

任燕娟.建筑在强震下横拉承压力钢筋负荷测量[J].地震工程学报,2018,40(4):692-697.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.692

REN Yanjuan.Load Measurement of Building Steel Bars Subjected to Lateral Pressure and Strong Earthquakes[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(4):692-697.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.692

# 建筑在强震下横拉承压力钢筋负荷测量

任燕娟

(河南建筑职业技术学院土木工程系,河南 郑州 450064)

**摘要:**在强震状态下,建筑物的横拉承压受力较为复杂,另外由于建筑物形状及在地震中受力面积大小不同,在强震下造成碰撞大小影响不一导致其横拉承压力的随机复杂性十分突出。传统的建筑承压负荷检测方法中钢筋负荷受力测量能力不足,检测结果易出现误差。将建筑钢筋的机械性能设为理想弹塑性,利用建筑物横拉承压力钢筋负荷测量方法,对不同结构、不同工况的建筑钢筋载荷的变化规律进行测试分析,结合建筑局部承压特点和整体结构聚力方式,设计横拉承压力钢筋负荷检测方法,并进行仿真实验,结果表明该方法模型所得数据更加精准,有良好的适用性。

**关键词:**建筑承压; 压力负荷; 横向承压; 钢筋负荷; 强震

中图分类号: TU769

文献标志码:A

文章编号: 1000-0844(2018)04-0692-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.692

## Load Measurement of Building Steel Bars Subjected to Lateral Pressure and Strong Earthquakes

REN Yanjuan

(Department of Civil Engineering, Henan Technical College of Construction, Zhengzhou 450064, Henan, China)

**Abstract:** In strong earthquake environments, buildings are subjected to complicated lateral pressure force. In addition, given the different shapes of buildings and different sizes of force-bearing areas under earthquake conditions, strong earthquakes cause different impact sizes. This difference results in the stochastic complexity of lateral pressure. The traditional method for the detection of building pressure load has insufficient measurement ability for steel-bar load force and provides detection results that are prone to error. A method for the measurement of load on building steel bars under lateral pressure is proposed. The load variation characteristics of steel bars with different structures are tested and analyzed under the ideal elastic-plastic condition of the mechanical properties of the steel bars and different load conditions. Combined with the local pressure characteristics of the building, the method for the measurement of load on building steel bars under lateral pressure is designed and subjected to simulations. Results prove that the proposed method provides data with improved accuracy and has improved applicability.

**Keywords:** building pressure; pressure load; lateral pressure; steel bar load; strong earthquake

## 0 引言

在强震情况下,建筑物中钢筋非正常承压的大小会影响建筑物承重能力,严重影响生命和财产安全。因此要对建筑钢筋的承压能力进行正确测量,以便采取有效方法消除潜在的安全隐患<sup>[1]</sup>。建筑物中钢筋承压有非线性及离散性的特性,传统的横拉承压钢筋负荷算法在测量过程中,收敛速度较慢,得到的建筑承压结果不够精准。并且该方法忽视建筑物的样式、受力面积等因素影响,具有较大的误差以及测量随机性。钢筋不同区域受力检测能力不足,检测结果容易出现偏差,因此,提出一种新的建筑钢筋横向承压负荷算法,提高计算精度,以保障建筑在强震情况下的安全性<sup>[2]</sup>。

### 1 建筑横向承压载荷计算方法存在的问题分析

常见的钢筋横向承压力计算方法有模态叠加方法和弧长方法,其迭代公式为:

$$[A_{\lambda}^R] \Delta \vec{\beta}_{\lambda} = K^n - K_{\lambda}^{cn} \quad (1)$$

其中:

$$\vec{\beta}_{\lambda+1} = \vec{\beta}_{\lambda} + \vec{\beta}_{\lambda} \quad (2)$$

式中:  $K_{\lambda}^{cn}$  是恢复载荷量;  $[A_{\lambda}^R]$  是雅可比矩阵;  $\lambda$  为平衡迭代步。求解前首先通过非平衡载荷线性对  $[A_{\lambda}^R]$  进行估算,并检查收敛性,若计算结果不满足收敛准则重新估算直到问题收敛<sup>[3]</sup>。模态叠加方法与弧长方法计算结果如图 1,2 所示。

