

# 底框架剪力墙砌体结构数值模拟分析

胡显燕<sup>1</sup>, 邓 娟<sup>2</sup>, 王玉岚<sup>1</sup>, 邓 洋<sup>1</sup>

(1. 湖北第二师范学院建材系, 湖北 武汉 430205; 2. 中冶南方工程技术有限公司, 湖北 武汉 430223)

**摘 要:**底框架剪力墙—上部砌体结构由于底部较柔,上部结构刚度较大,具有一定的耗能能力,在数值模拟时结构建模繁琐.通过对底框架剪力墙—上部砌体结构采用 ANSYS 有限元软件进行数值模拟分析,分别选用 shell63 单元和 solid65 单元模拟砌体结构,两种方法模拟的结构振型相似,自振频率的变化规律和墙体的厚度一致,即厚度小、频率高,厚度大,频率就小,结构受力和变形也和理论值一致;但 solid65 单元模拟的结构比 shell63 单元模拟的结构周期偏长,受力增大,塑性分析时,solid65 单元不易收敛.通过比较发现,地震谱分析时,用 shell63 单元模拟能够得到理想的结果,方法简单.

**关键词:**底框架剪力墙砌体结构;数值模拟;模态分析;地震谱分析

**中图分类号:**TU279

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2012.11.008

## 0 引 言

底部框架剪力墙砌体结构这种结构形式经济实用,在我国乡镇建筑中仍有较多的底框剪力墙砌体结构形式.底部框架—抗震墙结构采用抗震性能、延性较好的钢筋混凝土,底层较柔的结构体系具有一定的耗能性能,能减弱上部结构的地震效应.目前对底框架剪力墙—砌体结构的研究已取得了一定的成果.李琪等人在水平位移模式和水平力模式下研究了底部框架—抗震墙砌体结构在地震作用下的弹塑性反应,发现随着地震强度的增加,均匀分布的水平力模式的静力弹塑性分析结构更接近时程分析结果<sup>[1]</sup>.郑山锁等人按照 1:6 比例模型模拟了底部框架—砖抗震墙上部砖房在地震作用下的受力特点、变形特征、破坏形态等,提出了结构弹塑性动力分析的力学模型和方法,提出了抗震建议<sup>[2]</sup>.郭猛等人提出为增强框架结构和底部框架砌体结构的抗震性能,在框架内部设置稀疏框格复合墙形成组合式抗震墙的方法,并对该组合式抗震墙抗剪承载力计算方法进行了研究,文章中的建议公式有较好的计算精度,可供底部框架砌体结构的新建或震后重建参考<sup>[3]</sup>.郑山锁等人在后来的研究中,利用振动台试验研究了底部一层、二层框架剪力墙砌体结构的抗震性能,并提出了一套抗震设计和计算的方法

法<sup>[4]</sup>.也有一些学者研究了底部框架剪力墙结构的抗倒塌能力.

从目前的研究成果来看,底部框架剪力墙砌体结构相比传统的砌体结构具有一定的抗震优势,但也存在较多问题.现阶段对结构的抗震性能缺乏系统的研究,需要对结构的变形能力、内力分布、结构计算简图做详细的探讨,需要对相同条件下结构在抗震构造措施方面的特殊需要进行研究.

本文拟对底部一层框架剪力墙,上部四层砖混结构的实例进行有限元计算,分别采用 shell63 单元和 solid65 单元模拟砌体结构部分,分析比较其受力特点及变形,为工程实例提供可供参考的数值模型.

## 1 实 例

某底部框架剪力墙结构—上部砖砌体结构,五层底框架砖房,底层顶板为钢筋混凝土板 150 mm 厚,梁的截面尺寸为 250 mm×650 mm,柱的截面尺寸为 450 mm×450 mm,砼抗震墙厚 180 mm,圈梁尺寸 240 mm×180 mm,构造柱 240 mm×240 mm,均采用 C30 混凝土.砖房墙体采用 Mu10 的砖,M10 的砂浆,砖墙基本于梁下设置.房屋平面和立面尺寸如图 1 所示.

