

基于 BIM 的设计成果自动审查的实现方法研究

宋岩¹ 李智¹ 高歌^{2,3} 黄鹤¹ 刘昭¹ 张骋¹

(1. 数云科际(深圳)技术有限公司, 深圳 518057;

2. 清华大学, 北京 100084;

3. 北京信息科学与技术国家研究中心(BNRist), 北京 100084)

【摘要】随着建筑信息模型(BIM)在智慧城市领域应用需求的不断提出,政府机构和各企事业单位为提高设计管控质量,对BIM模型的合标性及合规性提出了更具体的要求,传统人工审查的方式已经远远不能满足数据审查的需要。本文基于BIM的设计成果自动审查系统的研发与实践工作,研究了国内外BIM自动审查技术路线,并对其在国内的适用性展开分析,探讨了标准数字化和模型自动审查的技术路线,并对具体的实施步骤进行了规划,系统地阐述了BIM的设计成果自动审查实现方法,在某地产企业的落地应用实践过程,重点介绍了标准量化、标准规则化、模型检查和设计审查四个主要的过程,并对于模型审查过程中用到的模板、算法进行了较为详细的介绍,为建筑行业设计成果自动审查研发工作提供参考。

【关键词】BIM; 标准数字化; 模型审查; 设计成果审查; 标准量化; 标准规则化

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1674-7461(2023)04-0084-05

【DOI】10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2023.04.14

引言

近年来随着建筑体量和规模越来越大,空间越来越复杂,从而带来建筑系统增加、管线繁多等诸多问题,增加了设计难度和质量管控难度。2013年,上海市开始推进数字化审查工作,其中明确提出数字化审查在BIM领域应用的要求,希望探索一条基于BIM的模型数字化审查技术路径^[1]。

对BIM模型的审查,由于BIM建模软件对硬件要求高、操作模型需要专业软件使用技巧、模型体量大、构件多、审查速度慢以及审查需要较为深厚的建筑行业知识等因素影响,对审查环境及审查人的要求比较高。鉴于以上原因,模型文件交付时,针对设计成果的合规性审查已成为了各模型成果接收方一项非常沉重的工作内容。同时,传统委托第三方审查单位(简称:三审单位)对设计单位方提交的二维设计成果进行审核的方式,在BIM模型审查领域也缺乏相应是审查工具。

与此同时,随着数字化经济的不断渗透,建筑行业设计质量和数字化的政策压力同步增大,BIM模

型审查的工作量激增,工作质量要求不断提升,审查工作模式面临极大挑战:

(1) 时间紧。按照地产企业和政府部门审批流程节点化的要求,均需在规定的时间内完成设计成果交付,但实际审查时间非常短,给项目公司组织工作和三审单位的审查工作造成很大的压力,加班赶工期的情况成为常态,进度和质量风险急增;

(2) 任务重。根据某地产企业统计,相关施工图审查要点1200余条,BIM审查要点150余条,传统人工审查的方式给三审单位带来相当大的工作负荷,高负荷带来审查质量的下降,为施工图质量带来隐患;

(3) 要求高。建筑设计工作一向以高标准、严要求著称。目前审图工作均靠人工完成,由于审查人员个人水平参差不齐、项目情况复杂多变,再加上时间紧、任务重的因素叠加,产生错漏现象非常普遍,最终导致审查报告质量很难得以保证。

1 国内外现状

国内外BIM模型审查工作中,有相关工具应用

【基金项目】国家重点研发计划项目(编号:2022YFC3800603)

