

文章编号:1671-6833(2007)04-0016-04

新型“人字”支撑复合结构空间静力性能分析

王新玲, 李娜, 余兴华

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 针对用于代替黏土砖住宅结构的新型“人”字支撑复合结构进行了空间建模分析及其空间结构静力性能分析. 通过建模分析, 提出了空间楼板单向传力的建模方法, 解决了有限元软件无法模拟单向板的问题. 然后计算了新型复合结构在六种静力荷载组合工况作用下的内力和位移, 结果表明, 空间复合结构在各种荷载组合工况下, 其梁的最大挠度小于规范值, 顶点最大水平位移及最大层间位移均小于框-剪结构的规范限值; 梁、柱、支撑仅需要构造配筋, 其受力主要考虑“恒载+满跨活载”及“恒载+0.9(风载+满跨活载)”组合工况. 因此空间复合结构具有良好的刚度和受力性能.

关键词: 新型结构体系; 静力性能; 有限元分析; 复合结构

中图分类号: TU 375 文献标识码: A

0 引言

多层住宅新型复合结构是指由钢筋混凝土柔性柱、柔性梁和钢筋混凝土支撑组成的人字支撑复合结构代替多层住宅中承重黏土砖墙的复合结构体系. 计算分析及试验研究表明^[1-4], 多层住宅新型复合结构体系具有以下特点: ①所加支撑首先参与承受竖向荷载, 使梁柱在竖向荷载作用下的内力大大减小^[1-2]; 在风荷载及地震作用下支撑又起主要的抗侧、抗震作用^[3-4]. ②围护墙体可采用新型的轻质墙体材料, 彻底取代黏土砖, 保护耕地, 符合可持续发展要求.

但是已进行的研究均是针对一榀平面复合结构进行的, 而实际中将新型复合结构用于一栋住宅设计时, 其结构布置通常应为: 承担楼层荷载的部分采用柔性柱、柔性梁和支撑形成的复合结构, 其它可采用柔性柱、梁所形成的柔性框架结构即可. 因此, 真正的受力状态是复合结构和柔性框架组合的空间结构体系. 笔者采用有限元分析软件对此空间结构的受力性能进行了计算分析, 为该新型结构体系用于实际工程提供理论依据^[5].

1 新型复合结构空间有限元建模分析

1.1 多层住宅结构平面布置分析

图1所示为某六层住宅一单元平面图, 采用

新型复合结构, 图2为结构平面布置图, 混凝土强度等级采用 C30, 梁、柱截面均为 250 mm × 250 mm, 支撑截面为 120 mm × 150 mm, 楼板厚度 80 mm. 图2中, 编号①~⑥为梁柱支撑的复合结构, 其支撑布置如图3所示, 其它位置均为仅有梁柱不加支撑.

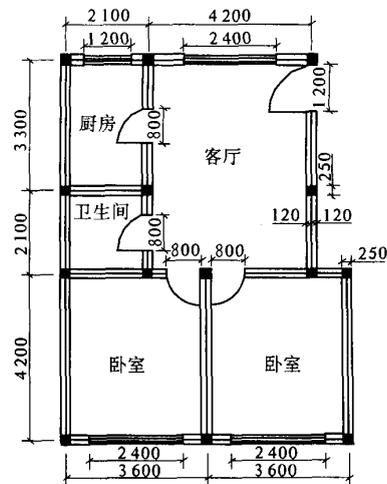


图1 某住宅单元平面图

Fig. 1 The housing unit plan

1.2 梁、柱、支撑建模方案

由于复合结构的空间作用, 梁、柱、支撑均

收稿日期: 2007-09-17; 修订日期: 2007-10-14

基金项目: 河南省自然科学基金项目(511050400); 河南省教育厅自然科学基金项目(200510459055).

作者简介: 王新玲(1963-), 女, 河南新乡人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事结构工程方向的研究及教学工作.

