

附件 2

福州建工（集团）总公司“建筑生产基地”项目

一、基本情况

福州建工（集团）总公司“建筑生产基地”项目工程位于福州闽侯县高新区旗山大道东侧。本工程地上建筑面积 24129.71m²，地下建筑面积 7442.84m²，总建筑面积 31572.55m²，由 1 栋 11 层写字楼、一栋 1 层门卫及一层地下室组成，其中写字楼建筑高度 49.5m，门卫 4.8m，单层地下室高 5.5m。工程总投资 20000 万元，建设周期为 731 天。

建设单位：福州建工集团有限公司

设计单位：福州市建筑设计院有限责任公司

监理单位：福州市建设工程监理有限公司

勘察单位：福州市建筑设计院有限责任公司

工程总承包单位：福州建工集团有限公司

二、项目应用的装配式建造技术及特点

（一）自主研发技术-适合福建地区的预制混凝土外挂墙板整体运用技术

本工程自主研发适用于福建地区的预制混凝土外挂墙板整体运用技术。外挂墙板为折线形，采用工业化方式生产。



图 1 预制混凝土外挂墙板

采用了创新性可活动旋转式墙板运动模型,此为福建省首例,预制外挂墙板采用挂点衔接上下板材的方式,在保证结构可靠性的同时形成了外墙一体化造型,生产外挂墙板的同时在侧面预埋附框,使得外挂墙板与玻璃幕墙有效的连接,保证外立面风格统一。

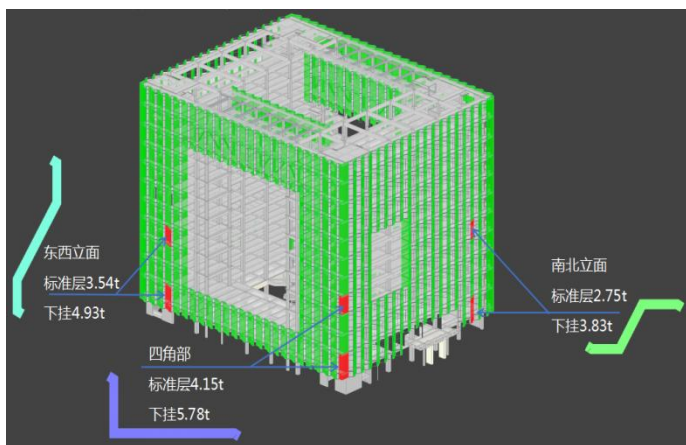


图 2 外挂墙板设计

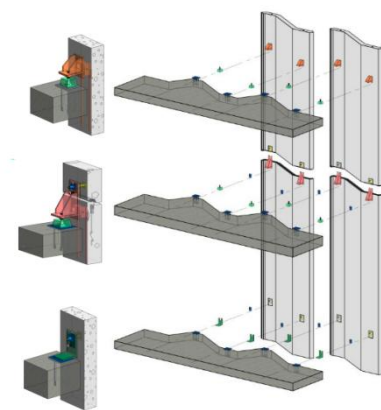


图 3 外挂墙板节点

(二)高空钢桁架连廊-大跨度钢结构连廊全过程仿真分析及监测技术

本工程两塔楼在 11 层~屋顶层间距 32.4m,为减小梁高,提高室内净空高度,采用实腹式钢桁架,总跨度为 26.5m,最大吊装高度 49m,吊装完成后还需要在连廊部分安装外挂板、桁架楼板等构件,对钢结构加工精度、起拱计算、吊装安全与质量等均有较高要求。

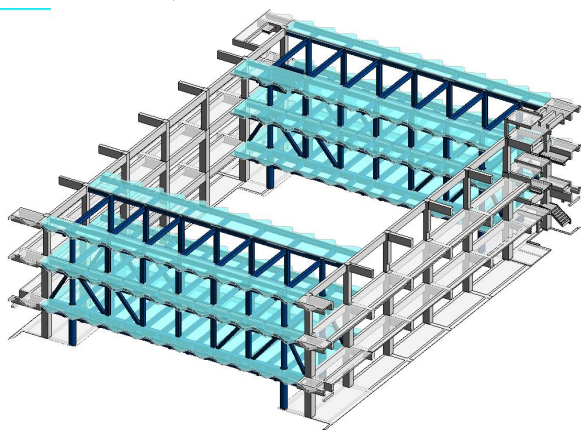


图 4 钢桁架连廊

本工程运用“大跨度钢结构连廊全过程仿真分析及监测技术”，利用 MIDAS/GEN 软件对其施工全过程进行模拟分析，模拟从吊装到构件安装全施工过程中结构的应力和竖向变形的变化。

