

# 装配式建筑预制构件生产制约因素及优化研究

王新宇

(东北电力大学经济管理学院, 吉林省 吉林市 132000)

**摘要** 在我国建筑产业化进程不断加快的背景下, 装配式建筑已经成为推动我国建筑业高质量发展、实现双碳减排的重要载体。预制件是建筑施工的关键材料, 其生产效率、质量稳定性和造价控制直接影响到工程的总体效益。但目前预制件生产过程中还存在诸多限制。本文拟从深化标准化设计、推进智能制造升级、完善供应链协同机制、构建动态成本管控机制等方面, 对预制构件生产效率的提高和建筑行业的现代化建设进行研究, 以期为提升预制构件生产效能、推动建筑产业现代化提供理论参考。

**关键词** 装配式建筑; 预制构件; 生产制约; 标准化; 智能制造

**中图分类号**: TU56

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.023

## 0 引言

随着现代城市建设对施工效率、成本管控与生态环保的要求日益提升, 装配式建筑凭借施工速度快、工程质量高的优势, 成为城市建筑领域备受青睐的建造方式。在城市装配式建筑的全过程质量管理体系构建中, 韩宴羽等<sup>[1]</sup>构建了以预制构件为核心, 包含事前指导、事中控制和事后反馈的装配式建筑质量管理体系。该系统能针对各阶段的质量影响因素进行有效管理。孙玉芳等<sup>[2]</sup>针对城市装配式建筑项目中暴露的问题, 指出设计人员专业能力不足、材料选用不当、现场施工工艺不规范是制约工程质量的核心因素, 进而提出需强化城市项目中的设计能力、图纸精度与预制构件质量管理。张克等<sup>[3]</sup>结合城市建筑的背景, 运用 ISM 模型以及 MICMAC 方法对质量影响因素进行分析, 发现装配式建筑的法律法规不健全、政府对装配式建筑的质量重要性引导不足是主要影响因素。刘光忱等<sup>[4]</sup>基于装配式混凝土建筑质量影响因素的分析, 发现政府导向是根本性影响因素, 能直接或间接地影响预制构件质量、参与方的沟通与协调、业主合同管理水平等。陈雯甜<sup>[5]</sup>认为预制构件的主要生产制约因素在于原材料的使用及原材料的监管。邓海旺<sup>[6]</sup>则指出生产人员和设计人员等相关人员的水平会影响预制构件的质量。

在我国传统建筑产业迈向现代产业的大环境中, 生产模式的转变已经成为产业发展的主要动力。预制件的制造与管理在整个城市装配式建筑建造过程中起着至关重要的作用。预制构件装配工艺由现场的操作转变为在工厂内部进行, 理论上要求其具有高精度、

高效率 and 低成本等特点。但当前很少有预制构件制造企业能够具备这些特点。目前, 我国正在积极推进绿色施工和智慧施工, 对预制混凝土构件的需求也在不断增加。

在产业规模日益壮大的同时, 预制构建工业目前还处在量增质疑的情况。很多工厂都是在短期内盲目扩大产能, 造成了产能的不平衡, 并且这些工厂的生产方式大多是工地搬家式的简单置换, 而没有在制造层次上实现精细的管理。在生产实践中, 制造企业普遍存在着盈利空间被压缩, 生产计划变更频繁, 质量问题难以根治的问题。产能扩张与生产效率落后的矛盾已经成为我国装配式建筑进一步降低成本和提升竞争力的重要瓶颈。

## 1 预制构件生产过程中的主要制约因素

根据对行业现状的理论分析, 当前制约预制构件生产效率与效益的因素主要集中在设计标准化、工艺技术、管理体系及市场要素四个方面。

### 1.1 设计标准化缺失, 模具与转换成本高

在预制件生产过程中, 标准化水平不高是其主要限制, 低标准化会使其规模效应不再有效, 工业化生产的核心优势是通过标准化的重复制造实现固定成本的分摊。但是, 当前我国建筑设计和制造环节都有很大的割裂。由于缺少工业化的思路, 过分地追求立面的丰富和构造的独特, 造成了在同一个工程乃至同一层中存在大量规格不一、尺度不一的异型构件。

模具费用呈指数增长, 预制部件规格多样化, 这直接造成了模具品种的急剧增加。模具是一种高附加

**作者简介**: 王新宇 (2000-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 装配式建筑及预制构件的发展。

值的生产设备，它的摊销费用与周转次数密切相关。但当构件缺少标准化时，会导致模具通用性较低，重构和重置成本较高，最终导致产品制造成本随着产品产量的提高而不断降低，从而降低了企业的经济竞争力。

### 1.2 工艺与信息化脱节，生产技术资料管理滞后

技术资料与信息流的不完善，是制约生产精细化的重要障碍。

1. 设计生产信息断层：在深入设计的过程中，常常存在着将建筑物信息模型与生产装备系统进行直接对接的问题。大量的设计图纸仍然需要手工进行拆卸和转换，这样既影响工作效率，又容易出现人为误差。

