

文章编号: 1673-9469 (2018) 03-0064-06

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.03.013

基于 BIM 和 RFID 的模板支撑架高处坠落预警管理分析

王 婷, 曾凡奎

(西安工业大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要: 为减少并预防模板支撑架高处坠落事故的发生, 提高安全预警管理水平。在对引发架体高处坠落事故危险源进行辨识与分析的基础上, 依据架体坠落对象的不同对危险区域及预警等级进行了划分。同时基于预警管理信息需求分析构建了包含信息采集层、网络层、交互层、应用层的系统框架, 并最终构建了基于建筑信息模型和射频识别技术的模板支撑架高处坠落事故预警管理系统运行流程图。结果表明, 该系统能够通过对危险源信息采集、定位跟踪、危险区域自动识别与预警提示, 进而实现对架体搭拆人员与架上施工人员高处坠落事故的可视化分析与智能化预警。

关键词: 模板支撑架高处坠落事故; 危险源; 建筑信息模型; 射频识别技术; 预警管理

中图分类号: TU714

文献标志码: A

Analysis of early warning management for high falling based on BIM and RFID for formwork support frame

WANG Ting, ZENG Fankui

(School of Civil Architectural Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: In order to reduce and prevent the accidents of the formwork support frame from falling, the management level of safety warning should be improved. On the basis of the identification and analysis of the hazard source of the accident caused by the falling of the frame body, the dangerous area and the warning grade are divided according to the different falling objects of the frame body. At the same time, based on the requirement analysis of early warning management information, the system framework including information collection layer, network layer, interaction layer and application layer is constructed. Finally, the flow chart of early warning and management system of formwork support system is constructed based on building information model and radio frequency identification technology. The results show that the system can collect, locate and track hazard information. The automatic identification and warning of the dangerous area can realize the visual analysis and intelligent early warning of the fall accident of the person who put up the frame and the construction personnel on the frame.

Key words: formwork support falling accident; hazard source; building information model; radio frequency identification technology; early warning management.

建筑施工高处坠落事故作为建筑业四大伤害事故中最为严重的安全事故, 其中特别是以脚手架、模板支撑架为代表的临时设施类, 由其引发的高处坠落事故发生频率最高且危险性与伤亡程度最大, 同时也造成了较大的经济损失与负面效应^[1]。因此,

如何减少并预防模板支撑架高处坠落事故的发生至关重要。但由于现行的模板支撑架安全管理方式仍主要依靠安全管理人员现场巡视与检查, 这为高处坠落事故的发生埋下安全隐患。目前, 随着信息化技术在建筑施工领域的深入发展, 特别是 BIM 技术

收稿日期: 2018-05-07

基金项目: 陕西省自然科学基金研究计划项目 (2014JM2-5079); 西安市 2014 年科技计划项目 (CXY1432(1))

作者简介: 王婷 (1993-), 女, 山西晋中人, 硕士研究生, 研究方向为土木工程建造与管理。

与定位技术在建筑工程管理方面的结合运用取得了一定成就^[2-5]。但大多数度比较宏观，缺少针对某些施工活动的安全事故进行管理。因此，本文引入 BIM 和 RFID 技术构建模板支撑架高处坠落事故预警管理系统，以期对架体传统管理模式进行改进，进而实现信息化、可视化、智能化的预警管理。

1 模板支撑架高处坠落事故危险源识别分析

轨迹交叉理论认为人和物的运动轨迹在运行过程中出现的交集就是事故发生的时间与地点，强调了人的因素与物的因素在安全事故致因中的重要性。对各因素^[6]的具体分析如表 1 所示。

2 预警管理系统需求分析

基于 BIM 和 RFID 的模板支撑架高处坠落事故预警管理系统其运行是基于对人员类危险源信息与物体类危险源信息实时搜集的基础上，结合模板支撑架高处作业 BIM 三维模拟场景图对危险区域的划分，进而实现对模架高处坠落事故的预警管理，其中人员类危险源在引发高处坠落事故中所占比重较高，因此应格外重视对人员类危险源的预警管理

