

史华.基于复杂网络的建筑物强震下抗毁性估计模型[J].地震工程学报,2017,39(6):1024-1028.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.06.1024

SHI Hua.Invulnerability Estimation Model of Buildings with Complex Networks under Strong Earthquakes[J].China Earthquake Engineering Journal,2017,39(6):1024-1028.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.06.1024

基于复杂网络的建筑物强震下抗毁性估计模型^①

史 华

(商丘职业技术学院,河南 商丘 476100)

摘要:城市所处的地震危险性环境和城市建筑物的易损性是影响复杂网络建筑物强震环境下抗毁能力的关键因素。由于现阶段对建筑物抗震抗毁能力的评定仍存在一定困难,对建筑物震害程度测评只能通过强震之后建筑物受破坏的程度进行评估,且评估结果不够精准,因此提出基于复杂网络的建筑物抗震能力的评估方法。考虑到地震中的危险性因素,以地面峰值加速度为参数对强震环境下复杂网络建筑物抗毁性进行测评和分析,在此基础上提出对复杂网络下建筑物的防震抗毁能力进行评估的相对建筑物抗震性能指数,并结合建筑物抗震能力评估标准确定其抗震能力水平;再进行仿真实验加以测量,并结合震害经验,证实该方法的有效性。

关键词:复杂网络;建筑抗毁性;抗震能力

中图分类号:U665

文献标志码:A

文章编号:1000-0844(2017)06-1024-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.06.1024

Invulnerability Estimation Model of Buildings with Complex Networks under Strong Earthquakes

SHI Hua

(Shangqiu Polytechnic, Shangqiu 476100, Henan, China)

Abstract: The seismic hazard environment and associated vulnerability of urban buildings are key factors affecting the seismic ability of buildings with complex networks under strong earthquakes. However, evaluating the seismic capacity of buildings is problematic because pre-assessment results are not adequately accurate, and it is only possible to determine the degree of damage using a damage assessment after the building has been destroyed by an earthquake. This study proposes a seismic capacity evaluation method for buildings with complex networks. In consideration of risk factors affecting buildings during earthquakes, peak ground acceleration is used as a parameter to evaluate and analyze the invulnerability of complex building networks under strong earthquakes. In addition, seismic ability indexes are proposed to evaluate the seismic performance of complex building networks. The seismic capacity level is then obtained using seismic capacity assessment criteria, and simulation experiments are conducted. The effectiveness of the proposed method is also confirmed using data of actual earthquake damage.

Key words: complex network; invulnerability of buildings; seismic capacity

① 收稿日期:2017-06-20

基金项目:中国职业技术教育学会 2016—2017 年度科研规划课题:引导地方普通本科高校向应用型转变的研究(201616Y03);国家档案局科技项目(2017-X-43)

作者简介:史 华(1972—),男,河南宁陵人,副教授,研究方向:建筑工程施工与管理。E-mail:13507698807@126.com。

0 引言

在城市化进程日益加速的背景下,人口、建筑和财富资源出现高度集中的特点,这也导致了一旦城市遭遇高强度破坏性的地震灾害,必然会造成严重的伤亡和损失^[1]。地震中地面运动过程存在随机性和不确定性,因此对建筑的地震结构响应和抗震可靠度进行精确估计是非常必要、合理的。目前对地震只能采用预防的方法,难以准确对地震等级和时间进行预测。我国所处的亚欧地震带地震灾害频发且环境十分恶劣,因此对复杂网络建筑物抗震可靠度的评测精准程度越来越受到人们的重视^[2]。针对城市复杂群体建筑抗震抗毁能力的估算方法建立复杂网络建筑物强震加固模型,分析和介绍该模型的应用优点,并通过仿真实验验证该方法的有效性。实验结果表明使用复杂网络建筑物强震加固模型有利于对区域群体建筑抗震能力差异进行准确的估算和对比,为强化建筑抗震性能奠定基础。

