

基于 BIM 的桥梁施工碰撞检测与工序优化应用

顾晓燕

四川水利职业技术学院 四川 成都 611231

【摘要】 BIM 技术在桥梁施工中的碰撞检测与工序优化应用，是提升工程精细化管理水平的核心手段。通过构建三维信息模型，能够对桥梁结构、钢筋排布及施工机械进行全方位碰撞分析，提前发现潜在冲突，显著减少返工与安全风险。结合 4D/5D 施工模拟，可对工序、资源与进度进行动态优化，实现施工过程的可视化管控与高效协同。该技术能够有效解决复杂桥梁施工中的空间冲突与工序衔接难题，为项目节约成本、缩短工期提供关键技术支撑。基于此，本篇文章对 BIM 的桥梁施工碰撞检测与工序优化应用进行研究，以供参考。

【关键词】 BIM 技术；桥梁；碰撞检测；工序优化

DOI:10.12417/2811-0528.26.03.051

引言

随着桥梁工程向大跨径、复杂结构方向快速发展，传统二维设计模式在表达空间关系和协同管理方面存在明显局限性，易导致施工阶段碰撞频发、工序交叉混乱等问题。BIM 技术凭借其可视化、协调性及模拟性等优势，为桥梁施工管理提供了全新解决方案。通过建立集成几何与属性信息的三维模型，不仅能够实现精准的碰撞检测，还可将时间、成本等维度与模型关联，进行施工全过程的虚拟仿真与优化决策。这一技术应用推动了桥梁施工从被动应对向主动管控的转变，成为行业数字化转型的重要保障。

1 BIM 技术的核心价值

BIM 技术的核心价值在于其作为建设项目的“数字底座”，通过创建包含几何与物理属性的三维信息模型，实现了建筑全生命周期的数据集成与可视化表达。它借助协同设计、碰撞检测、施工模拟等功能，在虚拟环境中预见并解决潜在问题，大幅提升设计质量与施工效率，减少返工和浪费。同时，BIM 作为共享知识资源，支持项目各参与方在同一平台协同作业，确保信息精准传递与动态更新，为项目决策、成本控制和后期运维提供可靠依据，驱动建筑业向精细化、智能化方向转型升级。

2 桥梁工程建设的重要意义

桥梁工程建设是支撑经济社会发展的基础性工程，其意义远超单纯的交通连通。它们通过跨越自然屏障，极大改善了民众的出行条件，缩短了时空距离，并作为关键节点整合公路、铁路网络，从而深刻改变了区域经济格局，促进了资源流动和产业协同，为区域一体化注入动力。在偏远地区，桥梁更是摆脱贫困、实现乡村振兴的重要保障，诸如“溜索改桥”等工程显著提升了民生福祉。同时，大型桥梁建设投资规模大、产业链长，能有效拉动钢铁、建材、高端装备制造等相关产业发展，

并驱动新材料、新工艺的技术创新。一座座标志性大桥的建成，也是国家综合国力、科技水平和自主创新能力不断提升的集中体现，成为彰显国家实力的亮丽名片。

3 BIM 技术在桥梁碰撞检测中的应用要点

模型创建与集成、检测软件与实施、问题报告与修正构成了一个紧密衔接、循环迭代的技术闭环。模型创建与集成所完成的精准 BIM 模型是后续所有检测工作的基础和数据源头；基于此高质量模型，检测软件与实施利用专业检测软件执行系统化的碰撞分析，旨在发现潜在冲突；而问题报告与修正则针对检测发现的问题进行报告、定位、修正和验证，其修正结果最终又反馈并更新至模型创建与集成节的 BIM 模型中，形成一个从“模型创建”到“问题识别”再到“修正优化”的闭环管理流程，确保模型与设计方案的持续优化。

3.1 模型创建与集成

在桥梁 BIM 模型创建与集成过程中，核心在于利用 Revit 等软件进行参数化建模，尤其侧重于复杂构件如变截面箱梁、拱圈、索塔的精细化族库创建。建模时，需为各类构件如预制箱梁选择合适的族样板如结构框架样板，通过添加尺寸标注参数如梁高、顶底板厚度、腹板斜率等控制参照平面的位置，并将轮廓线与参照平面锁定，从而实现构件几何尺寸的参数化驱动。对于变截面箱梁等复杂形态，可运用放样融合或空心放样融合工具，将定义好的横截面外轮廓族与内轮廓族沿路径生成三维实体，并通过角度参数控制斜交角度，使其能够适应不同的设计路线。在族创建过程中，需合理设置族的载入点，并区分族类型参数与实例参数，以便在项目中灵活调用和批量修改。完成各类构件的参数化族创建后，通过在 Revit 项目中协同放置结构、建筑等各专业模型，并利用 Dynamo 等可视化编程工具读取标准化的输入数据表格包含构件定位坐标、参数值等，可实现下部结构、上部结构及桥面系等全专业模型的高效

