

土建工程结构设计的优化技术分析

贾新朋

中煤科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

摘要：土建工程结构设计的科学性直接决定工程安全、造价与使用性能，优化技术的应用是实现工程全生命周期效益最大化的核心路径。本文系统梳理土建结构优化的理论基础，明确结构优化的基本概念、目标分类及数学模型构建方法，深入分析BIM技术、计算机仿真技术等常见优化技术的应用机制，探讨荷载、结构体系等关键影响因素，预判智能化、绿色化等发展趋势。研究旨在为土建工程结构设计提供技术参考，推动设计环节从经验驱动向技术优化转型，助力工程建设实现安全可靠、经济合理与可持续发展的目标。

关键词：土建工程；结构设计；优化技术

1 土建结构优化理论基础

1.1 结构优化设计基本概念

土建结构优化设计是在满足工程结构安全、使用功能及规范要求的前提下，通过科学方法调整结构参数与布局，实现资源配置最优的设计过程。其核心内涵并非单纯追求某一指标最优，而是在多重约束条件下达成综合效益平衡，涵盖力学性能、经济成本、施工便捷性等多维度目标。与传统经验设计相比，优化设计以量化分析为支撑，突破“保守设计”局限，通过对构件尺寸、材料选型、结构体系等要素的精准调控，在保障结构承载能力、抗震性能等核心指标的同时，最大限度降低工程造价与资源消耗。这一过程需依托专业理论与技术工具，将工程经验与科学计算深度融合，确保优化方案兼具可行性与创新性。

1.2 优化目标分类

土建结构优化目标依据工程需求呈现多元化分类，可按核心导向划分为性能优化、经济优化与综合优化三大类。性能优化以提升结构安全与使用品质为核心，重点优化结构的承载稳定性、抗震抗风能力、耐久性 & 空间适用性，常见于高层建筑、桥梁等对结构性能要求严苛的工程，通过强化关键构件力学性能，保障工程在极端环境下的可靠运行。经济优化聚焦成本控制，以降低材料消耗、施工费用及运维成本为目标，通过优化构件截面尺寸、简化结构造型等方式，在满足规范的基础上减少资源投入^[1]。综合优化是当前主流方向，兼顾性能与经济目标，同时融入绿色环保、施工效率等要求，实现“安全可靠、经济合理、绿色高效”的多目标平衡，符合现代工程建设的综合发展需求。

1.3 数学模型构建

土建结构优化的数学模型构建是连接设计需求与技

术方案的关键环节，需明确设计变量、约束条件与目标函数三大核心要素。设计变量为可调控的结构参数，包括构件截面尺寸、材料强度等级、结构节点位置等，需选取对优化目标影响显著且便于量化的参数作为核心变量。约束条件是模型的边界限制，涵盖结构力学约束（如强度、刚度、稳定性要求）、规范约束（如抗震等级、防火标准）及工程实践约束（如施工工艺、材料供应能力），确保优化方案符合实际应用要求。目标函数则将优化目标量化表达，如以“工程造价最低”“结构重量最轻”或“刚度最大”为函数表达式，通过线性规划、非线性规划等数学方法求解最优解，为结构设计提供精准的量化依据。

2 常见的土建工程结构设计优化技术

2.1 BIM技术

BIM技术以三维数字化模型为核心载体，为土建结构优化提供全流程技术支持，实现设计优化的可视化、协同化与精准化。在方案设计阶段，BIM模型可整合结构、机电、施工等多专业信息，通过三维可视化展示直观呈现结构布局，提前发现构件冲突与空间矛盾，避免传统二维设计的信息割裂问题。在结构分析环节，BIM模型可直接对接PKPM、ABAQUS等专业分析软件，自动提取结构参数生成分析模型，快速完成荷载计算、应力分析等工作，并将分析结果反向更新至模型，便于设计人员实时调整优化方案。施工阶段，BIM技术可通过施工模拟优化构件安装顺序与施工工艺，结合时间维度构建4D模型，预判施工难点并优化资源配置，同时其参数化特性可实现设计变更的快速传导，确保优化方案在施工中精准落地，大幅提升设计与施工的协同效率。

2.2 计算机仿真技术

计算机仿真技术通过构建虚拟仿真模型，模拟土建

结构在各类工况下的受力与变形特性,为结构优化提供精准的量化依据。该技术可突破实体试验的局限,实现对地震、强风、极端温度等复杂工况的模拟,精准捕捉结构在不同荷载作用下的应力分布、位移变化及破坏模式,帮助设计人员识别结构薄弱环节。例如在高层建筑结构优化中,通过仿真模拟可分析不同结构体系的抗震性能,对比框架结构、剪力墙结构等方案的力学响应,筛选最优结构形式;在桥梁工程中,可模拟车辆通行、温度变化等荷载对桥梁结构的影响,优化梁体截面与配筋设计^[2]。此外,仿真技术支持参数化分析,通过调整构件尺寸、材料性能等参数,实时观察对结构性能的影响,为多方案对比与精准优化提供高效工具,显著提升优化设计的科学性与可靠性。

