

工业化装配式节能幕墙技术的研究与探讨

杨全新

深圳市恒晟建设科技集团有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i5.4770

[摘要] 本文聚焦工业化生产和装配式建造为核心的现代节能幕墙系统,探讨其对建筑幕墙产业的根本性变革引领作用。文章指出,将幕墙从“现场定制”的工程物提升为“工厂制造”的工业品,是实现高品质、高效率、绿色节能及提升产业安全的关键。论文构建“前端精准设计-工厂智能制造-现场高效装配”为主线的技术体系,剖析模块化设计(装配式前提)、智能化生产线(工业化生产载体)、机械化干法作业(装配式实现手段)的内在逻辑与协同关系。通过与传统模式对比,理论论证该模式在质量一致性、缩短工期、降低环境影响、提升产业工人安全性与全生命周期成本等方面的优势,针对产业链协同挑战,提出该技术体系大规模应用的发展方向与展望。

[关键词] 装配式幕墙; 工业化生产; 节能环保; 模块化; 幕墙模块工业化

中图分类号: TU741 **文献标识码:** A

Research and Discussion on Industrialized and Prefabricated Energy-Saving Curtain Wall Technology

Quanxin Yang

Shenzhen Hengsheng Construction Technology Group Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the modern energy-saving curtain wall system centered on industrialized production and prefabricated construction, exploring its role in leading the fundamental transformation of the building curtain wall industry. It points out that upgrading curtain walls from "on-site customized" engineering products to "factory-manufactured" industrial products is the key to achieving high quality, high efficiency, green energy conservation and improved industrial safety. The paper constructs a technical system with "front-end precise design - factory intelligent manufacturing - on-site efficient assembly" as the main line, analyzing the internal logic and collaborative relationship of modular design (premise of prefabrication), intelligent production lines (carrier of industrialized production), and mechanized dry construction (implementation method of prefabrication). By comparing with the traditional model, it theoretically demonstrates the advantages of this model in improving quality consistency, shortening construction period, reducing environmental impact, enhancing the safety of industrial workers and optimizing the whole-life cycle cost. In response to the current challenges of industrial chain collaboration, it puts forward the development direction and prospect for the large-scale application of this technical system.

[Key words] Prefabricated Curtain Wall; Industrialized Production; Energy Conservation and Environmental Protection; Modularization; Industrialization of Curtain Wall Modules

引言

在建筑工业化与绿色低碳发展的双重驱动下,建筑幕墙作为建筑外围护系统的核心,正面临着从“现场粗放建造”向“工厂精密制造”的转型阵痛。传统幕墙施工依赖现场切割、焊接、手工打胶等湿法作业,不仅存在质量波动大、施工周期长、材料损耗高的痛点,更面临着产业工人老龄化、年轻人从业意愿低迷的行业困境,严重制约了幕墙产业的高质量升级。在此背景下,

工业化装配式节能幕墙技术应运而生,其以“工厂预制、现场装配”为核心,将幕墙从分散的工程构件升级为标准化工业产品,通过模块化设计、智能化生产与机械化安装的协同联动,破解了传统模式在质量、效率、安全与环保上的多重矛盾^[1]。本文立足这一技术革新趋势,系统构建“设计-制造-装配”全链条技术体系,深入剖析其核心优势与实践价值,为推动幕墙产业向高品质、高效率、低能耗的现代化转型提供理论支撑与实践参考。

1 从“现场定制”到“工厂预制”——幕墙产业的变革逻辑与动因

建筑幕墙的演进,本质上是一部建造精度、效率与品质的进化史。传统幕墙施工模式以“现场为中心”(Site-Centric),大量原材料被运送到工地后,依赖产业工人的技艺在开放且不确定的环境中完成切割、焊接、打胶等作业,不可避免地导致质量波动大、材料浪费严重、施工周期长、施工安全风险突出等一系列问题。

更为严峻的是,幕墙产业正面临工人老龄化与年轻从业者断层的困境。年轻人不愿进入工地,核心原因集中在三方面:一是工作环境恶劣,高空高危作业多、现场尘土飞扬且噪音大、生活条件简陋,与现代生活方式悬殊;二是社会认知存在偏差,体力劳动被贴上“低端职业”标签,家庭更期望子女从事体面稳定的工作;三是职业发展前景有限,晋升通道狭窄,技能培训依赖“师带徒”模式,缺乏系统培育与社会认可的技能认证^[2]。

在此背景下,“工业化生产”(Industrialized Production)与“装配式建造”(Assembled Construction)的理念为行业破局提供了关键路径。这并非简单的工艺改良,而是一场深刻的“范式转移”(Paradigm Shift):工业化生产将幕墙的核心制造活动从条件不可控的工地转移到环境可控的工厂,追求制造业级别的精度、效率、质量一致性与规模效应;装配式建造则将现场复杂的“加工-组装”流程,简化为纯粹的“装配”动作,通过干法作业、机械连接与快速安装,让工地从“开放式加工厂”转变为“总装车间”^[3]。

