

公路桥梁预制构件生产与吊装施工一体化协同技术

胡军平

江西宇洲建筑工程有限公司 江西吉安 343000

摘要：公路桥梁预制构件生产与吊装施工的协同效率直接影响工程质量、进度与成本。针对当前生产与吊装分离模式下存在的计划脱节、信息不畅、精度矛盾等技术瓶颈，本文构建了以BIM协同信息平台为核心，融合进度协同技术与精度协同控制的一体化协同技术体系；从设计、生产、吊装三个关键阶段，提出一体化数据交付、智能化制造追溯、精准化定位安装的实施路径，并结合真实工程案例验证技术可行性。研究旨在通过技术协同打破生产与吊装的壁垒，实现公路桥梁工程施工的高效化、精准化与集约化，为装配式公路桥梁建设提供技术支撑。

关键词：公路桥梁；预制构件；生产吊装一体化；协同技术

引言

随着装配式建筑技术在公路桥梁工程中的广泛应用，预制构件凭借质量可控、施工高效、绿色环保等优势，成为推动公路桥梁建设转型升级的重要载体。预制构件的生产与吊装是装配式公路桥梁施工的核心环节，两者的协同水平直接影响工程整体效益。然而，传统生产与吊装分离的施工模式中，生产单位与施工单位分属不同管理体系，缺乏有效的协同机制，导致工程实践中频繁出现进度滞后、精度不符、成本超支等问题。在交通基础设施建设高质量发展的背景下，对公路桥梁施工的效率、质量与安全性提出了更高要求。一体化协同技术通过整合生产与吊装全流程资源，打通信息壁垒，实现各环节的精准对接，成为破解分离模式困境的关键。因此，研究公路桥梁预制构件生产与吊装施工一体化协同技术，构建科学的协同体系与实施路径，不仅能提升工程施工管理水平，更能推动装配式公路桥梁技术的持续创新，具有重要的工程实践价值与行业推广意义。

1 生产与吊装分离模式下的技术瓶颈

1.1 生产计划与现场施工进度的脱节

传统分离模式中，预制构件生产计划制定往往基于理论工期与构件需求量，缺乏对现场施工实际进度的动态响应。生产单位按照预设计划组织生产，无法及时获取现场吊装进度、天气影响、施工工况变化等实时信息，导致构件生产与现场安装需求脱节。部分工程中，预制构件提前生产完成后运抵现场，因现场不具备安装条件而长期堆放，不仅占用场地资源，还可能因存放不当导致构件损坏；而部分关键构件

则因生产滞后，无法按施工进度计划进场，造成吊装作业中断，延误整体工期。这种供需失衡的根源在于生产与吊装缺乏统一的进度协同机制，信息传递存在滞后性与片面性，导致生产计划与施工实际需求难以精准匹配。

1.2 构件信息流转不畅导致的协同障碍

公路桥梁预制构件从生产到吊装需经历设计、生产、运输、安装等多个环节，每个环节都产生大量关键信息，包括构件设计参数、生产工艺数据、质量检测报告、运输轨迹、安装精度要求等。分离模式下，这些信息分散存储于生产单位、设计单位、施工单位的独立系统中，缺乏统一的信息共享平台，信息流转主要依赖人工传递，易出现信息丢失、错误或滞后的问题。生产过程中构件尺寸因工艺调整发生微小变更，若该信息未及时同步至吊装单位，可能导致构件到场后无法顺利安装；吊装现场发现的构件质量隐患，也难以快速反馈至生产单位进行原因追溯与整改。信息壁垒的存在使得生产与吊装环节无法形成有效闭环，协同效率低下，增加了工程风险^[1]。

1.3 生产精度与吊装安装要求的矛盾

公路桥梁预制构件的生产精度直接影响吊装安装质量与结构安全性，需严格满足设计图纸的尺寸偏差、预埋件位置、连接接口精度等要求。分离模式中，生产单位与吊装单位对精度要求的理解存在差异，生产过程缺乏对吊装安装工况的考量，导致部分构件虽满足生产精度标准，却无法适应现场安装条件。部分预制箱梁生产时按标准尺寸加工，但现场桥梁墩台标高因地基沉降出现微小偏差，而生产单位未提

前获取该数据，导致箱梁安装时出现接口错位，需现场进行二次处理，不仅增加施工难度与成本，还可能影响结构受力性能。此外，生产过程中对构件的标识不规范，部分构件缺乏唯一身份标识，导致现场吊装时难以快速准确识别构件对应的安装位置，影响吊装效率与安装精度。