2. 生产过程数据杂乱：目前，很多预制构件企业还没有健全的制造执行系统，生产计划、材料消耗、质量检验记录等重要信息都是依赖于纸质文件或者是零散的 Excel 表格来传递。由于管理人员不能及时把握各生产线的生产瓶颈，造成了生产计划与实际生产相脱离、仓库积压和缺货停产并存的问题。这样的信息不透明性，导致了企业的生产计划陷入了被动。

### 1.3 生产工艺自动化水平低，质量控制依赖人工

尽管预制构件在工厂生产，但目前的工艺水平仍不完全脱离劳动密集型特征。

1. 自动化装备普及率低：目前，除极少数龙头企业之外，许多中小规模的工厂在钢筋加工、装配模具、浇筑混凝土和表面加工等方面仍然依靠手工。由于人为因素的不确定，造成预制构件尺寸不均匀和保护层厚度不均匀。

2. 养护工艺的能耗与效率矛盾：蒸养是加速铸型的重要工序，然而，传统养护窑控温精度较低，能耗高，温度调控不合理，易引起构件开裂。生产工艺的滞后制约了生产能力的发挥，同时也加大了产品的返工费用。

### 1.4 供应链协同弱，受市场要素波动影响大

构件生产同样深受上游要素市场的不确定性影响。

1. 原材料价格传导机制缺失：预制混凝土构件的成本主要包括钢材、水泥、砂石和人工。建设项目的工期较长，而部分合约大多是封闭的或价格调整机制的落后。在原料价格变动较大的情况下，制造企业面临着很大的成本倒置风险。

2. 物流与运输半径限制：预制混凝土构件属于重资产、大体积产品，运输成本占比较高。受限于运输半径，构件厂的市场覆盖范围有限，导致区域内产能过剩与区域外供应不足并存，供应链缺乏弹性。

### 1.5 生产设备精度衰减与非计划停机对效率的制约

在预制构件迈向工业化量产的过程中，生产设备本身的可靠性与精度动态漂移已成为制约效率与质量

的隐性瓶颈。目前多数工厂虽引进了自动化产线，但在高强度、高频次的生产压力下，缺乏对关键设备的预测性维护机制，导致设备因磨损或标定失效产生精度偏差，直接威胁到构件的尺寸稳定性。由于缺乏对设备健康状态的实时监控，工厂往往陷入出故障才维修的被动局面，突发性的非计划停机不仅彻底打乱了原有的生产节奏，造成各工序间的严重窝工与等待浪费，更在设备故障初期产出了大量外观合格但内部结构精度不达标的亚健康构件。这种设备管理逻辑的滞后，使得工厂在追求极致周转效率的同时，不得不预留大量的冗余工时来应对设备的不确定性，这种效能的内耗在很大程度上抵消了自动化技术带来的提速优势，成为制约工厂实现精益化生产目标的重要障碍。

## 2 预制构件生产优化的理论对策

针对上述制约因素，必须从系统的角度出发，通过对其他龙头企业或制造业的借鉴和标准化、数字化、精细化及动态化的策略，重构预制构件的生产体系。

### 2.1 推行少规格和多组合设计，建立标准化产品体系

从源头上解决预制件制造过程中的非标准化问题，是实现预制件制造过程优化的最关键的一步。

1. 建立数字化和模型化思维：要把智能化和数字化的思想融入建筑方案的设计中，并按照数据和模型协同的原理进行。在此基础上，构建一种标准化的分解方式，实现对复杂建筑物的逐步分解。倡导少规格和多组合的设计思路，以尽量少的构件类型进行生产，以多种组合形式来满足建筑的各种功能和立面要求。

2. 实施通用模具战略：预制构件制造企业应该在其部件的设计中起到牵头或参与的作用，促进模具通用化。研究开发通用的模具和模板，实现一套模具可适用于特定尺度零件的制造，极大地提升模具周转速度与利用率，实现固定资产折旧费用的本质削减。

### 2.2 搭建数智化管理平台，完善技术资料全流程闭环

借鉴完善技术资料管理，建立信息化平台的经验，构件生产必须实现数据驱动。

1. 建立 BIM+MES 综合系统：将 BIM 模型和生产执行机构的数据连接起来，将预制构件的几何信息和布局信息直接输入到数控机床上，减少人为转换带来的错误。构建一物一码的预制构件标识体系，实现预制构件从原材料入库、生产浇筑、养护、质量检验、出厂出库等环节均可利用条码等技术对部件进行追溯。

2. 实现生产调度的动态优化：通过大数据的计算，实现生产调度的智能化调度，系统应能够基于工程现

场的安装进度、工厂的模具库存以及员工的排班等信息，自动制定最佳的生产计划，从而减少模具更换的次数，达到准时制的目的，从而减少库存的积压。

### 2.3 升级智能制造工艺，提升专业化生产素养

加强技术培训与工艺升级是提升生产质量的关键。

1. 推广自动化产线与机器人应用：加大对自动划线机、焊接机器人、自动布料机等智能装备的投入，替代高强度的重复性体力劳动。通过机器视觉技术进行在线质量检测，实时监控构件的尺寸精度与外观质量，确保出厂合格率。

