

朱保华,韩丽婷.建筑用玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构设计[J].地震工程学报,2018,40(5):963-968.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.963
ZHU Baohua, HAN Liting. Aseismic Structure Design of Glazed Hollow Bead Insulation Concrete Shear Wall[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(5): 963-968. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.963

建筑用玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构设计

朱保华¹, 韩丽婷²

(1. 江苏联合职业技术学院南京工程分院, 江苏 南京 211135; 2. 南京工业大学, 江苏 南京 211800)

摘要: 传统方法主要通过导热系数低的材料和增加墙体厚度来达到抗震效果。该方法不仅浪费能源而且抗震性能较差,因此对建筑用玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构进行设计,构建玻化微珠保温混凝土本构模型,获得与抗震结构相关的理论数据。根据所获取的数据,选择板壳单元 SHELL63 作为玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构单元。依据抗震结构材料参数以及抗震结构单元,采用 ANSYS 软件模拟构建玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构。分析实验结果可知,所设计建筑节能抗震结构的抗震性能较好,实际运用价值高。

关键词: 建筑节能; 抗震结构; 玻化微珠保温混凝土; 本构模型; 结构单元; ANSYS 软件

中图分类号: TU511

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)05-0963-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.963

Aseismic Structure Design of Glazed Hollow Bead Insulation Concrete Shear Wall

ZHU Baohua¹, HAN Liting²

(1. Nanjing Engineering Branch, Jiangsu Union Technical Institute, Nanjing 211135, Jiangsu, China;

2. Nanjing University of Technology, Nanjing 211800, Jiangsu, China)

Abstract: The traditional method of achieving an anti-seismic effect in walls uses materials with low thermal conductivity and increases the thickness of wall. This method not only wastes energy, but also has poor seismic performance. Therefore, a seismic structure of glazed hollow bead insulation concrete shear wall was designed. A constitutive model of glazed hollow bead insulation concrete was constructed, and the theoretical data related to seismic structure was obtained. According to the obtained data, the seismic structural unit of the shear wall was selected. The shell element SHELL63 was selected as the seismic structural unit. According to the seismic structural material parameters and the seismic structural unit, ANSYS software was used to simulate the seismic structure of the glazed hollow bead insulation concrete shear wall. The experimental results showed that the designed building displayed good energy saving and seismic performance, and, thus, was of high practical value.

Keywords: building energy saving; aseismic structure; glazed hollow bead insulation concrete; constitutive model; structural unit; ANSYS software

收稿日期:2017-08-20

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK20151414)

第一作者简介:朱保华(1973-),男,江苏淮安人,硕士,副教授,研究方向:建筑工程技术。E-mail:zhubh@njevcc.edu.cn

0 引言

2006 年中国的能源消耗量排在世界第二位,作为能源消耗大国,科学分配能源、提升能源利用率,是我国社会发展的根本大计。研究建筑节能,分析其抗震性能对全人类的生命财产安全以及生存环境的改善都有积极作用。针对我国当下能源消耗严重的情况,应发起可持续能源倡议,着重创造节约型社会,努力实现能源多元化^[1]。因此,当前的建筑节能设计成为相关人员分析的热点,特别是建筑节能的抗震性能研究,对于提高建筑节能的稳定性,确保建筑节能质量具有重要应用意义^[2]。而采用传统的混凝土剪力墙抗震结构进行建筑工程时,由于混凝土保温效果不佳,需通过使用导热系数比较低的材料来达到保温效果,同时通过增加墙体厚度来达到抗震效果。该方法不仅浪费能源,而且抗震性能较差。

