

Isolation and Assembly Design of Multi-story Concrete Frame Structure on Slope and Analysis of Its Difficulties

Tao Liu Zhaohui Zhang Cheng Xu Yuesheng Gao Xinghai Huang

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050011, China

Abstract

Taking a key fortification concrete multi-story frame built on a slope in 7 degree area as an example, the structural design using both seismic isolation and assembly technology in design is discussed, this paper analyzes in detail such difficulties as the setting of base-isolation ditch when the ground around the building has a slope, the construction of special joints at the edge and corner of the building when the top elevation of the base-isolation ditch cover plate is different, the construction of the joint of the base-isolation ditch with outer wrapped column, the selection of the precast frame column, the construction joint construction of the integration of the precast column and the building external wall heat preservation and energy saving, etc., can be used as a reference for similar projects.

Keywords

slope; isolation; assembly type; performance design; isolation trench cover plate; heat preservation and energy saving integration

斜坡上混凝土多层框架结构隔震与装配式设计与难点分析

刘涛 张朝辉 徐程 高越生 黄星海

河北建筑设计研究院有限责任公司, 中国·河北 石家庄 050011

摘 要

以7度区建于斜坡上的某重点设防类混凝土多层框架为例, 对设计中同时采用隔震与装配式技术的结构设计进行了论述, 对建筑周围地面有坡度时隔震沟的设置、隔震沟盖板顶标高不同时的建筑边缘和角部特殊节点构造、外绕柱式隔震沟节点构造、预制框架柱的选取、预制柱与建筑外墙保温节能一体化施工节点构造等难点进行了详细分析, 可作为类似工程的参考。

关键词

斜坡; 隔震; 装配式; 性能设计; 隔震沟盖板; 保温节能一体化

1 引言

近年来, 随着国家“双碳”目标大力推进, 全国范围内绿色节能建筑也越来越多, 其中装配式混凝土结构占有相当大的比重^[1]。同时, 2021年国务院第744号令《建筑工程抗震管理条例》(以下简称744号令)的实施, 地震重点监视防御区的新建医院和学校类建筑也需采用减隔震等技术, 以达到更高的抗震设防要求。

在大力推广装配式建筑的地震重点监视防御区的地区, 对重点设防类的某些建筑, 需要同时采用减隔震和装配式技术。现有国家和地方的相关标准中, 虽然对隔震和装配式技术和节点构造均有一定程度的规定, 但没有系统性地对装配式隔震结构做出详细规定, 中国同时采用隔震和装配式技术建筑已有部分案例且做了一定研究^[2], 然而采用隔震和装配式技术建筑的地面坡度引起的隔震沟盖板顶标高不同时节

点构造、预制柱与建筑外墙保温节能一体化施工节点构造和隔震建筑预制柱选择具体思路, 这些技术盲区一定程度上限制了隔震和装配式技术的应用, 亟需攻关解决。

2 工程概况

本项目为石家庄市某中学宿舍楼, 项目设计于2021年, 于2023年竣工, 地上4层, 钢筋混凝土框架结构, 工程所在地抗震设防烈度7度, 地震基本加速度0.10g, 地震分组第二组, 建筑场地类别为Ⅲ类, 场地特征周期为0.55。

结构主体高度16.000m, 平面尺寸39.8m×17.7m, 主要柱网尺寸7.8m×6.95m。本工程的平面(首层)、正立面(南面)和侧立面见图1~图3。

项目按当地规定采用装配式建筑^[3], 预制构件采用预制框架柱, 预制率不小于35%。同时, 按国务院第744号令要求, 并考虑业主对使用空间的要求, 确定采用隔震技术, 地面以下增设隔震层(见图4)。

