

建筑结构体系选型研究

曾 琳

中国十九冶集团有限公司 四川 成都 610000

摘 要：建筑结构体系作为建筑物的受力骨架，直接决定结构安全、抗震性能、施工难度、建设造价与建筑功能实现效果。结构体系选型是建筑方案阶段一项综合性、多目标决策工作，需要结合建筑高度、平面形态、功能需求、场地地质条件、抗震设防烈度、材料供应、施工技术水平、工期与投资限额等多重因素统筹比选。本文梳理常用建筑结构体系的受力特点、适用范围、优缺点，阐述结构选型的基本原则、控制指标与选型流程；结合工程案例对比框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、钢框架、框架-支撑结构等体系的适用边界，分析选型过程中常见误区。研究表明，合理的结构体系选型并非单纯追求刚度最大化，而是在安全可靠前提下，实现建筑功能、抗震性能、经济性与施工可行性的综合最优。本文成果可为方案阶段结构体系比选、初步设计决策提供参考依据。

关键词：结构选型；抗震性能；经济性；方案比选

引言：结构体系是建筑承受竖向荷载、风荷载及地震作用的受力骨架，直接关系结构安全、抗震性能、工程造价与建筑功能实现。方案阶段确定的结构体系，基本锁定构件布置、基础形式、工期及投资；若选型考虑不周，易造成刚度失调、抗震存在隐患，甚至引发后期方案重大修改。当前工程中在重建筑方案、轻结构选型论证的问题，不少设计依靠经验确定体系，缺少多维度比选。尤其在高烈度设防地区，体系选择不当将显著提升地震风险。为此，本文结合现行规范梳理主流结构体系特点与适用边界，提出选型原则、评价指标及工作流程，剖析常见选型误区，可为方案及初步设计阶段的结构比选工作提供工程参考。

1 绪论

1.1 研究背景与意义

随着国内建筑类型日趋多元，住宅、公共场馆、工业厂房及地下空间等项目，对空间尺度、建筑造型与使用功能提出差异化需求。结构体系作为建筑承重与抗侧力系统，承受竖向荷载、风荷载和地震作用，是保障建筑全生命周期安全的核心。在项目方案阶段，结构体系选定后，竖向构件布局、截面尺寸、基础方案、造价与工期基本确定；若选型不合理，易产生刚度失调、抗震薄弱、构件截面偏大、造价增高等问题，严重时还需对方案进行颠覆性修改。当前部分工程存在“重建筑方案、轻结构选型”的问题，设计优先考虑建筑造型，结构被动适配，易造成抗侧体系不合理、刚度分布不均、扭转效应突出等隐患。在高烈度设防区和不良场地条件下，选型失误会显著提高地震风险。因此，开展结构

体系选型研究，建立多因素综合比选方法，在方案阶段合理选定结构形式，对提升结构安全储备、管控工程投资、优化建筑空间具有重要工程价值。

1.2 国内外研究现状

国外建筑结构体系发展起步较早，由砌体、钢筋混凝土框架逐步发展出钢框架、框架-支撑、筒体、巨型框架等抗侧力体系，形成以性能化抗震设计为核心的选型思路，着重关注结构延性、耗能机制与损伤控制。针对高层及大跨建筑，国外借助有限元动力时程分析，围绕不同体系的抗侧刚度、扭转特性、失效模式开展大量参数研究，构建了基于性能目标的结构选型方法。国内学者结合本土抗震规范开展大量工程对比研究，《建筑抗震设计规范》GB50011 明确各类结构的最大适用高度、高宽比、抗震等级及构件延性要求，是结构选型的基础依据。但现有研究多聚焦单一体系抗震分析或具体工程案例，对方案阶段多因素综合决策、各体系适用边界、选型常见误区缺少系统梳理。实际设计中，部分设计人员仅凭经验选型，缺乏量化比选手段，容易出现结构体系与项目场地、高度、功能等实际条件不匹配的问题。

1.3 主要研究内容

本文总结主流建筑结构体系的受力特点与适用范围，提出结构选型原则和评价指标，建立方案阶段选型流程。结合工程案例对比框架、框架-剪力墙、剪力墙、钢框架及框架-支撑体系，梳理选型典型问题与应对措施，总结选型要点，为方案阶段结构选型论证提供参考。