2.3 遗传算法优化技术

遗传算法作为一种基于生物进化理论的智能优化算法,在土建结构复杂优化问题中展现出显著优势,尤其适用于多变量、多约束的非线性优化场景。其核心原理通过模拟生物遗传、变异与选择过程,将结构优化参数编码为“染色体”,通过初始化种群生成多个设计方案,再经适应度函数评估各方案优劣,保留优质方案并通过交叉、变异操作生成新方案,迭代进化直至得到最优解。在土建结构设计中,该技术可用于构件截面优化、结构拓扑优化等问题,例如在框架结构优化中,以工程造价最低为目标,将梁、柱截面尺寸作为变量,通过算法迭代优化得到满足强度与刚度约束的最优截面组合。与传统优化方法相比,遗传算法具备全局搜索能力,可有效避免陷入局部最优解,同时能处理复杂约束条件,为大型复杂土建工程的结构优化提供高效解决方案。

3 影响土建工程结构设计优化的因素

3.1 荷载因素

荷载因素是土建结构设计优化的核心依据,直接决定结构的受力状态与尺寸参数,其取值精准度与分类科学性对优化效果产生关键影响。土建工程荷载涵盖恒荷载、活荷载、偶然荷载等多种类型,恒荷载如结构自重、墙体重量等取值相对稳定,而活荷载如楼面人群、车辆荷载等受使用场景影响波动较大,偶然荷载如地震、洪水等则具有不确定性。优化设计中需结合工程类型与地域特点精准取值,例如高层建筑需重点考虑风荷载与地震荷载,工业厂房需强化设备振动荷载的分析,山区桥梁则需重视山洪与落石等偶然荷载影响。若荷载取值过于保守,会导致结构冗余增加、造价上升;若取值不足,则可能引发安全隐患。因此,需通过现场调研、规范查询与荷载统计分析,明确各荷载的取值范围

与组合形式,为结构优化提供精准的受力依据。

3.2 结构类型与体系

结构类型与体系是土建结构优化的基础框架,其选择与设计直接决定工程的力学性能、施工难度与造价水平,不同结构体系的优化路径存在显著差异。常见的土建结构体系包括框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、钢结构、木结构等,每种体系均有其适用场景与性能特点,例如框架结构空间灵活性好但抗侧移刚度弱,适用于多层办公楼;剪力墙结构抗侧移能力强,适用于高层建筑。优化设计中需结合工程高度、跨度、使用功能等需求,选择最适配的结构体系,再针对体系特点展开优化,如框架结构重点优化梁柱节点与截面尺寸,剪力墙结构则需优化墙体布置与厚度^[1]。同时,结构体系的合理性直接影响材料利用率,科学的体系设计可通过力的高效传递减少构件内力,为后续参数优化创造空间,实现结构性能与经济效益的平衡。

3.3 材料性能与选用

材料性能与选用是土建结构优化的核心要素,材料的强度、耐久性、经济性等特性直接决定结构设计参数与优化方向,合理选材是实现优化目标的关键手段。传统土建材料如混凝土、钢筋的性能已较为成熟,优化重点在于根据结构受力需求匹配材料强度等级,例如梁体受拉区选用高强度钢筋,受压区合理匹配混凝土强度,避免材料性能过剩。随着新型材料的发展,高性能混凝土、碳纤维复合材料、轻骨料混凝土等逐渐应用于工程实践,为优化设计提供新路径,如采用碳纤维布加固构件可减小截面尺寸,使用轻骨料混凝土可降低结构自重。选材优化需综合考量材料性能、供应成本、施工适应性及环保性,例如在桥梁工程中选用耐候钢可提升耐久性、减少运维成本,在绿色建筑中优先选用再生骨料混凝土实现资源循环利用。

3.4 设计人员专业素养

设计人员的专业素养是土建结构优化技术落地的核心保障,其理论水平、实践经验与技术应用能力直接决定优化方案的科学性与可行性。专业素养涵盖结构力学、材料科学、设计规范等理论知识,以及对BIM、仿真软件等优化工具的操作能力,设计人员需能将理论知识与工程实践结合,精准判断优化方向。具备丰富经验的设计人员可快速识别传统设计中的冗余环节,结合工程地域特点、施工条件等实际因素调整优化策略,例如在地震高发区优化结构抗震节点设计,在施工场地受限的工程中优化构件拆分与安装方案。此外,设计人员的创新意识与协同能力也至关重要,需能融合多专业需求提