^[7]。根据上述对各危险源因素与系统运行原理进行分析，本系统信息需求分为以下三类：

2.1 作业人员属性信息及实时位置信息

由于施工现场面积较大，工种类型较多且流动性较大，依靠人工管理方式很难对作业人员实现全天候动态实时监控。在此，通过 RFID 技术可实现对作业人员属性信息及实时位置信息的快速获取。当作业人员进入架体施工区域时，布设在该区域的 RFID 阅读器会立即识别出该类型人员标签上的属性信息并判断其是否有准入权限。对于架上施工人员，当其距离架体边缘时，通过 RFID 阅读器对其标签信息的扫描与分析，系统会发出语音提示。此外通过 RFID 技术与现场监控技术的结合可实现对作业人员施工行为的监控及位置信息的采集。同时，还可依据阅读器读取作业人员进出施工区域的时间获取其工作时长，用作日常考核及工作结算的依据。

2.2 安全防护装备状态信息

安全防护装备状态信息包括该防护装备是否设置、是否存在质量缺陷、使用方式是否正确，该类信息可通过在安全防护装备上附着 RFID 标签的方

表 1 模板支撑架高处坠落事故危险源分析
Tab.1 The analysis of hazard sources of falling accidents in formwork support frame

危险源类型	类型划分	因素识别	因素分析
人员类危险源	人员生理心理状态	生理状态	模板支撑架搭拆作业与施工作业均属于高强度体力劳动，极容易出现因疲劳引发的反应迟钝、注意力下降、心情烦躁等危险感知能力的衰减
		心理状态	作业人员主观意识不良，在明知高处作业危险的情况下冒险蛮干、心不在焉、存在侥幸心理，导致对危险源性质、程度的判断失误
	作业人员自身素质	操作失误	对模板支撑架相关安全技术规程与技术交底内容不熟悉，如忘记绑扎防护栏杆、为采取可靠方式垫高架体工作面、边工作边后退导致脚底踩空、被绊倒而从临边坠落
		违章操作	未按照安全技术规程与技术交底的要求进行模板支撑架的搭拆及使用作业。如安全防护构件设置不合格，存在错搭、漏搭的情况；未经允许随意拆除受力杆件；安全带使用不当、安全带未挂在牢固地方或使用过程中被任意取下
物体类危险源	安全防护装备	全身式安全带	全身式安全带在使用前存在初始缺陷或长期使用后磨损破坏；全身式安全带绑扎节点不牢固，发生坠落情况时易造成安全节点脱落，致使其安全防护作用失效
		安全防护网	临边位置未悬挂安全防护网、安全网存在质量缺陷或悬挂方式不符合规范要求
		安全防护栏杆	架体临边作业处未设置安全防护栏杆或栏杆设置的高度和强度不符合规范要求、栏杆所用构配件材质质量不合格

式获取。例如模板支撑架搭拆人员及施工人员未佩戴全身式安全带进行模架施工区域时,设置在区域入口处的RFID阅读器会以扫描无数据的方式呈现,进而可判断该人员未佩戴安全带;当扫描有数据时,证明该人员已佩戴安全带,此时阅读器会将扫描数据传输至相关信息系统进行分析处理,以判断安全带是否存在质量缺陷及佩戴是否正确。安全防护栏杆及安全防护网属于静态危险源,对其安全状态信息的获取则依靠现场监控技术实现,当监控发现其存在不安全状态如安全网破损、安全防护栏杆缺失时,预警系统会向作业人员发出语音提示,要求其马上进行修补工作。