1 复杂网络的建筑物强震加固模型设计

对随机地震功率参数的取值进行具体分析,并根据随机地震功率提出新的复杂网络建筑物强震加固模型设计方案,具体内容如下。

假设将复杂网络建筑物原结构已承受的荷载称为第一次受力,则在复杂网络建筑物进行加固后的承受荷载为二次受力^[3]。由于在对建筑进行加固前原结构已出现应力轻微变形现象,而加固时新结构只在荷载变化时才开始受力。因此新增加固部分的应力、应变性稍微滞后于原有的复杂网络建筑结构^[4]。由于固有建筑结构与二次加固后的建筑结构难以兼容,无法真正达到应力峰值,在这种情况下若建筑抗毁性评估系统不能精准有效地对二者进行测评,一旦遭遇强烈地震二者将难以达到自身承载能力的极限,极易造成建筑遭受重大破坏,承载潜力不能充分发挥,无法完成预期的加固效果。

由于对原有建筑结构进行加固属于二次组合结构,原有结构与加固部分能否成功融合成为整体取决于结合面的传递剪力^[5]。在建筑过程中混凝土结合面的抗震能力通常低于一次整浇混凝土的抗震能力,对建筑物进行二次组合结构会导致其结构承载力降低。因此必须准确评测出二者的抗震能力,有针对性地建筑物进行改进和加固。要更好地完成加固设计就要充分考虑建筑物的受力因素和特征,这也决定了建筑结构加固构造及施工的特点,以及建筑楼

面活荷载标准的设立^[6]。对我国当前建筑楼面荷载能力进行统计和分析,得到如表 1 所列数据值。

表 1 楼面荷载标准值

Table 1 Standard values of floor load					
序号	荷载类别	标准值 /(kN·m ⁻²)	序号	荷载类别	标准值 /(kN·m ⁻²)
1	办公	2.0	6	楼梯	2.5
2	会议室	2.0	7	电梯	3.5
3	库房	5.0	8	阳台	2.5
4	卫生间	2.0	9	机房	7.0
5	走廊	2.5	10	SPECT	5.0

对复杂网络建筑物进行二次组合设计,首先需要对原建筑物结构中的混凝土强度和荷载能力进行准确的分析和估算。由于复杂网络建筑的底层框架柱普遍存在轴压比超限的问题,在对其改造过程中,要适当增加框架柱截面以提高其荷载能力^[7]。将结构影响因子引入功率谱密度函数,提出如下模型:

$$S_0 = \frac{1 + 4e_n^2 \frac{\beta^2}{\beta R_n^2}}{\left(1 - \frac{\beta^2}{\beta R_n^2}\right)^2 + 4e_n^2 \frac{\beta^2}{\beta R_n^2}} \tag{1}$$

式中: β 为反映基岩特性的谱参数; R 为谱强度因子; n 为地震动强弱程度; e 代表地表覆土层卓越频率。根据式(1) 建立地震动模型,并对地震周期进行仿真,强震中产生的绝对加速度 A 的计算方法如下:

$$A = \sqrt{\frac{2}{\beta R_0^2}} \exp\left(-\frac{\beta^2 + e^2}{R_0^2}\right) = \sqrt{\frac{2}{\beta R_0^2}} \exp\left(-\frac{\beta^2 + e^2}{R_0^2}\right) \tag{2}$$

在结构角位移较大的节点更要注重对结构体系和荷载能力的保障,基于抗侧力构件最小的原则进行加固。另一方面要对无楼板约束的剪力墙刚度进行弱化,使其更真实地模拟结构受力特点,从而设计出符合墙体的建筑抗震估算模型^[8]。采用最小二乘法对地面地震动功率进行拟合,得出复杂网络建筑物强震下抗震估算函数为:

$$S(\omega) = \frac{A + 4\lambda_i^2 \alpha_i^2 / \alpha_i^2}{(A - \alpha^2 / \alpha_i^2) + \lambda_i^2 \alpha^2 / \alpha_i^2} \times \frac{\alpha^2 / \alpha_m^2}{(A - \alpha^2 / \alpha_m^2) + \lambda_m^2 \alpha^2 / \alpha_m^2} S_0 \tag{3}$$

式中: α_n 和 α_m 分别为随机过程中地震影响系数的最大值和最小值; λ 为时间间隔。

根据上述公式,利用静力弹塑性分析方法对复杂网络建筑物强震下的抗毁能力进行推导和计算^[9]。计算结果表明,在不考虑建筑结构内部影响

因素差别的情况下,利用复杂网络建筑抗毁程度估算模型对建筑抗毁系数随机均值谱情况进行估算,其部分结果略大于规范谱,但总体保持一致^[10]。具体抗震数随机均值谱与规范值谱对比曲线如图 1。