出综合优化方案，同时与施工、造价等团队高效沟通，确保优化方案在全流程中顺畅实施，避免设计与实践脱节。

4 土建工程结构设计优化技术的发展趋势

4.1 智能化发展

智能化是土建结构设计优化的核心发展方向，依托人工智能、大数据、物联网等技术，实现优化设计从“被动计算”向“主动决策”的转型。人工智能算法的深度应用将提升优化效率，如机器学习可通过训练历史工程数据，自动识别最优设计参数组合，为新工程提供快速优化方案；深度学习可结合结构仿真数据，精准预测结构在复杂工况下的性能表现，辅助设计人员规避潜在风险。大数据技术将整合工程地质、气象条件、材料性能等多源数据，构建优化设计数据库，为荷载取值、材料选用等提供精准支撑。物联网技术则可实现施工与运维数据的实时反馈，通过结构健康监测系统采集实际受力数据，反向优化设计模型，形成“设计-施工-运维”的闭环优化体系，推动结构优化向全生命周期智能化升级。

4.2 绿色可持续发展

绿色可持续发展成为土建结构优化的重要导向，优化技术将更加聚焦于资源节约、能耗降低与环境友好，实现工程建设与生态保护的协调发展。在材料优化方面，将优先选用低碳、再生、可循环材料，如推广使用高性能绿色混凝土、再生钢材等，同时通过精准计算减少材料浪费，降低工程碳足迹。在结构优化方面，将通过优化结构体系与布局，提升能源利用效率，例如在建筑结构中融入光伏组件安装设计，优化体型系数减少建筑能耗；在桥梁工程中采用轻量化结构设计，降低施工与运营阶段的能源消耗^[4]。另外，优化设计将兼顾生态保护需求，如在山区工程中优化结构布局减少对山体植被的破坏，在水利工程中优化结构形式降低对水文环境的影响，实现工程效益与生态效益的统一。

4.3 多学科交叉融合

多学科交叉融合是土建结构优化发展的必然趋势，通过整合结构工程、岩土工程、计算机科学、材料科学、工程造价等多领域知识，构建起一个综合优化体系，成功突破单一学科在优化过程中的局限。结构工程与计算机科学的深度融合，将推动优化工具发生革命性

变革。借助计算机强大的计算能力和先进的人工智能算法，实现结构分析与人工智能算法的深度集成。人工智能算法能够快速处理大量的结构数据，通过不断学习和优化，为结构设计提供更加精准的优化方案，大大提升优化方案的精准度与效率。与材料科学的交叉融合，将促进新型材料在土建结构中的应用优化。通过深入研究材料性能与结构设计的协同匹配关系，开发出更具优势的结构形式。例如，根据新型材料的力学性能和耐久性特点，设计出更加轻便、坚固且耐用的结构，满足不同工程的需求。同时，结构优化还将与施工技术、工程造价等学科紧密结合。在优化设计阶段，同步考量施工的可行性和成本控制。例如，利用BIM技术将结构与施工模拟进行整合，通过模拟施工过程，优化构件拆分方案，降低施工难度，提高施工效率；结合造价分析模型，实时反馈优化方案对工程造价的影响，确保优化目标与造价控制能够协同推进，实现多学科效益的综合最大化，为土建工程的高质量发展提供有力支撑。

结束语

土建工程结构设计优化技术是提升工程建设质量与效益的核心，其发展依赖理论创新与技术升级，已从单一目标优化转向多维度综合优化。本文剖析了结构优化理论基础、常见技术，指出荷载、结构体系等关键影响因素，揭示智能化、绿色化等发展趋势。未来，该技术将更依赖科学计算与数据，设计人员需提升素养、融合多学科知识。优化技术的深度应用将推动土建工程安全、经济、绿色发展，为基建高质量发展及高效环保工程建设体系构建提供保障。

参考文献

- [1]高敏轩.土建工程结构设计的优化技术分析[J].中国住宅设施, 2025(5): 34-36.
- [2]姜德友.土建工程结构设计的优化技术实践应用[J].建材与装饰, 2021, 17(11):68-69.
- [3]吕强.优化技术在土建结构设计中的应用[J].建筑·建材·装饰, 2024(22): 172-174.
- [4]王亚妮.土建工程结构设计的优化技术[J].门窗, 2022(13):121-123.