

建筑结构设计中的建筑结构设计优化

徐林波

浙江省建筑设计研究院有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：本文深度剖析建筑结构设计的优化策略。先是明确提升安全性、控制成本、增强适用性与推动可持续发展的目标，接着阐述结构选型、材料选用等优化方法，最后详述方案、初步、施工图、施工及运维各阶段的应用。为提升建筑性能、降低成本、实现可持续发展，提供兼具理论价值与实践指导意义的参考。

关键词：建筑结构设计；优化；成本控制；可持续性

引言

在建筑行业蓬勃发展的当下，建筑结构设计作为工程核心，地位愈发关键。过往传统设计仅着眼于基本安全规范，难以契合当下对资源高效利用与全生命周期成本把控的需求。而建筑结构设计优化顺势而生，借科学手段整合结构体系、材料、施工工艺等要素，在确保功能与安全的同时，全方位提升建筑性能，成为推动行业迈向高质量发展的重要驱动力。

1 建筑结构设计优化的目标

1.1 安全性提升

确保建筑在各种荷载作用下，如自重、风荷载、地震作用等，结构具有足够的承载能力和稳定性。通过优化结构布置，使结构内力得到合理分配，避免出现应力集中等薄弱环节，增强建筑抵抗自然灾害和意外事件的能力，保障使用者的生命财产安全。

1.2 经济性考量

在满足安全要求的前提下，尽可能降低建筑结构的建设成本。这包括合理选用建筑材料，避免过度设计造成材料浪费；优化结构形式，减少不必要的构件，降低施工难度和人工成本；同时考虑建筑全生命周期成本，如维护、维修和拆除成本等，实现经济上的最优化。

1.3 适用性增强

优化建筑空间布局，使结构设计更好地满足建筑功能需求。例如，在大空间建筑中，通过合理选择结构体系，减少内部柱子数量，创造开阔、灵活的使用空间；在住宅建筑中，优化结构布置，满足住户对空间分隔和使用便利性的要求，提高建筑的适用性和舒适度。

1.4 可持续性发展

在建筑结构设计优化中，注重资源节约和环境保护。选用绿色环保、可循环利用的建筑材料，降低能源消耗；优化结构设计以减少建筑垃圾的产生；考虑建筑结构周边环境协调性，促进建筑与自然环境的和谐

共生，推动建筑行业的可持续发展^[1]。

2 建筑结构设计优化的方法

2.1 结构选型优化

建筑结构选型需全方位考量建筑的功能要求、高度以及场地条件等要素。就多层住宅建筑而言，砌体结构凭借其施工简易、造价较低的优点，在一定范围内被广泛应用。其墙体既承担围护功能，又作为承重构件，对施工的要求相对不高，能有效控制成本。然而，砌体结构的内部空间灵活性欠佳，当住户后期有改造需求时，拆除墙体可能影响结构安全。框架结构则不同，它以梁、柱组成的框架体系作为承重结构，内部空间可根据需求灵活分隔，大大提升了空间使用的灵活性。但框架结构的施工难度较砌体结构略高，成本也相对增加。例如某六层住宅小区，经成本核算与空间需求分析，最终选用框架结构，为住户提供了多样的户型改造可能，虽然建设成本略有上升，但提升了房屋的市场竞争力。对于高层和超高层建筑，框架-剪力墙结构、筒体结构等是常见选择。框架-剪力墙结构结合了框架结构的内部空间灵活性及剪力墙结构的强大抗侧力能力，能有效抵御风荷载和地震作用。筒体结构则通过将结构布置成封闭筒体，大幅提高结构的抗扭和抗侧刚度，适用于超高层建筑。如上海金茂大厦，采用了筒中筒结构体系，在满足其多功能商业办公需求的同时，保障了建筑在强风、地震等恶劣条件下的安全稳定，充分展现了合理结构选型在超高层建筑中的关键作用。

2.2 材料选用优化

在确保建筑结构安全与性能的基础上，合理选用建筑材料是实现设计优化的重要途径。材料的力学性能、价格以及耐久性是关键考量指标。以混凝土结构为例，不同强度等级的混凝土具有不同的抗压、抗拉性能，价格也有所差异。在一般建筑工程中，并非混凝土强度等级越高越好。例如某普通商业建筑的基础工程，若盲目采用高强度

混凝土, 不仅增加材料成本, 还可能因混凝土水化热过大, 导致基础产生裂缝等质量问题。根据工程实际受力情况, 选用合适强度等级的混凝土, 既能满足结构安全要求, 又可降低成本。同时, 积极推广新型建筑材料能为结构设计优化带来显著效果。高强度钢材相较于普通钢材, 强度大幅提升, 在相同受力条件下, 可减少钢材用量, 降低结构自重, 进而减少基础造价。高性能混凝土具有良好的工作性能、高强度和高耐久性, 可应用于对结构耐久性要求较高的工程, 如海洋环境中的建筑。纤维增强复合材料具有轻质、高强、耐腐蚀等优点, 在一些对重量敏感的结构, 如大跨度桥梁的拉索等部位应用, 能有效优化结构性能, 减少能源消耗。