根据模态叠加法,每层的位移、速度和加速度可以由下式计算:

$$\beta_{\lambda} = \sum_{\lambda} a_{\lambda z} u_{\lambda} \quad (3)$$

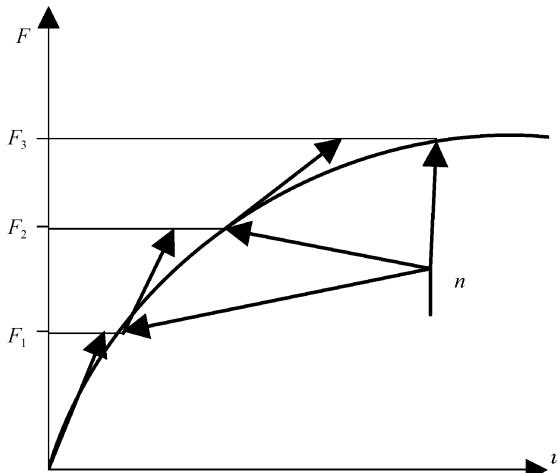


图 1 模态叠加方法

Fig.1 Mode superposition method

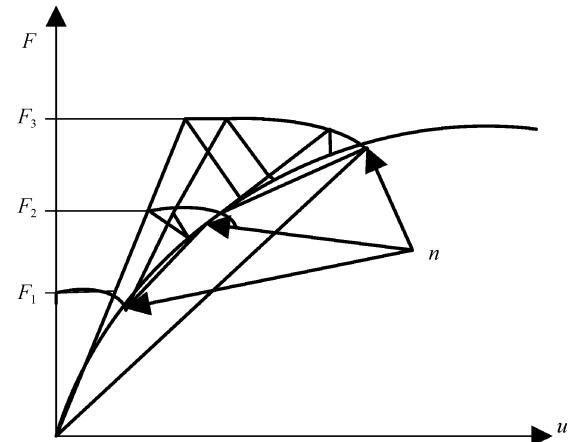


图 2 弧长方法

Fig.2 Arc length method

式中: 建筑第  $z$  层的对应值是  $a_{\lambda z}$ ,  $u_{\lambda}$  为广义模态坐标及一阶导数<sup>[4]</sup>。

假设建筑结构是由匀质悬臂杆剪切变形  $W_n(f)$  和弯曲变形  $E_n(f)$  的非线性叠加而成<sup>[5]</sup>, 则有:

$$W_n(f) = \sin n \pi f / 2p \quad (4)$$

式中:  $p$  为悬臂杆的长度;  $f$  为原点, 取正向坐标。

$E_n(f)$  表达式为:

$$E_n(f) = \cos \alpha_n f - \cos \alpha_n p - \frac{(\cos \alpha_n p + \cos \alpha_n p)}{(\sin \alpha_n p + \sin \alpha_n p)} (\sin \alpha_n f - \sin \alpha_n p) \quad (5)$$

其中:

$$\alpha_n = \frac{(2n-1)\pi}{2p} \quad (6)$$

假设弯曲变形和剪切变形振型差为:

$$\{WE\}_n = \{W_n\} - \{E_n\} \quad (7)$$

根据上述公式可计算出建筑各层钢筋恢复力, 将钢筋恢复力和相对位移进行拟合, 可得建筑钢筋横向承压载荷值<sup>[6]</sup>。从以上计算可以得出, 模态叠加方法和弧长方法都没有考虑受力面积和碰撞区域等问题, 导致计算结果失真严重。

### 2 钢筋横向拉伸承压负荷测试方法设计

在建筑钢筋的机械性能取为理想弹塑性情况下, 对不同结构、不同工况的建筑钢筋载荷的变化规律进行测试分析, 得到材料的应力-应变关系如图 3 所示。

基于图 3, 连接封头与筒体对建筑模型进行模拟测试, 当结构受内压时, 根据模型结构和承重的对称性对实体模型取二分之一对称截面进行分析<sup>[7]</sup>,

连接结构如图 4 所示。

对 3 种不同尺寸的钢筋结构进行几何非线性效应的弹塑性分析,根据前文计算方法计算其极限负荷,并根据计算结果将上述模型简化为统一理想正交相贯的模型<sup>[8]</sup>,简化结构如图 5 所示。

