

基于 BIM 的建筑消防安全管理应用框架研究

陈 远, 任 荣

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 随着我国城市化步伐的加快, 城市火灾的发生呈上升趋势, 火灾防治的难度不断加大, 对防火设计和消防安全管理的要求不断提高。近年来建筑信息模型(BIM)技术的不断发展, 为建筑消防设计和消防安全管理提供了新的思路和方法。研究探讨了基于 BIM 的建筑消防安全管理的应用框架, 包含基于 BIM 的建筑消防设计子模型、基于 BIM 的消防预案管理子模型和基于 BIM 的智能消防系统子模型。通过实际工程的案例分析, 验证了 BIM 技术在建筑消防安全管理中的实现和应用价值, 为建筑消防安全管理的改进提供了参考和技术支持。

关 键 词: 消防安全管理; 建筑信息模型; 建筑消防设计; 消防预案管理

中图分类号: TU 17

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.2016060816

文献标识码: A

文 章 编 号: 2095-302X(2016)06-0816-06

The Research of the BIM-Based Building Fire Safety Management Framework

Chen Yuan, Ren Rong

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: As the great development of urbanization in our country, fire disasters in cities have increased largely and the fire safety management becomes more difficulty. With the progress of building information modelling (BIM), the fire safety design and fire safety management have achieved new methods and ideas. This research has developed a BIM-based building fire safety management framework consisting of the BIM-based fire safety design model, BIM-based Fire emergence response plan management and BIM-based intelligent fire system. This framework has been evaluated in a real construction project and illustrated that the application of BIM can increase the efficiency and reliability for building fire safety management and provide technical and managerial supports for the fire safety management lifecycle.

Keywords: fire safety management; building information modelling; fire safety design; fire emergence response plan management

随着我国经济的发展和城市化步伐的加快, 全国各地涌现出大量的高层、超高层以及地标性建筑, 包括大型商业综合体、公共建筑、大型综合交通枢纽以及“鸟巢”、“水立方”等。但是我国城市火灾发生整体呈上升趋势, 经济损失和人员伤亡高居

不下, 火灾发生原因多样化, 火灾威胁的对象在增加, 而火灾防治的难度却在不断加大, 这就对建筑物的防火设计和消防安全管理提出了更高的要求。近年来, 随着建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术的发展和在工程实践中的深入

应用,其打破了传统的设计、施工和运营管理的理念,在建筑全生命周期中的应用实现了各专业信息的共享和协同,也为建筑消防设计和消防安全管理提供了新的思路和新的方法。

1 建筑消防安全管理

消防安全管理是在认识火灾的客观规律的基础上,运用先进的设计方法和科学技术,有效地减少火灾的发生次数、缩小火灾发生的范围、降低火灾的损失。近年来,随着我国建筑行业的快速发展,建筑类型复杂性的增加,建筑功能不断扩展,大量新型建筑材料的使用,以及建筑电力和热力等大型设备的使用,大大提高了火灾发生的概率和火灾后果的严重程度。建筑消防管理要落实“预防为主,防消结合”的方针,将防火和灭火两项工作结合起来,在完善各项防火工作的同时,也要为各项灭火工作做好充足的准备。

建筑消防安全管理是一项专业性、技术性和科学性很强的工作,主要包括火灾风险评估、建筑防火设计、建筑消防预案管理以及建筑消防信息管理。火灾风险评估是在建筑系统的消防灭火安全分析的基础上,以大量已有的火灾统计数据为基础,应用不同的风险评价方法,对建筑物的火灾风险进行衡量,并且在评估的基础上对建筑防火设计进行调整,消除火灾隐患,降低事故发生概率和火灾危险程度。目前在火灾风险评估方面的研究包括利用不同的风险评价方法和理论模型对不同种类的建筑进行评估。例如:利用层次分析方法(analytic hierarchy process, AHP)建立大型综合性实验室的火灾评估指标的权重^[1],基于模糊评价模型的火灾评估框架对建筑内居住者和逃生出口关系的研究^[2]以及基于计算机模型的 FIERA 系统对工业和大空间建筑进行火灾评估的理论方法^[3]。

