

高卫红. 减震隔震技术下高层建筑消能减震结构概念设计[J]. 华南地震, 2020, 40(4): 140-145. [GAO Weihong. Conceptual Design of Energy Dissipation and Shock Absorption Structure of High-rise Building with Shock Absorption and Isolation Technology [J]. South China journal of seismology, 2020, 40(4): 140-145]

减震隔震技术下高层建筑消能减震结构概念设计

高卫红

(南宁市建筑设计院, 南宁 530000)

摘要: 针对原有高层建筑结构在大型地震中抗震效果较差的问题, 完成减震隔震技术下高层建筑消能减震结构概念设计。根据建筑相关规定完成建筑结构的荷载定义设定, 对建筑的材料与结构展开研究, 完成高层建筑材料结果参数设计。结合塑性铰与屈服强度函数, 设定高层建筑的塑性铰定义。至此, 高层建筑消能减震结构概念设计完成。设定仿真实验环节, 对比此次设计结果引用前与引用后建筑的抗震能力。由实验结果可知, 此次设计结果对建筑的抗震能力具有提升作用。综上可知, 此次设计结果具有有效性与优越性。

关键词: 减震隔震技术; 高层建筑物; 消能减震结构; 概念设计; 塑性铰

中图分类号: P315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2020)04-00140-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.04.019

Conceptual Design of Energy Dissipation and Shock Absorption Structure of High-rise Building with Shock Absorption and Isolation Technology

GAO Weihong

(Nanning City Architectural Design Institute, Nanning 530000, China)

Abstract: In order to solve the problem that the seismic effect of the original high-rise building structure in large earthquakes is poor, the conceptual design of energy dissipation and shock absorption structure of high-rise building under seismic isolation technology is completed. According to the relevant provisions of the building to complete the load definition of the building structure, the materials and structures of the building are studied, and the material results of high-rise buildings are designed. Combined with plastic hinge and yield strength function, the definition of plastic hinge of high-rise building is set up. At this point, the conceptual design of energy dissipation and shock absorption structure of high-rise buildings is completed. Setting up the simulation experiment link, the seismic capacity of the building before and after the reference of the design results is compared. According to the experimental results, the design results have an effect on improving the seismic capacity of the building. In summary, it can be seen that the design results are effective and superior.

Keywords: Seismic isolation technology; High-rise buildings; Energy dissipation and shock absorption structure; Conceptual design; Plastic hinge

收稿日期: 2019-05-06

作者简介: 高卫红(1968-), 女, 高级建筑师, 主要从事建筑艺术及技术研究。

E-mail: muduan9016737@163.com

0 引言

地震是一种危害性极大的自然灾害，地震的发生常伴有随机性与不确定性，一旦发生就会造成惨重的人员伤亡与巨大的经济损失，破坏性极强^[1]。随着建筑行业的不断发展，高层建筑成为目前建筑物中的主流建筑之一，在人们生活水平日益发展的今天，人们对高层建筑的抗震保障性结构要求日益增高。在传统的抗震保障结构中，其设计准则为：“小震不坏，大震不倒”的结构的理念，在震后会造成巨大的经济损失，在特大地震发生时，难以保证高层建筑物的完整与在大型地震中人身安全保障性。针对以上问题，消能减震结构具有安全、经济环保、安装便利的优点，为高层建筑物在经济水平有限的情况下，为实现抗震的目标提供了可能。因而，在此次研究中，针对高层建筑物，在减震隔震技术下完成高层建筑消能减震结构概念设计，以此为日后的抗震工作提供基础。

相对于抗震技术，减震与隔震技术在高层建筑中具有明显的优势。减震结构是一种在建筑主体结构的某部分增加一定数量的消能器与

消能装置，为高层建筑的结构提供一定的附加阻能与结构刚度，以此实现对高层建筑物的抗震性^[2-3]。隔震结构是一种使用隔震层的方式降低输入的高层建筑主体结构的地震能量，延长建筑结构的使用周期，突破仅依靠结构抵御地震作用的巨大约束。通过使用以上技术，可以有效提高高层建筑的抗震能力，保证高层建筑物的城市保障性能^[4-5]。为确保此次设计的合理性，在此次研究的后半程将对此次概念测试的结果展开仿真性能测试，通过测试结果获取本次设计的真实性能数据。

1 高层建筑消能减震结构概念设计

高层建筑消能减震结构概念设计，概念设计是一种由粗到精、有模糊到清晰、由抽象到具体的不断进化的过程^[6]。在此次设计中，将高层建筑的结构拆分成部分对结构性能具有控制作用的概念。通过将拆分后概念重新组合，提升整体高层建筑结构的能力。将此次设计的分布结构通过框架体现，具体图像如下

