

BIM 技术在市政桥梁工程设计与施工中的应用研究

杜顺成 张天鹏

西安工业大学

DOI:10.12238/etd.v6i1.11744

[摘要] 随着城市化进程的加速,市政桥梁工程作为城市交通体系的重要组成部分,其设计与施工的精度和效率日益受到重视。本文背景为探讨BIM(建筑信息模型)技术在市政桥梁工程设计与施工中的应用,旨在通过分析BIM技术的优势及其在桥梁工程中的具体控制要点,为提升桥梁工程的设计与施工水平提供理论支持。文章首先概述了项目概况及总体施工方案,随后详细分析了BIM技术在桥梁工程设计与施工中的控制要点,并分别探讨了BIM技术在桥梁工程设计阶段和施工阶段的应用实践,以期实现桥梁工程的高效、精确管理。

[关键词] BIM技术; 市政桥梁工程; 设计与施工; 应用研究

中图分类号: TV5 **文献标识码:** A

Research on the Application of BIM Technology in the Design and Construction of Municipal Bridge Engineering

Shuncheng Du Tianpeng Zhang

Xi'an Technological University

[Abstract] With the acceleration of urbanization, municipal bridge engineering, as an important component of urban transportation system, is increasingly valued for its accuracy and efficiency in design and construction. The background of this article is to explore the application of BIM (Building Information Modeling) technology in the design and construction of municipal bridge engineering. The aim is to provide theoretical support for improving the design and construction level of bridge engineering by analyzing the advantages of BIM technology and its specific control points in bridge engineering. The article first provides an overview of the project and the overall construction plan, followed by a detailed analysis of the control points of BIM technology in bridge engineering design and construction. It also explores the practical application of BIM technology in the design and construction stages of bridge engineering, aiming to achieve efficient and precise management of bridge engineering.

[Key words] BIM technology; Municipal bridge engineering; Design and construction; application research

引言

伴随着信息技术的飞速发展,BIM技术这一先进数字化工具被越来越多地运用于建筑行业。尤其在桥梁工程领域中,BIM技术因具有信息集成、三维可视化以及协同管理等强大功能,给设计、施工以及运维阶段都带来革命性变化。文章旨在对桥梁工程设计与施工阶段中BIM技术的具体运用进行深入探究,并分析该技术对于提升设计效率、优化施工方案以及减少施工风险所具有的优越性,希望对桥梁工程数字化、智能化转型有所借鉴。

1 项目概况及总体施工方案

1.1 项目概况

咸丰朝阳大桥位于湖北恩施州咸丰县(图1)。主桥采用净跨195m钢管混凝土桁架上承式拱桥,由拱肋、横撑、立柱、检修道

等组成,主拱拱肋为等截面钢管混凝土桁架结构,净跨比为1/5,轴线为悬链线,拱轴系数 $m=2.2$,桥中心设计标高距唐岩河常水位约97m。

该桥按照吊装流程分为24个主拱吊装节段(不包含预埋段及合龙段)、13组风撑、12组钢立柱(24个钢管),该桥于2022年10月建设完成。

1.2 总体施工方案

拱肋吊装采用缆索吊装、节段扣挂法施工。钢管拱肋按照从拱脚至拱顶并满足横桥向纵桥向对称安装的顺序,绑扎方式使用钢丝绳及卸扣捆绑上弦管,两个主起吊分别捆绑节段的前后点,横撑应在相对应两个节段焊接加固完成后进行安装。



图1 大桥实体图



图2 拱肋吊装图

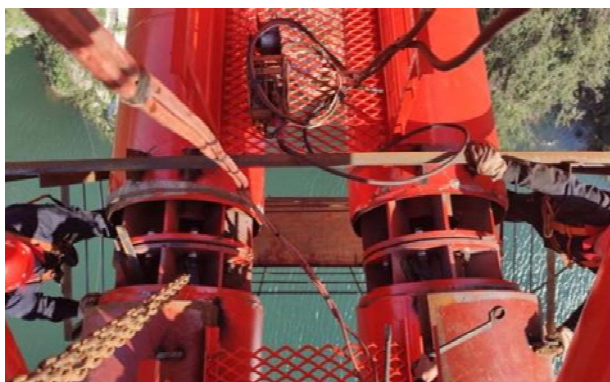


图3 拱肋对接

拱肋安装按照如下步骤进行: (1) 拱脚预埋部分安装→(2) 拱肋节段出场检验→(3) 拱肋运输至索塔下, 安装焊接平台, 捆绑起吊→(4) 吊运至对应安装位置→(5) 利用缆索吊和导链初步调整拱肋, 将管内的导向定位管及法兰盘进行定位对接, 安装法兰定位螺栓→(6) 通过测量调整标高和拱肋轴线至满足设计要求→(7) 拧紧螺栓, 拉紧风缆, 再次进行测量调整→(8) 安装嵌补段, 围焊节间嵌补段环焊缝→(9) 焊接完成松扣, 用扣索拉紧→(10) 对称安装所有节段及横撑→(11) 合龙。

