

消能减振技术在结构力学教学中的应用

赵桂峰^a, 马玉宏^b, 张永山^a, 李锦林^a

(广州大学 a. 土木工程学院; b. 工程抗震研究中心, 广东 广州 510006)

摘要:将消能减振技术的基本原理、方法融入结构动力学的教学当中,通过理论分析、讨论并联系工程实际,在讲解结构力学基本理论的基础上,介绍学科前言知识,开阔学生的视野,激发学生的学习兴趣,取得了良好的教学效果。

关键词:结构力学;教学;消能减振

中图分类号:TU311-4

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2008)05-0090-04

2007年2月17日,教育部出台了《教育部关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》(教高[2007]2号),提出在教学过程中要实现从注重知识传授向更加重视能力和素质培养的转变;要根据经济社会发展和科技进步的需要及时更新教学内容,将新知识、新理论和新技术充实到教学内容中,为学生提供符合时代需要的课程体系和教学内容。

笔者阐述了在结构动力学的教学过程中,如何在不增加教学难度的情况下将消能减振这一新技术以浅显易懂的方式教授给学生,拓宽学生的知识面,完善学生的知识结构;同时,通过课堂讨论来激发学生的思维,促进学生的个性发展,培养学生的积极参与科学研究的兴趣,提升学生的创新精神和创新能力。最后,简要介绍工程实例和《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)中增设消能减振设计的目的,使学生了解新技术在工程实际的应用情况,增强学生的学习兴趣。

一、结构动力学基础

有阻尼单自由度体系在简谐荷载作用下的解答是结构动力学教材的经典内容,如图1所示。其运动方程为:

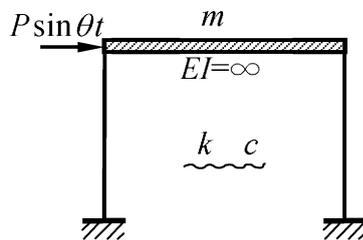


图1 有阻尼单自由度体系的力学分析模型

收稿日期:2008-08-23

基金项目:广州大学教育教学研究项目

作者简介:赵桂峰(1972-),男,广州大学土木工程学院高级工程师,博士,主要从事结构振动控制研究,

(E-mail) zgf-220@yahoo.com.cn.

欢迎访问重庆大学期刊网 <http://qks.cqu.edu.cn>

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = p\sin\theta t \quad (1)$$

式中, m 、 c 、 k 分别为体系的质量、阻尼系数、层间刚度; y 、 \dot{y} 、 \ddot{y} ,分别为体系的位移、速度、加速度; P 、 θ 分别为荷载的幅值、干扰频率。

体系的稳态位移反应可由教材直接得到^[1]:

$$y(t) = A\sin(\theta t - \varphi) \quad (2)$$

其中:

$$A = \frac{P}{m\omega^2} \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + 4\xi^2\beta^2}} = y_{st}\mu \text{ 为体系的}$$

振幅;

y_{st} 为荷载幅值作用下的体系静位移;

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + 4\xi^2\beta^2}} \text{ 为动力系数;}$$

ω 为体系的自振频率;

ξ 为阻尼比, $\xi = \frac{c}{2m\omega}$;

$\beta = \frac{\theta}{\omega}$ 为干扰频率与结构自振频率的频率比。

在结构动力学教学中,讲解到此处一般重点讨论动力系数与频率比之间的关系(如图2所示)。随着阻尼比的增大,动力系数不断减小,体系的反应也随之不断减小。按照2006年教育部结构力学课程教学基本要求(A类)^[2],学生在掌握了上述基本概念和原理后,能够较熟练地进行习题的求解就可以了。

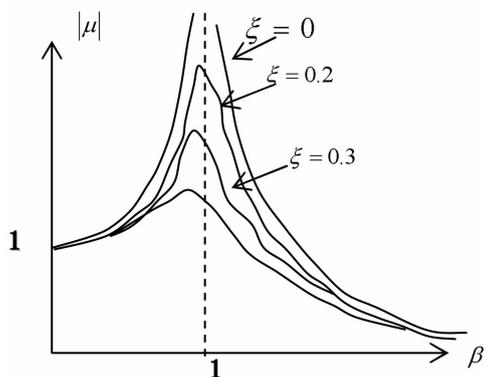


图2 频率比与动力系数关系图

但是学生普遍反映,在学会了上述知识后不知道如何在实际工程中进行应用。在现有的结构力学教材也甚少体现结构动力学知识是如何与实际工程以及科学前沿进行结合的。因此,有必要在课堂上结合上述知识教授给学生一些新的理念、新的看问题的角度和新的知识点。