2.3 危险源人员感知能力培训

在对模板支撑架高处坠落事故危险源进行识别与分析的基础上可以发现,人员类危险源所包含的危险因素较多,并且对物体类危险源与环境类危险源的某些因素也会产生间接性影响。因此,在搭拆人员与施工人员正式上岗前,应接受模板支撑架高处坠落事故危险源感知能力培训,该培训方式主要借助BIM平台构建危险源人员感知能力培训系统,系统运行流程主要包括三个阶段:数据整理与三维模型构建阶段、模型整合与培训系统设计阶段、人员高处坠落事故危险源感知能力培训阶段。以期达到提高培训对象的危险源识别能力、危险源分析能力与危险源应对能

力^[8],从整体上提高作业人员自身素质。

3 预警系统构建

3.1 预警管理系统框架构建

BIM技术为预警管理系统提供可视化、信息化的智能平台,可实现架体在搭拆阶段与使用阶段信息的集成、交换与共享,RFID技术能够收集并实时监测人员类与物体类危险源信息,用以作为BIM整体数据库的子数据库。在综合考虑二者特点并结合模板支撑架高处坠落事故危险源特点的基础上,构建了融合BIM与RFID技术的预警管理系统框架,如图1所示。

3.2 预警管理系统初始化设计

3.2.1 模板支撑架高处坠落事故危险区域界定

模板支撑架在搭拆及使用过程中的工作平面具有悬空边缘,而达到一定高度悬空边缘的存在成为导致人或物高处坠落的必要条件。当架上施工人员位于悬空边缘时,容易引发高处坠落事故,进而造成悬空边缘临近地面人或物的损坏。因此,必须对距离悬空边缘的距离与悬空边缘临近地面范围做定量分析^[9]。为后期RFID标签权限设定与系统布置提供理论依据。

图2所示为高处坠落事故危险区域模拟示意图。

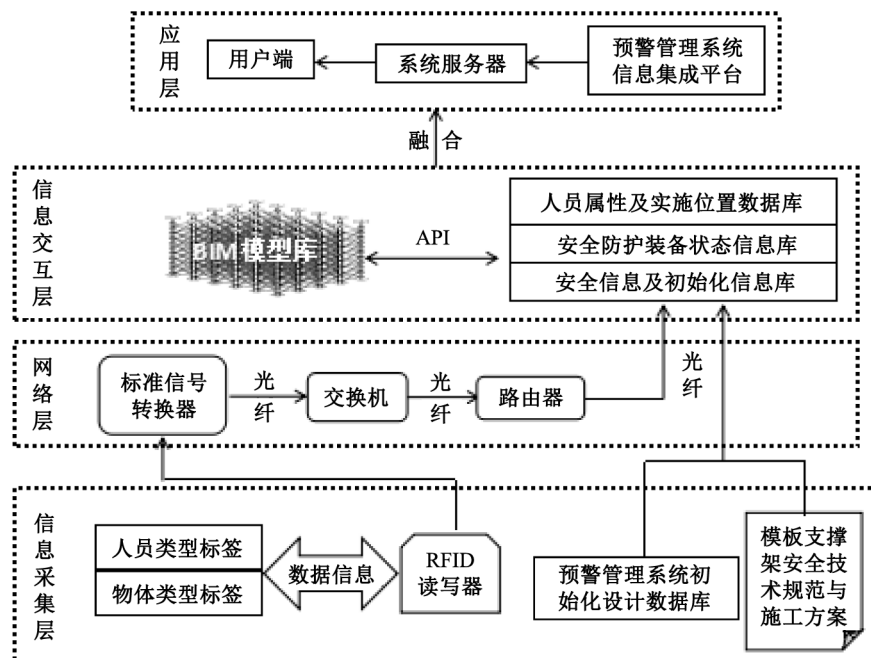


图1 基于BIM和RFID的预警管理系统框架

Fig.1 Early warning management system framework based on BIM and RFID

图中的六面体可看作为纵向及横向距离分别为 $2m$ 、 $2n$ 且 $m>n$ 的模板支撑体系，并将其置于三维直角坐标系中的中心位置进行定位分析。在该模型图中，悬空边缘为六面体上底面四边，其上底面内部四边形成到悬空边缘四边的两平行线间的距离设为安全距离，由此可围成一个矩形框，并设架体作业高度为，坠落半径为。其中坠落半径的取值与作业高度相关。