【第一作者】宋岩(1981-),男,一级建筑师,总经理,主要研究方向:建筑信息化、建筑数字化、建筑智能化。

【通信作者】刘昭(1984-),男,工程师,主要研究方向:BIM技术研究与应用、建筑智能化。

的案例，其中应用最为普遍的是，利用 Solibri Model Checker 对 BIM 模型进行以下五个方面的设计成果质量检查^[2,3]。

(1) BIM 模型分专业检查

建筑建模验证、通用空间检查、建筑协同检查、结构建模验证和结构协同检查。

(2) 建模内部缺陷探测

解决模型构件的完整性、完善性、协调性以及与设计要求的一致性等问题。

(3) 模型问题 - 协同报告集成

改变了传统的问题报告模式，将建模者、问题信息、问题评论、三维可视全面集成一体化，提高了系统效率。

(4) 模型版本比较

针对 BIM 模型新旧不同的版本，可以突出模型修改前后的变化度和一致性，对模型修改前后构件元素的增加、减少、改动，进行清晰的展示。

(5) 模型问题快速定位

针对 BIM 模型中的问题，可以在有问题或者改动的地方重点进行展示、查看或研究，便于相关复杂设计问题的解决和完善，以及 BIM 模型问题的调整和追踪。

Solibri Model Checke 优点突出，但由于其平台的封闭性，无法根据企业需求进行集成和拓展，再加上国内没有本土化的技术团队支持，无法有效支撑适合我国国情的项目需求。

在国内，清华大学自主研发的 BIM 模型智能检查工具 BIMChecker，在实现复杂建筑规范内容结构化描述和基于知识的智能检查方面具有较强能力，但暂时无法实现云端审查的功能^[4]。

对于审查技术本身而言，虽然较为成熟且业内也有实践的先例，但并不满足当下数字化转型的需求。随着相关技术的成熟和完善，各地方政府、不同企业对审查的侧重点、安全要求均存在差异，如何既能提高系统的灵活性，满足不同客户的需求，又能通过提高系统的复用性，降低系统的开发成本，是研究 BIM 模型审查方法的首要关注重点。

2 自动审查新模式探索

研究团队从 2017 年起开始探索设计成果自动审查的解决方案，参考了众多模型自动审查的案例，国外案例普遍采用专家系统的模型将每一条规范简化成一个产生式规则形式，从而将规范条文构建成知识库^[5]，而在中文的自然语言规则表达式提取问题上，目前

以基于本体的知识建模^[6]。基于这一认识，从 2017 年开始，启动基于库审一体技术路线的规则库 1.0 版本研发，即规则库和模型审查算法集成在审查系统中。后续为提升系统适用性，又于 2018 年进行了规则库 2.0 版本的升级研发，将规则库和审查系统分离。规则库 2.0 版本的合理性，受到业界的认可，中国建筑标准设计研究院主编的 GB/ T51301-2018 《建筑信息模型设计交付标准》^[7] 于 2017 年 4 月通过审查，也为本套技术路线提供了框架支撑。新模式实现步骤如图 1 所示。

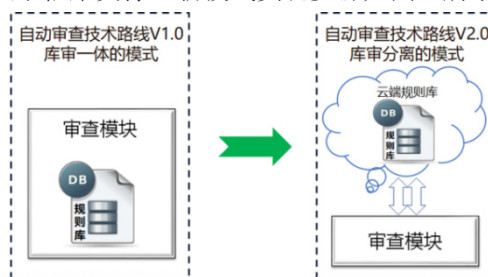


图 1 自动审查新模式实现步骤

3 技术路线

在自动审查中，通过对标准量化和规则化的处理，使标准可被计算机识别，实现基于规则库的设计成果自动审查。将自然语言编写的建筑设计规范条文，转换为计算机可理解并执行的格式（即提取规范条文的规则表达式），是建立基于 BIM 模型的建筑专业施工图合规性自动审查的关键步骤^[8]。

自动审查将贯穿于设计的整个过程，旨在实时为各专业的的设计人员提供设计辅助检验，为三审单位的提供设计辅助审查，同时为业主单位设计管控人员提供设计成果质量的实时反馈。自动审查模式的应用可极大减少专业内部的问题，对于复杂项目的多专业协同，能起到明显的作用^[9]。自动审查整体技术路线如图 2 所示。