2 工业化装配式幕墙核心技术体系:设计-制造-装配三位一体的协同构架

该体系是环环相扣的闭环系统,前端设计、中端制造、末端装配层层递进、协同联动,任一环节的缺失都将导致整体效能大幅衰减。

2.1 前端:面向装配与制造的模块化设计(Design for Manufacturing and Assembly, DfMA)

装配式建造的实现绝非施工阶段的凭空设想,工业化生产的高效也离不开标准化输入,二者均以DfMA理念的深入贯彻为前提。

其一,模块化解构是装配式的“图纸化”基础,设计师需在保留建筑立面风格的前提下,将幕墙分解为尺寸协调、接口标准、功能独立的“幕墙单元模块”,每个模块既是工厂独立生产单元,也是现场独立吊装单元;

其二,标准化接口是快速装配的核心关键,明确统一的机械连接接口与密封接口,能够实现模块间“傻瓜式”精准对接,大幅降低现场安装门槛与误差概率;

其三,设计需完全适配工厂生产,通过优化板块尺寸、减少异形构件、适配自动化设备操作等,使设计成果从传统施工图纸升级为直接驱动数字化生产的“产品数据包”^[4]。

2.2 中端:以智能制造为核心的工业化生产

这是将设计蓝图转化为实体产品的核心环节,集中体现工

业化生产的核心价值。

一方面,搭建数字化生产线与智能制造体系,通过数控下料中心、机器人焊接工作站、自动打胶机械臂等智能化设备,接收BIM模型数据指令,实现从原材料到成品的自动化流水线作业,同时满足不同规格模块的个性化生产需求;

另一方面,品质控制贯穿加工全过程:恒温恒湿车间保障胶类固化效果,车间作业环境大幅提升工人安全与产品质量,数控设备实现 $\pm 0.1\text{mm}$ 的高精度加工,流程化检验提前剔除缺陷,最终完成型材、保温材料、面板、预埋管线等的集成化装配,实现从“半成品”到具备完整功能的“工业产品”的交付^[5]。

2.3 末端:以机械化安装为特征的现场装配式施工

现场是检验工业化成果、兑现装配式价值的关键场景。

一是推行“干法作业”革命,以螺栓装配、挂件挂接等机械式连接替代现场焊接、手工打胶等湿法作业,减少施工垃圾与环境污染,根除渗漏、松动等质量隐患;

二是采用“总装车间”模式,仿效汽车总装逻辑,将预制单元板块有序运输至现场,通过吊装设备完成“对位-挂接-调整-锁紧”的流程化拼装;

三是实现效率与安全的双重提升,熟练班组每日可安装数十个单元板块,大幅缩短施工周期,同时减少工人高空作业时间,简化操作流程,从根本上提高安全生产水平。

3 模式价值:工业化装配式幕墙的多维优势构建

工业化装配式幕墙通过全链条技术革新,在质量、效率、成本、环保、安全及外观六大维度实现价值重构,全面超越传统施工模式,为幕墙产业高质量发展注入核心动能。

3.1 质量:从“概率可靠”到“必然卓越”

传统模式质量依赖人工技艺,稳定性难以保障;而工业化生产以机器与标准化体系为核心,产出的幕墙产品性能一致、精度优异,密封、保温等关键指标严格可控,实现了从“合格”到“优秀”的质的跨越^[6]。

3.2 工期:指数级压缩的时间效益

工业化生产与主体结构施工可并行开展。现场装配式安装效率为传统方式的数倍。“并行工程”与“快速装配”的组合模式,能将项目总工期30%-50%,创造显著时间价值。

3.3 成本:全生命周期经济性更优

尽管单位面积直接材料成本可能会有所提升,但综合考量因工期缩短带来的管理成本下降、财务费用节约,以及质量提升带来的运维成本、能耗费用减少等,其全生命周期成本(LCC)显著优于传统模式。

3.4 环保:绿色低碳效益显著

(1)资源节约:工业化精准下料,材料损耗率可降至2%以下。(2)垃圾减量:现场装配式作业使建筑垃圾减少20%以上。(3)节能环保:无现场焊接烟尘、大幅减少现场打胶引起的化学气味挥发和污染、施工噪音小等。

同时,高精度的制造确保了节能设计目标的实现,为建筑运行阶段的长期节能、低碳排放奠定基础^[7]。

3.5安全: 全维度风险防控升级

一方面,将大量高空、临边作业转移至工厂,缩短现场工人高危环境暴露时间,大幅降低高处坠落、物体打击风险;另一方面,工厂可控环境与流程化检验保障工程质量一致性,规范的挂接系统与少人工干预的连接方式,提升结构可靠性,从根源上减少后期面板脱落等安全隐患。

3.6外观: 从“基础达标”到“美学升级”

3.6.1极佳的立面平整度和线条直线度

工业化生产的装配式幕墙板块在工厂的专用平台上组装,平台本身具有极高的平整度。通过精密的模具和夹具,可以确保板块内玻璃、金属板、窗框等所有组件的位置关系绝对精确。

当这些高精度的板块在现场挂接后,整个幕墙立面呈现出非常流畅、平整的效果。无论是水平还是垂直方向,胶缝、装饰条等线条都能保持笔直、均匀,由于组装的各个构件的加工精度高,组装后,板块构件间的严丝合缝、拼缝均匀,这对于追求极致简约、大气的现代建筑风格至关重要。

