

# 基于 BIM 的快速路装配式桥梁施工协同管理研究

毛维政 王雅泽 张海波

山东省路桥集团有限公司 山东济南 250014

DOI:10.32629/ems.v8i5.20126

**[摘要]** 随着城市快速路建设的快速发展,装配式桥梁因其施工速度快、质量可控、环境影响小等优势,已成为桥梁建设的重要发展方向。然而,装配式桥梁涉及设计、预制、运输、吊装等多个环节,参与方众多,传统管理模式面临信息孤岛、协同效率低等挑战。建筑信息模型(BIM)技术的兴起为破解这一难题提供了新思路。本文系统梳理了BIM技术在装配式桥梁施工协同管理领域的研究现状与应用进展,从全生命周期信息集成、协同设计、预制生产管理、装配施工可视化、运维管养等维度分析了BIM技术的应用场景与实现路径,探讨了BIM与物联网、三维激光扫描、数字孪生等新兴技术的融合趋势,并指出了当前研究面临的挑战与未来发展方向。研究表明,基于BIM的协同管理平台能够有效打通装配式桥梁建设各环节的信息壁垒,实现设计-生产-施工-运维的一体化协同,为快速路装配式桥梁的高质量建设提供技术支撑。

**[关键词]** BIM; 装配式桥梁; 快速路; 协同管理; 全生命周期

## 引言

城市快速路作为现代城市交通的骨干网络,对缓解交通压力、提升城市运行效率具有重要作用。在快速路建设中,桥梁工程往往占据较大比重,且面临着施工周期紧、交通影响大、质量要求高等多重挑战。传统的现浇施工方式需要在现场进行大量模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑等作业,不仅施工周期长,而且对周边交通和环境造成较大干扰。

装配式桥梁技术的出现为这一困境提供了有效解决方案。该技术将桥梁的上部结构和下部结构的主要构件在预制厂集中生产,然后运至现场进行拼装,具有施工速度快、质量易保证、现场作业少、环境影响小等显著优势。自1945年在法国首次尝试应用以来,预制装配技术已在全球范围内得到广泛推广。然而,装配式桥梁对构件精度控制要求极高,节段运输、体系转换、现场拼装等环节均需严格把控,对管理协同提出了更高要求。

## 1 BIM技术在装配式桥梁全生命周期中的应用框架

### 1.1 装配式桥梁建设特点与管理需求

装配式桥梁项目具有鲜明的行业特征。首先,业务链长,横跨制造业和建筑业两大领域,涉及设计单位、钢结构/混凝土构件制造企业、施工单位、养护单位等多个主体。其次,参与方多,各主体之间的信息交互频繁且复杂。第三,精益化管理难度大,构件的设计、生产、运输、安装各环节环环相扣,任一环节的偏差都可能影响整体进度和质量。

由于缺乏有效的数字化手段,装配式桥梁全生命周期各阶段往往形成信息孤岛,导致项目各参与方之间协作效率低、项目进度滞后、无法对项目进行有效的调整决策等问题。因此,构建贯穿全生命周期的信息协同平台成为行业发展的迫切需求。

### 1.2 全生命周期信息集成框架

针对上述问题,学者们提出了基于BIM的全生命周期信息集成框架。惠记庄等以装配式钢桥为研究对象,构建了基于BIM与物联网的钢桥建管养系统,围绕设计-制造-建设-管养的全生命周期主线,聚焦多主体协同设计、预制构件协同制造、装配施工可视化和运行状态维护四个典型应用场景。

该框架的核心思想是建立统一、标准化的BIM平台,实现各阶段信息的无损传递。在设计阶段,构建统一标准的智慧桥梁BIM模型;在制造阶段,通过二维码、RFID等技术将构件数字化为智能实体,实现跨工厂生产任务流程的优化;在施工阶段,基于轻量化的BIM模型实现云端远程监控;在运维阶段,利用传感器数据对桥梁健康状态进行监测与预测。

