

# 装配式模块化建筑与模块节点研究

常春阳

山东胜利建设监理股份有限公司 山东 东营 257000

**[摘要]**与传统建筑相比,模块化建筑具有施工速度快、质量好、施工过程安全、施工工期可预测、资源消耗低、促进环境可持续性等优点,受到广泛重视。在这一章中,我们系统地回顾了模块化建筑和模块集成节点的最新研究进展,对各种模块集成的节点,尤其是在钢结构建筑物模板之间以及与模板之间的节点形式,做了比较系统的研究总结。

**[关键词]**装配式模块模块化建筑模块节点

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.12.123

模块化装配式建筑作为一种新型的工业建筑,具有能耗低、污染小、施工方便等优点,可以解决传统建筑存在的问题,工业化施工模式可以保证模块的质量和精度,加快施工进度,节省时间和成本。同时在一定程度上解决了我国劳动力短缺的问题,促进了建筑业劳动力供求的平衡。

## 一、装配式模块化建筑的定义与特点

自20世纪八十年代以来,中国的房屋产业化已经逐步实施和推进起来:从房屋的产品设计、材料制造、建筑流程和建筑物结构等多方面着手推动房屋产业化的建设。在建筑产业化发展轨道上,模块化建设是对建筑产业化的整个生命周期高度体现的一个表现,其基础的应用是标准化的钢筋预制装配式建造系统,运到工地后加以建造与装配形成新型的建筑建造方式。

组装式模块工程建造方式和传统的建造形式比较有着明显的优势:首先,可以明显减少工期,将预先准备加工完成的建造模块直接运送到现场之后,再经过组装构成了最后的建筑物,因此可以明显增加工期,大大提升了施工速度;第二,预制的组装式模块工程建造低耗能,并可以有效地降低了建造期污染,而且,还可以明显降低了建造阶段的人员要求;同时,装配式模组住宅的高可移动性与循环使用特性,又使之更高效的增加了土地资源的使用率。第三,建造质量优异,性能优越,规范的内部装饰与室内的水电铺设,使得模组住宅具有不逊于传统现浇住宅的优越使用性能<sup>[1]</sup>。

## 二、装配式建筑发展三个阶段

装配式发展一般包括三个阶段:构件层面装配、模块化构件装配、模块化建筑装配。

### 1. 构件层面装配

结构层面安装工程是组装型施工的阶段,它可以将房屋

拆分为叠合板、叠合梁、事先准备立柱、预制式剪力墙和事先准备平台等结构。预制构件由企业制造,获得材料后运送至施工现场,经过少量湿操作将预制构件和砼现浇结构形成整体。

### 2. 模块化结构装配

模块化结构组合法是把多种结构预制为一种总体,然后搬至现场进行。模块化构造能够将梁、柱、墙体等各类结构整体制造,而不单纯是扩展版的单一预制构造。

### 3. 模块化建筑装配

模块化建筑房屋组装工程是将各种房间以及功能空间作为一种模块单元,在厂房内完成制造生产过程,并在厂房内进行部分的安装工作,随后再运送至现场并采用简单可靠的联接方式,装配成建筑房屋整体。模块化建筑物,是指装配化程度相当高的建筑物形式。

## 三、模块化建筑分类及结构形式

根据材料选择,模块化工程包括钢构件模板、预制混凝土模板和土木结构建筑模板。其中,钢构件模板的应用范围最为广泛。钢结构模块又分为型钢模块、轻钢构件模块和集装箱模块。根据荷载传导机理的不同,钢结构模块可分为自承载模块和框架自支撑模块。

自动模型房屋的高度一般控制在4~8层之间,荷重主要通过模型侧壁传递。用模块支撑可以提高建筑物的高度。支撑骨架的模块所受的荷重主要通过侧面柱子传递给棱柱,因此,棱柱的内压能力是建筑结构的重要参考资料。在两种体系中,模板构件不仅提供垂直荷重,还提供抵抗水平荷重的墙体支架和地下连续墙体的功能,6层以上的建筑物需要相对独立的支撑体系<sup>[2]</sup>。因此,在很多情况下,混凝土核心筒是侧面支撑系统的主体,框架的形式只能承担垂直荷重。



a) 自承重模块



b) 框架支承模块

图1 模块承重形式

这时, 组装模块会直接或间接地连接到核心的侧面压力上。

#### 四、模块化结构连接与节点性能

不论是传统意义上的集装箱建筑, 还是逐渐发展起来的新型的模块化建筑, 在其建筑设计和施工各环节中的一个关键性问题, 便是建筑模块之间连接的节点问题。

竖向承重骨架和模板、组件和模板、组件与各构件之间和模板与框架之间的联系对模块化建筑物承担负荷的水平至关重要。模块化建筑的连接节点大致包括三类: 模块内连接、模块之间连接以及模块与建筑的连接<sup>[3]</sup>。

##### 4.1 模块间连接

模板间连接, 包含同一模板间的高低连接以及堆叠模板间的垂直连接。模板中间节点联接方法对模块化工程中的结构特性, 主要是构件的抗侧强度和承载力特性影响较大。目前常见的模板中间连接节点, 大致分为枪机联接、混凝土接缝连接和联锁连接等三类。

