

基于数值模拟的实验课程教学改革研究 ——以结构设计原理课程为例

曹悦¹,包龙生²,张筱薇¹,薛兴伟¹

(1. 沈阳建筑大学交通与测绘工程学院, 辽宁 沈阳 110168;
2. 沈阳建筑大学发展改革与学科建设处, 辽宁 沈阳 110168)

摘要:总结了当前土木类专业实验课程教学存在的问题,归纳了实施教学改革的必要性以及数值模拟技术在土木工程领域实践和科研中的重要性,提出了基于数值模拟技术的实验课程教学改革方法,阐明了该方法的具体内容和实施途径,并以结构设计原理实验课程为案例,简述了利用 midas - FEA 软件实现教学改革的内容并分析了教学效果,以期达到提升教学质量的目的。

关键词:结构设计原理;实验课程;数值模拟;教学改革

中图分类号:TU391

文献标志码:A

随着计算机的普及,涌现出了诸多数值模拟软件,这也使得土木工程学科实现了跨越式的发展^[1]。这些数值模拟软件大多已在相关领域的硕、博士研究生教育教学中普及,也正逐步走进本科生的课堂^[2]。此类数值模拟软件是基于有限差分、有限体积、有限元等手段来解决各类工程问题,能够将抽象的事物具象化,让学生更好地理解复杂的工程问题,是一种实用性和适用性非常高的教学辅助工具^[3]。

结构设计原理课程是为道路桥梁与渡河工程专业本科生开设的一门专业必修课,其中的实验课程是该课程的重要组成部分。实验课程的设置,一方面能够让学生掌握混凝土结构实验以及检测方面的基本技能,另一方面也有助于学生更加深刻地理解课程的相关知识。

一、结构设计原理实验课程的重要性

结构设计原理课程设置的目的是使学生掌握在道桥工程中常用构件的基本原理和方法,能够运用现行行业规范进行结构设计与分析^[4]。通过对课程教学目的及课程重要性排布的综合考量,实验部分将进行小梁加载试验。该实验课程的培养目标是让学生掌握梁结构的实验基本原理和操作技能,了解梁结构实验现象以及实验的受力过程和破坏模式,提升针对梁结构的复杂工程问题科学设计试验的能力,并能对实验结果进行分析和解释,通过整合信息得到合理有效的结论。

二、实验课程教学改革的必要性

目前,土木类专业的实验课程教学方法主要是根据教材和实验指导书设置教学任务,依托实验室设备,以演示实验和分组实验

的教学方法进行课程教学^[5]。这些常规的教学方式能够在一定程度上达成课程设置的目 的,然而也存在一些问题,其一是现有的教学手段比较陈旧,导致学生在学习的过程中缺乏兴趣,专注性不高^[6];其二是由于实验设备和教学经费的限制,缺少足够的试件,只能由多人成组共同完成实验,且每组人数偏多,容易导致部分学生参与度不高^[7];其三是实验操作过程相对复杂,涉及的理论知识也比较难理解,如果学生无法全身心地投入课堂,就难以完成理论知识、试验方法及试验结果与实际工程相结合的教学目标^[8]。

为了解决在以往实践教学过程中所产生的诸多问题,改善结构设计原理实验课程的教学效果,提高学生对实践课程的兴趣,笔者利用数值模拟技术,从教学方法和教学内容等方面入手,探索结构设计原理实验课程的教学改革方法,旨在提升学生对知识的理解与认知能力,培养学生解决工程实际问题的能力,为学生未来就业打下坚实基础。

三、教学改革思路及内容

1. 教学改革创新思路

数值模拟软件已在各行各业发挥其重要作用^[9],对土木工程行业来说,它能够通过数值计算和图像处理等功能,再现或预测工程对象的演化过程和发展趋势,为当前工程对象的设计、施工、管理提供指导意见^[10]。鉴于midas - FEA 软件有汉化版本且便于操作,其功能也符合课程任务的需求,最终选定midas - FEA 作为本课程的教学软件。

实验课程传统的授课方式一般包含实验原理讲授、实验演示、实验操作等环节,实验学时多为2学时^[11]。笔者所提出的教学改革整体思路是在实验原理讲授后增加数值模拟实验的内容,包括模拟实验演示和操作两个环节,实验学时也增加至4学时。完整的实验课程的授课环节如图1所示,紧凑的教学环节也能够更有效地利用课堂时间,有助于学生全身心投入到实验课程中。

