

多点作用下大底盘层间隔震高层建筑响应分析

肖峙熠 刘德稳 罗勇清
西南林业大学土木工程学院

DOI : 10.12238/jpm.v5i7.6947

[摘要] 随着我国国家城市化进程的逐渐加快,大底盘高层建筑的结构越来越多,高层建筑的1~3层基本上都设计为大底盘结构,作为商城、酒店或者办公场地等越来越多的建筑都采用大底盘高层建筑结构。通过隔震技术在既有建筑之上加层属于典型的高位层间隔震结构{1}本文研究的大底盘高层结构是大底盘高层结构中最常见的类型,并用大底盘部分为大空间的框架或者框架剪力墙结构,而上部为对称的结构多作为住宅所用。大底盘高层结构所属于竖向规则结构,大底盘与上部结构的转换,导致大底盘高层结构刚度发生突变,并且成为建筑隔震的薄弱的一环,其隔震性能相对来说比较差。那么,如何确保大底盘高层结构在地震作用下的安全性,成为这一类结构隔震设计中的关键之处。隔震技术是21世纪最有代表性的结构隔震技术之一,在全世界的地震当中,隔震建筑都展现了良好的减震效果。通过模型试验研究的结果和已经出现过建筑的地震受害调查中均表明,隔震结构中加速度的反应只类似于传统隔震结构加速度反应的 $1/4 \sim 1/8$,并且由于采用隔震技术后,上部结构的地震反应上来看,通过降低上部结构构件的截面、配筋可以适当减少,降低建筑工程的总造价。层间隔震技术是通过水平刚度相当小的隔震装置,并且在上部结构中某一层的柱顶或者墙顶所形成隔震层,然后在依靠隔震层较大的变形和耗费的能力,屏蔽地震波向上部结构的传输,降低地震作用对上部结构产生的影响,确保建筑物在地震作用下的牢靠和使用功能。为处理大底盘高层结构中刚度以及质量竖向分布不均匀,地震出现时对建筑结构破坏性高的问题。本文将致力于研究将层间隔震技术施加于大底盘高层结构。

[关键词] 地震波,大底盘高层结构,层间隔震,模态分析,地震响应

Response analysis of high-rise building under high-level action

Xiao Zhiyi, Liu Dewen, Luo Yongqing

School of Civil Engineering, Southwest Forestry University

[Abstract] With the gradual acceleration of our country's urbanization process, the structure of more and more large chassis high-rise buildings, 1~3 floors of high-rise buildings are basically designed for large chassis structure, as a mall, hotel or office space and more and more buildings are using large chassis high-rise building structure. Through the isolation technology, the addition to the existing building belongs to the typical high layer interval seismic structure. {1} The large chassis high-rise structure studied in this paper is the most common type in the high-rise structure of large chassis, and the large chassis part is the frame of large space or frame shear wall structure, while the upper part is symmetrical structure is mostly used for housing. The high-rise structure of the large chassis belongs to the vertical regular structure. The conversion of the large chassis and the superstructure leads to the sudden stiffness of the high-rise structure of the large chassis, and becomes a weak link of the building isolation, and its isolation performance is relatively poor. Then, how to ensure the safety of the large chassis high-rise structure under the seismic action becomes the key point in the seismic isolation design of this kind of structure. Earthquake isolation technology is one of the most representative structural earthquake isolation technologies in the 21st century. In the world's earthquakes, earthquake isolation buildings have shown good shock absorption effect. Through the results of the model test research and has appeared in the building earthquake damage investigation show that the isolation structure acceleration reaction is similar to the traditional isolation structure acceleration response of $1/4 \sim 1/8$, and because of the isolation technology, the seismic response of the superstructure, by reducing the section of the

superstructure, reinforcement can be reduced, reduce the total cost of construction engineering. Layer interval seismic technology is through the horizontal stiffness is quite small isolation device, and in the superstructure of a column roof or wall formed by the isolation layer, and then rely on the isolation layer larger deformation and cost ability, shielding the seismic transmission to the superstructure, reduce the seismic effect on the superstructure, to ensure that the building under the earthquake and use function. In order to deal with the uneven distribution of stiffness and vertical mass in the large chassis high-rise structure, the problem of high breaking capacity of the building structure when the earthquake occurs. This paper will study the application of layer interval vibration technology to the high-rise structure of large chassis.