二、消能减振技术在结构力学教学中的应用

(一) 消能减振概念的提出

由图2可知,随着阻尼比的增大,体系的反应不断减小,这对于保护结构是有利的。显然建筑结构在遭受地震荷载或风荷载作用时,通过增大结构体系的阻尼,也可以减小结构体系的反应。此时提出问题:如何增大体系的阻尼呢?

在回答这一问题时,由于学生刚刚学习阻尼的概念,掌握得还不是很熟练,因此教师有必要重新复习:阻尼反映了结构体系耗散能量的因素,主要有材料的内摩擦、构件间的外摩擦以及周围介质(如空气)的影响。从这一概念出发,显然增大结构本身上述3个因素的阻尼作用是很困难的。因此,为了增大结构体系的阻尼,需要增设附加的阻尼装置——阻尼器,如图3所示。

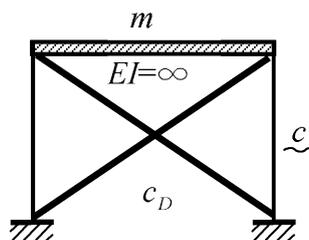


图3 增设阻尼器力学模型

设阻尼器的阻尼系数为 c_D , 则结构体系的运动方程为:

$$m\ddot{y} + (c + c_D)\dot{y} + ky = P\sin\theta t \quad (3)$$

显然,体系的阻尼比 $\xi = \frac{c + c_D}{2m\omega}$ 增大,系统的位移反应减小。

从式(3)可见,附加阻尼器的作用——阻尼力,在运动方程中与体系的速度成正比,因此称为速度相关型阻尼器。从能量的角度而言,阻尼器分担了输入到结构系统中的能量,使结构自身承受的能量减少,位移也随之减小,起到了消能减振的目的,因此也可以称阻尼器为消能器,增设阻尼器后的结构为消能减振结构。

上述概念的提出紧密结合现有教材的理论分析结果,通过“如何增大结构体系阻尼”这样一个问题来促进学生思考,将力学理论与工程实践结合起来,在不增加教学难度时,引申出了新概念和新技术,对

于激发学生的学习兴趣是很有益处的。

(二) 关于对消能器设计的讨论

既然消能器的设置是有利的,很多学生会立刻提出一系列的问题:应该采用什么材料来设计消能器呢?消能器的形式又应该是什么样的?应该怎样布置在结构中呢?此时,教师可以引导学生讨论这些问题,学生往往具有很大的兴趣和积极性,会提出多种合理或不合理的方案。

讨论到一定程度后,教师进行简单的总结,逐渐引导学生得出正确的概念。如:从常识来说,油的阻尼一般大于水,更大于空气,因此可以利用油的这一特性来开发阻尼器,称为油阻尼器,也称粘滞消能器。这是利用流体运动特别是当流体通过节流孔时能产生粘滞阻力的原理制成的^[3],如图4所示。又如:橡胶等粘弹性材料也具有较大阻尼,可开发粘弹性消能器。这是利用粘弹性材料在剪切滞回变形时耗散能量的特性制成的^[3],如图5所示。



图4 粘滞消能器

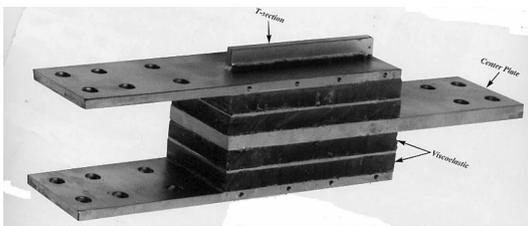


图5 粘弹性消能器

三、消能减振技术的应用简介

(一) 消能减振的工程实例

在上述讨论后,课堂上可通过工程实例的图片让学生了解到多种消能装置,给学生增加直观认识。例如:由中国学者吕西林主持在上海一栋办公楼中设置了粘滞消能器,如图6所示;1969-1973年,在美国世贸中心的每个塔楼中各设置了10 000个粘弹性消能器,如图7所示。