在对分别进行阐述后，结合模板支撑体系位于三维直角坐标系中的具体位置，可对高处坠落危险区域进行几何分布的数学表达。该危险区域可分为两部分，一部分是上底面的矩形框，另一部分是以模板支撑体系中心为圆心，在确定好作业高度后的坠落范围为半径即坠落半径的空心圆柱体。其数学表达函数如下式：

$$S = \begin{cases} n - a \leq x \leq n \\ -n \leq x \leq a - n \\ m - a \leq y \leq m \\ -m \leq y \leq a - m \\ z = h \end{cases} \quad V = \begin{cases} x^2 + y^2 \leq (m + R)^2 \\ x^2 + y^2 \geq m^2 \\ 0 \leq z \leq h \end{cases}$$

3.2.2 模板支撑架高处坠落事故预警等级界定

模板支撑架高处坠落事故根据坠落对象分为架体搭拆人员的高处坠落与架上施工人员的高处坠落，针对架体搭拆人员高处坠落其预警等级的划分采用高处坠落级别的划分方式，具体等级划分如表 2 所示。针对架上施工人员高处坠落事故预警等级的界定依据为施工人员到架体边缘的距离 a ， a 的取值依据为，如图 3 所示当施工人员位于上底面内部四边

形四条边上时，若其跌倒后的重心位于矩形框内，则是安全的，而人体重心一般为人体身高的 $2/3$ ^[10]，即当人体 $2/3$ 部分位于矩形框内时，则其是安全的。因此，为安全起见，以身高 1.8 m 作为人体身高标准，则取值为 1.2 m 时可大体上包含重心所在位置，因此对于施工人员距离悬空边缘的安全距离取值为 1.8 m，临界距离取值 1.2 m。其具体预警等级划分如表 3 所示。

3.2.3 模板支撑架高处作业场景 BIM 模型建模

依据模板支撑架施工方案及二维平面图纸构建随进度计划相应推进的 BIM 三维模型，可选取 BIM 核心建模软件 Revit 建立满堂支撑架各构件族库及场景模型图，并在模型中输入架体相关信息，该信息可分为两类，一类是架体基本信息，包括 ID 编号、

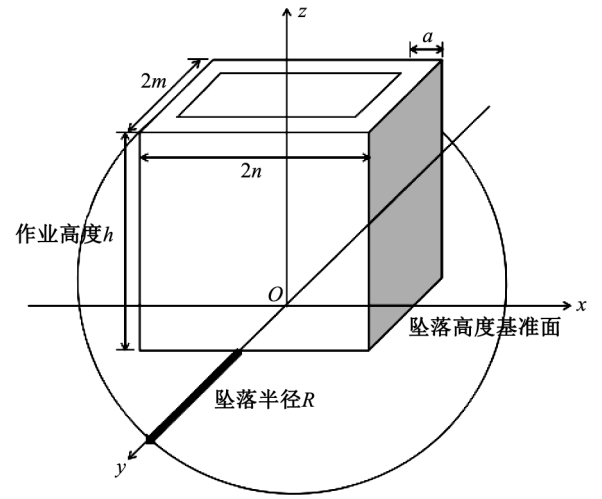


图 2 高处坠落事故危险区域界定
Fig.2 Definition of dangerous area for high fall accident

表 2 架体搭拆人员高处坠落事故预警等级划分

Tab. 2 Classification of early warning levels of accidents caused by falling from high places for persons