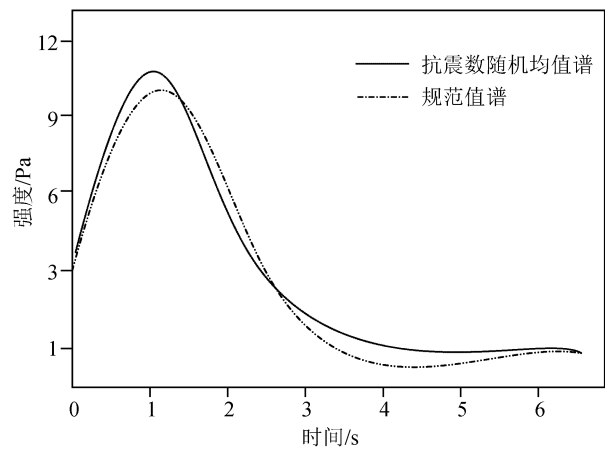


图 1 抗震数随机均值谱与规范值谱对比曲线
Fig.1 Contrast curves of stochastic mean-value spectrum of seismic number and code value spectrum

由于复杂网络建筑模型的复合墙体存在结构独特的特点,这在很大程度上决定了复杂网络建筑体系的分构件具有良好的弹、塑性和防破性,在强震环境下能够充分发挥其主导作用^[11]。因此证实了复杂网络下建筑估计模型可有效保障建筑墙体针对不同的受力情况达到精准的测评估算效果。根据建筑物强震加固估算模型可对建筑在强震环境下的受力过程及受力特点进行分析和测评^[12]。

由图 2 可知,影响复杂网络建筑物抗震性能的主要因素为竖向压应力。在墙体顶部施加水平荷载,通过千斤顶在建筑上加载分配梁,经过对复杂网络建筑的二次分配后加载于顶部暗梁,并在建筑墙体两侧设立支撑以保障建筑墙体平面的稳固性^[13]。由于地震记录信息主要分为时域和频域两个方面,在强震环境下不但要考虑地震周期特性,还要根据抗震设计规范要求,确定地震记录峰值。

2 仿真实验测试结果分析

为验证复杂网络建筑物抗震估计模型的评估能力,利用其对地震毁坏危险性和复杂网络建筑物抗震能力进行评估。为模拟建筑物墙体在强震环境下的受力情况,以某实际复杂网络建筑底层墙体为仿真实验的检验墙体,分析建筑加固前受力情况并进行二次加固,再对加固后的结构进行分析^[14]。考虑到构件刚度变化对建筑结构存在一定影响,因此通过折算截

