

装配式建筑幕墙施工技术

李明

浙江中南建设集团有限公司 浙江 杭州 310052

摘要：装配式建筑幕墙施工技术通过工厂预制与现场组装结合，实现模块化、标准化施工。其核心优势在于缩短工期、提升质量并降低环境污染。技术涵盖BIM协同设计、高精度数控加工、机械臂吊装定位及无损检测等环节。通过预制混凝土、金属、玻璃等模块的集成安装，配合密封防水、防雷防火等专项工艺，确保幕墙结构安全与性能达标，推动建筑工业化发展。

关键词：装配式建筑；幕墙施工技术；管理优化

引言：随着建筑行业对高效、环保与品质的追求，装配式建筑幕墙施工技术应运而生并快速发展。它打破了传统幕墙施工模式，将大量现场作业转移至工厂，实现构件标准化生产与现场精准装配。这不仅极大提升了施工效率、缩短了工期，还保障了工程质量与施工安全。本文聚焦装配式建筑幕墙施工技术，剖析其技术要点与管理策略，助力行业技术升级。

1 装配式建筑幕墙技术体系概述

1.1 装配式幕墙的定义与分类

装配式幕墙是将幕墙各类组件在工厂预制加工，再运输至施工现场进行组装安装的建筑外围护结构，具有模块化、集成化的核心特征。（1）按材料分类：①玻璃幕墙，以钢化玻璃、夹胶玻璃等为面板，透光性好，常用于商业建筑；②金属幕墙，采用铝合金、钛锌板等金属板材，耐久性强，适配现代建筑风格；③石材幕墙，选用天然石材或仿石板材，质感厚重，多用于高端建筑外立面；此外还有陶瓷板、复合板材等小众类别，满足多样化设计需求。（2）按结构形式分类：①单元式幕墙，将面板、骨架等集成成单元模块，现场直接吊装拼接，密封性优；②构件式幕墙，现场依次安装立柱、横梁、面板，灵活性高，适合复杂造型；③点支式幕墙，通过金属连接件将玻璃等面板固定，视觉通透性强，常见于场馆类建筑。

1.2 技术特点与优势

（1）标准化设计、工厂化生产、装配化施工：设计阶段采用统一模数，减少定制化成本；工厂生产在恒温恒湿环境下进行，组件精度达毫米级；现场装配以吊装、螺栓连接为主，减少湿作业。（2）节能环保、质量可控、工期缩短：工厂生产减少现场粉尘、噪音污染，材料利用率提升15%以上；组件质量经出厂检验，避免现场施工误差导致的隐患；施工周期较传统方式缩短30%-

50%，适配快节奏项目需求。

1.3 与传统幕墙施工的对比

（1）施工流程差异：装配式幕墙为“工厂预制→现场组装→密封验收”，流程模块化；传统幕墙为“现场放线→骨架焊接→面板安装→逐一密封”，依赖现场工序衔接。（2）成本构成差异：装配式前期工厂设备投入较高，但后期人工、材料损耗成本低；传统前期成本低，后期因现场返工、工期延误等隐性成本较高。（3）质量风险差异：装配式质量风险集中在工厂生产环节，易通过检测规避；传统风险分散在现场焊接、密封等环节，受天气、工人技术影响大，渗漏风险更高。

2 装配式建筑幕墙施工关键技术

2.1 设计阶段技术

（1）BIM技术应用：在装配式幕墙设计中，BIM技术发挥核心协同作用。通过搭建三维可视化模型，实现建筑、结构、幕墙专业的协同设计，各专业设计师可实时共享模型数据，避免传统二维图纸沟通偏差。例如，建筑专业确定外立面造型后，结构专业可同步在模型中标注承重构件位置，幕墙专业据此优化面板排布，减少后期设计冲突。同时，BIM的碰撞检测功能能提前识别潜在问题，如幕墙龙骨与结构梁的位置重叠、管线与幕墙连接件的空间干涉等，通过模型模拟分析，在施工前完成设计调整，据统计可降低30%以上的现场返工率。此外，基于BIM模型还能生成精确的构件清单与施工模拟动画，为后续生产、施工提供数据支撑^[1]。（2）模块化设计与接口标准化：模块化设计以“功能集成”为核心，将幕墙拆解为具有独立功能的标准模块，如采光模块、装饰模块、通风模块等，模块尺寸遵循建筑模数规范，确保不同项目间的通用性。例如，商业建筑常用的1.5m×3m玻璃幕墙模块，可根据项目需求调整玻璃类型，无需重新设计整体结构。接口标准化是模块化设计的关键，需明

确模块间连接部位的尺寸、材质、连接方式等参数,如采用统一规格的螺栓孔位、密封胶条截面尺寸,确保不同模块在现场组装时精准对接。标准化接口不仅提升组装效率,还降低后期维护成本,当某一模块损坏时,可直接更换相同规格模块,无需整体改造。

