

# 装配式建筑结构选型方案对比分析

## ——以武汉某大学培养模式改革襄阳示范区项目为例

何襄宜<sup>1\*</sup>, 樊旋<sup>2</sup>, 石欢吉<sup>2</sup>, 王文超<sup>2</sup>, 张俊杰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>湖北江汉项目管理有限公司, 湖北 襄阳

<sup>2</sup>湖北襄投置业有限公司, 湖北 襄阳

收稿日期: 2024年9月9日; 录用日期: 2024年9月30日; 发布日期: 2024年10月12日

### 摘要

装配式建筑以其高效、环保的优势, 近年来受到了广泛关注和应用。本文以襄阳某项目工程为例, 对预制混凝土(Precast Concrete, PC)结构和钢结构两种装配式方案进行了详细的比较分析。研究通过结构经济性、装配率、现场施工及后期维护等方面的综合评估, 结合实际施工条件和功能需求, 确定了最优方案。研究表明, 预制混凝土结构在材料成本和施工便捷性方面具有显著优势, 而钢结构在施工周期和结构性能上表现优异。最终, 本文确定了预制混凝土结构为最优方案, 并总结了其在项目中的应用经验, 以期对未来类似工程提供参考。

### 关键词

装配式建筑, 预制混凝土结构, 钢结构, 结构选型

# Comparative Analysis of Structural Selection Options for Assembled Buildings

## —Taking the Project of Xiangyang Demonstration Zone for Cultivation Mode Reform of a University in Wuhan as an Example

Xiangyi He<sup>1\*</sup>, Xuan Fan<sup>2</sup>, Huanji Shi<sup>2</sup>, Wenchao Wang<sup>2</sup>, Junjie Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hubei Jiangnan Engineering Consulting Co., Ltd., Xiangyang Hubei

<sup>2</sup>Hubei Xiangtou Real Estate Co., Ltd., Xiangyang Hubei

Received: Sep. 9<sup>th</sup>, 2024; accepted: Sep. 30<sup>th</sup>, 2024; published: Oct. 12<sup>th</sup>, 2024

\*第一作者。

文章引用: 何襄宜, 樊旋, 石欢吉, 王文超, 张俊杰. 装配式建筑结构选型方案对比分析[J]. 土木工程, 2024, 13(10): 1836-1842. DOI: 10.12677/hjce.2024.1310199

## Abstract

In recent years, prefabricated construction has gained widespread attention and application due to its efficiency and environmental benefits. This paper presents a detailed comparative analysis of two prefabricated construction schemes—Precast Concrete (PC) structures and steel structures—using a project in Xiangyang as a case study. The study conducts a comprehensive evaluation based on structural economy, assembly rate, on-site construction, and post-maintenance, taking into account actual construction conditions and functional requirements to determine the optimal solution. The results indicate that Precast Concrete structures offer significant advantages in terms of material cost and construction convenience, while steel structures excel in construction duration and structural performance. Ultimately, this paper identifies Precast Concrete structures as the optimal solution and summarizes the experiences from their application in the project, aiming to provide references for similar future projects.

## Keywords

Prefabricated Construction, Precast Concrete Structure, Steel Structure, Structural Selection

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

装配式建筑，作为现代建筑技术的一项重要革新，正日益成为全球建筑行业的焦点[1][2]。其核心理念是将建筑的部分或全部构件在工厂预制，再运输到施工现场进行装配。此技术不仅提高了施工效率和建筑质量，还显著减少了资源浪费和环境污染。随着技术的不断进步，装配式建筑已从早期的简单拼装发展为集成化、智能化和模块化的先进建造方式[3][4]。