以往国内外相关人员研究出的建筑节能抗震结构存在较多问题,文献[3]对建筑节能用新型轻质隔墙板的振动台模拟地震试验研究,使用新型材料轻质隔墙板作为建筑物隔墙的墙体预制板,其只适用于非承重隔墙,使用范围受到限制,抗震性能较差;文献[4]对大跨幕墙抗震性能分析方法进行探讨,选用大跨幕墙结构进行高层建筑,其幕墙立面是受力薄弱环节,预应力结构体系若出现局部破坏,则整体预应力被释放,结构体系整体失效,结构的抗震性能大大降低;文献[5]对 H 型斜拉桥桥塔横桥向结构进行抗震设计与分析,但该设计方法侧重分析建筑横向受力状态,缺乏对建筑总体受力情况的有效分析;文献[6]研究了配置耗能梁的复合高强钢框架抗震性能,从能耗角度研究了建筑结构的抗震性能,但其分析过程复杂度较高,实用性能较差。

针对以上问题,本文设计玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构。经过实验验证,本文设计的结构能够提高建筑能源节约效果,还能够满足抗震规范要求,其抗震性能优于普通混凝土剪力墙。

1 玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构

玻化微珠保温混凝土是人工造的新型环保建材,它将轻骨料松脂岩玻化微珠以科学配比融入普通混凝土内,同时添加特定的外加剂,最终形成既包含传统混凝土力学性能又附有隔热保温性能的节能建筑材料^[7-8]。

1.1 玻化微珠保温混凝土本构模型

对建筑结构实施抗震分析是保障建筑安全 and 人身安全的有效途径,而优良的建筑材料是保证建筑结构安全的关键。但实际工程中运用的建筑材料往往不能起到抗震效果,使得地震发生时建筑损坏的数量急剧增加,不仅增加了能源消耗,而且威胁到人身安全。玻化微珠保温混凝土本构模型能够用于混凝土梁柱构件在复杂受力状态下的动力非线性响应分析,满足结构动力非线性响应分析的需求^[9]。

玻化微珠保温混凝土本构模型如图 1 所示。

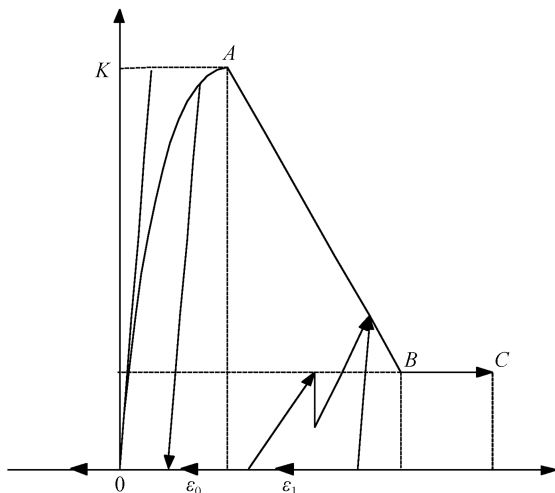


图 1 玻化微珠保温混凝土本构模型

Fig.1 The constitutive model of glazed hollow bead insulation concrete

图中 K 表示混凝土的抗压强度; ϵ_0 表示混凝土峰值应力所对应的应变系数, $\epsilon_0 = 0.002$; ϵ_1 表示混凝土的应变极限, $\epsilon_1 = 3\epsilon_0$; A 表示受约束条件下玻化微珠保温混凝土抗震强度提高系数。因此可得出:

$$K_i = 1 + \frac{\rho_n f_m}{f_j} \quad (1)$$

式中: ρ_n 表示混凝土体积的配筋率; f_m 表示混凝土的屈服强度。

假设地震发生时玻化微珠保温混凝土裂缝产生的应变为 ϵ_0 ,最大应变为 $\epsilon_{\max}$,则总体应变取值为:

$$\epsilon = \epsilon_0 + (\epsilon_{\max} - \epsilon_0) \frac{0.1(\epsilon_{\max} - \epsilon_0)}{\epsilon_{\max} \times \epsilon_0} \quad (2)$$

