

装配式幕墙单元板块标准化设计与施工关键技术研究

王丹 张树凯 李博文

中建七局建筑装饰工程有限公司，郑州市中原区，450007；

摘要：在建筑产业现代化与绿色施工需求不断增长的背景下，装配式幕墙以高效、环保等优势成为建筑外围护结构的发展趋势。本文针对装配式幕墙单元板块标准化设计与施工关键技术展开了研究，从设计原则、分类建模、接口设计等层面构建标准化体系，研究了预制生产、运输安装等施工技术，以期为幕墙行业工业化转型和提高建筑质量提供一些技术路径。

关键词：装配式幕墙；单元板块；标准化设计；施工关键技术

DOI：10.69979/3029-2727.25.10.022

前言

当前，我国建筑行业正快速向工业化和数字化转型，装配式幕墙是建筑节能、提高美观的关键载体，其标准化设计和施工技术急需创新，传统幕墙施工效率低，精度差，难以满足现代建筑需求。在这种情况下，如何通过标准化设计和关键技术创新，实现装配式幕墙单元板块的高效生产，精准安装，成为建筑外围护结构领域的重点课题。

1 装配式幕墙相关概述

装配式幕墙是一种将建筑幕墙系统进行预制化加工和组装的施工方法。传统的建筑幕墙需要在现场进行现浇混凝土或砖石的施工，而装配式建筑幕墙则是在工厂预先制作好各种构件，然后在现场进行组装安装。装配式建筑幕墙施工技术相比传统的施工方法有许多优势，由于在工厂进行预制加工，可以提高施工效率，减少施工周期。同时，装配式建筑幕墙还可以减少现场施工噪音和污染，提高安全性。

2 装配式幕墙单元板块标准化设计理论

2.1 标准化设计原则与框架

装配式幕墙单元板块标准化设计应符合模块化、通用化和系列化的核心思想，创建兼具规范性与适应性的设计架构。模块化设计把幕墙拆解成独立的功能单元，如承重框架、玻璃面板、密封部件等，每个模块都有标准接口，可独立制造并替换，从而加快施工速度，方便维护；通用化设计通过统一构件规格和衔接方法，减少非标准件的数量，以铝合金型材为例，统一采用同一模数系列，使构件能在不同项目中实现互换；系列化设计通过使用需求和场景的不同，形成参数化的产品序列，

如按建筑高度划分不同承载力等级的单元板块系列。对于标准化和个性化的平衡策略，应形成“核心标准+外延创新”的设计机制，结构框架、连接节点等核心功能部件严格实行标准化设计，可保障安全性和互换性，面板纹理、造型线条等非承重装饰部件留有个性化设计余地，依靠标准化接口实现了多种表达形式。

2.2 单元板块分类与参数化建模

单元板块分类体系按照功能、材料、尺寸等维度划分，形成了一个层次化的产物管控架构，按照功能可被分成承重单元、装饰单元、开启扇单元等，不同功能单元有着各自独特的结构规划及性能指标。依据材料可划分成玻璃幕墙单元、金属幕墙单元、石材幕墙单元等，各类材料单元要契合不同的加工工艺及衔接构造，按照尺寸依据建筑分格模数划分成标准单元和非标单元，标准单元包含 80% 以上的常规项目需求，非标单元凭借参数化调整适应特殊的尺寸需求，这样的分类体系利于设计选型和生产管理，增进构件的复用率。基于 BIM 的参数化设计方法以三维模型为载体，实现从设计到生产的全过程数字化。参数化族库创建后，单元板块的几何尺寸、材质属性、连接节点等信息被整合到模型中，设计过程中，参数（板块宽度，玻璃厚度）的调整会触发自动生成新的构件模型，并力学验算及接口匹配性检查也一并完成，如修改玻璃面板尺寸时，框架型材规格会自动更新，连接节点的承载力也会被校验，避免了人工计算误差，参数化建模可与工厂生产系统对接，设计模型直接转化为加工指令，实现“设计-生产”无缝衔接，提高标准化设计的效率和准确度^[2]。

2.3 接口标准化与兼容性设计

接口标准化与兼容性设计是保证装配式幕墙单元

板块协同工作的关键,应从板块之间连接及板块与主体结构适配两方面入手,创建标准化体系。单元板块之间连接节点标准化主要针对机械连接与密封设计的协同,机械连接采用“螺栓+定位销”双保险构造,螺栓保证了连接承载力,定位销保证了安装精度,节点构造应实现三维可调性,以吸收施工误差和温度变形,密封设计可形成“多道密封+构造排水”防水体系,如主密封层用硅酮密封胶,辅助密封层设止水胶条,配合排水槽设计引导雨水外排,防止渗漏风险。与主体结构的适配性接口设计遵照“最小干扰”与“柔性衔接”的准则,针对混凝土、钢结构等不同的主体结构类型,设计差别化的锚固方法,混凝土结构采用后锚固技术,用化学锚栓或膨胀螺栓锚固,锚栓布置要避开主体结构钢筋,钢结构用焊接或螺栓连接,节点构造预留出了弹性变形余地,避免因刚性衔接引发的构件损坏,实现幕墙和主体结构的协同工作。