2 BIM技术在桥梁工程设计施工中的控制要点分析

2.1 焊接变形

焊接作为桥梁结构连接中的一种重要方式, 焊接质量的好坏直接决定了桥梁整体的稳定性与安全性。但在焊接过程中常因热量分布不均匀而造成焊接变形。根据数据显示, 如果不进行适当的控制, 焊接的变形率可能在5%~10%之间, 这对桥梁的结构精度和持久性产生了严重的负面影响。将BIM技术应用于焊接变形控制, 采用模拟分析与实时监测相结合的方法可以明显降低该变形率。桥梁设计阶段BIM技术能够对焊接过程进行模拟, 并对构件在不同焊接参数作用下的变形进行分析。如工程师可通过BIM模型预测焊缝截面积、焊接方法和焊接顺序对焊接变形产生的影响。据研究, 采用较小的坡口尺寸可将变形量减少约20%, 热输入量较小的焊接方法(如CO₂气体保护焊)可将变形量减少约30%。工程师利用BIM技术进行模拟分析可优化焊接工艺、降低焊接变形发生率。施工时, 将BIM技术与传感器相结合, 对焊接时温度变化, 应力分布以及其他关键参数进行实时监控。根据实时监测的数据, 焊接的变形率在实时监控下可以减少到1%~2%。另外, 利用BIM模型可指导焊接变形之后的纠正。通过对不同矫正方案效果的仿真, 工程师能够选择最优方案来执行, 保证桥梁结构稳定安全。根据数据显示, 当使用BIM技术进行矫正时, 矫正的效率和准确性可以增加大约30%。

2.2 测量控制

将BIM技术应用于测量控制, 从高精度模型建立, 数据提取及现场应用等方面进行研究, 并对测量方案进行优选, 可以显著提升测量精度及效率。施工准备阶段, 利用BIM技术构建高精度桥梁模型。研究表明: 基于BIM模型所提取测量点信息的准确性可以提高到毫米级。为后续测量工作, 提供可靠基准。施工期BIM技术与三维激光扫描及其他高精度测量设备相结合实现了桥梁结构的实时监控与复核。监测数据表明, 在使用BIM技术和高精度测量设备进行桥梁工程施工的情况下, 施工偏差率能够被有效地减少到0.5%以内。另外, 利用BIM技术可对测量方案进行优化指导。通过对不同测量方案结果的仿真, 工程师们能够选择最优方案来实现。根据数据显示, 使用BIM技术进行优化的测量计划, 其测量的效率和精确度可以增加大约20%~30%。

2.3 合龙控制

将BIM技术应用于合龙控制, 可以通过确定合龙时间, 对合龙过程进行仿真及优化并对合龙质量进行实时监控等手段保证合龙精度及质量稳定。合龙之前, 利用BIM技术模拟合龙点受气候条件影响的形变情况。根据模拟资料, 气温每升、降10°C, 合龙点变形量可达几毫米到几十毫米。因此, 利用BIM技术模拟分析可确定合龙最佳时期, 即当气温偏低且温差变化不大时, 合龙有助于降低合龙点变形量。合龙时, 利用BIM技术对合龙构件安装次序及焊接过程进行仿真。通过模拟分析工程师们能够对合龙方案进行优化, 如采取先预拼装再焊接等措施来降低焊接变形对于合龙精度造成的影响。根据相关研究, 利用BIM技术进行优化的合龙策略, 其合龙的准确性可以增加大约15%~20%。同时, BIM技术与高精度测量设备相结合, 实现了合龙过程的实时

