

基于 BIM 的市政桥梁施工冲突智能预判技术研究

刘圣松

360428*****0856

摘要: 随着城市化进程的加速,市政桥梁工程的规模与复杂性不断提升,施工过程中各专业、各工序之间的冲突问题日益突出,传统依赖二维图纸与人工经验的冲突检测方法已难以满足现代化施工管理的需求。本文以建筑信息模型(BIM)技术为基础,结合人工智能与数据挖掘方法,探讨市政桥梁施工冲突智能预判技术体系。首先,构建基于BIM的多维度信息集成模型,整合几何信息、施工进度、资源分配及环境数据;其次,提出一种基于规则推理与机器学习相结合的冲突识别算法,实现静态碰撞检测与动态施工冲突的智能预判;最后,通过实际桥梁工程案例验证该技术的可行性与有效性。研究表明,该技术能够显著提高冲突识别的准确性与时效性,优化施工组织设计,降低工程变更与返工率,为市政桥梁施工的精细化管理提供技术支持。

关键词: 建筑信息模型(BIM);市政桥梁;施工冲突;智能预判;规则推理;机器学习

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.063

引言

市政桥梁作为城市交通网络的重要组成部分,其施工过程涉及结构、机电、排水、交通等多个专业系统的交叉协作。在传统施工管理模式,各专业设计通常独立进行,信息传递依赖二维图纸与协调会议,容易因信息割裂与沟通滞后引发施工冲突。这些冲突不仅可能导致工期延误与成本增加,还可能影响工程质量和施工安全。近年来,建筑信息模型(BIM)技术在土木工程领域的应用逐步深入,其三维可视化、信息集成与协同工作的特性为施工冲突管理提供了新的思路。然而,现有BIM应用多侧重于设计阶段的碰撞检测,针对施工过程中动态变化的冲突预判仍缺乏系统化、智能化的解决方案。因此,如何结合BIM与人工智能技术,实现市政桥梁施工冲突的早期识别与智能预判,成为当前工程管理领域亟待突破的关键问题。

1 BIM 在市政桥梁施工冲突管理中的应用基础

BIM技术通过构建三维数字化模型,集成几何与非几何信息,为施工全过程提供统一的信息平台。在市政桥梁工程中,BIM模型不仅包含梁体、墩柱、桥面等主体结构构件,还可整合钢筋、预应力管道、排水管线、照明设施等附属工程元素。基于BIM的冲突管理首先依赖于模型的信息完整性与精度,需在施工图深化阶段完成各专业模型的整合与协调^[1]。此外,BIM平台可与进度计划、资源管理及现场监测数据对接,形成多维信

息模型,为冲突识别提供动态数据支持。

传统冲突检测多采用几何碰撞检查方法,通过软件自动检测构件之间的空间干涉。然而,这类方法仅能处理静态的、显性的冲突,对于施工顺序不合理、资源分配冲突、安全空间不足等隐性问题难以识别。因此,需在BIM基础上引入施工逻辑与专业知识,构建更为全面的冲突预判机制。

具体而言,首先需要明确市政桥梁施工冲突的类型与特征,包括空间冲突、时间冲突、资源冲突管理冲突等。基于此,需建立BIM模型的信息分类标准,将施工进度计划中的关键节点、资源需求计划中的材料与设备参数、现场环境中的地形地貌及周边建筑等数据,通过标准化接口导入BIM平台,形成包含时间维度、资源维度与环境维度的集成化信息模型。同时,需开发适用于市政桥梁结构特点的模型轻量化技术,在保证模型精度的前提下,提高多专业模型的协同效率与冲突检测速度,为后续智能预判算法的应用奠定数据基础。此外,还需研究BIM模型与施工管理业务流程的融合方式,确保模型信息能够实时反映施工动态,实现冲突预判与实际施工过程的同步更新。

2 施工冲突智能预判技术框架设计

本文提出的智能预判技术框架包含三个核心层次:数据层、规则层与算法层。数据层以BIM模型为中心,集成施工进度信息、资源调配计划、环境约束条件等多元数据,并通过IFC或自定义扩展Schema实现数据的

结构化存储与交换。规则层则根据市政桥梁施工特点，将冲突类型归纳为几何冲突、时序冲突、资源冲突与安全冲突四大类，并针对每类冲突建立相应的判别规则库。例如，几何冲突包括构件碰撞、安装空间不足等；时序冲突涉及工序搭接矛盾、设备进出场时间重叠等；资源冲突涵盖人力、机械、材料的分配矛盾；安全冲突则关注危险区域划定、安全防护缺失等^[2]。