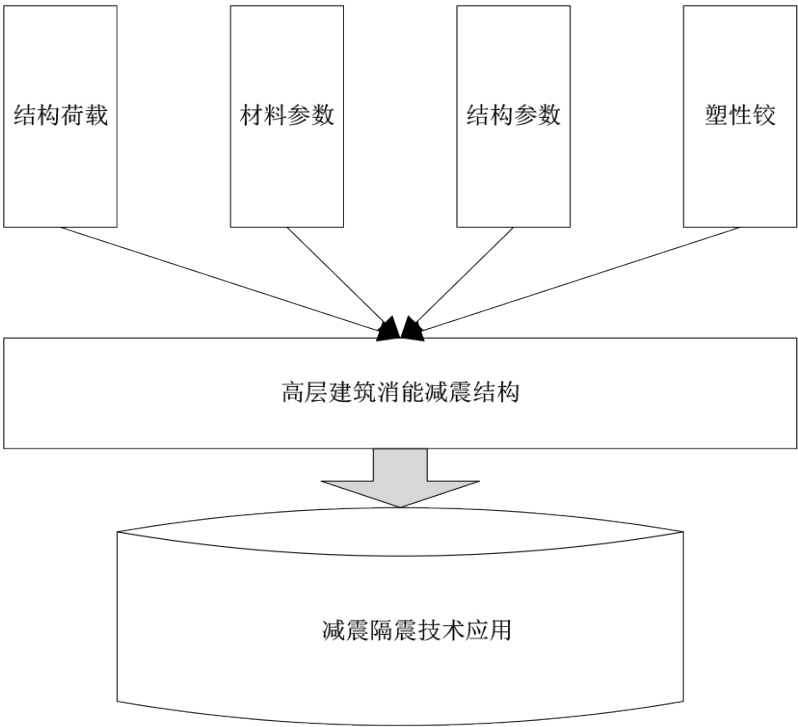


图 1 高层建筑消能减震结构概念设计框架

Fig.1 Conceptual design framework of energy dissipation and damping structure of high-rise building

通过以上框架完成此次设计，在设计中对高层建筑的荷载、结构参数、塑性较以及相关的性能概念进行调整，保证其设计结果适用于高层建筑。在此次设计中，将高层建筑采用模拟平台输出的方式辅助建筑物结构概念设计，提升设计结果的可信度。

1.1 荷载概念设计

此次研究中的荷载概念设计主要针对风力以及地震对高层建筑的影响。此次设计的依据为《建筑地基基础设计规范》^[7] (GB5007-2001)，在荷载的设计中，传至基础或承台底面的作用效应参照正常使用下极限状态作用的标准组合。

荷载中的风荷载属于变荷载，地震荷载与之相同，因而，在设计中主要考虑荷载对高层建筑的水平作用，将两种荷载视为可变荷载的组合。在《建筑结构荷载规范》^[8] 中，对风荷载组合具有相应的规定，设定其组合值取值为 0.6。

根据《建筑可靠性设计统一标准》^[9] 中，分项系数的设计方法，对地震荷载分项系数取值设定为。以此数值为参照，可以得出地震水平荷载的分项系数，采用加速度技术与反应谱度对其加以分析，得出两者之间的比值为 10:4，由此得出地震水平荷载的数值约为 0.5。采用本文参照建筑的设定参数，构建其荷载组合，可获取相应荷载组合数据，具体内容如下。

表 1 高层建筑荷载组合数据表
Table 1 Load combination data of high-rise building

层数编号	组合类型	组合项
J1	基本组合	地震水平荷载 + 风水平荷载
J2	基本组合	地震水平荷载 + 风水平荷载
...
J7	基本组合	地震水平荷载 + 风水平荷载
J8	标准组合	恒定荷载 + 水平荷载 + 风荷载
J9	标准组合	恒定荷载 + 水平荷载 + 风荷载
J10	标准组合	恒定荷载 + 水平荷载 + 风荷载
J11	标准组合	恒定荷载 +0.7 水平荷载 +0.3 风荷载 +0.38 竖向地震荷载
J12	标准组合	恒定荷载 +0.7 水平荷载 +0.3 风荷载 -0.6 竖向地震荷载
...
J30	标准组合	恒定荷载 +0.7 水平荷载 +0.3 风荷载 -0.6 竖向地震荷载
...
J50	准永久组合	恒定荷载 + 可变荷载

通过以上荷载数值的设定，完成对高层建筑结构的基础荷载设计，在以往的文献记载中，对其数值计算具有较高的要求。由于高层建筑的种类较为丰富，其计算过程根据高层建筑的特征与实际情况选择计算方式与算法完成计算过程。

