

基于知识图谱的性能化消防设计审查方法

郑哲, 周育丞, 林佳瑞*, 黄凯君, 陆新征

(清华大学土木工程系, 北京 100084)

【摘要】性能化消防设计(Performance-based Fire Design)是消防设计中常用的一种方法。性能化设计需要对建筑的性能进行评估,人工评估方法耗时且容易出错。然而,目前的自动化设计审查研究大多基于处方式设计规范,考虑性能化设计要求的研究仍较少。因此,本文提出了一种基于知识图谱的性能化消防设计与审查方法。首先构建了性能化消防设计本体作为知识图谱的逻辑框架。随后基于 SWRL 规则实现了性能化场景自动判别、生成与检查方法。最后,采用实际案例证明了所提出的方法的有效性。

【关键词】性能化消防设计; 性能化审查; 知识图谱; 本体; SWRL 语言; 智能审图

1 引言

当今,建筑的功能越来越多且越来越复杂。工程的防火设计变得尤其重要,提高建筑的防火性能可以有效减少建筑发生火灾时的损失。目前建筑的消防设计方法主要为“处方式”设计,即遵循系列建筑防火设计规范进行^[1]。然而,每种建筑方案都有其独特性,“处方式”设计不能因建筑的特有功能、设计而调整,使得防火设计未必能发挥最大性能。针对此状况,性能化消防设计被提出,以充分考虑建筑物用途、结构、可燃物分布情况等参数,通过综合性能分析和评估达到设计目标要求。

然而,在火灾场景设计中,设计人员往往需花费大量时间来选择性能化设计场景与有关参数取值^[2];同时,性能化设计过程也需要针对建筑性能进行多次评估,导致人工的评估方法耗时且极易出错。因此,亟需提出面向性能化设计的自动设计审查方法,以提高性能化设计质量与效率。然而,目前的自动化设计审查研究大多基于处方式设计规范,考虑性能化设计要求的研究仍较少。

基于以上研究现状,本研究构建了性能化消防设计本体,作为知识图谱的逻辑框架,以实现该领域知识的持续累积,逐渐组成可供设计人员参考的可靠知识库。随后基于上述本体将性能化设计条文解译为 SWRL 规则,实现了性能化场景自动判别、生成与检查,以提高性能化设计与审查效率。最后,采用实际案例证明了所构建的本体与提出方法的有效性。

【基金项目】国家自然科学基金资助项目(51908323, 72091512), 清华大学-广联达 BIM 联合研究中心(RCBIM)

【作者简介】林佳瑞(1987-), 男, 助理研究员。主要研究方向为智能建造、BIM/CIM 与数字防灾技术。E-mail: lin611@tsinghua.edu.cn

2 性能化消防设计本体构建

知识图谱在 2012 年由 Google 提出，初衷是为用户提供关联搜索，提高搜索的深度和广度^[3]。在性能化消防设计领域，每个建筑方案的都有其独特性，若把方案的火灾场景等设计参数作积累，则能为设计人员带来可靠的参考依据，并为相关规范体系建立基础。

本节将采用七步法^[4]构建性能化消防设计知识图谱的本体。相关文献表明利用性能化消防设计进行防火设计虽然可量化评估建筑的防火性能，但设计时间会变长，工作量和复杂度也会相应提高。因此，现阶段往往采用性能化设计和处方式设计相结合的方法进行审查，在超限设计或有特殊要求时采用性能化设计方法。由此可见，性能化设计与处方式设计有着较强的关联性。因此，本文将性能化消防设计本体的领域分为两大部分：(1) 基于规范的建筑部分和(2)性能化消防设计方法部分。

确定本体的领域范围后，对现有本体进行了重用性分析。IFC Ontology^[5]是一种对建筑进行描述的 OWL 语言框架，但该本体体量庞大，并不适合直接重用。因此，本文将 IFC Ontology 作为参考，随后对该两个领域进行术语总结，并进行本体构建。