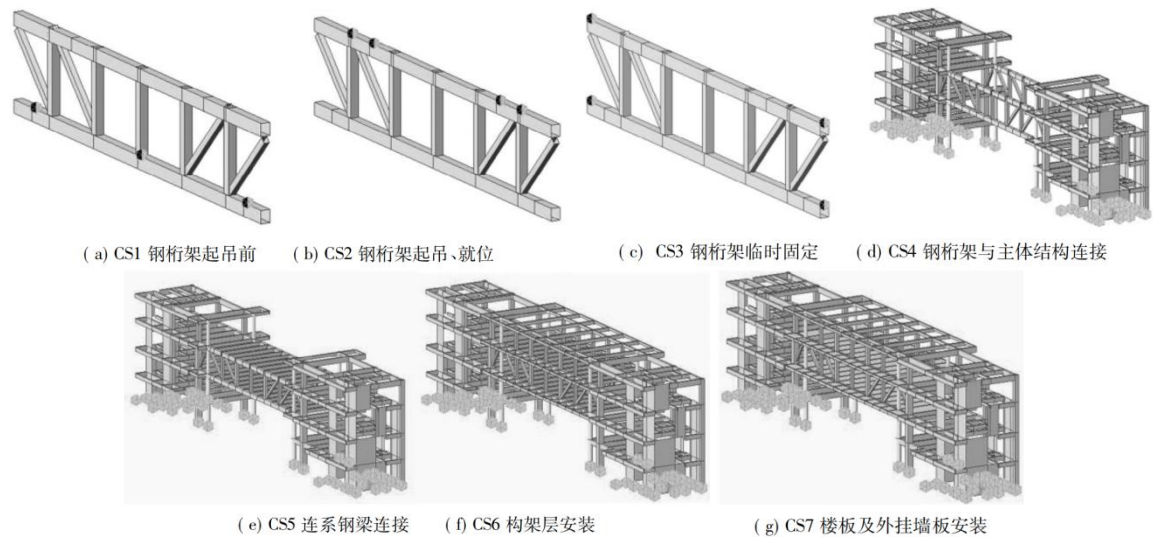


图 5 钢结构连廊施工模拟分析

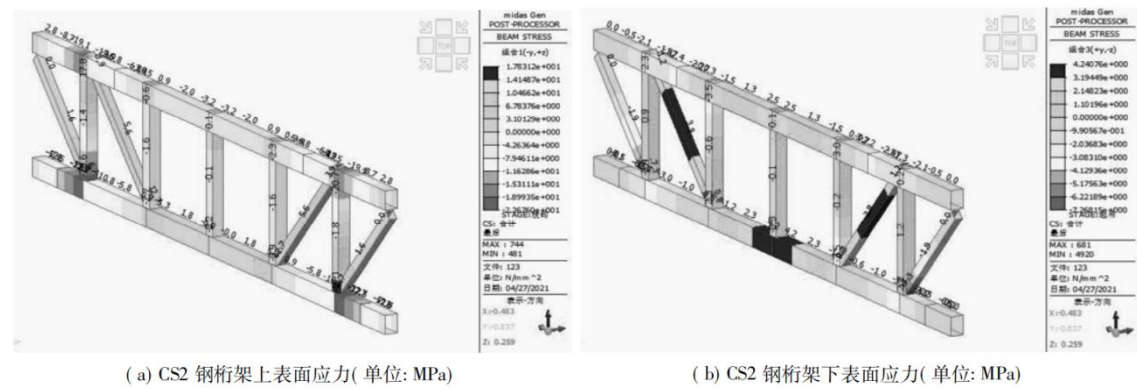


图 6 钢结构连廊应力分析

分析计算得出，吊装过程中弦杆应力增量最大值出现在跨中上、下弦杆，腹杆应力增量最大值出现在两侧斜腹杆中部，施工过程中应重点监控。

全过程监测选取在应力模拟值较大位置的杆件来安装应变传感器，测点具体布置如图所示。

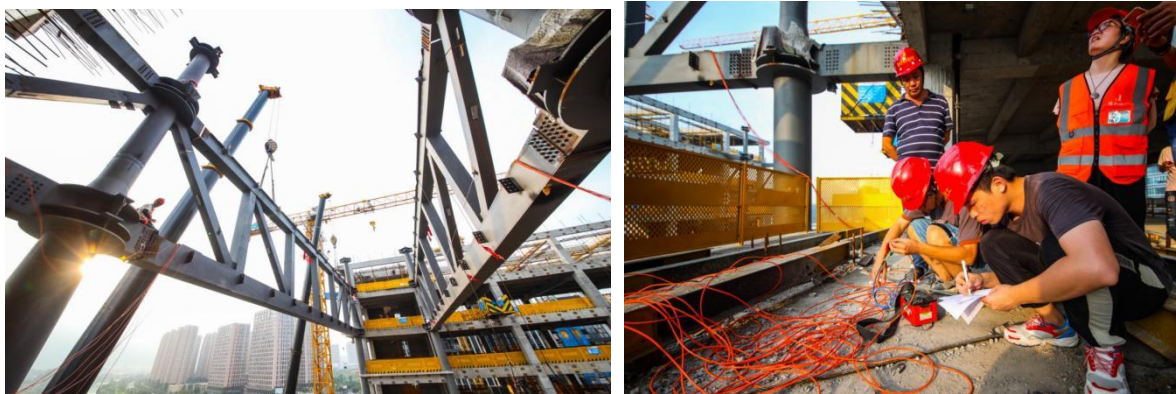


图 7 钢结构连廊施工过程中监测

对比模拟与监测数据，各关键杆件的应力变化较为一致，整体应力水平较低且可控，结构处于安全状态。

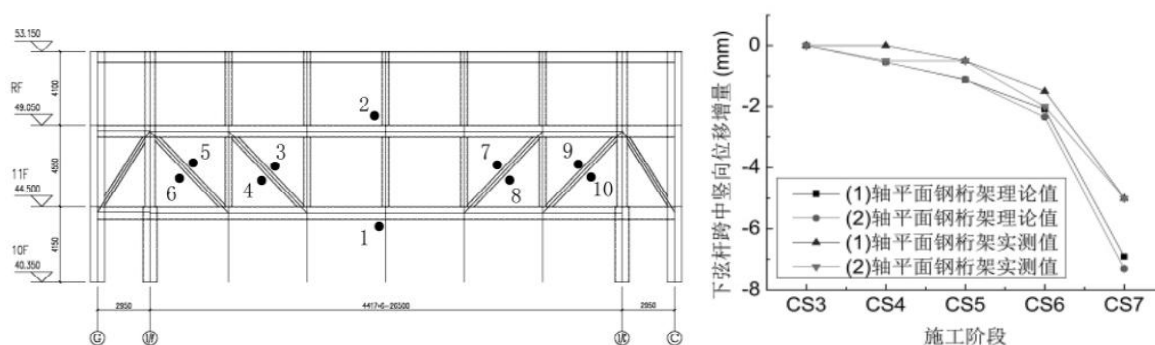


图 8 钢结构连廊施工过程中监测数据



图 9 钢结构连廊吊装施工

(三) 基于 BIM 技术的装配式构件深化

本工程通过搭建三维工程模型进行辅助设计，以三维 BIM 模型为出发点和数据源，完成从方案设计到施工图设计的全过程任务，充分发挥 BIM 技术可视化的优势，各专业协同深化设计、信息共享。

1. 叠合板深化

本工程 6~8 层楼板采用叠合板,运用 PKPM-BIM 软件生成深化图纸,其参数化设计大大提高了深化图纸的准确性,三维可视化设计相较于传统的二维设计更加快捷直观,减少了繁琐预制率的计算步骤,进一步提高设计出图效率。

