文章编号: 2096-1472(2020)-06-01-03

DOI:10.19644/j.cnki.issn2096-1472.2020.06.001

基于ABAQUS的C型金属阻尼器仿真设计

陶文兵,沈景凤,王正东,田 顺

(上海理工大学机械工程学院,上海 200093)⊠740162240@qq.com; sh_jf@163.com; 1215095764@qq.com; 1115631065@qq.com



摘 要:针对目前C型金属阻尼器在阻尼单元尺寸结构设计方面存在尺寸参数过少,结构过于简单和实际应用 中的效果误差太大等问题。应用分类和系统设计方法,基于参数模型模拟阻尼器在受力载荷下时应力应变情况,运用 ABAQUS对三款不同初始角度的金属阻尼器单元进行了仿真设计,结果表明三款阻尼单元弹塑性过渡阶段、塑性阶段后 的屈服刚度与初始刚度的比值分别在2.8和17左右,与工程应用中的钢材经验计算比值3和20十分接近,符合实际状况。

关键词:金属阻尼,单元设计,仿真,ABAQUS

中图分类号: TP319 文献标识码: A

Simulation Design of C-Type Metal Damper based on ABAQUS

TAO Wenbing, SHEN Jingfeng, WANG Zhengdong, TIAN Shun

(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China) Markov Science and Technology, Shanghai 200093, China) Markov Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: There are many problems in design of damping element size structure for C-type metal damper, including too few dimension parameters, over-simplified structure, big effect error in practical application, etc. Through the method of classification and system design, the stress and strain of the damper are simulated based on the parameter model. Three metal damping elements with different initial angles are designed by using ABAQUS. The results show that the ratios of yield stiffness to initial stiffness of three damping elements are around 2.8 and 17, respectively during and after the elastic-plastic stage, which are very close to the ratios of 3 and 20 in empirical calculation of steel in engineering application, in line with the actual situation.

Keywords: metal damping; unit design; simulation; ABAQUS

1 引言(Introduction)

C型金属阻尼器是以多片C形状的金属阻尼单元为基础, 以某种支座连接组合而成的具有阻尼性能的装置。工作原理 是通过阻尼单元的拉弯塑性形变消耗水平方向的地震力,从 而保护桥梁主体结构免于破坏,其材料一般是软钢或高强度 钢,其构造主要由支座和阻尼单元两部分连接组成,支座又 可以为普通钢阻尼支座、高阻尼橡胶支座、球型钢支座与球 型支座,后三者平常与普通钢支座作用类似,地震时发挥阻 尼器作用,能有效地消耗竖向震动能量,通过极小的工程投 入,极大程度上提升了桥梁的可靠性和耐久性。

金属阻尼器的设计^[1-4]属于直接基于位移的抗震设计, 即在一定程度的载荷下,阻尼器以预期的位移反应为设计目标,从而实现整体构造在地震作用下对阻尼性能的要求。在 2003年,Lin等^[5-8]提出了基于位移方法设计的消能减震结构 流程。周云等将直接基于位移的设计方法引入到基础隔震结 构设计当中,提出了基于隔震结构基于位移设计的位移指标 和设计准则,给出了明确的设计位移反应谱及设计步骤^[9,10]。 我国目前抗震设计仍采用以力为基础的加速度反应谱设计方 法,探索相对可行的消能减震结构及元件的设计方法,并以 此为推广和使用的理论基础是我国目前亟待解决的问题。

本文应用分类和系统设计方法,基于参数模型模拟阻尼 器在受力载荷下时应力应变情况,运用ABAQUS对三款不同 初始角度的金属阻尼器单元进行仿真设计,很好地完成了对 于C型金属阻尼单元的结构设计并满足相应的消能减震要求。

2 仿真(Simulation)

2.1 材料附加

C形金属阻尼单元采用Q345B钢材制作,应用有限元软件

ABAQUS模拟^[11]C形阻尼器的静力加载过程的位移大小,模 拟时对于设计初始角为15°、20°、25°的阻尼元件选用三 维可变形的实体单元,试件材料采用已测标定的Q345钢材在 循环荷载作用下的混合本构模型关键材料参数(表1)。

表1 Q345钢应力、应变数据

Tab.1 Stress and strain data of Q345 steel

应力(MPa)	应变	塑性应变
345	0.00164	0
345	0.02	0.01813
600	0.15	0.13659
620	0.2	0.17901
550	0.24	0.21216

钢材的密度取7.85g/cm3,弹性模量取210Gpa, 泊松比 取0.3。材料屈服准则采用Von Mises屈服准则,即在一定 的变形条件下, 当受力物体内一点的等效应力达到某一定值 时,该点就开始进入塑性状态。

2.2 单元类型及网格划分

在C型金属阻尼器的实际设计结构中,螺栓起连接耗能 单元和支座的作用,将阻尼单元两端孔分别固定在上下底板 上。在模拟分析中可以对模型进行简化,如图1(a)所示,将 两螺栓孔用螺栓固定住。另外,螺栓孔也可忽略,用Tie约束 来表示螺栓连接的作用。最终阻尼单元的简化几何模型如图 1(b)所示,网格划分采用实体单元二次六面体减缩积分单元 C3D20R





