

振动力学中工程案例模型化 实验教学的特点与实践

禹见达,张湘琦,彭剑

(湖南科技大学 土木工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:振动力学是工程力学专业的一门重要学位课,所分析的问题往往来源于工程实际,但在课堂教学过程中仅注重于振动方程的求解和振动系统特性的分析。学生对于振动力学中大量的物理概念缺乏直观、形象的认识,复杂而严谨的公式推导过程难以激发学生学习热情,教学效果往往不理想。结合工程案例,通过创新性模型实验的引入,建立实际工程结构振动案例与课程基本理论的联系,可以使学生对振动力学问题的物理概念有直观的认识,激发学生对振动力学课程学习的积极性。实践表明:在教学实践中引入工程案例的模型实验化教学,能促进学生自主学习能力的提高和创新思维的培养,具有很好的教学效果。

关键词:振动力学;案例教学;模型实验化教学;自主学习;创新思维

中图分类号:G642.4

文献标志码:A

文章编号:1674-5884(2017)12-0066-04

振动力学主要讲述振动系统、激励及响应三者的关系,是一门工程背景很强的专业基础课程,其以理论力学、高等数学等课程为基础,建立工程振动问题的力学模型并进行求解,研究振动系统的动力特性。我校工程力学专业对振动力学课程的学习课时包括课堂授课48课时和2周的课程设计。主要授课内容包括单自由度体系的自由振动、简谐激励强迫振动、任意激励强迫振动的振动方程建立及振动特性计算分析,两自由度体系的动力减振器参数分析,多自由度体系的模态叠加法、多种近似算法,连续系统的振动分析以及多自由度系统的振动仿真。

目前,振动力学课堂教学过程中注重于振动方程的求解和振动系统特性分析,强调公式推导的严谨。学生对于振动力学中大量的物理概念缺乏直观、形象的认识,复杂而严谨的公式推导过程难以激发学生学习热情,教学效果往往不理想。如何提高学生的学习兴趣,变被动为主动,如何在提高教学效果的同时,教师的科研水平同样得到提高,这一直是大学教师们在思考的问题。

为了活跃振动力学课堂气氛,提高教学效果,很多教师为此作了大量的尝试。郑拯宇通过采用吉它弦线振动、拉索振动等案例教学提高学生学习兴趣^[1];蔡国平建议理论教学内容与大型工程软件、实验及教师科研的结合^[2];丁莉提出由学生自主实验,引导学生大胆实践,不断创新^[3];任伟杰应用FLASH软件开发系统和多媒体技术,建立振动力学虚拟仿真实验系统和虚拟仿真实验室^[4]。吕迎结合现代表面技术课程教学提出:课堂教学中应引入专业前沿,使学生及时把握学科发展动态,激发了学生的学习主动性^[5]。杨焰结合工程材料课程提出可适当把生产应用中的一些实例拿到课堂上,创造一种现场职业情景模式,形成一个全班集体展开问与学、积极思考、热烈讨论的学习气氛,这样的教学方法可以激发学生的学习责任感,使学生学以致用^[6]。伊廷锋认为,结合自己的科研和一些新发展方向和趋势,深入浅出地给学生进行概括性介绍,使学生在校期间能够利用有限的机会去接触科技前沿,能及时了解学科

收稿日期:20170919

基金项目:2015年湖南省普通高等学校教学改革研究项目(湘教通[2015]291号)

作者简介:禹见达(1971-),男,湖南双峰人,副教授,博士,主要从事振动力学的教学与研究。

发展的新成果、新动向,帮助学生深化对课程知识的理解^[7]。

《高等学校理工科工程力学专业规范》指出,力学将复杂工程问题转换成可以定量分析和计算的力学模型,力学离不开实验,但没有理论的实验知识仅是经验,经验往往不完善。力学通过观察实验现象,总结成理论,并将理论应用到实际工程中,解决具体的工程问题。随着计算机技术的发展,采用数值计算方法亦是解决大型工程力学问题的重要手段。理论与实验、数值计算的结合,不但是力学发展的规律,也是增加学生学习兴趣、提高教学效果的必然选择。

1 振动力学工程案例的模型化实验教学的作用及特点

振动力学与物理学、有限元、工程软件、控制原理、实验力学等课程结合,可使现实工程中的许多振动问题得到很好的解决,大量的工程背景为振动力学的教学提供了丰富的素材。我校工程力学专业依托土木工程,学生毕业大部分从事土木工程结构的设计、施工以及部分学生考研进入结构、岩土等方向从事科研工作。因此,通过一些土木工程结构振动及减振实例的引入,并通过模型化实验引入教学实践中,可以大大激发学习兴趣,促进学生的自主学习,达到很好的教学效果。

案例教学法在提高教学效果方面得到了广泛的认可,在许多课程教学中被采用,并且带来了很好的教学效果。案例教学法通常是以个案形式将学生带入特定的教学情境中进行思考,加深学生对抽象原理和概念的理解,通过教师的引导来激发学生学习的主动性和参与性,培养学生的思维方式、分析和解决实际工程问题的能力^[1]。