收稿日期:2012-09-04

基金项目:校级重点学科建设项目;优秀科研教师团队建设项目(2012k303)

作者简介:胡显燕(1977-),女,湖北潜江人,讲师,硕士.研究方向:防灾减灾及防护工程专业.

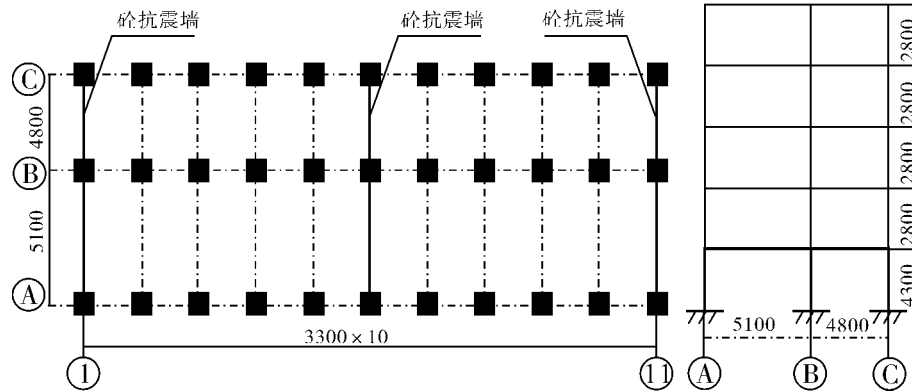


图 1 底框砖房基本结构的底层平面和剖面图

Fig. 1 Bottom plain view and sectional drawing of masonry structure

## 2 数值模拟

本文采用有限元软件 ANSYS 对实例进行建模分析,因为结构为底部框架剪力墙结构—上部砖砌体结构,所以用两种方法模拟,主要区别在于上部结构的模拟单元选择不一样。

方法一:框架柱、框架梁采用 beam188 单元,剪力墙采用 shell63 单元,砌体墙采用 shell63 单元模拟。beam188 单元适合于分析从细长到中等粗短的梁结构,该单元基于铁木辛格梁结构理论,并考虑了剪切变形的影响,beam188 是三维线性或者二次梁单元,每个节点六个或七个自由度。shell63 既有弯曲能力又具有膜力,可以承受面内荷载和法相荷载。本单元每个节点有 6 个自由度,应力刚化和大变形能力已经考虑其中<sup>[5]</sup>。其中砌体墙也考虑用 shell63 单元进行模拟,分析整体变形及模态分析,材料用 C15,厚度 10 mm 进行简化建模。

方法二:框架柱、框架梁采用 beam188 单元,剪力墙采用 shell63 单元,砌体墙采用 solid65 单元模拟。solid65 单元为八节点六面体单元,针对此单元开发的混凝土材料具有拉裂与压碎性能。solid65 单元本身包括两部分:一是和普通的八节

点空间实体单元 solid45 相同的实体单元模型,但加入了 Willam—Warnke 五参数破坏准则。二是由弥散钢筋组成的整体式模型,它可以在三维空间的不同方向分别设定钢筋的位置、角度及配筋率等参数。此单元模型在一般范围内可以较好地进钢筋混凝土的非线性分析,包括对徐变等特性的考虑,但对于复杂加载路径下结构的响应,如地震作用下结构的滞回性能的分析,由于本构模型过于粗糙,得不到令人满意的结果。砌体结构的分析中大多引用 solid65 单元来模拟其受力开裂形态。

两种方法建模时都省略了上部砌体结构的圈梁和构造柱。根据《混凝土结构设计规范》GB50010—2010<sup>[6]</sup>的规定,混凝土泊松比采用 0.2,砌体结构泊松比采用 0.15。建立有限元模型,进行网格划分<sup>[7]</sup>。

目前砌体结构有限元模型主要分为两种:  
**a.** 将砖与砖之间灰缝分别采用各自的弹性模量按不同的单元处理;  
**b.** 另一种是将砖砌体和灰缝共同看作一个单元。前者单元多,弹性模量离散型太大,粘结强度不易模拟。通常选用第二种方法。结构的物理参数如表 1 所示。

