

基于 BIM 与 AI 技术的医院集成装配式建筑智慧审图系统研究

李铁虎 朱鹏 王岩 康筱 关尊浩

中建新疆建工(集团)有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i4.21745

[摘要] 医院集成装配式建筑设计包含医疗功能布局、洁净空间组织、辐射防护以及复杂机电等多个方面内容,由于涉及多种专业,故而传统的手工审查方式已不能满足各专业之间配合以及不断变化要求。本文利用建筑信息模型(BIM)技术开发出智能审图软件,在建立规则库基础上引入机器学习方法提高审查质量和速度。该软件基于一个通用空间实体编码体系,在此基础上关联构件属性以及相关知识,将国家标准转变为可以被计算机执行具体检查条目。利用几何计算、语义理解以及推理等方式完成文档读入、规则匹配、问题提出、多专业专家审核和闭合回路等一系列工作流程。以深圳一医院扩建工程为案例,针对其中洁净室、手术部以及放射科等部位及其部分节点制定了专门审查规则,并安排分步进行。但是由于目前正处于开发期,所以文中的数据均为预测值,未反映实际情况。

[关键词] BIM; 人工智能; 医院建筑; 装配式建筑; 智慧审图

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Research on an Intelligent Drawing Review System for Integrated Prefabricated Hospital Buildings Using BIM and AI Technologies

Tiehu Li Peng Zhu Yan Wang Xiao Kang Zunhao Guan

China State Construction Xinjiang Construction Engineering (Group) Co., Ltd.

[Abstract] Hospital projects require coordinated review of medical functions, structures, services and prefabricated components. This paper proposes an intelligent drawing review system combining Building Information Modeling (BIM), executable rules and Artificial Intelligence (AI). Unified codes link documents. Clash detection, rule checking, semantic assistance, human verification and rectification form a closed loop. Shenzhen Fourth People's Hospital Phase II is used to design rules and indicators for clean wards, operating and radiology rooms, steel-concrete joints, prefabricated connections and service-intensive areas. The project is under development; all percentages are targets, not achieved results.

[Key words] BIM; artificial intelligence; hospital building; prefabricated building; intelligent drawing review

引言

医院建筑的诊疗流程决定房间邻接与流线,洁净等级制约压差、气流和围护构造,放射诊疗还涉及屏蔽、洞口及设备荷载。装配式深化后,孔洞、预埋件和连接节点须在生产前冻结,现场发现冲突时常牵涉结构、装修和医疗专项。已有医院装配式案例指出,洁净要求和多专业协调增加施工组织难度^[4];医院管线分离研究说明,BIM可协调管线与主体结构的关系^[3]。

现有数字审图多侧重几何碰撞或单专业参数核查,对工艺条件完整性、条文适用前提及跨专业一致性仍依赖人工。规范智能解译已形成条文语义标注、句法解析和可执行代码生成路径^[1],Revit二次开发与深度学习结合则为结构节点自动检查提供了参考^[2]。本文据此构建确定性规则、AI语义辅助与专业复核协同的智慧审图体系,并以在研医院工程设计验证方案。系统

旨在辅助发现和追踪问题,不替代法定审查责任。

1 审图需求与信息组织

1.1 多源信息关联

审图资料包括医疗工艺条件表、BIM模型、二维图纸、设备样本、构件深化图和设计变更。工艺表以房间为主,结构模型以构件为主,机电模型以系统和管段为主,深化图则面向生产构件及连接节点。缺少统一标识时,局部碰撞无法关联房间功能、生产构件和变更版本。

系统采用“项目—单体—楼层—分区—房间—专业—构件—版本”编码。房间挂接洁净等级、压差方向、防辐射类别、设备荷载和净高;构件挂接材料、截面、预留预埋及连接方式;问题记录规则来源、模型坐标、责任专业和销项状态。统一主键为几何计算、规则查询及AI关系推理提供数据基础。

