

基于数值模拟的新型钢混组合结构受力性能研究^①

张 艺^{1②} 陈 庆¹ 唐 超²

(1.湖南城建职业技术学院, 湖南 湘潭 411101;

2.湖南联智科技股份有限公司, 湖南 长沙 410203)

摘要:为研究混凝土空心板对钢混组合结构在弹性阶段变形的影响,本文利用有限元软件ANSYS分别建立无混凝土空心板的纯钢结构模型和有混凝土空心板的钢混组合结构模型,对其进行数值模拟及对比分析,得出在弹性阶段无栓钉的钢混结构受力变形性能主要由混凝土空心板控制,混凝土空心板对钢梁进行约束,能防止钢梁发生失稳,提高钢梁的抗弯刚度。

关键词:数值模拟;组合结构;刚度

中图分类号:TU391 **文献标志码:**A



随着社会经济的飞速发展,人们对工作、生活等环境的需求日趋迫切,对建筑的要求越来越高,在这样的背景下,土木工程领域发展十分迅猛,同时促进材料、设备和建筑工艺技术的发展和提升,各种各样的结构类型不断产生,钢混组合结构就包含其中。钢结构质量轻、强度大、在大跨度结构中经济效果明显,但不耐火、易腐蚀、耐久性差、后期维护困难、成本高。钢筋混凝土结构刚度大、抗变形能力强和耐久性较好,但在大跨度结构中经济效果不明显、结构自重大、空间布置不灵活^[1]。为提高两者的共同工作性能,传统的钢混组合结构是借助连接件(比如栓钉)将混凝土与钢组合起来的结构,其施工工艺较为复杂,建筑成本相对较高。

由贵州大学马克俭院士提出的“新型钢空间网格结构”,俗称“盒式结构”,在大跨度结构中具有良好的发展前景,得到较为广泛的应用,但此结构在高层住宅中的应用受到限制。基于此,现提出新型钢混组合空心楼盖:采用间距为2 m的焊接H型钢梁,混凝土空心板搁置于钢梁下翼缘板上。这种新型楼盖

的特点为,钢梁之间的间距较小,梁截面尺寸较小,与空间网格结构的受力特征相似,受力性能良好,整体性能优越。既具有现浇混凝土空心楼盖竖向刚度大和承载力高的优点,又具有钢结构现场施工周期短、自重轻、生产安装工业化程度高、密闭性能好的优势^[2]。本文采用工程仿真软件 ANSYS对这种新型钢混组合楼盖进行模拟和分析。

1 研究内容

本次研究新型钢混组合结构在正常使用阶段的受力性能,利用有限元软件 ANSYS建立两个模型:(1)无混凝土空心板的纯钢结构模型(记作模型1);(2)有混凝土空心板的钢混组合结构模型(记作模型2)。同时,对模型进行数值模拟和分析。根据对比分析结果,总结新型钢混组合结构的受力性能特点。

2 创建模型

采用有限元软件 ANSYS分别建立模型1和模型2,其中钢梁选择软件中的板壳单元,混凝土空心板选择软件中的三维实体单元,钢梁与混凝土空心板之间的界面处理选择软件中的接触单元。根据刚度叠加法的

项目基金:湘潭市2022年指导性科技计划项目,项目编号:ZP-ZDJH2022035。

作者简介:张艺(1988—),男,土家族,湖南慈利人,硕士研究生,研究方向:高性能混凝土。

原则解决自由度不同的问题。

2.1 单元及参数选取

2.1.1 钢梁单元

采用有限元软件 ANSYS 软件中的 SHELL181 壳单元模拟钢梁。根据 Esmaily-Xiao 模型选择钢材的材料本构曲线、Von Mises 屈服准则和相关流动法则，以此考虑钢材的弹塑性问题。钢材的相关参数为，强度等级 Q235，弹性模量 $E=2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ， $f_y=298.7 \text{ N/mm}^2$ ，泊松比为 0.3。

2.1.2 钢筋混凝土单元

利用软件中的 SOLID65 三维实体单元，对钢筋混凝土进行模拟。选用 Hogenstad 混凝土本构模型作为混凝土材料本构模型。由于混凝土构件在工作过程中，部分时间处于带裂缝工作阶段，因此混凝土开裂模型采用弥散裂缝模型。在混凝土出现裂缝后，考虑到界面处混凝土骨料间相互作用的影响，只有部分剪力由混凝土传递给钢梁。基于此，软件中定义裂缝界面受剪时输入恒定的裂缝面剪力传递系数，这里取 0.2 作为裂缝面剪力传递数值。钢筋混凝土的相关参数为，强度等级为 C30，弹性模量 $E=3.04 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ，泊松比 $\mu=0.3$ ， $f_{ck}=23.07 \text{ N/mm}^2$ ， $f_{tk}=2.307 \text{ N/mm}^2$ 。

2.1.3 钢板与混凝土界面处理

利用软件中的接触单元 CONTAC173、目标单元 TARGE170 作为钢梁与混凝土界面的连接单元。取 0.1 作为混凝土与钢梁截面接触刚度的接触系数，混凝土空心板与钢梁之间采用库仑摩擦，取 0.2 作为库仑摩擦系数^[3]。

