

附件 2

装配式建筑典型工程案例（第一批）

目 录

龙海市月港中心小学	1
一、基本情况.....	1
二、工程应用的装配式建造技术及特点.....	2
三、案例实施情况.....	4
四、应用成效.....	12
年产 40000 吨锂离子电池材料产业化项目-3#6#	14
一、基本情况.....	14
二、工程应用的装配式建造技术及特点.....	15
三、案例实施情况.....	18
四、应用成效.....	21
湖塘 2021-27 号地块	25
一、基本情况.....	25
二、工程应用的装配式建造技术及特点.....	26
三、案例实施情况.....	28
四、应用成效.....	33
2019TP01 地块	37
一、基本情况.....	37
二、工程应用的装配式建造技术及特点.....	38
三、案例实施情况.....	39
四、应用成效.....	44
福州市长乐区新村小学	46
一、基本情况.....	46
二、工程应用的装配式建造技术及特点.....	46
三、案例实施情况.....	48
四、应用成效.....	54

龙海市月港中心小学

一、基本情况

(一) 项目概况

龙海市月港中心小学位于龙海市海澄镇，占地约 36 亩，建筑面积约 21000m²，由 3 栋 5 层教学楼、1 栋 6 层办公楼、1 栋 4 层综合楼和风雨操场、连廊等单体组成，抗震设防烈度为 7 度（0.15g），为重点设防类建筑。本项目于 2019 年 10 月竣工，2020 年通过装配式建筑施工阶段评审，项目竣工实景如图 1 所示。



图 1 项目竣工实景

(二) 装配式建筑主要技术指标

本项目为 2018 年福建省装配式建筑观摩项目，采用的装配式部品部件有：预制柱、预制梁、叠合板、钢楼梯、PS-PC 混合坡屋面、装配式内隔墙等。装配式建筑技术指标如下：

1.根据《福建省工业化建筑认定管理（试行）办法》，单体预制率 61.5%；

2.根据国标《装配式建筑评价标准》（GB/T 51129-2017），单体装配率 70%，且竖向构件 100%预制，可评价为 A 级装配式建筑；

3.根据《福建省装配式建筑评价管理办法（试行）》，装配率76%，可评价为二星级装配式建筑。

（三）参建单位

建设单位：龙海市海澄镇豆巷小学

代建单位：龙海市东跃城市建设有限公司

总承包单位：福建建工集团有限责任公司

设计单位：福建省建筑设计研究院有限公司

部品部件生产单位：福建建超建设集团有限公司

深化设计单位：福建建工装配式建筑研究院有限公司

施工单位：福建建工集团有限责任公司、福建七建集团有限公司

监理单位：福建光正工程项目管理有限公司

二、工程应用的装配式建造技术及特点

本项目集成应用了全装配混凝土框架体系、消能减震预制结构、PS-PC混合结构屋面、全过程全专业BIM应用等多项创新技术。在保证经济、安全的前提下，将装配式建筑技术与闽南传统建筑风格完美结合。

（一）全装配混凝土框架体系

装配式混凝土框架结构是装配式建筑的主要形式之一，是一种新型的绿色建造方式。装配式结构设计的主要技术路线是在可靠的受力钢筋连接技术的基础上，采用预制构件与后浇混凝土相结合的方法，通过连接节点合理的构造措施，将装配式结构连接成整体，保证其结构性能具有与现浇混凝土结构等同的延性、承载力和耐久性能，达到与现浇混凝土结构等同的效果。

装配式混凝土框架结构节点是工程质量控制的关键环节。本项目成功地综合应用了新型预制框架梁柱节点、钢企口连接主次梁节点、工法创新的密拼缝叠合楼板和装配式钢楼梯等技术。

（二）消能减震预制结构

本项目位于 7 度（0.15g）抗震设防区，按建筑类别及场地调整后的抗震等级烈度为 8 度，建筑抗震要求高。若采用常规的以“抗”为主的钢筋混凝土框架结构方案，存在梁柱尺寸偏大及配筋密集难以施工的问题。对装配式整体式框架结构而言，还会造成梁柱节点布筋困难，构件重量过大，施工难度增加的问题。

为了解决以上问题，同时保障建筑结构的抗震性能，本项目对层高和负荷较大的教学楼和办公楼进行减震设计，并选用屈曲约束支撑（BRB）作为消能减震部件，可以改善钢筋混凝土框架结构的抗震性能，尤其是罕遇地震下结构的抗倒塌性能。

（三）PS-PC 混合坡屋面系统的应用

本项目建筑方案屋面具有闽南特色传统民居风格：琉璃瓦坡屋面+马头墙造型。若采用传统现浇方式施工，因造型异形且层高较大，模板支撑架设难度大，且质量难保证；若采用模具预制，又因工程量小且标准化程度不足，不仅开模成本高，而且生产工序繁杂，较难实现。为了解决以上问题，本项目成功应用了 PS-PC 混合坡屋面系统。

为更好地适应建筑功能要求，提升工程质量及施工速度，本项目充分发挥了 EPC 的优势，设计团队与施工团队紧密合作，编制了“装配式建筑预制板（单向板）施工工法”、“装配式建筑预制柱套筒灌浆连接施工工法”两项省级工法，并获得了良好的社会效益和经济效益。

（四）全专业 BIM 一体化协同设计

将 BIM 技术与协同设计深度融合，建立了建筑、结构、设备、装配式内隔墙、预制混凝土部件、钢结构部件的 LOD400 模型，实现各专业间的数据共享、互通和协同，大大缩短了深化设计时间，减少了深化设计的错漏碰缺。在此基础上，利用 BIM

技术实现数字化交底，在装配式建筑施工中实现钢筋零碰撞、精准预埋、精准安装，提高了工程安装的效率及工程质量。

三、案例实施情况

(一) 全装配混凝土框架体系

本项目主体结构为全装配混凝土框架体系，应用的部品部件有：预制框架柱、预制叠合框架梁、预制叠合次梁、预制叠合板、钢楼梯、PS-PC 混合屋面等，如图 2 所示。采用正向 BIM 进行装配式设计，实现数字孪生，有效提高了施工效率，实现现场钢筋零碰撞，节约了成本及工期。



图 2 全装配混凝土框架体系现场图

1. 新型预制框架梁柱节点

钢筋混凝土框架结构的梁柱节点是建筑物结构抗震设防的关键部位，在结构设计中需要设置加强配筋，因此框架结构节点的钢筋纵横交错十分密集。作为装配式混凝土框架结构，预制框架柱、预制框架梁、预制楼板等构件均设有外伸钢筋，如何使这些受力钢筋避免碰撞，且传力合理是预制设计中亟待解决的首要问题。

本工程综合应用了以下钢筋避让技术措施：（1）采用了将框架柱受力钢筋集中设置于角部的新型布筋方案，在不降低框架抗震性能的前提下，为预制梁的安装创造了必要的空间条件；（2）优选了双向框架梁的梁高，使得正交方向的框架梁外伸钢筋处于不同的标高；（3）对汇交于同一梁柱节点的同向框架梁的外伸钢筋采用了水平避让的策略。实现了单一框架节点 40 根汇交钢筋零碰撞的优良效果。连接节点 BIM 模型及现场情况如图 3 所示。

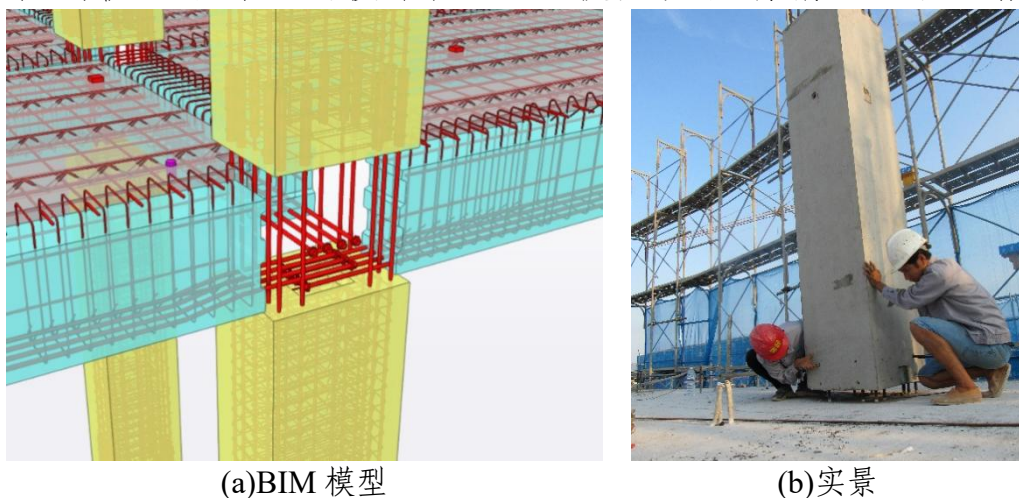


图 3 预制柱套筒灌浆连接节点

本工程竖向构件为采用半灌浆套筒连接的预制框架柱。预制框架柱生产、安装、灌浆全过程严格按照国家规范要求实施，并在此基础上总结经验，编制了“装配式建筑预制柱套筒灌浆连接施工工法”省级工法，应用情况良好。

2. 钢企口连接主次梁节点

主次梁连接节点是结构传力过程中重要的一个环节，是楼板将楼层荷载集中于次梁后向主梁传递的重要节点，主次梁的连接形式选择是否合适直接关系到传力能否达到设计要求。主梁预留后浇槽口方式为施工现场最常见预制主次梁施工节点，由于在预制主梁中部需预留缺口，增加预制和吊装难度，且在现场封模的难度大，浇筑时易发生漏浆，工艺性不佳。

钢企口连接的主次梁节点系设计团队主编的《福建省预制装配式混凝土结构技术规程》率先推广的创新型节点，如图 4 所示。该技术将钢结构与预制混凝土结构进行组合，将次梁的端部剪力通过设置栓钉的钢板传递给预制主梁企口，实现了装配整体式结构预制主次梁不出筋的可靠连接，极大提升安装效率。

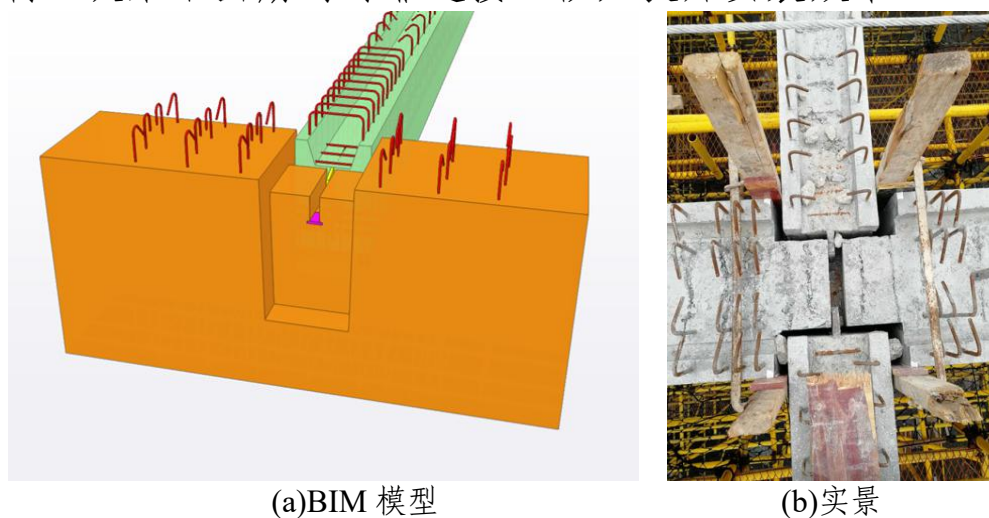


图 4 钢企口连接的主次梁节点

3. 工法创新的密拼缝叠合楼板

由于受现浇设计习惯的影响，目前大量工程的叠合楼板采用了四面出筋的“后浇带式接缝”工艺，构件生产运输难度大、现场安装困难，而且由于后浇带部位经常出现漏浆，使得新旧混凝土结合面难以保证质量，大量工程的拼缝部位由于表面不平整，往往需要二次打磨，操作难度很大。

本工程根据学校建筑的实际需求，采用了密拼缝叠合楼板的连接形式，如图 5 所示。该楼板体系具有生产便捷、安装方便、节约模板及支撑、接缝处理简单、品质可控等优点，施工难度显著降低，可以缩短安装时间；接缝处理使用以益胶泥为代表的水泥基防水粘结材料和以玻纤网格布为代表的加筋材料，使得接缝问题得到了有效解决，可以实现与全现浇楼板相同的使用性能。EPC 团队编制了省级工法《装配整体式结构预制板（单向板）施工工法》，有较好推广应用价值。

