

土木工程建设视角下住宅 建筑结构设计优化策略

李秀芬¹, 徐庆新²

(1. 济南建之咨工程技术咨询有限公司, 山东 临沂 250000;

2. 济南远茂置业有限责任公司, 山东 济南 250000)

摘要 为提升住宅建筑质量与使用价值, 推动建筑行业高质量发展, 本文针对土木工程住宅建筑结构设计展开研究。在研究方法上, 通过分析结构类型、影响设计的因素, 基于多维度协同安全、全生命周期经济权衡两大原则, 从结构体系、基础、构件、材料、施工工艺等方面优化设计, 如合理选型、调整尺寸、改进配筋等。研究结果表明, 这些优化策略可平衡力学性能与空间需求, 减少资源消耗与环境负荷, 实现多效益协同提升, 为建筑行业向高效、绿色、智能方向发展提供有效路径。

关键词 土木工程; 住宅建筑结构设计; 建筑功能; 地质条件; 荷载条件

中图分类号: TU318

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.27.039

0 引言

建筑行业正在经历着由粗放型建设到精细化设计的重点发展时期, 土木工程建设住宅建筑结构设计也迎来了全新的挑战和契机。结构设计作为住宅建设中最核心的一环, 它是否合理和科学直接决定着整个建筑质量和使用价值。以可持续发展理念为指导, 结构设计需要综合考虑力学性能、经济成本和环境影响等诸多因素。与此同时, 建筑信息化技术发展也给结构设计优化带来了新途径, 探究顺应时代要求的设计优化策略对于促进住宅建筑的高质量发展具有重要的意义。

1 住宅建筑结构类型

住宅建筑的结构种类繁多, 除常见的砖混、框架、框架—剪力墙和剪力墙结构, 还包括筒体结构等适合超高层建筑的类型。砖混结构是由粘土砖或者新型砌体材料作为主要承重墙体, 与钢筋混凝土构造柱和圈梁共同组成的空间结构体系。在该结构中, 竖向承重墙体对空间的灵活分割形成制约, 并且墙体厚度需随层数增加而相应加大。根据相关规范要求, 通常在抗震设防烈度为 8 度时, 多层砌体房屋 (普通砖) 的层数不应超过 6 层; 当抗震设防烈度达到 9 度时, 多层砌体房屋 (普通砖) 的层数不应超过 4 层, 采用多孔砖时则不应超过 3 层。而框架结构采用梁柱节点的刚性连接方式构成三维受力体系, 非承重墙在结构受力过程中没有残余, 既可以拆除, 也可以重新组合, 从而达到大开间大跨度灵活空间布置的效果。地震中框架结

构靠梁柱的变形来消耗能量, 经过合理的设计后可以达到很高的抗震性能, 一般用于 6 ~ 10 层的房屋^[1]。

框架—剪力墙结构, 剪力墙承受绝大部分水平荷载, 而框架则以竖向荷载和少量水平荷载为主。其剪力墙的布置需要符合均匀、对称的原则, 避免因结构偏心而产生扭转效应。在 15 ~ 25 层的住宅设计中, 框架与剪力墙的组合结构能够确保侧向移动在规定的允许范围之内, 并为居住者提供多种户型选项。剪力墙结构是以钢筋混凝土墙体为主要抗侧力构件的剪力墙结构, 墙厚一般为 180 ~ 300 mm, 通过对墙进行高厚比设计及配筋构造可以达到很高的抗侧刚度。在超过 30 层的住宅设计中, 与其他建筑形式相比, 剪力墙结构的层间移动角度更微小, 这有助于确保住户在使用时的安全性和舒适性。

2 影响住宅建筑结构设计因素

2.1 建筑功能需求演变

现代住宅在空间上追求功能复合化, 例如跃层住宅中错层结构需要对梁柱节点进行专门加工; LOFT 户型大跨挑空设计需要桁架和空腹梁这种特殊结构。智能家居设备的推广使得管线预埋的需求剧增, 结构设计中需要在确保节点处力学性能的前提下留出准确的穿梁和穿板孔洞^[2]。

2.2 地质条件基础设计

地基土压缩模量 (E_s) 和承载力特征值 (f_{ak}) 对基础选型有直接的影响。当持力层为淤泥质土 ($f_{ak} <$

80kPa, $E_s < 4\text{MPa}$) 时, 需采用桩基础或复合地基提升承载能力; 如果有软弱下卧层则需要采用分层总和法验算沉降, 并控制地基的最终沉降 $\leq 50\text{ mm}$ 。在实际的工程项目中, 某个沿海地区的住宅由于没有充分考虑到软土地基的特性, 选择条形基础, 导致出现不均匀沉降的现象。通过注浆加固的方式对基础进行加固处理, 成本增加大约 120 万元。