根据负荷值和建筑结构对称性原则,在建立测试模型时,只取四分之一部分进行研究<sup>[9,10]</sup>,其结构如图 6 所示。

在较低载荷作用下模型结构没有失效仍可承受载荷,周围区域仍处于弹性状态<sup>[11,12]</sup>。随横拉压力的增大,塑性区不断扩大,当压力达到极限值时,塑性区几乎扩展到钢筋的整个范围,建筑结构丧失承载能力<sup>[13]</sup>。不同压力情况下钢筋弯曲程度信息如表 1 所列。

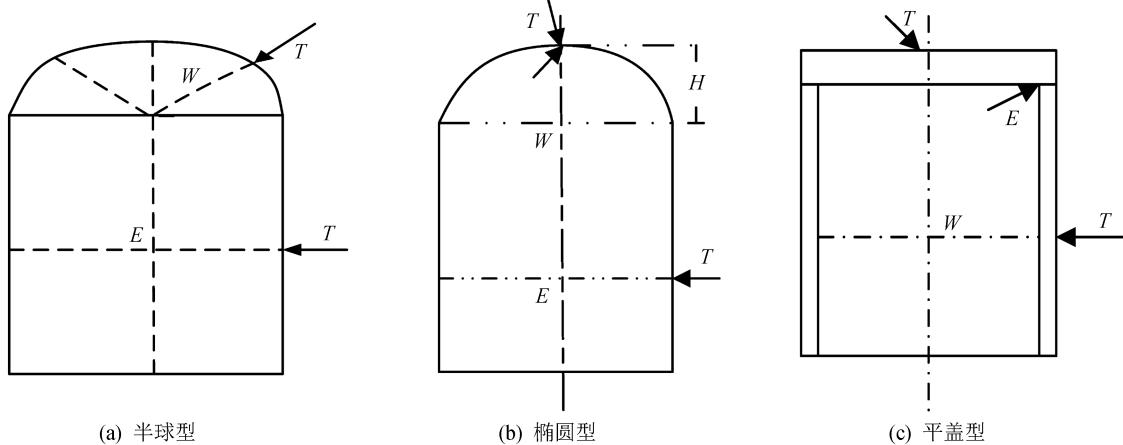


图 4 封头与筒体连接

Fig.4 Joint of hemispherical head and cylinder

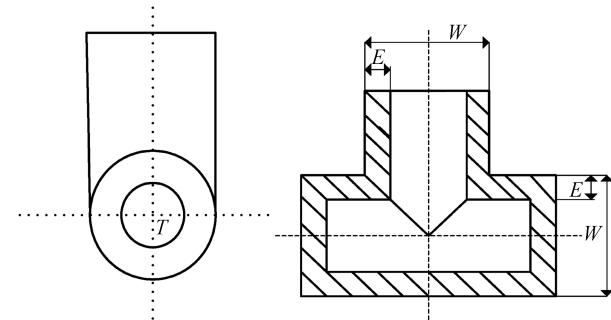


图 5 钢筋建筑结构示意图

Fig.5 Joint of elliptical head and cylinder

根据以上分析可知,随横拉承压增加,同一纵向截面上钢筋弯曲度逐渐增高,极易发生失效现象<sup>[14]</sup>。本文通过以上方法完成负荷测试。

### 3 仿真实验结果分析

为了验证钢筋负荷模型的计算精度和测试结果

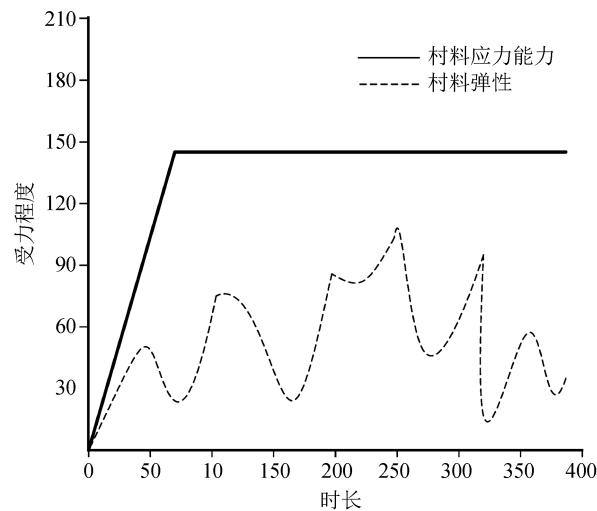


图 3 材料应力-应变关系

Fig.3 Stress-strain relation of materials

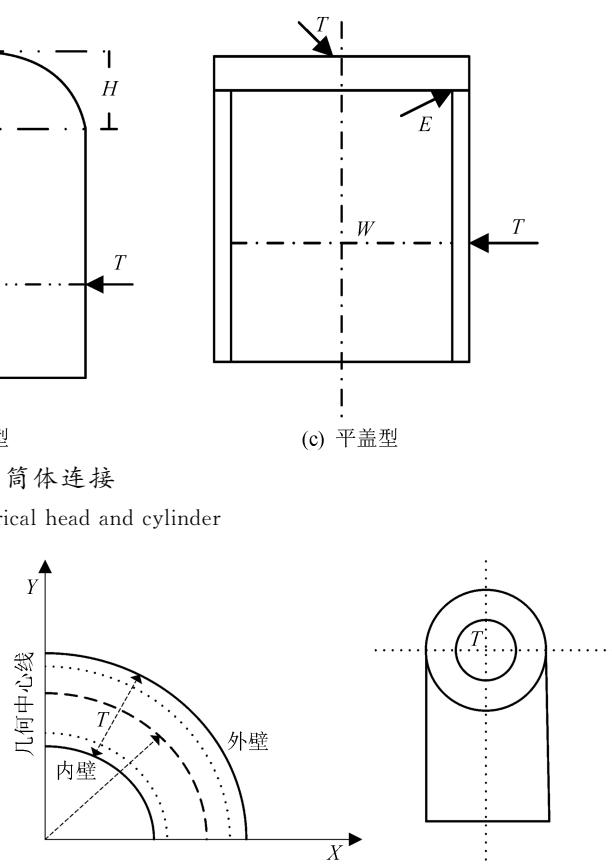


图 6 钢筋结构示意图

Fig.6 Schematic diagram of the steel bar structure

的准确性,分 3 种情况进行仿真试验,试验结果见表 2。

根据以上测量结果对横拉压力钢筋负荷值进行计算推导出钢筋负荷信息如表 3 所列。

为了验证以上参数识别结果的正确性,以计算出的参数建立强震横拉承压结构分析模型,并对比计算结果和记录数据如图 7 所示。