表 1 结构材料物理参数表

Table 1 Physical parameters of structural materials

材料参数	密度	弹性模量	抗压强度标准值	抗拉强度标准值	受压屈服强度	强化模量
混凝土(C30)	2500	3.0E10	20.1E6	2.01E6	14.07E6	0.835E9
混凝土(C20)	2500	2.055E10	13.4E6	1.54E6	9.38E6	0.709E9
混凝土(C15)	2500	2.2E10	10.0E6	1.27E6	7.1E6	0.71E9
砌体(Mu10,M10)	2200	2.7E9	4.19E6	0.4458E6	1.627E6	0.334E9

### 2.1 振型分析

砌体墙选择 shell63 单元,数值分析结果:结构前 4 阶振型图如图 2 所示。

砌体墙选择 solid65 单元,数值分析结果:结构前 4 阶振型图如图 3。



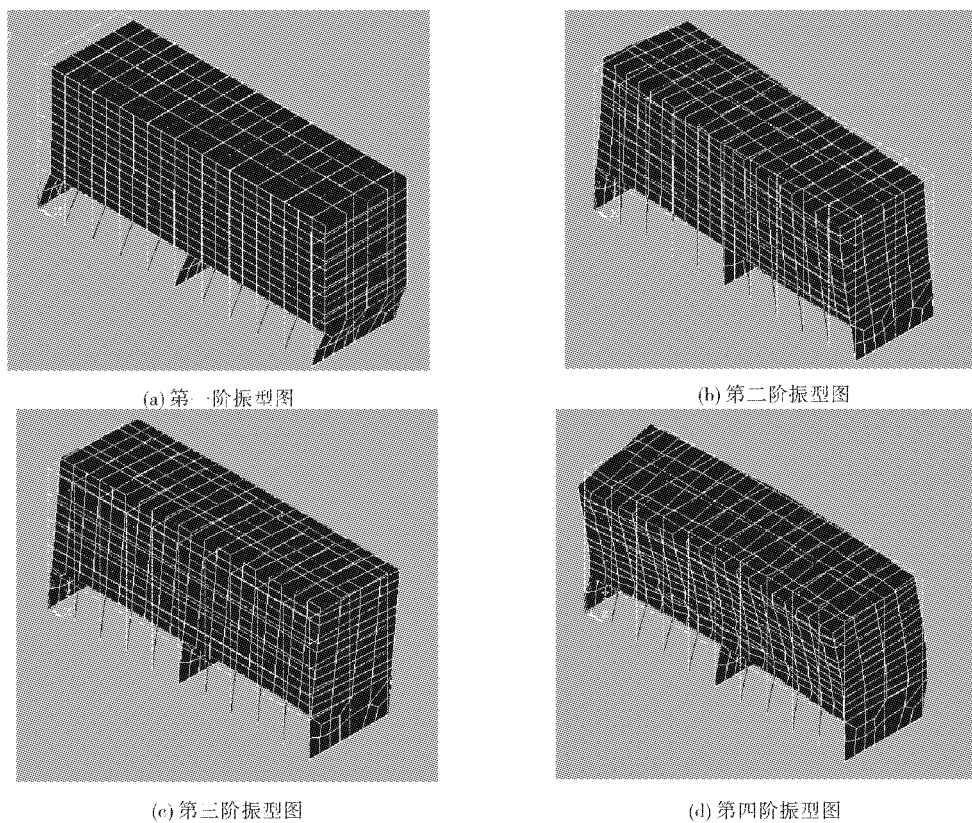


图 2 shell63 单元模拟墙体时四阶模态振型图

Fig. 2 The top four natural deformation of structure used shell63 to simulate the wall

