

新型装配式建筑构件标准化生产与高效装配工艺探索

文 / 王超 山东省中历建建设工程有限公司

李允强 山东省中历建建设工程有限公司

摘要：随着建筑行业对于高效，绿色和智能化要求的不断提高，新型装配式建筑构件标准化生产和高效装配工艺已是大势所趋。文章对新型装配式建筑构件标准化生产方法进行论述，主要涉及智能化模块设计，3D打印技术，机器人辅助生产线优化和物联网技术质量控制体系等。同时本文对高效装配工艺实施路径进行分析，着重阐述增强现实技术应用于装配指导，节点自适应连接，集成吊装设备创新和基于BIM进度管理方法等。研究表明：智能化与信息化技术融合可显著提升装配式建筑生产效率与装配质量，对建筑行业现代化发展具有强大支撑。

关键词：装配式建筑；标准化生产；高效装配；智能化技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.12.033

引言

伴随着社会对于建筑品质，施工速度以及环境可持续性需求的提升，装配式建筑这一创新建筑模式逐渐被广泛使用。新型装配式建筑构件标准化生产及高效装配工艺，是促进装配式建筑迅速发展的关键所在。通过智能化，数字化以及机器人技术的运用，能够显著提高构件生产效率以及装配精度。文章将对新型装配式建筑构件设计，生产及装配工艺进行探究，借助现代技术手段，提升装配式建筑生产效率，降低造价，推动建筑行业智能化和绿色化。

一、新型装配式建筑构件概述

新型装配式建筑通过工厂制作标准化建筑构件和现场组装完成建筑主体结构。装配式建筑较传统现浇混凝土结构施工效率高，资源浪费少，环保性能好，施工安全性高。装配式建筑具有构件标准化生产，装配工艺高效等核心优点，可有效提高建筑工程质量，进度与可持续性。装配式建筑构件一般是由预制墙板，楼板，柱子和梁等构件组成，由工厂根据设计图纸及规范的要求制造，确保尺寸及质量精确性，降低现场施工变数及不确定性。这些组件标准化程度高，不同的工程可按需模块化组合以组成不同的建筑形式。由于构件生产工厂化，施工现场作业内容以构件运输，堆放，吊装和连接为主，因此极大地缩短施工周期和降低现场人工依赖性。新型装配式建筑构件制造一般依靠智能化设计，数字化建模，机器人辅助制造，3D打印技术等等先进技术手段。这些技术手段提高了生产效率，保证了构件质量，降低了生产成本，同时给装配式建筑的设计带来了较大自由度。

二、新型装配式建筑构件标准化生产

（一）智能化模块设计与参数化建模

利用计算机辅助设计和建筑信息模型等尖端技术，智能化模块设计能够将传统的手工设计和绘制方式转变为数字化和智能化的形式、系统化生产过程从而极大提高设计效率与准确性。参数化建模技术是通过参数及

规则的设定来自动产生各种设计方案，以达到对设计进行快速反应和自动调整的目的。通过参数化建模，设计师可以基于某些核心参数（例如，构件大小，材料种类，加载条件等等）进行调整，系统会自动完成模型的生成和相关计算。该方法有效地降低人工操作中的错误及返工，保证各部件设计结果能满足生产需求和质量标准。如国内一家知名装配式建筑企业的工程采用参数化建模技术进行预制楼板设计。这些楼板在尺寸，配筋方式，预埋件部位，表面处理方面都采用了参数化模型精准设计。每次当设计师对某个参数进行调整，楼板的整体模型都会自动进行更新，与此相关的配筋和节点的位置也会保持实时的同步。



图1 智能装配式工厂绿色建筑新型建筑预置构件

（二）3D打印技术在构件生产中的应用

借助增材制造技术，利用3D打印可以精确制造复杂几何形状，大幅提高装配式建筑构件定制化与精度，特别是小批量，多品种生产要求下有显著的优越性。将3D打印技术应用于装配式建筑构件的制作，首先表现为它可以制作复杂外形的构件。传统的制造方式一般都是依靠模具，模板等来实现，这类方法在复杂或者非常规构件的制造过程中常常会出现设计与制造困难。而3D打印技术则可以不受模具的约束，通过对材料进行层层叠加，实现对内部存在空洞结构等复杂形貌构件的直接打印、特殊曲面等等，这类复杂的造型既有利于增强建筑物美

观，又可以有效地减少材料浪费、增强建筑物功能性及结构强度。在实践中，利用3D打印技术制作预制构件的例子并不少见。国内一家建筑企业将预制混凝土装饰墙板采用3D打印技术应用于其装配式住宅项目。通过3D打印技术使墙板表面纹理及结构不依赖于传统模具而采用数字化设计进行个性化定制。另外，墙板内部结构可以根据需要优化设计并印制带有承重功能的中空结构，使其既保持足够强度又减轻重量。利用此项技术，制造周期减少了50%，并且得益于3D打印技术的高度精确性，墙板的尺寸偏差被限制在 $\pm 2\text{mm}$ 的范围内，这大大提升了部件的制造品质。