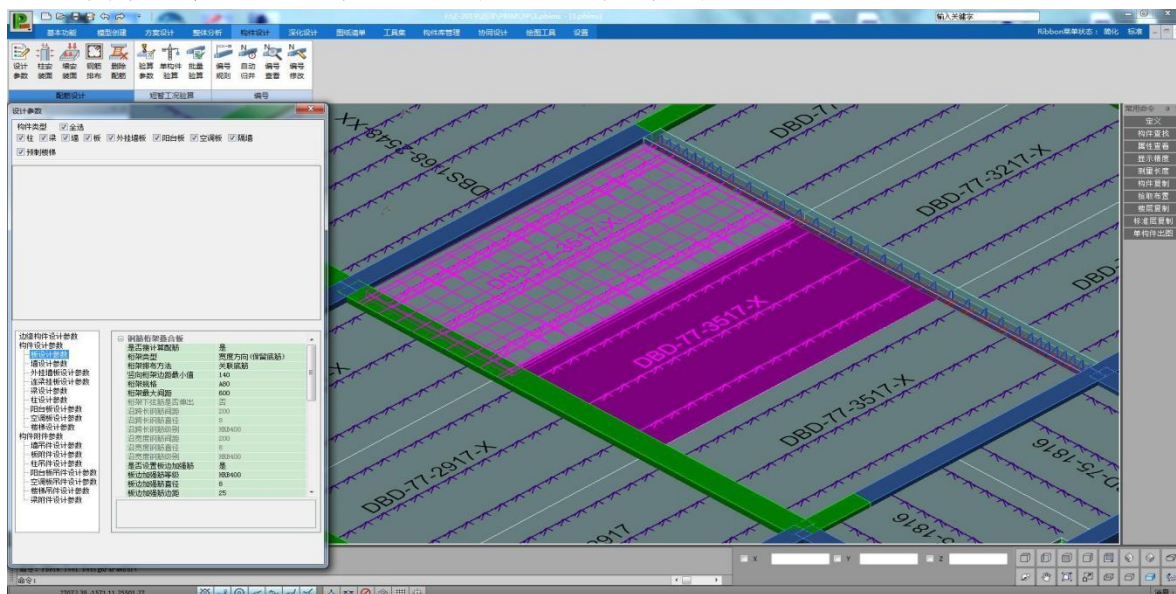


图 10 装配式构件深化

预制率统计表

导出到Excel(T) 退出(E)

装配式建筑预制率

预制率统计表 (项目: 福州建工集团“建筑生产基地”)

层号	层数	预制体积						现浇体积					
		预制外墙	外挂墙板(连梁)	外挂墙板(点连接)	叠合板	预制阳台板	预制空调板	其他	墙	梁	板	柱	楼梯板
6层	1	74.28	0.00	0.00	72.97	0.00	0.00	0.00	16.38	197.78	124.22	104.33	0.00
7层	1	74.28	0.00	0.00	78.89	0.00	0.00	0.00	16.38	197.78	118.30	104.33	0.00
8层	1	74.28	0.00	0.00	78.89	0.00	0.00	0.00	16.38	197.78	118.30	104.33	0.00
合计		222.84	0.00	0.00	230.75	0.00	0.00	0.00	48.14	593.34	360.81	313.00	0.00
预制率计算		预制体积(m³)		总体积(m³)		调整系数		预制率(%)		指标要求(%)		是否满足	
		453.59		1769.88		1.00		20.12		20.00		满足!	

