

饶力.剪力墙转换结构分析下建筑抗震性能研究[J].地震工程学报,2018,40(4):671-677.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.671

RAO Li.Analyzing the Seismic Performance of Buildings by Considering Shear-wall Transfer Structures[J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(4):671-677.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.671

# 剪力墙转换结构分析下建筑抗震性能研究

饶力

(宜春学院土木工程系,江西宜春 336000)

**摘要:**传统的动力弹塑性分析法在研究剪力墙的抗震性能时,忽略了对剪力墙转换结构关键节点的有效分析,导致建筑抗震性研究结果存在局限性。提出剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能影响的分析方法。塑造剪力墙转换结构平面布置图,确定剪力墙转换结构关键节点,分析剪力墙转换结构关键节点的层间位移与位移角和关键节点处的楼层剪力,关键节点位置上升使得最大楼层的位移减小、位移角也逐渐变小。根据关键节点处于不同楼层时层间位移、位移角以及受力作用的不同,获取建筑结构上下层刚度的波动。实验结果说明,所提方法能够高精度、高效的对建筑抗震性能进行分析。

**关键词:**剪力墙;转换结构;关键节点;抗震性能;层间位移

**中图分类号:** TU375

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-0844(2018)04-0671-07

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.04.671

## Analyzing the Seismic Performance of Buildings by Considering Shear-wall Transfer Structures

RAO Li

(Department of Civil Engineering, Yichun University, Yichun Jiangxi, 336000, China)

**Abstract:** The traditional dynamic elastoplastic analysis method limits the results of studies on the seismic performance of buildings given that this approach fails to analyze the key nodes of the shear-wall transfer structure effectively. A method for analyzing the influence of the key nodes of shear-wall transfer structures on the seismic performance of buildings is proposed. The plane layout diagram of the shear-wall transfer structure is created, and the key nodes of the shear-wall transfer structure are determined. Then, the interstorey displacement and displacement angle of the key nodes and floor shear at the key nodes are analyzed. Elevating the key node position decreases the displacement of the maximum floor and the displacement angle. The fluctuation in the stiffness of the upper and lower floors of the building is obtained on the basis of differences in interstorey displacement, displacement angle, and force on the key nodes of different floors. Exper-

**收稿日期:** 2017-08-20

**基金项目:** 江西省自然科学基金资助项目, (20132BAB211025)

**作者简介:** 饶力(1983-),女(土家族),湖北来凤人,硕士,高级工程师,研究方向为高层建筑结构、抗震分析、装配式结构、绿色节能建筑等的研究。E-mail: 389126880@qq.com。

imental results show that the proposed method can effectively and precisely analyze the seismic performance of buildings.

**Keywords:** shear wall; transfer structure; key nodes; seismic performance; interstorey displacement

## 0 引言

随着经济的发展和人民生活水平的不断进步, 大量的高层建筑物拔地而起, 不同的高层建筑具有不同的功能, 建筑的下层通常用作商务使用, 建设空间面积较大, 而且承受压力也较大; 高层建筑的上部结构往往用作办公或住宅使用, 建设空间较小; 因此在楼层结构中进行形式转变或在结构布置变化处设置转换部件, 以此改变建筑节点位置, 是当今社会建筑发展的趋势。建筑经常会受到强风或地震影响, 建筑设计人员应尽可能确保建筑的安全稳定, 降低成本提高经济效益<sup>[1]</sup>。因此对剪力墙转换结构的抗震性能实施有效分析, 具有重要的应用意义。过去的动力弹塑性分析方法分析剪力墙的抗震性能时, 忽略了对剪力墙转换结构关键节点的分析, 导致建