预警等级	作业高度	可能坠落半径	警告内容（语音提示：）
I	$2\text{ m} \leq h \leq 5\text{ m}$	$R=3\text{ m}$	告知搭拆人员目前作业高度，可能坠落半径；提示要全程佩戴全身式安全带，并时刻检查安全带绑扎节点是否牢固；提示搭拆人员要时刻保持良好的生理及心理状态。
II	$5\text{ m} \leq h \leq 15\text{ m}$	$R=4\text{ m}$	
III	$15\text{ m} \leq h \leq 30\text{ m}$	$R=5\text{ m}$	
IV	$h>30\text{ m}$	$R=6\text{ m}$	

表 3 架上施工人员高处坠落事故预警等级划分

Tab. 3 Classification of early warning levels of accidents caused by high falls of construction personnel

预警级别	距离	特征
I	$a>1.8$	一般警告，语音提示人员前方存在高处坠落的危险
II	$1.2 \leq a \leq 1.8$	较重警告，语音提示人员已进入可能发生高处坠落危险区域，非工作需要请马上离开，工作需要则提高警惕
III	$a<1.2$	严重警告，语音提示人员已进而高处坠落危险区域，非工作需要请马上离开，工作需要则倍加小心

构件类型、型号规格、搭设位置等。另一类是架体在使用维护过程中的实时信息及预警系统传来的预警信息。第一类信息需在 BIM 模型中预先定义好,第二类信息可通过 RFID 技术获取。

3.2.4 RFID 标签定义与人员权限设置

RFID 标签分为人员类型标签与物体类型标签,其中人员类型标签存储了搭拆人员与施工人员基本信息,如人员姓名、工种、所处位置、培训是否合格等内容,本文针对搭拆人员与施工人员 RFID 标签的定义格式为((ID), 所处位置, 时间, 考核情况)^[11],其中 ID 按照(字母+四位数字)的格式构成,字母 A 代表搭拆人员,字母 B 代表施工人员,四位数字代表人员各自编号;所处位置用(x, y, z)表示;时间用 T 表示;考核情况 Y 表示通过, N 表示没通过。物体类型标签可用于检验作业人员安全防护装备是否佩戴齐全。

3.3 预警管理系统运行流程

基于 BIM 与 RFID 技术的模板支撑架高处坠落事故预警管理系统整体运行流程如图 3 所示。

在布置 RFID 系统之前应对引发模板支撑架高处坠落事故危险源与危险区域进行分析,得到人员类危险源数据库、物体类危险源数据库及危险区域范围,并针对两大类危险源与危险区域布置 RFID 定位系统,用以获取人员属性及实时位置信息、安全防护装备状态信息及危险区域定位坐标。

根据预警管理系统的信息需求对系统进行初始化设计,由此得到系统初始化设计数据库,在危险源数据库与初始化数据库基础上,依据模板支撑架安全技术规范与施工方案的要求建立模板支撑架高处作业场景 BIM 模型图,并在 BIM 模型图对高处坠落危险区域进行界定。在此基础上展开基于 BIM 的工人危险源识别能力、危险源分析能力与