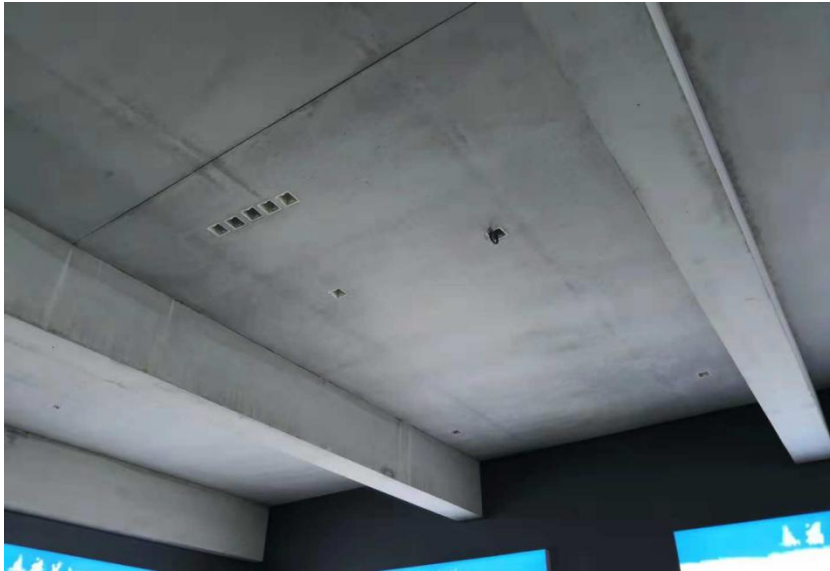


图5 密拼缝叠合板应用效果（板底）

4. 装配式钢楼梯应用

因学校建筑为疏散要求高的多层公共建筑，楼梯宽度为 1800mm，若采用预制混凝土楼梯，存在预制构件自重大、复用率低等问题；如盲目采用全预制混凝土楼梯，将造成塔吊选择困难、安装成本过大等问题。本项目采用设置混凝土面层的钢楼梯，既实现了全楼预制的整体效果，又有效解决了上述问题，效果优良，如图 6 所示。

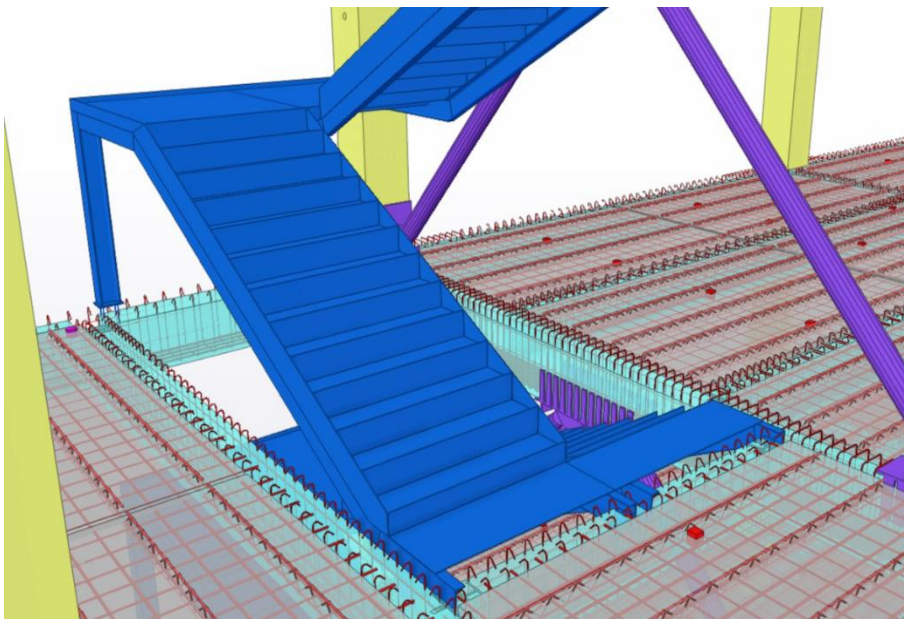


图6 预制钢楼梯

（二）消能减震预制结构

为提升主体结构的抗震性能，降低全装配混凝土框架的安装难度，本项目采用了设置消能减震装置的装配整体式结构方案，如图 7 所示。本项目减震设计的要求为：在多遇地震作用下，其建筑结构须完全保持弹性，且非结构构件无明显损坏；在罕遇地震作用下，消能减震器系统的功能仍能正常发挥。本项目屈曲约束支撑采用人字形布置方式，楼层平面内的布置遵循“均匀、分散、对称”的原则。

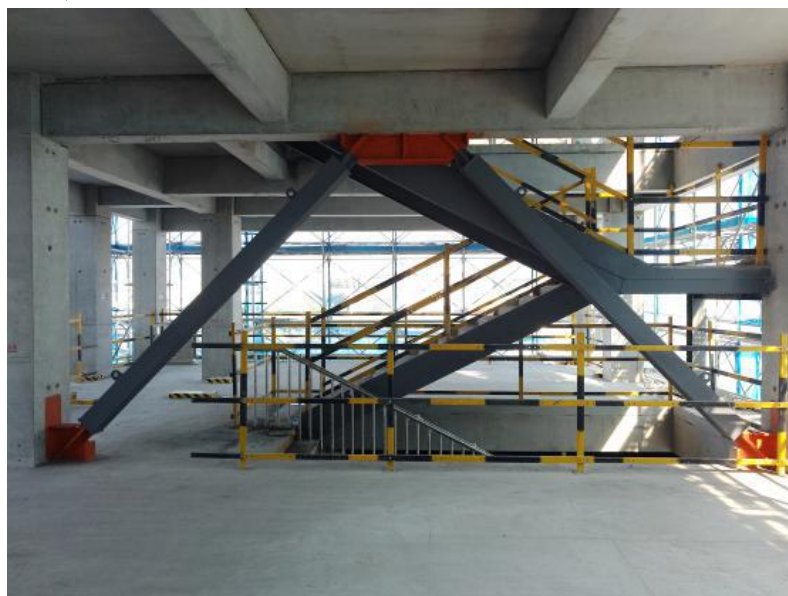


图 7 消能减震装置实景

本工程应用消能减震方案可降低柱、主梁混凝土量约 20%，节点钢筋用量降低 30%，大大提高了结构方案合理性；同时，消能减震装置可在罕遇地震下进行耗能，提升建筑的抗震能力，从而保护罕遇地震时建筑物内的人员和财产安全。

（三）PS-PC混合坡屋面系统的应用

为实现具有闽南特色传统民居风格的装配式屋面，本项目创造性地采用了钢结构屋架（PS）+预制混凝土板（PC）组合坡屋面系统，将异形屋面拆解成屋架和屋面两部分，合理分割后分别

预制，如图 8 和图 9 所示。异型屋架采用钢框架结构，钢梁上设置栓钉，屋面板采用规则的全预制混凝土板，板上预留安装孔，预制板在钢梁上安装就位后，向安装孔内注浆形成整体。将屋面分成若干单元，预制板与钢屋架按单元在地面组装后整体吊装。

该方法可实现模块化施工，大大减少高空作业量，既降低了生产、施工难度，又达到了降本增效的效果。在造价可控的前提下，该结构体系成功实现了闽南民居风格的装配式屋面。本项目是福建省内装配式建筑中首次应用 PS-PC 组合坡屋面系统，经多年使用证明，应用效果良好。

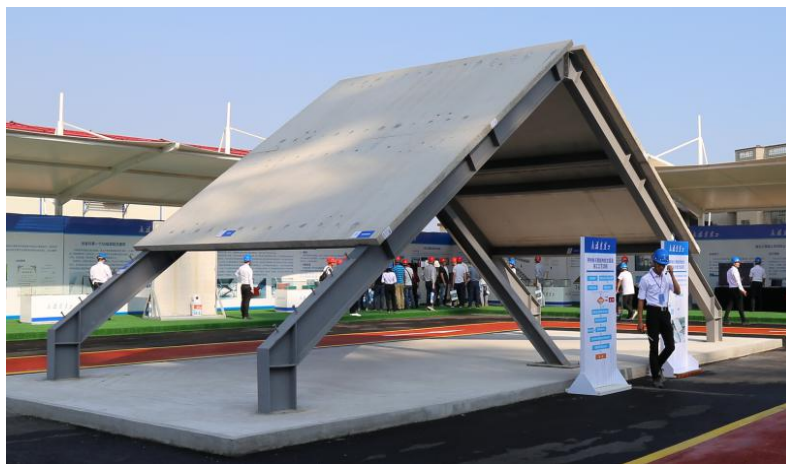


图 8 PS-PC 混合坡屋面工法验证段



图 9 PS-PC 混合坡屋面实景

(四) 可追溯管理应用

推广装配式混凝土结构的工业化建筑，需要对预制构件进行全寿命周期管理，获取构件基本状态、使用情况、位置方位等信息，以便对预制件实现追溯，实现有效监管。

本工程的施工图设计、深化设计和施工组织全过程全专业应用 BIM 技术，实现数字孪生。在设计阶段即基于 BIM 技术对预制部品部件进行编码，为每一个混凝土预制件建立身份信息，如图 10 所示。预制构件出厂时，构件上粘贴二维码进行唯一性标识，信息内容包含工程名称、构件名、型号、生产单位、执行标准、制作浇筑日期、出厂日期、合格/修补状态、合格证号、质检人、生产负责人、驻厂监造单位及人员等信息。施工过程中收集保留相关信息，后期整理归档，从而确保施工构件的可追溯管理。

福建建超建设集团有限公司		合格证
工程名称	龙海市月港中心小学、幼儿园	
构件名称	叠合板	
构件编号	C#-2KT02	
重量 (T)	1.47	
使用部位	小学C#楼2F	
生产日期	2018/4/20	

图 10 预制构件二维码

(五) 其他预制应用

1. 预制部品部件

本工程在项目现场使用了预制旗台、可回收利用装配式地面等预制混凝土部品部件，如图 11 所示。



(a)预制旗台



(b)可回收利用装配式地面

图 11 其他部品部件

2. 预制混凝土配套支撑技术

预制主梁承插式盘扣支撑、预制次梁及叠合板独立钢支撑体系和拱门式钢管脚手架等技术在本项目均得到了成功应用，效果良好，如图 12 所示。



(a)主梁承插式盘扣支撑体系



(b)次梁、叠合板独立钢支撑体系

图 12 配套支撑技术

四、应用成效



图 13 主体结构验收实景

（一）“两提一减”见实效

本工程在实施高装配率预制试点的同时，通过应用先进装配式技术体系和基于 BIM 技术的高效设计施工组织，在建造成本上与漳州地区同期实施的其他学校项目持平，并未增加财政投资。同时高装配率的预制施工工法，使得主体结构构件以工厂化生产的预制构件为主，密实度高且表面观感优良，耐久性得到显著提升。同时采用消能减震方案在降低建造成本的同时，显著提升了建筑的抗震性能。在“提质、降本、增效”方面取得优良的效果。

（二）省级工法认定

根据闽建科[2019]13 号文，由设计团队和总承包单位通力合作完成的《装配整体式结构预制板（单向板）施工工法》、《装配整体式结构预制柱套筒灌浆连接施工工法》获评省级工法。

（三）获奖情况

1. 2018 年承办的全省装配式建筑施工现场观摩会获得福建

省住房和城乡建设厅的全省通报表扬（闽建办筑[2018]31号），对高预制率全装配体系、消能减震技术、新结构体系、全装配内隔墙体系等在装配式建筑中的应用予以肯定；

2. 2018年获得福建省首届建筑信息模型（BIM）应用大赛综合组一等奖；

3. 2019年获得“2019年福建省工程建设优秀质量管理小组”称号及成果“提高拱门式钢管脚手架搭设一次性合格率”荣获二等奖；

4. 2019年在中国建筑业协会承办的第四届建设工程 BIM 大赛中获得三类成果奖项；

5. 获得福建省住房和城乡建设厅授予 2019 年度“福建省建筑施工安全生产标准化优良项目”称号；

6. 2021 年度福建省优秀工程勘察设计成果项目认定中荣获建筑工业化设计一等奖。

（四）小结

本项目全装配框架体系、消能减震预制结构、PS-PC 混合结构屋面、全过程全专业 BIM 应用等多项创新技术，在经济、安全的前提下，将装配式建筑技术与闽南传统建筑风格完美结合，取得良好的经济效益及社会效益，实现了装配式建筑的“两提一减”，在学校类装配式建筑中具备推广价值。

年产 40000 吨锂离子电池材料 产业化项目-3#6#

一、基本情况

(一) 项目概况

本项目位于福建省厦门市海沧区，长园路南侧，建港路北侧，总用地面积 204034m²，总建筑面积 366007m²。采用装配式方式建造的建筑包括 1#质检楼，3#、6#生产车间，10#维修车间，14#综合楼，15#、16#、17#、18#倒班宿舍等，抗震设防烈度为 7 度（0.15g），为标准设防类建筑。本项目于 2020 年 10 月竣工，2021 年通过装配式建筑施工阶段评审。

(二) 装配式建筑主要技术指标

本项目的 3#、6#生产车间为装配式框架-支撑（BRB）体系，抗震等级二级，地上 7 层，建筑总高度为 47.35m，典型柱距为 8.1m×13m，楼面使用活荷载为 20kN/m²，层高为 5~7m，其中生产线所在的跃层区域层高为 11.5m，为大跨度、重载荷的多层混凝土工业厂房。

