

高层混凝土框架结构抗震性能分析与优化研究

赵真 411381198601205633

摘要：高层混凝土框架结构是当前建筑领域应用最为广泛的结构形式之一，其抗震性能直接关系到建筑整体的安全性与耐久性。本文以典型 12 层高层混凝土框架结构为研究对象，通过有限元软件建立结构分析模型，分别采用振型分解反应谱法分析结构在多遇地震下的响应，研究结构的自振周期、层间位移角、基底剪力等关键抗震指标，并针对结构刚度分布不均、底部层间位移超出规范限值的问题，提出调整构件截面尺寸、优化梁柱配筋、增设阻尼器三种优化方案，对比分析不同方案的抗震性能提升效果。研究表明，增设粘滞阻尼器的优化方案在控制层间位移、降低基底剪力方面效果最优，能够在不显著增加结构自重的前提下，有效提升高层混凝土框架结构的整体抗震性能，研究结论可为同类工程的抗震设计与优化提供参考。

关键词：高层混凝土框架；抗震性能；结构优化；有限元分析

一、引言

随着我国城镇化进程的加快，城市建筑逐渐向高层化方向发展，高层混凝土框架结构因具有空间布局灵活、施工便捷、造价经济等优势，被广泛应用于办公楼、商业建筑与住宅项目中。我国属于地震灾害多发国家，多个大中型城市处于地震烈度 7 度及以上区域，高层结构一旦发生地震破坏，将会造成严重的人员伤亡与财产损失，因此对高层混凝土框架结构的抗震性能进行系统分析，并提出针对性的优化方案，具有重要的工程实际意义。

当前已有诸多学者针对高层混凝土框架结构的抗震性能开展研究，部分研究通过振动台试验分析结构在不同地震动输入下的破坏模式，也有研究通过参数分析探讨构件尺寸、配筋率对结构抗震性能的影响，但多数研究针对特定工程案例展开，缺乏对不同优化方案的系统性对比。本文在现有研究基础上，以典型 12 层高层混凝土框架结构为研究对象，建立有限元分析模型，明确结构抗震性能的薄弱环节，对比不同优化方案的提升效果，为工程设计提供依据。

二、结构抗震性能分析理论与模型建立

2.1 分析方法选择

对于高层混凝土框架结构的多遇地震响应分析，振型分解反应谱法是当前规范推荐使用的分析方法，该方法能够结合地震动的统计特性，计算结构在不同振型下的地震响应，通过组合得到结构的整体内力与位移，计算效率高且精度满足工程设计要求，因此本文采用该方法开展抗震性能分析。

2.2 工程概况与模型建立

本文选取的研究对象为某城市中心区 12 层办公建筑，采用钢筋混凝土框架结构，建筑总高度为 43.2m，平面尺寸为 36m×24m，柱网尺寸为 8m×6m，设计地震烈度为 8 度，设计基本地震加速度为 0.2g，场地类别为 II 类，设计地震分组为第一组。结构梁截面尺寸：框架梁为 300mm×700mm，次梁为 250mm×500mm；柱截面尺寸：1-4 层为 650mm×650mm，5-8 层为 550mm×550mm，9-12 层为 450mm×450mm；混凝土强度等级：1-6 层为 C35，7-12 层为 C30。采用 PKPM 有限元软件建立结构分析模型，梁、柱构件均采用梁单元模拟，混凝土弹性模量、泊松比等参数按照规范取值，荷载方面，恒荷载按照实际构件自重与面层荷载计算，活荷载按照办公建筑规范取 2.0kN/m²。

三、抗震性能计算结果与分析

对原结构模型进行振型分解反应谱法计算，得到结构的自振周期、层间位移角、基底剪力等关键指标，具体结果如下：结构第一阶自振周期为 1.85s，第二阶为 1.62s，第三阶为 1.31s，自振周期符合高层框架结构的一般规律。层间位移角方面，原结构 1 层的层间位移角为 1/462，2 层为 1/438，均超出我国《建筑抗震设计规范》规定的 1/550 的限值要求，说明结构底部楼层刚度不足，是抗震性能的薄弱环节。基底剪力方面，结构 X 方向基底剪力系数为 1.72%，Y 方向为 1.68%，满足规范对最小剪重比的要求，说明结构整体重力荷载代表值下的基底剪力符合要求。