长期以来,我国建筑工程消防设计主要是按照国家的建筑防火规范进行设计,即采用规格式防火设计方法。而性能化防火设计是在 20 世纪 80 年代中期出现,近些年在理论和技术方面都有很大的发展,并且制定了性能化防火设计的设计方法和设计步骤。Hadjisophocleous^[4]的研究对各个国家的防火设计从基于规格式到基于性能化的努力进行了综述,并且提出了制定性能化防火规范的基本步骤。由于在性能化防火设计中火灾场景和火源设计的重要性,Borg 等^[5]的研究通过对当前火灾场景设计

方法和参数确定的综述,提出了一个基于防火工程理论的框架模型,包含了不同的火源设计、火灾场景设计以及不同的环境因素。而 Bjelland 等^[6]的研究则从不同的角度提出了传统的基于自然科学的火灾安全理论是有局限性的,火灾安全尤其是安全边际的研究更应该考虑社会科学的理论。

消防预案是为了指导和规范火灾事故的应急救援工作,降低火灾事故的危害,落实消防工作“预防为主,防消结合”的基本原则,应付突发的火灾事故所制定的应急预案。传统消防应急预案通常是现场预案,是对火灾事故现场各部门的指挥协调,包括横向多部门的联动以及纵向上下级部门的指挥和调度,一般有固定的格式。新兴的消防应急预案,首先对建筑内部结构布局进行分析,针对其可能发生的火灾事故,根据建筑本身的实际情况进行消防管理,并参照灭火方案、疏散措施等制定应急预案。

2 建筑信息模型(BIM)

BIM 是一个智能化的建筑 3D 模型,是一种崭新的集建筑设计、施工、管理与一体的方法,是对工程对象的完整描述,可被建设项目各参与方普遍使用,帮助项目团队提升决策的效率与正确性^[7]。BIM 强调利用数字模型实现建筑工程全生命周期信息集成和动态管理,通过创建一个以多视角、参数化的建筑构件为基础的三维协同工作环境,将业主、建筑师、设计师、施工方、运维方以及其他项目各方整合到一个平台,达到提高决策速度和质量、降低项目成本和提高项目质量,增加项目收益的目的^[8]。

图 1 是以 BIM 模型为核心面向建筑工程项目全生命周期各阶段应用 BIM 信息的理论模型。建筑工程项目全生命周期的各个阶段通过对上阶段 BIM 信息的提取、利用和扩展,创建本阶段相对应的 BIM 信息,同时也为下阶段 BIM 信息的应用提供了基础。随着工程项目的进展,BIM 信息将不断的更新、积累、完善和应用,最终形成基于全生命周期的工程信息集合和完整的 BIM 模型。各阶段的应用软件根据自身的信息交换需求,通过提取和扩展 BIM 模型实现数据的集成和共享。由于 BIM 模型的应用各阶段各专业的工程项目信息得以集成和扩展,从而解决了土木建筑工程领域的信息丢失和信息孤岛问题。

