

Exploration on the Integration of Integrated Design and Construction of Prefabricated Assembly from the Perspective of EPC Management

Cai Zhili¹, Zhang Jichao², Chen Zhaorong^{1,*}, Chen Wurong³, Ke Biaozi¹, Zeng Changluo¹

¹China Construction Fifth Engineering Bureau the Third Construction Co., Ltd., Changsha, China

²College of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou, China

³BGI Genomics Co., Ltd, Shenzhen, China

Email address:

245140142@qq.com (Chen Zhaorong)

*Corresponding author

To cite this article:

Cai Zhili, Zhang Jichao, Chen Zhaorong, Chen Wurong, Ke Biaozi, Zeng Changluo. Exploration on the Integration of Integrated Design and Construction of Prefabricated Assembly from the Perspective of EPC Management. *Science Discovery*. Vol. 10, No. 4, 2022, pp. 270-278. doi: 10.11648/j.sd.20221004.20

Received: July 29, 2022; Accepted: August 23, 2022; Published: August 29, 2022

Abstract: Prefabricated building is a new type of building structure, that is, the residential building is built by industrial production mode. It is a building built by prefabricating some or all components of the building in the factory, then transporting them to the construction site, and assembling the components through special machinery. From the perspective of EPC general contracting mode, this paper discusses the importance of multi line front integration to prefabricated buildings; The integration of design and construction of assembly integrated building is proposed; In combination with the actual engineering cases, the problems often encountered in the construction implementation process are integrated in the early design by considering the safety of the structure, the convenience of construction and the feasibility of bidding and procurement through the early design; This paper summarizes the countermeasures to the common problems in the construction of prefabricated buildings; Put forward the informatization 5D idea with high integration of BIM design and construction. Practice has proved that the integration of assembly integrated architectural design and construction can better control the high integration of project design, construction, information communication and product quality, accelerate the construction progress of the project, and ensure the physical quality of the project.

Keywords: Prefabricated Buildings, EPC General Contracting Mode Perspective, Design and Construction Integration, BIM-5D Technology

EPC管理视角下预制装配整体式设计施工一体化探索

蔡志立¹, 张季超², 陈兆荣^{1,*}, 陈戊荣³, 柯标志¹, 李鹏程¹

¹中建五局第三建设有限公司, 长沙, 中国

²广州大学土木工程学院, 广州, 中国

³深圳华大基因股份有限公司, 深圳, 中国

邮箱

245140142@qq.com (陈兆荣)

摘要: 预制装配式建筑是新型的建筑结构形式, 即用工业化的生产方式来建造住宅, 是将建筑的部分或全部构件在工厂预制完成, 然后运输到施工现场, 将构件通过特殊机械拼装施工而建成的建筑。本文在EPC总承包模式的视角下,

探讨了多线条前置融合对预制装配式建筑的重要性；提出了装配整体式建筑设计与施工一体化思路方案；结合工程实际案例，通过前期设计考虑从结构的安全性、施工的便利性以及招采的可行性入手，提前把在施工实施过程中常遇到的问题在前期设计时就进行融合处理；总结了装配式建筑施工常见难题的各项应对措施；提出了具有BIM设计与施工一体化高度融合的信息化5D思路。实践证明，装配整体式建筑设计与施工的一体化能够更好地把控项目设计、施工、信息沟通、产品质量高度融合，加快工程施工进度的同时，也令工程的实体质量得到足够的保证。

关键词：装配式建筑，EPC总承包模式视角，设计施工一体化，BIM-5D技术

1. EPC模式下设计与施工一体化概述

EPC模式属于典型的工程总承包模式[1, 2]，其中E代表设计（Engineering），包括工程总体策划、具体设计工作、实施组织管理策划；P代表采购（Procurement），包括各种建筑材料和设备采购；C代表施工（Construction），包括施工、安装、试车和运维培训。换言之，建设单位委托总承包商负责工程项目全过程的管理，涵盖了设计、采购和施工，把控整个项目的进度、质量、安全以及成本管理。EPC模式下，总承包商在设计、施工管理方面都有相当丰富的经验，可以避免出现传统工程项目管理中设计、采购、施工脱节的问题。对于装配式建筑项目，EPC模式有利于实现装配式建筑系统化、一体化融合管理[3, 4]，能够加快工程进度，更好地保证工程质量，为整个项目的建设和使用增值。

我国《建筑产业现代化发展纲要》明确提出：到2020年装配式建筑占新建建筑的比例20%以上，到2025年装

配式建筑占新建建筑的比例50%以上，发展规模居世界之首。预制装配式建筑是一种创新的建筑形式，具有施工过程简单、结构安全性高、绿色环保、成本低等优势，其中设计、施工是EPC项目的两个重要环节[5, 6]。将施工和设计协调管理，在预制装配式项目中，能够节省建筑项目的施工时间，降低了能源消耗，有效地控制了施工成本，确保工程项目各项工作的顺利进行，并保证工程质量，特别是考虑了复杂结构的受力分析、抗震抗风要求[7-11]。在设计时考虑了施工便利性和招采的可行性，在施工时多理解设计意图和信息同步给招采，在招采过程中掌握设计和施工的关键点。针对装配整体式建筑多专业全链条一体化设计的“全过程、大系统”特征，为节约社会资源和提升绿色可持续发展效益，创立建筑、结构、机电、绿色节能等全专业一体化设计方法必将是当下的重中之重。本文结合深圳一案例的设计和施工一体化进行了研究。模块化装配整体式建筑设计施工一体化思路见图1所示。

