

多层钢筋混凝土框架结构整体设计与受力分析

陈博洋

中国化学赛鼎宁波工程有限公司 浙江 宁波 315000

摘 要: 多层钢筋混凝土框架结构是应用最广泛的结构形式之一, 其整体设计的合理性直接决定建筑安全与使用性能。本文重点围绕多层框架结构整体设计展开系统阐述, 涵盖结构选型、构件尺寸确定、材料选用、荷载计算、截面设计及构造措施等核心环节, 简要介绍受力分析的关键方法与响应特征。明确整体设计的核心原则与技术要点, 强化各设计环节的关联性与规范性, 旨在为多层框架结构设计实践提供系统化的方法指导与技术参考, 保障结构安全可靠、经济合理。

关键词: 多层框架结构; 钢筋混凝土; 整体设计; 荷载组合; 抗震构造

引言: 钢筋混凝土框架结构因传力明确、布置灵活、施工便捷, 广泛应用于多层住宅、办公楼及工业厂房等建筑中, 整体设计是保障结构安全的核心环节。随着建筑规范持续更新和抗震设防要求不断提高, 多层框架结构整体设计需兼顾建筑功能、结构安全与经济合理性, 统筹竖向与水平荷载的影响, 优化构件布置与构造细节。本文以整体设计为核心, 系统梳理从结构选型、荷载计算到截面设计、构造落实的完整技术路径, 简要补充受力分析要点, 为工程设计提供清晰参照。

1 多层框架结构的总体设计方案

1.1 结构选型与布置原则

多层框架选型需综合考量建筑功能、层高及抗震设防烈度等因素, 优先采用横向框架承重体系, 其抗侧刚度大、受力明确。结构布置应遵循传力直接、受力均匀、刚度协调原则, 柱网经济跨度控制在 6 至 9 米, 楼面优先采用现浇梁板式结构以增强整体性。伸缩缝、沉降缝和抗震缝需满足规范要求, 平面过长或体型复杂时应合理设置防震缝, 避免扭转不规则等抗震不利情况, 确保结构平面和竖向规则性, 为整体设计奠定良好基础^[1]。

1.2 结构构件尺寸初步确定

构件截面尺寸初步确定是整体设计的关键前置环节, 需结合经验估算与后续内力分析优化调整。框架梁高度按跨度估算, 主梁取跨度的 $1/8 \sim 1/12$, 次梁取 $1/12 \sim 1/18$, 宽度取高度的 $1/2 \sim 1/3$, 常用截面为 $250\text{mm} \times 500\text{mm} \sim 350\text{mm} \times 700\text{mm}$, 需兼顾承载力与挠度控制要求。柱截面按轴压比估算, 轴力近似为荷载估算值乘以楼层数和受荷面积, 轴压比需严格满足规范限值, 常用截面为 $400\text{mm} \times 400\text{mm} \sim 600\text{mm} \times 600\text{mm}$, 确

保柱的延性与承载力。楼板厚度单向板不小于跨度的 $1/40$, 双向板不小于 $1/45$, 且不小于 80mm , 常用厚度 $100 \sim 150\text{mm}$, 保障楼面刚度与传力可靠性。初步尺寸确定后, 需结合整体性能指标与内力分析结果综合调整, 控制柱计算高度与截面短边之比, 避免出现短柱等抗震不利构件。

1.3 材料选用与设计参数

材料选用需结合环境类别、抗震等级和设计使用年限综合确定, 兼顾结构安全与经济性。混凝土强度等级方面, 柱和节点宜采用 C30 ~ C40, 梁和板可采用 C30, 露天或地下环境不宜低于 C35, 确保核心构件的承载能力与耐久性。受力主筋优先采用 HRB400 级钢筋 (屈服强度 400MPa), 箍筋可用 HRB400 或 HPB300, 分布筋可用 HPB300, 匹配构件受力特征。保护层厚度需严格把控, 梁、柱取 $20 \sim 30\text{mm}$, 板取 $15 \sim 20\text{mm}$, 地下构件适当加大, 防止钢筋锈蚀影响结构寿命。结构重要性系数按安全等级确定, 二级取 1.0, 一级取 1.1; 设计使用年限一般为 50 年, 重要建筑按 100 年设计, 材料选用与设计参数需协同适配, 保障结构整体可靠性。

2 荷载计算与组合

2.1 竖向荷载计算

竖向荷载计算是整体设计的基础, 包括恒荷载和活荷载, 需精准核算以保障后续设计合理性。恒荷载按构件实际尺寸计算, 钢筋混凝土容重取 25kN/m^3 , 楼面装修荷载取 $1.0 \sim 2.0\text{kN/m}^2$, 隔墙荷载折算为线荷载作用于梁上, 确保荷载传递路径清晰。活荷载按《建筑结构荷载规范》取值, 住宅、办公楼楼面取 2.0kN/m^2 , 走廊、门厅取 3.5kN/m^2 , 上人屋面取 2.0kN/m^2 , 不上人屋面取

