

基于 Revit Model Checker 的 BIM 审查规则库构建与案例测试

曹心瑜¹, 逯静洲¹, 林佳瑞^{2,3}

(1.烟台大学土木工程学院, 山东烟台 264000; 2.清华大学土木工程系, 北京 100084; 3.住房和城乡建设部数字建造与孪生重点实验室, 北京 100084)

【摘要】BIM 审图在设计质量中起着关键作用, 传统手工审图方法易错且低效, 迫切需要自动化审图方法。然而, 当前仍缺乏面向我国的自动审查规则库, 并需对其应用效果开展进一步测试。本研究通过分析规范条文, 基于 Revit Model Checker 插件构建了面向我国建筑规范的自动审查规则库, 并在实际工程项目中进行了应用测试。研究表明, 对于只涉及单一构件属性取值的规范条文, 该插件可较好创建相关规则并实现自动检查, 但对涉及空间关系或多构件关系特征的规范条文, 仍难以高效实现规则的创建与审查。同时, 本文提出的规则库在多项常见审查规则的自动化应用中展现了较高的适用性, 但也对 BIM 模型的建模规范性提出了更高要求。

【关键词】BIM, 智能审图, Revit Model Checker, 规范解译

1 引言

随着建筑信息模型 BIM(Building Information Modeling)技术的发展, 建筑施工图的智能化审查逐渐成为行业研究的热点。传统的施工图审查方式存在诸多问题, 如工作量大、效率低下、资源浪费等^[1]。基于 BIM 技术的智能化审查方式因其高效、准确和可视化的特点, 逐渐被广泛应用和研究。

BIM 审查得到了国内外学者的广泛关注。霍春龙等人提出了一种适于 BIM 数字化审图的 Revit 图纸输出系统, 可以从 BIM 模型中导出符合审查要求的二维图纸, 并满足不同地区审图规范的要求^[2]。李承明等人提出了基于 BIM 技术的混凝土框架结构施工图审查方法, 改进了传统的二维平面审图模式, 可直观发现和修改不合规的构件^[4]。Barki 等人提出了一种基于 Revit 的数字化绘图方法, 研究开发了面向数字化审图的图纸输出系统^[5]。Wass 和 Enjellina 对 ArchiCAD 和 Revit 的比较分析表明, Revit 具备较强的集成功能和智能审图功能, 更适用于复杂建筑项目的审查^[6]。刘红波利用 Revit 二次开发和深度学习技术, 通过开发专用插件和算法, 实现了钢框架节点的自动识别和审查^[7]。

然而, 既有研究和成果仍以软件平台内置审查规则库为主, 如何高效创建并复用相关审查规则仍是当前行业实践的关键难点。同时, 了解有关 BIM 审查工具的规则支持能力与

【基金项目】国家自然科学基金面上项目(52378306)

【作者简介】林佳瑞(1987-), 男, 副研究员。主要研究方向为智能设计、智能建造。E-mail: lin611@tsinghua.edu.cn

适用场景也是行业实践的迫切需求。

Revit 是当前建筑业常用的 BIM 软件之一，并被广泛应用^[2]，其内置了 MC(Model Checker)插件，可直接在 Revit 中实现 BIM 模型的合规性审查。本研究以 MC 为基础，构建了面向我国建筑结构规范的审查规则库，并结合案例测试分析了该插件的规则支持能力及其应用场景，为工程实践提供了有益的参考。