表 1 不同压力下钢筋极限弯矩

Table 1 Ultimate bending moment of steel bar under different pressures

编号	K	$r/D$				
		1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
1~5	0.09	0.385 49	0.384 65	0.401 55	0.408 11	0.410 21
6~10	1.00	0.512 41	0.523 54	0.547 84	0.595 41	0.547 15
11~15	1.06	0.612 54	0.645 82	0.644 51	0.651 28	0.648 52
16~20	1.12	0.774 25	0.745 21	0.625 41	0.721 57	0.742 19
21~25	1.30	0.845 73	0.847 26	0.847 24	0.864 81	0.845 28
26030	1.51	0.891 35	0.845 73	0.875 14	0.895 41	0.884 52

表 2 全站仪压力观测实验结果

Table 2 Experimental results of pressure observation using total station instrument

序号	W=40 m			W=80 m			W=120 m		
	全站仪 测量值	游标卡尺	差值	全站仪 测量值	游标卡尺	差值	全站仪 测量值	游标卡尺	差值
1	-12.1	-12.1	0.0	-6.4	-6.2	-0.2	-7.9	-7.5	-0.4
2	-24.8	-25.2	-0.4	-7.2	-7.9	-0.7	-10.5	-10.0	-0.5
3	-16.5	-16.8	0.3	-31.5	-31.2	-0.3	-4.6	-3.9	-0.7
4	-12.0	-11.5	-0.5	-7.0	-7.3	0.3	-0.5	-0.8	0.3