0.5kN/m²。荷载传递路径严格遵循板→次梁→主梁→柱→基础,双向板按45°塑性铰线划分导荷范围,荷载呈三角形或梯形分布传递至周边梁;单向板沿短边方向传递,隔墙荷载简化为均布线荷载,必要时结合门洞位置局部调整,确保荷载计算精准可靠。

2.2 水平荷载计算

水平荷载包括风荷载和地震作用,是整体设计中不可忽视的环节,需结合建筑特征精准计算。风荷载由基本风压、风压高度变化系数、风荷载体型系数和风振系数连乘确定,建筑高度大于30m或高宽比大于1.5时需考虑风振系数。地震作用采用底部剪力法,适用于高度不超过40m、质量刚度均匀的多层框架,总水平地震作用为水平地震影响系数乘以等效总重力荷载代表值(取总重力荷载代表值的85%),各楼层水平地震作用按该楼层重力荷载代表值与楼层高度乘积占全楼总和的比例分配,同时考虑顶部附加地震作用。抗震计算需合理确定场地类别、设计特征周期、阻尼比等参数,确保水平荷载计算贴合实际工况^[2]。

2.3 荷载效应组合

荷载效应组合是整体设计中确定最不利内力的关键,需区分承载能力极限状态和正常使用极限状态分别开展。承载能力极限状态基本组合分为永久荷载控制和可变荷载控制两种情况,采用不同分项系数;地震组合为重力荷载代表值效应与水平地震作用效应组合,分项系数按规范取值。正常使用极限状态包括标准组合(裂缝、挠度验算)、频遇组合(疲劳验算)和准永久组合(长期变形控制)。设计中需对梁端弯矩、跨中弯矩、梁端剪力、柱端弯矩和轴力分别进行多种组合比选,识别最不利组合作为截面设计依据,确保整体设计既不过于保守也不偏于不安全。

3 框架结构内力分析与受力响应特征

3.1 内力分析核心方法

竖向荷载下采用分层法进行内力分析,核心是忽略侧移影响,将多层框架分解为若干单层独立单元计算,除底层柱脚为固定端外,各柱远端假定为固定端,柱线刚度乘以0.9折减系数,通过弯矩二次分配法计算杆端弯矩,进而推导梁端剪力与柱轴力,该方法计算简单、精度可靠,适配整体设计初步核算需求。水平荷载下采用D值法(改进反弯点法),通过合理确定柱侧移刚度和反弯点高度比,计算各柱分配剪力与杆端弯矩,精度优于传统反弯点法,与精确解误差控制在5%以内,是规范推荐的简化方法^[3]。整体设计中,

内力分析需服务于截面设计与构造优化,重点关注关键构件的内力分布特征。

3.2 框架结构受力响应特征

框架结构在不同荷载下呈现差异化受力响应,整体设计需针对性优化。竖向荷载下,梁端负弯矩最大,柱端弯矩相对较小,柱以受压为主,设计中需重点强化梁端承载能力与构造措施。水平荷载下,侧移呈剪切型变形曲线,层间位移角一般中间层最大,柱端弯矩沿高度与反弯点位置相关,柱轴力由倾覆力矩引起一侧受拉另一侧受压。整体设计需遵循“强柱弱梁”原则,确保塑性铰首先出现在梁端,使结构具备良好延性和耗能能力,避免柱铰机制导致整体倒塌,同时识别薄弱层并采取加强措施,保障结构整体受力安全。

4 构件截面设计与构造措施

4.1 框架梁截面设计

框架梁截面设计是整体设计的核心环节,需兼顾承载力、延性与使用性能。正截面承载力计算按截面类型采用对应方法,矩形截面按单筋或双筋计算,现浇楼板参与受压时按T形截面设计,严格控制受压区高度、最小和最大配筋率,保障承载力与延性。斜截面受剪承载力由混凝土和箍筋共同承担,需保证截面尺寸满足抗剪上限,箍筋配置满足抗剪下限,防止斜压和斜拉破坏。梁端箍筋加密区长度、直径和间距需满足抗震等级要求,这是保证梁端塑性铰区延性的关键构造。梁纵筋配筋率控制在合理范围,一般环境下最大裂缝宽度限值0.3mm,挠度按跨度的1/200~1/300控制,必要时设置预起拱以抵消部分使用荷载下的挠度,确保梁体安全适用。

4.2 框架柱截面设计

框架柱作为核心承重构件,其截面设计直接关系结构整体安全,需同时满足承载力、延性和构造要求。正截面承载力计算需先判别大小偏心受压,分别采用对应方法,轴压比是控制延性的核心指标,不同抗震等级对应不同限值,超限时需增大截面或提高混凝土强度。柱端剪力按“强剪弱弯”原则调整放大,确保柱端不发生脆性剪切破坏。箍筋加密区范围、最大间距和最小直径需满足抗震等级要求,加密区体积配箍率一级不低于0.8%、二级不低于0.6%,有效约束核心区混凝土。柱纵向钢筋总配筋率控制在0.6%~5%,每侧不小于0.2%,保障承载力同时避免钢筋过密影响混凝土浇筑质量,确保柱体受力可靠。