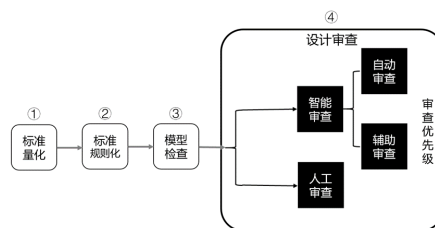


图 2 技术路线

3.1 标准量化

标准量化即对原标准中描述比较含糊的条目进行明确，标准量化是规则库研发的基础，计算机对不能量化的数据判断起来十分困。

3.2 标准规则化

标准规则化是将含义明确的标准进行业务梳理，使其转化为规则化的表达语句，并将结果用数据库进行存储。标准规则化是规则库研发的核心，这个阶段需要设计专业小组、核心算法小组和研发团队对规则进行梳理。为确保各梳理成果的集成和分享，研发团队制定了各种通用的研发工具，用于各方的信息传递。例如：经过充分研讨，研发团队确定了各阶段交付成果的标准模板，如图 3 所示。

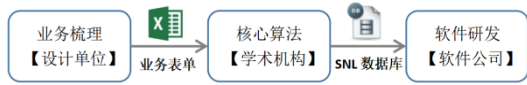


图 3 各阶段交付成果模板

设计专业小组对审查条文要点的内容进行理解和拆分，通过 Excel 表格的操作方式进行成果输出更为便捷；核心算法小组通过标准数字化技术将设计专业小组输出的 Excel 版本的业务表单转化为规则数据库；研发团队通过对设计审查业务逻辑的梳理，将核心算法小组输出的规则数据库转化为用于设计成果审查的规则数据库，并开发前端程序，实现基于规则数据库的模型审查。

基于业务需求的 Excel 模板是各团队协作的前提和基础，该模板历经数轮研讨，是各小组前期关注的焦点。工作模板 V3 版本如图 4 所示，该工作模板随着业务梳理工作的进展还在持续更新，基于以上模板各小组共同协作，将每条审查条文要点信息梳理至 Excel 中。下面以“变配电所、开闭所设于非最底层时，其室内地面高度应高于室外地面 200mm 且做高于室外地坪 300mm 高的防水门槛。设于建筑物最底层时，室内地面应高于室外地面 800mm，并设有防水浸措施。”审查条文要点为例，进行标准规则化工作过程详细阐述。

首先对本条要点进行分类，区分检查主项、辅助项以及二维图纸对象，分类确定完成之后，对标准条文进行语义拆分，按模型对象划分为六个语义内容：

- (1) 名称为变配电所、开闭所的房间类型；
- (2) 变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性；
- (3) 变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性；
- (4) 构件或墙体的高度属性；
- (5) 变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性；

序号	审查内容	检查主项	检查辅助项	二维图纸对象	模型对象	模型相关对象	标准	关系	关系描述
1.1	设计文件				名称为变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性	变配电所、开闭所	标高	>	1. 对名称为变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性进行判定。
1.184	变配电所、开闭所设于非最底层时，其室内地面高度应高于室外地面 200mm 且做高于室外地坪 300mm 高的防水门槛。设于建筑物最底层时，室内地面应高于室外地面 800mm，并设有防水浸措施。	平面	建筑	变配电所、开闭所	名称为变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性	变配电所、开闭所	标高	>	1. 对名称为变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性进行判定。2. 对名称为变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性进行判定。3. 对名称为变配电所、开闭所房间内的楼板的标高属性进行判定。

图 4 工作模板 V3 版本

(6) 变配电所、开闭所房间内的楼板、墙体的属性。

标准和规则往往是一对多的关系，即一条标准可划分为多条规则，而后每条规则可根据模型对象的划分以及对关系的描述，被归纳为特定的算法，最终特定的算法对应特定的数字化规则库。因此，作为各阶段信息传递的纽带，算法团队的工作主责是：将业务梳理过后，用自然语言表达的规范条文，转换为计算机可理解并执行的 SNL 语言。

