

钢筋混凝土结构隔震设计中的模型转换问题*

余文正¹, 陶 忠¹, 张龙飞², 杨瑞欣³

(1. 昆明理工大学, 云南 昆明 650224; 2. 云南震安减震技术有限公司, 云南 昆明 650236;
3. 云南怡成建筑设计有限公司, 云南 昆明 650118)

摘要: 对钢筋混凝土剪力墙结构隔震设计中模型转换问题进行研究, 通过对比分析 ETABS 新建隔震模型和 YJK 转换隔震模型与 PKPM 原模型在总质量、主振型周期及各层地震剪力上的差异, 得出以下结论: (1) PKPM 模型与 ETABS 模型总质量存在差异主要有 3 方面原因, 一是重力加速度取值不同; 二是是否考虑荷载折减; 三是是否考虑重叠部分质量; (2) 新建 ETABS 模型与转换 ETABS 模型总质量和主振型周期存在差异的主要原因是转换后模型与新建模型在部分构件所采用的计算单元不同; (3) PKPM 模型与 ETABS 新建模型的地震剪力较接近, 与 ETABS 转换模型的地震剪力相差较大, 主要原因是与 PKPM 模型的质量和周期相比较, 新建模型都较接近, 而转换模型偏差较大。

关键词: 隔震设计; PKPM 模型; ETABS 新建模型; ETABS 转换模型

中图分类号: TV37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2014)01-0117-06

0 引言

在建筑物基础处安装隔震支座, 可以延长结构的自振周期进而减少结构的水平地震作用, 已被国外强震记录所证实。国内外的大量试验表明: 隔震一般可使结构的水平地震加速度反应降低 60% 左右 (汪洋等, 2012)。从而消除或有效地减轻结构和非结构的地震损坏, 提高建筑物及其内部设施和人员的地震安全性, 增加了震后建筑物继续使用的功能 (胡继友, 2011)。在 2013 年 4 月 20 日雅安 7.0 级地震中, 隔震建筑也体现出明显的优势。

国内的工程设计领域中隔震设计正在逐年增加 (秋山宏等, 2010)。通常在隔震设计中, 隔震支座以上结构设计由设计院完成, 而隔震设计则由相关研究院或其他部门完成。国内的设计院一般均采用 PKPM 软件完成上部结构的设计, 而 PKPM 无法模拟隔震支座的力学性能, 隔震设计和分析需选择其他软件, 目前使用较多的隔震分析软件为 ETABS。由于隔震设计和分析建立在上部结构设计之上, 分析模型需与上部结构设计的 PKPM

模型保持一致。隔震设计分析时, 如果按照 PKPM 模型重新建立 ETABS 模型, 将消耗大量的时间, 延长了设计周期。工程上通常采用模型转换软件 (董立坤, 王微, 2012), 将 PKPM 模型转换为 ETABS 模型, 再进行各种设计与分析, 这将大大缩短设计时间, 目前实现两者转换的软件主要有陈岱林团队研发的盈建科软件和陈国祥团队研发的老虎 SATWE 后处理软件。然而, 转换并不是复制, 由于各种软件有自身的特点, 在转换过程中, 转换软件将以各自方法对模型进行转换 (屈会雪, 2011), 转换后模型与原模型或是直接建模分析模型存在一些差异, 如盈建科软件在转换 PKPM 模型为 ETABS 模型时, 将 PKPM 中的转换梁和跨高比 ≤ 5 的连梁均转换成了墙体 (壳单元), 因此, 在 ETABS 计算中, 转换梁和跨高比 < 5 的梁均按壳单元计算, 这与直接在 ETABS 中建模分析有所不同。这些模型上的差异对隔震设计分析是否有影响需要进一步研究。

本文针对一实际隔震工程, 将转换梁和跨高比 ≤ 5 的连梁分别按梁单元和墙单元 (壳单元) 建模, 通过对比两个模型的总质量、主振型周期、各层地震剪力来明确模型上的差异对隔震设计分

* 收稿日期: 2013-10-10.