通过上述步骤可得出玻化微珠保温混凝土剪力墙的抗震性,为抗震结构的构建提供可靠的理论数据。

1.2 选择结构单元

根据混凝土本构模型,对玻化微珠保温混凝土

剪力墙抗震结构单元进行选择,为构建玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构提供基础。由于玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构的板壳单元 SHELL63 同时包含弯曲能力和膜力,不仅能够负荷平面内荷载,还能负荷法向荷载^[10],所以本文采用板壳单元 SHELL63 作为抗震结构单元。板壳单元 SHELL63 各节点内均含有 6 个自由度,其中包括应力刚化及大变形能力。通过一个弹性地基刚度^[11]、四个节点、四个厚度以及正交不同向异性材料构成单元 SHELL63,结构单元 SHELL63 的几何形状、坐标系以及节点具体位置如图 2 所示。

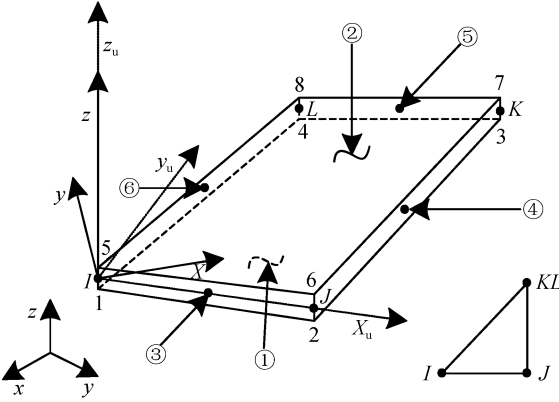


图 2 SHELL63 单元图

Fig.2 SHELL63 unit diagram

对单元 SHELL63 进行预定和约束:单元面积需大于零;针对大变形中的膜力刚度,单元设置呈三角形;在精确的平面内设置单元内的四个节点,单元出现翘曲形状是由出平面公差所导致的^[12]。

1.3 抗震结构的构建

在前两小节的基础上,采用 ANSYS 软件构建玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构。其中涉及的相关参数如下:

质量 m 与其绝对加速度相乘,得到对质点产生影响的惯性力^[13],可描述为:

$$F(t) = m[\ddot{X}_g(t) + \ddot{X}(t)] \tag{3}$$

式中: $F(t)$ 表示对质点产生影响的惯性力; $X_g(t)$ 表示建筑结构地面水平位移距离; $X(t)$ 表示相对于地面的质点位移情况; $\ddot{X}_g(t)$ 表示地面水平加速度; $\ddot{X}(t)$ 为时间 t 的函数,表示相对加速度。

设计抗震结构的过程中,需要对水平作用的最大绝对值进行计算,可表示为:

$$F_{Ek} = mk\beta g = k\beta G \tag{4}$$

式中: F_{Ek} 表示水平地震作用的标准值; G 表示抗震

结构的重力荷载标准值。

地面运动最大加速度同重力加速度之比地震系数 k 可表示为:

$$k = |X_g|_{\max} / g \tag{5}$$

式中: $|X_g|_{\max}$ 表示地震发生时地面运动加速度的最大值。地震烈度随地面加速度的提升而提升。

受地震影响的单质点弹性体系内^[14],最大反应加速度与地面运动加速度最大值的比等于动力系数 β ,可表示为:

$$\beta = S_a / |X_g|_{\max} \tag{6}$$

式中: S_a 表示质点加速度最大值,则有:

$$S_a = \omega \left| \int_0^t X_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin\omega(t-\tau) d\tau \right|_{\max} \tag{7}$$

式中: ξ 表示阻尼比; ω 表示无阻尼自振频率。将式 (7) 代入式 (6),得到式 (8)。

$$\beta = \frac{\omega}{|X_g|_{\max}} \left| \int_0^t X_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin\omega(t-\tau) d\tau \right|_{\max} \tag{8}$$

