

BIM 技术在双索面斜拉桥施工中的应用

王 圣¹, 杨小飞¹, 黄 浩¹, 任 娟², 彭琳娜²

(1. 中铁五局集团第一工程有限责任公司, 湖南 长沙 410117;

2. 湖南省建筑科学研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:为了解决传统设计的多个技术难点,以清江市政特大桥工程为背景,通过 BIM 的参数化建模,灵活调整设计参数,实时更新模型,更好地实现适应地形地质和结构安全性需求;通过组件碰撞检测功能,及时发现并解决设计中的空间冲突,实现避免施工中的返工和错误;通过利用 BIM 的二维出图和工程量精确计算功能,提高设计出图的效率,实现确保施工材料的精确采购和使用。结果表明:BIM 技术显著提高设计的准确性和施工效率,实现减少项目成本和时间的消耗。本文成果可为更广泛的工程建设领域提供参考。

关键词:BIM 技术; 双索面斜拉桥; 参数化建模; 工程量精确计算; 提升效率、减少成本; 技术应用

中图分类号:U448.27

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2025)01-0057-05

doi:10.13402/j.gcjs.2025.01.009

Application of BIM technology in construction of double-cable-plane cable-stayed bridges

WANG Sheng¹, YANG Xiaofei¹, HUANG Hao¹, REN Juan², PENG Linna²

(1. China Railway No. 5 Group First Engineering Co., Ltd., Changsha 410117, Hunan, China;

2. Hunan Academy of Building Sciences Co., Ltd., Changsha 410000, Hunan, China)

Abstract: In order to solve the multiple technical difficulties of traditional design, based on the Qingjiang Municipal Large Bridge project as the background, BIM parametric modeling is used to flexibly adjust design parameters and update the model in real time to better adapt to the terrain, geology and structural safety requirements; Through the component collision detection function, spatial conflicts in the design can be discovered and resolved in a timely manner to avoid rework and errors in construction; by utilizing BIM's two-dimensional drawing and precise calculation of engineering quantities, the efficiency of design and drawing can be improved to ensure the accurate procurement and use of construction materials. The results show that BIM technology significantly improves design accuracy and construction efficiency, and reduces project costs and time consumption. The results can provide references for a wider range of engineering construction field.

Key words: BIM technology; double-cable-plane cable-stayed bridge; parametric modeling; accurate calculation of engineering quantities; improving efficiency and reducing costs; technology application

在当前全球化和城市化的背景下,斜拉桥作为连接城市与区域、跨越自然障碍的重要基础设施,其设计、建造与运营维护的技术水平直接影响着区域交通网络的效率和安全性。随着科技的不断进步,尤其是信息技术和数字化工具的快速

发展,桥梁工程领域也迎来了新的变革。然而,尽管前人在大跨度斜拉桥的结构设计、施工管理和环境适应性等方面取得了显著成就,但在提高设计精确性、优化施工流程,以及实现全生命周期管理等方面仍存在诸多不足。

收稿日期:2024-06-13

作者简介:王 圣(1988—),男,高级工程师,从事土建行业方面的研究工作。

通信作者:黄 浩(1994—),男,工程师,从事土建行业方面的研究工作。

国内研究在斜拉桥的设计理论、结构分析、施工技术和环境适应性等方面积累了丰富的成果。具体而言,一些研究通过精细的力学分析和材料选择,提出了优化桥梁结构的设计方案,确保了桥梁的安全性和稳定性^[1]。通过信息化技术的应用有效解决了宽幅部分斜拉桥施工中一些技术难题,成功助力大跨径宽幅部分斜拉桥绿色快速施工建造,保障了部分斜拉桥的施工质量^[2]。同时,将 BIM 技术用于桥梁的施工不仅可以有效地控制工期,节省成本,而且在材料与安全管理方面也有突出的优势^[3]。

采用 BIM 技术在大跨度斜拉桥设计中的研究,旨在探索其在提升设计精确性、施工效率和运营维护管理中的潜力。因此,本文在前人研究的基础上,以清江市政特大桥项目为例,进一步探索 BIM 技术在大跨度斜拉桥中的创新应用模式,以期桥梁工程领域的发展提供一点参考。