类似地,上海市政工程设计研究总院等单位也开展了贯穿预制装配桥梁全生命周期的BIM协同管理平台研究,涵盖设计、施工到运营维护各阶段。这些研究表明,全生命周期信息集成已成为BIM技术在装配式桥梁领域应用的主流方向。

## 2 基于BIM的协同设计技术

### 2.1 多专业协同设计

装配式桥梁设计涵盖结构、排水、电气等多个专业领域。传统设计模式下各专业独立开展工作,由于缺乏统一的信息共享平台,专业间易产生碰撞冲突,导致设计返工和工期延误。BIM技术的引入为跨专业协同设计开辟了新路径,通过构建统一的BIM模型,实现各专业信息的集成与共享。

初步设计阶段,各专业设计成果可整合至BIM模型中,利用软件的碰撞检测功能自动检查构件间空间关系。系统可快速识别管线与桥梁结构、管线之间的物理冲突,生成详细碰撞报告。设计团队据此优化管线走向,制定科学合理的管

线搬迁和桥梁布跨方案,从源头上规避设计缺陷。工程实践表明,采用BIM协同设计可减少约30%的设计变更。

复杂钢桥节点处理方面,传统流程需在不同软件间反复转换数据,效率低下且易出错。通过BIM技术,可将精细化模型进行格式转换,生成符合有限元分析软件要求的文件,直接导入ANSYS、MIDAS等计算平台进行结构分析。该方法大幅提升计算和设计效率,确保结构分析准确可靠。

预应力混凝土桥梁建设中,BIM技术优势凸显。在模型中可进行钢筋与预应力钢束的三维可视化建模,通过碰撞检查功能提前发现并调整位置冲突。对于组合梁桥,可对桥面板钢筋与剪力钉进行精细化检查,确保二者空间协调,避免施工阶段因冲突造成的返工。

## 2.2 场地环境集成与方案比选

项目前期策划阶段,准确获取场地环境信息对科学决策至关重要。传统现场踏勘和二维图纸难以全面反映复杂地形地貌及周边环境。采用倾斜摄影或三维激光扫描技术,可快速生成高精度地形模型和周边建筑信息模型,精度可达厘米级。

将现状数据与方案数据、选址范围线等整合,形成包含地形、建筑、管线、绿化等要素的综合场地模型。基于此模型,可精确分析房屋动拆迁范围、管线绿化搬迁范围、临时用地需求等,将工程线位和用地情况以三维可视化呈现。这种直观的决策支持方式,使项目各方参与人员清晰理解工程影响范围,有效提升决策效率和科学性。

方案设计阶段,BIM技术为多方案比选提供了高效平台。利用BIM建模工具,可在精确场地模型中快速生成多个桥梁设计方案,涵盖不同桥型选择、跨径布置、结构形式等。每个方案不仅包含几何信息,还可关联材料用量、造价估算、施工难度等属性数据,便于综合评估。

基于BIM模型,可快速生成施工模拟、交通组织、环评模拟等专项方案汇报资料,包括三维动画、漫游视频、效果图等。这种表达方式显著改善了传统以图纸、报表为媒介的平面表达局限,使设计方案更直观易懂,提升沟通效率。

## 2.3 设计信息向施工阶段的传递

设计阶段完成的桥梁BIM模型可导入贯穿全生命周期的BIM协同管理平台,施工方可在既有模型基础上进行二次开发和利用。这种设计-施工信息无缝传递模式,有效避免了传统方式下设计图纸与施工脱节、信息重复录入等问题,为后续施工协同管理奠定坚实基础。施工单位可基于设计模型快速提取工程量、制定施工计划、模拟施工过程,实现信息价值最大化。