在对抗震结构进行设计时,通常情况下以自振周期描述频率^[15],即 $\omega = 2\pi/T$,因此式 (8) 也可以表示为:

$$\beta = \frac{2\pi/T}{|X_g|_{\max}} \left| \int_0^t X_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin\omega(t-\tau) d\tau \right|_{\max} \tag{9}$$

通过上述公式可知:地面运动加速度 $\ddot{X}_g(t)$ 、自振周期 T 和阻尼比 ξ 能够影响动力系数 β 。根据确定的地面加速度 $\ddot{X}_g(t)$ 和阻尼比 ξ ,利用各 T 值可以得到不同的 β ,进而获取到 $\beta-T$ 曲线,即动力系数反应谱曲线。

基于以上参数,采用 ANSYS 软件实现整体玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构的构建。

2 实验分析

为了验证本文设计的玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构的抗震性能,使用 ANSYS 分析软件,将层剪力、剪力墙整体变形程度和剪力墙抗震结构的层位移情况作为评价指标,对本文设计的结构和传统混凝土剪力墙抗震结构进行对比分析。

层剪力是各层抗侧力构件对应的每层底部节点沿 x 、 y 各节点力 F_x 、 F_y 和 F_z 的总和。表 1 表示从 x 方向输入地震反应谱时,本文结构和传统混凝土剪力墙抗震结构的层剪力。

通过分析表 1 中的数据能够得到:从 x 方向输入地震反应谱时,本文结构的层剪力均小于传统混凝土剪力墙抗震结构,抗震稳定性高。其中本文结构的底部剪力 $F_x=1\,205\,211.91\text{ kN}$, $F_y=825\,514.23\text{ kN}$;传统混凝土剪力墙抗震结构的底部剪力是

$F_x=1\,470\,735.91\text{ kN}$, $F_y=905\,005.94\text{ kN}$ 。且两者的轴向力有较大差别,本文结构最大轴向力为 $7\,181\,162.30\text{ kN}$,传统混凝土剪力墙抗震结构最大轴向力为 $8\,745\,876.92\text{ kN}$,本文结构的最大轴向力较低,稳定性高。

表 1 本文结构和传统混凝土剪力墙抗震结构的层剪力(单位:kN)

Table 1 Story shear forces of the proposed structure and traditional concrete shear wall structure (unit:kN)

	本文结构			传统混凝土剪力墙抗震结构		
	F_x	F_y	F_z	F_x	F_y	F_z
1	1 205 211.9	825 514.2	7 181 162.3	1 470 735.9	905 005.9	8 745 876.9
2	1 073 607.0	522 046.1	5 6107 62.5	1 320 503.9	633 368.9	6 836 052.9
3	988 088.6	466 611.8	4 606 478.2	1 226 145.9	580 002.4	5 626 879.9
4	901 410.4	407 305.3	3 863 715.2	1 108 055.9	482 088.5	4 660 378.9
5	880 387.7	328 871.7	3 201 483.8	973 021.9	400 871.2	3 891 703.9
6	756 183.8	253 050.2	2 604 052.2	920 302.9	305 684.3	3 133 068.9
7	616 601.7	183 211.8	2 077 066.4	743 357.9	217 207.7	2 503 877.9
8	476 277.7	139 680.7	1 627 107.0	570 079.9	163 828.3	1 958 623.9
9	340 567.9	125 830.1	144 752.5	385 830.0	164 752.0	1 275 431.0