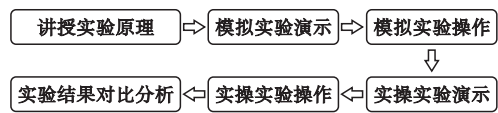


图1 授课环节流程

2. 教学改革方法

笔者提出的实验课程教学改革方法打破了以往的实验课程教学方式,不局限于实验原理讲授和实验操作环节,在传统实验操作前增加了模拟实验演示和模拟实验操作两个环节。

模拟实验既能够让学生提早接触并学习使用有限元软件,又可以让学生对实验过程有初步的了解,避免学生在实际操作中不知所措。模拟实验需每个学生都要独立完成,这提升了学生的课程参与度。

3. 教学改革内容

教学改革内容从课程讲授和实验操作两个方面进行研究,并对其中的重要环节进行丰富和完善。

课程讲授内容包括实验原理、有限元软件基本操作、实验操作等,若仅依靠语言讲述,会比较晦涩难懂,因此在讲授过程插入模拟实验环节以辅助教学,使二者紧密结合,一方面能帮助学生理解实验的目的及意义;另一方面也更加清晰地梳理了实验过程。因课时有限,且对于大部分本科生来说,有限元软件较为陌生,其相关部分的讲授和演示重点仅放在实验课程所涉及的环节,如配筋、添加边界条件、设置工况、布尔运算和加载等。

在实验操作方面,笔者对其重点考量,增加了模拟实验操作及实验结果对比分析环节。模拟实验演示结束后,学生将实际运用有限元软件。模拟实验可以借助有限元模拟软件中的三维、声音等功能的渲染,展示实验原理、实验构件、详细的实验过程及主要实验现象,让学生更直观地感受和理解^[12]。在实操实验结束后,引导学生将模拟实验结果与实操实验结果进行对比分析,以此锻炼学生分析和思考问题的能力,激发学生的学习热情^[13]。

四、教学改革案例分析

1. 案例简介

笔者以沈阳建筑大学道路桥梁与渡河工程专业(以下简称“道桥专业”)结构设计原理的实验课程为例,探索实践课程教学改革方案。结构设计原理是道桥专业的一门专业基础课,也是主干课程之一,理论课程为52学时,实验课程为4学时。因实验课程学时有限,故将实验课程学时分配如图2所示。

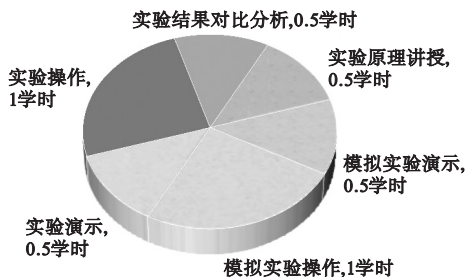


图2 实验课程学时分配

本实验课程的实验项目名称是小梁加载实验。实验目的是熟悉钢筋混凝土受弯构件正截面破坏的一般过程及其特征。主要实验内容是先将做好的实验试件固定到反力架上,后在小梁上粘贴应变片,在梁底布置位移传感器,分别将应变片及位移传感器接线连接到数据采集仪上,并完成数据采集仪与计算机的连接。准备工作做好后开始对实验梁加载,在此期间测定应变、挠度及裂缝等参数。

2. 案例内容

(1) 实验原理讲授

小梁在载荷作用下会产生弯曲变形,应变片的电阻值将随着梁的变形而变化,通过电阻应变仪可以测出实际应变值。根据虎克定律,计算出相应点的应力值,即通过实验得到的实测值;利用有限元软件进行模拟实验,同样也会计算出应力值,即理论值。

(2) 模拟实验演示

教师提前在 midas - FEA 软件中建立好梁模型,再提供3种不同钢筋类型的钢筋参数,即适筋梁、少筋梁、超筋梁。通过布尔运算将钢筋与混凝土结合到一起。对于不同的材料赋予不同的材料特性,直接选取软件数

据库中对应的材料参数,通过网格划分功能将混凝土和钢筋进行实体划分并使二者网格达到耦合。在边界条件中设置铰支座和滑动支座,并为学生重点展示不同类型支座所选取的约束条件。在小梁的顶部设置分配梁,同样应用上述方法对过程进行展示。根据加载条件设置不同的荷载工况,把不同大小的集中力添加到不同的荷载工况中,完成前处理的全部演示,点击软件的分析按钮后,完成运算分析。然后运行后处理模式,在该模式下为学生展示在不同荷载工况下的小梁运算结果,后处理模式中有多种参数的计算结果,如位移、弯矩、剪力及应力应变等。在教学中展示调取结果、令数值显示在结构旁边、设置位移等值线和设置应力单位等方法。整体展示后,由教师讲述记录数据和调取位移结果的方法,按照不同工况,记录荷载值及对应的位移值,作为位移模拟的实验记录结果;同理,记录荷载值及对应的应力应变值,作为应力应变模拟的实验记录结果。

