

刘洁,郭鑫龙.阻尼填充墙优化布置对不规则框架结构抗震性能的影响[J].地震工程学报,2017,39(3):0411-0416.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.03.0411
LIU Jie, GUO Xin-long. Optimized Layout of Damping Infill Walls and Its Effect on the Seismic Behavior of Irregular Frame Structures[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(3): 0411-0416. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.03.0411

阻尼填充墙优化布置对不规则框架结构抗震性能的影响^①

刘 洁, 郭鑫龙

(郑州航空工业管理学院土木建筑工程学院, 河南 郑州 450000)

摘要:在不规则结构中,填充墙的表现对框架结构的局部以及整体抗震性能的表现显得非常重要。随着阻尼填充墙的深入研究,大大提高了框架填充墙结构的抗震性能。但由于阻尼填充墙施工工艺复杂、施工成本较高,很难得以大规模使用。为了实现既降低施工的难度和成本又提高框架结构的抗震性能,本文选取一座不规则框架结构对其地震表现进行分析。采用局部优化布置阻尼填充墙的方法,达到既提高结构抗震性能又降低施工难度和成本的要求,为框架填充墙结构的设计提供一定的建议。

关键词:阻尼填充墙; 框架结构; 优化布置; 抗震

中图分类号: P315.95; TU375.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)03-0411-06

DOI: 10.3969/j.issn.1013-0019.2017.03.0411

Optimized Layout of Damping Infill Walls and Its Effect on the Seismic Behavior of Irregular Frame Structures

LIU Jie, GUO Xin-long

(Department of Civil and Architectural, Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: The performance of infilled walls is very important in the local and global seismic performance of irregular frame structures. Continuous research on damping infill walls has greatly improved the seismic performance of infilled frames. However, complex construction technologies and high construction costs have rendered the large-scale use of this type of structure impractical. To reduce the difficulty and cost of construction and improve the seismic performance of the resulting frame structure, the anti-seismic performance of a damped infill wall in an irregular frame is studied. Considering the characteristics of an irregular frame structure, the damping infill wall is arranged in a variety of ways, and these layouts are compared via analyses of mode type, energy dissipation, and component utilization. Damping infill walls with better damping effects can be obtained when it is arranged in the position of each mode type. The utilization ratio of the structure changes when the damping infill wall is arranged around the member, and the energy consumption of the damping infill wall increases. This paper also proposes an optimal layout strategy of damping infill walls in irregular frame structures. Optimization of the local arrangement of damping infill walls is used to improve the seismic performance and reduce the construc-

① 收稿日期: 2017-03-07

基金项目: 国家自然科学基金(51508524); 河南省科技厅科技攻关项目(152102310373); 河南省教育厅(14B560016)

作者简介: 刘洁(1981—), 女, 博士, 讲师, 主要从事结构抗震方面工作。E-mail: liuj8110@gmail.com。

tion difficulty and cost requirements of the final structures. This work provides some suggestions for the design of infilled frame structures.

Key words: damping infill wall; frame structure; optimization arrangement; anti-seismic

0 引言

填充墙框架结构是我国现阶段应用最广泛的建筑结构形式之一。在“5·12”汶川地震中^[1],此类结构的填充墙的表现却不容乐观。原因包括:填充墙易引起短柱的破坏、窗下填充墙形成的短柱易遭到破坏、填充墙与框架结构间复杂的内力作用及梁底部填充墙向上的力使梁发生的弯剪破坏等。这种情况下,具有耗能能力的填充墙应运而生。