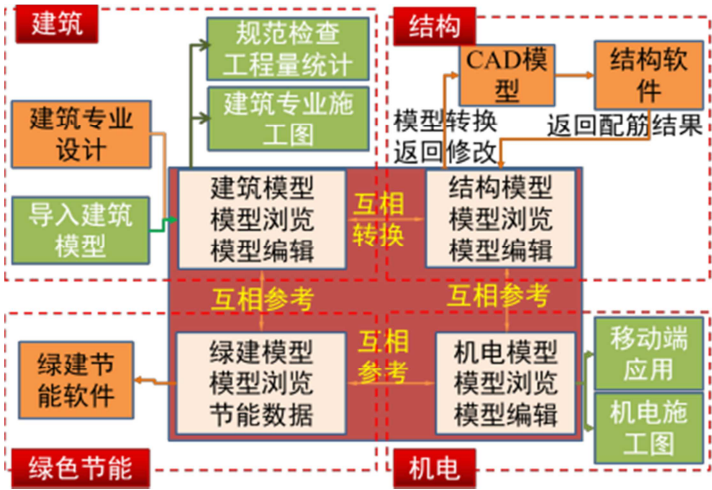


图1 装配整体式建筑设计施工一体化思路。

2. 工程案例项目概况

本项目位于深圳市龙华区，地上建筑高度为69.99m，共15层，项目占地面积12570m²，总建筑面积约64300m²，项目整体包含酒店部分和公共配套设施部分。结构体系为钢筋混凝土框架-剪力墙结构，连体部分采用钢框架结构。本工程地下分为地下一层和半地下层，地上15层。1F-4F为酒店附属裙房，5F-11F设置转换桁架及钢框架形成连接体。7F-15F为塔楼酒店，其中7F-11F、13F-15F为实施装

配式设计，在满足各项技术最低分值要求的前提下，技术总评分≥50分。12F层西侧为建筑屋面，亦为连体结构的顶层，同时为结构体型竖向收进层，楼板存在较大的拉应力，因此12F层钢结构部分为钢筋桁架楼承板用于抵抗水平拉应力。

3. 装配式建筑的设计概述

在设计阶段，总承包商负责编制设计管理工作计划，包括工程总体策划、具体设计工作、实施组织管理策划，

设计招标、施工图设计、审图、出图、会审等各项工作内容。

3.1. 方案设计

建筑立面形体因地而生，采用西侧递退、打开视廊、引入场景等处置策略。考虑了施工便利性将建筑有机融入场地、融入环境。建筑立面肌理引入了时装元素、数字元

素、折纸元素。采用了幕墙，即通透又富变化的材质诠释了建筑属性。塔楼律动的建筑形体与裙房时尚的表皮隐喻古琴的肌理，共同演奏了理性与浪漫交织的时尚旋律。开放的视线通廊，层层错落的屋顶露台，以时尚的语言以及融于自然的建筑姿态吸引了独特的目光，建筑立面图如图2所示。