【作者简介】刘涛(1988-), 男, 中国河北石家庄人, 本科, 高级工程师, 从事结构工程研究。

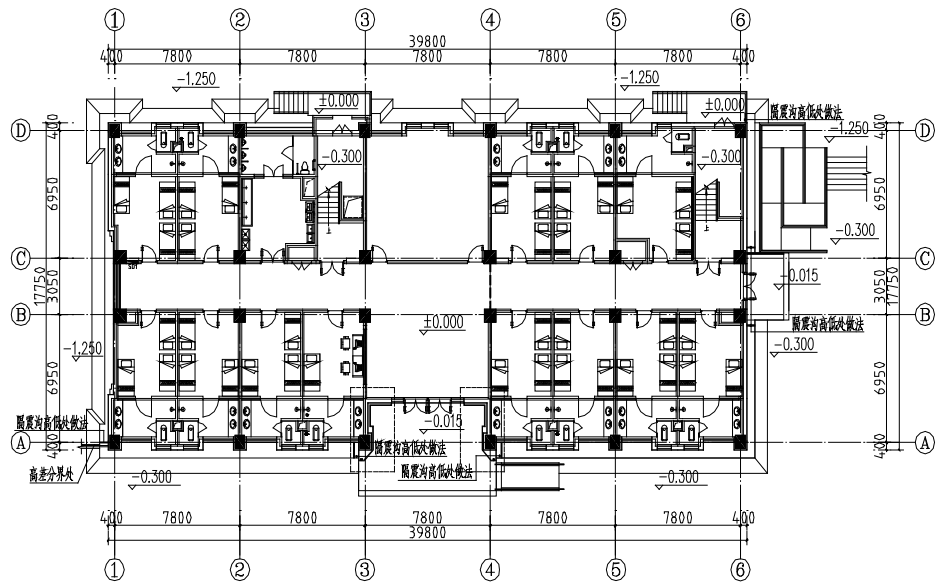


图 1 建筑平面图 (首层)



图 2 建筑正立面图 (南面)

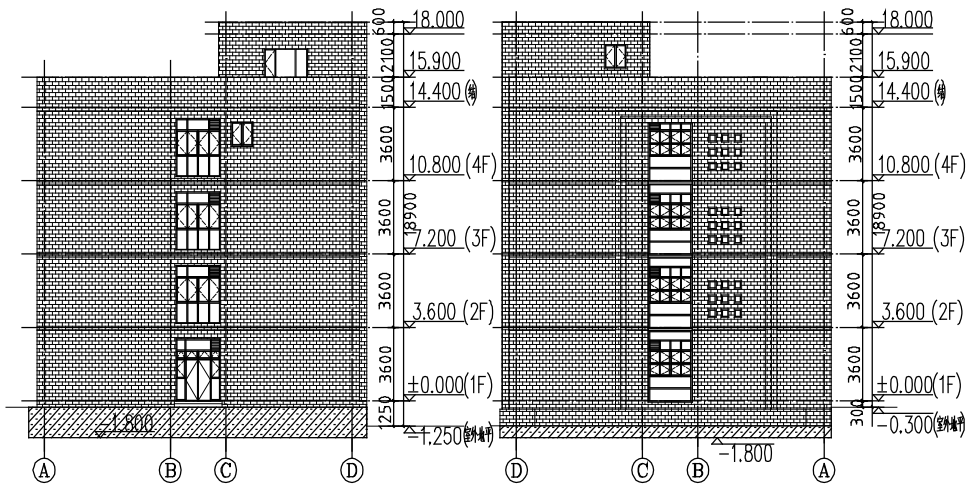


图 3 建筑侧面图 (左: 东; 右: 西)

