

张立维.地震状态下高层建筑物安全防护避让距离的估计研究[J].地震工程学报,2019,41(6):1637-1642.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1637
ZHANG Liwei.Estimation of Safety Protective Setback Distances of High-rise Buildings under Earthquake[J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(6):1637-1642.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1637

地震状态下高层建筑物安全防护 避让距离的估计研究

张立维

(北方工业大学,北京 100144)

摘要:高层建筑物在地震作用下易出现倒塌状况,严重影响人身安全,因此高层建筑物地震安全防护距离的预测至关重要。设计以基础数据库为核心的高层建筑物地震安全防护距离预测系统,通过高层建筑物基本信息系统采集高层建筑物高度、宽度、结构类型等基本数据信息,并将这些信息存储到震害数据库系统中;地震危害模型分析系统依据数据库系统中存储的这些建筑物基本信息,分析地震危险性后,通过研究地震时高层建筑上部结构水平、底部及顶部先接触地面三种落地状态下,计算得到薄弱层和薄弱层上部结构高度的安全防护距离。实验验证在人工地震波作用下,利用该预测系统可有效获取实验小区高层建筑物的安全防护距离界定示意图,且其能够准确分析地震作用下高层建筑物晃动时“飞石”安全距离,以及三种地震波作用下建筑物地震安全防护距离分布规律和主要影响范围,其预测效果好。

关键词:高层建筑;地震;安全防护距离;预测;基本信息;分布规律

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)06-1637-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1637

Estimation of Safety Protective Setback Distances of High-rise Buildings under Earthquake

ZHANG Liwei

(North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: Since high-rise buildings are prone to collapse under the action of earthquakes, thus seriously affecting people's personal safety, prediction of seismic safety distances of high-rise buildings is very important. A prediction system for seismic safety distance of high-rise buildings, with a basic database as the core, was designed in this study. Basic data of height, width, and structural type of a set of high-rise buildings was collected through a basic information system, and then stored in the seismic damage database system. The seismic hazard model analysis system, based on the basic information of the buildings stored in the database system, first analyzed the

收稿日期:2018-12-19

基金项目:2018年安徽省自然科学重点项目(KJ2018A0632)

作者简介:张立维(1981-),男,北京人,高级工程师,研究方向:安全工程。E-mail:zhangliwei23@outlook.com。

seismic hazard, then calculated the safe, protective distance by studying the height of the upper structure of the weak layer under three landing states. Experiments showed that, under the action of artificial seismic waves, a sketch map of safe, protective distances of high-rise buildings in the experimental area was effectively obtained through the prediction system. The safe distance of "flying stone," as well as the distribution and main influence ranges of seismic safe protective distances under three kinds of seismic waves were accurately analyzed. The predictive power of this method was good.

Keywords: high-rise buildings; earthquake; safety protection distance; prediction; basic information; distribution law

0 引言

我国是一个多地震国家,地震的发生会导致建筑倒塌,从而造成严重的人员伤亡和财产损失^[1-2],其高空坠物也会带来一定的伤害。随着我国经济发展和建筑技术的不断提升^[3],高层建筑在房屋建筑所占有的比例越来越大。为了减少地震带来的伤害并最大程度保证逃生路线的安全性,应对地震发生时高层建筑安全防护距离进行预测^[4],以便给逃生人员提供安全逃生线路或安全集散区域。本文以高层建筑物基本信息系统、地震危害模型分析系统、高层建筑物震害数据库系统为基础,构建高层建筑物地震安全防护距离预测系统,利用本文预测系统得到地震作用下高层建筑物地震安全防护距离界定示意图和安全防护距离预测值以及分布规律,以给逃生人员提供安全逃生路线信息,同时高层建筑设计人员可参考该示意图制定设计方案,以说明本文系统实用性好,应用价值高。

1 高层建筑物地震安全防护距离预测系统

1.1 系统总体结构

本文设计以基础数据库为核心的高层建筑物地震安全防护距离预测系统,利用模型库和知识库研究和分析高层建筑物的抗震性能和震害,实现高层建筑物地震安全防护距离分析、地震危险性研究等功能。系统的整体结构包括:高层建筑物基本信息系统、地震危害模型分析子系统、高层建筑物震害数据库系统以及模型模拟系统,基本可以预测高层建筑物地震安全防护距离。图1为该系统总体结构。