2.3 拓扑优化

拓扑优化作为基于数学算法的先进结构优化方法, 旨在给定的设计空间内探寻材料的最优分布, 以此实现结构性能的优化。在建筑结构设计领域, 其核心作用在于确定结构的最优传力路径, 进而优化结构构件的布置形式。在大型桥梁设计中, 传统的桥梁结构形式多基于经验设计, 可能存在材料浪费或结构性能未充分发挥的情况。通过拓扑优化技术, 可根据桥梁所承受的荷载类型、大小以及跨度等条件, 计算出结构内部材料的最佳分布方式。例如, 某大跨度悬索桥在设计初期, 利用拓扑优化技术, 找到了最合理的主缆、吊杆和桥塔的布置形式, 使结构在满足力学性能要求的同时, 材料用量达到最少, 有效减轻了桥梁自重, 降低了建设成本。在大跨度空间结构, 如体育馆、展览馆的设计中, 拓扑优化同样能发挥重要作用。通过对空间结构在各种工况下的受力分析, 运用拓扑优化算法, 可确定结构内部支撑体系的最优布局, 实现空间的高效利用与结构性能的提升^[2]。

2.4 尺寸优化

尺寸优化聚焦于结构构件的截面尺寸设计, 其目标是在满足强度、刚度和稳定性等设计要求的前提下, 确定构件的最优截面尺寸。这一过程需借助建立数学模型来实现, 将构件尺寸设为变量, 以结构重量或成本作为目标函数, 并结合相关约束条件进行求解。在钢结构设计中, 钢梁、钢柱的截面尺寸直接影响结构的承载能力和经济性。若钢梁截面尺寸过大, 虽能满足强度要求, 但会造成钢材浪费, 增加成本。通过尺寸优化, 根据钢梁所承受的荷载大小、跨度以及支撑条件等, 精确计算出最优的截面尺寸。例如, 某工业厂房的钢梁设计, 经过尺寸优化, 在保证结构安全的同时, 钢材用量减少了15%, 显著降低了建设成本。对于混凝土结构中的梁、板、柱等构件, 尺寸优化同样重要。通过对构件受力情

况的分析, 结合规范要求, 确定合理的截面尺寸, 既能确保结构安全可靠, 又可避免因构件尺寸不合理导致的材料浪费和施工难度增加。

3 建筑结构设计优化在不同阶段的应用

3.1 方案设计阶段

方案设计阶段作为建筑结构设计的开篇, 对整个项目的走向起着决定性作用。在此阶段, 设计人员需紧密围绕建筑的功能定位展开工作。例如, 一座综合性商业建筑, 其内部涵盖商场、影院、餐饮等多种功能区域。商场部分需要开阔的大空间以满足商品展示与顾客流动需求, 影院区域则对隔音、空间布局有特殊要求, 餐饮区要考虑油烟排放等问题。这些功能需求决定了建筑结构体系不能一概而论, 需分区规划。同时, 场地条件也是关键考量因素。若场地位于软土地基区域, 采用对地基承载能力要求较高的框架结构可能并非最佳选择, 而桩基础结合筏板基础的形式搭配适宜的结构体系, 能更好适应地基条件, 保障建筑稳定性。周边环境同样影响着结构设计, 若建筑周边有既有建筑, 需考虑新建建筑施工对其产生的影响, 避免因基坑开挖、打桩等施工活动造成既有建筑的沉降、开裂等问题。在竖向承重体系选择上, 对于层数较少、空间需求相对规整的区域, 砌体结构因成本低、施工简单可作为备选; 而对于高层、大空间部分, 剪力墙结构或框架-剪力墙结构能提供更强的竖向承载与抗侧力能力。在水平抗侧力体系方面, 根据建筑高度、所在地区设防烈度等, 在框架、支撑、筒体等体系中权衡。以某30层写字楼设计为例, 设计团队经多轮对比分析, 考虑到该建筑位于地震设防烈度7度地区, 且周边场地开阔, 最终确定采用框架-核心筒结构体系, 既满足办公空间灵活分隔需求, 又能有效抵抗地震力, 为后续设计筑牢根基。

3.2 初步设计阶段

进入初步设计阶段, 结构设计优化工作进一步深化。在选定结构体系后, 需对其进行详细力学分析。以混凝土框架结构为例, 要精确计算梁、柱在各种荷载组合下的内力, 包括恒载、活载、风荷载、地震作用等。运用专业结构设计软件, 如PKPM、SAP2000等, 建立结构模型, 模拟不同工况下结构的受力情况。通过调整结构布置, 如改变柱网间距、梁的截面尺寸等, 观察内力分布和位移变化。例如, 在某教学楼设计中, 初始模型计算结果显示部分框架梁跨中挠度偏大, 不满足规范要求。设计人员通过适当增大梁的截面高度, 同时优化梁的配筋, 重新计算后, 结构位移指标得到明显改善。此阶段还需充分考虑建筑设备、建筑装修等专业对结构的