图 11 预制率计算书

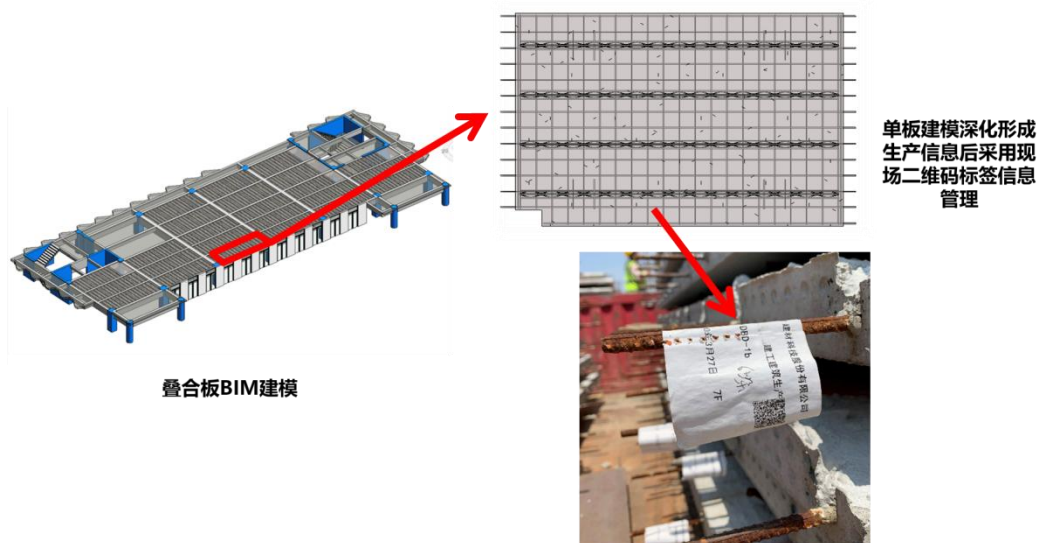


图 12 构件物联网应用

2. 预制混凝土外挂墙板深化

运用 BIM 技术对预制外挂墙板的拆分及吊装分析模拟，可直接作为外墙板施工的可视化技术交底资料。并对预制外挂墙板进行精细化建模，在模型进行碰撞检查，对不易施工位置墙板优化调整。



图 13 预制混凝土外挂墙板模型

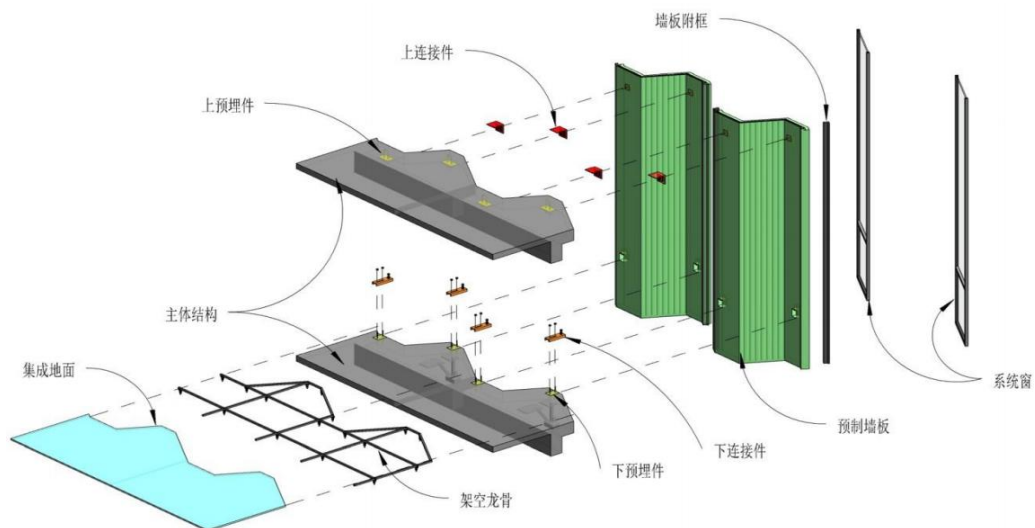


图 14 外挂墙板三维分析

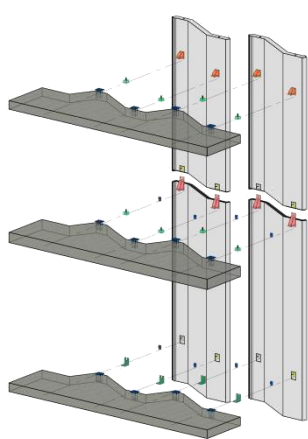


图 15 预制外挂墙板构造的拆分与拼装

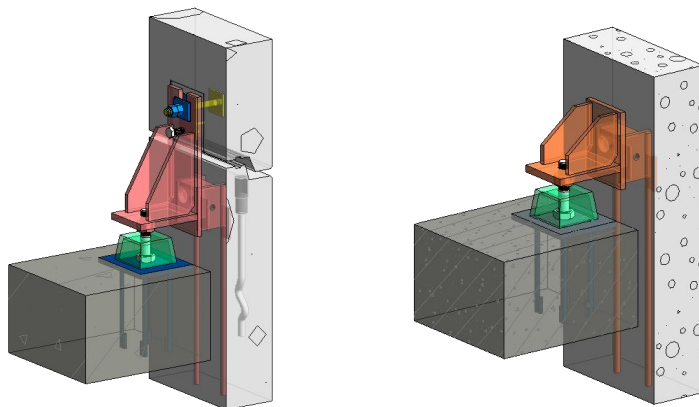


图 16 节点模型

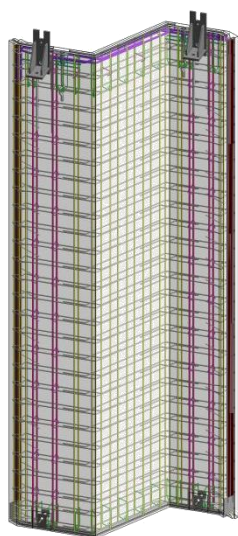


图 17 预制外挂墙板配筋模型

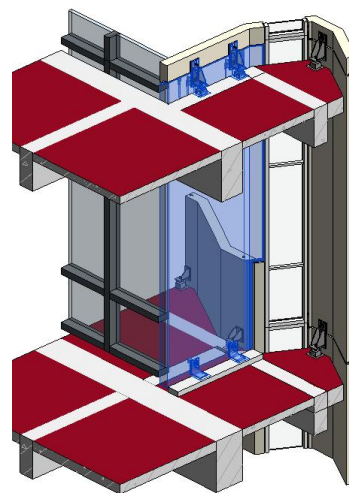


图 18 相邻墙板交接模型

（四）装配式叠合板技术

本工程北侧 6~8 层楼板采用叠合板施工技术，施工简便快捷，下部预制混凝土部分可以很好的解决施工现场踩筋露筋的现象，在保证上下面层钢筋间距、底部钢筋保护层以及钢筋间距定位等方面均有着良好的效果。