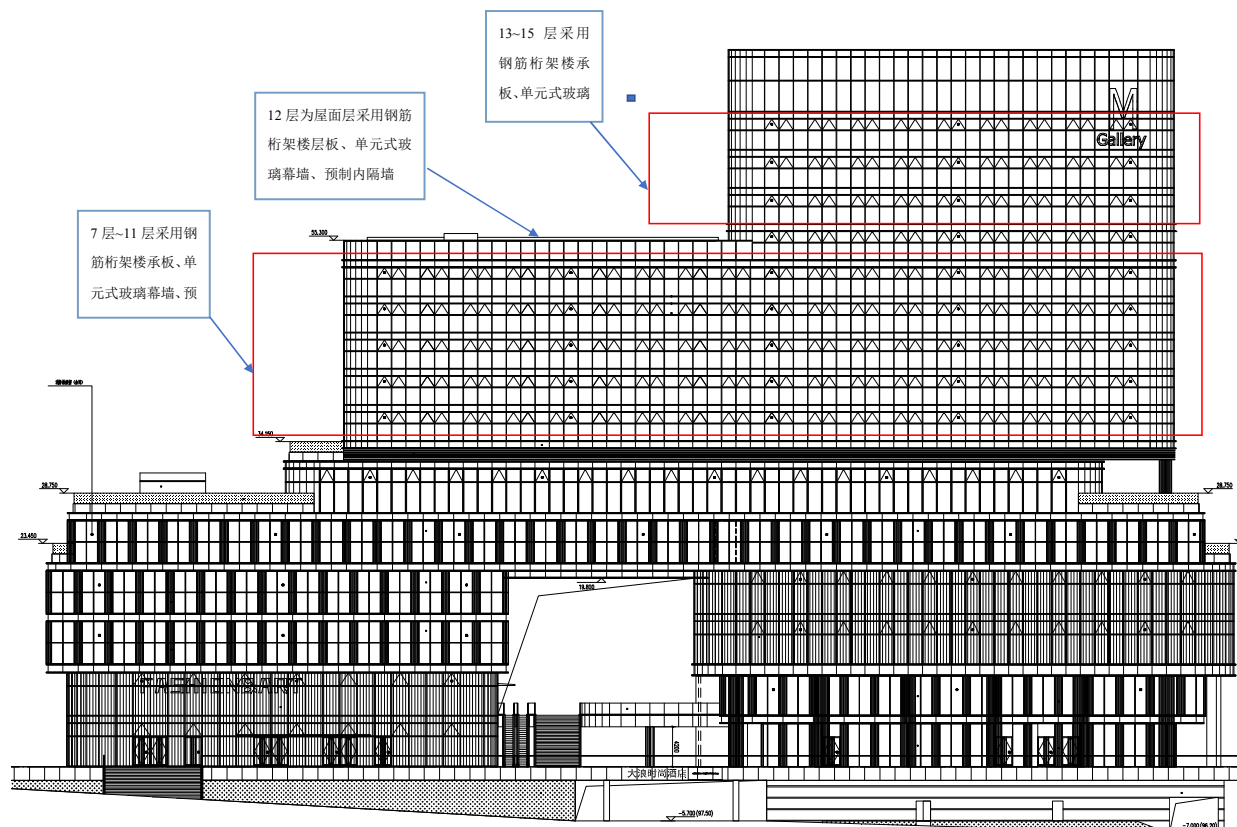


图2 建筑立面图。

3.2. 建筑设计

考虑装配式技术计算要求，本项目建筑设计的砌筑内隔墙采用条板墙；外墙采用单元式幕墙；非砌筑内隔墙采用条板墙；外墙采用单元式幕墙[12]，内隔墙非砌筑、免抹灰比例=79%，7F-11F条板墙布置图如图3所示，典型楼层（14F）条板墙布置图如图4所示。

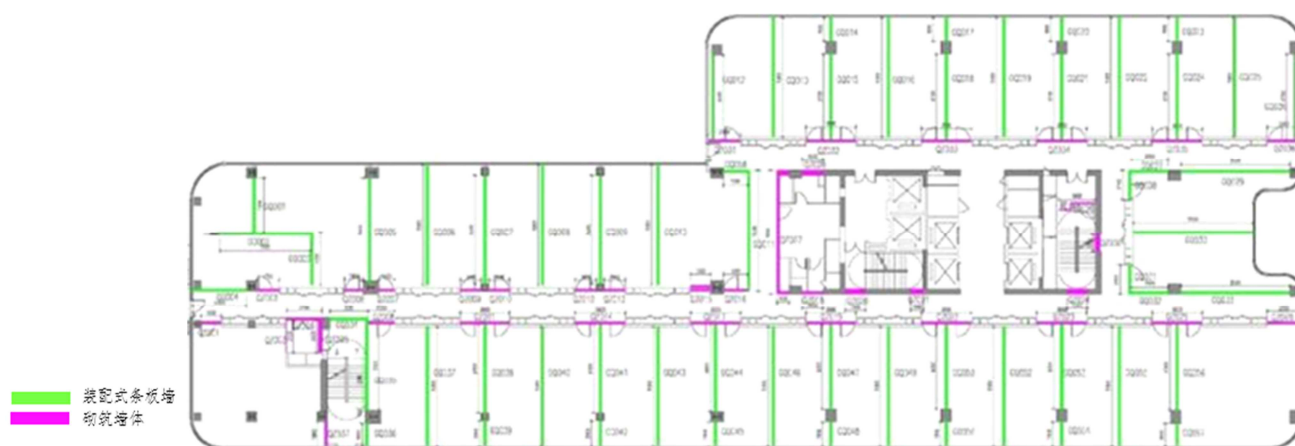


图3 7F-11F条板墙布置图。



图4 典型楼层（14F）条板墙布置图。

3.3. 结构设计

本项目为框架-剪力墙结构体系，抗震设防烈度为7度，设计地震分组为第一组，设计基本地震加速度值为0.1g，特征周期为0.35s。7F-11F、13F-15F采用了装配式设计，抗侧力构件剪力墙、柱、梁采用混凝土现浇，连体部分为钢框架。水平构件采用钢筋桁架楼承板，对主体结构的整体刚度和受力性能影响较小。

本工程结构建筑的安全等级为二级，建筑地基基础设计等级为甲级，结构使用年限为50年，基本风压为 $W_0=0.75\text{kN/m}^2$ ，地面粗糙度为B，本工程设防烈度为7度（设计基本地震加速度0.10g），设计地震分组为第一组，建筑场地类别为II类（特征周期 $T_g=0.35\text{s}$ ），常遇地震最大地震影响系数为0.08，建筑抗震设防类别为标准设防类。项目所采用的水平预制构件为钢筋桁架楼承板，标准化构件应用比例为100%；水平构件预制比例为72%，7F-11F钢筋桁架楼层板布置图如图5所示，13F-15F层钢筋桁架楼层板布置图如图6所示。