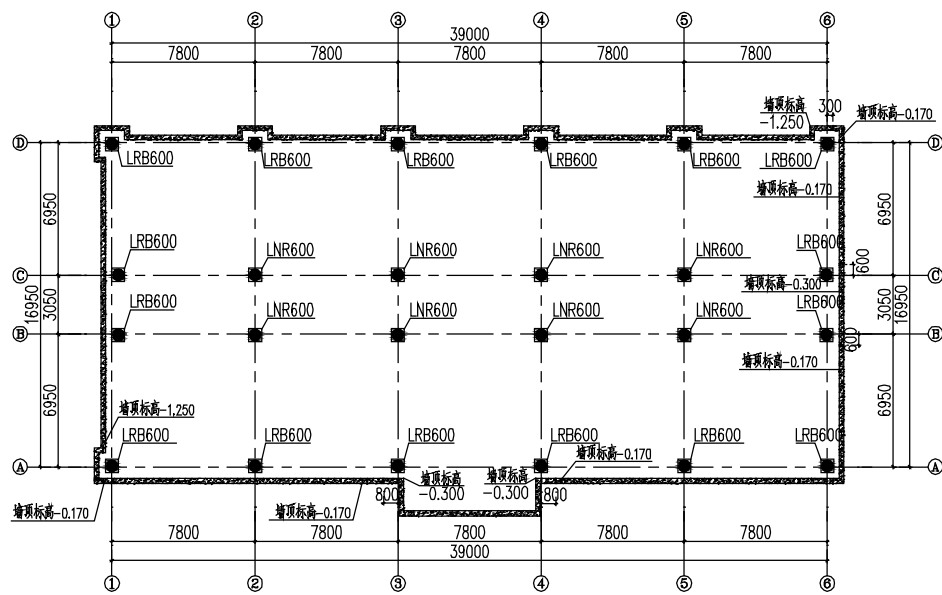


图 4 隔震层平面布置图

本工程主要结构构件尺寸及混凝土强度等级见表 1。

表 1 结构构件尺寸及混凝土强度等级

构件类型	层号	截面尺寸 (mm)	混凝土强度等级
柱	4 层及以上	700 × 700	C30
	1~3 隔震层		C40
梁	1 层顶及以上	300 × 650	C30
	隔震层顶	400 × 500	C30
板	屋面	120	C30
	1~4	100	
	隔震层顶	160	C30

3 抗震性能分析

项目按国家标准 GB/T51408—2021《建筑隔震设计标准》（以下简称《隔标》）进行隔震设计，分析软件采用北京广力科技有限公司 PKPM 系列和中国建筑科学研究院有限公司 SSG 软件。结构计算模型见图 5。

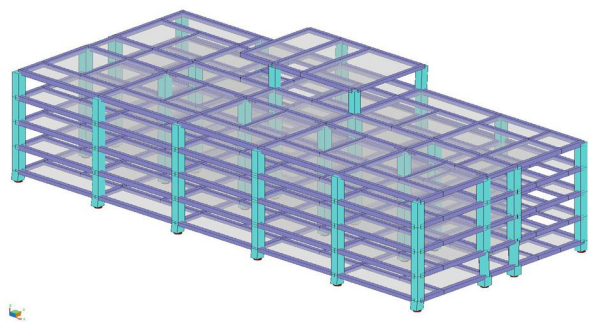


图 5 结构计算模型

3.1 中震抗震性能分析

在设防烈度下通过采用 PKPM 系列隔震软件整体模型

下的复振型分解反应谱法计算得出如下结果均满足规范标准限值，具体见表 2^[4]。

表 2 设防烈度下计算结果

类型	计算值	
结构自振周期	T1	2.2559 (X)
	T2	2.2483 (Y)
	T3	1.8902 (T)
地震下楼层层间最大位移与层高之比 (Δu/h)	X	1/501 ≤ 1/400
	Y	1/571 ≤ 1/400
结构阻尼比 (%)	27.56	
隔震层偏心率	2% ≤ 3%	
支座位移	65mm ≤ 330mm	

因文章篇幅所限，承载力及配筋截面等均满足标准要求不再赘述。

3.2 大震抗震性能分析

罕遇地震下通过 PKPM 系列隔震软件整体模型下的复振型分解反应谱法计算（具体方法同设防烈度下算法）和通过 SSG 软件整体模型下的弹塑性时程分析法。其中整体模型下的复振型分解反应谱法计算用于隔震层及其相关设计，整体模型下的弹塑性时程分析法作为指标复核和承载力验证。

罕遇地震下 PKPM 计算结果（表 3）显示结构满足隔标对支座位移和楼层位移的限值要求。

表 3 PKPM 计算结果

类型	计算值	
支座位移	202mm ≤ 330mm	
地震下楼层层间最大位移与层高低 (Δu/h)	X	1/186 ≤ 1/100
	Y	1/185 ≤ 1/100

弹塑性时程分析采用 SSG 软件自带波库，选择天然波 2 条，人工波 1 条。天然波为 TH035TG055 和 TH049TG045，人工波为 RH2TG075，地震波曲线图见图 6~ 图 8。