整个审查的算法分为信息、模型和文档三大类，如图 5 所示。第一大类是信息类，分为设计录入和系统存储两个子类信息，设计录入主要是设计单位录入在设计过程中对整体项目有影响的信息，系统存储是指将常用的数据（例如全国寒冷区域划分）存入系统数据库，以备模型审查时读取；第二大类是模型类，分为构件（对名称、类型、属性和空间关系等）、空间、空间与构件和轴网与构件四个子类算法模型；第三大类是文档类，分为名称匹配和内容匹配两个子类算法。

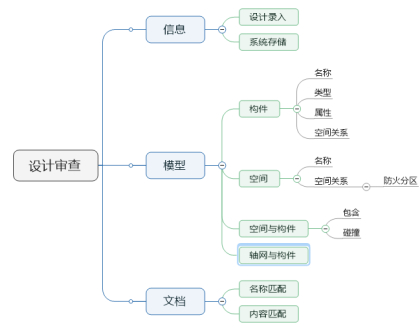


图 5 审查算法分类

每条算法对应一条数字化的存储语句，用后台数据库的方式予以存储，存储的数据作为规则库的最终成果，以备后续的具体应用调用，存储语句样式如图 6 所示。



图 6 存储语句样式

3.3 模型合标性检查

本项目目的是借助模型，对设计合规性进行审核。因此，模型本身的合标性是必要的前提条件，故研发团队率先将《建筑信息模型应用统一标准》GB/T 51212-2016 数字化，并存储至规则库种，用以检查模型创建的合规性。

3.4 设计审查

设计审查方式共分为三种：自动审查、辅助审查和人工审查。其中自动审查和辅助审查统称为智能审查。自动审查是指不经过任何人工干预计算机直接给出审查结果，其实现基于两个主要部分，一是建筑规范向正式的可计算的规则模式转换，即转变成 SmartCodes；二是 BIM 模型达到能够允许完成规范检查的内容和详细程度^[10]。辅助审查是指利用计算机，减少人工审查的工作量。

4 应用实践

目前，规则库内容已涉及多个国家、地方和企业标准和规范，包括《建筑信息模型设计应用统一标准》GB/T 51212-2016、《住宅设计规范》GB 50096-2011、《建筑设计防火规范》GB50016-2014 (2018 版)、《设计应用强条》和《第三方审查要点》等 800 余条审查条文。

同时，为了降低 BIM 模型合规性审查技术的使用门槛，研发团队搭建了基于 BIM 的设计成果合规性自动审查系统，借助计算机和 BIM 技术，利用建筑三维模型的先天优势，快、全、准地检查出 BIM 模型的设计问题，改变传统的人工审图模式，提高了审图效率，为项目各阶段审查提供统一服务功能。

该系统核心功能分为两部分，对审查条文规则库进行统一管理和维护，以及进行在线模型审查。该系统操作流程如下：用户登录平台，上传 BIM 模型，通过在线模型解析后，用户可以在线浏览三维模型。通过选择配置规范条文及解析后的 BIM 模型，发起审查任务，调用平台合规审查服务进行 BIM 模型审查。完成审查后，用户可以在线浏览合规审查结果，即在线浏览与审查问题点相关联的 BIM 模型构件，明确、高效的确认审查结果；也可以直接下载审查报告，便于用户线下核对模型问题点和审查结果存档。

当前合规性自动审查系统已成为项目经理高效管控项目的手段。合规性自动审查系统改变了过去项目经理对设计成果管控依赖于项目模块化管控节点的弊端，即仅对设计和三审意见成果管控，实现了项目经理在设计过程中对设计阶段成果、进度和质量的实时管控，同时大幅减少三审单位的工作量，提升工作质量，并对三审单位工作成果起到监督作用。