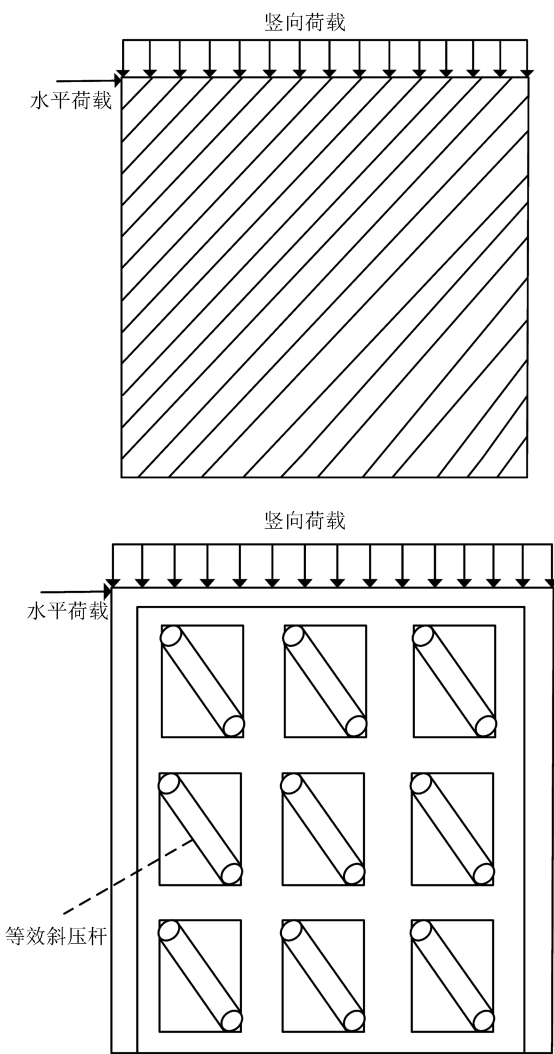


图 2 强震环境下复合墙体受力加固模型
Fig.2 Reinforcement model of composite wall under strong earthquake

面尺寸方法将其反映出来,再进行结构分析与检测。在建筑构件中,框架梁刚度的变化微乎其微,故框架梁加固后其刚度变化的影响可直接忽略不计。由于加固后建筑设防烈度变化相对较大,仅依靠钢板已无法满足增加建筑抗震能力和承载力的要求,因此采用粘贴钢板与角钢相结合的加固方法。在此方法下建筑结构部分构件粘钢估测信息列于表 2。在其余条件不变的情况下对复杂网络建筑强震下抗毁性估计模型的主要受力构件的配筋进行设计。为评估建筑物抗震能力,对强震环境下复杂网络建筑物折损程度以及地震的危险性进行评估。基于建筑物受损程度评估结果给出精准的建筑抗震能力数据和宏观描述,以方便及时对建筑物进行加固,充分考虑建筑物在其设计基准期内可能遭遇的地震作用对其抗震能力的影响。

表 2 部分建筑构件粘钢情况

Table 2 Steel adhesion of some building components

位置	缺筋位置	缺筋量/mm ²	粘钢规格/mm	块数/块	粘钢面积/m ²	粘钢用量/(kg·m ⁻²)
轴 A-B	左支座	1 542	—4×200	2	122 000	484 000
	右支座	1 001	—4×120	1	67 810	245 100
	跨中	1 034	—4×210	2	67 570	812 400
轴 B-C	左支座	945	—4×260	2	78 130	264 500
	右支座	941	—4×120	1	148 000	249 500
	跨中	812	—4×240	2	17 600	548 000
轴 C-D	左支座	942	—4×200	2	15 400	458 100
	右支座	1 064	—4×260	1	84 670	24 000
	跨中	1 035	—4×120	2	45 780	45 100

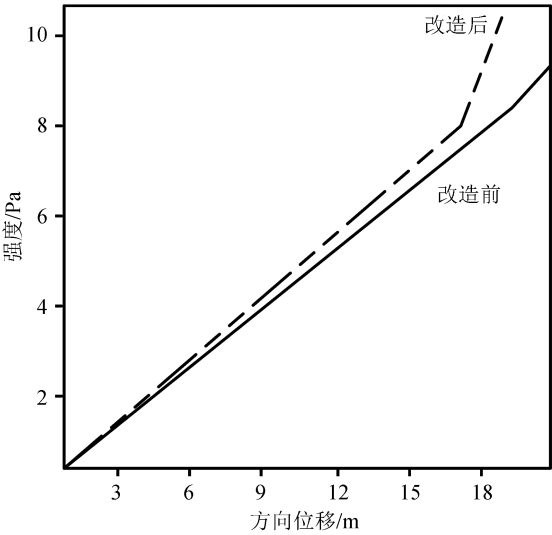


图 3 地震作用下改造前后方向位移角

Fig.3 Azimuth displacement angles before and after retrofitting under earthquake action

根据评估结果可以清楚看出,加固前建筑结构直线偏差大,引起建筑结构方向扭转,位移结果不能满足要求,通过强震抗摧毁评估模型可清晰地对其位移角度和位移强度进行展示^[15]。针对此种情况,将建筑结构加固为框架体系后建筑方向位移相对较为稳定,满足了强震环境下建筑加固要求。用同一方法对建筑受损程度进行评估,并得到如图 4 所示结果。

