

高层建筑中框架结构设计要点分析

张加宝

国投工程检验检测有限公司, 云南 昆明 650217

摘要: 庞大的人口基数, 促使我国住宅建筑需求明显高于其他国家, 无形中为建筑行业快速发展创造了有利条件。经过数十年的发展, 我国民众经济实力普遍提升, 故而越来越重视住宅建筑的安全性、舒适性及功能性, 建筑结构设计也因此面对着一些新要求和新挑战。基于此, 本文首先进行高层住宅建筑结构体系的简要梳理介绍, 进而根据实践, 详细分析多层住宅建筑设计中的框架结构设计, 以期与相关设计人员相互交流讨论, 借此提升建筑结构设计水平。

关键词: 高层建筑; 框架结构设计; 配筋设计

Analysis of Key Points in Frame Structure Design for High-Rise Buildings

Zhang, Jiaobao

SDIC Engineering Inspection and Testing Co., Ltd., Kunming 650217, China

Abstract: The substantial population base in China has led to a significantly higher demand for residential construction compared to other countries, creating favorable conditions for the rapid development of the construction industry. After decades of development, the improved economic strength of the Chinese population has led to an increasing emphasis on the safety, comfort, and functionality of residential buildings. Consequently, building structural design faces new requirements and challenges. In this context, this paper first provides a brief overview of the structural system of high-rise residential buildings. Subsequently, based on practical experience, it thoroughly analyzes the frame structure design in the structural design of multi-story residential buildings. The aim is to facilitate mutual exchange and discussion among relevant design professionals, thereby enhancing the level of building structural design.

Keywords: High-rise buildings; Frame structure design; Reinforcement design

DOI: 10.62639/sspis02.20240101

前言

随着城市化进程的加速, 高层建筑逐渐成为了城市建设的主要类型, 而框架结构因其优越的抗震性能和灵活的空间布局, 被广泛应用于多层住宅建筑中。然而, 高层建筑框架结构设计的复杂性和挑战性也随之增加, 尤其是在确保结构安全性和实用性方面^[1]。因此, 深入分析框架结构设计的关键要点, 对于提升建筑的性能和质量具有重要意义。

一、多层住宅建筑结构体系的探讨

多层住宅建筑的结构类型可以大致分成三类, 包括框架轻板结构体系、混凝土空心砌块多层建筑体系以及钢筋混凝土剪力墙结构体系^[2]。其中, 框架轻板结构体系的主要结构为非承重墙, 混凝土框架非承重墙则由非粘土砌块、混凝土砌块、陶粒混凝土轻质两面光条板及陶粒空心砌块等构成。

混凝土空心砌块多层建筑体系最容易出现的问题是水的渗透问题, 如果采用双面抹灰降低雨水的渗透作用, 就会增加抹灰量, 导致工成本增加, 且容易出现开裂以及鼓包问题。钢筋混凝土剪力墙结构体系通过现浇钢筋混凝土墙进行内外墙的施工, 能够预制墙板以确保墙体的保温性能。

在多层住宅建筑框架结构设计中, 重点是保证建筑结构的规则性。如果建筑要求不规则的设计, 则需要强化每一个结构的性能, 尤其是不规则的区域, 但不能将建筑设计得过于不规则^[3]。在进行框架结构设计时, 结构的规则性是必须注意的, 但在实际情况中可能会遇到多种不规则性问题, 如楼层承载力水平骤变、结构扭曲不规则、楼板局部连续性不足等。因此, 在进行框架结构的设计期间, 尤其需要重视布置的建筑结构的规则性, 以降低后期不规则性问题的出现, 避免对建筑整体的抗震性能造成不良影响。

二、多层住宅建筑框架结构设计应用

(一) 工程概况

翡翠湾高层综合体位于环境优美的省会城市中心, 项目占地约 80000 平方米, 总建筑面积约为 450000 平方米, 设计高度超过 60 米, 共计 18 层, 是一座集住宅、办公、商业和休闲娱乐为一体的现代化高层建筑群。该项目由两座主塔楼和多个配套建筑构成, 主塔楼采用钢筋混凝土框架结构体系, 具有较好的稳固性和耐久性。项目的设计充分考虑了地区的地质、气候特点和环境要素, 力求在提供优质居住和办公环境的同时, 保持建筑的独特美观和现代感。