耿继芳^[2]根据金属耗能减振的机理提出了一种填充墙简易耗能装置,该装置在填充墙平面中心处设置钢筋框,并在该钢筋框内部填充材料代替砌块,利用该钢筋框的变形耗散地震能。瞿伟廉等^[3]通过在钢筋混凝土填充墙上端与框架结合处设置水平耗能横缝来进行耗能,在该结构中填充墙左右与框架柱无连接,下部与框架柱现浇钢筋混凝土框架或锚固钢框架,上部设置耗能元件。周云等^[4-5]进行了一系列具有耗能能力的填充墙的研究,设计了一种新型的阻尼填充墙结构,选用单层单跨钢框架填充墙模型作为研究对象,对空框架、传统填充墙框架和阻尼填充墙框架进行单调静力荷载作用下的响应分析。林坤^[6]对干砌体填充墙进行耗能机理及其在规则框架结构中的应用进行了研究。卢俊龙等^[7]将传统结构中填充墙与主体承重结构以刚度及阻尼元件连接,形成调谐质量减震(TMD)系统,通过在主结构中布置多榀 TMD 填充墙,构成多重质量调谐减震(MTMD)结构体系。克服了传统框架结构在动力荷载作用下不能持久耗能的缺点,利用目前常用的被动控制方案进行减震。在填充墙布置方面,李英民等^[8]研究了普通填充墙对框架结构的影响,对 6 层框架结构分别进行弹性、静力弹塑性和非线性动力分析,进而指出了填充墙的不对称布置对结构在强震中的不利影响。

从以上主要研究现状可以看出,对不同种类具有耗能能力的填充墙已经有不少的研究,但对于耗能填充墙在复杂结构中的优化布置还有待进一步深入。因此研究阻尼填充墙对不规则框架结构抗震性能的影响机理,并优化其布置方式是十分必要的。

1 工程概况

采用 Perform3D 进行本文模型分析,选取某三

层不规则钢框架结构(图 1),结构高度为 10.95 m;每层层高 3.65 m;地震波采用 PERFORM-3D 自带 El Centro,0.6g,墙体荷载采用 2.8 kN/m² 的标准荷载值。

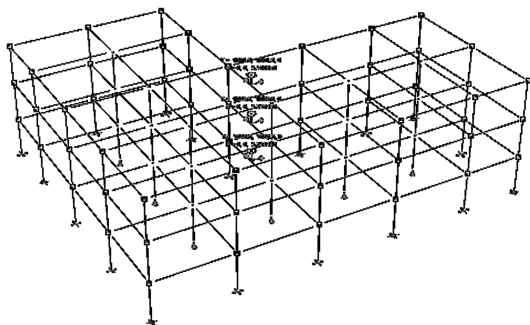


图 1 模型整体图

Fig.1 The whole model

阻尼填充墙(DIW)模型以文献[5]作为基础,结合课题组专利模型^[9],模型阻尼材料分布较为分散、各方向均有耗能的特点,对模型进行修正,即由两根串联有 SDE 单元的交叉斜撑组成,其中 SDE 单元是由弹簧元件和黏壶元件并联构成的集成单元。

2 阻尼填充墙优化布置

2.1 对比方案

阻尼填充墙不同位置的布置遵循以下几个方案:

- (1) 在布置阻尼墙数目相同的情况下,振型幅值较大位置与其他位置的比较;
- (2) 在布置阻尼墙数目相同的情况下,在建筑物外围布置与内部布置的比较;
- (3) 在布置阻尼墙数目相差不多的情况下,考虑构件利用率的布置比较;
- (4) 在布置阻尼墙数目相同的情况下,考虑框架不规则性的布置比较。

2.2 地震响应分析

控制指标选用耗能比来表征。耗能比指阻尼填充墙的耗能占地震输入结构的总能量,用该指标来表征阻尼填充墙的耗能贡献。

2.2.1 阻尼填充墙在阵型幅值最大处

经过 Perform-3D 软件分析后,由于前两阶振型均为平动,因此选取其中一阶振型即可。本文选取第二阶振型;由于第三阶振型为扭转振型,且较为典

型,同时也选取第三阶振型进行分析,然后选取这两个振型幅值最大处。即第一个振型为第二振型—平动振型,第二个振型为第三振型—扭转振型,振型如图 2 所示。

(1) 平动振型中,变形最大处在最左侧、右边底部两层。为便于对比,对照组在水平方向的位置保持不变,仅改变垂直方向的位置,分别在底部两层和顶部两层设置阻尼填充墙,同时考虑不同方向的地震波,地震波选取两个极值方向:一为顺波,另一为

