

建筑结构设计中的结构设计优化技术运用分析

熊政宣

53302519891129301X

摘要:在我国建筑业从高速规模扩张转向高质量内涵式发展的新时期,双碳目标的纵深推进、房地产行业精细化管理的刚需、建筑工程安全与耐久性的刚性要求。结构设计优化技术作为平衡建筑安全性能、建造成本、使用功能、绿色低碳与全生命周期价值的核心技术手段,是建筑工程提质增效、实现可持续发展的关键抓手。本文立足于建筑结构设计优化技术的核心内涵与底层逻辑,系统梳理了当前主流的结构优化技术体系与应用原理,拆解了优化技术在建筑设计全流程的核心应用场景,提出了针对性的实施路径与优化策略,以期为建筑结构设计行业的精细化、智能化、规范化发展提供理论参考与实践指引,助力建筑业高质量发展与双碳目标的落地实现。

关键词:建筑结构设计;结构优化技术;安全性能;成本控制;全生命周期;精细化设计

DOI: 10.69979/3029-2727.26.05.012

1 新时期建筑结构设计优化技术的时代背景

新时期,我国建筑业已进入转型升级的关键阶段,高质量发展成为行业核心主题,结构设计作为建筑工程的“骨架”与核心,直接决定了建筑的安全等级、建造成本、使用功能与全生命周期性能,其设计质量与精细化水平成为衡量建筑工程品质的核心指标。从行业发展需求来看,一方面,双碳目标对建筑行业的节能减排提出了刚性约束,建筑运行与建造阶段的碳排放占全国碳排放总量的比重超过50%,而结构材料的生产与施工是建筑建造阶段碳排放的核心来源,通过结构设计优化减少材料浪费、提升材料利用效率,是建筑行业实现碳减排的核心路径之一。另一方面,房地产行业进入精细化管理时代,利润空间持续收窄,结构造价占建筑建安总成本的40%-60%,是项目成本管控的核心环节,科学的结构优化能够在不降低安全标准的前提下,实现10%-20%的结构成本节约,成为项目提升市场竞争力的关键抓手。与此同时,我国建筑抗震设计规范、防火规范、耐久性设计标准持续升级,对建筑结构的安全性能、抗震韧性、使用年限提出了更高要求,传统结构设计中普遍存在的“重安全、轻经济”“重经验、轻计算”的保守设计模式,不仅造成了大量的材料浪费与碳排放增量,还可能因刚度分布不均、应力集中等问题,反而影响建筑的抗震性能与整体安全。

在此背景下,结构设计优化技术的应用价值愈发凸显,其并非简单的“降本抠钢筋”,而是在严格遵守国家现行规范、保障建筑安全与使用功能的前提下,通过

科学的力学分析与精细化设计,实现结构安全、经济适用、绿色低碳、施工便捷、运维高效的多目标协同优化。本文通过系统剖析结构设计优化技术的应用体系与现存问题,提出科学的落地实施路径,对推动建筑结构设计行业的精细化转型、提升建筑工程综合效益、助力建筑业高质量发展具有重要的理论与实践意义。

2 建筑结构设计优化技术的核心逻辑

建筑结构设计优化技术,是基于结构力学、材料力学、弹塑性理论与抗震设计原理,以建筑全生命周期价值最大化为核心目标,对结构体系选型、构件布置、材料选型、截面尺寸、配筋设计、节点构造等进行全流程、多维度、量化的分析计算与迭代优化的系统性技术体系。结构设计优化的核心原则是“不突破规范底线、不降低安全储备、不牺牲结构性能”,所有优化工作均在现行规范的框架内开展,甚至通过优化结构刚度分布、改善力流传递路径、规避应力集中等方式,进一步提升结构的抗震韧性、延性与耐久性。其本质是剔除无效、不合理的安全冗余,将材料集中于结构受力的关键部位,实现“好钢用在刀刃上”,而非通过牺牲安全性能换取短期的成本节约,这也是合规优化与违规降本的核心边界。

结构优化并非单一的成本管控,而是兼顾安全性能、建造成本、使用功能、施工便捷性、绿色低碳、运维成本的多目标协同优化。优化剪力墙布置不仅要降低钢筋与混凝土用量,还要保证建筑室内空间的规整性、满足户型使用需求。大跨度结构体系选型,不仅要对比材料

