算、二维平面分析，难以模拟结构在复杂工况下的真实受力状态。如在不规则建筑或大跨度空间结构设计中，传统方法难以准确分析结构的空间受力特性、动力响应及非线性行为，导致设计结果与实际性能存在偏差，影响结构可靠性与稳定性。

2.4 忽视全生命周期

传统设计侧重于满足建筑施工与初期使用需求，对建筑全生命周期内的环境变化、功能改造、维护成本等考虑不足。随着建筑服役年限增长，结构性能退化、功能需求变更等问题逐渐凸显，传统设计难以提供动态适应性方案，增加了建筑全生命周期的成本与风险^[2]。

3 结构设计优化的创新技术与策略

3.1 现代优化算法在结构设计中的应用

以下现代优化算法依托数学理论与仿生学原理，通过迭代搜索机制突破传统设计的局限性，已成为解决复

杂结构优化问题的核心工具。(1) 遗传算法。将结构设计参数编码为基因序列,通过选择、交叉、变异操作模拟生物进化过程。该算法通过构建适应度函数量化设计方案优劣,在处理高层建筑结构构件尺寸优化、大跨度桥梁材料分配等问题时,能够在多维参数空间中高效搜索全局最优解,有效避免因局部最优导致的设计缺陷。

(2) 粒子群算法。以群体智能为基础,将设计变量抽象为粒子位置,通过粒子间信息共享与速度更新实现全局寻优。在结构拓扑优化领域,粒子群算法可快速确定材料在空间中的最佳分布形态,尤其适用于复杂体型建筑或机械结构的轻量化设计。通过引入惯性权重、学习因子等参数调节机制,算法可平衡全局探索与局部开发能力,提升优化效率与精度。(3) 蚁群算法。基于蚂蚁觅食时的信息素交流机制,通过构建概率转移模型解决组合优化问题。在大型土木工程材料运输路径规划、预制构件吊装顺序优化中,该算法通过模拟信息素的挥发与积累过程,动态调整搜索策略,最终获得最优路径或施工流程。其分布式计算特性使其在处理大规模、动态性问题时具备显著优势。(4) 模拟退火算法。借鉴固体退火的物理过程,通过控制“温度”参数调节搜索策略。在结构动力学优化与振动控制设计中,算法从高温状态下的全局随机搜索逐步过渡到低温状态下的局部精细搜索,避免陷入局部最优解。结合有限元分析软件,模拟退火算法可有效优化隔震支座布置、减震装置参数等设计变量,提升结构在动力荷载下的响应性能。

3.2 基于BIM技术的结构协同设计与优化

建筑信息模型(BIM)技术以三维数字化模型为核心,整合建筑全生命周期的几何、物理与功能信息,构建起多专业协同设计与优化的数字化平台,具体如下:

(1) 在设计初期,BIM技术通过参数化建模实现结构与建筑、机电等专业的实时协同。结构工程师可基于建筑模型快速调整梁柱尺寸、优化节点构造,同时联动更新建筑空间布局与管线综合方案,避免传统二维设计中常见的专业碰撞问题。(2) 在性能分析阶段,BIM模型可无缝对接ETABS、SAP2000等结构分析软件,通过导入荷载工况、材料属性等参数,实现结构力学性能的精细化模拟。工程师可利用BIM的可视化特性,直观分析结构应力分布、变形趋势,通过参数化调整构件截面、支撑体系等设计要素,快速比选多套设计方案。(3) BIM技术在施工阶段的优化。通过4D施工模拟,将时间维度与三维模型结合,可动态推演施工进度,优化塔吊布置、模板支撑方案等关键环节。针对装配式建筑,BIM可实现预制构件的精准设计与生产管控,通过优化构件拆分、

连接节点构造,减少现场安装误差,提升施工效率。

3.3 新型材料与结构体系对设计优化的推动

新型材料与结构体系的创新发展为结构设计优化提供了全新技术路径,主要体现在以下方面:(1) 高性能混凝土(HPC)通过优化配合比与添加剂技术,实现强度、耐久性与工作性能的协同提升。在超高层建筑核心筒设计中,HPC可将构件截面尺寸减小20%-30%,显著增加建筑使用面积;在跨海桥梁工程中,其优异的抗氯离子渗透性能可延长结构服役寿命30年以上。纤维增强复合材料(FRP)以其轻质高强、耐腐蚀特性,成为海洋工程、旧桥加固等领域的理想材料。通过优化纤维铺层角度与层数,可使FRP构件的抗拉强度达到钢材的2-3倍,同时降低结构自重,减少基础工程成本。(2) 结构体系创新。装配式建筑通过标准化构件设计与工厂化生产,实现建筑工业化转型。优化设计需综合考虑构件运输尺寸限制、吊装设备能力等因素,通过模块化设计减少构件种类,提升生产效率。在连接节点设计中,采用预应力连接、灌浆套筒等新型技术,可确保结构整体性与抗震性能。大跨度空间结构如索膜结构、空间网格结构,通过形态优化实现力学性能与建筑美学的统一。例如,索膜结构通过找形分析确定最优曲面形态,使结构以最小材料用量承受荷载;空间网格结构通过优化杆件布置与节点形式,实现跨度突破与结构轻量化,广泛应用于体育馆、机场航站楼等标志性建筑^[3]。