整合与信息关联,为后续的碰撞检测与工序优化奠定坚实的数据基础。

3.2 检测软件与实施

在桥梁 BIM 碰撞检测实施过程中,通常采用 Autodesk Navisworks 等软件作为核心工具,其内置的 Clash Detective 模块支持对结构主体、钢筋、预应力管道及预埋件进行全面碰撞分析。检测时需定义检测类型,如采用“硬碰撞”检查实体间直接几何相交,或设置特定公差值例如 5mm 的“间隙碰撞”以识别不满足安全间距的潜在冲突;同时可选择“普通”或更为彻底的“保守”相交策略来平衡检测精度与效率。通过创建批处理测试集,可对桥梁不同专业模型如结构与机电或特定构件组合进行自动化碰撞扫描,系统将生成包含碰撞位置、渗透距离及构件 ID 等详细信息的报告,并可利用“返回”功能将问题精确定位至 Revit 等原设计软件中进行修改,形成闭环管理流程。

3.3 问题报告与修正

在 BIM 碰撞检测的问题报告与修正阶段,检测软件如 Navisworks 的 Clash Detective 工具在运行后会生成包含碰撞点 ID、位置坐标、渗透距离如-25mm 等详情的冲突报告。该报告通常可输出为 HTML 或 XML 格式,详细记录错误构件的名称、规格及在轴网中的具体位置。项目团队依据报告通过“显示”功能或“选择树”在三维模型中高亮定位碰撞图元,并利用与 Revit 等设计软件的联动功能,通过构件 ID 精准返回到原设计模型中进行即时修改,如调整管线标高或偏移位置。修改完成后,更新模型需重新运行碰撞检测以验证修正效果,确保所有冲突状态标记为“已解决”,从而形成一个从问题识别到验证关闭的闭环管理流程。

4 BIM 技术在施工工序优化中的全面拓展

4D 施工进度模拟确立了工序优化的时间基准和总体计划;基于此计划,针对转体、吊装等关键工艺进行高精度仿真,以验证和优化具体施工方案的可行性与安全性;而 5D 成本分析与工程量统计则直接将优化后的工序方案转化为精确的资源与成本数据,反馈至进度计划中进行经济性评估,最终实现进度、技术与成本三大核心要素的深度协同与循环优化。

4.1 4D 施工进度模拟

4D 施工进度模拟是 BIM 技术在项目管理中的核心应用,它通过将包含详细构件信息的三维模型与包含工作分解结构 WBS 的施工进度计划相集成,在时间维度上实现施工过程的动态可视化仿真。在具体实施中,通常利用 Fuzor 或 Navisworks 等软件的 TimeLiner 功能模块,将 Project 或 Primavera 编制的

进度计划以.mpp 或.xml 格式文件与 Revit 创建的模型构件进行挂接,通过设置时间参数如以天、周为单位的流水节拍与流水步距来驱动三维模型,生成可顺序或逆序播放的施工动画。此过程不仅能直观展示计划进度通常以绿色高亮在建部分与实际进度的偏差,还能通过集成成本、资源等信息进行偏差百分比计算与预警,为管理人员提供动态纠偏与方案优化的决策依据,最终实现对项目进度的精细化与可视化管控。

