

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2018.02.013

欢迎按以下格式引用:潘旦光,丁民涛.结构力学抽象理论实物化教学方法研究[J].高等建筑教育,2018,27(2):57-60.

结构力学抽象理论实物化教学方法研究

潘旦光,丁民涛

(北京科技大学 土木工程系,北京 100083)

摘要:为提高结构力学的教学效果,探讨用实验手段展现结构力学抽象理论的教学方法。该教学方法在经典结构力学教学基础上,增加3个层次的实验教学环节,即通过课堂演示实验加深学生对结构力学中抽象理论的理解,通过理解性实验提高学生理论联系实际的能力,通过学生自主提问、教师引导进行探索性实验,培养主动学习的习惯。将结构力学中的抽象理论实物化,使教学内容更加丰富,增强学生的综合能力,达到素质教育和创新发展的目的。

关键词:结构力学;抽象理论;实物化;教学方法研究

中图分类号:G642.0;TU311

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2018)02-0057-04

一、研究背景

结构力学课程是土木工程专业极其重要的一门专业基础课^[1],是以土木工程各类建筑结构为背景,抽取结构中共同的力学特性,而形成的一门力学学科,既具有力学的抽象性,又具有工程结构的具体性^[2-3]。然而,当前大部分高等院校结构力学课程的教学内容,主要讲授经典的力学理论及应用理论进行解题的技巧。固然理论讲解是一切应用的基础,但也易于导致以下问题:

第一,部分抽象理论比较晦涩难懂,以致学生理解困难,尤其是数学和力学基础不好的学生。

第二,理论和实践脱节,缺乏动手能力培养,即遇到工程的力学问题,学生无法联想到相关的结构力学原理进行解决^[4]。为更好地将理论和实际联系,并激发学生的学习兴趣,部分高校开展了新型的结构力学教学内容研究。譬如:清华大学和同济大学在理论教学外,还开设了计算结构力学课程以训练学生实际应用能力,华中科技大学、浙江大学等建立了独立的结构模型室,使抽象的结构理论具体化。建立结构模型室的主要目的是将结构力学中的抽象理论用富有工程含义的实验模型表达,促进学生深入理解其中的力学原理^[5-7]。

北京科技大学在结构力学教学过程中,提出增加3个层次的实验教学环节:1)增加课堂演示实验教学环节,活跃课堂气氛,加深学生对理论的理解;2)

收稿日期:2017-01-03

基金项目:北京市自然科学基金(8143037);北京科技大学教改项目(JG2013M11)

作者简介:潘旦光(1974—),男,北京科技大学土木工程系教授,博士,主要从事结构力学研究,(E-mail) pdg@ustb.edu.cn。

针对特定的理论和假设,教师制定实验方案,学生开展理解性实验,使学生在实验过程中验证或再现力学中的基本原理,培养理论联系实际的能力;3)在学习过程中,学生根据学习兴趣,自己提出问题,设计实验,在教师引导下完成探索性实验教学环节。

实验教学环节一方面可增强学生对基本理论的理解,提高理论联系实际能力,另一方面使课堂教学气氛更加活泼,教学方式更加多样。同时,实验过程也是提高学生动手能力和培养工程素养的过程。由于结构力学的教学内容非常丰富,下面结合一些典型的实验教学案例讨论如何进行抽象理论实物化教学。

二、抽象理论实物化教学研究内容

(一)课堂演示实验加深学生对理论的理解

结构力学课程中部分理论比较抽象,涉及较多的数学推导,这在结构动力学一章中尤其突出。为使学生更好地理解这些理论的物理意义,在课堂教学中加入相关演示实验,让理论学习具体化。

譬如,结构动力学中有关单自由度体系的地震反应问题,体系的运动方程可表示为

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g \quad (1)$$

式中, \ddot{u} 、 \dot{u} 和 u 分别表示质点的相对加速度、相对速度和相对位移, \ddot{u}_g 表示地面运动加速度。为理解这个运动方程,制作了图1所示模型。通过晃动支座引起上部结构运动,从而形象地表明地震作用下上部结构的运动状况。通过这个模型解释为何采用相对位移表示集中质量所受的弹性力。

