

混凝土框架结构在多层建筑中的应用与优化设计研究

王 浩

邢台市建筑设计研究院有限公司 河北 邢台 054000

摘 要: 混凝土框架结构凭借其传力明确、布局灵活、抗震性能良好等优势,在多层建筑领域得到广泛应用。本文系统梳理了混凝土框架结构的技术特征与发展脉络,分析了其在多层建筑中的典型应用场景,并针对结构优化设计中的关键问题,提出基于性能导向的优化策略。研究结果表明,通过结构体系优化、构件参数精细化设计及抗震性能强化等措施,可有效提升框架结构的经济性与安全性,为多层建筑的高质量发展提供技术支持。

关键词: 混凝土框架结构; 多层建筑; 结构优化; 抗震设计; 经济性分析

1 引言

混凝土框架结构作为现代建筑体系的核心类型之一,自19世纪末诞生以来,经历了从刚性框架到柔性框架、从单一材料到复合材料的技术演进。据统计,我国现有建筑中超过60%的多层民用建筑采用框架结构体系,其应用范围涵盖办公楼、教学楼、商业综合体等典型功能空间。随着城市化进程的加速,多层建筑在城市建设中占据着越来越重要的地位。多层建筑不仅能够有效利用土地资源,满足人们日益增长的居住、办公、商业等需求,还能在一定程度上缓解城市空间压力^[1]。在多层建筑的结构设计中,混凝土框架结构因其诸多优点而得到广泛应用。混凝土框架结构具有良好的力学性能,能够承受较大的竖向和水平荷载,保证建筑物的稳定性和安全性;同时,其空间布局灵活,便于根据不同的使用功能进行室内空间的划分和调整。然而,在实际工程应用中,混凝土框架结构的设计仍存在一些问题,如结构安全储备不足、抗震性能有待提高、材料利用效率不高等,这些问题不仅影响建筑物的使用寿命和安全性,还造成资源的浪费。因此,对混凝土框架结构在多层建筑中的应用进行深入研究,并提出优化设计策略具有重要的现实意义。

2 混凝土框架结构的技术特征与发展脉络

2.1 混凝土框架结构的特点与优势

2.1.1 力学性能优良

混凝土框架结构由梁和柱通过节点连接而成,形成一个整体受力体系。在竖向荷载作用下,梁主要承受弯矩和剪力,将荷载传递给柱;柱则承受轴向压力,并将荷载传递至基础。在水平荷载(如风荷载、地震作用)作用下,框架结构通过梁柱节点的变形来消耗能量,具有较好的抗侧力能力。合理的框架结构设计能够使结构在各种荷载组合下保持良好的力学性能,确保建筑物的

安全稳定。

2.2 空间布局灵活

与砖混结构等其他结构形式相比,混凝土框架结构不依赖于墙体来承受荷载,墙体仅起到围护和分隔空间的作用。因此,在建筑设计中可以根据不同的使用功能要求,灵活布置室内空间,打破传统建筑空间划分的限制。例如,在商业建筑中,可以采用大跨度、大空间的设计,满足商场、超市等对展示空间和营业面积的需求;在办公建筑中,可以根据企业的组织架构和办公流程,灵活划分办公区域,提高办公效率。

2.3 施工工艺成熟

混凝土框架结构的施工工艺经过多年的发展和完善,已经非常成熟。从模板制作、钢筋绑扎到混凝土浇筑,每个环节都有严格的施工规范和质量标准。施工过程中可以采用机械化作业,提高施工效率,缩短工期。同时,随着建筑技术的不断进步,一些新的施工技术和方法也不断应用于混凝土框架结构施工中,如预制装配式施工技术,进一步提高了施工质量和效率,减少了施工现场的环境污染。

2.4 材料来源广泛

混凝土框架结构的主要材料为钢筋和混凝土,这两种材料在市场上供应充足,来源广泛。钢筋具有良好的强度和韧性,能够承受较大的拉力;混凝土则具有较高的抗压强度,且耐久性好,能够抵抗自然环境的侵蚀。此外,随着建筑材料技术的不断发展,新型钢筋和混凝土材料不断涌现,如高强度钢筋、高性能混凝土等,这些新型材料的应用进一步提高了混凝土框架结构的性能和质量。