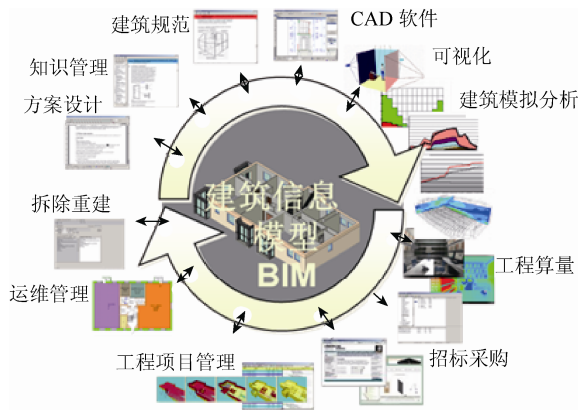


图1 建筑信息模型 BIM 理论模型

由于 BIM 技术在建筑工程中的潜在应用前景，目前对于这一领域的研究有很多。包括基于 BIM 的建筑设计^[9]、基于 BIM 的模拟系统用于改善设计师与业主的交流^[10]、基于 BIM 的 4D 施工进度模拟^[11]、BIM 与虚拟施工^[12]、BIM 与工程项目质量控制^[13]、基于 BIM 的火灾疏散模拟^[14]以及 BIM 与设施管理^[15]。

3 研究目的与研究方法

通过对这一领域研究现状的综述，可以看出目前消防安全管理还存在一些问题：

(1) 我国建筑防火设计主要参照《建筑设计防火规范》进行，后期建筑的二次装修和改造会严重影响建筑的防火等级，如何保证建筑的防火等级是建筑防火设计的难题。

(2) 建筑的消防设计工作通常按照初步设计、二次设计和深化设计等多阶段来进行，由于不同阶段的设计通常由不同的设计单位和设计人员来完成，如何进行设计协同，保证设计的一致性，避免产生遗漏和冲突，也是需要解决的问题。

(3) 在运维阶段，防火和灭火设备在使用过程中要经常进行检测和检修，需要对整个消防系统和设备的信息进行存储和管理，若消防设备检修不当，发生火灾时如果智能消防系统不能正常运行，将会造成巨大损失。

针对目前建筑消防安全管理中存在的问题以及建筑信息模型 BIM 的巨大应用潜力，本研究项目综合应用 BIM 的新理论和新方法，探索将建筑消防安全管理整合到 BIM 模型中的方法，探讨 BIM 模型在建筑消防安全管理中的具体应用，建立基于 BIM 的建筑消防安全管理理论框架。本研究项目的研究方法包括文献分析、专家调研、BIM 技术研究以及案例分析。

4 基于BIM的建筑消防安全管理应用框架

与传统的建筑消防安全管理相比，由于 BIM 模型的三维特性，可以直观显示建筑内部结构、消防位置布局和消防通道状态等，通过碰撞检查解决软冲突和硬冲突，促进不同专业的协同，通过火灾模拟和人员疏散模拟，为新型的建筑工程消防设计提供依据。BIM 模型包含项目全生命周期中各专业和各阶段的全部信息，不仅包括建筑构件，还包括丰富的族库以及自建族文件功能，可建立灭火器、火灾探测器、消防栓等消防设备，并且可提供该消防设备的各种参数信息，将消防信息整合到 BIM 模型中，可以制定相应的消防预案，指导消防救援工作。在运维阶段，通过将 BIM 数据库整合到智能消防系统设计，与自动控制、传感器、计算机网络等技术相结合，通过系统平台实现主动防火功能和被动防火功能，以达到最佳的防火保护。

图2所展示的是基于BIM的建筑消防安全管理应用框架，包括建筑消防设计子模型、消防应急预案子模型、智能消防系统子模型等3个子模型。

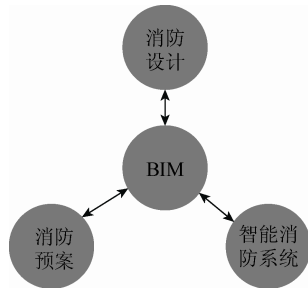


图2 基于 BIM 的建筑消防安全管理应用框架

图3展示了基于BIM的建筑消防设计子模型，建筑防火设计分为主动防火设计和被动防火设计，主动防火设计是在建筑内部安装消防给水系统、火灾自动报警系统、火灾自动灭火系统、防/排烟系统、疏散指示系统等设备，用于早期发现火灾和扑灭火灾、保证人员疏散、减少经济损失。被动防火设计主要指建筑材料和构建的防火性能设计、防火分区设计、安全疏散线路的设计、挡烟垂壁等设计，用于将火势和烟气控制在一定空间内，避免蔓延，并和主动防火系统相互补充。利用 BIM 技术将主动与被动防火设计的防火设施和防火系统同建筑设计有机的整合到一起，建立统一的 BIM 模型，并且通过碰撞检查发现防火设计与其他专业的冲突问题，及时反馈并修改设计方案，重新建模并指导防火工