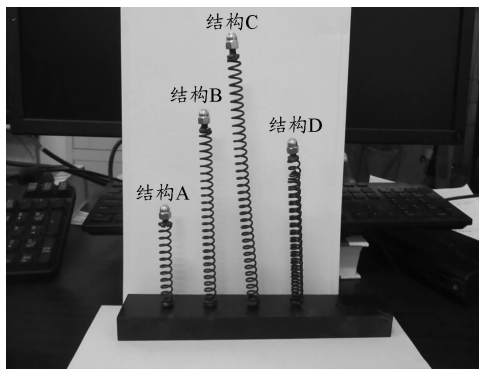


图1 单自由度模型

在论述自振频率作为结构非常重要的固有特征时,有一个结论是:两个外形相似的结构,如果自振频率相差悬殊,则动力性能相差很大;反之,两个外形看来并不相同的结构,如果其自振频率相近,则在动荷载作用下的动力性能基本一致。对于这个结论,大部分学生的感觉是似懂非懂。为此,利用图1

的模型,通过改变晃动的频率,观察不同结构的振动特征。模型中包括4个不同的单自由度结构,上部集中质量相同。其中A、B、C 3个模型的弹簧材料相同,高度分别为 l 、 $2l$ 、 $3l$ 。D模型是用2个弹簧合并,高度为 $2l$ 的模型。因此,图1中4个结构的频率关系是

$$f_A = f_D > f_B > f_C \quad (2)$$

式中, f_A 、 f_B 、 f_C 、 f_D 分别表示结构A、结构B、结构C、结构D的自振频率。

当晃动的频率较快以致和结构A的自振频率相近时,结构A和结构D发生很大的振动,但是结构B和结构C基本不动。通过这个简易的实验来说明共振的概念。同时,结构D和结构B外形相近,频率相差很大,结构D和结构A的外形相差很大但频率相同。从振动上看,结构A和结构D相同,由此验证了结构自振频率决定结构动力反应的理论。

类似于这样的演示性实验,还有悬臂梁的影响线实验、偏心受压杆的稳定性实验和钢板模态中的节点实验等,用于活跃课堂气氛,加深学生对理论的理解。

(二)理解性实验培养理论联系实际能力

结构力学是将真实工程中的力学问题“存本去末”后得到的简化计算模型,由此必然会引入一些假定。这些假定是否合理,可指导学生通过实验来验证。另一方面,结构力学中有些力学原理本就是用于指导实验获得力学参数或反映一些特定的力学现象。此时,可通过教师制定实验方案,让学生分组合作完成实验来达到理论联系实际的目的。

譬如,在静定桁架内力计算时,采用理想桁架的3个基本假定:

- (1) 桁架各结点都是光滑的理想铰结点。
- (2) 各杆的轴线都是直线,并通过铰的中心。
- (3) 荷载和支座反力都作用在结点上。

桁架的实际情况与上述假定是有差别的。如图2所示,有些杆件在结点处是连续不断的,各杆的轴线不一定全部是直线,结点上各杆也并非全交于一点。在教材中将不满足假定产生的内力为次内力,按上述假定计算得到的桁架内力为主内力,且认为次内力远小于主内力而可以忽略不计。对于理想桁架假定的合理性,可开展图3所示的桁架加载实验,通过测量桁架杆件的轴力,与理想桁架计算轴力比较,验证假定的合理性。



图2 桁架桥梁

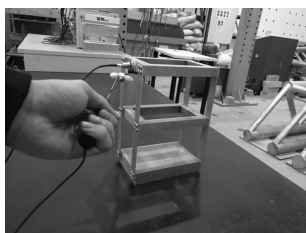
在结构动力学一章中,阻尼是其中一个比较抽象且难懂的概念。工程中常见结构的阻尼比都是远小于1的低阻尼系统。譬如,混凝土结构的阻尼比常用5%,而钢结构的阻尼比常取2%~3%。阻尼对结构振动幅值的影响和阻尼比经验取值是否合理,可以用结构动力学中的对数衰减率法进行验证。对数衰减率法测结构阻尼比 ζ 的计算公式为

$$\zeta \approx \frac{1}{2\pi n} \ln \frac{u_i}{u_{i+n}} \quad (3)$$

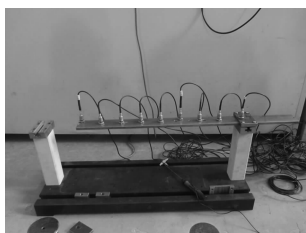


图3 桁架实验

式中, u_i 和 u_{i+n} 分别表示单自由度体系自由振动 t_i 时刻和 n 个周期后 t_{i+n} 时刻的位移振幅。为此,分别指导学生进行图4所示的框架结构模型和悬臂梁模型的自由振动实验,以验证理论和经验参数的合理性。除自由振动实验外,还指导学生进行了简支梁的谐振反应实验和锤击法测量悬臂梁模态实验。