承受弯矩、剪力和轴力,初步采用 BEAM4 单元模拟复合结构的梁、柱、支撑^[6]。为了验证建模方案的合理性,先取一卧室进行空间结构受力分析,且暂时不考虑楼板,而是将荷载直接折算到梁上,同时取该卧室的一榀复合结构进行平面分析,然后比较计算结果。楼面荷载^[1]均取自中南标及《建筑结构荷载规范》,其空间结构和平面结构在竖向荷载作用下的弯矩如图 4,5 所示。表 1 列出了有限元计算的梁、柱、支撑的最大内力。由表 1 看出,梁跨中最大弯矩 $M_{中,max}$ 和梁支座最大弯矩

$M_{支,max}$ 均非常接近;柱子、支撑的最大剪力 V_{max} 和轴力 N_{max} 也相差微小。比较结果表明,两种方法计算的结构最大内力、位移非常接近,说明采用 BEAM4 单元模拟该新型复合结构进行空间分析是可行的。

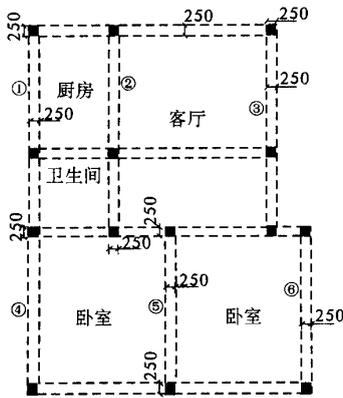


图2 某住宅单元复合结构平面布置图

Fig.2 The plane layout of compound structure

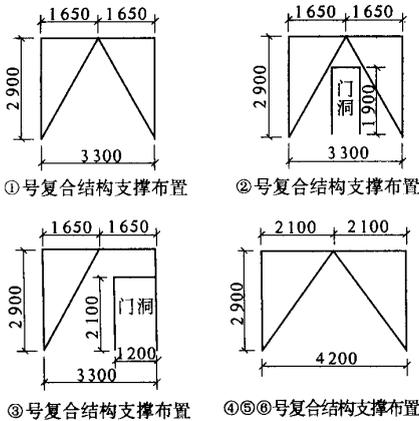


图3 支撑布置图

Fig.3 The layout of brace



图4 空间分析弯矩图

图5 平面分析弯矩图

Fig.4 The bending-moment diagram of spatial analysis Fig.5 The bending-moment diagram of plane analysis

1.3 楼板建模分析

笔者所讨论的新型复合结构体系主要是用来代替砖混结构的多层住宅的,因此,楼板通常采用预制预应力空心板,仅卫生间和厨房采用现浇板,即住宅单元中楼板大部分都是单向传力的。而在 ANSYS 软件建模中没有单向板的简化设计概念,这就需要建立模型时采取一定的辅助措施使模型能够实现单向传力^[6]。为了分析方便,这里仍取同一卧室为研究对象,其中梁、柱、支撑采用 BEAM4 单元模拟,楼板初步采用 ANSYS 中常用的具有弯曲和膜性能的 SHELL63 单元模拟^[7]。为了实现楼板单向传力,建模时使沿传力方向板的边缘与不承受该板荷载的梁之间留 50 mm 的缝隙。同时,为了更真实地模拟单向板传力,在建模分析时建立了多个面来模拟多块预制板。另外,为了减少建模工作量,用两个面来模拟房间的楼板。将两种建模方法计算的结果与按无楼板模型(1.1 部分)计算结果进行比较。由表 2 可以看出,三种情况下的各构件的最大内力也非常接近。由此说明用上述楼板建模方案模拟单向板是可行的。本文所研究的多层住宅单元的单向板可以用两个面来模拟。

表1 两种分析方法的计算结果对比

Tab.1 Comparison between spatial analysis and plane analysis results

分析方法	梁			柱			支撑			最大竖向位移/mm
	$M_{中,max}/$ (kN·m)	$M_{支,max}/$ (kN·m)	$V_{max}/$ kN	$M_{max}/$ (kN·m)	$N_{max}/$ kN	$V_{max}/$ kN	$M_{max}/$ (kN·m)	$V_{max}/$ kN	$N_{max}/$ kN	
平面分析	4.2	9.1	21.2	3.2	-239	7.1	0.2	2.3	-40.7	1.45
空间分析	4.4	9.8	21.9	3.5	-289	7.3	0.5	2.4	-50.2	1.86