4.3 节点核心区设计

梁柱节点是框架受力最复杂、传力最关键的区域,其设计是整体设计的重点,直接影响结构整体稳定性。节点核心区剪应力水平高,受力机理为梁端弯矩产生的剪力通过梁纵筋粘结力传递至核心区,形成斜向压应力场。受剪承载力验算需考虑正交梁约束影响,中节点与边节点取值不同,核心区水平箍筋配置不低于柱端加密区,并满足最小体积配箍率要求。梁纵筋锚固有直线和弯折两种方式,需满足锚固长度要求,弯折锚固时水平段和垂直段均有最小长度限制;柱纵筋连接应避免塑性铰区,确保节点区域传力连续可靠。节点混凝土强度等级不应低于柱的 80% (中节点) 或 70% (边节点),强化节点核心区承载能力与整体性。

4.4 构造措施与抗震延性设计

构造措施是保障框架延性耗能、落实整体设计理念的关键,需严格遵循抗震设计原则。“强柱弱梁”通过柱端弯矩放大实现,底层柱底弯矩额外增大,避免柱铰出现在梁铰之前;“强剪弱弯”通过梁端和柱端剪力放大实现,确保构件在弯曲屈服前不发生剪切破坏。不同抗震等级有相应最大适用高度限制,高烈度区需严格控制。箍筋宜采用复合箍(菱形箍或井字箍),改善对核心区混凝土的约束效果。填充墙对框架抗震性能影响显著,宜采用轻质材料并与主体柔性连接,避免形成短柱或刚度突变导致的地震集中破坏。结构中易出现薄弱层的部位(如首层、转换层)应采取加强措施,确保“强柱弱梁”“强节点弱构件”的设计原则在结构各部位全面落实^[4]。

5 结构整体性能验算

5.1 层间位移角验算

层间位移角是控制结构刚度、保障整体性能的核心指标,多遇地震和风荷载下需满足框架结构 1/550 的限值,以保障弹性阶段抗侧刚度,防止非结构构件破坏并控制 P-Δ 效应。计算时取弹性刚度并考虑梁柱开裂影响乘以 0.85 折减系数,同时计入偶然偏心。罕遇地震下弹塑性层间位移角限值为 1/50,可采用静力弹塑性分析或简化方法验算抗倒塌能力。位移角超限时通过增大截面、提高混凝土等级或增设剪力墙调整,确保结构刚度满足整体设计要求。位移比是控制扭转效应的关键指标,应通过优化结构布置和刚度分布使其满足规范要求。

5.2 结构周期与振型分析

结构自振周期是表征动力特性、验证整体设计合理

性的重要参数,基本周期可按能量法、顶点位移法或经验公式估算,反映整体刚度与质量的匹配关系。周期折减系数需考虑填充墙刚度贡献,框架结构取 0.6~0.7,取值直接影响地震作用大小,需合理选取以保障设计安全。振型分析中应确保振型参与质量之和不小于总质量的 90%,否则需增加振型数量。扭转周期比需明确第一扭转与第一平动振型对应的周期,比值不大于 0.9 时抗扭刚度满足要求,若超限则需调整构件布置或增设抗扭构件,确保结构整体刚度分布合理,适配整体设计目标。

5.3 整体稳定性与抗倾覆验算

整体稳定性是结构整体设计的安全底线,需严格验算。重力二阶效应的考虑取决于刚重比,当低于限值时需考虑附加效应,过小时结构处于不稳定状态,需增大抗侧刚度或调整结构体系。抗倾覆验算适用于高宽比较大的结构,安全系数一般不小于 1.5,防止强风或强震下整体倾覆。基础沉降差异不可忽视,不均匀沉降会引发框架附加内力,可通过设置沉降缝、选用合适基础型式或地基处理加以控制。整体性能指标不满足时,调整策略包括改变结构体系、增大截面、加强基础刚度或优化建筑体型,调整后需重新验算直至满足要求,确保结构整体安全稳定。

结束语

多层钢筋混凝土框架结构整体设计是一项系统性工作,涵盖概念设计、计算分析与构造落实,是保障建筑安全的核心。本文以整体设计为重点,系统梳理了结构选型、构件尺寸确定、材料选用、荷载计算、截面设计及构造措施等核心环节,简要介绍了受力分析的关键方法与响应特征,明确了整体设计的核心原则与技术要点。设计实践中,应聚焦整体设计核心,合理运用计算工具与概念判断,统筹结构布置、构件构造与性能指标三个层面的协调统一,确保承载能力与使用性能均满足要求,推动多层框架结构设计更趋合理、安全、经济。

参考文献

- [1] 李明明. 房屋建筑受腐蚀多层钢筋混凝土框架改造设计研究 [J]. 佛山陶瓷, 2025,35(2):15-17.
- [2] 彭志强. 多层钢结构与钢框架复合建筑结构设计与应用 [J]. 工程机械与维修, 2026(3):137-139.
- [3] 刘虎虎. 多层建筑钢筋混凝土剪力墙结构设计解析 [J]. 建筑技术开发, 2021, 48(7):11-12.
- [4] 李扬, 赵斌, 强国平, 等. 六层自复位钢筋混凝土框架结构振动台试验研究 [J]. 土木工程学报, 2025,58(1):1-11.