(三) 参建单位

建设单位：厦门厦钨新能源材料股份有限公司

工程总承包单位、设计单位：福建建工集团有限责任公司

部品部件生产单位：福建建豪建筑科技有限责任公司

福建建惠建筑科技有限公司

深化设计单位：福建建工装配式建筑研究院有限公司

施工单位：福建建工集团有限责任公司

监理单位：福建省冶金工业设计院有限公司

二、工程应用的装配式建造技术及特点

(一) 水平楼盖全预制的免撑免模体系及工法

随着新能源和半导体产业技术的发展，当前我国相关工业建筑呈现大型化、复杂化的发展趋势。通常此类工业建筑的柱距为10~12m，生产区层高为8~12m，使用活荷载为20~80kN/m²，均显著大于常规民用建筑。由于生产工艺的要求，此类工业建筑通常不能采用钢结构；且为满足生产线布置的要求，结构单元的长度往往需要达到百米以上。对于此类大体量的钢筋混凝土工业建筑，如采用现浇工法和常规预制工法需要设置高大模板支撑体系，材料耗费大、施工措施费非常昂贵，且施工周期长，如图1所示。在上述约束条件下，综合采用现代消能减震技术和装配式建造工法，可以获得良好的经济效益。

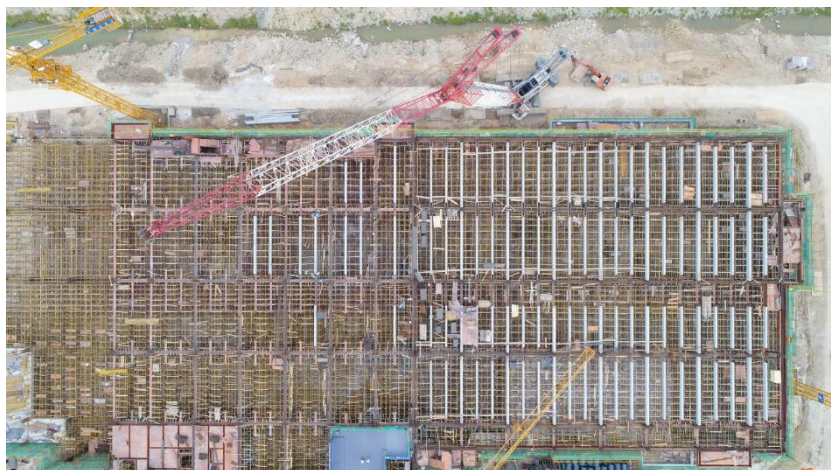


图1 常规预制的类似项目实景（高支模）

为解决上述问题，研发团队按照系统论的方法将预制装配式混凝土楼盖进行解构，分析各组成部分在不同阶段的受力特点和关键技术指标，按照装配式建造模式创新的原则，对现有的通用装配式节点进行改进，并研发了具有自主知识产权的全预制装配式构造体系及免模免撑工法。

本项目为福建省首个实施免撑免模装配式技术的项目，为保

证工法安全可行，项目团队建造了 1:1 工法验证区，如图 2 所示。根据项目现场施工条件，编制详细免撑免模施工方案，并通过厦门市建筑行业协会组织专家进行施工专项论证。



图 2 工法验证区、起重设备（QUY260 履带式起重机）

（二）消能减震技术在大型工业厂房中的应用

由于建筑功能和生产工艺的限制，本项目的钢筋混凝土剪力墙的布置受到很大限制，难以采用框架-剪力墙结构。而采用常规的以“抗”为主的混凝土框架结构方案，则存在梁柱尺寸偏大及配筋密集难以施工的问题。

为解决以上问题，本项目应用了碳纤维增强型屈曲约束支撑（BRB），应用消能减震技术可有效解决大跨、重载、大层高、大体量多层工业厂房采用常规混凝土框架方案所存在的局限性，如图 3 所示。通过有限元分析表明，屈曲约束支撑按照“均匀、分散、对称”的平面布置原则进行布置，结构层间位移角有明显减小，满足减震目标；同时，还具有良好的抗震耗能机制和塑性变形能力，较大程度地提高了结构主体的安全性。

经验算采用消能减震技术可有效减小构件截面，柱、主梁节约混凝土量约 20%，柱钢筋节约 20%，大大降低预制构件生产及施工难度，提高了结构方案的合理性，如图 4 所示。



图 3 BRB 应用情况

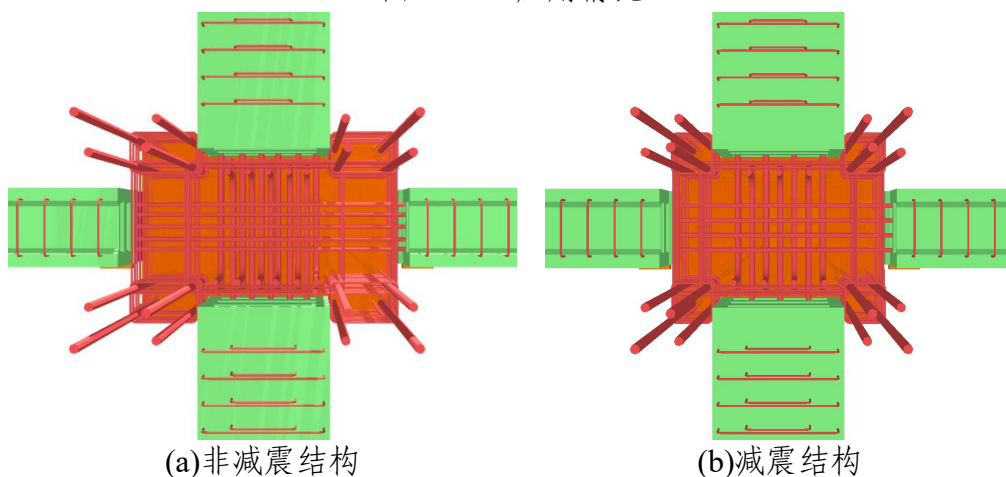


图 4 优化前后结构梁柱节点布筋对比图

装配式建筑结合消能减震方法优势突出，不仅提升装配式建筑安全性和工艺性，又能实现成本控制的目的。

（三）基于BIM的智能设计

本项目在 PLANBAR 深化设计平台上，采用自主设计开发的“快速预制构件设计软件”进行预制混凝土构件的参数化设计；该软件集成了预制混凝土构件短暂工况验算、参数化快速建模、图模一体化等完整的设计功能；具有设计快速、集成度高、模拟精细、操作相对简便等特点，如图 5 所示。

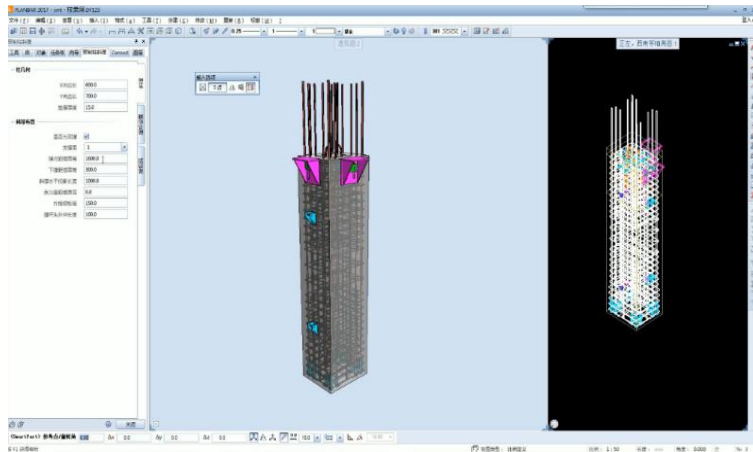


图 5 快速预制构件设计软件

(四) 全专业一体化BIM设计

本项目的设备管线复杂，预留预埋的要求高；同时由于采用免撑免模预制体系，预制构件生产和安装的协调性和复杂度高于常规建造工艺。故采用全专业、全过程 BIM 应用，实现构件安装零碰撞、设备安装零碰撞，达到提高施工效率，减少返工，节约成本的目的，如图 6 所示。

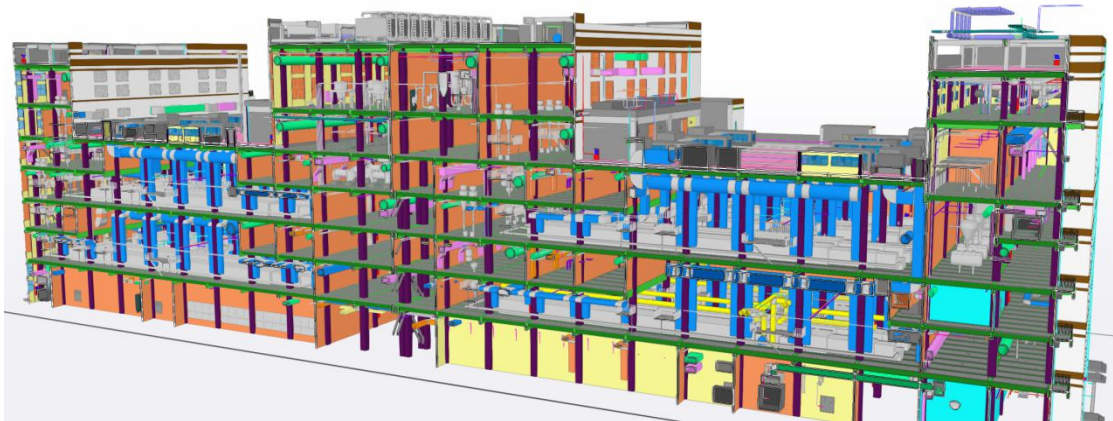


图 6 全专业 BIM 模型

三、案例实施情况

福建建工免撑免模装配式技术体系的主要创新点介绍如下：

(一) 一种免支撑水平预制楼盖的梁柱节点及其施工方法 (专利号：ZL 2020 2 2457674.8)

柱顶采用钢牛腿支托预制叠合梁，并具有足够的变形调节能力，可以实现主梁无支承施工；柱纵向钢筋集中布置于柱角部，

同向的梁底纵向钢筋水平错开，降低了节点钢筋密集度，安装简便，提升效率。专门设计的节点构造确保了节点域的施工质量。通过梁柱节点的先行浇筑施工保证了后续安装过程的主承重体系的稳固性，如图 7 所示。



图 7 免撑免模预制体系施工实景

(二)免支撑主次梁系统及其施工方法和预制叠合主梁槽口模具（专利号：ZL 2020 2 2305218.1）

对现有的主次梁连接节点进行改进，主次梁连接通过“钢企口+混凝土暗牛腿”双重构造和专门的安装工法，通过“两阶段设计”，保证该节点在传力可靠的同时，实现便捷性的施工，如图 8 所示。

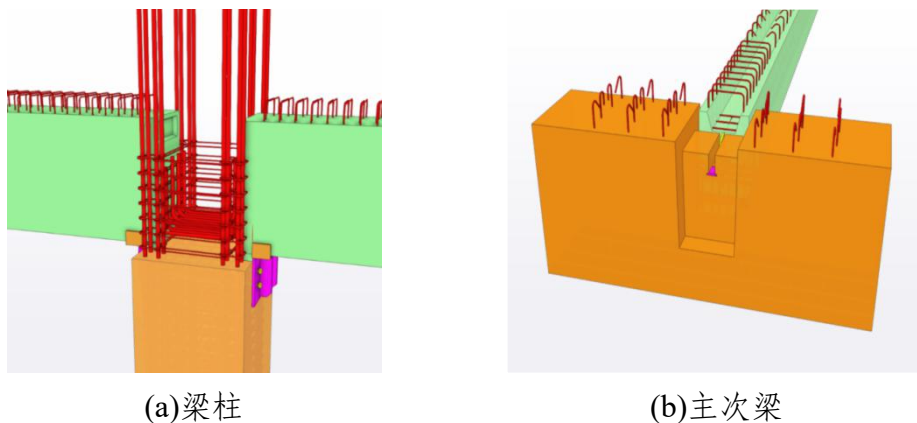


图 8 节点构造示意图

（三）新型叠合槽型梁（专利号：ZL 2019 2 0536413.X）

现有的装配式混凝土建筑通常采用矩形截面叠合梁。当梁跨度较大时，矩形截面叠合梁的自重较大，在吊装和运输时均存在困难。为解决起重机远端吊装能力不足的问题，采用叠合槽型主梁的减重策略，如图 9 所示。

常规的槽型截面预制叠合梁采用可重复使用的钢制内模，为保证脱模时不致损伤预制混凝土构件，内模表面需较光滑且在内模表面需涂刷脱模剂，这样的工法使得新旧混凝土结合面结合能力较差，影响槽型截面叠合梁组合作用的发挥，在安全性方面存在隐患。