筑抗震性研究结果存在较大局限性。针对该问题, 文章提出在新的剪力墙转换结构关键节点分析下对建筑抗震性能的影响性能分析方法, 实现建筑抗震性能的准确分析。

## 1 塑造剪力墙转换结构关键节点的平面布置图

本文在基于剪力墙转换结构关键节点的建筑抗震性能分析时, 会受到多种因素的干扰<sup>[2]</sup>, 其中最主要的是剪力墙转换结构关键节点的确定、剪力墙转换结构关键节点的层间位移与位移角以及关键节点处的楼层剪力, 文章主要在此三方面的基础上对建筑抗地震性能进行分析。图1为某建筑的剪力墙转换结构关键节点的平面布置图。

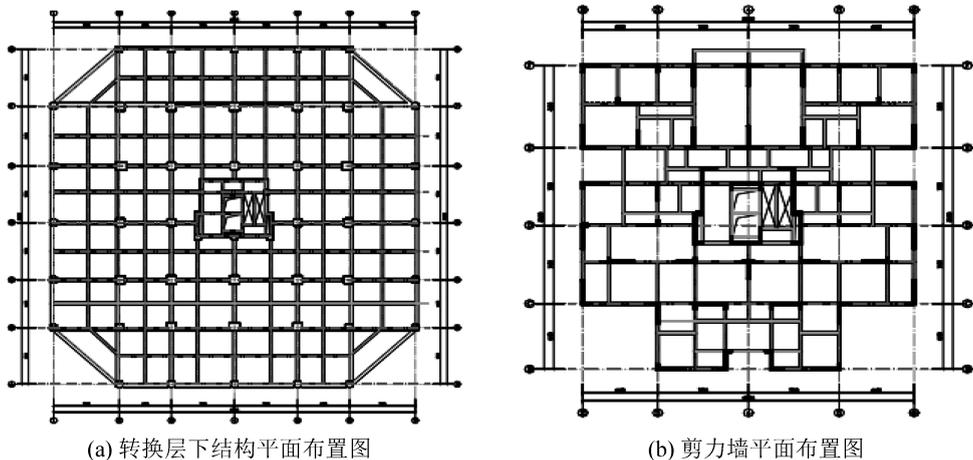


图1 剪力墙转换结构关键节点的平面布置图

Fig.1 Plane layout of key nodes of the shear wall transfer structure

以图1中两平面布置图为准, 并保证布置结构不变<sup>[3]</sup>, 改变转换层的位置, 在剪力墙转换结构中的第1、3、5和7层分别安装新的剪力墙转换层, 该过程目的为减少转换层上部剪力墙关键节点的层数, 增加转换层下部的关键节点层数。在此基础上分别构建转换层的框支剪力墙转换结构模型, 并依照转换层从小到大排序, 将模型分别简称为M1、M3、M5和M7对这4个模型进行静力弹塑性分析<sup>[4]</sup>, 分析在不同剪力墙转换层中, 关键节点的位置, 从而对建筑抗地震性能进行研究。

在对建筑抗震性能分析过程中, 弹性阶段配筋的计算采用PKPM软件中的SATWE, 静力塑性弹性分析采用的是PUSH&EPDA模块<sup>[5-6]</sup>。在进行PUSH分析时, 选择倒三角侧推荷载类型, 而侧推荷载力的大小取决于基地剪力和建筑总重量的比值, 本文选取的侧推荷载力大小为1.0, 杆件铰的取值取为0.7, 该值表示在地震发生时若出现某杆端截面的相对刚度值减至0.3以下时, 产生的塑性铰<sup>[7-8]</sup>。由于地震对建筑的影响在横向(X)方向的刚度较纵向(Y)弱, 本文重点对剪力墙转换结构关键节点的

X 方向进行弹塑性分析。

## 2 剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能的影响

### 2.1 剪力墙转换结构关键节点的确定

基于剪力墙转换结构关键节点的平面布置图、

剪力墙转换结构关键节点的需求谱曲线以及特征曲线共同分析可以得出<sup>[7]</sup>建筑剪力墙转换结构关键节点确定参数,表 1 为不同剪力墙转换结构关键节点的主要参数。