1.2 高层建筑材料结果参数设计

多数高层建筑中为钢结构，其梁柱与制成结构均采用箱型截面，梁架采用工字焊接的方式，次框梁架采用 H 型设计。在建筑的基础设计中采用 Q345 钢材，其他部分的构架采用 Q235 钢材，楼板采用压型钢板组合型楼板，混凝土采用 C30 编号，楼板厚度为 150 mm。其具体参数如下所示。

表 2 高层建筑结构材料参数
Table 2 Material parameters of high-rise building structure

材料名称	弹性模量 E/GPa	泊松比	密度	使用方向
Q235	210	0.3	7.849	主要框架
Q345	210	0.3	7.849	次要框架
C30	35	0.2	2.4	建筑混凝土

根据以上参数设定出高层建筑的四根矩形柱，将其设置在建筑的四角。在高层就建筑中设计 3 根巨型梁。建筑的结构底部与基础的连接为固定连接点，梁柱之间的连接采用钢接的

形式，以此支撑梁柱之间的铰接。为保证结构参数设定的精准度，采用 SPA2013^[10] 建立相应的高层建筑模型，采用壳单元模拟结构，将其内部设定为刚性结构，结构参数信息如下表所示。

表 3 结构参数信息表
Table 3 Structure parameter information

结构构件	楼层	尺寸/(mm)
巨型柱 1	地基部分	1000×100×70×70
巨型柱 2	建筑中层	1000×100×70×70
巨型柱 3	建筑中层	900×900×50×50
巨型柱 4	建筑顶层	800×800×50×50
次框架柱 1	建筑中层	900×900×50×50
次框架柱 2	建筑中层	750×750×50×50
巨型梁 1	建筑整体部分	700×400×20×40
次梁梁架 1	建筑整体部分	700×350×20×20
巨型柱横梁	建筑整体部分	700×400×15×25
巨型柱支撑 1	建筑中层	300×300×20×20
巨型柱支撑 2	建筑中层	300×300×15×15
巨型柱支撑 3	建筑中心	400×400×20×20
巨型柱支撑 4	地基部分	400×400×20×20

通过以上参数，将高层建筑在模拟平台中仿真建筑，通过截面的形式体现，具体内容如下图所示。

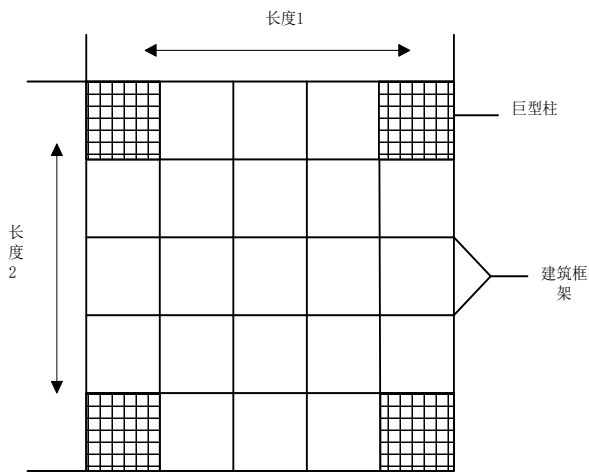


图 2 高层建筑结构平面图
Fig.2 Structural plan of high-rise building

1.3 塑性铰定义设定

传统意义上的塑性铰是结构构建在受力时

出现某一点相对面的纤维屈服但未出现破坏的情况，就将此点称为一塑性铰^[11-12]。通过对塑性铰的研究可以使一个构件转换为两个构件加一个塑性铰，塑性铰两边构件都可以进行转动。

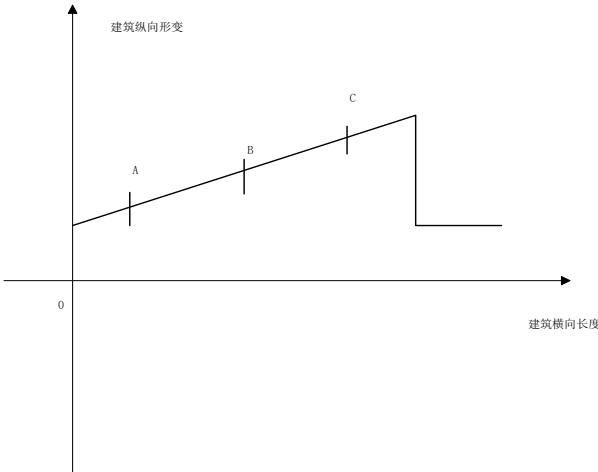


图 3 高层建筑塑性铰形变示意图
Fig.3 Schematic diagram of plastic hinge deformation of high-rise buildings

