

谷伟,董婧蒙.三维测量光流恢复算法结合 BIM 对震后建筑倾斜度测量的研究[J].地震工程学报,2019,41(4):1086-1091.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1086
GU Wei,DONG Jingmeng.Inclination Measurement of Buildings after Earthquake Based on Three-Dimensional Measurement Using Optical Flow Recovery Algorithm and Building Information Modeling[J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(4):1086-1091.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1086

三维测量光流恢复算法结合 BIM 对震后建筑倾斜度测量的研究

谷伟¹,董婧蒙²

(1.重庆广播电视大学城市建设工程学院,重庆 400052; 2.重庆大学资源及环境科学学院,重庆 400044)

摘要:震后危险建筑倾斜度的移动测量过程较为复杂,常规测量方法会存在对称偏差。为了提高震后危险建筑倾斜度测量的准确性,设计三维测量光流恢复算法结合 BIM 的震后建筑倾斜度测量方法。采用 BIM 技术采集并整合全部建筑倾斜度信息,构建危险建筑信息模型;采用三维测量光流恢复算法获取所构建建筑信息模型内多个目标特征点,设计震后危险建筑倾斜度的三维测量模型。仿真实验说明,所提方法测量震后危险建筑三维坐标值误差率均小于 0.4%,平均评估时间仅为 2.5 s,说明该方法可提高建筑倾斜度评估效果。

关键词: BIM; 强震; 危险建筑; 倾斜度; 光流恢复算法; 三维测量模型

中图分类号: TU722

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)04-1086-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.04.1086

Inclination Measurement of Buildings after Earthquake Based on Three-Dimensional Measurement Using Optical Flow Recovery Algorithm and Building Information Modeling

GU Wei¹, DONG Jingmeng²

(1.School of Urban Construction Engineering, Chongqing Radio and Television University, Chongqing 400052, China;

2.College of Resources and Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: After an earthquake occurs, the moving measurement of the inclination of dangerous buildings is complex, and the conventional measurement methods present a symmetrical deviation. Therefore, to improve the accuracy of the measurement of inclination, a three-dimensional (3D) measurement through optical flow recovery algorithm combined with building information modeling (BIM) was designed. The BIM technology is used to collect and integrate all the building inclination information and thereafter the dangerous building information model is constructed. The 3D measurement through optical flow recovery algorithm was used to obtain the target feature points in the constructed building information model. Based on this, a three-dimensional

收稿日期: 2018-10-27

基金项目: 国家自然科学基金(51679017); 重庆市教委新技术推广项目(GZTG201615); 重庆市高教学会高等教育科学研究重点课题项目(CQGJ17038A)

第一作者简介: 谷伟(1981-),女,山东鄄城人,硕士,助教,研究方向: 建筑信息化管理、城乡规划。E-mail: 15803045909@163.com。

measurement model of inclination of dangerous buildings after the earthquake was designed. The simulation results showed that the error rate of 3D coordinate values of dangerous building, measured by the proposed method, is less than 0.4% and the average evaluation time is only 2.5 s, which indicates that this method can improve the evaluation effect of building inclination.

Keywords: BIM; strong earthquake; dangerous buildings; degree of inclination; optical flow recovery algorithm; three-dimensional measurement model

0 引言

强烈地震的发生会破坏基本生活和生产设施,威胁人民群众的生命安全,还会使建筑出现倾斜、倒塌等不同程度的破坏,因此检测强震后危险建筑的倾斜度成为确保人民群众生命和财产安全的重要技术^[1]。

测量强震后危险建筑倾斜度的方法有很多,文献[2]采用倾斜摄影测量技术检测建筑倾斜度,其检测的依据是摄影信息,方法简单但偏差较高。文献[3]针对已分割出的建筑物立面提出了基于基尼系数的建筑物立面损毁检测方法,该方法对建筑物边缘提取统计特征,利用基尼系数判断建筑物立面是否损毁。文献[4]通过基于倾斜摄影的建筑三维重建方法,依据建筑倾斜摄影信息重构建筑三维模型,但采用该模型对建筑信息的完整性要求较高,影响整体效率。