利用以上参数,能准确获得在地震影响下建筑不同剪力墙转换结构横向关键节点。

表 1 不同剪力墙转换结构关键节点的主要参数

Table 1 Main parameters of key nodes of different shear wall transfer structures

模型	地震最大影响系数	特征周期 /s	需求谱与能力曲线交点坐标		层间位移角	基底剪力 /kN	顶点位移 /mm	附加阻尼比
			周期	加速度				
M1	0.5	0.3	3.114	0.092	1/223	16 823	305.2	0.034
M3	0.5	0.3	2.777	0.095	1/238	18 348	263	0.027
M5	0.5	0.3	2.637	0.097	1/243	20 591	263.1	0.025
M7	0.5	0.3	2.552	0.098	1/248	23 658	265.2	25

### 2.2 关键节点同层间位移与位移角的关系

根据确定的剪力墙转换结构关键节点对层间位移和位移角进行分析,图 2 和 3 分别表示处于不同剪力墙转换结构的楼层位移以及位移角曲线图。可以从图 2 看出,随着剪力墙转换结构关键节点位置的上升,最大楼层的位移变化逐渐变少,出现该情况的原因是随着转换结构层数的提升,造成剪力墙的配筋增强,抗侧刚度也随之增强,因此得出建筑结构的最大楼层位移变少<sup>[9-10]</sup>。从图 3 可以看出,剪力墙转换结构在强烈地震影响下,M1 最大的层间位移角出现在该建筑结构的第 11 层,此时的位移角为 1/223;M3 的最大位移角出现在第 12 层,位移角的值为 1/238;M5 和 M7 的位移角分别为 1/243 和 1/248,出现在建筑结构的第 13 层和 15 层。可以看出建筑结构最大层间位移角的变化随着剪力墙转换结构关键节点的提高而缓慢减小,且

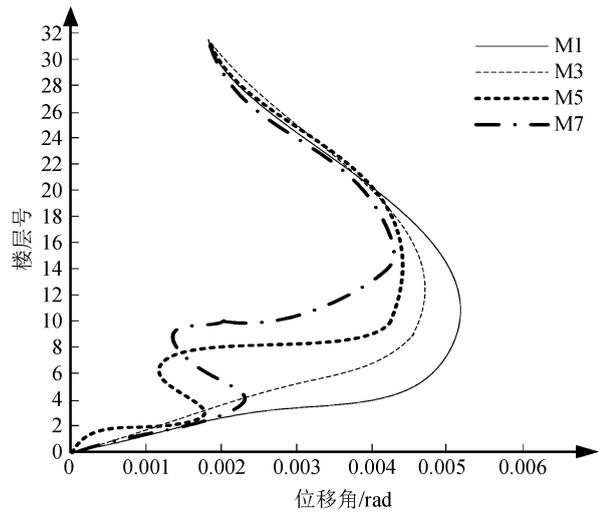


图 3 楼层位移角曲线图

Fig.3 Curves of inter-story displacement angle

各个位移角的最大层间位移角值均处于规定的安全数值 1/120 以下,说明剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能有很好的保护作用<sup>[11]</sup>,保证建筑在强烈地震下不会倒塌,一定程度上提高建筑的抗震能力。

图 4 中当剪力墙转换结构关键节点处于建筑的第 1 和 3 层时,框支层的楼层位移角曲线没有出现折线,为光滑的曲线,表明框支层的不同层级受力均匀<sup>[12]</sup>;而当剪力墙转换结构关键节点处于建筑的第 5 和 7 层时,楼层位移角曲线出现了转折,导致这些层的位移变化较大,层级的受力作用不均衡,但建筑结构在地震影响下不会出现毁坏情况,只会出现一些人体不易察觉的晃动<sup>[13]</sup>。说明在剪力墙转换结构关键节点位置不高时更加有助于建筑的抗震。