程的施工。BIM 的建模过程就是将各种消防信息收集、存储并管理的过程,消防设计的各种信息,包括建筑概括信息、内部消防设施设备的部署信息、通风口及疏散通道等信息都可以整合到 BIM 模型中,使得消防管理信息完整、存储位置明确便于以后的查找和使用。随着信息技术的发展,计算机仿真成为建筑火灾模拟的重要手段,通过火灾模拟软件精确模拟火灾发生的真实场景。传统的火灾模拟方法需要手工设置物理空间,建筑设计细节,灭火设备位置和性能,室内可燃物性能等,工作量大而准确性低。基于 BIM 的火灾场景设置,可以从 BIM 模型中直接提取建模信息导入到火灾模拟软件中,包括建筑信息、构件信息、防火设备信息、建筑构件的防火参数等,省略了再次建模的过程。同时,软件模拟的结果又可以反馈给设计人员,对防火设计进行优化和更改,并更新 BIM 模型。

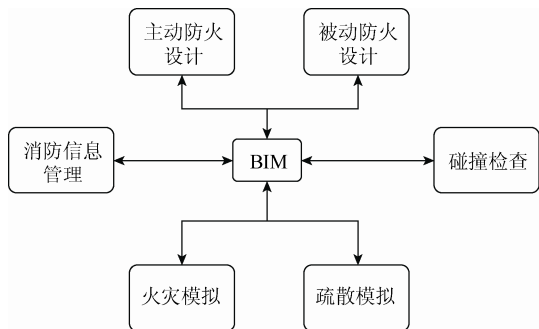


图3 基于 BIM 的建筑消防设计子模型

图4展示了基于 BIM 的消防预案管理子模型,消防预案是为了满足火灾救援及人员疏散等需求,通过对建筑物防火分区、防火设备、构件防火等级的分析,所制定的消防救援计划和准备工作。通过 BIM 模型,建筑消防预案可以直接获取建筑概况、消防设施设备信息、疏散出口通道等消防救援中的关键信息。传统的消防预案是以建筑二维平面图纸为依据,很难直观的展示出建筑的实际结构和内部设施,而基于 BIM 的消防预案可以直接从模型中获取三维信息,并且能够方便获取各层平面图、防火分区图等,提高了现场决策的速度和精确度。基于 BIM 和相关软件的火灾分析模拟,可以提供不同火灾场景设置的分析结果,包括火源点、空气流动方案、定义火源燃烧参数等,结合实际情况,制定灭火救援方案和人员疏散方案。

图5展示了基于 BIM 的智能消防系统子模型。在运维阶段,通过将 BIM 数据库整合到现有的智能消防系统,与自动控制、传感器、计算机网络等技

术相结合,通过系统平台实现防火功能,以达到最佳的防火保护。其中 BIM 模型包含项目全生命周期中各专业和各阶段的全部信息,不仅包括建筑空间、建筑构件、消防设备、防火分区、疏散出口通道等,还包括消防设备日常维护信息,定期的提醒相关人员进行设备检修和维护,并将报告和维护数据录入到 BIM 模型中,保证了系统的正常运行。当火灾发生时,中央处理器将从 BIM 模型中获取消防设备、防火分区、疏散出口等信息,并根据火灾的实时发展,自动控制火灾自动报警系统、防排烟设备、灭火设备和疏散设备等,达到控制火势扩散、防止烟气蔓延,火灾现场灭火,指示人员疏散的目的。