(1) 螺栓联接。在施工完成后, 由于联接节点必须隐蔽于建筑物的填充墙后或上、下模块结构楼板内部, 因此需要首先完成模块单元的联接工作, 方可完成隔墙、楼层等建筑物功能结构的施工。几个经典的固定螺栓连接例子, 包括: CHEN等人发明的一个广泛应用于钢构中的柱-横梁固定螺栓联接方式, 采用浇铸形插入设备与其他模板实现水平联接, 采用梁-梁高抗拉力度螺钉与上、下模板实现直角联接。CHEN等指出一个参考转动刚度的旋转连接接头, 在上、下模板角柱之间设有矩形通道, 并采用连接器方式联系。孔既可作为模板吊装与搬运时的固定点, 又可用于旋转联接的建筑空隙。LAWSON等人提供了一个单螺栓联接方法, 在柱端部焊上节点板, 柱上设有施工洞, 并采用高强螺栓联接上、下模板。PARK等人推出了一个十字板固定螺钉连接节点, 在模组单元间置入十字形联结板, 利用高强度螺钉将邻近模组连接开来。DENG等给出一个榫形-十字板连接节点, 将柱插入联结于十字板上的榫眼中, 并利用螺钉将邻近模组连接开来<sup>[4]</sup>。

(2) 混凝土接缝连接方式。该连接方法适用于钢筋与水泥混合结构。比如预张拉组合连接, 每根柱的上端设有密封挡板、加劲肋和安装预应力钢绞线或塞杆的孔<sup>[3]</sup>。组装时, 将双绞线或剪杆插入下端预设孔中, 或者是把上模板的矩形钢杆插入模板下端的剪块中。将钢绞线拉伸至设计应力水平, 用连接件固定, 然后将钢筋倒入混凝土浇注孔中的模块柱中, 垂直连接到上下模块。另外还有空心散射截面作为主体的竖向构件, 填充灌浆材料和加筋, 并形成与连接点钢筋混凝土组合连接。

(3) 联锁接口。模板的联接还可采用联锁焊接方法实现。由于模板的过盈配合及变形结合在一起, 可在隔墙或砌体结构施工完毕时实现焊接, 可实现施工中的模块化施工, 但必须注意在精度方面的偏差。这些工程设计在提升装配质量和管理实施的公差管理水平等领域都成效显著, 并且还透过增加另外的联锁节点来增强了模块系统的总体完整性。

##### 4.2 模块内部连接

模型的结构通常是包括一个模型内各个部件的联系关系, 如板与柱的联系、柱与板的联系和各种建筑构件之间的联系等。

BATHON等人发明了一款适用于木-水泥混合模板构件中的HBV剪切式连接器, 用于联接木梁与水泥楼板, 也可用作地面、墙面和顶棚等结构。比如: 将次柱结构直接焊接在主桥上的钢模板构架、刚性梁柱节点螺钉联接、钢模板结构、刚性梁柱连接等, 可以满足各种模板要求。以一座二十四层的建筑为例, 并指出在高层构造中交叉层的压板楼板采用锚钉等螺纹紧固件和钢框架相连, 可以提高CLT板在同时承受横向地震力和风荷载情况下的有效隔膜功能, 其刚性和抗拉强度也类似于钢筋混凝土板。

##### 4.3 模块与基础的连接

模块化建筑物的地面, 可由现浇或预制砼底座、钻孔混凝土桩、螺旋钢桩等构成。PARK等在钢管砼结构内嵌联接技术研究的基石上, 又研发了这种内嵌式柱联接。柱子外周和地面沟槽部的焊接端子板联结在一块并和水泥相连。这些连接方法都充分利用了柱子的刚度, 从而提高了良好的可伸缩性以满足由极端横向荷载所引起的非弹性变形要求。而经过实验调查和数值模拟则表明, 将柱子深埋处理是影响节点承载力的关键。

#### 五、研究趋势与展望

(1) 规范性和标准化。现有的模块化建筑规范, 定义与理论缺乏详细体系, 亟待经过更细致的研讨形成适合于模块化建筑的总体设计原则和设计规范。

(2) 技术专业化和通用性。国内外针对装配式模块化建筑的构件与节点已进行了大量的深入研究, 并在实际使用中显示出优异的特性。由于其高效连接型式并没有普遍性, 既无法适应于各种的建筑材料和工程结构设计, 更无法在大规模建筑中实现安装。所以需要经过实验和科学研究, 设计出适应于各种建筑材料和工程结构型式的、易于在大型高层建筑结构中装配的专业性和通用化高效连接器。

(3) 产品系列化和快捷化。混合式模块结构在空间尺度的设定上更为灵活, 更便于搬运。所以, 人们必须对结构模块部件和单元运输与调配作出比较系统的协调与计划, 因此亟需开发尺度设定更灵活多样的结构模型, 以便于满足不同搬运方法和运送要求。

(4) 智能化和自动化。模块化建筑投入生产后, 基本的建筑模块不足以满足现场建筑情况的多变性。然而, 模块化单元的结构修改、拆卸和再利用仍处于空白状态, 限制了装配与模块化建筑技术在高层建筑中的应用。因此, 在后期模块化结构的结构修改和自动拆卸需要更智能化。

#### 参考文献

- [1] 王丽楠. 装配式组合模块化建筑结构体系设计及力学性能研究[D]. 张家口: 河北建筑工程学院, 2018.
- [2] 李志武, 王文静, 于春义, 等. 模块化钢结构建筑模块单元间连接节点应用研究[J]. 施工技术, 2020, 49(11): 6-11+17.
- [3] 王小盾, 曲可鑫, 陈志华, 等. 模块化建筑技术综述[C]//第十三届全国现代结构工程学术研讨会论文集. 北京: 工业建筑杂志社, 2013: 104-113.
- [4] 郝际平, 孙晓岭, 薛强, 等. 绿色装配式钢结构建筑体系研究与应用[J]. 工程力学, 2017, 34(1): 1-13.