在装配式建筑日益普及的背景下，如何选择适合具体工程项目的装配式结构类型成为一个亟待解决的问题。王永锐等[5]通过对某高层办公楼的建筑方案、结构方案及构件设计进行了分析，研究了装配式建筑的选型问题。研究表明，采用预制混凝土结构可以缩短工期，降低造价，具有较好的经济效益。张银会等[6]通过层次分析法和熵权法，研究了装配式住宅结构的选型方法，验证了预应力装配式框架体系在重庆市九龙坡区某住宅中的可行性。吴增良等[7]研究了北京某商业综合体的装配式建筑选型，他们比较了钢框架和钢筋混凝土结构两种方案，最终选择A#商业裙楼采用钢框架结构，B#酒店塔楼采用钢筋混凝土装配整体式框架-剪力墙结构，满足政策要求并兼顾成本和工期。孙俊等[8]对南京某学校教学楼的装配式结构选型进行了分析，比较了装配整体式混凝土框架结构与装配式钢框架结构的性能和经济性。研究发现，钢框架结构重量轻、施工快捷，但造价高于混凝土框架结构。最终，因业主对钢结构接受度低，项目选择了装配整体式混凝土框架结构。李厂等[9]对某高层办公楼的装配式结构进行了选型分析，比较了装配整体式混凝土框架、装配式钢框架和全装配式钢-混凝土混合结构三种方案。研究表明，采用全装配式钢-混凝土混合结构方案能节省工期65天，成本比钢框架结构低约40%，具有施工高效、成本合理的优势，适合大面积推广。

本文以襄阳某项目工程为研究对象，通过对预制混凝土和钢结构两种装配式方案在经济性、装配率、施工便捷性及后期维护等方面的综合比较分析，旨在为工程结构选型提供科学依据和实践指导，解决工程实践中面临的实际问题。

## 2. 项目概况

本项目位于襄阳市东部，西侧邻近新区的主要南北交通轴线，南面靠近城市主干道，东面紧邻一条主要街道，北面隔着一条河道与新区中心的绿化公园相对，毗邻新兴科技产业园区。项目净用地面积为40万平方米，总建筑面积约30万平方米，总建筑鸟瞰图如图1。



Figure 1. Aerial view of the building

图1. 建筑整体鸟瞰图

由于科教融合中心的建设目标和功能规划各不相同，大多数建筑平面功能复杂，无标准平面层，可以标准化生产的建筑部品部件较少，且后期需根据实验设备基础及校方要求进行调整，因此不宜采用装配式预制构件。图书馆、食堂、公共教学楼和阶梯教室存在大跨度、大空间用房较多、各栋建筑荷载不一致、标准化程度较低等问题，其主体结构的柱、梁和楼板等部件不宜采用预制构件，否则在连接部位容易出现薄弱环节，造成安全隐患。而项目中的5栋教师专家楼、4栋学生宿舍和1栋综合管理服务中心的标准化建设程度较高，这10栋建筑采用装配式结构。

## 3. 装配式结构方案设计

中国装配式建筑发展迅速，主要结构形式包括钢结构、预制混凝土结构和木结构。钢结构因其强度高、施工周期短和环保等优点，广泛应用于大型公共建筑和工业建筑，2023年市场规模达到8026.4亿元。预制混凝土结构因施工便捷、成本较低，广泛用于住宅和公共建筑项目，2020年，全国拥有预制混凝土构件生产线超过2600条，设计产能超过2亿立方米。木结构因其环保特性和可持续发展优势，逐渐在低层住宅和生态建筑中受到关注。根据建筑功能要求、造型需要、材料和施工条件，以及尽可能降低造价的原则，我们作以下结构选型：

### 3.1. 预制混凝土结构方案

学生宿舍1~4#楼、教师专家楼1~5#楼结构形式为剪力墙结构，水平构件、竖向构件采用预制混凝土构件。剪力墙厚度为200mm；框架梁截面主要为200×400mm~200×500mm；楼板采用钢筋桁架叠合

板, 板厚 130~160 mm; 预制 60 mm, 现浇 70~100 mm。

综合服务中心结构形式为预制框架结构; 柱截面主要为  $500 \times 500 \text{ mm} \sim 600 \times 600 \text{ mm}$ ; 框架梁截面主要为  $200 \times 400 \text{ mm} \sim 300 \times 700 \text{ mm}$ ; 楼板采用钢筋桁架叠合板, 板厚 130~160 mm; 预制 60 mm, 现浇 70~100 mm。