基金项目: 国家自然科学基金地区基金—基于木材嵌压和摩擦特性的传统木结构节点区恢复力特性的模型化研究 (KKGD201106039) 资助。

上部结构没有梁柱重叠部分，隔震层尽管有梁柱构件，但是大部分均为转换梁，在模型转换时，这些转换梁均被转换为墙体，ETABS 计算结构自重时并不扣除墙柱重叠部分质量，因此，ZH 与 PK 模型相比，基本不存在重叠部分的影响。因此，与 PK 模型相比，ZH 模型总质量较大。

ZH 与 PK 模型相比质量较大，主要原因是 XJ

模型中扣除了隔震层中的梁柱重叠部分的质量，而 ZH 模型没有扣除，所以与 XJ 模型相比，ZH 模型总质量较大。

XJ 与 PK 模型总质量接近，主要原因是重力加速度和活荷载折减影响所导致 XJ 模型增加的质量与梁柱重叠部分影响导致 XJ 模型减少的质量接近，因此，XJ 与 PK 模型总质量比较接近。

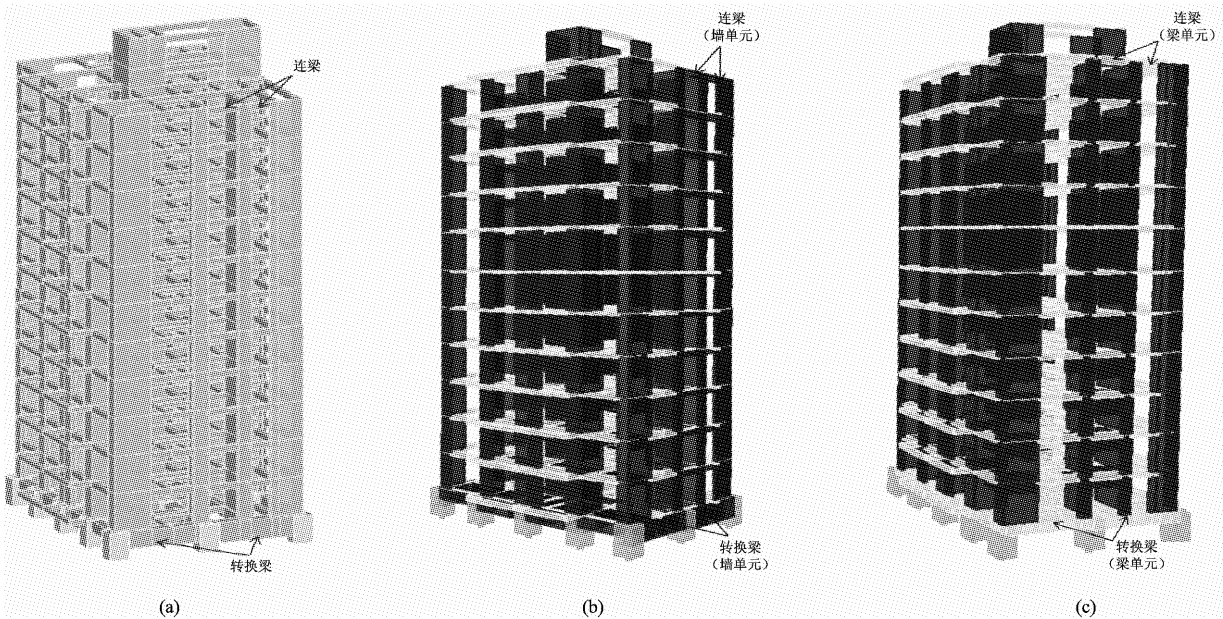


图 2 PKPM 模型 (a)、ETABS 转换模型 (b)、ETABS 新建模型 (c)

Fig. 2 PKPM model (a), transformation ETABS model (b), and new ETABS model (c)

2.2 周期对比

通过对比模型主振型来判断，转换模型及新建模型是否和原模型一致，如表 2 所示。从表中可以看出，XJ 与 PK 模型的各阶阵型对应的周期都很接近，而 ZH 模型的各阶周期与 PK 模型相比偏小，而且偏差较大。XJ 与 PK 模型接近主要是因为这两个模型质量和所采用的计算单元都比较接近，因此两个模型周期较接近。ZH 模型和 PK、XJ 模型相比，周期偏小，主要是因为 ZH 模型转换梁和连