表2 三种情况的计算结果对比

Tab.2 Comparison with three kinds of situations results

模型种类	梁			柱			支撑		
	$M_{中max}$	$M_{支max}$	V_{max}	M_{max}	N_{max}	V_{max}	M_{max}	V_{max}	N_{max}
	/(kN·m)	/(kN·m)	/kN	/(kN·m)	/kN	/kN	/(kN·m)	/kN	/kN
无板模型	4.21	7.46	19.8	4.04	-133.3	2.5	0.33	0.6	-26.4
多面板模型	3.5	6.7	17.5	4.3	-131.4	2.4	0.38	0.6	-25.7
两面板模型	3.2	6.7	17.5	4.5	-131.4	2.4	0.12	0.6	-33.8

2 复合结构空间整体静力性能分析

上述分析解决了复合结构构件建模问题,但当考虑复合结构空间整体协同工作时各构件是否能继续采用上述讨论的建模方法,首先需要解决^[8].然后,重点讨论了多层住宅新型复合结构在六种荷载工况下的静力性能,分析了复合结构整体空间性能的特点.

2.1 不同层数时复合结构在竖向荷载作用下的内力性能比较

以图1、图2住宅单元平面为例,梁、柱、支撑及楼板单元建模同1.2,1.3,对该住宅整个单元进行建模,分别计算了一层、三层和五层复合结构在竖向荷载作用下的变形和内力,其结果为①单层住宅单元与单个卧室计算结果比较:将单层住宅单元复合结构与1.3的单个卧室(同位置)计算结果比较列于表3中.比较结果表明,二者的内力相差均较小,说明采用的建模方案是合理的.②一、三、五层住宅单元的计算结果分析比较:采

用同样的建模方案,计算了三层、五层住宅空间复合结构在竖向荷载作用下的变形和内力,比较同一榀复合结构底层梁的内力,其节点编号及位置如图6所示,计算结果如表4所示.由表4的对比可以看出,同一位置处的弯矩相差很小,只有个别相差较大,这可能是由于住宅单元的空间协同作用引起的.总之,多层住宅新型复合结构的整体静力性能分析可以采用上述的计算方法.

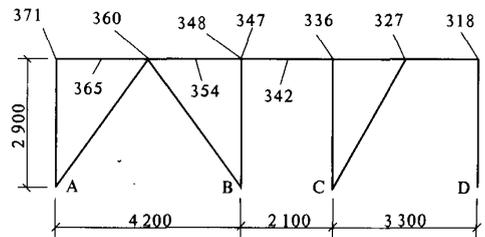


图6 东立面复合结构底层梁节点编号

Fig.6 The bottom beam node number of the east compound structure

表3 两种情况的计算结果对比

Tab.3 Comparison with two kinds of situations results

内力	弯矩/(kN·m)			剪力/kN			最大轴力/kN
	侧支座	跨中	另一侧支座	侧支座	跨中	另一侧支座	左柱
房间	-3.47	4.08	-5.99	16.6	0.3	-17.3	299.2
单元	-2.83	4.06	-5.15	15.3	0.3	-15.7	285.8

表4 各层住宅单元弯矩值比较表

Tab.4 Comparison of the bending-moment values with different housing storeys

节点	kN·m									
	371	365	360	354	348	347	342	336	327	318
单层单元	-2.83	4.06	-5.15	3.04	-5.10	-4.19	3.50	-8.48	-0.30	-4.40
三层单元	-3.50	3.50	-5.86	2.86	-5.15	-5.86	3.63	-6.68	-2.63	-4.80
五层单元	-2.39	3.50	-7.19	2.75	-4.11	-6.22	3.88	-5.51	-4.56	-3.90

2.2 多层住宅新型复合结构空间静力性能分析

(1)荷载工况:笔者主要分析多层住宅新型复合结构空间静力性能,因此,仅考虑恒载、楼屋方数据

面的活荷载及风荷载作用,其组合工况考虑6种: I代表恒载单工况,II代表恒载+活载1组合,III代表恒载+活载2组合,IV代表恒载+满跨活载

组合, V代表恒载+风载组合, VI代表恒载+0.9(风载+满跨活载)组合. 其中, 活载1、2组合分别为活荷载采用两种棋盘布置情况; 基本风压取 $W_0 = 0.45 \text{ kN/m}^2$.