2. 培育新型产业工人：建立完善的产业工人培训体系，将传统的建筑农民工转化为掌握数控设备、懂得工业化流程的现代产业工人。加强对工艺纪律、质量意识的培训，建立基于技能等级的晋升与激励机制，保障生产队伍的稳定性与专业性。

### 2.4 建立动态成本响应机制，增强供应链韧性

应对市场波动，需要建立灵活的价格与供应链机制。

1. 建立原材料价格联动机制：在构件供需合同中，应设立原材料价格波动调整指标。以权威部门发布的材料价格指数为基准，当钢材、水泥等主要原料价格波动超过约定幅度时，自动触发构件销售价格的调整公式，在建设单位与生产单位之间合理分担市场风险。

2. 优化供应链库存策略：建立基于市场预测的战略库存机制。对于通用性强的标准原材料，可在价格低位时进行适度储备，对于非标准辅助材料，则严格执行按需采购。同时，拓展物流合作伙伴，探索多式联运模式，在一定程度上突破运输半径的物理限制。

### 2.5 引入精益生产的管理思想

1. 消除生产浪费：针对预制构件生产中常见的等待浪费、搬运浪费和库存浪费，应当运用价值流图工具进行全流程诊断，通过重新规划堆场布局，缩短无效行程。通过平衡各工序节拍，消除各工序之间的瓶颈等待时间。

2. 推行 5S 与目视化管理：在生产车间全面推行整理、整顿、清扫、清洁、素养活动。对模具零部件进行定置管理，利用颜色编码区分不同规格的模具与预埋件，防止因拿错零件导致的组模返工。建立生产状态看板，实时显示各台位的生产进度、次品率及设备运行状态，使管理从事后统计转向现场即时控制。

### 2.6 引入全流程传感监测与设备预测性运维机制

针对设备端对质量与效率的干扰，预制构件制造企业应从被动响应转向主动感知，通过构建全流程传

感监测体系来重塑生产底座。首先，应在搅拌站、振捣台及浇筑机等核心点位部署高精度传感器，实现对混凝土坍落度、振捣密实度及浇筑速度等工艺参数的实时数据采集与闭环控制，利用算法自动纠偏，确保每一枚构件在成型阶段的质量一致性，减少因工艺波动导致的返工与次品率。其次，应建立基于大数据分析的预测性运维平台，通过监控设备运行的电流、振动及温度参数，在设备发生实质性停机前识别故障先兆，实现精准的错峰维护，从根本上消除非计划停机导致的效率损耗。此外，企业应将设备精度校验纳入目视化管理的范畴，建立基于设备运行里程的动态标定机制，确保数控指令与机械执行动作的高度同频。通过这种将工艺感知与设备管理深度融合的策略，企业不仅能够从技术维度筑牢质量防线，更能通过保障生产链条的连续性与稳定性，实现产线综合效能的本质提升，为建筑产业的高质量转型提供坚实的制造基础。

## 3 结束语

预制构件的生产质量管理是一项涉及设计源头、制造工艺、信息交互及市场的复杂工程。当前，生产环节中存在的标准化程度低、技术与管理脱节、市场适应性差等问题，本质上是传统建筑业粗放式管理思维与现代工业化生产要求之间的必然结果。要突破这些制约因素，需坚持系统观念与创新驱动。一方面，要向标准化设计延伸，通过标准化的设计解决生产的源头效率问题；另一方面，要通过技术应用获取效益，通过数字化、智能化的手段重塑生产流程，实现从制造向智造的跨越。只有通过技术进步与管理创新的双轮驱动，建立科学、规范、动态的生产环境，才能从根本上促进预制构件的蓬勃发展。

## 参考文献：

- [1] 韩晏羽. 装配式建筑全过程质量风险评价研究[D]. 青岛：青岛理工大学, 2020.
- [2] 孙玉芳, 杨辉, 高旭林, 等. 装配式建筑全过程质量影响因素研究[J]. 建筑经济, 2023, 44(05): 21-29.
- [3] 张克, 蔡锦松, 黄清云. 装配式建筑质量影响因素相互关系研究[J]. 建筑经济, 2021, 42(10): 95-98.
- [4] 刘光忱, 温振迪, 何雪礼, 等. 基于 ISM-MICMAC 的装配式建筑质量影响因素[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(05): 33-39.
- [5] 陈雯甜. 装配式建筑 PC 构件质量链管理研究[D]. 郑州：郑州航空工业管理学院, 2022.
- [6] 邓海旺. 混凝土预制构件生产质量风险评价研究[D]. 北京：北京交通大学, 2020.