与其他课程不同的是,工程结构在地震或风作用下的振动非常复杂,案例教学法如果直接引入振动力学教学之中,除了可以增长学生的知识面以外,其他方面没有多大的帮助,甚至引发学生的畏难情绪。因此,需要教师对复杂的工程结构的振动进行适当简化,变为易被理解的力学模型,再将力学模型具体化后建立实验模型,实现工程结构振动案例的模型化实验教学。

对工程结构振动案例实现模型化实验教学可以获得如下效果:1)学生通过文献查询、独立思考和分组讨论,可以达到对案例振动的现象和本质有初步的认识,从而可以最大限度地调动学生学习的积极性。2)工程案例的模型化实验教学注重课堂内外的双向交流,既可以促使教师结合振动力学基本理论,提炼结构振动的本质模型,并根据不同学生的不同理解补充新的教学内容,又可以活跃课堂气氛,提高学生学习兴趣。3)教学案例可能来源于工程实际,也可能来源于科学试验,因此,工程案例的模型化实验教学既可以锻炼学生将课本知识灵活运用能力,又可以培养学生的实际动手能力,最终提高学生分析和解决工程实际问题的能力。4)工程案例的模型化实验教学对学生提出了主动学习和自我约束的要求,促使学生通过对数学、物理、基础力学、有限元、实验力学和计算机语言等多门学科及课程的综合,寻找解决工程振动问题的行之有效的办法,完善自己的知识结构。总之,工程案例的模型化实验教学是传统教学法的重要补充,是创新性学习的重要内容之一。

工程结构振动案例实现模型化实验教学的同时对教师提出了更高的要求,主要包括:1)充分认识模型与原型的差异。教师引导学生将工程结构振动问题转换成可在实验室重现的实验,由于工程结构振动问题本身的复杂性及巨大的尺度差异,实验室内可能无法实现对实际工程结构振动的准确模拟,例如环境的风雨作用、实际结构的超低频率振动等,在实验室很难模拟,然而这可能是影响结构振动的重要因素。2)实验场地不定。学校教学实验多,很多实验场地共用,而振动力学实验模型一般比较复杂,模型准备时间长,一旦移动就需要重新组装,稍有不慎,可能造成模型的损坏。3)实验准备时间长。振动结构模型实验需要的仪器设备多,各种传感器和动态数据采集仪器需要调试,实验准备时间长。4)仪器贵。传感器和数据采集仪器属于贵重设备,学生的好奇心和不规范的操作可能损坏仪器设备。5)师资少。现有实验室严重缺少熟悉结构振动原理、掌握结构振动测试与分析的指导教师,所有的工作都需要任课教师独立承担。总之,案例的模型化实验教学,存在着许多需要学校、教师和学生协同解决的问题。为了解决上述问题,作者除了投入更多的时间外,对首次参与实验的学生进行了挑选和人数控

制,并请研究生协助,当学生熟悉后作为分组负责人指导其余学生参与实验。

2 工程案例的模型化实验教学在振动力学中的实践

由于振动力学所讨论问题的内在动力机制和物理参数等均具有非常明确、直观的工程物理意义,与实际工程案例之间存在天然的内在联系,因此,将适当的工程案例引入课堂教学之中,并形成教学实验模型,促使学生进行思索和讨论,使学生对抽象原理和概念有直观、形象的认识,将有助于培养学生运用理论知识解决实际工程中振动问题的能力,同样可以提高学生的创新能力。

作者通过对振动力学长期的教学实践活动,通过不断的总结和提升,形成了自己的工程案例的模型化实验教学的教学方法。首先,建立基础的振动力学模型实验,引导学生参与与观摩实验,建立基本的振动力学概念;其次,对工程振动案例配套录像进行讲解,将振动力学的课本知识联系实际工程结构问题;再次,与学生一起思考和寻找解决工程结构振动的可行办法,并将其简化成试验模型;最后,将成熟的技术变成实验模型,指导学生参与实验,更好地掌握振动力学的基本概念和理论,并进一步引导学生开展创新性的学习和研究。所开展的模型实验案例如下:

案例一:弹簧-质量单自由度振动体系,是学生认识动力系统基本概念、掌握振动力学分析方法和解决工程振动问题的基础。在实验室摆放各种规格大批量的弹簧和砝码,首先要求学生完成多根弹簧刚度的测量,然后通过弹簧的串联和并联,对不同质量的质量块,搭建振动实验模型。通过实验演示,让学生定性理解振动系统的固有频率、周期等参数与质量、弹簧刚度及弹簧静伸长的关系。在此基础上,采用电涡流阻尼器为系统增加阻尼,通过激光位移计和力传感器实测获得质量块的位移时程和阻尼力时程,以课外报告的形式来定量计算振动系统的振动频率与质量、弹簧刚度及弹簧静伸长的关系;讨论阻尼比、粘性阻尼系数的计算方法及对固有频率和振动周期的影响;讨论大阻尼比的计算方法及评估峰值点包络线法计算大阻尼比的误差。一般每个小组都编写 MATLAB 计算程序,完成频率分析、小阻尼比的计算,对于粘性阻尼系数及大阻尼比的计算。

