

梁板组合结构的动力特性研究

龚国才 奚新凯 陈凯

江苏河海建设有限公司, 江苏 镇江 212000

[摘要] 论文中利用有限元分析程序 ANSYS 对梁板复合结构进行了模态分析, 并进一步分析结构在承受水平及竖向地震荷载作用下的动力特征。以此为基础, 继续考察当板厚和梁柱截面尺寸改变时对结构各阶模态对应频率的影响以及在水平、竖向地震荷载作用下结构主应力和总变形的变化情况, 继而得出板厚和梁柱截面尺寸与梁板复合结构抗震性能的关系。模态分析时, 提取了结构的前八阶模态, 讨论了当板厚等相关参数改变时对前八阶模态各自对应的固有频率的影响。分析地震荷载作用下的动力响应时, 可以得到结构最大位移节点沿各个轴方向的时程曲线图, 由此类时程图能够获知在不同时刻下结构位移最大节点沿各个方向的位移, 速度及加速度的大小以及变化规律, 同时可得到水平、竖向地震荷载作用下结构的动力响应。研究发现, 在一定范围内通过适当增加板厚和梁柱截面尺寸提高结构的抗震性能。

[关键词] 有限元; 模态分析; 地震荷载; 梁板结构

Study on Dynamic Characteristics of Beam Slab Composite Structure

GONG Guocai, XI Xinkai, CHEN Kai

Jiangsu Hehai Jianshe Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

Abstract: In this paper, the finite element analysis program ANSYS is used to analyze the modal of the beam slab composite structure and the dynamic characteristics of the structure under horizontal and vertical earthquake loads are further analyzed. On this basis, we continue to investigate the influence of plate thickness and beam column section size on the corresponding frequency of each mode of the structure, as well as the changes of the main stress and total deformation of the structure under the action of horizontal and vertical earthquake load waves and then obtain the relationship between the plate thickness and beam column section size and the earthquake performance of the beam slab composite structure. In modal analysis, the first eight modes of the structure are extracted, and the influence of the plate thickness and other related parameters on the corresponding natural frequencies of the first eight modes is discussed. When analyzing the dynamic response under earthquake load, the time history curves of the maximum displacement node along each axis can be obtained. From these time history curves, the displacement, velocity and acceleration of the maximum displacement node along each direction at different times can be obtained, and the dynamic response of the structure under horizontal and vertical earthquake load can be obtained. It is found that in a certain range, the earthquake performance of the structure can be improved by appropriately increasing the plate thickness and the beam column section size.

Keywords: finite element; modal analysis; earthquake load; beam slab structure

引言

梁板复合结构也是一种框架结构, 框架建筑具有许多长处: 具有较小的自重, 便于满足抗震的要求; 空间布置灵活, 可以根据需要灵活设计满足不同需求; 另外框架结构的梁、柱部件尺寸便于控制, 对装配整体式结构来说极为有利, 可以大幅缩短施工时间; 采用现浇法施工时, 结构可以达到较理想的强度刚度, 轻型钢构体系建筑通过良好的抗震处理也能实现理想的抗震作用, 而且梁柱截面形状易于控制, 可以满足大多数情况的要求。为了验证梁板复合结构的动力学性能, 本文基于 ANSYS 有限元分析软件, 对梁板复合结构进行了模态和抗震性能研究。

1 有限元模型的建立

本文建立的梁板复合结构有限元模型的尺寸为 24m*15m*36mm, 梁柱尺寸为 400mm*400mm, 板厚为 150mm。整体为梁板结构, 4*3 格局, 横向柱间距为 6m, 纵向柱间距为 5, 楼层高 6m, 为 6 层。平面结构布置图如图 1 所示。