2.3 荷载条件精确计算

住宅建筑所承受的荷载复杂多样, 包括恒载 (如结构自重、固定设备的重量)、活载 (如人员活动、家具摆放等所引起的可变荷载)、风荷载以及地震作用等。准确地计算出这些荷载, 在结构设计中至关重要。以高层住宅设计为例, 其风荷载随建筑高度增加显著提高, 如果计算不准, 就有可能造成结构抗风能力欠缺, 造成安全隐患。同时各区域地震设防烈度不一, 结构受地震作用影响程度有很大差别。地震高发区必须严格执行当地设防标准计算地震荷载, 并合理安排抗震构件以保证地震时结构延性好、耗能能力强, 确保地震作用下住宅的安全, 以免由于荷载计算失误而造成结构破坏乃至坍塌的严重后果。

3 住宅建筑设计优化的基础原则

3.1 多维度协同安全准则

住宅建筑结构设计需要建立多维度协同安全防护体系。在进行设计时, 既要符合规范规定的承载能力和稳定性标准, 又要充分考虑建筑全生命周期中可能遇到的各种荷载工况和环境因素。通过对结构体系选型、构件布置以及连接构造等方面进行精细化设计来实现不同结构构件之间的协同作业, 保证结构能够形成高效的传力路径和突发状况时的冗余机制。同时, 结合抗震和抗风的具体设计, 采用性能化的设计思路, 由整体到部分, 提高结构在各方面的安全储备, 给居住者创造一个稳固可靠的空间^[3]。

3.2 全生命周期经济权衡

住宅建筑结构设计优化应该以全生命周期为目标, 从经济方面考虑。方案设计阶段对不同结构体系、材料和施工工艺的初期建造成本和后期维护成本进行全面对比, 避免只追求初始投资的减少而忽略长期运维费用或者过分强调结构的耐久性而造成费用的大幅提高。通过对结构布置和构件选型的优化, 使材料用量得到合理的控制, 同时确保结构性能, 减少不必要的构造措施。在充分考虑施工进度对造价影响的前提下, 选择既方便施工又缩短工期、最大限度地兼顾经济效益的设计方案。

4 土木工程建设视角下住宅建筑结构设计优化策略

4.1 结构体系优化

在结构体系选型时, 需综合考虑建筑高度、功能需求、抗震设防烈度及经济性指标。对于 6 层以下的住宅, 如果场地的土壤类型是 I 类, 那么砖混结构的单一造价大约是 $800 \sim 1\,000\text{ 元/m}^2$; 并利用框架结构将单方造价提高到 $1\,200 \sim 1\,400\text{ 元/m}^2$ 。在 10 ~ 20 层的住宅建筑中, 与纯框架结构相比, 框架—剪力墙结构虽然增加大约 15% 的混凝土和钢材使用量, 但其结构的侧向位移可以减少 30% ~ 40%, 这使其更适合用于高烈度的设防区域^[4]。

在结构布置优化中, 柱网间距的合理调整可以明显提高结构受力的合理性。以一个 8 层的框架结构为研究对象, 将柱网的尺寸从 $6 \times 6\text{ m}$ 调整到 $8 \times 8\text{ m}$, 可以减少大约 15% 的柱子数量, 并减少模板和钢筋的使用, 但同时也需要增加梁的截面尺寸和配筋的数量。同时, 通过变形缝的设置可以避免结构由于温度的变化和不均匀沉降而出现开裂。长度大于 55 m 框架结构宜设伸缩缝; 在建筑物高度相差很大或者地基土压缩性发生显著改变的情况下, 沉降缝的布置是必要的。

4.2 基础设计优化

基础选型需依据地基承载力特征值 (f_{ak}) 和建筑物总荷载 (F_k) 进行计算。在 $f_{ak} \geq 120\text{ kPa}$, $F_k \leq 150\text{ kN} \cdot \text{m}$ 条件下, 条形基础不失为一种经济而合理的方案; 若 $f_{ak} < 80\text{ kPa}$, 桩基础则成为必要选项。在桩基础设计时, 桩径、桩长及桩间距等参数的优化对于成本有显著影响。例如: 当将桩的直径从 800 mm 降低到 600 mm 时, 单桩所需的混凝土用量减少 43.75%, 但为满足承载能力的需求, 需要增加桩的长度或增加桩的数量。

基础尺寸的优化可以利用有限元分析软件根据地基反力的分布情况对基础底板的厚度进行调整。在一个具体的工程项目中, 通过调整筏板基础的厚度, 成功地将其平均厚度从 1.2 m 减少到 1.0 m, 从而节省 $1\,200\text{ m}^3$ 的混凝土, 并使成本下降大约 60 万元。另外, 新型的基础结构, 例如预应力管桩基础, 与传统的灌注桩相比, 能够减少泥浆排放 80%, 缩短工程周期 20%, 并且单桩的承载能力可以提高 15% ~ 20%。

4.3 构件设计优化

4.3.1 梁、板设计优化

梁截面优化可以与建筑空间需求相结合, 进行变截面设计。跨比较大的客厅区域梁端截面高度可以为 $1/12$ 跨、跨中为 $1/18$ 跨, 构成鱼腹式梁结构, 不仅能