梁所用的单元为墙单元，而 PK 和 XJ 模型采用梁单元。梁单元与壳单元在传力上存在一定的差异，如图 3 所示。

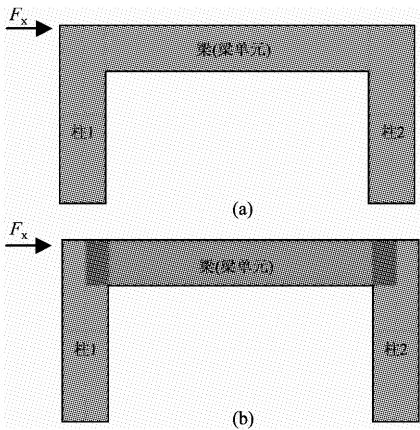


图 3 XJ 模型 (a)、ZH 模型 (b) 梁柱示意图

Fig. 3 Diagram of beam-column of XJ (a) and ZH models (b)

表 2 模型主振型周期比较					
Tab. 2 Comparison of the period of main vibration mode					
阵型 模型	PKPM 模型 (PK)	ETABS 转换 模型 (ZH)	ETABS 新建 模型 (XJ)	对比 (100%)	
				ZH - PK	XJ - PK
1	0.782 0 s	0.716 3 s	0.761 2 s	8.40	2.66
2	0.753 4 s	0.705 1 s	0.732 5 s	6.41	2.77
3	0.575 0 s	0.519 4 s	0.553 9 s	9.67	3.67

当柱1顶部受到水平力 F_x 时, F_x 经梁传递到柱2上,在传力方面,梁单元与墙单元有所不同。ETABS中,梁单元在计算时,一般按线条计算,墙单元按面计算(陈磊,金海波,2012),因此在传力时就产生了差异(庄茁等,2008),如图4所示。从图中可以看出,当梁按梁单元计算时,柱的计算长度取柱高,当梁按墙单元计算时,柱的计算长度小于柱高,柱的计算高度依据梁(墙单元)的高度确定,梁(墙单元)越高,柱计算高度越小。因此,与XJ模型相比,ZH模型中与转换梁及连梁相连的柱或墙的计算高度要小,使得ZH模型的抗侧刚度要大于XJ模型的抗侧刚度,ZH模型主振型周期较XJ模型小。

2.3 剪力对比

通过对比模型地震剪力来判断,转换模型及新建模型是否和原模型一致,如图5所示。从图中可以看出,PK模型的顶部几层剪力比ZH和XJ模型均要大,其它层均比ZH和XJ模型小。这主要是由于PKPM与ETABS在计算各楼层重力荷载代表值有所不同,PKPM将整个楼层的重力荷载分配给该楼层(中国建筑科学研究院,2010),而ETABS则是将本楼层位置上下各一半的重力荷载代表值分配给该楼层(北京金土木软件技术有限公司,2004)。计算顶层柱和墙的重力荷载代表值时,ETABS仅包括顶层柱和墙的一半荷载,而PK-

PM包括了柱和墙的全部荷载,因此,对于顶层来说,ETABS的剪力要小于PKPM。如果顶部几层的高度和形式有差异,这将会影响到顶部其它几层的剪力。由于本文实例中顶部三层的高度及结构形式不同,所以顶部三层的PK模型计算的剪力与ZH模型和XJ模型差异较大。

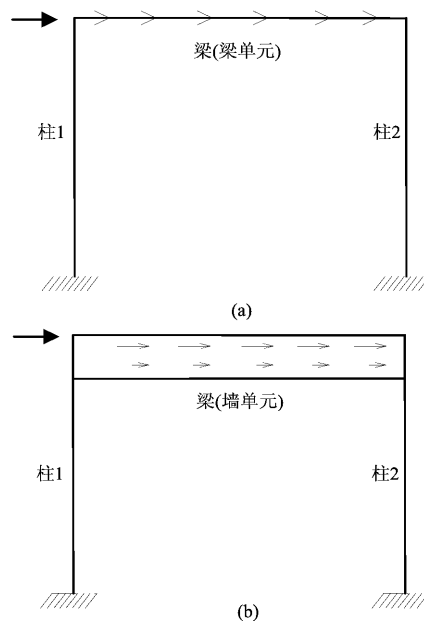


图4 XJ模型(a)、ZH(b)模型梁传力简图
Fig. 4 Diagram of force transmission of XJ (a) and ZH models (b)