2.2 技术发展历程与现状

混凝土框架结构的技术演进可分为三个阶段:(1) 刚性框架阶段(1880-1950年):以高强混凝土与粗钢

筋为特征,梁柱截面尺寸较大,节点采用刚性连接,典型代表为美国芝加哥的Home Insurance Building(1885年,10层)。(2)柔性框架阶段(1950-2000年):随着延性设计理论的完善,框架结构开始注重耗能机制设计,通过控制轴压比、配箍率等参数提升抗震性能。日本1981年修订的《建筑基准法》明确要求框架结构需满足“强柱弱梁”的破坏机制。(3)高性能框架阶段(2000年至今):以高强混凝土、高强钢筋、纤维增强材料(FRP)的应用为标志,结构向轻量化、耐久化方向发展。欧盟CEB-FIP模型规范提出基于概率的极限状态设计方法,将结构可靠性指标提升至4.2以上。当前,我国《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)对框架结构的设计要求涵盖承载力、变形、裂缝控制等多维度指标,但针对复杂荷载工况下的非线性分析仍存在技术空白。

3 混凝土框架结构在多层建筑中的典型应用

3.1 办公建筑中的空间适应性设计

现代办公建筑注重功能灵活性与空间可变性,框架结构通过“三统一”原则实现空间高效利用。柱网优化方面,采用8.4m×8.4m大跨度柱网,减少结构构件对空间的分割,如上海中心大厦办公区使用率提升至75%;层高控制上,标准层层高控制在3.6-4.2m,满足设备管线布置与自然采光需求,深圳平安金融中心通过BIM技术优化管线综合排布,层高降低0.3m且使用功能不受影响;荷载适配方面,根据功能分区差异化设计荷载标准,会议区活荷载取3.5kN/m²,普通办公区取2.0kN/m²,通过结构分区降低材料用量。

3.2 教育建筑中的抗震安全设计

学校建筑人员密集,抗震设计需满足“小震不坏、中震可修、大震不倒”的三水准设防要求。结构体系选择上,采用框架-剪力墙结构体系,通过剪力墙增强结构抗侧刚度,汶川地震后重建的北川中学教学楼,框架柱轴压比控制在0.65以下,剪力墙配筋率提高至0.35%;节点构造强化方面,梁柱节点区箍筋加密至100mm间距,并采用机械连接替代绑扎连接,确保节点核心区抗剪承载力;隔震技术应用上,在基础与上部结构间设置铅芯橡胶隔震支座,可降低地震作用30%-50%,昆明长水国际机场航站楼采用该技术后,结构抗震性能显著提升^[2]。

3.3 商业建筑中的经济性优化设计

商业综合体需平衡结构安全与经济性,通过多种措施实现成本优化。构件标准化设计上,统一梁、柱截面尺寸,减少模板种类,广州天河城购物中心采用标准化设计后,模板周转率提高2倍,单方造价降低12%;施工

模拟优化方面,利用BIM技术进行施工过程模拟,优化构件吊装顺序与临时支撑布置,北京大兴国际机场航站楼通过施工模拟,减少临时支撑用量30%;材料性能提升上,采用C60高强混凝土替代C30普通混凝土,梁柱截面尺寸减小20%,混凝土用量降低15%。

4 混凝土框架结构的优化设计策略

4.1 结构体系优化方法

4.1.1 拓扑优化技术

基于变密度法的拓扑优化可实现材料高效分布。以某五层办公楼为例,通过优化框架柱布局,结构自重降低18%,侧向刚度提升12%。优化模型为

其中为单元密度,为单元体积,为最大应力,为最大位移。

4.1.2 性能化设计方法

根据建筑功能需求设定性能目标,如办公建筑取位移角限值1/550,学校建筑取1/650。通过非线性时程分析验证结构在罕遇地震下的弹塑性变形能力,确保“大震不倒”。

4.2 构件参数精细化设计

4.2.1 梁截面优化

梁高与跨度比宜控制在1/10-1/15,梁宽取梁高的1/2-1/3。以某框架梁为例,原设计截面为300mm×600mm,通过优化调整为250mm×550mm,混凝土用量减少15%,配筋率提高至1.2%以满足抗裂要求。

4.2.2 柱截面渐变设计

为避免刚度突变,柱截面尺寸应逐层递减,每层减小范围控制在50-100mm。某20层框架核心筒结构采用该设计后,结构自振周期降低0.2s,地震作用减小10%。

4.2.3 节点核心区强化

梁柱节点核心区抗剪承载力应满足 $V_j \leq 0.30\beta_c f_c b_j h_j + 0.056N + f_{yv} A_{sv} h_b$,其中 β_c 为混凝土强度影响系数, f_c 为混凝土抗压强度, b_j 、 h_j 为核心区截面尺寸, N 为轴向压力, f_{yv} 为箍筋抗拉强度, A_{sv} 为箍筋面积, s 为箍筋间距^[3]。