图 19 混凝土叠合楼板施工

（五）工业化成品支吊架技术

本工程根据 BIM 模型确认的机电管线排布，通过数据库快速导出支吊架型式，从供应商的产品手册中选择相应的成品支吊架组件，经过强度计算，根据结果进行支吊架型材选型，设计，工厂制作装配式组合支吊架，在施工现场仅需简单机械化拼装即可成型，减少现场测量、制作工序，降低材料损耗率和安全隐患，实现施工现场绿色、节能。



图 20 工业化成品支吊架应用

三、项目实施情况

(一) 经验做法

本工程因用地朝向为南偏东 30°，建筑房间窗体朝向无法设置为南北向，因此工程外墙体整体设计呈曲折状，自主研发适合福建地区的预制混凝土外挂墙板整体运用技术，设计将外窗造型进行两个方向推拉，形成折线形外墙，使得外窗朝向正南，避免西晒。建筑采用回字型规划布局，最大化利用南北楼间形体自遮挡。

由于预制混凝土外挂墙板整体为不规则异形平面，单元板块外挂墙板体积大，单块重量高达 3~6 吨不等，造成现场吊装施工难度大。为此，本工程通过对外挂墙板进行设计优化，利用 BIM 正向设计解决外挂墙板分块不合理的问题，全楼共 728 片外挂墙板优化后仅分为 3 类，大大节省了外挂墙板的生产成本。

材料选用新型配方页岩陶粒混凝土，页岩陶粒种类和参量配比通过多次试验选定，最终达到减重约 20%和增强保温节能性能约 30%的效果，位于标准层的南北立面折板模块质量为 2.75t，其下挂折板模块质量为 3.83t，位于标准层的東西立面折板模块质量为 3.54t，其下挂折板模块质量为 4.93t，位于标准层的四角部折板模块质量为 4.15t，其下挂折板模块质量为 5.78t。

表 1 外挂墙板重优化前后对比（以标准 WQ1-4500 为例）

项目	C30 普通混凝土	C30 陶粒混凝土	减重比
混凝土容重	2.4 吨	1.8 吨	25%
外挂墙板重	4.4 吨	2.9 吨	15%

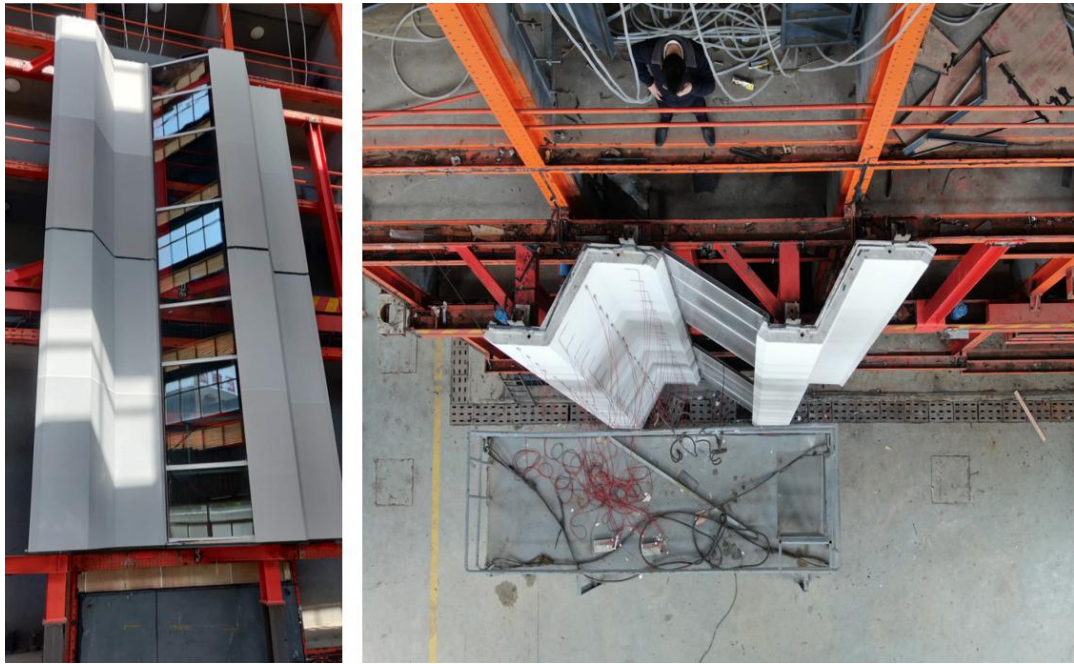


图 21 预制混凝土外挂墙板性能试验

预制混凝土外挂墙板造型独特复杂，现场采用无外架吊装，安装固定困难，为消除主体结构预埋件的细微偏差对外挂墙板连接节点的影响，本工程外挂墙板与预埋件连接采用“点支承连接技术”。