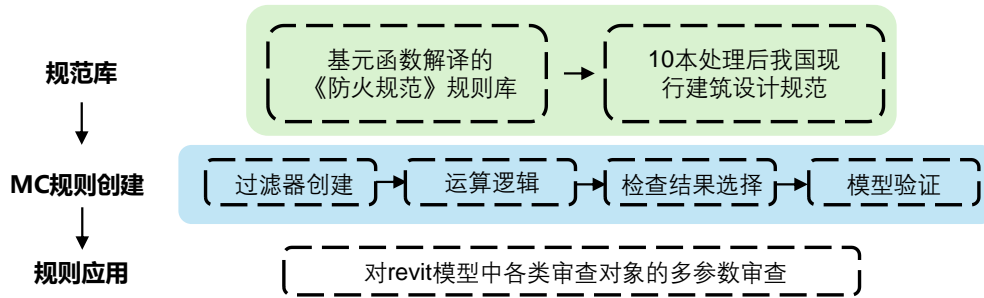


图 1 研究流程图

2 基于 Model Checker 的审查规则库构建

2.1 规范条文处理

Zhou 等人提出了基于深度预训练模型的规则解译方法，可以将复杂规范条文自动转换为规则检查树(RCTree)^[8]，逯静洲^[9]等人建立了以《建筑设计防火规范》(GB 50016-2014)为主要内容的可解译条文数据库。在此基础上，本文对《住宅建筑规范》(GB50368-2005)、《综合医院建筑设计规范》(GB51039-2014)、《住宅设计规范》(GB50096-2011)、《民用建筑设计统一标准》(GB50352-2019)、《民用建筑通用规范》(GB55031-2022)、《建筑与市政工程无障碍通用规范》(GB50352-2019)、《无障碍设计规范》(GB50763-2012)、《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2015)、《工业建筑节能设计统一标准》(GB51245-2017)等共 9 本建筑规范条文进行了数据收集、整理、预处理和过滤。汇总以上 10 本规范的相关条文，我们构建了包括 150 余条文的规范条文库，以支持基于 MC 的规则创建和合规性审查。

2.2 基于 MC 的规则构建

MC 插件一般通过组合多条过滤器以及规则检查结果的输出形式来实现规范条文相关审查规则的创建。

其中过滤器可以视为一个简单逻辑约束的表达，其通常包括运算逻辑、条件范围、属性、状态、值五部分。过滤器“条件范围”需要指定类别和参数等信息，其中类别主要指所需审查对象的类型，如 OST_ProjectInformation、OST_Windows、OST_Doors 等，而参数则可分为 BuildInParameter 和自设参数两种，Revit 中自带的 BuildInParameter 通常不能满足规则审查的需求。因此，针对项目、视图和构件审查，需要根据规范条文的审查内容自行创建相应属性，以实现在 MC 中的规则审查，具体自定义属性见 3.2.3 节。具体的，“属性”指参数中的名称，“值”为参数的数值或文字属性，两者通过运算的“状态”来连接，“状

态”包括大于、等于、小于等关系。同时，不同过滤器之间可通过“and”、“or”和“except”等“运算逻辑”指定组合关系，从而通过组合不同过滤器实现规范条文中多个属性约束规则的创建。

MC 中对检查结果输出的设置可分为以下四种情况：“未找到匹配图元时不合格”、“找到匹配图元时不合格”、“仅匹配图元计数”、“匹配图元的计数和列表”。本文常用的设置为“找到匹配图元时不合格”，此时，每个规范条文所对应的最后一个过滤器中的参数限值应取条文审查数值的补集，也就是说如果模型中能匹配到满足该条件的构件，则说明该构件违反了当前条文。

例如，规范条文中“耐火等级为一级的墙构件”可转化如图所示两条过滤器内容。即，首先明确审查对象类别为“墙”，再对其“耐火等级”参数进行过滤，从而筛选出模型中耐火等级为一级的墙。

	运算逻辑	条件范围	属性	状态	Value
⋮		类别	OST_Walls	包括	规则：真
⋮	和	参数	耐火等级	=	规则：一级

图 2 简单过滤器示意图

类似的，《防火规范》5.1.2 条“耐火等级为二级的非承重墙构件燃烧性能为不燃性，耐火极限不小于 1h”可转成如图所示规则。

	运算逻辑	条件范围	属性	状态	Value	
⋮		类别	OST_Walls	包括	规则：真	×
⋮	和	参数	防火等级	=	规则：二级	×
⋮	和	参数	功能	=	规则：非承重墙	×
⋮	和	参数	燃烧性能	=	规则：不燃性	×
⋮	和	参数	耐火极限	<	规则：1	×

图 3 过滤器组合示意图

需注意的是，规范中要求构件的耐火极限不小于 1h，而过滤器在设置参数“耐火极限”时则是小于 1h，因此本条文的检查结果输出应设置为“找到匹配图元时不合格”。当该组过滤器在对模型中构件进行遍历时，若出现耐火极限小于 1h 的构件，则判定为不合格，恰好与规范条文的要求保持一致。