### 3.2. 钢结构方案

本项目学生宿舍 1-4#楼、教师专家楼 1-5#楼结构形式为钢管束剪力墙结构, 剪力墙厚度为 200 mm, 钢框架为  $\text{HN}350 \times 200 \sim \text{HN}500 \times 200$ , 楼板采用可拆卸底膜钢筋桁架楼承板, 板厚 130~160 mm; 用钢量约为  $90 \text{ kg/m}^2$ 。

综合服务中心采用钢框架结构; 框架柱截面主要为  $700 \times 20 \text{ mm} \sim 450 \times 20 \text{ mm}$ ; 钢框架为  $\text{HN}350 \times 200 \sim \text{HN}500 \times 200$ , 楼板采用可拆卸底膜钢筋桁架楼承板, 板厚 130~160 mm。用钢量约为  $20 \text{ kg/m}^2$ 。

## 4. 方案比较分析

### 4.1. 结构经济性

经济性分析是装配式建筑选型中的关键环节, 它主要涉及材料成本、施工成本、维护成本和使用寿命等多个方面。两个方案的经济性指标见表 1。通过表 1 可以看出预制混凝土结构在材料成本方面表现出显著优势, 尽管其混凝土和钢筋的用量较大, 但总体造价较低。而钢结构虽然在混凝土和钢筋的用量上较少, 但钢材的高用量和成本显著增加了其总造价。此外, 预制混凝土结构在安装措施上需要更多支撑和固定措施, 导致安装成本高于钢结构。然而, 钢结构需要额外的防火涂料和装修措施, 这进一步增加了其总造价。预制混凝土结构因不需要防火涂料和较少的装修处理, 使其整体经济性优于钢结构, 总造价较其降低了 10.05%。

在选择装配式建筑结构时, 应综合考虑项目的具体需求和经济性因素。预制混凝土结构适用于施工周期较长且质量要求较高的项目, 其材料和维护成本较低, 具有较好的经济性。而钢结构适合现代化和高层建筑, 尽管其施工速度快、结构性能优异, 但高昂的材料和维护成本需谨慎评估。此外, 钢结构在防火性能上存在不足, 需要额外的防火处理。因此, 在进行结构选型时, 必须综合考虑建筑的防火等级、使用环境以及长期维护成本, 以确保项目的安全性和经济性。

Table 1. Comparison of economic indicators for structural schemes

表 1. 结构方案经济性指标对比

项目		预制混凝土结构	钢结构
混凝土/预制构件	用量/ $(\text{m}^3/\text{m}^2)$	0.44	0.2
	造价/ $(\text{元}/\text{m}^2)$	1301	92.4
钢筋	用量/ $(\text{m}^3/\text{m}^2)$	65	18
	造价/ $(\text{元}/\text{m}^2)$	336	93
钢材	用量/ $(\text{m}^3/\text{m}^2)$	/	153
	造价/ $(\text{元}/\text{m}^2)$	/	1453.5
安装	造价/ $(\text{元}/\text{m}^2)$	180	140
防火涂料	造价/ $(\text{元}/\text{m}^2)$	/	150
安装措施	造价/ $(\text{元}/\text{m}^2)$	637.5	590
装修措施	造价/ $(\text{元}/\text{m}^2)$	/	210
总造价	造价/ $(\text{元}/\text{m}^2)$	2454.5	2728.9

## 4.2. 装配率

根据《装配式建筑评价标准[附条文说明]》GB/T 51129-2017 可知装配率应该按照下式(1)进行计算:

$$P = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{100 - Q_4} \times 100\% \quad (1)$$

$Q_1$  为主体结构指标实际得分值;  $Q_2$  为围护墙和内隔墙指标实际得分值;  $Q_3$  为装修和设备管线指标实际得分值;  $Q_4$  为评价项目中缺少的评价项分值总和。