影响。建筑设备方面,大型空调机组、电梯等设备的安装位置及重量,会给结构带来额外荷载,设计时要预留足够的承载能力。在建筑装修上,若采用干挂石材等较重的外墙装饰材料,需考虑墙体结构能否承受。以某酒店项目为例,装修设计大堂拟采用大型吊灯,重达数吨,结构设计人员根据吊灯位置,对相应部位的楼板结构进行加强设计,确保结构安全。多专业协同优化过程中,各专业设计人员定期召开沟通会议,及时解决设计冲突,使结构设计与其他专业紧密配合,实现建筑整体性能的优化。

3.3 施工图设计阶段

施工图设计阶段聚焦于结构构件的精细化设计与构造措施优化。在配筋设计上,以梁配筋为例,传统设计中可能存在钢筋锚固长度过长、弯钩数量过多等情况,这不仅增加钢筋用量,还加大施工难度。设计人员可通过合理选用钢筋等级、优化钢筋布置方式来改善。例如,采用高强度钢筋并结合机械锚固措施,在满足规范对锚固长度要求的同时,减少钢筋弯折,方便施工。在节点连接构造优化方面,对于钢结构节点,传统焊接节点可能存在焊接质量难以保证、施工速度慢等问题。采用螺栓连接节点,既能提高施工效率,又能保证连接可靠性。在某工业厂房钢结构设计中,将部分梁柱节点由焊接改为高强度螺栓连接,施工周期缩短了近20%,且经检测,节点连接质量完全符合规范要求。同时,在混凝土结构节点设计中,通过优化节点区箍筋配置,增强节点的抗剪能力,确保结构在地震等不利工况下的整体性和传力可靠性,实现施工工艺简化、成本降低与结构性能提升的多重目标^[3]。

3.4 施工阶段

施工阶段的结构设计优化具有很强的动态性与现场针对性。地质条件变化是常见问题,如某高层建筑施工时,实际开挖发现地基土层与勘察报告存在差异,局部出现软弱土层。结构设计人员立即联合地质勘察人员进行现场勘查,重新评估地基承载能力,对原基础设计方案进行优化调整。采用增加桩长、扩大桩径或增设地基处理措施等方法,确保基础安全可靠。在混凝土浇筑过程中,也常面临各种问题。如某大型地下室混凝土浇筑,原设计方案采用分层浇筑,但在实际施工中发现因场地狭窄,混凝土输送泵难以满足分层浇筑的连续性要

求,易出现冷缝。施工单位与设计人员沟通后,对浇筑方案进行优化,改为斜面分层浇筑,利用混凝土自然流淌形成斜坡,一次浇筑到顶,有效解决了施工难题,保证了混凝土浇筑质量和施工进度。此外,施工过程中的意外情况,如塔吊碰撞导致结构局部受损,也需设计人员及时进行结构评估,制定加固修复方案,保障建筑结构安全。

3.5 运维阶段

建筑运维阶段的结构设计优化借助先进的传感器技术和数据分析手段得以实现。在建筑关键部位,如梁、柱节点,基础等位置布置应变片、位移计、加速度传感器等,实时监测结构的变形、应力、振动等数据。以某大型体育场馆为例,在长期使用过程中,通过传感器监测发现部分看台梁出现异常变形。经数据分析,确定是由于观众密集活动产生的长期疲劳荷载导致。根据监测结果,对该部分梁进行加固处理,采用粘贴碳纤维布的方法增强梁的抗弯能力。同时,通过对建筑能耗数据的分析,优化能源管理系统。例如,对空调系统运行时间、温度设定等进行优化调整,根据不同季节、不同使用时段合理控制能耗。某写字楼通过安装智能电表、水表等设备,实时采集能耗数据,分析发现夜间部分区域照明能耗过高,经调整照明控制系统,设置定时关闭功能,每年可节约大量电能,实现建筑结构在运维阶段的可持续优化,延长建筑使用寿命,降低运维成本。

结语

建筑结构设计优化全程护航建筑工程,从方案构思至运维全程发力,借精准目标、科学方法实现安全、经济、适用与环保的融合。伴随建筑技术革新,其必将持续完善。往后,需深化多学科交融,巧用先进计算与智能手段,助推设计优化跃升至新高度,助力打造更多优质建筑,为建筑行业发展注入强劲动力。

参考文献

- [1]王震亚.刍议结构优化设计在建筑结构设计中的应用[J].建筑与装饰,2021(17):33.
- [2]梁毅.建筑结构设计中的技术优化[J].中国建筑金属结构,2022(5):90-92.
- [3]徐芳.浅谈建筑结构设计中的建筑结构设计优化[J].电脑校园,2021(12):7397-7398.