逆波。

经过 Perform3D 分析可知,底部两层[图 3(a)]顺地震波的方向布置阻尼填充墙,其耗能比为 8.873%,逆地震波方向其耗能比为 7.398%;顶部两层[图 3(b)]顺地震波的方向布置阻尼填充墙其耗能比为 2.546%,逆地震波方向其耗能比为 2.375%。可以看出,地震波的方向对耗能比影响不大。由于底部变形幅值最大,在该处布置阻尼填充墙能够充分发挥作用,从而提高其抗震能力。

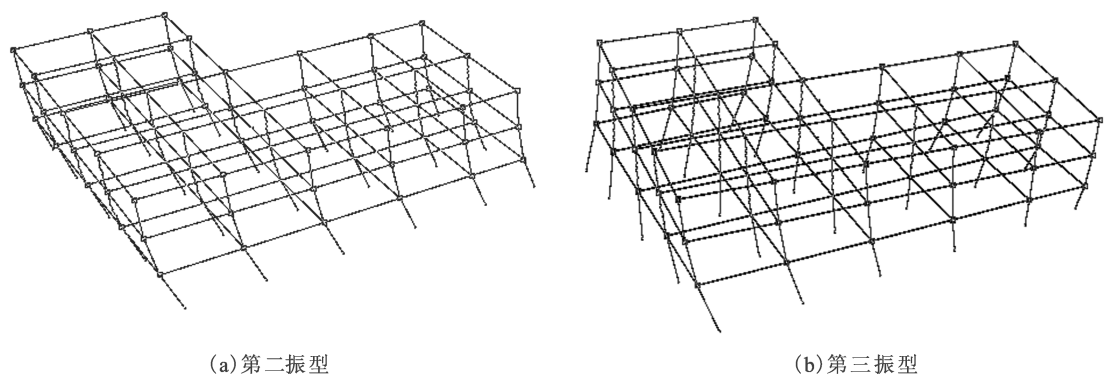


图 2 振型图

Fig.2 Mode shapes

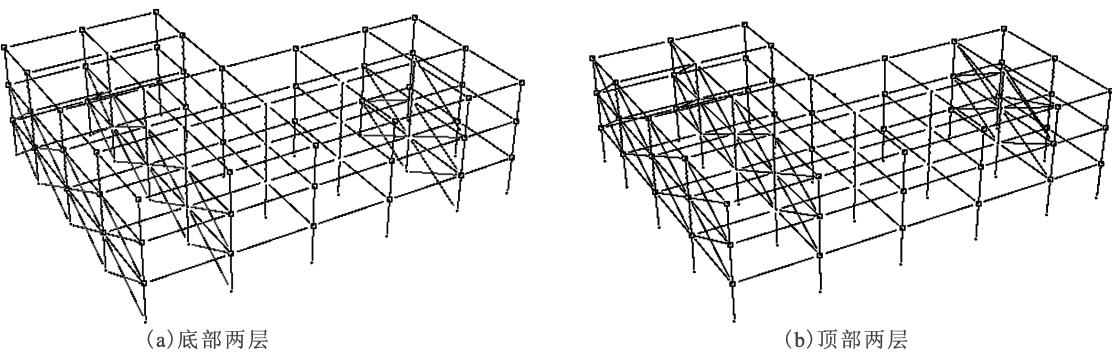


图 3 第二振型幅值最大处阻尼填充墙的布置方案对比

Fig.3 Comparison of damping infill wall layout schemes at the second mode's max amplitude

(2) 扭转振型中,各转角底层扭转变形较大,故一种方案布置在底部,对比方案布置在顶部(图 4)。

经过 Perform3D 分析可知,在框架转角底层的耗能比是 4.436%,而转角顶层的耗能比是 1.559%。可以看出,在第三振型中也能得出与第二振型类似的结论,即在振型幅值较大处布置效果最佳。