2.1 性能化消防设计方法术语总结

首先对《建筑设计防火规范》（简称《建规》）进行规范分析，建立用于描述建筑的术语。本文总结《建规》概念、关系与属性，并参考现有 IFC 标准^[5]，提出建筑项目可通过定义以下六个概念进行描述，包括：建筑（Building）、空间（Space）、系统（System）、建筑属性（Building Properties）、建筑要素（Building Element）、物体（Object）以及材料（Material）。每个概念可被成为一个类，建筑类作为框架中范围最大的类，由空间类组成（composed by），并由建筑属性类进行基于功能的描述（Describe）。而空间类由建筑构件类组成，并包含（include）系统类，以及与物体类有储存（Store）关系。系统类与空间类相似，同样由建筑构件类组成，而建筑构件类则由材料类组成。各类之间的关系如图 1 所示：

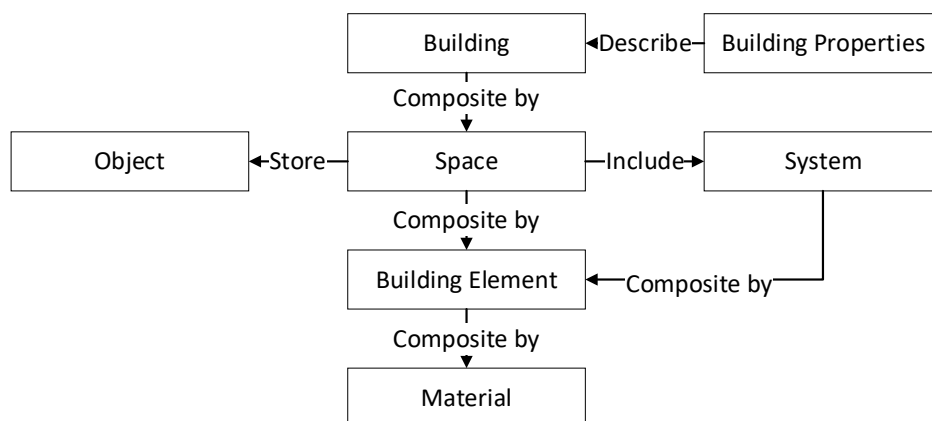


图 1 建筑概念定义与关系

基于对相关性能化消防设计目标及过程的研究^[6,7]，本文将性能化消防设计概括为六个大类：规则(Rules)、性能化场景(Performance-based Scenario)、性能化方法(Performance-based Method)、性能化特性(Performance-based Characteristics)、性能化目标(Performance-based Goals)以及性能化设计原则(Performance-based Criteria)。最左边一列中建筑类确定(develop)性能化目标，性能化目标确定(develop)性能化设计准则。建筑是否合规通过规则类进行验证(Verified by)，规则类确定(develop)性能化场景，性能化场景由性能化特性组成(Composite by)，性能化场景确定所采用(Evaluated by)的性能化方法。性能化方法满足(Satisfy)性能化设计准则。各类大致关系如图2所示。

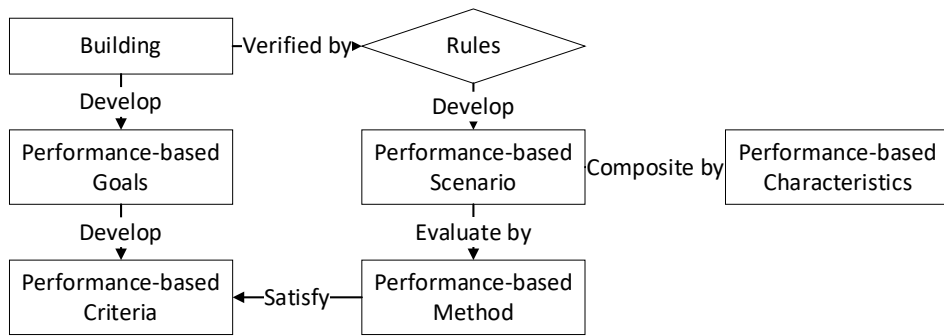


图 2 性能化消防设计概念定义与类关系

2.2 本体构建

本文使用 Protégé^[8]作为本体开发工具。按照以上分析本体按内容分为两大部分：建筑类(Building Class)、性能化消防设计类(Performance-based Fire Design Class)。具体的类与实例的关系如图3所示，图3左图为右图中用到的图例解释。