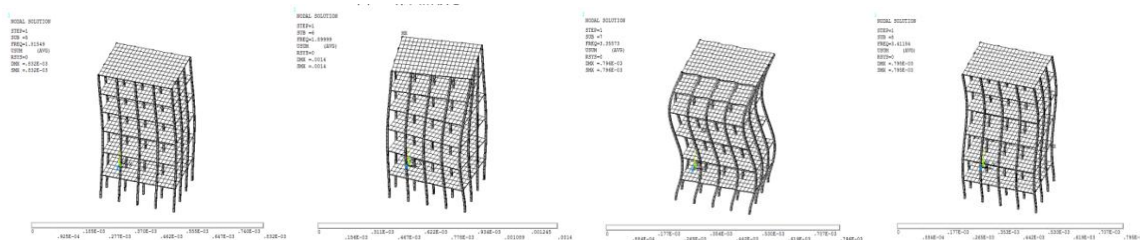


图 7 三阶模态

图 8 四阶模态

图 9 三阶模态

图 10 四阶模态

由上图看出结构一阶模态是 x 方向侧动；二阶模态为 z 方向侧动；三阶模态为绕 y 轴的顺时针转动；四阶模态为绕 z 轴的转动；五阶模态是 z 方向侧动；六阶模态为绕 y 轴的逆时针转动；七阶模态为 xoy 面内的摆动；八阶模态为 yoz 面内的摆动。

本论文分析了在不同条件下梁板组合结构的前八阶模态，分别考虑了楼板厚度为 9cm, 11cm, 13cm, 15cm, 17cm, 19cm, 21cm 和梁柱横截面边长（截面均为正方形）分别为 34cm, 37cm, 40cm, 43cm, 46cm, 49cm 时的模态频率变化情况。板厚变化时前八阶模态对应的固有频率如表 1 所示：

表 1 结构固有频率随板厚的变化 (Hz)

板厚 (cm)	模态的阶次							
	1	2	3	4	5	6	7	8
9	0.3848	0.4005	0.4490	1.4019	1.4425	1.5237	3.0767	3.1250
11	0.4438	0.4606	0.4974	1.5313	1.5764	1.6463	3.1490	3.2071
13	0.4984	0.5148	0.5465	1.6591	1.7037	1.7751	3.2506	3.3109
15	0.5469	0.5616	0.5938	1.7753	1.8155	1.9000	3.3557	3.4115
17	0.5883	0.6003	0.6376	1.8751	1.9082	2.0152	3.4496	3.4966
19	0.6222	0.6312	0.6768	1.9567	1.9814	2.1174	3.5253	3.5615
21	0.6491	0.6549	0.7107	2.0204	2.0364	2.2053	3.5809	3.6060

表 2 结构固有频率随梁柱尺寸的变化 (Hz)

横截面边长 (cm)	模态的阶次							
	1	2	3	4	5	6	7	8
34	0.5046	0.5155	0.5524	1.5888	1.6188	1.7334	2.8681	2.9102
37	0.5284	0.5415	0.5751	1.6884	1.7241	1.8220	3.1175	3.1674
40	0.5469	0.5616	0.5938	1.7753	1.8155	1.9000	3.3557	3.4115
43	0.5614	0.5773	0.6098	1.8533	1.8968	1.9711	3.5886	3.6483
46	0.5730	0.5898	0.6238	1.9256	1.9713	2.0384	3.8209	3.8826
49	0.5826	0.5999	0.6362	1.9945	2.0416	2.1041	4.0564	4.1186

由表 1 可以看出：前四阶频率随着板厚的增加，前三阶固有频率随之变大，变化幅度几乎一致且变化较小，其中一阶和二阶曲线几乎重合难以分辨，可见板厚的改变对前三阶频率值的影响较小。第四阶较前三阶频率值较高，且随着板厚的变化频值变化明显，当板厚增加四阶频率值增加明显，二者显现正相关关系。后四阶频率也都随着板厚的增加而提高，其中五、六阶频率值相近且变化趋势在板厚 17cm 前趋同，17cm 后六阶频率较五阶增长较快。七、八阶频率值接近且比五、六阶有较大提高且变化趋势在板厚 17cm 前几乎一致，板厚 17cm 后七、八阶频率值接近趋于相同值。