表 3 横拉承压力钢筋负荷识别表

Table 3 Load of steel bar under lateral pressure

刚度	0~3 s	3~6 s	6~9 s	9~12 s	12~15 s	15~18 s
1	73.2	68.5	48.9	47.2	48.5	56.2
2	75.2	70.9	72.1	70.5	72.5	72.4
3	51.5	45.9	3.08	33.5	33.7	42.4
4	58.1	52.2	33.1	36.1	34.5	40.6
5	58.1	59.3	53.5	52.9	53.1	51.9
6	53.1	60.4	58.9	59.1	61.1	62.3
7	59.6	50.4	48.3	51.2	53.2	51.2
8	55.1	54.5	53.8	54.5	53.9	54.3
9	51.6	52.6	43.8	40.9	42.3	48.1
10	52.8	53.4	42.6	34.2	46.1	45.1
11	59.6	51.2	48.3	43.5	44.8	54.1
12	58.1	55.6	57.1	57.6	57.3	57.1
13	52.6	59.4	58.6	55.3	55.9	58.1
14	53.2	56.4	58.3	48.5	46.1	50.1
15	54.8	51.6	59.1	39.4	46.9	45.1
16	55.6	59.4	43.5	43.7	50.6	51.4
17	56.2	54.3	46.8	59.4	48.6	48.2
18	53.4	59.2	53.1	56.4	51.9	58.1
19	50.8	56.1	48.6	52.4	41.2	47.6
0	35.1	34.5	33.4	32.5	32.7	32.5

将图 7 中的地震仿真实验过程划分为若干时段, 对不同时段的钢筋抗压度、恢复力以及扭转位移进行拟合得到该时间段的压力负荷值。负荷值随时间变化的曲线以若干水平折线代替。时间段越小, 对钢筋变化趋势的把握就越精确。对钢筋抗压度、恢复力以及扭转位移的测量结果如图 8 所示。

由图 8 可以看出, 计算出的数据和强震记录基本一致。从识别出的各层的抗扭刚度的对比可以看出, 对不同的钢筋扭曲度进行识别结果如图 9 所示。

由图 9 可见, 虽然钢筋在强震情况下扭转反应较为剧烈, 但扭曲度随震动时间的变化逐渐趋于平稳, 同时也说明了本文采用的计算方法是一种较为有效的建筑压力负荷算法。

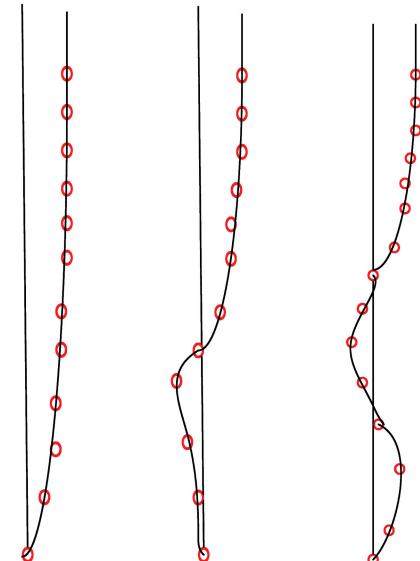


图 7 强震记录前三阶振形

Fig.7 The first three modes of strong earthquake records

## 4 结论

由于强震状态下的建筑物横拉承压力复杂度高, 且传统建筑承压负荷检测方法的检测误差较大, 因此提出建筑在强震下横拉承压力钢筋负荷测量方法研究。在研究前需先将建筑钢筋的机械性能设定为理想弹塑性, 根据不同的建筑钢筋结构对钢筋载