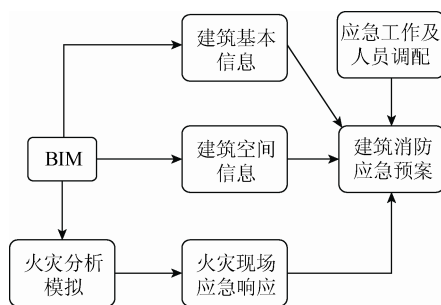


图4 基于 BIM 的消防预案管理子模型

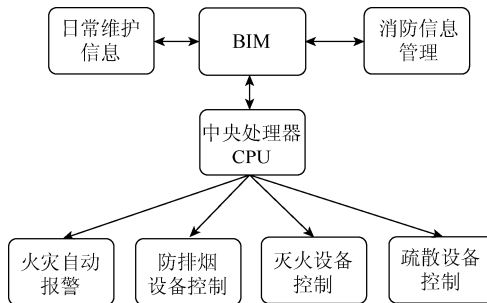


图5 基于 BIM 的智能消防系统子模型

5 案例分析

某大型商业综合体项目,由3层地下室、8层商业裙房及其上的2栋超高层写字楼组成,建筑面积120 000 m²。如图6所示项目效果图,地下3层分别为大型商超、停车场和机房,8层裙房为大型购物中心,2栋主楼为写字楼。由于实际工程项目包含有大量的建筑数据信息,因此 BIM 的建模过程就是对建筑数据信息的提取和表达的过程。此工程项目的 BIM 建模过程包括:成立 BIM 小组,确定小组人员及分工职责,建立建模基础环境,确定硬件配置、软件配置、以及网络配置,熟悉建模工作,制定模型标准,模型拆分,模型深度设计。图7所

示为某阶段建模完成图。由于本项目要探讨基于 BIM 的消防安全管理,图 8 所示为自建消火栓和灭火器族文件。



图 6 某工程项目效果图

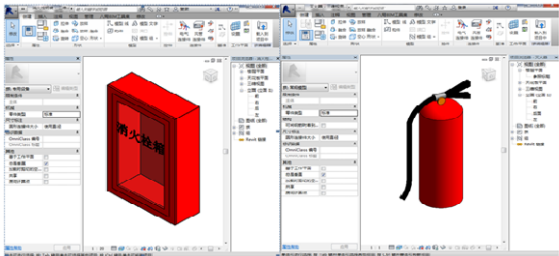


图 7 某阶段 BIM 模型完成图

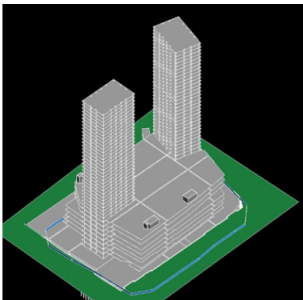


图 8 自建消火栓、灭火器 BIM 族文件

本项目建筑面积大、楼层高、功能复杂、对于建筑消防设计要求很高,难度很大。根据前文所提出的基于 BIM 的消防安全管理应用框架,利用已建成的工程项目 BIM 模型来进行消防火灾模拟和疏散模拟。建筑消防设计重要指标之一是火灾现场的烟气浓度和温度等条件达到建筑物内人员的承受能力之前,建筑的消防设施能否保证该建筑内人员安全撤离火灾现场。即人员完全撤离的时间(required safe egress time, RSET)小于火灾达到危险状态的时间(available safe egress time, ASET)。本项目将写字楼 25~30 层的 BIM 模型(图 9)通过 IFC 格式文件导入到 PyroSim 软件,通过设置分析类型,确定模型范围,制定空气流动方案,确定火源燃烧的相关参数(图 10)等,进行火灾模拟,得出各楼层 3 个时间点的平均温度和烟气平均蔓延速度。通过将