3.4 绿色建筑理念下的结构节能优化

在“双碳”目标驱动下,绿色建筑理念成为结构设计优化的核心导向。围护结构节能优化通过材料创新与构造改良降低建筑能耗。新型保温材料如真空绝热板、气凝胶毡,其导热系数仅为传统保温材料的1/3-1/5,在墙体、屋面应用中可显著提升保温性能;Low-E玻璃通过镀膜技术减少热辐射传递,结合中空玻璃构造,可使门窗传热系数降低40%以上。在构造设计方面,采用呼吸式幕墙、双层表皮等技术,通过空气间层的热缓冲作用,减少室内外热量交换。

结构自身设计优化从空间布局与构件选型着手提升节能效果。通过建筑体型系数优化,减少外立面散热面积;合理设置天井、通风廊道,利用热压通风原理实现自然通风,降低空调使用频率。在构件选型上,采用高效能结构体系减少材料用量,如钢结构自重轻、施工快,可降低基础荷载与运输能耗;木结构具有可再生、低碳特性,在低层建筑中广泛应用。此外,结构设计与可再生能源系统深度融合,通过预留光伏板安装支架、风力发电设备基座等措施,实现建筑能源自给。

3.5 极端荷载与灾害韧性视角的结构优化

面对频发的极端灾害,结构设计需从传统安全性目标向韧性设计转型。抗震优化通过多尺度策略提升结构延性与耗能能力。在宏观层面,优化结构体系选型,采用框架-剪力墙、隔震层等复合体系,避免结构刚度突变;在微观层面,通过配置耗能梁段、金属阻尼器等构件,将地震能量转化为热能耗散。如在高烈度地震区,隔震技术可将结构地震响应降低50%-70%,保障建筑功能持续运行。

防风设计聚焦于建筑体型优化与风环境控制。通过CFD数值模拟优化建筑立面造型,减少涡流与风荷载;在超高层建筑中设置气动措施(如开洞、锯齿形立面),降低风致振动效应。加强围护结构连接构造,采用抗风压门窗、防坠落玻璃等材料,防止风灾次生灾害。防洪设计则从基础标高确定、防水构造优化、结构可恢复性设计三方面展开。通过提高基础埋深、设置防水隔层等措施抵御洪水浸泡;采用模块化、可拆卸结构设计,在洪水退去后快速修复,减少经济损失^[4]。结合灾害模拟与风险评估技术,建立结构韧性评价指标体系,为优化设计提供量化依据,最终实现结构在极端荷载下“可防、可修、可用”的目标。

4 土木工程结构优化设计的未来趋势

随着科技发展与行业需求升级,土木工程结构优化设计正迈向智能化、集成化与可持续化新阶段具体如下:(1)人工智能深度融合。机器学习与深度学习技术将成为结构优化核心工具。通过分析海量工程数据,AI算法可自动识别结构设计模式,预测性能指标,甚至生成创新性设计方案。(2)多学科协同与集成化设计。未来结构优化将打破专业壁垒,实现建筑、结构、机电、环境等多学科深度协同。依托数字孪生技术,构建建筑全生命周期虚拟模型,实时模拟结构性能与环境交互影响,优化设计决策。集成化设计平台将整合BIM、有限元分析、优化算法等工具,形成“设计-分析-优化”闭环,

提升全流程效率与设计质量。(3)全生命周期可持续优化。以“双碳”目标为导向,结构设计将更加注重全生命周期可持续性。从材料选择(如低碳混凝土、再生建材)、施工能耗控制,到建筑服役期的性能维护与退役后的拆解回收,优化设计将贯穿建筑全生命周期。通过建立碳排放计算模型,量化结构设计方案的环境影响,实现安全性、经济性与环保性的动态平衡。(4)韧性与自适应结构发展。面对极端气候与灾害威胁,结构韧性设计成为关键趋势。未来结构将具备自适应能力,通过智能传感器与控制系统实时监测结构状态,主动调整构件参数(如刚度、阻尼),抵御地震、台风等荷载。采用可恢复功能设计,使结构在受损后快速修复,保障关键功能持续运行。(5)标准化与智能化工具普及。随着技术成熟,结构优化将形成标准化流程与工具库。基于云平台的智能设计工具将降低优化门槛,使中小设计单位也能便捷应用先进算法。

结束语:本研究通过对土木工程结构设计优化的多维分析,揭示了技术创新与策略整合对行业升级的推动作用。现代优化算法与BIM技术的深度融合,新型材料与绿色理念的协同应用,以及灾害韧性设计的范式转变,共同构建了更安全、经济、可持续的结构设计体系。随着人工智能与全生命周期管理技术的深化,结构优化设计将进一步向智能化、集成化发展,为实现“双碳”目标与韧性城市建设提供核心技术支撑。

参考文献

- [1]杨泉.基于土木工程建筑结构设计的优化分析[J].河南建材,2021(5):109-111.
- [2]陈剑.基于土木工程建筑结构设计的优化分析[J].模型世界,2022(8):61-63.
- [3]李慧,张婷婷.基于土木工程建筑结构设计的优化分析[J].模型世界,2020(22):73-75.
- [4]张泽.基于土木工程建筑结构设计的优化分析[J].城市建筑与发展,2024,5(16):11-12.