新型叠合槽型梁通过永久设置的结合钢板显著提升了工厂的生产效率。同时使得新旧混凝土的结合面的粗糙度明显提升且可控，在设计中可以充分应用叠合梁的组合强度。

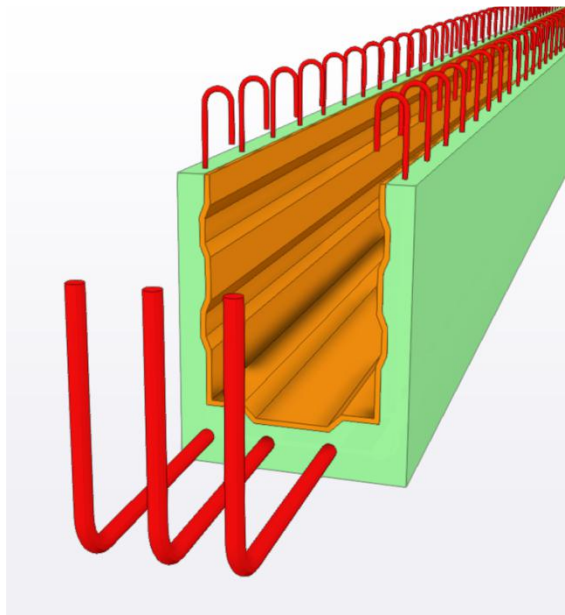


图 9 叠合槽型梁

（四）用于水平叠合结构的装配式施工平台（专利号：ZL 2020 2 2456572.4）

通过便携式钢施工平台与预制构件的组合同步吊装，现场无

需从下层楼面搭设施工平台至本层楼面，与上部土建工序同步施工，节约措施费及工期，如图 10 所示。

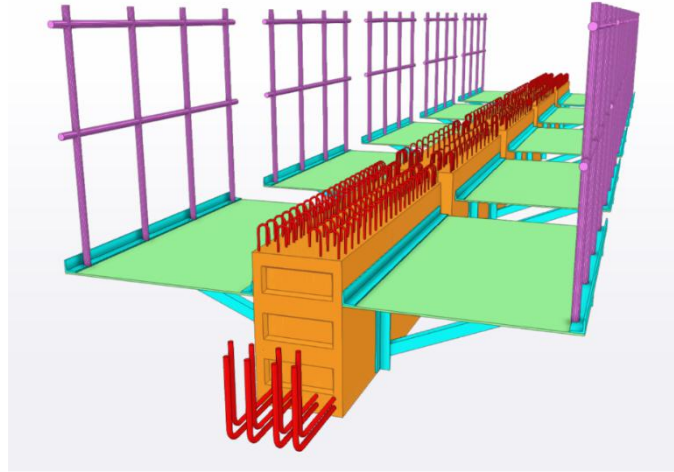


图 10 装配式施工平台

四、应用成效

（一）应用效果

免撑免模装配式技术的应用，避免了模板支撑的搭设及拆除，缩短了施工工期。除在构件交接的节点核心区局部使用现场模板外，其他区域不再使用模板，减少了施工临时设施的材料使用，符合减碳、节材、环保的要求。项目观感质量良好，创造了良好的社会效益，获得了建设单位及主管部门的一致好评。

（二）关键经济技术指标对比

本项目在锂电池生产线区域，采用福建建工集团自主研发的**新型装配式楼盖体系**，结合基于 BIM 的智能设计和消能减震技术，实现在大跨度、重载荷和大层高条件下，无需搭设高大支撑模板，完成水平楼盖的装配式施工，如图 11 和图 12 所示。共计减少 9 万立方米的高支模搭设，建造成本比现浇工艺降低 680 余万元。

当采用高支模现浇工艺时，由于需在无法使用塔吊的条件下，进行模板和支撑的拆除作业。根据类似项目的情况，9 万立

方米的高支模需使用人工花费近 50 天才能拆除完毕；随后才能进行后续工序的施工。综合考虑各种现场因素，“厦钨年产四万吨锂电池项目”的总承包方确认，在使用“免撑免模预制装配式体系”后，压缩工期可达 40 天，使得业主可以提前投产。根据该项目的的设计年产值 15 亿元测算，应用“免撑免模预制装配式体系”可以带来间接经济效益 1.64 亿元。

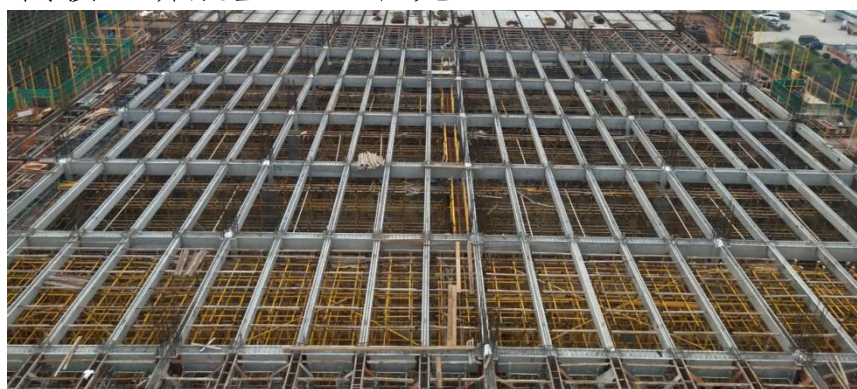


图 11 免撑免模预制楼盖体系主次梁安装完成状态



图 12 免撑免模预制楼盖下方实景

（三）通过福建省建设科技研究开发项目评审

2021 年 8 月 26 日，福建建工免撑免模预制装配式体系通过福建省住房和城乡建设厅组织的福建省建设科技研究开发项目“免撑免模装配式技术研究”（项目编号：2020-K-12）的结题评审。

评审专家认为：该课题紧扣当前装配式建筑成本高、工期长的现状难点，以具有大跨、重载、大层高、大体量特征的需要设置高大支撑模板的建筑结构为研究对象，按照系统论的方法将预制装配式混凝土楼盖进行解构，分析各组成部分在不同阶段的受力特点和关键技术指标，按照装配式建造模式创新的原则，对现有的通用装配式节点进行改进，并研发了具有自主知识产权的全预制装配式构造体系及免模免撑工法。

该体系为国内首创，已形成相关知识产权成果，对于今后福建省在多层物流仓库、大型混凝土厂房、大型公共建筑等项目应用上具有重要的指导意义。**课题研究成果总体达到国内领先水平。**

（四）认定为福建省省级工法

经建筑业协会组织专家评审认定，本项目提交的“装配式建筑预制梁板免撑免模施工工法”符合省级工法要求，序号为闽建科〔2021〕16号文第126号。

（五）省级施工项目云观摩平台

为促进业界交流，推广免撑免模等先进设计及工法，助力我省建筑行业转型升级、赋能高质量发展，结合新冠疫情防控的新要求，研究团队将研究成果以“云展厅”的形式，传至线上观摩平台(<https://www.fcec-pbri.com>)，如图13所示。

该平台可在电脑PC端、手机微信端运行，开发了学术直播间、调查问卷、资料下载等5个功能模块，搭建了厦钨云实景、工法展示区、设计创新馆、施工创新馆等7个虚拟展厅，如图14所示，并通过实景漫游、自主虚拟漫游、虚实场景切换、指尖数字模型、工艺展板等多种形式，全方位展示了免撑免模工法的先进性，如图15所示。



图 13 “免撑免模装配式技术云观摩平台”主页（PC 端）



图 14 “免撑免模装配式技术云观摩平台”虚拟前厅

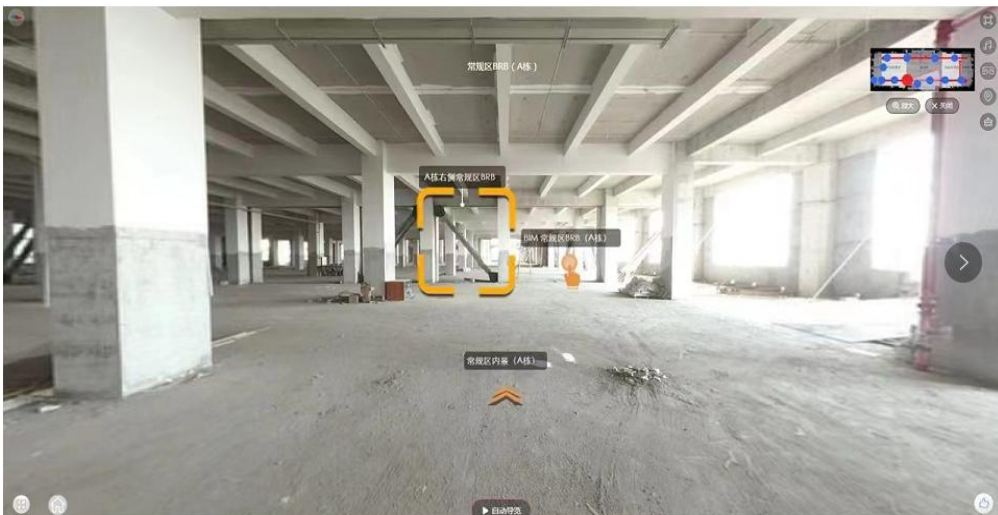


图 15 云观摩截图

湖塘 2021-27 号地块

一、基本情况

(一) 项目概况

本项目位于福建省福州市晋安区福光路以西，湖塘路以南，湖塘村及周边地块，总用地面积 39193 平方米，总建筑面积 188048.07 平方米，其中计容建筑面积为 129336.75 平方米，地下建筑面积 59826.32 平方米，建筑密度 31.24%，容积率 3.299，绿地面积 11757.9 平方米，绿地率 30%。

(二) 装配式建筑主要技术指标

本工程 1#、3#、5#、6#、7#、9#楼采用装配式建造，装配式楼栋的计容建筑面积为 88058.21 平方米，装配式建筑的计容面积占项目总计容建造面积比例为 68.08%。

本工程 1#、3#、5#、6#、7#楼装配率均大于 60%，为一星装配式建筑，9#楼装配率大于 90%，为三星装配式建筑。其中 1#、9#楼采用免支撑钢筋桁架楼承板、预制钢-混组合梁柱、预制钢梁、钢楼梯、装配式模板，预制内墙板、非承重围护墙非砌筑、减震阻尼器等部品部件，3#、5#、6#、7#楼采用预制混凝土钢筋桁架叠合楼板、预制混凝土楼梯、预制内墙板、非承重围护墙非砌筑等部品部件，具体装配率得分情况详见下表。

表 1 湖塘 2021-27 号地块装配率得分情况

评价项		1#楼	3#楼	5#楼	6#楼	7#楼	9#楼
主体结构	梁、板、楼梯、空调板等水平构件	37.4	28.8	30.4	30.2	30.1	40
	现浇竖向构件装配式模板	5	0	0	0	0	5
	装配式建筑设计标准化、模数化	0	0	0	0	0	0
	部品部件通用化	0	3.3	2	2	2	0
	采用隔震技术	0	0	0	0	0	5

评价项		1#楼	3#楼	5#楼	6#楼	7#楼	9#楼
围护墙和 内隔墙	非承重围护墙非砌筑	10	10	10	10	10	10
	内隔墙非砌筑	10	10	10	10	10	10
装修和 设备管线	全装修	0	0	0	0	0	6
	集成卫生间	0	0	0	0	0	4
	管线分离	0	0	0	0	0	5
技术创新	设计阶段 BIM	3	3	3	3	3	3
	施工阶段 BIM	3	3	3	3	3	3
	可追溯系统	2	2	2	2	2	2
总计		70.4	60.1	60.4	60.2	60.1	93
装配率 (%)		70%	60%	60%	60%	60%	93%
星级装配式		一星	一星	一星	一星	一星	三星

(三) 参建单位

建设单位：福州市建总安筑建设有限公司

总承包单位：福州市建总安筑建设有限公司

设计单位：福建华筑工程设计有限公司

部品部件生产单位：福建左海科技有限公司

深化设计单位：福建左海科技有限公司

施工单位：福州市建总安筑建设有限公司

监理单位：福州盛越建设有限公司

二、工程应用的装配式建造技术及特点

(一) 装配式建筑技术体系、主体结构预制构件应用情况

本项目分为 A、B 地块，其中 A 地块的 3#、5#、6#、7#楼，B 地块的 1#、9#为装配式楼栋。

A 地块 3#楼为混凝土框架-核心筒结构，5#、6#、7#楼为混凝土框架结构，均采用钢筋桁架叠合板、装配式内隔墙等较成熟的装配式结构体系及技术手段，减少模板损耗，工期短、效率高、

节省劳动力。在 A 地块的构件设计过程中，遵循少规格、多组合的原则，做到安全适用、技术先进、经济合理、质量可靠。

B 地块 1#楼为钢管混凝土框架-钢筋混凝土核心筒结构，核心筒外区域采用免支撑钢筋桁架楼承板、预制钢-混组合梁、预制钢-混组合柱，内墙应用装配式内墙板，实现楼栋免支模免支撑快速拼装，有效减少项目施工工期。核心筒施工采用装配式铝模板+附着式升降脚手架，筒内免抹灰，实现“两提两减”、绿色建筑、低碳发展。

B 地块 9#楼采用创新性的部分包覆钢-混凝土组合结构——PEC（Partially Encased Composite structures of steel and concrete）结构体系，采用混凝土填充 H 型钢。对比传统钢结构，构件抗震性能好，节点安全可靠，结构振动、隔音等舒适性能佳，防火防腐性能好，结构刚度大，可有效防止墙体开裂。且对比 PC 梁、柱，模具使用量少，创新性地结合了钢结构与混凝土结构的优点。为配合 PEC 结构，水平构件采用免支撑钢筋桁架楼承板，实现免支免模及快速拼装。9#楼应用摩擦型阻尼器减震措施，提升楼栋的抗震性能及良好的舒适性，该类型阻尼器构造简单、性能稳定、阻尼力大，在中大震作用下，摩擦阻尼器通过产生摩擦滑移做功以消耗吸收地震输入的能量，为结构提供附加阻尼从而减小结构响应，可有效提升结构抗震性能。9#楼采用全楼全装修交付，并通过应用架空地面、干法墙面、集成吊顶，实现卫生间的全干法施工。水、电、暖通管线分离比例大于 70%，使 9#楼具备结构耐久性的同时，保证设备管线便于维修更换，为后期运维提供极大的便利性。