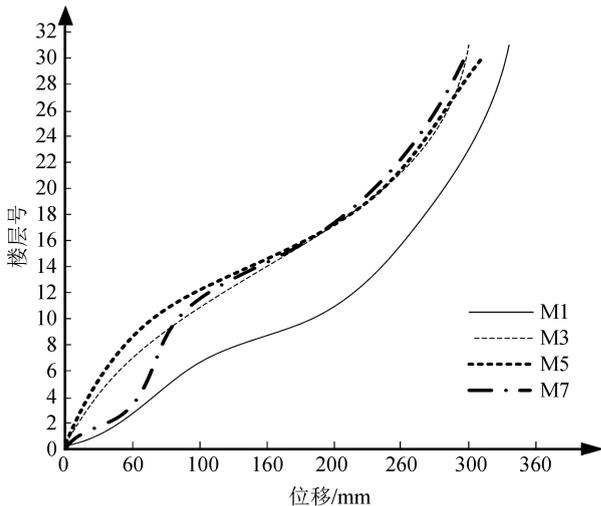


图 2 楼层位移曲线

Fig.2 Floor displacement curves

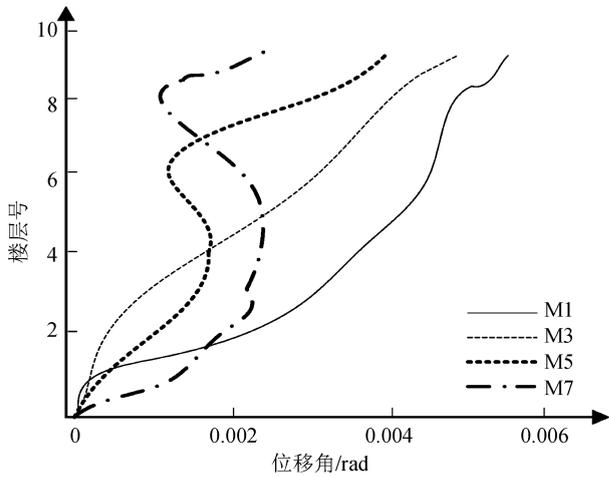


图4 框支层及转换层上两层楼层位移角曲线

Fig.4 Inter-story displacement angle curves of the upper two layers of frame-supporting layer and transfer layer

### 2.3 关键结点同楼层剪力关系

图5和图6分别为剪力墙转换结构关键结点处于整体结构的楼层剪力曲线图,框支层以及转换层上两层的楼层剪力曲线图,分析两图可以得出,在 seismic 干扰下,剪力墙转换结构关键结点处于第1和第3层时,两图中的剪力曲线均为光滑的曲线,不存在转折点发生剪力突变的现象,表明建筑结构的整体上下层刚度没有发生大幅度变化,没有出现建筑结构薄弱的楼层;当剪力墙转换结构关键结点处于第5层和第7层时,剪力曲线在转换层的下一层发生转折现象,表明剪力的变化在转换层的下一楼层,该楼层属于结构薄弱层。随着剪力墙转换结构关键结点位置的上升,出现转换层下层剪力骤变的现象,致使建筑结构刚度发生变化,但总体不影响建筑的