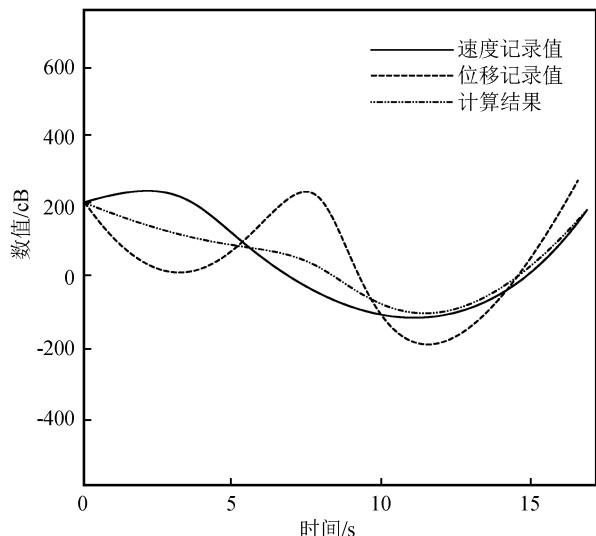


图 8 强震下钢筋负荷数值对比图

Fig.8 Numerical comparison of steel bar load under strong earthquake

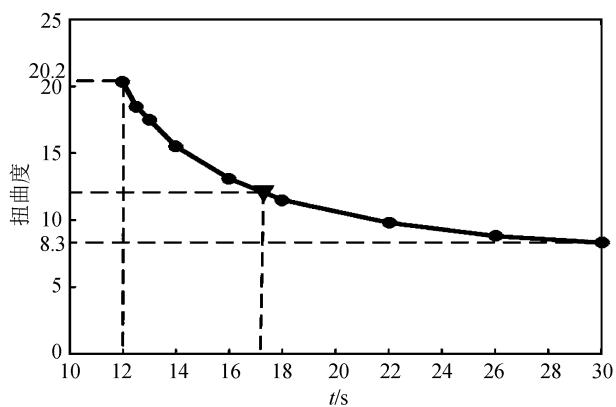


图 9 强震下钢筋扭曲度识别结果

Fig.9 The identification result of steel bar torsion under strong earthquake

荷的变化规律进行测试,依据测试结果整合建筑钢筋局部的承压特点,结合钢筋整体结构聚力,对强震状态下的建筑横拉承压力钢筋负荷进行检测。经过实验证明,该方法能够得到更精准的检测数据,且适用性更优。但该方法在检测速率上尚且不足,未来将针对检测速率进行深入研究,致力于为建筑钢筋横拉承压力负荷检测方面的技术发展提供有价值的数据。

## 参考文献(References)

- [1] 洪浩, 郑史雄, 贾宏宇, 等. 空间相干效应对山区高墩刚构桥随机地震响应的影响[J]. 世界地震工程, 2013, 29(3): 54-60.  
HONG Hao, ZHENG Shixiong, JIA Hongyu, et al. Influence of Spatial Coherence on Stochastic Seismic Responses of Rigid-framed Bridge with High Piers in Mountainous District[J]. World Earthquake Engineering, 2013, 29(3): 54-60.
- [2] 公茂法, 公鑫, 张敏, 等. 基于 OneNet 平台的电力负荷监测系统的研究[J]. 电测与仪表, 2017, 54(15): 65-68.  
GONG Maofa, GONG Xin, ZHANG Min, et al. Research on Power Load Monitoring System Based on OneNet Platform [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(15): 65-68.
- [3] 汪骥, 樊荣, 李瑞, 等. 基于应变波形的船舶推进轴系负荷测量方法研究[J]. 造船技术, 2016, 35(5): 17-20.  
WANG Ji, FAN Rong, LI Rui, et al. Research on the Measurement of Ship Propulsion Shafting Load Based on Strain Wave Method[J]. Marine Technology, 2016, 35(5): 17-20.
- [4] 王帅永, 唐川, 方群生, 等. 研究强震区滑坡敏感性评价——以汶川县为例[J]. 地震研究, 2016, 39(2): 279-287.  
WANG Shuaiyong, TANG Chuan, FANG Qunsheng, et al. Research on Landslide Susceptibility Assessment in Strong Seismic Zone; Taking Wenchuan Country as an Example[J]. Journal of Seismological Research, 2016, 39(2): 279-287.
- [5] 陈光强, 谢开仲, 王红伟. 某水电站钢筋砼压力水管裂缝成因试验研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2017, 42(4): 1589-1595.  
CHEN Guangqiang, XIE Kaizhong, WANG Hongwei. Experimental Study on Cause of Crack of Reinforced Concrete Penstock in a Hydropower Station[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2017, 42(4): 1589-1595.
- [6] 王国林, 周大为, 赵璠, 等. 基于计算机视觉的轮胎负荷轮廓测量系统[J]. 橡胶工业, 2016, 63(3): 182-186.  
WANG Guolin, ZHOU Dawei, ZHAO Fan, et al. Measurement System for Tire Profile under Load Based on Computer Vision Technology[J]. China Rubber Industry, 2016, 63(3): 182-186.
- [7] 李天华, 袁永博. 地震重灾区诱发次生地质灾害风险评价研究[J]. 地震工程学报, 2018, 40(1): 111-115.  
LI Tianhua, YUAN Yongbo. Risk Assessment of Secondary Geological Disasters Induced in an Earthquake-stricken Area[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(1): 111-115.
- [8] 张杰梁, 赵斯衍, 董小龙, 等. 基于 Visual Basic 的互感器负荷箱测量仪校准系统的实现[J]. 测量技术, 2015, 37(1): 26-29.  
ZHANG Jieliang, ZHAO Sikan, DONG Xiaolong, et al. Realization of Calibration System for Testing Instruments on Load Box of Instrument Transformers Based on Visual Basic[J]. Metrology & Measurement Technology, 2015, 37(1): 26-29.
- [9] 杨志刚, 张杰, 李艳姣. 磨音影响因素分析与磨机负荷检测方法综述[J]. 金属矿山, 2015, 44(2): 139-144.  
YANG Zhigang, ZHANG Jie, LI Yanjiao, et al. Mill Sounds' Influence Factors Analysis and Mill Load Detection Methods Review[J]. Metal Mine, 2015, 37(1): 26-29.
- [10] 朱玲, 崔明. 现场监测工况负荷的检查与测量方法探讨[J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(6): 68-70.  
ZHU Ling, CUI Ming. Discussion on Checking and Measuring Methods of Load Conditions in Field Monitoring[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2015, 27(6): 68-70.