(3) 模拟实验操作

首先启动 midas - FEA 软件,读取事先已建立的梁模型,在3种钢筋参数中任选一种添加钢筋材料特性,将不同类型的配筋形式分别设置在小梁实体单元中,应用布尔运算使钢筋单元与小梁单元实现耦合,最后对处支座进行模拟,在边界条件中设置约束类型,小梁一端设置铰接,另一端设置滑动。使用 midas - FEA 软件建立的小梁模型如图3所示。



图3 小梁有限元模型

然后是“荷载加载频率”的设置,学生可在本课程的实验指导书提出的范围内自行选择并设置,在荷载菜单中添加若干荷载工况,一般由小组讨论确定初始荷载、加载频率和加载步长,并对不同荷载工况进行命名,为方便后期记录数据,其名称一般设置为要添加的荷载大小。在加载频率设置完成后,利用软件不断添加荷载用以模拟千斤顶在小梁上的加载过程,再点击运算。通过软件的分析

计算,转换到后处理模式,提取结果就能够得到小梁的应力应变、位移、裂缝等参数随荷载变化的情况,学生通过记录应力-荷载数据,位移-荷载,裂缝-荷载数据即可完成对小梁加载实验的现象预演。根据有限元结果,

各组可以通过分析实验现象,再反复调整实验参数,最后选定合适的加载频率及加载步长,并应用到最终的实验中。经midas - FEA 软件模拟的小梁加载的裂缝结果如图 4 所示,荷载位移曲线结果如图 5 所示。

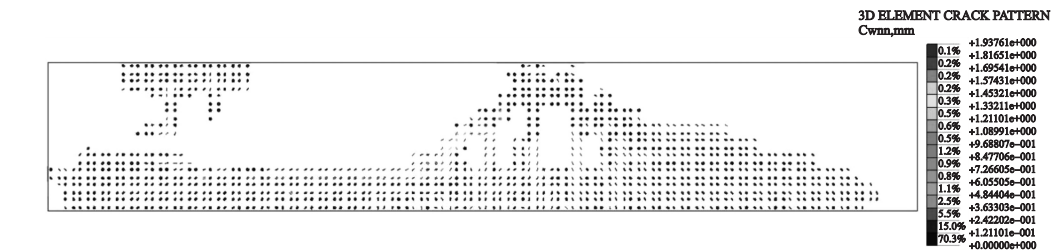


图 4 小梁加载模拟实验的裂缝结果

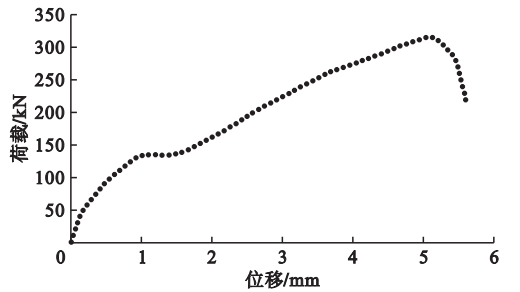


图 5 小梁加载模拟实验的荷载位移曲线结果

图 4 中的斑点位置即为小梁产生裂缝的位置,斑点颜色的深浅代表裂缝的宽和窄,即该模拟实验可以体现出小梁开裂的位置和裂缝的宽度。

(4) 实验操作

首先将预先浇筑并养护好的实验梁固定在反力架上,要选择与模拟实验选择的钢筋类型相同的实验梁。然后按实验指导书要求的位置在小梁表面粘贴好电阻式应变片,并在梁底安装位移计,将应变片及位移计的数据线连接到数据采集仪上后,安装手动油压千斤顶和压力传感器。安装完成后检查实验装置是否稳定、位置是否准确、仪表能否正常工作,检查无误后,测量梁的实际跨度、截面尺寸、加载点位置、混凝土应变片位置等。做好所有准备工作后,进行预加载实验(按破坏荷载的 20% 考虑)。预加载实验按照 1~3 级预加载(0-2kN-3kN-4kN),期间测读数据,观察试件、装置和仪表工作是否正常,若发生故障要及时排除。预加载实验完成后,按照事先设计好的工况加载模式开始加