2.2 生产阶段技术

(1) 工厂预制工艺:工厂预制需严格把控精度与材料预处理环节。精度控制方面,采用高精度数控设备加工构件,如龙骨切割误差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 内,面板安装槽口尺寸偏差不超过 $\pm 0.3\text{mm}$,同时通过专用工装夹具固定构件,避免加工过程中变形。材料预处理是保障耐久性的关键,金属构件需进行热镀锌、氟碳喷涂处理,其中热镀锌层厚度不低于 $85\mu\text{m}$,氟碳涂层需经过三道喷涂,确保抗腐蚀性能;玻璃面板需进行边缘磨边、倒棱处理,防止运输安装时崩边,且钢化玻璃需经过均质处理,降低自爆风险。此外,预制过程中需对每批构件进行尺寸抽检与外观检查,合格后方可进入下一工序。

(2) 数字化制造技术:CNC加工技术广泛应用于复杂构件生产,如异形金属龙骨、定制化连接件,通过计算机编程控制加工路径,实现高精度、自动化生产,相较于传统人工加工,效率提升50%以上,且加工质量稳定性更高。3D打印技术则多用于小众、复杂构件的生产,如特殊形状的密封垫块、定制化金属连接件,无需制作模具,缩短生产周期,同时能实现传统加工难以完成的复杂结构,提升构件设计灵活性。此外,数字化制造还可通过生产管理系统实时监控生产进度、质量数据,实现生产全过程的可追溯^[2]。

2.3 现场施工阶段技术

(1) 吊装与定位技术:机械臂辅助吊装适用于中小型幕墙模块,通过预设程序精准控制吊装位置,避免人工吊装的误差,同时减少高空作业人员数量,提升施工安全性。对于大型幕墙模块,需采用专用吊装设备,并结合激光校准技术进行定位,激光校准精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$,通过实时监测模块位置偏差,及时调整吊装参数,确保模块安装位置符合设计要求。此外,吊装前需对吊装设备、吊具进行荷载试验,对安装基础进行承载力检测,保障吊装过程安全稳定。(2) 连接节点施工:机械连接是主流方式,如采用高强度螺栓连接幕墙龙骨与结构预埋件,螺栓拧紧扭矩需符合设计要求,并用扭矩扳手进行检测,确保连接强度。密封防水工艺需分层施工,先在节点缝隙处填充泡沫条,再打注高性能密封胶,密封胶需均匀连续,无气泡、断缝,施工后需进行养护,确保密封性能。对于多雨、高湿度地区,还需在

节点处增设排水槽,避免雨水积存导致渗漏^[3]。(3) 现场装配流程优化:需根据项目进度、现场条件制定科学的装配顺序,如按照“从下到上、从中间到两侧”的顺序安装幕墙模块,避免交叉作业冲突。交叉作业管理则需明确各专业施工时间、范围,如幕墙安装与室内装修需错开作业面,通过划分施工分区、设置安全防护设施,防止施工干扰与安全事故。此外,可采用预制装配平台,在平台上完成模块的预组装与密封处理,再整体吊装至安装位置,进一步提升现场装配效率。

2.4 质量控制与检测技术

(1) 无损检测技术:红外热成像检测可用于检测幕墙保温层完整性、密封胶施工质量,通过检测温度分布差异,识别保温层缺失、密封胶空洞等问题,检测范围广、效率高,且不损伤幕墙结构。超声波检测则用于检测金属连接件的焊接质量、螺栓连接强度,通过声波传播速度与反射信号,判断焊接是否存在气孔、裂纹,螺栓是否存在松动,检测精度高,能有效发现隐蔽性质量缺陷。此外,无损检测需在施工过程中分阶段进行,如构件安装后、密封胶施工后分别检测,确保问题及时发现、整改。(2) 气密性、水密性、抗风压性能测试:气密性测试采用压力差法,将幕墙试件置于密封舱内,施加正负压力,测量空气渗透量,确保符合国家规范要求,避免后期室内外空气渗透导致能耗增加。水密性测试通过模拟降雨条件,向幕墙试件表面喷水,同时施加负压,观察是否出现渗漏,测试压力需根据当地降雨强度确定,确保幕墙在暴雨天气下无渗漏。抗风压性能测试则通过施加模拟风压的荷载,检测幕墙构件的变形量、连接节点的稳定性,确保幕墙在强风天气下结构安全,测试过程中需实时监测构件应力、位移数据,超出设计限值时需及时调整结构设计。

