

高层民用建筑结构抗震设计分析

赵金旺

(山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 高层民用建筑的抗震性能关系着人民群众的生命财产安全。本文以某高层框架—剪力墙结构建筑为研究对象, 结合工程地质条件与结构特点进行了抗震设计分析, 重点阐述了建筑地基基础、上部结构超限设计及不规则结构方面的应对策略, 通过小震、中震与大震作用下的结构响应分析, 优化建筑构件设计参数, 提出框架、剪力墙、楼板以及偏心布置相应的加强措施。研究结果表明, 借助建模以及多工况验算可有效增强建筑结构整体的抗震能力, 实现安全与经济的统一, 可为同类工程提供参考。

关键词 高层民用建筑; 抗震性能; 抗震设计; 结构分析

中图分类号: TU972

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.038

0 引言

在地震灾害多发背景下, 合理的抗震设计能保障高层建筑的安全性, 减少因地震灾害造成的人员伤亡和财产损失。通过对高层民用建筑结构开展抗震设计与分析工作, 可为提升建筑的整体稳定性和可靠程度提供理论指导和实践参考, 从而为居住者营造更安全的居住环境, 也能推动建筑行业在抗震技术领域的发展, 促进建筑结构设计朝着更加科学规范的方向发展。

1 工程概况

某建筑项目的总建筑面积 35 144 m², 其中地上建筑面积为 29 965 m², 地下建筑面积则是 5 179 m²。该建筑工程的总高度约 64 m, 由地下 2 层以及地上 18 层构成, 地下 1 层高度为 5.58 m, 地下 2 层高度为 3.6 m; 地上 6 层以上, 每层高 3.6 m, 1 层至 5 层的高度为 4.8 m, 第 4 层和第 5 层的电影院结构为 25×25 m 的大跨度空间结构。按照我国现有建筑抗震等级要求, 该地区的地震基本烈度被界定为 8 度, 地震加速度参数设为 0.20 g, 建筑场地被归类为 II 类, 地震设计归入第一组, 阻尼比设定为 0.05。建筑的结构设计风压标准值为 0.45 kN/m², 雪压标准值为 0.40 kN/m², 该建筑预期使用年限为 50 年, 属于抗震设防丙类建筑, 安全等级为二级。建筑主体结构规划成框架—剪力墙结构体系, 电影院的构造则运用了型钢混凝土框架支柱组合形式, 该建筑物东西向长度达 70 m, 南北向长度约 60 m, 从 1 至 5 层规划为裙房结构, 南北楼梯核心区布置了抗侧立剪力墙。多数柱子设计尺寸定为 800×800 mm, 转换框架支柱的尺寸设为 800×1 000 mm。

2 高层民用建筑结构超限设计

2.1 地基基础设计

施工方考虑到地下水对混凝土及钢筋有潜在腐蚀风险, 经材料试验和模拟分析后, 选定了具备强抗腐蚀性的混凝土配合比, 掺入特定活性矿物掺合料, 优化水泥用量和砂率, 提升混凝土密实度与耐久性, 从根源阻隔腐蚀介质的侵蚀。在抗浮设计方面, 施工方依据水文地质资料, 综合考虑最高水位和结构自重的平衡, 计算出抗浮锚杆数量与间距, 将锚杆埋置在高水位 0.5 m 和正常水位 -1.5 m 之间, 且采用高强度防腐材料制作锚杆, 确保能长期稳定锚固。地质勘察未发现新砂土层, 经液化判别公式的多因素复核, 判定该工程无液化风险, 施工方仍按高标准设防。地下部分深 9.3 m, 依一级防水等级要求, 外墙和底板采用 P8 抗渗混凝土, 施工时添加防水剂与膨胀剂, 同时优化模板支撑体系以减少混凝土裂缝产生。地下室长 100 m, 为控制大体积混凝土的温度应力, 除设置后浇带外, 还利用智能温控系统实时监测混凝土内部温度, 依据所得数据精准调控养护措施, 如分层浇筑、埋设冷却水管循环降温等。在桩筏基础设计环节, 施工方根据地质条件的不同, 为主楼和地下车库底板分别确定厚度, 桩基采用变截面与高强混凝土灌注桩, 并凭借承载力特征值多倍验算, 确保基础稳固承载上部结构。