成本,还要考量施工工期、吊装难度、后期运维成本等综合因素,最终实现项目全生命周期价值的最大化,而非单一环节的成本最优。

结构优化的价值呈现显著的“前置效应”,方案设计阶段的结构体系优化,对项目结构造价的影响占比超过70%,而施工图阶段的配筋优化仅能带来3%-5%的成本节约。结构优化技术的核心内涵,是覆盖方案设计、初步设计、施工图设计、施工配合、运维改造的全流程优化,而非仅在施工图完成后的事后补救,通过结构工程师提前介入项目策划与建筑方案设计,从源头规避结构体系不合理、建筑体型不规则等核心问题,实现全局最优的设计效果。

数据驱动的科学思维是结构优化的技术支撑。传统结构设计高度依赖设计人员的个人经验,而结构优化技术实现了从“经验驱动”向“数据驱动”的转型,通过有限元分析、参数化建模、多目标优化算法等技术手段,对结构的内力分布、刚度特性、抗震性能进行精准的量化分析,通过多方案的定量比选与迭代优化,找到最优的设计方案,避免了经验设计的主观性与盲目性,保障了优化效果的科学性与可落地性。

3 建筑结构设计优化的核心技术体系与应用原理

经过多年的工程实践与技术迭代,建筑结构设计优化已形成一套完整、成熟的技术体系,各类技术均有明确的应用原理与适用场景,共同构成了结构优化的技术支撑体系。结构体系优化技术,是结构优化的顶层核心技术,其应用原理是基于结构动力学、抗震设计理论与结构力学基本原理,根据建筑的高度、功能布局、抗震设防烈度、场地条件,选择最优的竖向承重体系与抗侧力体系,优化抗侧力构件的空间布置,实现结构刚度中心与质量中心的重合,控制结构的周期比、层间位移角、剪重比、轴压比等关键规范指标,在满足规范要求的前提下,最大化提升结构的抗侧效率,减少材料用量与结构自重。

构件截面与配筋优化技术,是施工图阶段的核心精细化优化技术,其应用原理是基于结构内力包络图与有限元计算结果,根据构件的受力特性,精准匹配构件的截面尺寸、混凝土强度等级与配筋方案,在满足承载力、裂缝宽度、挠度、延性等规范要求的前提下,最大化发挥材料的力学性能,剔除无效配筋与过度的截面冗余。

材料选型与适配优化技术,其应用原理是根据不同构件的受力特点,选择适配的结构材料,充分发挥不同材料的力学性能优势,实现材料性能与构件受力的精准匹配,在提升结构性能的同时,降低综合成本与碳排放。在工程实践中,针对竖向承重的柱、剪力墙构件,采用高强度等级混凝土,可有效降低构件截面尺寸,在满足轴压比要求的同时,增加建筑使用空间,减少混凝土用量。针对受弯为主的梁、板构件,采用HRB500及以上高强度钢筋,可有效减少配筋率,避免钢筋密集导致的施工困难,同时降低钢筋用量与碳排放。

参数化与智能优化技术,是当前结构优化技术的发展前沿,其应用原理是基于BIM技术、遗传算法、粒子群优化算法等人工智能技术,建立结构参数化模型,将构件截面、材料强度、布置间距等设为优化变量,将安全性能、造价、碳排放等设为优化目标,通过计算机自动迭代计算,找到多目标约束下的全局最优设计方案,解决了传统手动优化无法处理的多变量、多目标、复杂结构的优化难题。该技术目前已广泛应用于大跨度空间网格结构、复杂高层建筑、异形建筑的结构优化中。

4 结构设计优化技术具体应用场景

结构设计优化技术的应用贯穿建筑设计的全生命周期,不同设计阶段的优化重点、技术路径与价值贡献存在显著差异,只有实现全流程、全专业的深度应用,才能最大化发挥优化技术的综合效益。