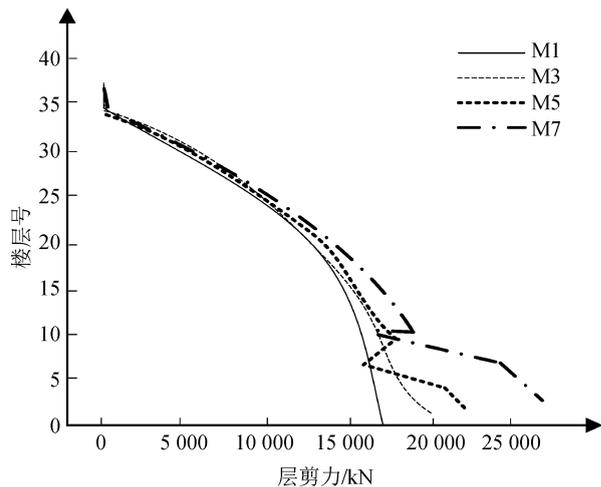


图5 整体结构楼层剪力曲线

Fig.5 Floor shear curves of the overall structure

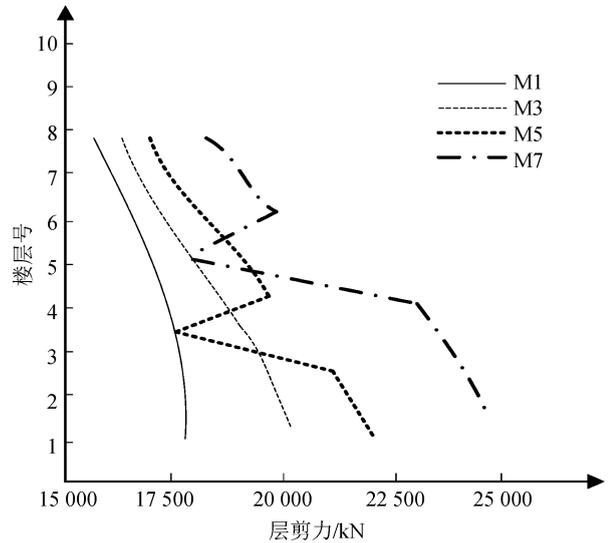


图6 框支层及转换层上两层楼层剪力曲线

Fig.6 Floor shear curves of the upper two layers of frame-supporting layer and transfer layer

抗震性能,而且在剪力曲线光滑时对建筑的抗震性能起到较大程度的辅助作用。

### 3 实验分析

为检测本文方法的有效性,进行一次实验。采用本文方法对某建筑抗震性能进行分析,并用实际建筑物模型作为研究对象,对抗震性能分析结果进行验证。图7为实验采用的建筑模型图,该模型为每一层 $35\text{ m}^2$ ,共19层,实验向该建筑模型的底部1~3层输入见表2所列的地震震级,从楼层的层间位移变化量来判断本文方法在应用中是否有效,将传统的动力弹塑性分析方法作为实验参照,图8和图9分别

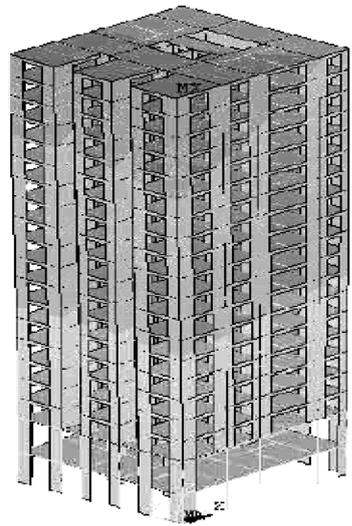


图7 建筑模型图

Fig.7 Building model diagram

表 2 不同震级及其释放能量

Table 2 Different magnitudes and their release energy

震级	名称	能量/J
一级	EQ1	$2.1 \times 10^6$
四级	EQ4	$6.4 \times 10^{10}$
六级	EQ6	$6.4 \times 10^{13}$
八级	EQ8	$3.66 \times 10^{16}$

