

Low Yield Point Steel Consumption Damper Test and Simulation

Xinming Liang¹, Hao Li², Zheng Chen¹, Tongzhan Song^{2*}

¹Henan Tianfon Steel Structure Construction CO., Ltd., Xinxiang Henan

²Henan Tianfon Steel Structure CO., Ltd., Xinxiang Henan

Email: liangxinming@tianfon.com, lihao@tianfon.com, chenzhneg@tianfon.com, *songtongzhan@tianfon.com

Received: Jun. 26th, 2017; accepted: Jul. 10th, 2017; published: Jul. 14th, 2017

Abstract

The mechanical properties of low yield point steel are low yield point, strength, stability and deformation ability, so the application of low yield point steel is one of the important ways of structure deformation energy. This paper has carried out the analysis of the experiment and simulation of the low yield point steel suspension damper's power dissipation structure, and introduces the actual application in engineering.

Keywords

Low Yield Point Steel, Energy Dissipation Damper, Energy Dissipater Structure, Simulation Analysis

极低屈服点钢耗能阻尼器试验与模拟分析

梁新明¹, 李昊², 陈铮¹, 宋统战^{2*}

¹河南天丰钢结构建设有限公司, 河南 新乡

²河南天丰钢结构有限公司, 河南 新乡

Email: liangxinming@tianfon.com, lihao@tianfon.com, chenzhneg@tianfon.com, *songtongzhan@tianfon.com

收稿日期: 2017年6月26日; 录用日期: 2017年7月10日; 发布日期: 2017年7月14日

摘要

极低屈服点钢的力学性能是屈服点较低, 强度稳定, 变形能力强, 因此极低屈服点钢的应用成为结构变形耗能的一个重要途径, 本文对低屈服点钢阻尼器耗能减震结构进行了试验及模拟分析, 并介绍实际在工程中的应用情况。

*通讯作者。

关键词

低屈服点钢, 耗能阻尼器, 耗能器减震结构, 模拟分析

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

为了改善地震作用下建筑结构的工作性能, 多年来世界各地已开发出了各种耗能阻尼器, 其中用极低屈服点钢材制成的剪切钢板钢阻尼器可避免或减小中震后的修复工作, 并能显著降低大震作用下结构的损伤, 越来越受到工程界的重视。在建造 12#11 层钢框架结构住宅楼时安装了这种剪切型低屈服点钢阻尼器, 并进行了模拟试验, 以观察极低屈服点钢耗能阻尼器的结构在地震作用下[1]显现的现象。

2. 抗震耗能阻尼器效能减震原理简介

消能减震结构在小震和设计风荷载作用下, 消能部件基本处于弹性状态, 给主体结构提供足够的刚度, 使消能减震结构满足正常使用的要求, 在中震、大震及强震作用下, 消能阻尼器装置(器件)率先进入消能状态, 产生较大的阻尼, 大量耗散输入结构中的震动能量, 迅速衰减结构的动力反应, 而主体结构不出现明显非弹性现象, 从而确保结构在强震或强风中处于的安全和正常使用性状态。

消能减震的原理可以从能量的角度来阐述, 如图 1 所示, 结构在地震中任意时刻的能量方程为: 对于传统抗震结构: $E_m = E_r + E_k + E_c + E_h$;

对于消能减震结构: $E'_m = E'_r + E'_k + E'_c + E'_h + E_d$.

在上述能量方程中, E_r 、 E_k 和 E'_r 、 E'_k 仅是能量的转换, 不产生能量消耗, E_c 和 E'_c 一般只占总能量的很小部分(5%左右), 可忽略不计。对于传统的抗震结构, 主要依靠 E_h 消耗输入结构的地震能量, 因此, 结构构件在利用自身变形的同时, 构件本身将遭到损伤甚至破坏, 且消能越多, 破坏越严重; 而对于消能减震结构, 消能器或消能元件在主体结构进入非弹性状态前率先进入耗能工作状态, 充分发挥消能装置作用, 耗能大量输入结构的地震能量, 因而结构本身需耗散的能量很少, 结构反应将大大减小, 从而有效地保护了主体建筑结构, 使其免受损伤和破坏。

一般说来, 结构损伤与结构的最大变形 Δ_{\max} 和滞回耗能(或累积塑性变形) E_h 成正比, 可以用下式表达: $D_x = \int (\Delta_{\max} \cdot E_h)$.

