

# 公路桥梁工业化建造与数字化设计一体化研究

肖传宝

江西永为建筑工程有限公司 江西省吉安 343800

**摘要：**在交通基础设施建设高质量发展的背景下，公路桥梁工业化建造与数字化设计的一体化融合成为行业转型的核心方向。传统建造模式存在设计与施工脱节、生产效率低下、资源浪费严重等问题，难以适应现代工程需求。工业化建造依托标准化生产实现构件预制与现场装配的高效衔接，数字化设计则通过信息技术构建全流程数据支撑体系，两者的深度融合可突破各自发展瓶颈。本文系统分析工业化建造与数字化设计的内在关联，明确以 BIM 信息集成、DfMA 设计方法、数据协同技术为核心的实现路径，结合实践提出一体化实施的组织架构、工作流程及标准体系，为公路桥梁工程提质增效、绿色低碳发展提供实践方案，推动行业建造模式的革新升级。

**关键词：**公路桥梁；工业化建造；数字化设计；一体化

## 引言

我国公路桥梁建设已从规模扩张阶段迈入质量提升阶段，传统以现场浇筑为主的建造模式面临诸多挑战。现场作业受自然环境影响大，施工周期长且质量管控难度高，同时产生大量建筑垃圾与能源消耗，与绿色建造理念相悖。工业化建造通过工厂预制、现场拼装的方式，大幅缩短现场作业时间，提升构件质量稳定性，但缺乏数字化设计的支撑易出现构件与现场需求不符、生产与安装衔接不畅等问题。数字化设计凭借参数化建模、信息化管理等优势，可实现设计过程的精准高效，却需依托工业化建造将设计成果转化成实体工程。两者的割裂应用制约了公路桥梁工程的发展效能，在此背景下，推动工业化建造与数字化设计一体化发展，构建“设计引领生产、生产反馈设计”的协同机制，成为破解行业发展瓶颈、提升工程建设水平的必然选择。

## 1 工业化建造与数字化设计的内在关联

### 1.1 数字化设计是工业化建造的前提

工业化建造以标准化、模块化、工厂化为核心特征，要求构件生产具备高度的精准性与一致性，而这一目标的实现必须以数字化设计为前提。数字化设计通过参数化建模技术，将桥梁墩柱、箱梁、盖梁等构件的尺寸、材质、受力参数等转化为精准的数据模型，为工厂预制提供明确的生产依据。相较于传统二维图纸，数字化模型可直观呈现构件的三维形态与内部结构，避免图纸解读偏差导致的生产错误。

同时，数字化设计能够提前模拟构件的拼装过程，识别不同

构件间的衔接冲突，优化构件接口设计，确保预制构件到场后可顺利安装。此外，数字化设计过程中形成的构件编码、生产工艺参数等数据，可直接导入工业化生产设备的控制系统，实现生产过程的自动化与精准化，减少人为操作误差，提升构件生产质量与效率。没有数字化设计提供的精准数据支撑，工业化建造难以实现标准化生产与高效装配，其优势也无法充分发挥。

### 1.2 工业化建造对数字化设计的需求

工业化建造的发展不仅依赖数字化设计的支撑，更对其提出了更高的需求，推动数字化设计从单一的图纸绘制向全流程数据服务升级。工业化建造中，构件生产、运输、安装等环节形成了紧密衔接的产业链，各环节均需设计阶段提供实时、精准的数据支持，这就要求数字化设计突破传统设计的边界，将设计数据延伸至施工全过程。例如工厂在预制构件时，需根据现场吊装设备的参数调整构件的吊点设计，这就要求数字化设计模型能够快速响应并更新相关数据；现场安装过程中发现的地质条件变化，也需要通过数字化设计及时优化构件尺寸与安装方案。同时，工业化建造强调成本与效率控制，要求数字化设计在满足结构安全的前提下，优化构件造型与生产工艺，降低材料消耗与生产难度。这种需求推动数字化设计从“为设计而设计”转向“为建造而设计”，促使设计过程更加贴近工程实际，提升设计成果的可实施性<sup>[1]</sup>。

### 1.3 两者融合的必然性与价值

工业化建造与数字化设计的融合是公路桥梁工程发展

的必然结果，其本质是实现设计与建造全流程的数据流贯通，消除信息壁垒，提升工程全生命周期管理水平。从行业发展来看，随着绿色建造、智能建造理念的深入，传统碎片化的建设模式已无法满足工程高质量发展的需求，而两者的融合能够整合设计、生产、施工等各环节资源，实现全过程的协同高效。从实践价值来看，融合发展可大幅提升工程建设效率，数字化设计模拟与工业化预制生产相结合，可将桥梁建设周期缩短30%以上；通过精准的设计与生产控制，减少材料浪费与返工成本，降低工程总造价；构件在工厂标准化生产，质量可控性显著提升，减少后期养护维修投入。此外，融合过程中形成的全流程数据，为工程运营阶段的健康监测与维护提供数据支撑，延长桥梁使用寿命。这种融合不仅是技术层面的叠加，更是建造理念的革新，为公路桥梁工程实现提质增效、绿色低碳发展提供核心动力。