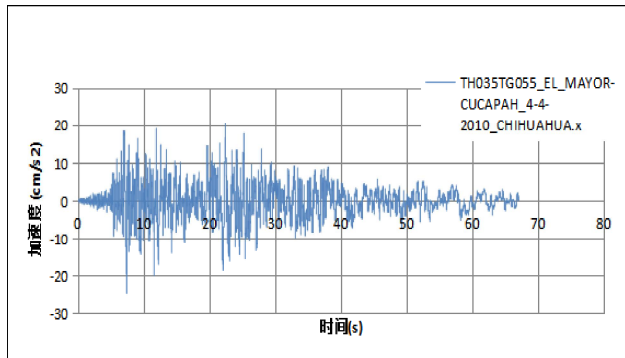


图 6 TH035TG055 地震波曲线图

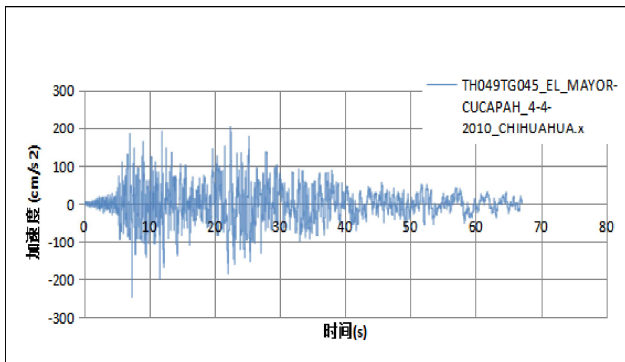


图 7 TH035TG055 地震波曲线图

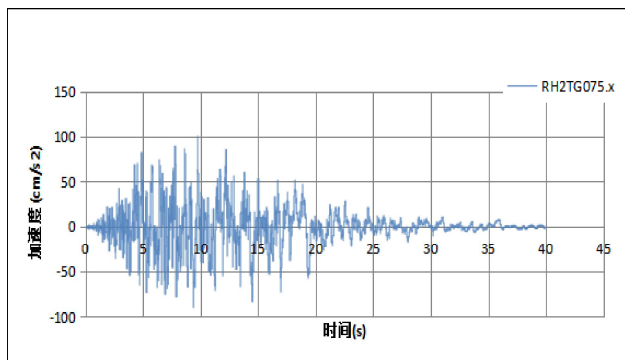


图 8 RH2TG075 地震波曲线图

所选地震动加速度时程曲线的平均地震影响系数曲线与设计反应谱的地震影响系数曲线相比，在对应于结构主要振型周期点上的误差不大于 20%。每条地震加速度时程曲线计算所得结构底部剪力，与振型分解反应谱法计算结果相比不小于 65% 并不大于 135%，满足规范选波要求。选波后经计算，位移结果见表 4。

结构梁柱构件性能水平^[5]见图 9~ 图 10。综上罕遇地震弹塑性计算结果满足《建筑抗震设计规范》附录 M 中性能要求 2~3 之间，高于抗震基本设防目标。

表 4 SSG 最大层间位移角

工况	主方向	最大层间位移角
TH035TG055_X	X 主向	$1/318 \leq 1/100$
RH2TG075_X	X 主向	$1/218 \leq 1/100$
TH049TG045_X	X 主向	$1/314 \leq 1/100$
TH035TG055_Y	Y 主向	$1/373 \leq 1/100$
RH2TG075_Y	Y 主向	$1/261 \leq 1/100$
TH049TG045_Y	Y 主向	$1/369 \leq 1/100$

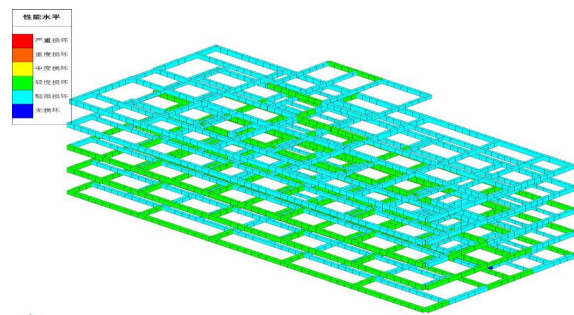


图 9 包络框架梁性能指标

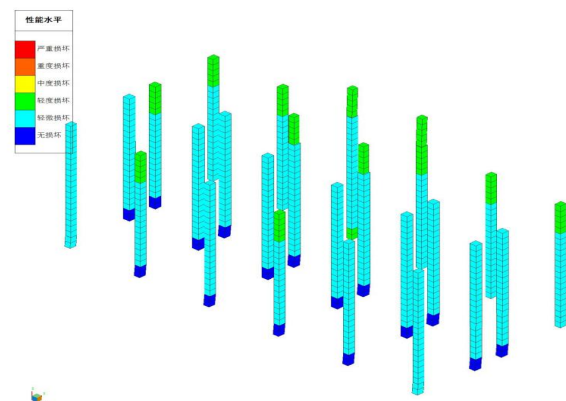


图 10 包络框架柱性能指标

综上计算结果知，本结构在设防烈度下和罕遇地震下耗能良好，中震结构构件基本不坏，大震下结构构件部分轻度损坏，结构中震下整体变形基本弹性^[6]，结果表明采用隔震技术能够满足《隔标》要求，符合 744 号文规定。