（二）围护墙、内隔墙应用装配式技术情况

本项目 A、B 地块外墙均采用幕墙系统，实现建筑、高度、艺术、商务空间的完美演绎，减少外墙砌体砌筑、饰面等多道工

序。在设计阶段应用左海科技自主研发的基于 BIM 的装配式建筑设计平台进行预制构件、装配式内墙板等构件深化设计，实现 LOD4.0 深度的 BIM 深化设计。在生产过程中利用左海科技自研的几木云生产管理平台，基于云计算技术，服务于 PC、钢构、铝模等构件的生产管理，围绕构件生产，仓储、物流、安装全过程业务，面向构件生产企业，提供项目要货、生产准备、生产过程、构件存储、物流运输，现场吊装各阶段的信息化应用，辅助管理人员提高多方沟通效率，提升生产管理的科学性，实现从设计到生产的数据流转应用。在施工阶段，应用基于云计算技术的项目管理平台，结合全专业的 BIM 模型，以计划为主线，围绕项目执行过程中的进度、质量、安全、变更、生产、合同等业务，服务于项目及企业，提供计划管理、任务管理、质安管理、变更管理、填报中心、预警中心、个人中心等各阶段、各层级的信息化应用，协助管理人员进行有效决策和精细管理，从而达到缩短工期、提升质量的目的。

B 地块基础施工过程中，将陶粒混凝土墙壁从室内墙体利用拓展至地下室基础砖胎膜。常规建设工程筏板位置、桩承台位置模板通常采用砌砖形式，砖砌筑完成后还需砂浆找平，消耗大量人力物力。而采用轻质隔墙板作为侧模，有效减少施工工作量，提高施工质量。使用装配式轻质隔墙板作为承台侧模可以加快项目的进度，节省工期，速度比砌砖快 3~5 倍，同时安装完后无需批荡，可以在短时间内回填，大大缩短了施工周期，减少用工量，取得良好的经济效益。

三、案例实施情况

本项目的 2 栋大楼均采用了装配式钢结构，其中 1#为钢管柱+PEC 框梁+核心筒结构体系，9#为 PEC 框架+钢次梁结构体系，现场实施情况如图 1 所示。与传统现浇混凝土结构相比，其

建造效率高、建设工期短、节能减排，符合绿色施工及可持续发展战略。以下主要从设计和施工简要介绍本项目建造工艺的创新点和主要优势。

（一）设计

1. PEC 结构、钢结构的应用

部分包覆钢-混凝土组合构件 PEC 由开口截面主钢件及外轮廓范围内浇筑的混凝土组成，混凝土内可设纵筋、箍筋、抗剪件、连杆等钢配件。

本项目是以 PEC 和钢管柱、钢框架等作为主要结构系统、配套的外围护系统、设备管线系统和内装系统等部品部（构）件，采用集成方法设计、建造的建筑。通过应用标准化设计、工厂化生产、装配化施工、一体化装修和信息化管理，PEC 结构具有明显的工业化特征和装配式属性。本项目 1#、9#楼的 PEC 结构应用主要具有以下四个优势：

（1）1#楼采用钢管柱和 PEC 框梁，其承载力高、截面小，提高水平抗侧力和刚度。同时可建造开间和进深更大的房屋，建筑布置和空间分隔更灵活。在相同建筑面积下，空间利用率更高，比钢筋混凝土结构提高 6%~8%。

（2）9#楼 PEC 柱采用 2 层一节形式、钢框架的安装、组合楼盖的施工等可以进行平行立体的交叉作业，不受养护时间限制，可将工期缩短约 30%~40%。

（3）在建造阶段主要采用干作业，施工现场用水量很少，可节约大量的水资源，且无需木模板和过多的脚手架，从而大量减少木材的消耗，保护生态环境。

（4）钢材塑性、韧性好，结构自震周期长，自重轻。在地震时，结构能在较大变形下吸收变形能，延长和保持结构抗震能力的延续时间；自重的减轻也会使地震力减小。



图 1 PEC 结构实施照片

2. 减震技术应用

本项目 9#为 PEC 框架结构，建筑高度为 18m，地下 2 层，地上 4 层，标准层高 4.5m，总建筑面积为 4587m²。采用减震方案，预计使用阻尼器 12 组，约合建筑面积 380 平米一组，主要布置在建筑的 1~3F，X 和 Y 向分别布置 2 个，所有位置均结合建筑位置选择，不对建筑物的外观和使用产生影响。

采用钢桁架式连接的摩擦型抗震阻尼器 12 组，如图 2 所示，小震下为建筑加强结构刚度并提供附加阻尼比，减震效果良好。摩擦型抗震阻尼器产品性价比高、体积小、耗能能力强，阻尼器参数可调节范围大，后期免维护，不需要后续投入。在施工过程中，减震阻尼器施工可与主体结构施工交叉进行，对主体结构施工进度无影响。由于阻尼器具有很好的塑性变形及耗能能力，根据以往项目经验，类似结构在采用消能减震技术后，在罕遇地震下结构抗震能力能提高 20%以上。减震阻尼器的布置结合了建筑的要求，布置在建筑隔墙位置，不影响建筑使用和外立面效果。



图 2 摩擦型阻尼器

3. 钢筋桁架楼承板的应用

本项目 B 地块 1#、9#楼采用钢筋桁架楼承板，如图 3 所示。钢筋桁架楼承板在施工阶段可作为钢梁的侧向支撑使用，能够承受施工过程中的混凝土自重及施工荷载，配合钢结构施工可实现免支模，快速施工，可节省大量现场支模拆模工作，减少钢筋工程工作，对环境污染小，减少施工垃圾，节约人工，施工现场整洁，符合绿色施工环保节能的要求。



图 3 钢筋桁架楼承板

(二) 施工

1. 装配式承台模板

本项目基础采用陶粒板替代传统砖胎模进施工，如图 4 所示，对比传统砖胎模，可节约砌块和砂浆用量，减少砌筑和大面积抹灰，节省大量人工成本，加快施工进度，对环境污染小，实现绿色施工。陶粒板可随意切割，任意拼接，适用于施工现场条件，有效加快施工进度。同时陶粒板具有较高的强度、刚度、不透水性及抗冻性。采用陶粒板替代传统砖胎模，提高了项目工厂化、机械化施工程度，提升了工程的工艺技术水平。采用陶粒板替代传统砖胎模现场损耗低，有效减少基础模板湿作业工作量，节能环保，符合绿色施工及可持续发展战略。

主要工艺流程：定位放线→承台开挖→垫层浇筑→承台定位→弹陶粒板控制线→水泥砂浆找平→模板吊装→依据弹线拼装→调平、标高控制→拼缝处理（贴美纹纸、抹灰、粘贴玻纤网和再次抹灰）→搭设临时支撑→土方回填→承台边模板安装→地下室垫层浇筑→拆除模板和临时支撑。



图 4 装配式承台模板实施照片

2. 核心筒铝模、爬架应用

本项目 1#楼采用钢框架核心筒结构，核心筒混凝土强度等级为 C60。核心筒施工采用内支外爬的模架体系，核心筒外附爬架，内采用铝合金模板，如图 5 所示，实现了核心筒水平、竖向构件施工同步进行，大大提升

了施工效率。

本项目模板采用组合铝合金模板早拆体系中的对穿螺杆体系，铝模板型材采用 AL 6061-T6 系列，模板厚度 4mm，模板宽度 50mm~400mm，模板之间用销钉快速连接。对穿螺杆采用粗牙螺纹钢，对拉螺杆水平设置距离不大于 800mm。背楞采用 2 条 40×60mm 矩形钢管焊接而成，一字形剪力墙采用直背楞，L 形剪力墙采用直角背楞，首道背楞离地面不大于 300mm，其余背楞与背楞之间的间距不大于 800mm，斜撑间距不大于 2m。竖向支撑采用可调钢支撑，钢支撑最大间距为 1.3m×1.3m。距钢支撑 250mm、2100mm 分别设置双向水平杆，以确保铝模板支撑体系的整体性。

铝模板配模设计采用自主研发的 BIM 设计软件，通过 BIM 三维设计，为现场模板拼装提供指导。同时能够根据结构施工图的配筋要求，将钢筋翻模到 BIM 模型，以确保在核心筒外墙铝模板上提前精确开槽，将核心筒外侧楼板钢筋提前预埋到位，保证核心筒与核心筒以外的结构有效连接。

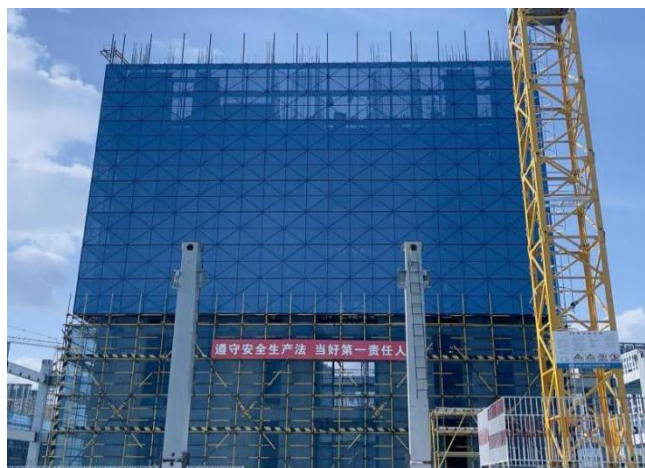


图 5 1#楼核心筒爬架+装配式铝模板

四、应用成效

（一）PEC 结构应用成效

采用 PEC 建造后，通过优化梁、柱构件截面，楼层走道净高可提高 250mm，室内净高可提高 500mm，竖向构件截面减小

40%，使得空间布局更灵活，提升室内空间可使用量。对比混凝土结构，PEC 结构的上部结构总质量减少 15%，可同步减小地震作用对建筑的影响。表 2 为 1#楼 PEC 结构与混凝土结构的比对结果，PEC 结构可使楼层净高提升 450mm；竖向构件截面变小 47%，上部结构总质量减少 22%。表 3 为 9#楼 PEC 结构与混凝土结构的比对结果，楼层净高提升 450mm；竖向构件截面变小 47%，上部结构总质量减少 22%。

表 2 1#楼 PEC 结构与混凝土结构的比对结果

	现浇混凝土框架核心筒方案	钢管柱+PEC 框梁+钢次梁+核心筒
典型柱截面(mm)	900x900	700x700
典型框梁截面(mm)	400x800	300x700
上部结构总质量(t)	40457.3	34219.7

表 3 9#楼 PEC 结构与混凝土结构的比对结果

	现浇混凝土框架方案	PEC 柱+PEC 梁+钢梁次梁方案
典型柱截面(mm)	800x600	500x500
典型框梁截(mm)	400x1000	200x550
上部结构总质量(t)	7828.1	6081.2

以 1#楼为例，将 1#楼的现浇混凝土框架+核心筒和钢管柱（型钢柱）+PEC 框梁+钢次梁+核心筒方案进行对比造价分析，在仅考虑上部结构的直接投资的情况下，现浇混凝土较 PEC 方案造价节约 97 元/m²。但如果考虑了基础部分造价、提前租售、节约利息等费用，即对比建筑整体投资收益来看，总投资可以和混凝土结构工程总投资持平，甚至可以低于混凝土结构工程，如表 4 所示。

表 4 建筑整体投资收益

项目	费用（元）	备注
节约基础费用	约 72 万	结构自重减轻
节约建设费利息	约 11 万	提前竣工
提前租售租金收益	约 229 万	提前竣工
总收益	约 312 万	

对比 1#楼的两种结构形式的施工周期，PEC 结构的核心筒先行施工，外围 PEC 结构待核心筒 4 层后进行安装施工，可实现标准层施工周期 5 天。而参照市场上同等规模的混凝土结构，标准层施工周期约为 8 天，具体对比如表 5。

表 5 1#楼 PEC 结构与混凝土结构的施工周期比对结果

	现浇混凝土框架核心筒方案	钢管柱+PEC 框梁+钢次梁+核心筒
单层施工周期	8 天	5 天
上部主体结构施工周期	152 天	95 天
比传统方案节约天数	/	57 天

(二) 实施减震阻尼器应用成效

1. 减震阻尼器方案可提供不小于 2.5% 的附加阻尼比；
2. 减震阻尼器方案因存在阻尼器的附加刚度，周期比无阻尼器方案小：第 1 振型减小 0.05s，第 2 振型减小 0.06s，第 3 振型减小 0.03s；
3. 减震阻尼器方案可大幅度减少结构的层间位移角，如表 6 所示；
4. 减震阻尼器方案可减少不低于 10% 的地震作用；
5. 减震阻尼器的实施可保证抗侧力结构的层间受剪承载力均大于相邻上一楼层的 80%。

