

刘淼鑫. 钢板阻尼墙基于 Bouc-Wen 模型的模拟和工程应用研究[J]. 华南地震, 2019, 39 (1):46-49. [LIU Miaoxin. Research on Simulation and Engineering Applications of Steel Damping Wall Based on Bouc-Wen Model[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(1):46-49]

钢板阻尼墙基于 Bouc-Wen 模型的模拟和工程应用研究

刘淼鑫

(广东省建筑设计研究院, 广州 510010)

摘要: 钢板阻尼墙抗震性能好, 设计自由度大, 在工程中使用越来越多。为了更高精度地模拟钢板阻尼墙的力学性能, 提出基于 Bouc-Wen 模型的模拟分析方法。给出一种基于 Bouc-Wen 模型钢板阻尼墙参数辨识方法, 根据试验数据和仿真结果的验证对比, 文中提出的模拟方法可以较好地反映钢板阻尼墙的力学性能曲线。该模拟方法可得到较好的仿真效果, 对实际工程设计分析钢板阻尼墙对结构的抗震性能影响有高精度、数据化的帮助, 可为进一步工程应用和设计分析提供参考。

关键词: 钢板阻尼墙; Bouc-Wen 模型; 参数辨识; 工程应用

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)01-0046-04

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.01.008

Research on Simulation and Engineering Applications of Steel Damping Wall Based on Bouc-Wen Model

LIU Miaoxin

(The Architectural Design And Research Institute Of Guangdong Province, Guangzhou 510010, China)

Abstract: Steel damping wall shows good seismic performance and engineering design freedom, so it is applied with the popularity in engineering. In order to simulate the mechanical properties of steel plate damping wall accurately, this paper presents the new simulation method of Bouc-Wen Model. This paper presents a method based on the Bouc-Wen model to identify the parameters of Steel damping wall. The Comparison of experimental data and simulation results show that the proposed simulation method can reflect the mechanical properties of the steel damping wall. This indicates that the simulation method gives better simulation results, and it gives the actual engineering design analysis of the structure with steel damping walls a high-precision, data-oriented help, which provides a reference for further engineering analysis and design applications

Keywords: Steel damping wall; Bouc-Wen model; Parameter identification; Engineering applications.

收稿日期: 2018-04-15

第一作者: 刘淼鑫 (1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事结构设计和消能减震研究。

E-mail: liumx789@foxmail.com.

如今的建筑对结构的抗震性能要求越来越高,越来越多建筑开始使用消能减震设计。钢板阻尼墙具有设置自由度大,抗震性能稳定,耗能量大等特点,已经在多个抗震性能要求高的建筑中得到使用。

常用来模拟阻尼器力学性能的恢复力模型有双线性模型、Ramberg-Osgood 模型和 Bouc-Wen 模型。双线性模型表达简单,模拟方便,但模拟的屈服后变化过于粗糙,并不能实际反映材料的力学性能。Bouc-Wen 模拟材料进入非线性体现出来的滞回特性精度较高,能较好地模拟阻尼器力学性能,已得到较多的研究和应用。Smyth^[1](1999)采用 Bouc-Wen 模型模拟大型磁流变阻尼器动态性能等。吴从晓等^[2](2012)采用 Bouc-Wen 模型模拟钢铅粘弹性阻尼器的滞回性能,研究得出 Bouc-Wen 模型可以较好地模型该阻尼器光滑饱满的滞回曲线。龚顺明等^[3](2015)对黏弹性阻尼器进行振动台试验的基础上,采用 Bouc-Wen 模型模拟黏弹性阻尼器力学特征。周福霖^[4](1998)和周云^[5](2006)也对 Bouc-Wen 模型模拟模拟阻尼器力学性能做了大量研究。Bouc-Wen 模型是一种较复杂的非线性模型,其模型参数辨识具有一定的难度,研究基于 Bouc-Wen 模型的钢板阻尼墙模拟方法对其在建筑工程设计和应用的数据化、高精度有较大的帮助。

1 钢板阻尼墙工程应用

实际工程中,钢板阻尼墙配置到梁柱结构平面内,用高强螺栓连接固定到结构中,作为墙体一部分,不必处理平面外稳定和支撑临界力问题。钢板阻尼墙与结构连接见图 1,本文的钢板阻尼墙核心耗能钢材是日本进口钢材 LY225,钢材 LY225 的屈服承载力为 225 N/mm²,含碳量小于 0.1%,延伸率大于 40%,材料性能参见日本隔震协会《被动减震结构设计、施工手册》^[6]。