# 3 预制构件生产与物流管理信息化

## 3.1 构件加工精度控制

装配式桥梁对构件加工精度要求极高,传统检验方法难以满足毫米级精度控制需求。三维激光扫描技术的引入为这一问题提供了解决方案。利用激光点云扫描技术对加工完成的预制构件进行扫描,将设计三维BIM模型与实际结构点云数据进行叠加,通过数据分析软件进行符合度偏差分析,从而对预制构件的加工精度进行检验。

厦金大桥(厦门段)项目在这一领域取得了显著成果。项目团队利用BIM虚拟建造技术建模模拟生产过程,研发并应用“高精度构件匹配预制”、“混凝土裂缝控制”等技术,实现装配式墩台预制毫米级精度控制。对于重约3000吨的巨型预制墩台,实现了毫米级对接,标志着海上桥梁进入“陆海协同、智能拼装”的快速实施模式。

## 3.2 数字化预拼装

受到运输、吊装等条件的限制,装配式桥梁的大型构件一般是分段加工、出厂、装配。为了保证安装顺利进行,在出厂前需进行预拼装。传统实体预拼装实施难度大、效率较低,数字化预拼装技术为解决这一难题提供了新途径。

利用三维激光扫描技术,可将构件数字化,在计算机内实现数字化预拼装的偏差分析,及时发现构件拼接中的问题,避免后期在桥梁施工现场的拼接尺寸错误。梅山春晓大桥钢构件数字化预拼装实践表明,该技术可大幅提高预拼装效率和精度。

## 3.3 构件生产与物流跟踪

装配式桥梁构件往往在多个工厂进行分布式加工,为确保准时交付,需要对各工厂的加工任务和进度进行规划与跟踪。基于二维码、RFID与BIM技术,可将构件数字化为智能实体,各工厂之间可通过智能实体实时交互预制构件的加工任务和进度等信息。

BIM协同管理平台可管理预制构件的生产信息、运输信息、安装信息等,生成每个构件专属二维码,方便查看构件属性,追踪构件生产、运输、堆场安放、现场安装协调的所有信息,有利于对预制构件的全程管控,同时也为后期的桥梁养护提供方便。

中交一航局在厦金大桥项目中研发的大型智能化构件装运平台,创新采用“4000吨吨移斜船架及拉曳系统+液压顶推台车”组合工艺,并自主研发智能同步控制系统,实现预制墩台精准移送至半潜驳船。从预制厂到施工现场,全过程跟踪管理确保了构件的安全出运和精准就位。

# 4 装配施工过程可视化与协同控制

## 4.1 施工方案模拟与优化

装配式桥梁施工过程中,存在多种要素交叉作业,需要合理安排工作顺序和工作区域。利用虚拟现实和BIM技术,可以对钢桥装配施工流程进行仿真和优化。借助BIM结构模

型和现场环境模型,可对预制立柱、盖梁、主梁等构件进行吊装施工模拟,包括构件运输、构件吊装、构件调整归位、构件拼接、吊车走位、吊车吊装过程等。

吊装模拟技术可节约现场吊装时间,提高构件拼装的精准度,从而达到节约工程造价、提高工程质量的目的。在厦金大桥项目中,项目团队利用BIM虚拟建造技术建模模拟生产过程,对3000吨级墩台的吊装方案进行了反复模拟优化,最终实现了“一次吊装、精准落位”。

#### 4.2 施工过程实时监控

在正式施工阶段,基于轻量化的BIM模型可实现云端远程监控。通过将实时传感器数据与BIM模型深度融合,可对施工状态进行几何与物理差异分析,自动生成施工参数修正与资源调配指令,精准预测形变、应力超限等风险,为复杂工程提供全周期数字化管理方案。

厦金大桥项目配备了国内最大双臂架变幅式起重船“二航卓越”,该设备最大起重量5500吨,配备智能辅助决策系统,可实时感知风、浪、流等环境条件,胜任复杂水域施工作业。项目团队还自主研发特大预制墩台智能化调位系统,将传统人工调整升级为“海上数字大脑”自动纠偏,攻克了浪涌扰动下千吨级预制构件的动态纠偏难题。