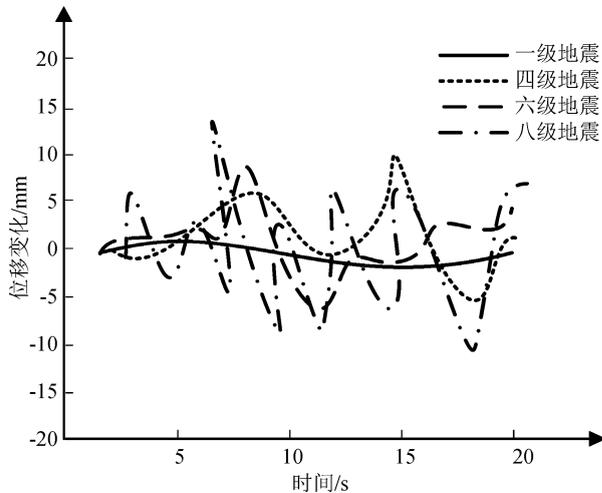


图 8 不同地震级别下本文方法建筑的层间位移变化结果

Fig.8 Inter-story displacement change of the building with proposed method under earthquakes with different magnitudes

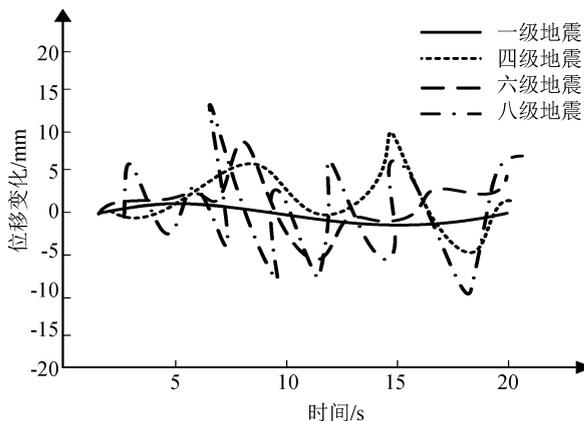


图 9 不同地震级别下动力弹塑性分析方法建筑的层间位移变化结果

Fig.9 Inter-story displacement change of the building with dynamic elasto-plastic analysis method under earthquakes with different magnitudes

为 2 种方法下实验建筑模型在不同地震级别下的层间位移变化结果。

从图 8 可以明显看出,本文方法在分析剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能影响时,在地震干扰影响较低时,建筑的层间位移变化几乎没有波动,随着地震干扰强度的加大,建筑的层间位移变化结果虽然略有起伏,但总体的位移变化仍在建筑的安全范围内。

图 9 可以直观的看出,采用动力弹塑性分析法分析建筑抗地震性能时,随着实验施加的震级逐渐增强,层间位移变化量也逐渐增大,建筑物受到的波动也越大,有可能会发生倒塌现象。对比分析图 8 和图 9 可得,采用本文方法分析的建筑抗震效果较好,因为本方法充分分析了剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能的影响。

上述实验结果的正确性,能够反映所提方法的有效性,即若该方法能够得以应用,那么对建筑的抗震性分析不需要进行实际测量,这使得建筑行业的质量评估更为便捷。为了验证以上所得实验结果的正确性,下面利用实体建筑模型来进行抗震性分析,此处抗震性是通过建筑层间位移来评价的。

现场模拟不同级别的地震,将每次震动都持续在 20 s,震动停止后,精准测量层间位移。在相同实验条件下,改变建筑模型的剪力墙转换结构关键节点,记录其层间位移。观察两次实验的数据,分析剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能的影响与理论分析结果是否一致。实验实际测试数据见表 3 所列。

由实际测量结果可知,该结果与仿真结果一致,有效验证了上文得出的结论,剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性有很大影响,对建筑的不同层进行剪力墙转换结构关键节点的合理处理,能够有效提高建筑的抗震性。

最后通过实验分析本文方法和动力弹塑性方法哪种可以快速的对建筑的抗震性能进行分析,对以上两种方法在不同震级下,第一次检测出楼层位移发生变化的用时进行精确测量,结果见表 4 所列。

分析表 4 数据可知,本文方法测得在不同震级

表 3 不同震级下建筑层间位移测量结果(单位:mm)

Table 3 Measurement result of inter-story displacement under different magnitudes (Unit:mm)