4 隔震构造难点

项目地下设一层隔震层，隔震支座采用橡胶支座（布置于建筑中部）和橡胶铅芯支座（布置于建筑周围），所有支座直径为 600mm，橡胶总厚度 110mm。建筑周围地面为东南高西北低的斜坡，其中南侧和东侧地面标高为 -0.350m，北侧和西侧地面标高约为 -1.250m，由于建筑要求隔震沟盖板顶标高应大体随坡面变化，因此形成了隔震沟盖板顶标高不同的隔震层。

由于设计时的规范和图集没有对隔震沟盖板顶标高不同的隔震沟构造给出具体做法^[7-8]，需按照隔震概念对其进行创新设计，要求水平地震来临时隔震支座上的结构可以向

各方向水平位移。

4.1 隔震沟处的抗震缝宽度

按隔标要求，隔震支座上部结构与周围固定物之间应设置完全贯通的抗震缝，以避免罕遇地震作用下可能的阻挡和碰撞，抗震缝宽度不应小于隔震支座在罕遇地震作用下最大水平位移的1.2倍，且不应小于300mm。大震时，项目隔震支座最大水平位移为202mm，1.2倍为242.4mm，综上，隔震沟处抗震缝宽度取300mm。

4.2 隔震沟盖板顶标高不同时的侧边节点

以建筑西南角处为例，该处为比较典型的隔震沟盖板顶标高不同的侧边节点，经研究分析后，确定详细做法见图11、图12、图13所示。

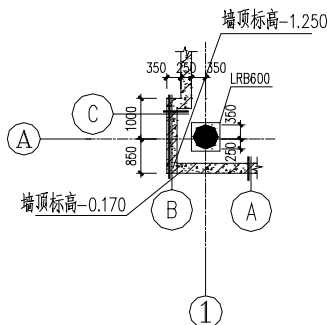


图 11 西南角局部图

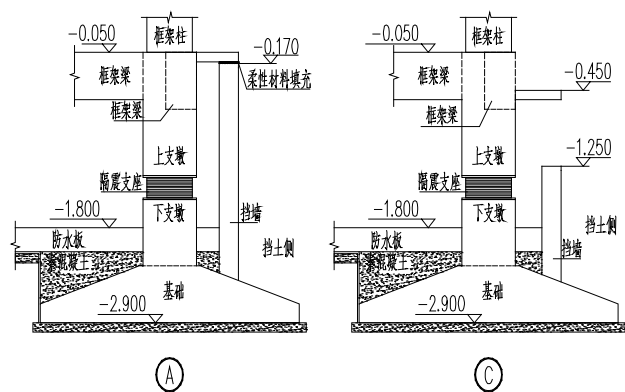


图 12 西南角构造节点图 A (左)、C (右)