4.2 关键施工工艺仿真

对于转体桥,可利用北斗定位系统与 BIM+GIS 技术融合,对转体角速度、角度及姿态进行实时监测与可视化模拟,实现转体角度 0.1 度级追踪与转速毫秒级演示,并通过碰撞模拟确保梁体间最小安全间距。在悬索桥桥塔施工阶段,通过建立精细有限元模型分析其动态特性,并模拟施工期桥塔在风荷载等作用下的响应。节段虚拟拼装则通过三维激光扫描获取点云数据与设计模型比对,实现毫米级误差控制与预拼装模拟,指导现场精准对接。对于大型构件吊装,运用 DELMIA 等软件进行吊装路径规划与仿真,自动计算设备重心、吊车占位,并在虚拟环境中检测吊装物与臂架、周围障碍物之间的碰撞情况,优化机械路径以确保安全。利用 Lumion、Cinema4D 等可视化软件制作施工动画进行技术交底,是提升复杂工艺传达效率的关键手段。该流程始于将 Revit 等核心建模软件创建的高精度 BIM 模型导出为特定格式如.DAE 或.FBX,并导入至动画制作平台。在 Lumion 中,通过配置图层可见性效果或使用 SkyDrop、Move 等高级移动效果,可以模拟构件吊装、设备进场等动态工艺序列;而在 C4D 中,则需在制作前将工程与渲染设置的帧率统一设定为 25fps 通用高清标准,并将输出分辨率调整为 1080p,以确保动画流畅性与清晰度。通过设置摄像机运动轨迹、关键帧并优化 V-Ray 渲染器的全局光照参数,能够生成具有真实光影效果的施工过程动画,直观展示如转体桥球铰安装、预应力管道定位等隐蔽工程的施工逻辑与空间关系。这种“一帧一工序”的可视化交底模式,将抽象的技术规范转化为沉浸式的三维体验,使施工人员能够精准理解操作顺序、技术控制要点如螺栓扭矩、混凝土浇筑层次与安全避让空间,从而显著减少因信息误读导致的返工与操作失误。

4.3 资源与成本的多维管理

4.3.1 5D 成本关联分析

5D 成本关联分析是 BIM 技术在项目管理中的核心应用,其本质在于将包含几何与物理属性的三维信息模型与 WBS 工作分解结构对应的成本清单进行深度集成,从而形成动态的成本数据库。在具体操作中,通过广联达 BIM5D 或 Navisworks 等平台,将 Revit 等软件创建的三维模型构件与工程量清单、定额及人材机价格信息基于统一编码进行关联,构建起 5D 动

态成本模型。该模型能够依据进度计划如 Project 文件中的时间节点自动模拟资金需求曲线即资金流量 S 曲线，并以周或月为周期生成资源消耗计划；管理人员可通过平台实时查询任意时间点如第 9 周至第 16 周的计划成本、实际成本及资金需求峰值，其动态核算精度可控制在±3%以内。这种分析能力使得项目团队能够精准预测资金投入高峰例如在主体结构施工阶段，并据此提前制定材料采购策略与资金筹措方案，实现“在资金投入峰值阶段提前备料”的精细化管控，有效规避因资金链断裂或资源短缺导致的进度延误，最终达成成本与进度的协同优化。

4.3.2 工程量精准统计

利用 Revit 进行工程量精准统计的核心在于其参数化驱动模型与明细表功能的深度应用，通过创建包含几何与物理属性的三维信息模型，并借助“明细表/数量”工具自动提取构件的体积、面积、长度及个数等参数化数据，实现工程量的高效自动统计。在具体操作中，用户需在“新建明细表”对话框中

选择目标类别如结构框架，并配置“排序/成组”选项卡，设置以“族与类型”“尺寸”“长度”为关键字段进行升序排列，同时勾选“计算总数”与“不逐项列举每个实例”，以确保同类构件能按规格合并计算并显示总量，其统计精度可达毫米级，误差可控制在±3%以内。该统计结果与模型动态关联，任何设计变更均会触发明细表的实时更新，从而有效避免传统人工算量中因信息滞后或解析错误导致的偏差，显著提升造价估算的准确性与效率，为项目成本控制提供可靠的数据支撑。

5 结语

综上所述，BIM 技术在桥梁施工碰撞检测与工序优化中的应用，已展现出显著的技术价值与管理效益。通过精准的模型分析与动态模拟，不仅提升了施工安全性与质量，更实现了资源的高效配置与工序的科学衔接。未来，需要持续完善标准体系、强化人才培养，以推动 BIM 技术在桥梁工程中的深度应用与创新发展。

参考文献：

- [1] 《中国公路学报》编辑部.中国桥梁工程学术研究综述 · 2024[J].中国公路学报,2024,37(12):1-160.
- [2] 巴怀强.基于 BIM 技术的大型转体桥梁施工安全管理应用研究[J].公路,2023,68(11):86-92.
- [3] 韩宇,王兴鲁.既有铁路站改工程 BIM 标准化建模方法及应用[J].铁道标准设计,2023,67(10):86-94.
- [4] 齐冠.BIM 技术在桥梁施工中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2023,(06):142-144.
- [5] 顾煜.基于 BIM 的桥梁工程设计与施工优化研究[J].交通世界,2022,(36):155-157.
- [6] 李超男,李丹,陈文付.铁路综合房屋投资控制的标准化、数字化转型研究[J].铁路工程技术与经济,2022,37(05):53-56.
- [7] 薛超.BIM 技术在铁路桥梁施工管理及应用研究[J].工程机械与维修,2022,(05):257-259.