根据装配率计算公式可知, 主体结构构件的选取对装配率的影响最大。根据装配式建筑评分表求得不同方案的各构件评分见表 2, 两种方案均满足以下要求: 主体结构部分评价分值不低于 20 分; 围护墙和内隔墙部分的评价分值不低于 10 分; 采用全装修; 装配率不低于 50%。通过对比可知钢结构的整体预制化水平显著高于预制混凝土结构, 其总装配率相比于预制混凝土结构提高了 12.46%。特别是在主体结构的预制化方面, 钢结构表现突出, 这意味着钢结构能够提供更高的施工效率和更好的施工质量, 显著缩短施工周期, 减少现场施工的误差和环境影响。因此, 对于工期紧迫且质量要求高的项目, 钢结构是一种优选方案。相对而言, 预制混凝土结构虽然在装配率上稍显不足, 但在材料成本和施工便捷性方面具有优势。预制混凝土结构在竖向和水平构件的预制化程度较高, 并且其材料成本较低, 适用于预算较为有限且工期宽裕的项目。尽管其整体装配率低于钢结构, 但在特定项目条件下, 预制混凝土结构仍然是一个经济有效的选择。在设计时应确保主体结构、围护墙和内隔墙、装修和设备管线的预制化程度, 达到最佳的装配率和经济效益。

**Table 2.** Assembly rate indicators for different structural schemes

**表 2.** 不同结构方案装配率指标

装配率指标	结构方案	
	预制混凝土结构	钢结构
$Q_1$	竖向构件 20.24 分, 水平构件 13.8 分	竖向构件 30 分, 水平构件 18 分
$Q_2$	非承重围护墙非砌筑(精确砌块) 5 分	非承重围护墙非砌筑(外幕墙设计) 5 分
$Q_3$	全装修 6 分	全装修 6 分
$Q_4$	0 分	0 分
$P$	50.04%	62.5%

## 4.3. 现场施工

通过对不同结构方案的施工流程进行分析, 可以得出两种结构方案在诸多流程中存在差异, 这将对整个工程建设的工期产生较大影响。1) 工厂在制作 PC 构件时需要特制钢模; 柱(节)施工时, PC 结构梁需要现浇; 主梁安装时, PC 结构梁板浇筑需待柱底灌浆料达到相应强度, 这些因素对工程预算和工期有较大影响。2) 在现场进行地面构件预检测量和标记, 柱安装、校正、固定以及柱垂直度监测时, 两种施工难度各不相同。3) 焊接连接的施工质量难以统一保证, 灌浆作业质量的检测目前尚无十分有效的方法。

从施工的角度来看, 钢结构由于其高标准化的构件和简便的螺栓连接方式, 能够显著提高安装效率和缩短施工周期, 减少施工过程中的误差和对环境的影响, 因此更适用于需要快速建成和质量要求高的项目; 而预制混凝土结构虽然在现场安装精度控制和管理难度较大, 但其在大规模项目中能够展现出良好的成本效益, 适合预算较为有限且工期宽裕的项目。

#### 4.4. 后续施工及维护

在装配式建筑的后期施工和维护中，预制混凝土结构和钢结构各自具有不同的优势和挑战。两种方案的各项维护指标见表 3。

Table 3. Post-maintenance indicators for different structural schemes  
表 3. 不同结构方案后期维护指标

维护指标	预制混凝土结构	钢结构
维护成本(元/m <sup>2</sup> /年)	5~10	20~30
耐久性(年)	50~100	40~60
防火性能(耐火极限)	3 小时	1~2 小时
防腐蚀性能	高	中
维护频率(年)	10~15	5~10

预制混凝土因其优越的耐火性，无需额外的防火保护措施，耐火极限较高。在长期使用中，预制混凝土结构只需定期检查裂缝和表面损伤，维护需求较低，这显著降低了长期维护成本，并提高了建筑的安全性和使用寿命。相比之下，钢结构在高温环境中强度和刚度会迅速下降，必须依赖防火涂料或防火板材来增强其耐火性能。防火保护层需要定期检查和维修，长期使用中防火涂料可能会脱落或失效，需要重新处理，这不仅增加了维护复杂性和成本，还可能影响建筑的正常使用和运营。