2.2.2 阻尼填充墙在建筑物外围布置与内部布置对比

为了避免满布填充墙带来的浪费,比较阻尼填充墙建筑物内、外部分别布置对抗震耗能的影响。在内、外部分别在同一层布置相等数量的阻尼填充

墙(图 5),同时检测地震波加载方向对其的影响,地震波仍然选取两个极值方向:一为顺波,另一为逆波。

顺波方向在建筑物内部布置三层,其耗能比为 6.639%;外围布置三层,其耗能比为 6.467%。逆波方向在建筑物内部布置三层,其耗能比为 5.382%;外围布置三层,其耗能比为 4.608%。

通过对比分析可以看出,无论地震波从哪个方向加载,对阻尼填充墙的抗震性能影响都不大,即阻尼填充墙在建筑物外围布置与内部布置影响也不大。

2.2.3 考虑构件利用率的布置

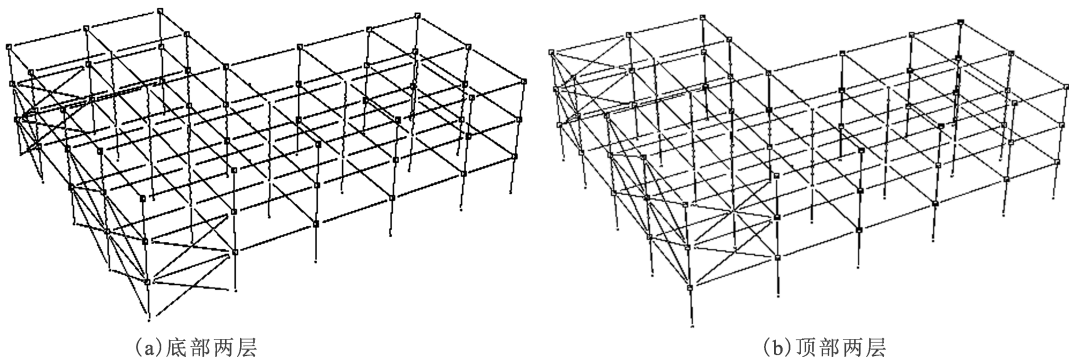


图 4 第三振型幅值最大处阻尼填充墙的布置方案对比

Fig.4 Comparison of damping infill wall layout schemes at the third mode's max amplitude

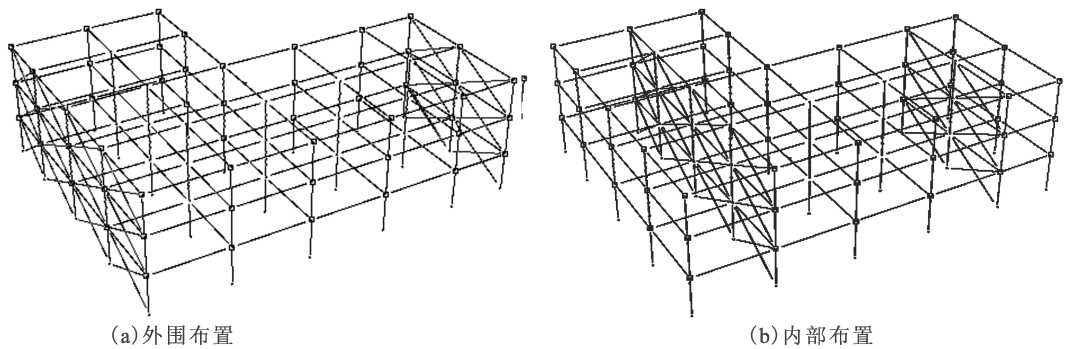


图 5 阻尼填充墙在建筑物外围布置与内部布置对比

Fig.5 Comparison of the building's exterior and interior layout of the damping infill wall