在消能减震结构中, 由于最大(Δ'_{\max} 变形和构件的滞回耗能 E'_h 较传统抗震结构的最大变形 Δ_{\max} 和滞回耗能 E_h 大大减小, 使结构的损伤也大大减小, 从而达到减震的目的。因此, 消能减震体系越来越广泛地用于高层建筑、高耸建筑屋以及旧有建筑物抗震性能的改善等方面。

3. 研究对象

试验对象为建造 11 层钢框架结构[2]住宅楼(图 2), 框架柱的腹板以及翼缘实测屈服强度各为 325 MPa 和 335 MPa, 钢筋混凝土现浇楼板与水平钢梁用紧固件连接成为整体, 其水平刚度远大于柱子, 属于剪切型破坏模型, 该结构在不超过 0.8 cm/s^2 的地震作用下, 将处于弹性变形状态。

极低屈服点钢阻尼器在每层的两榀弱轴上通过间柱安装在上下层梁之间的中央部位, 每层自重 13.2 t。极低屈服点钢制成的耗能阻尼器形状尺寸及力学性能分别示于图 3 和表 1。

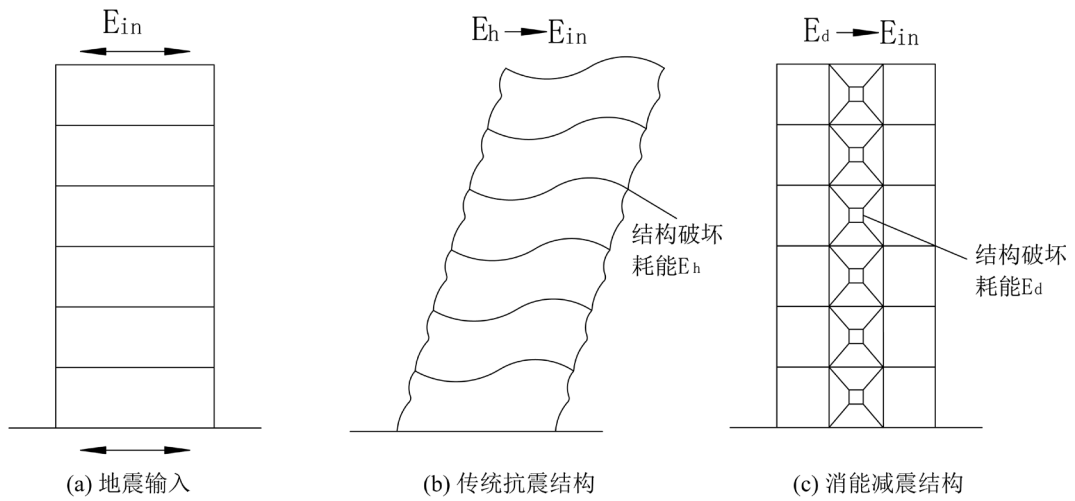


Figure 1. Illustrates the structural energy conversion approach
图 1. 结构能量转换途径对比

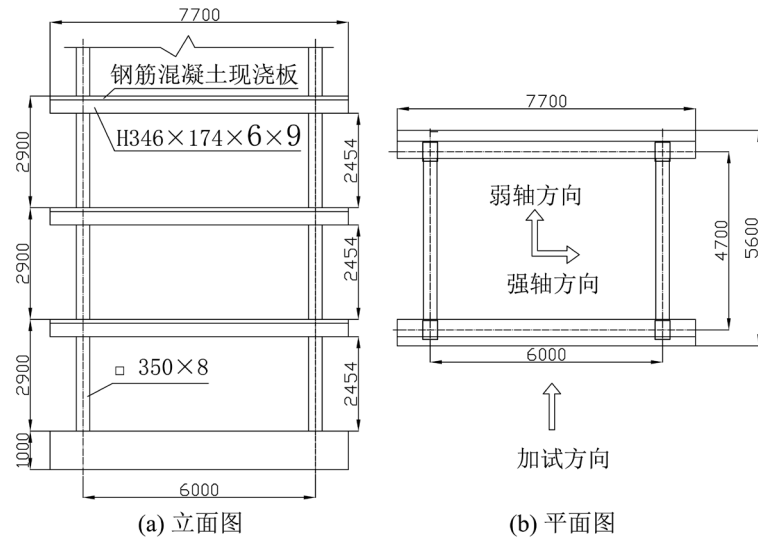


Figure 2. The form and dimension of the steel frame structure
图 2. 钢框架结构的形式及尺寸

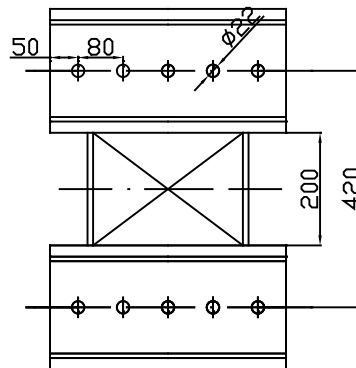


Figure 3. Damper
图 3. 阻尼器

Table 1. Low yield point steel-mechanical properties of BLY160Mpa
表 1. BLY160Mpa 低屈服点钢力学性能

牌号	Rp _{0.2} /MPa	Rm/MPa	A ₅₀ /%	YR/%	℃冲击功/J
BLY160	172	275	≥45	≤80	≥27

4. 试验方法

尽管低屈服点钢耗能阻尼器的几何形式多种多样，但都是通过低屈服点钢发生屈服滞回变形而耗散能量，因此低屈服点钢耗能减震能力的大小主要取决于其塑性变形能力的大小和耐疲劳性能，即滞回曲线是否丰满，这样研究符合实际情况的阻尼器-位移滞回模型成为关键。