2 主流建筑结构体系特点及适用范围

2.1 混凝土框架结构

混凝土框架结构由梁柱刚接形成受力骨架, 楼板把竖向荷载传给框架梁, 再经由框架柱传至基础。该体系平面布置灵活, 易实现大空间, 便于功能划分; 构件形式简单, 模板标准化, 施工便捷。缺点为抗侧刚度较小, 水平荷载下侧移偏大; 地震作用下梁柱作为主要耗能构件, 底层柱内力大, 易产生层间变形集中。抗震设防区框架结构最大适用高度受烈度限制, 多用于多层教学楼、办公楼、商业裙房及多层厂房, 适合需要灵活隔断的大空间建筑, 不适用于高层建筑、高烈度及大风荷载区域。建筑高度增大后框架柱截面会显著增大, 经济性变差。框架设计应遵循“强柱弱梁、强剪弱弯”原则, 实现梁先于柱屈服的梁铰耗能机制, 防止底层柱发生脆性破坏^[1]。

2.2 框架-剪力墙结构

框架-剪力墙结构由框架与剪力墙协同工作, 剪力墙承担大部分水平地震作用和风荷载, 框架主要承受竖向荷载与少量水平剪力。剪力墙作为主要抗侧力构件, 整体抗侧刚度显著高于纯框架, 层间位移更小, 建筑适用高度大幅提升; 框架保留平面布置灵活的优势, 剪力墙可依托楼梯间、电梯井、设备井布置, 对建筑功能影响较小。该体系广泛应用于高层住宅与办公楼。地震作用下剪力墙承担大部分倾覆弯矩, 框架构成第二道抗震防线。设计需合理控制剪力墙数量: 墙量不足会导致刚度不够、位移超限; 墙量过多则结构刚度过大, 地震总剪力增加, 造价提高且延性下降。框架-剪力墙体系适用于10~30层高层公共建筑与住宅, 是兼顾建筑空间、结构刚度与经济性的优选体系^[4]。

2.3 剪力墙结构

剪力墙结构以钢筋混凝土剪力墙作为竖向承重及抗侧力构件, 楼板支承于剪力墙上。其整体性好、抗侧刚度大、层间位移小, 抗震性能优良, 墙体可同时实现承重与围护。缺点是墙体分割空间, 平面布置灵活性差, 难以形成大空间; 结构自重较大, 基础造价偏高。该体系多用于高层住宅、公寓, 住宅房间分隔与墙体布置匹配, 无需大跨空间, 可充分发挥剪力墙优势。剪力墙宜均匀对称布置, 降低扭转效应, 避免单片长墙与刚度突变。如需局部大空间, 可采用部分框支剪力墙, 但转换层属于抗震薄弱部位, 高烈度地区对框支体系管控严格。

2.4 钢框架结构

钢框架由钢梁与钢柱刚接构成, 自重轻, 构件工厂

预制, 现场装配效率高, 构件延性好, 抗震性能优良。但纯钢框架抗侧刚度有限, 侧移较大, 多用于低层、多层建筑, 门式刚架作为其特殊形式, 普遍应用于工业厂房与仓储建筑。框架-支撑体系在钢框架基础上增设中心或偏心支撑, 由支撑承担水平剪力, 有效提高抗侧刚度、降低层间位移。其中偏心支撑依靠耗能梁段耗散地震能量, 延性优异, 适用于抗震设防区多层及高层钢结构^[3,5]。钢结构自重小, 软土地基条件下基础优势突出, 但需额外做防火防腐处理, 单方造价高于混凝土结构, 适宜工期紧的大空间厂房、公共场馆。

3 结构体系选型基本原则与评价指标

3.1 选型基本原则

安全优先, 满足规范底线。体系首先满足《建筑抗震设计规范》GB50011、《混凝土结构设计规范》GB50010、《钢结构设计标准》GB50017的强制性条文要求, 控制最大适用高度、高宽比、层间位移限值, 抗震等级、构件延性符合设防目标^[1,2,3], 不能为建筑造型突破规范体系适用高度等强制性限制; 适配建筑功能与空间需求, 结构体系必须服务建筑功能, 大空间展厅、厂房优先框架或框架支撑, 高层住宅优先剪力墙, 高层办公楼优先框架-剪力墙, 竖向构件布置应尽量减少对建筑采光、房间布局、洞口设置的不利影响。场地与抗震设防匹配, 场地类别、特征周期、抗震设防烈度是选型重要前提, 高烈度区, III、IV类软弱场地, 优先选择延性好、刚度适中、自重较轻的体系, 避免采用刚度突变、存在明显薄弱层的结构形式, 经济与工期综合平衡, 选型不能单一比较主体结构造价, 应综合考虑基础造价、施工周期、材料成本、后期维护, 钢结构主体造价高, 但自重轻可节约基础费用、缩短工期, 钢筋混凝土材料就地取材, 适合常规住宅项目。施工可行性原则, 结合当地施工队伍技术能力、预制装配水平、起重设备、材料供应条件, 偏远地区缺少钢结构加工、安装能力, 优先选用钢筋混凝土体系, 城市重点项目要求快速施工可考虑钢结构或装配式体系。