满足受力要求,而且能减小结构高度。在开展配筋设计工作过程中,采用分离式配筋方式能够缩减钢筋搭接长度。相较于弯起式配筋,该方法可节约 5%~8% 的钢材用量。在新型楼板结构设计中,空心楼板借助内部薄壁箱体实现空心化构造。与实心楼板相较,其自重可降低 30%~40%,进而减轻楼层荷载传递。在一个 20 层的住宅项目中,当使用空心楼板后,混凝土的使用量减少 1 800 m³,而钢材的使用量也减少 120 吨。

4.3.2 柱、墙设计优化

柱设计优化可以通过对轴压比的控制来达到缩小截面尺寸的目的。对于 C30 类型的混凝土柱,当轴压比从 0.8 下降到 0.6 时,柱的截面尺寸可以从 600×600 mm 缩小到 500×500 mm,同时单柱混凝土的使用量也减少 0.19 m³。通过使用钢管混凝土柱,其承载能力可以比使用普通钢筋混凝土柱提高 1~2 倍,同时其截面尺寸也能减少 30%~40%。剪力墙的优化可以采用连肢墙的设计方式,通过布置连梁把单片剪力墙划分成若干墙肢来减小墙体的刚度和地震作用。对于某剪力墙结构的住宅,经过优化,连梁的跨高比从 2.5 调整到 3.5,墙体的配筋率下降 0.3%,从而节省 80 吨的钢材^[5]。

4.4 材料选择优化

在混凝土材料的优化过程中,基础工程选用 C25 混凝土,并加入 20% 的粉煤灰。这种创新的混合比例可以显著减少水泥的使用量,每立方米可以减少 50 kg 的水泥,从而使成本下降大约 20 元/m³。粉煤灰这一工业废料在达到资源再利用的同时也提高了混凝土工作性能及耐久性。对梁和柱这样的主要受力构件选择 C40 高性能混凝土为重点措施。与 C30 相比,C40 高性能混凝土的抗压强度标准值增加 33%,这得益于其出色的力学特性,能够显著缩小构件的截面尺寸,在确保结构安全的前提下,给建筑内释放更多利用空间,使空间利用率达到最优。从钢材的选择上看,HRB500 级钢筋显示出明显的优越性。其设计的抗拉强度可以达到 435 MPa,与 HRB400 级钢筋的 360 MPa 相比,在满足相同的承载需求时,HRB500 级钢筋的使用量可以减少 15%~20%。这样在减少钢材采购成本的同时,结构的整体重量也有所下降,减少运输及安装的困难。

4.5 施工工艺优化

在模板工程中使用铝合金模板,是促进施工效益提高的一个重要途径。铝合金制成的模板拥有非常高的循环使用频率,能够达到 300~500 次,与传统的木制模板相比,它只需要 5~8 次的循环使用,这一

优势是非常明显的。以一个 30 层的住宅项目为例,铝合金模板的使用在节省人工成本 80 万元左右的情况下,缩短工期 45 天。铝合金模板轻质高强,拼装精度高,可确保混凝土构件成型质量并降低后期修补成本。

在钢筋工程中,采用 BIM 技术,并通过对钢筋的碰撞检测以及下料的优化,成功地降低钢筋的损耗率在 3%~5% 之间。BIM 技术可以对钢筋的布置进行施工之前的仿真,对钢筋的碰撞问题进行预先的检测和解决,对下料方案进行优化,避免材料的浪费和减少钢筋的采购成本。

在混凝土工程中,采纳自密实混凝土的方法,此项技术创新消除振捣的步骤,从而使得施工的效率增加 20%~30%。自密实混凝土流动性好、填充性好,可以均匀地充填模板空间而不需要振捣,避免振捣不密造成蜂窝、麻面及其他质量问题,改善混凝土构件外观质量及内在品质,降低后期修复成本。

5 结束语

在建筑行业走向精细化的时代背景下,住宅建筑设计应基于多维度协同安全的基础上、基于空间功能适配的原则、基于全生命周期经济权衡的原则和基于绿色可持续理念的原则进行设计。通过对结构体系选型和布置、基础设计、构件设计和材料选择以及施工工艺等方面的优化,达到力学性能和空间需求的平衡,增强结构的适应性并减少资源消耗和环境负荷。这些战略的综合应用优化了建筑的功能并实现了可持续发展的目标,开拓了住宅建筑多效益协同提升的新途径,有助于建筑行业朝着更高效、绿色和智能的方向发展。

参考文献:

- [1] 任敏松.绿色建筑理念下土木工程技术在住宅项目中的应用[J].城市开发,2025(11):159-161.
- [2] 弋刚,高加喜.装配式住宅建筑趋势下工程管理模式的适应性变革[J].居舍,2025(15):162-164.
- [3] 曹铭.土木工程建设视角下住宅建筑设计优化策略[J].住宅与房地产,2025(14):96-98.
- [4] 姚志勇.住宅建筑土木工程中基坑支护施工技术运用分析[J].建材发展导向,2024,22(23):75-77.
- [5] 魏巍.土木工程建设中住宅建筑设计建议[J].居舍,2024(28):102-105.