构件的利用是建筑物经济性与安全性的重要指标。构件利用率过低,安全富余过多,则不经济,提高了成本;构件利用率过高,则有超限的可能性,影响建筑物使用安全及外观美观。Perform 3D 软件可以充分体现这一性能。

通过软件分析,在没有布置阻尼填充墙的情况下,构件利用率如图 6 所示。

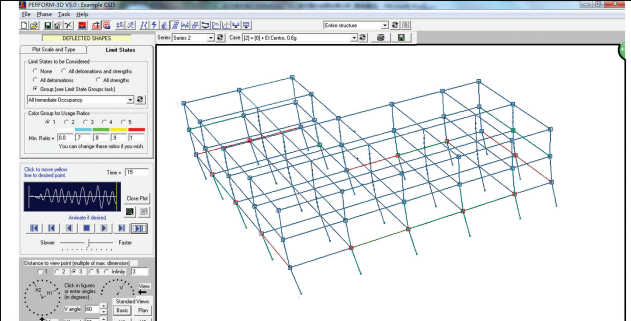


图 6 无阻尼填充墙布置的情况下构件利用率的分析
Fig.6 Analysis on the utilization ratio of components in the case of non damping infill wall layout

从图 6 中可以发现建筑物两短边利用率最高,所以欲通过布置阻尼填充墙降低构件利用率,提高结构安全性。为保证阻尼填充墙对称布置,防止不

对称变形,选取建筑物左右两侧对称布置,布置方式分别采用平行(含平面内)和垂直建筑物短边两种方案。为方便下文叙述,两方案分别记作方案 A 与方案 B(图 7)。

为使利用率的下降幅度更大、下降范围更广,采用平行与垂直两个方向共同布置(图 8)。

考虑建筑构件利用率布置时,将阻尼填充墙平行于短边布置(方案 A),可以降低与墙体平行构件的一定使用率,但与墙体垂直构件利用率不受影响甚至有增大迹象。本文共布置 20 块阻尼填充墙,耗能比为 6.529%。

垂直短边布置时(方案 B),与方案 A 相似,可以降低与墙体平行构件的一定使用率,但与墙体垂直构件利用率不受影响甚至有增大迹象。本文共布置 18 块阻尼填充墙,耗能比为 8.763%。

两个方向同时布置,经过分析,两个方向构件的利用率都有所降低(图 8)。本文共布置 30 块阻尼填充墙,耗能比例达 12.68%。

综上所述,与阻尼填充墙布置的平行位置,构件的利用率都有所降低,为了避免垂直墙体构件利用率增大,建议两个垂直方向同时布置阻尼填充墙。

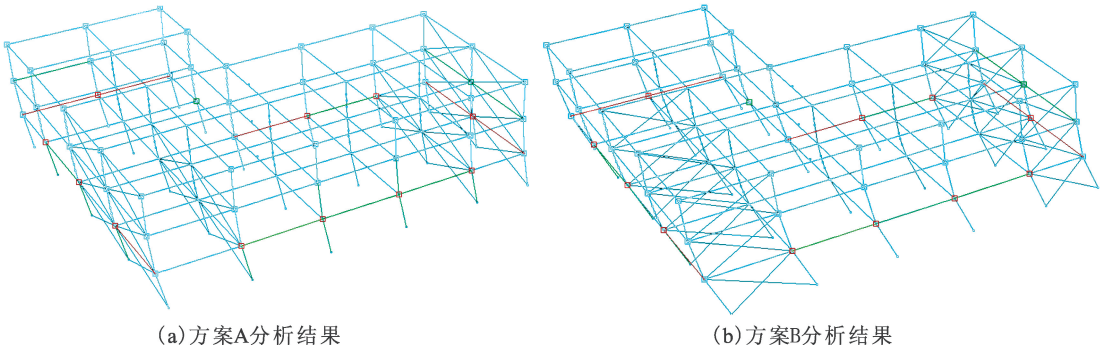


图 7 平行建筑物短边和垂直建筑物短边构件利用率对比分析

Fig.7 Comparative analysis on the utilization ratio of parallel to the short side and perpendicular to the short side of the building