模拟试验是将计算机系统与作动器系统联机进行的非周期加载试验，这种试验方法通过计算机系统智能控制，输入某一确定的地震的地面运动加速度，根据每一时刻静力加载获得试验结构的恢复力，由计算机数值积分求得位移，按这一位移进行下一步加载以测得新的恢复力，由于该系统将结构物的静力破坏试验与计算机数值分析进行联机，结构物的恢复力特性是实际测定的，所以可以提供比理论假设更为准确的恢复力特性，分析地震反应更切合实际。

5. 试验概况

5.1. 试验加载及测试装置

阻尼器主要是由中间腹板和两侧翼缘板组成，其耗能原理：在大的水平载荷(强震)下，当结构产生大的变形时，腹板发生剪切塑性变形，两侧翼缘发生弯曲塑性变形、从而消耗输入结构的能量。为了保证腹板有较大的延性和足够的屈曲后强度，翼缘必须有足够的刚度来约束腹板边界的转动。

阻尼器的性能试验在郑州大学工学院结构试验中心的压剪试验系统上完成。试验用加载装置竖向可加载 25000 KN，行程 ± 600 mm，水平可加载 2000 KN，行程 ± 200 mm，台面 1650 mm × 1650 mm，试件最大高度 320 mm，见图 4(a)所示，试验装置见图 4(b)所示，图 5 所示。在实际使用中，阻尼器将焊接在端板上并以螺栓或其它方式与结构相连。因此，在 ANSYS 分析试验模型中，采用位移加载控制方式[3][4]。ANSYS 分析模型如图 6 所示。

试验采用位移控制法，在计算机控制程序中输入性能试验的正弦简谐波荷载的位移和频率，由伺服控制系统给出指令来控制伺服作动器的运动，对阻尼器施加位移荷载。根据设定的采样频率，数据采集系统自动记录不同时刻的阻尼力与位移，并实时绘出 F-Δ 滞回曲线。

5.2. 试验结果

阻尼器在往复位移加载过程中，历经表面氧化层剥落，腹板平面外屈曲，表面斜向产生裂纹，裂纹扩展，构件破坏等五个阶段。图 7 试件在水平载荷作用下屈曲实况。对试验数据进行整理后，借助计算机和矩阵运算工具 ANSYS 的有限元法，进行如下操作：

① 选取钢结构阻尼器 BEAM23 单元：加载端的钢垫板采用 Solid45 单元模拟，可有效避免加载点的应力集中现象。

② 钢结构的本构关系和破坏准则：Beam23 单元破坏面为改进的 William 2 Warnke 五参数破坏曲面，采用 Mises 屈服准则和多线性随动强化模型(KINH)。