图 3 分别表示从 y 方向输入地震反应谱时,本文结构及传统混凝土剪力墙抗震结构的整体变形程度。

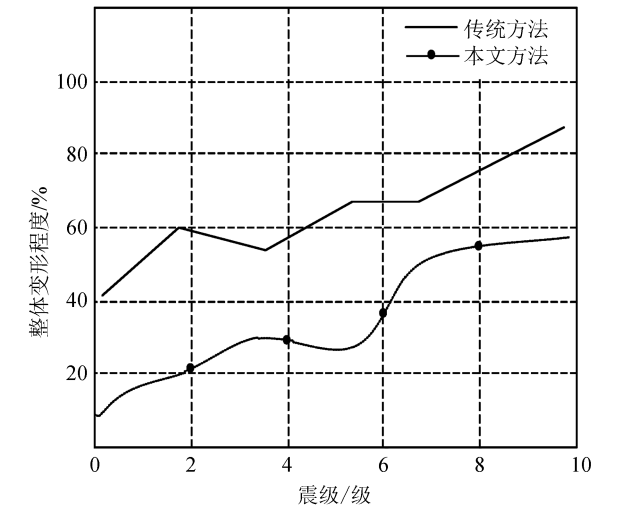


图 3 不同方法下混凝土剪力墙抗震结构整体变形程度

Fig.3 Overall deformation degree of the seismic structure of concrete shear wall under different methods

分析图 3 可知,本文所设计的玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构在震级不同的情况下,虽然整体变形程度逐渐上升,但一直低于传统抗震结构,而作者的最高整体变形程度达到了 88%。已经不符合抗震规范的要求,说明与传统混凝土剪力墙抗震结构相比,本文方法设计的玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构的抗震效果较好,抗震稳定性较强,能够有效抵挡地震给建筑带来的损害。

图 4 为传统方法和本文方法下混凝土剪力墙抗震结构的层位移情况对比。

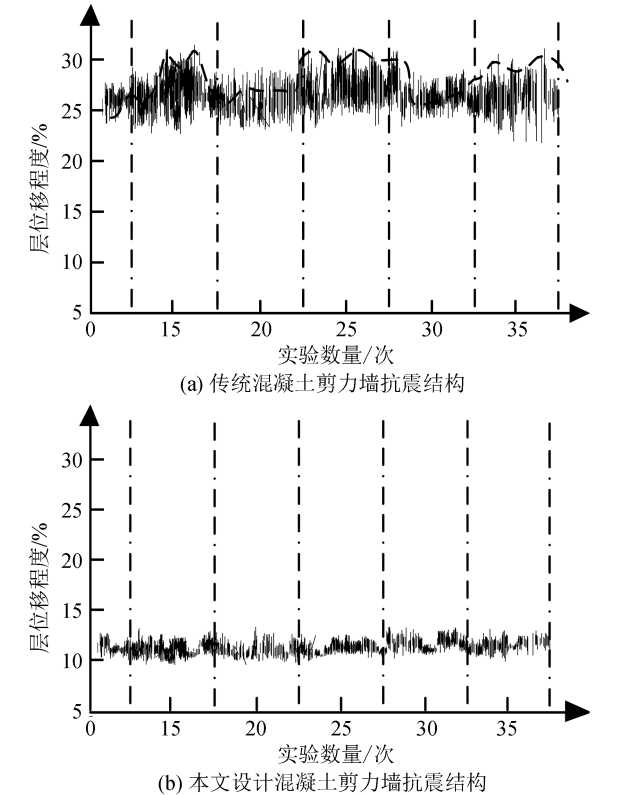


图 4 不同方法下混凝土剪力墙抗震结构层位移情况
Fig.4 Story displacements of the seismic structure of concrete shear wall under different methods

分析图 4 可知,传统混凝土剪力墙抗震结构的层位移程度基本维持在 25%~30%之间,而本文设计混凝土剪力墙抗震结构的层位移程度仅在 10%

~15%之间。从以上数据可知,本文设计的结构在震的情况下,层位移程度完全满足抗震规范的要求,说明本文结构具有较强的抗震性能。

综上可知,经过本文方法设计出的混凝土剪力墙抗震结构在层剪力、建筑整体变形程度和层位移情况方面明显优于传统方法,说明本文方法对传统混凝土抗震结构进行了优化,具有一定的实际价值,应用性较强。