## 2 一体化实现的关键技术路径

### 2.1 基于BIM的全过程信息集成技术

BIM技术作为数字化设计的核心载体，能够整合公路桥梁工程全生命周期的信息资源，实现设计、生产、施工、运营各阶段的数据贯通，是一体化实现的核心技术支撑。在设计阶段，BIM技术通过构建三维可视化模型，将桥梁的几何信息、材料信息、力学性能等数据集成一体，设计人员可通过模型进行碰撞检测、结构分析，优化设计方案，确保设计的科学性与合理性。在生产阶段，BIM模型中的构件参数可直接对接工厂的生产管理系统，自动生成构件生产清单、工艺卡片与数控加工代码，指导钢筋加工、混凝土浇筑等生产工序，实现设计数据向生产数据的无缝传递。在施工阶段，BIM模型与施工进度计划相结合，形成4D施工模拟，直观呈现施工进度与构件安装顺序，优化施工方案；通过移动端实时采集现场施工数据，与BIM模型进行对比分析，及时发现并解决施工偏差。全过程信息集成打破了各阶段的信息孤岛，确保设计数据在工业化建造各环节的一致性与准确性，为一体化提供坚实的数据基础<sup>[2]</sup>。

### 2.2 面向制造与装配的设计（DfMA）方法

面向制造与装配的设计方法，核心是在设计阶段充分考虑构件的制造可行性与装配便捷性，实现设计与工业化生产、现场装配的深度协同，是连接数字化设计与工业化建造的关键纽带。该方法要求设计人员打破传统设计思维，在构件设计初期便与生产、施工人员充分沟通，明确生产设备的

加工能力、运输条件的限制、吊装设备的参数等实际需求。在构件造型设计上，采用模块化、标准化设计理念，减少构件类型与规格，提升构件的通用性与可重复性，降低生产难度与成本。例如在桥梁箱梁设计中，通过优化截面形式，采用统一的钢筋排布方式，便于工厂实现钢筋骨架的自动化加工与安装。在构件接口设计上，采用标准化、智能化的连接方式，设计便于定位、安装简便的接口结构，减少现场焊接、浇筑等湿作业，提升装配效率。同时，借助数字化设计工具对构件的制造与装配过程进行模拟，提前识别设计方案中存在的生产障碍与装配冲突，优化设计细节，确保设计方案能够高效转化为工业化生产成果。

### 2.3 设计与生产施工的数据协同技术

数据协同技术确保设计数据在生产、施工各环节的实时传递与动态更新，是实现一体化协同作业的技术保障。通过构建统一的数据协同平台，整合设计、生产、施工等各方数据资源，建立数据共享与交互机制，实现各参与方对数据的实时获取与使用。采用物联网技术在预制构件生产设备、运输车辆、现场吊装设备上安装传感器，实时采集构件生产进度、运输位置、安装状态等数据，通过数据协同平台反馈至设计端。设计人员基于这些实时数据，及时调整设计方案以适应实际生产施工需求。例如当现场施工发现地质条件与设计勘察不符时，施工人员通过平台上传现场数据，设计人员基于数据快速优化构件基础设计，并将更新后的设计数据同步至工厂与施工现场，确保生产与施工工作有序推进。同时，采用区块链、云计算等技术保障数据安全与存储可靠性，确保数据在传递过程中的完整性与准确性，避免数据篡改或丢失导致的协同失误，实现设计与生产施工的动态协同<sup>[3]</sup>。

## 3 一体化实施的组织与管理模式

### 3.1 一体化的项目组织架构

构建一体化的项目组织架构，核心是打破设计、生产、施工单位之间的壁垒，建立统一协调、权责明确的管理体系。成立以项目总负责人为核心的一体化管理领导小组，统筹协调设计、生产、施工各环节工作，明确各参与方的职责与权限。领导小组下设设计协同组、生产管理组、施工协调组与技术保障组，设计协同组由设计单位主导，负责数字化设计方案的制定与数据更新；生产管理组由预制工厂主导，负责根据设计数据组织构件生产；施工协调组由施工单位主导，负责现场施工组织与进度管控；技术保障组由各单位技术人