5 结论

由于规则库研发技术路线在国内外无成熟经验可以借鉴，且可参考的案例较少，研发期间团队边摸索边调整，目前已经摸索出一条较为成熟的技术路线和

解决方案。可总结为如下关键点：

(1) 明确的业务需求。业务需求是对规则库研发的目标确认，规则库的研发切忌目标不明确或内容大而全，应高度聚焦，确保规则内容有的放矢；

(2) 稳定的组织架构。团队的组织方式是对规则库研发的有形支持，需管理、算法、研发和业务小组之间密切配合。没有业务小组，规则库的专业性无法得以保障；没有算法小组，规则库检查的效率会大幅降低；没有研发小组，算法无法得以固化；最重要的是管理小组，没有管理小组的组织协调和资源匹配，整个项目无法有序推进；

(3) 科学的协调控制。协调控制是通过管理手段对有形和无形资源进行组织和管理，以期达到目标。由于各小组专业背景的差异，打造一个共同对话的平台十分重要，本项目中利用一套工作模板，实现在项目研发过程中的协调一致。

基于 BIM 的设计成果自动审查方法的研究，为设计成果审查管理能力的提升提供了一个强有力的工具。其可以将 BIM 自动审查过程变得更加规范、高效和智能。预计未来几年，设计成果自动审查系统将更为普遍，通过项目的积累，规则库也将会得到补充和完善，从而进一步提升自动审查的适用性。

参考文献

- [1] 张铁磐. 建设工程施工图数字化审查在上海的应用与思考[J]. 建筑设计管理, 2016, (5):10-12.
- [2] 辛文慧. 基于 BIM 的强制性条文数据库的建立及应用[D]. 重庆大学, 2017.
- [3] 吉久茂, 童华炜, 张家立. 基于 Solibri Model Checker 的 BIM 模型质量检查方法探究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2014, 6(1):14-19.
- [4] 张荷花, 顾明. BIM 模型智能检查工具在审查平台及消防审查中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(1):2-3.
- [5] Uhm M Lee G Park Yetal. Requirements for computational rule checking of requests for proposals(RF-Ps) for building designs in South Korea[J]. Advanced Engineering Informatics 2015, 29(3): 602-615.
- [6] 胡云忠, 骆汉宾, 钟波涛, 等. 基于本体的建筑质量管理规范建模与检索研究[J]. 土木工程与管理学报 2012, 29(4): 94-99.
- [7] GB/T51301-2018. 建筑信息模型设计交付标准[S].
- [8] 魏然, 舒赛, 余宏亮, 等. 自然语言建筑设计规范条文

- 的规则表达式自动提取方法 [J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(1): 111-112.
- [9] 孙澄宇, 柯勋. 建筑设计中 BIM 模型的自动规范检查方法研究 [J]. 建筑科学, 2016, 32(4): 140-145.
- [10] 张伟胜. 集成 BIM 与安全规则的不安全设计因素自动识别机制研究 [D]. 清华大学, 2015.

Development and Practice of Design Results Automatic Check System for Based on BIM

Song Yan¹, Li Zhi¹, Gao Ge^{2,3}, Huang He¹, Liu Zhao¹, Zhang Cheng¹

(1. Digital Horizon Technology CO., LTD, Shenzhen 518057, China;

2. Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. Beijing National Research Center for Information Science and Technology (BNRist), Beijing 100084, China.)

Abstract: Besides the increasing demands of applying building information model (BIM) in the Smart City, government agencies, enterprises, and institutions, etc., also put forward more specific requirements for the BIM model compliance for the needs of application. However, the traditional manual review method fails to meet current needs of data review. Based on development and practice of design results automatic check system, this paper studies the leading BIM review route at home and abroad, analyzes its applicability in China, and discusses the technical route of standard digitization and model automatic review. Under the work above, the paper further plans the specific implementation steps, discusses the technical route of standard digitization and automatic model check, and describes implementation application results. Focusing on the four main processes of standard quantification, standard regularization, model inspection and design check, this paper introduces templates and algorithms used in the process of model, which can provide a reference for automatic check on design results in the construction industry.

Keywords: BIM; Standards Digitization; Model Check; Design Achievement Check; Standards Quantification; Standards Regularization