监控,保证了合龙构件精确到位及焊接质量稳定。根据所收集的监测数据,使用BIM技术进行实时监控的合龙项目,其合龙的质量合格率能够超过98%。

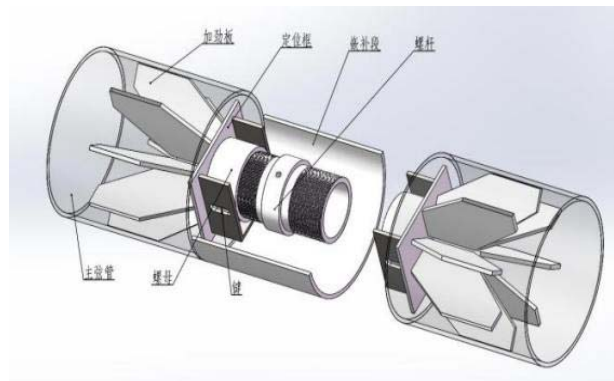


图4 合龙段构造



图5 合龙

3 BIM技术在桥梁工程设计阶段的应用实践

3.1前期设计：概念构思与初步规划

在桥梁工程设计初步阶段中,借助BIM技术可以使设计师利用三维建模工具将桥梁设计中的抽象概念具象化成直观三维模型,这样既大大加强了设计构思可视化效果,又便于设计团队内交流和合作。概念构思阶段BIM模型使设计师可以通过对模型几何形态、材料属性和其他参数进行调整来自由探索各种设计方案,迅速对各设计方案进行可行性及效果评价,使设计思路迅速趋同并确定最优设计方案。

在进入初步规划阶段后,BIM技术又进一步显示出较强的信息集成和处理能力。设计师可使用BIM模型开展场地分析、交通流量模拟和环境影响评估,其成果可为桥梁工程选址、布局 and 规模等重要决策提供科学依据。另外,BIM技术支持对设计方案进行动态调整和优化,设计师可根据分析结果对模型进行实时修正,以保证设计方案在满足功能需求的同时也能满足环境、经济等诸多约束。

3.2后期深化：详细设计与方案优化

在桥梁工程设计后期加深阶段,借助BIM技术可以使设计师根据前期概念构思和初步规划结果对桥梁结构进行进一步提

炼、细化材料选择、深化施工方案等等,从而形成一个完整准确的设计文件。在桥梁的详细设计过程中,BIM模型为设计师提供了一个高度精确的三维视觉环境,使他们能够对桥梁的各个部分,如尺寸、形态和材料,进行精准的建模、连接方式等以保证设计细节准确完整。

表1 BIM技术在桥梁工程设计前期阶段的应用

阶段	应用内容	示例
概念构思	利用三维建模工具具象化设计概念	-初始设计概念草图数量: 5 张 -三维模型创建时间: 48 小时 -模型几何形态调整次数: 12 次(包括桥梁跨度、高度、倾斜角度等调整) -材料属性测试数据: 混凝土强度等级 C50, 钢材屈服强度 420MPa -设计方案可行性评估得分: 85/100(基于结构稳定性、成本效益等因素)
	探索多种设计方案并确定最优	-设计方案总数: 3 种 -每种方案评估时间: 2 小时(包括模型调整、模拟分析、团队讨论等) -最优方案确定时间: 第 5 天 -最优方案得分与其他方案对比: 最优方案得分 90/100, 较次优方案提高 5%
初步规划	场地分析	-场地地形图数据: 包含 100 个测量点的高程、坐标信息 -地质勘察报告: 详细描述了场地土层分布、地下水位等信息, 共 15 页 -场地利用率评估: 基于地形图和地质勘察, 评估得出场地利用率为 80%(考虑桥梁基础施工和周边环境保护)
	交通流量模拟	-模拟时间段: 选取工作日早晚高峰时段(7:00-9:00, 17:00-19:00) -模拟结果: 早晚高峰时段平均车流量分别为2000辆/小时和2500辆/小时, 桥梁设计需满足该交通流量需求

同时BIM技术也为设计方案深度优化提供了支撑。设计师可通过BIM模型对其进行结构分析、风载分析以及抗震分析,其结果有利于找出设计方案中可能存在的缺陷与不足,继而引导设计师有针对性地对设计方案进行优化。如通过调整结构布局、加强连接节点强度以及优化材料选择来提高桥梁整体性能及安全性。另外,BIM技术支持多方案比选功能,设计师可通过相同平台对不同设计方案进行性能、成本和施工难度的比选以选出最佳方案。

4 BIM技术在桥梁工程施工阶段的应用探索

4.1模型构建与应用：三维信息模型的建立

桥梁工程施工阶段BIM技术第一个应用就是三维信息模型的建立,该模型不但整合了桥梁结构、材料和设备的全部关键信息,同时也包括施工进度、成本控制、质量管理以及整个施工过程的各种资料。构建三维信息模型为施工团队构建直观、全面、精确的虚拟施工环境大大促进施工准备工作高效优质进行。

