

基于BIM技术的高层建筑结构抗震性能优化设计研究

束 伟

中冶南方城市建设工程技术有限公司 湖北 武汉 430000

摘 要：为提升高层建筑抗震性能，研究BIM技术在抗震设计全流程的应用及优化方法。设计阶段通过参数化建模集成构件信息，联动分析软件模拟地震响应，可视化识别薄弱区域并优化方案；施工阶段实现抗震构造可视化交底、冲突检查及质量追溯；运维阶段结合传感器数据动态监测结构状态，辅助维护决策。减隔震设计中，BIM精准集成装置参数并模拟耗能效果。优化方法上，从结构体系（抗侧力构件布局、竖向刚度渐变）、构件性能（梁柱延性、剪力墙抗剪）及构造措施（节点强化、预埋件定位）三方面，通过参数化迭代实现抗震性能与经济性协同提升，为高层建筑抗震设计提供技术支撑。

关键词：BIM技术；高层建筑；结构抗震；性能优化设计

引言：随着城镇化进程加快，高层建筑数量激增，其抗震安全性成为工程建设核心议题。传统抗震设计依赖经验化分析与二维图纸，存在信息割裂、优化迭代低效等问题，难以满足复杂结构的抗震性能需求。BIM技术以三维可视化、信息集成与协同管理为核心优势，为高层建筑抗震设计提供了全新解决方案。通过构建参数化模型，可实现设计、分析、施工全流程信息联动，提升抗震性能模拟精度与优化效率，推动抗震设计向数字化、智能化转型，对保障高层建筑地震安全具有重要意义。

1 高层建筑结构抗震设计基础

随着城市化进程的加快，高层建筑在城市中的比例不断增加，其抗震性能的重要性日益凸显。高层建筑结构的抗震设计需要综合考虑建筑的高度、层数、结构体系、荷载特点以及抗震设计原则与规范等多个方面。高层建筑通常具有较高的高度和较多的层数，其结构体系多样，常见的有框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构等。这些结构体系在抗震性能上各有优劣。例如，框架结构具有较好的灵活性和空间利用率，但抗震性能相对较弱；剪力墙结构则具有较高的刚度和抗震能力，但空间布局较为受限。此外，高层建筑的荷载特点也较为复杂，除了自重和活荷载外，还需考虑风荷载和地震作用等。地震作用是高层建筑抗震设计中的关键因素，其特性包括地震波形、地震烈度、地震动参数等。这些特性直接影响建筑结构的抗震性能。抗震设计需遵循一系列原则和规范，以确保建筑在地震作用下的安全性。我国的《建筑抗震设计规范》（GB50011）是高层建筑抗震设计的主要依据。规范中提出了抗震设计的基本原则，包括概念设计、抗震措施、抗震验算等^[1]。概念设计强调从建筑整体出发，合理布局结构体系，优化结构构件的

布置，以提高建筑的抗震性能。抗震措施则包括结构体系的选择、构件的抗震设计、抗震构造措施等。抗震验算则是通过计算分析，验证结构在地震作用下的承载能力和变形能力是否满足规范要求。在地震作用下，高层建筑结构的抗震性能指标包括强度、刚度、延性、耗能能力等。这些指标直接影响建筑在地震中的破坏模式和响应。例如，结构的延性和耗能能力是决定建筑是否能够在地震中保持不倒塌的关键因素。抗震设计的目标是使建筑在地震作用下能够具有足够的强度和刚度，同时具备良好的延性和耗能能力，以确保建筑的安全性和使用功能。

2 BIM 技术在高层建筑抗震设计中的应用

2.1 设计阶段的应用

2.1.1 三维可视化与协同设计

在高层建筑抗震设计中，BIM技术的三维可视化功能为设计团队提供了直观的建筑模型，极大地提高了多专业协同设计的效率。通过BIM平台，建筑、结构和设备等各专业设计师可以在同一模型中进行设计，实时查看和调整设计方案，避免专业间的冲突。例如，结构设计师可以直观地看到建筑布局，合理布置抗震构件，确保结构性能与建筑功能的协调。同时，三维可视化便于与业主和施工团队沟通，提前发现并解决问题，提升设计质量。此外，三维模型可动态展示抗震构造细节，如剪力墙布置、节点连接方式等，帮助设计人员更精准地评估结构整体刚度分布与地震响应，为抗震方案优化提供直观依据，有效减少传统二维设计中的信息偏差与协同障碍。

2.1.2 参数化建模与快速修改

BIM技术的参数化建模功能在高层建筑抗震设计中具有显著优势。设计师可以通过参数化模型快速调整

建筑的几何形状、结构尺寸和材料属性等参数,实时查看修改后的结构性能变化。例如,当调整建筑高度或层数时,参数化模型能自动更新结构构件的尺寸和连接关系,确保抗震性能符合要求。这种快速修改能力不仅提高了设计效率,还便于在多方比选中快速评估不同设计方案的抗震性能,为选择最优方案提供支持,同时减少后期修改成本。