算法层是框架的智能核心，采用规则推理与机器学习相结合的方法。规则推理基于专家经验与规范条文，通过逻辑判断实现常见冲突的快速识别；机器学习则利用历史工程数据训练分类与预测模型，用于识别复杂、非典型的冲突模式。两者相互补充，形成“规则先行、学习优化”的运行机制。

为实现各层次的协同运作，框架还设计了数据接口层与应用层。数据接口层负责实现 BIM 模型与进度管理软件、资源数据库、环境监测系统等外部平台的实时数据交互，确保数据层信息的动态更新与准确性；应用层则面向施工管理人员，提供冲突可视化展示、预警信息推送、冲突原因分析及解决方案推荐等功能模块，支持用户通过图形化界面直观掌握施工冲突状态，辅助决策制定。此外，框架还具备自迭代优化能力，通过记录每次冲突事件的处理结果与反馈数据，不断更新规则库与机器学习模型参数，提升系统对复杂施工场景的适应性与预判精度^[3]。

3 基于规则推理的静态与动态冲突识别

规则推理系统依托于预先定义的冲突规则库，对 BIM 模型及相关施工信息进行扫描与匹配。在静态冲突检测方面，系统可自动执行几何碰撞检查，并生成冲突报告与可视化提示^[4]。例如，在桥梁上部结构安装过程中，系统可检测预应力钢束与预留孔道的位置偏差，或桥面排水管与照明支架的空间干涉。

动态冲突识别则需要结合 4D 施工模拟，将时间维度融入冲突分析。系统根据施工进度计划，模拟各阶段的现场状态，识别可能出现的时序与资源冲突。例如，若同一作业面在同一时段安排多个班组施工，或塔吊使用时间出现重叠，系统将自动预警。规则推理的优势在于执行效率高、结果可解释性强，尤其适用于规范明确、模式固定的冲突场景。

为确保规则的全面性与准确性，需结合市政桥梁施工的专业特性，对规则库进行分类构建。几何冲突规则

涵盖构件最小间距、净空要求等空间约束条件，可通过 BIM 模型的几何参数直接验证；时序冲突规则则基于关键线路法与工序逻辑关系，设定工序间隔时间、前置任务完成条件等判定标准；资源冲突规则需关联资源需求计划与供应能力，如设备台数与作业面数量的匹配关系、材料进场时间与施工进度的衔接要求；安全冲突规则则依据施工安全规范，明确各类危险源的安全距离、防护设施设置标准等。在规则表示上，采用产生式规则（IF-THEN）形式，将冲突条件与结论进行结构化描述，例如“IF 同一区域同时存在高处作业与地面交叉作业 AND 未设置隔离防护措施 THEN 判定为安全冲突”。为提升规则的适应性，系统支持规则的动态维护，允许用户根据项目特点新增、修改或删除规则条目，并提供规则有效性校验功能，避免规则之间的逻辑矛盾。在实际应用中，规则推理模块可与 BIM 平台实时联动，当模型或施工计划发生变更时，自动触发冲突检测流程，及时发现潜在问题。对于复杂的规则组合场景，系统还引入冲突优先级机制，根据冲突的严重程度进行分级排序，辅助管理人员优先处理关键冲突。

4 机器学习在冲突模式挖掘与预测中的应用

尽管规则推理能够处理多数常规冲突，但施工过程中常出现不确定因素与复杂关联，例如天气变化对工序的影响、突发设备故障导致的进度调整等。这些情境难以通过固定规则全面覆盖，需借助机器学习方法从历史数据中挖掘潜在冲突模式。

本研究采用监督学习与无监督学习相结合的策略。监督学习以已标注的冲突案例为训练样本，构建分类模型，用于识别新的冲突风险；无监督学习则通过聚类分析发现数据中的异常模式，如资源消耗速率突变、工序持续时间偏离常态等，这些异常往往预示着潜在冲突。此外，时间序列预测模型（如 LSTM）可用于分析进度趋势，提前预警工期延误风险。机器学习模型的输入特征包括 BIM 构件属性、进度偏差、资源利用率、环境参数等，输出为冲突概率与类型标签。

为确保模型的鲁棒性与泛化能力，需构建多源异构数据集，涵盖不同桥型（如梁桥、拱桥、斜拉桥）、不同施工阶段（基础施工、下部结构、上部结构、桥面系）及不同气候条件下的工程案例数据。数据预处理阶段需进行特征工程，包括特征选择、标准化与降维，以消除噪声干扰并提升模型训练效率。例如，通过主成分分析