1.2 高层建筑物基本信息系统

高层建筑物基本信息系统采集高层建筑物基本数据信息应满足相关规范的要求^[5-7]。举例分析某高层建筑物区域,测量该区域的面积和大致形状是采集该高层建筑物数据信息,实现高层建筑物安全

防护距离预测的基本条件。在该区域中,测量任意高层建筑物的具体形状,包括高度、宽度等,同时确定该建筑物在区域中的具体位置。根据 GB/T17160-1997(1:500、1:1000、1:2000地形图数字化规范)划分采集到的高层建筑物数据信息,并将该数据信息分层,以此为基础绘制该区域高层建筑物地形图。采集高层建筑物基本数据信息的基本要求如下:(1)数据信息的内容必须多样化、具体化,充分满足预测系统建立的要求;(2)数据的格式必须为 PowerBuilder 软件要求的格式;(3)数据一定要有完整的更新方案^[8-9]。例如,为了调查方便,对地图上的所有高层建筑物信息进行编码,主要以简单数字的形式编码。

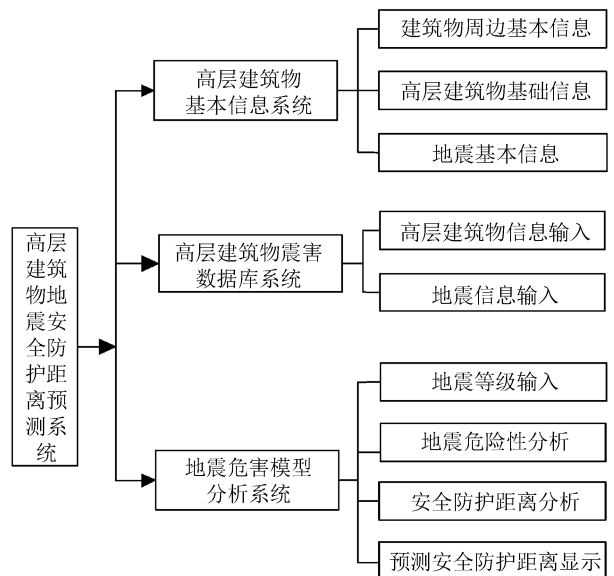


图1 系统总体结构图

Fig.1 Overall structure diagram of the system

结构类型编码是对建筑结构类型进行编号的过程,不同建筑结构类型对应不同编号,同理场地类型编码、建造年代编码和建筑物与位置信息编码以同

样的方法进行编号^[10-12]。例如,设定编号 001 为多层砌体结构类型,002 为钢筋混凝土框架剪力墙结构类型等。场地结构类型采用 A、B、C 等进行编码。

1.3 建筑物震害数据库

对于采集到的建筑物数据格式和单位要统一,构建建筑物的震害数据库可以了解到目前建筑的基本信息以及建筑物的受灾数据,为设计高层建筑物的安全防护避让距离提供基础数据。构建的建筑物震害数据库具体要求为:(1)地图的总平面图的单位及比例尺和每个高层建筑物一致,建筑物的具体位置、层数、类型等应在总平面图中用不同的颜色区分;(2)构建建筑物基本信息资料表,表中应有建筑名称、功能、年代、层数、场地情况及结构类型、建筑面积等。为了方便规范管理高层建筑数据信息^[13-14],将该信息存储到建筑物震害数据库系统中,其中包括建筑基本信息数据、地震作用条件数据、地震危险性分析数据以及以往震害统计数据。数据库系统数据构成图见图 2。