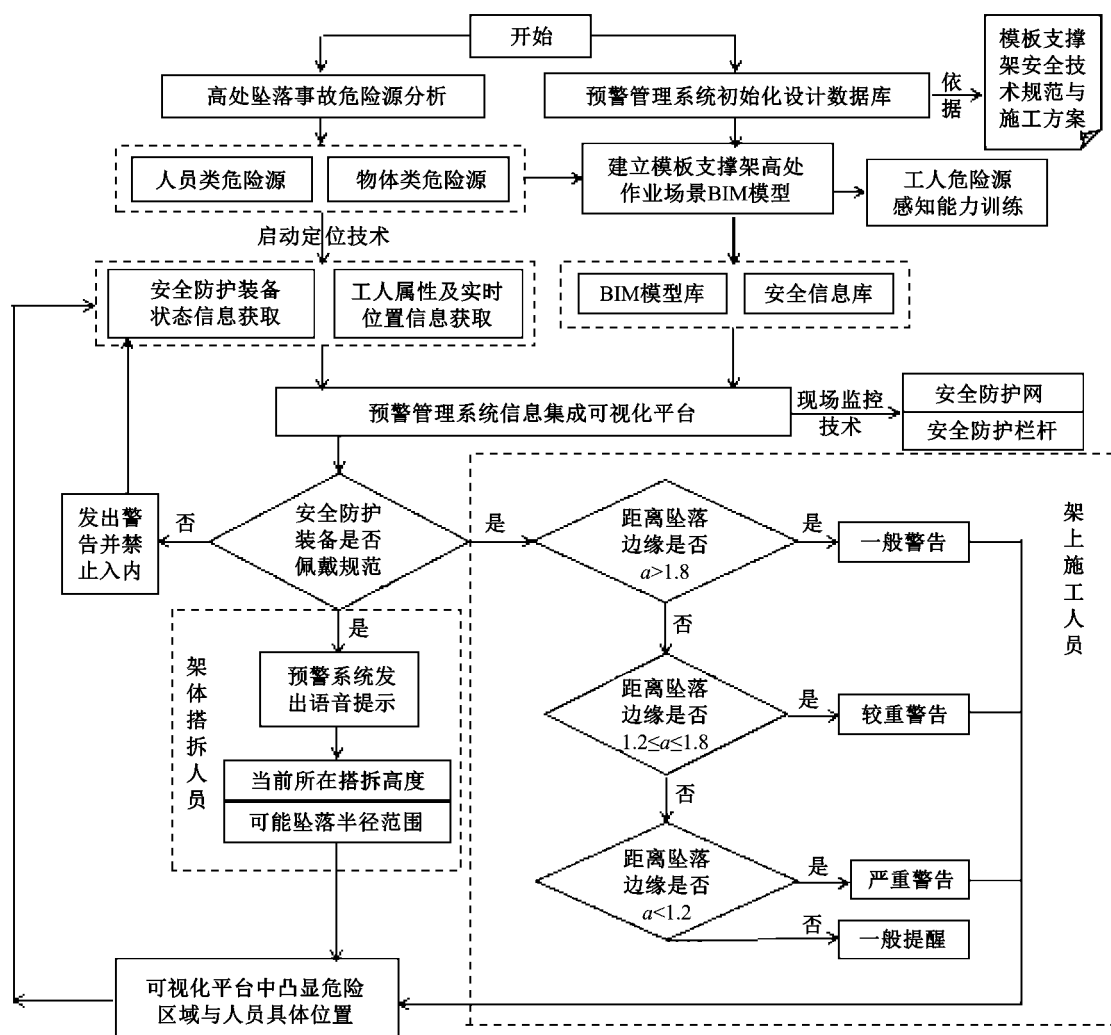


图 3 预警管理系统运行流程

Fig.3 operation process of early warning management system

危险源应对能力的感知能力培训,以最大限度的预防因操作失误与违章操作引发的高处坠落事故。综合由 RFID 系统采集的安全防护装备状态信息、工人属性及实时位置信息及危险区域定位坐标数据, BIM 系统中包含的 BIM 模型库与安全信息库,构建预警管理系统信息集成可视化平台,对施工现场高处作业人员类危险源与物体类危险源进行实时监测与预警管理。