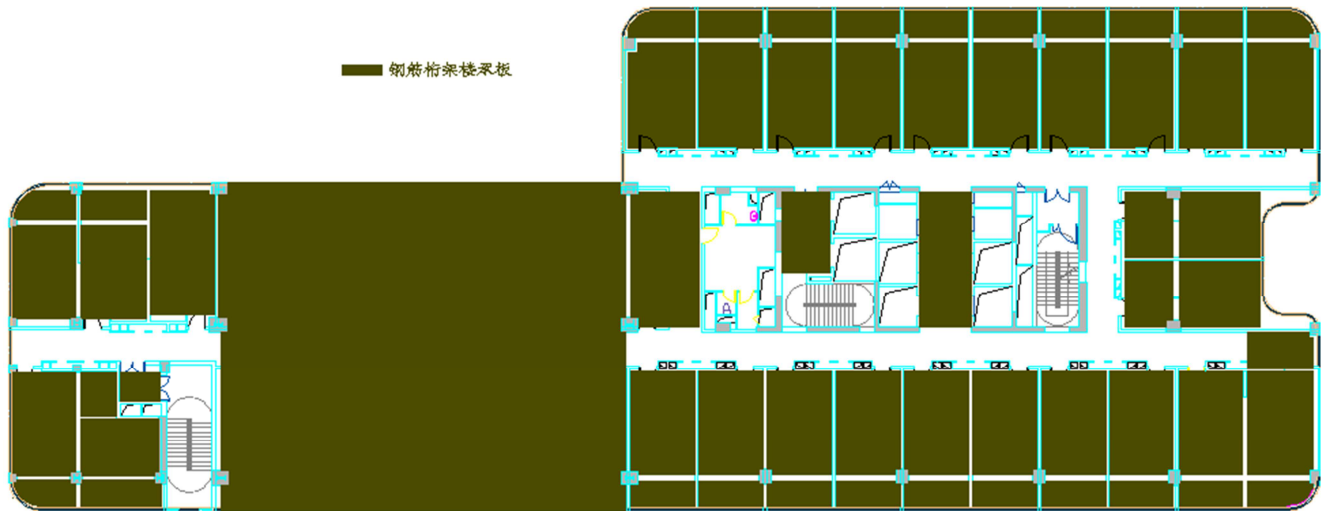


图5 7F-11F钢筋桁架楼层板布置图。

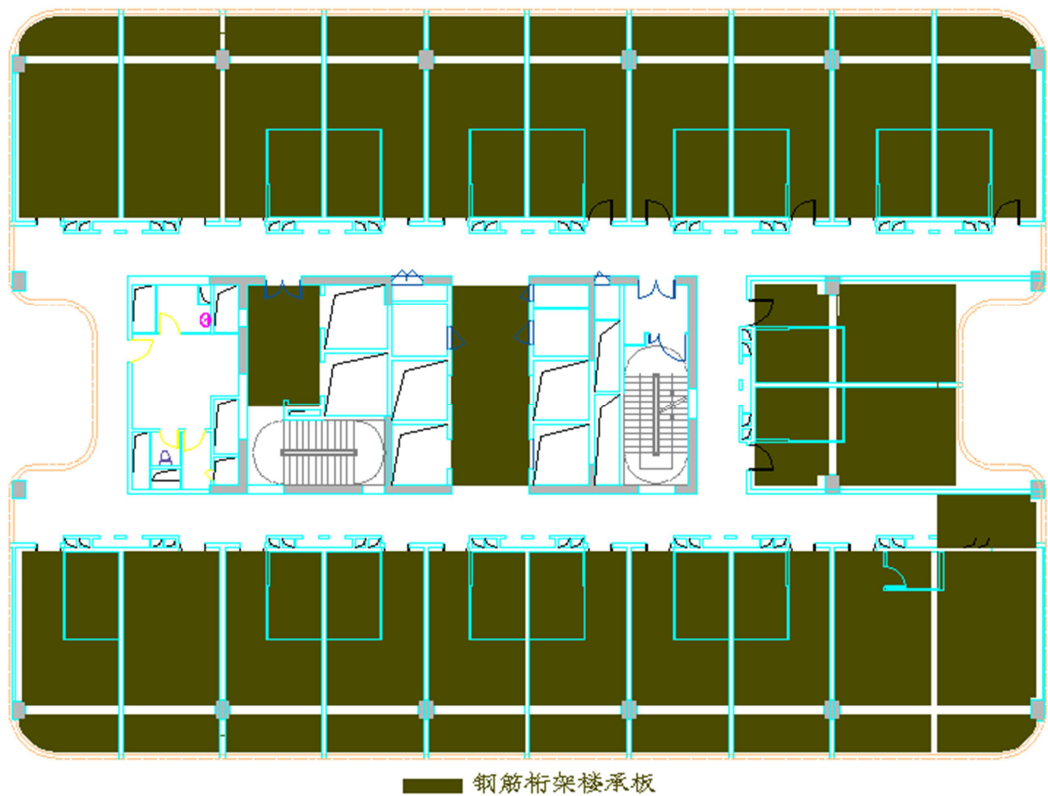


图6 13-15F钢筋桁架楼层板布置图。

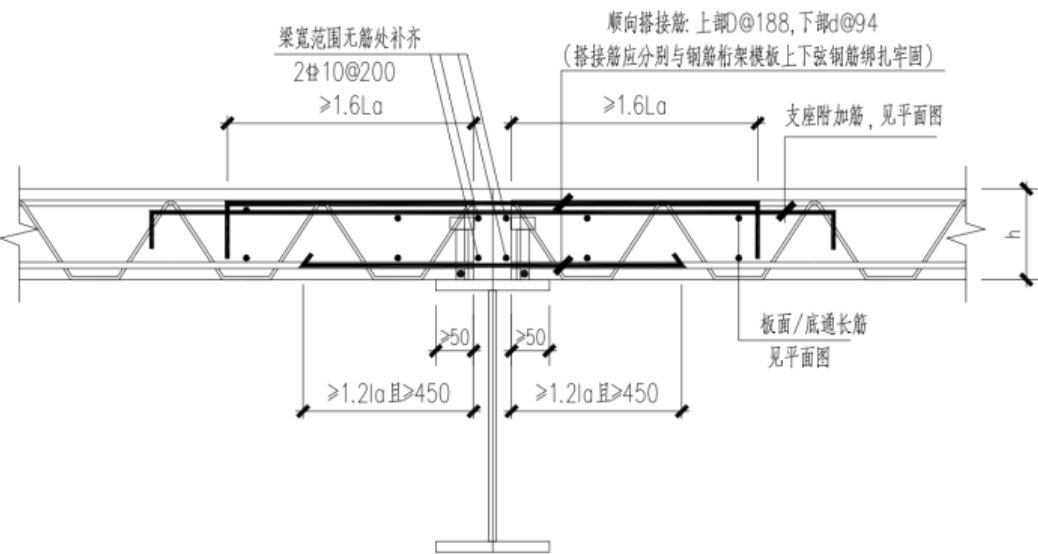
3.4. 关键节点设计及评分计算

本项目采用钢筋桁架楼承板，考虑了施工便利性将板厚度分别为130mm、150mm及180mm。屋面层采用现浇楼承板。钢筋桁架楼承板的安全等级为二级，设计使用年限为

50年，重要性系数取1.0，设计时考虑是否单跨、是否学校等因素[13]。钢梁垂直于桁架方向、钢梁垂平行桁架方向节点见图7-8所示。自评技术项实际得分及技术总评分见表2，最终计算为56分，大于50分，满足计算要求。

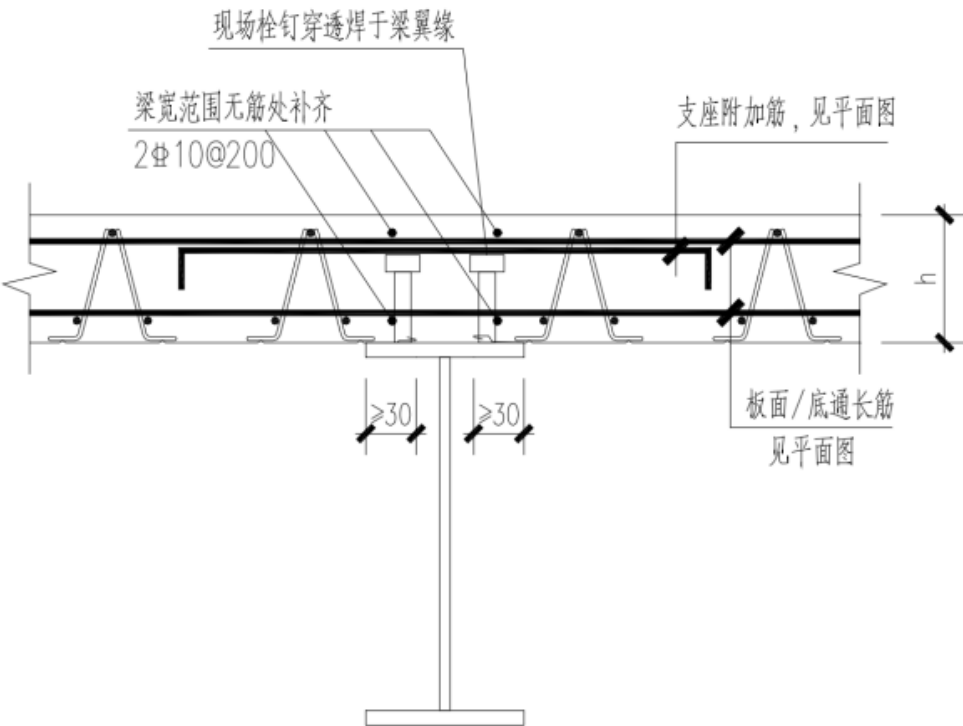
表1 自评技术项实际得分及技术总评分。

技术项		技术要求	自评说明	自评得分	最低分值
标准化设计（5分）	构件标准化	60%≤标准化构件应用比例≤80%	标准化构件应用比例为：100%	3	1
	竖向构件	①35%≤竖向构件比例≤80% ②5%≤竖向构件比例<35%，非预制构件部分应采用装配式模板工艺	外墙全部采用单元式幕墙，且非预制构件部分采用装配式模板工艺	5	20