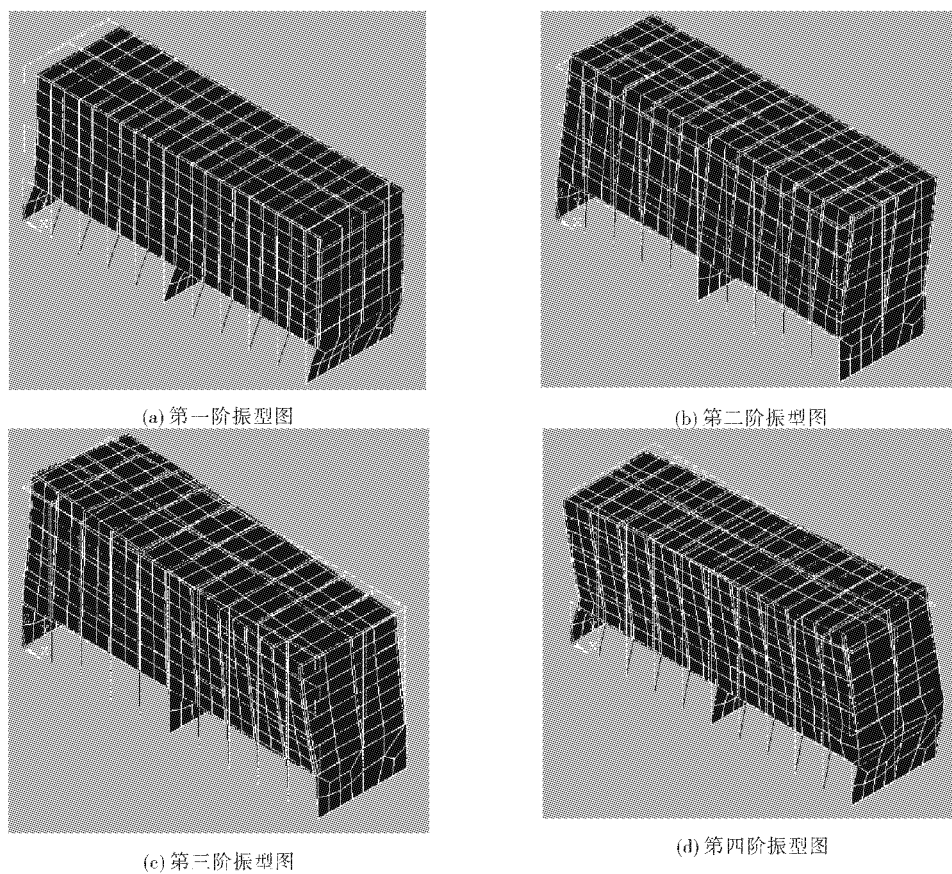


图 3 solid65 单元模拟墙体时四阶模态振型图

Fig. 3 The top four natural deformation of structure used solid65 to simulate the wall

shell63 单元模拟结构和 solid65 单元模拟结构的自振频率列于表 2。

表 2 各阶模态频率

Table 2 The natural frequencies

振型阶数	1	2	3	4	5
频率/Hz	3.0460	8.2290	11.237	22.484	23.327
shell63 单元模拟					
频率/Hz	2.4639	4.6911	5.9071	11.216	12.522
solid65 单元模拟					

从上述两种单元模拟的振型可以看到, shell63 单元模拟时结构的自振频率较大, 而 solid65 单元模拟时结构的自振频率相对较小。振型图却看出, 各阶变形相似。分析其原因是: 选择

单元尺寸时, 用 shell63 单元模拟砌体墙体时, 选择的模拟单元具有较好的抗弯性能, 抗剪性能, 而实际的砖墙抗弯和抗剪性能较差, 所以对墙体的尺寸进行了折减, 选择的厚度为 100 mm。用 solid65 单元模拟墙体时, 选择的模拟单元和砖墙体的性能接近, 所以墙体的厚度用原厚度 240 mm。由于四层墙体的厚度变化, 带来的自振频率的变化和理论结果是一致的, 厚度小, 频率高, 厚度大, 频率就小。