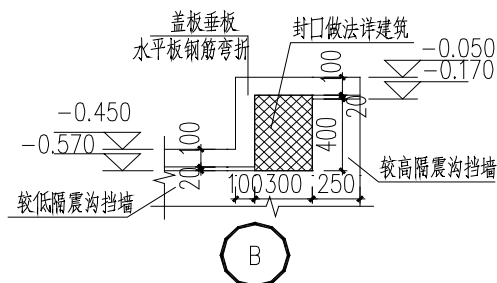


图 13 西南角构造节点图 B

以上做法即可满足隔震支座以上结构构件在地震过程中自由滑动，实现隔震功能。针对一般工程隔震沟盖板顶标高不同时，经研究确定通用详细做法见图14。

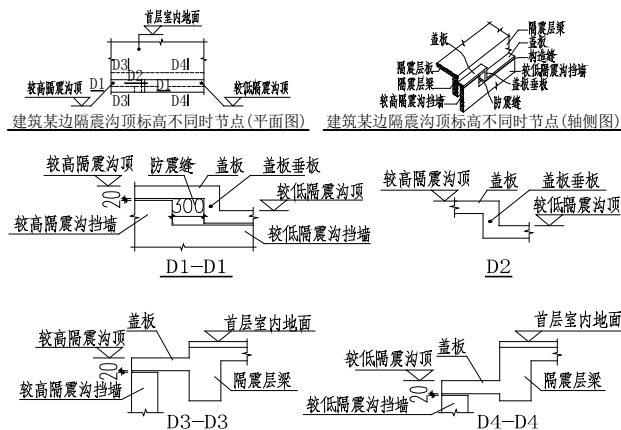


图 14 隔震沟盖板顶标高不同时的侧边节点

4.3 实施效果

图15、图16为施工完成后的角部现场效果图，隔震沟盖板顶标高不同时，在建筑角部和边部的运用。



图 15 隔震沟盖板顶标高不同时的角部运用



图 16 隔震沟盖板顶标高不同时的边部运用

5 装配式技术难点

项目装配式按河北省地方标准进行设计，预制构件采用预制柱。

5.1 预制柱选择思路

由于预制柱采用灌浆套筒连接^[9]，此部分为构件相对薄弱点和施工难点，对此应特别注意预制柱的选择。布置预制柱时，考虑到施工的方便简单，应优先选择实际受力小及需要配筋量小的预制柱，对于隔震建筑的特殊性，设计时还需对罕遇地震下性能水平进行考虑，这样既能保证整体结构受力合理，又方便了预制柱现场安装。

根据大震时框架柱的性能水平等综合因素，本项目选择8根中柱和2根边柱（见图17），预制率为36%。

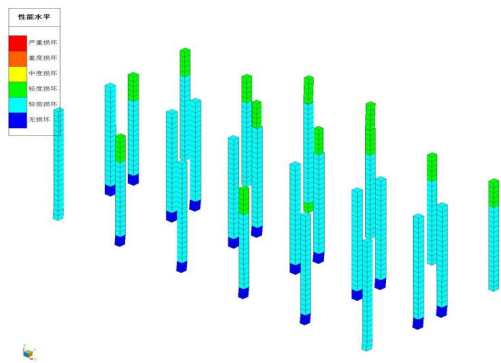


图 17 根据性能水平选择的预制柱

5.2 预制柱与外墙保温节能一体化连接构造

由于本项目建筑专业采用外墙保温节能一体化技术，边柱一般采用现浇实现节点连接^[10]，由于装配率的制约需采用2根预制边柱来满足装配率，因此需要解决与一体化共存的连接节点问题。经研究，采用预制柱外侧与建筑外保温之间增设一定厚度的现浇连接层，解决了此类问题，见图18。

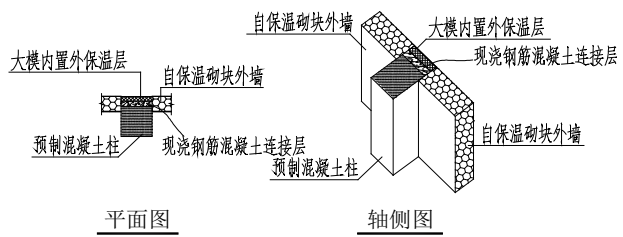


图 18 预制柱与外墙保温节能一体化连接

6 结语

论文对设计中建于斜坡上的、同时采用隔震与装配式技术的混凝土多层框架结构的抗震性能、隔震和装配式技术

若干难点进行了介绍，项目已于2023年8月15日竣工，（投入使用后照片见图19）效果良好，



图 19 投入使用后现场效果图

相应创新节点做法取得若干发明或实用新型专利，可以做为类似建筑工程参考。

参考文献

[1] 王正,邱国林.双碳背景下装配式建筑发展研究[J].智能建筑与智慧城市,2023(7):81-83.

[2] 王亮,张天经,李鹏飞,等.某装配式隔震框架办公楼抗震性能研究[J].低温建筑技术,2022,44(1):109-111+126.

[3] DB13(J)T 8321—2019 装配式建筑评价标准[S].

[4] GB/T 51408—2021 建筑隔震设计标准[S].

[5] 上海现代建筑设计(集团)有限公司技术中心.动力弹塑性时程分析技术在建筑结构抗震设计中的应用[Z].2013.

[6] GB 50011—2010 建筑抗震设计规范(2016年版)[S].

[7] 苏经宇,曾德民.我国建筑结构隔震技术的研究和应用[J].地震工程与工程振动,2001(S1):8.

[8] SG610-1 2003 建筑结构隔震构造详图[S].

[9] G310-3 2021 装配式混凝土结构连接节点构造[S].

[10] DBJT02-161—2019 斜向条形槽保温复合板建筑构造[S].