2.2 有限元模型

2.2.1 模型1

先建立无混凝土空心板的纯钢模型，对钢梁两端进行固定，并对其进行竖向加载。模型1尺寸为 $1000 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 。模型1如图1所示。

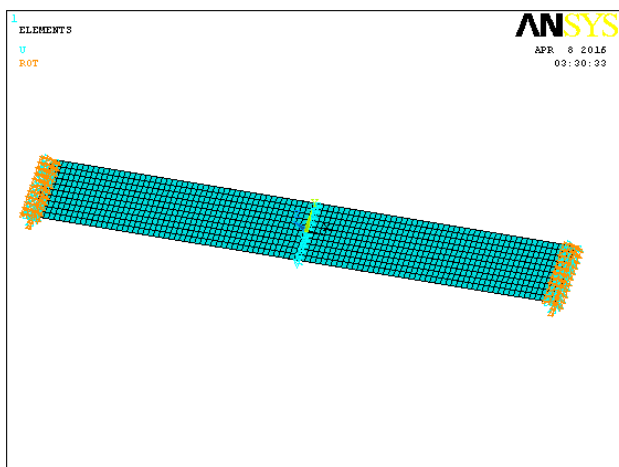


图1 模型1

2.2.2 模型2

混凝土空心板搁置于钢梁下翼缘板上，混凝土空心板的厚度为钢梁腹板的高度，对混凝土空心板与钢梁两端进行固定，进行竖向加载。钢梁尺寸与模型1尺寸相同，有混凝土空心板的尺寸为 $1000 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 。模型2如图2所示。

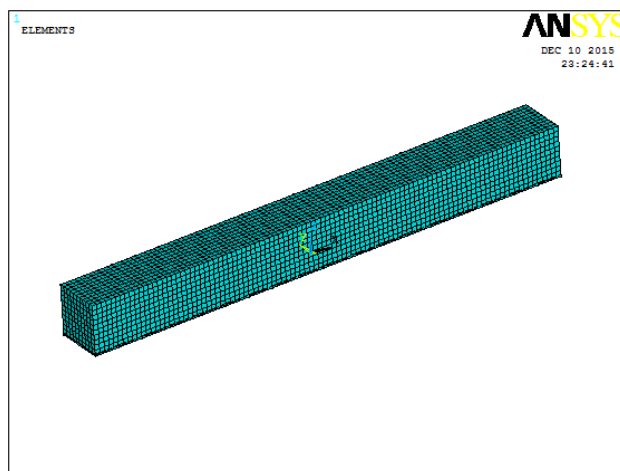


图2 模型2

2.3 边界条件及荷载

根据整体模型的实际情况，模型两端均为固定端。在模拟加载过程中，由于竖向荷载的作用，模型中与作用点相对应的单元出现应力集中的现象，为防止该现象发生，在模拟加载过程中，应对荷载进行等效处理，将集中荷载等效为线荷载，方向保持不变。因此，利用位移加载的方式进行控制。模型的边界约束条件及加载方式如图3所示。

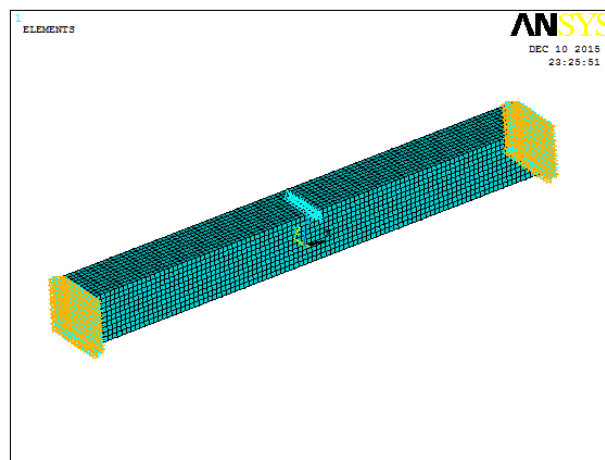


图3 模型约束及加载方式

3 对比分析

根据模拟结果，得到两个模型的点荷载、跨中位移曲线，如图4所示。

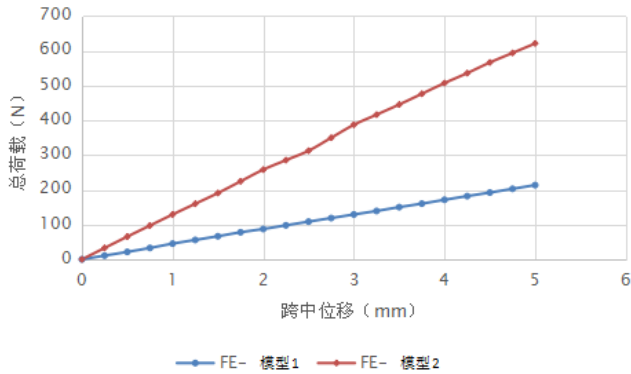


图4 点荷载-跨中位移曲线

对图4进行分析可知,在相同荷载条件下,模型2的跨中位移比模型1小,说明在正常使用阶段增加钢筋混凝土空心板后,明显提高钢梁的抗弯性能,有利于结构受荷,使其变形减小,从而提高其抗弯刚度。结果显示,在相同跨中位移情况下,模型1承受的荷载是模型2承受荷载的33.6%,这就表明,在正常使用阶段增加钢筋混凝土空心板后,可以显著提高结构的承载能力,同时,随着跨中位移逐渐增大,提高结构承载能力的效果越明显^[4]。