屈服承载力相近,但塑形变形耗能性能更优越,钢材 LY225 与钢材 Q235 性能对比见表 1。梁中预埋钢板,用螺杆螺母固定好后进行浇筑,见图 2。钢板阻尼墙不受设置位置影响,给建筑师更大的设计自由度。且安装很方便,耐久性好,现场安装照片见图 3,连接的高强螺栓采用 10.9 级 M22x100 六角头螺栓。SAP2000/ETABS 是常用于阻尼器装置在结构中消能减震性能的软件,SAP2000/ETABS 内置了 Bouc-Wen 模型的 LINK 单

元 -Plastic (wen)可模拟钢板阻尼墙性能。但 SAP2000/ETABS 内置的 Bouc-Wen 模型的模型参数是不能随意更改的,模型主要控制参数是固定值: $A=1$, $\beta=\gamma=0.5$, $n=1$ 。某工程采用 SAP2000 基于 Bouc-Wen 模型模拟钢板阻尼墙时程分析的滞回曲线的结果见图 4,因为模型主要控制参数是固定值,模拟结果与钢板阻尼墙实际性能有偏差。故基于 Bouc-Wen 模型对钢板阻尼墙力学性能的参数辨识和模拟方法研究,有助于钢板阻尼墙数据化、高精度地应用于实际工程设计中。

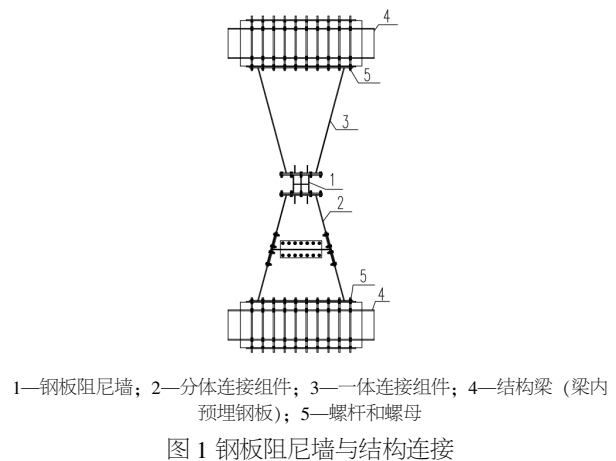


Fig1. Connection between steel damping wall and structure

表 1 LY225 和 Q235 性能比较
Table 1 Performance comparison between LY225 and Q235

钢种	含碳量/(%)	屈服强度/(N/mm ²)	伸长率/(%)
Q235	0.12~0.20	约 235	≥26
LY225	0.10 以下	约 225	≥40



图 2 梁中预埋钢板
Fig.2 Embedded steel plate in beam



图 3 现场安装照片
Fig.3 Site installation

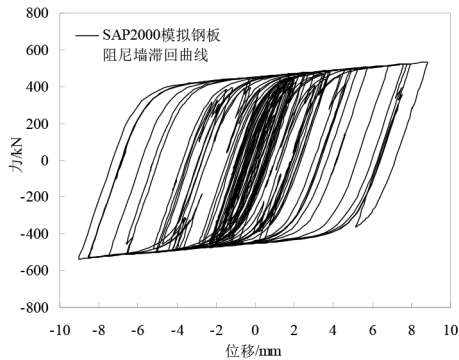


图4 某工程中 SAP2000 基于 Bouc-Wen 模型的模拟结果

Fig.4 Simulation results of SAP2000 based on Bouc-Wen model in a project

3 基于 Bouc-Wen 模型的模拟方法

Bouc-Wen 模型最开始由 Bouc(1967)提出,模型为一种由微分方程控制的光滑简洁的方程, Wen^[7](1976)改进了此模型。Bouc-Wen 模型的方程为:

$$F_d = \alpha K_d \dot{x}_d(t) + (1 - \alpha) K_d U_{yd} \dot{z}(t) \quad (1)$$

且满足

$$\dot{z} U_{yd} = \left\{ A - [\beta \operatorname{sgn}(\dot{x}_d \dot{z}) + \gamma] |z|^n \right\} \dot{x}_d \quad (2)$$