[Key words] seismic wave, large chassis high-rise structure, layer interval shock, mode analysis, seismic response,

引言

层间隔震结构在近年来的防震减灾的研究中一直是热点问题之一,顾名思义,大底盘多塔层间隔震高层结构是一种对大底盘多塔结构(也称多塔结构)进行层间隔震的结构形式。传统高层结构的层间隔震一般选取结构相对较低且下部子结构具有较小加速度的层数,大底盘高层层间隔震结构由于结构的特殊性,一般将隔震层放置在大底盘裙房与主楼连接的薄弱层。图1为某高烈度地区商业办公住宅,其为大底盘不对称多塔层间隔震结构,隔震层位于裙房顶层,将结构整体分为大底盘和两塔楼三个部分。其剖面隔震布置如图2所示。大底盘层间隔震结构在商住混合建筑中应用极多,另外也常用于地铁上盖的建筑设计。

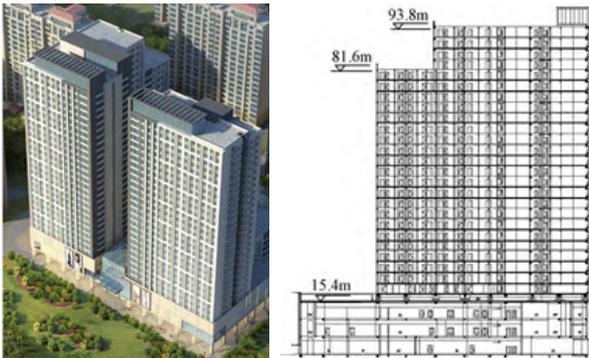


图1

图2

随着国内各大城市商业集群化发展的愈演愈烈,底部大底盘高层结构的应用也逐步广泛。大底盘高层建筑结构指的是在商业广场、地铁站点、酒店和办公场所建设的一般底部1-3层(包括地下室)为大底盘结构,上部为多层塔式结构的建筑结构。大底盘高层结构整体是不规则结构,底部与上部结构在连接部分转变突兀,致使刚度自大至小发生突变,成为隔震工程中的薄弱部位,隔震性能不足以承受多数地震侵蚀。如何确保在地震作用下保持结构的安全性就成为了必须解决的关键问题。

层间隔震结构的出现拓展了隔震技术的应用范围,同时又提出了一些新的研究课题。^[2]

隔震技术是近年来对于如何在地震作用下维持结构完整性的一个重要方向。在国内外的各项研究中表明,相较于以改变整体结构形式的隔震技术,隔震技术仅改变部分结构形式的方法成本更低且表现出良好的减震效果。

层间隔震结构是指在高层建筑某个楼层的顶部设置隔震装置,从而形成隔震层的一种隔震技术。^[3]

从国内外模型模拟成果及成型建筑在强震作用下的记录可以得知,隔震技术下的结构相比于传统隔震结构的加速度反

应仅为其1/4-1/12(强震观测结果可达1/2-1/16)。同时在隔震层以上的部分相较于底部减震效果明显,可以减少上部结构的结构截面大小、材料强度和配筋,降低工程造价。通过Yasuhiro Tsuneki等人研究了高层建筑的层间隔震结构。^[4]

本文通过调研,以国内某实际工程为例,研究大底盘高层结构在层间隔震设计下,输入多用地震作用时结构的加速度幅值,层间相对位移,层间剪力和层间位移角的差异,说明减震效果。