根据分析结果,模型1在整个模拟过程中,点荷载-跨中位移曲线基本呈直线分布,斜率基本保持不变。模型2的跨中挠度变形可以分为以下几个阶段:当荷载达到最大荷载40%之前,混凝土空心板与钢梁之间黏结良好且无相对滑移。当达到最大荷载40%时,曲线出现拐点,此时混凝土空心板开始出现裂缝,与钢梁之间黏结能力开始减弱,两者开始出现相对滑移。当荷载为最大荷载的40%~100%时,虽然混凝土空心板与钢梁之间出现相对滑移,但混凝土空心板仍然能提高钢梁的刚度。

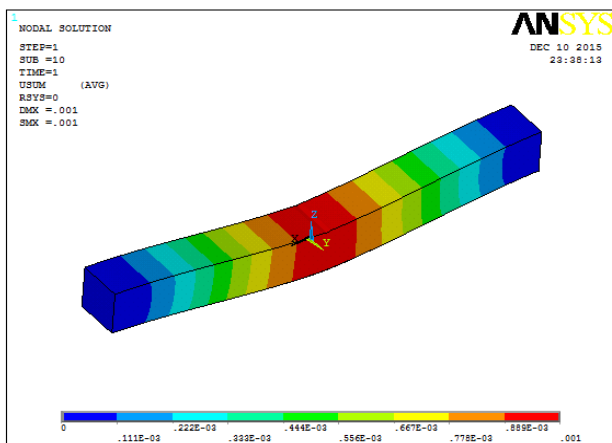


图5 模型2混凝土板位移云图

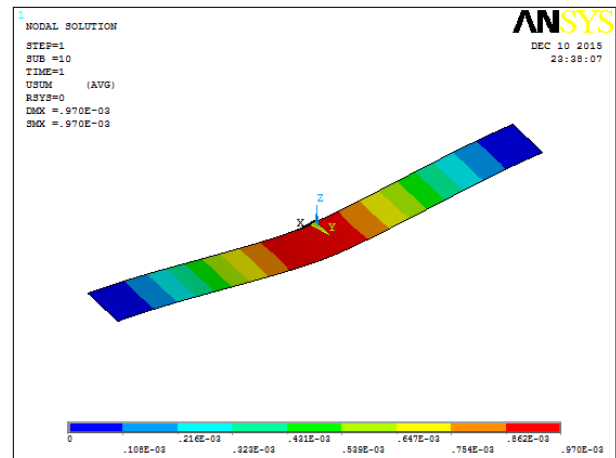


图6 模型2钢板位移云图

从图5、图6可以观察到,模型2的中心位置产生较大变形,在荷载作用点处的变形较大,离中心位置越远,变形越小,变形一直延伸到模型两端,靠近两端几乎没有变形。由此可以得出:在竖向集中荷载作用下,模型2参与抵抗变形的部分主要分布在跨中1/3区段内。

4 结束语

本文经建立新型钢混组合楼盖模型,对边界条件及荷载进行设定,模拟在竖向荷载作用下的变形过程,主要分析新型钢混组合结构在正常使用阶段的受力性能特点。荷载达到最大荷载40%之前,混凝土空心板与钢梁之间黏结良好无相对滑移。当达到最大荷载40%时,混凝土空心板与钢梁之间黏结开始失效,出现相对滑移。当荷载为最大荷载40%~100%时,虽然混凝土空心板与钢梁之间出现相对滑移,但混凝土空心板仍然能提高钢梁的刚度。结论表明:这种新型钢混组合结构受力变形性能主要由混凝土空心板控制,混凝土空心板具备足够承载能力和抵抗变形能力,与钢梁共同工作时,混凝土空心板可对钢梁进行约束,防止钢梁发生失稳,在相同荷载下可以减小钢梁变形,达到增加钢梁抗弯刚度的效果。

参考文献

- [1] 徐增茂.高层住宅建筑装配式新、旧钢-混组合结构体系对比分析[D].贵阳:贵州大学,2019.
- [2] 聂建国,陶慕轩,黄远,等.钢-混凝土组合结构体系研究新进展[J].建筑结构学报,2010,31(6):71-80.
- [3] 马克俭,张华刚,郑涛.新型建筑空间网格结构理论与实践[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [4] 尚洪坤,马克俭,魏艳辉,等.大跨度装配整体式H型钢空间钢网架楼盖结构设计[J].建筑结构,2018(7):9-13.