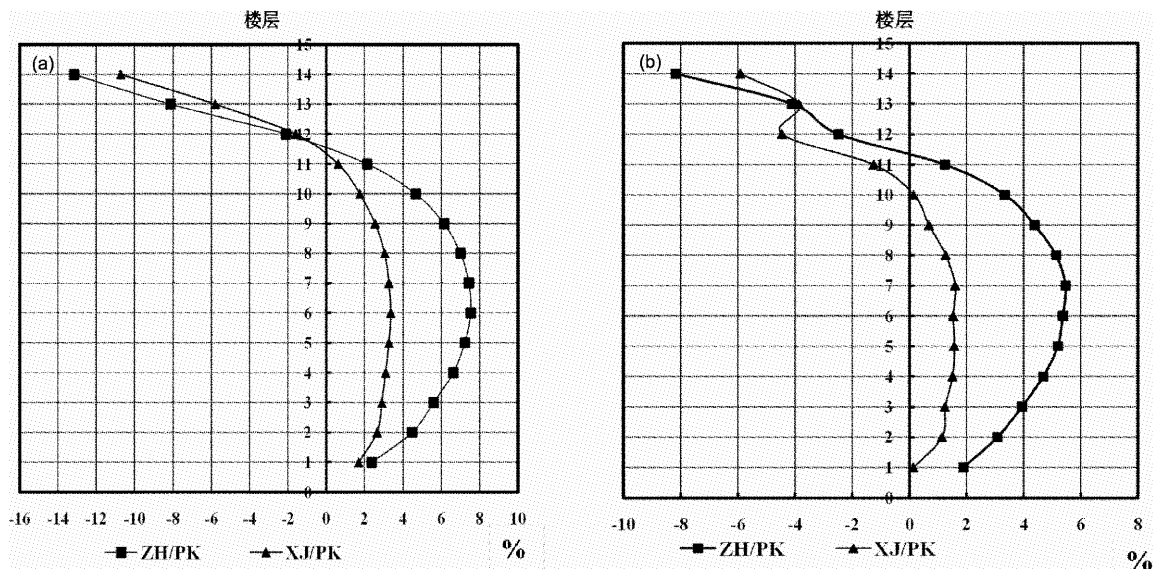


图5 X(a)、Y方向(b)各层剪力对比(ZH/PK和XJ/PK分别表示
ZH和XJ模型剪力与PK模型剪力的相对偏差)

Fig. 5 Shear comparison of each story in X (a) and Y (b) direction (ZH/PK and XJ/PK represent the relative deviation of shear between ZH and XJ models and PK model respectively)

从图5中还可以看出,XJ模型的各层剪力与PK模型相对偏差最大值不超过4%(顶部几层除外),各层剪力较接近,而ZH模型各层剪力与PK模型相对偏差最大值接近8%,各层剪力相差较大。这主要是由于与PK模型相比,ZH模型周期较小,使得地震影响系数较大,而且ZH模型的总质量也较PK模型质量大,因此,ZH模型地震剪力与PK模型相差较大。而XJ模型在周期和总质量上均与PK模型较接近,所用地震剪力也较为接近。

3 结论

本文针对一钢筋混凝土剪力墙结构隔震模型问题展开研究,通过对比分析ETABS新建隔震模型与YJK转换隔震模型与PKPM原模型在总质量、主振型周期及各层地震剪力上的差异,得出以下结论:

(1) PKPM与ETABS模型总质量存在差异主要有3方面原因,一是ETABS重力加速度取值 $9.81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$,而PKPM取 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;二是ETABS模型没有考虑荷载折减,而PKPM考虑荷载折减;三是ETABS扣除梁柱重叠部分质量,而PKPM不扣除。其中前两个原因使ETABS模型总质量较大,第三个原因使ETABS模型总质量较小。