案例二:对于案例一的同一实验模型,增加激励装置及测力传感器,通过电涡流阻尼器改变系统阻尼,让每一位学生采用人工共振激励的方法,切身感受不同阻尼下激励与响应的关系,并根据实测质量块的振动位移时程、阻尼力时程及激励时程分析粘性阻尼系数对动力放大系数的影响。部分兴趣强烈的学生,进一步参与了电涡流阻尼器的设计、制作及优化过程,共同完成了对阻尼力的精细测量及阻尼力模型的建立。

案例三:塔科马旧桥风毁录像,让学生对连续系统的同步运动有了直观的认识,对多自由度体系的同步运动、振型也容易理解。塔科马旧桥的风毁,除了给学生带来震撼外,也给学生带来了求知的欲望和解决此类问题的兴趣。由于塔科马旧桥是长达约 8 h 的颤振导致中间吊杆首先出现疲劳断裂而导致整座大桥的损毁,作者借此提出了在 3 h 内快速控制悬索桥振动的问题。部分学生对这个问题产生了极大的兴趣,提出了十余种减振措施,部分措施具有实际应用价值。为了加深学生对桥梁振动和振动控制的理解以及更好地掌握各种振动控制方法的效果,悬索桥减振实验模型正在设计和准备中。

案例四:某大桥拉索风雨振录像及拉索减振模型实验,不但让学生对拉索的不同模态同步运动有了直观的认识,同时对振动节点有了直观认识,熟悉了通过节点数认识拉索的振动模态的阶数。结合磁流变阻尼器对拉索风雨振控制,认识了阻尼在实际工程结构中的作用。通过阻尼器对模型拉索的减振实验,理解了阻尼器对拉索不同模态振动控制及阻尼器对拉索振动优化控制的认识。

案例五:在实验室制作了简支的桥梁模型,采用动力减震器(调频质量阻尼器, TMD)进行减振实验,通过试验分析频率比、质量比对减振效果的影响。引导学生首先完成了 MATLAB 编写程序的编写,分析 TMD 对结构减振的参数优化设计,再以计算结果为依据进行实验。

案例六:随着桥梁跨度的不断增大,其固有频率不断降低,结合案例一、案例三和案例五,作者与学生一起设计了超低频 TMD、水力减振装置和超低频振动结构,其中大跨度桥梁振动的水力耗能减振被

纳入了湖南科技大学 2016 年度学生科研创新计划(Student Research and Innovation Program)项目。

除上述案例模型化实验教学外,对振动系统动力特性的可视化、单自由度体系在任意激励下响应的卷积积分、多自由度体系固有频率和振型的近似计算、多自由度体系的振动仿真,通过计算程序的编写,调动了学生自主学习的积极性,学生的学习能力和创新思维得到了长足发展。

需要说明的是,工程案例的模型实验化教学需要教师付出大量课外时间和精力,对教师的知识结构、教学水平及责任心提出了更高要求,教师不仅要具有渊博的理论知识、丰富的教学与实践经验,不断设计出具有创新性的实验模型或具有实际价值的结构振动控制装置。另外,工程案例的模型实验化教学仅占用 8 个教学学时,大量的工作和实验准备需要课外完成。

3 结语

教学实践表明,将工程结构振动问题作为案例引入教学,并开发创新性模型实验的教学方法具有启发性、开放性和实践性等特点,增加了振动力学课程的魅力,能够激发学生对这门课程的学习兴趣,活跃了课堂气氛,从而促进了学生自主学习能力的提高和创新思维的培养。但这种案例和创新性模型实验相结合的教学方法在培养创新性人才的模式中还存在许多值得探讨的问题,仍需要不断探索,以便进一步发挥这种教学方法在振动力学课程教学过程中的积极作用。

参考文献:

- [1] 郑拯宇. 振动力学教学中案例教学法的应用探索[J]. 科技信息,2013(12):1.
- [2] 蔡国平. 振动力学课程教学改革的几点思考[J]. 高教研究,2010(35):221-222.
- [3] 丁莉,何平,王科盛,等. 振动力学实验教学的探讨[J]. 实验科学与技术,2013(6):287-288.
- [4] 任伟杰,付艳丽. 振动力学实验系统的虚拟仿真[J]. 计算机应用,2013(S1):312-314.
- [5] 吕迎,李俊刚,吴明忠,等. 现代表面技术教学和科研相结合的教学改革探讨[J]. 铸造设备与工艺,2012(4):52-54.
- [6] 杨焰. 论结合科研促进《工程材料》课程的教学改革[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版),2010(6):125-127.
- [7] 伊廷锋,金红,朱彦荣,等. 工科专业物理化学教学提高学生兴趣的几点尝试[J]. 化工高等教育,2010(2):71-74.

(责任校对 王小飞)