

# 模块化与预制技术在工业建筑中的应用

宋其豪

海湾工程有限公司广东分公司 广东惠州 516000

**【摘要】**随着建筑行业的逐步工业化，模块化建筑和预制技术得到了积极的推广和采用。由于我国建筑业以混凝土为主，建筑工业化进程远远落后。此外，预制装配式建筑实例较少，工业化建筑的技术条件和基础储备相对不足。为了适应中国建筑工业化的需要，近年来，许多科研院所和企业加大了自主研发和创新活动，推出了新技术和新产品。政府也给予了相应的政策支持。本文重点探讨了现阶段模块化建筑和预制技术面临的挑战、发展趋势和改进措施。此外，还将深入评述模块化建筑和预制技术在工业建筑中的应用。

**【关键词】**模块化；预制技术；设计方法；样式及特点

## 1 模块化整体设计

### 1.1 基本内容

模块化建筑，又称预制建筑或预制构件，是指在生产设施中制造各种构件，然后将其集成到现场的最终建筑中。它是一种快速发展的建筑系统，可以广义地理解为以模块单元的形式生产单个部件，所有部件均在工厂预制，然后运至施工现场，通过可靠的连接组装成建筑物。在这种类型的建筑中，建筑物的一个或多个部件在工厂组装成预制模块，然后运到施工现场进行组装。每个预制模块都是一个房间，配有供暖、供水和照明系统。大多数建筑生产已从传统的现场作业转向非现场制造和生产，实现了建筑业与制造业的初步融合，为未来建筑技术的发展创造了新的变革机遇和创新空间<sup>[1]</sup>。一旦建筑物的某个组件或某个部分受到破坏，其余结构必须有足够的承载能力来承受荷载，而不会受到不成比例的破坏<sup>[2]</sup>。模块化建筑与传统建筑的不同之处在于，模块化单元本身很坚固，但模块之间的现有节点却很薄弱，节点之外的其他点也没有有效的约束。这些结构由被称为“模块”的重复部件组成，可以以不同的方式进行组装，类似于传统建筑地面上的复杂建筑。这些灵活的结构既可以与现有建筑无缝集成，也可以作为独立结构单独使用。

建筑采用多功能、高效的模块化建造方法。与传统的建筑技术相比，这种工艺大大节省了时间和成本<sup>[3]</sup>。有些预制模块可在短短十天内完成，而大多数模块则需要数周时间。根据结构的复杂程度，最终的现场安装可能需要几个小时到几天的时间。模块化建筑的工厂控制条件减少了劳

动力、材料浪费和现场干扰，同时使用与传统建筑相同的材料、建筑规范和建筑规格。无论是商用还是工业用，模块化办公楼都可以定制不同的内部和外部功能，既可以与现有建筑完美融合，也可以作为独立单元使用。预制建筑可提供临时、半临时或永久性选择，并可轻松定制或随着时间推移进行扩展。模块化建筑通常用于临时办公室、行政办公室、和会议室。建筑工地和生产设施还可包括现场门卫、洗手间和泵房等<sup>[4]</sup>。

## 2 设计难点及存在问题

在预制装配式建筑领域，中国尚未建立完整的预制装配式建筑体系。因此，中国缺乏预制建筑类型，行业内和行业间的集成技术专业化水平较低，整体生产效率有待提高。预制装配式建筑的标准体系尚未形成。尽管有预制装配式建筑的标准，但中国企业更倾向于定制设计，整个建筑行业对标准化的重视程度相对较低。这可能导致不同公司生产的产品之间存在差异。就模块化建筑构件而言，现有的生产工艺精度有限，有待改进。随着大规模自动化生产的引入，标准和测试工具也需要适应新的生产工艺<sup>[5]</sup>。建筑产品的运行和维护仍然基于传统和过时的管理方法，这些方法缺乏增值概念，如生命周期服务、维护和检查。建筑现代化的系统和方法仍有待开发。该项目的主要挑战是：如何最大限度地减少结构的几何形状和应力特性与传统建筑之间的差异，如何有效确保所获结果的准确性和可靠性，以及在很大程度上如何确保结构的完整性和稳定性<sup>[6]</sup>。目前，为复合材料建筑开发的所有结构系统都是双层承

重系统，其承载能力和实际应力状态在很大程度上是随机的，这进一步增加了等应力计算出现误差的可能性。从中国建筑业的发展现状分析，显然还远远不能满足新型工业化生产的要求。目前遇到的主要问题有：

### 2.1 PPVC 建筑成本较高

尽管预制装配式建筑技术先进，但在中国主要用于应急工程。主要原因是预制装配式建筑具有双层、双面、夹心、多层、弱接缝等特点，使建筑成本增加 50%以上<sup>[7]</sup>。