4.3 抗震性能强化措施

4.3.1 “强柱弱梁”机制实现

通过控制柱端弯矩增大系数确保柱端先于梁端屈服。规范要求一级抗震等级框架柱的弯矩增大系数取1.7,二级取1.5。某框架结构通过增大柱配筋率至2.5%,成功实现“强柱弱梁”破坏模式。

4.3.2 耗能机制优化

在框架中设置屈曲约束支撑(BRB),通过支撑的塑性变形耗散地震能量。试验表明,BRB框架的耗能能力较普通框架提高3倍以上。

4.3.3 隔震与减震技术应用

在基础隔震体系中,铅芯橡胶支座的等效刚度与等效阻尼需满足 $k_{eq} = GA/h$, $\xi_{eq} = 2\pi W_s/W_d$,其中G为橡胶剪切模量,A为支座截面面积,h为橡胶层厚度, W_d 为单周耗能, W_s 为最大应变能。

5 工程案例

5.1 某六层综合办公楼设计优化

5.1.1 工程概况

该工程为六层框架结构,建筑高度21.6m,抗震设防烈度7度,设计基本地震加速度0.15g。原设计采用C30混凝土,HRB400钢筋,结构自重12.5kN/m²。

5.1.2 优化措施

结构体系优化:将原均匀柱网调整为周边密柱、核心疏柱的布局,结构自重降低10%。构件参数优化:梁截面高度减小100mm,配筋率提高至1.5%;柱截面尺寸逐层递减80mm,轴压比控制在0.7以下。节点强化设计:梁柱节点核心区箍筋间距加密至80mm,并增设腰筋以增强抗扭能力。

5.1.3 优化效果

优化后结构自重降低至11.2kN/m²,混凝土用量减少12%,钢筋用量增加5%,但综合造价降低8%。在罕遇地震作用下,最大层间位移角控制在1/200以内,满足抗震性能要求。

5.2 某学校教学楼抗震加固设计

5.2.1 工程概况

该教学楼为四层框架结构,建于1990年,采用C20混凝土与HPB235钢筋。汶川地震后检测发现,部分框架柱配筋率不足0.8%,节点核心区抗剪承载力不满足现行规范要求。

5.2.2 加固方案

柱加固:采用外包型钢加固法,在柱四角增设L100×10角钢,并通过缀板连接形成整体。加固后柱承载力提高40%。节点加固:在梁柱节点核心区增设交叉钢筋网片,间距150mm,并通过结构胶锚固^[4]。隔震改造:在基础与上部结构间设置铅芯橡胶隔震支座,隔震层刚度降低至原结构的1/5。

5.2.3 加固效果

加固后结构自振周期延长0.3s,地震作用减小25%。在E级地震作用下,最大层间位移角控制在1/300以内,满足“中震可修”要求。

6 结论与展望

6.1 研究结论

混凝土框架结构通过“三统一”设计原则可实现多层建筑的空间高效利用,但需结合功能需求差异化设计荷载标准。结构优化需兼顾安全性与经济性,通过拓扑优化、性能化设计等方法可降低材料用量10%~15%。抗震性能强化是框架结构设计的核心,需通过“强柱弱梁”机制、耗能机制优化及隔震技术实现多道抗震防线。

6.2 未来展望

未来,智能化设计技术将结合人工智能算法实现框架结构的自动化优化设计,缩短设计周期30%以上。新型材料应用方面,研发高强-高延性混凝土(UHDC)与高强钢筋(HRB600),可进一步提升结构性能。全生命周期管理上,建立基于BIM的框架结构全生命周期管理平台,实现设计、施工、运维的协同优化。混凝土框架结构作为多层建筑的主流结构形式,其技术发展需紧跟建筑工业化与智能化趋势,通过技术创新推动行业高质量发展。

参考文献

- [1]陈思宇,张扬,余蕾蕾,等.混凝土框架结构抗震设计的关键参数分析与优化[J].中国建筑装饰装修,2025,(08):157-159.
- [2]张宇轩.钢筋混凝土框架结构施工实践研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(13):93-95.
- [3]王琦.超限高层混凝土框架-核心筒结构设计研究[J].江西建材,2024,(12):148-150.
- [4]金国庆.钢筋混凝土框架结构在抗震设计中的难点与解决方法研究[C]//中国智慧工程研究会.2024工程技术应用与施工管理交流会论文集(上).中浩建工(浙江)有限公司,2024:156-158.