2 一体化协同技术的核心构成

2.1 基于 BIM 的协同信息平台构建

BIM 技术凭借可视化、参数化、信息化的优势，成为构建生产与吊装一体化协同信息平台的核心支撑。该平台整合设计、生产、吊装全流程数据，构建公路桥梁工程全生命周期的 BIM 模型，实现构件信息的集中管理与共享。平台涵盖构件设计参数、生产工艺文件、质量检测数据、运输信息、现场施工进度、吊装工况等多维度信息，生产单位、施工单位、设计单位、监理单位等各方可通过平台实时获取所需信息，实现协同工作。

平台具备动态更新与数据追溯功能，生产过程中构件的生产进度、质量检测结果可实时上传至平台，吊装单位通过平台掌握构件生产状态，合理安排吊装计划；吊装现场的安装进度、精度数据、问题反馈也可及时同步至生产单位，为生产调整提供依据。同时，平台支持构件信息的全流程追溯，通过赋予每个构件唯一的身份编码，关联其从设计、生产、运输到安装的所有数据，便于质量问题的快速定位与责任追溯。这种基于 BIM 的信息协同模式，打破了传统分离模式的信息壁垒，实现了生产与吊装的信息实时互通、精准对接^[2]。

2.2 生产与吊装一体化的进度协同技术

一体化进度协同技术以工程总工期为目标，构建生产与吊装联动的进度计划体系，实现两者的动态协同。通过 BIM 协同信息平台，整合设计工期、生产周期、吊装效率、资源配置等关键因素，制定统一的一体化进度计划，明确构件生产、运输、吊装的时间节点与逻辑关系。进度计划实施过程中，利用物联网技术实时采集构件生产进度数据与现场吊装进度数据，并反馈至协同平台。

平台通过内置的进度分析算法，对生产与吊装进度进行动态监测与预警，当某一环节出现进度偏差时，自动生成调整方案。现场吊装进度因天气原因滞后时，平台及时将信息推送至生产单位，生产单位可根据滞后时长调整后续构件生产计划，避免构件过度积压；若生产过程中出现设备故障导致构件生产延迟，平台则提醒吊装单位优化施工工序，合理调配资源

，确保工程整体进度不受严重影响。这种动态协同机制实现了生产与吊装进度的精准匹配，保障工程工期可控。

2.3 生产与吊装一体化的精度协同控制

精度协同控制技术旨在通过生产精度与吊装精度的双向适配，确保预制构件安装质量符合设计要求。在生产阶段，基于 BIM 模型的构件设计参数，采用智能化生产设备实现构件的高精度加工。通过数控钢筋弯曲机、自动化模板系统、高精度混凝土浇筑设备等，严格控制构件的尺寸偏差、预埋件位置偏差、预留孔洞位置精度，确保生产精度满足安装要求。同时，生产过程中利用三维激光扫描技术对构件进行全面检测，将检测数据与 BIM 模型进行对比分析，及时发现并纠正生产偏差。

在吊装阶段，借助 BIM 技术与 GNSS 定位技术、激光测距技术相结合，实现构件安装的精准定位。吊装前，将 BIM 模型中的构件安装坐标导入定位系统，现场通过 GNSS 接收机获取吊装设备与构件的实时位置信息，与设计坐标进行比对，引导构件精准就位。吊装过程中，利用激光测距仪实时监测构件安装的高程偏差与水平偏差，数据实时反馈至协同平台，与生产阶段的构件精度数据进行联动分析，若出现偏差超标的情况，及时调整吊装姿态或采取补救措施。通过生产与吊装的精度数据协同，形成“生产精度控制—吊装精度校验—偏差协同纠正”的闭环管理，确保工程安装质量^[3]。

3 一体化协同技术的实施路径

3.1 设计阶段的一体化数据交付

设计阶段是一体化协同的源头，需实现设计数据的标准化与一体化交付，为后续生产与吊装协同奠定基础。设计单位基于 BIM 技术构建全专业协同设计模型，涵盖桥梁结构、预制构件、预埋件、连接节点等详细信息，确保模型数据的完整性与准确性。模型中明确构件的生产精度要求、安装工艺要求、运输保护要求等关键参数，同时标注构件之间的连接关系与安装顺序，为生产计划制定与吊装方案设计提供数据支撑。

设计数据交付采用标准化格式，确保生产单位与吊装单位能够直接调用 BIM 模型数据，避免数据转换过程中的信息丢失或错误。某高速公路桥梁工程中，设计单位通过 BIM 平台交付包含预制箱梁、盖梁、墩柱等构件的一体化模型，模型中明确了箱梁的尺寸公差、预埋件位置偏差、吊装吊点位置等关键数据，生产单位直接基于模型数据进行生产工艺

设计,吊装单位则依据模型制定吊装方案,实现设计数据向生产与吊装环节的无缝传递。此外,设计单位参与一体化协同平台的前期搭建,明确数据交互标准与协同工作流程,确保设计、生产、吊装各方对数据的理解一致^[4]。