本文提出三维测量光流恢复算法结合 BIM 的震后建筑倾斜度测量方法,通过基于 BIM 的危险建

筑信息模型,实现危险建筑倾斜度信息的采集、整合和分析。该模型通过光流恢复算法构建震后危险建筑倾斜度三维测量模型,得到的倾斜度测量数据准确率高,对于提高建筑倾斜度测量精度和确保建筑安全具有重要的应用价值。

1 方法设计

在获取建筑信息时需要考虑建筑的设计、结构、施工等相关联的信息,通过 BIM 技术能够完善建筑信息在采集和整合方面的管理性能^[5]。BIM 技术主要是通过计算机三维模型建立工具,构建包含全部强震后危险建筑结构信息、材料信息以及设计信息等和建筑倾斜度相关信息的建筑信息模型,为测量震后建筑物倾斜度奠定基础。

1.1 基于 BIM 的危险建筑信息模型设计

构建的基于 BIM 的危险建筑信息模型用图 1 描述。其采用 BIM 技术对建筑信息进行采集、提取和

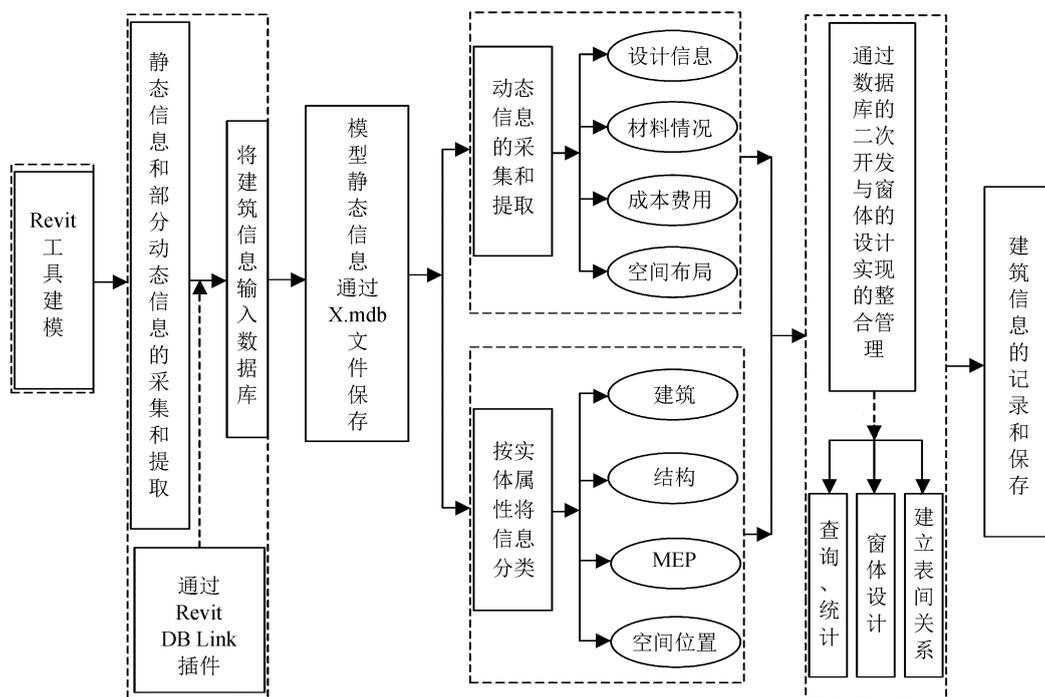


图 1 基于 BIM 的危险建筑信息模型

Fig.1 Model of information of dangerous buildings based on BIM

分类,通过 Revit DB Link 插件,将 BIM 信息模型中拥有的可利用信息输入到 ODBC(Open Data Base Connectivity)数据库,定义数据库系统中的建筑信息,增强建筑信息数据库的应用性,实现对强震后危险建筑信息的整合^[6]。