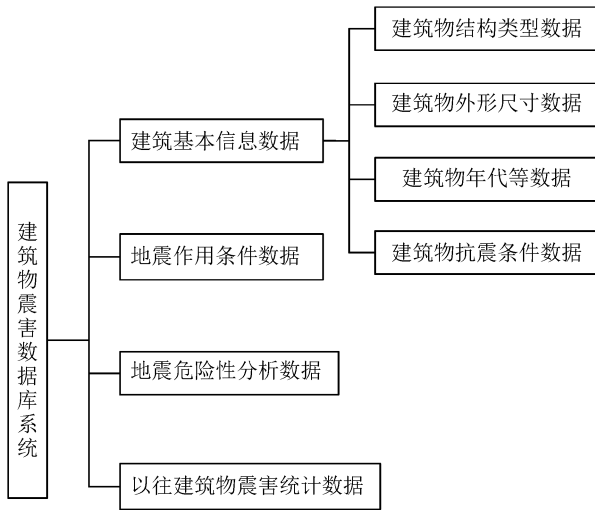


图 2 系统数据构成图

Fig.2 Composition of system data

1.4 地震危害模型分析系统

1.4.1 地震危险性分析

通过数据库系统中的地震时间、强度及位置等参数分析地震危险性^[15],即利用震级和烈度衰减关系模型,形成等震线,得到地震影响场,利用该影响场分析地震危险性。

1.4.2 安全防护距离预测

依据数据库系统中高层建筑物基本数据信息和地震危险性分析结果,分析高层建筑物倒塌过程,得到建筑物落地状态有以下三种情况:

(1) 高层建筑物上部结构水平落地

高层建筑物上部结构转动到水平方向的时间:

$$t = \frac{\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \lambda^*\right)}{v^*} \quad (1)$$

其中: λ^* 表示临界角度; α 表示任意时刻建筑上部结构的转角; v^* 表示速度分量。

地震力作用点对上部结构质心处的高度为:

$$H = H_1 + m \cos(\alpha + \lambda^*) = \frac{lt^2}{2} + \omega_y t \quad (2)$$

其中: m 表示相对于高层建筑结构的基本自振周期水平影响系数值; l 表示加速度; ω_y 表示建筑上部结构离开下部结构后垂直方向初速度; H_1 表示薄弱层以下下部结构高度。

同时:

$$H_1 = H_0 = \frac{lt^2}{2} + \omega_x t - m \cos(\alpha + \lambda^*) \quad (3)$$

其中: H_0 表示质点为零的建筑高度; ω_x 表示建筑上部结构离开下部结构后水平方向初速度。

(2) 高层建筑物上部结构底部先接触地面

假设 $H_1 < H_0$,高层建筑物上部结构底部先接触地面,则:

$$H = H_1 + m \cos(\alpha + \lambda^*) = m \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \lambda^* - v^* t\right) = \frac{lt^2}{2} + \omega_y t \quad (4)$$

此时, $t < t_1$,通过多次试算发现建筑上部结构底部先接触地面现象很少发生。

(3) 高层建筑物上部结构顶部先接触地面

假设 $H_1 > H_0$,高层建筑物上部结构底部先接触地面,则:

$$H = H_1 + m \cos(\alpha + \lambda^*) = m \cos(\pi - \alpha - \lambda^* - v^* t) = \frac{lt^2}{2} + \omega_y t \quad (5)$$

此时, $t > t_1$,通过多次试算发现建筑上部结构顶部先接触地面现象为常发生现象。

因此高层建筑安全防护距离为:

$$D = O + H + H_2 - h = \omega_y \cdot t + H + H_2 - h \quad (6)$$

其中: O 为高层建筑上部前冲距离, $O = \omega_x \cdot t$; H_2 表示薄弱层和薄弱层上部结构高度; h 表示上部建筑结构重心在接触点产生的高度,且有 $H_2 = H_1 - H_0$ 。

同时得到高层建筑倒塌影响宽度系数为:

$$\varphi = \frac{D}{H} = \frac{\omega_x \cdot t}{H} + \frac{H_2}{H} - \frac{h}{H} \quad (7)$$

2 实验分析

2.1 可行性分析

通过仿真实验验证地震发生时本文系统预测高层建筑物安全防护距离的可行性,具体描述如下:

(1) 构建高层建筑模型:以某小区中全高为48.6 m的高层建筑物为对象建立模型,该建筑共18层,属于框架剪力墙结构,抗震设防烈度为7度,全年风速最大为5级,建筑区域类别为Ⅲ。图3为绘制的该小区高层建筑物区域平面概况图。