员组成，负责解决一体化实施中的技术难题。建立定期沟通机制，每周召开协同会议，通报各环节进展情况，协调解决存在的问题<sup>[4]</sup>。

### 3.2 跨阶段协同的工作流程

建立跨阶段协同的工作流程，实现设计、生产、施工各阶段的无缝衔接，是一体化实施的关键环节。工作流程以数字化设计为起点，设计单位完成 BIM 模型构建后，提交至协同平台供生产、施工单位审核，各方提出修改意见后，设计单位优化完善模型；模型确认后，生产单位基于模型数据制定生产计划，生成生产指令并组织构件生产，同时将生产进度实时上传至平台；施工单位根据设计模型与生产进度制定施工计划，提前做好现场准备工作；构件生产完成后，运输单位根据施工进度计划制定运输方案，将构件运至现场；施工单位基于 BIM 模型进行构件吊装与拼装，将现场施工数据反馈至平台，为后续工序与运营维护提供数据支持。在流程实施过程中，采用并行工程理念，将后续阶段的工作提前融入前序阶段，例如在设计阶段便邀请生产、施工人员参与方案讨论，在生产阶段提前规划运输与安装方案，缩短整体项目周期。通过跨阶段协同流程，实现各环节的有序衔接，避免出现脱节与冲突。

### 3.3 统一的标准与数据管理

统一的标准与数据管理是确保一体化实施中数据准确传递、各方协同顺畅的基础保障。制定涵盖设计、生产、施工全过程的标准体系，包括 BIM 模型创建标准、构件编码标准、数据交互标准、质量验收标准等。BIM 模型创建标准明确模型的精度等级、数据分类、建模规范等要求，确保不同设计人员创建的模型具有一致性；构件编码标准为每个构件分配唯一编码，实现构件从设计、生产到安装的全生命周期可追溯；数据交互标准统一各系统间的数据格式与传输协议，确保数据在不同平台间的无缝传递；质量验收标准明确构件生产与现场安装的质量要求，为质量管控提供依据。在数据管理方面，建立统一的数据库，集中存储设计模型数据、生产数据、施工数据等全流程信息，采用数据加密、权限管理等措施保障数据安全。配备专业的数据管理人员，负责数据的采集、整理、更新与维护，确保数据的及时性、准确性与完整性<sup>[5]</sup>。

## 4 结语

公路桥梁工业化建造与数字化设计的一体化，是推动交通基础设施建设高质量发展的核心路径，其本质是通过技术融合与管理革新，实现设计与建造全流程的协同高效。两者的深度融合并非简单的技术叠加，而是建立在内在关联基础上的系统性变革，数字化设计为工业化建造提供精准数据支撑，工业化建造为数字化设计提供实践载体，共同构建起高效、优质、绿色的建造体系。一体化的实现需依托 BIM 信息集成、DfMA 设计方法、数据协同技术构建技术路径，同时通过一体化组织架构、跨阶段协同流程、统一标准体系提供管理保障。实践表明，这种一体化模式能够有效解决传统建造模式中设计与施工脱节、生产效率低下、质量管控困难等问题，显著提升工程建设的效率与质量，降低建设成本与资源消耗。公路桥梁工程具有地域差异性大、技术复杂度高的特点，在一体化实施过程中，需结合工程实际情况优化技术与管理方案，确保模式的适用性与可操作性。随着智能建造技术的不断发展，工业化建造与数字化设计的一体化将朝着更加智能、高效的方向迈进。通过持续的技术研发与实践总结，不断完善一体化技术体系与管理模式，将进一步推动公路桥梁工程建造模式的革新，为我国交通基础设施建设的高质量发展提供有力支撑，助力实现交通强国的战略目标。

## 参考文献：

- [1] 欧阳学, 彭亿洲, 欧阳平. 智能建造与建筑工业化关键技术与实践探索 [J]. 建筑工程技术与设计, 2021(32).
- [2] Li Qingpeng, 李清朋. 装配式混凝土结构的低碳化与数字化建造研究展望 [C]// 中国土木工程学会 2020 年学术年会. 中国土木工程学会, 2020.
- [3] 樊则森. 建筑工业化与智能建造 融合发展的几点思考 [J]. 中国勘察设计, 2020(9):3.DOI:CNKI:SUN:KCSJ.0.2020-09-013.
- [4] 黄轩安, 史月霞, 陈可楠, 等. 基于 BIM 技术的装配式建筑全过程信息化管理与数字化建造方法研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2022(001):014.
- [5] 叶浩文, 樊则森, 苏衍江. 工业化建筑标准化, 数字化, 一体化建造关键技术 [J]. 建设科技, 2022(7):38–41.