表 6 结构层间位移角的比对结果

层号	常规方案		减震方案		比值 (减震方案/常规方案)	
	X 向	Y 向	X 向	Y 向	X 向	Y 向
4F	1/639	1/597	1/769	1/701	0.83	0.85
3F	1/429	1/481	1/554	1/528	0.77	0.83
2F	1/469	1/455	1/602	1/534	0.78	0.83
1F	1/520	1/520	1/657	1/611	0.79	0.85

(三) 装配式承台模板的应用成效

现场若以 3 人一组负责一个区域的工作面，2 名工人负责陶

粒板安装就位及灰浆搅拌运输，1名工人负责拼缝抹灰及临时支撑设置，此3人能确保日均拼板40m²。若以4人一组负责一个区域的工作面，3名工人负责陶粒板安装就位及灰浆搅拌运输，1名工人负责拼缝抹灰及临时支撑设置，此3人能确保日均拼板50m²。对比采用传统砖胎模单日完成40m²工程量需人工8人，每日可节约人工5人，按平均人工费每日300元计算，每日砌筑节约人工费1500元。传统砖胎模施工后需对表面进行粉刷，粉刷模板每日工程量需要4个人工，按平均人工费每日300元计算，每日粉刷节约人工费1200元。综合节约人工费达2700元。

采用传统砖胎模，砌筑完成后需对砌筑表面进行粉刷，而陶粒板则节省了这道工序，若假设工程基础面积为10000m²，粉刷厚度为15mm，砂浆按300元/m³计算，累计节省材料费4.5万元。

(四) 爬架和铝模的应用成效

1. 施工质量方面，铝模板每平方米承载力可达60千克，平整度高，可实现免抹灰的脱模效果；

2. 施工效率方面，铝模板定位精准且采用早拆模支撑系统，易装快拆，单人工效高于木模班组；

3. 施工周期方面，通过设计阶段的BIM建模，实现现场配模的快速拼装，可实现5天每层的施工周期，有效缩短总体施工时间；

4. 经济效益方面，铝模板理论上可重复使用150-300次，实际使用中周转次数约120次，远高于木模板周转率。“高周转+免二次批荡”能够有效降低模板施工成本；

5. 节能环保方面，铝模板施工现场建筑垃圾更少，可重复使用多次，符合国家“绿色建筑施工”的要求。与传统建筑模板相比，铝合金模板优势显著。

2019TP01 地块

一、基本情况

(一) 项目概况

2019TP01 地块项目（特房樾熙湾）位于厦门市同安区环东海域，项目西侧为滨海西大道，东侧为纵九路，北侧为西福路，南侧为通福路，总用地面积 21551.526m²，总建筑面积 90501.28m²（其中地上建筑面积 61760.36m²，地下建筑面积 28740.92m²）。项目及内装效果如图 1 所示。



图 1 特房樾熙湾项目及内装效果图

(二) 装配式建筑主要技术指标

本项目共四栋高层住宅（1#、2-1#、5-1#、6-1#）均采用装配式装修，主要体现在装修与建筑同步设计、装配式墙面、装配式吊顶、装配式地面、标准化内装部品、管线分离、机电设备及室内装修一体化的 BIM 技术应用、可追溯管理系统、工程总承包模式。

本项目已根据《厦门市建设局关于执行房屋建筑工程装配式建造方式评价标准的通知》（厦建总〔2020〕11号）进行装配式

装修评价，1#、2-1#、5-1#、6-1#单体装配率均为 74%，并于 2021 年 4 月被确认为厦门市装配式建造试点项目，是厦门市首个通过装配式装修试点认定的项目，同时也获得了 WELL 建筑标准金奖认证。

（三）参建单位

建设单位：厦门特房嘉湾房地产有限公司

工程总承包单位：厦门特房建设工程集团有限公司

设计单位：厦门特房国际设计股份有限公司

部品部件生产单位：浙江亚厦装饰股份有限公司

深化设计单位：浙江亚厦装饰股份有限公司

施工单位：厦门特房建设工程集团有限公司

监理单位：厦门基业衡信咨询有限公司

二、工程应用的装配式建造技术及特点

（一）装配式吊顶

装配式吊顶取消了传统主副龙骨的安装方式，通过大模块、卡扣式、面层基层一体化的安装优势，大幅度提升吊顶安装效率。解决了传统吊顶装修工艺复杂、易开裂脱落、安装效率低及现有装配式吊顶产品造型单一等问题。效果上，实现木饰面、圆弧造型等风格设计；功能上满足防潮、防霉、轻质、高强的优越性能。

（二）装配式墙面

装配式墙面是以高强环保基层板、环保装饰膜为特色，并以 H-H 或自带连接结构的两种快装结构为主特征的装配式墙面产品。由墙饰面板、收口模块、装饰模块等组合构成，自带插接结构，安装快捷。解决了现有装配式墙面产品易翘曲、易形变，表面平整度差等问题。

（三）装配式地面

装配式地面是以轻质高强的基板、水性环保装饰膜为特色的

高性能装配式地板产品，四边锁扣设计，扣合紧密，保证水分不渗透到地板下端。安装便捷，拆卸方便。解决了传统地板装修施工周期长，工序繁杂，质量不可控如易翘曲、变形等问题。

（四）智能建造技术应用

BIM 技术的应用，可实现图纸会审、深化设计、设计协调、现场实测实量、下单、放线、加工生产等一系列工作。并通过搭建建筑业数字化监管平台，探索建筑信息模型（BIM）报建审批和 BIM 审图，完善工程建设数字化成果交付、审查和存档管理体系，支撑对接城市信息模型（CIM）基础平台，探索大数据辅助决策和监管机制，建立健全与智能建造相适应的建筑市场和工程质量安全监管模式智能生产。

装配式装修材料使用全自动化生产流水线，可实现智能化管理，实施 ERP，TPM 管理。通过 MES 系统和 WMS 仓储管理系统的结合，通过 4 个子系统即：条码打印子系统、仓库管理子系统、产品跟踪子系统、系统设置子系统在生产过程实现从原材料入库、生产加工、包装、成品入库、出库全过程条码伴随。在条码中输入产品代码、名称、规格以及其他信息。生产加工过程中，各个工序设备的加工信息等，均通过条码扫描录入 MES 系统。产品信息实时可查，实现终端可追溯。

三、案例实施情况

（一）装修材料的选用

本项目所使用的装配式吊顶、装配式墙面和装配式地面材料均为亚厦自主研发材料，性能优越，各项性能指标均符合国家标准，甲醛释放量及 TVOC 释放量均低于国家标准，材料可循环再利用率达到 90%以上，如表 1 所示。

表 1 项目装修材料甲醛释放量及 TVOC 释放量标准

产品	检验项目	技术要求（国标）	项目标准
琉晶吊顶板	甲醛释放量	$\leq 0.124\text{mg}/\text{m}^3$	$0.014\text{mg}/\text{m}^3$
	TVOC 释放量	$\leq 0.50[(\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))](72\text{h})$	$0.09[(\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))](72\text{h})$
科岩墙面板	甲醛释放量	$\leq 0.124\text{mg}/\text{m}^3$	$0.006\text{mg}/\text{m}^3$
	TVOC 释放量	$\leq 0.50[(\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))](72\text{h})$	$0.04[(\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))](72\text{h})$
科岩地板	甲醛释放量	$\leq 0.124\text{mg}/\text{m}^3$	$0.014\text{mg}/\text{m}^3$
	TVOC 释放量	$\leq 0.50[(\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))](72\text{h})$	$0.12[(\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))](72\text{h})$

材料的耐磨、耐污、抗渗性能均优于国家标准，其使用年限和安全系数远超传统装修材料。材料的防火等级符合国家标准，吊顶可达到 A 级防火，墙面、地面可达到 B1 级防火。材料的防潮及防水性能也优于传统装修材料，可以很好的解决南方城市潮湿、发霉等室内硬装常见问题，项目标准如表 2 所示。

表 2 项目装修材料表面耐污染及耐磨性能标准

产品	检验项目	技术要求	项目标准
科岩墙面板	表面耐污染性能	≥ 4 级	5 级
	表面耐磨性能	$\geq 80\text{r}$	1100r

本项目使用的装修材料节能环保，可实现即装即住；注重健康环保的同时，给人们提供了亲生态的绿色居住空间。

（二）装配式装修施工工艺

本项目采用装配式装修与传统装修相比，工艺简单，工序简化，大大降低对人工的要求。采用大板块，标准化的安装方式，全干法施工，在减少工期、节约项目成本的同时，也缩小了硬装占用面积，提高了得房率。

吊顶系统：主要由基层——几字形龙骨，面层——琉晶板材，连接件——底座、螺钉、胶黏剂，三者共同构成。安装空间垂直方向上，首先把几字形龙骨卡接底座后共同粘结在面层背面，然

后由螺钉固定龙骨与底座，防止龙骨与底座脱开的同时形成顶板模块；水平方向上由水平连接件——嵌缝条连接，拼缝间由木块固定。两方向固定后使得吊顶形成整体结构，整体安装，实现吊顶的快装，同时保证了安装面的平整性；如图 2 和图 3 所示。

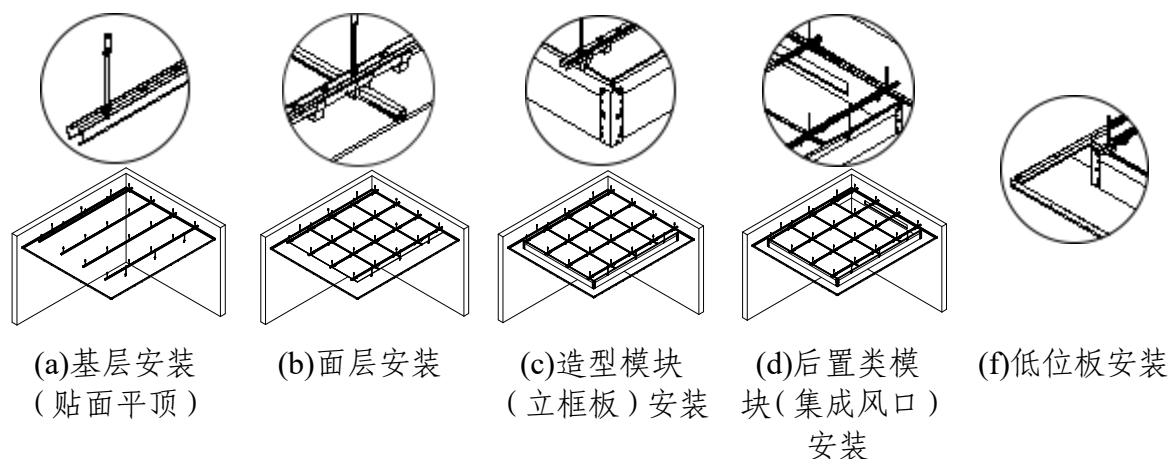


图 2 装配式吊顶安装顺序



图 3 装配式吊顶现场安装图

墙面系统: 墙体的调平安装技术采用将竖龙骨的两端分别与天龙骨和地龙骨连接, 天龙骨和地龙骨分别与墙体上部和墙体下部连接, 使得竖龙骨与墙体相对设置, 装饰层可通过竖龙骨安装在墙体上, 降低装配难度, 提高装配速度; 支撑座与竖龙骨配合使用, 然后将调平螺杆插入支撑座的第一通孔内, 而且第一螺纹段和第二螺纹段均采用半螺纹结构, 当螺杆抵牢原始墙体, 将螺杆顺时针旋转 90° , 即可完成调平, 如图 4 所示。该装置通过调

节调平螺杆的插入深度，为竖龙骨提供有效支撑，保持竖龙骨的平直延伸，实现竖龙骨相对墙体的找平，为安装在竖龙骨上方的装饰层提供相同的支撑高度；支撑座与调平螺杆通过螺纹连接，可提高调平精度；并且半螺纹底座可对转动角度进行限位，避免过度调节，保证连接稳定性。在出厂前，可将支撑座安装在竖龙骨上，在施工现场只需要完成调平螺杆的安装和定位。安装步骤简单，降低组装难度，提高安装速度，如图 5 所示。