（三）机器人辅助生产线的优化布局

在新型装配式建筑构件标准化生产中，引入机器人技术有效地促进生产线自动化水平，精度和效率。该机器人辅助生产线实现自动化装配、焊接、涂装及搬运作业，极大地减少人工干预及生产中可能存在的失误，提高产品生产效率及一致性。装配式建筑构件生产过程中常用的机器人使用场景有：预制件自动焊接，钢筋自动捆扎，构件表面自动喷涂和自动化搬运。以预制混凝土板生产为例，机器人能自动完成钢筋绑扎。机器人工作中能够通过传感器探测到钢筋精确位置并准确完成焊接及绑扎等任务，确保钢筋定位准确，降低人工操作误差，避免人工操作中可能存在的安全隐患。我国一家大型装配式建筑生产企业，已经在其钢筋混凝土板生产工艺中采用了机器人辅助生产线。通过工业机器人的引进，企业已实现自动化钢筋焊接与绑扎操作，日绑扎钢筋可由高达几百根的机器人完成，效率是人工的近4倍。同时这些机器人可以对生产过程进行实时监测并自动纠正偏差以保证每根钢筋均满足设计要求。基于此，生产线的智能化水平得到了显著的提升，生产的效率增加了30%，同时人工的成本也减少了20%。为进一步提高生产线效率与灵活性，生产企业也针对产品种类与生产需求对机器人进行优化布置。

（四）物联网技术驱动的质量控制体系

通过对生产过程各环节数据的实时采集，传输及分析，物联网技术可以有效地对生产质量进行监测，及时发现可能存在的问题，并对其做出调整，以确保构件质量的稳定可靠。在制造装配式建筑构件的过程中，物联网技术利用嵌入式传感器、RFID标签和数据采集终端等设备，实时监测每一个生产指标，例如温度、湿度、混凝土强度、生产进度等。通过与云端系统相连，生产管理人员可随时掌握生产现场实时信息并对可能发生的质量问题进行事先预测。比如在浇筑混凝土时，温度、湿度等因素会显著影响其硬化进程。本实用新型利用物联

网技术实现生产线传感器对混凝土温湿度状况进行实时监控并传输至中央控制系统，该系统能够根据实时数据对浇筑过程温湿度参数进行调节，保证混凝土质量的稳定性。我国一家知名的装配式建筑公司，将物联网质量控制体系运用到自己的生产工厂。生产中混凝土温湿度，墙板钢筋布置等重要数据均采用物联网技术进行实时监测，同时与生产计划系统对接以保证各部件均处于设计标准之内。

三、新型装配式建筑构件高效装配工艺

（一）增强现实技术指导装配过程

将AR技术应用于装配现场，可以把设计信息，施工方案以及施工细节实时展现给操作人员，从而可以更有效，更精准地执行复杂装配过程。AR技术基本原理是利用摄像头，传感器，计算机图形及显示设备等技术把虚拟信息和现实场景有机结合起来，并把实时三维图像叠加到用户视线范围内。具体地说，装配式建筑中，AR系统能够实时向操作人员展示建筑物三维模型，各部件准确位置，安装顺序和技术要求。比如在组装大尺寸预制板时，AR设备自动识别板材安装方向，标高和位置偏差，对组装过程进行实时误差监控和纠偏提示。这样既有助于操作人员准确地完成组装，又能减少施工中人为失误造成返工或者意外。在具体的技术实施过程中，AR技术与建筑信息模型进行了深度整合，以确保信息能够实时更新和保持同步。如国内一家知名建筑公司的装配式建筑项目就采用AR技术来协助钢结构的安装操作。通过安装AR眼镜可以使现场工作人员查看到建筑信息模型三维效果图以及施工时各钢梁，钢柱叠加的具体位置及安装次序。采用这种技术后，工人对图纸的依赖度显著降低，装配的精确度也得到了提高，从而使得结构装配的准确率增加了20%。与此同时，由于工人经验的缺乏，导致的操作失误得到了减少，因此施工的时间也相应地缩减了15%。AR技术通过其实时反馈功能，也有助于管理者把握施工进度，进行质量控制。

（二）自适应连接节点的快速对接

传统装配式建筑主要依靠人工操作与固定模板连接构件，存在效率低、易失配等现象。该自适应连接节点采用灵活可调节的连接方式设计，使预制构件实现快速精确对接，大大提高装配效率。在设计自适应连接节点时，一般都会用到一些弹性可调节性强的节点，例如弹簧式，滑动式或者锁定式等。这些节点设计可依据现场实际误差自适应调整以确保各部件接合时能处于最佳状态，降低了由于部件偏差造成的安装难度。在实践中，一家装配式建筑公司将自适应连接节点技术运用于自己的住宅项目。本公司所设计的钢-混凝土连接节点带有微调功