写字楼 25~30 层的 BIM 模型导入到 Pathfinder 软件,构建疏散场景,添加人员(图 11),添加行为,并进行疏散过程模拟,可以得出人员疏散的总时间。

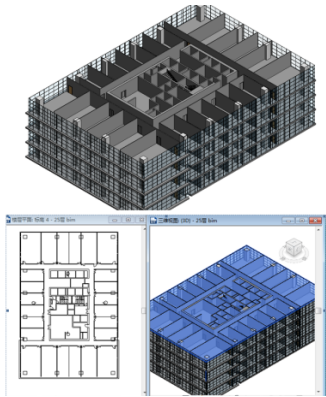


图 9 导入火灾模拟软件的 BIM 局部模型

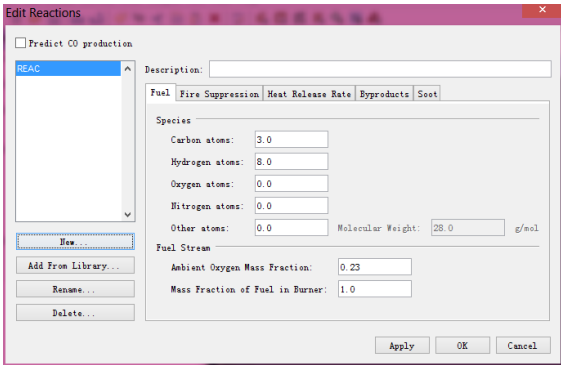


图 10 确定火源燃烧的相关参数

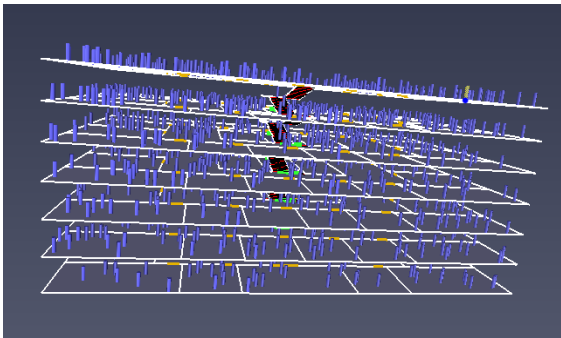


图 11 添加人员完成后的场景图

表 1 展示了火灾模拟的结果和人员疏散模拟结果的数据对比,并对火灾发生时人员的安全性进行了分析。分析结果验证了消防设计的合理性,基本达到建筑防火要求。在消防应急预案制定过程中,模拟结果展示了建筑内部火灾发生时烟气及温度的发展趋势,并提供了人员疏散时间和路径等数据,提高了消防预案制定的合理性和可靠性。将模拟结果存储在消防信息管理系统中,可以提供图片和视频动画,提醒使用者警惕火源,熟悉逃生路径。

表1 各楼层人员疏散模拟时间(s)

楼层	探测时间	准备时间	移动时间	疏散完成时间	有效疏散时间	是否符合要求
25	60	60	17	137	254	是
26	60	60	22	142	196	是
27	60	60	31	151	183	是
28	60	60	42	162	183	是
29	60	60	52	172	183	是
30	60	60	63	183	183	是

6 基于BIM的建筑消防安全管理优势

与传统的建筑消防安全管理方法相比, BIM 模型包含了建筑生命期各阶段的全部几何信息和非几何信息, 并且能够以三维模型的形式真实显示。BIM 不仅包含了建筑构件信息, 还可以以自建族的方法, 载入灭火器、火灾探测器、消防栓、消防指示灯等消防设备, 并提供该设备的各种参数信息, 为运维阶段提供了准确的信息支持。另外, BIM 模型还能够直观的展示建筑内部结构, 显示消防设备的位置布局和消防通道等状态, 为实现建筑消防系统的优化提供指导依据。

基于 BIM 的建筑消防安全管理优势主要体现在:

(1) BIM 模型提供了一个协同的工作平台, 将消防安全信息与其他专业的信息整合起来, 提高了消防信息管理、传递、获取和应用的准确性和实效性。

(2) BIM 模型可以提供与建筑实体一致的三维虚拟模型, 便于用户直观清楚的获得消防安全信息。

(3) BIM 模型是参数化的信息模型, 随着项目的进行不断更新和完善, 实现了全生命周期的消防安全信息管理。

(4) BIM 模型采用 IFC 标准的信息数据存储, 模型通用性较强, 支持跨平台工作, 支持多种消防安全相关软件。

(5) 运维阶段通过将 BIM 数据库整合到现有的智能消防系统, 与自动控制、传感器、计算机网络等技术相结合, 通过系统平台实现防火功能, 以达到最佳的防火保护。

7 结 论

通过对基于 BIM 的建筑消防安全管理应用框架的研究以及对于建筑消防设计子模型、消防应急预案子模型、智能消防系统子模型等 3 个子模型的分析, 与传统的建筑消防安全管理相比, 基于 BIM 的建

筑消防管理具有明显优势。通过将基于 BIM 的建筑消防安全管理方法应用到工程实践中, 验证了 BIM 技术在建筑消防系统中的实际可操作性和应用价值, 为建筑消防安全管理的改进提供了参考和技术支持。

参 考 文 献

- [1] Omidvari M, Mansouri N, Nouri J. A pattern of fire risk assessment and emergency management in educational center laboratories [J]. Safety Science, 2015, (73): 34-42.
- [2] Hasofer A M, Odigie D O. Stochastic modeling for occupant safety in a building fire [J]. Fair Safety Journal, 2001, (36): 663-688.
- [3] Benichou N, Kashef A H, Reid I, et al. FIERA system: a fire risk assessment tool to evaluate fire safety in industrial buildings and large spaces [J]. Journal of Fire Protection Engineering, 2005, 15(3): 145-172.
- [4] Hadjisophocleous G V. Development of performance-based codes performance criteria and fire safety engineering methods [J]. International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, 2000, 2(4): 127-142.
- [5] Borg A, Nja O, Torero J L. A framework for selecting design fires in performance based fire safety engineering [J]. Fire Technology, 2015, 51(4): 1-23.
- [6] Bjelland H, Nja O, Torero J L. The concepts of safety level and safety margin: framework for fire safety design of novel buildings [J]. Fire Technology, 2014, 51(2): 409-441.
- [7] BIM Committee Report. NBIMS: national building information modeling standard version-1 party-1: overview, principles and methodologies [R]. USA: BuildingSMART Alliance, 2007.
- [8] Love P E D, Matthews J, Simpson I, et al. A benefits realization management building information modeling framework for asset owners [J]. Automation in Construction, 2014, 37(1): 1-10.
- [9] Chang Y F, Shih S G. BIM-based computer-aided architectural design [J]. Computer-Aided Design, 2013, 10(1): 97-109.
- [10] Shen W, Shen Q S, Sun Q B, et al. Building information modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer-user communications [J]. Automation in Construction, 2012, (21): 148-160.
- [11] 王 婷, 池文婷. BIM 技术在 4D 施工进度模拟的应用探讨[J]. 图学学报, 2015, 36(2): 306-311.
- [12] 任琦鹏, 郭红领. 面向虚拟施工的 BIM 模型组织与优化[J]. 图学学报, 2015, 36(2): 289-297.
- [13] Boukamp F, Akinci B. Automated processing of construction specifications to support inspection and quality control [J]. Automation in Construction, 2007, (17): 90-106.
- [14] Rupel U, Schatz K. Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations [J]. Advanced Engineering Informatics, 2011, (25): 600-611.
- [15] Becerik-Gerber B, Jazizadeh F, Li N, et al. Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management [J]. Journal of Construction Engineering Management, 2012, (138): 431-442.