通过图 4 反映出复杂网络建筑强震抗毁估计模型对建筑受损程度的评估结果。由于震害预测方法是对震前建筑的抗震能力进行估计,其预测结果与震后结果之间难免会存在一定差异,因此估计结果存在微小差异是可以接受的。结合复杂网络建筑物在不同地震等级下所受破坏状态破坏指数均值的评估结果,可以通过前文的计算方法得到强震下建筑结构的抗震指数结果(表 3)。

由表 3 所记录的建筑抗震能力指数可知,当设

防烈度高于遭遇烈度时,经过二次组合的复杂网络建筑结构在高强度地震危险性环境下具有较优的相对抗震能力,在设防烈度与遭遇烈度相近的情况下建筑物仍具有良好的相对抗震能力。当地震作用在Ⅸ度时,设防建筑物具有较优的绝对抗震能力,在Ⅹ度时建筑具有中等的绝对抗震能力,达到Ⅵ度建筑具有合格的绝对抗震能力。

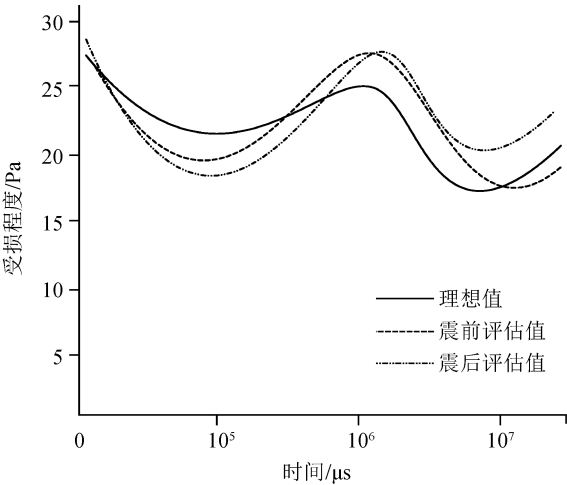


图 4 建筑受损程度评估结果

Fig.4 Assessment results of the damage degree of building

表 3 建筑结构抗震能力测评信息

Table 3 Evaluation Information of seismic capacity of building structure

结构类型	地震作用				
	设防烈度	遭遇烈度	Ⅶ	Ⅸ	Ⅹ
钢筋混凝土	0.079	0.189	0.214	0.335	0.534
框架结构	0.076	0.169	0.289	0.462	0.712
砌体	0.101	0.233	0.311	0.439	0.941
结构	0.094	0.224	0.388	0.567	0.789

通过上述仿真实验证实,复杂网络建筑物在强震环境下的抗震能力评估模型精准有效,其通过对建筑物损失的精确估计和分析,给出了建筑物抗震标准并做宏观描述,方便相关行业有针对性地对建

筑物的抗震能力进行提升。

3 结语

通过仿真实验证实,复杂网络建筑物强震下抗毁性评估模型是对建筑物防震减灾能力的基础测评方法。其评估结果与实际震害统计具有高度一致性,有助于及时准确地测评和完善建筑抗震性能,通过测评结果给出更合适、精准的建筑抗震抗毁能力曲线和建筑易损性参数,为用户提供良好的操作方法,可在实际建筑抗震能力评估中得到应用,有利于切实保障人民的生命和财产安全,对实现国家防震减灾目标有积极的作用。

参考文献(References)