主体结构工程（40分）	水平构件	①70%≤水平构件比例≤80% ②10%≤水平构件比例<70%，非预制构件部分应采用装配式模板工艺	水平构件比例为：71.8%	15	
	围护墙和内隔墙（20分）	外墙非砌筑、免抹灰	80%≤外墙非砌筑、免抹灰比≤100%	外墙非砌筑、免抹灰比例为：100%	8
外墙与装饰、保温隔热一体化		按满足项数评分	采用单元式幕墙，单元式幕墙面积比例为：100%	5	——
内隔墙非砌筑、免抹灰		70%≤内隔墙非砌筑、免抹灰比≤100%	内隔墙非砌筑、免抹灰比例为：78.67%，插值法计算得分：6	5	5
全装修		按满足要求评分	满足全装修要求	6	6
装修和机电（30分）	机电装修一体化、管线分离	按满足项数评分	建筑、结构、机电与装修一体化设计，实现各专业协调，满足预制构件生产、装配式施工的要求	2	——
信息化应用（5分）	BIM应用	按建设各阶段BIM应用情况评分	设计阶段按要求实施BIM应用	1	1
			施工阶段按要求实施BIM应用	1	
技术总评分=（各技术项实际得分总和）/（100-缺少项分值总和）×100+加分项得分				51	
缺少项（户型标准化2、集成厨房4及穿插流水施工3）分值总和：				9	
技术总评分：				56	