3.2 生产阶段的智能化制造与追溯

生产阶段依托智能化制造技术与协同平台,实现构件生产的精准化与可追溯化。生产单位基于 BIM 协同平台接收设计数据,利用 BIM 模型进行生产工艺模拟,优化钢筋加工、模板拼装、混凝土浇筑、养护等生产流程,制定个性化生产方案。采用智能化生产设备提升构件生产精度,通过数控钢筋加工设备实现钢筋骨架的精准加工,误差控制在合理范围;利用自动化模板系统确保构件外形尺寸的一致性;采用蒸汽养护智能控制系统,精准控制养护温度与湿度,保障构件强度达标。

生产过程中,通过物联网技术实现构件生产数据的实时采集与上传。在生产设备、养护窑、构件模具上安装传感器,实时监测钢筋加工进度、混凝土浇筑量、养护环境参数、构件生产周期等数据,同步至 BIM 协同平台,确保吊装单位实时掌握构件生产状态。每个预制构件赋予唯一的二维码或 RFID 标签,标签中关联构件的设计参数、生产批次、质量检测报告、生产负责人等信息,实现构件从生产到吊装的全流程追溯。某跨海大桥预制构件生产项目中,采用 RFID 技术对预制 T 梁进行标识,生产过程中累计采集多项生产数据,吊装单位通过扫描标签即可获取构件完整信息,快速完成构件核对与安装规划,大幅提升吊装效率。

3.3 吊装阶段的精准化定位与安装

吊装阶段结合 BIM 技术、定位技术与协同平台,实现构件安装的精准化与高效化。吊装前,施工单位基于 BIM 协同平台获取构件生产数据、设计安装坐标、吊装工艺要求等信息,结合现场地形地貌、施工设备性能等实际情况,制定详细的吊装方案,包括吊装顺序、设备选型、吊点设置、应急预案等。利用 BIM 技术进行吊装模拟,验证吊装方案的可行性,提前规避吊装过程中可能出现的碰撞、干涉等问题。

吊装过程中,采用 GNSS + 激光定位融合技术实现构件的精准安装。将 BIM 模型中的构件安装坐标导入 GNSS 定位系统,在吊装设备上安装 GNSS 接收机与姿态传感器,实时获取构件的三维坐标与空间姿态,数据通过无线传输至现场控制终端,与设计坐标进行实时比对,偏差值动态显示在终

端界面,引导操作人员调整吊装姿态。某城市快速路桥梁工程中,采用北斗 GNSS 定位技术进行预制箱梁吊装,定位精度达到较高标准,结合激光测距仪实时监测箱梁安装的高程偏差,确保箱梁安装的轴线偏差与高程偏差均控制在设计允许范围内。吊装完成后,将安装精度数据、安装时间、操作人员等信息上传至 BIM 协同平台,形成吊装施工档案,与生产数据关联,实现生产与吊装的全流程数据闭环^[5]。

4 结语

公路桥梁预制构件生产与吊装施工一体化协同技术通过打破传统分离模式的壁垒,构建以 BIM 协同信息平台为核心,融合进度协同、精度协同的技术体系,实现了生产与吊装全流程的信息互通、资源整合与精准对接。设计阶段的一体化数据交付为协同奠定基础,生产阶段的智能化制造与追溯保障构件质量与进度可控,吊装阶段的精准化定位安装确保工程施工质量,三个阶段层层递进、有机衔接,形成完整的协同实施路径。一体化协同技术能够有效解决分离模式下的进度脱节、信息不畅、精度矛盾等问题,显著提升公路桥梁工程的施工效率、质量与经济效益。在交通基础设施建设高质量发展的背景下,一体化协同技术已成为装配式公路桥梁施工的重要技术方向,其应用与推广能够推动公路桥梁建设行业向高效化、精准化、绿色化转型,为我国交通强国建设提供坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 尹静,孙浩,张恒熙,等.装配式混凝土结构生产运输协同调度[J].科学技术与工程,2021,21(21):6.DOI:10.3969/j.issn.1671-1815.2021.21.043.
- [2] 武春阳.装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用[J].安防科技,2020(2):1.DOI:10.12159/j.issn.2095-6630.2020.28.3473.
- [3] 代红梅.基于供需关系的京津冀地区装配式混凝土预制构件厂布局优化研究[D].北京建筑大学,2021.
- [4] 王强,林如,李雪来.BIM+数字孪生技术的装配式轨道交通工程预制构件生产管理应用研究[J].工程管理学报,2021,35(3):6.DOI:10.13991/j.cnki.jem.2021.03.016.
- [5] 伍军、宋林、王步云、赵邦国、赵夕国.面向对象和服务的桥梁工程信息管理平台研究与实践[J].图学学报,2020,41(5):9.DOI:10.11996/JG.j.2095-302X.2020050824.