

钢结构模块化建筑结构体系研究

李睿洋

南宁市城乡规划设计研究院

摘要: 首先研究钢结构模块化建筑的内涵和结构体系, 然后使用有限元分析软件研究钢结构模块化建筑的设计, 分析刚接结构模型和铰接结构模型的计算结果差异, 模块化钢结构中的模块单元之间连接采用刚接和铰接都能满足应力和位移的设计要求, 实际施工中可以根据两种连接方式的特点进行相应设计。期待解决钢结构模块化建筑的应用问题, 推动建筑的工业化发展。

关键词: 钢结构; 模块化建筑; 建筑结构体系

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2020.12.073

引言: 钢结构模块化建筑能缩短施工时间, 提高施工质量, 更加节能环保, 是目前建筑行业的重要发展方向之一。因此做好钢结构模块化建筑结构体系研究, 对提升建筑施工水平和加快建筑工业化发展有巨大的帮助。

一、钢结构模块化建筑概述

模块化建筑将建筑物以单个房间模块或一定范围内的三维建筑空间模块进行划分, 在工厂中生产及安装各模块单元, 如楼板、天花板、墙体等, 然后将建筑的模块单元运送到施工现场, 进行堆叠和连接, 短时间内即可组装成一个完整的建筑^[1]。建筑的模块单元一般都有完备的内部结构, 并不需要在现场进一步加工, 因此模块化建筑具有较高的建筑施工效率。

二、钢结构模块化建筑结构

(一) 建筑模块单元

建筑模块单元中包括墙体承重模块、局部开孔模块、角柱支撑模块、楼梯模块和非承重模块。墙体承重模块一般使用冷弯薄壁型钢等构件, 包括外部墙体、内部墙体、竖向钢柱、水平钢梁和交叉支撑等。结构中除了外部墙体, 也包括承重隔墙, 将模块的内部空间划分为适当大小的房间^[2]。局部开孔模块是墙体承重模块的变种, 该模块纵向设置了门窗专用开孔。角柱支撑模块和热轧钢结构框架类似, 模块为方钢管角柱间布置的纵向边梁, 四根角柱能承受建筑的纵向荷载。楼梯模块通常结合常规的房间模块一起设计, 可以根据实际情况设置附属钢结构配件。非承重模块是建筑物有特殊使用功能的预制构件体, 一般用于厨房、卫生间等场所, 其自身的强度和刚度不高, 必须由其他受力结构一起支撑。

(二) 建筑结构体系

1. 全模块化的建筑结构体系

全模块化的建筑全由不同的模块单元安装组成, 包含房间模块、走廊模块等, 一般应用在多层建筑物中, 其最适当的层数为四至八层, 当需设计高层建筑时, 就需要增加相应的抗侧力构件, 保证建筑的稳定性要求。

2. 复合模块化的建筑结构体系

在复杂工程项目中, 需要结合两个或更多的结构形式来获得最合理的建筑结构方案。为了提升模块化建筑的结构性能和使用性能, 还可以将模块化建筑和其他结构体系复合使用, 比如商业综合体, 可在上部办公或住宅处使用预制建筑模块单元。目前使用复合模块化设计的建筑结构已经比较常见, 既有工厂大规模工业化生产的特点, 又有施工工地建造的灵活性。

三、钢结构模块化建筑结构设计分析

(一) 模型建立

钢结构模块化的结构模型使用某小区4层宿舍进行设计, 其中包括房间模块单元和宿舍走廊模块单元。房间模块单元的

尺寸定为 $8\text{m} \times 4.2\text{m} \times 3\text{m}$, 模块之间的水平柱净间距取值 20mm , 宿舍走廊模块单元的尺寸定为 $8.42\text{m} \times 2\text{m} \times 3\text{m}$, 其中走廊的长度和两个相邻的房间宽度相同。为了加大结构的侧向刚度, 所以在端部处走廊模块单元的外部设置交叉支撑^[3]。利用竖向模块在天花板梁和楼板梁之间设置的 20mm 间隙, 各模块单元的节点处使用连接件在各个模块单元柱的顶部进行连接, 其中刚接结构模型将上下层柱端部处外突的短柱做刚接连接, 铰接结构模型将各模块单元之间连接处做铰接连接。