1 钢梁垂直于桁架方向
(若钢梁两侧的楼承板规格不一样, 则 D、d 分别取大值)

图7 钢梁垂直于桁架方向节点图。



3 钢梁平行于桁架方向
(支座处模板断开)

图8 钢梁平行于桁架方向节点图。

4. 装配式建筑的施工概述

4.1. 垂直运输设备

为保障整体建筑的施工进度，共安装3台塔吊，提高吊装效率。西侧主楼布置一台1#臂长45米的WA6513的塔吊，东侧主楼布置一台2#臂长75米的WA7527塔吊，北侧

布置一台3#臂长70米的WA7527塔吊。同时考虑覆盖范围与吊重要求，因本项目预制构件相对钢结构（梁、柱）的吊重要求较小，塔吊选型依据钢结构吊重需求进行分析。以最不利吊装的第五层为例，本层钢柱最重为5.3T，钢梁最重为5T，3台塔吊均满足堆场最远起吊点、安装点均在吊重范围内。吊装分析表如表3所示。

表2 吊装分析表。

吊装分析表									
编号	塔吊型号	臂长	最重构件重量	最重构件距离塔身中心吊距	最重构件处塔吊起吊能力	最远构件重量	最远构件距离塔身中心吊距	最远构件处塔吊起重能力	备注
1#	WA6513	45米	长度6.9（5.7+1.2）×米重0.22=吊重2.07t	35.7m	2倍率4.0t4倍率5.81t	长度6.9（5.7+1.2）×米重0.3=吊重2.07t	35.7m	2倍率4.0t4倍率5.81t	1#塔吊主要用于地下室阶段，主体结构阶段（6层以下）西侧钢结构的吊装
2#	WA7527	75米	长度5.4×米重1.0=吊重5.4t	36.9m	2倍率6.5t4倍率5.8t	长度5.4×米重0.49=吊重2.6t	62.2m	2倍率3.4t4倍率2.7t	2#应用于整个主体结构施工阶段。
3#	WA7527	70米	长度5.4×米重1.0=吊重5.4t	39.7m	2倍率6.6t4倍率5.9t	长度5.4×米重1.0=吊重5.4t	49.5	2倍率5.0t4倍率4.3t	3#塔吊主要用于地下室阶段，主体结构阶段（6层以下）北侧钢结构的吊装。

4.2. 装配式构件生产和运输

装配式构件类型包括：单元式幕墙、预制钢筋桁架楼承板和预制内隔墙板。本项目生产模具配置计划按每层7天的进度进行配置，每天每套模具可以完成预制构件生产、拆模工作形成周转，满足进度和质量控制要求；装配式构件深化、模具设计工作在标准层施工前3个月开始进行，装配式构件的生产工作在标准层施工前2个月开始进行，标准层施工之前，装配式构件厂完成至少二层的装配式构件生产工作，在生产过程中，驻场监理需全程负责监管并随时反馈生产情况。

运输要求：

- (1) 预制楼承板采用平放运输，使用方木和安全绳，应与车身连接牢固，楼承板与车身连接处使用缓冲材料，起到减震作用。
- (2) 构件与车身之间须有限位措施并使用安全绳绑扎牢固严防倾覆，同时边角与安全绳接触的部分需用柔性垫片做好保护，做好易损坏部位的边角保护。
- (3) 构件边角位置或角铁与构件之间接触部位应用橡胶材料或其它柔性材料衬垫等缓冲。

本项目预制构件拟采用广东中建新型建筑构件有限公司供应，构件厂离项目约60km。通过网络地图和实际运输道路实地查勘，运输路线(推荐)。

4.3. 装配式构件吊装、安装

构件的吊装原则：先水平构件(钢筋桁架楼承板)，后竖向构件（预制内隔墙），先远后近。预制构件从开始顺时针方向吊装，吊装完成一个户型并经过调试后，为钢筋绑扎及模板施工提供工作面，形成流水施工；

- (1) 钢筋桁架楼承板安装：

a) 放置板支撑系统，并调至相应标高；

b) 钢筋桁架楼承板起吊，放置在安装位置上；

- c) 解除吊具；
- d) 管线安装及梁、板钢筋绑扎；
- e) 浇筑混凝土。
- (2) 预制内墙条板安装：

a) 在楼面板上放出墙体的定位线；

b) 内墙条板板芯孔塞入PE棒，并在墙顶抹粘接剂；

c) 在与内隔墙条板拼接的墙体侧面抹粘接剂；

d) 立板安装、墙板底部用木楔找平、固定；

e) 平整度、垂直度质量检查；

f) 安装内隔墙条板顶部卡件，连续安装其他内隔墙条板；

g) 验收完毕之后采用砂浆嵌板底缝；

h) 砂浆达到强度要求后取出木楔、抹平；

i) 开线盒孔，水电管线安装；

j) 开孔与墙板接缝处粘贴防裂网带，并采用专用胶粘剂抹平。
- 4.4. 钢筋桁架楼承板施工方案
- 钢筋桁架楼承板施工的工法特点包括：
- (1) 加快施工进度：减少了现场基面处理、支架搭设及模板拆除三道工序，有效的缩短了施工周期。