2.3 审查规则库构建结果

MC 插件可对模型中工程项目整体、视图、不同族类型等对象分别进行审查，确保模型中构件及其属性符合设计要求，减少设计错误和遗漏。

对于工程项目整体，我们实现了以下七类模型信息的审查：建筑类别和类型、不同类型建筑高度的合规性、不同类型和耐火等级建筑的建造层数的合规性、建筑的设计使用年限、建筑面积、不同面积建筑的体形系数的合规性，以及建筑抗震设防烈度的合规性。对于模型中不同视图、房间、构件等类别的具体审查方面及条文数量如下表所示：

表 1 MC 规则库审查类型及内容

类别	检查内容	规则数量
工程项目整体 OST_ProjectInformation	检查项目建筑的类别、类型、耐火等级	15
	检查不同类型建筑的建筑高度	1
	检查不同类型、不同耐火等级建筑的允许建造层数	10
	检查建筑的设计使用年限	5
	检查建筑的建筑面积	4
	检查不同面积建筑的面积体系系数	2
	检查建筑内是否设置特定房间	4
	检查建筑的抗震设防烈度、安全等级	2
	检查不同类型房间在建筑内允许的布置层数	19
	检查不同类型房间的允许建造面积	5
房间 OST_Rooms	检查房间是否通至屋面	1
	检查不同房间的排水坡度	1
	检查坡道的坡度	10
	检查房间的面积、净高	20
墙构件 OST_Walls	检查房间温度/采暖计算温度	4
	检查不同耐火等级墙构件的燃烧性能、耐火极限	18
门构件 OST_Doors	检查门构件的耐火极限	1
窗构件 OST_Windows	检查窗构件的耐火极限	1
楼板 OST_Floors	检查楼板的燃烧性能、耐火极限	4
屋面 OST_Roofs	检查屋面板的燃烧性能、耐火极限	6
	检查屋顶的类型	2
	检查屋面的坡度	1
楼梯 OST_Stairs	检查楼梯的燃烧性能、耐火极限	4
吊顶 OST_Ceilings	检查吊顶的燃烧性能、耐火极限	5
视图 OST_Views	检查不同耐火等级建筑内防火分区的最大允许面积	3

有关条文的审查规则大致分为检查单一属性、检查多个属性、通过某属性 A 来检查属性 B 是否合规、检查模型对象是否存在等四类。其中检查单一属性的规则数量最多，共 70 条。从待检查元素的类别角度看，对工程项目整体和房间进行审查的规则数量最多，分别为 43 条和 60 条。

3 应用测试

3.1 测试思路

为验证本文提出基于 Revit MC 的 BIM 审图规则创建方法是否可行，本研究分析了 10 本我国现行建筑规范，并构建了相应规则库，通过选取某住宅工程 BIM 模型作为测试对象对其应用效果和适用性进行了验证。

鉴于不同建筑工程规范审查重点各有不同,为更好测试本文方法的效果,本研究首先创建了该工程的原始模型 K,并在此基础上对其不同视图、构件及其属性等人为设置一系列错误,形成针对不同规范特点的测试模型,以测试 MC 的性能表现。

具体的,模型 K 作为基准模型,未进行任何人为错误设置,用于验证 MC 在无错误情况下的准确性。由于《防火规范》条文的审查对象类型大多为墙构件,还有少数楼板、楼梯、屋顶等,而其余 9 本规范的审查对象则大多为房间,仅有少数涉及门、窗构件。因此,模型 A、B 分别针对《防火规范》和其余 9 本规范的条文特点进行了属性修改,O 模型则为所有属性修改的集合模型。

3.2 结果分析讨论

3.2.1 MC 模型审查结果

各模型的审查结果如下表:

表 2 MC 各模型实例审查结果统计

模型	设置错误构件/条文	审查出构件/条文	未运行条文	合规率
K	0/0	0/0	3	100%
A	92/10	92/10	3	93%
B	368/9	368/9	3	94%
O	460/19	460/19	3	87%