(a) 框架结构模型



(b) 悬臂梁模型

图4 锤击实验

(三) 探索性实验培养主动学习习惯

教学过程中教师实际上是一个引路人。如果学生能在教师的指引下对某一学科产生浓厚兴趣,产生探索欲望,主动学习该学科相关知识则是教育的

最大成功。为达到这个教学目的,鼓励学有余力的学生思考工程和生活中的结构力学问题,并结合SRTP项目,开展实验研究。

譬如,结构力学中除极限荷载一章外,其余各章都不考虑材料的非线性变形。部分学生提出钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的,且通常带裂缝工作,其力学特征具有非线性性质。此时,在简谐荷载作用下,结构的振动和线性体系振动的区别超过了本科结构力学的教学内容。针对这个问题,引导学生设计一根钢筋混凝土梁,通过采用静力加载方法使梁产生裂缝,然后进行简谐荷载下梁的强迫振动实验,如图5所示。测得初始无损伤混凝土梁和带裂缝混凝土梁的幅频曲线如图6所示。通过实验,学生认识到带裂缝混凝土梁的幅频曲线会产生偏歪。



图5 简谐激振实验

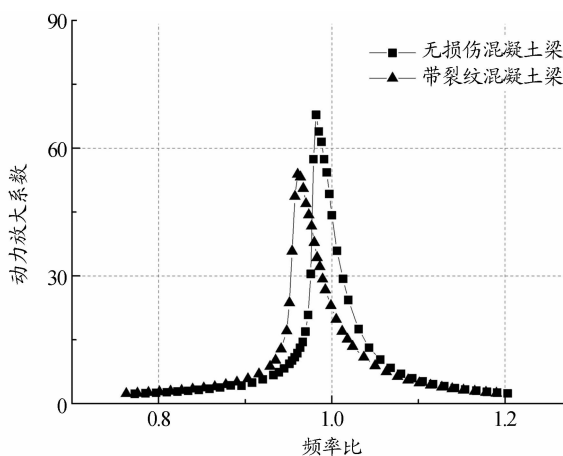


图6 梁幅频曲线

通过学生提问,教师引导,学生自主设计相关实验,验证猜测和想法,达到激发学生主动学习和自主创新的目的。

三、结语

为提高结构力学的教学效果,以实验教学为切入点对结构力学的教学方法进行了探索。从课堂演示实验到根据实验指导书完成实验,再到引导学生自主设计实验,将结构力学中抽象的概念形象地呈

现在学生面前,使学生既能掌握理论知识,也能运用理论知识解决和解释工程中的力学现象,培养了学生的力学素养,达到素质教育的目的,为学生以后的学习生活和工程实践打下坚实基础。

参考文献:

- [1] 潘旦光,吴顺川,宋俊磊,等. 结构力学课程教学内容改革探讨[J]. 高等理科教育(教育教学研究专辑), 2010(Sup): 72-74.
- [2] 董克宝. 关于《结构力学》课程的几点教学体会[J]. 中国科技信息, 2007(14): 208-209.

- [3] 魏陆顺. 结构力学概念及工程应用[J]. 中国建设教育, 2015(1): 112-115.
- [4] 刘京红,何洪明,高宗章,等. 结构力学教学中培养学生可持续发展能力研究[J]. 河北农业大学学报(农林教育版), 2008, 10(1): 56-58.
- [5] 李国华,罗健,董军,等. 结构力学教学方法研究[J]. 高等建筑教育, 2012, 21(1): 81-83.
- [6] 刘青. 关于结构力学课程教学三类重要问题的探讨[J]. 中国大学教学, 2008(9): 33-35.
- [7] 孙旭峰,陶阳. 土木工程专业结构力学课程实验教学实践探讨[J]. 高等建筑教育, 2013, 22(5): 133-136.

Pedagogy investigation on abstract theories materialized of structural mechanics

PAN Danguang, DING Mintao

(Department of Civil Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, P. R. China)

Abstract: In order to improve the teaching results of structural mechanics, the teaching method of showing the abstract theories of structural mechanics by experiment measures is discussed. Based on the classical structural mechanics teaching, this teaching method adds experimental teaching process in three levels: enhance students' understanding of abstract theories in structural mechanics by demonstrative experiment in class, improve students' ability to link theory with practice through the comprehensive experiment and train students' study habit through questions and teachers' guide to solve the problem by exploratory experiment. By means of materializing abstract theories in structural mechanics, the teaching content can be more abundant, the comprehensive ability of the students can be enhanced and the purpose of quality-oriented education and innovative development can be achieved.

Keywords: structural mechanics; abstract theories; materialization; teaching method

(编辑 周沫)