2.1.3 抗震性能模拟与评估

在设计阶段,BIM技术结合有限元分析软件(如ETABS、SAP2000等)能够进行详细的抗震性能模拟与评估。通过将BIM模型导出到分析软件中,可以对高层建筑结构进行地震作用下的响应分析,包括结构的自振周期、层间位移角、构件内力等关键指标。这些模拟结果为抗震设计提供了科学依据,帮助设计师评估结构性能是否满足规范要求。例如,通过Pushover分析确定结构的屈服强度和极限承载能力,通过时程分析评估结构在不同地震波作用下的动态响应。根据模拟结果,设计师可以及时发现结构的薄弱环节并进行优化设计,确保高层建筑结构在地震作用下的安全性和可靠性。

2.2 施工阶段的应用

在高层建筑抗震设计的施工阶段,BIM技术的应用能够有效提高施工效率和质量,确保抗震设计意图的准确实施,为建筑的抗震性能提供有力保障。(1)抗震构造可视化交底:基于BIM模型生成三维施工节点详图,如梁柱节点箍筋加密区、剪力墙边缘构件配筋等抗震关键构造,通过AR技术叠加至施工现场,直观指导工人操作,避免传统二维图纸理解偏差导致的施工缺陷。(2)施工过程模拟与冲突检查:利用BIM技术模拟钢结构安装、模板支护等施工流程,提前发现抗震构件(如减震器、预埋件)与机电管线的空间冲突,通过调整施工顺序或构件位置,确保抗震构造按设计精度实施,减少现场返工。(3)材料与质量追溯管理:将抗震构件材料信息(如钢筋强度等级、阻尼器性能参数)关联至BIM模型,施工中通过移动端扫码实时录入进场验收记录、检测报告,形成“构件-材料-质量”追溯链,保障抗震材料符合设计要求。(4)施工进度与抗震安全协同控制:在BIM模型中集成施工进度计划,动态展示关键抗震节点(如转换层施工、隔震支座安装)的完成状态,结合现场监测数据(如模板沉降、钢筋间距偏差)预警进度滞后或质量风险,确保抗震施工与总工期协同推进。(5)竣工模型与抗震档案交付:施工完成后,基于现场实测数据更新BIM模型,形成包含抗震构造细节、材料证明、检测报告的竣工模型,为后续抗震验收、运维及加固提供完

整的数字化档案,提升工程抗震管理的可追溯性。

2.3 运维阶段的应用

在高层建筑抗震设计的运维阶段,BIM技术可实现抗震性能动态监测与管理。通过将结构传感器实时采集的振动、位移数据与BIM模型关联,构建可视化监测平台,直观展示关键构件(如剪力墙、节点)的受力状态,及时预警地震后可能出现的结构损伤。同时,利用BIM模型存储的抗震构造信息(如材料性能参数、施工记录),辅助制定针对性维护方案,例如根据阻尼器使用年限自动生成更换计划,确保减震装置持续有效^[2]。此外,在突发地震等紧急情况时,BIM模型可快速提供建筑结构三维信息,支持救援路径规划与损伤评估,为灾后修复提供精准数据支持,提升建筑全生命周期的抗震安全性与管理效率。

2.4 BIM技术在减隔震设计中的应用

BIM技术在减隔震设计中通过参数化建模实现装置精准集成,在三维模型中定义隔震支座(如铅芯橡胶支座)、阻尼器的力学参数(刚度、屈服力)与空间位置,直观展示其与主体结构的连接节点,避免传统设计中装置布置与建筑功能的冲突。利用BIM模型与结构分析软件联动,模拟不同地震波作用下减隔震装置的位移响应与耗能贡献,对比分析隔震层刚度、阻尼器布置方案对结构抗震性能的影响,优化装置参数以降低上部结构地震作用。同时,通过可视化技术向设计方、施工方展示减隔震构造细节(如支座预埋螺栓定位、阻尼器安装精度要求),辅助施工交底与质量验收,确保减隔震系统按设计效能发挥作用,提升高层建筑抗震安全性。

3 基于BIM技术的高层建筑结构抗震性能优化设计方法

3.1 结构体系与布置优化

3.1.1 抗侧力构件布局优化

基于BIM参数化模型,通过调整剪力墙、框架柱等抗侧力构件的平面位置与数量,实现结构刚度的均匀分布。利用BIM软件的“刚心-质心”分析工具,量化评估构件布置对结构扭转效应的影响,通过迭代优化使刚心与质心偏差控制在规范限值内(如 $\leq 5\%$)。例如,在核心筒结构设计中,借助BIM可视化功能调整筒壁厚度与开洞位置,确保水平力传递路径连续,提升整体抗侧刚度的同时减少材料用量。