## 2.2 结构受力分析

数值模拟时, 采用 shell63 单元模拟结构和 solid65 单元模拟结构的结点最大受力如表 3 所示。

表 3 各结点最大受力

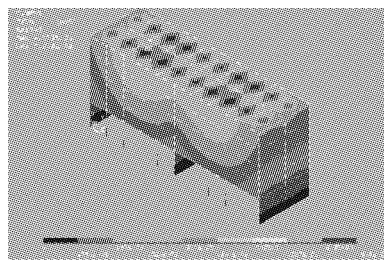
Table 3 The force of nodes

shell63 单元模拟墙体结构受力分析						
结点	286	1 159	2	493	17	57
受力 min(N)	-0.931 16E+6	-0.510 74E+6	-0.168 47E+7	-0.169 06E+6	-0.368 17E+6	-0.600 38E+6
结点	286	1 085	280	322	127	107
受力 max(N)	0.112 37E+7	0.524 39E+6	0.453 19E+6	0.168 74E+6	0.366 82E+06	0.599 51E+6
solid65 单元模拟墙体结构受力分析						
结点	286	1 084	259	193	137	331
受力 min(N)	-0.151 39E+7	-0.680 56E+6	-0.143 85E+7	-0.302 35E+6	-0.140 51E+6	-0.176 55E+6
结点	286	1 091	2 463	166	27	2 507
受力 max(N)	0.164 01E+7	0.812 46E+6	0.255 78E+6	0.320 53E+6	0.203 30E+6	0.190 97E+6

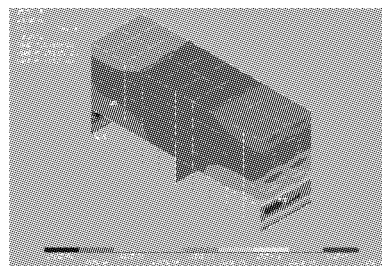
从表 3 受力比较看出, 受力最大结点在楼板中央及纵墙上, 用 solid65 单元模拟墙体时结构的受力明显高于用 shell63 单元模拟墙体时结构的

受力。

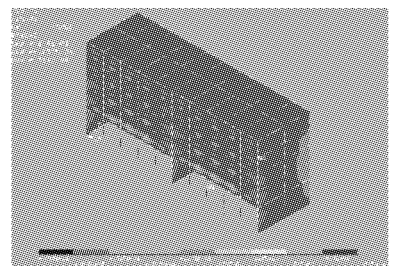
采用 shell63 单元模拟分析时, 结构总体变形、X 方向变形和 Y 方向的变形如图 4。



(a) 总体变形图



(b) X方向变形图



(c) Y方向变形图

图 4 shell63 单元模拟墙体时结构变形图

Fig. 4 The deformation of structure used shell63 to simulate the wall

采用 solid65 单元模拟分析时, 结构总体变形、X 方向变形和 Y 方向的变形为如图 5。

从图 5 中可以看出, 采用 solid65 单元模拟分析时, 最大变形集中在楼板中央, 而且分布范围较大, 纵墙和横墙也有较大变形; shell63 单元模拟分析时, 最大变形集中在每块楼板中间, 较大变形分

布范围较小, 横墙的变形较小。采用 shell63 单元分析时, X 方向变形主要集中在底部剪力墙部位, 沿 Y 方向的变形很小。采用 solid65 单元模拟分析时, X 方向变形很小, 沿 Y 方向变形主要集中在了一层和二层相交处的纵墙部位。两种方法分析得到的变形值都能够满足规范要求。