图6 粘滞消能器在工程中的应用

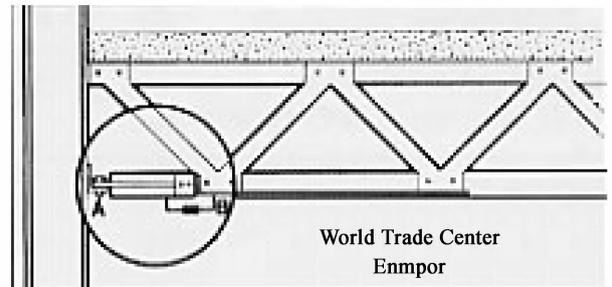


图7 粘弹性消能器在美国世贸中心中的应用

(二) 消能减振技术在中国规范中的体现

2001年7月20日,中国发布了《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001),强调采用消能减振方案,即通过消能器来减少结构在风作用下的位移是公认的减振方案,它对减少结构水平和竖向的地震反应也是有效的。为了充分利用科学发展的成果并适应中国经济发展的需要,规范增设了第12章“隔震和消能减振设计”,目的是有条件地利用消能减振来减轻建筑结构的灾害和地震灾害。在本节课的最后,通过上述简要介绍使学生了解到消能减振技术已趋于成熟,将大量地应用到实际工程中。

四、结语

笔者阐述了在结构动力学教学过程中,如何以经典的动力学解答为基础,通过简单的公式推导和浅显易懂的方式让学生了解消能减振技术,并通过不断提出问题和讨论来激发学生的思维,拓宽学生知识面,增强学生学习理论和工程实践相结合的兴趣,学生的创新精神和综合能力也得到了充分的培养和锻炼。在授课过程中笔者有如下几点体会。

(1) 考虑到学生的基础和接受能力,未详细推导建筑结构在遭受地震荷载或风荷载作用下的有关公式,仅以最简单的单自由度模型为例来讲解消能减振的机理,未提及速度相关型消能器以外的消能机制如位移相关型消能器等。目的是通过浅显易懂

方式引申出新概念和新技术,使学生易于理解和接受,也让学生感觉到自己有能力做同样的思考和分析,增强学生的自信心,从而有兴趣通过与教师的进一步交流及查阅相关文献来加深对新技术的了解,也使学生对经典力学的理论和应用方法得到了较好的掌握。

(2)在引出消能减振的概念后,讨论消能器的材料、形式和布置等往往是学生非常感兴趣的话题,会提出多种合理或是不合理的方案,此时可以引导学生探讨每种方案为什么是合理的或是不合理的,并通过电子教案介绍的工程实例进行对照,从而在启发学生思维的同时,也能够很好地了解消能减振这一新技术。

(3)通过对中国现行规范的简单介绍,可以让学生了解消能减振技术并不遥远,目前已是中国推广

应用的潮流,每个学生都可能在毕业设计或今后的工作当中接触到,使学生体会到结构动力学这门专业基础课与工程实践联系紧密,从而激发了学习兴趣。

(4)在结构力学和结构动力学课程的教学过程中,还可以结合所讲解的知识,介绍很多其他的科研成果和工程实例,这需要教师不断地提高、充实自己,不断提高教学水平。

参考文献:

- [1] 李廉琨. 结构力学(下册)[M]. 北京:高等教育出版社, 2004: 85.
- [2] 2006年教育部结构力学课程教学基本要求(A类)[Z].
- [3] 周云. 耗能减振加固技术与设计方法[M]. 北京:科学出版社. 2006: 16-33.

On the Application of Energy Dissipation Technology in the Teaching of Structural Mechanics

ZHAO Gui-feng^a, MA Yu-hong^b, ZHANG Yong-shan^a, LI Jin-lin^a

(*a. School of Civil Engineering; b. Institute of Quack-proofed Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China*)

Abstract: Basic theory and method of energy dissipation technology are introduced into the teaching of structural mechanics. Based on instructing basic theory of structural mechanics, advanced knowledge about civil engineering course is introduced to undergraduates by analyzing, discussing and connecting with actual engineering. And then, the learning interest is increased and the teaching effect is improved.

Key words: structural mechanics; teaching; energy dissipation

(编辑 欧阳雪梅)