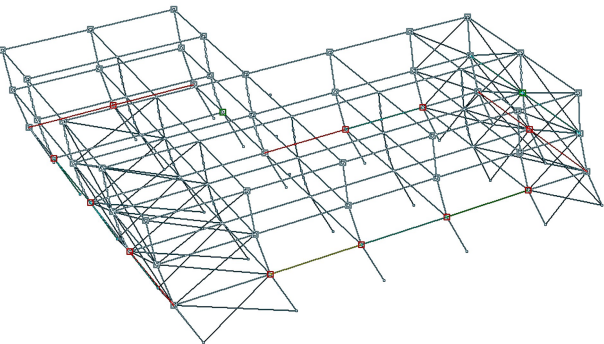


图 8 平行建筑物短边和垂直建筑物短边共同布置下构件利用率分析结果

Fig 8 The member's utilization ratio of parallel to the short side and perpendicular to the short side of the building together

2.2.4 考虑框架不规则性的布置

在建筑物不规则框架中,受力最复杂的位置在

框架的不规则处,此处变形复杂,传力不明确。

布置方案分别采用将不规则框架通过阻尼填充墙分割成规则框架,如方案 C1 和方案 C2[图 9(a)、(b)];在不规则处通过设置垂直放置的阻尼填充墙加强,如方案 D,此处耗能如图 9(c)所示。

三种方案均布置了 6 块阻尼填充墙,经过 Perform 3D 的分析,方案 C1 的耗能比为 2.203%,方案 C2 为 2.718%,方案 D 为 3.577%。结果表明:考虑建筑不规则形状时,将不规则形状分割成规则形状的方案不如在局部用阻尼填充墙加强耗能效果更好。同时在分割不规则形状中,尽量保留最大的规则形状、分割出最小的不规则形状时,耗能效果更优。

3 结论

在不规则结构中,填充墙的表现对框架结构的局部以及整体抗震性能的表现显得非常重要。本

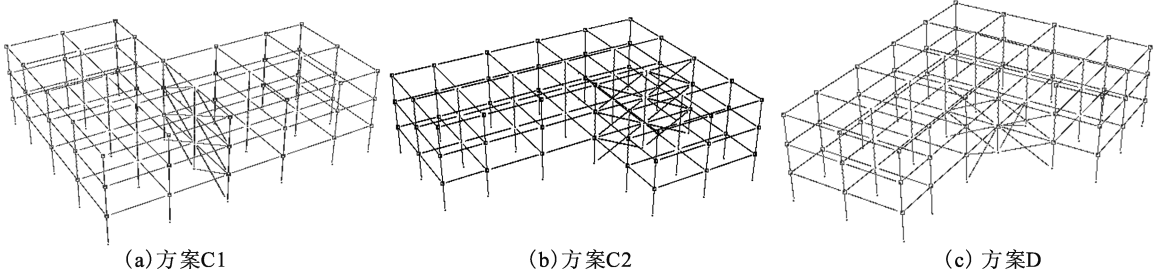


图 9 阻尼填充墙考虑框架的不规则性的三种布置方式

Fig.9 The three types' damping infill wall layout considering frame's irregularity

文选取一座不规则框架结构对其地震表现进行分析,采用局部优化布置阻尼填充墙的方法,利用 Perform 3D 进行分析,得出以下规律:

- (1) 布置在变形量大处的耗能明显好于变形量小处;
- (2) 布置在建筑物外围与内部区别不大;

(3) 考虑建筑构件利用率布置时,将阻尼填充墙沿利用率高的构件方向平行(平面内)布置可以降低构件的一定使用率,但耗能效果不如在其附近将阻尼填充墙垂直布置。故在布置时应两者结合,以求获得更好、更全面的抗震效果;