3 装配式建筑幕墙施工管理优化

3.1 施工组织设计

(1) 劳动力配置与技能培训:需根据装配式幕墙施工特点,构建“专业化+复合型”劳动力团队。配置时区分工厂预制与现场装配岗位,工厂需配备数控设备操作员、质量检测员,现场需配置吊装指挥、模块安装工,按工序进度动态调整人员数量,避免人力闲置。同时,针对装配式技术的特殊性开展专项技能培训,内容涵盖BIM模型识图、机械臂操作、密封胶施工规范等,采用“理论授课+现场实操”模式,考核合格后方可上岗。此外,定期组织技术交底会,让施工人员明确各环节质量标准与安全要求,减少操作失误。(2) 物流与堆放管理:制定全流程物流方案,根据构件尺寸、重量选择合

适运输车辆,如大型单元模块采用低平板拖车,玻璃面板使用专用框架固定,避免运输过程中碰撞变形。运输前需在构件表面贴覆保护膜,棱角处加装防撞护角,运输途中控制车速,转弯、刹车时减缓速度。现场堆放需划分专属区域,按“安装顺序”分区堆放,先安装的构件靠近施工区域,避免二次搬运;构件堆放采用垫木架空,高度不超过1.5m,玻璃构件需倾斜放置,防止受压碎裂。同时,建立物流跟踪系统,实时监控构件运输位置与到场时间,确保与现场施工进度精准衔接,避免构件积压或缺缺^[4]。

3.2 进度与成本控制

(1) 关键路径法(CPM)在装配式施工中的应用:通过CPM梳理施工关键工序,明确影响总工期的核心环节,如工厂预制、现场吊装、密封验收。绘制进度网络图,标注各工序持续时间与逻辑关系,例如“工厂预制”为“现场吊装”的前置工序,需确保预制完成时间早于吊装开始时间。施工过程中动态跟踪关键工序进度,若某环节出现延误(如预制构件加工延迟),及时调整后续工序计划,如增加工厂设备投入、优化吊装班组配置,确保总工期不受影响。此外,利用CPM合理安排交叉作业,如幕墙安装与室内管线施工可同步进行,但需明确作业边界,避免相互干扰。(2) 成本动因分析:针对材料损耗,分析损耗来源,如切割余料、运输损坏、安装浪费,制定针对性措施,工厂预制时采用套料优化软件,提高材料利用率;现场安装前核对构件尺寸,避免因尺寸偏差导致材料报废,将材料损耗率控制在3%以内。针对返工率,从设计、生产、施工全环节查找原因,设计阶段通过BIM碰撞检测减少设计失误,生产阶段加强质量抽检,施工阶段严格按规范操作,降低返工率。同时,建立成本动态监控体系,定期核算实际成本与预算成本差异,分析偏差原因,及时调整成本控制策略,如因密封胶质量问题导致返工,需更换优质密封胶,虽短期增加材料成本,但可减少长期维护费用。

3.3 安全与风险管理

(1) 高空作业安全防护措施:现场搭建标准化防护设施,高空作业平台需设置防护栏杆与挡脚板,平台脚手板铺满、固定牢固,严禁出现探头板;施工人员必须

佩戴安全带、安全帽,安全带需高挂低用,作业前检查防护装备完好性。针对幕墙安装的高空作业,采用附着式升降脚手架,随施工进度同步升降,避免频繁搭设临时脚手架;在作业区域下方设置安全警示区,悬挂警示标识,禁止非施工人员进入。此外,遇大风、暴雨等恶劣天气,立即停止高空作业,待天气好转并检查安全设施后再恢复施工^[5]。(2) 吊装过程风险预警机制:吊装前对设备与构件进行全面检查,确认起重机性能稳定、吊具强度达标、构件绑扎牢固,不符合要求时严禁吊装。安装风险监测设备,在起重机上加装力矩限制器、高度限位器,实时监测吊装参数,当超出安全范围时自动报警;在构件上安装倾角传感器,监测吊装过程中构件倾斜角度,避免倾斜过大导致坠落。建立应急响应预案,明确吊装事故(如构件坠落、设备故障)的处理流程,配备应急救援人员与设备,定期组织应急演练,确保事故发生时能快速处置,减少人员伤亡与财产损失。

结束语

装配式建筑幕墙施工技术作为建筑工业化的重要体现,实现了从设计标准化、生产工厂化到施工装配化的全链条革新。通过BIM协同、高精度加工、智能吊装及性能化检测等技术的集成应用,有效提升了幕墙工程的效率与品质。未来,随着数字化、智能化技术的深度融合,装配式幕墙将进一步向绿色低碳、高效建造方向发展,为推动建筑行业转型升级和可持续发展提供关键技术支撑。

参考文献

- [1]陈亚.装配式建筑幕墙施工技术探究[J].中华建设,2023,(01):158-160.
- [2]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.
- [3]吴昌恒.装配式建筑幕墙施工技术研究[J].中国建筑装饰装修,2024,(05):170-172.
- [4]张世文.建筑幕墙门窗项目工程管理中常见问题及解决措施[J].门窗,2022,(08):78-79.
- [5]郑少娟.建筑工程门窗幕墙的绿色节能施工探讨[J].门窗,2021,(20):81-82.