(2) 提高质量精度：由工厂化生产加工成半成品，焊接质量好，钢筋间距、桁架高度等精确度高。

(3) 保障施工安全：能同时提供上下层工作面，有效地解决了垂直作业面交叉施工带来的安全风险。且安装时，必须将每块桁架模板两端的支座竖筋焊接固定在临时角钢上，可以更好地防止坍塌和高空坠落。
- 4.5. 装配式模板施工方案
- 本工程采用铝合金模板系统[14]，本项目7至15F主要功能为酒店。标准层楼面板为钢筋桁架楼承板形式，二次

构造墙体采用轻质隔墙。铝合金模板体系由墙模及加固体系、梁模体系、板模体系、楼梯模体系、支撑体系组成，施工流程如图9所示。

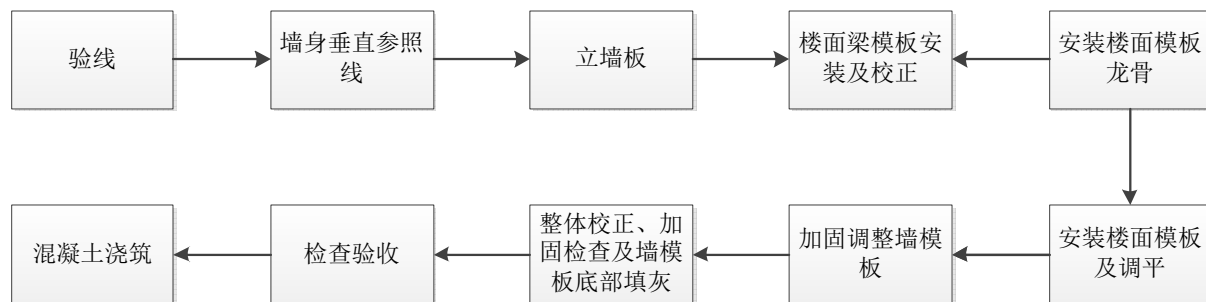


图9 模板施工流程。

4.6. 围护墙和内隔墙

(1) 预制内墙板类型的选择分析

预制内隔墙安装时间在N层预制外墙吊装完毕后，进行N-15层预制内隔墙施工。预制内隔墙拟采用ALC墙板，墙板符合GB/T23449-2009的规定，其中，分隔、卫生间隔墙采用90mm墙板；分户墙采用双拼90mm墙板。条板隔墙的长度短于楼层净高20-30mm。墙板安装时，下部采用木楔调整、顶紧就位的方法，即“下楔法”。安装顺序：无门洞条板安装顺序从标准板开始安装，最后安装补板；有门洞条板安装顺序从门板开始向两边安装。

(2) 质量保证措施及成品保护

- 制订质量目标，严格按照《预制内墙板施工方案》施工，与安装工人进行质量交底。
- 为了保证预制内墙板不开裂，建议预制内墙板安装上墙后，进行嵌缝和细部处理。
- 入场的预制内墙板和安装辅材经检验合格后，方可使用。
- 组织施工和定期检查，监督施工质量，及时纠正质量通病：墙板被撞松动、平整度垂直度超差、破损板修补、门洞偏差、轴线位移、房间大小头、二遍底收光、网格布遗漏、嵌缝平直等。

5. 基于5D模型的BIM设计与施工一体化探索

模块化装配整体式建筑设计施工一体化[15-18]思路可通过BIM信息化管理，在设计阶段按要求实施BIM应用。设计阶段应用BIM进行设计，包括各专业协同、管线综合、BIM模型制作、施工图和预制构件（钢构件）图信息表达、预制构件连接节点设计、钢筋碰撞、施工工序模拟等。针对项目全生命周期实现BIM设计施工一体化信息管理，结合原来3D（空间位置）的基础上增加了时间和成本维度，即5D（空间+时间+成本）模型，进行工程算量和计价，增加工程投资的透明度，有利于控制项目投资。

本项目在方案设计阶段中实现了应用BIM软件构建建筑模型，对平面、立面、剖面进行一致性检查，将修正后的模型进行剖切，生成平面、立面、剖面及节点大样图，形成初步设计阶段的建筑、结构模型和初步设计二维图。

在施工阶段中，利用建筑信息模型的专业之间的协同，有利于发现和定位不同专业之间或不同系统之间的冲突和错误，减少错漏碰缺，避免工程频繁变更等问题。基于4D（+时间）模型，开展了项目现场施工方案模拟、进度模拟和资源管理，有利于提高工程的施工效率，提高施工工序安排的合理性。在施工图设计阶段的BIM应用是各专业模型构建并进行优化设计的复杂过程。各专业信息模型包括建筑、结构、给排水、暖通、电气以及预制构件等专业。在此基础上，根据专业设计、施工等知识框架体系，进行冲突检测、三维管线综合、竖向净空优化等基本应用，完成对施工图设计的多次优化。针对某些会影响净高要求的重点部位，进行具体分析，优化机电系统空间走向排布和净空高度。