在模型构建的过程当中,BIM技术可以对设计阶段所产生的

BIM模型进行充分地利用, 并且在其基础之上对其进行提炼与改进, 从而使其符合施工阶段所需要的真实情况。施工团队可根据工地实际情况微调模型内构件尺寸、材料属性和安装位置, 保证模型和施工现场高度吻合。同时BIM技术支持多专业协同建立模型, 即结构、电气、给排水等多专业团队能够在同一个平台中编辑更新模型, 从而避免信息孤岛与版本冲突问题。

利用三维信息模型不仅使施工团队能预先发现并化解可能存在的施工冲突, 而且使施工过程变得更可控、更有效。如通过BIM模型来模拟施工, 能够预测施工中的关键与难点, 以便于预先制定对策; 利用BIM模型计算工程量, 能够准确地计算所需要的物资、设备及其他资源, 从而为施工采购及成本控制提供可靠的依据。

4. 2碰撞检测与规避：预防施工冲突

桥梁工程施工阶段BIM技术还有一个重点应用就是碰撞检测和避免, 对防止施工冲突和保证施工的顺利进行有着非常重要的作用。通过BIM技术使施工团队能够在虚拟环境下准确地建立桥梁结构、设备和管线的模型, 并且根据这些模型实现碰撞检测与分析。通过碰撞检测分析, 可以自动地识别模型中可能出现的空间、物理或功能上的冲突, 例如结构部件之间的碰撞或设备与管道的交叉, 这样可以在施工开始之前及时识别并处理这些可能的问题。

BIM技术碰撞检测功能在提高施工准备精度与效率的同时也显著减少施工中变更与返工等风险。利用BIM模型对施工进行仿真, 施工方能够直观地观察到施工中各方面的状况, 其中包括构件安装的先后顺序和设备布置的地点, 从而预先找出可能出现的施工冲突及制定规避措施。如对结构构件间的撞击, 可通过调整其大小、形状或者安装位置等方式进行处理; 对设备和管线交叉, 可采取优化设备布局和调整管线走向的措施进行规避。

<钢筋明细表>						
A	B	C	D	E	F	G
钢筋类型	规格/长度	数量(个)	单位(元)	重量(t)	计算成本(元)	实际成本(元)
钢筋 10 HRB400	2022 01	3280	3560	21.543	77220	83811
钢筋 25 HRB400	2022 01	3140	3500	202.573	634081	709007
钢筋 10 HRB400	2022 02	3080	3560	21.543	72511	83811
钢筋 25 HRB400	2022 02	2940	3490	202.573	595560	709001
钢筋 10 HRB400	2022 03	2950	2960	35.680	105257	105614
钢筋 25 HRB400	2022 03	2770	2750	253.217	701411	696346
钢筋 32 HRB400	2022 03	2860	2810	56.532	161682	158856
钢筋 10 HRB400	2022 04	2790	2840	28.544	79639	81666
钢筋 25 HRB400	2022 04	2600	2630	202.573	526691	532768
钢筋 32 HRB400	2022 04	2630	2680	45.226	116944	121205
钢筋 10 HRB400	2022 05	2630	2660	35.680	93839	94910
钢筋 25 HRB400	2022 05	2470	2500	253.217	625445	633042
钢筋 32 HRB400	2022 05	2480	2520	56.532	140200	142461
钢筋 8 HRB300	2022 06	2370	2400	174.871	414443	419689
钢筋 10 HRB400	2022 06	2570	2600	120.112	308687	312291
钢筋 12 HRB400	2022 06	2550	2580	280.402	715024	723436
钢筋 16 HRB400	2022 06	2400	2440	636.513	1527831	1553091
钢筋 25 HRB400	2022 06	2420	2450	50.643	122557	124076
钢筋 32 HRB400	2022 06	2500	2520	43.226	113065	113969
总计	33476			2727.201	7135893	7396432

图6 钢筋成本

4. 3工程量精确计算与成本控制

桥梁工程施工阶段BIM技术运用也表现为工程量精确计算和成本控制, 对工程经济效益最大化具有重要意义。传统工程量计算方法通常依靠人工测量与图纸解读相结合, 既费时费力又