云技术、大数据、互联网等新型技术直接影响现代化建筑相关信息的管理性能^[7],并且通过这些新型技术能够提高强震后危险建筑相关信息整合和管理的可视性、智能性以及集约性。评估模型采用系统的功能设计、结构设计以及数据库设计,通过 Access 数据库管理平台,实现危险建筑相关信息的查询、信息经济性分析、信息统计分析和信息定位以及信息整合等功能,在此基础上采用 BIM 评估模型采集危险建筑相关信息,设计危险建筑信息模型^[8]。

1.2 建筑倾斜度三维图像坐标信息获取

通过光流运动恢复方法可有效恢复强震后危险建筑图像倾斜度数据,实现危险建筑倾斜度的有效评估。详细过程是:提取强震后危险建筑图像时得到建筑倾斜度相关特征点^[9],以及其在某相邻两个时刻的亮度,若图像采集间隔时间较短,则图像像素点的亮度具有较高的稳定性,此时建筑倾斜度特征点在相邻两个时刻的亮度值基本一致,对亮度值进行展开操作后实施变换操作^[10],获取危险建筑图像内点的波动速度和该点的灰度梯度,以及图像灰度同采集时间间隔的比例值,最终实现强震后危险建筑倾斜度数据的光流运动恢复。

光流恢复算法依据立体视觉技术及其相关原理,获取强震后危险建筑倾斜度图像的特征点,建立模型倾斜度测量特征点,构建危险建筑倾斜度的三维虚拟测量模型。建立模型时,首先获取关于危险建筑倾斜度的图像^[11]。在建筑任意位置选取点 P 作为建筑物的特征点,通过图像视频采集装备 A_1 获取危险建筑图像。通过图像采集设备 P_1 和 P_2 获取危险建筑倾斜图像,并得到倾斜图像的集合^[12]。设置点 k_1 和 k_2 分别是通过 P_1 和 P_2 获得的危险建筑倾斜图像中的点, R 是震后实际危险建筑物上的特征点,并且和 k_1 、 k_2 是相对的。 U_1R_1 相交 U_2R_2 得到点 R ,将该点作为判定危险建筑倾斜度特征点的立体空间位置的依据。

为了得到强震后危险建筑特征点的大概形状以及空间位置^[13],本文通过光流恢复算法中的直角坐标系构建危险建筑三维空间位置。 R 点为随机选取的强震后危险建筑特征点, k_1 和 k_2 为 R 点通过图像采集设备 P_1 和 P_2 获取的特征点, M_1 和 M_2 分别是

对应以上两点获得的投影矩阵,点 k_1 和 k_2 的投影矩阵为:

$$B_{d1} \begin{bmatrix} v_1 \\ \omega_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11}^1 & k_{12}^1 & k_{13}^1 & k_{14}^1 \\ k_{21}^1 & k_{22}^1 & k_{23}^1 & k_{24}^1 \\ k_{31}^1 & k_{32}^1 & k_{33}^1 & k_{34}^1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X \\ N \\ B \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$B_{d2} \begin{bmatrix} v_2 \\ \omega_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11}^2 & k_{12}^2 & k_{13}^2 & k_{14}^2 \\ k_{21}^2 & k_{22}^2 & k_{23}^2 & k_{24}^2 \\ k_{31}^2 & k_{32}^2 & k_{33}^2 & k_{34}^2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X \\ N \\ B \\ 1 \end{bmatrix}$$

式中: $(v_1, \omega_1, 1)$ 和 $(v_2, \omega_2, 1)$ 为通过两种不同的图像采集设备获取的危险建筑特征点的三维坐标; $(X, N, B, 1)$ 为规范坐标系下危险建筑特征点的坐标; k_{if}^x 为 K_x 的第 i 行中第 f 个元素。