首先在工人进入模板支撑架施工区域入口时,会接受 RFID 阅读器扫描,以监测其是否拥有准入权限与是否佩戴全身式安全带及佩戴是否规范,若不合格则系统会发出警告并提示其需佩戴好后重新接受阅读器扫描,若合格则进入施工区域,此时布设在施工区域的阅读器会对工人实时动态跟踪监测,以查看其在模板支撑架搭拆阶段与施工阶段是否存在不安全行为,对于架体搭拆人员,预警系统会依据其所处搭拆高度的不同做出相应的预警提示,如提示其当前所在高度位置、可能坠落半径范围、要随时检查全身式安全带是否牢固、保持良好的生理及心理状态等。对于架上施工人员,系统会依据其距离架体坠落边缘的距离及安全防护网与安全防护栏杆的状态做出不同的预警反馈,如当架上施工人员距离架体边缘大于 1.8 m 时,系统仅做一般警告;当其距离架体边缘在 1.2 到 1.8 m 之间时,系统会发出较重警告;当施工人员距离架体边缘距离小于 1.2 m 时,系统会发出严重警告并在可视化平台中凸显危险区域与人员具体位置,观察其发展趋势,若情况危急则应马上制定应急方案,并派安全管理员前往危险源区域实地考察。对于安全防护网及防护栏杆这一静态危险源而言,当现场监控技术监测到其存在不安全状态时,预警管理系统会向架上施工人员发出语音提示,要求其马上对安全防护装置不安全状态进行整改处理。

4 结论

1) 将引发模板支撑架高处坠落事故危险源从轨迹交叉理论角度出发分为了人员类危险源与物体类危险源,其中人员类危险源按照坠落对象的不同可分为架体搭拆人员的高处坠落与架上施工人员的高处坠落。

2) 对于架体搭拆人员高处坠落区可用空心圆柱

体表示,对于架上施工人员高处坠落区可用矩形框与空心圆柱体共同表示。

3) 架体搭拆人员高处坠落事故预警等级可依据作业高度、可能坠落半径划分为 4 个等级。架上施工人员高处坠落事故预警等级可依据施工人员到架体悬空边缘的距离划分为 3 个等级。

4) 构建的基于 BIM 和 RFID 技术的高处坠落事故危险源预警管理系统可实现通过实时监测人员类危险源到危险区域的距离进行预警提示,通过对危险源状态实时监控进行预警提示。达到了对危险源进行可视化定位、智能识别与事前管理的目标。

参考文献:

- [1] 白凤美, 李佳洋. 附着式升降脚手架倾覆和坠落事故风险评价模型 [J]. 土木建筑与环境工程, 2016(Z2): 35-39.
- [2] 郑超欣, 徐迪. 高层建筑施工安全风险评价指标体系的构建 [J]. 河北工程大学学报: 社会科学版, 2015, 32(1): 1-4.
- [3] 胡长明, 熊焕军, 龙辉元, 等. 基于 BIM 的建筑施工项目进度 - 成本联合控制研究 [J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2014, 46(4): 474-478.
- [4] 郭红领, 于言滔, 刘文平, 等. BIM 和 RFID 在施工安全管理中的集成应用研究 [J]. 工程管理学报, 2014(4): 87-92.
- [5] 费扬, 杜庆治, 王坤仑. 基于 RFID 技术的仓储物资定位系统设计与实现 [J]. 软件, 2017, 38(6): 46-50.
- [6] 杨杰, 李晓霞, 崔秀瑞. 模板和脚手架专项工程安全管理创新研究 [J]. 工程经济, 2016, 26(9): 30-33.
- [7] 李国安. 分析安全管理对建筑工程项目管理的影响及应用 [J]. 建筑技术开发, 2017, 44(13): 72-73.
- [8] 郑超欣, 徐迪. 基于未确知测度理论的高层建筑施工安全风险评价 [J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2014, 31(4): 98-101.
- [9] 张泾杰, 韩豫, 马国鑫, 等. 基于 BIM 和 RFID 的建筑工人高处坠落事故智能预警系统研究 [J]. 工程管理学报, 2015, 29(6): 17-21.
- [10] 郑霞忠, 王晓宇, 陈述, 等. 高处坠落事故的人因失误与干预策略研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(6): 139-144.
- [11] 郭红领, 刘文平, 张伟胜. 集成 BIM 和 PT 的工人不安全行为预警系统研究 [J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(4): 104-109.

(责任编辑 王利君)