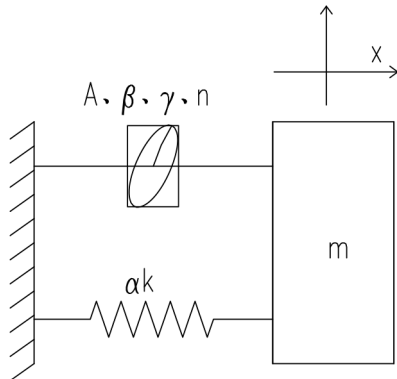


图5 Bouc-Wen 模型分解示意图

Fig.5 Decomposition diagram of Bouc-Wen model

式中, x_d 为相对位移, K_d 、 U_{yd} 为初始刚度和屈服位移, $z(t)$ 为滞回位移, A 、 α 、 β 、 γ 、 n 为滞回曲线 5 个控制参数。Bouc-Wen 模型分解示意图见图 5。参数 α 为屈服后与屈服前的刚度比; 参数 β 、 γ 影响材料的非线性刚度和非线性阻尼情况; 参数 n 影响滞回曲线的光滑度, n 较小时, 曲线比较光滑, n 越大越接近于双线性模型。要较好地得到反映阻尼墙力学性能的 Bouc-Wen 模型, 需要对以上 5 个参数进行有效的参数辨识, 模型参数辨识方法如下:

(1) 需要提取阻尼墙试件的试验数据, 根据试验实测得到试件的初始刚度值 K_d 和屈服位移 U_{yd} 。

(2) 在 MATLAB 中编程, 输入 Bouc-Wen 模型

的方程式, 并设置 A 、 α 、 β 、 γ 、 n 这 5 个控制参数为未知量。

(3) 导入试验数据, 用非线性最小二乘曲线拟合去拟合分析, 给出预估参数值, 由误差平方和最小化拟合分析得到 5 个参数值。

(4) 根据非线性最小二乘曲线拟合法得到的 5 个参数代入 Bouc-Wen 模型的方程式, 模拟曲线与实际试验曲线对比, 验证可靠性。

Bouc-Wen 模型参数辨识流程图见图 6。

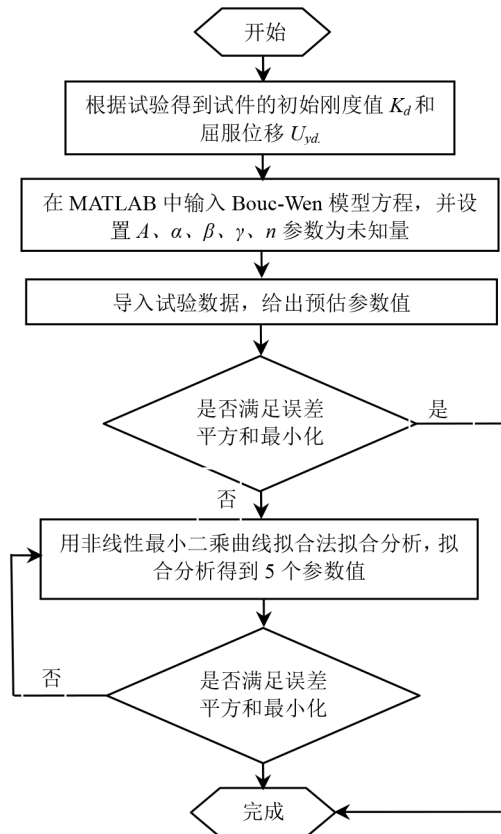


图6 Bouc-Wen 模型参数辨识流程图

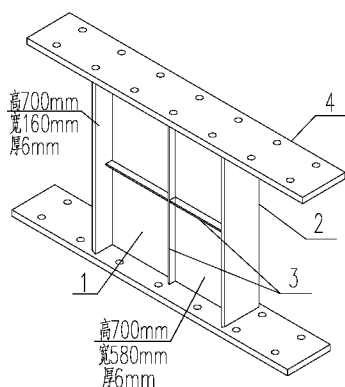
Fig. 6 Flow chart of parameters identification of Bouc-Wen model

4 钢板阻尼墙试验验证

本文钢板阻尼墙属于剪切屈服型软钢阻尼器, 钢板阻尼墙试验试件取核心耗能部分: 分别为腹板(软钢 LY225), 外框钢板, 加劲肋和上下端板, 见图 7。腹板钢材为 LY225, 腹板高 700 mm, 宽 580 mm, 厚 6 mm。外框钢板(起到约束边界作用)材料为 Q345 钢材, 尺寸为高 700 mm, 宽 160 mm, 厚 6 mm, 腹板每侧各一个, 全熔透与腹板连接。加劲肋(提高对腹板的有效约束)尺寸为宽 20 mm, 厚 6 mm, 采用角焊缝连接; 加劲肋双侧对称布置, 其中竖向加劲肋连续不断开布置。