易出现错误。而BIM技术可以通过建立三维信息模型对桥梁工程各构件数量、大小、材料进行自动识别与计算, 以达到准确计算工程量。

以BIM技术为基础进行工程量计算在提高计算精度与效率的同时, 也对成本控制起到强有力的支撑作用。施工团队能够基于BIM模型所计算的工程量准确地测算所需要的材料、设备和其他资源数量及相应费用。这样既有利于避免资源浪费、成本超支等问题, 又能为施工采购、预算管理等工作提供可靠的依据。

另外, BIM技术为成本控制提供了动态监控与实时调整支持。施工方可通过BIM模型对工程量信息进行实时更新和成本调整。如在检测到某一个构件大小或者数量变化后, BIM模型就可以自动地更新对应工程量信息以及计算所带来的费用变化。这使得施工团队能够及时发现成本偏差, 并采取相应的纠正措施, 从而确保项目成本控制在合理范围内。

4. 4图纸生成与细节深化：施工指导与精确表达

在桥梁工程建设阶段, BIM技术进一步运用也表现为图纸生成和细节深化, 对施工指导和精确表达具有重要作用。施工团队可通过BIM技术在三维信息模型的基础上自动生成既包括桥梁结构总体布局又包括关键尺寸的施工图纸, 并对各部件的细节尺寸、材质、连接方式等重要信息进行了详细论证。该图纸自动生成方法在提高图纸准确性与一致性的同时, 显著减少图纸生成所需时间, 从而为施工进度顺利进行提供强有力的保证。

从细节深化角度来看, BIM技术使施工团队能够针对桥梁结构复杂节点、特殊构件进行细致建模与分析, 以保证这些关键部位施工的质量与安全。如针对桥梁预应力张拉、索塔连接这类复杂节点, 利用BIM技术能够对其进行准确的力学分析与仿真, 有助于施工团队了解节点受力状态及连接方式以制定科学合理的施工方案。

4. 5三维可视化施工管理：直观监控与高效协调

利用BIM技术建立的三维信息模型可以使施工团队在虚拟环境下对桥梁工程施工进度、资源配置等情况进行实时仿真与显示、人员调度等重要信息对施工过程进行可视化监控。该直观可视化展示不仅能使施工团队快速把握施工现场整体状况, 而且能及时发现并解决施工中出现的各种问题, 提高施工管理效率与精度。

从高效协调的角度来看, BIM技术将施工中各种信息进行整合, 使施工团队及其他相关方之间能够进行无缝交流。施工团队可借助BIM平台协同管理施工进度、质量和安全, 保证所有施工活动按计划有序开展。同时BIM技术也为施工期间变更管理与风险管理提供了支撑, 通过模型信息的实时更新与共享, 使施工团队可以快速地应对施工期间变更要求做出反应, 并且评价了变更对于施工进度及费用的影响程度, 以便制定科学合理的变更方案。

另外, BIM技术也为施工过程质量管理、安全管理等提供

了支撑。借助BIM模型可使施工团队在施工中对关键节点及特殊部位开展质量检查与安全评估工作,保证施工质量与安全满足相关规范与要求。同时BIM技术也能为施工期安全预警及应急响应提供支持,有利于施工期团队对施工期安全风险进行及时处理。

5 总结

总之,BIM技术应用于桥梁工程设计施工阶段,既提高设计精度、施工效率,又增强设计、施工协同,减少工程变更、返工等风险。通过BIM技术对施工进行三维可视化管理,使施工团队能直观地对施工进度进行监测,有效地协调各方面资源、保证施工质量与安全。另外,BIM技术为桥梁工程后期运行维护提供大量数据支撑,有利于工程项目全生命周期管理。所以,BIM技术应用于桥梁工程领域中具有广阔的发展前景,值得我们进一步推广与研究。

[参考文献]

[1]方志强.基于BIM的智能化技术在装配式桥梁工程施工管理中的应用[J].工程建设与设计,2023(15):145-147.

[2]王民.BIM技术在装配式桥梁工程中的运用要点[J].建筑工程技术与设计,2023,11(26):34-36.

[3]李德旭,王元戎,夏琦.BIM技术在道路与桥梁工程设计中的应用综述[J].科技资讯,2023,21(21):157-161.

[4]胡玮.BIM技术在桥梁工程设计中的应用分析[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2023(1):59-60.

[5]谢俊明.基于BIM的桥梁工程设计与施工优化研究[J].交通科技与管理,2023(3):0156-0158.

作者简介:

杜顺成(1978--),男,汉族,河南驻马店人,博士,副教授,研究方向:市政工程设计与施工技术。