③ 有限元模型的单元划分：采用分离式的有限元模型。

④ 施加约束：在面上施加一个对称约束条件，将实体模型上的载荷传递到有限元模型，选择需要施加约束条件的面，创建节点组元，然后删除面上的对称约束条件和节点上的零位移约束，在节点组元上

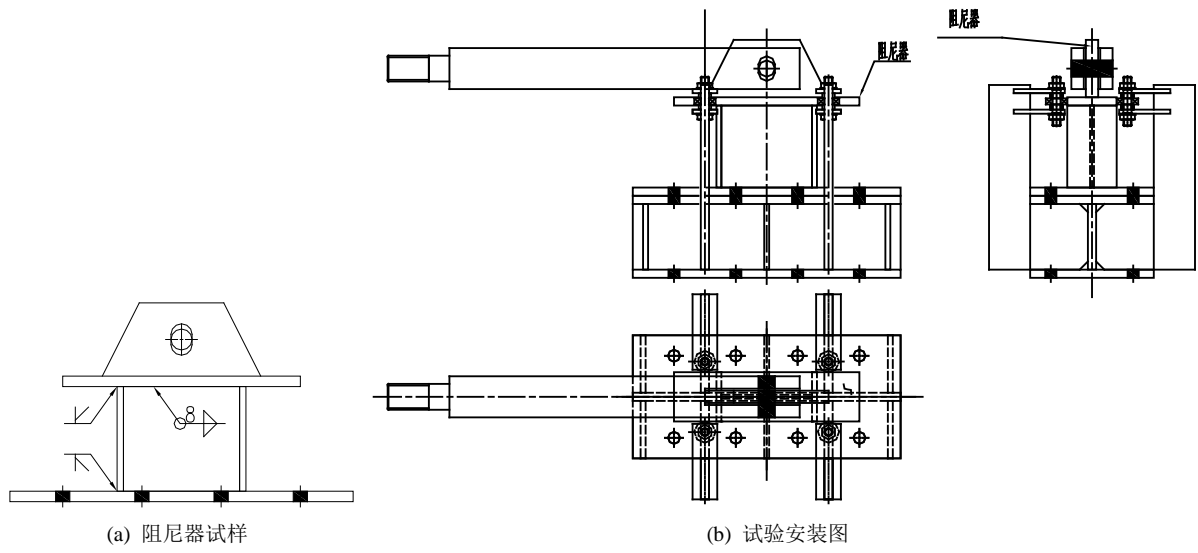


Figure 4. The dampers sample and installation diagram
图 4. 阻尼器试样及安装图

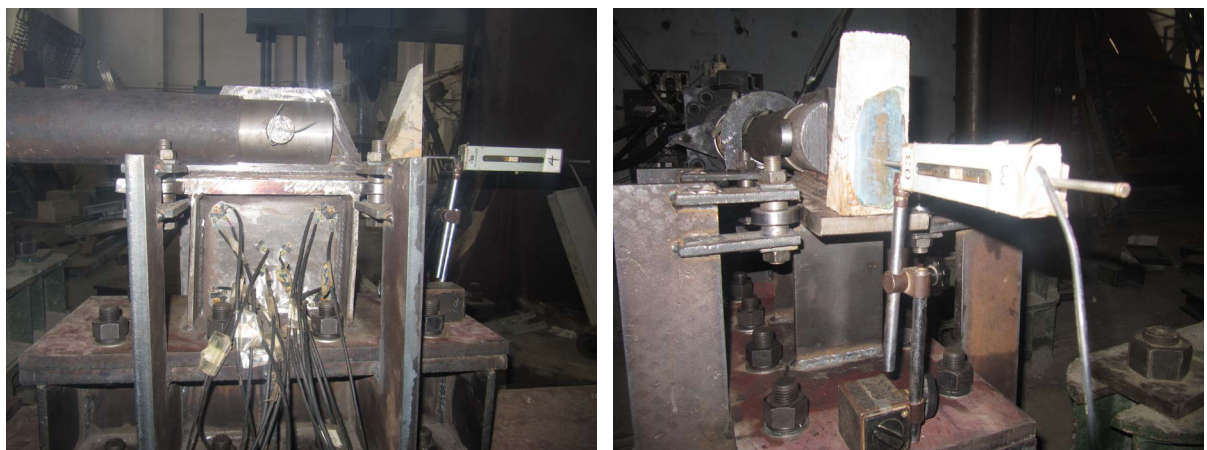


Figure 5. Test device
图 5. 试验装置

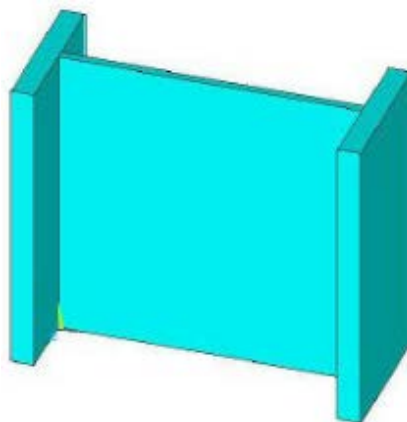


Figure 6. The ANSYS analysis model
图 6. ANSYS 分析模型

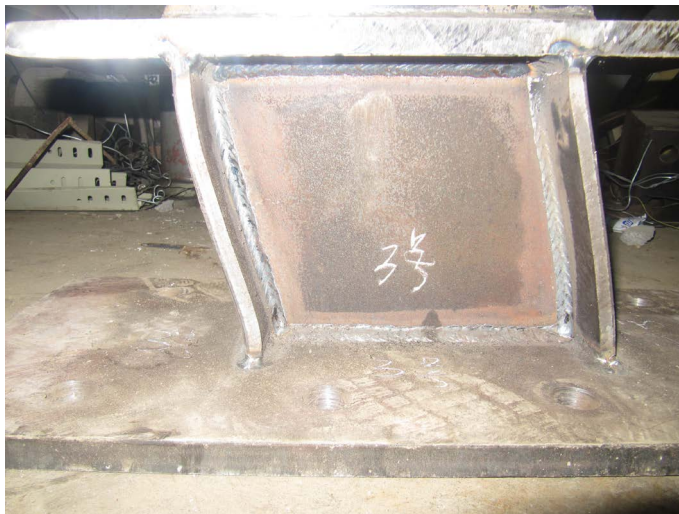


Figure 7. Deformation scenarios under horizontal force
图 7. 受水平力时变形情景

施加一个非零的法向位移约束。

⑤ 有限元加载过程及收敛的设置：按照试验加载方案进行低周反复荷载下滞回特性的有限元分析计算，整个加载过程按照施加位移控制。采取以下加载收敛措施：将每一个荷载步的荷载通过一系列的荷载子步施加，并多次调整荷载子步数进行试算；将每个荷载子步的迭代次数限值增加到 50 次；采用以力为基础的收敛准则，收敛精度放宽为 5%；打开自动时间分步与线性搜索选项，所有计算均进行至试验加载过程全部完成。