3 结论

为解决传统方法下剪力墙结构抗震性能较差的问题,对玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构进行设计。通过构建玻化微珠保温混凝土本构模型,获得抗震结构材料参数;采用板壳单元 SHELL63 作为抗震结构单元,为结构整体构建提供基础;最后采用 ANSYS 软件构建玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构。通过实验得出如下结论:

(1) 与传统的混凝土剪力墙抗震结构相比,本文所设计的建筑节能抗震结构层剪力较低,说明本文结构的最大轴向力较低,稳定性高。

(2) 在不同震级的地震条件下,本文设计的玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构的整体变形程度低于传统方法,说明本文结构的抗震效果较好,能够有效降低地震给建筑带来的损害。

(3) 对比传统结构与本文结构的层间位移情况,可以得出本文结构的最大弹性层间位移角低于传统结构,并且完全满足抗震规范的要求。

综上可知,本文设计的建筑用玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震结构抗震性能较好,可以为建筑材料的抗震设计提供可靠的参考。

参考文献(References)

[1] 强万明,付素娟,金阳,等.中德被动式示范房建筑节能及空调系统设计[J].煤气与热力,2015,35(1):15-18.
QIANG Wanming, FU Sujuan, JIN Yang, et al. Design of Building Energy-saving and Air-conditioning System for Sino-German Passive Demonstration House[J]. Gas & Heat, 2015, 35(1): 15-18.

[2] 杨柳,幸运,郑武幸,等.湿热地区住宅建筑外围护结构热工性能优化组合研究[J].建筑技术,2015,46(5):433-436.
YANG Liu, XING Yun, ZHENG Wuxing, et al. Thermal Performance Optimizing Combination of Residential Peripheral Structure in Moist Heat Zone[J]. Architecture Technology, 2015, 46(5): 433-436.

[3] 王巧云,韩晓健,万里.建筑节能用新型轻质隔墙板的振动台模拟地震试验研究[J].新型建筑材料,2015,42(6):69-72.
WANG Qiaoyun, HAN Xiaojian, WAN Li. Experimental Research on Shaking Table Test for New Type of Light-weight and Energy-efficient Partition Boards[J]. New Building Materials, 2015, 42(6): 69-72.

[4] 卢文胜,黄宝锋,曹丽娜,等.大跨幕墙抗震性能分析方法探讨[J].结构工程师,2014,30(2):97-103.
LU Wensheng, HUANG Baofeng, CAO Lina, et al. Discussion on Seismic Performance Analysis Methodology of Large Span Architectural Curtain Walls[J]. Structural Engineers, 2014, 30(2): 97-103.

[5] 徐艳,嵇冬冰,王瑞龙.H型斜拉桥桥塔横桥向结构抗震设计与分析[J].土木建筑与环境工程,2014,36(6):1-7.
XU Yan, JI Dongbing, WANG Ruilong. Transverse Seismic Design and Analysis of an H Type Bridge Tower Cable Stayed Bridge[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2014, 36(6): 1-7.

[6] 陈以一,柯珂,贺修樟,等.配置耗能梁的复合高强钢框架抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2015,36(11):1-9.
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 Structures, 2015, 36(11): 1-9.

[7] 钱锋.文远楼建筑节能实验室相变墙体应用效果分析[J].建筑科学,2014,30(8):64-67.
QIAN Feng. Analysis on Application Effect of Phase Change Wall of Building Energy Efficiency Laboratory in Wenyuan Building[J]. Building Science, 2014, 30(8): 64-67.

[8] 王京,朱晟.拉哇高面板堆石坝极限抗震能力分析[J].水利水电技术,2017,48(7):28-34.
WANG Jing, ZHU Sheng. Analysis on Ultimate Seismic Capacity of High Lawa Concrete Face Rockfill Dam[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(7): 28-34.

[9] 丁声荣,霍艳华.混凝土结构建筑物抗震加固强度测试仿真[J].计算机仿真,2017,34(8):429-432.
DING Shengrong, HUO Yanhua. Strength Test and Simulation of Seismic Strengthening of Concrete Structures[J]. Computer Simulation, 2017, 34(8): 429-432.