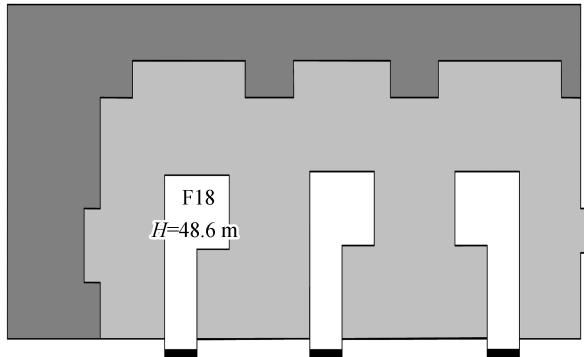


图3 高层建筑物区域总平面概况图

Fig.3 General plan of high-rise building area

(2) 选用符合规范要求的人工地震波(San Fernando波),利用ANSYS软件将该高层建筑物输入本文系统中。

(3) 搜集并整理构建的建筑模型基本信息后,计算安全防护距离。本实验主要考虑建筑物外边点数据的搜集,整理数据后利用本文系统得到建筑外边点最大安全防护距离。

(4) 绘制发生地震时高层建筑物安全防护距离界定示意图,如图4所示。其中1、2、3分别表示安全区、危险区以及受风力影响时的危险区。

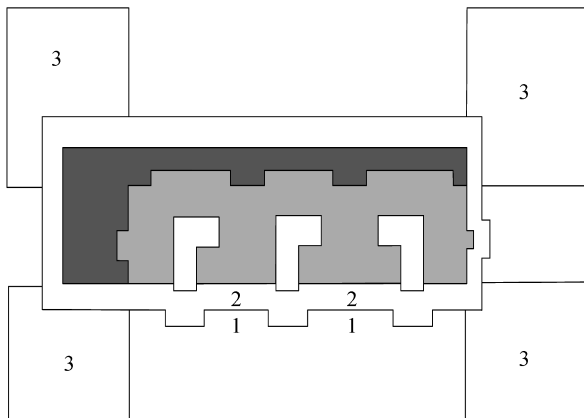


图4 安全防护距离界定示意图

Fig.4 Map of the definition of safe protection distance

通过图4可知,由于高层建筑物的出入口的位置在南侧,则南侧道路安全至关重要,要全面考虑1和2两个区域。由于建筑西侧安全距离很短,则连通西侧道路和南侧道路形成安全通道。当建筑室外有一条安全通道时,建筑北侧与东侧的道路不必避开区域3。当设计高层建筑室外环境时,观赏景观、灯箱、排水沟、消防应急通道、绿地不必避开区域2,休闲区域以及部分道路不必避开区域3,其他室外设施可以布置在区域1中,尽量避开区域2和区域3。当地震发生时,利用本文系统得到的实验高层建筑模型的安全防护距离界定示意图能给逃生人员提供安全逃生路线信息,同时高层建筑设计人员可参考该示意图制定合理的设计方案。

2.2 “飞石”安全影响距离分析

设定地震发生时实验高层建筑结构“晃动”状态下产生的“飞石”单元为9712和11447,两单元的材料为构造柱上的钢筋混凝土材料,(0,2.4,7.0)和(14.6,2.4,7.0)为“飞石”单元质心初始坐标。图5为利用本文系统得到的两单元在X、Y、Z方向的时间-位移关系图。

通过分析图5得知,两“飞石”单元X方向的运动规律呈现对称性,但在Y方向和Z方向的时间与位移关系图基本一致。当时间为2 ms时,“飞石”以一定的初速度飞出,由于重力原因“飞石”做抛物线运动,同时在落下过程中和地面产生摩擦、碰撞运动速度不断降低,时间为7 ms时,“飞石”在地面处于静止状态。“飞石”的安全影响距离为“飞石”单元运动时产生的位移最大值。单元9712的X、Z方向安全影响距离分别为6.2 m、15.6 m。单元11427的X、Z方向安全影响距离分别为5.9 m、15.3 m。说明本文系统可以有效得到地震发生时高层建筑物结构抛出“飞石”的安全影响距离,为预测地震时高层建筑安全防護距离提供帮助。