试验的加载设备为 3 000 kN 的 MTS 电液伺服, 钢板阻尼墙试件安装于钢框架内进行拟静力往复加载试验。试验试件布置图见图 8。试验的加载控制方式采用位移控制, 加载幅值从 0.5 mm 逐级增到 30 mm, 每级加载 2 圈。选用三级波为加载波形, 加载频率为 0.02 Hz。

根据上节 Bouc-Wen 模型模拟方法, 模拟钢板阻尼墙力学性能。试件屈服位移和初始刚度为试验的实测值: 钢板阻尼墙试件屈服位移 $U_{yd}=1.47$ mm, 初始刚度 $K_d=316.52$ kN/mm。根据上节 Bouc-Wen 参数辨识程序得到模型控制参数值: $A=1$, $\alpha=0.011$, $\beta=0.5$, $\gamma=0.05$, $n=1$ 。试验和模拟的滞回曲线对比见图 9, 其中细实线为试验的滞回曲线, 粗虚线为模拟的滞回曲线。图 9 对比可见, 钢板阻尼墙的试验滞回曲线无明显屈服段, 而 Bouc-Wen 模型为微分方程, 可较好地模拟其真实性能曲线的光滑段。通过滞回曲线数据对比得到, 试件试验和模拟的累积滞回面积相差 6.2%, 可见 Bouc-Wen 模型模拟曲线与试验的滞回曲线很接近。本文 Bouc-Wen 模型模拟方法可以较好地仿真模拟钢板阻尼墙的力学性能。



1—软钢腹板; 2—外框钢板; 3—加劲肋; 4—端板

图 7 试件构造图

Fig.7 Specimen construction



图 8 试验试件布置图

Fig.8 Specimen arrangement

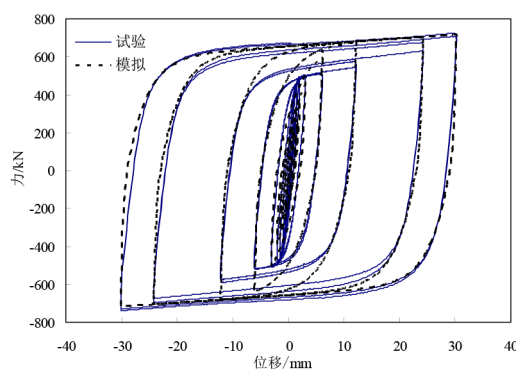


图 9 试验与模拟滞回曲线对比

Fig.9 Comparison of hysteresis curves between test and simulation

4 总结

为研究钢板阻尼墙的力学性能, 采用 Bouc-Wen 模型对其模拟分析, 根据试验数据, 基于非线性最小二乘曲线拟合法, 有效地辨识出反映钢板阻尼墙力学性能的 Bouc-Wen 模型参数。本文 Bouc-Wen 模型模拟的参数辨识方法, 模拟仿真曲线和试验曲线结果非常接近, 证明本文提出的模拟方法是可靠的, 可以得到较好的仿真效果, 对实际工程设计分析钢板阻尼墙在结构中的抗震性能有高精度、数据化的帮助, 为进一步工程应用和设计分析提供参考。

参考文献:

- [1] Smyth A.W. On-Line Parametric Identification of MDOF Nonlinear Hysteretic Systems [J]. Journal of Engineering Mechanics, 1999, 125(2): 133-142.
- [2] 吴从晓, 周云, 邓雪松. 钢铅粘弹性阻尼器试验研究[J]. 工程力学, 2012, 29(3): 150-155.
- [3] 龚顺明, 周颖, 吕西林. 带黏弹性阻尼器结构振动台试验数值模拟[J]. 工程力学, 2015(s1): 226-232.
- [4] 周福霖. 工程结构减震控制[M]. 北京: 地震出版社, 1997
- [5] 周云. 耗能减震加固技术与设计方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [6] 日本隔震协会. 被动减震结构设计、施工手册(原著第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008
- [7] Wen Y.K. Method for Random Vibration of Hysteretic System [J]. Journal of the Engineering Mechanics Division, 1976, 102(2): 249-263.