1 工程概况及设计难点

1.1 工程背景

清江市政特大桥项目涵盖北侧平交口、清江市政特大桥本体及南侧平交口,为典型的双索面斜拉桥。该桥梁全长约为 356 m,总线路长度约为 391.081 m,桥面宽度为 26 m,设计为双向四车道。其中龙舟大道的改造长度为 251.967 m,基础道路宽度设为 8 m,展宽部分达到 11.5 m,并新增右转专用车道以优化交通流。根据建设规模要求,桥梁长度微调为 358.5 m,龙舟大道(S324 省道)改造长度精确至 251.916 m,并在规划中增设人行道,道路宽度调整为 14.75 m。

清江市政特大桥主桥主梁和塔梁固结部分采用 C55 级高强度混凝土,主塔及支座垫石采用 C50 级混凝土。此外,现浇板、过渡墩墩身及系梁等部位采用 C40 级混凝土,C35 级混凝土则用于桥台台帽、背墙及挡块等结构,人行道板和护栏底座采用 C30 级混凝土。人行道板和护栏底座作为桥梁的非结构性部位,选择 C30 级混凝土。

1.2 设计难点分析

1.2.1 复杂地形和地质条件的适应性设计

清江市政特大桥区域地势特征为西部山区海

拔较高(图 1),向东逐渐过渡至丘陵区,最大相对高差约为 1 300 m。此种地形的多样性对桥梁的基础设计和整体结构稳定性提出了高标准的要求。



图 1 原始地形地貌

桥位的选择和桥基设计必须考虑地形起伏和地质结构的变化。高海拔地区的岩石具有较高的承载力,而低地区则需要复杂的地基处理技术,以确保足够的支撑力^[4]。此外,桥梁设计还需考虑地质条件的异质性,如不同区域的土壤和岩石类型的分布,这些因素都直接影响桥梁基础的设计和施工方法。

地形的复杂性还要求采用灵活的结构方案来适应地形变化。例如,桥梁的跨度和高度需要根据不同位置的地形特征进行调整,以最大化地利用自然地形,减少土方工程量,同时确保结构的安全性和经济性。这一过程涉及复杂的工程决策和优化设计,需要综合考虑成本、施工可行性及长期维护等因素。

1.2.2 桥梁材料的选择和应用

大桥涉及多种混凝土强度等级。不同强度等级的混凝土不仅要满足结构安全性和功能性要求,还需考虑其长期耐久性与环境因素的相互作用,如冻融循环、化学侵蚀和盐雾影响。

钢材和钢筋的规格选择同样复杂,不仅需要严格的质量控制,确保在高负荷和复杂环境条件下的性能不会退化^[5],还需考虑钢材的耐腐蚀性,特别是桥梁位于含有侵蚀性气候条件的地区。

1.2.3 结构设计的精确性和安全性

由于桥梁位于地震活跃区,主梁和塔梁的抗震设计成为关键。需要通过动力分析和地震模拟,确保这些结构在最不利的情况下依然保持结构完整性。此外,C55 和 C50 级混凝土虽然具备必要的强度,但还须充分考虑其延性和能量吸收能力,以优化其在震动中的表现^[6]。考虑到区域内频繁的强风影响,桥梁的气动稳定性设计同样面临挑

战^[7]。塔梁和主梁的流线型设计必须能够减少风力对桥梁的动态影响,这需要在初步设计阶段进行风洞测试和气动稳定性分析。

此外,桥梁要求使用高强度材料外,还需要进行疲劳分析,以确保所有承载部分都能抵御数十年的交通荷载循环。在施工过程中,这些设计参数的实现需要高度精确的工程管理和实时监测,以确保施工质量符合设计预期,同时需要持续对设计方案进行调整和优化,以应对施工中遇到的任何技术和环境变数。

2 BIM 技术在双索面斜拉桥设计中的应用

2.1 BIM 建模策略与参数化实现

2.1.1 建模流程

BIM 建模过程采用“骨架驱动+文档模板”的策略。“骨架”指模型的核心架构,包括桥梁的轴线、关键节点和关键平面等基本元素,为整个桥梁模型提供必要的结构和参照,确保所有设计细节的准确对接。“文档模板”用于构建和复制规律性的结构部件,如抛物线形的主梁和预应力钢束等,该模板通过使用 EKL 语言编程实现参数化控制,使得修改和调整设计变得更为高效。此外,整个建模流程应严格遵循 BIM 标准操作流程(图 2),确保从概念设计到施工细节的每一步都精确无误。