2.3 安全防护距离的主要分布范围分析

利用网格划分将实验高层建筑模型由原来的几何模型转换为有限元模型,在San Fernando波、El-Centro波以及天津波三种地震波情况下,以单元为基础通过本文系统分析地震作用时高层建筑倒塌过程,记录每个单元时程分析结果,得到单元在Z轴和X轴方向的安全防护距离分布情况,根据该分布情况明确发生地震时安全防护距离的主要分布范围,从而实现高层建筑物地震安全防护距离准确预测。图6表示高层建筑结构倒塌后沿Z和X轴安全防护距离分布比例情况。

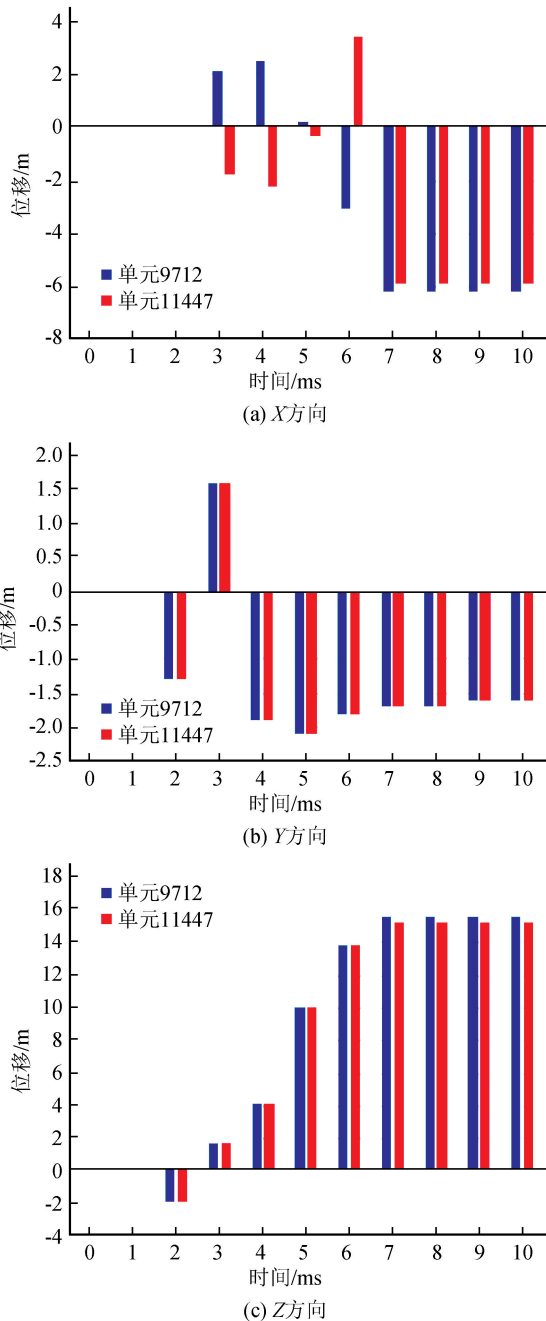


图 5 两“飞石”单元时间-位移关系图

Fig.5 Time-displacement relation diagram of two "flying stone" units

分析图 6 可知,在三种地震波作用下高层建筑模型发生倒塌现象,本文系统分析得到高层建筑倒塌安全防护距离分布规律为:靠近高层建筑物区域产生的安全防护距离比例值较高,而远离高层建筑物区域的安全防护距离比例较低,很好地反映高层建筑结构倒塌后安全防护距离分布状况。从概率角度分析,该分布规律符合震害经验规律。三种地震波作用下建筑倒塌产生的安全防护距离具有差异性,天津波作用下的安全防护距离最高,说明本文系