(a)固定方式图

(b)固定方式简化图

图1网格划分 Fig.1 Mesh generation

2.3 仿真过程

以15°初始角为例进行仿真分析,拉伸过程分为弹性和 塑形形变,弹性阶段从100kN到175kN,每隔25kN仿真一次得 到四个应力应变图, 而200kN到设计应力250kN及以上包含了 弹性形变与塑形形变,以每隔50kN仿真一次得到四个应力应 变图。

(1)弹性阶段

100kN到175的应变是等差值变化的,所以此阶段为弹性 变形阶段。



(a)100kN应力应变

(b)125kN应力应变



(c)150kN应力应变 (d)175kN应力应变 图2 100kN-175kN拉伸应力应变 Fig.2 100kN-175kN tensile stress and strain

(2) 弹塑性过渡阶段

200kN的值与100kN-175kN每小段变化值基本相同,在 250kN时,红色部分已经基本涵盖了整个表面,且应变的变化 幅度较前面大。



图 3 200kN-250kN拉伸应力应变 Fig.3 200kN-250kN tensile stress and strain (3)塑性阶段

300kN时,阻尼单元已经趋于完美应变状态,350kN后红 色部分在中性层左右交叉,表明阻尼单元已经破坏。





(a)300kN应力应变

(b)350kN应力应变

Fig.4 300kN-350kN tensile stress and strain 阻尼单元的工作状态中不仅仅存在拉伸过程,也有压缩 过程,弹性阶段应力应变基本一致,塑性阶段仿真加载力从 200kN到350kN,得到应力应变图。

图4 300kN-350kN拉伸应力应变



(c)300kN应力应变 (d)350kN应力应变 图5 200kN-350kN压缩应力应变 Fig.5 200kN-350kN compressive stress and strain 15°初始角阻尼单元仿真压缩在200kN、250kN、300kN 的时候的位移与拉伸时候的基本一致,误差在10%以内,而 在350kN的时候,应变位移为301.43mm,远远大于拉伸时的 234.61mm,基本判定为失效。在拉伸力为300kN时的应力为 459MPa,小于材料的极限强度490MPa<抗拉强度<620MPa, 满足材料强度要求,因此可以用拉伸100kN—300kN作为本次 仿真的受力范围。拉伸应力应变,如表2所示。

表2 仿真分析应力应变结果

Tab.2 Simu	lation analysis	of stress and s	strain results
受力/kN	15°位移/mm	20°位移/mm	25° 位移/mm
100	12.16	11.25	10.43
125	15.14	13.91	12.93
150	18.1	16.65	15.49
175	21.05	19.36	17.99
200	26.89	24.56	22.69
250	46.01	42.69	39.12
300	145.26	136.35	131.83
350	234.61	217.46	209.74

3 仿真分析(Simulation analysis)

将有效应力与应变位移以坐标图6的形式呈现可以发现, 三种不同初始角度设计出来的阻尼单元在拉力变大的情况 下,应变趋势基本相同,差距比较小。



Fig.6 Load-strain of three models

将图6(d)转变为图7应变一载荷图,可以明显发现在 200kN以前是应力按比例随着位移的增加而增加,200kN到 250kN是弹性阶段到塑性阶段过度的阶段,里面包含着部分弹 性阶段和部分塑形阶段,250kN以后为全塑形阶段,因此位移 增加很大一段,应力才小幅度增加。





在受到应力相同情况下时候,位移按照初始角15°、 20°、25°的设定下由大到小变化,这说明了在设计地震力 要求一定时,15°初始角制成的金属阻尼单元有更好的延伸 性,而25°初始角制成的金属阻尼单元的进入耗能状态最 快,三者中最先达到设计强度要求。

由于设计阻尼单元尺寸时候,三者的尺寸不一样, 15°、20°、30°初始角模型的两螺栓点初始距离分别为 1489.04mm、1402.43mm、1295.93mm,以应变位移除以 初始距离,可以得到单位比例位移下的应变位移一应力关系 图。

表3 相对初始长度应变位移百分比表

Tab.3 Percentage of strain displacement relative to					
initial length					
位移 力	15° (%)	20° (%)	25° (%)		
100kN	0.817	0.802	0.805		
125kN	1.018	0.992	0.998		
150kN	1.216	1.187	1.196		
175kN	1.414	1.383	1.397		
200kN	1.806	1.751	1.752		
250kN	3.09	3.044	3.021		
300kN	9.76	9.72	10.18		



图8 应变位移百分比—载荷

Fig.8 Strain displacement percentage-load

从图8可以明显发现,尽管三种阻尼单元的位移相对而 言,15°的延伸性能最好,但在应变位移与自身初始螺孔中 心点距离百分比的情况下,三者差距不大,在应力变大的情 况下,25°的自身延伸性最好。

4 结论(Conclusion)