⑥ 计算完成后进入 ANSYS 的后处理界面，利用 APDL 参数化设计语言编制的命令流提取位移加载点的反力及顶部位移值，即可绘出了阻尼器的试验加载的正弦位移激励下的剪力-剪应变滞回曲线，见图 8 所示。

5.3. 阻尼器的试验与 ANSYS 分析结果对比分析

比较阻尼器性能试验所得的滞回曲线与 ANSYS 分析所得的滞回曲线吻合情况。图 9 为阻尼器性能试验与 ANSYS 分析滞回曲线的比较。从图上可以看出，阻尼器试验所得的曲线斜率与 ANSYS 分析所得有一定的误差，分析其原因主要是试验过程中阻尼器连接面与设备之间错动造成的。因此，可以说阻尼器的连接情况对阻尼器的耗能能力有很大影响，设计安装过程中要足够重视和加以考虑。

6. 典型应用

随着建筑物抗震设计技术水平的提高和抗震技术的发展，采用极低屈服点钢制作结构简单、性能稳定的剪切钢板阻尼器，经检测具有良好的抗震耗能性能，能够满足抗震设计规范的要求[5]。

目前，在我国使用极低屈服点钢制作的抗震构件应用案例还不是很多，图 10 是极低屈服点钢剪切钢板阻尼器在集团公寓楼中应用实景。随着高层建筑的增多及高层钢结构建筑设计水平的提高，低屈服点钢耗能阻尼器的应用将会越来越普及。

7. 结束语

地震是一种自然现象，具有突发性强、破坏性大和难于预测的特性，耗能减震阻尼技术是一种既安全、适用，而又经济、可靠，且适用范围广的技术措施。耗能减震装置——阻尼器作为一种新的结构体系