- (4) 考虑建筑不规则形状时,将不规则形状分

割成规则形状的方案不如在局部用阻尼填充墙加强耗能效果更好。同时在分割不规则形状中,尽量保留最大的规则形状、分割出最小的不规则形状时耗能效果更优。

综合以上分析,阻尼填充墙的合理优化布置能达到既提高结构抗震性能又降低施工难度和成本的要求,为框架填充墙结构的设计提供一定的建议。

参考文献(References)

[1] 吴志坚,车爱兰,王兰民,等.常时微动测试在汶川地震甘肃灾区建筑结构震害调查中的应用[J].西北地震学报,2009,31(1):86-90.
WU Zhi-jian,CHE Ai-lan,WANG Lan-min,et al.Application of Micro Tremor Observation on Disaster Investigation of the 2008 Wenchuan Earthquake for Building Structures in the Quake-hit Areas of Gansu Province[J].Northwestern Seismological Journal,2009,31(1):86-90.(in Chinese)

[2] 耿继芳.利用耗能填充墙提高框架结构减震作用的研究[D].兰州:兰州理工大学,2010.
GENG Ji-fang.The Research of Using Dissipation-energy In-filled Walls Improve the Energy Dissipation of Frame Structure [D].Lanzhou:Lanzhou University of Technology Master degree thesis,2010.(in Chinese)

[3] 瞿伟廉,盛克苏,李肇胤.设置耗能横缝的填充墙对多层框架地震反应的控制[J].建筑结构学报,1991,12(2):42-50.
QU Wei-lian,SHENG Ke-su,LI Zhao-yin.Control of Earthquake Responses of Multistory Frame Structures by Filler Wall with Hoirzontal Energy Dissipation Slit[J].Journal of Building Structures,1991,12(2):42-50.(in Chinese)

[4] 郭阳照,周云,甘英杰,等.新型框架阻尼填充墙性能分析[J].

振动与冲击,2013,32(14):127-133.

GUO Yang-zhao,ZHOU Yun,GAN Ying-jie,et al.Performance Analysis of a New-type Damped Infill Wall[J].Journal of Vibration and Shock,2013,32(14):127-133.(in Chinese)

[5] 周云,郭阳照,杨冠男,等.框架阻尼填充墙减震效果分析[J].建筑结构,2015,45(10):74-80.
ZHOU Yun,GUO Yang-zhao,YANG Guan-nan,et al.Seismic Reduction Effect Analysis on Damped Infill Wall Frame Structures[J].Building Structure,2015,45(10):74-80.(in Chinese)

[6] 林坤.干砌摩擦型填充墙框架结构耗能减振研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
LIN Kun.Energy Dissipation and Vibration Control of Reinforcement Concrete Frame With Rictional Dry-Stack Panel [D].Harbin:Harbin Institute of Technology,2012.(in Chinese)

[7] 卢俊龙,何明胜,田洁.地震作用下填充墙 MTMD 减震结构频域响应分析[J].振动与冲击,2013,32(18):136-140.
LU Jun-long,HE Ming-sheng,TIAN Jie.Response Analysis in Frequency Domain of an In-filled Wall MTMD Vibration Reduction Structure under Earthquake[J].Journal of Vibration and Shock,2013,32(18):136-140.(in Chinese)

[8] 李英民,韩军,田启祥,等.填充墙对框架结构抗震性能的影响[J].地震工程与工程振动,2009,29(3):51-58.
LI Ying-min,HAN Jun,TIAN Qi-xiang,et al.Study on Influence of Infilled Walls on Seismic Performance of RC Frame Structures[J].Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration,2009,29(3):51-58.(in Chinese)

[9] 刘洁,刘洪波,李超,等.开槽内嵌式砌块及含该砌块的阻尼填充墙:中国,ZL201520649518.8[P].2015-12-30.
LIU Jie,LIU Hong-bo,LI Chao,et al.Slotted Embedded Blocks and Damping Infill Walls Containing the Block:China,ZI201520649518.8[P].2015-12-30.(in Chinese)