展开分析式(1),得到:

$$B_{d1}v_1 = k_{11}^1X + k_{12}^1N + k_{13}^1B + k_{14}^1$$

$$B_{d1}\omega_1 = k_{21}^1X + k_{22}^1N + k_{23}^1B + k_{24}^1 \quad (2)$$

$$B_{d1} = k_{31}^1X + k_{32}^1N + k_{33}^1B + k_{34}^1$$

Bd_1 通过式(2)的改变后从公式中消失,得到:

$$(v_1k_{31}^1 - k_{11}^1)X + (v_1k_{32}^1 - k_{12}^1)N + (v_1k_{33}^1 - k_{13}^1)B = k_{14}^1 - v_1k_{34}^1 \quad (3)$$

$$(\omega_1k_{31}^1 - k_{21}^1)X + (\omega_1k_{32}^1 - k_{22}^1)N + (\omega_1k_{33}^1 - k_{23}^1)B = k_{24}^1 - \omega_1k_{34}^1$$

变换处理式(3),过滤掉其中的 Bd_2 ,最终获得危险建筑倾斜度的三维测量模型:

$$(v_2k_{31}^2 - k_{11}^2)X + (v_2k_{32}^2 - k_{12}^2)N + (v_2k_{33}^2 - k_{13}^2)B = k_{14}^2 - v_2k_{34}^2 \quad (4)$$

$$(\omega_2k_{31}^2 - k_{21}^2)X + (\omega_2k_{32}^2 - k_{22}^2)N + (\omega_2k_{33}^2 - k_{23}^2)B = k_{24}^2 - \omega_2k_{34}^2$$

1.3 建筑倾斜度测试流程设计

图 2 描述的是光流运动恢复方法结合 BIM 的强震后危险建筑倾斜度测量模型。

图 2 中测量强震后危险建筑物倾斜度的具体过程如下:

(1) 确定某强震后危险建筑物,明确该建筑物是否有基本的建筑信息相关资料。若有则生成危险建筑倾斜度测量方案,标示建筑物检测位置。否则需要先采用 BIM 信息模型获取建筑信息,确定建筑检测位置^[14-15]。