	一级震级下层间位移	四级震级下层间位移	六级震级下层间位移	八级震级下层间位移
原建筑模型	0.5	5.3	7.7	9.5
改变关键节点建筑模型	0.3	2.7	3.3	5.4

表4 两种方法测量楼层位移用时(单位:s)

Table 4 Time used for measuring floor displacement with the two methods (Unit:s)

震级	本文方法用时	弹塑性分析法用时
一级	0.825	1.865
四级	0.984 6	2.102
六级	0.823	2.241
八级	0.654 2	2.532

级下建筑第一次发生楼层位移时的用时均在 1 s 内,对地震发生产生的建筑位移可以在短时间内做出反应,而动力弹塑性分析法对建筑的抗震分析用时较长,说明本文方法可以高效率分析剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能的影响,具有较好的建筑抗震性能研究能力。

## 4 结论

本文方法分析剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能的影响,从剪力墙转换结构关键节点的确定、层间位移和位移角以及楼层剪力来研究建筑物的抗震性能,实现建筑抗震性能的准确分析。通过本文方法得到建筑剪力墙转换结构关键节点对建筑抗震性能会产生较大影响的结论,实验结果证明该结论具有可靠性,通过对剪力墙转换结构关键节点的处理,能够提高建筑抗震性能,为建筑行业的发展提供基础。

## 参考文献(References)

[1] 杨联萍,余少乐,张其林,等.不同轴压比下叠合板式剪力墙结构抗震性能分析[J].振动与冲击,2016,35(9):227-239.  
YANG Lianping, YU Shaole, ZHANG Qilin, et al. Aseismic Behavior of Superimposed Shear Walls under Different Axial Load Ratios[J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 35(9): 227-239.

[2] 王泽军,孔令仓,任家福.落地墙厚度对框支剪力墙结构抗震性能的影响研究[J].工业建筑,2014,44(7):42-45.  
WANG Zejun, KONG Lingcang, REN Jiafu. Study on Effect of Ground Wall Thickness on Seismic Performance of Frame-Supported Shear Wall Structures[J]. Industrial Construction, 2014, 44(7): 42-45.

[3] 李云峰,张风风,李赢涛.剪力墙的布置高度对框架-剪力墙结构抗震性能的影响[J].中国科技论文,2016,11(1):53-57.  
LI Yunfeng, ZHANG Fengfeng, LI Yingtao. Influence of Shear Wall Height on Seismic Performance of Frame Shear Wall Structure[J]. China Sciencepaper, 2016, 11(1): 53-57.

[4] 张小莉,陶帅.框支剪力墙转换结构的抗震性能分析[J].四川

建筑科学研究,2015,41(3):85-87.

ZHANG Xiaoli, TAO Shuai. Analysis the Seismic Behavior of Frame-Supported Shear Wall Transfer Structure[J]. Sichuan Building Science, 2015, 41(3): 85-87.

[5] 谢剑,王洋.内置短肢剪力墙结构抗震性能分析[J].建筑科学,2014,30(9):73-77.  
XIE Jian, WANG Yang. Seismic Performance Analysis of Internal Short Pier Shear Wall System[J]. Building Science, 2014, 30(9): 73-77.

[6] 黄慎江,刘海龙.等效侧向刚度比和转换层位置对梁式转换框支剪力墙抗震性能的影响[J].工程抗震与加固改造,2016,38(1):15-20.  
HUANG Shenjiang, LIU Hailong. Seismic Behavior Analysis of the Frame-supported Shear Wall with Beam-type by Equivalent Stiffness Ratio and Transfer Storey Location Changed[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2016, 38(1): 15-20.

[7] 刘杰,杨渝南,王飞,等.丹巴水电站引水隧洞开挖围岩流变分析[J].水利水电技术,2016,47(2):50-52.  
LIU Jie, YANG Yunan, WANG Fei, et al. Analysis on Rheological Characteristics of Surrounding Rock During Excavation of Diversion Tunnel for Danba Hydropower Station[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(2): 50-52.