点支承连接技术：挂板与预埋件采用柔性连接的方式，在允许误差 3cm 范围内进行可调螺栓连接，有利于安装误差的调整和挂板单元块变形控制。

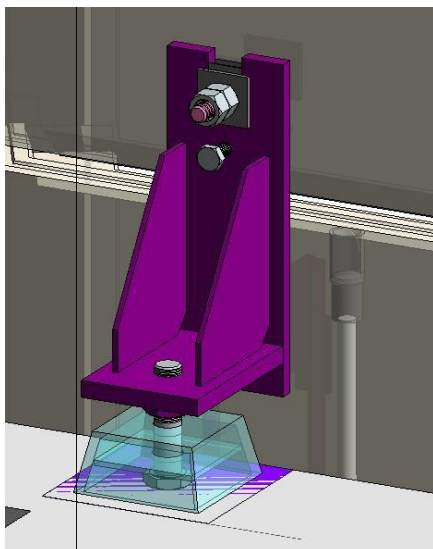


图 22 点支承连接模型

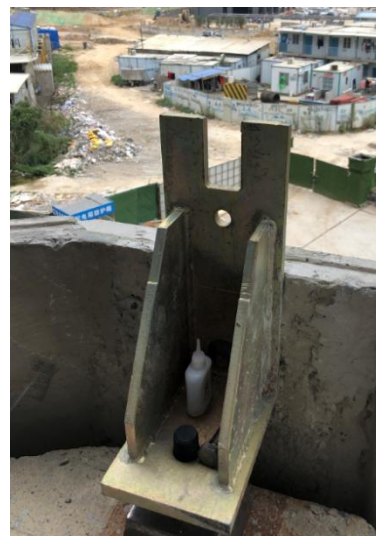


图 23 点支承连接现场施工

折线外挂墙板的挂点需要落位在折线形悬挑楼板上，因此对结构尺寸以及标高要求极高，针对结构施工特点，分别进行支撑预定位，对悬挑板支撑薄弱位置采用钢管架独立搭设并与内部连接，模板支撑稳定，有力的保证了折线形悬挑板结构尺寸精准，标高准确，外挂墙板吊装过程中无结构返工。

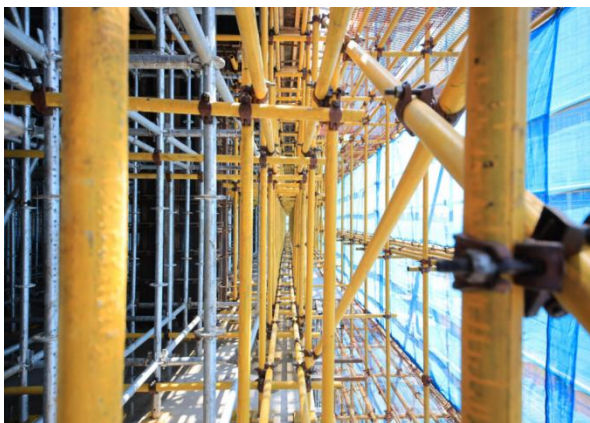


图 24 外挂墙板的挂点支撑预定位



图 25 外挂墙板的挂点结构

挂板连接采用企口做法，内高外低便于排水。拼缝处外侧采用发泡聚乙烯棒填充，耐候胶封口，内侧设置橡胶密封条挤压封口，耐火胶收口，内外侧双重防水、密封。

（二）创新举措

1. 发明专利《一种叠合板安装台车配合塔吊安装叠合板的施工工艺》（专利号：202011531162X）

一种叠合板安装台车配合塔吊安装叠合板的施工工艺，包括底板，底板的外壁顶部边角处均通过螺栓安装设置有升降气缸，且升降气缸的顶端通过螺栓安装设置有驱动板，驱动板的外壁顶部边角处均固定设置有支撑柱，且支撑柱的顶端外壁中心处固定设置有调整板，调整板的外壁顶部中心处开设有安装口。通过旋转板、升降气缸、夹持气缸、限制架、步进电机和旋转筒，可以实现对叠合板的安装位置进行稳定的夹持和调整，方便使用者进行快速的定位和安装，通过驱动夹持气缸、夹持板和定位筒，可以实现对叠合板进行稳定的限制和固定，避免在安装和定位的过

程中，造成叠合板发生滑脱或者偏移，提高了使用的便捷性。



图 26 叠合板安装

2. 实用新型专利《一种建筑外立面外挂墙板》（专利号：202023139089X）、《一种建筑外立面外挂墙板》（专利号：2020231184394）

建筑外立面外挂墙板包括外层混凝土层、钢筋网层、保温墙板和内层混凝土层，钢筋网层设置于外层混凝土层与保温墙板之间。保温墙板设置于保温墙板与内层混凝土层之间。本实用新型，在吊装前，安装人员对吊装件进行安装，便可以通过吊装件实现对外挂墙板的吊装，完成吊装后，可以拆卸吊装件，保障外挂墙板的平整，避免对后续施工造成影响，保温墙板内采用中空结构，能够减轻外挂墙板的重量，安装的加强筋能够增强整体的强度，通过设置轻质保温填料与轻质隔音填料，使得外挂墙板能够具有良好的保温和隔音效果。