3.6.2胶缝质量远超现场作业,美观且可靠

传统构件式幕墙的密封胶需要在现场手工打注,其质量受天气和环境(风雨、温度、灰尘等)、工人技术水平、疲劳度影响巨大。容易出现胶缝宽窄不一、接头不美观、起泡、不粘、不平整等问题,严重影响细节美观和长期耐久性。

装配式幕墙有效避免传统作业的弊端:打胶工作在工厂无尘车间内,由机械或经验丰富的工人在最佳条件下完成。这种车间无尘环境下的机械打胶,使得胶缝的宽度、厚度、饱满度得到完美控制,且表面光滑均匀,线条流畅,兼顾了美观与耐久性^[8]。

3.6.3更易实现复杂的立面肌理和分格设计

装配式幕墙在立面肌理与分格设计上具备显著优势,既能支撑复杂创意的落地,又能保障大规模应用的统一性与美学质感。

(1)设计自由度:对于包含异形、立体造型(如三维遮阳板、复杂装饰线条)的幕墙单元,在工厂内组装比在现场逐一安装要容易得多,精度也更高。设计师可以更大胆地运用复杂的立面构成。(2)大规模实现的保证:一个复杂板块在工厂被完美复制后,成千上万个相同的板块就能在建筑上组合出设计预想的、高度统一的复杂肌理,避免现场安装可能导致的“失之毫厘,谬以千里”的累积误差。(3)完美实现“建筑工业化”的纯粹美学:装配式建筑本身追求的就是一种精密、高效、如同机械产品般的工业美学。装配式幕墙作为其外围护体系,其严丝合缝的对接、精准的线条、统一的细节,完美呼应了这种美学追求,呈现出一种“高科技”感和精致感^[9]。

4 挑战与展望: 工业化幕墙产业的协同突破与发展路径

4.1当前面临的主要挑战

(1)初期投入与成本认知:建立智能化生产线需要高昂的前期投资。市场仍普遍存在仅对比材料成本、初始造价,而忽视施工全过程的综合成本,甚至幕墙全生命周期价值的短视行为。(2)产业链协同壁垒:设计、加工、施工环节脱节。设计师不熟悉

加工工艺,制造商不理解设计意图,施工方缺乏装配化施工管理经验。(3)标准与规范的滞后:现有标准体系多服务于传统现场作业,对工业化生产与装配式幕墙的设计、验收等规定不完善。

4.2未来发展与展望

(1)政策驱动与市场教育:需要政府持续引导,鼓励EPC总承包模式,并推动基于性能的采购政策,让市场认识到幕墙工业化与装配式的长期价值。(2)技术深度融合:推动BIM与智能制造系统的无缝对接,发展基于数字化的全过程管理,实现真正的“智能制造、实体装配”^[10]。(3)产业生态重构:未来将涌现一批集设计、研发、制造、装配于一体的专业化幕墙系统供应商,推动整个行业从“包工头”思维向“产品经理”思维转变。

5 总结

工业化生产与装配式建造并非幕墙技术的简单过渡,而是行业迈向高质量发展的必然归宿。它通过将建造活动的主体从工地转移到工厂,将现场操作从“制作”转变为“装配”,成功地解决传统模式在质量、效率、安全、美观和节能环保等方面的固有矛盾,同时也将解决目前面临的幕墙产业工人老龄化问题。尽管前路仍有挑战,但以“制造”为核心的建筑幕墙工业化浪潮不可逆转。大力发展和推广工业化生产的装配式节能幕墙,对于推动中国从“建造大国”迈向“建造强国”具有至关重要的战略意义。

[参考文献]

- [1]彭斌芬,柏良群,蔡广剑,V形单元板块设计思路分析与安装探讨[C].2020年深圳市建筑门窗幕墙科源奖学术交流会议,2020(11):56-61.
- [2]刘展望,装配式建筑幕墙施工技术分析[J].石材,2022,(10):24-27.
- [3]黄国林,建筑机械技术在幕墙施工中的应用[J].技术与市场,2022,(09):102-104.
- [4]王永成,建筑幕墙装饰装修工程施工探讨[J].居舍,2022,(25):66-69.
- [5]牛稼芳,装配式建筑幕墙施工技术[J].建材发展导向,2022,(12):97-99.
- [6]杨爱民,探究建筑幕墙施工质量的控制问题[J].房地产世界,2022,(06):128-130.
- [7]杨爱民,现代高层建筑幕墙施工关键技术探讨[J].房地产世界,2022,(04):131-133.
- [8]张俊宝,郭新龙,装配式建筑幕墙施工技术[J].绿色环保建材,2021,(12):109-110.
- [9]薛全胜,装配式建筑幕墙施工技术分析[J].建筑,2021,(15):79-80.
- [10]许明,探讨建筑工程管理中的问题及解决措施[J].中国住宅设施,2023,6.

作者简介:

杨全新(1976--),男,汉族,广东梅州人,本科,学士学位,高级工程师,一直从事建筑幕墙工作。