- [1] 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.
- [2] 王海飙,季安康.房屋建筑抗震能力评价研究[J].建筑技术, 2017, 48(4): 381-384.
WANG Haibiao, JI Ankang. Research on Seismic Performance Evaluation of Building[J]. Architecture Technology, 2017, 48(4): 381-384.
- [3] 张萌,潘华,李金臣.美国建筑抗震设计的法规体系与设计地震动的确定[J].震灾防御技术, 2017, 12(2): 306-318.
ZHANG Meng, PAN Hua, LI Jinchun. Building Anti-seismic Design Regulations in the United States and Its Approach to Ground Motion Design[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2017, 12(2): 306-318.
- [4] 魏晓刚,麻凤海,刘书贤.爆破开采对采空区地面建筑抗震性能的影响分析[J].中国安全科学学报, 2015, 25(9): 102-108.
WEI Xiaogang, MA Fenghai, LIU Shuxian. Analysis of Impact of Blasting Mining on Seismic Performance of Ground Buildings in Coal Mining Area[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(9): 102-108.
- [5] 李鸥.浅议高层混凝土建筑抗震结构设计[J].价值工程, 2015, 34(9): 175-176.
LI Ou. On the High-rise Concrete Buildings Aseismic Structure Design[J]. Value Engineering, 2015, 34(9): 175-176.
- [6] 王永亮,杨巧红,何忠茂,等.7·22地震灾后村镇建筑抗震性能调查分析[J].四川建筑科学研究, 2015, 41(4): 62-65.
WANG Yongliang, YANG Qiaohong, HE Zhongmao, et al. Seismic Performance Analysis on Rural Building of 7·22 Earthquake[J]. Sichuan Building Science, 2015, 41(4): 62-65.
- [7] 刘威,但庆文,刘章军.基于建筑抗震规范的随机地震动时程生成[J].三峡大学学报(自然科学版), 2016, 38(6): 50-53.
LIU Wei, DAN Qingwen, LIU Zhangjun. Generation of Random Ground Motion Time History Based on Seismic Code for Buildings[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2016, 38(6): 50-53.
- [8] 商金华,王国富,徐西永.济南轨道交通建设中地铁建筑抗震设计标准探讨[J].铁道标准设计, 2017, 61(9): 116-120.
SHANG Jinhua, WANG Guofu, XU Xiyong. An Approach to Seismic Design Standards of Underground Structures in Jinan Rail Transit Subway[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(9): 116-120.
- [9] 徐金英,王星.鲁地拉重力坝坝基非线性对坝体极限抗震能力的影响研究[J].水利水电技术, 2016, 47(2): 15-18.
XU Jinying, WANG Xing. Study on Influence of Foundation Nonlinearity on Ultimate Seismic Capacity of Gravity Dam of Ludila Hydropower Station[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(2): 15-18.
- [10] 沈汝伟.多塔结构的等效单塔抗震计算方法[J].科技通报, 2016, 32(7): 99-102.
SHEN Ruwei. Equivalent Single Tower Method for Aseismic Design of Multi-tower Structure[J]. Bulletin of Science and Technology, 2016, 32(7): 99-102.
- [11] 张亚英,赵春荣,崔炜.多层砖混建筑的轻钢结构夹层设计和抗震计算模式对比研究[J].工程抗震与加固改造, 2017, 39(4): 136-140.
ZHANG Yaying, ZHAO Chunrong, CUI Wei. Comparative Study on Adding Storey Design and Seismic Calculation Modes of Light-weight Steel Structure in Multi-storey Brick-concrete Building[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2017, 39(4): 136-140.
- [12] 熊长鑫,闫毅志.层状淤沙对混凝土重力坝地震响应的影响分析[J].水利水电技术, 2015, 46(3): 39-42.
XIONG Changxin, YAN Yizhi. Analysis on Impact from Layered Sediment on Seismic Response of Concrete Gravity Dam[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2015, 46(3): 39-42.
- [13] 赵艳兵,陈红鸟,陈嘉健.混凝土梁的断裂能及其尺寸效应的试验研究[J].贵州大学学报(自然科学版), 2016, 33(4): 100-103.
ZHAO Yanbing, CHEN Hongniao, CHEN Jiajian. Experimental Study on Fracture Energy and Size Effect of Concrete Based on Three Point Bending Tests[J]. Journal of Guizhou University (Natural Science Edition), 2016, 33(4): 100-103.
- [14] 蒋劭羽,方琴.不同桩侧粗糙度对桩-土接触面力学特性的影响研究[J].贵州大学学报(自然科学版), 2016, 33(4): 104-107.
JIANG Jinyu, FANG Qin. Study of Mechanical Properties Between Pile and Soil Surface with Different Roughnesses[J]. Journal of Guizhou University (Natural Science Edition), 2016, 33(4): 104-107.
- [15] 姜忻良,张海顺.复杂工况下土-结构体系的混合约束模态法[J].河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(4): 283-290.
JIANG Xinliang, ZHANG Haishun. Mixed Constraint Modal Method for Analysis of Soil-Structure System Under Complex Conditions[J]. Journal of Hohai University (Natural Science Edition), 2016, 44(4): 283-290.