由上表可见,所有人为设置的错误均被 MC 检查出来。未运行的条文是由于条文所涉及的建筑工程类型与案例模型不符,因此未进行审查。其中基准模型 K 没有人为设置错误,因此 MC 未识别出错误构件,其模型合规率为 100%;模型 A 包含 92 个错误构件、涉及违反 10 条规范条文,MC 可成功检出全部错误,其相关构件合规率为 93%;模型 B 设置了 368 个错误构件、涉及违反 9 条规范条文,MC 同样准确识别,相关构件合规率为 94%;模型 O 设置了 460 个错误构件、涉及违反 19 条规范条文,MC 有效检测出所有错误,相关构件合规率为 87%。由此可见,MC 可有效识别复杂模型中的不合规构件及所涉及的规范条文。

3.2.2 MC 支持/尚不支持的审查规则和场景

研究结果显示,MC 只能支持面向单一对象审查规则和规范条文,可实现该对象单个或多个属性的审查。同时,MC 要求有关对象的属性名称和取值必须可通过 Revit API 提取。

当前,MC 尚不支持对复杂属性计算以及空间位置、空间关系等涉及多个对象的规范条文和审查规则,需利用 Revit API 构建基元函数库^[9]并开发有关插件方可实现 BIM 审查。同时,若规范条文中涉及 Revit 建模无法创建或区分的对象,则也无法实现自动审查,如《防火规范》5.5.19 条。

3.2.3 对 BIM 建模规范性的要求

测试表明,审查插件高度依赖 BIM 模型构件和属性的命名规则。不统一的命名规则可能导致审查结果的不准确和漏检。因此,在模型审查之前,需要确保 BIM 模型的属性命名规范统一,并与创建的规则库相对应,才能实现自动审查。

表 3 BIM 建模属性规范命名（部分）

类别	属性	值
工程项目整体 OST_ProjectInformation	耐火等级	二级
	类型	住宅
	类别	二类高层民用建筑
	建筑高度	54.8
...
房间 OST_Rooms	房间净高	2750
	房间名称	卧室
	房间人数	2
	是否通至屋面	否
...

4 结论

针对当前 BIM 审查规则库不健全、插件适用性不明确的问题，本文首先基于 Revit MC 创建了一系列 BIM 审图规则，覆盖了 BIM 模型各类别对象的可审查内容，包括建筑类别、建筑高度、耐火等级、设计使用年限、建筑面积、体形系数和抗震设防烈度等不同方面。同时，通过实例测试，总结了 MC 支持的规则范围及适用场景。随后，针对审查过程中发现的问题，提出了 BIM 建模的相应要求和建议，服务 BIM 智能审查的研究与工程实践。

参考文献

- [1] 林佳瑞, 周育丞, 郑哲, 等. 自动审图及智能审图研究与应用综述[J]. 工程力学, 2023, 40(7): 25-38.
- [2] 林佳瑞, 郭建锋. 基于 BIM 的合规性自动审查[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2020, 60(10): 873-879.
- [3] 霍春龙, 丁峰, 王建. 适应 BIM 数字化审图的 Revit 图纸输出系统研发[J]. 技术研究, 2022, 10(3): 29-32.
- [4] 李承明. BIM 技术支持下的混凝土框架结构施工图智能化审图方法[J]. 数字化与信息化, 2021: 93-94.
- [5] H. Barki, F. Fadli, A. Shaat, et al. BIM models generation from 2D CAD drawings and 3D scans: an analysis of challenges and opportunities for AEC practitioners [J]. Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations, 2015, 149: 369-380.
- [6] L. Wass, Enjellina. Review of BIM-Based Software in Architectural Design Graphisoft Archicad VS Autodesk Revit [J]. Journal of Artificial Intelligence in Architecture, 2022, 2(1): 14-22.
- [7] 刘红波, 杨智峰, 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.
- [8] ZHOU Y C, ZHENG Z, LIN J R, et al. Integrating NLP and context-free grammar for complex rule interpretation towards automated compliance checking [J]. Computers in Industry, 2022, 142, 103746.
- [9] 逯静洲, 曹心瑜, 郑哲, 等. 支持规范条文解译的基元函数提取与分析[OL]. 工程力学, 2024-3-21 .