1. 结构建模

1.1 工程背景

本文采用某15层大底盘多塔框架剪力墙结构工程进行仿真模拟。该工程地上部分15层,为现浇钢筋混凝土框剪结构,底部大底盘为三层商业用房,层高皆为4.2m。上部共四座十二层塔楼为生活用房,层高皆为3.6m。底部三层大底盘结构和上部十二层多塔结构的平面布置分别见图2.1和图2.2。裙结构1-3层柱截面700mm*700mm,4-15层柱截面600mm*600mm。纵横向主梁截面为250mm*600mm,皆为框架梁,无连梁,楼板厚度为100mm,剪力墙厚度为250mm,楼板均采用刚性楼板假定。具体参数设定见表2.1。

本结构采用SAP2000自主配筋,具体情况看表3.1。

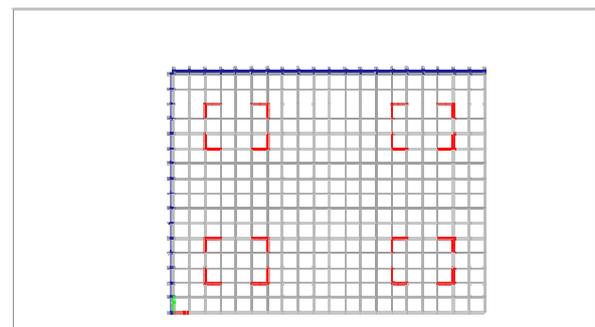


图2.1

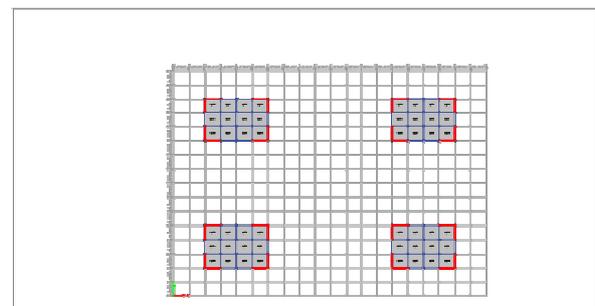


图2.2

表1 参数设置表

项目	内容	项目	内容
隔震设防烈度	8度	基本地震加速度值	0.2g
设计地震分组	第三组	特征周期	0.45s
结构设计使用年限	50年	基本风压	0.35kN/m ²
场地粗糙类别	B类	楼面恒荷载	1.5kN/m ² (楼板自重另算)
底部商业用房活荷载	3.5kN/m ²	塔楼生活用房活荷载	2.0kN/m ²
边梁的线荷载	8kN/m ²	墙柱的混凝土强度等级	1~3层 C35 4~15层 C30
梁板的混凝土强度等级	C30	墙体分布钢筋、梁柱纵筋	HPB400
墙、柱、梁箍筋	HPB300	计算模型的总高度	57.4m

1.2 有限元模型的建立

本文选用SAP2000软件对结构进行建模分析。SAP2000已有近四十年的发展历史，SAP2000具有强大的技术优势，强大的技术优势，不仅汇总了工程设计过程中的各个环节，其内部还内置有许多功能性连接单元，便于各种不同需求的用户选择和定义参数。同时，内置的自主运算，也大大的提升了用户的求解效率。^[5]

2. 地震波的选择

为研究多点作用下大底盘层间隔震高层建筑的隔震效果，《抗规》规定在使用时程分析法的同时，所选择的地震波需要在数量、基底剪力，满足相关的规定。本文采用了两条天然波和一条人工波。