### 2.2 缺少高性能多高层钢模块建筑体系

多梁、多柱和弱节点等钢结构模块化建筑的特点导致钢结构模块化建筑的侧向刚度较弱。叠箱式模块结构只能建到三层楼高，高大的多层模块结构必须与抗侧力结构配合使用，这就增加了成本<sup>[8]</sup>。开发面板之间的新连接方式以改善模块化结构的框架功能，通过增加全部或部分组合的约束条件来改善模块化组件之间的协同作用，考虑墙板对侧向刚度的贡献，以及使用地震隔离和阻尼技术，这些都是改善模块化钢结构建筑结构性能、降低成本以及实现高性能、高性价比多层模块化钢结构建筑的重要领域。得益于在受控环境下进行的预制，模块可以在项目进行的同时在现场制作，大大缩短了施工时间。此外，这种施工方法还能保证最终产品的精度和质量<sup>[9]</sup>。

### 2.3 缺乏适应国情的全预制装配式混凝土模块化建筑体系

对于住宅楼来说，混凝土模块是首选。目前香港市场上销售的 MiC 系统基本上是三维现浇结构，在安装前采用三维现浇结构节省空间，同时也可作为浇筑混凝土的模具，但存在主体结构现场施工、湿作业量大、混凝土用量大、造价高等问题。有必要重点解决 PPVC 骨料混凝土技术的抗震性能和设计策略问题，制定一套适合国情的设计、施工、验收等综合技术和标准。

### 2.4 缺乏模块建筑智能建造成套技术

鉴于低层和高层装配式建筑、高层钢结构装配式建筑和混凝土装配式建筑的生产、安装 和质量检测尚处于起步阶段，急需开展以下研究：研究高层装配式建筑的集成系统和设计方法，同时考虑不同级别的抗震设防水平和抗风安全舒适水平<sup>[10]</sup>；研究结构、屋顶、装饰模块和设备管道的集成开发。模块化集成技术和高性能模块化组件的研究与开发；

研究与开发集成模块化建筑的组装技术和主要模块组的相互连接技术；研究与开发集成模块化建筑组装的精密设备和相关的智能控制系统<sup>[11]</sup>；研究与开发集成模块化建筑全过程的质量保证技术和技术应用示范。可持续性选择模块化结构时需要考虑的另一个方面。减少浪费、回收材料和提高能效使这些建筑成为现代建筑中对生态负责的选择。此外，由于劳动力成本较低，生产率较高，模块化建筑非常经济<sup>[12]</sup>。

## 3 模块单元设计

在为预制模块化结构设计模块元件时，必须考虑多个设计概念。这些概念包括但不限于：通用化、模型化、工业化和集成化。在现场，基本模块就是基本模块。因此，具有相似特征的模块应具有互换性和灵活性。要创建一个科学的结构系统，应采用不同的结构形式将模块组合起来。组合方式确定后，应确保建筑资源的合理分配、实用性和符合系统标准<sup>[13]</sup>。此外，模块单元的设计必须符合相关国家标准的具体要求。模块砌块建筑设计的问题在于，在结构总体设计的基础上，通过科学方法的应用，优化模块砌块的合理使用，有效满足要求，同时在节点等相关方面确定构件类型和具体型号。在此基础上，对模块结构进行设计，验证其力学性能是否真正满足实际要求<sup>[14]</sup>。

在本项目中，预制模块化结构设计为开放式，在现场拼装后，可以形成一个较大的建筑平台，有效保证了立体化、通用化、工业化、集成化的结构原则的实现，在主体结构、机电设备、装饰面共同设计的基础上，按照结构总体设计的共同要求和相互联系设计的共同要求，有效补充了空间平台的布局<sup>[15]</sup>。

## 4 预制模块化设计

预制钢结构建筑是从轻型钢结构房屋发展而来的，几乎所有类型的建筑都可以采用模块化方式建造。当时间紧迫或空间有限时，人们通常会选择模块化建筑。例如，在欧洲，城市地区往往道路和其他建筑拥挤不堪，因此传统的建筑方式（将材料和工人长时间运送到工地）可能会受到限制；而采用模块化建筑方式，只需要起重机和较少的施工人员，就能在更短的时间内完成项目，这也减少了拥挤的城市地区的噪音污染。在中国，预制钢结构建筑已成为研究和应用的参考点<sup>[16]</sup>在一些发达国家，国家标准和规范已经出台并成功应用于建筑业。