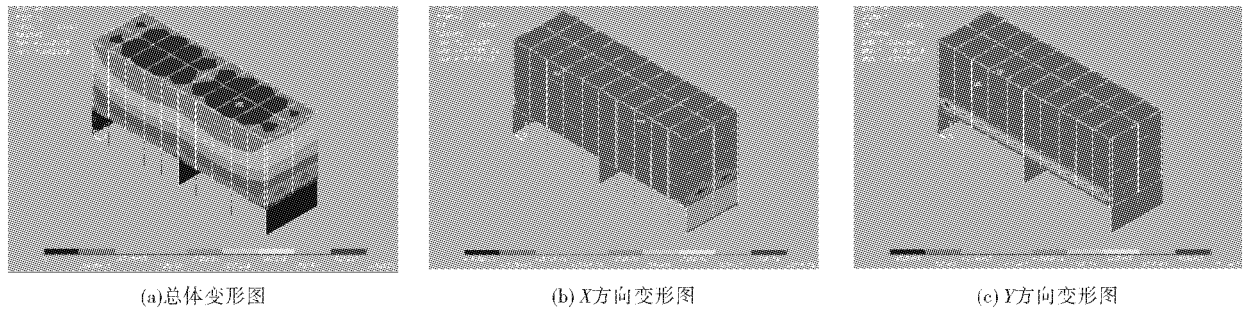


图 5 solid65 单元模拟墙体时结构变形图

Fig. 5 The deformation of structure used solid65 to simulate the wall

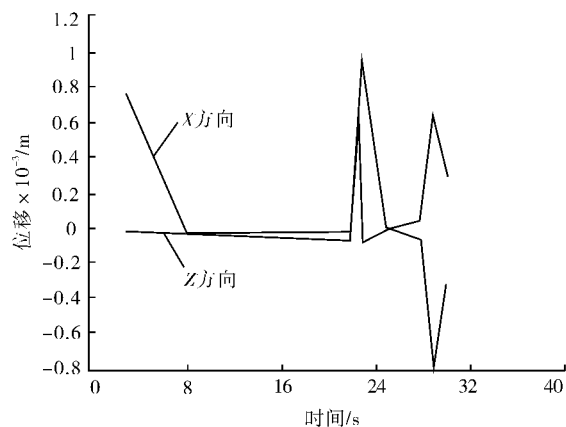
通过上述受力变形分析可以看出,分析整体结构的受力和变形时,砌体墙采用 shell63 单元计算上更简单,也能满足结构分析要求,solid65 单元数值模拟更复杂,所以进行墙体开裂分析时,适合采用 solid65 单元模拟.

### 3 地震谱分析

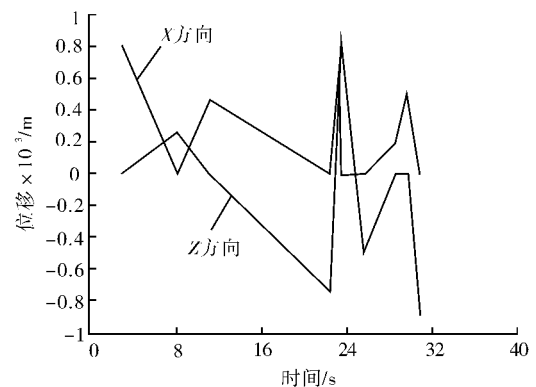
对底框架剪力墙—上砌体结构进行地震谱分析时,可以采用简化模型,砌体墙采用 shell63 模拟.顶层屋面板中央及角点的位移时间响应如图 6

所示,从图中可以看出,屋面板中间节点的响应比角点的响应要小,沿 Z 方向的位移与沿 X 方向的位移都有较大的响应.对本实例而言,位移响应较小,完全能够满足结构变形要求.采用数值模拟时,通过比较分析,用 shell63 单元进行地震谱分析能够得到理想的结果;solid65 单元分析时,结果不容易收敛.

对底框架剪力墙—上砌体结构进行地震谱分析时,结构的节点受力分析如表 4 所示.



(a) 屋顶中点位移时间历程图



(b) 屋顶角点位移时间历程图

图 6 节点位移时间历程图(沿 Z 方向,X 方向)

Fig. 6 Time history of the nodes(along Z,along X)

表 4 shell63 单元模拟时各结点受力

Table 4 The force of nodes simulated with shell63

静力分析						
结点	286	1 159	2	493	17	57
受力 min(N)	-0.931 16E+6	-0.510 74E+6	-0.168 47E+7	-0.169 06E+6	-0.368 17E+6	-0.600 38E+6
结点	286	1085	280	322	127	107
受力 max(N)	0.112 37E+7	0.524 39E+6	0.453 19E+6	0.168 74E+6	0.366 82E+06	0.599 51E+6
地震谱响应分析						
结点	256	137	1 192	112	2	889
受力 min(N)	-0.349 43E+6	-0.193 02E+6	-0.588 20E+6	-35 537	-83 990	-2 435.1
结点	316	137	1 192	2	52	47
受力 max(N)	0.349 04E+6	0.192 97E+6	0.588 07E+6	35 650	82 969	60 684