[8] 朱爱萍,王敏,黄小坤,等.高烈度区低配筋多层剪力墙结构的抗震性能分析[J].建筑结构学报,2016,37(2):47-54.  
ZHU Aiping, WANG Min, HUANG Xiaokun, et al. Seismic Performance Analysis of Low Reinforcement Concrete Shear Wall Structure in High-intensity Regions[J]. Journal of Building Structures, 2016, 37(2): 47-54.

[9] 赵继伟,魏群,张国新.水利工程信息模型的构建及其应用[J].水利水电技术,2016,47(4):29-33.  
ZHAO Jiwei, WEI Qun, ZHANG Guoxin. Construction and Application of Water Resources Project Information Model[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2016, 47(4): 29-33.

[10] 姜鲁,刘元珍,王文婧,等.剪跨比对玻化微珠保温混凝土剪力墙抗震性能影响研究[J].科学技术与工程,2016,16(12):129-135.  
JIANG Lu, LIU Yuanzhen, WANG Wenjing, et al. Study on Seismic Behaviour of Glazed Hollow Bead Insulation Concrete Shear Wall with Different Shear Span Ratio[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(12): 129-135.

[11] 张淑云,赵辉辉.不同节点连接方式下钢板剪力墙抗震性能研究[J].钢结构,2016,31(7):22-25.  
ZHANG Shuyun, ZHAO Shuaihui. Research on the Seismic Performance of Steel Plate Shear Wall with Different Connection Modes[J]. Steel Construction, 2016, 31(7): 22-25.

[12] 范重,刘畅,吴徽.多连梁剪力墙抗震性能研究[J].建筑科学与工程学报,2014,31(4):125-134.  
FAN Zhong, LIU Chang, WU Hui. Research on Seismic Be-

- havior of Multi-coupling Beams in Shear Wall Structure[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2014, 31(4): 125-134.
- [13] 韩春,李青宁,姜维山.框架-剪力墙组合结构的拟动力试验研究[J].建筑钢结构进展,2016,18(1):23-28.
- HAN Chun, LI Qingning, JIANG Weishan. Pseudo-dynamic Test on Frame-shear Wall Structure[J]. Progress in Steel Building Structures, 2016, 18(1): 23-28.

\*\*\*\*\*  
(上接第 657 页)

- [5] 胡东萍.基于地理空间数据的地震诱发滑坡易感性统计模型研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- HU Dongping. The Study on the Susceptibility Statistical Model of Earthquake-induced Landslides Based on Geospatial Data [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.
- [6] 吴昊,叶献国,蒋庆,等.巨型框架结构基于易损性曲线的地震损伤评估[J].建筑结构,2018,48(1):46-49.
- WU Hao, YE Xianguo, JIANG Qing, et al. Vulnerability Curves-based Seismic Damage Assessment of Mega-frame Structures[J]. Building Structure, 2018, 48(1): 46-49.
- [7] CURADELLI R O, RIERA J D. Reliability Based Assessment of the Effectiveness of Metallic Dampers in Buildings under Seismic Excitations[J]. Engineering Structures, 2004, 26(13): 1931-1938.
- [8] SHEN J, SEKER O, AKBAS B, et al. Seismic Performance of Concentrically Braced Frames with and Without Brace Buckling[J]. Engineering Structures, 2017, 141: 461-481.
- [9] LI Y, ELLINGWOOD B R. Reliability of Woodframe Residential Construction Subjected to Earthquakes[J]. Structural Safety, 2007, 29(4): 294-307.
- [10] 戴君武,白文婷.偏心结构地震反应求解剪力-扭矩“三状态空间模型”[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2005,24(6):832-834.
- DAI Junwu, BAI Wenting. Shear-torque 3-state-space Model of Seismic Response Analysis for Asymmetric Structures[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2005, 24(6): 832-834.