图 3 中的 A、B、C 3 点分别为高层建筑塑性铰的形变节点，塑性铰设定为高层建筑的重要框架中的必要部分，在地震发生时，高层建筑的塑性铰会发生相应的形变，通过对塑性铰的概念设计可以有效控制高层建筑结构形变造成的建筑坍塌问题。

设定在地震发生时，建筑的抗剪承载力^[13]与承压承载力^[14]设计值分别为 N_v^C 、 N_c^C ，则有：

$$N_{\min}^C = (N_v^C, N_c^C)_{\min} \quad (1)$$

为保证高层建筑的安全性，其结构承压承载力设计值需大于抗剪压力值，即 $N_c^C > N_v^C$ 。根据以上设定，高层建筑结构弹性极限状态的弯矩为：

$$G_w = W_N f_N \quad (2)$$

在上式中， W_N 为建筑结构的净截面模量， f_N 为常温下结构框架钢材的屈服强度。

当结构中的钢材受到外荷载^[15] O 作用时，结构节点的内弯矩 V_a 与外弯矩 V_b 分别为：

$$V_a = 4N_{\min}^C \quad (3)$$

$$V_b = OL \quad (4)$$

在上式中， L 为梁柱的顶点到节点之间的距离。当 $V_a > V_b$ 时，抗剪力节点为刚性节点； $V_a \leq V_b$ 时，抗剪节点被完成破坏，构造为半刚性节点。节点的塑性铰应力变化如下所示。

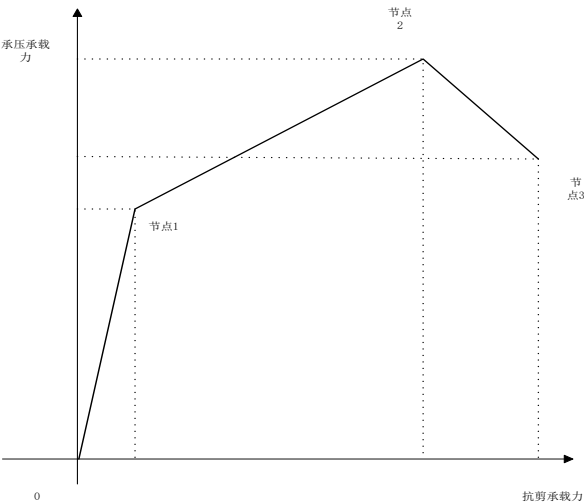


图 4 塑性铰应力变化
Fig.4 Stress change of plastic hinge

通过上图中的描述，完成对高层建筑结构塑性铰的概念设计，通过塑性铰控制结构形变。提升在大震来临时，高层建筑的稳定性。

将文中的建筑荷载设计、高层建筑材料结果参数设计以及塑性铰定义设定结合，完成减震隔震技术下高层建筑消能减震结构概念设计。为验证文中设计的概念对提升建筑结构的抗震能力具有有效性，构建实验环节，实现对其使用效果的研究。

2 仿真实验测试

在此次研究中，完成了减震隔震技术下高层建筑消能减震结构概念设计的设计工作。为确保本文设计结果的合理性，采用仿真实验的形式，将本文设计结果同没有采用概念设计的原有高层建筑抗震结构进行对比，获取两者之间的差异。

2.1 实验环境

在此次设计中采用模拟平台实现模拟实验的过程，此次实验平台设定为仿真地震振动台，在实验平台的设计中引用阻抗分析仪与压力试验机。采用阻抗分析仪实现对平台中传感器的扫频，设定其扫频范围为 30 Hz-30 MHz，在设备中可以实现采集抗阻、导纳等多种引号的传输。

实验平台中的压力试验机为测试混凝土、砖瓦等材料的压力机，采用液压传动方式加载。其基本参数设定如下。

表 4 压力试验机基本参数
Table 4 Basic parameters of pressure testing machine

参数编号	参数	参数内容
1	承载压力	0-1000 kN
2	误差值	±1%
3	电机功率	2.2 kW
4	活塞行程	30 mm
5	电源	350 V

通过以上设备，完成实验环境的构建。设定相应的实验样本，将其输入至实验平台中，获取实验结果。通过实验结果的差异性，完成高层建筑消能减震结构概念设计的研究。

2.2 实验样本

此次实验针对高层结构概念设计的有效性，因而，除高层建筑的结构外保证实验样本中其他参数的一致性。对建筑的混凝土部分进行设定，并采用实验设备对实验样本展开处理，将本文设计的概念输入至实验平台控制系统中，对比概念设计前与概念设计后高层建筑的抗震能力。