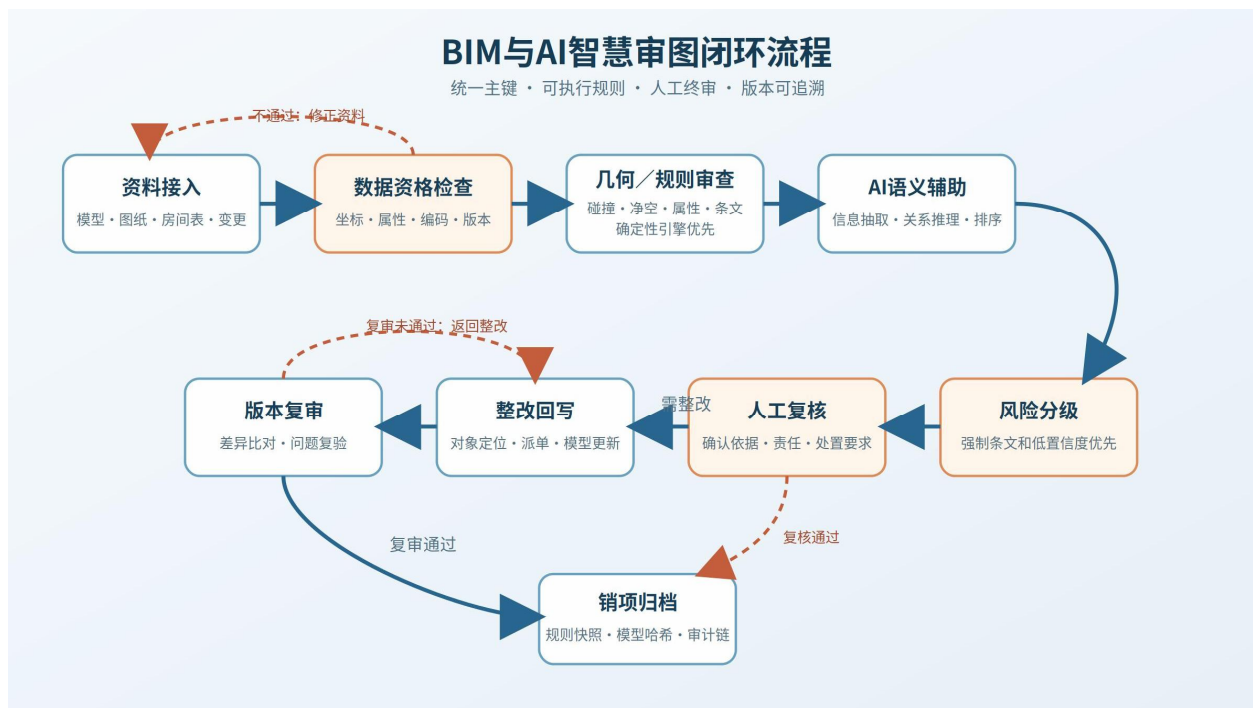


图1 BIM与AI智慧审图闭环流程

1. 2 审查层级

该审查分为四层。第一层审查技术标准是否齐全、计量单位是否统一、构件编号是否合理、版本是否一致等问题, 缺少任何一个方面就不再继续检查。第二层审查是否有刚性碰撞发生、最小安全距离是否满足要求、维修通道是否可用及其净空高度是否符合要求。第三层根据国家相关法律、法规以及医院相关标准建立对象属性的数据模型并设置相应的限制条件。第四层利用三维地理信息系统(GIS)、建筑信息模型(BIM)软件、施工图集、设备清单等多种资料检查参数之间是否存在矛盾或者有无遗漏问题。所有问题按照数据完整程度、法律法规强制性和功能重要性依次排列, 先解决对整个建筑安全性、防火性、清洁度以及防辐射至关重要的问题。

2 智慧审图系统设计

2.1 总体架构与业务闭环

系统由数据层、知识层、推理层和业务层组成。数据层汇集Revit或IFC模型、图纸、房间信息表和变更记录, 统一坐标、对象关联及版本; 知识层管理行业规范、企业标准、项目审查要求和科室条件, 并记录版本、适用范围、前提及例外; 推理层集成碰撞检测、规则匹配和AI助手; 业务层负责问题分类、任务派发、报告追溯、版本比对及归档。运行流程见图1。