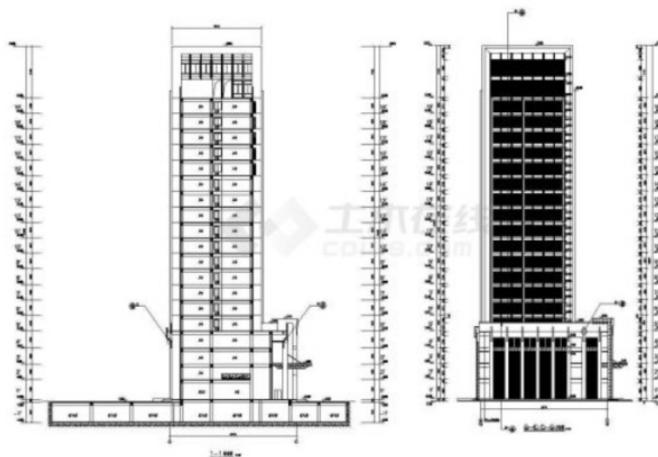


图 1 翡翠湾高层综合体主塔楼框架结构图

(二) 高层住宅建筑框架结构设计要点

1. 建筑整体的规则性

建筑整体的规则性对建筑的结构稳定性以及抗震性能具有直接的影响, 翡翠湾高层综合体项目的规则性主要体现在以下几个方面: 1) 垂直规则性: 高层建筑中的垂直结构元素(如柱子、剪力墙)应在各层保持垂直对齐, 以避免产生扭转效应。翡翠湾综合体每层的柱网布局保持一致, 柱子位置在各层之间不发生偏移, 减少了不对称负荷的可能性。2) 平面规则性: 建筑的平面布局应尽可能简洁、对称, 本项目采用了近似正方形的平面布局, 确保质量和刚度沿各个方向的均匀分布, 减少横向力作用下的不利影响^[4]。3) 质量和刚度分布: 为避免在地震等动力作用下产生较大的扭转效应, 建筑的质量和刚度分布应均匀, 翡翠湾项目在设计时特别考虑了结构质量和刚度的均匀分配, 通过调整楼层高度和使用不同密度的材料来实现。4) 结构连续性: 结构的连续性对于提高其整体性能非常重要, 翡翠湾的框架结构设计确保了梁与柱的有效连接, 以及楼板与框架的良好结合, 增强了整体结构的一体化性能。

表 1 建筑整体规则性的关键要素

规则性类别	描述	翡翠湾项目实例
垂直规则性	垂直结构元素在各层应保持垂直对齐, 避免扭转效应。	每层柱网布局一致, 柱子位置不偏移, 减少不对称负荷可能性。
平面规则性	平面布局应简洁、对称。	采用近似正方形布局, 确保沿各方向质量和刚度均匀分布。
质量和刚度分布	质量和刚度分布应均匀, 避免大扭转效应。	结构质量和刚度均匀分配, 通过调整楼层高度和材料密度实现。
结构连续性	结构连续性提高整体性能。	框架结构设计确保梁柱有效连接, 及楼板与框架良好结合, 增强一体化性能。

2. 框架结构的布局设计要点

框架结构布局是保证结构安全和功能性的

关键因素, 翡翠湾高层综合体项目在框架结构布局优化: 项目采用了灵活的柱网布局, 柱网间距设计在6米至8米之间, 以优化空间利用率和承载率, 根据荷载要求和延展性。2) 梁的设计: 考虑梁的跨度与柱网的相匹配, 等配筋传递组件, 梁的设计时与柱网布局相匹配, 等配筋保载度和配筋。梁的高效性。在增加梁的深度设计: 合载量这一措施来提高混凝土材料, 厚度设计符合标准要求, 以提高混凝土的承载能力和刚度。3) 楼板设计: 合楼板与梁柱的连接为刚性连接, 使框架的层间具有较好的整体性。4) 剪力墙与框架结构的协同作用: 剪力墙在核心区域与框架结构相结合, 提高整体的抗剪力和稳定性。5) 抗震设计: 考虑到高层建筑的抗震需求, 项目在结构设计中采用了符合最新的抗震标准的设计方案, 通过优化结构构件的尺寸和材料, 以及合理的配筋布局, 提高了结构的抗震性能。