表 5 仿真实验样本
Table 5 Simulation experiment sample

实验样本	所含成分
样本 1	石块 10.645 砂子 9.456 水泥 5.204 水 2.455
样本 2	石块 14.023 砂子 7.130 水泥 5.352 水 2.250
样本 3	石块 15.336 砂子 6.010 水泥 5.930 水 2.340

采用上述实验样本，完成此次对高层建筑结构的仿真实验，此次实验对概念设计前与概念设计后的抗震能力，通过实验样本承受的最大压力体现。

2.3 结果分析

通过以上实验设定，完成仿真实验，现将实验结果显示如下。

表 6 仿真实验结果
Table 6 Simulation results

实验样本	引用概念前最大压力 /kN	建筑状态	引用概念后最大压力 /kN	建筑状态
样本 1	320	坍塌	350	部分坍塌
样本 2	440	坍塌	500	部分坍塌
样本 3	550	坍塌	600	部分坍塌

在此次实验中,当压力对实验样本造成损害时,即计为实验样本所能承受的最大压力。通过以上实验结果可知,在实验样本结构中引用本文的概念设计后,可有效提升实验样本的抗压能力。与使用前相比,引用后样本承载的压力更强,与此同时,实验样本在实验结束后仅为部分坍塌。综上所述,将文中设计的高层建筑结构应用于现实生活,可有效提升在地震发生时,建筑的稳定性与牢固性,为救援工作提供充足的时间^[16]。

3 结束语

此次研究以减震隔震技术为研究背景,以高层建筑消能减震结构为设计对象,寻求在经济水平的情况下,提升建筑消能减震性能的结构设计结果。通过对减震隔震技术的充分研究,将设计设定分布式概念相结合的方式。将结构中的重要部分采用分块设计的方式,每一部分都是独立的设计结果,而又具有相应的联系。通过仿真实验环节可知,引用文中的概念设计后,建筑的抗震能力明显增强。因而,应将文中设计的结构概念普及应用,提升显示生活中高层建筑在地质中的社会保障性功能。

参考文献

- [1] 杜修力,许紫刚,许成顺,等.摩擦摆支座在地下地铁车站结构中的减震效果研究[J].工程力学,2019,36(09):60-67+88.
- [2] 石岩,李军,秦洪果,等.减隔震桥梁设计方法及抗震性能研究综述[J].地震工程学报,2019,41(05):1121-1132.

- [3] 许文,戴君武,柏文,等.某轨道交通上部续建结构减隔震技术的应用[J].建筑结构,2019,49(S1):422-427.
- [4] 周波,陈海明,刘博,等.减震隔声房间中简易浮筑楼板施工技术[J].施工技术,2018,47(22):124-126.
- [5] 张华平,卢德辉,冯伟,等.某高装配率高层建筑消能减震分析与设计[J].广东土木与建筑,2018,25(11):51-55.
- [6] 兰香,潘文,赖正聪,等.隔减震技术在既有建筑加固中的应用与选择[J].建筑结构,2018,48(18):79-82+52.
- [7] 董宏英,张慧,曹万林,等.高层建筑消能减震钢-混凝土组合剪力墙性能研究[J].地震工程与工程振动,2013,33(06):74-80.
- [8] 贾瑜,白羽.大底盘多塔减震结构设计[J].中国水运(下半月),2018,18(11):223-225.
- [9] 乌兰,陶鹤进,左江,等.基于改进 Kasai 法消能减震结构设计研究[J].山西建筑,2018,44(02):36-37.
- [10] 耿耀明,刘文燕.装配整体式混凝土高层建筑结构黏滞阻尼器减震设计[J].结构工程师,2018,34(05):25-30.
- [11] 尚世力.消能减震技术的发展及其应用[J].智能城市,2019,5(17):51-52.
- [12] 陈彬.消能减震技术在高烈度地区的应用[J].四川建筑,2018,38(04):41-44+47.
- [13] 刘萍昌,游健.消能减震技术在海口地区超高层钢结构体系中的应用[J].广东土木与建筑,2017,24(04):22-24.
- [14] 徐继东.消能减震技术在宁波杨柳郡项目中的应用[J].河南城建学院学报,2017,26(03):38-43+84.
- [15] 兰学平.消能减震技术在加固设计中的应用[J].住宅科技,2017,37(06):39-43.
- [16] 江守燕,康亢,杜成斌,等.一种新型的 MR 隔震减振支座及其剪切性能试验研究[J].防灾减灾工程学报,2019,39(3):430-436,444.