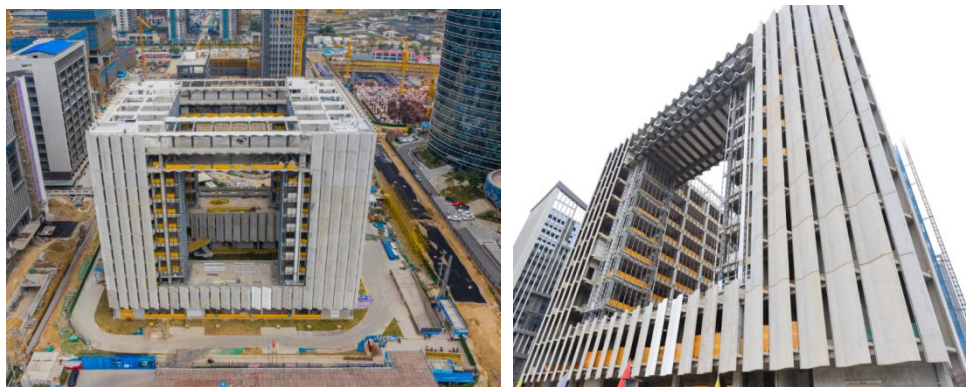


图 27 建筑外立面外挂墙板

3. 实用新型专利《一种装配式叠合楼板》（专利号：2020231186629）

装配式叠合楼板包括板体，板体的两端均开设有卡槽，板体的一端开设有凹槽，板体远离凹槽的一端延伸设置有凸沿，板体的顶部开设有竖孔。在板体两侧分别设置凹槽和凸沿，能够使得相邻板体稳定的连接，采用装配式安装结构，便于进行施工，钢丝和增强层能够增强隔板的强度，在墙板一端抹砂浆，然后将墙板在地面竖立起来，用撬棍上下移动板使板与地面线、相吻合，用力顶住墙板并使板顶挤出砂浆，用木楔打紧使板固定，用木楔来调整板的平整度，能够保障墙板安装后的平整度，在缝隙全部填满后，等5天后，把木楔取出后再回填砂浆对于墙板安装节点进行处理，保障墙板连接紧密。

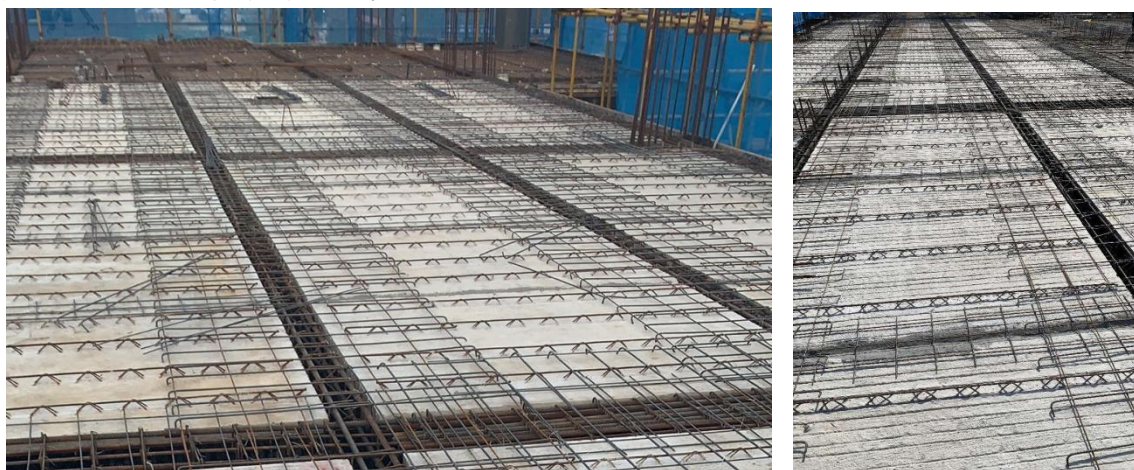


图 28 装配式叠合楼板

4. 实用新型专利《一种点支承预制混凝土外挂墙板的连接节点》（专利号：2020210366231）

一种点支承预制混凝土外挂墙板的连接节点，包括上连接节点和下连接节点，主体结构上连接有转动支座；转动支应包括转动件以及与主体结构连接的限位器；转动件一端位于限位器内与主体结构抵接，另一端向上延伸出限位器与外挂墙板的上连接节点固定连接；限位器设有供转动件穿出的通孔，通孔与转动件之

间具有间隙；转动件包括有转动部，转动部包括位于底部的球面部以及设置于球面部中心处的圆形平面；上连接节点设有用于与上方外挂墙板的下连接节点连接的连接部，连接部设有供下连接节点上下左右活动的余量。采用上述方案使得外挂墙板在风震荷载下具有一定偏转的能力，能够适应主体结构的变形，起到抗震消能的作用，使得节点不易损坏。



图 29 点支承连接现场施工

5. 实用新型专利《一种 PC 外挂墙板板间窗的连接结构》（专利号：2021209808349）

一种 PC 外挂墙板板间窗的连接结构，包括墙板、附框和窗框，窗框包括上横杆、连接于上横杆两端的竖直段以及连接于两个竖直段之间的下横杆，墙板相对的一侧的底部均设置有芯套，下横杆的两端设置有用供芯套插接的插腔，下横杆上设有穿设过下横杆两侧的连接螺栓，连接螺栓上螺纹连接有连接螺帽，芯套开设有用于供连接螺栓穿过的穿孔，穿孔的直径大于连接螺栓的直径，芯套的截面尺寸小于插腔的尺寸，竖直段和相邻的附框之间设置有弹性连接件。墙板发生偏移时，芯套能够在下横杆内