3. 基底剪力对比分析

本文采用向一个方向输入地震波，研究在地震波作用下的最大基底剪力，同时，地震波的基底剪力需要满足《抗规》的要求^[6]，基底剪力柱状图如图3所示。

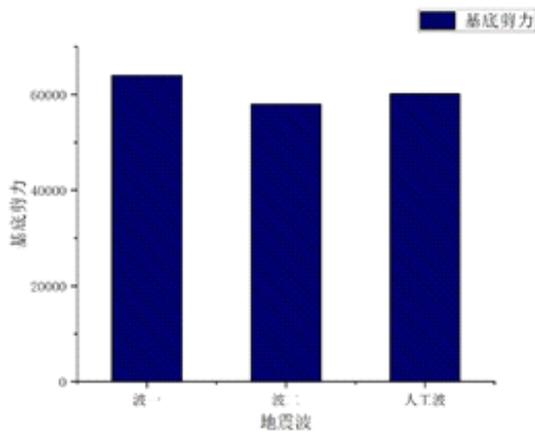


图3

4. 弹塑性动力时程分析

本文采用了2组天然波和1组人工合成波对该结构进行了设防地震作用下的弹塑性时程分析^[7]。经过计算，按照反应谱法计算得到的剪力及倾覆弯矩有一部分楼层小于时程分析法的平均剪力以及倾覆弯矩外，其他楼层的时程反应平均值与反应谱的结果相近，设防地震以及风荷载的作用下，各项指标均满足性能标准的隔震性能。

5. 顶层节点加速度对比分析

本文采用了2组天然波和1组人工合成波对该结构进行顶层节点加速度对比分析，通过计算得到顶层多点的平均值对三条波各取其平均值，进行了点线图分析，顶层节点加速度点线图如图4所示。

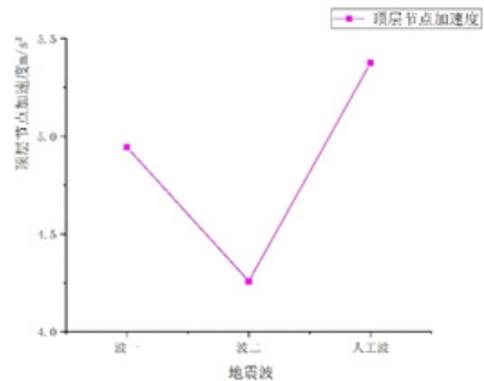


图4

6. 总结

对大底盘结构进行隔震设计，总的来说有很好的效果，但也有些不利的问题，值得我们关注。

1. 大底盘多塔高层建筑是竖向不规则结构，而竖向不规则结构在大底盘上一层突然收进，会导致侧向刚度和其质量突然变化。这种结构在大底盘上有一个及以上塔楼，其振型的复杂，而且会发生复杂的扭转振动，引发该结构局部应力集中，对结构隔震不利。

2. 大底盘多塔连体高层建筑的结构振型复杂多变，其受力性能特别复杂。这就导致在对其性能研究上需要考虑其塔楼连接处刚度的突变，控制应力集中。

[参考文献]

[1]李志豪.摩擦摆支座隔震高层建筑非线性风振响应研究[D].重庆大学, 2022.DOI: 10.27670/d.cnki.gcqdu.2022.004491.

[2]崔路苗.高层建筑顶部隔震体系减震浅析[J].晋城职业技术学院学报, 2010, 3(05): 81-83.

[3]胡岳, 汪权, 汤涛.竖向地震作用下层间隔震结构的动力反应研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版), 2024, 47(03): 373-378.

[4]刘鑫.爆炸荷载下柱顶隔震结构柱动态响应分析[D].天津大学, 2019.DOI: 10.27356/d.cnki.gtjdu.2019.004171.

[5]杨林.不规则框架-剪力墙结构抗震性能分析[D].安徽建筑大学, 2016.

[6]张主温, 李洪光, 陈昱, 等.首钢冬奥广场N3-2转运站抗震加固设计[J/OL].建筑结构, 1-8[2024-05-29].https://doi.org/10.19701/j.jzjg.20220594.

[7]高为志, 郭本栋, 陈鹤, 等.绿地新都会超高层主楼结构设计[J].建筑结构, 2023, 53(S2): 19-24.DOI: 10.19701/j.jzjg.23S2195.

作者简介: 肖峙熠(1999.2-)男, 汉族, 河北张家口, 西南林业大学土木工程学院, 22级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 层间隔震。