2.1.2 参数化建模

斜拉桥整体结构的建模设计,其参数化表达式:

$$Y(x_1) = H - (H/L) \cdot x_1 + \delta \cdot \sin(\omega \cdot x_1) \quad (1)$$

式中: x_1 为沿桥梁长度的位置; $Y(x)$ 为给定点的

度,单位; H 为桥梁的最大高度, m; L 为桥梁的跨度, m; δ 为桥面振动的幅度, m; ω 为振动的角频率, rad/s; 通过 δ 、 ω 控制桥面的振动模式。

此外,塔的设计需要考虑其受力分布和稳定性,其参数化公式:

$$F_1(x_2, \alpha, T) = T \cdot \cos(\alpha) - w \cdot x_2 \cdot \sin(\alpha) \quad (2)$$

式中: F_1 为塔的受力值, N; α 为塔与垂直线的夹角, rad; T 为斜拉索的张力, N; w 为单位长度桥面的质量, kg/m; x_2 为从塔底到考虑点的距离, m。

为优化抛物线形主梁的几何形状,使用参数化曲线描述梁的形状。

$$z = \frac{4h}{L^2} x_3 (L - x) \quad (3)$$

式中: z 为桥面至主梁最低点的垂直距离, m; h 为主梁的最大下垂高度, m; x_3 为当前位置沿桥一端到另一端的水平距离, m。

通过 EKL 语言进行编程,将参数化的几何和力学模型被嵌入到 BIM 软件中(图 3)。该软件允许自动调整斜拉索的布置、长度和张力,以及主梁和塔的尺寸和形状,以确保在设计和施工过程中的任何变更均可快速地反映在模型中。

2.2 BIM 技术在桥梁设计中的协调与冲突管理

2.2.1 构件碰撞检测

组件碰撞检测是通过 BIM 技术实现的关键功能之一。这一功能对于解决和预防施工中的冲突至关重要。在复杂的双索面斜拉桥项目中,各种构件(如预应力钢束、普通钢筋、斜拉索等)及其他结构元件的空间布置尤其密集^[8]。在传统的二维