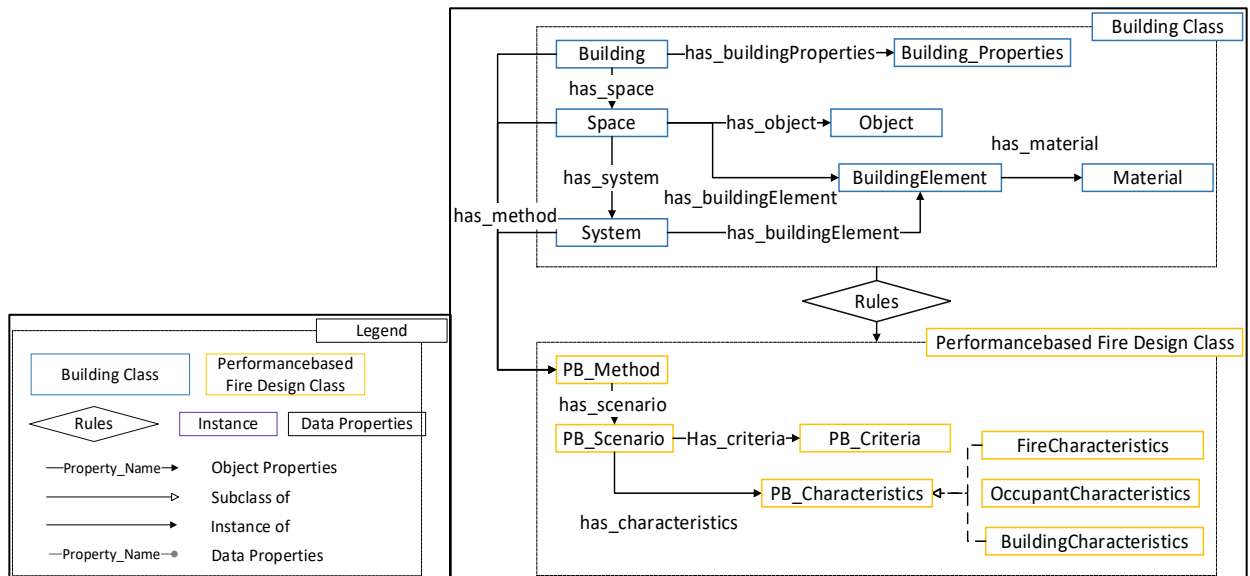


图 3 性能化消防设计本体

3 基于 SWRL 的性能化审查规则构建

SWRL (Semantic Web Rule Language) 是一种基于本体的逻辑推断语言^[9]。本文基于 SWRL 语言定义相关规则, 以判断建筑是否需要性能化分析、确定具体性能化场景、建筑性能合规性的自动化评估。因此, 本文将将其分为三类: 判别规则、场景规则、审查规则, 接下来将分别举例介绍三类规则的定义。(1) 判别规则。判别规则旨在识别建筑的潜在风险, 并判断是否需要复杂的性能化分析 (包括物理模型、疏散模型)。(2) 场景规则。当建筑被判别为具有火灾风险源时, 需要进行性能化分析, 而火灾场景是性能化分析的基础。因此本文提出了场景规则, 可根据空间的人流密度、可燃物分布等条件, 通过规则确定性能化火灾分析所需的代表性火灾场景。本文采用 NFPA 生命安全规范^[10]所定义的性能化火灾场景。(3) 审查规则。在获取仿真模型的计算结果后。审查规则为验证性能化设计结果是否符合要求的规则。此类规则会基于安全疏散准则定义, 该准则要求建筑的可用疏散时间 ASET (The Available Safe Egress Time) 不少于必须疏散时间 RSET (The Required Safe Egress Time), 即 $ASET \geq RSET$ 。本研究目前一共建立了 6 条判别规则, 8 条场景规则, 3 条审查规则。由于篇幅限制, 本文仅展示一条所建立的典型的 SWRL 判别规则:

判别规则 2 (Rule2): 民用建筑中, 直通疏散走道的房间疏散门到最近安全出口的距离应满足《建规》5.5.17 的规定, 否则需要进行火灾分析。《建规》5.5.17 对不同类型的民用建筑有不同的疏散门直线距离要求, 以下规则表示一级防火等级的单、多层建筑的疏散距离限制。所建立的 SWRL 规则: $Room(?RMI)^{Passageway(?CDI)^{Door(?DRI)^{has_buildingElement(?RMI,?DRI)^{open_to(?DRI,?CDI)^{has_door_egressDistance(?DRI,?ed)^{swrlb:greaterThan(?ed,22)^{EvacuationModel(Model_RSET)^{PhysicsModel(Model_ASET) \rightarrow has_method(?RMI, Model_RSET) \wedge has_method(?RMI, Model_ASET)$

4 案例分析

4.1 实例建立

本文采用一座三层商业建筑项目对所提出的基于知识图谱的性能化消防设计与审查方法进行了验证。该项目民用商业建筑, 其中一、二层为零售商店, 主要贩卖衣物、日用品、电子产品等, 以及餐饮场所, 三层为电影院, 设有观影厅、售票厅与部分零售商店。该建筑的中心设有连通三层的中庭, 而屋顶使用玻璃材料。建筑的 BIM 模型如图 4 左图所示。建筑项目与其组成部分将会基于 BIM 模型以实例的形式在本体建立, 在实例之间添加对象属性, 以及对实例添加数据属性。建筑平面图与所构建建筑实例如图 4 中间图所示。由于性能化设计的针对性和独特性, 不同建筑项目的性能化参数都会有所不同, 且单个建筑项目可能会进行多于一项的性能化分析。因此本研究建立了针对目标建筑的性能化实例, 包括: 性能化方法 (PB_Method) 的实例, 性能标准 (PB_Criteria) 的实例, 性能化场景 (PB_Scenario) 的实例, 如图 4 右边图所示。

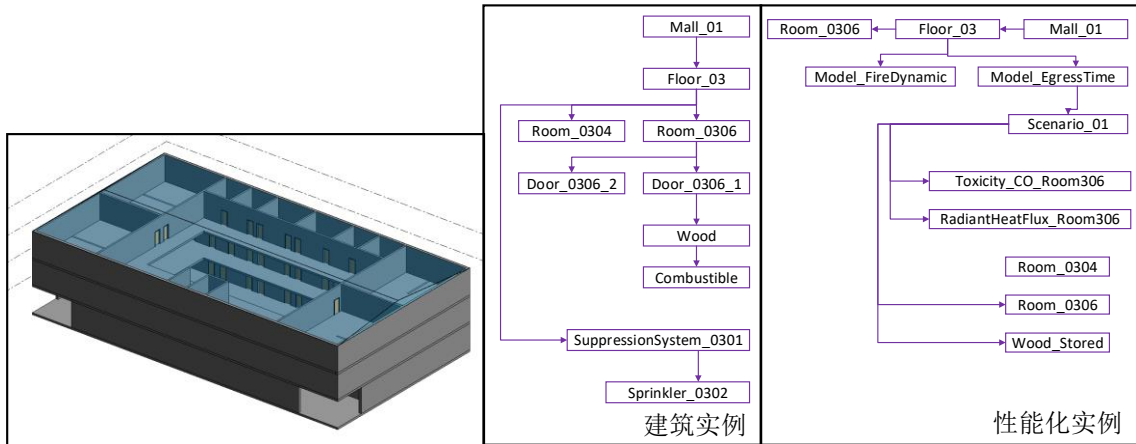


图 4 建筑实例及性能化实例

4.2 基于 SWRL 规则的性能化自动审查

由于篇幅限制，这里仅展示部分 SWRL 规则的审查结果。表 1 展示了判别规则 2 的推理结果。结果表明由于三层房间 0305 与 0306 疏散距离过长，因此，建筑项目需要进行性能化消防设计，以验证设计具有足够的防火性能。