2.2 规则知识与AI协同

规范要素表示为六元组 $R=\{S, C, P, T, E, L\}$, S 、 C 、 P 、 T 、 E 、 L 分别表示对象、适用条件、评价属性、判定逻辑、例外和规范来源及版本。自然语言处理用于抽取实体、属性和关系, 领域专家负责核实。以管道穿越预制构件为例, 系统依次核查开孔要求、孔位

和边距, 并比对结构深化模型、机电模型与施工图; 条件不充分时只生成复核任务, 不直接判定。规则入库前使用正常、临界、属性缺失和例外样本测试, 规范更新后保留旧规则快照, 确保历史结果可复现。该设计吸收了标准规范智能解译的结构化思路^[1]。

确定性算法优先处理几何和数值问题。碰撞引擎输出相交对象、最小间距、净空包络及检修区侵入情况; 规则引擎按属性给出命中条款。AI负责三类辅助任务: 从说明和工艺表抽取房间条件, 表达“房间—设备—管线—洞口—构件”关系并发现信息断链, 根据历史已确认问题对候选项排序。模型二次开发与深度学习可组合识别节点构造特征^[2], 但医院钢混和装配式连接节点与既有研究对象不同, 迁移后必须使用本项目样本复测。

2.3 问题状态与评价指标

规则执行前检查条文适用性、数据充分性和可计算性, 资料不足不得判为设计不合格。问题依次经历待复核、已确认、整改中、待复审和已销项, 不适用项另行标记。新版本复跑原规则并识别问题复发。评价采用以下指标:

规则覆盖率 = 测试通过规则数 / 计划规则数 $\times 100\%$;

问题召回率 = 系统检出且确认问题数 / 人工金标准问题数 $\times 100\%$;

误报率 = 人工否定候选数 / 系统候选总数 $\times 100\%$;

闭环率 = 期限内销项问题数 / 应销项问题数 $\times 100\%$ 。

人工金标准由建筑、结构、机电及医疗专项人员独立审查后会商形成。开发集用于调整规则和模型, 冻结保留集仅作最终评价, 并按区域或版本隔离, 防止同一问题修改前后的样本同时进入开发与测试。

3 深圳市第四人民医院二期工程案例

3.1 案例边界与审查配置

案例依托深圳市第四人民医院二期主体工程相关课题。周期为2026年3月至2027年12月,内容涉及洁净病房、手术室、放射科、大跨度钢混结构、装配式钢混、ALC和医疗专项管线,并计划建设BIM全生命周期质量信息管理平台。总投资475万元,属于整体研发预算,不能等同于审图系统建设费用。现有资料尚无模型样本、运行日志、审图台账和人工耗时数据,故本节讨论系统配置与验证设计,不报告应用绩效。重点审查单元见表1。

表1 医院集成装配式建筑重点审查单元

审查单元	关联对象	核心审查内容	审查方法	失败处置
洁净病房	房间、风口、围护、门	洁净属性、压差方向、气流及构造一致性	房间规则+关系推理	医疗专项复核,暂缓放行
手术室	吊顶、设备、管线、结构	净高、荷载、末端位置及检修空间	空间包络+属性规则	多专业会审并回写模型
放射科	墙体、门窗、套管、设备基础	屏蔽连续性、洞口做法及荷载匹配	图文抽取+规则核对	防护专项确认
钢混节点	梁柱、连接件、钢筋、预埋件	连接关系、钢筋碰撞及施工可达性	参数提取+几何计算+AI识别	结构专业复核
装配式连接区	预制构件、套管、洞口、管线	构件拆分、连接及预留预埋一致性	跨版本对象比对	生产冻结前销项
管综密集区	管线、支吊架、洞口	碰撞、间距、净高、检修和开孔条件	碰撞检测+系统规则	按风险派单调整