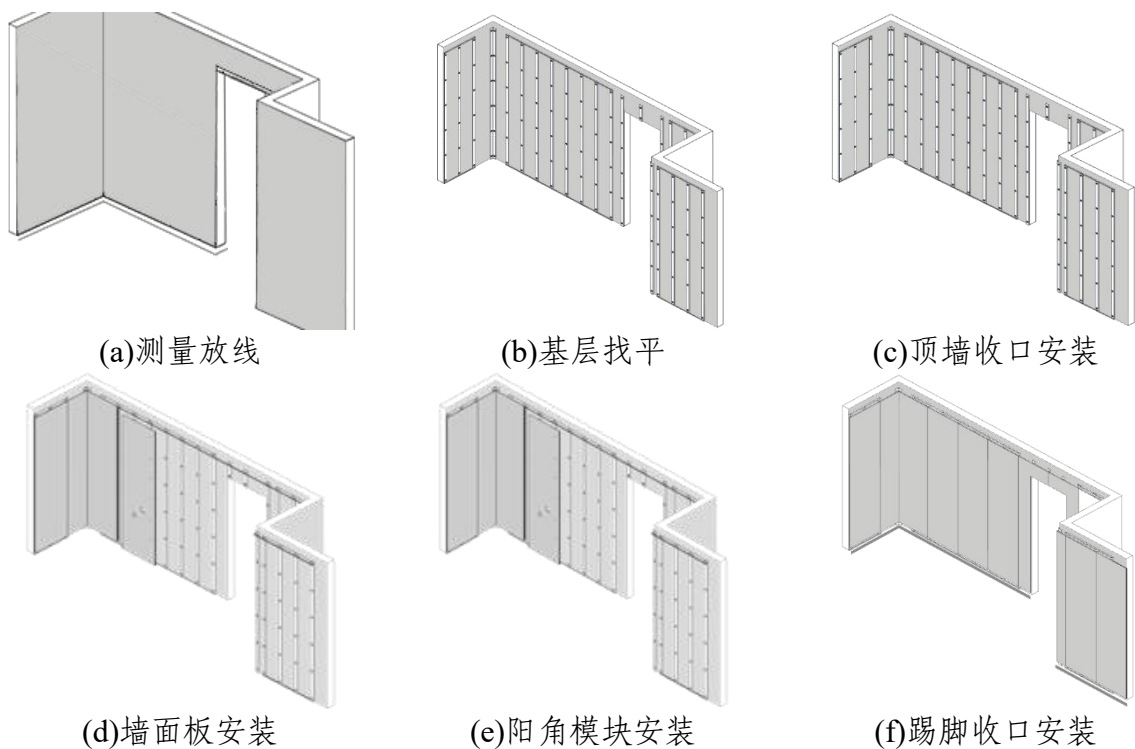


图 4 装配式墙面安装顺序



图 5 装配式墙面现场安装图

地面系统：其结构包括面层、静音垫和由无机板材构成的基材层以及注塑于基材层外周的环形的塑料体，面层粘接复合在基材层上方，静音垫粘接复合在基材层下方，基材层的各个侧边均通过槽口结构与所述塑料体的环形内侧壁贴合连接，塑料体的外侧壁交错设有若干个卡扣和若干个卡槽，卡扣与卡槽相适配，如图6和图7所示。从而使其在安装时可以使各种无机板材与塑料板材完美复合，机械连接效果好，复合板之间插接方便快捷。

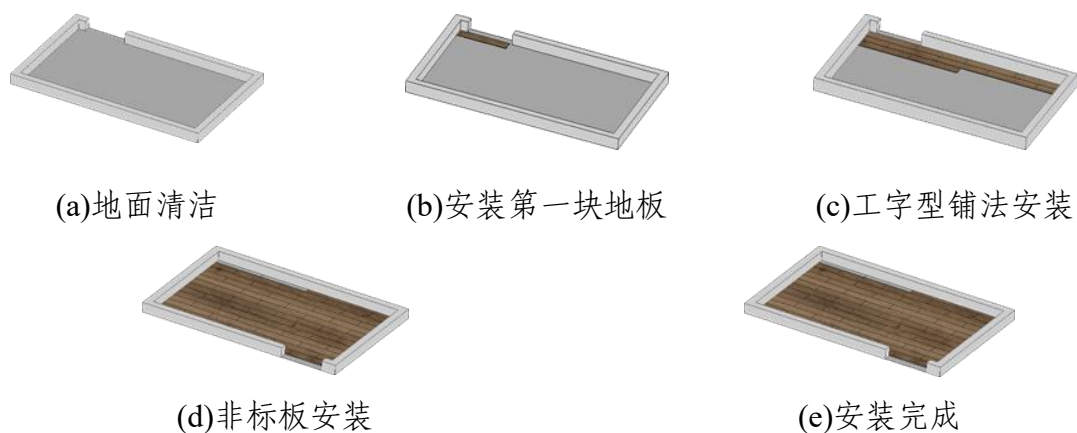


图6 装配式地面安装顺序



图7 装配式地面现场安装图

(三) 数字化管理的应用

本项目在管理上实现了工程管理与数字化的融合，结合数字

化运营管理决策平台和 IT 治理体系，让数据成为真正的生产力。通过 BDS 设计系统和 ERP 管理系统，其中 BDS 为 BIM 核心数据生成平台，两个系统总共超过一百个细节功能点，让项目数据流转更加顺畅、精准、高效，大大提升从产品、设计、生产到施工的项目全过程管理质量及效率。

四、应用成效

与传统装修相比，拥有一体化设计、预制式生产、装配化安装、信息化管理等特点的装配式装修优势明显。2019TP01 项目（特房樾熙湾）通过实施装配式装修，主要在以下方面取得成效：

（一）预算方面

装配式装修成本可控，设计阶段即可通过分类统计进行快速的工程量分析，实现对成本的初步控制，按双方议定好的图纸签合同后工厂生产直接组装，实现真正的一价到底。

（二）成本运营方面

产业工人代替传统装修技工，大幅降低人工成本，与传统装修相比较，可实现节约工费 60%，原材料基本无浪费。大大加快开发周期，节约资金时间成本，节省建设管理费用和财务成本，降低项目生产成本，综合效益明显。

（三）质量方面

传统装修限于材料的处理、施工者不同的技术水准，每次施工都无法完全相同，品质难以保证。隐蔽工程较多，湿作业容易导致空鼓、开裂、漏水，装修产品不定型，质量不易控制。装配式装修装配标准化率达到 90%以上，装修部品部件均在工厂机械化生产，有严格的品质技术控管，到现场只是组装，所有装配项目、环节及装配动作均标准化、程序化，品质稳定，可以 100%忠实于设计施工，规避装修常见问题。易损部品采用新技术，使用寿命得到提高。

（四）环保方面

装配式装修摆脱了传统装修依靠手工技术进行现场作业的方式，避免了手艺水平决定装修质量的局面，产业工人按照标准化装配程序进行现场组装。从现场多专业协作到安装工流程化安装，现场环节极大简化。内装技术体系配合标准化设计、工厂化生产、信息化管理，工期比传统方式缩短近 50%。并且与传统装修相比，可以减少碳排放量。

装配式装修产品质量安全、低碳环保、节约工期、成本可控，真正实现了更环保、更健康、更低碳、更可靠、更快捷，在促进项目建设提质增效等方面成效显著。

福州市长乐区新村小学

一、基本情况

（一）项目概况及装配式建筑主要技术指标

福州市长乐区新村小学项目，位于福州滨海新城漳江路东侧，湖文路南侧。项目建设规模为 48 个班，建筑内容包括教学楼、综合行政楼、多功能厅及体育馆、运动场、环形跑道、停车场、人防工程以及相关的室外配套设施等附属工程。

其中教学楼结构类型为装配式框架结构，建筑高度 18.15m~19.65m，建筑面积 13744m²。项目已经通过设计阶段预评价，建筑单体装配率为 91%，已经完成主体施工。

（二）参建单位

建设单位：福州市长乐区教育局

代建单位：福州新区开发投资集团有限公司

总承包单位：中建海峡建设发展有限公司

设计单位：中建海峡建设发展有限公司

部品部件生产单位：中建科技（福州）有限公司

深化设计单位：中建海峡建设发展有限公司

施工单位：中建海峡建设发展有限公司

监理单位：福建省机电沿海建筑设计研究院有限公司

二、工程应用的装配式建造技术及特点

本项目教学楼创新设计实施全装配式混凝土结构体系，预制构件种类包括预制柱、预制外挂墙板、预制三 T 板、预制楼梯、预制叠合梁、预制叠合板等。创新采用三 T 板+免撑免模体系，形成了“模块化设计+智能生产管理+快速装配建造”的预制混凝土结构全装配施工体系。

（一）预制构件生产方面

智慧工厂运营管理平台集成 PC 自动流水线控制、信息化生产管理、三维太阳能逐日蒸汽养护、绿色搅拌站管理、起重设备智能管理 5 大系统，可涵盖工厂生产从设计导入、项目创建、排产管理、质量管理、堆场管理、发运管理全流程，实现质量和进度双维度智能管控，促进智能制造与智能建造的有机结合，提升品质，降低成本，平台实况如图 1 所示。



图 1 智慧工厂运营管理平台

（二）预制构件设计方面

在方案设计阶段就开始装配式建筑策划，全专业进行协同设计，方案采用标准统一模块化设计，以可持续发展为核心，实现全生命周期设计。形成基于面积标准和空间适应性的标准化教室模块，每个标准模块由 3 块外墙板、3 块 3T 板、4 个柱子、4 根梁标准构件组成，如图 2 所示。

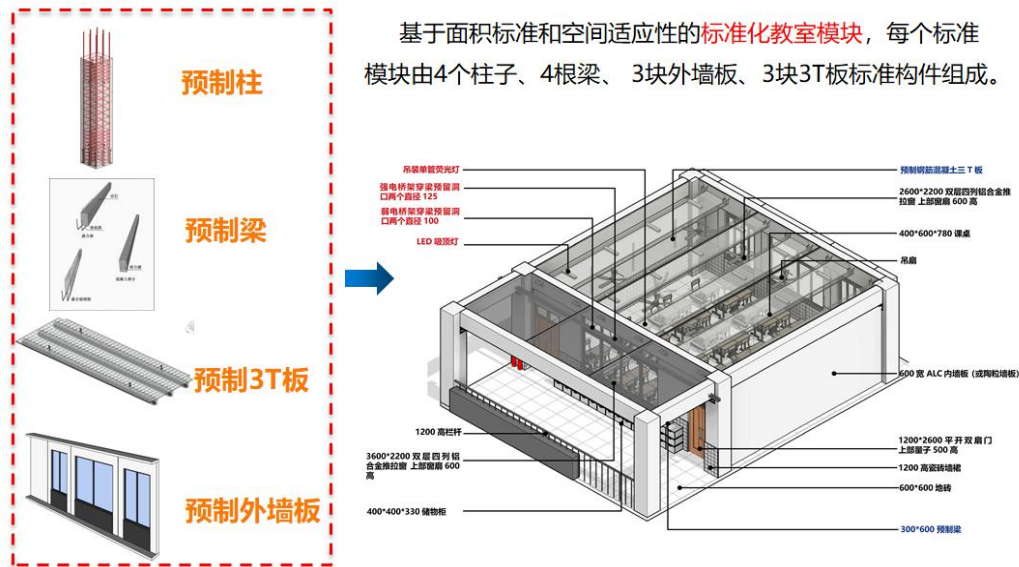


图 2 装配式建筑设计方案

竖向构件采用预制柱，上下柱连接采用钢筋套筒灌浆连接，进一步提高装配率，确保装配体系的完整性，解决传统装配和现浇混用的问题。

外墙采用预制外挂墙板，集成了窗户副框、悬挑板、滴水线等部件，一体化生产，大幅压缩施工措施费用及人工成本。

地面采用干布式无机磨石地面设计，一体化地面，一次施工成型，污染物排放减少约 12%，节能环保；单栋缩短整体工期约 1 个月。

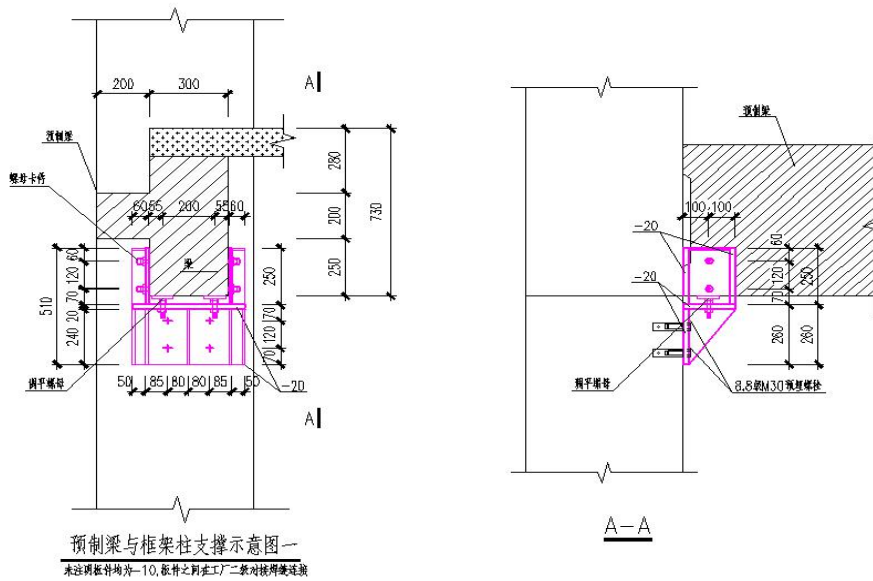
三、案例实施情况

(一) 预制三T板+免撑免模体系

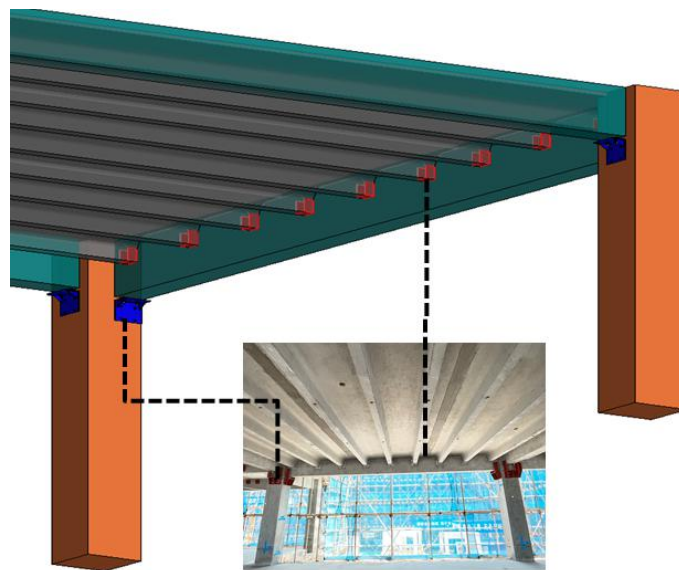
项目应用公司创新研发的预制三 T 板构件，提高整体预制装配率进而提高施工质量，如图 3 所示。结合教室开间对三 T 板进行深化设计，每间教室采用相同规格的数块预制三 T 板，减小了梁高，室内净空大，吊顶安装空间足，标准化程度高，天花效果整洁。