统可以准确分析高层建筑地震时安全防护距离的比例情况。

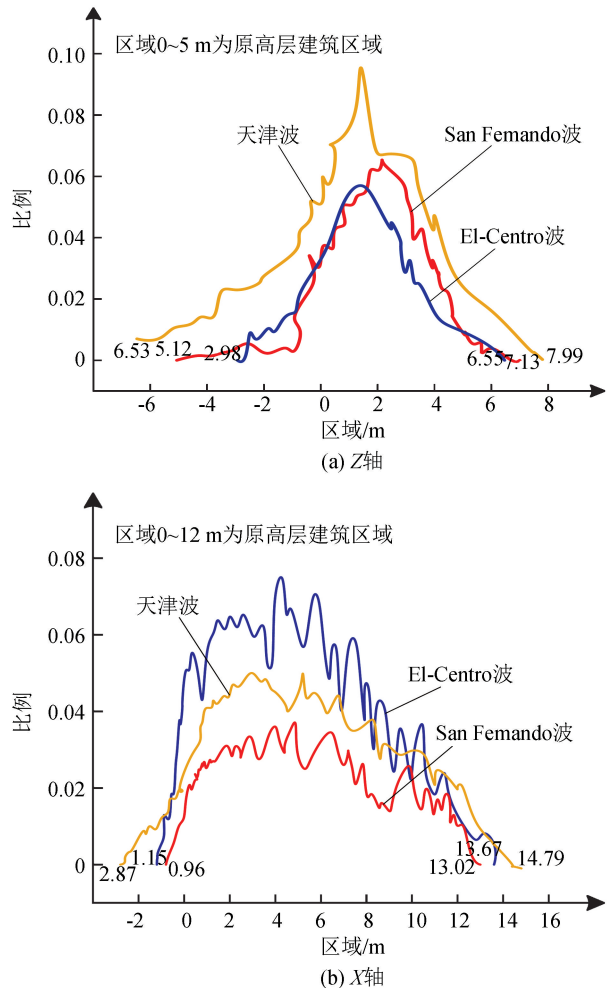


图 6 安全防护距离分布比例图

Fig.6 Proportional diagram of safety protection distance distribution

3 结论

本文建立高层建筑物地震安全防护距离准确预测系统,采集高层建筑物基本数据信息,分析地震作用下高层建筑安全防护距离,得出以下结论:

(1) 在人工地震波作用下利用本文系统得到实验构建的高层建筑物模型安全防护距离界定示意图,该示意图为建筑设计、逃生避难与预测安全防护距离提供参考,有效说明本文系统的应用价值高。

(2) 根据模拟高层建筑物倒塌过程时出现的“飞石”现象得到地震发生时高层建筑物结构抛出“飞石”的安全影响距离,对准确预测高层建筑物地震安全防护距离具有重要意义。

(3) 在 San Fernando 波、El-Centro 波以及天津波三种地震波影响情况下,通过本文系统分析地震

作用时高层建筑倒塌过程,得到安全防护距离分布规律以及主要影响范围,为预测高层建筑物地震安全防护距离工作提供技术支撑。

参考文献(References)