(2) 各种工况作用下复合结构内力和变形计算: 表5、6分别列出了6种荷载工况作用下各构件的最大变形值及最大内力值.

表6 各种荷载组合作用下各构件的最大内力

Tab.6 The maximum internal force of members with different loads combinations

构件内力	梁			柱		支撑	
	$M_{\text{支max}}$	$M_{\text{中max}}$	V_{max}	M_{max}	N_{max}	M_{max}	N_{max}
	/(kN·m)	/(kN·m)	/kN	/(kN·m)	/kN	/(kN·m)	/kN
I	-7.38	5.36	16.10	8.47	-269.7	0.64	-26.5
II	-11.04	5.70	24.99	11.17	-362.2	1.28	-40.3
III	-10.98	7.33	26.10	14.18	-361.4	1.49	-39.6
IV	-14.60	7.02	33.80	16.60	-453.9	1.60	-53.4
V	-7.38	5.36	16.20	8.49	-264.1	0.64	-29.5
VI	-13.92	6.85	32.10	15.61	-430.5	1.36	-53.4

(3) 计算结果分析: ①从表5可以看出, 复合结构在第VI种组合工况作用下产生了层间最大水平位移. 根据《高层建筑混凝土结构技术规程》关于各种结构体系水平位移限值的规定, 本复合结构层间最大水平位移与层高之比为 $0.26/2900 = 1/11154$, 而且顶点最大侧移与结构总高之比为 $0.84/17400 = 1/20714$, 均远远小于框架结构的限值 $1/550$ 和框架-剪力墙的限值 $1/800$; ②复合结构的梁是在第IV种组合工况作用下产生了最大的挠度为 2.70 mm , 远远小于《混凝土结构设计规范》规定限值 $l_0/200 = 4200/200 = 21 \text{ mm}$; ③从表6可以看出, 活载的布置方法对复合结构各构件最大内力影响不大; 各构件在第IV种组合工况作用下产生了最大内力, 其次是在第VI种组合工况作用下. 每种工况作用下最大内力的位置几乎相同, 如梁支座最大弯矩均出现在复合结构底层两卧室之间的支撑上端; 梁跨中最大弯矩均出现在复合结构顶层大厅北面的梁上; 柱子最大弯矩均出现在复合结构顶层柱子的上端; 支撑的最大弯矩出现在复合结构顶层单支撑的上端. ④根据表6计算的各构件最大内力, 基于混凝土结构理论, 可计算出复合结构梁、柱、支撑的纵向钢筋面积. 梁支座和跨中截面的钢筋, $A_{s\text{支}} = 238.3 \text{ mm}^2$, $A_{s\text{中}} = 112 \text{ mm}^2$, 即满足构造配筋即可. 同理计算的柱及支撑钢筋亦均小于构造配筋.

综上所述, 在不考虑地震作用时, 多层住宅新

表5 各种荷载组合作用下最大位移及梁最大挠度

Tab.5 The maximum displacement and the beam biggest deflection with different loads combinations mm

组合工况	I	II	III	IV	V	VI
梁最大挠度	1.80	2.10	2.50	2.70	1.81	2.63
最大侧移	0.27	0.42	0.39	0.53	0.84	0.78
层间最大水平位移	0.08	0.13	0.12	0.16	0.26	0.23

型复合结构空间受力主要考虑“恒载+满跨活载”及“恒载+0.9(风载+满跨活载)”组合工况即可.