2.4 标准化设计流程与工具开发

标准化设计流程构建了从需求分析到构件库调用的闭环体系,保证了设计的效率与规范性。需求分析时应将建筑功能、外观造型、性能指标等要求整合,转变为单元板块的技术参数,如抗风压等级、保温系数等。方案设计阶段按照参数化模型开展板块分格规划,优先采用构件库中的标准单元,针对特殊部位执行参数调整,生成非标准单元;施工图设计阶段细致规划连接节点与安装工艺,力学验算和接口匹配性检查也一并展开,这样的流程把标准化理念渗入了设计的各个部分,减少了重复工作和设计偏差。辅助设计软件或插件开发成为改进标准化设计效率的重点,自动化排布插件依据建筑立面尺寸,自动生成单元板块的分格方案,优先选用标准模块并精简非标模块数量,同时校验板块尺寸与主体结构的模数协调性,力学验算工具整合幕墙规范算法,输入板块参数后,会自动执行风荷载、地震作用等工况下的承载力计算,生成验算报告^[3]。构件库管理系统把标准单元、连接节点等模型族归类储存,可参数化检索和调用,设计人员通过输入尺寸、材料等参数,能迅速调取合适构件,实现“即插即用”。

3 装配式幕墙单元板块施工关键技术

3.1 预制构件生产与质量控制技术

预制构件生产与质量控制技术是装配式幕墙单元板块施工的基础,关键在于工厂化生产流程优化和精度管控下的构件标准化制造。在工厂化生产流程中,材料

加工环节应遵循“精准下料—精细加工”原则,玻璃切割借助数控设备保证尺寸偏差达毫米级,金属型材由自动化流水线完成铣削、钻孔等工序,避免了人工操作失误,组装环节实行模块化作业,把单元板块拆解成框架组装、面板安装、密封处理等标准工序,各工序间设立质量 checkpoint,框架焊接后要检测平整度,面板安装前要核对分格尺寸,保证每道工序达标才可流转到下一环节。检测环节构建了全项目覆盖的检测体系,包含材料进场时的力学性能复试、构件组装后的淋水实验、成品出厂前的整体性能测试,通过全方位检测保证构件质量。精度控制和质量追溯体系是保证构件可靠性的关键所在,精度控制要从模具设计开始,用高精度钢制模具固定构件尺寸,如幕墙框架的组装模具误差控制在 0.5 mm 以内,配合激光定位系统实现构件拼装的精准定位,方便后续安装环节的质量核查及后期维护阶段的问题追溯。

3.2 高效运输与堆放技术

高效运输与堆放技术是装配式幕墙单元板块从工厂到现场的重要衔接环节,应通过包装防护设计和运输规划实现构件的安全流转。单元板块包装防护设计遵循“防震、防潮、防刮蹭”的原则,依据板块的尺寸和材料特性制订防护方案,玻璃面板外侧要加上可拆卸的金属护角,板块之间用弹性缓冲材料加以隔离,避免运输时的颠簸引发玻璃破裂^[4]。金属框架部分要用防水覆膜包裹,以免被雨水冲刷而损坏表面涂层,针对特别大的板块,设计专门的运输支架,采用多点固定的方式降低构件晃动,支架和板块接触部分放橡胶垫片,防止出现刚性碰撞导致变形。运输路径规划和减震措施则是过程的动态控制,运输路径规划要综合考虑路况、限高、限重等要素,避免颠簸路段和拥堵地带,缩减运输时间,长距离运输时,安排带有即时减震功能的专用车辆,通过空气悬架体系调节车身平衡,把运输震动幅度控制在合适范围之内,抵达施工场地后,堆放场地应提前硬化,并铺上防潮垫层,单元板块按照安装顺序分区堆放,板块底部用可调支架垫高,板块垂直放置,与地面成一定角度,避免发生倾倒情况。

3.3 现场快速安装技术

现场快速安装技术的重点在于依靠吊装设备更新与安装次序改进,实现单元板块准确就位并控制误差。吊装设备选择应从建筑高度、板块重量、现场状况等方面综合考虑,高层建筑可选用轨道式吊装体系,沿建筑