#### 4.3 多参与方协同管理

通过BIM协同管理平台可实现对装配式桥梁施工全过程的多参与方协同管理。以BIM技术为核心,以虚拟现实技术为基础,并结合云技术、物联网技术、数据分析技术,可实现对工程项目进度、成本、质量、安全、物料、文档、数据统计、数据分析等信息的管理。

可利用移动端平台对实际施工管理过程中遇到的问题进行及时反馈,尽快处理,避免不必要因素造成的施工拖延,确保项目顺利实施。这种协同管理模式已在赣州快速路全预制装配式市政桥梁等项目中得到应用,取得了良好的效果。

### 5 挑战与展望

#### 5.1 技术集成与实时性挑战

BIM与物联网、数字孪生等技术的深度集成仍面临技术挑战。实时性能、模型更新、成本控制、技能差距等问题制约着数字孪生技术的广泛应用。特别是对于大型复杂桥梁,海量数据的实时处理和分析对系统性能提出了更高要求。

未来,随着边缘计算、5G通信等新技术的发展,这些技术瓶颈有望逐步突破,为基于BIM的协同管理提供更强有力的技术支撑。

#### 5.2 未来发展方向

展望未来,基于BIM的装配式桥梁协同管理将向以下方向发展:

一是全生命周期一体化。从设计、预制、施工到运维的

全过程信息无缝集成,实现真正意义上的“数字孪生桥梁”。

二是智能化决策支持。基于BIM模型和人工智能算法,为施工方案优化、风险预警、养护决策等提供智能支持。

三是跨项目知识复用。将成功项目的经验知识化、模块化,形成可复用的装配式桥梁族库和管理模板,提高同类项目的实施效率。

四是行业级协同平台。从项目级平台向行业级平台发展,实现跨企业、跨区域的资源共享和协同合作。

### 6 结语

基于BIM的快速路装配式桥梁施工协同管理,是信息技术与传统建造技术深度融合的产物。本文系统梳理了该领域的研究现状与应用进展,从全生命周期信息集成、协同设计、预制生产管理、装配施工可视化、新兴技术融合等维度分析了BIM技术的应用价值与实践路径。

研究表明,基于BIM的协同管理平台能够有效打通装配式桥梁建设各环节的信息壁垒,实现设计-生产-施工-运维的一体化协同。BIM与物联网、三维激光扫描、数字孪生、机器人等技术的融合,进一步拓展了BIM的应用边界,为装配式桥梁的智能化建造提供了有力支撑。

尽管当前仍面临标准化、技术集成等挑战,但随着相关技术的不断成熟和行业实践的持续深化,基于BIM的协同管理模式将在快速路装配式桥梁建设中发挥越来越重要的作用,推动桥梁建设向更高质量、更高效率、更可持续的方向发展。

#### [参考文献]

[1] 惠记庄, 雷景媛, 王亚飞等. 基于BIM与物联网的钢桥智能建管养系统研究与应用[J]. 公路交通科技, 2023, 40(9): 126-134.

[2] 李金隆, 王新南, 刘东升等. BIM技术在公路装配式桥梁方案设计中的应用研究[J]. 中外公路, 2025, 45(1): 212-218.

[3] 肖春红, 朱明, 袁松. 公路常规桥梁BIM模型结构化组织方法研究[J]. 公路交通科技, 2023, 40(1): 106-112.

[4] 程盛, 毛阿立, 李婷等. 高速公路BIM正向设计技术体系研究及应用实例[J]. 公路工程, 2023, 48(4): 91-97.

[5] 张云鹤, 朱明, 范宇丰. 基于CATIA CAA的桥梁工程BIM模型轻量化方法研究[J]. 中外公路, 2023, 43(6): 101-104.

作者简介: 毛维政, 1998年6月, 男, 汉族, 山东省潍坊市, 研究生, 初级职称, 研究方向: 道路与桥梁工程。