2.2 上部结构超限设计

高层建筑在面对多种超限状况时, 需要构建精细化三维结构模型, 运用有限元软件深入分析超限部位内力与变形特征, 如楼板不连续时, 应优化洞口周边

梁柱节点并增加配筋密度,采用高强钢筋与新型连接件增强传力可靠性。出现扭转位移比超标状况,需要重新调整质量与刚度分布,在质量集中区域增设减震支座分散荷载,同时优化抗侧力构件布置让刚度沿高度均匀过渡。在抗侧立构件不连续处,要采用型钢混凝土组合构件过渡,依受力分析确定型钢规格与混凝土强度等级匹配程度保障力顺畅传递。预制构件连接按等同现浇原则设计,采用后浇混凝土连接时,须严控浇筑工艺使插入式振捣与养护同步开展,确保连接区强度与耐久性,经多工况模拟分析对抗倾覆力矩验证,达到整个上部结构在超限状态下安全与经济的平衡^[1]。

2.3 不规则结构采取措施

在地震作用下,为保障不规则结构安全,需要运用多方法融合策略,要运用弹性时程分析法选取多条符合规范要求,具备不同地震波形与场地特性的人工波与天然波,输入结构模型后,详细记录关键部位的加速度、位移时程曲线,再与振型分解反应谱法结果对照,依据差异对结构构件尺寸与配筋加以调整。针对边缘不规则楼板,依据弹性板理论构建详细力学模型以分析应力分布规律,提高配筋率,采用双层双向钢筋网片,并且在应力集中区域增设抗裂构造筋,以此保障楼板整体性与承载力。在进行动力弹塑性分析时,需要对结构核心部位精确建模,将材料非线性与几何非线性纳入考虑范围,模拟罕遇地震下塑性铰形成与发展情况,根据此来优化构件延性设计,调整截面形式与配筋构造,让结构在极端工况下拥有可靠耗能与变形能力。同时需要系统评估提高抗震等级与减小刚度差异的综合效益,经调整构件刚度比、优化结构布置等措施,使不规则结构在多维地震作用下性能稳定可靠。

3 高层民用建筑结构设计

3.1 建筑小震指标控制

设计人员运用先进结构分析软件 YJK-A 对建筑整体结构予以双重计算验证,借此精准剖析各构件在小震作用下的周期位移偏差情况,确保严格符合现行建筑抗震规范限值要求,同时需要精细化调控建筑动力特性参数,使主方向性能精准契合预设标准。在构件设计环节,底层承重墙与柱子,设计人员应依据受力特性以及底部地震反应敏感性来科学设定结构轴压比上限,采用小间距复合箍筋技术。经过详细计算确定箍筋间距、直径等参数后可增强构件抗弯抗剪性能,提升建筑整体延性。针对地震波特性,设计人员要深入分析地震加速度曲线三要素,设计师利用复杂公式计算基础剪力的合理范围,使该范围精准处于规范反