本文应用有限元软件对设计不同初始角度的三款金属阻 尼单元进行了静力加载模拟,对模拟数据进行应变分析。通 过有限元模拟得到的屈服载荷、屈服位移、变形情况,结果 表明三款阻尼单元弹塑性过渡阶段、塑性阶段后的屈服刚度 与初始刚度的比值分别在2.8和17左右,与工程应用中的钢材 经验计算比值3和20十分接近,因此符合实际状况。仿真验证 了三款阻尼单元最大滞回环面积比值与设计弧度比相等,从 应变与自身初始长度的百分比可知25°的延伸性最好,15°与20°的相差较小。

参考文献(References)

- [1] 中华人民共和国行业标准.GB50017-2003 钢结构设计规范
 [5].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 杜红凯,韩森,闫维明,等.环形Q235钢板阻尼器力学性能试验研究[J].建筑结构学报,2018,39(11):139-147.
- [3] 王桂萱,孙晓艳,赵杰.不同形式软钢阻尼器的研究[J].防灾减 灾学报,2014,30(1):7-14.
- [4] Kelly J M, Skinner R I, Heine A J. Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures[J]. Bulletin of New Zealand Society for Earthquake Engineering, 1972, 5(3): 63–88.
- [5] 杨明飞,徐赵东.金属阻尼器的试验研究与应用[J].安徽理工 大学学报(自然科学版),2014,34(3):1-5.
- [6] Pall A S, Marsh C. Seismic response of friction damped braced frames[J].ASCE. Journal of Structure Division, 1982, 108(6): 1313–1323.
- [7] Masayoshi N, Takashi A, Hideichi I. Pseudo-dynamic testing

(上接第12页)

- [5] Hochreiter S, Bengio Y, Frasconi P, et al. Gradient flow in recurrent nets:The difficulty of learning long-term dependencies[C]. Kolen JF, Kremer SC. A Filed Guide to Dynamical Recurrent Networks. Los Alamitos:IEEE Press, 2001.
- [6] 郑小松.面向企业法律领域的智能问答系统研究[D].武汉理 工大学,2017.
- [7] Turian J, Ratinov L, Bengio Y. Word representations: a simple and general method for semi-supervised learning[C].
 Proceedings of the 48th annual meeting of the association for computational linguistics. Association for Computational Linguistics, 2010: 384-394.
- [8] 陈志朋,陈文亮,朱慕华.利用词的分布式表示改进作文跑题 检测[J].中文信息学报,2015,29(5):178-185.
- [9] 麻俊满.面向非结构化文本的问答系统中答案抽取技术研究[D].哈尔滨工业大学,2019.
- [10] Mikolov T, Chen K, Corrado G, et al. Efficient estimation of word representations in vector space[J]. Computer Science: Computation and Language, 2013: 1–12.

using conventional testing devices[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2010, 24(10): 1409–1422.

- [8] Kelly J M, Skinner R I, Heine A J. Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures[J]. Bulletin of New Zealand Society for Earthquake Engineering, 1972, 5(3): 63–88.
- [9] 黄镇,李芮秋,刘峰,等.改进型防屈曲剪切钢板阻尼器受力性 能研究[1].建筑结构学报,2016,37(6):85-92.
- [10] 刘轩铭.低屈服点钢剪切板阻尼器的耗能性能理论分析与 试验研究[D].哈尔滨工业大学,2016.
- [11] 唐亚男.低屈服点钢剪切板阻尼器耗能性能与疲劳性能研究[D].哈尔滨工业大学,2015.

作者简介:

- 陶文兵(1995-),男,硕士生.研究领域:精密测量与智能控制. 沈景风(1968-),女,博士,副教授.研究领域:机械设计与理 论,CAD/CAE,虚拟设计.
- エ正东(1994−),男,硕士生.研究领域:精密测量与智能控制.ゅ 顺(1994−),男,硕士生.研究领域:精密测量与智能控制.
- [11] 张宁.基于语义的中文文本预处理研究[D].西安电子科技 大学,2011.
- [12] 周飞燕,金林鹏,董军.卷积神经网络研究综述[J].计算机学 报,2017,40(6):1229-1251.
- [13] 冯文政,唐杰.融合深度匹配特征的答案选择模型[J].中文信息学报,2019,33(1):118-124.
- [14] 张默涵.基于字词混合向量的CNN-LSTM短文本分类[J]. 信息技术与信息化,2019(01):77-80.
- [15] Chandrashekar G, Sahin F. A survey on feature selection methods[J]. Computers & Electrical Engineering, 2014, 40(1): 16-28.

作者简介:

- 刘葛泓(1999-), 女, 本科生.研究领域: 软件工程.
- 李金泽(1999-), 女, 本科生.研究领域: 自然语言处理.
- 李卞婷(1999-), 女, 本科生.研究领域: 民商事合同纠纷.
- 邵南青(1998-), 女, 本科生.研究领域: 软件工程.
- 奚万峰(1968−),男,博士,博士教授.研究领域:软件工程, 分布式与并行计算,大数据分析与挖掘.