医院管线审查不能只判断相交,还需联动结构分离、检修及预留预埋条件^[3]。放射防护和复杂结构安全存在专项计算及审批要求,系统只能提示证据缺项和对象冲突,不能以通用模型替代专项结论。

3.2 项目目标与数据采集

表2 项目目标及智慧审图验证数据设计

指标	附件数值	性质	统计口径	当前结论资格
碰撞提前消除率	≥90%	课题目标	施工前已闭环有效碰撞数 / 确认的有效碰撞总数	待台账验证
实体质量一次合格率	≥95%	课题目标	一次验收合格检验批数 / 验收检验批总数	待现场验证
质量缺陷率变化	降低 20%	课题目标	同口径基线与应用期缺陷率的相对变化	待确定基线及分母
问题召回率	未提供	系统测试指标	系统检出且确认问题数 / 金标准问题数	待原型测试
误报率	未提供	系统测试指标	人工否定候选数 / 系统候选总数	待原型测试
整改闭环率	未提供	过程指标	期限内销项数 / 应销项数	待平台运行

课题计划提出碰撞问题提前消除率不低于90%、钢混结构实体质量一次合格率不低于95%、结构及医疗用房质量缺陷率降低20%。三项指标对象和分母不同,不能合并为智慧审图准确率。验证设计见表2。

碰撞闭环与实体质量之间还受施工执行、材料和验收管理影响,不能由前者直接推导质量缺陷下降。后续评价须统一基线期与应用期的专业范围、检查单元及问题分类,并保留未闭环、重复发生和有条件接受的问题。

4 结论

(1) 医院集成装配式建筑设计应当建立由“空间—构件—专业—版本”构成的四维主体体系,汇集多方资料并对其中的数据进行分析,在此基础上应对几何形状、技术要求以及语义之间的契合情况做出全面评价,重点在于医疗功能布局、结构安全、设备管线布置和预制构件细化设计之间矛盾的协调。(2) 本系统采用分层设计思想,包括数据层、知识层、推理层以及业务层四个组成部分。其中,确定性规则起着量化作用;而人工智能负责对法律法规条文进行分析理解,把相关联的内容汇总起来并对其进行重要程度排序等任务;专业的人员来检查这些规则是否正确并且参与到最后的决定中;改进的结果要能够经过回溯检查并且不断更新升级从而形成一个循环往复的过程。(3) 应该以比较冻结样本数据与项目实际测量结果的方式对原型系统进行测试,考察它的漏检率、误判率、应用情况以及人机交互成本效益等。只有当模型参数选择合理、评价标准确定之后才能研究智慧审图技术对于工程质量管理的作用机理。

【参考文献】

- [1]林佳瑞,陈柯吟,郑哲,等.建筑工程标准规范智能解译关键技术及应用[J].工程力学,2025,42(2):1-14.
- [2]刘红波,杨智锋,周婷,等.基于Revit二次开发与深度学习的钢框架节点智能审图[J].建筑结构学报,2024,45(7):43-55.
- [3]谢鹏飞,董忆夏.医院管线分离技术研究与应用[J].建筑技术,2024,55(22):2699-2702.
- [4]鄢剑鸣.装配式建筑在某医院施工中的应用效果分析[J].中国建筑金属结构,2025,24(23):153-155.

作者简介:

- 李铁虎(1998--),男,汉族,陕西省咸阳市人,大学本科,工程师,研究方向: 医疗建筑。
- 朱鹏(1990--),男,汉族,湖南省衡阳市人,大学本科,工程师,研究方向: 医疗建筑。
- 王岩(1986--),男,汉族,山东省济南市饶人,大学本科,工程师,研究方向: 医疗建筑。
- 康筱(1990--),男,汉族,陕西省汉中市人,大学本科,工程师,研究方向: 医疗建筑。
- 关尊浩(1996--),男,汉族,广东省深圳市人,大学本科,工程师,研究方向: 医疗建筑。