(2) 通过光流恢复算法得到危险建筑倾斜度三维测量模型,获取标示建筑物的倾斜度测量数据,然后处理转换相关数据。

(3) 根据相关规定与实际审核测量结果并

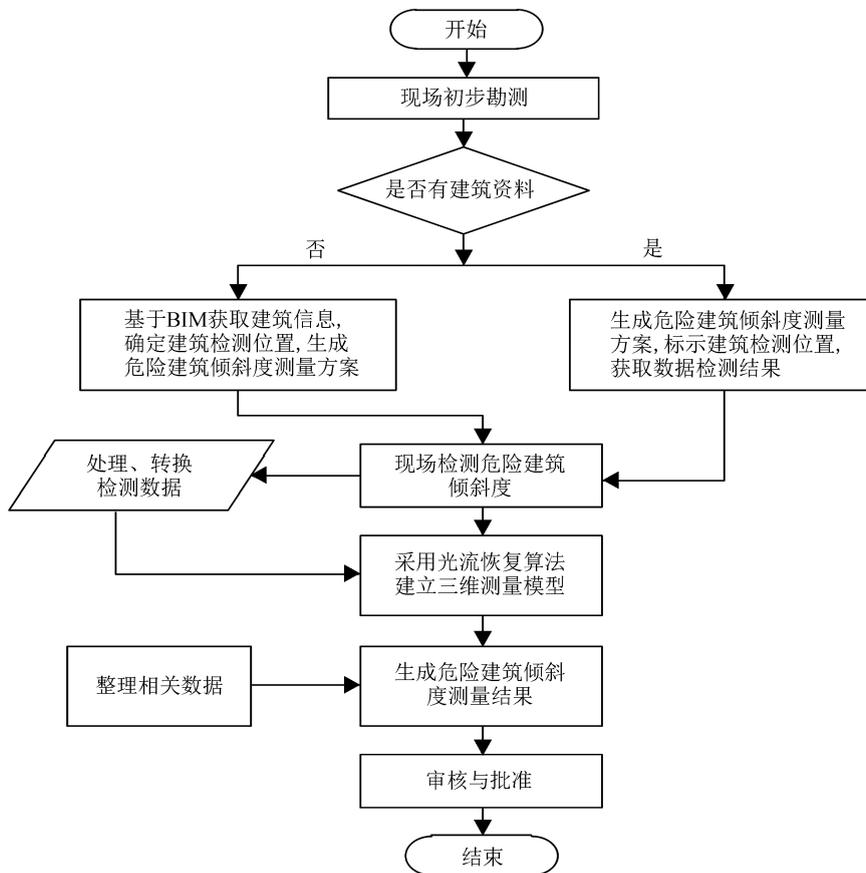


图 2 倾斜度测量基本流程

Fig.2 Basic flow of tilt measurement

提出是否需要重新测量,如通过审批,则该测量方案可行。

2 实验分析

2.1 测量精度分析

确认了测量模型与流程后,对强震后危险建筑物倾斜度进行测量。实验采用本文方法、基于 TLS 的建筑物面倾斜检测方法和基于基尼系数的方法检测强震后危险建筑物的倾斜度,首先需要建立危险建筑物的倾斜度测量模型。由于实验篇幅有限,本文只统计本文方法和基于 TLS 的建筑物面倾斜检测方法构建的两种测量模型,获取强震后危险建筑的三维数据值以及误差率情况,分别列于表 1 和表 2。而实验建筑倾斜的实际三维坐标数据列于表 3,其中建筑物长度用 X 表示,宽度用 Y 表示,高度用 H 表示。

分析表 1~表 3 得到,通过本文方法构建的三维测量模型检测获取的建筑物不同点三维值的平均误差率均小于 5%,最小平均误差率仅为 0.98%,而通过基于 TLS 的建筑物面倾斜检测方法得到的平均误差率均达到 6% 以上,最小平均误差率为

6.47%,远高于本文方法。说明使用本文方法测量强震后危险建筑物的三维值准确率高,可大大提升强震后危险建筑物的倾斜度测量效果。

表 1 本文方法测量危险建筑的三维数据

Table 1 Three-dimensional data of dangerous buildings detected by this method

检测点	X/m	Y/m	H/m	平均误差率/%
1	940.768 8	924.886 7	152.798 5	4.03
2	935.653 5	943.567 5	151.854 6	1.37
3	904.578 6	956.668 9	150.667 5	2.33
4	915.446 8	970.875 6	149.785 6	1.13
5	924.225 6	975.899 6	138.123 5	0.98

表 2 基于 TLS 的建筑物面倾斜检测方法测量的三维数据
Table 2 Three-dimensional data detected by the building oblique survey method based on TLS

检测点	X/m	Y/m	H/m	平均误差率/%
1	912.532 1	897.778 6	123.456 8	6.47
2	869.624 3	867.234 6	139.893 6	9.18
3	897.235 6	860.546 1	145.667 5	8.15
4	895.453 4	890.123 5	136.785 6	7.08
5	901.112 3	883.574 6	122.536 4	7.92

表3 危险建筑实际三维数据

Table 3 Physical three-dimensional data of hazardous buildings

检测点	X/m	Y/m	H/m
1	947.889 9	951.949 8	159.815 2
2	951.576 6	962.498 2	159.889 1
3	952.638 5	971.286 6	159.878 9
4	955.335 9	982.829 4	159.899 3
5	958.174 1	994.999 3	147.136 1