3 结论

通过对多层住宅新型复合结构的空间静力性能分析, 得出如下主要结论:

(1) 在 ANSYS 建模过程中, 提出了采用沿传力方向使板边缘与不承受该板荷载的梁之间留一定缝隙的方法模拟单向板传力, 由此解决了有限元分析中无法模拟单向板受力问题; 缝隙宽度一般取 50 mm , 且每个房间楼板采用两面板建模即可;

(2) 多层住宅新型复合结构的空间模型建立, 可以用 BEAM4 单元模拟梁、柱、支撑, SHELL63 单元模拟预制单向楼板;

(3) 多层住宅新型复合结构在不考虑地震作用时, 空间受力主要考虑“恒载+满跨活载”及“恒载+0.9(风载+满跨活载)”组合工况; 在各种荷载组合工况作用下, 其变形均满足框-剪结构的限值要求;

(4) 根据各构件的最大内力, 算得梁、柱和支撑控制截面的配筋率均很小, 按构造要求配筋即可, 表明本文分析的空间复合结构具有良好的刚度和受力性能.

(下转第33页)

GUO Jian - guo^{1,2}, JIAO Yu², HE Su - qin², JIANG Jian - ming¹

(1. College of Materials Engineering, Donghua University, Shanghai 200051, China; 2. School of Materials Engineering, Zhengzhou University, 450001, China)

Abstract: NMR and FTIR were used to characterize the structure of terminal groups of the copolyethers. The tests of physical - chemical properties of the alkyl - end - capped EO/PO copolyethers show that the structure of the copolyethers have effect on the physical - chemical properties. We found that thermal stability of the copolyethers further increased and viscosity decreased when the terminal hydroxyl groups were capped by alkyl groups. The surface activity and the stability of water - solubility of alkyl - capped polyethers were superior to hydroxyl - capped one.

Key words: copolyethers; end cap; NMR; IR; thermal stability; surface activity

(上接第19页)

参考文献:

- [1] 王新玲,李海明,杨广宁. 多层住宅新型复合结构体系的结构选型分析[J]. 工业建筑, 2005, 35(1): 37 - 39.
- [2] 王新玲,张海东. 多层住宅新型复合结构在竖向荷载作用下的试验分析[J]. 郑州大学学报:工学版, 2005, 26(4): 5 - 8.
- [3] 王新玲,赵更岐,杨广宁. 带“人字”支撑的新型复合结构体系动力特征研究[J]. 世界地震工程, 2004, 20(2): 69 - 72.
- [4] 王新玲,赵更岐,张海东. 多层住宅新型复合结构的抗震试验研究[J]. 土木工程学报, 2006, 39(8): 51 - 56.
- [5] 刘伟,赵冬. 密肋壁板轻框结构空间计算模型研究[J]. 西安建筑科技大学学报, 2006, 38(2): 14 - 18.
- [6] 郝文化. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005: 34 - 35.
- [7] BOB W. Tools for interpreting FEA results[J]. Machine Design, 2004, 76(19): 24 - 29.
- [8] 曹阳. 高层框架结构的三维仿真[D]. 太原:太原理工大学硕士学位论文, 2005: 15 - 18.

The Analysis of Spatial Static Performance for a New “ \wedge ” Brace Compound

WANG Xin - ling, LI Na, YU Xing - hua

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The spatial modeling and the spatial static overall performance of the new “ \wedge ” brace compound structure which would be used to substitute clay brick residential structure are mainly studied. Through modeling analysis, the modeling method that the spatial plate transferred load in one-way is put forward. The problem that the ANSYS software has not one-way plate is solved. Based on the calculation of the new compound structure under the six kinds of loads combinations, the result show that the biggest deflection of beam is smaller than the standard value under each kind of load and the vertex maximum horizontal displacement and the biggest story displacement are also smaller than that of the frame-shearing force wall structure. The beam, column and brace are requested to satisfy detail reinforcements. In addition, the static performance of the new compound structure is mainly considered under “the dead load and completely cross live load” and “the dead load and 0.9(wind load and completely cross live load)”. Therefore, the spatial compound structure has the good stiffness and force performance.

Key words: new structure system; static performance; finite element analysis; compound structure