腔先发生移动，从而使得墙板偏移时不会先直接作用于窗框上，能够适应墙板偏移距离，同时能够在墙板偏移时保证墙板与窗框之间的气密性、水密性的效果的稳定。

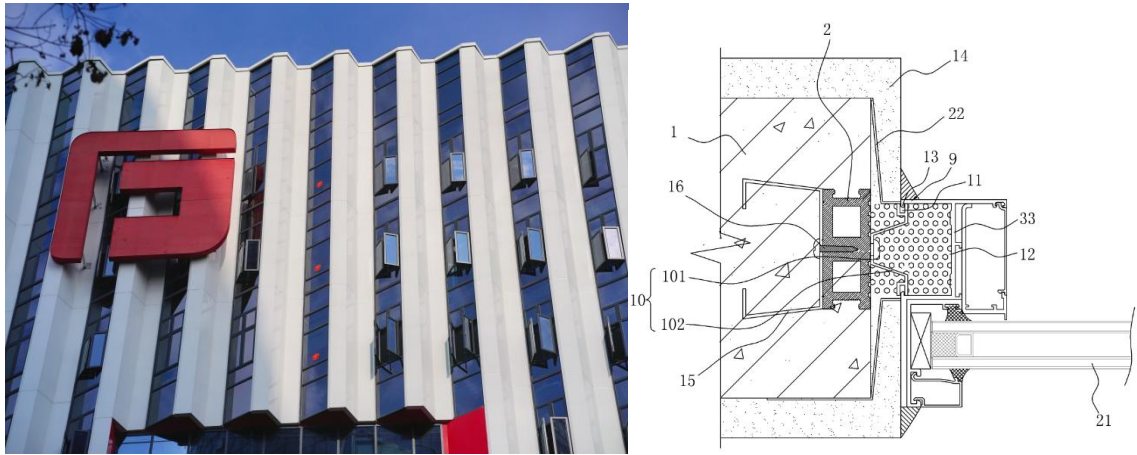


图 30 PC 外挂墙板板间窗的连接结构

6. 实用新型专利《一种外挂墙板的安装辅助装置》（专利号：2021208381384）

本工程研发了一种外挂墙板的安装辅助装置，通过竖向限位板与水平引导板的设置，能够实现墙板连接节点与主体结构之间的快速对准定位，提高安装效率；通过缓冲垫的设置，能够有效的阻止墙板与主体结构产生碰撞，造成破损；同时，安装辅助装置能够进行重复利用。

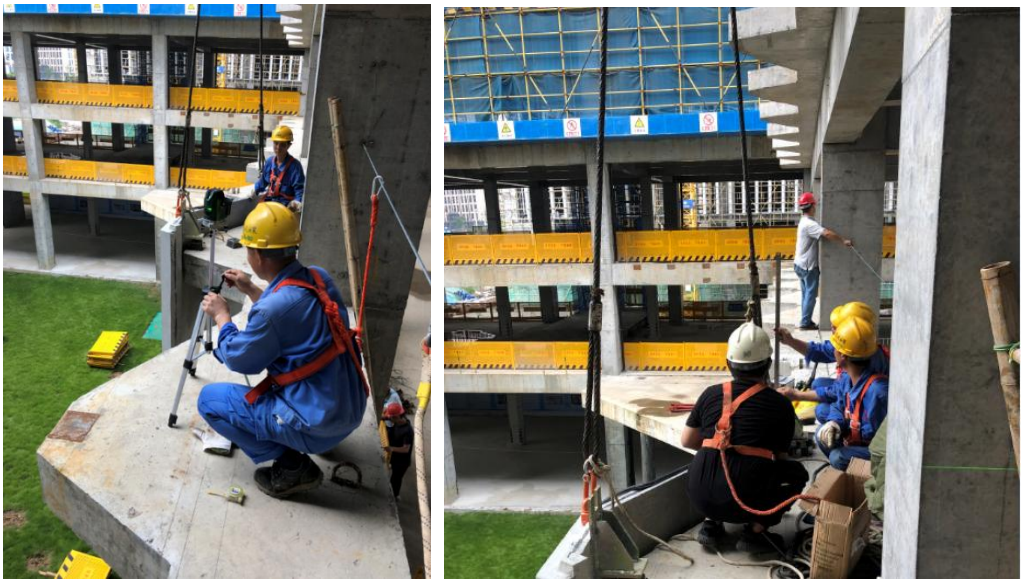


图 31 外挂墙板的安装辅助装置

四、应用成效

（一）应用效果

本工程荣获华东地区优质工程奖、福建省建设工程省级优质工程（闽江杯），并以本工程为例，主编福建省工程建设地方标准 2 项、《福建省超低能耗建筑技术导则》，参编中国建筑业协会团体标准 1 项。《建筑信息模型（BIM）在项目施工技术和管理平台创新应用研究》荣获福建省土木建筑学会建设科学技术奖三等奖，取得发明专利 1 项，实用新型专利 8 项，国家级 BIM 奖项 2 项，省级 BIM 奖项 1 项，国家级 QC 成果 2 项，省级 QC 成果 1 项；发表论文 4 篇。

（二）关键技术经济指标对比

本工程在建筑外立面运用自主研发的适用于福建地区的预制混凝土外挂墙板技术，结合 BIM 技术深化设计，实现在重载荷以及大层高条件下预制外挂墙壁无外架吊装施工。通过试验分析，预制外挂墙板最终达到减重约 20% 和增强保温节能性能约 30% 的效果，节约建造成本约 70 万元。

（三）通过福建省住房和城乡建设行业科技示范工程项目验收

本工程高性能绿色建筑、装配式建筑、建筑外窗工程、BIM 技术应用等 4 项科技示范项目实施效果良好，取得了显著的经济和社会效益，已通过验收评审。实施过程中召开了现场观摩暨产学研合作交流研讨会，起到了良好示范作用。