从表 4 中可以看出,地震谱分析的最大受力节点不同于静力分析,地震谱分析中节点最大受力小于静力分析中节点最大受力;对于本实例,根据《砌体结构设计规范》<sup>[8]</sup> 10.5 条对框架剪力墙上部砌体结构的构造要求,以及《建筑抗震设计规范》6.5 条对该类结构的构造要求,结构都能满足要求;最后的数值计算结果也能满足材料强度和承载力要求<sup>[9]</sup>。

## 4 结 语

通过对底框架剪力墙—上部砌体结构进行数值分析,分别选用 shell63 单元和 solid65 单元模拟砌体结构,进行了模态分析,位移分析,最后用 shell63 单元模拟结构进行地震谱响应分析。从分析的结果可以得知:

a. 进行静力分析时,用 solid65 单元模拟墙体时结构的受力明显高于用 shell63 单元模拟墙体时结构的受力。设计合理的底框架剪力墙—上部砌体结构的受力性能及抗震性能与砌体结构相当,结构底部刚度的设计对结构整体设计尤为重要。

b. 采用数值模拟时,通过比较分析,用 shell63 单元进行地震谱分析能够得到理想的结果;solid65 单元分析时,结果不容易收敛,对工程分析带来一定困难,而且命令流编写复杂。

c. 底框架剪力墙—上部砌体结构属于竖向不

规则结构,过渡层的结构设计决定整个结构的受力性能,尤其是抗震性。本文实例都能满足受力要求,在以后的研究中着重这部分的探讨,如底层框架梁的设计,底层墙肢的抗剪及延性设计。

## 参考文献:

- [1] 李琪,顾荣蓉,杨鼎,等. 底部框架—抗震墙砌体结构静力弹塑性分析[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2007,45(1):51-54.
- [2] 郑山锁,杨勇,赵鸿铁. 底部框剪砌体房屋抗震性能的试验研究[J]. 土木工程学报,2004,37(5):23-32.
- [3] 郭猛,姚谦峰. 框架—稀疏框格复合墙抗剪承载力计算方法研究[J]. 四川大学学报:工程科学版,2010, 42(5):237-242.
- [4] 郑山锁,薛建阳,王斌. 砌体结构抗震[M]. 北京:中国建材工业出版社,2008.
- [5] 何本国,陈天宇,王洋. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.
- [6] GB50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [7] 张琦彬. ANSYS 在框架—砖混组合结构转换梁损伤分析中的运用[G]. 2004 ANSYS 中国用户论文集.
- [8] GB50003—2001 砌体结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [9] GB50011—2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.

## Numerical analysis of structure of frame and masonry composite structure

HU Xian-yan<sup>1</sup>, DENG Juan<sup>2</sup>, WANG Yu-lan<sup>1</sup>, DENG Yang<sup>1</sup>

(1. Department of Architecture and Materials, Hubei Institute of Education, Wuhan 430205, China;

2. WISDRI Engineering & Research Incorporation Limited Company, Wuhan 430223, China)

**Abstract:** The composite structure of shear-wall bottom and masonry frame is advantageous in energy dissipation with its flexible in the bottom and rigid in the upper body. However, it is difficult to simulate the structure due to the complex numerical algorithm. The ANSYS software was employed to analyze this composite structure. Shell63 element and solid65 element were adopted to model masonry structure respectively. It is found that two results have similar mode shapes; the natural frequencies are changed regularly with the thick of the wall, the frequency is high when the thickness of the wall is small, and it is low when the thickness is big; the stress and deformation of the structure is consistent with the theoretical results as well. The structure simulated with solid65 element has a higher vibration period and greater stress than that with shell63 element. But solid65 element is converged slowly by plastic analysis. By comparative analysis, it is found that shell63 element contributes better results and performs easily using the seismic response spectrum analysis.

**Key words:** frame and masonry composite structure; numerical analysis; modal analysis; seismic response spectrum analysis

本文编辑:龚晓宁