(PCA) 从高维施工参数中提取关键影响因子, 或采用 One-Hot 编码处理施工班组、设备类型等分类特征。模型训练过程中, 采用交叉验证方法优化超参数, 并引入注意力机制增强模型对关键特征的关注度, 如在 LSTM 模型中赋予进度偏差与资源冲突相关特征更高的权重。此外, 为解决实际工程中冲突样本数量较少的问题, 可采用过采样技术(如 SMOTE 算法)平衡正负样本比例, 避免模型陷入过拟合^[5]。训练完成的机器学习模型需与规则推理系统进行融合, 形成“规则筛选初检-机器学习深度预判”的二级处理流程: 首先通过规则推理快速排除无冲突场景, 再将疑似冲突案例输入机器学习模型进行精细分析, 输出冲突发生概率及置信度评分。为实现模型的动态优化, 系统设置定期更新机制, 每完成一个施工阶段或积累一定量新冲突案例后, 自动触发模型重训练, 不断提升对复杂冲突模式的识别能力。在实际工程应用中, 机器学习模块可实时接收现场传感器数据(如施工设备运行状态、环境温湿度、人员定位信息), 结合 BIM 模型的实时更新数据进行动态预测, 当冲突概率超过设定阈值时, 自动向管理人员发送预警信息, 并提供可能的冲突诱因分析, 如“根据近 3 天混凝土强度增长数据及后续工序安排, 该梁段张拉作业存在延期风险, 可能导致后续桥面铺装工序与钢护栏安装冲突”。通过这种数据驱动的智能预判方式, 能够有效弥补规则推理在复杂动态场景下的局限性, 为施工冲突管理提供更全面、更精准的技术支持。

5 系统实现与工程案例验证

为验证上述技术框架的实用性, 本研究开发了一套原型系统, 系统基于 Revit 平台进行 BIM 建模, 通过 API 接口与外部数据库连接, 集成规则推理引擎与机器学习模块。系统工作流程包括: ①导入整合后的 BIM 模型与施工计划; ②执行规则推理检测, 生成初步冲突清单; ③调用机器学习模型进行风险复评与补充识别; ④输出冲突预判报告, 并给出调整建议。

选取某城市高架桥工程作为案例进行应用验证。该桥梁全长约 850 米, 包含预应力混凝土连续箱梁、钢结

构匝道及多种附属设施, 施工环境复杂, 专业交叉频繁。应用本系统后, 在施工前共识别出各类冲突隐患 127 处, 其中几何冲突 68 处、时序冲突 42 处、资源冲突 12 处、安全冲突 5 处。经与项目团队复核, 确认有效冲突 118 处, 系统识别准确率达 92.9%。通过提前调整施工方案, 该项目减少现场变更指令 23 次, 关键路径工期缩短约 8%, 取得了显著的管理效益。

6 结语

本文针对市政桥梁施工中冲突管理的难点, 提出了基于 BIM 的智能预判技术框架, 通过集成规则推理与机器学习方法, 实现了从静态碰撞检测到动态冲突预警的升级。研究表明, 该技术能够有效整合多源施工信息, 提高冲突识别的全面性与前瞻性, 辅助项目团队优化决策, 降低工程风险。然而, 当前研究仍存在一定局限性, 如规则库的完备性依赖专家经验、机器学习模型需要大量高质量数据支撑等。未来可进一步探索深度学习在复杂冲突模式识别中的应用, 结合物联网实时数据实现冲突预测的动态更新, 并推动该技术在更多类型基础设施工程中的适配与推广。总体而言, BIM 与人工智能的融合为施工冲突管理提供了新的技术路径, 有望推动市政桥梁工程建设向更高水平的数字化、智能化方向发展。

参考文献

- [1] 张广海. 基于 BIM 的市政桥梁施工冲突智能预判技术研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(21): 109-112.
- [2] 胡奕彬. 在城市建成区的市政桥梁施工过程中桩基避让地下管线的处理方案[J]. 城市道桥与防洪, 2023, (08): 232-234+238+22-23.
- [3] 黄海科. U 型钢箱梁-预制混凝土桥面板-现浇桥面的市政桥梁组合结构施工技术措施探讨[J]. 工程技术研究, 2023, 8(14): 46-48.
- [4] 俞琦. 基于 BIM 平台的市政桥梁工程设计与应用[J]. 智能城市, 2021, 7(18): 80-81.
- [5] 董祯保. BIM 技术在市政道路与桥梁设计中的应用[J]. 建材与装饰, 2020, (19): 261-262.