表 2 翡翠湾高层综合体项目框架结构布局设计要点

设计要点	描述	翡翠湾项目实例
柱网布局优化	柱网间距设计在6至8米之间, 优化空间利用率和承载能力。	采用灵活的柱网布局, 根据荷载优化柱子截面尺寸和配筋方案。
梁的设计	考虑梁的跨度、深度和配筋, 确保高效的荷载传递。	梁跨度与柱网布局匹配, 在荷载大的区域增加梁深度和配筋量。
楼板设计	使用高强度混凝土, 厚度符合标准要求, 保证承载能力和刚度。	楼板与梁柱刚性连接, 提高楼层间整体性。
剪力墙与框架协同作用	剪力墙与框架结构结合, 提高抗侧力能力和稳定性。	在核心区域布置多道剪力墙, 与框架结构相结合。
抗震设计	采用符合最新的抗震标准的设计, 优化结构尺寸和材料, 合理配筋布局。	结构设计考虑抗震需求, 通过结构构件优化提高抗震性能。

(三) 框架结构建模参数科学性分析

1. 结构建模精确度

翡翠湾项目采用了三维建模软件SAP2000, 确保了柱、梁、楼板等结构元素的准确表达, 梁柱的交接、楼板的厚度等都得到了精确建模。项目中节点(柱与梁的交接点)的刚度参数也考虑了半刚性连接的影响, 从而更贴近实际结构行为。

2. 参数选择的合理性

结构材料的力学参数, 如混凝土的抗压强度、钢筋的屈服强度等, 全部根据国家标准GB50010-2010和实际试验数据进行选择, 其中, 混凝土采用的是C40级, 钢筋采用

HRB400 级。建模中考虑了各种荷载情况，包括永久荷载（如结构自重）、活荷载（如居民活动产生的荷载）以及环境荷载（如风荷载和地震荷载），所有荷载参数根据地区的具体环境和相关规范 GB50009-2012 进行确定的。

表 3 翡翠湾高层综合体项目框架结构设计参数

参数类型	具体参数	规范依据	备注
混凝土等级	C40	GB50010-2010	混凝土的标准等级
混凝土抗压强度	40 MPa	GB50010-2010	40 MPa 指的是混凝土 28 天的立方体抗压强度
钢筋等级	HRB400	GB50010-2010	HRB400 是热轧带肋钢筋的标准等级
钢筋屈服强度	400 MPa	GB50010-2010	400 MPa 是指钢筋的最小屈服点强度
永久荷载	结构自重等	GB50009-2012	包括建筑结构自重等
活荷载	居民活动等	GB50009-2012	考虑居民日常活动产生的动态荷载
风荷载	按地区风速计算	GB50009-2012	考虑当地最高风速产生的压力
地震荷载	依据地震烈度设定	GB50011-2010	基于建筑所在地区的地震烈

3. 模型分析的全面性

为了全面评估建筑结构在地震影响下的行为和反应，本项目实施了动力时程分析。这种分析充分考虑了建筑结构的固有频率和振型以及地震动输入参数，例如地震加速度的时间历程^[5-6]。此外，项目还采用了静力分析方法，用于评估结构在常规荷载（如重力、风荷载等）作用下的性能，具体包括对建筑结构的弯矩和剪力分布、楼板荷载的传递路径以及柱子的轴向力状态进行了详细的分析和评估。

4. 结果的验证与校核

分析结果中的应力和变形值与允许值进行了比较，确保结构在正常使用条件下具有较高的安全性和适用性^[7]。对于超出允许范围的区域，进行结构调整和优化。同时，也对整体结构的稳定性进行了评估，包括整体倾覆稳定性和局部屈曲稳定性的检查。

(四) 框架结构的配筋设计要点

配筋设计是确保翡翠湾高层综合体结构安全性和功能性的关键环节，在翡翠湾项目的配筋设计中，特别关注了梁的裂缝宽度和梁端斜截面的配筋，以下是具体的设计要点：

1. 梁裂缝宽度设计

根据 GB 50010-2010《混凝土结构设计规范》，梁的裂缝宽度应控制在规范允许的限值内，通常不超过 0.2mm，为了控制裂缝宽度，梁的配筋应合理布置，通常采用较小直径且间距较

密的钢筋，如直径不大于 12mm 的 HRB400 级钢筋，以及较密的纵向和横向配筋间距（如 100mm 至 200mm 间距），通过这种设计方式来提高裂缝控制的效果^[8]。在裂缝宽度控制中，还需要考虑梁在受力时的应力分布，应使用 ABAQUS 或 ANSYS 等有限元分析软件预测梁在荷载作用下的应力分布，基于预测结果来优化配筋布局。