方案设计阶段的体系优化,是结构优化的核心价值场景。该阶段是建筑项目整体定位与设计方向确定的关键环节,结构优化的核心是提前介入、协同设计,从源头把控结构体系的合理性,避免后期无法逆转的设计缺陷。在工程实践中,结构工程师需在建筑方案策划阶段就深度参与,针对建筑的平面布局、竖向体型、功能分区、高度等级,提出结构体系选型与优化建议,重点解决建筑平面不规则、竖向刚度突变、扭转效应显著等抗震不利问题。例如针对住宅项目,在户型设计阶段,优化剪力墙的布置位置,将剪力墙沿建筑外围与分户墙布置,避免在室内出现突兀的墙垛,既保证了户型的使用功能,又实现了结构刚度的均匀分布,减少了剪力墙的总体数量。

初步设计阶段的参数优化,是结构优化的关键衔接场景。该阶段是方案设计向施工图设计过渡的核心环节,优化的重点是将方案阶段确定的结构体系落地,细化结

构关键参数,完成多方案的定量比选,为施工图设计奠定基础。一是混凝土强度等级的竖向分布优化,针对高层建筑,根据不同楼层的轴压比要求,底部加强区采用高强度等级混凝土,上部楼层逐步降低混凝土强度等级,既满足了轴压比与承载力要求,又避免了上部混凝土强度高导致材料浪费与收缩裂缝问题。二是楼盖体系的选型优化,针对不同的建筑功能与跨度,对比普通梁板楼盖、密肋楼盖、无梁楼盖、叠合楼盖的综合造价与使用性能,例如地下车库项目,采用无梁楼盖可有效降低地下层高,减少土方开挖量、基坑支护深度与地下水处理成本,综合效益远高于普通梁板楼盖。三是抗侧力构件的细化优化,根据结构整体计算结果,调整剪力墙的厚度、框架柱的截面尺寸,优化结构的刚度分布,将周期比、层间位移角、剪重比等关键指标控制在规范合理范围内,避免刚度过度富余。四是基础形式的选型优化,根据地质勘察报告、上部结构荷载与场地条件,对比筏板基础、桩筏基础、独立基础+防水板等不同基础形式的综合成本,确定最优的基础方案,基础造价占结构总造价的20%-30%,该阶段的优化可实现显著的成本节约。

施工配合阶段的动态优化,是结构优化的补充完善场景。该阶段是设计成果落地施工的环节,优化的核心是针对施工过程中出现的地质条件变化、现场施工难题、建筑功能调整等问题,进行动态的设计优化与调整,保障项目顺利推进。例如在桩基施工阶段,根据试桩结果优化桩长、桩径与桩数,在满足承载力要求的前提下,减少桩基用量;针对现场钢筋碰撞、施工难度大的节点,在不影响结构受力的前提下,优化节点构造,调整钢筋排布,提升施工效率;针对施工过程中出现的建筑功能调整,及时进行结构复核与优化,避免大面积的设计变更与拆改浪费。

5 结论

在我国建筑业高质量发展的新时期,结构设计优化技术作为平衡建筑安全、经济、适用、绿色、耐久的核心技术手段,是建筑工程提质增效、实现碳减排目标、提升全生命周期价值的关键抓手,其应用价值与行业意义愈发凸显。本文系统剖析了结构设计优化技术的核心内涵与底层逻辑,梳理了体系优化、构件精细化优化等核心技术体系,拆解了其在建筑设计全流程的应用场景。未来,随着BIM技术、人工智能、数字孪生等先进技术的持续迭代,结构设计优化技术将朝着智能化、精细化、全生命周期化的方向不断发展。

参考文献

- [1]王艳,李晓路.基于BIM技术的高层建筑钢结构设计优化与施工模拟方法[J].中国建筑装饰装修,2025(03):76-78.
- [2]郑伟涛,宁华宇,王从李,等.深中通道西人工岛减光建筑钢结构设计和施工工艺优化及应用[J].中国港湾建设,2024,44(12):23-27+35.
- [3]张佳辰,王伟,路志浩,等.基于装配式建筑钢结构方案设计的全生命周期碳排放研究[J].结构工程师,2024,40(02):69-81.
- [4]王丹阳,王凡奇,王伟.建筑工程中钢结构设计的稳定性原则及设计探讨[J].中国住宅设施,2022(12):12-14.
- [5]马小龙.关于钢结构住宅建筑设计探讨[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2021(12):2.
- [6]王盛,杨健,姜萌萌,等.钢框架-内填墙板结构设计分析[C]//第八届工程结构抗震技术交流会论文集.2023.