在施工过程中，预制三 T 板采用预埋在叠合梁上的 U 型钢牛腿支撑，免除满堂架支模体系搭拆等工序，实现免撑免模施工，

标准化组合，绿色施工，快速建造。



(a)



(b)

图3 预制梁与框架柱支撑示意图

工艺流程：施工准备→放线定位→叠合梁及预埋件定位复核→起吊及就位→微调校正及复核→拆除加固槽钢→板缝封堵→现浇层施工→防腐处理。

构件运输过程中，每块三 T 板增加四道横向槽钢，有效避免三 T 板因过长产生底部开裂。起步 1.1m 设置第一道，后续每间

隔 1.7m 设置一道。构件厂安装完成后装车，吊装过程中不得拆卸，混凝土现浇层施工完成后拆除槽钢，吊装现场如图 4 所示。

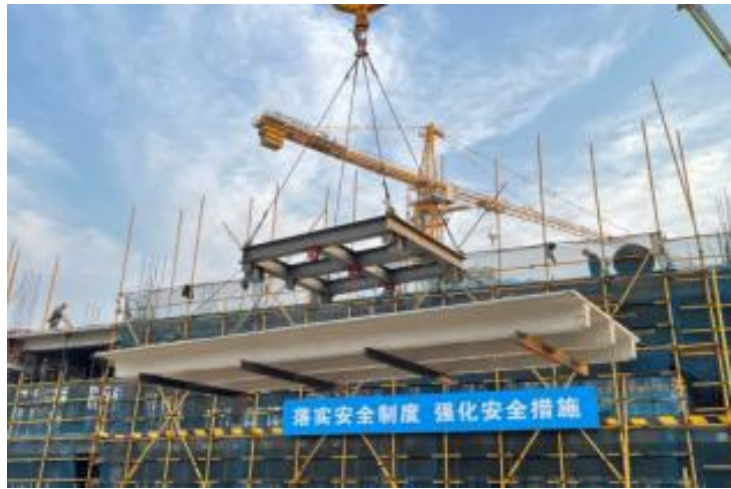


图 4 三 T 板施工吊装现场图

构件安装过程中，创新研发免模免撑钢牛腿，如图 5 所示。三 T 板采用设置于预制叠合梁上的 U 型钢牛腿支撑，免除板底竖向支撑，叠合梁在预制柱上采用设置于柱顶部的钢牛腿进行支撑，免除大面积模板支撑架搭设和拆除施工，减少材料投入量，建筑垃圾少。

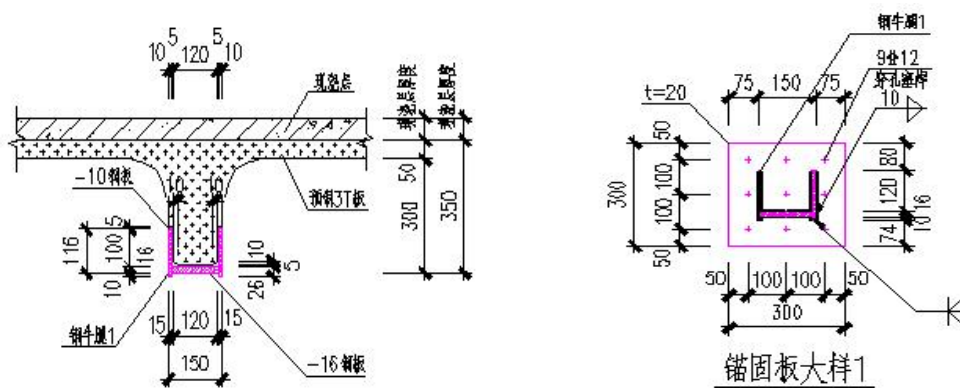


图 5 免模免撑钢牛腿示意图

相邻构件连接处，三 T 板板缝采用密缝拼接，预制混凝土构件截面尺寸质量控制精确，连接槎处平整度、顺直度控制好，构件吊运装配完成达到连接密缝，浇筑上部混凝土结合成整体且不漏浆。吊装完成后，下部粘贴 200mm 宽镀锌钢丝网，抗裂砂浆

施工密实、平整，便于后期装饰施工，如图 6 所示。



图 6 三 T 板应用情况

(二) 预制柱安装及套筒灌浆施工技术

本项目采用预制柱施工，竖向结构施工材料投入量少；后续工序衔接快，可实现结构阶段预制梁免撑施工，水平结构支撑和模板材料投入量少，降本增效，如图 7 所示。

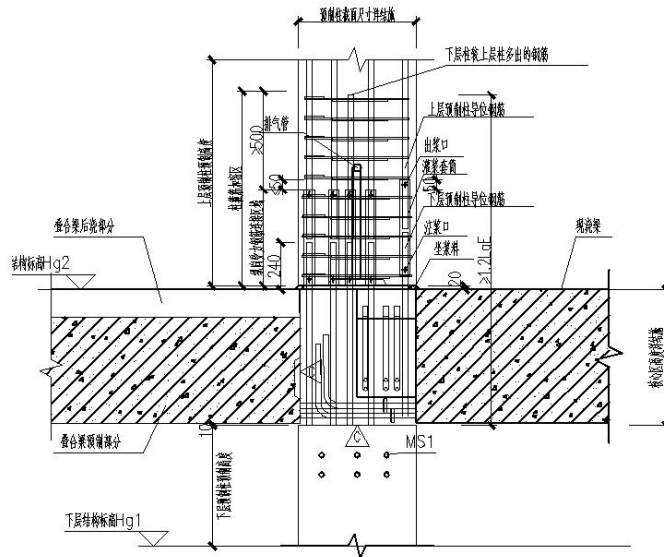


图 7 一般层预制柱与预制柱连接大样图

工艺流程：施工准备→放线定位→钢筋定位→底部凿毛→预制柱吊装→底部封浆→拌制灌浆料→压力灌浆→监测压力→成品保护。

预制柱安装前，采用双层定位钢板对预留钢筋进行限位校准，有效解决板面混凝土浇捣对预留钢筋扰动造成歪斜偏位的问题。混凝土成型后，预留钢筋仍按照定位钢板限位保持整齐顺直，对定位效果起到显著的提升，如图 8 所示。



图 8 双层定位钢板限位校准现场图

预制柱坐浆阶段，采取板面凿毛措施，增大坐浆料与柱底、楼面接触面，并设置钢丝网等措施，有效地消除了底部坐浆部位的薄弱点，增强了坐浆料整体抗拉性能。

预制柱灌浆方面，采用专用监测器安装于预制柱出浆口，检测灌浆饱满度，且利用回灌功能保障灌浆套筒顶部灌浆密实，确保预制柱节点连接质量，如图 9 所示。



图 9 专用监测器布设图

(三) 单元式预制混凝土外挂墙板施工技术

结合项目教室开间尺寸拆分成两种标准尺寸的预制外挂墙板，墙板组合集成了窗户副框部件，实现工厂一体化生产，现场模块化安装，免外架免内撑，一次安装成型，如图 10 所示。

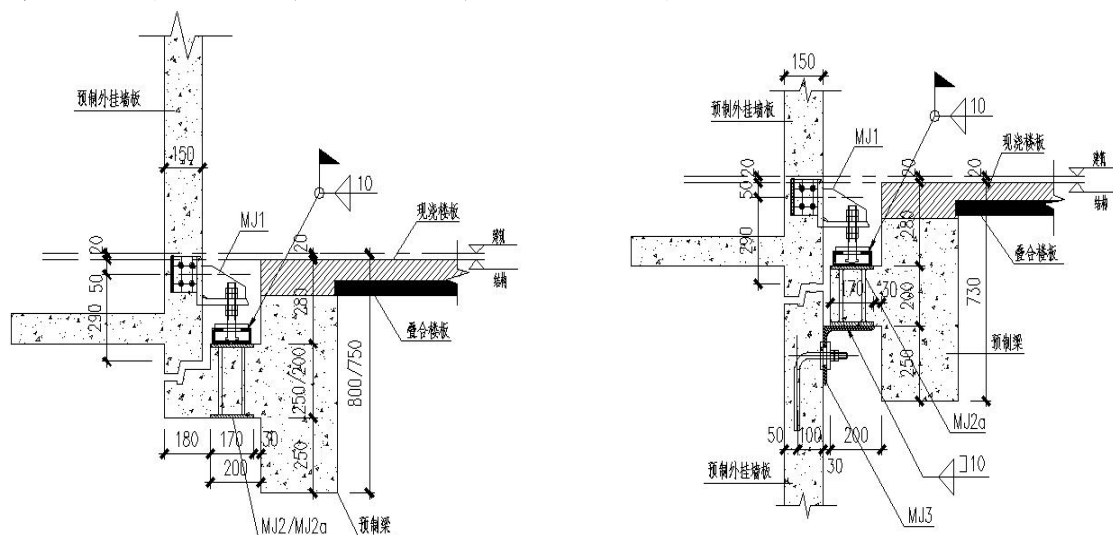


图 10 预制外挂墙板详图

工艺流程：施工准备→放线定位→进场检验→构件吊装→构件安装→构件校正→节点连接→拼缝防水处理。

预制外挂墙板吊装前，根据预制外挂墙板吊装索引图，在预制外挂墙板上标明各个预制外挂墙板所属的吊装区域和吊装顺序编号，以便于吊装工人确认；并按设计要求，根据楼层已弹好的平面控制线和标高线，确定预制外挂墙板安装位置线及标高线并复核。

预制外挂墙板施工时，应边安装边校正，根据已弹的预制外挂墙板安装控制线和标高线，调节预制外挂墙板的标高、轴线位置和垂直度。预制外挂墙板现场情况如图 11 所示。



图 11 预制外墙板现场图

四、应用成效

(一)项目实施对推动住房和城乡建设领域科技进步的作用

通过该装配体系的设计和应用，项目装配率按省标评级高达 91%，达到省内领先水平。有效解决国内传统预制装配结构体系存在的现浇与预制混用的问题，实现全预制施工，免撑免模，其中采用的预制三 T 板构件为国内首创，技术水平和难度达到国内先进水平。

项目在建造全过程、全专业应用 BIM 技术，发挥工业化生产优势，项目全专业 BIM 应用，打造出涵盖建造各环节的数字化管理平台，推进设计、施工、生产信息共享，并利用智慧工地平台对构件实施设计、生产、运输、安装等进行全过程跟踪，实现智慧建造。

通过实施工程总承包管理，综合运用装配式建造技术、BIM 应用及绿色建造技术，为项目建设带来全方位提升，并对住建行业科技进步起到推动作用。

(二)社会、经济和环境效益分析

项目通过工程总承包管理模式的运行，将新型装配构件和免支撑体系的研究应用、BIM 技术的协同、智慧建造平台、绿色建

造等多项技术集成，相对于传统预制装配结构体系，减少了竖向支撑和模板安装工作量，降低成本，减少工程投资，且工序相对简单，减少工序搭接时相互影响缩短施工周期，有显著的工期效益。经过测算，通过高装配体系施工单层结构工期可缩短 2 天，整体工期缩短约 20%，总体造价节约 5%，废水等污染物排放减少约 12%，既提高经济性又节能降耗，经济和社会效益显著。对推动经济社会可持续发展起到积极作用。

（三）项目示范意义及推广价值、推广可行性、推广范围

近年来，我国积极探索发展装配式建筑。2017 年 5 月，福建省人民政府办公厅发表关于大力发展装配式建筑的实施意见，积极响应国家号召，全面推进装配式建筑发展。随着国家和地方政策支持的不深入，推动建造方式创新，大力发展装配式建筑，可以预见，在今后一段时期，我国的装配式建筑将会得到飞速的发展，装配式建筑在新建建筑中的比例将不断提高。

本项目围绕突破制约工业化建筑规模化发展标准化瓶颈的总体目标，为福州市装配率最高的项目、福州市装配式建筑推进的试点示范项目，为全行业推进建筑工业化、发展装配式建筑及加快建筑业产业升级提供重要技术支撑。将对全行业装配式及绿色建造起到科技示范作用，具有广泛的推广价值及推广意义。