能，通过可调钢筋连接装置使各构件间的连接能在狭小的区域内调整以保证各构件能完美吻合。这一技术的提出使现场装配人员可以快速实现构件对接，降低由于精度偏差导致的反复调整并提高连接效率。在实际的建设过程中，这家公司通过使用自适应连接节点，成功地将构件的对接时间从传统的 15 分钟减少到了 7 分钟，从而使装配效率提高了 50%。另外，这种技术还有一些智能化的特点。组装时，各连接节点由传感器对连接精度进行实时检测，当检测到位置误差超过预设范围时，系统自动调整连接方式或者报警，以确保组装时的准确性与稳定性。

（三）多功能集成吊装设备的开发

多功能集成吊装设备，是装配式建筑在高效装配工艺上的又一重大革新。装配式建筑对吊装作业要求较高，常规吊装设备一般功能简单，作业繁杂，且占用较多的人力与时间。为了提高吊装效率和降低现场作业复杂度，出现了多功能集成吊装设备。该装置集吊装，定位，调整等诸多功能为一体，大大提高施工效率及安全性。多功能集成吊装设备是通过把多台单一功能设备集成在一个体系内，降低现场对于设备的依赖性，增加施工时机动性与灵活性。以某建筑公司研发的“智能吊装机器人等”为例，该机器人集成了吊装，精确定位，自动调节及实时监控多种功能，可按照预设施工计划及精度要求自动完成吊装至对接整个施工过程。本装置通过智能化操控系统实现吊装时吊装路径及角度的实时调节，保证构件准确就位。在实践中，吊装机器人可实现建筑构件的自动化分类，分拣，根据构件的重量及外形选择最适宜的吊装方式。本装置通过内建传感器及控制系统可对吊装作业过程进行实时监测，保证安全系数满足预设标准。例如在预制楼板的组装上，吊装机器人利用激光测距及压力传感器来定位板材的位置，以保证板材搬运时不会出现偏移的情况，同时可以避免吊装时的碰撞或者错位。

（四）基于 BIM 的装配进度管理方法

在现代装配式建筑的高效装配工艺中，BIM 技术（建筑信息模型）被广泛应用于装配进度的管理和控制。通过结合建筑物三维数字化模型，施工进度，资源调度以及其他数据，使 BIM 能够对施工工期进度进行实时监测以及调整，对施工方案进行了优化，保证了项目的如期竣工，避免了资源的浪费。本发明提供了一种以 BIM 为核心的组装进度管理方法：先通过 BIM 系统实现对全部建筑构件生产，运输和组装各任务的数字化建模和与真实进度的实时衔接。施工期 BIM 系统基于现场实时数据反馈自动对进度计划进行更新，同时通过预警机制对管理人员的进度滞后性进行警示，有助于及时对施工方案进

行调整。以一个大型装配式建筑项目为例，项目方利用 BIM 平台对多个装配任务进行管理，其中包括预制墙体，楼板，钢结构的制作进度，运输安排以及现场装配进度。通过 BIM 平台项目团队可以实时观察各组件的生产及运输状态并对工序间的连接进行预测与优化，保证各环节的高效连接。借助 BIM 技术可以使项目团队实现更加准确的进度管理和协调。比如在组装的时候，某一个组件没有准时的抵达现场，该系统就可以事先预知这种延迟的发生，通过对资源调度的优化规划，使后续的操作可以顺畅地对接，而不会导致施工的停滞。以 BIM 为核心的装配进度管理方法在提升施工过程可控性的同时也显著地降低了资源浪费并提升工作效率。



图 2 新型装配式建筑构件的 BIM 应用实例

结语

新型装配式建筑构件标准化生产及高效装配工艺，代表着建筑行业今后的发展方向。智能化，信息化技术的提出，在提高生产效率及精度的同时，也促进着建筑行业的革新和转型。展望未来，随着科技的持续发展和应用的深入，装配式建筑在建筑领域的地位将变得日益重要，它将是实现绿色、智能和可持续建筑的核心路径。

参考文献

- [1] 郭晨，秦明轩，杜百岗．基于新型粗糙模糊集混合算法的装配式建筑构件供应商选择 [J]．建筑经济，2024，45 (S1): 380-385.
- [2] 陈琼．装配式建筑外围护构件系统 BIM 全过程控碳设计方法研究 [D]．东南大学，2023.
- [3] 薛行超．新型装配式建筑 PC 构件模板施工技术研究 [J]．住宅与房地产，2023，(08): 60-62.
- [4] 钟李彬．基于 PC 构件的新型装配式建筑施工技术研究 [J]．房地产世界，2023，(04): 142-144.
- [5] 高丹丹，李叶．新型装配式建筑 PC 构件模板设计及施工 [J]．江西建材，2022，(04): 239-240+243.
- [6] 刘必鑫．新型装配式建筑 PC 构件生产、施工技术探讨 [J]．建筑与预算，2022，(02): 82-84.