3.1.2 结构竖向刚度渐变优化

利用BIM模型集成的楼层刚度数据,生成沿高度方向的刚度变化曲线,识别因层高突变、构件截面减小导致的竖向刚度薄弱层。通过参数化调整薄弱层构件尺寸

(如增大柱截面、增设剪力墙),使楼层刚度比符合规范要求(相邻层刚度比 ≥ 0.7)。BIM技术支持实时对比优化前后的刚度分布,避免传统设计中依赖经验调整的盲目性,确保结构在地震作用下变形协调。

3.1.3 多体系协同工作优化

针对框架-剪力墙、筒中筒等组合结构体系,BIM技术可模拟不同抗侧力构件的协同受力性能。通过定义构件间的刚度分配比例(如剪力墙承担70%水平力),在模型中设置协同工作约束条件,分析地震作用下各体系的内力传递路径。结合弹塑性分析结果,优化框架与剪力墙的连接节点构造(如加强连梁配筋),避免因刚度差异导致的应力集中,实现“强-弱”构件有序屈服的抗震机制。

3.2 结构构件抗震性能优化

基于BIM参数化模型,对关键构件(柱、梁、剪力墙)的抗震性能进行精细化优化。通过调整柱截面尺寸与配筋率,结合“强柱弱梁”设计准则,在BIM模型中设置柱端弯矩放大系数,确保节点处柱端受弯承载力高于梁端,实现梁先于柱屈服的延性机制。针对剪力墙,利用BIM软件分析边缘构件配筋率对受剪承载力的影响,优化暗柱箍筋配置与分布间距,提升墙体抗剪性能^[3]。对于框架梁,通过BIM模型关联的材料数据库,选择高强度钢筋与合理截面形式,在满足受弯承载力的同时控制剪跨比,避免剪切破坏先于弯曲破坏。此外,利用BIM可视化功能模拟构件在地震作用下的塑性铰发展路径,对易发生脆性破坏的区域(如梁柱节点核心区)进行构造强化,确保构件抗震性能与整体结构协同匹配。

3.3 抗震构造措施优化

抗震构造措施的优化是确保高层建筑结构抗震性能的重要环节,通过精细化设计和BIM技术的可视化与协同功能,可以显著提升结构的抗震能力。(1)节点构造强化设计:利用BIM模型细化梁柱节点、剪力墙边缘构件等关键部位的构造细节,通过参数化调整箍筋加密区范围、锚固长度等参数,确保节点核心区混凝土约束与钢筋锚固符合“强节点弱构件”要求,提升节点延性与抗剪承载力。(2)预埋件与连接件优化:在BIM模型中精

确定抗震预埋件(如减震器支座、钢结构连接板),模拟其与主体结构的空间关系,通过碰撞检查避免预埋位置冲突,同时关联材料力学参数验证连接强度,确保地震作用下传力路径可靠。(3)装配式构件连接优化:针对装配式结构,利用BIM技术模拟叠合梁、预制剪力墙的拼接节点,优化灌浆套筒布置与后浇段配筋,通过可视化交底明确施工顺序,保证连接节点的整体性与抗震性能,减少装配误差对结构刚度的影响。(4)非结构构件抗震锚固优化:在BIM模型中集成幕墙、吊顶等非结构构件,分析地震作用下的附加惯性力,优化锚固节点的数量与位置,避免非结构构件脱落造成次生灾害,同时确保其与主体结构的变形协调。(5)防震缝与变形缝设置优化:基于BIM模型的三维空间分析,合理确定防震缝宽度与位置,避免因缝宽不足导致相邻结构碰撞;通过模拟温度、沉降及地震变形,优化变形缝构造处理,确保结构在多工况下的变形自由与抗震安全性。

结语

未来需深化BIM与AI、数字孪生技术的融合应用,通过AI算法驱动BIM模型自动生成多方案抗震设计,并结合机器学习优化参数匹配,提升抗震性能分析的智能化水平。同时,构建数字孪生平台实现物理结构与虚拟模型的实时数据交互,动态模拟地震作用下的结构响应,辅助全生命周期抗震决策。针对复杂地质条件,需完善BIM与地质模型的耦合机制,整合地形、岩土参数,精准评估场地-结构相互作用对地震响应的影响,为高层建筑抗震设计提供更全面、动态的技术支撑,推动行业向智能建造与韧性城市建设迈进。

参考文献

- [1]汤薛.高层建筑设计中抗震性能的优化策略研究[J].门窗,2025(6):94-96.
- [2]李启岭.高层建筑结构抗震设计技术优化与实践研究[J].门窗,2025(10):79-81.
- [3]陈青.基于抗震性能的带加强层高层建筑结构优化设计研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):188-191.