表 1 审查规则的推理结果

PB_Method	method_of	SWRL Rules
Model_ASET & Model_RSET	Room_0305	Rule2
	Room_0306	

由于建筑案例需要进行火灾物理模型和疏散分析性能化分析，基于定义的 SWRL 场景规则进行，建筑案例中需要考虑的火灾场景如表 2 所示。其中第一列为建筑需要进行的建模分析方法，第二列为需要考虑的火灾场景，第三列、第四列分别为火灾场景需要考虑的性能化特性关系和对应的特性。

表 2 火灾场景推理结果

PB_Method	has_Scenario	has_characteristics	PB_Characteristics
Model_ASET	Scenario_01	has_fireLocation	Room_0305
			Room_0306

火灾场景建立完毕后，建筑将进行性能化分析。分析会基于安全疏散原则进行，分析完成后根据分析结果建立性能化指标的实例。所建立的审查规则会自动进行第二次推理，从而判断建筑是否符合性能要求，结果如表 3 所示。分析结果表明，建筑案例在火场模型评估中，给定的火灾场景下能满足安全疏散原则要求(性能化设计要求)，即 $ASET \geq RSET$ 。

表 3 火灾模型分析结果

PB_Scenario	PB_Criteria	has_criteria_value	ASET	RSET
Scenario_01	SmokeHeight_0302	425	425	362
	SmokeHeight_0309	478		

5 结论

本文搜集梳理了《建规》和现有性能化消防设计理论，总结出其中重要的术语。将性能化消防设计本体的类分为基于规范的建筑描述、性能化消防设计描述两部分，并基于七步法构建了该本体。该本体可以不断积累性能化消防设计领域的知识，为设计人员提供参考依据。

本体框架构建完毕后，为了提高性能化设计审查的效率。本文基于 SWRL 构建了三类性能化审查规则，提出了一种基于知识图谱的半自动性能化消防设计与审查方法。

在实际工程为基础，建立了建筑类、性能化设计类的实例后，本文基于所构建的 SWRL 规则与半自动性能化消防设计与审查方法，对该工程进行了性能化设计评估。结果表明所提出的方法可以自动识别建筑物中需要进行性能化分析的位置，自动确定性能化分析所依赖的场景，自动检查性能化参数是否符合规范。证明了所提出的方法的有效性。

参 考 文 献

- [1] 倪照鹏. 国外以性能为基础的建筑防火规范研究综述 [J]. 消防技术与产品信息, 2001, 10: 3-6.
- [2] Meacham B, Thomas J. 20 years of performance-based fire protection design: challenges faced and a look ahead [J]. Journal of Fire Protection Engineering, 2013, 23
- [3] Singhal A. Introducing the knowledge graph [EB/OL]. Official Blog of Google, 2012, <https://blog.google/products/search/introducing-knowledge-graph-things-not/>
- [4] Noy N F, Mcguinness D L. Ontology development 101: a guide to creating your first ontology [J]. Knowledge Systems Laboratory Technical Report, 2001, KSL-01-05
- [5] Pauwels P, Terkaj W. ifcOWL ontology (IFC4_ADD2_TC1) [EB/OL]. 2019, https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4/ADD2_TC1/OWL/index.html
- [6] Society Of Fire Protection Engineers. SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection [M]. Society of Fire Protection Engineers (SFPE), 2007.
- [7] 张博思, 张佳庆, 孟燕华. 性能化防火设计中设定人员安全判据研究 [J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(02): 41-6. [2021-05-01]
- [8] Musen M A. The protégé project: a look back and a look forward[J]. AI Matters, 2015, 1(4): 4-12.
- [9] Horrocks I, Patel-Schneider P F, Boley H, et al. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML [EB/OL]. W3C Member Submission. 2004.[2021-05-01] <https://www.w3.org/Submission/SWRL/>