表 4 梁裂缝宽度设计的关键要点

设计要素	描述	标准或建议
裂缝宽度限制	梁的裂缝宽度应控制在规范允许的限值内。	通常不超过 0.2mm。
配筋布局	合理布置配筋以控制裂缝宽度。	采用较小直径、间距较密的钢筋。
钢筋规格	使用特定规格的钢筋。	如直径不大于 12mm 的 HRB400 级钢筋。
配筋间距	设定纵向和横向配筋的间距。	如 100mm 至 200mm 间距。
应力分布预测	预测梁在荷载作用下的应力分布。	使用 ABAQUS 或 ANSYS 等有限元分析软件进行预测。
配筋布局优化	基于应力分布的预测结果优化配筋布局。	确保裂缝宽度控制有效。

2. 梁端斜截面配筋设计

梁端斜截面处的剪力是决定梁端配筋的重要因素，根据《混凝土结构设计规范》，斜截面剪力的计算需要考虑梁端的支座反力和相邻跨度的荷载效应。在梁端斜截面配筋设计中，需要提供足够的横向配筋（箍筋）和倾斜配筋以承受剪力和弯矩，箍筋通常采用直径不小于 6mm 的 HRB400 级钢筋，间距根据剪力大小调整，一般在 100mm 至 150mm 之间。在梁端斜截面的锚固区域，为了确保足够的锚固长度和锚固强度，需要特别注意锚筋的处理，通常采用额外的弯钩或锚固板来增强锚固效果。在梁端斜截面附近设置了抗剪增强区域，并通过增加箍筋密度和强度来提高斜截面的抗剪承载能力。

(五) 基础持力层级换填处理设计要点

翡翠湾高层综合体项目在基础持力层级换填处理设计中，需考虑地基承载力、土层特性和基础深度等因素，以下是对这些要点的详细分析：1) 首先需进行地质勘察，以确定土层组成、厚度及其承载力，在本项目中，采用了标准贯入试验 (SPT) 和静力触探试验 (CPT) 来评估不同深度的土层承载特性，其中，地基的承载力数据（如每平方米可承受的最大压力值）是基础设计的关键参数。2) 基础持力层级的提升可能需要进行土层的换填，换填材料应具有良好的压缩性和稳定性，常用的换填材料包括砾石、砂土和特制的轻质混凝土，而材料的选择依据则是它的压缩模量以及排水条件^[9]。3) 对于承载力较低的土层，可采用如挤密桩、深层混凝土搅拌桩或土钉墙等加固方法来提高其承载能力。例如，可以使用深层搅拌桩将混凝土和土层混合来形成具有更高承载力的

复合地基^[10]。4) 基础设计考虑了结构自重、活荷载以及环境荷载等因素, 为了确保基础的稳定性和承载力, 还采用了数值模拟软件 (如 PLAXIS 或 GEO5) 进行基础-土体交互分析, 并使用这些软件模拟了不同深度的基础在预期荷载下的沉降和应力分布。5) 在换填处理中, 必须考虑排水条件对地基固结的影响, 在某些情况下还需要设置排水井或排水板来以加速固结过程并减少沉降。6) 施工过程中采用了分层填筑和振动压实等施工技术, 用于确保换填层的均匀性和稳定性。同时也通过安装沉降标和压力计等监测设备实时监控了基础和换填层的性能。

(六) 高层住宅建筑框架结构设计需注意的几点问题

1. 结构整体稳定性

在翡翠湾高层综合体项目的结构设计中, 为了保持整体稳定性, 设计团队密切关注了结构的偏心率控制, 确保结构的质心与刚心之间的偏心率保持在可接受范围内, 避免由于不均匀荷载或建筑布局的不对称性导致的扭转效应。通过仔细的设计规划和详尽的结构分析, 项目团队保证了结构在受到各种荷载时的稳定性和安全性。

2. 水平力抵抗系统

为提升结构的抗侧力能力和整体稳定性, 翡翠湾项目采用了创新的水平力抵抗系统, 这一系统结合了剪力墙和框架系统的优点, 以有效地分散和吸收由风力或地震引起的水平力。剪力墙的布置和框架的设计都经过精密计算, 确保了在极端天气或地震事件中, 建筑的结构完整性不受威胁。