- [1] 卢啸,陆新征,李梦珂,等.地震作用设计参数调整对框架结构抗震设计及安全性的影响[J].工程力学,2017,34(4):22-31.
LU Xiao, LU Xinzhen, LI Mengke, et al. Influence of Seismic Action Adjustments on Seismic Design and Safety of Re Frames[J]. Engineering Mechanics, 2017, 34(4): 22-31.
- [2] 占昌宝,罗川,丁振坤,等.高层建筑抗震性能预测仿真研究[J].计算机仿真,2016,33(8):397-402.
ZHAN Changbao, LUO Chuan, DING Zhenkun, et al. Research on Seismic Performance Prediction of High-Rise Buildings[J]. Computer Simulation, 2016, 33(8): 397-402.
- [3] 王子珺,赵伯明.高速铁路地震预警线路场地地震动快速准确预测方法[J].中国铁道科学,2016,37(6):128-134.
WANG Zijun, ZHAO Bomeng. Fast and Accurate Prediction Method for Track Ground Motion in Earthquake Early Warning for High Speed Railway[J]. China Railway Science, 2016, 37(6): 128-134.
- [4] 兀琼,刘玉岚,王彪.极限安全地震动下核电站安全壳楼层反应谱[J].中山大学学报(自然科学版),2018,57(1):136-142.
WU Qiong, LIU Yulan, WONG Biao. Floor Response Spectra Analysis of the Nuclear Containment at Ultimate Safety Ground Motion[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2018, 57(1): 136-142.
- [5] 陈志芬,周健,王家卓,等.应急避难场所规划中避难人口预测的简便方法:以地震灾害为例[J].城市规划,2016,40(9):105-112.
CHEN Zhifen, ZHOU Jian, WANG Jiazhao, et al. A Simple Way to Predict the Evacuation Population in the Emergency Shelter Planning: Exemplified by Earthquake Disasters[J]. City Planning Review, 2016, 40(9): 105-112.
- [6] 赵俊兰,王磊.基于GIS的工程场地地震安全性分析系统数据库的设计与实现[J].建筑技术,2017,48(7):755-757.
ZHAO Junlan, WANG Lei. Database Design and Implementation for Seismic Safety Evaluation of Engineering Sites based on Gis[J]. Architecture Technology, 2017, 48(7): 755-757.
- [7] 张鹏,王艺环,秦国晋.非随机过程的地震激励下埋地压力管道的非概率可靠性分析[J].中国安全生产科学技术,2018,14(6):134-141.
ZHANG Peng, WANG Yihuan, QIN Guojin. Non-Probabilistic Reliability Analysis of Buried Pressure Pipeline under Non-Random Process Earthquake Excitation[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(6): 134-141.
- [8] 乔雄,陈建勋,王梦恕,等.某水工隧洞爆破震动对周边建筑物影响的试验分析[J].地震工程学报,2016,38(4):504-509.
QIAO Xiong, CHEN Jianxun, WANG Mengshu, et al. Experimental Analysis of Influence of Blasting Vibration in a Hydraulic Tunnel on Surrounding Buildings[J]. Northwestern Seismological Journal, 2016, 38(4): 504-509.
- [9] 何俊彪,陆鸣,廖云.基于地震危险性分析方法美国某高层建筑优化设计研究[J].地震工程与工程振动,2017,37(6):177-183.
HE Junbiao, LU Ming, LIAO Yun. Research on Site-Specific Seismic Hazard Analysis of a High-Rise Building in Downtown Seattle, USA[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2017, 37(6): 177-183.
- [10] 王培先,王超,彭立顺.强震环境下带钢避难建筑抗震模型设计[J].地震工程学报,2018,40(2):213-218.
WANG Peixian, WANG Chao, PENG Lishun. Aseismic Model Design of Steel Strip Refuge Buildings under Strong Earthquakes[J]. Northwestern Seismological Journal, 2018, 40(2): 213-218.
- [11] 丁柱,张立翔,段其品,等.强地震作用下混凝土重力坝抗震安全评价[J].水力发电,2017,43(3):44-48.
DING Zhu, ZHANG Lixiang, DUAN Qipin, et al. Seismic Safety Analysis of Gravity Dam under High Earthquake Intensity[J]. Water Power, 2017, 43(3): 44-48.
- [12] 郭西锐,王立新,姜慧,等.地王大厦强震动监测与动力分析[J].华南地震,2017,37(1):73-79.
GUO Xirui, WANG Lixin, JIANG Hui, et al. Strong Motion Monitoring and Dynamic Analysis of Diwang Plaza[J]. South China Journal of Seismology, 2017, 37(1): 73-79.
- [13] 李清,薛耀东,王永花,等.大底盘双塔结构层间隔震技术的抗震性能分析[J].科学技术与工程,2017,17(1):85-91,114.
LI Qing, XUE Yaodong, WANG Yonghua, et al. Seismic Performance Analysis of Story Isolated Twin Tower Structure with Large Base[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(1): 85-91, 114.
- [14] 胡记磊,唐小微,裘江南.基于贝叶斯网络的地震液化概率预测分析[J].岩土力学,2016,37(6):1745-1752.
HU Jilei, TANG Xiaowei, QIU Jiangnan. Prediction of Probability of Seismic-Induced Liquefaction Based on Bayesian Network[J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37(6): 1745-1752.
- [15] HU M X, ZHOU Y, LI X J. Robust and Accurate Computation of Geometric Distance for Lipschitz Continuous Implicit Curves[J]. The Visual Computer, 2017, 33(6-8): 937-947.