## 5 结语

在模块化建筑的工业应用中,分离垂直和水平承重系统的概念至关重要。这一概念认为,叠合箱式结构是主要的垂直承重系统,而垂直承重部件则与结构楼层数无关。这种方法有利于模块化产品的标准化,为建筑过程的工业化奠定了基础。框架柱、剪力墙或中心圆柱体等结构的侧向刚度也是一个重要方面。对侧向系统的深入分析表明,它是负责抵抗侧向力的主要系统。抗侧力系统的抗震要求取决于结构的设计。在建筑模块的四角提供模块之间的水平连接至关重要。连接节点旨在传递水平力,而垂直力则通过剪力节点传递。模块化建筑各组件之间的连接、相邻模块之间的连接以及模块化建筑与抗侧力系统之间的连接共同构成了模块化建筑的结构设计模块化单元组件之间的连接必须满足外壳在其生命周期的各个阶段(包括运输、组装和使用期间)所需的强度、刚度和荷载传递标准。模块化建筑的主要优点是缩短施工时间、降低成本和加快投资回报。模块化建筑中的工业装配和场地准备相结合,大大减少了建筑施工所需的总体时间。通常情况下,一旦场地准备就绪(例如,平整地基、铺设管道和浇筑混凝土),就可以安装工厂建造好的模块。在实践中,使用模块建造的酒店可以比传统建造的酒店提前30%~50%开门营业并开始创收。

鉴于保护环境势在必行,建筑物的节能性能已成为全球关注的焦点。选择具有良好隔热性能的墙体材料和安装屋顶光伏系统以利用太阳能,是降低建筑能耗的重要途径。模块化建筑的标准化生产可以将各种节能措施有效地结合到一个项目中。此外,工业生产的规模经济可以大大降低额外成本,从而鼓励绿色建筑的发展和安装。模块化装配式预制建筑的发展有可能延长建筑结构的使用寿命,促进建筑材料和部件的回收利用,推动建筑业的可持续发展。举例来说,模块化建筑的主要建筑材料——钢构件在拆卸后可以回收利用。回收后的构件可返回钢厂,用作钢材生产的原材料。模块化建筑通过工业化提供了巨大的发展潜力,可以通过规模经济和标准化生产来实现。这种方法可以对不同公司的产品进行比较和开发,从而提高质量和降低成本。由此可见,模块化产品的标准化对模块化建筑的发展至关重要。即使是目前装配技术最先进的钢结构,也缺乏可靠的标准化体系。标准化的缺失严重阻碍了模块化

建筑的发展,也是该行业未来发展的重要趋势。

### 参考文献:

- [1] 杨文武. 门式刚架轻型钢结构几种特殊情形的结构设计探讨[J]. 福建建设科技, 2013(2): 22-26+6.
- [2] 王美婷, 王福林. 传统集散式建筑自动化系统和基于物联网的无中心系统的对比分析[J]. 智能建筑, 2020(2): 47-53.
- [3] 魏玉垒, 何小超. LNG模块化化工厂小管线支吊架设计研究[J]. 石油和化工设备, 2016, 19(10): 15-18.
- [4] 杨天昆, 李智. 论暖通空调系统与自控设计之间的协调[J]. 百科论坛电子杂志, 2019(3): 62.
- [5] 危小灵, 马科. 钢箱梁-预应力砼悬臂梁组合结构施工技术[J]. 现代交通技术, 2015, (4).
- [6] 姜永昌. 南水北调跨渠预应力组合钢箱梁安装施工质量控制[J]. 交通世界(运输·车辆), 2015, (6).
- [7] 郭红斌, 马驰, 文正其. 预制舱式模块化变电站关键技术及展望[J]. 电气技术, 2023, 24(09): 1-10+19.
- [8] 王超. 大三角生态护坡预制块方形模块化吊运与铺砌施工创新技术[J]. 治淮, 2023(09): 77-78.
- [9] 左涛, 110kV非金属模块化预制舱式智能变电站关键技术与应用. 四川省, 乐山一拉得电网自动化有限公司, 2023-09-05.
- [10] 王琦. 建筑机电工程模块化预制件装配式施工技术探讨[J]. 石材, 2023(07): 41-43+47.
- [11] 左涛, 朱西平, 蒋强, 等. 全模块化预制舱式变电站技术经济指标分析[J]. 电气时代, 2023(06): 98-102.
- [12] 傅博琦. 斜拉桥钢拱塔模块化预制拼装施工技术[J]. 上海建设科技, 2023(02): 66-68+86.
- [13] 新型预制模块化数据中心建筑的结构设计技术. 上海市, 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 2022-08-11.
- [14] 崔冀龙. 预制模块化道路技术在绿色施工中的应用[J]. 交通世界, 2022(15): 4-6+25.
- [15] 张宁波, 张勤. 建筑机电工程模块化预制装配式施工技术的研究[J]. 绿色建筑, 2022, 14(03): 142-146.
- [16] 张宁波, 潘健, 王建勃. 建筑机电工程模块化预制装配式施工典型应用及其专项技术[J]. 建筑施工, 2022, 44(03): 584-587.