2.2 评估时间分析

基于2.1节的危险建筑三维数据结果,三种方法均可实现实验危险建筑倾斜度的有效测量。统计三种方法的测量时间,结果用图3描述。

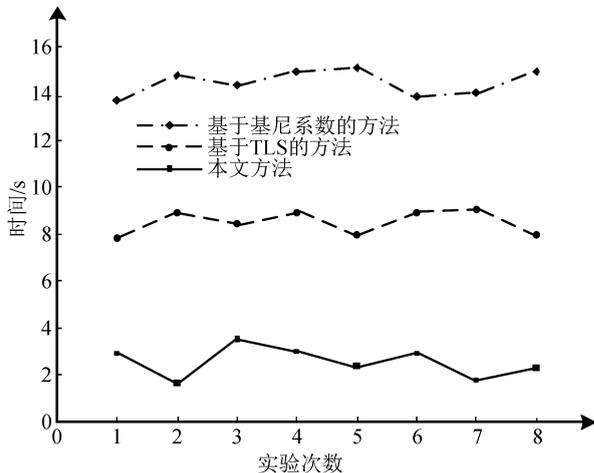


图3 不同方法测量时间

Fig.3 Measurement time for different methods

分析图3得到,本文方法所需的危险建筑倾斜度测量时间比基于基尼系数的方法和基于TLS的方法需要的测量时间都少。通过8次实验得到危险建筑倾斜度测量的平均时间分别是:本文方法2.5 s、基于TLS的方法8.5 s、基于基尼系数的方法14 s,本文方法的平均测量时间比其他两种方法分别小6 s和11.5 s,说明使用本文方法测量强震后危险建筑倾斜度的效率较高。

3 结论

为了提高强震后危险建筑测绘质量,有效测量危险建筑倾斜度信息具有重要意义。而在强震后危险建筑倾斜度测量过程中,会受到大量内在和外界因素的干扰,导致获取的建筑倾斜度信息不够全面,并且在移动测量时会出现对称偏差现象。针对这些问题,本文提出强震后危险建筑倾斜度信息测量方法,采用基于BIM的建筑信息模型采集、整合建筑信息,并通过光流恢复算法构建危险建筑倾斜度三

维测量模型。本文方法的优势有:

(1) 通过基于BIM的强震后危险建筑信息模型,实现建筑信息的有效采集和整合,为提高建筑倾斜度测量的准确性提供可靠依据。

(2) 测量模型采用光流恢复算法和立体视觉技术,基于获取的建筑信息模型中多目标特征点,立体恢复目标,构建危险建筑倾斜度的三维测量模型;其中的立体视觉技术可准确确定危险建筑的特征点,避免匹配错误,有效解决危险建筑三维模拟模型特征点不准确的弊病,建立精确的建筑倾斜度三维测量模型,提高建筑倾斜度测量准确度。

鉴于论文篇幅所限,有关详细的技术环节未做更多阐述,有兴趣的读者可与作者联系讨论。

参考文献(References)

- [1] 熊伟,孟庆昇.基于GIS和BIM的房地产成本法估价研究[J].建筑经济,2016,37(10):71-75.
XIONG Wei, MENG Qingsheng. Research on Cost Approach for Real Estate Appraisal Based on GIS and BIM[J]. Construction Economy, 2016, 37(10): 71-75.
- [2] 赵雷,包银丽,袁翔东.基于倾斜摄影测量技术的建筑物空间变化监测探讨[J].地矿测绘,2015,31(4):11-14.
ZHAO Lei, BAO Yinli, YUAN Xiangdong. Discussion on Building's Space Change Monitoring Based on Tilt Photogrammetry Technique[J]. Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources, 2015, 31(4): 11-14.
- [3] 涂继辉,睦海刚,吕柄蓬,等.基于基尼系数的倾斜航空影像中建筑物立面损毁检测[J].武汉大学学报(信息科学版),2017,42(12):1744-1748.
TU Jihui, SUI Haigang, LÜ Ruipeng, et al. Building Facade Damage Detection Based on the Gini Index from Oblique Aerial Images[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2017, 42(12): 1744-1748.
- [4] 余虹亮,冯文雯,劳冬影,等.基于倾斜摄影的城市建筑三维重建方法研究[J].计算机应用与软件,2016,33(12):188-192.
YU Hongliang, FENG Wenwen, LAO Dongying, et al. Research on 3D Reconstruction Method for Urban Buildings Based on Oblique Photography[J]. Computer Applications and Software, 2016, 33(12): 188-192.
- [5] 施庆伟,庞永师,蒋雨含.基于系统动力学和BIM的建筑施工安全风险预警决策模型仿真[J].土木工程与管理学报,2016,33(2):83-89.
SHI Qingwei, PANG Yongshi, JIANG Yuhuan. Pre-warning Decision-making Model Simulation of Building Construction Safety Risk Based on System Dynamics and BIM[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2016, 33(2): 83-89.
- [6] 周萍.高层建筑倾斜度对抗震能力的影响[J].辽宁科技大学学