(2) 新建ETABS模型与转换ETABS模型总质量和主振型周期存在差异主要原因是模型转换过程中将转换梁和跨高比 ≤ 5 的连梁均转换成了墙体(壳单元)。ETABS在计算总质量时仅扣除梁柱重叠部分,而不扣除墙柱重叠部分,使得转换模型较新建模型质量大;墙单元以面形式传力,而梁单元以线形式传力,使得墙单元传力时减少了与之相连的竖向构件的计算长度,提高了抗侧刚度,减小了周期。

(3) PKPM模型与新建ETABS模型的地震剪力较接近,与转换ETABS模型的地震剪力相差较大,主要原因是与PKPM模型的质量和周期相比较,新建模型都较接近,而转换模型偏差较大,使得转换模型地震剪力与PKPM模型偏差较大。

从本文分析结果看,由于YJK软件在转换PK-PM模型为ETABS模型中,将转换梁和连梁转换成了墙单元,使得转换模型在计算结果上与PKPM计算结果差距较大,但是并不意味着转换模型与结构的实际受力情况差距较大,相反,就受力分析看,转换梁及跨度较小的连梁按壳单元计算更接近实际受力情况(李常虹等,2008)。因此,仅就结构分析看,YJK转换模型分析结果应更接近结构的实际受力情况。

参考文献:

- 北京金土木软件技术有限公司. 2004. 中国建筑标准设计研究院 ETABS 中文版使用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 陈磊,金海波. 2012. 结构传力路径的量化模型研究[J]. 机械科学与计算, 31(3): 487-491.
- 董立坤,王微. 2012. PKPM与ETABS结构模型数据转换接口的实现[J]. 土木建筑工程信息技术, 4(3): 45-51.
- 胡继友. 2011. 基于性能的摩擦摆基础隔震结构抗震性能研究[D]. 郑州: 郑州大学.
- 李常虹,廖荣权,魏锦涛. 2008. 以梁和壳单元模拟连梁对结构刚度影响的研究[J]. 四川建材, (3): 108-109.
- 秋山宏,叶列平,佩星洙,等. 2012. 基于能量平衡的建筑物抗震设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 99-110.
- 屈会雪. 2011. 面向工程分析的模型转换技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学.
- 汪洋,蔡晓虹,曹加良. 2012. 采用磁流变阻尼器的基础隔震结构性能研究[J]. 结构工程师, 28(6): 79-84.
- 中国建筑科学研究院. 2010. 建筑工程软件研究所 PKPM 多高层结构计算软件应用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 庄苗,由小川,廖剑晖,等. 2008. 基于 ABAQUS 的有限元分析和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 111-150.

Research of Model Transformation Problem in Isolation Design for Reinforced Concrete Structure

YU Wen-zheng¹, TAO Zhong¹, ZHANG Long-fei², YANG Rui-xin³

(1. *Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, Yunnan, China*)

(2. *Yunnan Zhen'an Anti-Earthquake Technology Co. Ltd., Kunming 650236, Yunnan, China*)

(3. *Yunnan Yicheng Architectural Design Co. Ltd., Kunming 650118, Yunnan, China*)

Abstract

Aiming to studying the model transformation problems in isolation design of reinforced concrete shear wall structure, we done a comparative analysis the difference in the total mass, the period of main vibration mode and earthquake shear of each layer among the PKPM model, new ETABS model and transformation ETABS model by YJK. The research result shows that: (1) The three main reasons of the total mass difference between ETABS model and PKPM model is the difference of gravity acceleration value, whether to consider variable load reduction and mass of overlapping part; (2) Because of the difference of the calculation element about the beam used in new ETABS model and transformation ETABS model, the total mass and the period of main vibration mode are different; (3) Owing to the mass and the period of structure in the PKPM model are closer to that in the new ETABS model, but bigger than that in the transformation ETABS model, the deviation of the earthquake shear is small between PKPM and new ETABS model, is bigger between PKPM and transformation ETABS model

Key words: isolation design; PKPM model; ETABS model; YJK transformation model