3.2 选型量化评价指标

方案比选阶段可采用多项指标开展综合对比。核心评价指标包含最大适用高度、结构自重、基本自振周期、层间位移角、扭转位移比、单位面积混凝土与钢材用量、预估造价、施工工期、构件截面、空间灵活度及后期维护成本。结构体系选型属于多目标优化决策, 各指标之间相互制约, 很难全部同时达到最优, 并不存在普适的最优结构体系, 应结合项目实际约束条件, 选择综合性能最优的方案。

4 结构体系选型工作流程

首先,收集建筑方案总平面图、建筑高度、平面尺寸、勘察报告,确定场地类别、地基承载力、抗震设防烈度、特征周期,明确建设单位工期、投资控制目标。其次,根据建筑高度、抗震规范最大适用高度,剔除规范不允许采用的结构体系,得到2~3个备选方案。第三,对备选体系进行简单的初步计算,估算周期、层间位移、扭转效应,判断是否存在刚度超限、薄弱层风险。第四,对比结构布置、构件截面、材料用量、基础方案、造价、施工难度,形成对比表。第五,组织建筑、结构、造价专业评审,确定推荐体系;对于复杂项目,必要时开展抗震性能化评估。最后,进入初步设计阶段,通过整体计算复核各项指标,若指标不满足,调整结构布置,严重时重新审视体系选型。

5 结构体系选型常见误区与防控对策

部分设计人员认为刚度越大越安全,随意增设剪力墙、支撑,造成结构周期缩短、地震作用增大、经济性变差且延性降低,实则刚度只需满足规范限值,应以“刚度适宜、延性可靠”为目标。在建筑平面凹凸复杂,选用体系时不考虑抗侧构件的均匀对称布置,造成刚度中心与质量中心偏离,扭转位移比超限,地震下扭转破坏风险提升,应控制抗侧力构件均匀布置^[1]。当体系与场地不匹配,在软弱场地选用自重巨大的混凝土剪力墙体系,加大基础沉降与地震效应;高烈度区采用延性较差的体系,带来安全隐患。个别设计人员“重经验,缺比选”,直接沿用过往类似项目方案,不结合本项目场地、高度、功能进行论证,造成方案不合理,对策是不少于2套备选体系,开展对比论证。选择期间忽视施工与后期维护,如选择钢结构,但项目所在地缺少加工安装条件,选用复杂转换体系,施工难度大,质量难以保证,选型必须兼顾施工落地性。

结束语

建筑结构体系选型属于方案阶段的多目标综合决策,并非单纯力学问题,需要统筹结构安全、抗震性能、建筑功能、场地条件、工程造价与施工条件等多项约束。框架、框架剪力墙、剪力墙、钢框架支撑等结构体系均有明确适用范围,设计应严格执行抗震规范关于最大适用高度、高宽比、位移控制等强制性条文。结构选型应采用标准化工作流程,收集基础资料、初筛可行体系、初步计算分析、开展多方案对比论证,优先选用刚度适宜、延性可靠、传力路径清晰的结构体系。选型时应规避忽视扭转效应、盲目增大刚度、仅凭经验选型等典型误区。核心目标是在满足抗震安全底线的基础上,实现建筑功能、经济性与施工可行性综合最优。复杂高层、大跨建筑可辅以抗震性能化分析,验证体系抗震能力。方案阶段科学选型能够减少安全隐患、节约投资、降低后期设计变更,对项目全周期管控具有重要作用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部。GB50011-2010 建筑抗震设计标准(2024 局部修订)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2024.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部。B50010-2010 混凝土结构设计标准(2024 局部修订)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2024.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部。GB50017-2017 钢结构设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [4] 包世华。高层建筑结构设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [5] 李国强。钢结构抗震设计理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2020.