由表 2 可以看出：随着梁柱尺寸的增加，前三阶固有频率随之变大，变化幅度几乎一致且变化较小，其中一阶和二阶曲线几乎重合难以分辨，可见梁板尺寸的改变对前三阶频率值的影响较小。第四阶较前三阶频率值较高，且随着梁板尺寸的变化频值变化明显，当梁板尺寸增加四阶频率值增加明显，二者显现正相关关系。后四阶频率也都随着梁柱尺寸的增加而提高，其中五、六阶频率值相近且变化趋势趋同，且随着梁柱尺寸的增加五、六阶频率值愈加接近。七、八阶频率值接近且频率值比五、六阶有较大提高，变化趋势大致相同，随着梁柱尺寸的增加七、八阶频率值差距逐渐小幅增大，且频率增长率较五六阶有所提升。

3 动力特性研究

地震时波存在两种主要形式，横波和纵波，其中横波使结构发生水平晃动，是造成结构损坏的主要原因。在地震工程理论中，较为经典的观点认为结构的破坏主要由水平地震波的作用引起的。所以本文对模型施加的是埃尔森特罗地震波水平加速度，其波形（周期表示）。

本文中，以 0.1s 为周期对结构施加加速度，施加 5 秒共 50 组。施加水平地震波完成后，进行求解后即可得到水平地震波作用完成后梁板组合结构的位移及应力情况。

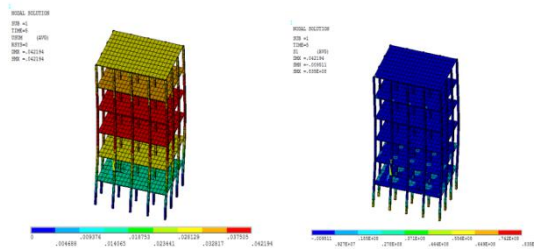


图 11 整体变形图

图 12 第一主应力图

由图 11 可知，在地震波作用下最大位移发生在结构中部三、四层处，说明当水平地震波作用时，梁板组合结构较易发生从中部开始破坏，整体变形位移最大值为 4.2194cm。

由图 12 可知所示，主应力在结构下部分较大，最大值发生在底部支撑柱脚处，最大值为 83.5MPa。在进行类似梁板组合结构的应用时，一定要留意此处的抗震校核并对底部柱部位做适当的加固。

柱子轴力图如图 13 所示，位于中间部位的柱子轴力大于位于两侧的柱子，角上的柱子轴力也较大，最大轴力发生在中部柱子一层板与地面接触部分，在梁板组合结构的应用时需特别注意底部柱子的抗震性能校核。

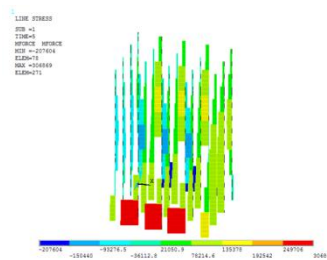


图 13 柱子轴力图

4 结论

本文研究模型为多层梁板复合结构，利用 ANSYS 软件对此类结构模型进行了模态分析以及在水平地震波作用下的动力分析，所得结论如下：

(1) 总的来说，随着板厚的增加，各阶固有频率随之变大，高阶频率比低阶频率受板厚改变影响更大。

(2) 水平地震波作用时，梁板组合结构较易发生从中下部开始破坏，结构最底部支撑柱处位移也很大，在防震中要特别注重这些地方的加固设计。

(3) 随着楼板厚度的增加，结构内部的应力呈现出下降趋势，可知增加楼板厚度可一定程度提高结构的抗震性能。

[参考文献]

- [1]王静. 钢筋混凝土框架结构震害分析及延性设计的重要性[J]. 福建建材, 2018, 32(1): 47-49.
- [2]石永久, 王萌, 王元清. 基于多尺度模型的钢框架抗震性能分析[J]. 工程力学, 2019, 28(12): 20-26.
- [3]张永杰, 陈璐, 韦冰峰. 梁板组合结构的中频振动试验与计算分析[J]. 工程力学, 2016, 35(13): 194-200.
- [4]朱合华, 缪圆冰, 梁伟. 组合结构有限元计算存在的问题和处理方法[J]. 岩土力学, 2015, 26(9): 1437-1442.

作者简介: 龚国才 (1966-) 男, 江苏省镇江市人, 汉族, 大专, 水利工程, 职务是项目经理。