载实验。每次加载结束后均记录数据,观察试件状态,记录试件表面的裂缝发展情况。

(5) 实验结果对比分析

实验结束后,将实操实验结果与有限元模拟实验结果进行对比,具体比对位移-荷载曲线、应变-荷载曲线及裂缝随荷载变化情况,最后分析原因并得出结论。

3. 案例分析

在实验操作前进行数值模拟实验能够提前给予学生感性的认知,且学生通过自主设计实验参数能激发对实验的热情,最大程度地提高学生的课程参与度。以有限元分析结果作为参照可在不影响学生自主完成实验的基础上大幅度提高各项实验参数选取的准确性,从而保证实验有效完成。

提前了解实验现象能帮助学生理解和完成实验。学生也可以通过对调整各种初设条件对实验结果进行初步分析,以便在实操实验中拟定合理的初设条件和实验参数,进而提高实验的成功率。

五、结 语

为提升学生的专业技能和分析解决问题的能力,笔者以结构设计原理的实验课程为研究对象,提出了基于数值模拟技术的实验课程教学改革方案。该方案将 midas - FEA 软件引入课堂,在实验课程中增设模拟实验演示和操作环节,有助于学生加深对实验原理的理解,了解与掌握实验目的与实验过程,并能

通过有限元软件获取实验所需的理论值。

数值模拟技术能够将抽象难懂的工程实际问题具象化,使其更加易于理解。学生在本课程中学习并掌握有限元软件的使用有助于提升自身的专业技能,为日后就业或求学奠定扎实基础。

参考文献:

- [1] 陈成,芮瑞,王智德,等.岩土工程专业课程与数值模拟应用的融合创新及实践[J].水利与建筑工程学报,2021,19(4):210-214.
- [2] 李美艳,韩涛,韩彬,等.数值模拟在焊接技术实验课教学中的应用[J].实验技术与管理,2015,32(10):52-55.
- [3] 廖丹,袁严辉,郑茂溪.基于数值模拟的材料力学教学改革探索[J].课程教育研究,2018(32):236-237.
- [4] 徐明,宗周红,张蓓,等.工程结构设计原理实验课程教学改革[J].高等建筑教育,2015,24(5):111-114.
- [5] 马佳星,陈柯宇,沈心媛,等.工程教育认证背景下混凝土结构设计原理教学模式探索:以中国与新加坡课程对比为例[J].高等建筑教育,2020,29(6):47-53.
- [6] 张宇,屈恩相.《混凝土结构设计原理》实验课

教学方法改革研究[J].建材发展导向,2022,20(8):37-40.

- [7] 彭苗.土木工程专业结构试验课程教学改革实践[J].大学教育,2017(10):36-38.
- [8] 杨勇,薛亦聪,史庆轩,等.依托“名师、名课、名专业”,打造“专业与思政”双核心课程:混凝土结构设计课程思政的探索与实践[J].高等建筑教育,2021,30(3):100-107.
- [9] 刘春阳,李秀领,夏风敏,等.工程教育认证背景下的课程教学改革与实践:以“混凝土结构设计”课程为例[J].教育教学论坛,2021(46):73-76.
- [10] 孙宝芸,董雷.测绘工程专业“道路勘测设计”课程教学方法改革:以沈阳建筑大学为例[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2017,19(5):536-540.
- [11] 徐明,宗周红.中美土木工程本科创新实验教学体系对比分析[J].实验室研究与探索,2011,30(11):73-76.
- [12] 王志鑫.普通本科院校混凝土结构原理实验教学改革[J].四川水泥,2021(1):15-16.
- [13] 王岩,刘茂华,由迎春.工程教育认证背景下课程教学改革的研究与实践:以沈阳建筑大学大地测量学基础课程为例[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2021,23(1):90-97.

Research on Experiment Course Teaching Reform Based on Numerical Simulation: Taking the Course of Structural Design Principle as an Example

CAO Yue, BAO Longsheng, ZHANG Xiaowei, XUE Xingwei

(1. School of Transportation and Geomatics Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. Department of Development, Reform and Discipline Construction, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: This paper summarizes the problems existing in the current experimental course teaching of civil engineering specialty and the necessity of implementing the teaching reform, as well as the importance of numerical simulation technology in the practice and scientific research of civil engineering field, and puts forward the teaching reform method of experimental course based on numerical simulation technology. The paper also briefly introduces the content of teaching reform by using midas FEA software and analyzes the teaching effect, in order to improve the teaching quality.

Key words: structural design principle; experimental courses; numerical simulation; reform in education

(责任编辑:徐聿聪 英文审校:林 昊)