节点设计合理，结构安全及建筑性能满足国家相关规范要求，技术可行。项目考虑了标准化设计，有效提高了预制构件模具使用效率，合理控制了建筑增量成本。标准层采用工具式铝模板施工与预制构件完美结合，墙体取消抹灰；既解决了抹灰层空鼓质量问题又满足了产业化的绿色施工要求。建筑设计与装修设计相互配合、相互协调同步设计，在设计阶段做充分准备，考虑了机电管线、装饰装修、建筑产品和部件的安装等要求，为缩短后期装修的工期、提高建筑质量提供了条件。

6. 结语

预制装配式建筑是新型的建筑结构形式，旨在工厂制造好构件，运输到施工现场通过特殊机械拼装施工。一体化研究重点在于使设计与施工相互协调，提高项目组织管理的效率，工程建设过程得以顺利进行，并保证了工程的质量。本文通过研究，主要结论如下：

- 结合预制装配式进行了一体化探索探究，提出了建筑设计施工一体化思路方案。
- 在EPC总承包模式视角下，探讨了预制装配式建筑的多线条前置融合的重要性。
- 结合一案例，通过前期设计时考虑结构的安全性、施工的便利性及招采的可行性入手，提前把在施工实时过程中常遇到的问题在前期设计时进行融合处理。项目装配式的评分指标满足深圳市对于装配式建筑项目的相关要求，集合了建设方、

设计、装修、施工、生产、模具深化等各方优质力量,协同工作。

- (4) 提出了具有BIM的设计与施工一体化高度融合的信息化5D思路。能够更好地把控项目设计、施工、信息沟通、产品质量,加快工程进度,保证工程质量,具有系统性和整体性,有助于推动装配式建筑的发展。

参考文献

- [1] 柯妍. EPC项目建设全过程工程造价管理研究[D]. 长春工程学院, 2021。
- [2] 梁献超. EPC模式下装配式建筑工程质量管理体系与策略[J]. 建筑经济, 2020, 41(11): 73-78。
- [3] 刘姣姣. 大型工程项目一体化管理模式PMC选择研究[D]. 重庆大学, 2011。
- [4] 李颖. 工程建设一体化管理模式浅析[J]. 科技与企业, 2016(03): 64+66。
- [5] 陈兆荣, 蔡志立, 曾常洛, 白忠奎, 杜仕帅. 基于绿色建筑的隔震技术在预制装配式结构中的应用[A]. 上海来溪会务服务有限公司. 2021第五届土木工程国际会议论文集[C]. 上海来溪会务服务有限公司: 上海来溪会务服务有限公司, 2022: 72-77。
- [6] 陈兆荣, 蔡志立, 白忠奎, 赵祯. 高层建筑转换层梁-柱工作机理研究[A]. 上海来溪会务服务有限公司. 2021第五届土木工程国际会议论文集[C]. 上海来溪会务服务有限公司: 上海来溪会务服务有限公司, 2022: 45-51。
- [7] 郭水平, 陈兆荣. 无人船基地项目结构设计的若干问题[J]. 建筑结构, 2022, 52(S1): 286-292。
- [8] 陈兆荣, 蔡志立, 白忠奎. 高层建筑转换层满跨墙下梁柱受力性能研究及工程案例[J]. 建筑结构, 2021, 51(S2): 122-128。
- [9] 杨仁孟, 陈兆荣, 王森, 魏琰. 高层建筑结构在竖向荷载作用下楼板面内应力分析和工程实例[J]. 建筑结构, 2017, 47(01): 17-22。
- [10] 魏琰, 王森, 曾庆立, 陈兆荣. 一向少墙的高层钢筋混凝土结构的结构体系研究[J]. 建筑结构, 2017, 47(01): 23-27。
- [11] 魏琰, 王森, 陈兆荣, 曾庆立, 杨仁孟. 高层建筑结构在水平荷载作用下楼板应力分析与设计[J]. 建筑结构, 2017, 47(01): 10-16。
- [12] 赵挺生, 胡俊杰, 师玉栋, 姜雯茜. 塔吊安装与拆卸作业安全性分析[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(10): 32-38。
- [13] 陈兆荣, 罗盛宗, 潘东辉. 底层大空间-单跨框架学校建筑的抗震加固分析与设计[J]. 建筑结构, 2016, 46(09): 90-94。
- [14] 郭材林. 建筑铝合金模板施工质量控制[D]. 湖北工业大学, 2017。
- [15] 张韩, 梁勇, 刘磊, 戴锦阳. BIM技术在装配式建筑中的应用[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2021, 43(01): 86-93。
- [16] 陈戊荣, 陈兆荣, 苏运升, 李雯琪, 尹焯, 李若羽. 超短临时建筑核酸检测实验室设计若干技术研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(S1): 704-708。
- [17] 陈戊荣, 陈兆荣, 苏运升, 李雯琪, 尹焯, 温丽娟, 李若羽, 陈唯军. 气膜性建筑结构核酸检测实验室的创新设计研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(S1): 698-703。
- [18] Chen Wurong, Su Yunsheng, Chen Zhaorong, Li Wenqi, Yin Ye, Wen Lijuan, Li Ruoyu, Chen Weijun. Innovative Practice of Key Technologies in Nucleic Acid Detection Laboratory of Gas Membrane Building Structure [J]. Science Discovery, 2022, 10 (1).