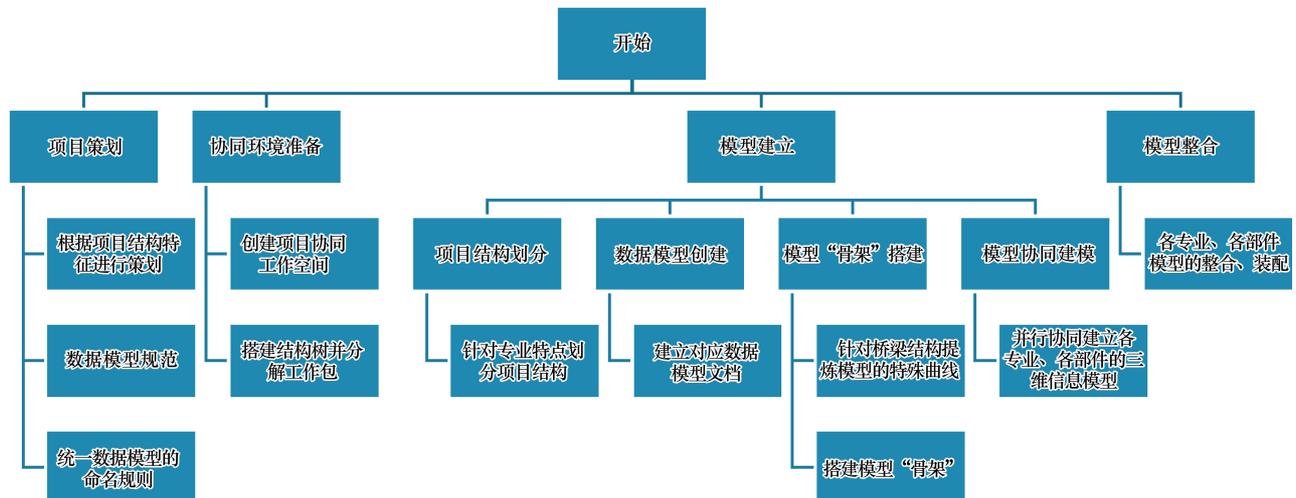


图 2 建模平台

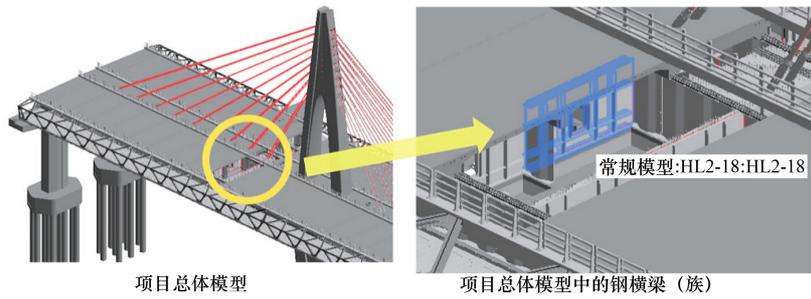


图 3 总体模型中的桥梁构件

注：桥梁构件图纸可附着于项目总体模型中，便于及时查看及修改。

设计中，识别这些构件在三维空间中的相互干扰极为困难。通过 BIM 技术，在项目早期阶段就发现潜在的冲突点，从而及时进行设计修改(图 4)，避免在施工阶段出现成本高昂的错误和返工^[9]。

清江市政特大桥在设计过程中，通过 BIM 模型检查预应力钢束和桥面板、塔身钢筋等其他关键结构构件之间的空间关系。通过自动碰撞检测，模型迅速识别出预应力钢束与主梁钢筋网的冲突(图 5)^[10]，解决了施工中遇到的冲突问题。

2.2.2 二维出图

在清江市政特大桥的设计过程中，利用 BIM 技术进行二维出图能显著提高设计效率和准确性。传统的 CAD 绘图工作流程中，三视图和剖面图的绘制往往依赖于设计人员的手动操作，任何尺寸的更改或修改都需要手动更新，这一过程不仅耗

时而且容易出错。

通过 BIM 平台中的 Drawing 模块，能够自动化这一过程。首先，在 BIM 模型中定义和完善所有桥梁构件的三维信息，如斜拉桥的主塔、索塔连接点及桥面等关键部件。然后，在 Drawing 模块中，直接选择需要生成二维图纸的具体构件^[11]后，在开始界面中选择生成平面图、立面图或剖面图。最后，进一步对图纸进行详细标注，添加图框和尺寸线，确保图纸满足施工标准和要求。所有二维图纸都直接从三维模型生成，保持与三维模型的完全同步。当三维模型中的某个参数或尺寸发生更改时，与之相关的二维图纸都会自动更新。这种动态链接确保了图纸的一致性和更新的实时性。