应谱规定区间,进而获取精准的地震效应系数,优化结构设计,实现小震下结构无损伤的设防目标^[2]。

3.2 建筑中震、大震的指标设计

在中震与大震的抗震设计中,设计人员不再采用常规的构件承载能力系数及荷载分项系数调整方式,而是将重心放在构件于不同地震烈度下的实际受力反应方面。以不屈服验算为例,应单独考虑地震效应并忽略风荷载影响,结合地震力计算公式以及抗震等级要求,从而精准地确定构件截面尺寸和配筋率。在进行大震设计时,需要设定阻尼比为 0.07,连梁刚度折减系数经严谨的力学分析后确定为 0.3,周期折减系数取 1.0。当中震验算时,设计人员会创新性地利用小震与大震作用下结构响应的均值展开计算,通过复杂的数据处理和分析工作,确保构件承载能力达到相应标准。对于剪力墙结构,设计人员要深入分析它在中震下的受拉性能,运用先进的数值模拟技术精准获取墙肢最大拉力与弯矩数据,准确判定构件双向偏心受拉截面类型,依据不同的偏心受拉状况优化结构设计参数。当混凝土强度等级达到 C60 时,剪力墙墙肢会出现偏心受拉破坏的迹象,鉴于混凝土在受拉区的作用有限,所以要通过对配筋量及分布的计算,让建筑结构在地震的影响下维持其应有的安全性和可靠性。

4 高层民用建筑抗震加强措施

4.1 针对二道防线的措施

在抗震设计工作中,需要强化钢筋混凝土柱和外框梁组合构成的二道防线。为此,应利用精细化结构分析软件进行模拟计算柱轴压比,依据核算结果适当扩大柱截面以及外框梁截面。在这个过程中需要注意不能突破经济成本阈值且不可影响建筑功能布局,在此前提下方能稳步提升外框架侧向刚度,进而使剪力分担比达到更优状态。同时,设计人员需运用荷载组合分析模型来动态调整框架剪力,还要详细计算外框柱在各工况下的受力状态,随后根据计算所得增加柱的纵向与箍筋钢筋数量并提升混凝土强度等级。如此可增强外框柱强度储备,确保能够在地震作用下承载额外剪力,保证二道防线的稳固可靠。

4.2 针对剪力墙的加强措施

设计人员在剪力墙优化时,需运用高精度计算模型,把加强区墙体于重力荷载代表值之下的轴压比控制在合理区间内,避免因轴压比过高出现脆性破坏,同时运用三维建模技术精确分析楼板洞口周边应力分布,根据分析结果相应地增大剪力墙厚度,使墙体有能力抵御侧向力,利用结构力学分析软件找准较长墙

肢的结构洞口位置与尺寸,借助设置洞口的方式削减单片墙肢的长度与刚度,防止出现应力集中现象^[3]。在底部加强区域,设计人员要利用数值模拟分析角部墙体受力特性,并针对性提升约束边缘构件配筋率,优化钢筋布置方式,如增加箍筋密度与直径,提升墙体承载力与延性;还需要运用新型剪力墙截面分析方法控制截面剪应力水平,防止超限引发斜截面破坏。在底部加强区增加剪力墙水平钢筋配筋率,采用钢筋连接工艺确保钢筋应力传递,以此提升抗剪承载力。

4.3 外框柱的加强措施

在优化外框柱设计方面,需要运用先进的结构分析软件,全面综合考虑建筑功能以及经济成本等多方面因素,以此来对柱截面尺寸进行精细化调整。楼板开洞周边框架柱,要凭借模拟分析确定出合理的截面扩大比例,如此才能严格满足抗剪截面条件。同时,设计人员需要利用多工况受力分析模型计算柱于地震作用时的轴压比以及剪应力水平状况,再依据所得结果优化柱的配筋设计。例如:进行调整纵向钢筋数量与直径、改进箍筋间距与形式等操作,目的是确保柱在地震发生时具备充足的承载力以及变形能力。在底部加强区,要详细核算框架柱纵向钢筋截面面积,可凭借增加高强度钢筋用量并优化钢筋布置的方式,提升柱的刚度与延性。越层柱要采用创新的加芯柱设计,结合数值模拟分析去确定芯柱的截面尺寸、配筋率以及和外柱的连接方式,而且要严格控制轴压比,如此可保证越层柱在地震作用下能安全可靠地承担竖向与侧向力;同时还应运用新型的箍筋配筋工艺,如采用螺旋箍筋与复合箍筋相结合的方式优化箍筋配置,增强柱芯混凝土的约束效果,最终提高柱的抗震性能^[4]。