(二) 荷载条件设定

根据某小区建筑的设计要求, 确定了4层宿舍结构的设计条件:

模块楼面恒荷载取值: 标准层处取 3.0kN/m^2 ;

模块屋面恒荷载取值: 屋面处取 4.5kN/m^2 ;

模块楼面及屋面活荷载取值: 标准层处和屋面处取 2.0kN/m^2 ;

模块楼板梁线荷载的恒荷载取值: 标准层处取 5.0kN/m ;

风荷载: 地面粗糙度取C类, 基本风压取 0.35kN/m^2 (50年重现期);

抗震设防烈度: 7度, 特征周期值: 0.35s , 抗震等级: 四级。

(三) 结构应力计算和分析

模块单元之间的连接分为刚接和铰接, 分别建立刚接结构模型和铰接结构模型。刚接模型和铰接模型在风荷载和多遇地震作用下, 弹性层间位移角如表1所示。

计算结果显示, 刚接模型和铰接模型的X方向和Y方向弹性层间位移角最大值都出现在第二层, 其最大值都小于相关设计规范限制 $1/250$, 满足设计要求。铰接模型的弹性层间位移角的计算值大于刚接模型, 因此刚接模型具有相对较大的侧向刚度。

经过计算发现, 两种模型的应力分布比较一致。刚接结构中, 各层竖向连接处短柱相对模块单元长柱的应力较大, 最大应力处出现在底层模块和二层模块中间的短柱处, 层间短柱处有明显的剪应力集中现象。铰接结构的最大应力处与刚接结构相同, 层间短柱处同样出现较大的剪应力集中现象, 并且因为短柱与下部的模块单元是铰接连接, 释放部分短柱下方弯矩, 因此铰接模型的短柱应力略大于刚接模型。

(四) 结论

在风荷载作用和多遇地震作用下, 刚接和铰接模型的应力和位移都符合规范要求。并且刚接和铰接模型在侧向刚度上存在一定差异, 但是刚接结构具有更大的侧向刚度; 模块的竖向连接层间处短柱需平衡上部梁柱端弯矩, 因此会产生较大的应力集中。

模块化钢结构中的模块单元之间连接采用刚接和铰接都能满足应力和位移的设计要求, 实际施工中可以根据两种连接方式的特点进行相应设计。钢结构模块化建筑相比传统的建筑结构在施工上更加灵活, 可以推动工业化建筑发展。

参考文献

- [1] 叶景荣, 于宏. 钢结构模块建筑连接节点研究进展[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26(03): 9-12+36.
- [2] 孙溪东, 张健飞, 张庆昱, 张平平. 钢结构模块化超低能耗建筑应用研究[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(22): 148-150.
- [3] 华凯, 王志骏. 高层模块化建筑结构体系研究与工程应用[J]. 低温建筑技术, 2017, 39(05): 31-33.

表1 风荷载作用下和多遇地震作用下刚接结构模型和铰接结构模型的弹性层间位移角

楼层数	风荷载作用下				多遇地震作用下			
	刚接结构模型		铰接结构模型		刚接结构模型		铰接结构模型	
	X向	Y向	X向	Y向	X向	Y向	X向	Y向
1层	1/3222	1/2910	1/2370	1/2216	1/944	1/617	1/863	1/525
2层	1/2853	1/2335	1/2083	1/1592	1/683	1/500	1/575	1/418
3层	1/4725	1/3474	1/4126	1/2631	1/1077	1/872	1/943	1/745
4层	1/5510	1/3619	1/5024	1/2954	1/1201	1/904	1/1020	1/832