外立面设置固定轨道,配合专用葫芦吊具实现板块水平与垂直运输自动化,减少传统塔吊频繁移动;低层或异形建筑则采用机器人助力吊装设备,凭借机械臂的精确定位(误差控制在毫米级),处理复杂造型部位的安装问题。工法创新之处体现于“预制装配+即时校准”,以板块吊装为例,借助激光追寻仪随时检查三维坐标,与BIM模型预先设定的位置比较后自动调节吊具的姿态,从而保证安装精度。安装顺序优化和误差累积控制是保证幕墙整体平整度的关键,安装前利用BIM模型进行施工模拟,确定“从下往上、分段流水”的安装顺序,每段施工完成后及时进行轴线、标高复核,防止误差累积。超长或超宽幕墙采用“基准层定位+分区分段控制”策略,先安装标准层作为基准,再以基准层为标准向上下延伸,各分段间留设调节缝,用可调节连接件吸收施工误差,实现幕墙整体的安装精度控制。

3.4 密封与防水关键技术

密封与防水关键技术依靠标准化接口设计及材料工艺协同创建了多层防水体系。标准化接口的密封材料选择应兼顾弹性、耐久性和施工适应性,接口主密封层选用高弹性硅酮密封胶,其延伸率应符合温差变形需求,辅助密封层可设遇水膨胀止水条,实现“材料密封+构造防水”双重保障,施工工艺上,遵循“基层清理-底涂处理-胶缝施打-成型修整”标准化流程,施胶前用专用清洁剂清除接口表面油渍和灰尘,以保证密封胶与基材的粘结力。底涂处理可加强密封胶与非多孔材料(如金属,玻璃)的粘结能力,施胶时用专用胶枪控制出胶量和速度,确保胶缝连续充实,防止出现气泡和缺胶,施胶后立即用工具修整胶缝外形,形成符合设计要求的凹弧面,从而提升防水可靠性^[5]。气密性、水密性现场检测方法是检验防水效果的重要环节,现场检测采取“局部淋水试验+整体气密性测试”的形式,局部淋水试验针对易渗漏处,如板块拼接缝,开启扇周围用专业的淋水装置按照一定压力不断喷水,查看内侧是否有水渗出;整体气密性测试借助鼓风机给幕墙内侧施加压力,通过测量压力衰减速度算出空气渗透量,判定幕墙整体气密性能,检测时若找出渗漏点要立刻标识,探究渗漏缘由,用补胶、调节衔接件等办法加以改正,保证幕墙的密封和防水性能符合设计要求,防止雨水渗入和能量外泄。

3.5 数字化施工管理技术

数字化施工管理技术依靠BIM和物联网融合,打造

了全流程可视化的管理体系。BIM+物联网施工过程监控以三维模型为数据载体,把单元板块的生产信息、安装参数、检测结果等信息集成到模型中,形成数字化“构件身份证”,现场安装时依靠物联网传感器,及时收集吊装设备运转状况、构件受力情况、周围环境温湿度等数据,把这些数据传送到云端管理平台与BIM模型关联。比如,传感器发现某板块吊装应力超出阈值时,系统会自动发出警报,给出调整方案,同时,借助BIM模型的4D进度模拟功能,把实际施工进度与计划进度做对比,直观地展现出滞后之处,帮助管理人员改善资源调配,实现施工过程的动态掌控。基于AR/VR的安装指导和质量验收是数字化技术的新应用,安装之前,施工人员戴上VR设备能沉浸式体验安装流程,熟悉板块定位、节点连接等关键步骤,提前避开操作风险;在现场施工时,戴上AR眼镜能看到BIM模型的三维指引,把构件安装位置、螺栓孔位等信息投射到实际场景中,助力工人精准操作,减少了对经验的依赖;质量验收层面,利用AR技术扫一下已装好的板块,自动对比实际位置和模型数据,产生偏差分析报告,超过允许范围的部分用虚拟标记即时显示,指导改正。

4 结语

综上,装配式幕墙单元板块标准化设计与施工关键技术是建筑工业化的关键支撑。标准化设计通过模块化、参数化等方法化解了个性化和规范化存在的矛盾,而施工技术通过预制生产、数字化管理等手段改进了效率和精准度,因此,通过不断改善接口兼容状况,并推行数字化应用能让幕墙行业实现升级转变,并在推动建筑实现高质量发展的过程中予以助力。

参考文献

- [1] 吴祖强,王小艳.超高层装配式幕墙单元板块施工关键技术[J].广东土木与建筑,2024,31(10):53-56.
- [2] 杨丁瑞.框架式幕墙龙骨单元装配式施工技术研究[J].新城建科技,2024,33(09):170-172.
- [3] 张小超,刘必冬,戚贵阳,刘龙锡,刘定诚.构件式幕墙中整体装配技术的实施与应用[J].四川建材,2024,50(09):139-140+143.
- [4] 曾庆杰.框架式幕墙龙骨单元装配式施工技术要点探讨[J].工程建设与设计,2023,(18):193-195.
- [5] 黄文平,王洋,杨帆.装配式建筑幕墙施工技术研究[J].中国住宅设施,2022,(10):148-150.