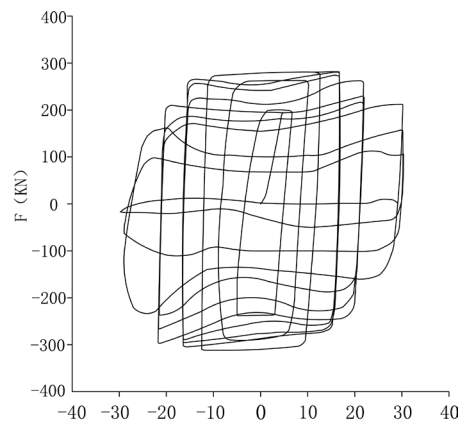


Figure 8. Repeated load test results for the dampers
图 8. 阻尼器的反复加载试验结果图

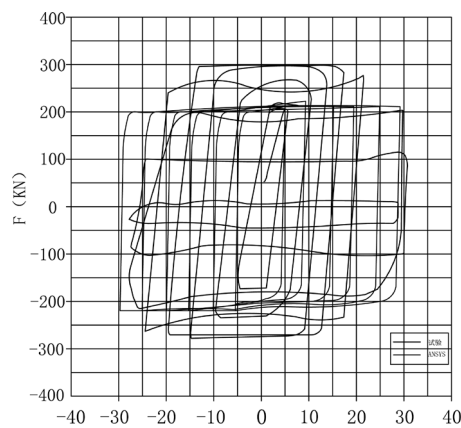


Figure 9. The comparison of the damped performance test with ANSYS analysis hysteresis curve
图 9. 阻尼器性能试验与 ANSYS 分析滞回曲线的对比

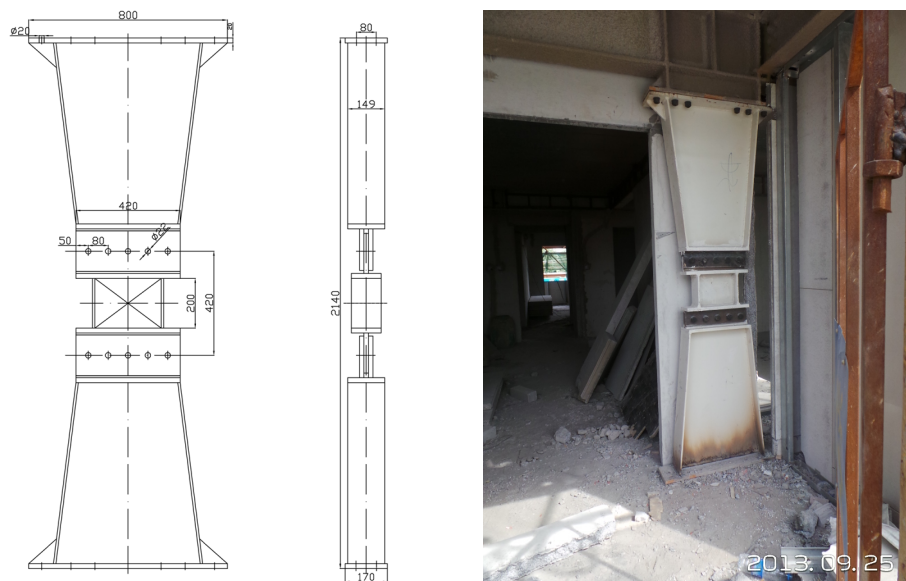


Figure 10. The steel shock absorber for the extremely low yield points is installed in the object
图 10. 极低屈服点钢抗震耗能阻尼器安装实物

将会成为结构中减震技术的有效途径，会广泛地应用到实际工程中，为减轻地震对人类造成的危害做出贡献。

参考文献 (References)

- [1] 吴从晓, 周云, 王廷彦. 金属耗能器的类型、性能及工程应用[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(1): 87-94.
- [2] 乐登, 邓雪松, 周云. 金属耗能器在结构抗震加固中的应用[J]. 震灾防御技术, 2006, 1(4): 309-318.
- [3] 邓凡平. ANSYS10.0 有限元分析[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [4] 郝文化. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [5] 李玉顺, 沈世钊. 安装软钢阻尼器的钢框架结构抗震性能研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2004, 36(12): 2623-2626.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org