通过计算结果可以看出，原结构的主要抗震性能缺陷为底部楼层刚度偏低，层间位移角超出规范限值，在地震作用下底部构件更容易发生破坏，需要对结构进行优化调整，提升整体抗震性能。

四、抗震优化方案设计与对比分析

针对原结构存在的问题，本文提出三种常见的优化方案，分别对优化后的结构进行计算，对比不同方案的优化效果：

4.1 方案一：调整底部柱截面尺寸

该方案将原结构 1-4 层柱截面尺寸从 650mm×650mm 增加至 700mm×700mm，其余构件参数保持不变，重新计算得到结构的抗震指标：1 层层间位移角变为 1/502，2 层变为 1/487，虽然较原结构有所改善，但仍然未满足规范 1/550 的限值要求；X 方向基底剪力增加了 8.2%，结构自重增加了 6.1%，说明该方案通过增加截面尺寸提升刚度的方式，虽然能够降低层间位移，但会显著增加结构自重与地震作用，优化效果有限，且不经济。

4.2 方案二：优化梁柱配筋，提高构件延性

该方案保持构件截面尺寸不变，通过调整梁柱构件的配筋率，增加纵向受力钢筋面积，提高配箍率，提升构件的延性性能，进而改善结构的整体抗震性能。计算结果显示，该方案对结构的层间位移角几乎没有影响，1 层仍然为 1/465，无法解决刚度不足的问题，仅能够提升构件的延性，延缓构件破坏的进程，无法从根本上解决层间位移超出限值的问题。

4.3 方案三：底部楼层增设粘滞阻尼器

该方案保持原有构件截面尺寸与配筋不变，在结构底部 1-3 层的框架梁间增设 4 个粘滞阻尼器，通过阻尼器消耗地震输入的能量，降低结构的地震响应。计算结果显示，增设阻尼器后，原结构 1 层层间位移角降低至 1/572，2 层降低至 1/581，均满足规范 1/550 的限值要求，X 方向基底剪力降低了 11.3%，结构自重仅增加了 1.2%，远低于方案一的自重增幅。该方案通过附加耗能构件的方式，不需要大幅调整主体结构尺寸，既能够有效控制层间位移，又能够降低基底剪力，减轻地震对主体结构的破坏，优化效果最优，且经济性能更好。

五、结论

本文通过对典型 12 层高层混凝土框架结构的抗震性能进行分析，得到以下结论：第一，高层混凝土框架结构的抗震薄弱环节通常出现在底部楼层，容易出现层间位移角超出规范限值的问题，设计过程中需要重点关注底部楼层的刚度设计；第二，不同优化方案对结构抗震性能的提升效果存在显著差异，单纯增大构

件截面尺寸的方案会增加结构自重与地震作用，优化效果有限，仅调整配筋无法解决刚度不足的问题；第三，在底部薄弱楼层增设粘滞阻尼器的优化方案，能够在不显著增加结构自重的前提下，有效降低结构的地震响应，控制层间位移，提升整体抗震性能，是高层混凝土框架结构抗震优化的合理方案，值得在同类工程中推广应用。

参考文献

- [1] 王亚勇, 戴国莹. 建筑抗震设计规范理解与应用[M]. 中国建筑工程出版社, 2019.
- [2] 吕西林. 高层建筑结构[M]. 同济大学出版社, 2015.
- [3] 李刚, 程耿东. 基于性能的结构抗震优化设计研究进展[J]. 建筑结构学报, 2002, 23(1): 2-8.
- [4] 欧进萍. 结构振动控制:主动、半主动和智能控制[M]. 科学出版社, 2003.