[10] 贺梦琦.聚氨酯硬泡技术在绿色建筑生态节能设计中的应用[J].科技通报,2017,33(1):174-177.
HE Mengqi. Polyurethane Foam Technology in Green Building Eco-efficiency Design[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017, 33(1): 174-177.

[11] 刘鸽,黄骁,李珠,等.掺煤矸石的玻化微珠保温混凝土劈裂抗拉强度与抗压强度相关性研究[J].新型建筑材料,2016,43(10):76-79.
LIU Ge, HUANG Xiao, LI Zhu, et al. Study of Relevance of Splitting Tensile Strength with Compressive Strength of the Glazed Hollow Beads Thermal Insulation Concrete Mixed

with Coal Gangue[J].New Building Materials,2016,43(10):76-79.

[12] 马怀发,张坤,王立涛.混凝土坝抗震安全评价指标和方法研究[J].水利水电技术,2017,48(5):110-119.
MA Huaifa,ZHANG Kun,WANG Litao.A Preliminary Study on Performance-based Seismic Safety Evaluation Index of Concrete Dams[J].Water Resources and Hydropower Engineering,2017,48(5):110-119.

[13] 鲁江,秦健,潘磊,等.南京 UPFC 工程控制保护系统架构与配置研究[J].电力工程技术,2015,34(6):1-5.
LU Jiang,QIN Jian,PAN Lei,et al.Study on Architecture and Configuration for Control and Protection System of Nanjing UPFC Project[J].Jiangsu Electrical Engineering,2015,34(6):1-5.

[14] SUDAN M, TIWARI G N, AL-HELAL I M. Dynamic Analysis of Daylight Metrics and Energy Saving for Rooftop Window Integrated Flat Roof Structure of Building[J].Solar Energy,2015,122(2015):834-846.

[15] 王静峰,叶慧君,李金超,等.填充节能复合墙板钢框架结构的抗震性能[J].建筑钢结构进展,2015,17(6):35-43.
WANG Jingfeng, YE Huijun, LI Jinchao, et al. Seismic Behavior of Steel Frame Structures Filled with Sandwich Composite Panels[J].Progress in Steel Building Structures,2015,17(6):35-43.



(上接第 903 页)

ZHOU Xiaojie, JIANG Xuliang, XU Dandan, et al. Experimental Research on Seismic Behavior of Flexible Connection Frame Structure Infilled with New Masonry [J]. World Earthquake Engineering,2015,31(1):58-68.

[11] 方自虎,周海俊,赖少颖,等.ABAQUS 混凝土损伤参数计算方法[J].建筑结构,2014,44(增刊 1):719-721.
FANG Zihu,ZHOU Haijun,LAI Shaoying,et al.Method of Calculating Concrete Damage Parameter by ABAQUS[J].Building Structure,2014,44(Supp1):719-721.

[12] 陆新征,叶列平,缪志伟.建筑抗震弹塑性分析[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
LU Xinzheng, YE Lieping, MIAO Zhiwei, et al. Elasto-plastic Analysis of Buildings Against Earthquake[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2009.

[13] 刘桂秋.砌体结构基本受力性能的研究[D].长沙:湖南大学,2005.
LIU Guiqiu.The Research on the Basic Mechanical Behavior of Masonry Structure[D].Changsha:Hunan University,2005.

[14] 周晓洁,陈培奇,王玉良.考虑墙-框连接方式的砌体填充墙框架结构有限元计算及试验对比[J].世界地震工程,2015,31(2):188-195.
ZHOU Xiaojie, CHEN Peiqi, WANG Yuliang. Finite Element Calculation and Experiment Comparison about Masonry-Infilled Frame Structure Considering Connection Ways between Infill Wall and Frame[J].World Earthquake Engineering,2015,31(2):188-195.