4.4 楼板的加强措施

强化楼板抗震性能时,需要着重对中庭大堂洞口周边区域和相邻层楼板进行优化,要借助有限元分析软件模拟楼板在地震作用下的受力状态,根据模拟结果确定合理的楼板厚度增加量以及配筋率提升幅度。此时应采用双层双向配筋,再结合应力分布情况增设放射筋及角筋,凭借精确计算钢筋的布置角度与间距来增强楼板在洞口周边的应力传递和分散能力。另外,可运用建筑信息模型(BIM)技术对电梯井前室、拐角部位楼板进行精确建模,分析受力特征后对这些部位的楼板进行加厚处理,并且采用现浇混凝土工艺,以此保证混凝土的密实性与整体性。同时,设计人员需要实施双层双向配筋加强措施,对钢筋连接方式进行优化,保障钢筋应力传递的有效性。地下室顶板起着嵌固端的重要作用,必须凭借详细计算确定板厚与配

筋率的提升参数,采用高强混凝土和耐腐蚀钢筋优化顶板的受力性能,增强上部结构嵌固基础的可靠性。对于中间拐角部位楼板,尤其是L形平面内凹角部位的楼板,要运用拓扑优化方法进行分析,然后增设结构板,并进行精细的加强构造处理,如增加局部配筋密度、采用特殊的混凝土浇筑工艺等方式,以此来提升楼板在凹角部位的抗裂与承载能力。

4.5 针对框架梁的加强措施

在罕遇地震作用下,二层中庭洞口外边框架梁可能形成以受拉为主导的受力状态,局部区域可能出现截面受拉屈服。设计人员运用结构力学原理及数值模拟技术分析梁受力特性,依此确定合理截面尺寸增大比例,并采用梁全长通长配筋方式,选用高强度、高延性钢筋,优化锚固长度与搭接方式,让钢筋在梁全长范围有效抵抗拉力。对标准层外框架梁受扭严重的状况,需要结合受扭分析模型仔细算好箍筋加密间距和抗扭腰筋布置参数,采用新型箍筋形式及连接工艺以增强梁的抗扭能力,使其在复杂受力状态下维持结构稳定。屋顶构架层高度高且无楼板拉结,所以会产生较大鞭梢效应,应进行结构分析确定增强框架配筋率参数,优化纵向与箍筋的配筋比例,施工人员应运用钢筋机械连接工艺保障钢筋连接可靠性及稳定性,提高屋顶构架层框架梁在地震作用下的承载力与变形能力^[5]。

5 结束语

科学合理的高层民用建筑抗震设计以及分析方法的运用能够增强高层建筑的抗震能力,减轻地震带来的灾害损失。随着科技的发展,抗震新技术和新型材料的使用,有助于提升高层建筑抗震性能。同时,建筑行业及其从业人员还需要加强对建筑抗震设计的研究,提升高层民用建筑的抗震水平,建造更为安全舒适的居住环境,推动建筑行业可持续发展。

参考文献:

- [1] 肖扬海. 计算机辅助设计在高层建筑抗震结构中的应用[J]. 工程抗震与加固改造, 2023, 45(03): 194.
- [2] 龚健, 杨恩杰, 夏念涛, 等. 某超限高层建筑抗震性能设计分析[J]. 工程抗震与加固改造, 2023, 45(04): 42-49.
- [3] 张伟威, 胡文建, 杨晓蒙, 等. 《海南省超限高层建筑结构抗震设计要点》若干问题讨论[J]. 建筑结构, 2022, 52(S02): 780-784.
- [4] 刘成清, 方登甲. 高层建筑斜交网格结构抗震研究进展综述[J]. 地震工程与工程振动, 2022, 42(03): 72-86.
- [5] 叶列平, 金鑫磊, 田源, 等. 建筑结构抗震“体系能力设计法”综述[J]. 工程力学, 2022, 39(05): 1-12.