3. 楼层间位移控制

考虑到高层建筑在地震等外部荷载作用下可能发生的较大位移, 楼层间位移控制成为设计的关键, 根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010), 项目团队严格控制楼层的层间位移角, 保证不超过规范限定的 1/550。此外, 通过位移延性设计, 结构能够在荷载作用下展示足够的变形能力, 从而防止在强震中发生破坏。

4. 构件尺寸与材料强度

在结构构件设计上, 本项目特别强调了尺寸优化和材料强度的选择, 梁和柱等主要承重构件的尺寸根据不同荷载条件进行精细调整, 在适应结构需求的同时也考虑了施工和经济效益。材料方面, 选择适宜的混凝土等级和钢筋类型, 很好地满足了承载力和抗震性能的需求。

5. 结构细部设计

细部设计对于高层建筑的结构安全至关重要, 在本次的项目中特别关注了梁柱节点的设计, 确保了这些关键区域在地震荷载的情况下能够有效承受较大的力量传递, 同时, 构件连接的细节都是经过精心设计和计算的, 如梁与柱的锚固和梁端的配筋处理, 很好地保证了连接的可靠性以及持久性。

6. 温度效应与收缩裂缝

温度变化对高层建筑的影响不容忽视, 项目中进行了详细的温度应力分析, 考虑了由于温度变化引起的构件膨胀或收缩。为此, 采取了适当的措施, 如设置伸缩缝, 有效地减少了温度效应对结构的影响。同时, 为控制混凝土的收缩裂缝, 选用了适当的混凝土配合比和施工工艺, 以减少裂缝的发生。

7. 风荷载和地震作用

鉴于高层建筑易受风力和地震的影响, 对翡翠湾项目进行了全面的风荷载和地震作用分析。风荷载分析考虑了建筑的高度和形状对风压分布的影响, 而地震作用分析则基于地震烈度区划和场地条件, 这些分析确保了结构能够在极端天气和地震事件下保持其完整性和安全性。

三、结语

综上所述, 高层建筑框架结构设计是一项复杂而关键的任务, 涉及建筑整体规则性、结构布局、建模参数科学性, 以及配筋设计等多个方面。本文对这些要点进行了全面的分析和探讨, 提出了具体的设计建议和注意事项, 这些结论不仅有助于提高框架结构设计的科学性和实用性, 而且对于保障建筑安全和提高建筑质量具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 李卓. 框架结构设计在建筑结构设计中的应用探讨 [J]. 陶瓷, 2021, (01):122-123.
- [2] 赵志诚. 对高层建筑框架剪力墙结构设计中一些问题的思索 [J]. 建材与装饰, 2019, (35):95-96.
- [3] 杨华. 基于实例分析高层建筑框架剪力墙结构设计 [J]. 四川水泥, 2018, (11):87.
- [4] 胡细伟. 某超限高层办公建筑中局部单跨框架的结构设计 [J]. 低碳世界, 2018, (04):202-203.
- [5] 朱蔚惠. 型钢混凝土框架-混凝土筒体结构设计在超高层建筑中的应用与探讨——上海某超高层甲级办公楼工程的结构分析和关键构件处理措施 [J]. 科技创新与应用, 2013, (21):13-14.
- [6] 赵丽娟. 核心筒结构设计在超高层建筑混凝土框架中的重要作用 [J]. 民营科技, 2013, (04):272.
- [7] 熊祖强. 高层建筑钢框架-偏心支撑结构设计研究 [J]. 江西建材, 2023, (04):133-134+137.
- [8] 徐莉, 李洁, 郑未娟. 天津某高层建筑钢框架-偏心支撑结构设计 [J]. 工程建设与设计, 2022, (23):3-7.
- [9] 魏强, 杨晓东, 倪先光, 孙钦学, 云超光. 济南西部会展中心配套高层超限结构设计 [J]. 建筑结构, 2021, 51(15):9-17.
- [10] 刘顺, 胡亮, 何守民. 某框架-核心筒高层办公建筑斜柱结构设计 [J]. 山西建筑, 2021, 47(14):47-49.

(作者简介: 张加宝 (1986-12), 男, 汉, 云南省保山市, 本科, 国投工程检验检测有限公司 + 高级工程师, 研究方向: 建筑结构, 结构设计, 结构鉴定加固, 工程检测, 岩土工程。)