- [11] 雷正新,韩蓓,聂萌,等.配电网大数据环境下的多点负荷预测算法与应用研究[J].电力系统保护与控制,2016,44(23):68-78.  
LEI Zhengxin, HAN Bei, NIE Meng, et al. Research and Application of Multi-node Load Forecasting Algorithm under the Environment of Distribution Network's Big Data[J]. Protection and Control of Power System, 2016, 44(23): 68-78.
- [12] 姜卫山.横拉闸门轨道磨损机理分析[J].工程建设与设计,2016,24(7x):135-136.  
JIANG Weishan. Analysis of Rail Wear Mechanism of Horizontal Pull Gate[J]. Construction & Design for Project, 2016, 24(7x): 135-136.
- [13] 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.  
SHI Hua. Invulnerability Estimation Model of Buildings with Complex Networks under Strong Earthquakes [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(6): 1024-1028.
- [14] 郑晋阳,马克俭,魏艳辉,等.超高层装配式正交斜放空间钢网格盒式筒中筒混合结构在不同场地特征周期下的地震响应[J].贵州大学学报(自然科学版),2016,33(6):83-88.  
ZHENG Jinyang, MA Kejian, WEI Yanhui, et al. The Seismic Response of the Assembly Integral Spatial Steel Grid "Tube-in-Tube" Cassette Super High-rise Structures in Different Characteristic Period[J]. Journal of Guizhou University(Natural Science), 2016, 33(6): 83-88.

\*\*\*\*\*  
(上接第 683 页)

- CHEN Yiyi, KE Ke, HE Xiuzhang, et al. Experimental Study on Seismic Performance of High Strength Moment Resisting Frames with Energy Dissipation Beams[J]. Journal of Building Structure, 2015, 36(11): 1-9.
- [12] 石岩,王军文,秦洪果,等.桥梁抗震挡块研究进展[J].世界地震工程,2013,29(2):90-95.  
SHI Yan, WANG Junwen, QIN Hongguo, et al. Review of Recent Development in Seismic Shear Keys of Bridges[J]. World Earthquake Engineering, 2013, 29(2): 90-95.
- [13] 张培,张婧岩,王佳,等.城市社区应急避难场所区位配置模型研究[J].中国安全科学学报,2015,25(6):172-176.  
ZHANG Pei, ZHANG Jingyan, WANG Jia, et al. Research on Urban Community Emergency Shelter Location-allocation Model[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(6): 172-176.
- [14] 杨庚蔚,毛新平,赵刚,等.Ti 微合金化高强度热轧带钢组织性能及强化机理[J].钢铁研究学报,2016,28(12):75-80.  
YANG Gengwei, MAO Xinping, ZHAO Gang, et al. Microstructure, Mechanical Properties and Strengthening Mechanisms of Ti Microalloyed High Strength Hot Strip Steel[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2016, 28(12): 75-80.
- [15] 柳国环,刘伟,赵大海,等.基于 ABAQUS 的超高层建筑动力弹塑性抗震分析[J].计算力学学报,2016,33(2):188-193.  
LIU Guohuan, LIU Wei, ZHAO Dahai, et al. Dynamic Elasto-plastic Seismic Analysis for a Super High-rise Building Based on ABAQUS[J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 2016, 33(2): 188-193.