- 报,2016,39(4):296-302.
- ZHOU Ping. Influence of High-rise Building Tilt on Its Seismic Performance[J]. Journal of University of Science and Technology Liaoning, 2016, 39(4): 296-302.
- [7] 张治国, 贾延臣, 王卫东. 邻近建筑与基坑边成任意角度受基坑开挖影响分析[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(增刊 2): 617-628.
- ZHANG Zhiguo, JIA Yanchen, WANG Weidong. Influence Analysis of Foundation Pit Excavation on Building in Arbitrary Angle with Foundation Pit[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2015, 11(Supp2): 617-628.
- [8] 邹祖银, 朱占元, 张锋, 等. 连续降雨条件下某震后高边坡稳定性分析[J]. 地震工程学报, 2016, 38(4): 541-548.
- ZOU Zuyin, ZHU Zhanyuan, ZHANG Feng, et al. Stability Analysis of Post-earthquake High Slope under Continuous Rainfall[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(4): 541-548.
- [9] 柳茂. 基于 BIM 技术的建筑施工进度优化研究[J]. 现代电子技术, 2017, 40(3): 103-105, 109.
- LIU Mao. Research on Building Construction Schedule Optimization Model Based on BIM Technology[J]. Modern Electronics Technique, 2017, 40(3): 103-105, 109.
- [10] 刘力荣, 左建章, 岳贵杰. SWDC-5 倾斜摄影建筑物纹理自动映射方法[J]. 测绘科学, 2015, 40(8): 68-71.
- LIU Lirong, ZUO Jianzhang, YUE Guijie. Building Texture Auto-Mapping Based on SWDC-5 Oblique Photogrammetry [J]. Science of Surveying and Mapping, 2015, 40(8): 68-71.
- [11] 赵倩纯, 胡伟松, 吴百锋. BIM 中基于蒙特卡罗模拟的成本估算的研究[J]. 微型电脑应用, 2015, 31(6): 1-5.
- ZHAO Qianchun, HU Weisong, WU Baifeng. Research on Cost Estimation Based on Monte Carlo in BIM[J]. Microcomputer Applications, 2015, 31(6): 1-5.
- [12] 段晓芳, 滕树勤. 高层住宅场景可视化三维真实性建模仿真[J]. 计算机仿真, 2017, 34(9): 218-221, 238.
- DUAN Xiaofang, TENG Shuqin. Modeling and Simulation of High Rise Residential Scene Visualization[J]. Computer Simulation, 2017, 34(9): 218-221, 238.
- [13] 李今保, 李碧卿, 姜涛, 等. 因地下室上浮的建筑物倾斜纠倾技术[J]. 建筑技术, 2015, 46(10): 904-908.
- LI Jinbao, LI Biqing, JIANG Tao, et al. Correction Technique for Building Inclination Caused by Basement Upfloating[J]. Architecture Technology, 2015, 46(10): 904-908.
- [14] 方智辉, 吴军, 彭智勇. 五方向倾斜航空影像建筑物墙面自动提取方法[J]. 桂林电子科技大学学报, 2017, 37(2): 140-146.
- FANG Zhihui, WU Jun, PENG Zhiyong. Automatic Wall Extraction from Five Direction Oblique Aerial Image[J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2017, 37(2): 140-146.
- [15] 雷明, 许泽星, 刘兴年, 等. 地震作用下松散体变形过程及堆积形态的数值模拟[J]. 工程科学与技术, 2018, 50(3): 240-246.
- LEI Ming, XU Zexing, LIU Xingnian, et al. Numerical Simulation of Deformation Process and Accumulation State of Loose Materials Under Seismic Action [J]. Advanced Engineering Science, 2018, 50(3): 240-246.