使用二维出图功能，BIM 平台中的 Drawing 模块直接根据三维模型生成二维图纸，不仅减少了

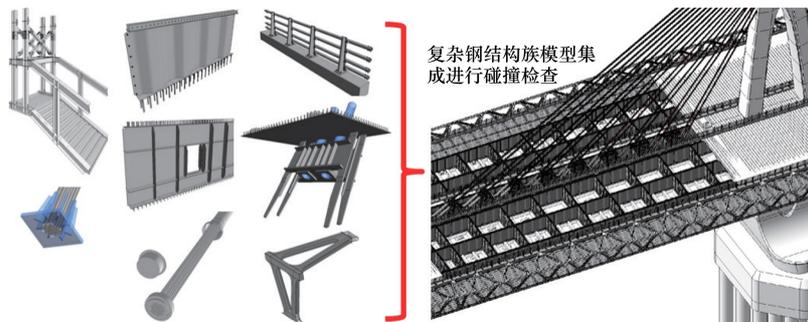


图 4 构件集成

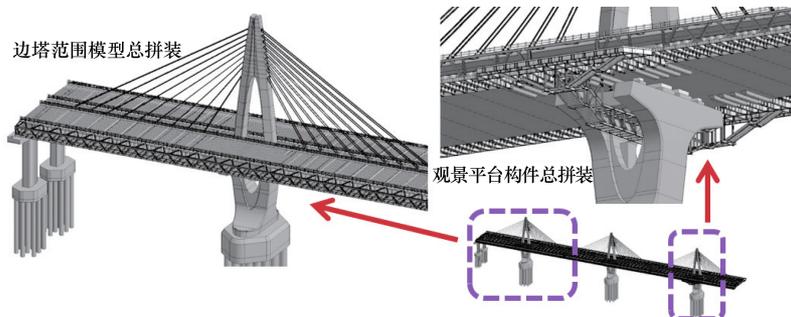


图 5 虚拟拼装碰撞试验

手动绘图的时间和误差,提高了设计出图的效率和准确性,还能显著减轻设计人员在方案变更时的工作负担^[12]。此外,它也能加快设计审查和批准流程,使得项目能够更快地推进至施工阶段,从而优化整个工程项目的時間管理和成本控制。

2.2.3 工程量计算

由于桥梁设计包含多种复杂构件,如斜拉索、巨型桥墩以及不规则形状的桥面板,传统的工程量计算方法变得复杂且容易出错。通过 BIM 技术中的工程量精确计算功能,能够直接在已建三维模型上测量任意构件的具体工程量,精确计算所需的材料量,确保材料的准确采购和使用^[13]。此外,清江市政特大桥的设计中涉及大量的土方工作,包括桥墩基础的挖掘和边坡的整理。通过 BIM 模型的可视化平台,可以准确测量土方开挖的体积,有效地指导现场施工,确保材料的准确采购和使用。

3 结 语

BIM 技术在双索面斜拉桥设计中的应用,不仅有效解决了传统设计中的多项技术难题,还极大地提升了设计的灵活性和准确性。通过参数化建模,设计师能够实时调整各项参数,确保桥梁结构能够适应复杂的地形和地质条件。同时,组件碰撞检测功能的引入,显著降低了施工过程中因空间冲突而产生的返工风险,进而优化了施工效率。此外,BIM 技术在二维出图和工程量计算方面的优势,使得材料采购更加精确,进一步减少了项目成本与时间的浪费。本文研究成果为未来工程建设提供了重要的参考,展示了 BIM 技术在提升工程效率和降低成本方面的广泛应用潜力。希望未来的研究能够进一步拓展 BIM 技术在更复杂工程中的应用,推动行业的持续进步。

参考文献:

- [1] 张聪,黄文武,黄成,等. BIM 技术在部分斜拉索桥施工中的应用[J]. 湖南交通科技,2022,48(4):158-161.
- [2] 管昌生,刘述岩. 斜拉桥施工 BIM 技术应用研究[J]. 住宅与房地产,2017(5):223-224.
- [3] 肖春红,宋明,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] 罗浩,甘贤备,晏亮,等. 地震和波浪联合作用下大跨度斜拉桥的动力响应研究[J]. 桥梁建设,2022,52(5):93-99.
- [5] 杜海龙,孙辉,林广泰,等. BIM 技术在平南三桥建设中的应用研究[J]. 公路,2023,68(9):155-161.
- [6] 但晨,朱明,肖春红. 基于 BIM + GIS 技术的常规桥梁设计信息数字化交付方法研究[J]. 中外公路,2023,43(5):141-147.
- [7] 王坤,罗天靖,彭岚平,等. 新建成都至达州至万州铁路桥梁 BIM 协同设计[J]. 铁道标准设计,2023,67(10):148-154.
- [8] 佟志峰,张传涛,熊雷. 香溪河大桥倾斜单塔斜拉桥施工技术研究[J]. 公路工程,2023,48(4):9-15;97.
- [9] 张宪亮. 基于 OSG 的 BIM + GIS 在桥涵方案设计中的应用研究[J]. 铁道标准设计,2021,65(11):175-179.
- [10] 王欣,田石柱. 基于 Dynamo 的变截面连续梁桥 BIM 建模方法研究[J]. 苏州科技大学学报(工程技术版),2021,34(1):23-28.
- [11] 黄莹,李雷,蒋明轩,等. 基于 Revit 的铁路构件三维建模方法研究与应用[J]. 铁道科学与工程学报,2021,18(7):1732-1739.
- [12] 智鹏,钱桂枫,林巨鹏. 京津冀重点客站工程建造信息化智能化技术研究及应用[J]. 铁道标准设计,2022,66(3):143-149.
- [13] 吴洋. BIM 技术在新建鲁南高铁跨越营业线施工中的应用[J]. 铁道标准设计,2021,65(9):24-28.