预制混凝土结构表面平整，饰面层施工相对简单且耐久性好，通常只需进行基本的清洁和少量修补，维护需求较低，长期维护成本较少，能有效提升建筑的美观性和使用寿命。相较之下，钢结构在饰面层施工前需进行防腐处理，如喷涂防锈漆或镀锌处理，以防止锈蚀。在潮湿环境中，钢结构的饰面层可能剥落，需频繁检查和维修防腐层，并及时修补受损的饰面层。这不仅增加了维护复杂性和频率，还提高了长期运营成本，影响建筑的正常使用和外观。

预制混凝土结构由于其高耐久性和较低的维护需求，通常具有较低的长期运营成本，提供了良好的成本效益和可靠性。而钢结构虽然具有高强度和韧性，但易受环境影响而锈蚀，需要频繁进行防腐处理和维修，增加了长期运营成本和维修复杂性。钢结构的可靠性在很大程度上取决于维护质量。因此，在环境条件恶劣或维护资源有限的项目中，预制混凝土结构更为有利；而在能够确保良好维护的条件下，钢结构也能发挥其快速施工的优势。

### 5. 结论与建议

经过综合多方面因素的分析，该项目最终选择了预制混凝土结构。这一决定基于其在材料和长期维护成本方面的显著优势，以及其优异的防火性能和较高的耐久性。虽然钢结构在施工速度和结构性能方面表现出色，但其较高的防火和防腐蚀维护成本使其在本项目中综合表现不如预制混凝土结构。对于装配式建筑结构选型，本研究提出以下主要结论与建议：

#### 5.1. 成本控制与规模效益

预制混凝土结构材料成本较低，施工便捷，适合预算严格的项目；钢结构适用于工期紧迫、后期成本可控的项目。两者在大规模项目中可以通过标准化和批量生产降低成本，提升施工效率。

#### 5.2. 控制装配率

提高装配率应关注主体结构、围护墙和内隔墙的预制化水平，并综合评估其对施工效率、成本和质

量的影响，确定合理的装配率以实现经济效益与效率的平衡。

### 5.3. 优化施工流程

通过标准化设计、模块化建设、优化施工进度安排及应用信息化管理工具，减少施工难度和场地限制，提高施工效率和质量。

### 5.4. 后期维护和管理

预制混凝土结构在维护成本、耐久性和防火性能上优于钢结构，后者需要较高频率的防腐处理和维修。因此，预制混凝土结构在长期管理中更加经济且维护简便。

## 6. 结束语

经过综合考虑，本工程最终选择了预制混凝土 PC 构件装配式形式。在实际工程应用中，应根据项目的具体需求、环境条件和维护资源，综合考虑结构选型。预制混凝土结构和钢结构各有适用场景，通过合理选择和优化，可以确保工程项目在经济性、施工效率和长期可靠性方面达到最佳平衡。希望本研究的结果能够为未来类似工程项目的结构选型提供有价值的参考，推动装配式建筑技术的发展与应用。

## 参考文献

- [1] 赵娟, 焦丽明. 装配式建筑产业发展现状及对策[J]. 建筑科学, 2024, 40(6): 116-122.
- [2] 李丽红, 张睿芸, 刘阳. 装配式建筑产业链高质量发展水平研究[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(4): 133-138.
- [3] 姚文龙. BIM 技术在装配式建筑智能施工安装中的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024(5): 84-86.
- [4] 季鑫宇. 市政装配式结构 BIM 智能审查关键技术研究[J]. 土木工程信息技术, 2024, 16(1): 72-77.
- [5] 王永锐. 基于装配式结构方案的选型思路[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(12): 133-135.
- [6] 张银会, 王科, 彭荃, 等. 装配式住宅结构选型方法研究——以重庆市九龙坡区某住宅为例[J]. 建筑施工, 2020, 42(7): 1320-1325.
- [7] 吴增良, 欧阳照, 徐桀, 等. 北京某商业综合体装配式建筑结构方案选型[J]. 建筑结构, 2023, 53(S2): 955-959.
- [8] 孙俊, 韩俊秋. 学校教学楼装配式结构体系选型分析[J]. 江苏建筑, 2023(2): 48-51.
- [9] 李厂, 孙美茹, 元立刚, 等. 某高层办公楼装配式结构方案选型分析[J]. 建筑结构, 2022, 52(S1): 1663-1668.